



XIV

SYMPOZJUM TECHNIKI LASEROWEJ

**9–13 WRZEŚNIA 2024
ZAMEK RYN**

MATERIAŁY KONFERENCYJNE

WWW.STL2024.PL

ORGANIZATORZY KONFERENCJI



Instytut Mikroelektroniki
i Optoelektroniki
Politechniki Warszawskiej



Stowarzyszenie
Elektryków Polskich

PARTNER STRATEGICZNY KONFERENCJI



ZŁOCI PARTNERZY KONFERENCJI



CEZAMAT
Politechnika Warszawska



PARTNERZY SREBRNI



PARTNERZY KONFERENCJI



PARTNER MERYTORYCZNY



XIV SYMPOZJUM TECHNIKI LASEROWEJ

9-13 WRZEŚNIA 2024, ZAMEK RYN

Szanowni Państwo!

Serdecznie witam wszystkich Państwa na XIV Sympozjum Techniki Laserowej (STL 2024). Przed nami 4 dni intensywnych prac konferencyjnych – wykładów zaproszonych, regularnych prezentacji, posterów, spotkań biznesowych, a przede wszystkim dyskusji naukowych i nie tylko naukowych.

Tegoroczną konferencję zlokalizowaliśmy w scenerii pięknego zamku w Rynie, zapraszając do aktywnego udziału jak najszerszą reprezentację środowiska naukowego – pracowników naukowych, doktorantów i studentów, a także reprezentantów firm koncentrujących swoje rozwiązania w obszarze szeroko rozumianej fotoniki, a szczególnie fotoniki laserowej. W imieniu całego zespołu przygotowującego to wydarzenie dziękuję serdecznie za niezawodny odzew i Państwa liczną obecność.

W programie STL 2024 znajdziecie Państwo szeroki obraz polskiej (i nie tylko polskiej) fotoniki, ujmujący między innymi zagadnienia techniki laserów, modelowania zjawisk i przyrządów fotonicznych, nowych materiałów, technologii kwantowych, optoelektroniki w systemach bezpieczeństwa, fotoniki zintegrowanej, sensoryki fotonicznej, fotoniki obrazowej i wiele innych tematów, którymi żyje środowisko fotoniczne.

Oprócz prezentacji ściśle naukowych mamy ambicję stworzenia dla Państwa przestrzeni do dyskusji o trendach rozwojowych fotoniki, ale także interdyscyplinarnych projektach badawczych, współpracy naukowej i transferze technologii. W tym roku, obok klasycznych formatów konferencyjnych, testujemy nowe rozwiązania, w tym sesję „elevator pitch”, pozwalającą części uczestników zmierzyć się z krótką, biznesową formą przekazu pomysłów i osiągnięć naukowo-badawczych.

Zapraszamy również serdecznie do udziału w czwartym już panelu warsztatowym „Fotonika.pl – w którą stronę? Stan obecny i perspektywy rozwoju fotoniki w Polsce”, animowanym tradycyjnie przez Polski Komitet Optoelektroniki SEP wraz z Polską Platformą Technologiczną Fotoniki.

Zaczynamy! Życzę Państwu niezapomnianej przygody konferencyjnej!

Ryszard Piramidowicz

Przewodniczący konferencji STL 2024

	9 WRZEŚNIA [poniedziałek]	10 WRZEŚNIA [wtorek]	11 WRZEŚNIA [środa]	12 WRZEŚNIA [czwartek]	13 WRZEŚNIA [piątek]
7:00					
7:30					
8:00		ŚNIADANIE	ŚNIADANIE	ŚNIADANIE	ŚNIADANIE
8:30					
9:00					
9:30		OTWARCIE KONFERENCJI, OTWARCIE WYSTAWY			
10:00		SESJA I TECHNOLOGIE LASEROWE I	SESJA IV FOTONIKA ZINTEGROWANA	SESJA VII FOTONIKA W OBRONNOŚCI I BEZPIECZEŃSTWIE	SESJA XI TECHNOLOGIE LASEROWE III
10:30					
11:00			PRZERWA KAWOWA		PODSUMOWANIE KONFERENCJI, WRĘCZNIE NAGRÓD
11:30		PRZERWA KAWOWA		PRZERWA KAWOWA	POŻEGNALNA KAWA
12:00		SESJA II FOTONIKA W ZASTOSOWANIACH CZUJNIKOWYCH I BIOMEDYCZNYCH I	SESJA V TECHNOLOGIE LASEROWE II	SESJA VIII TECHNOLOGIE KWANTOWE	
12:30					
13:00					
13:30		OBIAD	OBIAD	OBIAD	
14:00					
14:30					
15:00		ELEVATOR PITCH	SESJA VI FOTONICZNY TYGIEL	SESJA IX FOTONIKA ŚWIATŁOWODOWA	
15:30					
16:00		PRZERWA KAWOWA	PRZERWA KAWOWA	PRZERWA KAWOWA	
16:30		SESJA III FOTONIKA W ZASTOSOWANIACH CZUJNIKOWYCH I BIOMEDYCZNYCH II	PANEL DYSKUSYJNY: STAN OBECNY I PERSPEKTYWY ROZWOJU FOTONIKI W POLSCE	SESJA X FOTONIKA ŚREDNIEJ PODCZERWIENI I TERAHERCE	
17:00	REJESTRACJA UCZESTNIKÓW (do godz. 20.00)				
17:30		PRZERWA KAWOWA	PRZERWA KAWOWA	ZAMKNIĘCIE WYSTAWY, PRZERWA KAWOWA	
18:00	TOAST POWITALNY				
18:30		SESJA POSTEROWA	NIESPODZIANKA		
19:00	KOLACJA				
19:30					
20:00					
20:30		KOLACJA		KOLACJA GRILLOWA	
21:00					
21:30			UROCZYSTA KOLACJA		
22:00					
22:30					
23:00					



STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH /SEP/

ul. ŚWIĘTOKRZYSKA 14, 00-050 WARSZAWA

<https://sep.com.pl>

SEP jest pozarządową organizacją twórczą o charakterze naukowo-technicznym działającą na rzecz społeczeństwa oraz swoich członków od 1919 roku. Stanowi dobrowolne zrzeszenie elektryków wszystkich specjalności oraz osób, których działalność zawodowa wiąże się z szeroko rozumianą elektryką, a także osób prawnych zainteresowanych jego działalnością.

Zapraszamy do współpracy!

SEP • wspiera działalność naukowo-techniczną w zakresie elektryki, dotyczącą wszystkich dziedzin życia społeczno-gospodarczego • inspiruje twórczą działalność elektryków, podnosi ich poziom wiedzy i kwalifikacje zawodowe, kulturę techniczną i etykę zawodową • organizuje konferencje naukowo-techniczne regionalne, krajowe i międzynarodowe, sympozja, odczyty, konkursy, wystawy i wycieczki krajowe oraz zagraniczne • organizuje szkolenia elektryków i przeprowadza egzaminy kwalifikacyjne • rozwija działalność normalizacyjną • dba o jakość wyrobów i usług z zakresu elektryki, udzielając rekomendacji firmom produkującym towary i świadczącym usługi o wysokim standardzie oraz w ramach uprawnień prowadzi działalność certyfikacyjną • rozstraca opiekę nad młodzieżą studiującą i młodą kadrą techniczną rozpoczynającą pracę zawodową • udziela pomocy koleżeńskiej swoim członkom • wydaje czasopisma naukowo-techniczne i pomoce szkoleniowe • współpracuje z zagranicznymi organizacjami naukowo-technicznymi • prowadzi działalność gospodarczą.

SEP • jest członkiem Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych Naczelnej Organizacji Technicznej działając w jej strukturach dla integracji polskiego środowiska technicznego • uczestniczy w działalności Europejskiej Federacji Narodowych Stowarzyszeń Inżynierskich FEANI, która nadaje honorowany w całej Europie tytuł Inżyniera Europejskiego • jest członkiem Europejskiej Federacji Stowarzyszeń Inżynierów Elektryków EUREL.





STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH /SEP/

ul. ŚWIĘTOKRZYSKA 14, 00-050 WARSZAWA

<https://sep.com.pl>

w 2024 roku
STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH
obchodzi JUBILEUSZ 105 lecia DZIAŁALNOŚCI

KRÓTKI RYS HISTORYCZNY

SEP kontynuuje rozpoczętą od koniec XIX wieku działalność społeczną elektryków polskich, stymulującą rozwój elektryki na ziemiach polskich i sprzyjającą wykorzystaniu osiągnięć elektryki dla dobra Polski. Powstałe w 1919 roku Stowarzyszenie Elektrotechników Polskich zmieniło w 1928 roku statut oraz nazwę na Stowarzyszenie Elektryków Polskich i stało się ośrodkiem jednoczącym elektryków. Działające mniejsze stowarzyszenia elektryków z własnej inicjatywy rozwiązały się, umożliwiając scalenie działalności i członkostwa w jednym stowarzyszeniu. Do czasu drugiej wojny światowej SEP miało charakter elitarny. Druga wojna światowa bardzo spowolniła i rozproszyła działalność SEP. Była ona prowadzona w konspiracyjnych grupach i kołach w kraju (głównie w Warszawie) oraz za granicą: w Niemczech, w kilku obozach jenieckich; w Szwajcarii, w obozie uniwersyteckim (Zurich), nawet skromnie w Związku Sowieckim (Tbilisi, Wilno, Lwów). Najprężniej funkcjonował Oddział Brytyjski SEP (Londyn). Oddani Stowarzyszeniu działacze, i w Polsce, i za granicą, w trudnych wojennych warunkach, z motywacji patriotycznych tworzyli projekty elektryfikacji Polski a czasy powojenne (z wizją do 1960 r.). Starali się też, na miarę swoich możliwości, finansowo lub przez oferowanie pracy, nieść pomoc dotkniętym skutkami wojny rodzinom zmarłych Koleżanek i Kolegów. Obecnie SEP podtrzymuje tradycje i wartości swych założycieli. Szczyci się nadal znaczącym dorobkiem naukowo-technicznym w zakresie tworzenia przepisów i norm w branży elektrycznej, przystosowywaniem norm do wymogów Unii Europejskiej. SEP ma swój udział w tworzeniu Prawa energetycznego, zajmuje się promowaniem nowoczesnych rozwiązań i popularyzacji szeroko rozumianej elektryki na rzecz społeczeństwa i podmiotów użyteczności publicznej. **Działła nieprzerwanie od 1919 roku.**

CZŁONKAMI SEP mogą być osoby fizyczne i prawne. Zakres działalności SEP obejmuje: elektrotechnikę, energetykę, elektroenergetykę, elektronikę, radiotechnikę, optoelektronikę, techniki informacyjne, informatykę, telekomunikację, automatykę, robotykę i inne dziedziny pokrewne. Każda jednostka organizacyjna w strukturze SEP działa na podstawie zgodnie ze **STATUTEM SEP**.

Stowarzyszenie opiera swoją działalność na pracy wielu organów i jednostek, m.in. komitetów. KOMITETY SEP grupują członków SEP i inne osoby zajmujące się ściśle określoną specjalnością z zakresu elektryki i w tej specjalności, zgodnie z regulaminami, reprezentują Stowarzyszenie. O ile dany Komitet reprezentuje SEP na forum międzynarodowym, otrzymuje nazwę Polskiego Komitetu SEP. Jednym z aktywnie działających Komitetów jest **POLSKI KOMITET OPTOELEKTRONIKI SEP** jednostka powołana w 1985 roku uchwałą Zarządu Głównego SEP w odpowiedzi na inicjatywę środowisk inżynierskich i naukowo-badawczych zajmujących się problematyką z zakresu optoelektroniki, w tym techniki laserowej i światłowodowej, znajdujących szczególnie szerokie zastosowania w różnych dziedzinach nowoczesnych technologii i nauce.



Zakład Optoelektroniki

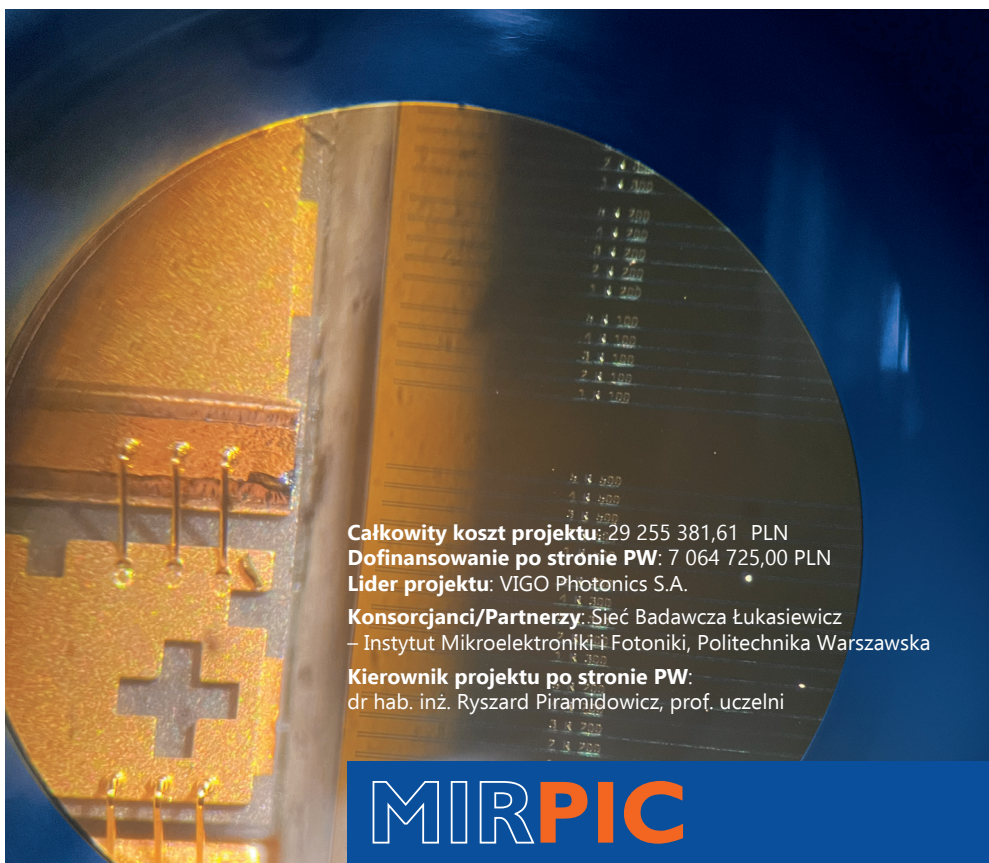
IMiO

Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki
Politechniki Warszawskiej

Zakład Optoelektroniki wchodzi w skład Instytutu Mikroelektroniki i Optoelektroniki, jednego z wiodących instytutów najlepszej i najbardziej prestiżowej polskiej uczelni technicznej – Politechniki Warszawskiej. Inicjuje i prowadzi prace badawcze w zakresie zaawansowanych technologii nowoczesnej fotoniki – od badań podstawowych w obszarze nowych materiałów fotonicznych, przez technikę laserów, fotowoltaikę, fotonikę światłowodową, aż do fotoniki scalonej.

Dysponuje specjalistycznymi laboratoriami badawczymi i dydaktycznymi wyposażonymi w nowoczesną aparaturę pomiarową i technologiczną. Wysokie kompetencje zespołu naukowego potwierdzają liczne publikacje w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym oraz szereg projektów badawczych finansowanych ze środków krajowych i europejskich, a także szeroka współpraca z partnerami naukowymi i biznesowymi.

www.imio.pw.edu.pl



Całkowity koszt projektu: 29 255 381,61 PLN

Dofinansowanie po stronie PW: 7 064 725,00 PLN

Lider projektu: VIGO Photonics S.A.

Konsorcjanci/Partnerzy: Sieć Badawcza Łukasiewicz
– Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Politechnika Warszawska

Kierownik projektu po stronie PW:

dr hab. inż. Ryszard Piramidowicz, prof. uczelni

MIRPIC



Łukasiewicz
Instytut Mikroelektroniki
i Fotoniki



Technologie układów fotoniki scalonej na zakres średniej podczerwieni

Opracowanie nowej platformy fotoniki scalonej, umożliwiającej realizację unikatowych zintegrowanych systemów optoelektronicznych zawierających źródła światła laserowego, fotodetektory oraz pasywne elementy foniczne, pracujące w zakresie średniej podczerwieni (3,0 – 5,5 μm).

Program strategiczny
TECHMATSTRATEG



Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Nowoczesne technologie materiałowe” – TECHMATSTRATEG-III

NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju



Rzeczpospolita
Polska

PONIEDZIAŁEK | 9 WRZEŚNIA 2024

16:00–20:00	REJESTRACJA UCZESTNIKÓW
18:00–18:18	TOAST POWITALNY
18:18–21:00	KOLACJA POWITALNA

WTOREK | 10 WRZEŚNIA 2024

07:00–09:00	ŚNIADANIE			
09:00–09:30	OTWARCIE KONFERENCJI			
09:30–10:55	SESJA I – TECHNOLOGIE LASEROWE I			
	09:30–10:00	#KN-01	Jungwon KIM	It's the perfect "timing" for optical frequency combs
	10:00–10:20	#I-01	Sławomir SUJECKI	Lasery włóknowe na zakres średniej podczerwieni
	10:20–10:40	#I-02	Anna SZERLING	Polskie półprzewodnikowe lasery powierzchniowe emitujące promieniowanie z zakresu bliskiej podczerwieni
	10:40–10:55	#O-11	Sebastian STANO	Fiber Lasers and Amplifiers for Scientific and Advanced Applications
10:55–11:30	PRZERWA KAWOWA			
11:30–12:55	SESJA II – FOTONIKA W ZASTOSOWANIACH CZUJNIKOWYCH I BIOMEDYCZNYCH I			
	11:30–11:50	#I-03	Zygmunt MIERCZYK	Fotonika w inżynierii biomedycznej i astrobiologii
	11:50–12:10	#I-04	Andrzej ZAJĄC	Lasery a medycyna – 60 lat współistnienia
	12:10–12:25	#O-02	Zofia LORENC	Dlaczego średnia podczerwień? – studium przypadku
	12:25–12:40	#O-03	Erwin MACIAK	Badania antropogenicznych zanieczyszczeń ekosystemów wodnych z wykorzystaniem fotonicznych technik pomiarowych
	12:40–12:55	#O-04	Maciej J. NOWAKOWSKI	PhotonHub Europe – oferta dla firm, organizacji badawczych i studentów
13:00–14:30	OBIAD			
14:30–16:00	ELEVATOR PITCH			
	14:30–14:33	#P-02	Michał NAGOWSKI	Analiza i optymalizacja zasilania Kwantowych Laserów Kaskadowych o pracy impulsowej
	14:33–14:36	#P-07	Martyna WARDZIŃSKA	Laserowo-plazmowe źródła promieniowanie w zakresie 100–200 nm – optymalizacja i zastosowania
	14:36–14:39	#P-10	Filip MUSIAŁEK	Wybrane zastosowania algorytmów sztucznej inteligencji w układach laserowej spektroskopii absorpcyjnej z modulacją długości fali
	14:39–14:42	#P-13	Marcin LELIT	Strategie projektowania niskostratnych interfejsów optycznych dla układów fotoniki scalonej pracujących w nietypowych zakresach spektralnych
	14:42–14:45	#P-18	Aleksandra BIENIEK-KACZOREK	SMART BED – monitorowanie parametrów życiowych z wykorzystaniem światłowodowych siatek Bragga i zintegrowanych interrogatorów fotonicznych
	14:45–14:48	#P-20	Armen JAWORSKI	Optyczne czujniki powierzchniowe do ochrony przeciw laserom dużej mocy
	14:48–14:51	#P-21	Paweł BORTNOWSKI	Niskofononowe szkła i nanokryształy domieszkowane jonami Tm^{3+} i $Tm^{3+} + Yb^{3+}$ – charakterystyka porównawcza właściwości luminescencyjnych

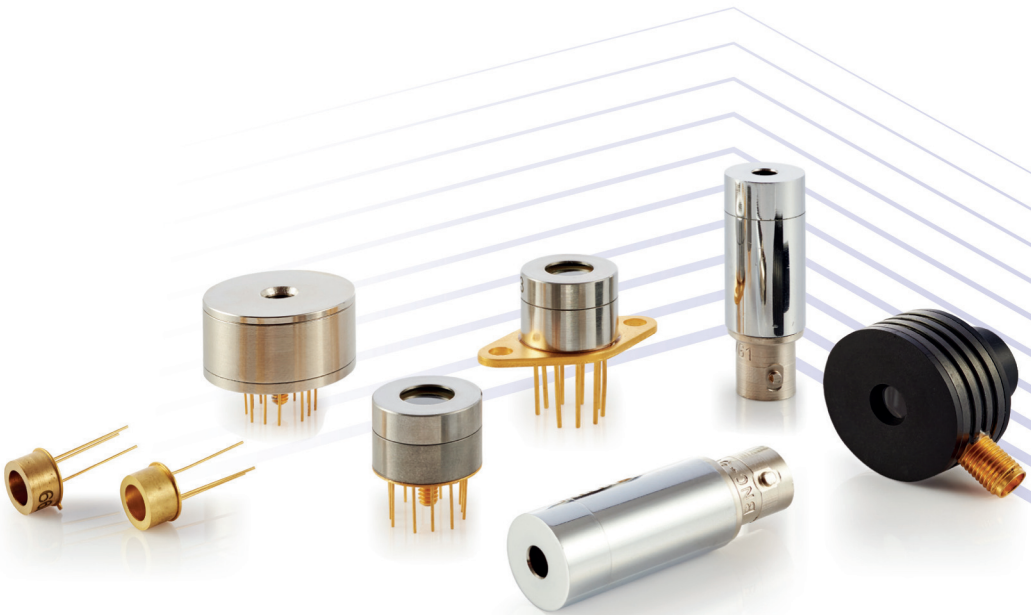
	14:51–14:54	#P-23	Kinga MAJKOWYCZ	Badanie poziomów defektowych w supersieciach – II rodzaju InAs/InAsSb stosowanych w długofalowych detektorach kaskadowych
	14:54–14:57	#P-27	Andrzej POŁATYŃSKI	Platforma do symulacji i projektowania układów fotoniki zintegrowanej na zakres średniej podczerwieni MIRPIC
	14:57–15:00	#P-31	Adrian F. CHLEBOWSKI	Diody laserowe jako czułe detektory dwufotonowe w interferometrycznej charakteryzacji impulsów
	15:00–15:03	#P-33	Krzysztof ANDERS	System monitorowania ruchu górotworu w kopalniach węgla bazujący na scalonym interrogatorze FBG
	15:03–15:06	#P-37	Karolina BOGDANOWICZ	Przezroczyste elektrody dla niespolaryzowanego światła podczerwonego
	15:06–15:09	#P-41	Michał JÓZWIK	Mikroskopia fazowa w oparciu o interferometr Linnika
	15:09–15:12	#P-44	Bartosz JANASZEK	Właściwości optyczne topologicznych hiperkryształów fotonicznych
	15:12–15:15	#P-46	Jacek GOŚCINIĄK	Zintegrowane fotodetektory w NIR i MIR w oparciu o przezroczyste tlenki przewodzące
	15:15–15:18	#P-50	Paweł KOZIOŁ	Laserowe spiekanie nanocząstek bimetalicznych Ni-Ag do zastosowania w nowoczesnej elektronice
	15:18–15:21	#P-52	Dorota PIERŚCIŃSKA	Badania procesów termicznych prowadzących do degradacji laserów półprzewodnikowych emitujących w zakresie średniej i dalekiej podczerwieni
16:00–16:30	PRZERWA KAWOWA			
16:30–17:45	SESJA III – FOTONIKA W ZASTOSOWANIACH CZUJNIKOWYCH I BIOMEDYCZNYCH II			
	16:30–16:45	#O-05	Jerzy KALWAS	Opracowanie Innowacyjnego Fotonicznego Systemu Monitoringu Zasobów Wodnych
	16:45–17:00	#O-06	Małgorzata GARBACKA	Odształcalność siatek Bragga zapisywanych laserem ArF
	17:00–17:15	#O-07	Gloria Lesly JIMENEZ MIRANDA	Luminescent nanoparticles for biomedical applications
	17:15–17:30	#O-08	Bartosz SĘDEK	Satelitarny sensor położenia Słońca
	17:30–17:45	#O-09	Jakub KORYCIŃSKI	Systemy czujnikowe DFOS, DAS, oraz ultra-stabilne źródła RIO Lasers
18:00–20:00	SESJA POSTEROWA			
20:00–21:30	KOLACJA			
ŚRODA 11 WRZEŚNIA 2024				
07:00–09:00	ŚNIADANIE			
09:00–10:45	SESJA IV – FOTONIKA ZINTEGROWANA			
	09:00–09:30	#KN-02	Sylwester ŁĄTKOWSKI	On-chip laser sources fabricated using standardized photonic integration technology on indium phosphide
	09:30–09:50	#I-05	Kamil GRADKOWSKI	Challenges and Opportunities in Photonic Packaging
	09:50–10:10	#I-06	Katarzyna ŁAWNICZUK	Development of photonic integrated circuits for products and research: technology selection and design considerations
	10:10–10:30	#I-07	Stanisław STOPIŃSKI	MIRPIC/HyperPIC – od platformy technologicznej do fabryki układów fotoniki scalonej
	10:30–10:45	#O-10	Paweł KARASIŃSKI	Kompozytowe warstwy falowodowe SiO _x :TiO _y platformą fotoniki scalonej na zakres spektralny Vis-NIR
10:45–11:15	PRZERWA KAWOWA			
11:15–13:00	SESJA V – TECHNOLOGIE LASEROWE II			
	11:15–11:35	#I-08	Kamil PIERŚCIŃSKI	Lasery Kaskadowe dla zastosowań w detekcji gazów, komunikacji optycznej oraz systemach zintegrowanej fotoniki

	11:35–11:55	#I-09	Jan JABCZYŃSKI	Inżynieria Spójnego Dodawania Wiązek Światła stan obecny i perspektywy
	11:55–12:15	#I-10	Piotr PERLIN	Diody laserowe oparte o półprzewodniki III-N, wytwarzanie, własności i zastosowania
	12:15–12:30	#O-01	Andrzej BARTNIK	Laserowo plazmowe źródła promieniowania z zakresu 100–200 nm: w czym problem?
	12:30–12:45	#O-12	Michał CHYŁA	Lasery cienkodyskowe dla aplikacji naukowych i przemysłowych
	12:45–13:00	#O-13	Arkadiusz HUDZIKOWSKI	Generacja impulsów światła o czasie trwania 23 fs i energii powyżej 100 μJ z wykorzystaniem nieliniowych procesów w gazach
13:00–14:30	OBIAD			
14:30–16:20	SESJA VI – FOTONICZNY TYGIEL			
	14:30–14:50	#I-11	Małgorzata KUJAWIŃSKA	3D Quantitative Phase Imaging: the needs and new concepts
	14:50–15:05	#O-14	Łukasz WĘGRZYŃSKI	Tarcze laserowe w eksperymentach plazmowych – rodzaje, parametry i właściwości fizyczne
	15:05–15:20	#O-15	Michael SCHNEIDER	Advanced coating equipment – Or how to sputter precise interference filters and dielectric mirrors even on larger substrate formats?
	15:20–15:35	#O-16	Jarosław MYŚLIWIEC	Spektralnie programowalny aktywny system w stanie ciekłym do wysokowydajnego wielokolorowego laserowania i emisji światła białego – SPLASH
	15:35–15:50	#O-17	Jakub MNICH	Szerokopasmowy spektrometr fourierowski o niskim poborze mocy pracujący w temperaturze pokojowej
	15:50–16:05	#O-18	Marcin KACZKAN	Specyficzne właściwości jonów Eu ³⁺ i ich wykorzystanie w badaniach spektroskopowych nowych materiałów optycznie aktywnych
	16:05–16:20	#O-19	Elżbieta JASTRZĘBSKA	Systemy Lab-on-a-Chip w inżynierii komórkowej
16:20–16:45	PRZERWA KAWOWA			
16:45–17:45	PANEL DYSKUSYJNY: FOTONIKA.PL – W KTÓRĄ STRONĘ? STAN OBECNY I PERSPEKTYWY ROZWOJU FOTONIKI W POLSCE			
20:00–...	UROCZYSTA KOLACJA			
CZWARTEK 12 WRZEŚNIA 2024				
07:00–10:00	ŚNIADANIE			
10:00–11:20	SESJA VII – FOTONIKA W OBRONNOŚCI I BEZPIECZEŃSTWIE			
	10:00–10:30	#KN-03	Krzysztof KOPCZYŃSKI	Nowoczesne technologie militarne
	10:30–10:50	#I-12	Marek ZYGMUNT	Optoelektronika we współczesnych systemach wojskowych
	10:50–11:05	#O-20	Marcin MUSZKOWSKI	Komponenty i systemy optoelektroniczne w wyrobach PCO
	11:05–11:20	#O-21	Damian GOŁOŚ	Technologie optoelektroniczne w amunicji precyzyjnego rażenia
11:20–11:40	PRZERWA KAWOWA			
11:40–13:00	SESJA VIII – TECHNOLOGIE KWANTOWE			
	11:40–12:10	#KN-04	Piotr KOLENDESKI	Satellite communication and microscopy applications with single photons
	12:10–12:30	#I-13	Michał KARPIŃSKI	Kształtowanie i detekcja krótkich jednofotonowych impulsów światła
	12:30–12:45	#O-22	Michał MIKOŁAJCZYK	Konwersja i kształtowanie widma pojedynczych fotonów z zastosowaniem średniej podczerwieni
	12:45–13:00	#O-23	Marcin BOBER	Nadpromienisty optyczny (laser) zegar atomowy

13:00–14:30	OBIAD			
14:30–15:45	SESJA IX – FOTONIKA ŚWIATŁOWODOWA			
	14:30–14:45	#0-24	Paweł MERGO	Fotonika na Spitzbergenie
	14:45–15:00	#0-25	Piotr MILUSKI	Światłowodowy wielopierścieniowy domieszkowany pierwiastkami ziem rzadkich do nowych konstrukcji laserów i źródeł ASE
	15:00–15:15	#0-26	Rafał KASZTELANIC	Nanostrukturyzacja w optymalizacji światłowodów kilkumodowych w systemach z multipleksacją
	15:15–15:30	#0-27	Marcin KOCHANOWICZ	Ultra-szerokopasmowa emisja w zakresie 1,0–2,1 um w szklach i wielordzeniowych światłowodach współdomieszkowanych jonami Ni ²⁺ /Cr ³⁺ /Bi ³⁺ oraz jonami pierwiastków ziem rzadkich
	15:30–15:45	#0-28	Luka PERPAR SAMS	Technology supporting triple-clad high-power fiber laser design
15:45–16:15	PRZERWA KAWOWA			
16:15–17:45	SESJA X – FOTONIKA ŚREDNIEJ PODCZERWieni I TERAHERCE			
	16:15–16:35	#I-14	Jarosław JUREŃCZYK	Konstrukcje i materiały dla nowoczesnych detektorów podczerwieni pracujących w zakresie HOT
	16:35–16:55	#I-15	Wojciech KNAP	Plasmonic Nanostructures for Voltage Controlled Terahertz Photonics
	16:55–17:15	#I-16	Małgorzata KOPYTKO	Rozwój detektorów SWIR, MWIR i LWIR w laboratorium WAT-VIGO
	17:15–17:30	#0-29	Marcin WOJCIECHOWSKI	Czujnik promieniowania THz bazujący na detektorze bolometrycznym
	17:30–17:45	#0-30	Agnieszka SIEMION	Cechy szczególne optyki terahercowej i zastosowanie terahercowej spektroskopii w dziedzinie czasu
17:45–18:15	ZAMKNIĘCIE WYSTAWY, PRZERWA KAWOWA			
19:00–22:00	KOLACJA GRILLOWA			
PIĄTEK 11 WRZEŚNIA 2024				
07:00–09:00	ŚNIADANIE			
09:00–10:30	SESJA XI – TECHNOLOGIE LASEROWE III			
	09:00–09:15	#0-31	Michał NEJBAUER	Perspektywy rozwoju technologii laserów femtosekundowych dla masowych zastosowań przemysłowych
	09:15–09:30	#0-32	Przemysław GONTAR	Metody eksperymentalne wyznaczenia mocy progowej zjawiska TMI w laserze włóknowym dużej mocy średniej
	09:30–09:45	#0-33	Łukasz PAJEWSKI	Impulsowy laser Dy ³⁺ :ZBLAN z modulacją dobroci
	09:45–10:00	#0-34	Mateusz MAJSZYK	Pomiary spektralne w plazmie niskotemperaturowej wytworzonej na tarczach składających się z mieszanin gazowych
	10:00–10:15	#0-35	Jakub JUSZA	Wybrane projekty konstrukcyjne zrealizowane przez Eurotek International
	10:15–10:30	#0-36	Igor DERYŁO	Finansowanie badań nad technologiami fotonicznymi w projektach Horyzont Europa
10:30–11:00	PODSUMOWANIE KONFERENCJI ORAZ WRĘCZENIE NAGRÓD			
11:00–11:45	POŻEGNALNA KAWOWA			



**Over 35 years of providing novel
IR detectors and modules for the
most challenging applications**



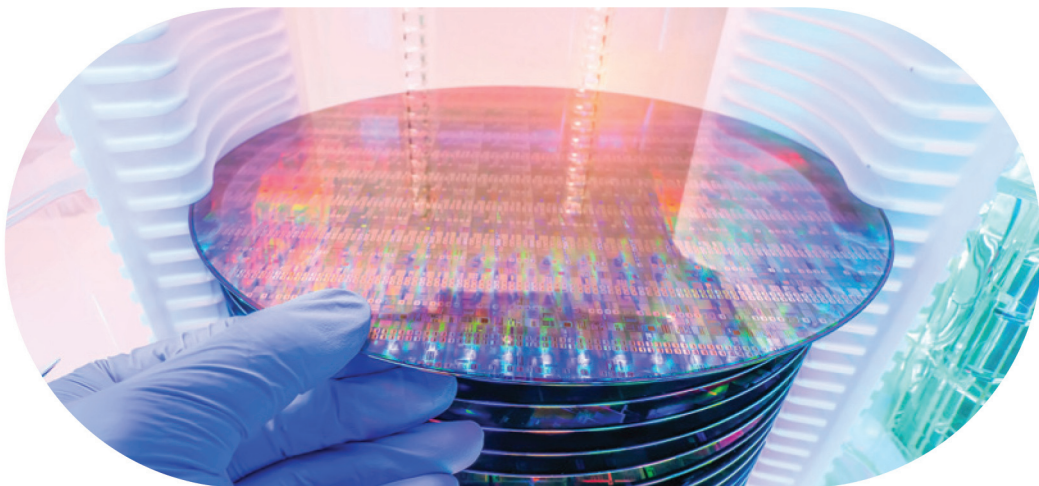
- II-VI and III-V based materials
- 2 to 16 μm spectral range
- Uncooled and TE cooled
- RoHS compliant detectors available

www.vigophotonics.com





Creating the Future: The World's First MWIR Photonic Integrated Circuits



vigophotonics.com



Fundusze Europejskie
dla Nowoczesnej Gospodarki



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Sfinansowano częściowo z projektu „HyperPIC Fotoniczne układy scalone do zastosowań w średniej podczerwieni”

WYKŁADY WIODĄCE

It's the perfect “timing” for optical frequency combs

Jungwon KIM

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), South Korea

Jungwon.kim@kaist.ac.kr

Optical frequency combs, with their unique features in both the time and frequency domains, have transformed precision science and engineering over the last two decades. In this lecture, I will present on the latest progress in the ultralow-noise frequency combs and their applications with an emphasis on precision timing, synchronization, and microwave/mm-wave photonics. Both mode-locked laser combs and chip-scale micro-combs can reach quantum-limited timing jitter performances, which allows for various timing applications with unprecedented precision. I will present innovative comb timing applications including attosecond optical timing, on-chip clock distribution networks, ultralow-noise microwave/mm-wave signal generation, photonic analog-to-digital conversion, ranging, imaging and vibration sensing, and timing and synchronization for ultrafast X-ray/electron science and radio astronomy.

On-chip laser sources fabricated using standardized photonic integration technology on indium phosphide

Sylwester ŁĄTKOWSKI^{1,2}, Katia Panina^{1,2}, Erwin Bente¹, Kevin Williams¹

¹Photonic Integration, Electrical Engineering, Eindhoven University of Technology, Den Dolech 2,
5612AZ Eindhoven, The Netherlands

²Photonic Integration Technology Center, Groene Loper 5612AZ, Eindhoven, The Netherlands
jungwon.kim@kaist.ac.kr

Photonic integration technologies, standardized at the foundry level, and mature process design kits enable the design and fabrication of large complexity application-specific photonic integrated circuits. Indium phosphide-based, monolithic active-passive integration naturally provides a reliable co-integration of optical gain elements and therefore realization of advanced laser systems. An overview of currently available technologies and services from JePPIX will be provided. Examples of single and multi-wavelength laser sources in the form of photonic integrated circuits for applications in telecommunications, sensing, and RF photonics will be presented.

Challenges and Opportunities in Photonic Packaging

Kamil GRADKOWSKI*, Peter O'BRIEN

Tyndall National Institute, Lee Maltings, T12 R5CP, Cork, Ireland

*kamil.gradkowski@tyndall.ie

Photonic packaging has seen a meteoric in importance rise in recent years due to accelerating growth of photonic integrated circuit (PIC)-based technologies in tele- and data-comms, biomedical applications and sensing. All of these, along with more recent advances such as AI and quantum, require manufacturing capabilities that can support the developments and satisfy the demands of the markets in order to prevent them from being choked by high cost of deployment and limits in volume production.

Photonic packaging builds on the legacy of several decades of exceptionally successful engineering discipline of electronic packaging, which developed methods for mechanical housing ruggedness, thermal management and electrical connectivity; and expands it to include additional domains of optical source integration and optical connectivity (Fig. 1).

Our work investigates new materials and methods of photonic packaging that will underpin the future growth of the photonic industry. Our studies focus on high-density electrical and optical I/Os in light of the nascent chiplet packaging architecture. We demonstrate deployment of new paradigms in optical connectivity, such as direct-to-PIC pluggable connectors. On a larger scale, we collaborate with leading industry entities to develop wafer- and panel-scale multi-project packaging (MPP) solutions useful for prototyping, piloting and high-volume manufacturing of photonic devices. Key to this is research of a glass-based substrate platform as well as standardization of designs, I/Os and processes.

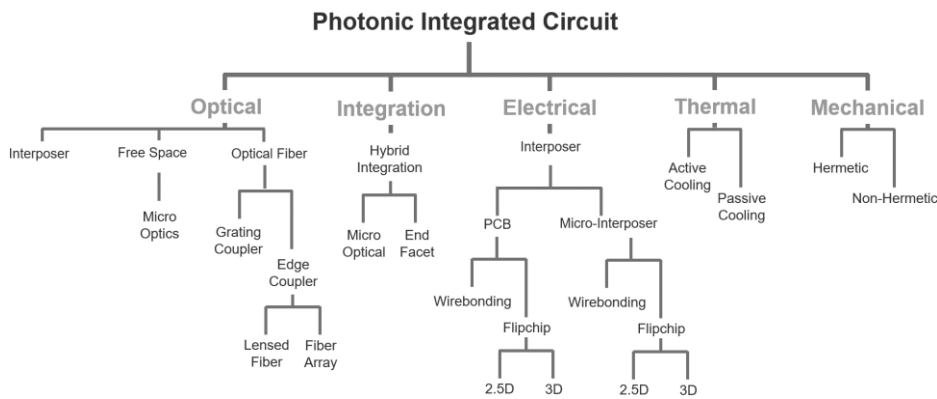


Fig. 1. Overview of photonic packaging technologies.

Literature

[1] L. Ranno et al., *Integrated photonics packaging: challenges and opportunities*, ACS Photonics 9 (2022), p. 3467

[2] K. Gradkowski et al., *Demonstration of a single-mode expanded-beam connectorized module for photonic integrated circuits*, J. Lightwave Technology 41 (2023), pp. 3470-3478

Development of photonic integrated circuits for products and research: technology selection and design considerations

Katarzyna ŁAWNICZUK

¹Bright Photonics BV, Horsten 1, 5612 AX Eindhoven, the Netherlands

k.lawniczuk@brightphotonics.eu

Photonic integration technologies, standardized at the foundry level, and mature process design kits enable the design and fabrication of large complexity application-specific photonic integrated circuits. Indium phosphide-based, monolithic active-passive integration naturally provides a reliable co-integration of optical gain elements and therefore realization of advanced laser systems. An overview of currently available technologies and services from JePPIX will be provided. Examples of single and multi-wavelength laser sources in the form of photonic integrated circuits for applications in telecommunications, sensing, and RF photonics will be presented.

Nowoczesne technologie militarne

Krzysztof KOPCZYŃSKI

Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. gen Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
krzysztof.kopczynski@wat.edu.pl

Występujące na świecie konflikty i działania zbrojne, w tym wojna w Ukrainie, potwierdzają znaczenie i wpływ nowych technologii na uzyskanie przewagi decyzyjnej i bojowej oraz tworzenie pełnej świadomości sytuacyjnej w działaniach militarnych. Współczesne technologie fotoniczne są nieodłącznym elementem zaawansowanych systemów militarnych i stanowią w dużym stopniu o ich sile i efektywności. Technologie te stają się również coraz bardziej użyteczne i mimo wysokich kosztów dostępne nawet dla prywatnych firm i osób. Przestrzeń kosmiczna była niegdyś ekskluzywnym obszarem strategicznym, dostępnym wyłącznie dla garstki państw kosmicznych. Obecnie jest ona wypełniona przez tysiące cywilnych i wojskowych satelitów. Dostarczają one cennych danych i zobrazowań (optycznego, hiperspektralnego, podczerwonego i radarowego), ułatwiają komunikację oraz nawigację, sprawiają, że operacje wojskowe stają się precyzyjniejsze i skuteczniejsze. Nowoczesne technologie teleinformatyczne, sztuczna inteligencja, autonomia urządzeń, środki rozpoznania, systemy bezzałogowe, systemy fotoniczne umożliwiają wykrywanie, identyfikację i klasyfikację zagrożeń w różnych domenach, w czasie rzeczywistym, w układach detekcji zdalnej „stand off” (np. laserowe systemy lidarowe, skanery laserowe) i detekcji w miejscu „in situ”. Przełomowymi technologiami są technologie kwantowe. Kwantowe techniki obliczeniowe detektory i radary kwantowe oraz „ultrabezpieczna” komunikacja kwantowa zdecydowanie zmieniają obraz współczesnego pola walki. Nowoczesne technologie rakietowe, pociski hipersoniczne to uzbrojenie nowej generacji, które wymaga nowych systemów obrony powietrznej i przeciwrakietowej. Liczące się dziś armie świata rozwijają również broń skierowanej energii lub pracują nad środkami jej przeciwdziałania. Definicja systemów broni skierowanej energii obejmuje głównie broń wykorzystującą mikrofalowe promieniowanie elektromagnetyczne wysokiej mocy (HPM - High Power Microwave), broń laserową (HELW – High Energy Laser Weapon), ale także broń wykorzystującą wiązki cząstek o wielkiej prędkości (jony, elektrony) i działa elektromagnetyczne miotające pociskami kinetycznymi przyspieszonymi w polu magnetycznym. Broń skierowanej energii, to również broń nieśmiertelna, przeznaczona do opanowania zamieszek i agresywnego tłumienia. Broń energetyczna może mieć znaczący wpływ na sposób i charakter prowadzenia przyszłych operacji wojskowych. Przyjmuje się, że zapewni ona większą skuteczność rażenia w porównaniu z klasycznymi systemami uzbrojenia, pozwoli zmniejszyć obciążenie logistyczne. Nowe technologie otwierają przed siłami zbrojnymi możliwości optymalizacji ich funkcjonowania i działania, zapewnienia bezpieczeństwa państwa, wykształcenia szeregu nowych, unikatowych cech i zdolności w obszarze rozpoznania, rażenia, dowodzenia, wsparcia działań czy też logistycznego ich zabezpieczenia.

Satellite communication and microscopy applications with single photons

Piotr KOLENDERSKI*

Nicolaus Copernicus University, Faculty of Physics, Astronomy and Informatics,
Grudziądzka 5, 87-100 Toruń

*kolenderski@fizyka.umk.pl

The last decades of the 20th century endowed us with experimental tools that can push the boundaries of our understanding of the surrounding world farther than ever before. Now, in the 21st century, it is possible to generate, control, and detect multiple features of single and entangled particles, providing strong grounds for today's and future technologies. It is now clear that quantum technology has great potential to enable what was never possible before.

Quantum Communication (QC) technology has already been present on the market for several years thanks to a number of companies offering various commercial fiber-based quantum key distribution (QKD) systems. However, for QC to be ultimately useful, the existing schemes must allow for truly global applications. There are international programs aiming at satellite-based QC. Canada's QEYSSat project [1] aims to develop a very small satellite, which will be economically attractive and have the potential to be commercialized and scaled up to a constellation. The main part of the project is to demonstrate uplink communication using an optical ground station and an entangled photon pair source. I will talk about a prototype of such a generator [2].

Similar technology can be used to generate quantum light for (quantum) microscopy. Controlled interaction of a single particle of matter with a single photon is the essence of fundamental experiments testing the theory of electronic structure of atomic systems or, in general, quantum electrodynamics. It is also a building block of quantum memories – devices allowing the storage and reliable retrieval of quantum states. The second part of my talk will be devoted to experiments on photon-matter interaction [3], where a sample is illuminated with a single photon [4].

References

- [1] A. Scott, T. Jennewein, J. Cain, I. D'Souza, B. Higgins, D. Hudson, H. Podmore, W. Soh, "The QEYSSAT mission: on-orbit demonstration of secure optical communications network technologies," Proc. SPIE 11532, Environmental Effects on Light Propagation and Adaptive Systems III, 115320H (20 September 2020)
- [2] J. Szlachetka, K. Joarder, P. Kolenderski; Ultrabright source of non-degenerate polarization-entangled photon pairs based on off-the-shelf polarization optics. *Appl. Phys. Lett.* 123 (2023), 144001
- [3] M. Gieysztor, M. Misiaszek-Schreyner, Joscelyn van der Veen, Wojciech Gawlik, Fedor Jelezko, P. Kolenderski "Interaction of a heralded single photon with nitrogen-vacancy centers in a diamond" *Opt. Express* 29 (2021), 564-570
- [4] M. Misiaszek-Schreyner, Alexander Divochiy, Yuri Vakhtomin, Pavel Morozov, Konstantin Smirnov, Philipp Zolotov, P. Kolenderski "Single photon detection system for visible and infrared spectrum range" *Opt. Lett.* 43 (2018), 6085-6088



CEZAMAT

Politechnika Warszawska



Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii (CEZAMAT)

Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii (CEZAMAT) Politechniki Warszawskiej to jednostka badawcza w Polsce, skoncentrowana na innowacjach w dziedzinie wysokich technologii. Nasze prace mają na celu rozwój przemysłowych rozwiązań, które odpowiadają na wyzwania współczesnego świata oraz wspierają rozwój przemysłu i społeczeństwa.

Nasze projekty

CEZAMAT prowadzi szereg projektów badawczych i rozwojowych, które są realizowane we współpracy z przemysłem oraz innymi jednostkami badawczymi. Nasze projekty koncentrują się na praktycznych zastosowaniach wyników badań, aby wprowadzić innowacje, które mają realny wpływ na różne sektory gospodarki.

Współpraca i partnerstwa

Współpracujemy z wiodącymi uczelniami, instytutami badawczymi i przedsiębiorstwami, zarówno krajowymi, jak i międzynarodowymi, aby wspólnie realizować ambicje naukowe i technologiczne. Nasza działalność opiera się na synergii wiedzy, technologii i doświadczenia, co pozwala nam osiągać przełomowe wyniki.

CEZAMAT.PW.EDU.PL



WYKŁADY ZAPROSZONE

Lasery włóknowe na zakres średniej podczerwieni

Stawomir SUJECKI^{1,2,3*}, Łukasz SÓJKA¹, Łukasz PAJEWSKI³, Mark FARRIES³, David FURNISS³, Sindy PHANG³, Trevor BENSON³, Emma BARNEY³, Angela SEDDON³

¹Wydział Elektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna,
gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

²Wydział Informatyki, Politechnika Wrocławska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

³The University of Nottingham, University Park, NG7 2RD Nottingham, UK

*slawomir.sujecki@wat.edu.pl

Od wielu lat prowadzone są intensywne badania naukowe w celu opracowania laserów włóknowych na zakres średniej podczerwieni. Przez ostatnią dekadę osiągnięto duży postęp w realizacji takich źródeł światła przy wykorzystaniu technologii włókien fluorkowych. Lasery włóknowe fluorkowe na zakres średniej podczerwieni oferowane są obecnie komercyjnie przez kilku dostawców. Jednakże wadą włókien fluorkowych jest to, iż nie mogą być one stosowane w przypadku długości fal większych niż 4000 nm ze względu na zbyt dużą energię fononów.

W celu osiągnięcia długości fal większych niż 4000 nm rozwijano przez wiele lat technologię włókien chalcogenidkowych¹. Główną przeszkodą w osiągnięciu akcji laserowej we włóknach chalcogenidkowych jest duża tłumienność tych włókien. Niemniej jednak w roku 2020 zespół badawczy profesora Churbanova zaprezentował pierwszy laser chalcogenidkowy (szkło objętościowe) domieszkowany jonami terbu o długości fali około 5000 nm². W następnym roku zespół badawczy z Nottingham osiągnął akcję laserową we włóknie chalcogenidkowym domieszkowanym jonami ceru³. Obecnie prowadzone prace badawcze koncentrują się na wytworzeniu włókien chalcogenidkowych o małej tłumienności, które umożliwiają osiągnięcie większej mocy wyjściowej. Ostatni rekord mocy wyjściowej lasera włóknowego chalcogenidkowego to 150 mW przy długości fali przekraczającej 5000 nm⁴.

Literatura

- [1] Sujecki S., *Modelling and design of lanthanide ion-doped chalcogenide fiber lasers: Progress towards the Practical realization of the first MIR chalcogenide fiber laser*, MDPI Fibers 6, (2018), id. 25
- [2] Churbanov M.F., Denker B.I., Galagan B.I., Koltashev V.V., Plotnichenko V.G., Sukhanov M.V., Sverchkov S.E., and Velmuzhov AP, *First demonstration of ~ 5 μm laser action in terbium-doped selenide glass*. Applied Physics B-Lasers and Optics 126, (2020) id. 117
- [3] Nunes J.J., Sojka L., Crane R.W., Furniss D., Tang Z.Q., Mabwa D., Xiao B., Benson T.M., Farries M., Kalfagiannis N., Barney E., Phang S., Seddon A.B., and Sujecki S., *Room temperature mid-infrared fiber lasing beyond 5 μm in chalcogenide glass small-core step index fiber*. Optics Letters 46, (2021), pp. 3504-3507.
- [4] Koltashev V.V., Denker B.I., Galagan B.I., Snopatin G.E., Sukhanov M.V., Sverchkov S.E., Velmuzhov A.P., and Plotnichenko V.G., *150 mW Tb³⁺ doped chalcogenide glass fiber laser emitting at λ > 5 μm*, Optics and Laser Technology 161, (2023), id. 109233

Polskie półprzewodnikowe lasery powierzchniowe emitujące promieniowanie z zakresu bliskiej podczerwieni

Karolina OLUCHA¹, Wioleta SŁABA¹, Marcin GĘBSKI², Magdalena ZADURA¹,
Karolina BOGDANOWICZ^{1,2}, Michał WASIAK², Marta WIĘCKOWSKA²,
Magdalena MARCINIAK², Patrycja ŚPIEWAK², Marek EKIELSKI¹,
Paweł MICHAŁOWSKI¹, Walery KOŁKOWSKI³, Iwona PASTERNAK³,
Włodzimierz STRUPIŃSKI³, Tomasz CZYSZANOWSKI², Anna SZERLING^{1*}

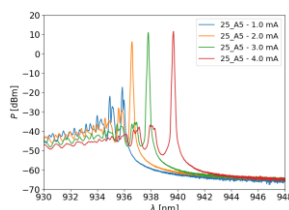
¹Lukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

²Instytut Fizyki, Politechnika Łódzka, Wólczańska 217/221, 93-005 Łódź

³Vigo Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

*anna.szerling@imif.lukasiewicz.gov.pl

Dynamiczny rozwój rynku elektroniki konsumenckiej w ostatnich latach znacząco zwiększył zapotrzebowanie na niedrogie, długowieczne, charakteryzujące się wysoką jakością wiązki oraz energooszczędne źródła światła laserowego. Idealnym rozwiązaniem spełniającym te wymagania są lasery VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers). W pracy zostaną zaprezentowane wyniki dotyczące polskich laserów VCSEL, w szczególności tych emitujących promieniowanie o długości fali 940 nm. Lasery VCSEL 940 nm mają ogromny potencjał aplikacyjny, dlatego trwają nieustanne prace nad podniesieniem ich funkcjonalności i wydłużeniem żywotności. Są one wykorzystywane w systemach rozpoznawania twarzy w smartfonach oraz w systemach LiDAR, które są kluczowe w autonomicznych pojazdach do wykrywania i unikania przeszkód. Ponadto lasery te znajdują zastosowanie w systemach śledzenia ruchu oczu (eye-tracking) w rzeczywistości wirtualnej (VR) i rozszerzonej (AR), a także w przemyśle motoryzacyjnym, gdzie są używane w wewnątrz-kabinowych systemach monitorowania kierowców w celu oceny ich poziomu zmęczenia oraz skupienia. Wykorzystuje się je również w aplikacjach biometrycznych, takich jak skanery tęczówki oka, oraz w sensorach optycznych stosowanych do monitorowania parametrów środowiskowych. Kolejnym zastosowaniem, w którym lasery VCSEL 940 nm pełnią rolę źródła, są bezprzewodowe systemy komunikacji optycznej, umożliwiające przesyłanie danych z dużą szybkością na krótkie dystanse. W pracy zostanie przedstawiona technologia wytwarzania tego typu przyrządów oraz zostaną omówione charakterystyki statyczne i dynamiczne laserów emitujących promieniowanie o długości fali 940 nm, wyhodowanych na podłożach Ge i GaAs, w tym także tych zaprojektowanych do pracy z wysoką szybkością modulacji w podwyższonych temperaturach. Zaprezentujemy wpływ średnicy apertury tlenkowej oraz innych parametrów geometrycznych i epitaksjalnych na wydajność tych urządzeń.



Rys. 1. Przykładowe widmo emisji VCSEL wyhodowanego na podłożu Ge

Fotonika w inżynierii biomedycznej i astrobiologii

Zygmunt MIERCZYK

Wojskowa Akademia Techniczna

Centrum Inżynierii Biomedycznej Instytutu Optoelektroniki

00-908 WARSZAWA, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego2

e-mail: zygmunt.mierczyk@wat.edu.pl

W referacie przedstawione zostaną specyficzne techniki badawcze z zakresu detekcji promieniowania elektromagnetycznego i jonizującego, w tym promieniowania kosmicznego oraz metody spektroskopii laserowej stosowane w pracach naukowo-badawczych realizowanych w Centrum Inżynierii Biomedycznej Instytutu Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej w obszarze inżynierii biomedycznej i astrobiologii.

W zakresie zastosowań fotoniki w inżynierii biomedycznej prace badawcze obejmują między innymi oddziaływanie pól fizycznych na organizmy żywe, w tym wpływ promieniowania elektromagnetycznego, pól elektrycznych i magnetycznych oraz promieniowania jonizującego na efekty biomolekularne. Badania te dotyczą analizy efektów makroskopowych w biologii molekularnej i medycynie, wynikających z oddziaływania promieniowania E-M na poziomie kwantowym. Metody spektrofluorymetryczne i zobrazowanie fluorescencyjne umożliwiają przeprowadzenie analizy uszkodzenia DNA na poziomie pojedynczej komórki człowieka oraz ocenę sprawności komórkowych systemów naprawczych, usuwających te uszkodzenia w postaci fragmentacji DNA pod wpływem czynników genotoksycznych. Metody te umożliwiają identyfikację oksydacyjnego uszkodzenia DNA (poprzez wolne rodniki tlenowe) oraz badanie prawidłowości przebiegu potencjalnie zaburzonego oddziaływaniem pól fizycznych cyklu komórkowego za pomocą barwienia fluorescencyjnego i analizie zawartości DNA metodą laserowej cytometrii przepływowej.

W zakresie zastosowań fotoniki w astrobiologii omówione zostaną wyniki badań realizowanych w Centrum Inżynierii Biomedycznej, w ramach projektów Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), dwóch polskich eksperymentów na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS), dotyczących analizy komórek krwi astronautów dla celów badań genetycznych oraz badanie zmian bakterii jelitowych w warunkach mikrogravitacji.

Przedstawione zostaną również wyniki badań detekcji promieniowania kosmicznego za pomocą optoelektronicznego detektora z kryształem scyntylacyjnym umożliwiającym bieżący pomiar, rejestrację i przesyłanie informacji dotyczących przyjętej dawki promieniowania kosmicznego. Wyniki pomiarów porównane zostaną z danymi pozyskanymi za pomocą detektora promieniowania kosmicznego w systemie z mikrokomputerem Raspberry Pi 4B i kamerami CMOS skorelowanego z programem CREDO (Cosmic-Ray Extremely Distributed Observatory), realizowanego przez WAT we współpracy z Instytutem Fizyki Jądrowej PAN. Dzięki temu możliwe jest określenie sprawności detekcji kosmicznego promieniowania jonizującego z zastosowaniem różnych metod optoelektronicznych i systemów informatyczno-telekomunikacyjnych.

W referacie omówione zostaną ponadto wyniki prac naukowo-badawczych dotyczących wpływu promieniowania kosmicznego na organizmy żywe. Badania te są istotne ze względu na rozwój przemysłu lotniczego i kosmicznego oraz konieczność monitorowania przyjętej dawki promieniowania kosmicznego, co jest szczególnie ważne z perspektywy bezpieczeństwa załóg statków powietrznych i stacji kosmicznych.

Lasery a medycyna – 60 lat współistnienia

Andrzej ZAJĄC

Instytut Optoelektroniki Wojskowa Akademia Techniczna, ul. gen Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
andrzej.zajac@wat.edu.pl

Symposium Techniki Laserowej ma swoją historię zawartą w okresie 1984 do 2024 (40 lat), lasery swoją historię budują od lat 60-tych ubiegłego wieku (64 lata lub 66 jeśli uwzględnić prekursora lasera półprzewodnikowego uczonych japońskich [1]). To „epizodyczne” zdarzenie trzeba odnieść do kilku tysięcy lat medycyny o historii ginącej w mrokach dziejów. Co najciekawsze medycyna już w świecie starożytnym nawiązywała do oddziaływania światła na pacjentów – wtedy oczywiście światła słonecznego filtrowanego przez dobrane do schorzenia filtry barwne. Naukowe działania związane ze światło- lecnictwem datowane są na początek XX w [2, 3, 4]. W tym okresie zastosowano sztuczne źródła światła – oczywiście nadal nie laserowe. Od lat 60 XX w uzupełniono ten zestaw źródeł o lasery. Rozpoczęła się „era laserowa” w medycynie. Od wczesnych lat 60 powstawały układy laserowe, oraz ich medyczne aplikacje pozwalające na skuteczną laseroterapię.

W Polsce prace nad układami laserowymi – i prawie równolegle – nad ich aplikacjami medycznymi realizowane są od początku lat 70-tych ubiegłego wieku. W prezentacji przedstawione zostaną główne nurty związane z opracowaniem laserowego sprzętu medycznego – zarówno w spektakularnym obszarze terapii wysokoenergetycznej (skalpele laserowe różnego rodzaju), terapii niskoenergetycznej (zabiegów biostymulacji oraz badań nad mechanizmami oddziaływań niskoenergetycznych), ale także silnie rozwijającej się diagnostyki z zastosowaniem promieniowania niespójnego i laserowego.

Pokazane zostaną przykładowe opracowania układów laserowych będących efektem prac krajowych zespołów naukowych i konstrukcyjnych, oraz ich usytuowanie na tle światowym w okresie ich powstawania [5, 6, 7].

Literatura

- [1] Japoński patent na laser półprzewodnikowy z 20. 09. 1960r (złożony 22. 04. 1957r)
- [2] Bloch H.; Solartheology, heliotherapy, phototherapy, and biologic effects: a historical overview. J Natl Med Assoc 1990; 82(7): 517-521.
- [3] 3. Ohshiro T., Calderhead R. G., Walker J. B., Low level laser therapy: A practical introduction, Chichester & New York, John Wiley & Sons, 1988.
- [4] Zajac A., Analysis of laser radiation energy distribution in biological media, materiały konferencyjne LASERMED'97, Monachium, 26, 1997
- [5] Z.Jankiewicz, A.Kukwa, J.Szydlak, A.Zajac, W.Żendzian, U.Jernajczyk, M.Tulibacki; Opracowanie i badanie aparatury do kolektywnego oddziaływania wiązek laserowych (Nd:YAG i Er:YAG) na tkanki, Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr. 8 8617 91 02/93r
- [6] A. Zajac; *The effect connected with the interaction of radiation of CTH:YAG and Er:YAG lasers with tissues*, str.110-111, LASER MEDIZIN, vol.11/no.2, June 1995r – LASERMED'95, 21-23.06.95, MONACHIUM
- [7] A.Zajac, J.Świderski, M.Skórczakowski, P.Nyga; Electrooptically Q-switched mid-infrared Er:YAG laser for medical applications, Optics Express, vol.12, No.21, pp. 5125-5130, 2004r,

MIRPIC/HyperPIC do fabryki układów fotoniki scalonej – od platformy technologicznej

Stanisław STOPIŃSKI^{1,2,3*}, Krzysztof ANDERS^{1,2,3}, Anna JUSZA^{1,3}, Marcin LELIT^{1,4}, Andrzej POŁATYŃSKI^{1,5}, Piotr WIŚNIEWSKI⁴, Mateusz SŁOWIKOWSKI⁴, Marcin JUCHNIEWICZ⁴, Jarosław JUREŃCZYK², Marek LIEBERT², Jacek OLSZEWSKI², Kamil PIERŚCIŃSKI⁶, Dorota PIERŚCIŃSKA⁶, Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,2,3}

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²VIGO Photonics S.A., Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

³LightHouse sp. z o.o., F. Stefczyka 34, 20-151 Lublin

⁴Politechnika Warszawska, Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT, Poleczki 19, 02-822 Warszawa

⁵VPIphotonics GmbH, Hallerstr. 6, 10587 Berlin

⁶Łukasiewicz - Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki SBŁ, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

*stanislaw.stopinski@pw.edu.pl

Technologie fotoniki scalonej osiągają coraz większą dojrzałość technologiczną, co umożliwia ewolucję od urządzeń laboratoryjnych do produktów o wartości rynkowej. Głównym motorem rozwoju pozostaje branża szeroko rozumianej transmisji danych, zarówno w systemach telekomunikacyjnych, jak i datacom. W ostatnich latach coraz wyraźniej rysuje się nowy obszar aplikacyjny, jakim są układy fotoniki scalonej do zastosowań czujnikowych, realizowanych dotychczas głównie w kontekście systemów światłowodowych – jak np. interrogatory siatek braggowskich, pracujących w zakresie długości fali 1550 nm. Ewolucja rozwiązań fotoniki scalonej w kierunku bardziej wszechstronnych systemów czujnikowych, umożliwiających m.in. detekcję gazów czy monitoring składu cieczy, otwiera zupełnie nowe i liczne obszary aplikacyjne, wymagając jednak opracowania niestandardowych rozwiązań technologicznych. Takie układy wymagają poszerzenia zakresu spektralnego pracy w kierunku promieniowania widzialnego (VIS) i średniej podczerwieni (mid-infrared, MIR). Szczególnie ten drugi pozwala na jednoznaczność detekcję różnego rodzaju substancji chemicznych m.in. ze względu na ich silne i dobrze zlokalizowane linie absorpcyjne w zakresie MIR. Wymaga to jednak stosowania innego rodzaju źródeł światła (laserów QCL i ICL), innych typów fotodetektorów (struktury InA/InAsSb) oraz platform materiałowych dla układów falowodowych (np. Ge-on-Si).

W niniejszej pracy zostaną przedstawione aktualne wyniki badań nad platformą technologiczną MIRPIC, opracowywaną przez VIGO Photonics, Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki SBŁ i Politechnikę Warszawską. Technologia MIRPIC umożliwia hybrydową integrację struktur aktywnych – laserów QCL i fotodetektorów supersieciowych InAs/InAsSb z pasywnymi układami falowodowymi realizowanymi w technologii german na krzemie (Ge-on-Si). W ramach wystąpienia zostanie przedstawiona ogólna koncepcja platformy, aktualne wyniki badań nad rozwojem elementów aktywnych i pasywnych, jak również pierwsze rezultaty prób technologicznych integracji laserów i detektorów z układami falowodowymi. Nakreślona zostanie również ścieżka komercjalizacji opracowywanych rozwiązań i budowy unikatowej fabryki fotonicznych układów scalonych na zakres MIR w ramach projektu HyperPIC.

Praca finansowana ze środków NCBiR, projekt „Technologie układów fotoniki scalonej na zakres średniej podczerwieni (MIRPIC)”, nr umowy TECHMATSTRATEG-III/0026/2019-00 oraz „HyperPIC - Fotoniczne układy scalone do zastosowań w średniej podczerwieni” (umowa nr FENG.02.10-IP.01-0005/23-00).

Lasery Kaskadowe dla zastosowań w detekcji gazów, komunikacji optycznej oraz systemach zintegrowanej fotoniki

**Kamil PIERŚCIŃSKI*, Maciej BUGAJSKI, Dorota PIERŚCIŃSKA, Grzegorz Sobczak,
Dominika NIEWCZAS, Agata KRZĄSTEK, Aleksandr KUŹMICZ, Piotr GUTOWSKI, Michał
NAGOWSKI, Krzysztof CHMIELEWSKI, Artur BRODA, Katarzyna PIENIAK**

Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki

*kamil.pierscinski@imif.lukasiewicz.gov.pl

Pierwszy działający kwantowy laser kaskadowy (z ang. Quantum Cascade Lasers – QCL) pracujący impulsowo w temperaturze został zademonstrowany w 1994r. przez grupę Federico Capasso z Bell Labs (USA). Lasery kaskadowe znalazły bardzo szybko zastosowanie w różnych dziedzinach nauki. Średnia podczerwień jest interesująca ze względu to, że atmosfera jest częściowo przezroczysta w tym zakresie widmowym jak również wiele związków chemicznych ma tam silne linie absorpcyjne, co umożliwia ich detekcję i identyfikację. Lasery QC emitujące na określonych długościach fal umożliwiają komunikację w wolnej przestrzeni, zdalne obrazowanie, oświetlenie i zastosowania wojskowe (infrared countermeasures). Lasery kaskadowe są także bardzo pożądanymi źródłami dla wielu aplikacji, posiadając przewagę nad innymi rozwiązaniami w kwestii zakresu dostępnych długości fal, szerokiej przestrajalności, emisji jednomodowej, czy kompaktowości oferując jednocześnie wysoką moc optyczną w temperaturze pokojowej.

Najbardziej atrakcyjnym zastosowaniem laserów emitujących promieniowanie z zakresu średniej podczerwieni jest obecnie detekcja gazów i komunikacja optyczna. QCL mają nieodłączną zaletę, która czyni je idealnymi kandydatami do optycznych systemów komunikacyjnych. Ze względu na pracę w zakresie widma podczerwieni oraz dużą szybkość modulacji są one bardzo atrakcyjnymi źródłami do budowy nadajników optycznych.

W pracy przedstawiono wyniki optymalizacji kwantowych laserów kaskadowych AlInAs/InGaAs/InP pod kątem zastosowania w systemach detekcji gazów oraz systemach zintegrowanej fotoniki.

Inżynieria Spójnego Dodawania Wiązek Światła stan obecny i perspektywy

Jan JABCZYŃSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki
jan.jabczynski@wat.edu.pl

Celem referatu jest przedstawienie współczesnego stanu technologii Spójnego Dodawania Wiązek Światła /*Coherent Beam Combining*/ (CBC) w tym podstawowych metod, schematów, ograniczeń i zastosowań. W szczególności zostaną omówione:

- schematy i ograniczenia CBC
- źródła laserowe do CBC w tym ich skalowalność i ograniczenia
- problemy propagacji CBC w atmosferze
- przegląd wybranych zastosowań CBC
- strukturalne światło CBC, w tym wirowe /*optical angular momentum*/ OAM-CBC
- algebra, własności OAM-CBC
- zastosowania CBC w telekomunikacji optycznej w swobodnej przestrzeni
- perspektywy rozwoju, w tym zakres widmowy, sztuczna inteligencja, przestrzeń kosmiczna

Przedstawione zostaną także wyniki prac prowadzonych w tej tematyce w IOE WAT.

Diody laserowe oparte o półprzewodniki III-N, wytworzenie, własności i zastosowania

Piotr Perlin^{1,2}

¹Instytut Wysokich Ciśnień PAN, Sokółowska 29/37, 01-142 Warszawa

²TopGaN sp. z o.o., Aleja Prymasa Tysiąclecia 98, 01-424, Warszawa

*piotr@unipress.waw.pl

Półprzewodniki z grupy III-N (AlInGaN) są kluczowymi materiałami dla nowoczesnej optoelektroniki. Emitery światła oparte na tych półprzewodnikach (diody laserowe i diody LED) mogą być dostosowane do pracy przy różnych długościach fal obejmujących widzialną i ultrafioletową część widma promieniowania elektromagnetycznego. Jednocześnie azotki metali grupy III są pierwszymi szeroko stosowanymi półprzewodnikami, które łączą szeroką przerwę energetyczną z niekubiczną strukturą krystalograficzną. Ta sytuacja zmusiła przemysł do zmierzenia się z kilkoma nowymi zjawiskami, takimi jak obecność silnego wewnętrznego pola elektrycznego w strukturach kwantowych, problem skutecznego domieszkowania oraz wreszcie obecność wysokiej gęstości dyslokacji. Udana realizacja laserów widzialnych i ultrafioletowych była impulsem do rozwoju wielu nowych aplikacji takich jak laserowe projektory multimedialne, laserowe światła samochodowe, laserowe spawarki metali kolorowych. Dodatkowo rozwój technologii kwantowych jest źródłem zapotrzebowania na lasery światła widzialnego o strojonej długości fali, do użycia w Dopplerowskim chłodzeniu atomów. Takie lasery są potrzebne na przykład dla nowych generacji optycznych zegarów atomowych. Wyzwaniem dla zastosowania laserów azotkowych jest integracja tych laserów w fotonicznych układach scalonych. W tej prezentacji omówione zostaną wyżej wymienione tematy w kontekście dotychczasowego rozwoju tej technologii w Polsce.

3D Quantitative Phase Imaging: the needs and new concepts

Małgorzata KUJAWIŃSKA^{1*}, Chao ZUO², Wojciech KRAUZE¹, Maciej TRUSIAK¹

¹Institute of Micromechanics and Photonics, Warsaw University of Technology,
8 Sw. A. Boboli St., 02-525 Warsaw

²Smart Computational Imaging Laboratory (SCI Lab), Nanjing University of Science and Technology,
Nanjing, Jiangsu 210094, China

*malgorzata.kujawinska@pw.edu.pl

Three-dimensional quantitative phase imaging (3D QPI) delivers volumetric information about the refractive index distribution within microobjects. Such imaging and measurement capabilities are of great interest for technical and biomedical applications, especially as they are complemented by high spatial resolution and basic, label-free sample preparation [1]. However 3D QPI techniques have still several limitations, which restrict their applicability [2]. The most significant problems are connected with:

- assuring comparable, fully quantitative results delivered by different 3D QPI systems (metrological assessment) including high accuracy data in full measurement volume;
- achieving high throughput of the system i.e. delivering subcellular imaging resolution and depth sectioning in large field of view;
- measurements of scattering objects i.e. thicker tissue slices, organoids, small animals;
- extending 3D QPI applications from *in vitro* (transmissive mode) to *in vivo* (reflectance mode) measurements.

The new concepts allowing to partly overcome these constraints will be presented. They include development of metrologically accepted phantoms for validation of 3D QPI systems for both weakly and strongly scattering objects [3,4], application of AI based methods and combining the interferometric (holographic tomography, HT) and non-interferometric (ptychography) QPI techniques to increase the throughput of 3D QPI systems [4] and finally combining concepts of optical diffraction tomography and optical coherence tomography to move towards *in vivo* measurements [6].

Funding: National Science Centre, Poland (2023/48/Q/ST7/00172), National Natural Science Foundation of China (62361136588), Polish Ministry of Education and Science (Polish Metrology, PM/SP/0079/2021/1) and Warsaw University of Technology under the program Excellence Initiative: Research University (IDUB).

Literature:

- [1] Y. Park, C. Depeursinge, G. Popescu, *Quantitative phase imaging in biomedicine*, Nature Photonics 12 (10) (2018) pp. 578–589.
- [2] V. Balasubramani et al., Roadmap on Digital Holography-Based Quantitative Phase Imaging, J. Imaging, 7 (2021), 252
- [3] M. Ziemczonok, A. Kuś, M. Kujawińska, Optical diffraction tomography meets metrology—Measurement accuracy on cellular and subcellular level, Measurement, 195 (2022), 111106,
- [4] W. Krauze, et al., 3D scattering microphantom sample to assess quantitative accuracy in tomographic phase microscopy techniques, *Scientific Reports* 12 (2022)
- [5] C. Zuo, J. Sun, J. Li, A. Asundi, Q. Chen, *Wide-field high-resolution 3D microscopy with Fourier ptychographic diffraction tomography*, Opt. and Lasers in Eng., 128 (2020), 106003
- [6] W. Krauze, M. Mazur, A. Kuś, *qtOCT: quantitative transmission optical coherence tomography*, arXiv preprint arXiv:2405.14315 (2024)

Optoelektronika we współczesnych systemach wojskowych

Marek ZYGMUNT

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
marek.zygmunt@wat.edu.pl

Współczesne pole walki jest nasycone sprzętem optoelektronicznym. Podstawę stanowią systemy obserwacyjne z użyciem kamer pracujących w różnych zakresach widma optycznego pozwalające na zwiększenie tzw. świadomości operacyjnej. Ale tak naprawdę systemy obserwacyjne stanowią tylko niewielki ułamek wykorzystywanego sprzętu.

Źródła promieniowania laserowego zintegrowane są z dalmierzami laserowymi, podświetlaczami laserowymi, z układami naprowadzania w wiązce laserowej, oświetlaczami laserowymi, laserowymi wskaźnikami celu. Ponieważ wymienione urządzenia najczęściej zintegrowane są z różnymi systemami uzbrojenia istotne jest aby budować urządzenia i systemy, które wykrywają promieniowanie laserowe generowane przez te środki określać ich kątowne położenie oraz analizować parametry odbieranych sygnałów optycznych w celu identyfikacji zagrożenia.

Systemy ostrzegania nie tylko wykrywają i ostrzegają przed promieniowaniem laserowym ale również promieniowaniem optycznym generowanym przez wszystkie rodzaje pocisków od odpalenia poprzez całą fazę lotu.

Identyfikacja zagrożenia pozwala na przeciwdziałanie, które nazywane jest „softkill” lub „hardkill”. Zadaniem układów „softkill” jest maskowanie ochranianego obiektu oraz zakłócanie układów naprowadzania przeciwnika. Systemy „hardkill” niszczą nadlatujące pociski w półsferze przestrzennej stanowiącej strefę bezpieczeństwa wokół chronionego pojazdu. Tego typu systemy noszą nazwę systemów obrony aktywnej pojazdu.

Kolejną grupę urządzeń stanowią skanery laserowe, umieszczane na pojazdach autonomicznych, do powietrznego rozpoznania terenu oraz detekcji małych dronów w strefach do 1500 m. Promieniowanie laserowe wykorzystuje się również do detekcji skażeń (lidary) i budowy broni laserowej.

Istotną rolę odgrywa łączność laserowa „ad-hoc” w warunkach „ciszy” radiowej na lądzie, wodzie i w powietrzu. Najnowszym trendem jest laserowa łączność satelitarna, pomiędzy satelitami i stacją naziemną.

Tak duża ilość środków optoelektronicznych generuje potrzebę integracji tego środowiska wprowadzenie pewnych standardów oraz budowę urządzeń wielofunkcyjnych, dokonujących fuzji pozyskanych informacji.

Kształtowanie i detekcja krótkich jednofotonowych impulsów światła

Jerzy SZUNIEWICZ, Adam WIDOMSKI, Maciej OGRODNIK, Ali GOLESTANI,
Michał MIKOŁAJCZYK, Sanjay KAPOOR, Filip SOŚNICKI, Michał KARPIŃSKI*

Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki, Pasteura 5, 02-093 Warszawa

*michal.karpinski@fuw.edu.pl

Krótkie jednofotonowe impulsy światła mają istotne znaczenie dla rozwoju komunikacji kwantowej i optycznego kwantowego przetwarzania informacji [1]. Kształtowanie krótkich impulsów światła na poziomie pojedynczych fotonów wymaga zastosowania innych metod niż używane są dla klasycznych impulsów światła o makroskopowym natężeniu. Dla jednofotonowych impulsów światła konieczne jest zastosowanie metod czysto fazowych, które nie wykorzystują modulacji amplitudy. Pokażemy, że przekształcenie impulsu o zadanym profilu czasowo-widmowym w dowolny inny impuls możliwe jest za pomocą jedynie dwóch nietrywialnych modulacji fazy: modulacji fazy spektralnej oraz modulacji fazy w czasie. Wymaga fazy mogą być znalezione za pomocą standardowego algorytmu odzyskiwania fazy, takiego jak algorytm Gerchberga -Saxtona. Przedstawimy wykorzystanie optymalizacji za pomocą uczenia maszynowego w celu znalezienia faz o niewielkiej zmienności oraz przedyskutujemy możliwość realizacji doświadczalnej przy wykorzystaniu złożonej szerokopasmowej elektro-optycznej modulacji fazy w czasie [2]. Przedstawimy również wyniki potwierdzające możliwość realizacji przekształceń dla światła z zakresu średniej podczerwieni.

Wykorzystanie krótkich impulsów światła w ramach optycznych technologii kwantowych wymaga rozwoju technik ich detekcji z rozdzielczością czasową. Przedstawiona uprzednio metoda chronometrii fourierowskiej umożliwia detekcję profilu czasowego krótkich impulsów światła, jednak nie umożliwia pomiaru fazy impulsów [3]. Przedstawimy wykorzystanie czasowego efektu Talbota do pomiaru fazy pomiędzy seriami krótkich impulsów światła w reżimie zliczania pojedynczych fotonów [4] oraz omówimy możliwe zastosowania w komunikacji kwantowej.

Podziękowania: Program Horyzont Europa Unii Europejskiej, umowa grantowa nr 101070700 (MIRAQLS).

Literatura

- [1] M. Karpiński, A. O. C. Davis, F. Sośnicki, V. Thiel, B. J. Smith, *Control and measurement of quantum light pulses for quantum information science and technology*, Adv. Quantum Technol. 4 (2021), p. 2000150
- [2] F. Sośnicki, M. Mikołajczyk, A. Golestani, M. Karpiński, *Interface between picosecond and nanosecond quantum light pulses*, Nature Photon. 17 (2023), p. 761
- [3] A. Golestani, A. O. C. Davis, F. Sośnicki, M. Mikołajczyk, N. Treps, M. Karpiński, *Electro-optic Fourier transform chronometry of pulsed quantum light*, Phys. Rev. Lett. 129 (2022), p. 123605
- [4] A. Widomski, M. Ogrodnik, M. Karpiński, *Efficient detection of multidimensional single-photon time-bin superpositions*, Optica 11 (2024), p. 926

Konstrukcje i materiały dla nowoczesnych detektorów podczerwieni pracujących w zakresie HOT

Jarek JUREŃCZYK*

VIGO Photonics S.A., Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

*jjurenczyk@vigophotonics.com

Współczesna fotonika stawia wyzwania wielu komponentom optoelektronicznym. Coraz większe, również komercyjne rynki, potrzebują coraz tańszych, a przy tym niezawodnych, czułych, szybkich oraz pracujących w wysokich temperaturach pracy detektorów. Stanowi to siłę napędową do modernizacji architektur oraz geometrii przyrządów, a także do poszukiwania nowych materiałów mogących sprostać coraz trudniejszym wymaganiom.

Plasmonic Nanostructures for Voltage Controlled Terahertz Photonics

Pavlo SAI^{1,2}, Maxime DUB^{1,2}, Grzegorz CYWINSKI^{1,2},
Vadym KOROTYEV^{1,2,3}, Wojciech KNAP^{1,2*}

¹CENTERA-CEZAMAT Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland

²Institute of High Pressure Physics, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland

³V. Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NASU, Kyiv, Ukraine

wojciech.knap@unipress.waw.pl

We present the main ideas and recent achievements of Terahertz Plasmonics. We show that Plasmonic Nanostructures can be used as unique voltage-tunable Terahertz detectors, filters, and amplifiers and can pave the way toward microelectronic technology based on Terahertz Photonics. Special attention will be given to still unsolved problems of Terahertz optical amplifiers - that, if successfully realized, can lead to THz emitters/lasers.

The first demonstration of THz amplification by graphene nanostructures [1,2] raised many fundamental questions like: i) is the graphene really necessary ii) can one scale results obtained on sub-wavelength (μm scale) graphene flakes up to practical size (mm scale) devices. We present recent results on GaN/AlGaIn-based plasmonic structures obtained in CENTERA-Warsaw, showing that in many aspects GaN-based structures mimic graphene nanostructures used in the first amplification experiments. The results allow us to identify the main challenges on the way towards realistic (practical size) plasmonic amplifiers of THz radiation [3,4].

Acknowledgments: Research Funded by the European Union (ERC ADVANCED PROJECT - TERAPLASM #101053716). The work was also supported by the “International Research Agendas” Projects CENTERA & CENTERA2 of the Foundation for Polish Science co-financed by the European Union under the European Regional Development Fund (Grant No. MAB/2018/9 for CENTERA & FENG.02.01-IP.05-T004/23 for CENTERA2).

References

- [1] S. Boubanga-Tombet, W. Knap, D. Yadav, A. Satou, D. B. But, V. V. Popov, I. V. Gorbenko, V. Kachorovskii, and T. Otsuji Room, “Temperature Amplification of Terahertz Radiation by Grating-Gate Graphene Structures”, *Phys. Rev. X* 10, 031004 (2020)
- [2] T. Otsuji, S. A. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, H. Fukidome, T. Watanabe, T. Suemitsu, A. A. Dubinov, V. V. Popov, W. Knap, V. Kachorovskii, K. Narahara, M. Ryzhii, V. Mitin, M. S. Shur and V. Ryzhii, “Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors”, *Nanophotonics*, vol. 11, no. 9, p.45-48 (2022)
- [3] [4] P. Sai, V. V. Korotyeyev, M. Dub, M. Słowikowski, M. Filipiak, D. B. But, Yu. Ivonyak, M. Sakowicz, Yu. M. Lyaschuk, S. M. Kukhtaruk, G. Cywiński and W. Knap, “Electrical Tuning of Terahertz Plasmonic Crystal Phases”, *Phys. Rev. X* 13, 041003 (2023)
- [4] M. Dub, D. B. But, P. Sai, Yu. Ivonyak, M. Słowikowski, M. Filipiak, G. Cywinski, W. Knap and S. Rumyantsev, “Plasmons in AlGaIn/GaN grating-gate structure probing with 300 K background illumination”, *AIP Advances* 13, 095017 (2023)

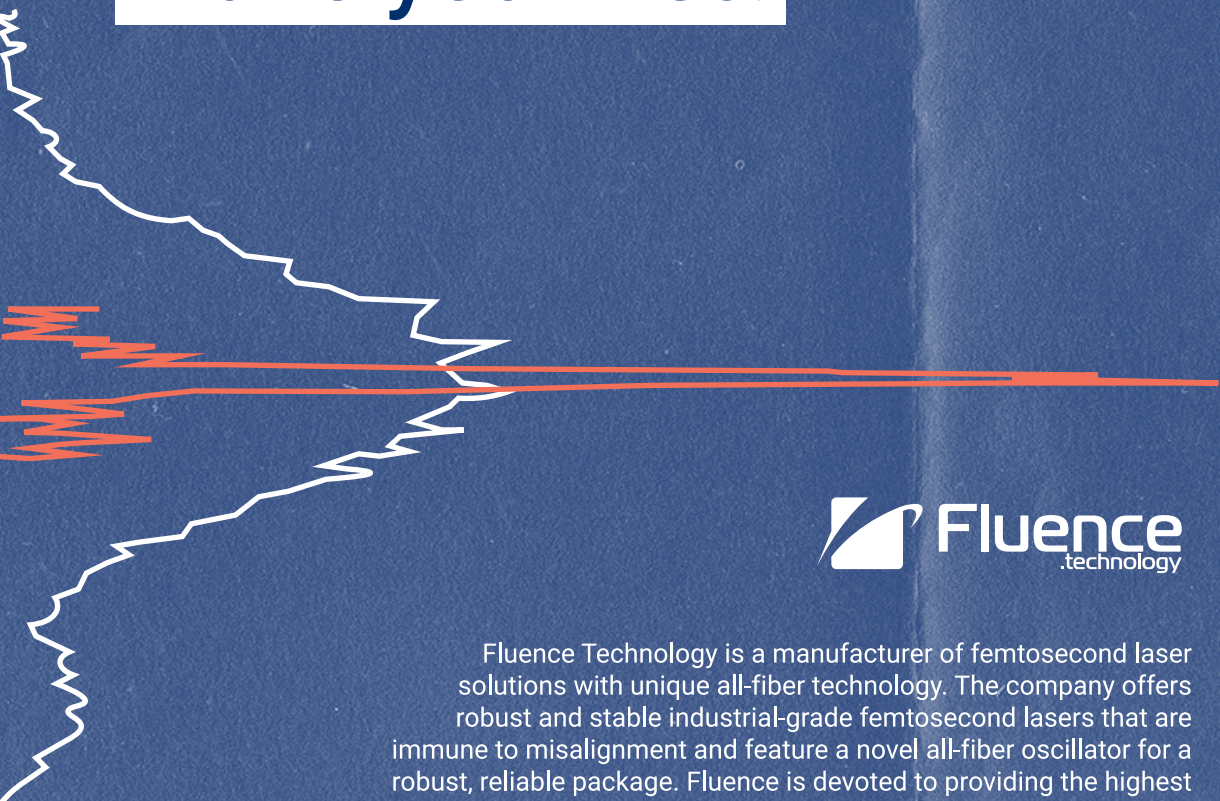
Rozwój detektorów SWIR, MWIR i LWIR w laboratorium WAT-VIGO

Małgorzata KOPYTKO

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
malgorzata.kopytko@wat.edu.pl

Technologia supersieci typu II (T2SL) otworzyła nowe możliwości w dziedzinie detekcji podczerwieni (IR) w całym zakresie długości fal, od rozszerzonych fal krótkich (eSWIR) do fal bardzo długich (VLWIR). Dzięki zaawansowanym projektom struktur barierowych, które skutecznie blokują prądy ciemne i prądy upływu powierzchniowego, możliwe stało się podwyższenie pracy detektora IR.

W pracy przedstawione zostaną wyniki dla pojedynczych detektorów IR z T2SL wytwarzanych w laboratorium WAT-VIGO, w tym wyniki dla pierwszej matrycy detektorów w formacie 640×480 pikseli, ze skokiem piksela 15 μm i długofalową granicą czułości do 5 μm (zakres MWIR), i prezentacją kontynuowanej ścieżki rozwoju w kierunku matrycy detektorów na zakres LWIR.



Why be second
when our femtoseconds
make you first?



Fluence Technology is a manufacturer of femtosecond laser solutions with unique all-fiber technology. The company offers robust and stable industrial-grade femtosecond lasers that are immune to misalignment and feature a novel all-fiber oscillator for a robust, reliable package. Fluence is devoted to providing the highest quality standards and product reliability, offering a product lifetime that extends well over the warranty period.

<https://fluence.technology>

Femtosecond fiber lasers

superior lifetime & performance

**Industry-first 5-year warranty
on the laser oscillator**

Display Glass Cutting - Nano-Structuring -
- Biomedical Imaging - Coating -
Material Processing - Micro-Machining -
Additive Manufacturing - Direct Laser Writing -
Thin Film Patterning - Laser Machining
of Battery Components - Surface
Treatment for Adhesion Enhancement -
TGV Manufacturing - Laser Machining
for Fuel Injectors - Micro-Welding -
Nano-Patterning - Biomedical Imaging -



PREZENTACJE USTNE

Laserowo plazmowe źródła promieniowania z zakresu 100 – 200 nm: w czym problem?

**Andrzej BARTNIK*, Martyna WARDZIŃSKA, Mateusz MAJSZYK, Tomasz FOK,
Łukasz WĘGRZYŃSKI, Przemysław WACHULAK, Henryk FIEDOROWICZ**

Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna,
gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

*andrzej.bartnik@wat.edu.pl

Dla wielu zastosowań w nauce i technologii wykorzystywana jest plazma laserowa, w tym jako wydajne, impulsowe źródło promieniowania rentgenowskiego (ang. soft X-ray, SXR) czy skrajnego nadfioletu (ang. extreme ultraviolet, EUV). Wydawałoby się zatem naturalne zastosowanie takiej plazmy w charakterze impulsowego źródła promieniowania również w zakresie długości fal powyżej 100 nm. Pojawia się tu jednak szereg problemów, których nie ma w przypadku źródeł SXR/EUV. Pierwsza sprawa to efektywność. Plazma laserowa, stanowiąca źródło promieniowania SXR/EUV, wytwarzana jest w wyniku oddziaływania impulsów laserowych dużej mocy z różnego typu tarczami, w warunkach próżni. Wytwarzana w tej sytuacji plazma, ma na tyle wysoką temperaturę, że maksimum emisji przypada na zakres SXR lub EUV. W tej sytuacji, emisja w zakresie $100 < \lambda < 200$ nm stanowi niewielką część całkowitej emisji. Drugi problem, to widmo promieniowania. W wielu przypadkach, korzystne byłoby uzyskanie kwazi-ciągłego widma, bez silnych, izolowanych linii widmowych. Okazuje się, że jest to problem, min. ze względu na obecność silnych linii pochodzących od atomów gazów resztkowych. Trzeci problem to elementy optyczne dla tego typu zakresu widmowego. Typowe szerokopasmowe zwierciadła oferowane są dla zakresu $\lambda > 250$ nm a dostępne filtry, z maksimum transmisji w zakresie 120 – 150 nm, wykazują stosunkowo dużą transmisję w zakresie $\lambda > 200$ nm. Jest jeszcze kilka innych problemów, które nie występują w zakresie SXR/EUV.

Nasz zespół zajmuje się laserowo plazmowymi źródłami promieniowania, bazującymi na oddziaływaniu z tarczami gazowymi oraz zastosowaniami tych źródeł. W ostatnich latach prowadzimy też badania, wymagające stosowania źródeł z zakresu $\lambda > 100$ nm. W niniejszym komunikacie przedstawione zostaną wyniki badań tego typu źródeł. Przedstawione zostaną różne konfiguracje eksperymentalne, umożliwiające wytwarzanie promieniowania o wymaganym zakresie widmowym, problemy z dedykowanymi układami optycznymi oraz układami pomiarowymi.

Dlaczego średnia podczerwień? - studium przypadku

Zofia LORENC*

VIGO Photonics S.A., Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

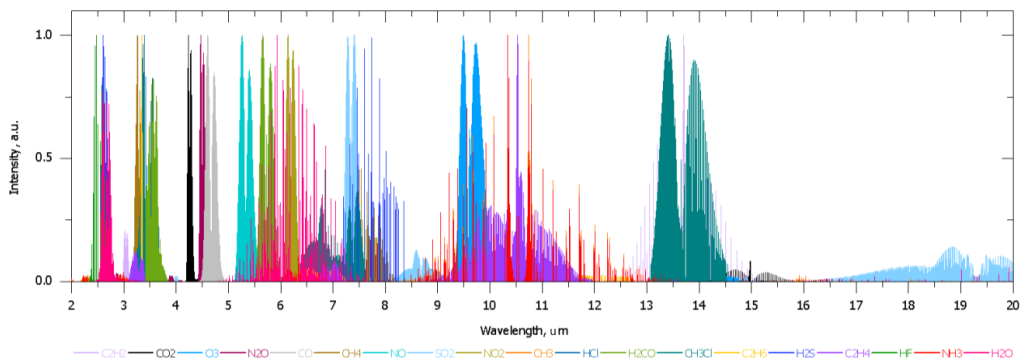
*zlorenc@vigophotonics.com

W dzisiejszym świecie pędzącego rozwoju technologicznego dobór najbardziej odpowiedniego narzędzia do rozwiązania danego problemu staje się wyzwaniem. Mnogość proponowanych na rynku technik nieraz wymaga od użytkownika szerokiej wiedzy z różnych dziedzin, aby móc wychwycić czasem drobne, lecz istotne różnice. Niekiedy ograniczenie się do jednej technologii nie pozwala zauważyć, że lepsze rezultaty udałoby się osiągnąć, korzystając z alternatywnego rozwiązania.

Referat prezentuje dwa studia przypadku zdarzeń dramatycznie istotnych dla zdrowia i życia człowieka. Przegląd dostępnych technik prewencji wybuchów w kopalniach oraz wykolejania się pociągów wskaże pozytywne i negatywne strony zastosowań różnych strategii inżynierskich. Argumenty stojące za wykorzystaniem optycznej metody bazującej na czujnikach pracujących w zakresie średniej podczerwieni staną się podstawą, do dalszej, szczegółowej analizy doboru najlepszego rozwiązania przeciwdziałania tragediom górniczym oraz kolejowym.

Zostanie omówiony krok po kroku dobór odpowiedniego produktu z portfolio VIGO Photonics, który najlepiej wpisuje się w wymagania urządzeń wykorzystywanych w prezentowanych zastosowaniach. Dzięki zgłębieniu takich zagadnień jak dobór charakterystyki spektralnej, chłodzenie, immersja czy szybkość działania, słuchacz będzie miał okazję przejść pełną ścieżkę dopasowania detektora średniej podczerwieni do stawianych przed nim wymagań. Dowie się nie tylko o faktach ale również zapozna się z próbą odpowiedzi na pytanie "dlaczego?".

W pracy zacytowano wiele publikacji naukowych grup badawczych z całego świata, z powodzeniem wykorzystujących produkty VIGO Photonics.



Rys. 1. Wykres absorpcji wybranych związków chemicznych w zakresie 2-20 µm (wartości intensywności znormalizowane). Dzięki takiej charakterystyce spektralnej wykrycie i rozróżnienie związków jest możliwe.

Badania antropogenicznych zanieczyszczeń ekosystemów wodnych z wykorzystaniem fotonicznych technik pomiarowych

Kamil BARCZAK¹, Łukasz DREWNIĄK¹, Piotr KAŁUŻYŃSKI¹, Aneta OLSZEWSKA¹,
Ewa ŁOBOS-MOYSA², Izabela ZIMOCH², Agnieszka STOLARCZYK³, Erwin MACIAK^{1*}

¹Katedra Optoelektroniki Politechnika Śląska, ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice

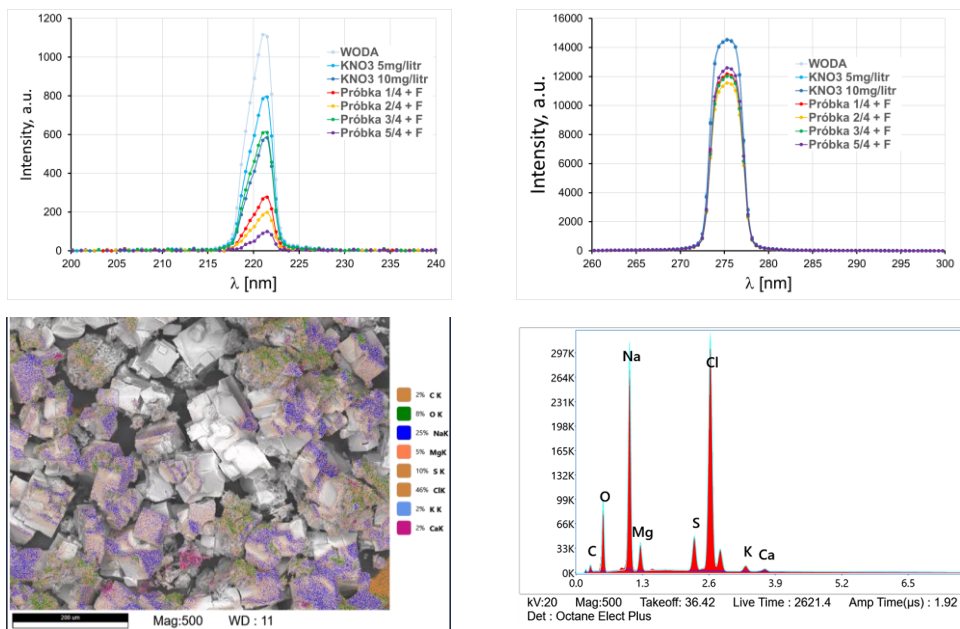
²Katedra Inżynierii Wody i Ścieków Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice,

³Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów Politechnika Śląska,

ul. ks. M. Strzody 9, 44-100 Gliwice,

*emaciak@polsl.pl

Wg GIOS, głównymi zanieczyszczeniami wód pochodzenia antropogenicznego w Polsce są: azotany, fosforany, metale ciężkie, pestycydy chloroorganiczne, polichlorowe bifenyle (PCB), hormony, farmaceutyki oraz mikroplastik. Z uwagi na dużą różnorodność zanieczyszczeń, konieczne jest stosowanie szerokiego spektrum technik analitycznych do ich wykrywania, obrazowania i analizowania. Integracja wyników z różnych metod badawczych jest z kolei niezbędna do uzyskania kompleksowego obrazu stanu jakości wód. Znajomość stanu pozwala na opracowania skutecznych strategii i scenariuszy ich ochrony. W ramach niniejszej pracy przedstawione zostaną zastosowania bezodczynnikowych fotonicznych technologii pomiarowych do badania zanieczyszczeń ekosystemów wodnych związkami azotu przy użyciu spektroskopii absorpcyjnej w paśmie UVC. Ponadto przedstawione zostaną wstępne wyniki badań innych zanieczyszczeń mogących prowadzić lub katalizować niekontrolowany zakwit glonów z gatunku *Prymnesium parvum* („złota alga”) w ekosystemie wodnym Kłodnica/Kanał Gliwicki. Na rys. 1 przedstawiono przykładowe wyniki badań.



Rys. 1. Wyniki spektrometrycznych pomiarów próbek pochodzących z ekosystemu wodnego Kłodnica.

PhotonHub Europe - oferta dla firm, organizacji badawczych i studentów

Maciej J. NOWAKOWSKI*

Polska Platforma Technologiczna Fotoniki, Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

*mnowakowski@pptf.pl

PhotonHub Europe to europejska sieć wsparcia dla firm wprowadzających technologie fotoniczne do swoich produktów lub procesów. Usługi technologiczne to główna, lecz nie jedyna usługa PhotonHub - ma on także bogatą ofertę szkoleniową dla instytucji i osób indywidualnych. PhotonHub wspiera również startupy.

Opracowanie innowacyjnego fotonicznego systemu monitoringu zasobów wodnych

Jerzy KALWAS^{1*}, Filip ŁABAJ^{1,2}, Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,2}, Edyta KIEDRZYŃSKA³

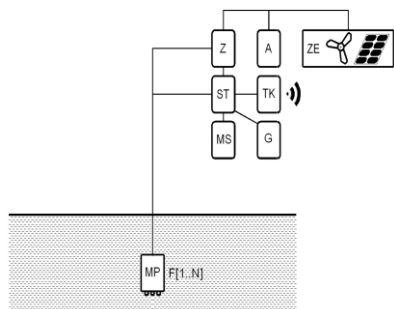
¹VIGO Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

² Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, ,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

³Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii, Polskiej Akademii Nauk, ERCE PAN,
ul. Tylna 3, 90-364 Łódź

*jkalwas@vigophotonics.com

Celem prezentowanego projektu jest Opracowanie Innowacyjnego Fotonicznego Systemu Monitoringu Zasobów Wodnych umożliwiającego ciągłe i co ważne bezodczynnikowe monitorowanie zawartości azotanów, azotynów, fosforanów i jonów amonowych- będących głównymi substancjami odpowiadającymi za eutrofizację wód. Podstawową jednostką monitorującą będzie Autonomiczna Sonda Pomiarowa (rys. 1.), umożliwiająca pomiar wybranych parametrów i przesyłanie wyników do centralnej jednostki nadzorującej sieć czujników.



Rys. 2. Koncepcja blokowa Autonomicznej Sondy Pomiarowej do monitorowania parametrów jakościowych wód powierzchniowych: MP-moduł pomiarowy (N- funkcji pomiarowych), Z-moduł zasilania, A-akumulator, ZE- zespół energetyczny (turbina, panele), ST- sterownik, TK- terminal telekomunikacyjny, MS-moduł pomiarów czynników środowiskowych, G- moduł geolokalizacyjny.

Przedstawione zostaną ogólne informacje dotyczące źródeł zanieczyszczeń wód powierzchniowych, istniejących rozwiązań systemowych a także znormalizowanych wybranych procedur pomiarowych. Spektroskopia podczerwieni umożliwia identyfikację poszczególnych substancji na podstawie pomiaru częstości drgań charakterystycznych dla poszczególnych grup funkcyjnych [1]. Istniejąca aparatura nadaje się jednak do pomiarów laboratoryjnych. Postęp w dziedzinie miniaturyzacji pozwala na opracowywanie coraz mniejszych urządzeń wykorzystujących np. fiber-optic evanescent wave spectroscopy (FEWS) [2] lub surface enhanced Raman spectroscopy (SERS) [3]. Również w tym kierunku prowadzone są prace w ramach realizowanego projektu.

Literatura

- [1] D.J. Goebbert, E. Garand, T. Wende, R. Bergmann, G. Meijer, K.R. Asmis, D.M. Neumark, Infrared Spectroscopy of the Microhydrated Nitrate Ions $\text{NO}_3\text{-(H}_2\text{O)}$ 1-6, J. Phys. Chem. A 2009, 113, 7584–7592
- [2] K. Roodenko, D. Hinojos, K. Hodges, J.-F. Veyan, Y. J. Chabal, K.P. Clark, A. Katzir, D. Robbins, Non-dispersive infrared (NDIR) sensor for real-time nitrate monitoring in wastewater treatment, Event: SPIE BiOS, 2019, San Francisco, California, United States
- [3] S. Gajaraj, C. Fan, M. Lin, Z. Hu, Quantitative detection of nitrate in water and wastewater by surface-enhanced Raman spectroscopy, Environ Monit Assess (2013) 185:5673–5681

FoSMoWater- Program realizowany dzięki wsparciu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu strategicznego HYDROSTRATEG (HYDROSTRATEG1/000E/2022).

Odształtalność siatek Bragga zapisywanych laserem ArF

Małgorzata GARBACKA^{1*}, Kamil BADURA¹, Łukasz BEDNARSKI², Rafał SIENKO³

¹SHM System Sp. z o.o., Sp. komandytowa,
Libertów, ul. Jana Pawła II 82A, 30-444 Kraków

²Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
Akademia Górniczo-Hutnicza, Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

³Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
*małgorzata.garbacka@shmsystem.pl

W ramach projektu POIR.01.01.01-00-0172/22 opracowano siatki Bragga odporne na podział widma w pomiarach niejednorodnych odkształceń, które występują m.in. podczas badań materiałów kompozytowych oraz stali w zakresie odkształceń plastycznych. Siatki te zostały zapisane na stanowisku NORIA za pomocą lasera ArF o długości fali 193 nm metodą maski fazowej. Charakteryzowały się one jednak stosunkowo niską wytrzymałością mechaniczną, co przełożyło się na znaczne ograniczenie zakresu odkształtalności, poniżej 1%.

Odształtalność, obok dokładności, jest kluczowym parametrem definiującym jakość każdego czujnika odkształceń, dlatego podjęto badania w celu określenia wpływu warunków zapisu na odkształtalność siatek Bragga. Podejrzewa się, że wysoka efektywność procesu absorpcji światła UV, charakteryzująca długość fali 193 nm, mogła powodować nieodwracalne uszkodzenia płaszcza światłowodu [1,2], szczególnie w przypadku włókien światłowodowych o średnicy płaszcza $\phi 80 \mu\text{m}$. W związku z tym w pracy omówiono również wpływ techniki usuwania akrylowego pokrycia światłowodu na uzyskaną odkształtalność. Wyniki porównano z parametrami siatek zapisanych metodą punkt-po-punkcie przy użyciu lasera femtosekundowego, które według danych producenta osiągają odkształtalność na poziomie do 6%.

Literatura

- [1] J. Albert, B. Malo, F. Bilodeau, D. C. Johnson, K. O. Hill, Y. Hibino., M. Kawachi, *Photosensitivity in Ge-doped silica optical waveguides and fibers with 193-nm light from an ArF excimer laser*, Opt. Lett. 19, 387-389 (1994)
- [2] D.S. Gunawardena, K.A. Mat-Sharif, N. Tamchek, MH. Lai, N.Y. Omar, S.D Emami, S.Z. Muhamad-Yasin, M.I. Zulkifli, Z. Yusoff , H.A. Abdul-Rashid, K.S. Lim, H. Ahmad *Photosensitivity of gallium-doped silica core fiber to 193 nm ArF excimer laser*. Appl Opt. 54, 5508-5512 (2015)

Luminescent nanoparticles for biomedical applications

G. Lesly JIMENEZ^{1*}, Carlos VAZQUEZ-L.², Daniel MORALES-M.³, Dominik DOROSZ¹

¹Faculty of Materials Science and Ceramics, AGH University of Krakow,
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland

²Physics department, Cinvestav, Av Instituto Politécnico Nacional 2508, Mexico City, Mexico

³Department of Chemical Sciences, University of Padova, 1, Via Marzolo, Padova, 35131, Italia
*glesly@agh.edu.pl

Nanomaterials able to convert an external stimulus into a response and then return to their initial state such as magnetic (M)- and photoluminescent (PL)- nanoparticles, have contributed to the development of advanced biomedical technologies, offering less invasive and more efficient solutions. [1] Among these, PL nanoparticles (light-responsive) are particularly promising due to their immediate response. They have been utilized in bioimaging, drug delivery, and optogenetics (OG). OG, though relatively new, is one of the most promising techniques due to its ability to modulate cell activity with high precision. It holds significant potential for treating neurological diseases as well as conditions like blindness, deafness, and heart disease more effectively. [2–4] However, the reliance on visible light limits its application. To overcome this limitation, one promising strategy involves using lanthanide upconversion nanoparticles (Ln-UCNPs) as light nanotransducers. These nanoparticles can convert near-infrared wavelengths (NIR), which offer better tissue penetration and low scattering, into visible light. [5] Despite their exceptional property and the insights gained from conventional heating methods (solvothermal and co-precipitation reactions), Ln-UCNPs still face challenges including low efficiency, relatively large size, morphology control issues, and limited scalability and reproducibility. Previous studies have shown that many of these limitations can be mitigated by using a microwave reactor (MR) with polar-solvents or microwave absorbers like liquid ions (LI). However, their emission efficiency is low. [6]

Based on it, the objectives of this work were as follows: first, to determine if it is possible to develop Ln-UCNPs (α - and β - NaYF₄) using non-polar solvents without LI in a closed-vessel MR, meaning a pressurized reaction. Second, to evaluate the influence of different transition metals on the physicochemical properties of α - and β - NaYF₄ under optimized conditions. Third, to understand the influence of microwave irradiation on the reaction kinetics to explore other matrices. This approach aims to develop small (<30nm), monodispersed Ln-UCNPs with improved conversion efficiency, which could impact not only biomedical applications but also other fields. The reaction conducted in a closed-vessel MR at 290°C for 30 min, using non-polar solvents and acetylacetonates precursors, resulted in spherical, homogeneous α -NaYF₄ nanoparticles with sizes ranging from 20 to 80 nm, depending on the precursor used. The β -NaYF₄ phase was favored when a small amount of NaOH was added alongside the Na source. Additionally, the use of co-dopants like Li, Gd, Pt, and Zn influenced not only the structural and morphological properties but also photoluminescent characteristics, including intensity and decay times. These findings demonstrate that a deep understanding of reaction kinetics in a MR not only enables successful tailoring of the NPs but also improves their emission efficiency.

[1] R.S. Ajee et al., Upconversion nanoparticles and their potential in the realm of biomedical sciences and theranostics, J. Nano. Res. 26 (2024).

[2] J. ying Chen et al., The PrLglu→avBNSTGABA circuit rapidly modulates depression-like behaviors in male mice, iScience 26 (2023).

[3] J.A. Sahel et al., Partial recovery of visual function in a blind patient after optogenetic therapy, Nat Med 27 (2021) 1223–1229.

[4] C. Richter et al., No light without the dark: Perspectives and hindrances for translation of cardiac optogenetics, Prog Biophys Mol Biol 154 (2020) 39–50

[5] Z. Zhang et al., Modularly Assembled Upconversion Nanoparticles for Orthogonally Controlled Cell Imaging and Drug Delivery, ACS Appl Mater Interfaces 12 (2020) 12549–12556.

[6] R. Krishnan et al., Recent advances in microwave synthesis for photoluminescence and photocatalysis, Mater Today Commun 32 (2022)

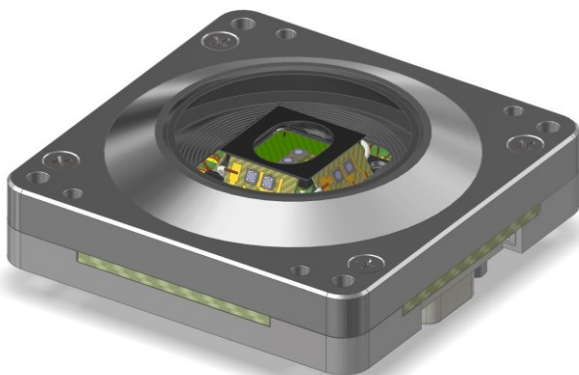
Satelitarny sensor położenia Słońca

Bartosz SĘDEK*, Marek ZYGMUNT, Krzysztof KOPCZYŃSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
*bartosz.sedek@wat.edu.pl

Sensory położenia Słońca (ang. Sun Sensor) są często stosowane w systemach zarządzania orientacją satelitów na orbicie ze względu na ich niewielkie rozmiary i masę. W zależności od konstrukcji, sensory te umożliwiają wyznaczanie kątowej pozycji Słońca z dokładnością $\sigma < 0,1^\circ$ [1]. Niemniej jednak, opracowanie precyzyjnego sensora stanowi wyzwanie, głównie z powodu trudnych warunków środowiskowych, w których musi działać. Dodatkowym wyzwaniem jest wpływ promieniowania słonecznego rozproszonego od powierzchni i atmosfery Ziemi, który może negatywnie wpływać na dokładność wskazań[2].

W ramach misji PIAST (Polish ImAging SaTellittes) został opracowany precyzyjny sensor położenia Słońca (rys. 1). Zostanie on umieszczony na satelitach, których start jest planowany na październik 2025r.



Rys. 1. Wizualizacja opracowanego sensora położenia Słońca

Ze względu na warunki środowiskowe opracowany sensor został poddany badaniom termicznym, termiczno-próżniowym oraz strukturalnym. Do zapewnienia wysokiej precyzji wskazań zostało opracowane specjalistyczne stanowisko umożliwiające pomiar dokładności kątowej, przy pomocy którego przeprowadzono wstępne badania. Ponadto rozpoczęto pracę nad zmniejszeniem wpływu promieniowania rozproszonego na dokładność wskazań sensora.

Literatura

- [1] Young-Keun Chang, Mi-Yeon Yun, Byung-Hoon Lee - A new modeling and validation of two-axis miniature fine sun sensor, *Sensors and Actuators A: Physical* 2007
- [2] L. Frezza, F. Santoni, F. Piergentili – Sun direction determination improvement by albedo input estimation combining photodiodes and magnetometer, *Acta Astronautica* 2022

Systemy czujnikowe DFOS, DAS oraz ultra-stabilne źródła RIO Lasers (LUNA)

Jakub KORYCIŃSKI, Tomasz STAŃCZYK, Jakub BUTKIEWICZ

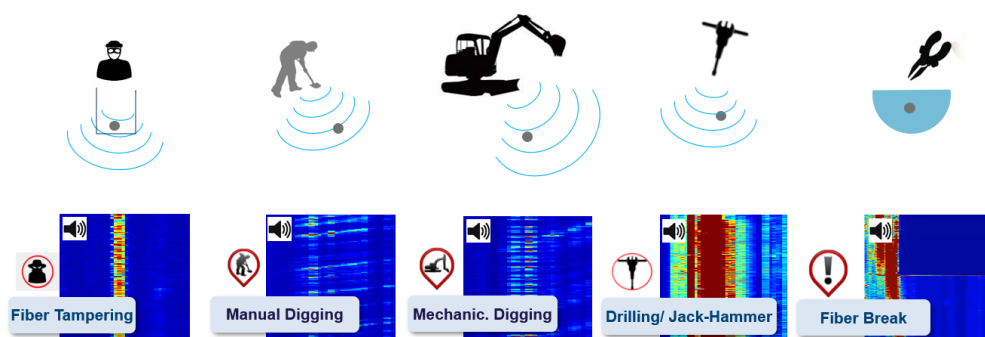
INTERLAB sp. z o. o., Kosiarzy 37, 02-953 Warszawa
interlab@interlab.pl

(DFOS - Distributed Fiber Optics Sensing, DAS – Distributer Acoustic Sensing).

Systemy wykorzystujące zwykłe kable telekomunikacyjne jako czujniki temperatury, odkształceń czy drgań akustycznych (długość nawet 100km) stały się popularnym narzędziem detekcji. Światłowodowy czujnik pożarowy w alpejskich tunelach samochodowych i kolejowych, to już standard. Podobny trend istnieje w obszarze monitoringu konstrukcji mostowych, wiaduktów czy innych budowli inżynierskich. Także nadzór ruchu wzdłuż granicy państwowej, ogrodzenia wokół lotnisk, czy ruchu statków wzdłuż rurociągów i podmorskich kabli energetycznych jest dziś realizowany właśnie za pomocą ciągłych czujników światłowodowych (w tym wypadku DAS).

Sercem większości tych systemów są wyjątkowo stabilne lasery dostarczane przez RIO (blisko 80% rynku, część koncernu LUNA), lub przez firmę NKT Photonics (specjalizacja w rozwiązaniach dla platform wiertniczych). W wypadku RIO mamy do czynienia z mikroczipami ze specjalnie stabilizowaną diodą laserową, podczas gdy w wypadku NKT są to lasery włóknowe z aktywną stabilizacją piezo, która daje też możliwość przestrajania w wąskim zakresie widmowym.

Oczywiście pozyskanie dobrej jakości sygnału jest bardzo istotne, ale najistotniejsza jest jego analiza za pomocą specjalnych detektorów (opracowywanych często za pomocą AI), czyli oprogramowania umożliwiającego detekcję i identyfikację źródła sygnału, a następnie klasyfikację alarmów dla potrzeb centrum monitoringu.



**Rys. 1. Przykładowe wzorce akustyczne charakterystyczne dla typowych zagrożeń gazociągów.
(materiały dydaktyczne LUNA – OptaSense)**

Kompozytowe warstwy falowodowe $\text{SiO}_x\text{:TiO}_y$ platformą fotoniki scalonej na zakres spektralny Vis-NIR

*Paweł KARASIŃSKI, Magdalena ZIĘBA, Cuma TYSZKIEWICZ

Politechnika Śląska, Katedra Optoelektroniki, ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice

*adres e-mail: pawel.karasinski@polsl.pl

Fundamenty fotoniki scalonej to: optyka światłowodowa i technologie cienkowarstwowe. Dominującym aktualnie nurtem w rozwoju fotoniki scalonej są układy wytwarzane w technologiach CMOS (ang. *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) do zastosowań w centrach danych i w telekomunikacji (pasmo C) [1]. Technologie te bazują na platformach materiałowych: krzemowej (Si) i z fosforu indu (InP). Uzupełnieniem tych platform w zakresie spektralnym NIR jest bazująca na Si_3N_4 platforma TriPlex, która ma również dobre właściwości spektralne w zakresie Vis. Pomimo ponad 50-ciu lat rozwoju fotoniki scalonej na chwilę obecną mamy bardzo ograniczoną liczbę dojrzałych platform materiałowych. Głównym powodem tego są ogromne trudności w osiągnięciu akceptowalnego poziomu strat optycznych, które silnie rosną wraz z maleniem długości fali świetlnej (straty optyczne $\sim \lambda^{-4}$).

Drugim z obszarów zastosowań fotoniki scalonej od wielu lat są planarne czujniki światłowodowe a w ostatnim czasie wskazywanych jest wiele innych obszarów jej potencjalnych zastosowań, obejmujących rozszerzoną/mieszaną/wirtualną rzeczywistość, obliczenia kwantowe, pomiar czasu, pozycjonowanie, nawigację, systemy radiowe, systemy widzenia komputerowego, opiekę zdrowotną i inne [2]. Wiele z tych aplikacji będzie wymagało zastosowania warstw falowodowych o dobrych właściwościach w zakresie spektralnym Vis, tj. wykonanych z materiałów o wysokich przerwach energetycznych i cechujących się bardzo niskimi stratami propagacyjnymi. Warstwy falowodowe spełniające te wymagania będą tematem prezentacji.

Kompozytowe warstwy falowodowe $\text{SiO}_x\text{:TiO}_y$ wytwarzane są metodą zol-żel i techniką dip-coating. Poprzez dobór zawartości tytanu skalowany jest współczynnik załamania w zakresie od 1,60 do 1,95, rutynowo wytwarzane są warstwy o współczynniku załamania 1,81, dla $\lambda=632,8$ nm. Opracowane warstwy falowodowe spełniają wymagania dojrzałej platformy materiałowej fotoniki scalonej na zakres spektralny Vis, mają niskie straty optyczne (poniżej 0,1 dB/cm), ich właściwości optyczne są stabilne na przestrzeni co najmniej kilkunastu lat i są skrajnie odporne chemicznie. Przydatność opracowanej platformy dla fotoniki scalonej została pomyślnie zweryfikowana. Na bazie tej platformy opracowano sprzęgacze siatkowe, światłowodowy paskowy, sprzęgacze kierunkowe i struktury interferometrów Macha-Zehndera. Wszystkie z tych struktur przetestowano z pozytywnym skutkiem w zakresie spektralnym Vis.

Literatura

- [1] Y. Su, Y. Zhang, C. Qiu, X. Guo, L. Sun *Silicon Photonic Platform for Passive Waveguide Devices: Materials, Fabrication, and Applications*, Adv. Mater. Technol. (2020) 1901153
- [2] C. Zhang, M. A. Tran; Zeyu Zhang, A. E. Dorche, Y. Shen, B. Shen, K. Asawa, G. Kim; N. Kim; F. Levinson, J. E. Bowers, T. Komljenovic, *Integrated photonics beyond communications*, Appl. Phys. Lett. 123, (2023) 230501, doi: 10.1063/5.0184677

Fiber Lasers and Amplifiers for Scientific and Advanced Applications

Grzegorz CHROBAK*, Sebastian STANO

IPG Photonics, ul. Wyczółkowskiego 8, 44-109 Gliwice

*grzegorz.chrobak@ipgphotonics.com

This work presents a new type of IPG lasers for different applications. From milliWatt to >100 kW, from deep UV to Mid-infrared, from CW to femtosecond pulsed operation, IPG Photonics develops diverse specialized lasers to researchers and engineers for biomedical, quantum computing, defense, new materials development and microprocessing applications. IPG lasers and amplifiers are used in optical pumping, metrology, holography, interferometry, optical tweezers, remote sensing and high-resolution spectroscopy. In defense applications they are used for spectral beam combining and directed energy, obstacle warning, LIDAR, illumination and IR.

Single mode lasers and amplifiers and low order laser up to 30 kW are used in power beaming applications. Single-frequency, linearly polarized Yb and Er lasers and amplifiers are used in cold atom trapping and metrology. Packaged diodes at 915-980 nm and 878 nm are used for pumping fiber lasers or Vanadate lasers.

Pulsed lasers from microseconds to ultrafast across all wavelengths are used for fine processing of metal foils and non-metals: ceramics, glass, fused silica, sapphire, silicon, plastics, CFRP etc.

SWIR and Mid-IR hybrid lasers in the 1.6 μm to 12 μm wavelength range span all modes of operation from continuous wave to femtosecond. Multi-octave spectra, super bright Watt-level power and ultra-low pulse timing jitter enable the implementation of compact and reliable optical frequency combs for real-world applications such as dual comb spectroscopy, imaging and sensing.

IPG proprietary pulse shaping technology enables creation of desired temporal pulse shapes, from the shortest near-transform-limited pulse to a variety of programmable waveforms. IPG offers both standalone pulse shapers and an integrated laser solution. A common application for these devices is dispersion pre-compensation to achieve a near-Fourier-transform-limited pulse duration at a target location rather than at a laser output. The comprehensive pulse shaping capabilities are ideally suited for ultrafast applications that benefit from specific tailoring of pulse shapes or pulse sequences in the time domain.

www.ipgphotonics.com

Lasery cienkodyskowe dla aplikacji naukowych i przemysłowych

Michał CHYŁA^{1*}

¹Centrum HiLASE, Instytut Fizyki Czeskiej Akademii Nauk,
Za Radnicí 828, 25241 Dolní Břežany, Czechy

*michal.chyla@hilase.cz

Lasery cienkodyskowe są obecne w dziedzinie technologii laserowych od ponad 30 lat i swą popularność zawdzięczają parametrom, które czynią je niezawodnymi narzędziami w obrębie aplikacji naukowych i przemysłowych.

W laserach cienkodyskowych ośrodek aktywny ma formę cienkiego (100-400 um), okrągłego dysku, przeważnie o średnicy kilkunastu milimetrów. Przednia część dysku ma naniesione powłoki anytrelekcyjne, natomiast tylna strona dysku jest pokryta warstwami z wysokim współczynnikiem odbicia dla światła lasera oraz pompy. Dodatkowo, tylna powierzchnia dysku jest chłodzona wodą, co skutkuje niemalże jednokierunowym przepływem ciepła. Dzięki temu efekty termalne jak i temperaturowy gradient radialny są bardzo małe, a lasery cienkodyskowe charakteryzują się bardzo dobrą jakością wiązki laserowej oraz wysoką mocą.

Centrum HiLASE opracowało platformę laserów cienkodyskowych PERLA100® z wykorzystaniem materiału Yb:YAG jako ośrodka aktywnego, emitujących pikosekundowe impulsy na długości fali 1030 nm, z mocą średnią 100 W [1]. Laser w formie wzmacniacza regeneratywnego, w zależności od preferencji użytkownika, dostarcza impulsy z energią w zakresie od 500 uJ do 20 mJ przy częstotliwości pracy lasera od 200 kHz do 1 kHz. Dodatkowo platforma jest uzupełniona o moduł generacji 2, 3 oraz 4 harmonicznej długości fali, co odpowiada kolejno długościom fali 515 nm, 343 nm oraz 257 nm. Dzięki temu system może być użyty do efektywnej mikroobróbki różnych materiałów, takich jak: stal, miedź czy kwarc.

Prezentowany laser został wykorzystany w eksperymentach naukowych, takich jak generacja cząstek alfa poprzez fuzję protonowo-boronową [2] lub przyspieszanie materii w próżni jako sposób na usuwanie zanieczyszczeń na orbicie Ziemi [3]. W zastosowaniach przemysłowych laser jest wykorzystywany do mikroobróbki materiałów oraz funkcjonalizacji powierzchni, np. za pomocą rozdzielenia wiązki laserowej do ponad 40,000 wiązek [4].

W prezentowanym referacie zostanie przedstawiona platforma laserowa PERLA100® oraz przykłady jej zastosowania w aplikacjach naukowych oraz przemysłowych, jak również bieżące dodatkowe prace w dziedzinie laserów cienkodyskowych prowadzone z wykorzystaniem materiału Ho:YAG emitującego na 2 um oraz Alexandrytu emitującego w okolicy 750 nm.

Literatura

- [1] M. Smrz, et al., *Picosecond thin-disk laser platform PERLA for multi-beam micromachining*, OSA Continuum, Vol. 4, No. 3 (2021) pp.940-952
- [2] V. Istoksaia, et al., *A multi-MeV alpha particle source via proton-boron fusion driven by a 10-GW tabletop laser*, Communication Physics, Vol. 6, No. 27 (2023)
- [3] S. Boyer, et al., internet, <https://www.hilase.cz/wp-content/uploads/Laser-space-propulsion.pdf>
- [4] P. Hauschwitz, et al., *Towards Rapid Fabrication of Superhydrophobic Surfaces by Multi-Beam Nanostructuring with 40,401 Beams*, Nanomaterials, Vol. 11, No. 8 (2021)

Generacja impulsów światła o czasie trwania 23 fs i energii powyżej 100 μJ z wykorzystaniem nieliniowych procesów w gazach

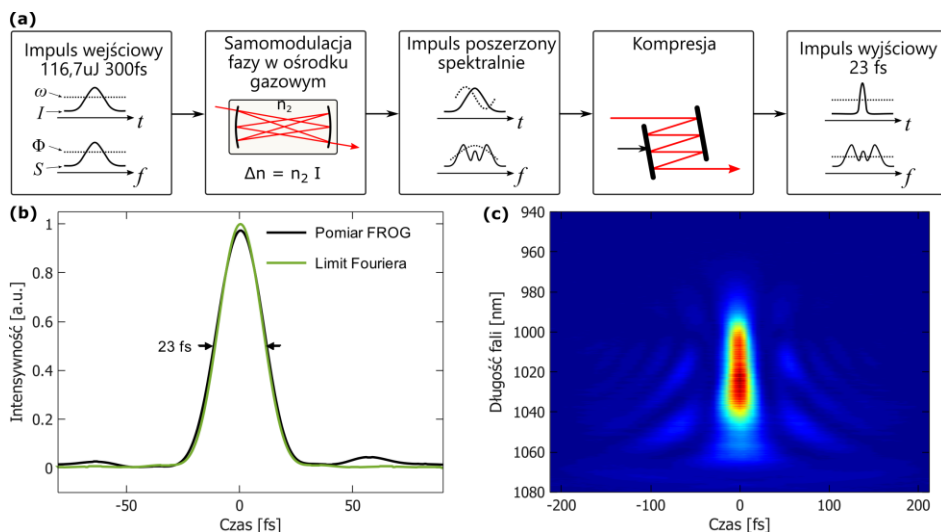
Arkadiusz HUDZIKOWSKI*, Michał PIETRZAK, Aleksander GŁUSZEK, Jarosław SOTOR

Politechnika Wrocławska, wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

* arkadiusz.hudzikowski@pwr.edu.pl

Dostępne obecnie lasery pozwalają na generowanie femtosekundowych impulsów o wysokich energiach. Czas trwania impulsu zależy od jego szerokości spektralnej i limitowany jest pasmem wzmocnienia lasera. Procesy nieliniowe zachodzące w wyniku interakcji światła z gazem są jedną z metod dalszego poszerzania spektralnego impulsu [1]. Otwiera to drogę do generacji jeszcze krótszych impulsów z pominięciem ograniczenia narzucanego przez ośrodek wzmacniający lasera.

W pracy zaprezentowano metody generowania ultrakrótkich impulsów laserowych poprzez poszerzanie spektralne w gazach szlachetnych, a następnie kompresję za pomocą układu zwierciadeł dyspersyjnych, co pokazano na rys.1. Impuls o szerokości 300 fs i energii 116.7 μJ został skompresowany do 23 fs w jednostopniowym układzie z komórką wieloprześciową typu Herriotta o długości ścieżki optycznej 24 m, wypełnioną ksenonem pod ciśnieniem 2 barów, co przełożyło się na współczynnik kompresji równy 13.



Rys. 1. (a) Generacja ultrakrótkiego impulsu w komórce wieloprześciowej wypełnionej gazem, (b) zmierzony impuls wyjściowy skompresowany do 23 fs i (c) jego mapa FROG.

Literatura:

- [1] Anne-Lise Viotti, Marcus Seidel, Esmerando Escoto, Supriya Rajhans, Wim P. Leemans, Ingmar Hartl i Christoph M. Heyl. "Multi-pass cells for post-compression of ultrashort laser pulses". W: Optica 9.2 (2022), s. 197–216.

Tarcze laserowe w eksperymentach plazmowych – rodzaje, parametry i właściwości fizyczne.

**Łukasz WĘGRZYŃSKI*, Andrzej BARTNIK, Tomasz FOK, Przemysław WACHULAK,
Martyna WARDZIŃSKA, Mateusz MAJSZYK, Henryk FIEDOROWICZ**

Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna, gen. Sylwestra Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa

*lukasz.wegrzynski@wat.edu.pl

Tarcze laserowe stanowią kluczowy element w różnego rodzaju eksperymentach laserowych. Mogą być wykorzystywane zarówno do budowy nowego typu źródeł promieniowania z wykorzystaniem plazmy laserowej, jak i do eksperymentów dotyczących akceleracji elektronów, wytwarzania impulsów atto-sekundowych czy także do napyłania różnego rodzaju materiałów w wyniku procesu ablacji laserowej. W większości przypadków, tarcze są wykorzystywane do wytwarzania plazmy laserowej, która powstaje w wyniku oddziaływania materiału tarczy z impulsami laserowymi. Plazma taka jest w większości przypadków plazmą wysokotemperaturową, która emituje promieniowanie głównie w zakresie skrajnego nadfioletu oraz miękkiego promieniowania rentgenowskiego. Źródła laserowo-plazmowe wykorzystują przeważnie jedną z trzech podstawowych rodzajów tarcz laserowych: tarcze wykonane z ciał stałych, tarcze o ograniczonej masie oraz tarcze gazowe. Każdy rodzaj z wymienionych tarcz ma swoje zalety oraz wady, które mogą dyskwalifikować je w pewnych eksperymentach. Istotne jest więc prowadzenie badań dotyczących optymalizacji parametrów tarcz pod względem minimalizacji ich wad a także opracowywania nowych możliwości.

W niniejszym komunikacie konferencyjnym przedstawione zostaną najczęściej wykorzystywane układy tarcz laserowych z krótkim omówieniem ich parametrów, zalet oraz wad stosowania. W dalszej części zaprezentowane zostaną wyniki prac dotyczących rozwoju systemów tarcz gazowych umożliwiających wytwarzanie klasterów gazowych oraz struktur aerozolowych w warunkach próżniowych. Rozwiązania te zostały opracowane Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie.

Advanced coating equipment - Or how to sputter precise interference filters and dielectric mirrors even on larger substrate formats?

Michael SCHNEIDER^{1*}

¹VON ARDENNE GmbH, Am Hahnweg 8, 01328 Dresden, Germany

* schneider.michael@vonardenne.com

Among the high challenges of coating technology for optical interference filters and dielectric mirrors are deposition precision and stable reproducibility. These requirements are already very demanding for micro-optical substrate surfaces or optical components below 200 mm aperture area, especially when volume production with high quantities is also involved. Magnetron sputtering technology offers a suitable process that also allows the high precision and stable reproducibility required for alternating layer systems to be transferred to large-area optical substrates.

Markets such as laser technology and augmented reality (AR/VR/XR) are driving demand for interference-optical filters and reflective coatings on large-area components. They are used, for example, in beam guidance, laser protection, 3D projection systems or functional displays. In the talk, coating solutions required for this purpose for aperture areas up to 300 mm and beyond will be presented and technical challenges for optical manufacturing will be discussed. Some coating results will be presented and the coating of large optics for laser technology will also be covered.



Rys. 1. Precision optical coating platform OPTA X with sputter-up and sputter-down capabilities

References

- [1] Michael Schneider, Stefan Bruns, Kristin Galonska, Michael Vergöhl, Philipp Henning, Thomas Melzig, "Sputtering platform for double-sided precision optical coatings," Proc. SPIE 12002, Oxide-based Materials and Devices XIII, 120020C (5 March 2022); doi: 10.1117/12.2607764

Spektralnie programowalny aktywny system w stanie ciekłym do wysokowydajnego wielokolorowego laserowania i emisji światła białego - SPLASH

Jarosław MYŚLIWIEC^{1*}, Alina SZUKALSKA¹, Maciej CZAJKOWSKI², Joanna CYBIŃSKA^{2,3}

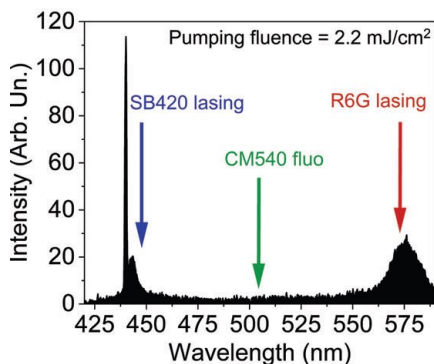
¹Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny, Wyb. Wyspiańskiego 27, Wrocław

²Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii, ul. Stabłowicka 17, Wrocław

³Uniwersytet Wrocławski, Wydział Chemii, ul. F. Joliot-Curie 14, Wrocław

*jaroslaw.mysliwiec@pwr.edu.pl

SPLASH (z j. ang. *Spectrally Programmable Liquid-State Active System for High-performance*), to całkowicie ciekłe, trójfazowe urządzenie wykazujące wyjątkową zdolność do regulacji wielokolorowej emisji w ramach pojedynczej komórki ciekłokrystalicznej [1,2]. Składniki obejmują ciekłokrystaliczną mezofazę z domieszką kumaryny, ciecz jonową bogato nasyconą rodaminą 6G oraz wodny roztwór nasycony stilbenem. Tak skonstruowany układ, wykorzystujący trzy fazy ciekłe, z których każda zawiera inne barwniki emitujące światło w różnych obszarach spektralnych, pozwala na uzyskanie efektu wielokolorowego laserowania. Starannie opracowane fazy ciekłe, w połączeniu z precyzyjną kontrolą spektralną, zdolnością do regulacji koloru, w pełni kontrolowaną separacją faz oraz kompaktową strukturą, otwierają drogę do zastosowań w technologiach oświetleniowych, kolorymetrii, obrazowania, umożliwiając szczegółową wizualizację struktur biologicznych, zrozumienie interakcji molekularnych, a także np. efektywną modulację i kodowanie danych w różnych środowiskach. Ponadto, ponieważ jego komponenty mogą być łatwo dostosowywane i przestawiane, oraz ze względu na swoją płynną naturę i kompaktową konstrukcję, urządzenie to oferuje znaczne możliwości skalowania rozmiaru.



Rys. 1. Spektrum białej emisji pochodzącej z systemu SPLASH [1].

Literatura

- [1] A. Szukalska, M. Czajkowski, J. Cybinska, J. Mysliwiec, *A Spectrally Programmable Liquid-State Active System for High-Performance (SPLASH) Multicolor Lasing and White Emission*, Adv. Funct. Mater. (2024), 2401288.
- [2] A. Szukalska, A. Szukalski, M. Adaszynski, J. Mysliwiec, *White Lasing and White Fluorescence from the Simplified Two-Dyes Organic System*, Adv. Optical Mater. (2023), 2300266.

Szerokopasmowy spektrometr fourierowski o niskim poborze mocy pracujący w temperaturze pokojowej

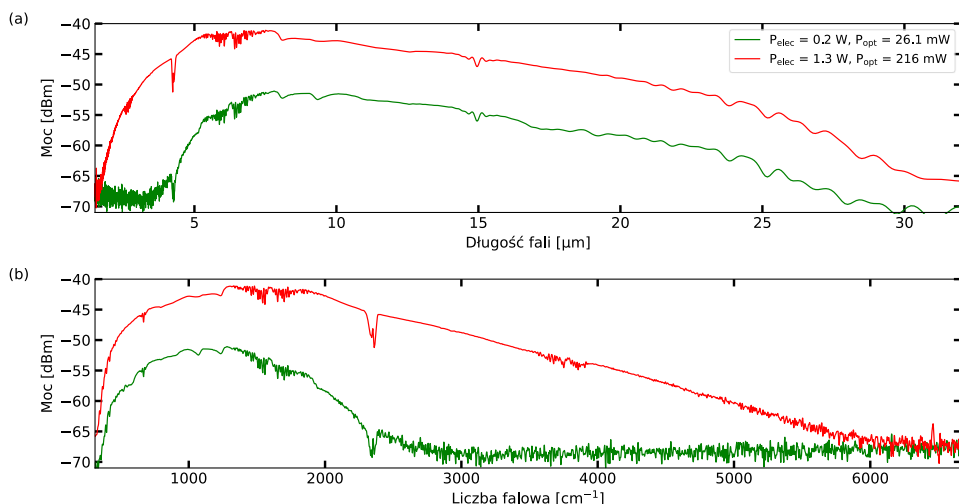
Jakub MNICH*, Jarosław SOTOR, Łukasz A. STRECZEWSKI

Grupa Elektroniki Laserowej i Światłowodowej, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów,
Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

*e-mail: jakub.mnich@pwr.edu.pl

Spektroskopia fourierowska w podczerwieni (FTIR), w porównaniu z innymi metodami spektroskopowymi, rozwija się powoli pod kątem miniaturyzacji, optymalizacji zużycia energii i wdrożenia do zastosowań przemysłowych poza wyspecjalizowanymi laboratoriami analitycznymi [1]. Celem niniejszej pracy jest wyjście naprzeciw tym wyzwaniom.

Prezentujemy przyrząd do FTIR pokrywający obszar widma od 1,6 do 31 μm (9.7 – 190 THz) (Rys. 1) w statycznej konfiguracji toru optycznego, w temperaturze pokojowej, z poborem mocy na poziomie pojedynczych watów i rozdzielczością lepszą niż 1.5 cm^{-1} (45 GHz). Osiągnięcie tych parametrów jest możliwe dzięki zastosowaniu cienko-membranowych, szerokopasmowych detektorów piroelektrycznych z tantalenu litu, niskotemperaturowego źródła termicznego z pokryciem z mikroproszku ceramicznego o wysokiej emisyjności dla fal o długości $> 10 \mu\text{m}$ oraz metody korekty niedoskonałości pozycjonowania lustra ruchomego wykorzystującej laser telekomunikacyjny i transformację Hilberta. Porównujemy zastosowane materiały i metody do popularnych odpowiedników, omawiamy ich ograniczenia oraz prezentujemy wyniki praktycznej spektroskopii gazowych postaci H_2O i CO_2 ze szczegółami absorpcyjnymi zarejestrowanymi od 5 do 25,5 μm . Omawiane rozwiązania szczególnie dobrze nadają się do miniaturyzacji aparatury do FTIR.



Rys. 1. Widmo własne spektrometru zmierzone dla różnych mocy źródła (podano moce elektryczne i optyczne) i czułości detektorów (5 kV/W dla wyższej mocy oraz 70 kV/W dla niższej); oś X wyskalowana w mikrometrach (a) oraz centymetrach odwrotnych (b).

Literatura

- [1] R. A. Crocombe, "Portable spectroscopy," Appl. Spectrosc. 72, 1701–1751 (2018).444

Specyficzne właściwości jonów Eu^{3+} i ich wykorzystanie w badaniach spektroskopowych nowych materiałów optycznie aktywnych

Marcin KACZKAN, Michał MALINOWSKI

Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Materiały domieszkowane jonami europu są intensywnie badane jako wydajne źródła luminescencyjne, zarówno w postaci objętościowych dielektryków, półprzewodników, nanoproszków jak również w stanie ciekłym [1-3]. Ostatnio takie materiały wzbudzają zainteresowanie ze względu na ich wykorzystanie w wyświetlaczach, konwerterach i źródłach światła, w tym diodach LED światła białego (WLED) [4].

Trójwartościowy jon europu (Eu^{3+}) jest dobrze znany ze swojej silnej luminescencji w zakresie czerwonym widma, wynikającej z wewnątrzkonfiguracyjnych (f-f) przejść elektronowych ze stanu $^5\text{D}_0$ do grupy poziomów $^7\text{F}_{0-6}$. Ze względu na duży dystans energetyczny do niżej leżącego poziomu, $\sim 12000 \text{ cm}^{-1}$, czas życia $^5\text{D}_0$ jest długi, rzędu ms, a wydajność kwantowa luminescencji z tego stanu bliska jest jedności. Cechą szczególną jonu Eu^{3+} jest jego stan podstawowy o zerowym całkowitym momencie pędu elektronów - $^7\text{F}_0$. Oznacza to, że przejścia $^5\text{D}_0 \leftrightarrow ^7\text{F}_0$ zachodzą pomiędzy poziomami niezdegenerowanymi ($J = 0$), które nie ulegają rozszczepieniu w polu krystalicznym matrycy. Zatem liczba obserwowanych linii emisyjnych lub absorpcyjnych ($^5\text{D}_0 \leftrightarrow ^7\text{F}_0$) może być bezpośrednią miarą zróżnicowania pozycji jonów domieszki w sieci krystalicznej. Ponadto, struktura energetyczna jonu Eu^{3+} umożliwia szereg przejść o małym całkowitym momencie pędu J poziomów końcowych, $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_{J=1,2,3,4}$ i $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_{J=1,2,3}$, co pozwala na łatwą interpretację widm i określenie symetrii pozycji zajmowanych przez centra aktywne. Ciekawą cechą jest również jednoczesne występowanie przejścia magnetycznego ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$), które jest niezależne od pola krystalicznego matrycy oraz przejścia „nadwrażliwego” ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$) o charakterze dipola elektrycznego. Stosunek intensywności linii widmowych dla tych przejść zwany inaczej współczynnikiem asymetrii R_2 , $R_2 = I(^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2)/I(^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1)$ może być wykorzystany do zbadania zróżnicowania otoczenia domieszki aktywnej.

Niniejsza praca dotyczy wykorzystania tych i innych interesujących właściwości jonów Eu^{3+} w badaniach nowych dielektrycznych materiałów aktywnych. Zostaną zaprezentowane przykłady użycia jonów Eu^{3+} jako sondy spektroskopowej w takich kryształach jak $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$ (YAM), $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ (KGW), $\text{KEu}_x\text{Y}_{1-x}(\text{PO}_3)_4$ (KYPO), $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO), $\text{Bi}_2\text{ZnOB}_2\text{O}_6$ (BZBO), $\text{Cs}_2\text{Bi}_2\text{O}(\text{Ge}_2\text{O}_7)$ (CBGO).

Literatura

- [1] K. Binnemans, *Interpretation of europium(III) spectra*, Coord. Chem. Rev. 295 (2015)
- [2] J.H. Park, A.J. Steckl, *Demonstration of a visible laser on silicon using Eu-doped GaN thin films*, J. Appl. Phys. 98 (2005)
- [3] H. Samelson, A. Lempicki, C. Brecher, V. Brophy, *Room-temperature operation of a europium chelate liquid laser*, Appl. Phys. Lett. 5 (1964)
- [4] H. Yu, S. Chen, J. Chen, *Synthesis and luminescence properties of orange-red phosphors $\text{NaY}(\text{WO}_4)_2: \text{Eu}^{3+}, \text{Sm}^{3+}$* , IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. (2017)

Systemy *Lab-on-a-Chip* w inżynierii komórkowej.

Patrycja BARANOWSKA^{1*}, Magdalena FLONT¹, Agnieszka ŻUCHOWSKA², Dominik KOŁODZIEJEK², Joanna KONOPKA², Oliwia TADKO², Zuzanna IWON², Elżbieta Jastrzębska^{1,2}

¹Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii Politechnika Warszawska
ul. Poleczki 19, 02-822 Warszawa

²Wydział Chemiczny Politechnika Warszawska, ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa

*elzbieta.jastrzebska@pw.edu.pl

Mikrosystemy przepływowe wykorzystywane do hodowli komórek określane są systemami typu *Organ-on-a-chip* [1,2]. Wytwarzanie tego typu narzędzi prowadzone jest z wykorzystaniem takich technologii jak fotolitografia, metoda odlewu, mikrofrezownie czy druk 3D. Systemy wykorzystywane w inżynierii komórkowej zawierają mikrostruktury przeznaczone do wzrostu komórek, mikrostruktury doprowadzające komórki oraz roztwory, elementy zapewniające utrzymywanie odpowiedniej temperatury, a także różnego rodzaju elementy optoelektroniczne.

Opracowaliśmy systemy typu *Organ-on-a-Chip* wykonane za pomocą różnych technologii, które zastosowano do prowadzenia różnego typu analiz z wykorzystaniem materiału biologicznego. W szczególności ważnym parametrem było odwzorowanie naturalnego mikrośrodowiska komórek, m.in. poprzez prowadzenia hodowli trójwymiarowej (3D) oraz zapewnienie warunków przepływowych. Podjęliśmy się opracowania modeli komórkowych, które umożliwiły prowadzenie badań w takich obszarach jak choroby sercowo-naczyniowe (ang. *cardio-vascular diseases* - CVDs), nowotworowe czy cukrzyca. Wytworzone mikrosystemy zostały wykorzystywane do prowadzenia kompleksowych analiz komórek, badania cyto- oraz fotocytotoksyczności związków oraz badania potencjalnych terapii. Co więcej, stanowią one mikronarzędzia do naśladowania funkcji wybranych tkanek w warunkach fizjologicznych.

Literatura

- [1] M. Flont, E. Jastrzębska, Z. Brzózka: *A multilayered cancer-on-a-chip model to analyze the effectiveness of new-generation photosensitizers*, Analyst, 145, 2020, 6937-6947
- [2] Żuchowska, P. Baranowska P., Flont M., Brzózka Z., Jastrzębska E., *Review: 3D cell-on-a-chip models in bioanalytical science*, Analytica Chimica Acta, 1301, 2024, 342413

Komponenty i systemy optoelektroniczne w wyrobach PCO

Marcin MUSZKOWSKI*, Michał SKIBA, Sławomir MATYL, Waldemar SZCZEPANIAK

PCO S.A., ul. Jana Nowaka-Jeziorańskiego 28, 03-982 Warszawa,

*marcin.muszkowski@pcosa.com.pl

W prezentacji przedstawiono własne opracowania komponentów i systemów optoelektronicznych wykorzystywanych w wyrobach PCO. Omówiono rozwiązania kamer światła dziennego bazujących na sensorach rozdzielczości od 1K do 4K zapewniających możliwość uzyskania kilkukrotnego bezstratnego powiększenia cyfrowego dla obrazu HD bez konieczności stosowania powiększenia optycznego.



Rys. 1. Obrazy uzyskane za pomocą modułu kamery MTV-4K

Prezentowano moduły kamer pracujących w podczerwieni w zakresie SWIR, MWIR i LWIR wykorzystujących zarówno detektory niechłodzone jak i chłodzone.



Rys. 2. Obrazy uzyskane za pomocą modułu kamery MHD-IR z detektorem chłodzonym MW

Omówiono uniwersalny moduł kamery bolometrycznej MKB-2/3 stosowany w większości wyrobów obserwacyjno-celowniczych wyposażenia indywidualnego żołnierza.



Rys. 3. Obrazy uzyskane za pomocą modułu kamery bolometrycznej MKB-2/3

Ponadto zaprezentowano własne rozwiązania dalmierzy laserowych DL-10 i DL11. W drugiej części przedstawiono finalne wyroby PCO wykorzystujące omówione komponenty w tym systemy celownicze wyposażenia indywidualnego SCT-2, NPL1T, MTN-2, SEEKER, wyposażenia platform bojowych ZMO-1, GOD-1, GOC-1, KMW-3, KLV-1/R/L/P, ZMW, CLU-1, systemy ostrzegania przed promieniowaniem OBRA i obserwacji dookólnej SOD. Na koniec naświetlono kierunki rozwoju systemów optoelektronicznych w PCO.

Technologie optoelektroniczne w amunicji precyzyjnego rażenia

Damian GOŁOŚ^{1*}, Krzysztof KOPCZYŃSKI², Janusz NOGA¹, Konrad SIENICKI¹

¹CRW Telesystem-Mesko Sp. z o.o., Lubiczów

²Instytut Optoelektroniki WAT, Warszawa

*dgos@telesystem.eu

Wojna w Ukrainie obnażyła ułomność technologii naprowadzania pocisków opartych o systemy radiowego sterowania zdalnego i radionawigacji (w tym GNSS). Związane jest to z powszechnym zastosowaniem systemów walki radioelektronicznej (WRE). Obserwujemy renesans naprowadzania pocisków opartych o sterowanie laserowe.

Amunicja precyzyjnego rażenia (APR) jest ogólną nazwą dla pocisków naprowadzanych precyzyjnie na wybrany cel. Systemy sterowania dzielimy na systemy sterowania zdalnego, samonaprowadzania oraz systemy autonomiczne. Systemy samonaprowadzania pocisków dzielą się natomiast na aktywne, półaktywne oraz pasywne. W pocisku samonaprowadzającym elementem odpowiadającym za określenie położenia celu jest głowica samonaprowadzająca (GSN). Optoelektroniczne GSN pracują najczęściej w trybie półaktywnym oraz pasywnym. Optoelektroniczne systemy samonaprowadzania półaktywnego wykorzystują promieniowanie laserowe, które po odbiciu od celu jest wykrywane i śledzone przez głowicę samonaprowadzającą pocisku. Detektorami promieniowania laserowego w GSN są najczęściej fotodiody kwadrantowe oraz matryce obrazowe. Fotodetektory te wykonywane są m.in. z Si, InGaAs, GaAs, Ge. Optoelektroniczne systemy samonaprowadzania pasywnego bazują natomiast na emisji własnej promieniowania celu. Wykorzystywane jest tutaj najczęściej promieniowanie termiczne z zakresu średniej podczerwieni (ang. MIR). Fotodetektory promieniowania z tego zakresu wykonywane są m.in. z InSb, PbS, PbSe. Polskie ośrodki badawcze wraz z przemysłem dysponują kompetencjami do opracowania technologii optoelektronicznych na poziomie światowym, mających zastosowanie w amunicji precyzyjnego rażenia (rys. 1).



Rys. 1. Amunicja precyzyjnego rażenia - konstrukcje krajowe. Przedstawiono kolejno od lewej strony: ppk Pirat, APR155, ppz PIORUN

Ścisła współpraca z Siłami Zbrojnymi pozwala krajowemu przemysłowi dopasować produkty do wymagań współczesnego pola walki. Inwestycje w krajową naukę i rozwój technologii optoelektronicznych pozwalają na autonomię w dziedzinie opracowywania broni precyzyjnego rażenia.

Konwersja i kształtowanie widma pojedynczych fotonów z zastosowaniem średniej podczerwieni

Michał MIKOŁAJCZYK*, Michał KARPIŃSKI

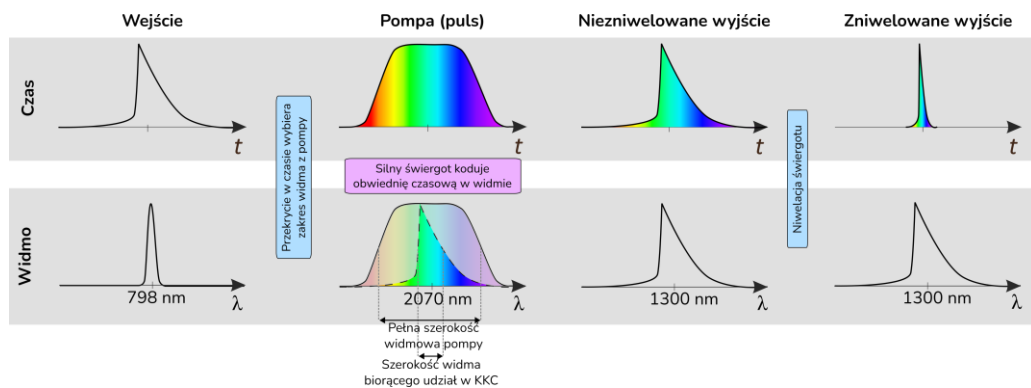
Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki, ul. Pasteura 5, 02-097 Warszawa

*michal.mikolajczyk@fuw.edu.pl

Budowa dużych systemów kwantowych nie może się obejść bez łączenia elementów działających na różnych długościach fali, o różnych wymaganiach widmowych i czasowych względem impulsów[1]. Łączenie może być umożliwione dzięki Kwantowej Konwersji Częstotliwości, która pozwala na duże przesunięcia w widmie za pomocą procesów generacji sumy/różnicy częstości (GSC/GRC). Adaptowanie długości fali do pasma telekomunikacyjnego przez GRC może wymagać pompowania światłem z zakresu średniej, a nawet dalekiej podczerwieni.

W tej pracy prezentujemy konwerter pojedynczych fotonów, konwertujący impulsy o parametrach widmowych i czasowych odpowiadających emisji z kropki kwantowej (długość fali 798 nm, szerokość widmowa 5 GHz, czas trwania 150 ps) do parametrów standardowego kanału telekomunikacyjnego (1300 nm, 100 GHz, <25 ps) z możliwością nawet większej manipulacji (>500 GHz, <1ps). Schemat działania konwertera zaprezentowany jest na Rys. 1. Parametry eksperymentalne wymusiły użycie urządzeń na średnią podczerwień tj. lasere femtosekundowego, czy modułu kompensacji dyspersji.

Prezentowany konwerter wyróżnia się połączeniem zmiany długości fali, konwersji szerokości



Rys. 3: Konwersja sygnału. Sygnał wejściowy ma wąskie widmo i długi czas trwania impulsu, typowe dla kropek kwantowych. GRC zachodzi wyłącznie, gdy widma sygnału i pompy się przekrywają. Silny świergot obecny w pompi: 1) Sprawia, że tylko część widma pompy bierze udział w GRC, 2) Koduje obwiednię czasową sygnału w widmie wyjściowym, 3) Przekłada się na świergot sygnału wyjściowego.

widmowej i czasu trwania impulsu w jeden krok.

Literatura

- [1] Sośnicki, F., Mikołajczyk, M., Golestani, A. & Karpiński, M. *Interface between picosecond and nanosecond quantum light pulses*. Nat. Photonics 17, 761–766 (2023)

Nadpromienisty optyczny (laser) zegar atomowy

Marcin BOBER*, Sławomir BILICKI, Piotr MORZYŃSKI, Mateusz NAROŻNIK,
Omid VARTEHPARVAR, Michał ZAWADA

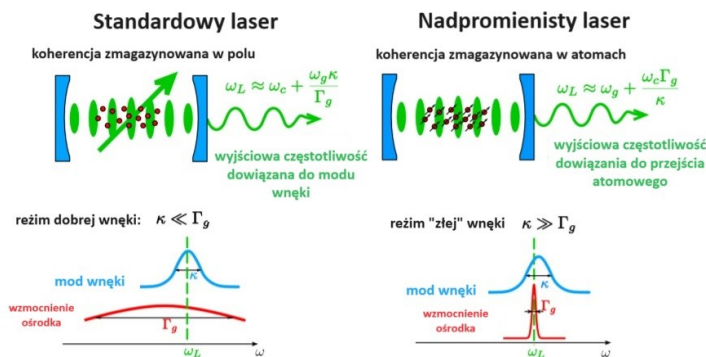
Instytut Fizyki, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w
Toruniu, ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń

*bober@fizyka.umk.pl

Ultrastabilne lasery, będące kluczowym składnikiem optycznych zegarów atomowych cechują się znakomitą stabilnością częstotliwości (fazy) na skalach czasowych rzędu 0,1 do 1000 sekund. Najlepsze charakteryzują się względną niestabilnością na poziomie 4×10^{-17} [1]. Mimo tak doskonałych osiągnięć, to właśnie te ultrastabilne lasery ograniczają osiągi optycznych zegarów atomowych. Między innymi, ograniczają one mobilność optycznych atomowych wzorców częstotliwości. Wraz ze zbliżającą się barierą technologiczną, związaną z fundamentalnym ograniczeniem temperaturowym i dostępnymi materiałami, należy szukać alternatywnych sposobów na dalszy rozwój optycznych wzorców częstotliwości.

W wystąpieniu zostanie zaprezentowany projekt budowanego obecnie aktywnego optycznego zegara nowej generacji, gdzie wykorzystując zjawisko nadpromienistości ma być generowanie ultrastabilne i dokładne promieniowanie laserowe o szerokości spektralnej na poziomie μHz [2]. W przeciwieństwie do klasycznego lasera, gdzie medium świecące ma szeroki zakres spektralny, a mod pracy lasera wybierany jest zewnętrznym rezonatorem w nadpromienistym układzie jest odwrotnie (przedstawione schematycznie na Rys. 1). Dzięki użyciu ekstremalnie wąskiego przejścia atomowego o szerokości naturalnej na poziomie μHz do mHz i nadpromienistości układ taki jest nieczuły na deformacje wnęki optycznej w której się znajdują używane atomy.

W trakcie wystąpienia zaprezentowane zostaną też wybrane aplikacje nowego aktywnego zegara atomowego oraz już istniejących pasywnych zegarów w badaniu zmienności statych fundamentalnych, szukaniu ciemnej materii i obserwowaniu fal grawitacyjnych [3].



Rys. 4. Schemat porównujący działanie standardowego i nadpromienistego lasera.

Literatura:

- [1] Matei, D. G. et al., *1.5 μm lasers with sub-10 mHz linewidth*. Phys. Rev. Lett. 118, (2017) 263202
- [2] G.A. Kazakov et al., *Ultimate stability of active optical frequency standards*, Phys. Rev. A 106 (2022) 053114
- [3] M. Narożnik et al., *Ultra-stable optical clock cavities as resonant mass gravitational wave detectors in search for new physics*, Physics Letters B 846, (2023) 138260

Fotonika na Spitzbergenie

Adam PAŹDZIOR¹, Radosław DOBROWOLSKI², Andrzej BIEGANOWSKI³, Paweł MERGO¹

¹Pracownia Technologii Światłowodów, Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii,
Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie, pl. Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin

²Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku, Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie,
al. Kraśnicka 2CD, 20-718 Lublin

³Instytut Agrofizyki PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-388 Lublin

*Adam.Pazdzior@umcs.lublin.pl

Obszary podbiegunowe (Arktyka i Antarktyda) doświadczają w ostatnich latach szczególnie szybkiego ocieplenia, co prowadzi do topnienia lodowców, degradacji wiecznej zmarzliny, a ostatecznie do wzrostu poziomu mórz i erozji wybrzeży. Głównym problemem jest rosnąca dynamika i zakres zmian w czynnej warstwie wiecznej zmarzliny. Mogą one zaburzyć stabilność materii organicznej, powodując np. emisję gazów cieplarnianych. Rozmarzanie wiecznej zmarzliny w ocieplającym się klimacie jest regulowane przez złożoną interakcję różnych procesów, z których najważniejszym wydaje się przewodzenie ciepła.

Dane dotyczące dokładnego rozkładu temperatur w regionach arktycznych, zarówno podglebia, jak i pokrywy lodowej, są kluczowe dla zrozumienia przyczyn zmian klimatu i środowiska, stanowią podstawę diagnozy obecnego stanu oraz dla zrozumienia zjawisk, które obecnie zachodzą, a także przewidywania ich konsekwencji. Dotychczasowe badania pokazują, że Svalbard w szczególności stoi przed poważnymi wyzwaniami. Zmiany klimatyczne zachodzą tutaj jeszcze szybciej, a zmiany są bardziej widoczne niż w innych rejonach Arktyki. Obecnie na Svalbardzie prowadzony jest monitoring na dużą skalę, którego głównym celem jest długoterminowa dokumentacja rozmieszczenia, stanu i zmian wiecznej zmarzliny. Pomimo intensyfikacji badań jakość i ilość danych nadal nie jest zadowalająca, a ich dostępność jest ograniczona. Dlatego ważne jest opracowanie efektywnych systemów pozyskiwania i szybkiego dostępu do danych termicznych.

Do tej pory pomiary temperatury gruntu opierały się na czujnikach termistorowych lub termoparowych. Takie systemy charakteryzują się stosunkowo niską rozdzielczością przestrzenną co sprawia, że nie jest możliwe precyzyjne monitorowanie procesów zachodzących na granicy stref trwale zamrożonych i rozmrożonych.

W ostatnich latach czujniki światłowodowe, zwłaszcza czujniki rozłożone, stały się dość popularne w badaniach geofizycznych, hydrologicznych oraz do pomiaru temperatury w środowisku wiecznej zmarzliny.

W pracy przedstawiono porównanie rozłożonych termicznych czujników światłowodowych działających w oparciu o rozpraszanie Rayleigh'a i Ramana oraz czujników punktowych działających w oparciu o siatki Bragga.

Światłowodowy wielopierścieniowy domieszkowany pierwiastkami ziem rzadkich do nowych konstrukcji laserów i źródeł ASE

**Piotr MILUSKI^{1*}, Marcin KOCHANOWICZ¹, Maria MICHALSKA², Krzysztof MARKOWSKI¹,
Marek ŁODZIŃSKI³, Wojciech A. PISARSKI⁴, Joanna PISARSKA⁴,
Marta KUWIK⁴, Magdalena LEŚNIAK⁵, Dominik DOROSZ⁵, Jacek ŻMOJDA¹,
Jacek ŚWIDERSKI², Jan DOROSZ¹**

¹Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok

²Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego,
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

³Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

⁴Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Szkolna 9, 40-006

⁵Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*p.miluski@pb.edu.pl

W ramach wystąpienia przedstawione zostaną różne konstrukcje światłowodów o wielopierścieniowym rdzeniu i dużym polu modu (Large Mode Area). Zostaną zaprezentowane wybrane profile domieszkowania Tm^{3+}/Ho^{3+} , które umożliwiają propagację jednomodową i emisję szerokopasmową w zakresie emisji bezpiecznym dla wzroku (1,7–2,1 μm). Zaprezentowana zostanie analiza numeryczna propagacji promieniowania w światłowodzie o rdzeniu wielopierścieniowym. Dodatkowo, przedstawiony zostanie proces wytwarzania oraz charakteryzacja preform światłowodowych (profil refrakcyjny, zmierzone stężenia domieszek pierwiastków ziem rzadkich Ho_2O_3 i Tm_2O_3 i czas zaniku luminescencji. Z preform wytworzone zostały konstrukcje światłowodów o podwójnym płaszczu o średnicy rdzeń/płaszcz ok. 20/250 μm , które wykorzystano w szerokopasmowych źródłach emisji. Zastosowane profile domieszkowania zapewniają niski zakres apertury numerycznej $NA=0,054-0,118$ i średnice pola modowego (Mode Field Diameter) do ok. 70 μm przy szerokim profilu emisji (FWHM_{-3dB}) do 320 nm w zakresie spektralnym bliskim 2 μm . Zaprezentowana zostanie także nowa konstrukcja światłowodu o wielopierścieniowym profilu domieszkowanego Tm^{3+} . Optymalizacja profilu współczynnika załamania światła, jak i rozkładu jonów aktywnych umożliwiła emisję wysokiej jakości wiązki optycznej z lasera światłowodowego opartego o konstrukcję rezonatora Fabry-Perot (rdzeń/płaszcz 17/240 μm). Uzyskano generację wiązki jednomodowej lasera o długości fali 1938,8 nm (wzbudzenie 790 nm) z szerokością pasma FWHM=0,17 nm (moc wyjściowa 1,68 W, $M_x^2=1,10$, $M_y^2=1,23$).

Podziękowania: Projekt badawczy został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanego na podstawie decyzji nr. UMO-2020/37/B/ST7/03094.

Nanostrukturyzacja w optymalizacji światłowodów kilkumodowych w systemach z multipleksacją

Rafał KASZTELANIC^{1,2*}, Maciej NAPIÓRKOWSKI^{2,3}, Ryszard BUCZYŃSKI^{1,2}

¹Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, Pasteura 5, 02-093 Warszawa

²Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki,
al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

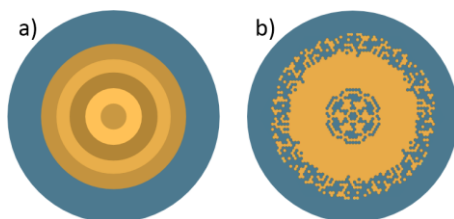
³Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

*kasztel@igf.fuw.edu.pl

Jedną z możliwości zwiększenia przepustowości łączy światłowodowych jest wykorzystanie kodowania sygnałów w różnych modach przestrzennych (MDM). Ograniczeniem jest sprzęganie się modów. Aby zminimalizować ten problem, w podejściu słabo sprzężonym, dąży się do maksymalizacji separacji statych propagacji sąsiednich modów. Obecnie najbardziej wydajnymi rozwiązaniami dla MDM są światłowody kilkumodowe (FMF) składające się z rdzenia o skokowym indeksie podzielonego na pierścienie o różnych współczynnikach załamania (Rys. 1a). Światłowody te, wykazują symetrię kołową co związane jest z metodą wytwarzania opartą na chemicznym osadzaniu z fazy gazowej (MCVD). Możliwość złamania symetrii kołowej daje szansę na znaczną poprawę właściwości włókien FMF. Metodą oferującą taką możliwość jest nanostrukturyzacja.

Nanostrukturalne światłowody FMF zbudowane są z tysięcy szklanych prętów wykonanych z dwóch różnych szkła (Rys. 1b). Projektowanie i optymalizacja takich włókien jest trudne ze względu na dużą liczbę parametrów związanych z ich swobodnym rozkładem współczynnika załamania światła. Aby rozwiązać ten problem, wykorzystujemy różne metody optymalizacyjne.

W przypadku włókna 4-modowego zastosowaliśmy klasyczne metody optymalizacyjne [1], a dla włókna 10-modowego metody oparte na odwrotnych sieciach generatywnych (GIDN) zmodyfikowanych w celu uwzględnienia właściwości optycznych słabo sprzężonych światłowodów FMF [2]. Nasze wyniki pokazują, że nanostrukturalne światłowody kilkumodowe przewyższają inne rodzaje słabo sprzężonych włókien FMF.



Rys. 1. Włókna kilku-modowe: a) pierścienie o różnych współczynnikach załamania, b) nanostruktura złożona z dwóch różnych szkła

Literatura

- [1] M. Napiorkowski, R. Kasztelanic, R. Buczynski, Optimization of spatial mode separation in few-mode nanostructured fibers with generative inverse design networks, Eng. Appl. Artificial Intelligence 133 (2024) 107955.
- [2] R. Kasztelanic, D. Michalik, A. Anuszkiewicz, R. Buczynski, Optimization of the nanostructured weakly coupled few mode fiber for mode division multiplexed systems, Opt. Express 30(23) (2022), 41832.

Ultra-szerokopasmowa emisja w zakresie 1,0-2,1 μm w szklach wielordzeniowych światłowodach współdomieszkowanych jonami $\text{Ni}^{2+}/\text{Cr}^{3+}/\text{Bi}^{3+}$ oraz jonami pierwiastków ziem rzadkich

Jakub MARKIEWICZ¹, Marcin KOCHANOWICZ^{1*}, Piotr MILUSKI¹, , Marta KUWIK², Joanna PISARSKA², Wojciech A. PISARSKI², Jan DOROSZ¹, Dominik DOROSZ³

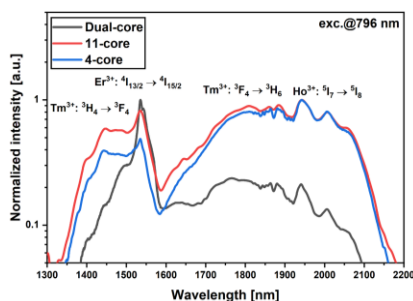
¹Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok

²Instytut Chemii, Uniwersytet Śląski, ul. Szkolna 9, 40-007 Katowice

³Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
m.kochanowicz@pb.edu.pl

Emisja ultra-szerokopasmowa w zakresie od 1,0 do 2,1 μm jest wymagana w wielu zastosowaniach, takich jak: medycyna (OCT), metrologia oraz systemy pomiarowe i detekcyjne. Szerokopasmową emisję w zakresie 1,4-2,1 μm w szklach współdomieszkowanych można uzyskać w wyniku przejść promienistych w jonach Tm^{3+} , Er^{3+} , Ho^{3+} . Autorzy przedstawili szerokopasmową wzmocnioną emisję spontaniczną w zakresie 1,4-2 μm w światłowodach współdomieszkowanych $\text{Tm}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$, $\text{Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$ i $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$. Nowatorskie pomysły związane są z łączeniem luminescencji metali z bloku d (jak Ni^{2+} , Cr^{4+} , Bi^{3+} - emisja 1-1,4 μm) i jonów ziem rzadkich (Tm^{3+} , Er^{3+} , Ho^{3+}). Można to zrealizować w jedno-rdzeniowych światłowodach. Jednak wielordzeniowe, podwójnie płaszczone światłowody otwierają nowe możliwości w konstrukcji takich bezpiecznych dla oka, ultra-szerokopasmowych źródeł ASE.

W referacie przedstawione zostaną właściwości luminescencyjne w zakresie 1,4-2,1 μm szkieł barowo-galowo-germanowych oraz wytworzonych z nich światłowodów wielordzeniowych $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$. Zaprezentowane zostaną konstrukcje dwupłaszczowych światłowodów z jednym, dwoma, czterema oraz jedenastoma rdzeniami oraz przeanalizowane zostaną ich właściwości luminescencyjne. Ponadto, zaprezentowane zostaną szkła oraz szkło-ceramiki domieszkowane jonami Ni^{2+} , Cr^{3+} lub Bi^{3+} (rdzenie światłowodów) pozwalające na rozszerzenie pasma luminescencji oraz konstrukcje światłowodów wielordzeniowych współdomieszkowanych.



Rys. 1. Widmo emisji światłowodów wielordzeniowych współdomieszkowanych $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$. ($\text{L}_p=796 \text{ nm}$, długość światłowodu 1 m)

Podziękowania: Projekt badawczy został sfinansowany przez Narodowe Centrum Nauki na podstawie decyzji nr 2019/35/B/ST7/02616.

Technology supporting triple-clad high-power fiber laser design

Luka Perpar Sams*

¹PLASIL Ltd., Cesta pod Strmco 6, 1358 Log pri Brezovici Slovenia

*adres e-mail: luka.perparsamsa@plasil.si

Triple-clad high-power fiber lasers represent a significant advancement in laser technology, offering enhanced performance for industrial application. In this presentation, we will showcase state-of-the-art technology for producing triple-clad preforms for optical fibers.

Czujnik promieniowania THz bazujący na detektorze bolometrycznym

Marcin WOJCIECHOWSKI^{1*}, Kateryna HOVOROVA¹, Przemysław ZAGRAJEK²

¹Główny Urząd Miar, Elektoralna 2, 00-139, Warszawa

²Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Kaliskiego 2, 00-908, Warszawa

*marcin.wojciechowski@gum.gov.pl

Mimo wieloletniego wysiłku badawczego włożonego w ośrodkach naukowych na całym świecie w rozwój technologii związanej z promieniowaniem THz, pojęcie luki terahercowej, czyli niedostatku wydajnych emiterów i czułych detektorów pracujących w tym zakresie jest wciąż aktualne, szczególnie jeśli spojrzymy na urządzenia relatywnie niedrogie. Autorzy zaproponowali przystępne kosztowo rozwiązanie pozwalające na detekcję promieniowania THz przy wykorzystaniu detektora bolometrycznego.

Detektor bolometryczny jest przyrządem do szerokopasmowego pomiaru mocy promieniowania elektromagnetycznego, najczęściej wyposażony w parę przetworników temperatury, gdzie jeden przetwornik kompensuje wpływ temperatury otoczenia, a w drugim energia promieniowania elektromagnetycznego jest absorbowana i zamieniana na ciepło. Ze względu na niewielką moc sygnałów generatorów terahercowych postanowiono wykonać układ pomiarowy dla detektora bolometrycznego promieniowania elektromagnetycznego o optymalnym wzmocnieniu sygnału pomiarowego w oparciu o nowoczesne układy scalone dostępne w sprzedaży.

Głowica pomiarowa wykonana z mosiądzu składa się z dwóch odseparowanych komór zawierających parę bolometrów. Promieniowanie doprowadzane jest do bolometru dzięki metalowemu falowodowi, a płyta czołowa pozwala na montaż bezpośrednio falowód-falowód, jak również anteny rożkowej sprzęgającej promieniowanie z otwartej przestrzeni.

Pierwsze pomiary detektorów bolometrycznych, mające na celu wyselekcjonowanie najlepszych komponentów przeprowadzono w otwartej przestrzeni z falą o częstotliwości 100 GHz. Dla gotowego czujnika z elektronicznym układem pomiarowym, metalową głowicą i umieszczonymi w niej detektorami bolometrycznymi przeprowadzono pomiary czułości z promieniowaniem o częstotliwości 270 GHz wprowadzanym bezpośrednio falowodem.

Praca dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą Polska Metrologia nr projektu PM/SP/0042/2021/1 kwota dofinansowania 744128 PLN całkowita wartość projektu 744128 PLN.

Cechy szczególne optyki terahercowej i zastosowanie terahercowej spektroskopii w dziedzinie czasu

Mateusz KAŁUŻA¹, Adrianna NIERADKA¹, Paweł KOMOROWSKI²,
Agnieszka SIEMION^{1,*}

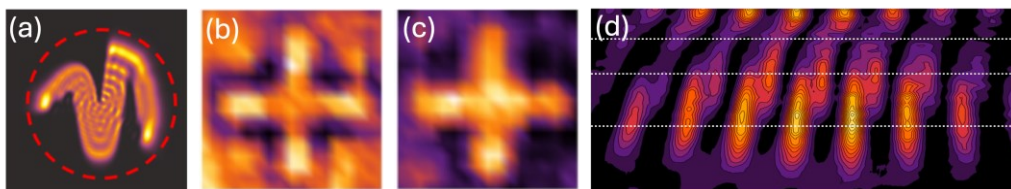
¹Faculty of Physics, Warsaw University of Technology, Koszykowa 75, Warsaw, 00-662 Poland

² Institute of Optoelectronics, Military University of Technology,
gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland

*adres e-mail: agnieszka.siemion@pw.edu.pl

W ostatnich latach prowadzone jest coraz więcej badań w dziedzinie optyki i obrazowania terahercowego (THz). Promieniowanie THz, charakteryzujące się długościami fal znacznie dłuższymi niż światło widzialne, wywołuje znaczące efekty dyfrakcyjne, co wpływa na jego zachowanie i możliwości obrazowania wykorzystując elementy optyczne o relatywnie małych aperturach. Co więcej, wiele źródeł charakteryzuje się bardzo wysoką koherencją co wprowadza niepożądane efekty interferencyjne, które są trudne do stłumienia. Warto też dodać, że THz układy optyczne bardzo często działają w strefie bliskiej, która ma swoje osobliwości i należy o nich pamiętać przy projektowaniu układów optycznych.

Rozwój optyki THz jest ściśle związany z badaniem różnych materiałów i technik produkcyjnych. Różne materiały, od dielektryków po półprzewodniki, wykazują doskonałe właściwości optyczne w zakresie THz. Co więcej, innowacyjne metody produkcji, takie jak litografia, produkcja addytywna i inżynieria metamateriałów, odgrywają kluczową rolę w opracowywaniu nowatorskiej optyki THz. W badaniach koncentrujących się na cechach układów optycznych THz, należy zwrócić uwagę na aspekty mniej dominujące w zakresach promieniowania widzialnego i podczerwonego. Należą do nich silne efekty dyfrakcyjne (Rys. 1a), niepożądane zakłócenia w obrazowaniu (Rys. 1b i c) oraz stosunkowo duża długość fali w stosunku do rozmiaru apertury i odległości propagacji, skutkująca zjawiskami charakterystycznymi dla strefy dyfrakcji bliskiego pola (Rys. 1d). Niniejsza praca podkreśla różne osiągnięcia, obecne wyzwania i obiecujące kierunki w dziedzinie optyki THz. Przedstawione zostały też wszechstronne badania materiałowe, konieczne w kształtowaniu przyszłych postępów optyki dla zakresu promieniowania THz.



Rys. 15. Różne rozkłady natężenia promieniowania THz. (a) Efekty dyfrakcji wprowadzane przez aperturę. (b) i (c) Obrazy zarejestrowane bez i z filtracją przestrzenną. (d) Samo-obrazowanie jako przykład skomplikowanego pola dyfrakcyjnego.

Literatura

- [1] Siemion, *The magic of optics-an overview of recent advanced terahertz diffractive optical elements*, Sensors 21 (2020) pp. 100
- [2] Siemion, *Terahertz diffractive optics-smart control over radiation*, Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves 40 (2019) pp. 477-499

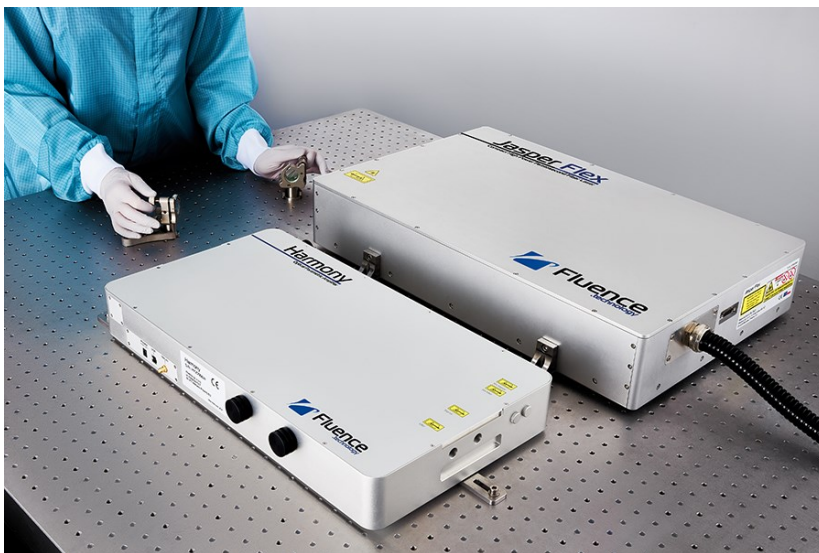
Perspektywy rozwoju technologii laserów femtosekundowych dla masowych zastosowań przemysłowych

Michał NEJBAUER

Fluence Sp. z o.o., ul. Kolejowa 5/7, 01-217 Warszawa
nejbauer@fluence.pl

Lasery femtosekundowe z sukcesem przeszły drogę od ciekawostki naukowej do kilku powszechnych zastosowań przemysłowych [1] oraz medycznych [2]. Wciąż jednak ich potencjał nie jest w pełni wykorzystany w wielu innych aplikacjach. Choć liczba nowych zastosowań nieustannie rośnie, proces wdrożenia jest często hamowany przez czynniki ekonomiczne, ale także technologiczne.

Podczas referatu przedstawię kierunki rozwoju technologii laserów femtosekundowych, które doprowadzą do ich upowszechnienia na masową skalę, przez co przyczynią się w sposób istotny do postępu w metodach produkcji (redukcji kosztów), ale także diagnostyce chorób, oraz stworzą zupełnie nowe możliwości technologiczne [3].



Rys. 16. Produkty laserowe Fluence dla zastosowań przemysłowych

Literatura:

- [1] <https://www.laserfocusworld.com/lasers-sources/article/16556843/photonics-applied-industrial-lasers-the-hole-story-femtosecond-manufacturing-improves-automobile-fuel-efficiency>
- [2] Salgado RMPC et al.(2024) Update on Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery: A Review. Clin Ophthalmol. 2024 Feb 14;18:459-472. doi: 10.2147/OPTH.S453040. PMID: 38375440;
- [3] Jorge J. Rocca et al., "Ultra-intense femtosecond laser interactions with aligned nanostructures," Optica 11, 437-453 (2024)

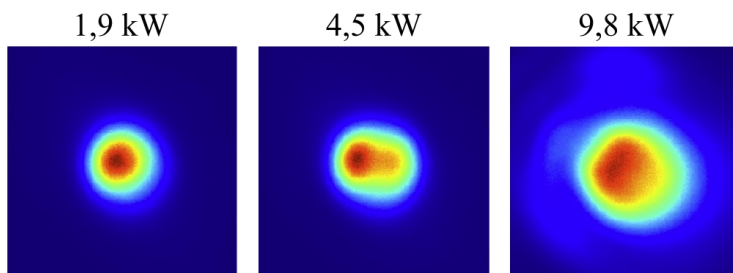
Metody eksperymentalne wyznaczenia mocy progowej zjawiska TMI w laserze włóknowym dużej mocy średniej

Przemysław GONTAR

Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
*przemyslaw.gontar@wat.edu.pl

Kilowatowe systemy laserów włóknowych pracy ciągłej z jakością wiązki bliską ograniczeniu dyfrakcyjnemu znajdują zastosowanie w precyzyjnej obróbce materiałów (spawanie, cięcie, druk addytywny) oraz przemyśle obronnym (broń skierowanej energii). Jednym z głównych ograniczeń skalowania mocy średniej w takich urządzeniach jest zjawisko niestabilności modów poprzecznych (ang. *Transverse mode instability* – TMI) [2]. Zjawisko TMI powoduje dynamiczną wymianę energii pomiędzy modem podstawowym, a przynajmniej jednym z modów wyższego rzędu, co skutkuje niestacjonarnym rozkładem poprzecznym oraz poszerzeniem rozmiaru wiązki laserowej [3].

Zjawisko TMI wykazuje progową zależność od obciążenia cieplnego zlokalizowanego w rdzeniu aktywnym wzmacniacza światłowodowego. Tematem otwartym nadal pozostaje opracowanie szybkich i względnie tanich metod do charakteryzacji tego nieliniowego efektu. W prezentacji przedstawione zostaną rezultaty zastosowania różnych metod eksperymentalnych do wyznaczenia mocy progowej zjawiska TMI w laserze włóknowym o nominalnej mocy wyjściowej 10 kW.



Rys. 1. Rozkład poprzeczny wiązki laserowej dla mocy wyjściowej lasera: 1,9 kW, 4,5 kW i 9,8 kW.

Literatura

- [1] gosciM. O'Connor i B. Shiner, *High-Power Fiber Lasers for Industry and Defense*, w High-Power Laser Handbook, McGraw Hill, 2011
- [2] M. N. Zervas i C. A. Codemard, *High Power Fiber Lasers: A Review*, w IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 20 (2014), pp. 219-241
- [3] C. Jauregui, C. Stihler i J. Limpert, *Transverse mode instability*, Adv. Opt. Photon. 12 (2020), pp. 429-484

Impulsowy laser Dy³⁺:ZBLAN z modulacją dobroci

Łukasz PAJEWSKI^{1*}, Łukasz SÓJKA¹, Samir LAMRINI², Mark FARRIES³, Tomasz OSUCH⁴,
Trevor BENSON³, Angela SEDDON³, Sławomir SUJECKI^{1,2,5}

¹Politechnika Wrocławska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

²LISA Laser Products GmbH, Katlenburg-Lindau, Germany

³The University of Nottingham, University Park, NG7 2RD Nottingham, UK

⁴Politechnika Warszawska, plac Politechniki 1, 00-661 Warszawa

⁵Wojskowa Akademia Techniczna, gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

*lukasz.pajewski@pwr.edu.pl

W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie zastosowaniem fal o długości około 3μm w wielu dziedzinach, takich jak medycyna, przemysł i telekomunikacja. W literaturze opisano kilka konstrukcji laserów impulsowych generujących fale w tym zakresie^{1,2}. Analiza literatury wskazuje jednak na znaczny niedobór prac poświęconych układom laserowym Dy³⁺:ZBLAN, które wykorzystują technikę modulacji dobroci do generowania sygnałów impulsowych w zakresie długości fali ~3μm. W jednym z nielicznych opisanych przypadków, laser z modulacją dobroci jest pracą³, w której opisano dwa układy laserowe. Jeden z nich generował impulsy o energii 12μJ i czasie trwania 270ns, z użyciem modulatora akustooptycznego. Drugi, wykorzystujący czarny fosfor jako nasycalny absorber, generował impulsy o energii 1μJ i czasie trwania 740ns.

W trakcie prezentacji omówiony zostanie laser Dy³⁺:ZBLAN z modulacją dobroci wykorzystujący modulator akustooptyczny⁴. Osiągnięta moc szczytowa 183W stanowi obecnie najlepszy opublikowany wynik. Poprzedni najwyższy wynik został zaprezentowany w pracy³ i wynosił 40W. Uzyskany czas trwania impulsu (74ns) jest natomiast ponad trzykrotnie krótszy w porównaniu z wynikami osiągniętymi w literaturze.

Literatura

- [1] Wang, Y., et al., Ultrafast Dy 3+: fluoride fiber laser beyond 3 μm. Optics letters, 2019. 44(2): p. 395-398.
- [2] Woodward, R., M. Majewski, and S. Jackson, Mode-locked dysprosium fiber laser: Picosecond pulse generation from 2.97 to 3.30 μ m. APL photonics, 2018. 3(11): p. 116106.
- [3] Woodward, R.I., et al., Q-switched Dy:ZBLAN fiber lasers beyond 3 μm: comparison of pulse generation using acousto-optic modulation and inkjet-printed black phosphorus. Optics Express, 2019. 27(10): p. 15032-15045.
- [4] L. Pajewski et al., "Experimental Investigation of Actively Q-Switched Dy³⁺ Doped Fluoride Single Mode Fiber Laser Operating Near 3 μm," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 42, no. 2, pp. 809-813, 15 Jan.15, 2024, doi: 10.1109/JLT.2023.3313620

Pomiary spektralne w plazmie niskotemperaturowej wytworzonej na tarczach składających się z mieszanin gazowych

Mateusz MAJSZYK*, Andrzej BARTNIK, Wojciech SKRZECZANOWSKI

Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna,

Warszawa ul. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908

*mateusz.majczyk@wat.edu.pl

Plazmy są zdecydowanie najczęstszą fazą zwykłej materii we wszechświecie, zarówno pod względem masy, jak i objętości. Znaleźć jednak możemy je również poza środowiskiem naturalnym np. w wielu obszarach technologii/nauki. Zastosowań plazm jest bardzo wiele np. miniaturyzacja w technologii układów scalonych [1], przetwarzania materiałów czy prób osiągnięcia fuzji jądrowej w tokamakach lub stellaratorach [2]. W tematach dotyczących nauki plazmę można zastosować również do badania zjawisk występujących we Wszechświecie, np. wewnątrz gwiazd, ich atmosfer czy atmosfer egzoplanet/księżyców. W środowiskach tych możemy mieć do czynienia ze zjawiskami molekularnymi. Takie fundamentalne badania mogą być przydatne na przykład dla astrofizyki w przypadku dekodowania światła emitowanego przez ciała niebieskie, umożliwiając identyfikację pierwiastków, związków i stanów energetycznych obecnych w odległych gwiazdach, galaktykach i ośrodkach międzygwiazdnych. Tworzenie nowych cząsteczek w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych pozwala nie tylko na ich identyfikację, ale także na poznanie mechanizmów ich powstawania i dynamiki procesów. Badania takie mogą być prowadzone z wykorzystaniem źródeł promieniowania opartych na laserach wysokoenergetycznych i tarczach gazowych. Tego typu badania były prowadzone w Wojskowej Akademii Technicznej. W naszej pracy przygotowaliśmy dwa specjalne układy, w których możemy badać warunki powstawania procesów molekularnych, rodników i jonów. Jeden z nich to komora gazowa, w której niskotemperaturowa plazma jest generowana wokół LPP (Laser Produced Plasma) w atmosferze niskociśnieniowej (10 - 50 mbar, ten sam gaz co w tarczy), a drugi to komora próżniowa, w której niskotemperaturowa plazma jest generowana w próżni w wyniku oddziaływania mieszaniny gazów z impulsami promieniowania SXR/EUV pochodzącymi z LPP i skupianymi przez paraboloidalne zwierciadła. W wyniku tych badań uzyskano przebiegi czasowe dla widm molekularnych i atomowych, temperatury oraz gęstości elektronowe oraz porównano wpływ różnych domieszek gazów do mieszanin gazowych na uzyskiwane widma.

Literatura

- [1] Richard A. Gottscho, *Use of Plasma Processing in Making Integrated Circuits and Flat-Panel Displays*, MRS Bulletin, DOI: 10.1557/S0883769400035697.
- [2] Yuhong Xu, A general comparison between tokamak and stellarator plasmas, *Matter and Radiation at Extremes*, DOI: 10.1016/j.mre.2016.07.001.

Wybrane projekty konstrukcyjne zrealizowane przez Eurotek International

Jakub JUSZA^{1*}, Dariusz FABJANOWICZ¹, Józef DRESNER¹, Jerzy KALWAS²

¹ Eurotek International Sp. z o. o., Skrzetuskiego 6, 02-726 Warszawa

² Lux Opus_Jerzy Kalwas, ul Olbrachta 112, 01-373 Warszawa

*jjusza@eurotek.com.pl

Eurotek International wykorzystuje nabyte kompetencje do tworzenia i rozwijania rozwiązań dla firm komercyjnych i instytucji badawczych.

W przedstawionych realizacjach zostały zaprojektowane i wykonane od podstaw układy optyczne, mechatroniczne ściśle dostosowane do postawionych wymagań. W naszym wystąpieniu przedstawimy niektóre z osiągniętych wyników.

1. Nadajnik laserowy dużej energii do pracy w szerokim zakresie temperatur.

Konstrukcja obudowy dla lasera impulsowego z energią 1000/500 mJ dla linii 1064/532 nm, pracującego z repetycją 100 Hz. Rozwiązanie obejmuje zarówno kontrolę temperatury jaki i sterowanie wyborem harmonicznej, płynną regulację energii dla każdej z wiązek oraz własne opracowanie wychwyty niewykorzystanej energii. Dopuszczalny zakres temperatur otoczenia to [-15+50 degC] i rh<=100%.

2. Konstrukcja urządzeń do bezkontaktowego grzania laserowego w produkcji materiałów zaawansowanych.

Skalowalne systemy o mocy od 10 do 1000 W CW do grzania substratów o wymiarach od 1 do 2500 mm²

3. Półautomatyczne, zintegrowane stanowisko do laserowego znakowania ochronnego RGB.

System laserowy RGB z głowicami skanującymi oraz modulatorami AO do szybkiego procesu znakowania i mikro-znakowania

4. Przystosowanie wieży do wyciągania światłowodów strukturalnych do produkcji włókien z rdzeniami spiralnymi.

Rekonstrukcja wieży. Mechanika i automatyka do wyciągania światłowodów spiralnych przy prędkości obrotowe do 4000 obr/min.

5. Specjalistyczne układy pozycjonujące dla pomiarowej mechaniki płynów.

Układ (5 -osiowego) trawersowania układu sond anemometrycznych i innych czujników dla stanowiska pomiarowego napędów lotniczych

Technika laserowa w projektach europejskich Horyzont Europa

Igor DERYŁO

Branżowy Punkt Kontaktowy Przemysł 4.0, Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

PIAP, Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa

igor.derylo@piap.lukasiewicz.gov.pl

Wsparty kwotą ok 95 miliardów Euro w okresie 2021-2027 program Horyzont Europa realizuje agendę badań naukowych Unii Europejskiej. Horyzont Europa daje możliwość finansowania do 100% działalności badawczej, lub innowacyjnej.

Wśród inicjatyw branżowych Horyzontu Europa jest również miejsce na fotonikę, wspartą budżetem ok 340 milionów Euro, a wśród obszarów aplikacyjnych fotoniki, także na techniki laserowe.

Celem wystąpienia jest przybliżenie możliwości jakie daje Horyzont Europa, oraz drogi, wyzwań i najlepszych praktyk związanych z aplikowaniem po środki z tego programu. Zakres prezentacji obejmuje: przedstawienie programu Horyzont Europa; omówienie roli partnerstw europejskich na przykładzie Partnerstwa Photonics21 - w tym wskazanie przykładowych przewidywanych kierunków rozwoju technik laserowych i możliwości wpływania na nie; prezentację przykładowych nadchodzących calli w obszarze fotoniki i technik laserowych; usługi oraz działania Branżowego Punktu Kontaktowego Przemysł 4.0.

NKT Lasers for Quantum Computing

(INTERLAB®)

INSTRUMENTY BADAWCZE I POMIAROWE

INTERLAB od blisko 40 lat dostarcza najbardziej zaawansowane instrumenty badawcze dla polskich uczelni i przemysłu. W naszej ofercie znajdują się m.in.: analizatory widma optycznego, lasery przestrajalne, źródła szerokopasmowe, specjalistyczne spawarki do zastosowań przemysłowych i laboratoryjnych, elementy optomechaniczne, a także komponenty do produkcji laserów, w tym przełączniki fazy i kontrolery polaryzacji renomowanej marki GeneralPhotonics (obecnie LUNA). Dzięki współpracy z producentami z całego świata możemy dostarczyć najbardziej zaawansowaną aparaturę naukowo-badawczą, dostosowaną do Twoich potrzeb.

YOKOGAWA ◆

LIOS
TECHNOLOGY

pfo

NKT Photonics
the power of light

APEX
TECHNOLOGIES

LI LUCIOL INSTRUMENTS

OptaSense®

LUNA

FITEL

fibrisTerre

OptoSigma

ESAE
TECHNOLOGIES

General Photonics

www.interlab.pl



Całkowity koszt projektu: 23 962 066,25 PLN

Dofinansowanie po stronie PW: 6 926 375,00 PLN

Lider projektu: VIGO Photonics S.A.

Konsorcjanci/Partnerzy: Europejskie Regionalne Centrum
Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk, Politechnika Warszawska

Kierownik projektu po stronie PW:

dr hab. inż. Ryszard Piramidowicz, prof. uczelni

FOSMO



Opracowanie innowacyjnego fotonicznego systemu monitoringu zasobów wodnych

Celem projektu jest opracowanie systemu monitorowania zasobów wodnych implementującego nowo opracowane bezodczynnikowe metody fotoniczne. Obecnie stosowane metody monitoringu wykorzystują różne mechanizmy umożliwiające detekcję i wykonanie pomiaru stężenia niebezpiecznych substancji, takie jak reakcje chemiczne z udziałem badanych substancji lub metody zmieniające w sposób trwały próbki poddane badaniom (płomieniowa spektrometria atomowa). Metody opracowane w ramach projektu FOSMO będą wykorzystywały tylko niedestrukcyjną interakcję promieniowania elektromagnetycznego z badanymi substancjami, co pozwoli m.in. na maksymalne zmniejszenie wpływu metody pomiarowej na badaną próbkę. Wynikiem projektu będzie opracowanie i zestawienie w pełni funkcjonalnego, odpornego na zmienne warunki środowiskowe, autonomicznego systemu do monitoringu zasobów wodnych bazującego na autonomicznej multi-parametrycznej fotonicznej sondzie pomiarowej.

Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach rządowego programu strategicznego Hydrostrateg „Innowacje dla gospodarki wodnej i żeglugi śródlądowej”.



Narodowe Centrum Badań i Rozwoju



PREZENTACJE POSTEROWE

Światłowodowa metoda pomiaru absorpcji promieniowania UV przez liście drzew

Michał KWIATKOWSKI^{1*}, Jacek KUBICA¹

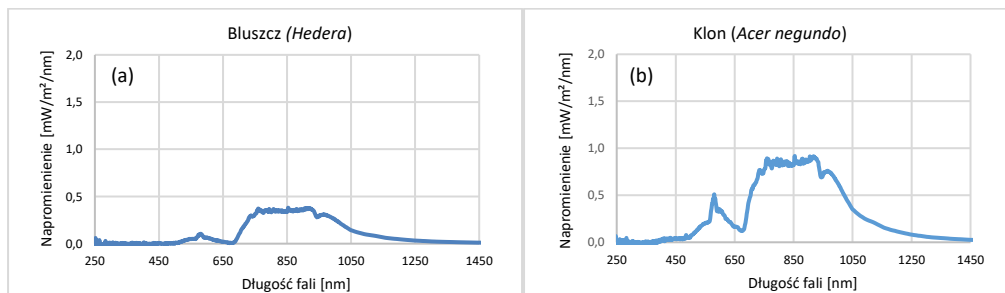
¹Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

*adres e-mail: mikwi@ciop.pl

Naturalne promieniowanie nadfioletowe (UV), będące składnikiem promieniowania słonecznego może prowadzić do szkodliwych skutków zdrowotnych dla oczu i skóry. Naturalną ochroną człowieka przed promieniowaniem UV są elementy zielonej infrastruktury miejskiej. Liście roślin pełnią funkcję naturalnych filtrów UV, zaś stopień barierowości zależy od rodzaju roślinności [1,2].

W prezentacji zaproponowano laboratoryjną metodę pomiaru absorpcji promieniowania optycznego przez liście. Metoda obejmuje analizę widmową promieniowania optycznego generowanego przez lampę deuterowo-halogenową, którego widmo stanowi najlepsze przybliżenie promieniowania słonecznego. W pomiarach zastosowano spektrometr matrycowy wyposażony w sondę połączoną światłowodem o zmniejszonej absorpcji promieniowania w zakresie UV, zaś wynikiem pomiaru jest wartość natężenia napromienienia w wybranym zakresie widmowym, wyrażona w $[W/m^2]$. Światłowod z sygnałem wejściowym umożliwia precyzyjną lokalizację pomiaru i mapowanie współczynnika absorpcji na badanej powierzchni liścia.

Przy użyciu metody wykonano serię pomiarów dla wybranych rodzajów liści. Wstępne wyniki wykazały silną absorpcję w zakresie UV dla wybranych gatunków roślin (Rys.1(a)), przy zmniejszonej barierowości w zakresie widzialnym dla innych gatunków, w tym dla liści młodych (Rys.1(b)). Potwierdzono możliwość zastosowania zaproponowanej metody w szczegółowych badaniach barierowości roślinności w celu jej optymalnego doboru przy projektowaniu krajobrazu z uwagi na ochronę populacji miejskich przed ekspozycją na promieniowanie UV.



Rys. 17. Wyniki pomiarów dla liści (a) z silną absorpcją UV i VIS i (b) ze zmniejszoną absorpcją UV i VIS

Literatura

- [1] T. A. Day, T. C. Vogelmann and E. H. DeLucia, "Are some plant life forms more effective than others in screening out ultraviolet-B radiation?", *Oecologia*, 83 (1992) pp. 513–519.
- [2] H. Yoshimura, H. Zhu, Y. Wu and R. Ma, "Spectral properties of plant leaves pertaining to urban landscape design of broad-spectrum solar ultraviolet radiation reduction", *Int. J. Biometeorology*, 54 (2010) pp. 179–191.

Analiza i optymalizacja zasilania Kwantowych Laserów Kaskadowych o pracy impulsowej.

**Michał NAGOWSKI*, Agata KRZĄSTEK, Dominika NIEWCZAS, Artur BRODA,
Dorota PIERŚCIŃSKA, Kamil PIERŚCIŃSKI**

Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki

*michal.nagowski@imif.lukasiewicz.gov.pl

Rozwój technologii fotoniki w zakresie średniej i dalekiej podczerwieni stawia przed naukowcami i inżynierami nowe wyzwania, zwłaszcza w kontekście zasilania Kwantowych Laserów Kaskadowych (QCL) działających w trybie impulsowym. Lasery te, charakteryzujące się wysokimi prądami progowymi i napięciami przewodzenia, wymagają zaawansowanych rozwiązań w projektowaniu układów zasilających, szczególnie w sytuacjach wymagających szybkiego przełączania.

W pracy omówiono różne metody zasilania laserów kaskadowych o pracy impulsowej, zarówno z wykorzystaniem dostępnych na rynku rozwiązań komercyjnych, jak i autorskich projektów opracowanych w Grupie Badawczej Fotonika Podczerwieni Ł-IMIF. Przedstawiono porównanie metod ustalania punktu pracy lasera, bazujących na wymuszaniu stałego prądu lub napięcia na zasilaczu. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniu sprzężenia zwrotnego w szybkich układach zasilających, analizując zarówno jego pozytywne, jak i negatywne skutki, a także opisując techniki umożliwiające eliminację klasycznego sprzężenia zwrotnego w celu uproszczenia konstrukcji.

Praktyczne aspekty omawianego zagadnienia zilustrowano poprzez prezentację różnych implementacji sterowników laserowych, w tym prostego rozwiązania opartego na płycie ewaluacyjnej z układem IcHaus iC-HG30 oraz dwóch prototypowych układów zasilających opracowanych w Ł-IMIF.

Zintegrowane fotoniczne nadajniki wielokanałowe do komunikacji optycznej w wolnej przestrzeni

Aleksandra PAŚNIKOWSKA^{1*}, Stanisław STOPIŃSKI^{1,2,3}, Krzysztof ANDERS^{1,2,3}, Mariusz ROJEWSKI¹, Łukasz KUSTOSZ¹, Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,2,3}

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²VIGO Photonics S.A., Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki, Poland

³LightHouse Sp. z o.o., Stefczyka 34, 20-151 Lublin, Poland

*aleksandra.pasnikowska@pw.edu.pl

Fotoniczne układy scalone (ang. photonic integrated circuits, PICs) pozwalają na konstruowanie nowej klasy kompaktowych, wielofunkcyjnych, energooszczędnych układów fotonicznych. Znajdują dzisiaj zastosowanie w wielu dziedzinach, wśród których szczególne miejsce zajmuje telekomunikacja, przesyłanie danych [1], [2] oraz systemy czujnikowe. Pozytywne wyniki dotychczasowych prac nad zintegrowanymi wielokanałowymi nadajnikami dla systemów światłowodowych ze zwielokrotnieniem w dziedzinie długości fali (ang. WDM – wavelength division multiplexing) [3], zainspirowały nas do weryfikacji przydatności takiego rozwiązania w systemach komunikacji w wolnej przestrzeni (ang. free space optical communication, FSOC).

Układy scalone zostały zaprojektowane i wytworzone z wykorzystaniem generycznej technologii fosforku indu, która pozwala na integrację elementów pasywnych i aktywnych, w tym źródeł światła i wzmacniaczy optycznych na zakres pasm C i L telekomunikacji optycznej. Opracowane nadajniki zawierają zestaw sześciu laserów DBR z układem modulatorów elektroabsorpcyjnych. Sygnały są multipleksowane przez sprzęgacz AWG (ang. arrayed waveguide grating).

Badania objęły pomiary elementarnej stopy błędu (ang. bit error rate, BER) przy transmisji sygnałów oraz rejestrację wykresów oka dla pracy jedno- i wielokanałowej. Zintegrowane nadajniki zostały wstępnie zbadane w konfiguracji *back-to-back*, przeprowadzono również pierwsze testy transmisji optycznej w wolnej przestrzeni na ograniczonym dystansie. Uzyskane wyniki potwierdzają przydatność zintegrowanych nadajników do zastosowań w systemach FSOC.

Praca finansowana przez Politechnikę Warszawską (Scientific Breakthrough-2 – POB Technologie fotoniczne) w ramach projektu „Układy fotoniki scalonej do zastosowań w systemach komunikacji w wolnej przestrzeni”.

Literatura:

- [1] D. F. Welch *et al.*, “Large-Scale InP Photonic Integrated Circuits: Enabling Efficient Scaling of Optical Transport Networks,” *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, vol. 13, no. 1, pp. 22–31, Jan. 2007, doi: 10.1109/JSTQE.2006.890068.
- [2] W. Yao *et al.*, “A 6 × 30 Gb/s Tunable Transmitter PIC With Low RF Crosstalk From an Open-Access InP Foundry,” *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, vol. 25, no. 5, pp. 1–10, Sep. 2019, doi: 10.1109/JSTQE.2019.2914423.
- [3] A. Paśnikowska *et al.*, “Multi-channel integrated transmitters with cyclic AWG,” *J. Light. Technol.*, pp. 1–15, 2023, doi: 10.1109/JLT.2023.3339594.

Światłowodowy polarymetryczny czujnik krytycznych połączeń śrubowych

**Adam PAŹDZIOR^{1*}, Krzysztof POTURAJ¹, Mariusz MAKARA¹, Grzegorz WÓJCIK¹,
Lidia CZYŻEWSKA¹, Aleksander WALEWSKI¹, Michał SIDZ²,
Michał SZWAJEWSKI², Paweł MERGO¹**

¹Pracownia Technologii Światłowodów, Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii,
Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie, Pl. Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin

²XPANSE Sp. z o. o., ul. Zielna 1, 22-375 Izbica

*Adam.Pazdzior@umcs.lublin.pl

W pracy przedstawiono polarymetryczny czujnik światłowodowy zintegrowany ze śrubą do monitorowania napięcia wstępnego w krytycznych połączeniach śrubowych w zastosowaniach kosmicznych. Proponowane rozwiązanie opiera się na czujniku pracującym w konfiguracji odbłaskowej i posiadającym kompensację temperatury. Przesunięcie punktu roboczego czujnika jest realizowane poprzez odpowiedni dobór długości sekcji kompensacyjnej i czujnikowej. W części czujnikowej wykorzystano specjalne dwójtłomne włókno mikrostrukturalne o właściwościach geometrycznych umożliwiających optymalizację czujnika dla śrub o rozmiarze M10. Dla zapewnienia skalowalności rozwiązania zamiast dostępnego komercyjnie światłowodu telekomunikacyjnego PANDA zastosowano specjalne włókno w którym dzięki odpowiedniej modyfikacji mikrostruktury możliwe jest dostosowanie proponowanego rozwiązania do innych rozmiarów śrub.

Podziękowania:

Niniejsza praca została sfinansowana przez Europejską Agencję Kosmiczną za pośrednictwem Open Space Innovation Platform (4000138375/22/NL/GLC/ov).

Zakup wykorzystanej infrastruktury badawczej wykorzystanej do wytworzenia specjalnego włókna mikrostrukturalnego i elementów czujnikowych został sfinansowany przez Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych (POIR.04.02.00-00-B003/18-00)

Laser Ablation Technology for Zinc Oxide Layer Deposition

Ihor VIRT¹, Piotr POTERA^{2*}, Bogumił CIENIEK², Ivan PADALKA¹, Nazar BARCHUK¹

¹Drohobych State Pedagogical University I. Franko, I. Franko, 24, Drohobych -82100, Ukraine

²Institute of Materials Engineering, University of Rzeszow, Pigonia 1, 35-310, Rzeszow, Poland

*ppotera@ur.edu.pl

Research uses a pulsed laser beam (laser ablation method [1,2]) to produce functional layers of zinc oxide (ZnO), which is a semiconductor and is characterized by great interest due to its optoelectronic properties, such as high optical transparency in the visible and close infrared range. In recent years, interesting optoelectronic properties of semiconductor materials have been discovered on the basis of transitional metals (TM = Ni, Cr, and Mn) have been discovered. In particular, transparent conductive oxide (TCO), promising materials for various applications, including optoelectronic devices, liquid crystalline displays, touch screens, and intelligent windows [3], aroused great interest.

Thin layers of ZnO are deposited on the Si, Al₂O₃ and quartz substrates by pulsed laser spraying and then annealed in air. The KGd(WO₄)₂Nd³⁺, $\lambda = 1067$ nm, pulse duration ~ 20 ns, pulse frequency 1-2 Hz, number of impulses $n \sim 500$, energy density 0.5 J/cm^2 was used. The typical deposition speed was approximately $v \sim 0.5 \text{ nm/imp}$. The substrate temperature during deposition was set to 200°C .

The content of nickel ions in the starting solid solution was in the range of 1-10%. The crystallographic structure was studied by X-ray diffraction (XRD). Measurements have shown that the created layer crystallizes in the vurcite phase and has a dominant orientation along the c-axis. The texture coefficient, grain size, and permanent crystalline network were calculated. According to the crystalline lattice shape coefficient, the growth of the nickel inhibits the dominant growth of the layers along the c-axis.

The optical absorption coefficient of the layers was calculated on the basis of the transmission spectra of UV-VIS-NIR light. The spectrum of absorption of ZnO and the edge of the spectrum of the photoprequet were found. The energy of the bandwidth of the prohibited thin layers, calculated by matching the linear optical absorption curve to the photon energy, decreases with the content of nickel ions. The composition of the layers significantly affects the optical constant. The spectra of photocurrents was measured and observed - current capacity of falling photons (IPCE).

The E_g value and optical properties indicate that it is characterized by a wide range of absorption, which can be used in optoelectronic devices.

References

- [1] J. Yu, W. Han, A.A. Suleiman, S. Han, N. Miao, F.C. Ling, Small Methods 2301282 (2023) pp. 1-33
- [2] A.J. Haide, T. Alawsi, M.J. Haider, B.A. Taha, H. A. Marhoon, Optical and Quantum Electronics 54:488 (2022) pp. 1-25
- [3] V. Saravade, Z.C. Feng, M. T. Nafisa, Zhou, N. Lu, B. Klein, I. Ferguson J. Vac. Sci. Technol. A 42(2) (2024) pp. 020802-1-25

Badania akredytowane z obszaru optoelektroniki w
przemyśle
i zastosowaniach wojskowych

Jarosław MŁYŃCZAK*, Krzysztof KOPCZYŃSKI, Wojciech SKRZECZANOWSKI,
Aneta BOMBALSKA, Mariusz KASTEK, Jadwiga MIERCZYK, Grzegorz KAŁDOŃSKI,
Mariusz STAŃDO, Jarosław BAREŁA, Maksymilian WŁODARSKI, Miron KALISZEWSKI,
Malwina LISZEWSKA, Bartosz BARTOSEWICZ

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
*jaroslaw.mlynczak@wat.edu.pl

Do niedawna badania w dziedzinie optoelektroniki znajdowały się, pod względem uregulowań prawnych, w tzw. obszarze dobrowolnym. Od wstąpienia do Unii Europejskiej prawodawstwo naszego kraju wprowadziło szereg zmian zapewniających spójność z dyrektywami unijnymi, co oznaczało wydanie odpowiednich rozporządzeń ministrów z obszaru zdrowia oraz pracy i polityki społecznej, zaś Polski Komitet Normalizacyjny implementował szereg polskich norm zgodnych z normami europejskimi. W Europie praktycznie wszystkie wyroby muszą spełniać wymagania różnych dyrektyw, co oznacza, że jeśli są dopuszczone do obrotu, to muszą funkcjonować w systemie oceny zgodności, mającym za zadanie stwierdzić, czy wyroby spełniają wymagania techniczne, eliminujące potencjalne zagrożenia. Dotyczy to też wyrobów z dziedziny optoelektroniki. W obszarze optoelektroniki akredytowane badania w Polsce wykonuje Laboratorium Badawcze Instytutu Optoelektroniki WAT , które posiada status jednostki akredytowanej w Polskim Centrum Akredytacji oraz w Ministerstwie Obrony Narodowej. Poniżej przedstawiono jego możliwości badawcze w zakresie PCA oraz OiB.

Badane cechy	Dokumenty odniesienia	Badane urządzenia
Energia impulsu promieniowania laserowego	PN-EN ISO 11554:2018-01	przemysłowe urządzenia laserowe
Moc ciągłego promieniowania laserowego	PN-EN ISO 11554:2018-01	wojskowe urządzenia laserowe
Klasa bezpieczeństwa urządzeń emitujących promieniowanie laserowe	PN-EN ISO 11554:2018-01 PN-EN 60825-1:2014 PN-EN 60825-1:2014/A11:2021	dalmierze laserowe celowniki optyczne, noktowizyjne, termowizyjne
Współczynnik korekcji mierników mocy/energii promieniowania laserowego	PN-EN 61040:1998	detektory i przyrządy do pomiaru mocy i energii promieniowania laserowego
Całkowita transmitancja spektralna	PN-EN ISO 13468-2:2007 PN-EN ISO 13468-2:2021-11	kamery termowizyjne
Współczynnik refleksyjności solarnej SRI, refleksyjność solarna, refleksyjność, emisyjność względna	ASTM E 1980-11:2018 ASTM E 903-12:2018 ASTM E 408-13:2018	lornety, lornetki i gogle noktowizyjne filtry optyczne, soczewki
Funkcja minimalnego rozróżnialnego kontrastu oraz rozdzielczości przestrzennej	CTE Algorithm Description, CI System 2011	sprzęt do ochrony wzroku przed promieniowaniem laserowym
Pole widzenia FOV		
Moc równoważna szumom NETD		
Funkcja minimalnej rozróżnialnej różnicy temperatur MRTD		
Zasięgi wykrycia, rozpoznania i identyfikacji urządzenia		

Laserowo-plazmowe źródła promieniowanie w zakresie 100-200 nm – optymalizacja i zastosowania

Martyna WARDZIŃSKA*, Przemysław WACHULAK, Andrzej BARTNIK, Tomasz FOK,
Łukasz WĘGRZYŃSKI, Henryk FIEDOROWICZ

Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, ul. gen.
Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

*martyna.wardzinska@wat.edu.pl

Zespół Oddziaływania Promieniowania Laserowego z Materią od lat zajmuje się badaniami z użyciem laserowo-plazmowych źródeł promieniowania w zakresie nadfioletu próżniowego (EUV) oraz miękkiego promieniowania rentgenowskiego (SXR). W związku z potrzebami badań obiektów astronomicznych, prowadzonych w ramach zarówno satelitarnych misji kosmicznych, jak laboratoryjnych eksperymentów astrofizycznych, w Zespole rozpoczęto badania metrologiczne laserowo-plazmowych źródeł dalekiego ultrafioletu (FUV), obejmującego długości fal od ok. 100 do 200 nm. Niniejszy komunikat przedstawia wyniki optymalizacji źródła promieniowania w tym zakresie, przykładowe wyniki pomiarów elementów optycznych badanych w linii Lyman- α , oraz inne potencjalne zastosowania metrologiczne.

Wszystkie pomiary zostały wykonane na stanowisku składającym się ze źródła laserowo-plazmowego opartego o dwustrumieniową tarczę gazową [1-2], filtru LiF odcinającego promieniowanie widzialne i spektrometru składającego się ze: szczeliny wejściowej spektrometru, odbiciowej siatki dyfrakcyjnej i kamery CCD.

W ramach optymalizacji źródła wykonano były pomiary widmowe, mające na celu ustalić odpowiednie ciśnienia gazów roboczych oraz gazu buforowego. Ponadto określono rozmiar źródła dla każdego z gazów przy optymalnym ciśnieniu oraz liczbę fotonów. Na przygotowanym stanowisku zostały wykonane pomiary na potrzeby fotometru GLOWS przygotowywanego w Centrum Badań Kosmicznych [3] obejmujące pomiar odbicia od próbek czernionych pokryciem absorpcyjnym Acktar Magic Black™ oraz pomiar transmisyjności filtrów Lyman- α oraz filtrów szarych (Teledyne Acton Optics) [4]. W niniejszym komunikacie przedstawione zostaną wyniki wymienionych pomiarów.

Literatura

- [1] Fiedorowicz, H., Bartnik, A., et al., *Enhanced X-ray emission in the 1-keV range from a laser-irradiated gas puff target produced using the double-nozzle setup*, Applied Physics B: Lasers and Optics 70 (2000) 305-308.
- [2] Fiedorowicz, H., Bartnik, A., et al., *Strong extreme ultraviolet emission from a double-stream xenon/helium gas puff target irradiated with a Nd:YAG laser*, Optics Communications 184 (2000) 161-167.
- [3] Strumik, M., Wardzińska, M. et al., *Reflectance properties of the Acktar Magic Black™ coating for the radiation near the Lyman- α line of hydrogen: measurements and phenomenological model of the BRDF*, J. Astron. Telesc. Instrum. Syst., 2024, 10(1), 018004-12.
- [4] <https://www.actonoptics.com/en-us/products/vuv-uv-neutral-density-filters>

Badanie wpływu efektu Kerra na właściwości nieliniowych struktur wykazujących symetrię PT

Piotr WITOŃSKI^{1*}, Agnieszka MOSSAKOWSKA-WYSZYŃSKA¹, Paweł SZCZEPAŃSKI^{1,2}

¹Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki PW, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

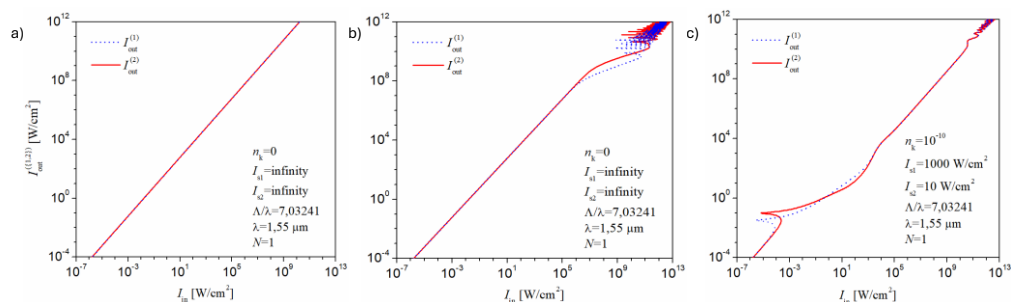
²Instytut Łączności, ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa

*piotr.witonski@pw.edu.pl

Struktury periodyczne wykazujące symetrię PT (z ang. parity time) są tworzone z materiałów charakteryzujących się zrównoważonym poziomem wzmocnienia i strat. Struktury te posiadają szereg ciekawych własności, np.: silne wzmocnienie fali o długości rezonansowej, kierunkową niewidzialność, czy doskonałą absorpcję. Struktury takie zbudowane są z dwóch materiałów optycznie czynnych ułożonych naprzemiennie, wzmacniającego i stratnego, o wartościach współczynnika załamania dobranych zgodnie z regułą: $n^*(-x)=n(x)$, gdzie gwiazdka oznacza zespolone sprzężenie.

W pracy przedstawiono po raz pierwszy analizę numeryczną nieliniowych struktur wykazujących symetrię PT z uwzględnieniem efektu Kerra oraz nasycień wzmocnienia i strat. Efekt Kerra modyfikuje części rzeczywiste współczynników załamania warstw tworzących badaną strukturę, powodując ich wzrost w funkcji natężenia pola elektromagnetycznego w jej wnętrzu, natomiast nasycenie wzmocnienia i strat modyfikuje części urojone współczynników załamania warstw powodując ich spadek.

Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem zmodyfikowanej metody macierzy transferu pozwalającej na opis przejścia fal przez kolejne warstwy struktury PT [1,2]. Otrzymano charakterystyki natężenia wyjściowego $I_{out}^{(1,2)}$ w funkcji natężenia fali wejściowej I_{in} oraz parametrów badanej struktury PT. Na rysunku zaprezentowano trzy wybrane charakterystyki $I_{out}^{(1,2)}$ dla następujących struktur: a) bez efektów nieliniowych; b) z uwzględnieniem wyłącznie efektu Kerra; c) z uwzględnieniem efektu Kerra i nasycień wzmocnienia i strat. Pokazano silny wpływ efektu Kerra na przebieg charakterystyk wyjściowych w strukturze PT (rys.1b). W obecności nasycień, efekt ten jest słabszy (rys.1c).



Rys. 18. Natężenie fali wyjściowej $I_{out}^{(1,2)}$ w funkcji natężenia fali padającej I_{in} .

Literatura

- [1] S. Phang, *Theory and numerical modelling of parity-time symmetric structures for photonics*, lipiec 15, 2016. <http://eprints.nottingham.ac.uk/32596/> (dostęp 1 lipca 2024)
- [2] P. Witoński, A. Mossakowska-Wyszyńska, P. Szczepański, *Effect of Nonlinear Loss and Gain in Multilayer PT-Symmetric Bragg Grating*, IEEE J. Quantum Electron. (2017), 53, 1, pp. 2100111

Mikrownękowy światłowodowy interferometr Macha-Zehndera jako platforma do monitorowania małych objętości w warunkach promieniowania jonizującego

Tomasz GABLER^{1*}, Monika JANIK¹, Petrișor Gabriel BLEOTU⁵, Andrei STANCALIE⁶,
Marcin KOBĄ^{1,2}, Robert BOGDANOWICZ⁴, Mateusz ŚMIETANA^{1,3}

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²Instytut Łączności PIB, Szachowa 1, 04-894, Warszawa

³Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Zakład Szkła,
al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

⁴Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki,
Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

⁵Extreme Light Infrastructure-Nuclear Physics, 30 Reactorului, Măgurele RO-077125, Rumunia

⁶National Institute Laser, Plasma and Radiation Physics, Center for Advanced Laser Technologies,
409 Atomîștilor, Măgurele RO-077125, Rumunia

*tomasz.gabler.dokt@pw.edu.pl

Badania związane z promieniowaniem jonizującym są kluczowe w wielu dziedzinach zaczynając od monitorowania stanu elektrowni atomowych, a kończąc na zastosowaniach medycznych. Badania z wykorzystaniem czujników światłowodowych oferują wiele zalet dzięki m.in. wytrzymałości w trudnych warunkach środowiskowych [1]. W tej pracy prezentujemy nowatorską metodę nieczułą na promieniowanie jonizujące, uniwersalną platformę do monitorowania w czasie rzeczywistym małych objętości rzędu setek pikolitrów. Strukturę wykonano w powierzchni bocznej światłowodu jednomodowego z wykorzystaniem ablacji laserem femtosekundowym. Stworzona mikrownęka działa jak interferometr Macha-Zehndera [2]. Mikrownęki umieszczono w akceleratorze elektronów, w strefie ekspozycji wiązki elektronów, a także umieszczono je w komorze napromieniowującej gamma GC-5000. Na wstępie przeprowadzono referencyjne eksperymenty z mikrownękami z wykorzystaniem wiązki elektronów nie wykrywając wpływu promieniowania na odpowiedź optyczną. Następnie jako materiał do testów w objętości mikrownęki wybrano monokrystaliczny proszek diamentowy MSY 0–0,25 o średnicy ziarna 125 nm, który może zmieniać swoje właściwości pod wpływem promieniowania jonizującego. Mikrownęki z proszkiem diamentowym testowano pod wpływem promieniowania wiązką elektronów i promieniowania gamma. Prezentowana metoda zapewnia wysoką stabilność niezależnie od zastosowanego źródła i dawki promieniowania lub czasu trwania eksperymentu. Metoda umożliwia monitorowanie w czasie rzeczywistym różnych mediów, od nanocząsteczek, po próbki biologiczne: przed, w trakcie i po napromieniowaniu [3].

Literatura

- [1] London Y., *Opto-Mechanical Fiber Sensing of Gamma Radiation*. Journal of Lightwave Technology, (2021), 39(20), 6637–6645
- [2] Gabler T., *Investigation of liquids with microcavity in-line Mach-Zehnder interferometers – Impact of the microcavity shape on the sensing performance*, Optical Fiber Technology, (2022), 73, 103059
- [3] Gabler T., *Microcavity in-line Mach-Zehnder interferometer in an optical fiber as a versatile platform for real-time monitoring of small volumes under ionizing radiation*, w przygotowaniu

Wybrane zastosowania algorytmów sztucznej inteligencji w układach laserowej spektroskopii absorpcyjnej z modulacją długości fali

Filip MUSIAŁEK, Dariusz SZABRA, Krzysztof ACHTENBERG, Jacek WOJTAS

Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 46

* jacek.wojtas@wat.edu.pl

Laserowa spektroskopia absorpcyjna (ang. LAS – Laser Absorption Spectroscopy) umożliwia wykrywanie substancji chemicznych w wielu dziedzinach nauki, przemysłu, ekologii, medycyny oraz bezpieczeństwa. Czujniki LAS wykorzystuje się min. do badań zanieczyszczeń atmosferycznych, inspekcji rurociągów gazowych, wykrywania materiałów wybuchowych czy diagnostyki amunicji [1,2]. Jednym z ulepszeń układów LAS jest zastosowanie modulacji długości fali (ang. WMS - Wavelength Modulation Spectroscopy). Najistotniejszymi zaletami tego typu czujników gazów jest minimalizacja wpływu szumu typu $1/f$ w fotoodbiorniku, duża czułość, wbudowane metody autokalibracji czy szeroki potencjał praktycznych zastosowań. Do głównych ograniczeń opisywanej metody można zaliczyć: skomplikowany dobór parametrów modulacji, dużą wrażliwość na występowanie interferencji optycznych oraz konieczność wieloiteracyjnego dopasowywania profili symulacyjnych do profili pomiarowych [3]. Rozwój algorytmów sztucznej inteligencji, a także platform sprzętowych i programistycznych umożliwia wykorzystanie ich potencjału w czujnikach gazów wykorzystujących WMS. W trakcie realizacji prac zaprojektowano i wykonano laboratoryjne układy WMS wykorzystujące lasery kaskadowe, komórki wieloprzejściowe oraz autorskie niskoszumowe sterowniki laserów i fotoodbiorniki. W celu minimalizacji wpływu wyżej wymienionych ograniczeń zaimplementowano algorytm genetyczny do optymalizacji parametrów modulacji, głęboką sieć autoenkodującą do redukcji szumu oraz sieć neuronową do regresji wartości stężenia przy zmiennych parametrach substancji gazowych. Opracowano dedykowane oprogramowanie do generowania bazy danych sygnałów symulacyjnych, służącej jako zbiór danych treningowych oraz walidacyjnych w procesie uczenia sieci. W badaniach uwzględniono również różne topologie i hiperparametry algorytmów sztucznej inteligencji. Badania eksperymentalne polegające na testowaniu algorytmów w układzie laboratoryjnym umożliwiły kilkunastokrotną poprawę SNR czujników, a także zwiększenie dokładności i szybkości wyznaczania stężenia gazu względem innych, dotychczas stosowanych metod.

Podziękowania: Praca powstała przy finansowym wsparciu publikacji z projektu „PREMIUM” nr B.PRJ.RT.858 pt.: „Prediction models for implementation of munition health management” finansowanego przez Europejską Agencję Obrony.

Literatura

- [1] J. Hodgkinson, R. Tatam, *Optical gas sensing: a review*, Measurement Science and Technology, Vol. 24, nr. 1, 2013.
- [2] J. Wojtas et. al, Fast-response optoelectronic detection of explosives' residues from the nitroaromatic compounds detonation: field studies approach, Measurement, Vol. 162, p. 107925, 2020
- [3] Z. Wang, P. Fu, X. Chao, *Laser Absorption Sensing Systems: Challenges, Modeling, and Design Optimization*, Applied Sciences, 2019.

Zastosowanie czujnika biologicznego do monitorowania miejsca zbrodni

Miron KALISZEWSKI*, Maksymilian WŁODARSKI, Jarosław MŁYŃCZAK,
Bartłomiej JANKIEWICZ, Krzysztof KOPCZYŃSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

*miron.kaliszewski@wat.edu.pl

Szybkość, z jaką przebiega dochodzenie kryminalne, ma kluczowe znaczenie dla ujęcia sprawców i zapobiegania dalszym przestępstwom. Czas i dokładna odpowiedź w początkowej fazie dochodzenia i jeszcze na miejscu mogą mieć kluczowe znaczenie, ponieważ umożliwia to skierowanie kolejnych działań policji w stronę konkretnych i najbardziej celowych zadań. Dlatego ślady muszą zostać wykryte na miejscu zbrodni możliwie szybko zanim ulegną degradacji i utracą informacje ważne dla dochodzenia kryminalistycznego. Inną ważną kwestią jest bezpieczeństwo personelu pracującego na miejscu zbrodni, który może być narażony na różne czynniki biologiczne i chemiczne niebezpieczne dla zdrowia. W przypadku czynników biologicznych ryzyko mogą stanowić zarówno płyny ustrojowe jak i drobnoustroje. Świadomie postępująca ekipa dochodzeniowa stosuje podstawowe zabezpieczenia przed drobnoustrojami w standardowych sytuacjach. Jednakże w nietypowych zdarzeniach takich jak ataki terrorystyczne lub wtórne użycie środków biologicznych, już podczas obecności ekipy na miejscu zdarzenia, mogą stanowić poważne zagrożenie. W ramach testowania jednego ze scenariuszy, w ramach projektu RISEN związanego z zastosowaniem nowoczesnych technologii na miejscu zbrodni, opracowano bio-detektor ułatwiający wykrywanie środków biologicznych w powietrzu w czasie rzeczywistym.



Opracowany czujnik biologiczny wykorzystuje fluorescencję indukowaną laserowo (LIF) oraz rozproszenie do wykrywania cząstek biologicznych w powietrzu. Każdy typ cząstek posiada określoną charakterystykę spektralną, co umożliwia klasyfikację bio-aerozoli w czasie rzeczywistym. Dane są przesyłane do stanowiska operatora, z którego w razie zagrożenia można zarządzić przerwanie czynności na miejscu zdarzenia.

Na plakacie zostanie przedstawiona budowa czujnika oraz wyniki badań różnych materiałów biologicznych.

Projekt finansowany w ramach środków UE. Umowa grantowa: 883116 — RISEN — H2020-SU-SEC-2018-2019-2020 / H2020-SU-SEC-2019

*mabramowicz@vigo.com.pl

Strategie projektowania niskostratnych interfejsów optycznych dla układów fotoniki scalonej pracujących w nietypowych zakresach spektralnych

**Marcin LELIT^{1,2*}, Andrzej POŁATYŃSKI^{1,5}, Krzysztof ANDERS^{1,3,4},
Stanisław STOPIŃSKI^{1,3,4}, Piotr WIŚNIEWSKI², Mateusz SŁOWIKOWSKI²,
Marcin JUCHNIEWICZ², Bartłomiej STONIO^{1,2}, Krystian PAVŁOV², Bartosz MICHALAK²,
Maciej FILIPIAK², Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,3,4}**

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²Politechnika Warszawska, Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT,
ul. Poleczki 19, 02-822 Warszawa

³LightHouse Sp. z o.o., ul. F. Stefczyka 34, 20-151 Lublin

⁴VIGO Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

⁵VPIphotonics GmbH, Carnotstr. 6, 10587 Berlin

*marcin.lelit@pw.edu.pl

Fotoniczne układy scalone (ang. photonic integrated circuit, PIC) są wykorzystywane od początku XXI wieku w systemach telekomunikacyjnych i transmisji danych ze względu na ich wyjątkowe zalety - kompaktowe rozmiary, energooszczędność, wysoką niezawodność i relatywnie niskie koszty wytwarzania (w skali masowej). W ostatniej dekadzie obszar zastosowania układów PIC poszerzył się o systemy sensoryczne, zdobywające kolejne nisze rynkowe.

Jednym z głównych wyzwań w projektowaniu i produkcji układów fotoniki scalonej (poza uzyskaniem zakładanej funkcjonalności) jest zapewnienie niskostratnych interfejsów I/O, możliwych do zaimplementowania w produkcji masowej i charakteryzujących się jak najwyższą (co najmniej mikrometrową) tolerancją na niedopasowanie geometryczne położenia elementów interfejsu [1]. Dojrzałe platformy fotoniczne oferują obecnie wydajne interfejsy dla długości fali z zakresu 1550 nm. Układy PIC działające w zakresie widzialnym (VIS) i średniej podczerwieni (mid-IR) wymagają zastosowania nowych platform materiałowych, takich jak german na krzemie (Ge-on-Si) czy azotek krzemu (SiN), gdzie osiągnięcie niskich strat wtarceniowych pozostaje wyzwaniem koncepcyjnym i technologicznym [2].

W niniejszej pracy omówiono strategię optymalizacji wydajności sprzęgania przy użyciu dwóch rodzajów interfejsów optycznych dla nowych platform fotonicznych. Pierwsza metoda pozwala na sprzęganie w płaszczyźnie układu PIC, wykorzystując konwertery rozmiaru pola modowego (ang. spot-size converters). Druga metoda polega na wykorzystaniu sprzęgaczy siatkowych (ang. grating couplers, GC). W pracy porównano podstawowe parametry transmisyjne oraz tolerancję centrowania dla obu systemów interfejsu oraz uzyskaną poprawę efektywności sprzęgania.

Badania zostały częściowo sfinansowane przez: (POB FOTECH) Politechniki Warszawskiej w ramach Inicjatywy Doskonałości: Uczelnia Badawcza (IDUB) umowa nr 1820/339/Z01/POB1/2021 oraz (YOUNG PW) przez Politechnikę Warszawską w ramach Inicjatywy Doskonałości: Uczelnia Badawcza (IDUB) umowa nr CPR-IDUB/51/Z01/2024. Niniejsza praca otrzymała wsparcie od Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu MIRPIC (TECHMATSTRATEG-III/0026/2019-00).

Literatura

- [1] Riccardo Marchetti, Cosimo Lacava, Lee Carroll, Kamil Gradkowski, oraz Paolo Minzioni, "Coupling strategies for silicon photonics integrated chips [Invited]," *Photon. Res.* 7, 201-239 (2019); <https://doi.org/10.1364/PRJ.7.000201>
- [2] Sarah Daniel J. Blumenthal, "Photonic integration for UV to IR applications," *APL Photonics* 5, 020903 (2020); <https://doi.org/10.1063/1.5131683>

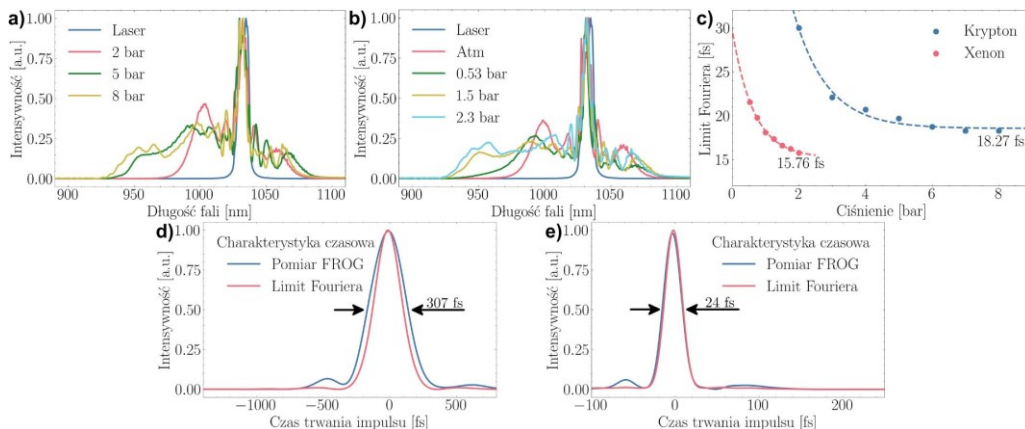
Wpływ ciśnienia i rodzaju gazu na proces spektralnego poszerzania ultrakrótkich impulsów laserowych w komórce wieloprześciowej

Michał Pietrzak*, Arkadiusz Hudzikowski, Aleksander Głuszek, Jarosław Sotor

Grupa Elektroniki Laserowej i Światłowodowej, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów,
Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

*michalpietrzak99@gmail.com

Lasery z synchronizacją modów oparte o kryształy szafiru domieszkowane tytanem pozwalają na generację ultrakrótkich impulsów laserowych na poziomie poniżej 30 fs, ale ich średnia moc jest ograniczona do zaledwie kilku watów. Lasery iterbowe z kolei mogą łatwo osiągać średnie moce rzędu kilowatów, jednak czas trwania ich impulsów zwykle nie osiąga mniej niż 100 fs [1]. W celu zmniejszenia czasu trwania impulsów pochodzących z lasera iterbowego można wykorzystać nieliniowe zjawiska zachodzące podczas propagacji światła w ośrodku gazowym, których intensywność jest proporcjonalna do ciśnienia. Komórkę wieloprześciową typu Herriotta wypełniono kryptonem lub ksenonem i zbadano wpływ ich ciśnienia na proces poszerzania spektralnego. Czas trwania skompresowanych impulsów zmierzono za pomocą techniki FROG (z j. ang. frequency resolved optical gating), uzyskując wartości 24 fs dla komórki wieloprześciowej wypełnionej kryptonem pod ciśnieniem 6,48 bara oraz 23 fs dla ksenonu przy ciśnieniu 2,02 bara. Zaprezentowane wyniki mogą być uznawane za jedną z pierwszych demonstracji możliwości uzyskiwania impulsów o czasie trwania poniżej 30 fs w klasycznym jednostopniowym układzie poszerzania spektralnego opartego o wieloprześciową komórkę odbiciową, przy pomocy lasera iterbowego 1030 nm o impulsach 116,7 μ J i 307 fs.



Rys. 1. a), b) Poszerzenie względem spektrum lasera, dla różnych ciśnień odpowiednio: kryptonu i ksenonu. c) Limit Fouriera dla poszerzonego widma, w funkcji ciśnienia danego gazu. d), e) Wykresy w dziedzinie czasu dla impulsu wejściowego o czasie trwania 307 fs i dla impulsu wyjściowego o czasie trwania 24 fs, dla komórki wieloprześciowej wypełnionej kryptonem pod ciśnieniem 6,48 bara i wprowadzonej przy pomocy zwierciadeł wielowarstwowych dyspersji o wartości 6400 fs².

Literatura

- [1] Prannay Balla et al. "Postcompression of picosecond pulses into the few-cycle regime", Opt. Lett. 45, 2572-2575 (2020)

Optymalizacja połączeń spawanych światłowodów kapilarnych

Mateusz JÓZWICKI*, Weronika JÓZWICKA, Krzysztof POTURAJ, Paweł MERGO

Pracownia Technologii Światłowodów, Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii,

Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie

Pl. Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin

*Mateusz.Jozwicki@umcs.lublin.pl

Światłowodowy mikrostrukturalne, podobnie jak światłowodowy standardowy mogą być wykonane ze szkła krzemionkowego, jak również z polimerów. Największą ich zaletą jest możliwość uzyskania bardzo wielu różnych struktur wewnętrznych charakteryzujących się często bardzo egzotycznymi właściwościami. Wytworzona mikrostruktura determinuje propagację światła i/lub właściwości sensoryczne. Światłowodowy mikrostrukturalne dają również możliwość wypełniania pustych przestrzeni różnymi substancjami, np. cieczami czy gazami. Ta właściwość sprawia, że ten rodzaj światłowodów ma coraz większe zastosowanie w technikach spektroskopowych.

W ostatnim czasie szczególną popularność zyskują światłowodowy hollow-core prowadzące światło poprzez efekt antyrezonansowego odbicia od cienkich ścianek kapilar. Łączenie a w szczególności spawanie takich światłowodów stanowi obecnie dość duży problem ze względu na konieczność zachowania nienaruszonej struktury wewnętrznej. Wykonanie połączenia, które zaburzy strukturę wewnętrzną takiego światłowodu skutkuje przesunięciem zakresu spektralnego prowadzonego w pustym rdzeniu światła.

W pracy przedstawiono opracowaną i zoptymalizowaną technikę wykonywania połączeń spawanych pomiędzy światłowodami typu hollow-core i standardowymi włóknami jednomodowymi.

Technologiczne aspekty wytwarzania fotonicznych układów scalonych na zakres średniej podczerwieni

Mateusz SŁOWIKOWSKI^{1*}, Marcin JUCHNIEWICZ¹, Maciej FILIPIAK¹, Krystian PAVŁOV¹,
Bartłomiej STONIO¹, Bartosz MICHALAK¹, Marcin MYŚLIWIEC¹, Piotr WIŚNIEWSKI¹,
Stanisław STOPIŃSKI², Ryszard PIRAMIDOWICZ²

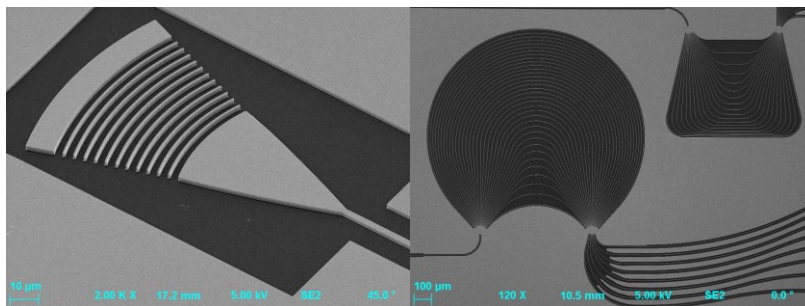
¹Politechnika Warszawska, Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT,
ul. Poleczki 19, 02-822 Warszawa

²Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
ul Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

*mateusz.slowikowski@pw.edu.pl

Technologie wytwarzania fotonicznych układów scalonych (ang. PICs) wywodzą się w dużym stopniu z technologii półprzewodnikowej CMOS. Wynika to z zastosowania podobnych lub tych samych materiałów oraz analogicznych wymagań co do precyzji wytwarzanych struktur [1]. Jednocześnie wysokie wymagania stawiane wykonywanym układom powodują konieczność każdorazowej optymalizacji procesów pod kątem konkretnej struktury.

Do realizacji elementów fotonicznych wytypowano dwie platformy materiałowe: Ge-on-Si i SOI, ze względu na transmisje sygnałów optycznych w tych materiałach, w zakresie średniej podczerwieni. Następnie opracowano i zoptymalizowano niezbędne procesy technologiczne - litografii, reaktywnego trawienia jonowego, osadzania metodą PECVD oraz trawienia mokrego.



Rys. 1. Przykłady wytworzonych elementów fotonicznych w platformie materiałowej Ge-on-Si – po lewej sprzęgacz siatkowy, po prawej multiplekser AWG.

W ramach przeprowadzonych prac wytworzono serię pasywnych elementów fotonicznych: falowodów, sprzęgaczy siatkowych, multiplekserów AWG, sprzęgaczy z interferencją wielomodową.

Prace były finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu TECHMATSTRATEG-III, nr projektu: TECHMATSTRATEG-III/0026/2019-00

Literatura

- [1] Izhaky, N.; Morse, M.T.; Koehl, S.; Cohen, O.; Rubin, D.; Barkai, A.; Sarid, G.; Cohen, R.; Paniccia, M.J., *Development of CMOS-Compatible Integrated Silicon Photonics Devices*. IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2006, 12, 1688–1697, doi:10.1109/JSTQE.2006.884089

Dwukanałowy system polarymetryczny do detekcji zaburzeń w transmisji szybkich sygnałów w QKD

Estera PAWLIKOWSKA^{1*}, Marek ŻYCZKOWSKI¹, Anna PAKUŁA², Paweł MARC³

¹Institut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

²Institut Mikromechaniki i Fotoniki, Politechnika Warszawska, ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa

³Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00- 908 Warszawa

*estera.pawlikowska@wat.edu.pl

Przedstawiamy nową metodę detekcji fizycznego zaburzania światłowodu w kanale transmisji QKD na bazie uproszczonego czujnika polarymetrycznego. System może być zaimplementowany w dwukierunkowych układach QKD typu send-and-return, wykorzystujących słabe impulsy [1].

Celem było stworzenie układu, odpowiedniego dla słabych sygnałów transmitowanych z wysoką częstotliwością, bazującego na wcześniej rozwijanym rozwiązaniu czterokanałowego polarymetru Stokes'a [2]. Uproszczenie samego układu znacząco zmniejsza koszty oraz trudność procesowania mierzonych sygnałów i przeprowadzanych na nich operacji. Zasada działania czujnika opiera się na pomiarze natężeń dwóch składowych polaryzacji oraz wyznaczeniu zmian różnicy ich wartości. Samemu procesowi wprowadzania podstuchu towarzyszy zdejmowanie warstw ochronnych ze światłowodu i tym samym czynności takie jak dotykanie, zginanie i manipulowanie włóknem. Wszelkie naprężenia wprowadzane do światłowodu jednomodowego powodują zmianę jego dwójtomności, w wyniku czego zmienia się stan polaryzacji propagowanych impulsów.

W układzie mierzony jest sygnał różnicowy, który w uproszczeniu odpowiada różnicy dwóch ortogonalnych składowych polaryzacji. Testy przeprowadzane były dla trzech typów zaburzeń: dotykania, zginania i podpinania sprzęgacza podstuchującego.

Na podstawie badań wykazano zdolność układu do detekcji zaburzeń światłowodu. Zaproponowano trzy parametry wyznaczane w procesie przetwarzania sygnałów, których wartość przekraczająca obliczony próg sygnalizuje naruszenie światłowodu i umożliwia definicję rodzaju zaburzeń. Implementacja czujnika polarymetrycznego nie wpływa na proces wymiany klucza w układzie QKD.

W uproszczonym rozwiązaniu możliwe jest wykorzystanie sygnału różnicowego oraz prostych operacji matematycznych w analizie sygnałów, do uzyskania informacji o obecności zaburzeń światłowodu, co zdecydowanie przyspiesza etap procesowania sygnałów.

Literatura

- [1] H. Takesue, i in., *Differential phase-shift quantum key distribution*, IEEE Communication Magazine 47, 102 – 106 (2009).
- [2] E. Pawlikowska, i in. *Testing of Four Channel Stokes Polarimeter performance for intrusion detection in QKD systems*, *Opto-Electronics Review*, [Artykuł został przesłany do publikacji] (2024).

SMART BED – monitorowanie parametrów życiowych z wykorzystaniem światłowodowych siatek Bragga i zintegrowanych interrogatorów fotonicznych

Aleksandra BIENIEK-KACZOREK^{1*}, Stanisław STOPIŃSKI^{1,2,3}, Krzysztof ANDERS^{1,2,3},
Anna JUSZA^{1,3}, Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,2,3}

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa,

²VIGO Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

³LightHouse sp. z o.o., ul. Stefczyka 34, 20-151 Lublin

*aleksandra.bieniek@pw.edu.pl

Monitorowanie parametrów życiowych pacjentów, takich jak tętno i częstotliwość oddechowa, stało się wyjątkowo ważne w erze cyfrowego monitoringu zdrowia, szczególnie po doświadczeniach związanych z globalną pandemią COVID-19. Oczekuje się, że czujniki monitorujące te parametry powinny być małe, przenośne, energooszczędne i zoptymalizowane kosztowo. Kluczowa dla osiągnięcia tych celów jest miniaturyzacja wszystkich elementów systemów monitorujących, co w naturalny sposób kieruje zainteresowanie projektantów w stronę układów fotoniki scalonej (ang. photonic integrated circuits, PICs) [1].

Zalety scalonych interrogatorów w porównaniu z ich objętościowymi odpowiednikami obejmują mniejsze rozmiary i wagę, łatwiejszą integrację z systemami optycznymi i elektronicznymi, niższe zużycie energii oraz niższe koszty wytwarzania i eksploatacji.

Niniejsza praca prezentuje najnowsze osiągnięcia zespołu IMiO w dziedzinie miniaturowych interrogatorów siatek braggowskich – istotą rozwiązania jest zwiększenie rozdzielczości spektralnej przy utrzymaniu niewielkich rozmiarów całego układu poprzez zastosowanie w układzie interrogatora asymetrycznych interferometrów Macha-Zehndera (ang. asymmetric Mach-Zehnder interferometers, AMZI). Zaprojektowane, wytworzone i zbadane układy pozwoliły na potwierdzenie podstawowych założeń – udowodniono, że architektura AMZI zapewnia odpowiednio wysoką rozdzielczość, zapewniającą możliwość detekcji niewielkich zmian długości fali Bragga, co pozwala zarówno na monitorowanie częstości oddechu (ang. respiratory rate, RR) jak też tętna (ang. heart rate, HR) [2]. Opracowane algorytmy wykorzystujące filtry przetwarzania sygnału (w tym Butterwortha i Czebyszewa) pozwoliły na radykalną poprawę sygnałów RR i HR pacjenta poprzez odfiltrowanie szumu z danych pomiarowych. Wyniki badań pozwoliły na zaprojektowanie zoptymalizowanej architektury scalonego interrogatora siatek Bragga z AMZI.

Literatura

- [1] M. Słowikowski, A. Kaźmierczak, S. Stopiński, M. Bieniek, S. Szostak, K. Matuk, L. Augustin, R. Piramidowicz, *Photonic Integrated Interrogator for Monitoring the Patient Condition during MRI Diagnosis*, Sensors. 2021; 21(12):4238.
- [2] Bieniek-Kaczorek, S. Stopiński, K. Anders, A. Jusza, M. Słowikowski, R. Piramidowicz, *Integrated photonic interrogators for fiber-optic sensing applications*, Proc. SPIE 12999, Optical Sensing and Detection VIII, 129990X (20 June 2024);

Badania zostały sfinansowane ze środków Politechniki Warszawskiej w ramach Programu Inicjatywa Dookoła – Uczelnia Badawcza (IDUB).

Zastosowanie metod spektroskopii optycznej dla systemów monitoringu wód i ścieków

**Anna JUSZA^{1,2*}, Aleksandra BIENIEK-KACZOREK¹, Paweł BORTNOWSKI¹,
Łukasz KOZŁOWSKI¹, Krzysztof ANDERS^{1,2,3}, Stanisław STOPIŃSKI^{1,2,3}, Jerzy KALWAS³,
Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,2,3}**

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²LightHouse Sp. z o.o., Stefczyka 34, 20-151 Lublin, Poland

³VIGO Photonics S.A., Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki, Poland

*anna.jusza@pw.edu.pl

Zużycie wody i wytwarzanie ścieków, które są produktem ubocznym produkcji rolnej i przemysłowej rośnie w alarmującym tempie (Strategia ONZ Water2030). Globalnie ponad 80% wszystkich ścieków jest odprowadzanych do środowiska bez żadnego oczyszczania. Ogólne trendy dotyczące ścieków wskazują, że kraje o wysokich dochodach oczyszczają około 70% wytwarzanych przez siebie ścieków komunalnych i przemysłowych. Stosunek ten spada do ok. 30% w krajach o średnich dochodach i jedynie 8% w krajach o niskich dochodach. Ścieki komunalne i przemysłowe odprowadzane z oczyszczalni ścieków często stanowią istotne źródło fosforu, azotu i polichlorowanych bifenyli, które są zrzucane do rzek, zbiorników zaporowych i stref przybrzeżnych mórz. Przyspiesza to procesy eutrofizacji i degradacji zasobów wodnych oraz generuje występowanie toksycznych zakwitów sinic, powodując degradację jakości wody i zagrażając zdrowiu ludzi i zwierząt. Dlatego należy opracowywać skuteczne i szybkie narzędzia służące analizie jakości wód powierzchniowych oraz ścieków odprowadzanych do środowiska.

Pomiary właściwości fizycznych, takich jak temperatura, przewodność elektryczna, mętność, przejroczystość czy barwa nie są dużym wyzwaniem dla zdalnych systemów monitorujących. Jednak pomiary właściwości chemicznych wymagają najczęściej przeprowadzenia dodatkowych reakcji chemicznych. Zapewnienie niezbędnych odczynników oraz produkty uboczne takiego pomiaru skutecznie utrudniają zdalne monitorowanie wielu substancji. Wymienione problemy można ominąć wykorzystując metody spektroskopowe bazujące na różnorodnym oddziaływaniu światła z materią.

W niniejszej pracy prezentujemy nasze pierwsze próby oznaczania stężeń azotanów, azotynów, fosforanów oraz jonów amonowych za pomocą metod spektroskopowych, stanowiących alternatywę dla obecnie stosowanych metod laboratoryjnych. Obecnie stosowane metody monitoringu wykorzystują różne mechanizmy umożliwiające detekcję i wykonanie pomiaru stężenia niebezpiecznych substancji, takie jak reakcje chemiczne z udziałem badanych substancji lub metody zmieniające w sposób trwały próbki poddane badaniom (płomieniowa spektrometria atomowa). Nowe metody będą wykorzystywały tylko niedestrukcyjną interakcję promieniowania elektromagnetycznego z badanymi substancjami, co pozwoli m.in. na maksymalne zmniejszenie wpływu metody pomiarowej na badaną próbkę. Metody fotoniczne, z uwagi na stosowanie urządzeń o długim czasie życia i wysokiej sprawności pozwalają również na redukcję odpadów generowanych w cyklu życia urządzenia pracującego w terenie.

**Projekt FoSMoWater (HYDROSTRATEG1/000E/2022) finansowany przez Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju w ramach programu HYDROSTRATEG 1.**

Optyczne czujniki powierzchniowe do ochrony przeciw laserom dużej mocy

Armen JAWORSKI^{1*}, Krzysztof GRABOWIECKI¹, Cezary KOSEWSKI¹

¹CIM-mes Projekt, Al. Jerozolimskie 125/127 lok. 503, 02-017 Warszawa

a.jaworski@cim-mes.com.pl

Lasery dużej mocy klasy 4 wykorzystywane są do spawania, cięcia i czyszczenia w warunkach przestrzeni otwartych (stocznictwo, energetyka) oraz do spawania precyzyjnego niepoddającego się automatyzacji. Przy korzystaniu z ręcznie operowanych urządzeń HLD (hand-held laser devices) konieczne są dodatkowe środki ostrożności w celu ochrony otoczenia i operatora. Dla mocy optycznej HLD powyżej kilowata, maksymalne dopuszczalne narażenie dla skóry (MPE) może być znacznie przekroczone [1]. Szczególnie niebezpieczne jest promieniowanie odbite, które jest trudne do kontroli oraz wykrycia z uwagi na zakres spektralny promieniowania powyżej 1000 μm (niewidoczny dla operatora). Pasywne środki ochrony mogą okazać się niewystarczające. Lepszą ochronę mogą zapewnić tzw. aktywne systemy, które wykrywają niebezpieczne oświetlenie wiązką laserową na zasadzie elektrycznej, termicznej lub optycznej i automatycznie wyłączają laser. Istniejące rozwiązania są skuteczne w ograniczonym zakresie. Alternatywą jest rozwiązanie optyczne w formie falowodu powłokowego w połączeniu z fototranzystorami. Może ono wykrywać wiązkę laserową wchodzącą w interakcję z dowolnym miejscem powłoki (ochronną) i automatycznie wyłączać źródło lasera w ciągu kilkunastu milisekund. Dzięki szybkiej reakcji, warstwa ochronna w systemach aktywnych może być znacznie lżejsza i cieńsza w porównaniu do całkowicie pasywnych rozwiązań.

W prezentacji zostaną przedstawione dwa prototypy aktywnej ochrony przed laserem: aktywna kurtyna do ochrony dużych przestrzeni produkcyjnych oraz jako alternatywna kabiny spawalniczej oraz aktywna rękawica jako ochrona dłoni przy precyzyjnych ręcznych operacjach laserowych. Po przekroczeniu zadanego progu gęstości mocy optycznej, generowany sygnał uruchamia obwód bezpieczeństwa lasera. Wyzwaniem technologicznym jest dobór parametrów materiałowych i optycznych dla falowodu oraz zapewnienie najwyższych poziomów niezawodności zgodnie z normą ISO 13849-1. Prezentacja przedstawi główne aspekty techniczne oraz badawcze związane z projektowaniem tego typu urządzeń.

Literatura:

[1] Thomas Puester, Juergen Walter, Michael Hustedt, and Volker Wesling, "Technical safety measures for the safe use of hand-held laser processing devices", J. of Laser Applications 24, 052004 (2012); doi: 10.2351/1.4742798

Prezentowane wyniki prac badawczych były współfinansowane przez: Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu INNOTEXTILE Działanie 1.2 PO IR „Sektorowe programy B+R”pt :“Aktywne kurtyny ochronne przeciw promieniowaniu lasera wysokiej mocy”, oraz projektu w ramach programu Ścieżka dla Mazowsza/2019. "Aktywne rękawice ochronne do obsługi laserów przemysłowych dużej mocy".

Niskofononowe szkła i nanokryształy domieszkowane jonami Tm^{3+} i $\text{Tm}^{3+}+\text{Yb}^{3+}$ - charakterystyka porównawcza właściwości luminescencyjnych

Paweł BORTNOWSKI^{1*}, Anna JUSZA^{1,2}, Krzysztof ANDERS^{1,2,3},
Paweł MERGO⁴, Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,2,3}

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²LightHouse Sp. z o.o., Stefczyka 34, 20-151 Lublin

³VIGO Photonics S.A., Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

⁴Wydział Chemii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, pl. M. Curie-Skłodowskiej 2, 20-031 Lublin

*pawel.bortnowski@pw.edu.pl

Od wielu lat obserwuje się zapotrzebowanie na kompaktowe i zoptymalizowane kosztowo koherentne źródła światła na zakres krótkofalowy. Mnogość zastosowań we współczesnej nauce i przemyśle stymuluje ich dynamiczny rozwój. Na szczególną uwagę zasługują dwie grupy urządzeń – lasery półprzewodnikowe i lasery ciała stałego w postaci objętościowej lub światłowodowej. Te ostatnie są uważane za jedno z najbardziej interesujących z powodu znakomych właściwości geometrycznych wiązki, wysokiej mocy wyjściowej, wydajnego, pasywnego mechanizmu odprowadzania ciepła i kompaktowych rozmiarów. Pomimo, że technologia ich wytwarzania jest rozwijana od wielu dekad wydaje się, że wciąż ich potencjał rozwojowy ciągle nie jest wyczerpany, co szczególnie dotyczy nietypowych zakresów spektralnych (UV-VIS i MIR).

Celem niniejszej pracy jest analiza porównawcza właściwości luminescencyjnych niskofononowych szkła ZBLAN i nanokryształów YF_3 domieszkowanych jonami tulu w zakresie UV-IR. Jon tulu charakteryzuje się prostą i dobrze rozdzieloną strukturą energetyczną z wieloma poziomami metastabilnymi umożliwiającymi emisję i akcję laserową w zakresie od UV (280 nm), widzialnym (450, 510 i 650 nm), podczerwonym (810 nm, 1480 nm, 2 μm , 2,3 μm) jak również w bardzo interesującym zakresie średniej podczerwieni – 3,8 μm . Domieszka w postaci iterbu pozwala na uzyskanie dodatkowego kanału pobudzania jonów w tulu za pomocą mechanizmów konwersji energii, wykorzystując wydajne i tanie źródła laserowe (978 nm).

Pomiary i analiza charakterystyk absorpcji, wzbudzenia i emisji obserwowanej przy pobudzaniu bezpośrednim oraz z mechanizmem konwersji stanu wzbudzonego, wraz z dynamikami fluorescencji poziomów metastabilnych umożliwiającą uzyskanie pełnego i porównawczego obrazu spektroskopowego systemów domieszkowanych jonami tulu. Analiza ta jest dobrym punktem startowym do modelowania i symulacji właściwości laserowych i wydajności różnych schematów pobudzania.

Badania zostały sfinansowane ze środków Politechniki Warszawskiej w ramach Programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza – Young PW (CPR-IDUB/51/Z01/024)

Modulatory termo optyczne dla platformy fotoniki scalonej SiN

Dagmara DRECKA*, Marcin MYŚLIWIEC, Maciej FILIPIAK, Michał GOLAS,
Bartłomiej STONIO, Mateusz SŁOWIKOWSKI

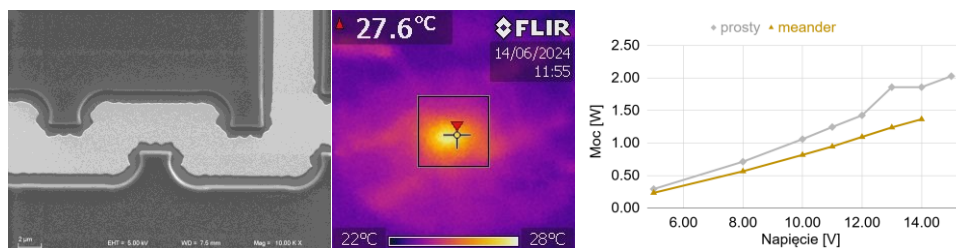
Politechnika Warszawska, Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT,
ul. Poleczki 19, 02-822 Warszawa

*dagmara.drecka.stud@pw.edu.pl

Platforma fotoniki scalonej bazująca na azotku krzemu (SiN) oferuje szeroki zakres spektralny transmisji sygnału (400-3000 nm) przy zachowaniu niskich strat [1]. SiN jest kompatybilny z procesami CMOS, co pozwala na precyzyjne wytwarzanie wielu elementów pasywnych. Oferuje także możliwość przestrajania sygnałów optycznych. Ze względu na ograniczenia materiałowe, możliwe do zrealizowania w tej platformie są przede wszystkim modulatory termo-optyczne [1].

Celem tej pracy było wytworzenie grzejnika modulatora termo-optycznego w technologii SiN. Ze względu na ograniczenia niezawodnościowe, maksymalną dostarczaną moc ograniczono do 100 mW. Prace nad modulatorem rozpoczęto od symulacji zakresu wpływu efektu temperatury od materiału grzejnika. Na podstawie wyników symulacji przygotowano topografię testową zawierającą dwa typy struktury grzejnika (prostego i meandrycznego), ze zmiennymi geometriami (wymiary 2-5 μm , zakres długości 100-400 μm).

W ramach badań porównano wpływ materiału i geometrii grzejnika na uzyskiwaną rezystywność. Testy temperaturowe przeprowadzono dla wybranych struktur (Rys. 1). Pozwoliło to na wytypowanie grzejników, które znajdą zastosowanie w rozwijanych modulatorach termo-optycznych.



Rys. 1. Od lewej: zbliżenie na jedną z testowanych struktur, wynik pomocniczego pomiaru temperatury oraz efektywność grzejnika ze złota dla dwóch struktur z różną geometrią.

Prace były finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu LIDER XIV, nr projektu: LIDER14/0068/2023.

Literatura

[1] D. Pérez et al., *Thermal tuners on a Silicon Nitride platform*, 2016

Badanie poziomów defektowych w supersieciach-II rodzaju InAs/InAsSb stosowanych w długofalowych detektorach kaskadowych

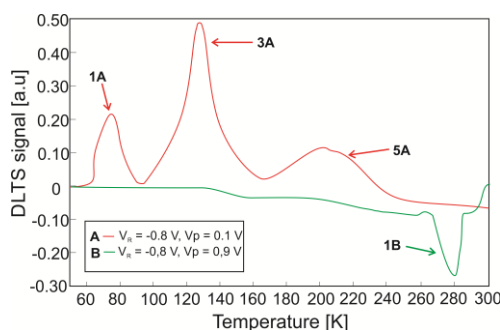
Kinga MAJKOWYCZ^{1*}, Krzysztof MURAWSKI¹, Bartłomiej SEREDYŃSKI², Piotr MARTYNIUK¹, Małgorzata KOPYTKO¹

¹Instytut Fizyki Technicznej, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

²Vigo Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

*kinga.majkowycz@wat.edu.pl

Detektory podczerwieni oparte na materiałach supersieciowych typu II były intensywnie badane w ostatnich latach ze względu na ich obiecujące możliwości w zakresie detekcji IR. Obecny poziom rozwoju technologii supersieci-II rodzaju InAs/InAsSb pozwala wytwarzać detektory promieniowania podczerwonego pracujące bez dodatkowego chłodzenia kriogenicznego, spełniające warunki detekcji wysokotemperaturowej [1]. Jednak wytworzenie wysokiej jakości warstwy epitaksjalnej bez defektów strukturalnych jest ciągłym wyzwaniem technologicznym. Rodzime defekty punktowe (NPD-z ang. native point defects) w InAs/InAsSb T2SL, na przykład wakanse In (V_{In}), wakanse As (V_{As}) czy wakanse Sb (V_{Sb}), jak również międzywęzłowe aniony In_{As} i Sb_{In} lub międzywęzłowe kationy In_{Sb} i In_{As} ograniczają działanie przyrządu. Uważa się, że w InAs/InAsSb T2SL powstają te same NPD, co w ich warstwach składowych InAs lub InAsSb [2]. Spektroskopia głębokich poziomów pułapkowych - DLTS (z ang. deep level transient spectroscopy) jest jedną z metod stosowanych do charakteryzowania elektrycznie aktywnych defektów w półprzewodnikach. W tej pracy przedstawiono wyniki DLTS dla supersieci InAs/InAsSb typu II wytworzonej metodą epitaksji wiązką molekularną (MBE) na podłożu GaAs, zoptymalizowanej dla 10,6 μm w temperaturze 300 K. W fotodiodzie p^+BppN^+ obszar zubożenia rozciąga się na lekko domieszkowany absorber typu p, więc te defekty można przypisać do obszaru p. Wyodrębniliśmy cztery poziome defektowe: trzy dla fotodiody spolaryzowanej w kierunku zaporowym (nośniki większościowe) i jeden dla fotodiody spolaryzowanej w kierunku przewodzenia (nośniki mniejszościowe).



Rys. 1. Sygnał DLTS dla fotodiody z supersieci II rodzaju InAs/InAsSb mierzony w kierunku zaporowym i przewodzenia

Literatura

- [1] P. Martyniuk, A. Rogalski and S. Krishna, *Interband Quantum Cascade Infrared Photodetectors: Current Status and Future Trends*, PHYSICAL REVIEW APPLIED 17, 027001 (2022)
- [2] S. Krishnamurthy, Y.u. Zhi Gang, *Green's function-based defect identification in InAs-InAs_{1-x}Sb_x strained layer superlattices*, AIP. Adv 7 (6) (Jun. 2017)

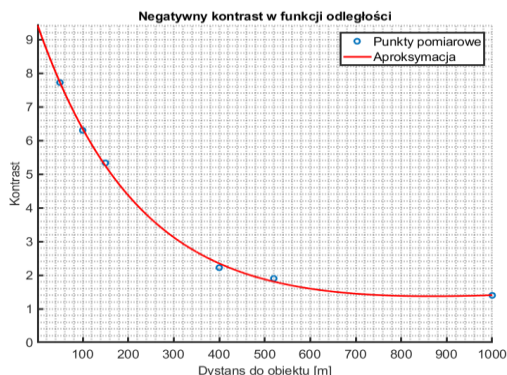
Negatywny kontrast w systemach wykrywania i śledzenia obiektów

**Dawid Maciej WRÓBLEWSKI, DOAN NGOC Hiep,
Marek ZYGMUNT, Krzysztof KOPCZYŃSKI**

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa
dawid.wroblewski@wat.edu.pl

W celu minimalizacji ryzyka występowania fałszywych alarmów, nowoczesne optyczne systemy wykrywania i śledzenia obiektów w przestrzeni powietrznej powinny integrować czujniki działające w różnych zakresach widma promieniowania optycznego.

Powszechnie stosuje się systemy działające w zakresie promieniowania podczerwonego -IR. Relatywnie nową metodą wykrywania i śledzenia obiektów jest pasywna metoda negatywnego kontrastu w zakresie promieniowania ultrafioletowego - UV. Polega ona na analizie zmian w rejestrowanym sygnale tła promieniowania UV w wyniku pojawienia się obiektu w polu widzenia sensora optycznego. Dokonano analizy czułości i zasięgu detekcji, a możliwości detekcyjne sensora wykorzystującego tę metodę przedstawiono na rys. 1. Skonstruowano stanowisko pomiarowe, które umożliwiło przeprowadzenie badań weryfikujących założenia teoretyczne. Wyniki tych badań potwierdzają skuteczność proponowanego podejścia, co czyni je obiecującym rozwiązaniem dla przyszłych aplikacji w szczególności w systemach monitorowania i bezpieczeństwa.



Rys. 1. Wyniki badań negatywnego kontrastu



Rys. 2.9 Stanowisko pomiarowe

Przeprowadzono również badania skoncentrowane na określeniu długości fali odcięcia dla promieniowania tła w zakresie UV (solar-blind). Badania te mają kluczowe znaczenie dla wysokoczułych systemów detekcji źródeł i zjawisk wysokotemperaturowych, takich jak starty rakiet. Uzyskane wyniki pozwalają na dobór optymalnego zakresu spektralnego detekcji, co pozwala zwiększyć skuteczność i niezawodność tych systemów [1].

Na plakacie zostaną przedstawione wyniki wyżej opisanych badań oraz zestawione stanowiska pomiarowe.

Literatura

- [1] DOAN NGOC Hiep, Dawid WRÓBLEWSKI, Marek ZYGMUNT, Zbigniew ZAWADZKI, Krzysztof KOPCZYŃSKI, UV cut-off wavelength of solar irradiation at the earth's surface, XXIII Krajowa Konferencja Elektroniki w Dąbowie, 2024

Podwieszane falowody w azotku krzemu dla zastosowań w średniej podczerwieni

Marcin JUCHNIEWICZ^{1*}, Michał GOLAS¹, Mateusz SŁOWIKOWSKI¹, Maciej FILIPIAK¹,
Bartłomiej STONIO¹, Dagmara DRECKA¹, Michał JAROSIK¹

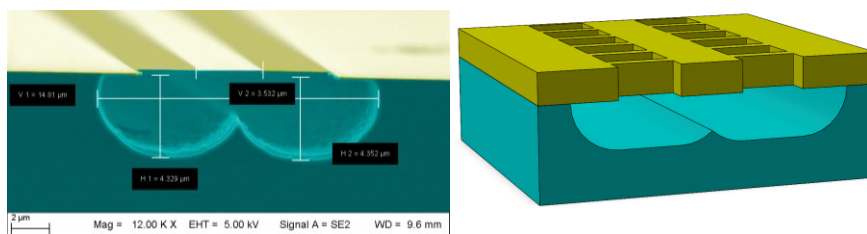
Politechnika Warszawska, Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT,
ul. Poleczki 19, 02-822 Warszawa

*marcin.juchniewicz@pw.edu.pl

Fotoniczne układy scalone (ang. PICs) znajdują coraz szersze zastosowanie w czujnikach fotonicznych takich jak czujniki pracujące w średniej podczerwieni. Dwie najpopularniejsze platformy fotoniczne średniej podczerwieni wykorzystują krzem na izolatorze (dł. fali do ok. 8 μm) oraz german na krzemie (dł. fali do ok. 15 μm) [1, 2], przy czym obie wykorzystują stosunkowo trudnodostępne i drogie podłoża. Alternatywą może być znacznie tańszy azotek krzemu (SiN), który posiada okno transmisji sięgające 6,7 μm [3]. W praktyce typowy układ fotoniczny oparty o SiN wykonany jest z falowodu SiN otoczonego ditlenkiem krzemu (SiO_2), który wykazuje silną absorpcję w zakresie średniej podczerwieni.

Modyfikacja tego typu konstrukcji polega na wyeliminowaniu SiO_2 przez podwieszenie falowodu w powietrzu. Schemat takiego falowodu przedstawiono na rys. 1: falowód otoczony jest z góry i z dołu powietrzem, a z boków jest podtrzymywany za pomocą żeber o wymiarach znacząco mniejszych niż długość prowadzonej fali.

Wytworzenie podwieszanych falowodów z SiN wymaga kilku etapów technologicznych. Pierwszym jest przygotowanie podłoża przez wytworzenie warstwy SiN o określonych właściwościach (grubość, wsp. załamania, chropowatość itp.). Następnie wykonywana jest twarda maska do trawienia. Wykorzystuje się do tego warstwę chromu, w której wykonywany jest wzór za pomocą trawienia suchego poprzedzonego litografią elektronową. Następnie wykonywane są jeszcze dwa procesy trawienia suchego: anizotropowe trawienie falowodu w SiN oraz izotropowe trawienie krzemu pod falowodem SiN (podwieszanie falowodu). Po tych etapach pozostaje usunięcie twardej maski chromowej, którą trawi się na mokro. Przykład otrzymanej struktury wraz ze schematem budowy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Obraz SEM i schemat przekroju otrzymanego podwieszanego falowodu.

Literatura

- [1] J. M. Fedeli and S. Nicoletti, "Mid-Infrared (Mid-IR) Silicon-Based Photonics," *Proc. IEEE*, vol. 106, no. 12, pp. 2302–2312, 2018, doi: 10.1109/JPROC.2018.2844565.
- [2] D. Marris-Morini *et al.*, "Germanium-based integrated photonics from near- to mid-infrared applications," *Nanophotonics*, vol. 7, no. 11, pp. 1781–1793, 2018, doi: 10.1515/nanoph-2018-0113.
- [3] P. Muñoz *et al.*, "Silicon nitride photonics: from visible to mid-infrared wavelengths," vol. 10537, p. 9, 2018, doi: 10.1117/12.2287421.

Detekcja mikroplastiku w wodzie metodami spektroskopii ramanowskiej

Łukasz KOZŁOWSKI^{1*}, Anna JUSZA^{1,2}, Krzysztof ANDERS^{1,2,3}, Stanisław STOPIŃSKI^{1,2,3},
Aleksandra BIENIEK-KACZOREK¹, Paweł BORTNOWSKI¹, Jerzy KALWAS³,
Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,2,3}

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²LightHouse Sp. z o.o., Stefczyka 34, 20-151 Lublin, Poland

³VIGO Photonics S.A., Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki, Poland

*lukasz.kozlowski@pw.edu.pl

W obecnych czasach ilość wytwarzanych zanieczyszczeń będących pochodnymi plastiku jest na bardzo wysokim poziomie. Drobinę plastiku pojawiają się tak naprawdę na każdym kroku w naszym życiu codziennym, niestety nawet w pożywieniu i w wodzie. Dbanie o czystość wody jest niesamowicie ważnym tematem i każde działanie mające na celu polepszenie jakości wód w środowisku może bezpośrednio wpłynąć na zdrowie naszej planety.

W ramach projektu FoSMoWater „Opracowanie innowacyjnego fotonicznego systemu monitoringu zasobów wodnych” prowadzone są prace mające na celu przebadanie możliwości wykorzystania metod optycznych do wykrywania zanieczyszczeń wody (tj. azotanów, azotynów i związków fosforu). Innym, bardzo istotnym czynnikiem zanieczyszczającym otoczenie, i między innymi wodę, jest mikroplastik. Częstki mikroplastiku obecne są zarówno w stojących zbiornikach wodnych i w wodach płynących, a nawet wykrywane są w wodzie wodociągowej [1]. Odpowiednie wykrywanie mikroplastiku może umożliwić podjęcie wczesnych kroków w zapobieganiu zanieczyszczania wód drobinami plastiku. Metody spektroskopowe są bardzo skuteczne w wykrywaniu różnych rodzajów polimerów, a jedną z nich jest spektroskopia ramanowska. W porównaniu z metodą FTIR, spektroskopia ramanowska wykazuje lepsze parametry do detekcji rodzajów plastiku [2]. Metody ramanowskie mogą również zostać wzmocnione przez wykorzystanie odpowiednio przygotowanych podłoży (SERS, ang. Surface Enhanced Raman Spectroscopy) [3]. Niniejsza praca przedstawia badania mające na celu wykrycie mikroplastiku w wodzie, które zostały przeprowadzone z wykorzystaniem spektroskopów Renishaw InVia Raman Microscope o długości fali pobudzającej 514 nm oraz Nicolet iS50 Raman z długością fali pobudzającej 1064 nm. Przedstawiona jest analiza porównawcza detekcji drobin mikroplastiku o średnicach 20 µm i 100 µm w wodzie.

Badania były finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu FoSMoWater (HYDROSTRATEG1/000E/2022).

- [1] A. K. Kniggendorf, C. Wetzel, and B. Roth, “Microplastics detection in streaming tap water with raman spectroscopy,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 8, Apr. 2019, doi: 10.3390/s19081839.
- [2] C. F. Araujo, M. M. Nolasco, A. M. P. Ribeiro, and P. J. A. Ribeiro-Claro, “Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects,” *Water Research*, vol. 142, Elsevier Ltd, pp. 426–440, Oct. 01, 2018, doi: 10.1016/j.watres.2018.05.060.
- [3] T. Dey, “Microplastic pollutant detection by Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS): a mini-review,” *Nanotechnology for Environmental Engineering*, vol. 8, no. 1, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 41–48, Mar. 01, 2023, doi: 10.1007/s41204-022-00223-7.

Platforma do symulacji i projektowania układów fotoniki zintegrowanej na zakres średniej podczerwieni MIRPIC

**Andrzej POŁATYŃSKI^{1,2*}, Marcin LELIT¹, Aleksandra PAŚNIKOWSKA¹,
Aleksandra BIENIEK-KACZOREK¹, Paweł BORTNOWSKI¹, Łukasz KOZŁOWSKI¹,
Krzysztof ANDERS^{1,3,4}, Stanisław STOPIŃSKI^{1,3,4}, Piotr WIŚNIEWSKI⁵,
Mateusz SŁOWIKOWSKI⁵, Marcin JUCHNIEWICZ⁵, Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,3,4}**

¹Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²VPIphotonics GmbH, Hallerstr. 6, 10587 Berlin, Niemcy

³VIGO Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

⁴LightHouse sp. z o.o., ul. Stefczyka 34, 20-151 Lublin

⁵Politechnika Warszawska, Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT,
Poleczki 19, 02-822 Warszawa

*andrzej.polatynski.dokt@pw.edu.pl

W ciągu ostatnich kilku lat szybki rozwój technologii fotonicznych układów scalonych (PIC) doprowadził do opracowania zaawansowanych platform technologicznych. Tendencja ta znacznie poszerzyła zakres spektralny działania układów PIC poza telekomunikacyjne pasmo C, zarówno w kierunku zakresów widma widzialnego (VIS), jak i średniej podczerwieni (MIR). W rezultacie, oprócz sieci telekomunikacyjnych i centrów danych, układy PIC znajdują obecnie zastosowanie w systemach czujników optycznych, systemach LIDAR, cyfrowym monitorowaniu zdrowia, urządzeniach biomedycznych i wielu innych dziedzinach.

Aby sprostać wymaganiom wschodzących rynków i aplikacji, należy opracować nowe platformy fotoniki zintegrowanej umożliwiające generację, propagację i detekcję sygnałów optycznych w zakresie VIS i MIR. W tej pracy przedstawione zostały najnowsze wyniki prac badawczych nad opracowaniem pierwszej biblioteki PDK do projektowania układów PIC z poziomu schematu symulacyjnego dla platformy technologicznej german na krzemie (Ge-on-Si) na zakres średniej podczerwieni (MIRPIC) [1]. Platforma ta jest zoptymalizowana pod kątem zakresu spektralnego $\lambda = 3,0 - 5,5 \mu\text{m}$, który jest trudno dostępny dla innych komercyjnie dostępnych platform generycznych.

W pracy tej opisujemy konstrukcję podstawowych i złożonych elementów znajdujących się w bibliotece PDK, takich jak falowody pasywne, sprzęgacze interferencyjne wielomodowe (MMI), sprzęgacze krawędziowe, sprzęgacze siatkowe, rozproszone zwierciadła Bragga (DBR) i multipleksery AWG. Przedstawiamy pomiary badanych struktur oraz zastosowaną metodykę charakteryzacji. Na koniec opisujemy kompletny proces projektowania układu PIC przy zastosowaniu zaimplementowanej biblioteki PDK [2] na przykładzie wielokanałowego nadajnika zoptymalizowanego do zastosowań związanych z wykrywaniem gazów na długościach fal 4,4, 4,8 i 5,2 μm .

Literatura

- [1] R. Piramidowicz, at CLEO/Europe 2023, DOI:10.1109/cleo/europe-eqec57999.2023.10231876
- [2] S. Mingaleev, at Photonics West 2017, SPIE OPTO Volume 10107, DOI:10.1117/12.2252001

Badania były prowadzone w ramach projektu MIRPIC, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Nowoczesne technologiczne materiały” - TECHMATSTRATEG-III/0026/2019.

Aktywne optycznie PMMA domieszkowane kropkami kwantowymi CdSe

Anna KICZOR*, Lidia CZYŻEWSKA, Paweł MERGO

Pracownia Technologii Światłowodów, Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii,
Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie

Pl. Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin

*Anna.Kiczor@umcs.lublin.pl

Główną barierą szerokiego wykorzystania światłowodów polimerowych w telekomunikacji są ich bardzo duże w porównaniu do światłowodów ze szkła krzemionkowego straty optyczne. Rozwiązaniem tego problemu mogą być polimerowe światłowody aktywne optycznie, na bazie których można podobnie jak dla dobrze znanych aktywnych światłowodów szklanych opracować specjalne wzmacniacze optyczne które skutecznie wzmocnią osłabiony sygnał optyczny. Aby ich praca była najbardziej wydajna konieczne jest wykorzystanie kropek kwantowych. Kropki kwantowe (QD) to nanokryształy półprzewodnikowe o właściwościach pośrednich między półprzewodnikami a cząstkami kwantowymi w rozmiarze 2- 10nm. Poprzez modyfikację składu i wielkości można otrzymać luminescencję w pełnym zakresie widma, czyli od UV do IR. Im mniejszy rozmiar nanocząstki, tym barwa wyemitowanego światła jest bardziej przesunięta w kierunku koloru niebieskiego, zaś im większa, tym bardziej przesunięta w kierunku barwy czerwonej. Charakteryzują się wysoką wydajnością kwantową, wyjątkowo wąskimi pasmami emisji fotoluminescencji. W porównaniu do standardowych barwników organicznych posiadają długi czas życia fluorescencji, bardzo dużą stabilność oraz odporność na fotowysbielanie.

W pracy przedstawiono właściwości optyczne i termiczne wytworzonego w PTŚ polimetakrylanu metylu domieszkowanego kropkami kwantowymi CdSe. Opracowana technologia syntezy kropek kwantowych w organicznych rozpuszczalnikach o wysokich temperaturach wrzenia oraz specjalny sposób polimeryzacji domieszkowanego kropkami kwantowymi PMMA pozwala na otrzymanie aktywnego polimeru z którego z powodzeniem można wytworzyć aktywne optycznie światłowody polimerowe.

Nowe metody anizotropowego trawienia mokrego do zastosowania w technologii wytwarzania QCL

Krzysztof CHMIELEWSKI, Katarzyna PIENIAK*, Krzysztof BRACHA,
Dorota PIERŚCIŃSKA, Kamil PIERŚCIŃSKI

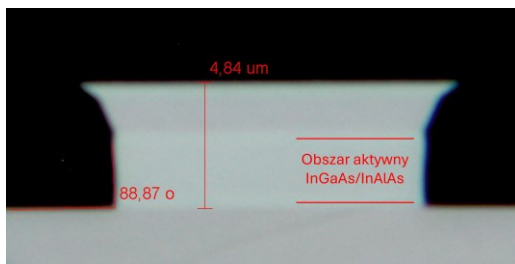
Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

*katarzyna.pieniak@imif.lukasiewicz.gov.pl

Tradycyjną metodą wytwarzania mes kwantowych laserów kaskadowych (QCL), opartych na systemie materiałowym InP/InGaAs/InAlAs, jest trawienie mokre w kwaśnych roztworach wykorzystujących wolny Br_2 , najczęściej generowany *in situ*. Szybkość tego procesu jest limitowana przez dyfuzję, co sprawia, że charakteryzuje się on brakiem zależności od orientacji krystalograficznej wzoru, niską selektywnością pomiędzy warstwami heterostruktury oraz małą czułością na defekty epitaksjalne i chropowatość ścianek maski. Wadami takiego podejścia są trudności w kontrolowaniu głębokości trawienia oraz zaokrąglony profil trawionych struktur.

QCL cechują się polaryzacją TM, więc kąt nachylenia bocznych ścian mes odbiegający od 90° prowadzi do znacznego wzrostu strat falowodowych i gęstości prądu progowego, wynikającego ze wzbudzenia powierzchniowych plazmonów-polarytonów na interfejsie warstw dielektryk-metal, które pokrywają zbocza mes [1]. Technika pozwalająca uzyskać pionowy profil trawionej heterostruktury InGaAs/InAlAs jest trawienie reaktywnymi jonami w plazmach chlorowych. Wady tej metody obejmują m.in. wysoki koszt reaktora, uszkodzenia sieci krystalicznej na skutek bombardowania wysokoenergetycznymi jonami oraz niską selektywność w stosunku do typowych materiałów maskujących.

W niniejszej pracy zostaną przedstawione metody anizotropowego trawienia mokrego, umożliwiające wytworzenie mes QCL z pionowymi ściankami na wysokości obszaru aktywnego InGaAs/InAlAs z wysoką selektywnością względem podłoża InP oraz wstępne wyniki trawień metodą fotoelektrochemiczną.



Rys. 1. Przelom przez mesę QCL wytrawioną metodą anizotropowego trawienia chemicznego. Powiększenie 3000x.

Literatura

- [1] X. Huang, Y. Chiu, W. O. Charles, C. Gmachl, *Ridge-width dependence of the threshold of long wavelength ($\lambda \approx 14 \mu\text{m}$) quantum cascade lasers with sloped and vertical sidewalls*, Optics Express (2012), pp. 2539-2547

Koncepcja fotonicznego układu scalonego do zastosowania w monitoringu zasobów wodnych

**Andrzej KAŻMIERCZAK*, Anna JUSZA, Aleksandra BIENIEK-KACZOREK,
Paweł BORTNOWSKI, Łukasz KOZŁOWSKI, Ryszard PIRAMIDOWICZ**

Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, Politechnika Warszawska,

ul. Koszykowa 75 00-662 Warszawa

*andrzej.kazmierczak@pw.edu.pl

Ambicją projektu o akronimie FOSMO jest opracowanie autonomicznego systemu do monitoringu w trybie ciągłym stężenia azotanów, azotynów i fosforanów w wodach powierzchniowych. Konsekwencją takiego założenia jest konieczność opracowania systemu bezobstugowego, gdzie pomiar nie będzie bazował na reakcjach chemicznych (z uwagi na ograniczoną możliwość dostarczania reagentów oraz usuwania produktów reakcji). Jednym z możliwych rozwiązań jest zastosowanie systemu optoelektronicznego typu Lab on a Chip wykorzystującego fotoniczny układ scalony. Umożliwi to otrzymanie urządzeń kompaktowych i o zwiększonej szybkości odpowiedzi. Obiekt pomiaru: stężenie jonów, które normalnie występują w wodach powierzchniowych uniemożliwia zastosowanie rozwiązania typowego dla immunosensorów [1]: rezonatora fotonicznego pokrytego warstwą receptorową i wymusza zastosowanie metod spektroskopowych. W zespole PW zweryfikowano doświadczalnie zakresy widmowe, dla których obecność jonów azotanowych, azotynowych i fosforanowych powoduje zwiększoną absorpcję światła. Zidentyfikowano piki absorpcyjne dla następujących długości fali: 7,00 μm dla fosforanów, 7,55 μm dla azotynów oraz 7,65 μm dla azotanów.

W oparciu o uzyskane wyniki opracowany zostanie układ fotoniczny wykorzystujący struktury rezonansowe (np. rezonatory pierścieniowe) pozwalający na wykrywanie zwiększonej absorpcji światła spowodowanej przez obecność ww. jonów w zatężonej próbce wód powierzchniowych. Przeanalizowane zostaną dostępne i możliwe do wykorzystania platformy materiałowe oraz rodzaje struktur falowodowych zwiększających wpływ otoczenia na propagację sygnału w falowodzie (np. światłowodów przewężonych [2] czy tzw. slot waveguides [1]). Układ sensoryczny będzie zawierał co najmniej 3 komórki sensoryczne opracowane każda dla jednej z wymienionych wyżej charakterystycznych dł. fali, do których doprowadzony zostanie sygnał o odpowiedniej dł. fali. Pomiar zmiany stężenia ww. jonów w próbce będzie dokonany poprzez pomiar zmiany intensywności sygnału na każdej z komórek sensorycznych.

Finansowanie

Badania prowadzone w ramach realizacji projektu pt. „Opracowanie innowacyjnego fotonicznego systemu monitoringu zasobów wodnych” (FOSMO) nr. umowy HYDROSTRATEG1/000E/2022 współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu HYDROSTRATEG.

Literatura

- [1] C.F. Carlborg i in., *A packaged optical slot-waveguide ring resonator sensor array for multiplex label-free assays in labs-on-chips*, Lab on a Chip 10 (3), pp. 281-290, 2009
- [2] M.A. Butt i in. *Mode Sensitivity Exploration of Silica-Titania Waveguide for Refractive Index Sensing Applications*, Sensors 21 (22), pp. 7452, 2021

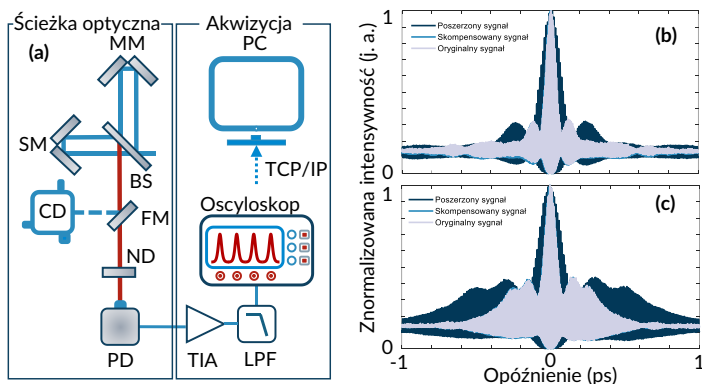
Diody laserowe jako czułe detektory dwufotonowe w interferometrycznej charakteryzacji impulsów

Adrian F. CHLEBOWSKI*, Łukasz A. STERCZEWSKI, Jarosław Z. SOTOR

Grupa Elektroniki Laserowej i Światłowodowej, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów,
Politechnika Wrocławska, ul. Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

*adrian.chlebowski@pwr.edu.pl

Szybka i dokładna charakteryzacja czasu trwania i kształtu impulsów optycznych jest niezbędna dla zastosowań laserów w ultraszybkiej spektroskopii, modyfikacji materiałów i komunikacji optycznej. Konwencjonalne metody pomiaru ultrakrótkich impulsów opierają się na procesach nieliniowych drugiego rzędu. Jeśli zamiast tego, wykorzysta się absorpcję dwufotonową (TPA), która jest procesem nieliniowym trzeciego rzędu, pomiary impulsów laserowych możliwe są bez dopasowania fazowego i polaryzacji względem kryształu, co znacząco upraszcza diagnostykę (Rys. 1a). W odróżnieniu od typowo stosowanych detektorów dwufotonowych wykorzystujemy TPA występujące samoistnie w diodzie laserowej InGaAsP (1.3 μm) z wnęką Fabry-Pérot (FP).



Rys. 1. (a) Układ eksperymentalny – zbalansowany interferometr Michelsona z detektorem TPA. (b) Porównanie autokorelacji interferometrycznej poszerzonej przez efekt mikrownęki, skompensowanego oraz pochodzącego z autokorelatora bazującego na nieliniowym kryształcie drugorzędowym. (c) Kompensacja efektu mikrownęki dla impulsu o dużym świergocie.

Przeprowadzono systematyczne badania efektu mikrownęki [1], w którym wielokrotnie przejścia światła między zwierciadłami rezonatora FP wzmacniają sygnał TPA, jednocześnie poszerzając profil impulsu z powodu dyspersji wewnątrzwnękowej i długiego czasu życia fotonu w rezonatorze (Rys. 1b). Porównując szerokości impulsów zmierzonych klasycznie oraz z detektorem TPA, określiliśmy funkcję rozmywania. Dzięki dekonwolucji sygnału autokorelacji, poszerzenie jest kompensowane w szerokim zakresie mocy średnich i szczytowych. Najniższa zmierzona średnia moc wyniosła 22 μW , w porównaniu z 8 mW przy użyciu komercyjnego autokorelatora. Innymi słowy, wykorzystując efekt mikrownęki uzyskano zwiększenie czułości o ok. 360 razy.

Literatura

- [1] H. Folliot *et al.*, "Two-photon absorption photocurrent enhancement in bulk AlGaAs semiconductor microcavities," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 80, no. 8, pp. 1328–1330, Feb. 2002, doi: 10.1063/1.1455694.

GST phase change material for photonic applications

Alicja KĄDZIELA^{1*}, Dagmara DRECKA¹, Michał GOLAS¹, Marcin JUCHNIEWICZ¹,
Marcin LELIT¹, Bartłomiej STONIO¹, Mateusz SŁOWIKOWSKI¹, Piotr WIŚNIEWSKI¹

¹Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT Politechnika Warszawska

ul. Poleczki 19, 02-822 Warszawa

*alicja.kadziela@pw.edu.pl

Phase-change materials (PCMs), particularly those based on chalcogenide compounds like $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST), offer significant potential for tunable optical components in nanophotonic circuits. These materials can be rapidly and reversibly switched between amorphous and crystalline phases using low-energy optical or electrical pulses, resulting in a substantial refractive index contrast ($\Delta n > 1$) across a broad wavelength range, from visible to infrared (IR). This unique property makes PCMs highly promising for on-chip photonic memories and versatile applications, especially in telecom and mid-IR wavelengths where low loss is critical. In this work, we present the experimental results of optimizing the GST layer and numerical simulations of the SiN waveguides with an integrated GST layer on top.

GST thin films were deposited on silicon substrates by magnetron sputtering. Amorphous samples were annealed in rapid thermal processing (RTP) system at different temperatures. In order to investigate optical properties of specimens, ellipsometric measurements were performed. In Fig. 1 n (a) and k (b) characteristics of samples annealed in different temperatures are plotted and manifest great changes during the phase changing process. The curves can be distinguished in three areas, corresponding to three different GST phases (amorphous, fcc, hcp). A tendency was observed for the optical constants values to increase with increasing annealing temperature. Simulations of field distribution and propagated modes were conducted in the Lumerical FDE solver for a 400 nm x 1 μm SiN waveguide. The waveguide, surrounded by a GST layer and encompassed by SiO_2 , was modeled in 2D for 1550 nm using obtained ellipsometry data. Electric field distribution of the fundamental TE mode (mode 0) for a SiN waveguide with a 32,5 nm layer of amorphous GST and crystallized GST at 170 °C is presented in Figure 1. Images show visible differences in guided mode, affecting transmission through such a structure depending on GST layer state.

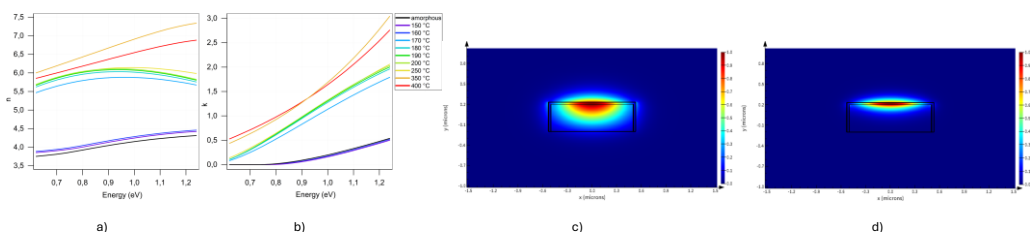


Fig. 10. Optical constants of GST samples: a) refractive index, b) extinction coefficient; Electric field distribution of the fundamental TE mode for a waveguide with: c) amorphous and d) crystallized GST.

References

- [1] P. Prabhathan, et al. "Roadmap for phase change materials in photonics and beyond." *Iscience* 26.10 (2023).

System monitorowania ruchu górotworu w kopalniach węgla bazujący na scalonym interrogatorze FBG

Krzysztof ANDERS^{1,2}, Stanisław STOPIŃSKI^{1,2}, Anna JUSZA^{1,2},
Andrzej KAŻMIERCZAK², Aleksandra BIENIEK-KACZOREK², Paweł BORTNOWSKI²,
Franciszek ZABIEROWSKI⁷, Sławomir SZOSTAK², Bartosz MARCINIAK³,
Paweł MERGO⁴, Adam PAŹDZIOR⁴, Łukasz WZOREK⁵, Łukasz BEDNARSKI⁵,
Krzysztof SKRZYPKOWSKI⁶, Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,2}

¹LightHouse sp. z o.o., Franciszka Stefczyka 34, 20-151 Lublin

²Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

³Lubelski Węgiel BOGDANKA S.A., Bogdanka, 21-013 Puchaczów

⁴Wydział Chemii UMCS, plac Marii Skłodowskiej-Curie, 2, 20-031 Lublin

⁵SHM System Sp. z o.o. Sp. kom., Libertów, ul Jana Pawła II 82A 30-444 Kraków

⁶Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami AGH, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

⁷Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

*krzysztof.anders@lighthouse.net.pl

Monitorowanie ruchu górotworu jest integralnym elementem systemu zarządzania bezpieczeństwem i efektywnością ekonomiczną w górnictwie. Pozwala ono na wczesne wykrywanie i ocenę potencjalnych zagrożeń i optymalizację procesów wydobywczych. Typowe rozwiązania bazują na kotwach pomiarowych z tensometrami elektronicznymi, wymagającymi regularnych kalibracji i ewentualnej wymiany, co istotnie zwiększa koszty eksploatacyjne.

Zastosowanie czujników światłowodowych FBG (ang, fiber Bragg grating, FBG) pozwala na bardzo precyzyjny pomiar odkształcenia żerdzi kotwowej, a dodatkowo dzięki zastosowaniu przetłaczników optycznych istnieje możliwość opracowania sieci czujników i monitorowania ruchu górotworu niemal w czasie rzeczywistym. Dzięki temu można precyzyjnie określić zasięg i występowanie strefy spękań górotworu na poszczególnych odcinkach chodnika wydobywczego.

W ramach prowadzonych badań opracowano kotwy z wklejonym światłowodem z naniesionymi światłowodowymi czujnikami FBG. System monitorowania czujników został zrealizowany za pomocą komercyjnego interrogatora wykorzystującego laser przestrajalny. Drugie rozwiązanie bazowało na autorskim interrogatorze w postaci specjalizowanego fotonicznego układu scalonego opracowanego przez firmę LightHouse i wytworzonego w Fraunhofer Heinrich Hertz Institut w generycznej technologii fosforku indu. Systemy zostały zmontowane i przetestowane w laboratorium kotwowym AGH oraz, w przypadku komercyjnego interrogatora, na stanowisku testowym w chodniku kopalni. Wyniki pomiarów wykazały dużą zgodność z metodą referencyjną i potwierdziły możliwość zastosowania specjalizowanych fotonicznych układów scalonych do monitorowania ruchu górotworu w kopalniach węgla kamiennego.

Optymalizacja sprzęgaczy siatkowych na zakres widzialny

Michał GOLAS^{1*}, Mateusz SŁOWIKOWSKI¹, Bartłomiej STONIO¹, Dagmara DRECKA¹,
Maciej FILIPIAK¹, Marcin JUCHNIEWICZ¹, Piotr WIŚNIEWSKI¹

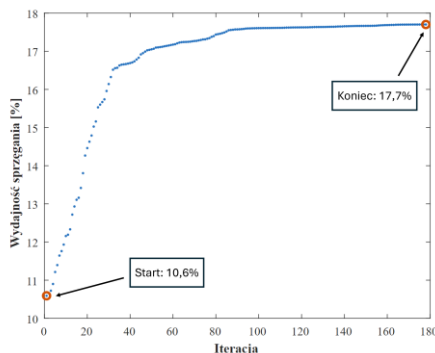
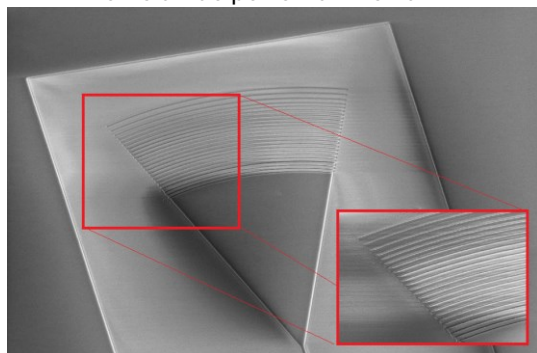
¹Politechnika Warszawska, Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT,
ul. Poleczki 19, 02-822 Warszawa

*michal.golas@pw.edu.pl

Sprzęgacze siatkowe stanowią jedną z metod sprzęgania światła do fotonicznego układu scalonego. W poniższym komunikacie prezentujemy wyniki optymalizacji sprzęgaczy siatkowych na zakres widzialny metodą najszybszego spadku gradientu.

Głównym problemem poddawanym analizie jest balans pomiędzy ograniczeniami technologicznymi i właściwościami wykorzystywanego materiału – w tym wypadku azotku krzemu, wytwarzanego i badanego w laboratoriach CEZAMAT PW. Ze względu na zakres długości fal, warunki działania sprzęgacza siatkowego zbliżają się rozmiarami do rozdzielczości najbardziej wyrafinowanych metod litograficznych.

Optymalizacja sprzęgaczy siatkowych odbyła się z wykorzystaniem pakietu LumOpt [1], dostępnym wraz z komercyjnym oprogramowaniem Lumerical. Otrzymano poprawę wydajności teoretycznego sprzęgania światła z – 9.75 dB do poziomu –7.52 dB.



**Rys. 1. Po lewej: Wykres wydajności sprzęgania od kroku wykonywania algorytmu.
Po prawej: Sprzęgacz siatkowy odwzorowany w azotku krzemu.**

Prace były finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu LIDER XIV, nr projektu: LIDER14/0068/2023.

Literatura

- [1] C. Lalau-Keraly, et al., Adjoint shape optimization applied to electromagnetic design, Optics Express 21 (2013), pp. 21693-21701

Broadband near-infrared phosphors as future light sources for spectroscopy applications

Maciej GRZEGORCZYK,^{1*} Natalia MAJEWSKA,¹ Ru-Shi LIU,² Sebastian MAHLIK¹

¹Institute of Experimental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, University of Gdansk, Wita Stwosza 57, 80-308 Gdansk, Poland

²Department of Chemistry, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan,

*maciej.grzegorzcyk@ug.edu.pl

The near-infrared (NIR) light source is desirable for real-time non-destructive examination applications, including food freshness analysis, health monitoring, infrared cameras, agriculture, and bio-applications. [1-4] The light emission spectra of such infrared light sources should be broad as possible for effective performance because of the broad absorption and reflection of light by the organic elements present in foodstuffs and human health in the blue and NIR regions of the electromagnetic spectrum, respectively. NIR phosphor-converted light-emitting diodes (pc-LEDs) are poised to replace conventional lamps due to their high efficiency and compact design. With the maturity of blue LED chips, pc-LEDs with broadband emission have been recently proposed as a suitable and efficient NIR light source in portable devices.

In this study, the most recently developed broadband near-infrared phosphors and their applications are presented. The most attention is paid to materials activated by Cr^{3+} , Cr^{4+} and Ni^{2+} ions as an ideal candidate for producing IR light offering emissions across a wide spectrum from 700 to 1700 nm. [5], [6]

Literature

- [1] B.M. Nicolai, K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K.I. Theron, J. Lammertyn Postharvest Biol. Technol., *Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review*, 46 (2007) 99–118,
- [2] Y.H. Chien, Y.L. Chou, S.W. Wang, S.T. Hung, M.C. Liao, Y.J. Chao, C.H. Su, C.S. Yeh ACS Nano, *Near-Infrared Light Photocontrolled Targeting, Bioimaging, and Chemotherapy with Caged Upconversion Nanoparticles in Vitro and in Vivo*, 7 (2013) 8516–8528,
- [3] V. Rajendran, M.H. Fang, G. N. D. Guzman, T. Leśniewski, S. Mahlik, M. Grinberg, G. Leniec, S. M. Kaczmarek, Y. S. Lin, K. M. Lu, C. M. Lin, H. Chang, S. F. Hu, R. S. Liu, ACS Energy Lett. *Super broadband near-infrared phosphors with high radiant flux as future light sources for spectroscopy applications*, 3 (2018) 2679–2684,
- [4] M. H. Fang, P. Y. Huang, Z. Bao, N. Majewska, T. Leśniewski, S. Mahlik, M. Grinberg, G. Leniec, S. M. Kaczmarek, C. W. Yang, K. M. Lu, H. S. Sheu, R. S. Liu, Chem. Mater. *Penetrating Biological Tissue Using Light-Emitting Diodes with a Highly Efficient Near-Infrared $\text{ScBO}_3\text{:Cr}^{3+}$ Phosphor*, 32 (2020) 2166–2171,
- [5] V. Rajendran, K.C. Chen, W.T. Huang, M. Kamiński, M. Grzegorzcyk, S. Mahlik, G. Leniec, K.M. Lu, D.H. Wei, H. Chang, R.S. Liu, ACS Energy Lett., *Unraveling Luminescent Energy Transfer Pathways: Futuristic Approach of Miniature Shortwave Infrared Light-Emitting Diode Design*, 8 (2023) 2395–2400,
- [6] A. Satpathy, W.T. Huang, T.H. Liu, T.Y. Su, W. Zhang, M. Kamiński, M. Grzegorzcyk, J.H. Chen, D.H. Cherng, K.M. Lu, X. Chen, S. Mahlik, R.S. Liu, Advanced Optical Materials, *Mini Light-Emitting Diode Technology with High Quantum Efficient NIR-II Partially Inverse Spinel $\text{MgGa}_2\text{O}_4\text{:Cr}^{3+}, \text{Ni}^{2+}$ Nanophosphors*, 8 (2024) 2302645.

Układ statycznego spektrometru fourierowskiego do zastosowań czujnikowych w środowiskach wodnych

Filip LABAJ^{1*}, Jerzy KALWAS¹, Paweł RUKAT³, Piotr MAJEWSKI³,
Ryszard PIRAMIDOWICZ²

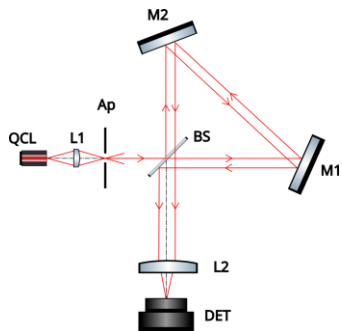
¹VIGO Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

² Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

³Politechnika Warszawska, Instytut Mikromechaniki i Fotoniki,
św. Andrzeja Boboli 8, 02-525 Warszawa

*filip.labaj.dokt@pw.edu.pl

Ilościowa analiza spektralna sygnału optycznego po jego interakcji z materią pozwala na dokładną, powtarzalną detekcję i identyfikację szerokiej gamy substancji. Spektrometry pozwalające na pomiar tego typu charakterystyk pracują zwykle w podczerwieni, szczególnie istotny jest zakres długości fali od 7 μm do 25 μm , nazywanym także obszarem daktyloskopowym („fingerprint region”) [1].



Rys. 1. Schemat układu statycznego spektrometru fourierowskiego:

QCL – quantum cascade laser; **L1**, **Ap** – układ wprowadzający; **BS** – dzielnik wiązki 50:50; **M1**, **M2** – zwierciadła płaskie; **L2** – soczewka kolimująca; **DET** – detektor wieloelementowy

Proponowany układ spektrometru bazuje na konfiguracji trójkątnej interferometru Sagnaca, zoptymalizowanego do pracy w zakresie 8 – 12 μm , z uwagi na obecność linii absorpcyjnych azotanów i azotynów oraz dostępność kamer mikrobolometrycznych dedykowanych do pracy z tymi długościami fali. Schemat układu przedstawia Rysunek 1.

Wynik interferencji w układzie jest mierzony na jego wyjściu przez kamerę mikrobolometryczną/detektor wieloelementowy, co pozwala na akwizycję interferogramu całego badanego spektrum w ramach pojedynczego pomiaru i eliminuje konieczność zmian pozycji elementów układu, jak np. w spektrometrach fourierowskich w konfiguracji Michelsona, pracujących z detektorem jednoelementowym [2].

W celu weryfikacji poprawności działania układu zostały wykonane pomiary dla różnych rodzajów źródeł światła o znanych charakterystykach spektralnych, m.in. termalnych i laserowych. Wykorzystując zbudowany układ przeprowadzone zostały także pomiary próbek wzorcowych azotanów i azotynów pod kątem detekcji w zbiornikach wodnych.

Prace zostały sfinansowane z projektów NCBiR TECHMATSTRATEG-III/0026/2019 i HYDROSTRATEG1/000E/2022.

Literatura

- [1] Smith JG (2011). Chapter 13 “Mass Spectrometry and Infrared Spectroscopy” In “Organic chemistry (3rd ed.)”; Hodge T, Nemmers D, Klein J Eds.; New York, NY: McGraw-Hill. pp. 463–488
- [2] Barducci, Alessandro, et al. "Theoretical aspects of Fourier transform spectrometry and common path triangular interferometers." Optics Express 18.11 (2010): 11622-11649.

Przezroczyste elektrody dla niespolaryzowanego światła podczerwonego

Karolina BOGDANOWICZ^{1,2*}, Marek EKIELSKI¹, Weronika GŁOWADZKA^{1,2},
Oskar SADOWSKI^{1,3}, Michał RYGAŁA⁴, Marcin MOTYKA⁴, Tristan SMOŁKA⁴,
Tomasz CZYSZANOWSKI², Anna SZERLING¹

¹Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa,

²Instytut Fizyki Politechniki Łódzkiej, ul. Wólczańska 217/221, 93-005 Łódź,

³Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa,

⁴Politechnika Wrocławska, Wydział Podstawowych Problemów Techniki,

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

*karolina.bogdanowicz@imif.lukasiewicz.gov.pl

Monolityczne półprzewodnikowe siatki podfalowe (MHCG) umożliwiają niemal całkowitą transmisję światła przez interfejs półprzewodnik-powietrze. Dzięki integracji MHCG z metalowymi paskami umieszczonymi pomiędzy paskami półprzewodnika (zwanymi metalMHCG) możliwe jest opracowanie przezroczystych elektrod o wyjątkowych właściwościach. Elektrody te umożliwiają niemal 100% transmisję niespolaryzowanego światła przez interfejs, eliminując odbicie Fresnela i osiągając rekordowo niską elektryczną oporność powierzchniową, znacznie poniżej 10 Ohm/□. W związku z tym struktura metalMHCG może być idealnym rozwiązaniem do zastosowania jako elektroda przezroczysta dla urządzeń optoelektronicznych dużej mocy, takich jak diody LED, diody LED z wnęką rezonansową, lasery powierzchniowe, VCSEL i inne urządzenia, w których światło rozchodzi się przez powierzchnię półprzewodnika pokrytą elektrodą wprowadzającą prąd o znacznych gęstościach. Osiągnięcie tak wysokich poziomów transmisji wymaga wytwarzania struktur w formie periodycznych pasków o wysokim stosunku wysokości do szerokości z osadzoną pomiędzy paskami półprzewodnika warstwą metalu, co stwarza wyzwania technologiczne.

W pracy przedstawiono rezultaty badań dotyczące opracowania technologii wytwarzania struktur metalMHCG w GaAs. Głównym celem było opracowanie procesu trawienia jednowymiarowych siatek półprzewodnikowych o prostych i gładkich ścianach, umożliwiających osadzanie warstwy złota pomiędzy paskami półprzewodnika. Do określenia optymalnych wymiarów struktury metalMHCG zastosowano symulacje numeryczne, dążąc do uzyskania najwyższej transmisji przy długości fali 7 μm. Wzór siatki wykonano wykorzystując technikę elektronolitografii, a następnie wzór przenoszono do materiału podłoża za pomocą trawienia plazmowego (ICP-RIE). Zbadano wpływ przepływu i składu gazu procesowego, ciśnienia, mocy i temperatury na kształt ścian, szybkość trawienia i selektywność.

Wykonane siatki zostały scharakteryzowane skaningowym mikroskopem elektronowym (SEM) oraz metodą spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR). Najwyższa zmierzona transmisja światła niespolaryzowanego dla wytworzonych struktur wyniosła 94,5% przy długości fali 7 μm, a elektryczną oporność powierzchniową oszacowano na 2 Ohm/□.

Układ impulsowego lasera światłowodowego generującego w zakresie widmowym 2,8 μm

**Łukasz SÓJKA^{1*}, Łukasz PAJEWSKI¹, Samir LAMRINI³
Mark FARRIES³, Trevor BENSON³, Emma BARNEY³, Angela SEDDON³,
Sławomir SUJECKI¹**

¹Politechnika Wrocławska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

²The University of Nottingham, University Park, NG7 2RD Nottingham, UK

³LISA laser products OHG, Max-Planck-Str. 1, Katlenburg-Lindau 37191, Germany

*lukasz.sojka@pwr.edu.pl

Lasery emitujące w zakresie spektralnym $>2,5 \mu\text{m}$ mogą znaleźć szerokie zastosowanie, m.in. w detekcji gazów, diagnostyce medycznej oraz bezprzewodowej komunikacji w wolnej przestrzeni. Mogą one również być stosowane jako pompy optyczne układów OPO, a także w laserach terbowych generujących promieniowanie w zakresie średniej podczerwieni [1,2].

W prezentacji przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych układu impulsowego lasera Er^{3+} :ZBLAN, pompowanego diodą laserową generującą promieniowanie o długości fali 975 nm. Praca impulsowa układu została uzyskana dzięki wykorzystaniu techniki modulacji dobroci rezonatora za pomocą komórki akustooptycznej. Opracowany laser generował impulsy o czasie trwania rzędu kilkudziesięciu nanosekund, o mocach szczytowych rzędu setek watów przy częstotliwościach repetycji rzędu kiloherców [3].

Literatura

- [1] Churbanov MF, Denker BI, Galagan BI, Koltashev VV, Plotnichenko VG, Sukhanov MV, Sverchkov SE, and Velmuzhov AP, *First demonstration of $\sim 5 \mu\text{m}$ laser action in terbium-doped selenide glass*. Applied Physics B-Lasers and Optics 126, (2020) id. 117
- [2] Nunes JJ, Sojka L, Crane RW, Furniss D, Tang ZQ, Mabwa D, Xiao B, Benson TM, Farries M, Kalfagiannis N, Barney E, Phang S, Seddon AB, and Sujecki S, *Room temperature mid-infrared fiber lasing beyond $5 \mu\text{m}$ in chalcogenide glass small-core step index fiber*. Optics Letters 46, (2021), pp. 3504-3507.
- [3] Sojka L, Pajewski L, Lamrini S, Farries M, Benson TM, Seddon AB, Sujecki S. Experimental Investigation of Actively Q-Switched Er^{3+} :ZBLAN Fiber Laser Operating at around $2.8 \mu\text{m}$. Sensors. 2020; 20(16):4642.

Architektury falowodów Ge-on-Si do zastosowań czujnikowych w zakresie średniej podczerwieni – charakterystyka porównawcza

Jacek Olszewski^{1*}, Krzysztof ANDERS^{1,2},
Stanisław STOPIŃSKI^{1,2}, Ryszard PIRAMIDOWICZ^{1,2}

¹VIGO Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki

²Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,

ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

*jolszewski@vigophotonics.com

Zakres spektralny średniej podczerwieni (*Mid Infrared*, MIR) jest istotny dla wielu zastosowań, w tym monitorowania środowiska, diagnostyki medycznej i kontroli procesów przemysłowych. Planarne falowodów germanowo-krzemowe (Ge-on-Si) stanowią obiecującą platformę materiałową dla zintegrowanych czujników fotonicznych działających w tym zakresie długości fali, wykorzystując szerokie okno transmisji optycznej germanu (1.7–15.0 μm) oraz kompatybilność z technologią CMOS [1-2].

Kluczowym parametrem wpływającym na wydajność falowodowych czujników MIR jest współczynnik uwięzienia (Γ), który określa stopień przekrycia pola modu propagującego się w falowodzie z obszarem, w którym znajduje się analit. Współczynnik ten wyrażony jest zależnością [2, 3]

$$\Gamma = \frac{N_g}{\text{Re}(n_a)} \frac{\iint_a \varepsilon_a |E|^2 dx dy}{\iint_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon |E|^2 dx dy} [\%], \quad (1)$$

gdzie N_g oznacza grupowy współczynnik załamania modu, n_a – współczynnik załamania obszaru, w którym znajduje się analit, $\mathbf{E}$ – wektor natężenia pola elektrycznego oraz ε – rozkład przenikalności dielektrycznej (ε_a – w obszarze występowania analitu).

W prezentacji przedstawiamy wyniki symulacji porównujące współczynniki uwięzienia obliczone dla modów TE/TM prowadzonych w falowodach germanowo-krzemowych o wybranych geometriach w zakresie spektralnym średniej podczerwieni. Celem badań jest ocena przydatności różnych architektur falowodów czujnikowych do zastosowań w detekcji wybranych rodzajów gazowych analitów.

Praca finansowana ze środków NCBiR w ramach Funduszy Europejskich dla Nowoczesnej Gospodarki, projekt „HyperPIC - Fotoniczne układy scalone do zastosowań w średniej podczerwieni” (umowa nr FENG.02.10-IP.01-0005/23-00).

Literatura

- [1] V. Reboud, J.M. Hartmann, S. Serna, K. Stoll, C. Monat and C. Grillet, *Photonic Ge-based platforms for mid-infrared applications*, IEEE Photonics Journal 14 (2022), pp. 1–9
- [2] J. Lim, J. Shim, D. M. Geum and S. Kim, *Experimental Demonstration of Germanium-on-Silicon Slot Waveguides at Mid-Infrared Wavelength*, Photoniques 125 (2024), pp. 50–57
- [3] J.T. Robinson, K. Preston, O. Painter, and M. Lipson, *First-principle derivation of gain in high-index-contrast waveguides*, Opt. Express 16 (2008), pp. 16659–16669

Wpływ interferencji fal przeciwbieżnych na właściwości nieliniowych struktur wykazujących symetrię PT

Agnieszka MOSSAKOWSKA-WYSZYŃSKA^{1*}, Michał RĘKAWEK¹, Piotr WITOŃSKI¹,
Paweł SZCZEPAŃSKI^{1,2}

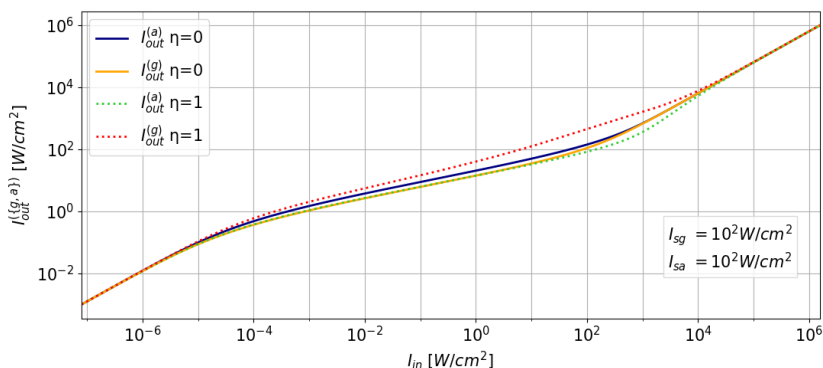
¹Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki PW, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²Instytut Łączności, ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa

*agnieszka.wyszynska@pw.edu.pl

Fotoniczne struktury PT (z ang. parity time), badane od końca XX wieku, tworzone są z materiałów charakteryzujących się zrównoważonym poziomem wzmocnienia i strat. Mają one szereg ciekawych własności, np.: silne wzmocnienie fali o długości rezonansowej, kierunkową niewidzialność, czy nieodwracalność propagacji światła. Struktury takie zbudowane są z dwóch materiałów optycznie czynnych ułożonych naprzemiennie, wzmacniającego i stratnego. W ogólności, współczynniki załamania obu materiałów są zespolone, a ich części urojone mają przeciwne znaki.

W pracy przedstawiono po raz pierwszy analizę numeryczną nieliniowych struktur wykazujących symetrię PT z uwzględnieniem efektu nasycenia wzmocnienia i strat oraz interferencji fal podróżujących w przeciwnych kierunkach. Analizę tę przeprowadzono wykorzystując zmodyfikowaną metodę macierzy transferu pozwalającą na opis przejścia fal przez kolejne warstwy struktury PT [1,2]. Otrzymano charakterystyki natężenia wyjściowego $I_{out}^{(g,a)}$ w funkcji natężenia fali wejściowej I_{in} oraz parametrów badanej struktury PT. Pokazano, że w przypadku takich samych poziomów natężenia nasycenia w obu warstwach struktury PT, uwzględnienie efektu interferencji fal ($\eta=1$) istotnie zmienia przebieg charakterystyk wyjściowych, patrz Rys.1. W sytuacji, gdy natężenie nasycenia wzmocnienia I_{sg} jest większe niż nasycenia strat I_{sa} , efekt ten modyfikuje charakterystyki wyjściowe jedynie w zakresie dużych natężeń fal wejściowych.



Rys. 1. Natężenie fali wyjściowej $I_{out}^{(g,a)}$ w funkcji natężenia fali padającej I_{in} .

Literatura

- [1] S. Phang, *Theory and numerical modelling of parity-time symmetric structures for photonics*, lipiec 15, 2016. <http://eprints.nottingham.ac.uk/32596/> (dostęp 1 lipca 2024)
- [2] A. Mossakowska-Wyszynska, P. Witoński, P. Szczepański, *Operation of Fabry-Perot laser with nonlinear PT-symmetric mirror*, Bull. Pol. Acad. Sci.: Tech. Sci. (2021), 69, 6, pp. e139202.

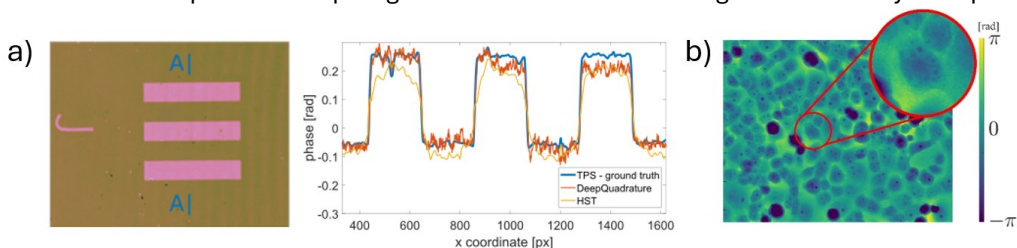
Mikroskopia fazowa w oparciu o interferometr Linnika

Michał JÓZWIK*, Maciej TRUSIAK, Piotr ZDAŃKOWSKI,
Maria CYWIŃSKA, Emilia WDOVIK

Instytut Mikromechaniki i Fotoniki, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska,
ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa
*michal.jozwik@pw.edu.pl

Interferometr Linnika [1] jest zmodyfikowaną wersją interferometru Michelsona. Znajduje on szerokie zastosowanie w obszarze metrologii wymiarowej do pomiarów struktury powierzchni w dużym powiększeniu (np. wzorce struktury geometrycznej powierzchni, wzorce wysokości i głębokości schodka, wzorce chropowatości powierzchni). Zalety techniki pomiaru i konstrukcji interferometru Linnika zostały zauważone również w obszarze badań biologicznych dotychczas do technik ilościowej mikroskopii fazowej (QPI) [2]. W odróżnieniu od klasycznych podejść QPI, interferometr Linnika pozwala na pomiary w trybie odbiciowym stając się konkurentem dla metod detekcji konfokalnej przy badaniach grubych skrawków tkanek umożliwiając rekonstrukcję współczynnika załamania nawet silnie rozpraszających próbek.

Użycie nowych rozwiązań technicznych (niskokoherentnych źródeł światła, kamer polaryzacyjnych) oraz zastosowanie zaawansowanych algorytmów przetwarzania obrazów prążkowych umożliwia prowadzenie pomiarów także na trudnych obiektach i z większą dokładnością. Komunikat zawiera przykłady pomiarów zrealizowanych w rozwijanych interferometrach Linnika na obiektach technicznych (np. schodkowy wzorec o małej głębokości, Rys.1a) oraz na obiektach biologicznych (wstępny wynik obrazowania komórek HeLa, Rys. 1b). W obu zastosowaniach obserwuje się zmniejszony szum oraz zwiększony kontrast w postaci lepszego uwidocznienia szczegółów badanych próbek.



Rys. 1. Wyniki pomiarów: a) wzorca schodkowego, b) obiektu biologicznego.

Praca naukowa dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą Polska Metrologia nr projektu PM/SP/0008/2021/1, kwota dofinansowania 572 000,00 zł, całkowita wartość projektu 572 000,00 zł.

Literatura

- [1] P. Kühnhold, W. Xie, P. Lehmann, P. *Comparison of Michelson and Linnik interference microscopes with respect to measurement capabilities and adjustment efforts*. Proceedings of SPIE 8788 (2013) 87882G.
- [2] M. Rogalski, M. Cywińska, A. Ahmad, K. Paturski, V. Micó, B. S. Ahluwalia, M. Trusiak, *Hilbert phase microscopy based on pseudo thermal illumination in the Linnik configuration*, Optics Letters 47 (2022) 5793-5796.

Porowaty anodowany tlenek glinu w zastosowaniach fotonicznych – wytwarzanie i symulacje

Michał DUDEK^{1*}, Ewelina BIAŁEK², Małgorzata NOREK², Paweł MARC¹

¹Instytut Fizyki Technicznej, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

²Instytut Inżynierii Materiałowej, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

*michal.dudek@wat.edu.pl

Anodowanie aluminium jest procesem elektrochemicznym, który polega na wytworzeniu warstwy tlenku glinu (Al_2O_3) na powierzchni tego metalu. Podczas anodowania, aluminium jest poddawane procesowi elektrolizy w kąpeli kwasowej z użyciem kwasu siarkowego lub szczawiowego przy napięciu zwykle 5-50 V. Wytworzona warstwa Al_2O_3 charakteryzuje się nierówną, porowatą strukturą o głębokości i geometrii porów zależnych od parametrów procesu anodowania – czasu, przyłożonego napięcia, natężenia czy gęstości ładunków.

W trakcie przeprowadzania procesu anodowania możliwe jest wprowadzenie dodatkowej modulacji napięcia lub gęstości prądu, co skutkuje możliwością otrzymania struktur o periodycznych zmianach w geometrii porów. To z kolei przekłada się bezpośrednio na właściwości optyczne wytwarzanych struktur. Ponieważ zmiany te realizowane są w skali nanometrów, o końcowych właściwościach optycznych decyduje rozkład efektywnego współczynnika załamania wszystkich warstw. Skutkuje to możliwością wytwarzania filtrów optycznych w pełnym zakresie widzialnym oraz bliskiej podczerwieni.

Do pełnej analizy wytworzonych struktur anodowanego tlenku glinu niezbędne jest porównanie wyników eksperymentalnych z symulacjami numerycznymi. Do modelowania wspomnianych struktur została wykorzystana metoda macierzy przejścia, która pozwala na symulacje wielowarstwowych struktur o zadanym rozkładzie współczynnika załamania wynikającym bezpośrednio z właściwości materiałowych i geometrycznych struktur Al_2O_3 .

Wyniki uzyskane zarówno eksperymentalnie, jak i w trakcie modelowania numerycznego, potwierdzają możliwość wytwarzania wyspecjalizowanych struktur fotonicznych o właściwościach filtrów optycznych – zarówno szeroko- jak i wąskopasmowych w zakresie widzialnym oraz bliskiej podczerwieni. Dodatkowo, możliwe jest uzyskanie przestrajalnych filtrów optycznych – o filtrowanym paśmie zależnym od kąta padania wiązki.

Literatura

- [1] Ewelina Białek, M. Włodarski, M. Norek, *Influence of Anodization Mode and Temperature on the Optical Properties of Photonic Crystals Based on Porous Anodic Alumina*, Wydawca, miejsce i rok wydania
- [2] M. Norek, *Self-Ordered Porous Anodic Alumina with Large Pore Intervals: Review on Experimental and Theoretical Research*, Journal of The Electrochemical Society Volume 169 (2022) pp. 123503

Monitoring jakości wód – zapotrzebowanie na nowe metody analiz w czasie rzeczywistym

**Edyta KIEDRZYŃSKA^{1,2*}, Katarzyna JASZCZYSZYN¹, Natalia MATWIEJ¹,
Damian ROLBIECKI¹, Dominika PIWOWARSKA^{1,2}, Marcin KIEDRZYŃSKI³,
Ryszard PIRAMIDOWICZ^{4,5}, Anna JUSZA⁴, Jerzy KALWAS⁵**

¹Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Tylna 3, Łódź,

²Katedra UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska,
Uniwersytet Łódzki, ul. Banacha 12/16, Łódź,

³Katedra Biogeografii, Paleoekologii i Ochrony Przyrody Wydział Biologii i Ochrony Środowiska,
Uniwersytet Łódzki, ul. Banacha 1/3, Łódź,

⁴Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

⁵VIGO Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, Ożarów Mazowiecki

*email: e.kiedzynska@erce.unesco.lodz.pl

Monitoring jakości wód jest kluczowym elementem zarządzania zasobami wodnymi. Standardowe metody monitoringu polegają na regularnym pobieraniu próbek wody i analizie ich parametrów fizycznych i składu chemicznego. Wiąże się to jednak z długim okresem analiz laboratoryjnych - mijającym od poboru próbki do uzyskania wyniku.

Jednakże, aby w sposób sprawny dokonać analizy jakości wody i stwierdzić wystąpienie czynnika zanieczyszczającego potrzebna jest natychmiastowa informacja o parametrach fizycznych i chemicznych. Dlatego też prowadzone w ramach projektu 'FOSMO Water' badania, koncentrują się na opracowaniu nowych fotonicznych metod pomiarowych, które nie będą wymagać stosowania odczynników, a ponadto będą dostarczać wyników w czasie rzeczywistym. Następnie opracowana zostanie autonomiczna sonda do zdalnego monitoringu parametrów jakości wód, takich jak stężenie azotanów, azotynów, fosforanów, a opcjonalnie także amoniaku i mikroplastików. Detekcja sygnałów z wybranych substancji będzie możliwa dzięki temu, że grupy funkcyjne różnych związków chemicznych mają charakterystyczne linie absorpcyjne (tzw. *fingerprint*) w zakresie średniej podczerwieni, co prawdopodobnie umożliwi ich identyfikację. W ramach projektu FOSMO, firma VIGO Photonics S.A. (światowy lider w produkcji detektorów średniej podczerwieni) współpracuje z Politechniką Warszawską (opracowanie niezbędnych układów pomiarowych) oraz ERCE PAN (weryfikacja czujników i ich praktyczne zastosowanie), aby zbadać to zagadnienie.

Badania są prowadzone w ramach projektu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju - Projekt FOSMO Water - HYDROSTRATEG1/000E/2022.

Właściwości optyczne topologicznych hiperkryształów fotonicznych

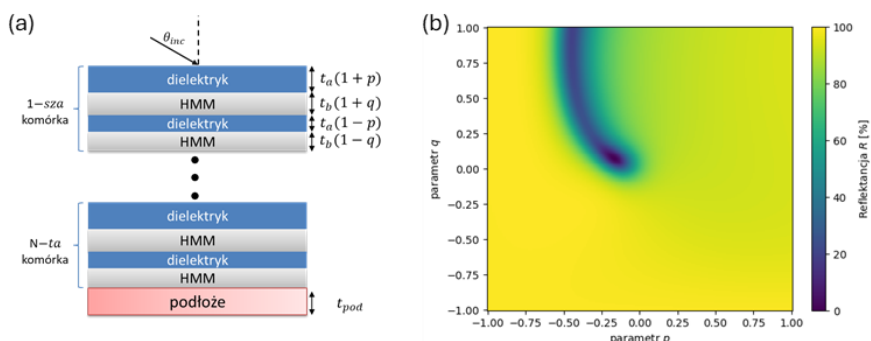
Bartosz JANASZEK^{1,2*}, Anna TYSZKA-ZAWADZKA¹, Paweł SZCZEPAŃSKI^{1,2}

¹Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, Politechnika Warszawska, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

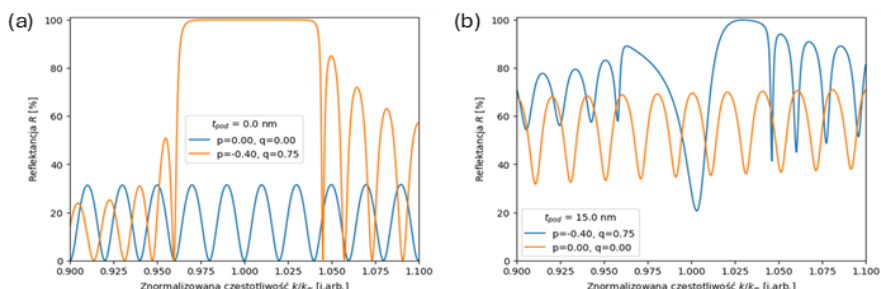
²Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy, Szachowa 1, 04-894 Warszawa

*bartosz.janaszek@pw.edu.pl

Syntetyczne struktury optyczne są w ostatnich latach wykorzystywane do emulacji zjawisk topologicznych w domenie optyki, oferujących zupełnie nowe możliwości, nie tylko w zakresie fundamentalnych zjawisk, ale również w praktycznych zastosowaniach [1].



Rys. 1. Schemat rozważanej struktury złożonej z dielektryka i metamateriału hiperbolicznego (HMM) (a) oraz jej właściwości odbiciowe w syntetycznej przestrzeni p-q (b).



Rys. 2. Właściwości odbiciowe struktury trywialnej ($p=q=0$) oraz nietrywialnej topologicznie ($p=-0.4, q=0.75$) dla różnych grubości podłoża odbijającego (warstwa Ag) pozwalającego na zaistnienie stanu topologicznie chronionego, który można zaobserwować poprzez minimum w spektrum odbiciowym struktury nietrywialnej.

Niniejsza praca jest poświęcona właściwościom optycznym hiperkryształów fotonicznych, emulujących nietrywialność topologiczną w syntetycznej przestrzeni parametrów geometrycznych (p i q), a także możliwością ich zastosowania w powierzchniowych czujnikach optycznych. W szczególności, analiza obejmuje wpływ typu dyspersji struktury HMM na zmianę odpowiedzi optycznej struktury w obecności rozważanych analitytów.

Literatura

- [1] Khaniyev, A.B., Alù, A. *Topological photonics: robustness and beyond*, Nature Communications 15, 931 (2024)

Badanie właściwości spektroskopowych struktur falowodowych otrzymywanych metodą DLW w szklach tellurowo-fosforanowych

Magdalena LEŚNIAK^{1*}, Wojciech TALIK², Patryk ZAJĄC¹, Magdalena ZIĄBKA¹,
Marta GAJEWSKA¹, Gloria Lesly JIMÉNEZ Miranda¹, Bartłomiej STARZYK¹,
Marcin KOCHANOWICZ³, Piotr MILUSKI³, Witold ZAWADZKI², Krzysztof DZIERŻĘGA²,
Dominik DOROSZ¹

¹AGH University of Krakow, Krakow, Poland

²Marian Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University, Krakow, Poland

³Białystok University of Technology, Białystok, Poland

*mlesniak@agh.edu.pl

Rozwój ultrakrótkich impulsów laserowych o czasie trwania rzędu femtosekund (fs) otworzył nowe perspektywy w badaniach oddziaływania światła z materią. Jednym z istotnych zastosowań tej technologii jest wykorzystanie promieniowania laserowego do lokalnych modyfikacji struktury materiałów, co w fotonice jest określane jako pisanie laserowe (ang. *Direct Laser Writing* – DLW). Technika ta umożliwia precyzyjną zmianę współczynnika załamania światła w szkle, indukcję faz krystalicznych oraz tworzenie samoorganizujących się struktur [1,2]. Optymalizacja częstotliwości repetycji lasera femtosekundowego, zazwyczaj przekraczającej 100 kHz, pozwala na generowanie krystalicznych struktur w szkle, co z kolei wpływa na zmianę nieliniowych właściwości falowodów. Ponadto, uporządkowanie otoczenia jonów ziem rzadkich w fazie krystalicznej umożliwia wytworzenie falowodów szklano-ceramicznych o parametrach emisyjnych zbliżonych do aktywnych kryształów.

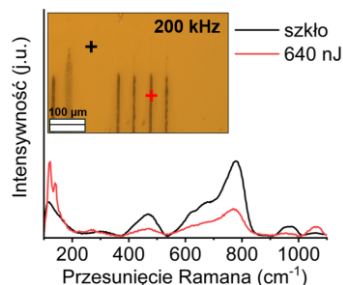
W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań strukturalnych (widma Ramana, SEM-EDS) oraz spektroskopowych (luminescencja) szkła tellurowo-fosforanowego domieszkowanego jonami erbu po procesie DLW (laser: $\lambda=1030$ nm, 230 fs). Przy częstotliwości repetycji lasera fs równej 200 kHz i 330 kHz oraz energii impulsu w zakresie 400–800 nJ, uzyskano szklano-ceramiczne ścieżki zawierające cząstki metalicznego telluru (Te^0) w układzie trygonalnym (Rys. 1, wstawka). Na podstawie widm Ramana (Rys. 1) oraz analizy zdjęć SEM/EDS wykazano, że proces DLW prowadzi do zmiany ilości jednostek fosforanowych w strukturze szkła, tj. zmniejszenia liczby jednostek PO_4^{3-} i wzrostu jednostek PO_3^{2-} , które stabilizują metaliczny tellur. Obecność Te^0 przyczyniła się do zwiększenia natężenia emisji jonów erbu dla długości fali ok. 525 nm w porównaniu do szkła niemodyfikowanego, co zostało zaprezentowane na widmach luminescencji (z konwersją częstości w górę, długość fali światła wzbudzającego $\lambda_{\text{exc}}=1030$ nm).

Podziękowania

Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego o nr 2020/39/D/ST5/02287 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Literatura

- [1] R. Que, et al., *How to Crystallize Glass with a Femtosecond Laser*, Crystals, **14**(7), 606 (2024).
- [2] D. Tan, et al., *Ultrafast Laser Direct Writing in Glass: Thermal Accumulation Engineering and Applications*, Laser & Photonics Reviews, **15**(9), 2000455 (2021).



Rys.1. Widma Ramana i zdjęcie (inset) szkła przed i po DLW.

Zintegrowane fotodetektory w NIR i MIR w oparciu o przezroczyste tlenki przewodzące

Jacek GOŚCINIAK^{1*}, Jacob B. KHURGIN², Ryszard PIRAMIDOWICZ¹

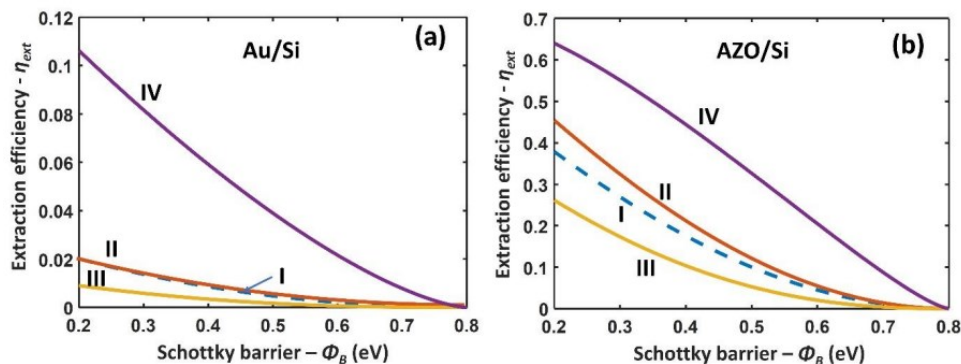
¹Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, Politechnika Warszawska,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²Electrical and Computer Engineering Department, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland
21218, USA

*jacek.gosciniak@pw.edu.pl

Zintegrowane fotodetektory na chipie są niezbędnymi komponentami w komunikacji optycznej, ponieważ przekształcają światło w sygnał elektryczny. Obecna praca przedstawia nowy rodzaj zintegrowanych z falowodem fotodetektorów bolometrycznych [1] i fotodetektorów z barierą Schottky'ego [2], które działają w szerokim zakresie długości fal, od bliskiej podczerwieni (NIR) do średniej podczerwieni (MIR), na standardowej platformie materiałowej z przezroczystymi tlenkami przewodzącymi (TCO) jako materiałem aktywnym. Prezentowana platforma materiałowa umożliwia budowę zarówno modulatorów jak i fotodetektorów przy użyciu tego samego materiału, który jest w pełni kompatybilny z technologią CMOS i łatwo integruje się z pasywnymi komponentami na chipie [1,2].

Zaproponowane tu fotodetektory składają się z cienkiej warstwy TCO zdefiniowanej w pobliżu punktu ENZ i umieszczonej wewnątrz falowodu fotonicznego w celu zwiększenia absorpcji światła. Pod wpływem absorpcji światła przez TCO temperatura elektronów wzrasta powodując, w zależności od badanego procesu, albo zmianę rezystancji materiału [1] albo wydajny transfer nośników do otaczającego półprzewodnika [2]. W obu przypadkach prowadzi to do zwiększonej responsywności w porównaniu z obecnie stosowaną technologią.



Rys. 1. Porównanie wydajności ekstrakcji „gorących” nośników od wysokości bariery dla (a) Au/Si i (b) AZO/Si w przypadku fotodetektorów Schottky’ego [2].

Literatura

- [1] J. Gosciniak, „Integrated Bolometric Photodetectors Based on Transparent Conductive Oxides from Near-to Mid-Infrared Wavelengths,” Adv. Photon. Research 5(2), 2300261 (2024).
- [2] J. Gosciniak, J. B. Khurgin, „Schottky photodetectors with transparent conductive oxides for photonic integrated circuits,” ACS Photonics 11(3), 1137-1146 (2024).

Projekt FoSMoWater (HYDROSTRATEG1/000E/2022) finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu HYDROSTRATEG 1.

Pułapkowanie i chłodzenie jonów wapnia – pierwszy krok do przygotowania rejestru komputera kwantowego

Szymon FIDERKIEWICZ*

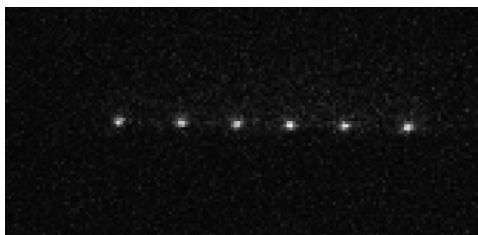
Instytut Opotoelektroniki, WAT, ul. ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

*szymon.fiderkiewicz@wat.edu.pl

W ostatnich latach nastąpił znaczny rozwój technologii komputerów kwantowych. Dostępne są różne typy architektury i różne typy kubitów: kubity jonowe, kubity fotonowe, kubity nadprzewodzące i kubity topologiczne.

W ramach projektu „MIKOK” (DOB-SZAFIR/01/A/023/01/2020) zdecydowaliśmy się zestawić komputer kwantowy oparty na pułapce jonowej. Taki wybór został podjęty ze względu na bardzo wysoką dokładność działania uzyskanej w eksperymentach [1], stosunkowo niskich wymagań środowiskowych, w których takie komputery są używane, oraz ich skalowalności. Dodatkowym aspektem był fakt iż technologia optyczna i mikrofalowa wymagana do ich obsługi jest dobrze rozwinięta i łatwo dostępna już dziś [2].

Żeby móc mówić o komputerze kwantowym i wykonywanych na nim algorytmach kwantowych, najpierw dostępny musi być jego rejestr kwantowy. By taki rejestr uzyskać wewnątrz pułapki Paula [3] umieszczony jest cel ablacyjny, z którego wybijane są atomy wapnia. Następnie atomy te ulegają dwustopniowej fotojonizacji tym samym stając się podatnym na działanie zewnętrznego pola elektrycznego przyłożonego elektrod wewnątrz pułapki. Następnie jony są laserowo chłodzone dzięki wykorzystaniu efektu Dopplera (ang. Doppler cooling) – jony na skutek emisji wymuszonej wytracają stopniowo swą energię, przez co zwalniają i mogą zostać uwięzione w studni potencjału elektrycznego wewnątrz pułapki.



Rys. 1. Zdjęcie sputapkowanych jonów wapnia Ca^{40+}

W niniejszej pracy przedstawiona zostanie architektura zestawionego komputera kwantowego wraz z wynikami w postaci uwięzionych jonów oraz eksperymentalnego wyznaczenia ich temperatury.

Literatura

- [1] C. J. Ballance, T. P. Harty, N. M. Linke, M. A. Sepiol, and D. M. Lucas, “High-fidelity quantum logic gates using trapped-ion hyperfine qubits.”
- [2] T. P. Harty, MA Sepiol, D. T. Allcock, C. J. Ballance, J. Tarlton, D. Lucas, High-fidelity trapped-ion quantum logic using near-field microwaves, Phys Rev Lett American Physical Society 117:14 (2016) 140501
- [3] W. Paul and H. Steinwedel: "Verfahren zur Trennung bzw. zum getrennten Nachweis von Ionen verschiedener spezifischer Ladung", filed on December 24, 1953

Wpływ promienia dolnych DBR i promienia apertury elektrycznej na pracę GaN VCSEL

Dominika DĄBRÓWKA*, Robert P. SARZAŁA

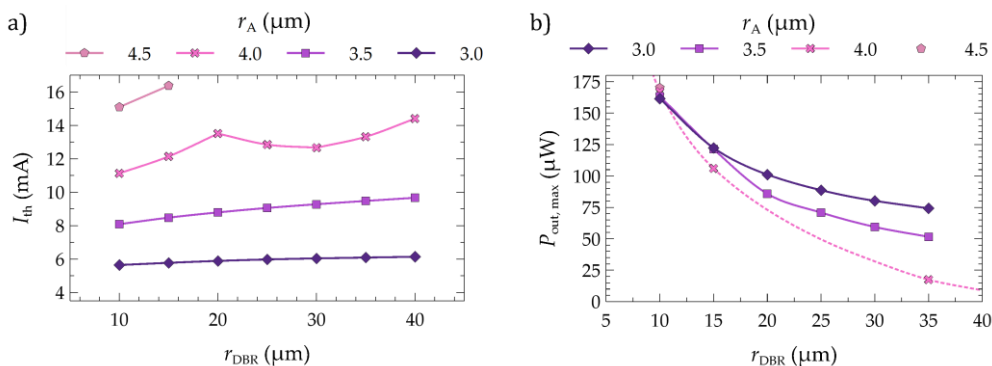
Instytut Fizyki, Politechnika Łódzka, ul. Wólczańska 217/221, 93-005 Łódź

*dominika.dabrowka@dokt.p.lodz.pl

Prezentujemy analizę numeryczną hybrydowego VCSEL (ang. Vertical Cavity Surface Emitting Laser) opartego na azotkach, który posiada MHCG (ang. Monolithic High-refractive-index Contrast Gratings) wykonane z GaN po jednej stronie oraz dielektryczne zwierciadła DBR (ang. Distributed Bragg Reflector) po drugiej. Wybrana do tej analizy struktura bazowa została przedstawiona przez zespoły badawcze z Tajwanu oraz Szwecji [1]. Struktura ta posiadała dolne zwierciadła DBR o promieniu 40 μm oraz promień apertury elektrycznej wynoszący 4,5 μm i działała wyłącznie w warunkach impulsowych. Głównym celem badań było znalezienie rozwiązań projektowych, które poprawią wydajność wspomnianego lasera, w szczególności dążąc do pracy w trybie ciągłym (CW). Staraliśmy się zwiększyć wydajność urządzenia poprzez poprawę jego właściwości termicznych oraz bardziej efektywne wykorzystanie wstrzykiwanego prądu do jego obszaru czynnego.

Prezentowane wyniki numeryczne pokazują, że odpowiedni dobór wielkości dolnych DBR i apertury elektrycznej lasera może poprawić warunki termiczne wewnątrz urządzenia, co przyczynia się do poprawy jego parametrów progowych, np. poprzez zmniejszenie prądu progowego (patrz rys. 1a). Zmniejszenie promienia DBR z 40 μm na 15 μm (przy $r_A = 4.5 \mu\text{m}$) umożliwia osiągnięcie pracy w trybie z falą ciągłą. A właściwe dostosowanie rozmiaru promienia apertury elektrycznej i promienia dolnych DBR zwiększa moc optyczną emitowaną przez laser (patrz rys. 1b).

Podsumowując, na podstawie analizy numerycznej przedstawionej struktury MHCG GaN VCSEL, można stwierdzić, że odpowiednie zaprojektowanie rozmiaru apertury elektrycznej oraz rozmiaru dolnych DBR umożliwia pracę w trybie ciągłym, zmniejszenie prądu progowego oraz znaczący wzrost emitowanej mocy optycznej.



Rys. 1. Zależność (a) prądu progowego I_{th} oraz zależność (b) maksymalnej mocy optycznej lasera $P_{out,max}$ od promienia r_{DBR} dolnych zwierciadeł DBR i promienia r_A obszaru czynnego.

Literatura

- [1] K.B. Hong, T.C. Chang, F. Hjort, N. Lindvall, W.H. Hsieh, W.H. Huang, P.H. Tsai, T. Czyszanowski, Å. Haglund, T.C. Lu, *Monolithic High-Index Contrast Grating Mirror for a GaN-Based Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser*, Photonics Research (2021), vol. 9, no. 11, pp. 2214–2221.

Technologia światłowodów z płaską dyspersją w zakresie bliskiej podczerwieni

Maciej GRZESIAK*, Grzegorz WÓJCIK, Paweł MERGO

Pracownia Technologii Światłowodów, Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii,
Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie, Pl. Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin

*Maciej.Grzesiak@umcs.lublin.pl

Szkło krzemionkowe jest podstawowym materiałem, z którego wytwarzane są światłowody. Właściwości optyczne szkła krzemionkowego możemy modyfikować poprzez odpowiednie domieszkowanie i/lub poprzez kombinację różnych domieszek. W technologii światłowodów do podwyższenia współczynnika załamania szkła krzemionkowego zazwyczaj wykorzystuje się domieszkowanie germanem a do obniżenia współczynnika załamania fluor (F) lub tlenek boru (B_2O_3) [1,2]. Obie domieszki różnią się technologią wprowadzania ich do szkła ze względu na ich odmienny charakter reakcji chemicznych.

Zastosowanie warstwy szkła domieszkowanej fluorem lub tlenkiem boru w postaci pierścienia otaczającego domieszkowany germanem rdzeń umożliwia zmianę właściwości propagacyjnych projektowanego światłowodu np. dyspersji chromatycznej, dwójłomności.

W pracy przedstawiono technologię światłowodów o płaskiej charakterystyce dyspersyjnej w zakresie bliskiej podczerwieni. Uzyskano ją dzięki odpowiedniej kombinacji poziomu domieszkowania i wymiarów rdzenia oraz poziomu domieszkowania i grubości warstwy o obniżonym współczynniku załamania otaczającej rdzeń. Pomiary właściwości optycznych porównano z obliczeniami teoretycznymi wykonanymi przy użyciu oprogramowania COMSOL Multiphysics.

Laserowe spiekanie nanocząstek bimetalicznych Ni-Ag do zastosowania w nowoczesnej elektronice

Paweł KOZIOL^{1*}, Anna PAJOR-ŚWIERZY², Krzysztof SZCZEPANOWICZ², Robert DZIEDZIC³

¹Grupa Elektroniki Laserowej i Światłowodowej, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Politechnika Wrocławska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

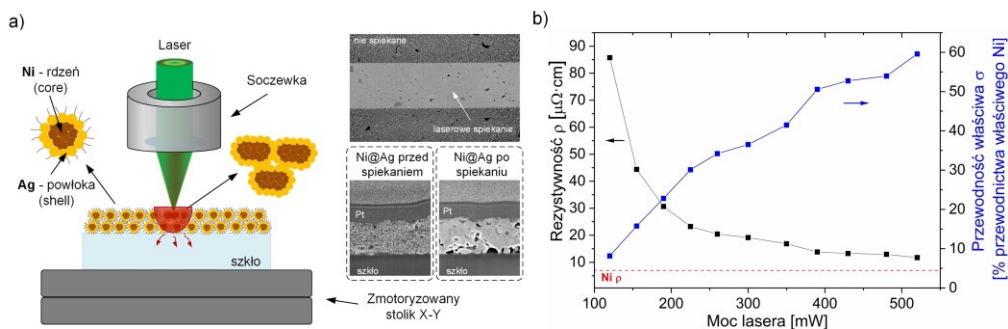
²Laboratorium Nanotechnologii, Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk, Niezapominajek 8, 30-239 Kraków

³Wydział Mechaniczny, Centrum Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Politechnika Wrocławska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

*pawel.kozioł@pwr.edu.pl

Rozwój elektroniki drukowanej (*ang. printed electronics* - PE), łączącej tradycyjne technologie drukowania z produkcją elektroniczną, przekłada się na wzrost popytu na nowe materiały o wysokiej przewodności i technologii o niskich kosztach produkcji. Generalnie technologia PE składa się z trzech etapów: (1) przygotowanie tuszu z prekursora metalu, (2) drukowanie oraz (3) obróbka termiczna – spiekanie [1]. Przełomowym momentem tej technologii było opracowanie tuszu na bazie nanocząstek metali. Wysoki stosunek powierzchni do objętości nanocząstki prowadzi do obniżenia temperatury topnienia metali, co pozwoliło na wytwarzanie obwodów przewodzących na powierzchniach o niskiej odporności termicznej np. folia lub papier. Według prognoz technologia druku na cienkich, elastycznych podłożach będą odgrywać coraz większą rolę w tworzeniu elementów i systemów elektronicznych i znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach.

W pracy zaprezentowano wyniki badań nad procesem laserowego selektywnego spiekania tuszu przewodzącego na bazie nanocząstek bimetalicznych Ni-Ag o strukturze core-shell [2]. Przeprowadzono szczegółową analizę wpływu zmiany poszczególnych parametrów procesu (tj. moc lasera, prędkość procesu, krotność procesu, itp.) na rezystywność i morfologię wytworzonych linii.



Rys. 1. (a) Schemat laserowego spiekania nanocząsteczek Ni-Ag typu core-shell, (b) wpływ zmiany mocy lasera na rezystywność spiekanych linii

Literatura

- [1] W. Li, et al., *The rise of conductive copper inks: challenges and perspectives*, Appl. Mater. Today, 18, (2020) p. 100451.
- [2] A. Pajor-Świerzy, et al., *Polydispersity vs. monodispersity. How the properties of Ni-Ag core-shell nanoparticles affect the conductivity of ink coatings*, Materials (2021), 14, 2304.

Wielokanałowy system czujnikowy do detekcji jonów metali ciężkich w wodzie wykorzystujący zmodyfikowane białko zielonej fluorescencji

Emil PITUŁA^{1*}, Monika JANIK¹, Rafał KASZTELANIC^{2,3}, Marcin OLSZEWSKI⁴, Marcin KOBA^{1,5}, Ryszard BUCZYŃSKI^{2,3}, Mateusz ŚMIETANA^{1,3}

¹Jednostka organizacyjna, adres

¹ Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki,
Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

²Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, Pasteura 7, 02-093 Warszawa

³Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Zakład Szkiet,
al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

⁴ Wydział Chemii, Politechnika Warszawska, Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa

⁵Instytut Łączności, Szachowa 1, 04-894, Warszawa

*emil.pitula@pw.edu.pl

Metale ciężkie mogą wywoływać reakcje alergiczne, działać jako neurotoksyny lub być rakotwórcze. Światowe instytucje regulacyjne, takie jak WHO, USFDA, UE oraz FSSAI, monitorują poziomy jonów metali w wodzie pitnej i ściekach [1]. Z uwagi na toksyczność zależną od dawki i czasu ekspozycji kluczowe jest rozwijanie szybkich, precyzyjnych i prostych w obsłudze metod detekcji.

W tym komunikacie przedstawiono kompaktowy system do znacznikowej detekcji jonów metali ciężkich oparty na metodzie spektrofлуorometrii. Osiągnięto szybką detekcję ($t_{\text{pomiaru}} = 10 \text{ ms}$) jonów metali ciężkich w wodzie w zakresie niskich stężeń ($0,1 - 10 \mu\text{M}$), co przetestowano na przykładzie zmodyfikowanego białka zielonej fluorescencji (receptor eGFP-Ni), selektywnego na jony niklu (Ni^{2+}) [2]. Układ osiągnął limit detekcji jonów Ni^{2+} wynoszący 10 nM , znacznie poniżej norm jakości określonych przez WHO [1]. System umożliwia pomiar do 8 próbek cieczy wykorzystując szklane kapilary jako rezerwuary pomiarowe. Jedna kapilara, o długości 15 mm i przekroju pierścienia – średnice zewnętrzna/wewnętrzna wynoszą odpowiednio $1000/500 \mu\text{m}$, pozwala na najniższy do tej pory zaprezentowany pomiar spektrofлуorometryczny w objętości tylko $2,9 \mu\text{L}$ [3]. Kształt oraz materiał kapilar dobrano na podstawie symulacji i serii eksperymentów, dla najefektywniejszego pobudzenia próbki z receptorem. Układ pozwala na jednorodne pobudzenie materiału znacznikowego w kapilarze. Komponenty optoelektroniczne oraz uchwyt na kapilary zamknięto w małej obudowie. Zapewniono dobrą izolację promieniowania zewnętrznego, co przekłada się na stabilny pomiar próbek fluorescencyjnych, co zachowano w zakresie niskich stężeń. System charakteryzuje się wysoką powtarzalnością wyników (2% średniej wartości). Detekcja stężenia jonów opiera się na analizie wzrastającej emisji fluorescencji białka, dodatnio skorelowanej ze stężeniem jonów metalu [2,4].

Literatura

- [1] World Health Organization, WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva 2022
- [2] Olszewski M. i in., patent P.446762, ref.: 5413-PAT-PL, 17.11.2023
- [3] Y. S. Li i in., *A novel immobilization fluorescence capillary analysis method and its applications*, Analyst (2020), vol. 145(6), pp. 1980–1996, 2020, doi: 10.1039/C9AN01821
- [4] B.Á.I.López-Lorente i in., TrAC (2022), vol.148, p. 116530, doi: 10.1016/j.trac.2022.116530.

Badania procesów termicznych prowadzących do degradacji laserów półprzewodnikowych emitujących w zakresie średniej i dalekiej podczerwieni

Dorota PIERŚCIŃSKA, Katarzyna PIENIAK, Grzegorz Sobczak, Kamil PIERŚCIŃSKI

Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

*dorota.pierscinska@imif.lukasiewicz.gov.pl

Procesy termiczne zachodzące w laserach półprzewodnikowych, są głównymi czynnikami wpływającymi na ich niezawodność, czas życia i sprawność. Zrozumienie ich natury ma kluczowe znaczenie dla optymalizacji laserów i wpływa na możliwości ich rozwoju i komercjalizacji. Przedmiotem prowadzonych prac, była analiza procesów termicznych prowadzących do nieodwracalnej degradacji nowych typów laserów półprzewodnikowych; kwantowych laserów kaskadowych emitujących w zakresie średniej podczerwieni. Przeprowadzone badania pozwoliły na identyfikację źródeł degradacji wytwarzanych przyrządów i wprowadzenie takich zmian w konstrukcji i procesie wytwarzania, które pozwoliły na znaczącą poprawę ich parametrów.

Jako główną technikę pomiarową wykorzystywano spektroskopię termoodbiciową. Spektroskopia termoodbiciowa jest jedną z technik optycznej spektroskopii modulacyjnej. Technika ta w ogólności sprowadza się do eksperymentalnego wyznaczenia pochodnej widma optycznego ze względu na wybrany parametr. Jeśli modulowanym parametrem jest temperatura a analizowanym widmem jest różniczkowe widmo odbicia mówimy o spektroskopii termoodbiciowej. Technika spektroskopii termoodbiciowej umożliwia uzyskanie wysokorozdzielczych (temperaturowo i przestrzennie) map rozkładu temperatury na powierzchni zwierciadeł laserów półprzewodnikowych pracujących w trybie quasi-ciągłym lub impulsowym. Zastosowanie spektroskopii termoodbiciowej, daje możliwość lokalizowania źródeł ciepła i kierunków jego propagacji oraz wykrywania i lokalizowania defektów na powierzchni zwierciadeł laserów półprzewodnikowych. Spektroskopia termoodbiciowa, dzięki wysokiej rozdzielczości przestrzennej umożliwia rejestrację zmian temperaturowych (map rozkładu temperatury) wynikających bądź z pracy urządzenia (w przypadku lasera diodowego: ciepło Joule'a i reabsorbcja promieniowania laserowego) bądź z występowania lokalnych defektów (powierzchniowych lub przypowierzchniowych).



Pomożemy w stworzeniu Twojego laboratorium

Działamy w obszarze nanoszenia powłok, modyfikacji powierzchni, mikroskopii świetlnej i profilometrii, badań mechanicznych w tym twardości, odporności na zarysowania czy zużycia.



Inżynieria cienkich warstw



Wizualizacja powierzchni



Pomiar grubości powłok



Badania dla inżynierii materiałowej



Wibroizolacja



Pomieszczenia czyste typu clean-room

technolutions.pl

+48 606 440 718

kontakt@technolutions.pl

Technolutions sp. z o. o.

Wiejska 7

99-400 Łowicz



OPRACOWUJEMY NOWE TECHNOLOGIE,

aby wspierać rozwój
POLSKIEJ TECHNIKI
rakietowej i amunicyjnej



dowiedz się więcej na

WWW.TELESYSTEM.EU



PARTNER STRATEGICZNY KONFERENCJI

VIGO Photonics S.A. to globalny producent wysoko technologicznych rozwiązań – najbardziej zaawansowanych fotonicznych detektorów średniej i dalekiej podczerwieni, modułów im dedykowanych oraz materiałów półprzewodnikowych.

Innowacyjne urządzenia znalazły uznanie i zastosowanie u licznych międzynarodowych klientów z branży przemysłowej, transportowej, ochrony środowiska, medycyny oraz obrony i bezpieczeństwa.

Jakość detektorów VIGO Photonics została potwierdzona także podczas misji Mars Science Laboratory organizowanej przez NASA. Produkowane przez spółkę detektory podczerwieni zamontowane w łaziku Curiosity przyczyniły się do wykrycia śladów metanu na czerwonej planecie.

Więcej informacji: <https://vigophotonics.com/>

ZŁOCI PARTNERZY

**CEZAMAT**

Politechnika Warszawska

CEZAMAT – Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii jest jedną z największych inwestycji w dziedzinie badań i rozwoju w obszarze tzw. „wysokich technologii” (ang. High-tech) w Polsce. Celem CEZAMAT jest stworzenie platformy integrującej środowisko badawcze, która umożliwi interdyscyplinarny rozwój badań nad nowoczesnymi materiałami i technologiami. Dzięki posiadanej infrastrukturze badawczej oraz programom zintegrowanych badań możliwe jest wspólne prowadzenie badań naukowych i prac rozwojowych na najwyższym światowym poziomie oraz upowszechnienie i wdrażanie nowoczesnych technologii.

Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT Politechniki Warszawskiej prowadzi prace badawczo-rozwojowe w zakresie nanotechnologii, mikroelektroniki, fotoniki i biotechnologii.

Dodatkowo, CEZAMAT skupia się na utworzeniu interdyscyplinarnej platformy w zakresie badań nad przyszłościowymi materiałami i technologiami, która poprzez integrację środowiska naukowego umożliwi podmiotom badawczym i gospodarczym prowadzenie badań naukowych na najwyższym światowym poziomie.

Więcej informacji: <https://www.cezamat.eu/>



Fluence Technology jest polską firmą technologiczną, specjalizującą się w produkcji zaawansowanych systemów laserowych. Projektowane od podstaw femtosekundowe źródła laserowe, charakteryzują się niezwykle stabilnością działania oscylatora światłowodowego, objętego pierwszą w branży 5-letnią gwarancją. Lasery femtosekundowe Fluence pracują już na sześciu kontynentach, umożliwiając spółkom technologicznym opracowywanie najbardziej precyzyjnych innowacji z zakresu inżynierii precyzyjnej, nauki, i medycyny.

Więcej informacji: <https://fluence.technology/>

PARTNERZY SREBRNI



Centrum Rozwojowo-Wdrożeniowe TELESYSTEM-MESKO Sp. z o.o. z siedzibą w Lubiczowie, specjalizuje się w pracach badawczo-rozwojowych i produkcyjnych na rzecz przemysłu obronnego.

Od początku swojego istnienia opracowuje, wdraża i produkuje zespoły optoelektroniczne i elektroniczne dla przenośnych systemów przeciwlotniczych. Jest też twórcą i producentem unikalnych w skali światowej fotodetektorów InSb i PbS, specjalistycznej optyki i nowoczesnych hybrydowych przedwzmacniaczy.

TELESYSTEM-MESKO Sp. z o.o. uczestnicząc w 1993 w Strategicznym Programie Rządowym „Nowoczesne technologie dla potrzeb rozwoju systemu obrony przeciwlotniczej wojsk i obiektów”, stał się liderem innowacji w zakresie projektowania i produkcji najbardziej newralgicznych elementów Przenośnego Przeciwlotniczego Zestawu Rakietowego GROM (PPZR GROM). Przez wszystkie lata swojej działalności Spółka konsekwentnie poszerzała spektrum działań bezpośrednio związanych z zestawami rakietowymi.

Aktualnie projektuje i wykonuje głowice samonaprowadzające różnych typów, mechanizmy startowe do systemów przeciwlotniczych będących na wyposażeniu Wojska Polskiego, układy autoryzacyjne, czy stanowiska kontrolno-pomiarowe. Równolegle prowadzi inne prace na rzecz krajowego przemysłu obronnego.

TELESYSTEM, współpracuje głównie z przedsiębiorstwami Polskiej Grupy Zbrojeniowej oraz z wieloma wiodącymi przedsiębiorstwami i instytucjami naukowymi w kraju i za granicą.

Więcej informacji: <https://telesystem.eu/>



INTERLAB to firma z blisko 40-letnim doświadczeniem w branży fotonicznej, specjalizująca się w dostarczaniu zaawansowanych rozwiązań technologicznych. Jesteśmy dumni z naszej zdolności do wspierania zarówno instytucji naukowych, jak i przemysłowych poprzez oferowanie szerokiej gamy instrumentów, które umożliwiają kompleksowe wyposażenie laboratoriów optycznych i fotonicznych oraz wspomagają budowę i monitoring zaawansowanych sieci światłowodowych.

Portfolio INTERLAB obejmuje niezwykle różnorodne i rozbudowane produkty, w tym analizatory widma optycznego, spawarki do światłowodów polaryzacyjnych (PM) i wielordzeniowych, mierniki mocy, stoły optyczne, optomechanikę, elementy optyczne, lasery oraz źródła światła o szerokim paśmie (Supercontinuum). Ponadto, oferujemy zaawansowany sprzęt do pomiarów fizjologicznych oraz analiz sygnałów pochodzących z ludzkiego ciała, testery okablowania, mierniki produkcyjne, mikroskopy inspekcyjne, reflektometry optyczne i wiele innych precyzyjnych urządzeń.

Nasza oferta obejmuje również zaawansowany sprzęt pomiarowy przeznaczony dla przemysłu, który umożliwia monitoring krytycznych parametrów, takich jak zmiany temperatury oraz odkształcenia. Wśród dostępnych w INTERLAB produktów znajdują się zarówno systemy czujnikowe typu DFOS (Distributed Optical Fiber Sensors), realizujące pomiary liniowe, jak i systemy oparte na czujnikach FBG (Fiber Bragg Grating), które umożliwiają precyzyjny pomiar punktowy. Dzięki tym rozwiązaniom, nasi klienci zyskują możliwość prowadzenia dokładnych i niezawodnych pomiarów w różnych środowiskach przemysłowych.

Naszym priorytetem jest zapewnienie kompleksowego wsparcia dla klientów realizujących badania i projekty, które przyczyniają się do dynamicznego rozwoju branży fotonicznej. Dzięki naszemu wieloletniemu doświadczeniu oraz rozległej wiedzy technicznej, jesteśmy w stanie sprostać nawet najbardziej wymagającym wyzwaniom, dostarczając innowacyjne rozwiązania dopasowane do indywidualnych potrzeb każdego klienta. W INTERLAB dążymy do tego, aby każdy projekt, w którym uczestniczymy, przynosił wymierne korzyści i przyczyniał się do postępu technologicznego.

Więcej informacji: <https://interlab.pl/>



Technolutions Sp. z o.o. jest dostawcą zaawansowanej aparatury pomiarowej i technologicznej oraz urządzeń dla firm produkcyjnych i uczelni. Działamy w obszarze nanoszenia powłok, modyfikacji powierzchni, mikroskopii świetlnej i profilometrii, badań mechanicznych w tym twardości, odporności na zarysowania czy zużycia. Oferowane przez nas rozwiązania znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach nauki: w inżynierii materiałowej, fizyce, chemii, nanotechnologii, bioinżynierii i medycynie.

Zespół naszych inżynierów i serwisantów rozlokowanych na terenie całego kraju gwarantuje ciągłość codziennej pracy systemów oraz terminowość usług instalacyjnych i naprawczych. Dzięki ciągłemu podnoszeniu kwalifikacji członków naszego zespołu i wnikliwej analizie rynku proponujemy coraz to nowsze rozwiązania.

Obecnie uruchamiamy również centrum powłok, w ramach którego będziemy oferować profesjonalne usługi powlekania dekoracyjnego PVD i PECVD. Nasze możliwości technologiczne pozwalają na wytwarzanie różnego rodzaju materiałów w szerokim zakresie kolorystycznym. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom klienta i poszerzając zakres naszych usług otworzyliśmy własne laboratorium wzorujące o numerze akredytacji AP 207, akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji zgodnie z ISO 17025.

Oferujemy również współpracę B+R nad rozwojem nowych produktów i rozwiązań z wykorzystaniem naszej kadry i zaplecza laboratoryjnego. Wspieramy w prowadzeniu długoterminowych projektów badawczych (wraz z wsparciem pozyskania finansowania). Świadczymy również usługi badań materiałowych na zlecenie.

Więcej informacji: <https://technolutions.pl/>

PARTNERZY



IPG Photonics jest światowym liderem technologii laserów włóknowych, dostarczającym najbardziej innowacyjne i wydajne rozwiązania laserowe do wszelkich zastosowań przemysłowych. Przekształcamy branżę poprzez wykorzystanie światła w nowy i innowacyjny sposób. Umożliwiamy producentom zwiększenie jakości, obniżenie kosztów i maksymalizację wydajności, dzięki najbardziej niezawodnym i energooszczędnym narzędziom na świecie.

Więcej informacji: <https://www.ipgphotonics.com/pl>



Firmę Integrators stworzyliśmy z myślą o wprowadzaniu nowoczesnych rozwiązań z dziedziny fotoniki do nauki i przemysłu. Od dekady jesteśmy obecni w największych projektach naukowych dostarczając najwyższej jakości technologię bezpośrednio do Państwa laboratoriów. Pragniemy kontynuować naszą pracę jednocześnie wraz z Państwem zmieniać polską naukę. Oferujemy kompletne wyposażenie laboratoriów, realizujemy zarówno pojedyncze zamówienia jak i kompleksowe projekty, w obu przypadkach dokładamy wszelkich starań, aby powiększać grono zadowolonych Klientów.

Więcej informacji: <https://integrators.pl/>



Eurotek
International

Firma Eurotek International Sp. z o.o. istnieje od 1992 r. Powstała i kontynuuje działalność jako sprzedawca rozwiązań w dziedzinie technik laserowych, obrazowania, optyki i urządzeń z optyką związanych.

Nasze doświadczenie zawodowe, jakie ukształtowało się w czasie wielu lat aktywności obejmuje:

- optykę i fotonikę • technologie laserowe • pomiarowa mechanika płynów • pomiary optyczne – obrazowanie i spektroskopię • optomechanikę i sterowanie ruchem

Łącząc wiedzę o systemach laserowych z doświadczeniem w realizacji układów pomiarowych możemy wnieść istotną wartość przy planowaniu nowych stanowisk pomiarowych i wyborze odpowiedniej aparatury. Budujemy i integrujemy złożone układy pomiarowe i urządzenia.

Dysponujemy bardzo doświadczonym serwisem dla większości oferowanych urządzeń.

Jesteśmy firmą techniczno-handlową. W zakres naszej działalności wchodzi:

- sprzedaż – podzespołów, urządzeń i systemów złożonych • serwis • doradztwo w zakresie wyboru technologii, metod pomiarowych, sprzętu itp. • projektowanie systemów – w szczególności rozwiązań specjalnych, jednostkowych

Więcej informacji: <http://lasery.net.pl/>



LABSOFT

LABSOFT to dostawca, który od lat wspiera polskich naukowców i inżynierów w odkrywaniu przyszłości półprzewodników. Jako przedstawiciel renomowanych marek takich jak Thermo Fisher Scientific, Bruker, Veeco i Sentech Instruments GmbH, dostarczamy zaawansowaną aparaturę pomiarową i urządzenia procesowe, które napędzają innowacje i poprawiają jakość produktów.

Nasza oferta obejmuje najnowocześniejsze technologie, w tym systemy epitaksji MBE i MOCVD, reaktory plazmowe, elipsometrię, mikroskopy elektronowe i sił atomowych oraz wysokorozdzielcze dyfraktometrię. Dzięki naszej wiedzy i doświadczeniu dostarczamy rozwiązania precyzyjnie dopasowane do potrzeb, wspierając klientów na każdym etapie – od właściwego przygotowania pomieszczeń po pełne wdrożenie technologii.

Z LABSOFT możesz liczyć na wsparcie, które pomoże Ci osiągnąć cele badawcze lub produkcyjne. Od ponad 30 lat jesteśmy partnerem, na którym możesz polegać.

Więcej informacji: <https://labsoft.pl/>



2PHOTONS to nowoczesna firma, która prowadzi działalność handlową oraz doradczą skoncentrowaną wokół innowacyjnych dziedzin technicznych, w szczególności optyki, optomechaniki i optoelektroniki.

Na przestrzeni lat zrealizowaliśmy wiele dostaw urządzeń badawczych oraz wyposażenia dla uczelni wyższych oraz wiodących ośrodków naukowych w Polsce. Firma stała się znanym uczestnikiem rynku i zyskała wiarygodność wśród swoich partnerów, którzy szczególnie cenią sobie niezawodność, stabilność i rozsądną politykę cenową. Rozwinięty system logistyczny pozwala nam szybko i niezawodnie dostarczać komponenty.

Jesteśmy jedynym dystrybutorem firmy Thorlabs w Polsce.

W naszej ofercie znajdują się produkty m.in. takich firm jak:

- Bioeksma • Edmund Optics • Chroma • Eksma Optics • Hamamatsu • Optilab • Ocen Optics • Roithner Lasertechnik • Semrock • Standa • Thorlabs

Więcej informacji: <https://2photons.com/>



PCO S.A. od ponad 48 lat jest jedną z najważniejszych spółek polskiego przemysłu zbrojeniowego, tworząc potencjał obronny Polski. Podstawową działalnością PCO S.A. jest prowadzenie prac badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych oraz produkcja i sprzedaż wyrobów optoelektronicznych, przyrządów obserwacyjnych i celowniczych z zastosowaniem techniki laserowej, noktowizyjnej i termowizyjnej dla potrzeb wojska i innych służb mundurowych.

Spółka podąża za najnowszymi trendami w branży i uczestniczy w licznych inicjatywach strategiczno-organizacyjnych. PCO S.A. ma znaczący udział w programach modernizacji Sił Zbrojnych RP, dostarczając urządzenia dla indywidualnych żołnierzy, a także różnego rodzaju platform bojowych. Dzięki własnemu zapleczu badawczo-rozwojowemu buduje silną pozycję krajowego przemysłu obronnego. Wyroby spółki wyróżniają się wysoką jakością, a ich użytkownicy potwierdzają niezawodność oraz innowacyjność oferowanych przez Spółkę rozwiązań technicznych. PCO S.A. zapewnia obsługę swoich wyrobów na każdym etapie ich cyklu użytkowania, wprowadza również nieustannie modyfikacje oraz rozszerza ofertę zgodnie z sugestiami klientów.

PCO S.A. powstało w 1976 r. w Warszawie pod nazwą „Przemysłowe Centrum Optyki w budowie”. W roku 1994 zostało przekształcone w jednoosobową spółkę Skarbu Państwa Przemysłowe Centrum Optyki Spółka Akcyjna. PCO S.A. jest spółką akcyjną działającą w oparciu o Kodeks spółek handlowych i statut spółki. Od 21 października 2014 r. wchodzi w skład Polskiej Grupy Zbrojeniowej S.A.

Więcej informacji: <https://pcosa.com.pl/>



Ansys jest wiodącym globalnym dostawcą oprogramowania do symulacji inżynierskich, umożliwiającym firmom projektowanie, testowanie i walidację produktów wirtualnie. Firma koncentruje się na obszarach, takich jak mechanika strukturalna, dynamika płynów, elektromagnetyka oraz symulacja systemów. Oferta Ansys wspiera branże, m.in. lotnictwo, motoryzację i elektronikę, w optymalizacji wydajności produktów, redukcji kosztów rozwoju i przyspieszaniu innowacji. Symulacje Ansys dają inżynierom możliwość badania i przewidywania, jak produkty będą działać - lub nie działać - w rzeczywistych warunkach. Dzięki temu możliwe jest skrócenie czasu wprowadzenia na rynek, obniżenie kosztów produkcji, poprawa jakości i zmniejszenie ryzyka. To przewaga, która pozwala firmom podejmować pewne działania.

Więcej informacji: <https://www.ansys.com/>



LightHouse Sp. z o.o. – pierwszy polski design house w obszarze specjalizowanych układów fotoniki scalonej (ang. application-specific photonic integrated circuits, ASPIC). Spin-off Politechniki Warszawskiej, czerpiący z ponad 12 lat doświadczeń zespołu badawczo-naukowego Eastern Europe Design Hub, EEDH, działającego w Zakładzie Optoelektroniki Instytutu Mikroelektroniki i Optoelektroniki PW. LightHouse oferuje usługi projektowania, prototypowania, badań i walidacji układów ASPIC do zastosowań w systemach teletransmisyjnych (telecom i datacom), czujnikowych, biomedycznych itp., a także eksperckie wsparcie (technological guidance) dla klientów debiutujących na rynku fotoniki zintegrowanej.

Firma oferuje również usługi w zakresie szeroko rozumianej fotoniki, w tym projektowanie i prototypowanie układów fotoniki światłowodowej (w tym laserów i wzmacniaczy włóknowych) i układów czujnikowych oraz usługi pomiarowe w zakresie spektroskopii optycznej. Eksperti LightHouse podejmują się również opracowań studiów wykonalności, analiz rynkowych, oceny potencjału wdrożeniowego oraz analiz due-diligence w obszarach technologii fotonicznych.

Firma współpracuje blisko z instytucjami naukowymi oraz biznesowymi, w tym macierzystym Instytutem Mikroelektroniki i Optoelektroniki PW, Pracownią Technologii Światłowodów (Wydział Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej), Instytutem Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej, VIGO Photonics oraz Bright Photonics.

INDEKS AUTORÓW

Michał ABRAMOWICZ	P-12
Krzysztof ACHTENBERG	P-10
Krzysztof ANDERS	I-07, P-03, P-13, P-18, P-19, P-21, P-26, P-27, P-33, P-39
Kamil BADURA	O-06
Patrycja BARANOWSKA	O-19
Nazar BARCHUK	P-05
Kamil BARCZAK	O-03
Jarosław BAREŁA	P-06
Emma BARNEY	P-38
Andrzej BARTNIK	O-01, O-34, P-07
Bartosz BARTOSEWICZ	P-06
Łukasz BEDNARSKI	O-06, P-33
Trevor BENSON	O-33, P-38
Erwin BENTE	KN-02
Ewelina BIAŁEK	P-42
Andrzej BIEGANOWSKI	O-24
Aleksandra BIENIEK-KACZOREK	P-18, P-19, P-26, P-27, P-30, P-33
Stawomir BILICKI	O-23
Marcin BOBER	O-23
Karolina BOGDANOWICZ	I-02, P-37
Robert BOGDANOWICZ	P-09
Aneta BOMBALSKA	P-06
Paweł BORTNOWSKI	P-19, P-21, P-26, P-27, P-30, P-33
Krzysztof BRACHA	P-29
Artur BRODA	I-08, P-02
Ryszard BUCZYŃSKI	O-26, P-51
Maciej BUGAJSKI	I-08
Jakub BUTKIEWICZ	O-09
Adrian F. CHLEBOWSKI	P-31
Krzysztof CHMIELEWSKI	I-08, P-29
Grzegorz CHROBAK	O-11
Michał CHYŁA	O-12
Bogumił CIENIEK	P-05
Joanna CYBIŃSKA	O-16
Grzegorz CYWINSKI	I-15
Maria CYWIŃSKA	P-41
Maciej CZAJKOWSKI	O-16
Tomasz CZYSZANOWSKI	I-02, P-37
Lidia CZYŻEWSKA	P-04, P-28
Dominika DĄBRÓWKA	P-48

Igor DERYŁO	O-36
Radostaw DOBROWOLSKI	O-24
Dominik DOROSZ	O-07, O-25, O-27, P-45
Jan DOROSZ	O-25, O-27
Dagmara DRECKA	P-22, P-25, P-32, P-34
Józef DRESNER	O-35
Łukasz DREWNIAK	O-03
Maxime DUB	I-15
Michał DUDEK	P-42
Robert DZIEDZIC	P-50
Krzysztof DZIERŻĘGA	P-45
Marek EKIELSKI	I-02, P-37
Dariusz FABJANOWICZ	O-35
Mark FARRIES	O-33, P-38
Szymon FIDERKIEWICZ	P-47
Henryk FIEDOROWICZ	O-01, P-07
Maciej FILIPIAK	P-13, P-16, P-22, P-25, P-34
Magdalena FLONT	O-19
Tomasz FOK	O-01, P-07
Tomasz GABLER	P-09
Petrişor Gabriel BLEOTU	P-09
Marta GAJEWSKA	P-45
Małgorzata GARBACKA	O-06
Marcin GĘBSKI	I-02
Weronika GŁOWADZKA	P-37
Aleksander GŁUSZEK	O-13, P-14
Michał GOLAS	P-22, P-25, P-32, P-34
Ali GOLESTANI	I-13
Damian GOŁOŚ	O-21
Przemysław GONTAR	O-32
Jacek GOŚCINIAK	P-46
Krzysztof GRABOWIECKI	P-20
Kamil GRADKOWSKI	KN-03
Maciej GRZEGORCZYK	P-35
Maciej GRZESIAK	P-49
Piotr GUTOWSKI	I-08
Kateryna HOVOROVA	O-29
Arkadiusz HUDZIKOWSKI	O-13, P-14
Zuzanna IWOŃ	O-19
Jan JABCZYŃSKI	I-09
Bartosz JANASZEK	P-44
Monika JANIK	P-09, P-51

Bartłomiej JANKIEWICZ	P-11
Michał JAROSIK	P-25
Elżbieta JASTRZĘBSKA	O-19
Katarzyna JASZCZYSZYN	P-43
Armen JAWORSKI	P-20
Gloria Lesly JIMENEZ MIRANDA	O-07
Weronika JÓZWICKA	P-15
Mateusz JÓZWICKI	P-15
Michał JÓZWIK	P-41
Marcin JUCHNIEWICZ	I-07, P-13, P-16, P-25, P-27, P-32, P-34
Jarostaw JUREŃCZYK	I-07, I-14
Anna JUSZA	I-07, P-18, P-19, P-21, P-26, P-30, P-33, P-43
Jakub JUSZA	O-35
Marcin KACZKAN	O-18
Miron KALISZEWSKI	P-06, P-11
Jerzy KALWAS	O-05, O-35, P-19, P-26, P-36, P-43
Grzegorz KAŁDOŃSKI	P-06
Mateusz KAŁUŻA	O-30
Piotr KAŁUŻYŃSKI	O-03
Sanjay KAPOOR	I-13
Paweł KARASIŃSKI	O-10
Michał KARPIŃSKI	I-13, O-22
Mariusz KASTEK	P-06
Rafał KASZTELANIC	O-26, P-51
Andrzej KAŻMIERCZAK	P-30, P-33
Alicja KĄDZIELA	P-32
Jacob B. KHURGIN	P-46
Anna KICZOR	P-28
Edyta KIEDRZYŃSKA	O-05, P-43
Marcin KIEDRZYŃSKI	P-43
Jungwon KIM	KN-01
Wojciech KNAP	I-15
Marcin KOBĄ	P-09, P-51
Marcin KOCHANOWICZ	O-25, O-27, P-45
Piotr KOLENDERSKI	KN-06
Walery KOŁKOWSKI	I-02
Dominik KOŁODZIEJEK	O-19
Paweł KOMOROWSKI	O-30
Joanna KONOPKA	O-19
Krzysztof KOPCZYŃSKI	KN-05, O-08, O-21, P-06, P-11, P-24
Małgorzata KOPYTKO	I-16, P-23
Vadym KOROTYEV	I-15

Jakub KORYCIŃSKI	O-09
Cezary KOSEWSKI	P-20
Paweł KOZIOŁ	P-50
Łukasz KOZŁOWSKI	P-19, P-26, P-27, P-30
Wojciech KRAUZE	I-11
Agata KRZĄSTEK	I-08, P-02
Jacek KUBICA	P-01
Małgorzata KUJAWIŃSKA	I-11
Łukasz KUSTOSZ	P-03
Marta KUWIK	O-25, O-27
Aleksandr KUŻMICZ	I-08
Michał KWIATKOWSKI	P-01
Samir LAMRINI	O-33, P-38
Marcin LELIT	I-07, P-13, P-27, P-32
Gloria Lesly JIMÉNEZ Miranda	P-45
Magdalena LEŚNIAK	O-25, P-45
Marek LIEBERT	I-07
Malwina LISZEWSKA	P-06
Ru-Shi LIU	P-35
Zofia LORENC	O-02
Filip ŁABAJ	O-05, P-36
Katarzyna ŁAWNICZUK	KN-04
Sylwester ŁĄTKOWSKI	KN-02
Ewa ŁOBOS-MOYSA	O-03
Marek ŁODZIŃSKI	O-25
Erwin MACIAK	O-03
Dawid Maciej WRÓBLEWSKI	P-24
Sebastian MAHLIK	P-35
Natalia MAJEWSKA	P-35
Piotr MAJEWSKI	P-36
Kinga MAJKOWYCZ	P-23
Mateusz MAJSZYK	O-01, O-34
Mariusz MAKARA	P-04
Michał MALINOWSKI	O-18
Paweł MARCHEWKA	P-12
Bartosz MARCINIAK	P-33
Magdalena MARCINIAK	I-02
Paweł MARĆ	P-17, P-42
Jakub MARKIEWICZ	O-27
Krzysztof MARKOWSKI	O-25
Piotr MARTYNIUK	P-23
Natalia MATWIEJ	P-43

Stawomir MATYL	O-20
Paweł MERGO	O-24, P-04, P-15, P-21, P-28, P-33, P-49
Bartosz MICHALAK	P-13, P-16
Maria MICHALSKA	O-25
Paweł MICHAŁOWSKI	I-02
Jadwiga MIERCZYK	P-06
Zygmunt MIERCZYK	I-03
Michał MIKOŁAJCZYK	I-13, O-22
Piotr MILUSKI	O-25, O-27, P-45
Jarosław MŁYŃCZAK	P-06, P-11
Jakub MNICH	O-17
Daniel MORALES-M.	O-07
Piotr MORZYŃSKI	O-23
Agnieszka MOSSAKOWSKA-WYSZYŃSKA	P-08, P-40
Marcin MOTYKA	P-37
Krzysztof MURAWSKI	P-23
Filip MUSIAŁEK	P-10
Marcin MUSZKOWSKI	O-20
Jarosław MYŚLIWIEC	O-16
Marcin MYŚLIWIEC	P-16, P-22
Michał NAGOWSKI	I-08, P-02
Maciej NAPIÓRKOWSKI	O-26
Mateusz NAROŻNIK	O-23
Michał NEJBAUER	O-31
DOAN NGOC Hiep	P-24
Adrianna NIERADKA	O-30
Dominika NIEWCZAS	I-08, P-02
Janusz NOGA	O-21
Małgorzata NOREK	P-42
Maciej J. NOWAKOWSKI	O-04
Peter O'BRIEN	KN-03
Maciej OGRODNIK	I-13
Aneta OLSZEWSKA	O-03
Jacek OLSZEWSKI	I-07, P-39
Marcin OLSZEWSKI	P-51
Karolina OLUCHA	I-02
Tomasz OSUCH	O-33
Ivan PADALKA	P-05
Łukasz PAJEWSKI	O-33, P-38
Anna PAJOR-ŚWIERZY	P-50
Anna PAKUŁA	P-17
Katia PANINA	KN-02

Iwona PASTERNAK	I-02
Aleksandra PAŚNIKOWSKA	P-03, P-27
Krystian PAVŁOV	P-13, P-16
Estera PAWLIKOWSKA	P-17
Adam PAŹDZIOR	O-24, P-04, P-33
Piotr PERLIN	I-10
Luka PERPAR SAMS	O-28
Katarzyna PIENIAK	I-08, P-29, P-52
Dorota PIERŚCIŃSKA	I-07, I-08, P-02, P-12, P-29, P-52
Kamil PIERŚCIŃSKI	I-07, I-08, P-02, P-12, P-29, P-52
Michał PIETRZAK	O-13, P-14
Ryszard PIRAMIDOWICZ	I-07, O-05, P-03, P-13, P-16, P-18, P-19, P-21, P-26, P-27, P-30, P-33, P-36, P-39, P-43, P-46
Joanna PISARSKA	O-25, O-27
Wojciech A. PISARSKI	O-25, O-27
Emil PITUŁA	P-51
Dominika PIWOWARSKA	P-43
Andrzej POŁATYŃSKI	I-07, P-13, P-27
Piotr POTERA	P-05
Krzysztof POTURAJ	P-04, P-15
Michał RĘKAWEK	P-40
Mariusz ROJEWSKI	P-03
Damian ROLBIECKI	P-43
Paweł RUKAT	P-36
Michał RYGAŁA	P-37
Oskar SADOWSKI	P-37
Pavlo SAI	I-15
Robert P. SARZAŁA	P-48
Michael SCHNEIDER	O-15
Angela B. SEDDON	O-33
Angela SEDDON	P-38
Bartłomiej SEREDYŃSKI	P-23
Bartosz SĘDEK	O-08
Michał SIDZ	P-04
Agnieszka SIEMION	O-30
Konrad SIENICKI	O-21
Rafał SIENKO	O-06
Michał SKIBA	O-20
Wojciech SKRZECZANOWSKI	O-34, P-06
Krzysztof SKRZYPKOWSKI	P-33
Wioleta SŁABA	I-02
Mateusz SŁOWIKOWSKI	I-07, P-13, P-16, P-22, P-25, P-27, P-32, P-34
Tristan SMOŁKA	P-37

Grzegorz SOBCZAK	I-08, P-52
Filip SOŚNICKI	I-13
Jarostaw Z. SOTOR	P-31
Jarostaw SOTOR	O-13, O-17, P-14
Łukasz SÓJKA	O-33, P-38
Andrei STANCALIE	P-09
Sebastian STANO	O-11
Tomasz STAŃCZYK	O-09
Mariusz STAŃDO	P-06
Bartłomiej STARZYK	P-45
Łukasz A. STERCZEWSKI	O-17, P-31
Agnieszka STOLARCZYK	O-03
Bartłomiej STONIO	P-13, P-16, P-22, P-25, P-32, P-34
Stanisław STOPIŃSKI	I-07, P-03, P-13, P-16, P-18, P-19, P-26, P-27, P-33, P-39
Włodzimierz STRUPIŃSKI	I-02
Stawomir SUJECKI	O-33, P-38
Dariusz SZABRA	P-10
Waldemar SZCZEPANIAK	O-20
Krzysztof SZCZEPANOWICZ	P-50
Paweł SZCZEPAŃSKI	P-08, P-40, P-44
Anna SZERLING	I-02, P-37
Stawomir SZOSTAK	P-33
Alina SZUKALSKA	O-16
Jerzy SZUNIEWICZ	I-13
Michał SZWAJEWSKI	P-04
Adrian ŚLIPEK	P-39
Mateusz ŚMIETANA	P-09, P-51
Patrycja ŚPIEWAK	I-02
Jacek ŚWIDERSKI	O-25
Oliwia TADKO	O-19
Wojciech TALIK	P-45
Grzegorz TERLECKI	E-01
Maciej TRUSIAK	I-11, P-41
Anna TYSZKA-ZAWADZKA	P-44
Cuma TYSZKIEWICZ	O-10
Omid VARTEHPARVAR	O-23
Carlos VAZQUEZ-L.	O-07
Ihor VIRT	P-05
Przemysław WACHULAK	O-01, P-07
Aleksander WALEWSKI	P-04
Martyna WARDZIŃSKA	O-01, P-07
Michał WASIAK	I-02

Emilia WDOWIAK	P-41
Łukasz WĘGRZYŃSKI	O-01, O-14, P-07
Adam WIDOMSKI	I-13
Marta WIĘCKOWSKA	I-02
Kevin WILLIAMS	KN-02
Piotr WIŚNIEWSKI	I-07, P-13, P-16, P-27, P-32, P-34
Piotr WITOŃSKI	P-08, P-40
Maksymilian WŁODARSKI	P-06, P-11
Marcin WOJCIECHOWSKI	O-29
Jacek WOJTAS	P-10
Grzegorz WÓJCIK	P-04, P-49
Łukasz WZOREK	P-33
Franciszek ZABIEROWSKI	P-33
Magdalena ZADURA	I-02
Przemysław ZAGRAJEK	O-29
Andrzej ZAJĄC	I-04
Patryk ZAJĄC	P-45
Michał ZAWADA	O-23
Witold ZAWADZKI	P-45
Piotr ZDAŃKOWSKI	P-41
Magdalena ZIĄBKA	P-45
Magdalena ZIĘBA	O-10
Izabela ZIMPOCH	O-03
Chao ZUO	I-11
Marek ZYGMUNT	I-12, O-08, P-24
Jacek ŻMOJDA	O-25
Agnieszka ŻUCHOWSKA	O-19
Marek ŻYCZKOWSKI	P-17

Redaktorzy: Ryszard Piramidowicz, Krzysztof Anders

Wydawca: Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki Politechniki Warszawskiej
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel. 22 234 77 77, imio@pw.edu.pl

Opracowanie graficzne: Hanna Sater

ISBN: 978-83-64102-06-6



ISBN 978-83-64102-06-6



9 788364 102066

