



KOMITET ELEKTRONIKI
I TELEKOMUNIKACJI POLSKIEJ AKADEMII
NAUK



Polski Komitet Optoelektroniki



Analiza stanu i kierunki rozwoju krajowych ośrodków naukowych i firm produkcyjnych w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki

Opracowanie przygotowane przez Sekcję Optoelektroniki KEiT PAN
Przewodniczący Sekcji: *Tomasz R. Woliński* – *woliński@if.pw.edu.pl*

Autorzy:

Andrzej W. Domański, Zdzisław Jankiewicz, Tomasz R. Woliński, Wiesław L. Woliński

Współpraca:

Stanisław Kłosowicz, Tadeusz Pustelny, Ryszard Romaniuk

Spis Treści:

1. Wstęp
2. Analiza stanu – ankieta
3. Elementy i moduły optoelektroniczne do zastosowań w medycynie, przemyśle, ochronie środowiska i technice wojskowej (PBZ-MIN-009/T11/2003)
4. Kierunki rozwoju: Fotoniczne technologie i systemy pomiarowe w medycynie i innowacyjnej gospodarce
5. Wybrane technologie fotoniczne
6. Fotoniczna diagnostyka medyczna
7. Fotoniczne systemy pomiarowe w innowacyjnej gospodarce
8. Ciekłe kryształy: materiały dla optoelektroniki i fotoniki
9. Rozwój techniki laserowej w kraju
10. Aktualny stan i perspektywy rozwoju firm fotonicznych w Polsce
11. Podsumowanie

Wstęp

Optoelektronika i fotonika należą do najbardziej obiecujących i najszybciej rozwijających się dziedzin współczesnej nauki i techniki. Miniony wiek XX zwany jest często wiekiem elektronu, który stał się źródłem niesamowitego rozwoju elektroniki; analogicznie przewiduje się, że wiek XXI będzie wiekiem fotonu i również burzliwego rozwoju technologii fonicznych.

Fotonika oparta jest na solidnych podstawach fizyki, nanotechnologii, inżynierii materiałowej i elektroniki. Od czasu skonstruowania pierwszego lasera w 1960 r., fotonika poczyniła olbrzymi postęp stając się jedną z kluczowych współczesnych technologii.

Według powszechnie przyjętej definicji zaproponowanej w 1967 r. przez francuskiego naukowca Pierra Aigrain:

„Fotonika jest to nauka i technika ujarzmiwania światła obejmująca zjawiska wytwarzania i odbierania światła, zarządzania i sterowania światłem poprzez jego prowadzenie, przetwarzanie i wzmacnianie; przy czym głównym zadaniem fotoniki jest wykorzystanie światła z pożytkiem dla ludzkości”.

W tym kontekście sformułowanie „*wykorzystanie światła z pożytkiem dla ludzkości*”, potraktować można, jako wyzwanie w kontekście zastosowania nowoczesnych technologii fonicznych i systemów pomiarowych.

Fotonika jest dziedziną interdyscyplinarną obejmującą fizykę, optykę, inżynierię materiałową, chemię, zastosowania – badawcze, przemysłowe, biomedyczne, i inne. Nazwa jest relatywnie nowa. Jej szersze użycie datuje się od niedawna i zostało wprowadzone ewolucyjnie, obejmując poprzednio stosowane nazwy takie jak optoelektronika półprzewodnikowa, technika laserowa, technika światłowodowa, telekomunikacja światłowodowa, telekomunikacja optyczna, optoelektronika obrazowa, fizyka fotonu, optyka klasyczna, optyka kwantowa, optyka atomowa, optyka nieliniowa, fotonika wysokoenergetyczna, optoelektronika informacyjna (czasem informatyczna) obejmująca tzw. idee komputera optycznego, optoelektronika zintegrowana (planarna) i inne.

Znaczenie fotoniki widoczne jest szczególnie w szeregu obszarach zastosowań, w których dominuje jej na wskroś innowacyjny charakter. Obszary te obejmują takie zagadnienia jak: optyczne przetwarzanie informacji, telekomunikacja optyczna, obrazowanie, oświetlenie, wyświetlacze (wskaźniki) foniczne, kontrola procesów produkcyjnych, ochrona zdrowia i środowiska naturalnego, foniczne systemy bezpieczeństwa i zabezpieczeń. W wielu tych zastosowaniach fotonika oferuje nowoczesne i jedynie możliwe rozwiązania, szczególnie tam, gdzie tradycyjne techniki i technologie osiągnęły kres swoich możliwości zarówno pod względem szybkości działania jak i dokładności.

Światowy rynek w dziedzinie fotoniki w wyniósł w 2005 r. 228 mld euro, a według prognoz do roku 2015 ma osiągnąć wartość ok. 400 mld euro. Wydatki związane z fotoniką ponoszone w samej Europie wynoszą obecnie ok. 50 mld euro i szybko przekroczą poziom wydatków w dziedzinie mikroelektroniki; przy czym roczny poziom wzrostu przekracza 10%. W Europie zatrudnionych jest obecnie w fotonice ok. 250 tys. osób, a ponad 5000 firm (głównie typu SME) zajmuje się produkcją.

W ślad za tym dynamicznym globalnym rozwojem fotoniki wiele krajów na świecie i w Europie rozpoczęło własne działania w dziedzinie optyki i fotoniki. I tak np. Niemcy wystartowały z finansowaniem dedykowanych programów badawczych z fotoniki pod koniec XX wieku; Wielka Brytania opracowała narodową strategię rozwoju fotoniki w 2007 r., a

Komisja Europejska wymienia fotonikę, jako jedną z kluczowych strategicznych technologii europejskich i przeznaczyła znaczące środki na jej rozwój w ramach 7. Programu Ramowego na lata 2007-2013.

Środowisko polskich optoelektroników – fotoników od dawna widziało w rozwoju tej dziedziny szansę rozwoju gospodarczego. W minionych latach prowadzono kolejno badania w trzech programach dotyczących fotoniki i optoelektroniki:

- „Inżynieria fotoniczna” – program priorytetowy badań własnych prowadzony przez Politechnikę Warszawską w latach 1995-2001,
- PBZ -023-10 pt. „Diody laserowe dużej mocy i lasery z ciałem stałym pompowane diodami laserowymi - opracowanie technologii wytwarzania materiałów i podzespołów oraz konstrukcji urządzeń laserowych” wykonywany w latach 1997 – 2000; koordynator ITME.
- PBZ-MiN-009/T11/2003 pt. „Elementy i moduły optoelektroniczne do zastosowań w medycynie, przemyśle, ochronie środowiska i technice wojskowej” wykonywany w latach 2004 - 2008; koordynator ITME.

Programy te miały wyraźnie utylitarny charakter i stworzyły podstawy do budowy współczesnych przyrządów i aparatury z obszaru fotoniki.

W 2006 r., z inicjatywy przemysłu głównie niemieckiego, powstała europejska platforma technologiczna *Photonics*²¹, której głównym celem jest określenie strategii badawczej rozwoju fotoniki w Europie oraz uświadomienie jej wielkiej roli i wpływu na rozwój gospodarki europejskiej. Z tą platformą integrują się narodowe platformy fotoniczne krajów Unii Europejskiej. Taką rolę ma spełniać w Polsce platforma zajmująca się sprawami optoelektroniki-fotoniki.

W tym kontekście wydaje się naturalnym opracowanie krajowego programu strategicznego z dziedziny technologii fotonicznych, który przyczyniłby się do integracji i koordynacji prac z dziedziny fotoniki i przyczyniłby się do stworzenia polskiej strategii badań i rozwoju w tej dziedzinie.

Wejście Polski do struktur europejskich pociągnęło za sobą konieczność współuczestnictwa w realizacji kierunków polityki europejskiej, w szczególności wyrażonych w Strategii Lizbońskiej, której głównym celem jest stworzenie do 2010 roku na terytorium Europy najbardziej konkurencyjnej i dynamicznej gospodarki na świecie, opartej na wiedzy, zdolnej do trwałego rozwoju, tworzącej większą liczbę lepszych miejsc pracy oraz charakteryzującej się większą spójnością społeczną.

Krajowe środowisko fotoniki jest jednak dość liczne i dość dobrze zorganizowane i zintegrowane. Główne organizacje zawodowe koordynujące wysiłki środowiska w skali krajowej to Polski Komitet Optoelektroniki SEP, Sekcja Optoelektroniki KEiT PAN, Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne – będące kontynuatorem działania Polskiej Sekcji SPIE, Sekcja Optyki PTF, Polskie Towarzystwo Promieniowania Synchronotronowego, Polskie Towarzystwo Sensorowe. Środowisko to dysponuje własnymi czasopismami naukowymi poświęconymi wyłącznie fotonice takimi jak: *Opto-Electronics Review*, *Optica Applicata* oraz *Photonics Letters of Poland*. W ostatnich latach realizowano w tym środowisku kilka dużych projektów zamawianych (PBZ) poświęconych fotonice m.in. niebieska optoelektronika oraz optoelektroniczne moduły funkcjonalne i ich zastosowania w gospodarce. Obecnie krajowe środowisko fotoniki przygotowało kilka dużych wniosków badawczych i infrastrukturalnych w ramach funduszy strukturalnych.

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) wyraziło w 2008 r. zainteresowanie powstaniem opracowania na temat aktualnego stanu rozwoju oraz możliwości badawczych polskich ośrodków naukowych i firm produkcyjnych w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki.

Opracowania takiego dokumentu podjęli się przedstawiciele środowiska optoelektroników i fotoników reprezentujący 3 kluczowe organizacje i stowarzyszenia krajowe w tej dziedzinie:

- Sekcja Optoelektroniki Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN
- Polski Komitet Optoelektroniki SEP
- Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne (*Photonics Society of Poland*) – powstałe w 2007 r. przez przekształcenie istniejącej od 1988 r. Polskiej Sekcji SPIE (*Society for Optical Engineering*) i posiadające osobowość prawną.

Niniejsze analiza ma na celu przedstawienie aktualnego stanu rozwoju oraz możliwości badawczych polskich ośrodków naukowych i firm produkcyjnych w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki jak również zaproponowanie strategicznych kierunków badawczych w tej dziedzinie.

Zaprezentowany stan rozwoju optoelektroniki i fotoniki opiera się na założeniu, że działalność badawczo-rozwojowa – zgodnie z Narodową Strategią Rozwoju Nauki – ma podstawowe znaczenie dla rozwoju cywilizacyjnego Polski oraz wzrostu innowacyjności i konkurencyjności polskich ośrodków naukowych i firm produkcyjnych w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki.

Analiza stanu - ankieta

Punktem wyjścia była przeprowadzona w roku 2008 w krajowym środowisku optoelektroników i fotoników ankieta, która sprowadzała się do udzielenia wyczerpujących odpowiedzi na cztery pytania podane poniżej:

1. Nazwa i skład Zespołu Badawczego

Dane kontaktowe:

Lider Zespołu:

Skład zespołu:

2. Najważniejsze wyniki prac rozwojowo-badawczych Zespołu w dziedzinie Optoelektroniki/Fotoniki/Optyki Stosowanej w latach tylko 2005-2008

Główne publikacje (w tym filadelfijskie):

Patenty:

Wdrożenia / opracowania

3. Uzyskane granty bądź złożone aplikacje o granty w latach 2005-2008

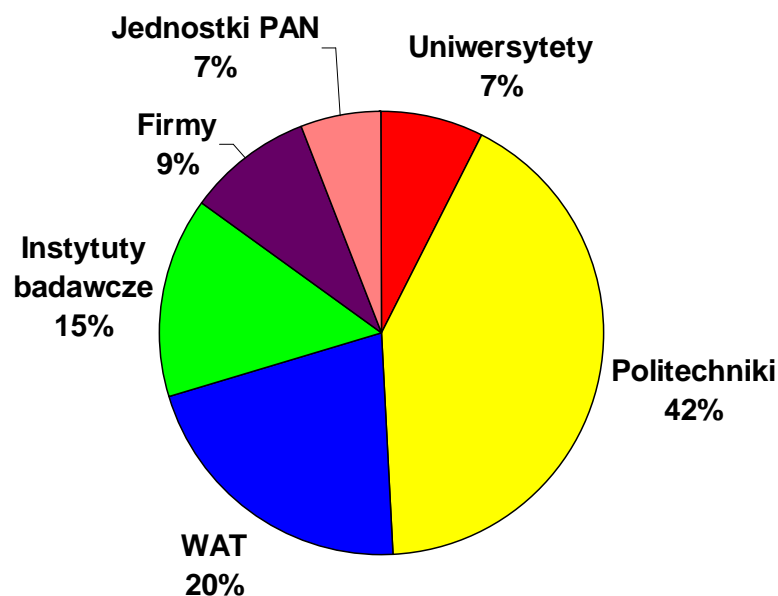
Krajowe:

Europejskie (EU):

Inne międzynarodowe:

4. Realna tematyka badawcza rokująca potencjalne zastosowanie w przemyśle lub gospodarce, którą zespół mógłby zrealizować w najbliższych 3 latach - wskazane podanie docelowego użytkownika wyników prac badawczych (tzw. END-USER).

Najciekawsze wyniki ankiety zostały przedstawione graficznie na Rys. 1-7 oraz w Tab. 1.

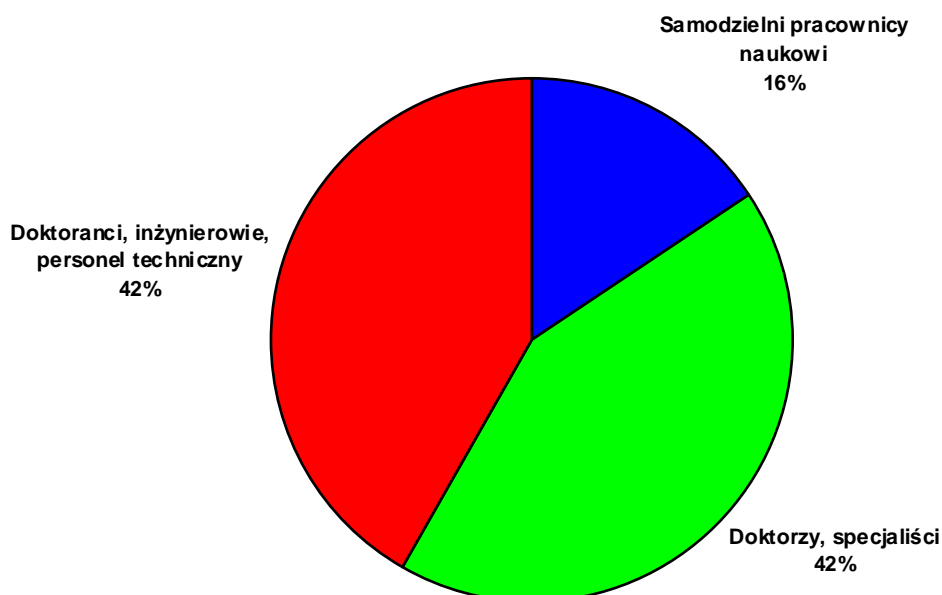


Rys. 1. Struktura organizacyjna krajowych Zespołów Badawczych z dziedziny optoelektroniki i fotoniki

Stan i możliwości badawczych krajowych ośrodków naukowych i firm produkcyjnych w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki opracowano na podstawie materiałów ankietowych dostarczonych przez przedstawicieli (liderów) 67 zespołów badawczych w pierwszym kwartale 2008 r.: 46 zespołów badawczych reprezentuje uczelnie wyższe (69%): Politechniki (42%), Uniwersytety (7%) oraz WAT (20%); 5 reprezentuje ośrodki PAN (7%), a 10 zespołów reprezentuje resortowe instytuty badawcze (15%). Udział firm produkcyjnych jest znacznie mniejszy i wynosi 6, co stanowi 9% respondentów ankiety (VIGO, INFRAMET, TopGaN, Lasertex, CTL-Laserinstruments, PIRS). – Rys. 1

Strukturę 67 Zespołów Badawczych zaprezentowana w pierwszej części ankiety przedstawiają Rys. 1-3. Najważniejsze wyniki prac rozwojowo-badawczych zespołów w ostatnich 3 latach uwzględniające główne publikacje, patenty i wdrożenia zamieszczono w drugiej części ankiety (Rys. 4-6). Uzyskane granty bądź złożone aplikacje o granty w latach 2005-2008 z rozbić na granty krajowe, unijne oraz inne międzynarodowe podane są w części trzeciej.

Najistotniejsza część czwarta ankiety dotyczyła tematyki badawczej o potencjalnym zastosowaniu w przemyśle lub gospodarce, którą zespół mógłby zrealizować w przeciągu najbliższych 3 lat (Rys. 7, Tab. 1).

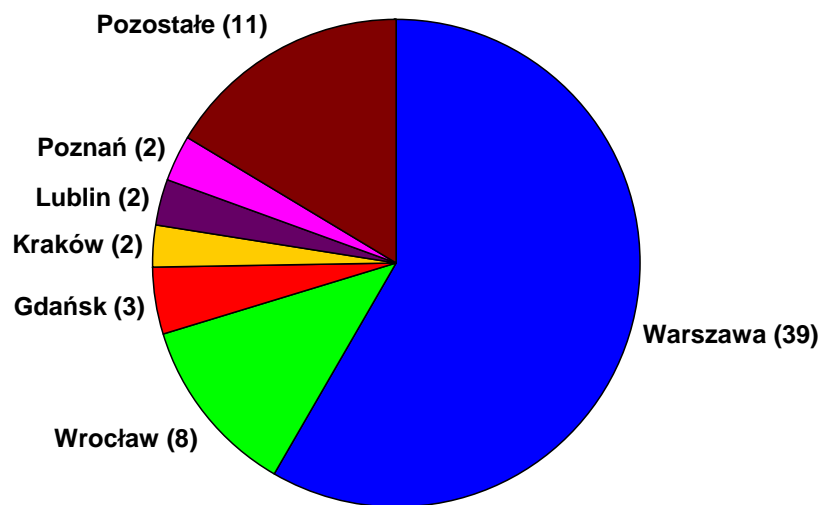


Rys. 2. Struktura naukowa członków Zespołów Badawczych z dziedziny optoelektroniki i fotoniki

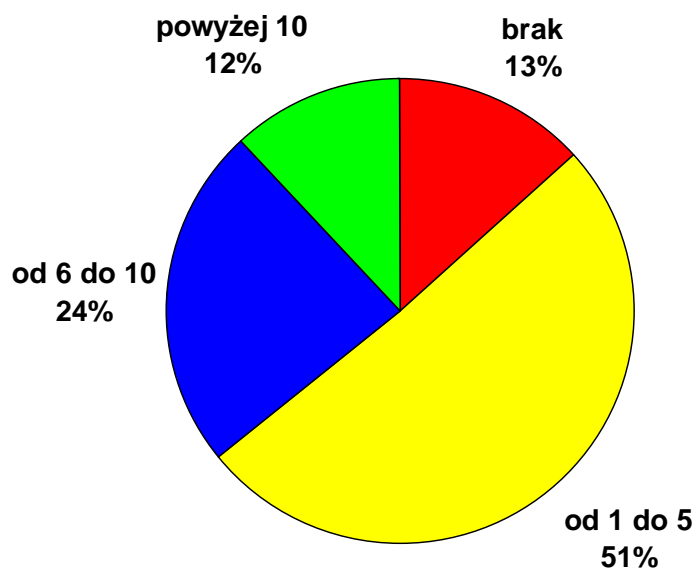
Struktura naukowa członków Zespołów Badawczych przedstawiona na Rys. 2 wykazuje równy rozkład (po 42%) pracowników doświadczonych (doktorzy i specjaliści) jak i doktorantów i pracowników technicznych. Samodzielni pracownicy naukowci (profesorowie i doktorzy habilitowani) stanowią łącznie 16%.

Rozkład geograficzny Zespołów Badawczych z dziedziny optoelektroniki i fotoniki (Rys. 3) wykazuje wyraźną dominację Mazowsza i Wrocławia, chociaż na mapie Polski występują ośrodki badawcze z całego kraju.

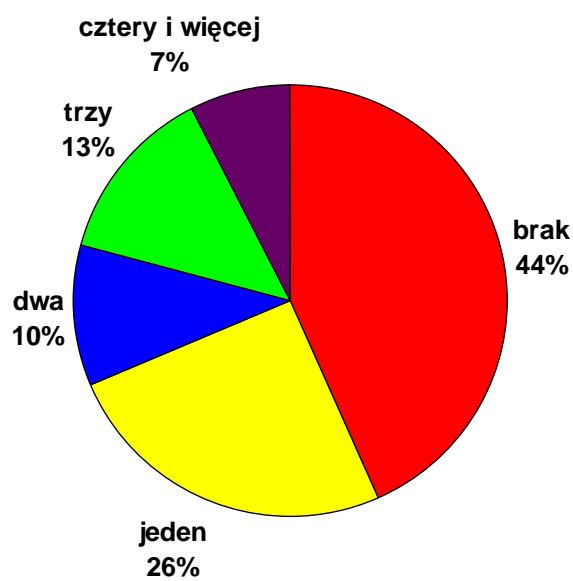
Ponad połowa (51%) Zespołów Badawczych realizowała co najmniej jeden grant krajowy (Rys. 4), natomiast prawie połowa (44%) nie brała udziału w projektach unijnych – świadczy to o słabym wykorzystaniu funduszy unijnych (Rys. 5). Granty spoza obszaru Unii Europejskiej były rzadkością (Rys. 6).



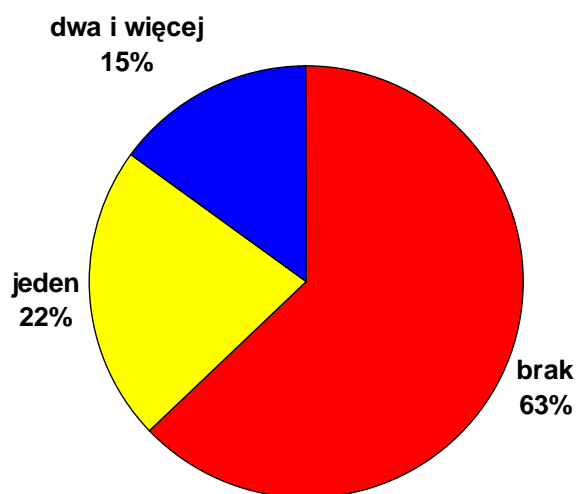
Rys. 3. Rozkład geograficzny Zespołów Badawczych z dziedziny optoelektroniki i fotoniki



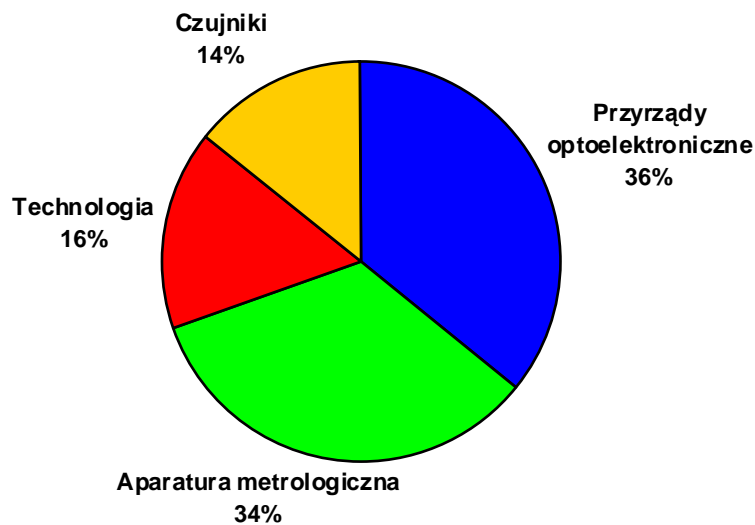
Rys. 4. Ilość grantów krajowych w Zespołach Badawczych



Rys. 5. Ilość grantów Unii Europejskiej (UE) w Zespołach Badawczych



Rys. 6. Ilość grantów spoza UE w Zespołach Badawczych



Rys. 7. Proponowana dziedzina tematyki badawczej Zespołów Badawczych o przewidywanych zastosowaniach w gospodarce.

Przeprowadzona ankieta pozwoliła sformułować następujące wnioski końcowe:

1. Wiele zespołów badawczych (ZB) prowadzi badania o bardzo szerokim zakresie tematycznym.
2. Dominującą (70%) tematyką badawczą ZB są: przyrządy optoelektroniczne (PO) oraz aparatura metrologiczna (AM)
3. Potencjał naukowy i techniczny kraju w zakresie fotoniki umożliwia podjęcie i realizację priorytetowych dla gospodarki zadań dotyczących zaawansowanych technologii i konstrukcji PO i AM
4. Zapotrzebowanie krajowe na nowoczesne przyrządy optoelektroniczne i metrologiczną aparaturę foniczną uzasadnia konieczność uruchomienia krajowego programu badawczego o roboczym tytule:

„Przyrządy foniczne i optoelektroniczna aparatura metrologiczna do zastosowań we współczesnej medycynie, ochronie środowiska i innowacyjnej gospodarce”.

5. Proponowany program badawczy powinien mieć narzucone następujące ograniczenia w doborze tematyki zadań:
 - zaniechane powinny być odtwórcze prace badawcze z zakresu PO i AM produkowanych seryjnie przez firmy zagraniczne (gwarancja znakomitych parametrów, dostępność na rynku, umiarkowana cena)
 - Jako priorytetowe powinny być traktowane prace z PO i AM o charakterze niszowym, możliwe do wytwarzania w małych i średnich firmach typu SME, przynoszące efekt ekonomiczny.

Przyjęcie powyższych ograniczeń w doborze tematyki krajowego programu badawczego stworzyłoby szansę osiągnięcia efektu ekonomicznego w krótkim okresie czasu z korzyścią dla rozwoju gospodarki krajowej.

Zaprezentowana powyżej analiza stanu i możliwości badawczych krajowych ośrodków naukowych i firm produkcyjnych w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki na bazie materiałów ankietowych dostarczonych przez przedstawicieli 67 zespołów badawczych doprowadził do wniosku, iż zapotrzebowanie krajowe na nowoczesne technologie foniczne uzasadnia potrzebę wystąpienia o krajowy program badawczy dotyczący fonicznych technologii i systemów pomiarowych w medycynie i innowacyjnej gospodarce.

Tab. 1 Proponowana dziedzina tematyki badawczej Zespołów Badawczych o przewidywanych zastosowaniach w gospodarce.

Przyrządy optoelektroniczne	Aparatura metrologiczna	Technologia	Czujniki
33 zespoły - (35 %)	31 zespołów - (33 %)	15 zespołów - (16 %)	13 zespołów - (14 %)
Przetworniki światłowodowe	Metrologiczne urządzenia światłowodowe	Technologia światłowodów specjalnych(PCF; szkła krzem., wieloskł., org.)	Czujniki światłowodowe (fotoniczne, polarymetryczne siatki Bragga, LPFG,)
Kompensatory dyspersji polaryzacyjnej	Światłowodowe systemy pomiarowo-kontrolne	Technologia ciekłych kryształów dla fotoniki	Czujniki podczerwieni
Przestrajalne ciekłokrystaliczne światłowody fotoniczne	Optoelektroniczne systemy diagnostyki procesów spalania	Materiały szkliste dla OE	Czujniki optoelektroniczne i akustooptyczne
Systemy detekcji podczerwieni	Metrologia włókien światłowodowych	Technologia Gan i SiC	Sejsmometry światłowodowe
Przestrajalne urządzenia fotoniki mikrofalowej	Wzorce laserowe	Elektronika molekularna: ciekłe kryształy, barwniki	2-stanowe czujniki światłowodowe i optoelektroniczne
Szybkie przełączniki ciekłokrystaliczne	Wielospektralna termografia podczerwieni	Technologia kryształów	Zintegrowane czujniki OF nowej generacji
Przełączniki całkowicie optyczne	Urządzenia do termowizji	Technologia DOE (kwarc, krzem, szkło)	Polowe czujniki optoelektroniczne
Organiczne ogniwa fotowoltaiczne	Urządzenia do diagnostyki oka		
Wibrometr laserowo - światłowodowy	Optoelektroniczne wzorce mikroprzepływów		
Specjalne diody laserowe	Metody pomiarowe mikrooptyki (MEMS, MOEMS)		
Holograficzne wyświetlacze przeziernie (HUD)	Magnetometria medyczna		
	Tomografia optyczna		
	Układy pomiarowe z optycznymi elementami dyfrakcyjnymi (DOE)		
	DOE do korekcji starczowzorczości		
	Kolorymetria światłowodowa i optoelektroniczna		

**Elementy i moduły optoelektroniczne do zastosowań w medycynie,
przemysle, ochronie środowiska i technice wojskowej (PBZ-MIN-
009/T11/2003)**

W latach 2004-2007 realizowany był w kraju Projekcie Badawczym Zamawianym PBZ-MIN-009/T11/2003 pt.: „*Elementy i moduły optoelektroniczne do zastosowań w medycynie, przemyśle, ochronie środowiska i technice wojskowej*” (koordynowany przez ITME, kierownik prof. Zdzisław Jankiewicz). Porównując ten Projekt z programami prowadzonymi w innych krajach i z zakresem, w jakim wchodzi optoelektronika do gospodarki światowej, zakres Projektu (biorąc także pod uwagę potencjał kraju) nie był nadmiernie rozbudowany; lecz raczej skromny. Opierając się na aktualnym stanie prac w głównych krajowych jednostkach naukowych zajmujących się optoelektroniką projekt dokonał wyboru najbardziej aktualnych i perspektywicznych kierunków. Obejmował on głównie tematykę dostatecznie zaawansowaną do przyszłych wdrożeń, możliwych do wytwarzania w naszych warunkach, a jednocześnie dostatecznie innowacyjną, zapewniającą (zdaniem jego autorów) wystarczającą efektywność produkcyjną.

Poniżej zestawiono wykaz zadań (wykonawcę i nazwisko kierownika), których realizację podjęto w ramach PBZ-MIN-009/T11/2003.

I. Moduły optoelektroniczne do zastosowań w interferometrii

1.1. Opracowanie i wykonanie połowych mikrointerferometrów pomiarowych przystosowanych do zasilania promieniowaniem ciągłym (cw) i impulsowym w zakresie podczerwieni ($1.06\mu\text{m}$) i widzialnym ($0.53\mu\text{m}$). CTT PW - prof. dr hab. inż. M. KUJAWIŃSKA

1.2. Opracowanie i wykonanie modułów jednoczęstotliwościowych mikrolaserów na osnowach domieszkowanych jonami neodymu (Nd^{3+}), ciągłego działania (cw) i impulsowych (Q-S) generujących na częstotliwości podstawowej i z konwersją na drugą harmoniczną dla mikrointerferometrów połowych. IOE WAT – dr inż. K. KOPCZYŃSKI

1.3. Opracowanie układu kontroli i aktywnej stabilizacji częstotliwości mikrolaserów jednoczęstotliwościowych ciała stałego. PWr. - prof. dr hab. inż. K. ABRAMSKI

1.4. Opracowanie i wykonanie nowej generacji modułów laserów gazowych o stabilizowanej częstotliwości do zastosowań w przemyśle. PWr. – dr inż. J. RZEPKA

II. Moduły laserowe do zastosowań w technice wojskowej, ochronie środowiska medycynie i przemyśle

2.1. Opracowanie i wykonanie modułów generujących promieniowanie o długości fali $1.5\mu\text{m}$ do nadajników dalmierzy „bezpiecznych dla wzroku”. IOE WAT dr.hab. inż. W. ŻENDZIAN

2.1.1. Opracowanie i wykonanie impulsowych mikrolaserów Er,Yb:YAG i Er,Yb:szkło pobudzanych diodami półprzewodnikowymi. Dr. inż. K. KOPCZYŃSKI

2.1.2. Opracowanie i wykonanie monoimpulsowego lasera Er,Yb:szkło pobudzanego lampą błyskową. Dr inż. R. OSTROWSKI

2.1.3. Opracowanie i wykonanie generatora OPO wzbudzanego promieniowaniem o długości fali $1,06\mu\text{m}$ z lasera pompowanego diodą półprzewodnikową. Dr. hab. inż.. W. ŻENDZIAN

2.2. Opracowanie i wykonanie modułu impulsowego lasera neodymowego z konwersją częstotliwości pompowanego diodami półprzewodnikowymi. IOE WAT – dr hab. inż. J.K. JABCZYŃSKI

2.3. Opracowanie i wykonanie modułu lasera włóknowego na zakres widzialny z konwersją wzbudzenia. CTT PW - prof. dr hab. inż. M. MALINOWSKI

2.4. Opracowanie i wykonanie modułu lasera Er:YAG generującego promieniowanie o długości fali 2.94 μm w nanosekundowym reżymie impulsowym. IOE WAT dr hab. inż. A. ZAJĄC

III. Czujniki światłowodowe do zastosowań w ochronie środowiska naturalnego, medycynie i przemyśle

3.1. Opracowanie i wykonanie modułów czujników światłowodowych do oceny istotnych parametrów wody pitnej i zanieczyszczeń atmosfery. CTT PW

3.1.1. Opracowanie i wykonanie modułu czujnika do pomiaru parametrów wody pitnej. Dr hab. inż. A. DYBKO

3.1.2. Opracowanie i wykonanie modułu czujnika do pomiaru zawartości aerozoli. prof. dr hab. inż. K. HOLEJKO

3.2. Opracowanie i wykonanie modułów czujników światłowodowych do pomiarów temperatury, ciśnienia hydrostatycznego, naprężeń statycznych i wibracji. CTT PW

3.2.1. Opracowanie i wykonanie modułów czujników do pomiaru temperatury, ciśnienia hydrostatycznego i naprężeń hydrostatycznych. prof. dr hab. inż. T. WOLIŃSKI

3.2.2. Opracowanie i wykonanie modułu czujnika do pomiaru wibracji. (dr hab. inż. J. KRUSZEWSKI); dr. inż. M. BORECKI

3.3. Opracowanie i wykonanie modułu kolorymetrycznego czujnika z siecią neuronową do rozpoznawania barw. CTT PW – dr. M. SIERAKOWSKI

IV. Półprzewodnikowe pompy laserowe

4.1. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie modułów laserów półprzewodnikowych cw i impulsowych o mocy średniej $P \geq 1$ W do pompowania laserów domieszkowanych neodymem. ITME – dr hab. inż. A. MALĄG

4.2. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie modułów laserów półprzewodnikowych cw i impulsowych o mocy średniej $P > 1$ W do pompowania laserów domieszkowanych erbem i iterbem. ITE - prof. dr hab. inż. M. BUGAJSKI

4.3. Optymalizacja konstrukcji laserów mocy przy wykorzystaniu metod teoretyczno-symulacyjnych. PŁ - prof. dr hab. inż. W. NAKWASKI

4.4. Badania mechanizmów odprowadzania ciepła ze struktur laserów półprzewodnikowych dużej mocy i opracowanie układów ich chłodzenia. ITME – (dr inż. A. KOZŁOWSKA);

inż. M. TEODORCZYK

V. Moduły detektorów promieniowania podczerwonego

5.1. Opracowanie i wykonanie nie chłodzonych i minimalnie chłodzonych detektorów średniej i dalekiej podczerwieni nowej generacji:

- Detektory do spektroskopii Fouriera zakresu 3-16 μm

- Detektory do szerokopasmowej (1 Gb/s) łączności optycznej w otwartej przestrzeni z użyciem laserów falowodowych CO₂ VIGO - prof. dr hab. inż. A. ROGALSKI

5.2. Opracowanie i wykonanie nie chłodzonych detektorów na zakres 1.5 – 2,1 μm . ITME – dr inż. J. ZYNEK

VI. Materiały aktywne i nieliniowe

6.1. Opracowanie technologii i wykonanie nowych materiałów aktywnych o lepiej dopasowanych do pompy diodowej parametrach. ITME - prof. dr hab. inż. T.

ŁUKASIEWICZ

6.2. Opracowanie i wykonanie modeli nieliniowych absorberów YAG:V³⁺ i YAP:Co³⁺ do pasywnej modulacji dobroci rezonatorów laserowych. ITME - prof. dr hab. inż. T.

ŁUKASIEWICZ

6.3. Opracowanie i wykonanie modeli nieliniowych absorberów półprzewodnikowych. ITE – prof. dr hab. inż. M. BUGAJSKI

VII. Elementy optyki światłowodowej

7.1. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie światłowodów kapilarnych, przełączników światłowodowych i światłowodowych siatek Bragga. CTT PW

7.1.1. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie światłowodów kapilarnych.

Dr hab. inż. R. ROMANIUK

7.1.2. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie przełączników mikromechanicznych. (dr hab. inż. J. KRUSZEWSKI); dr. inż. M. BORECKI

7.1.3. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie światłowodowych siatek Bragga. Dr hab. K. JĘDRZEJEWSKI

7.2. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie planarnych siatek dyfrakcyjnych do urządzeń spektroskopowych i laserów przestrajalnych. INOS - dr. M. DASZKIEWICZ

7.3. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie matryc mikrosoczewek. ITME - Dr inż. A. KOWALIK

VIII. Opracowanie układu do zdalnego wykrywania broni chemicznej i biologicznej

8.1. Opracowanie układu do zdalnego wykrywania broni chemicznej i biologicznej IOE WAT

—

dr hab. inż. Z. MIERCZYK

Poniżej przedstawione zostaną najważniejsze wyniki naukowe i praktyczne uzyskane w wybranych zadaniach Projektu z zachowaniem przyjętego podziału tematycznego.

Grupa 1. Moduły optoelektroniczne do zastosowań w interferometrii

Zadanie 1.1. Opracowanie i wykonanie połowych mikrointerferometrów pomiarowych przystosowanych do zasilania promieniowaniem ciągłym(cw) i impulsowym w zakresie podczerwieni (1,06 μ m) i widzialnym (0,53 μ m).

W ramach projektu opracowano i zbudowano zestaw modeli zautomatyzowanych interferometrów pomiarowych bazujących na najnowszych rozwiązaniach optoelektronicznych i fotonicznych, w tym wykorzystujących jako źródła promieniowania mikrolasery generujące promieniowanie o długości fali 1.06 μ m i 0.52 μ m opracowane w ramach niniejszego programu przez naukowców z Instytutu Optoelektroniki WAT.

Zbudowano dwie rodziny interferometrów:

- **siatkowe interferometry falowodowe** (ekstensometry laserowe) umożliwiające pomiary pól przemieszczeń w płaszczyźnie (z czułością nanometrową) oraz wyznaczanie pól odkształceń. Systemy pozwalają na ciągłe lub okresowe pomiary w i poza laboratorium (nieczułość na drgania) oraz bezpośrednio na strukturach inżynierskich.

Podstawowe parametry techniczne ekstensometrów to:

czułość bazowa: 417 nm/prążek; niepewność pomiaru przemieszczeń: +/-30 nm; pole pomiarowe: 2.2 mm \times 3.3 mm; wymiary: 50 mm \times 83 mm \times 110 mm; masa; 400 g; możliwość pomiarów zdalnych; automatyczna analiza wyników zgodnie z zadanym protokołem,

- **kamery holografii cyfrowej i cyfrowej interferometrii holograficznej** w dwóch konfiguracjach: do pomiarów kształtu i przemieszczeń z płaszczyzny (CIH532) oraz do pomiarów dowolnego wektora przemieszczeń obiektu inżynierskiego lub biologicznego (CIH1064). Cechą charakterystyczną tych interferometrów jest rozdzielenie układu pomiarowego od reszty systemu (źródła światła, układu rozdzielającego i modulującego wiązkę) poprzez zastosowanie światłowodowego toru wiązek przedmiotowych i odniesienia oraz w pełni zautomatyzowany pomiar i analiza wyników według zadanego protokołu pomiarowego. Obydwie kamery umożliwiają numeryczne lub optoelektroniczne trójwymiarowe odtworzenie intensywnościowego obrazu (wizualizację) badanego obiektu

Zadanie 1.2. Opracowanie i wykonanie modułów jednoczęstotliwościowych mikrolaserów na osnowach domieszkowanych jonami neodymu (Nd^{3+}), ciągłego działania (cw) i impulsowych (Q-S) generujących na częstotliwości podstawowej i z konwersją na drugą harmoniczną dla mikrointerferometrów polowych.

Wykonano następujące demonstratory mikrolaserów cw i impulsowych:

I. Mikrolaser Nd:YAG sprzężony ze światłowodem jednomodowym

- średnica rdzenia światłowodu 6 μm
- generacja cw
- moc na wyjściu ze światłowodu 10 mW
- generacja impulsowa z regulowaną repetycją do 1 kHz
- czas trwania impulsów regulowany do 1 ms
- długość fali generacji 1064 nm

I. Mikrolaser CW SHG Nd:YVO₄ sprzężony ze światłowodem jednomodowym

- średnica rdzenia światłowodu 3 μm
- generacja cw
- moc na wyjściu ze światłowodu 8 mW
- generacja impulsowa z regulowaną repetycją do 1 kHz
- czas trwania impulsów regulowany do 1 ms
- długość fali generacji 532 nm

II. Mikrolaser CW Nd:YAG (CW Nd:GGG)

- długość fali generacji 1064 nm
- moc wyjściowa generacji jednomodowej > 10 mW
- moc wyjściowa generacji wielomodowej > 50 mW

Opracowano i wykonano moduły mikrolaserów monoimpulsowych z pasywną modulacją dobroci rezonatora. Uzyskane parametry wyjściowe wykonanych demonstratorów przewyższają założone w początkowej fazie realizacji projektu. Wykonano następujące demonstratory mikrolaserów monoimpulsowych :

IV. Mikrolaser Nd:YAG (Nd:GGG) monoimpulsowy,

- długość fali generacji 1064 nm
- częstotliwość repetycji 5-15 kHz
- energie impulsów 1-2 μJ
- czas trwania impulsów 0.8 - 10 ns

V. Mikrolaser SHG Nd:YAG (SHG Nd:YVO₄) monoimpulsowy

- długość fali generacji 532 nm
- częstotliwość repetycji 2-10 kHz
- energie impulsów 0.7 μJ
- czas trwania impulsów 3.5 ns .

Uzyskane wyniki prezentowane były na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz w formie przygotowanych publikacji.

Zadanie 1.3. Opracowanie układu kontroli i aktywnej stabilizacji częstotliwości mikrolaserów jednoczęstotliwościowych ciała stałego.

Pomiary przeprowadzone w pierwszym etapie zlecenia wykazały, iż wcześniej zaobserwowane przez nas zjawisko generacji dwóch ortogonalnych modów w mikrolaserze cw Nd:YAG jest niepowtarzalne i trudno kontrolowane. W związku z powyższym w październiku 2005 zmieniono koncepcje budowy i sposobu stabilizacji jednoczęstotliwościowego lasera na ciele stałym. Zaproponowano nowy oryginalny sposób stabilizacji lasera. Przedstawione zmiany zostały wstępnie zaakceptowane przez zespół koordynacyjny kontrolujący postęp prac w programie. Uwzględniając powyższe wytyczne

zbudowano jednoczęstotliwościowy laser oraz opracowano układ stabilizacji z wykorzystaniem jako wzorca częstotliwości siatki Bragga na 1064nm.

Zadanie 1.4. Opracowanie i wykonanie nowej generacji modułów laserów gazowych o stabilizowanej częstotliwości do zastosowań w przemyśle

Celem prac w ramach zadania 1.4 było opracowanie zminiaturyzowanych modułów laserów gazowych o stabilizowanej częstotliwości o dokładności w warunkach przemysłowych na poziomie 10^{-8} i stabilności krótkookresowej rzędu 10^{-9} . Do realizacji wybrano układ z laserem He-Ne o mocy 1 mW. Jako metodę stabilizacji wybrano układ wykorzystujący pracę dwumodową lasera. Stabilizacja częstotliwości polegała na utrzymywaniu jednakowej mocy dwóch wzajemnie prostopadłych modów lasera.

Grupa 2. Moduły laserowe do zastosowań w technice wojskowej, ochronie środowiska medycynie i przemyśle

Zadanie 2.1. Opracowanie i wykonanie modułów generujących promieniowanie o długości fali 1.5µm do nadajników dalmierzy „bezpiecznych dla wzroku

Podzadanie 2.1.1. Opracowanie i wykonanie impulsowych mikrolaserów Er,Yb:YAG i Er,Yb:szkło pobudzanych diodami półprzewodnikowymi

W ramach realizacji zadania planowano było wykonanie dwóch demonstratorów: - mikrolasera cw 1.5 µm o mocy wyjściowej > 10 mW i monoimpulsowego mikrolasera 1.5 µm generującego impulsy o energiach > 1 µJ, czasie trwania <10 ns i repetycji > 5 kHz. Opracowano i wykonano dwa demonstratory:

Mikrolaser ciągłego działania generujący na długości fali 1.5 µm.

Moduł charakteryzuje się małymi wymiarami 40x70x50 mm określonymi głównie przez wielkość radiatora. Do pompowania mikrolasera zastosowano diodę laserową z wyjściem światłowodowym. W konstrukcji modułu wykorzystano złącze SMA, co umożliwia stosowanie różnych diod pompujących i łatwą ich wymianę. Uzyskano różniczkową sprawność generacji 24% , moce progowe pompy 70 mW. Moc wyjściowa mikrolasera przekracza 100 mW.

Monoimpulsowy mikrolaser 1.5 µm

Moduł charakteryzuje się małymi wymiarami. Do modulacji wykorzystano pasywny, nieliniowy absorber MALO:Co²⁺. Pompowanie odbywa się diodą laserową z wyjściem światłowodowym. Do połączeń wykorzystano złącze SMA. Możliwe jest stosowanie diod pompujących 975 nm i 940 nm (pompowanie długością fali 940 nm powoduje spadek efektywności). Uzyskano następujące parametry generacyjne demonstratora (dla pompy 975 nm) : sprawność różniczkowa 12 % , energia impulsu 5-7 µJ, czas trwania impulsu 6-10 ns, częstotliwość repetycji 1-14 kHz, moc szczytowa do 1 kW , próg generacji 118 mW.

Podzadanie 2.1.2. Opracowanie i wykonanie monoimpulsowego lasera Er,Yb:szkło pobudzanego lampą błyskową

W wyniku realizacji podzadania został zaprojektowany, zbudowany i przebadany moduł – demonstrator laserowy o roboczej nazwie GERD-06, stanowiący wynik końcowy pracy badawczej.

Moduł charakteryzuje się zwartą budową i niewielkimi gabarytami: długość 150 mm, szerokość 44 mm, wysokość 23 mm. W module wykorzystano głowicę laserową GERD-05 i zastosowano nowe lampy błyskowe, zakończone giętkimi izolowanymi przewodami. Pozwoliło to skrócić rezonator do długości 12.8 cm, który tworzą zwierciadło całkowicie odbijające o promieniu krzywizny 500 mm, oraz płaskie zwierciadło wyjściowe o współczynniku odbicia 80%.

Do modulacji dobroci rezonatora zastosowano modulatory $\text{Co}^{2+}:\text{MALO}$ o transmisji początkowej 80%. Generację osiągnięto przy energii pompy 22 J, niestety nastąpiło ich natychmiastowe uszkodzenie. Zmierzony przy pomocy pojedynczego zarejestrowanego oscylogramu czas trwania wynosił około 66 ns. Oszacowano, że energia uzyskiwanych w tych warunkach monoimpulsów znacznie przewyższała 50 mJ.

Stabilną generację monoimpulsową osiągnięto przy pomocy modulatora $\text{U}^{4+}:\text{CaF}_2$ o transmisji początkowej 87%. Przy energii pompy 13.3 J, średnia energia uzyskiwanych impulsów wynosi 3.4 mJ a ich czas trwania waha się w okolicach 110 ns. Pomiarzy stabilności generacji w długim czasie przy częstotliwości repetycji impulsów 1 Hz nie pokazały żadnych znaczących efektów termicznych, a rozrzut energii monoimpulsów mieścił się w typowym dla tego typu reżimu przedziale.

Zadanie 2.2. Opracowanie i wykonanie modułu impulsowego lasera neodymowego z konwersją częstotliwości pompowanego diodami półprzewodnikowymi

W ramach zadania opracowano i wytworzono dwa demonstratory głowic laserowych o przyjętych nazwach RK-600 i RV-300-400. Każdy z demonstratorów stanowi rodzaj zestawu laboratoryjnego („*laser kit*”) który można skonfigurować do generacji cw i impulsowej na podstawowej długości fali 1064 nm oraz generacji II harmonicznej na długości fali 532 nm. Opcje te realizowane są wewnątrz głowicy. Istnieje także możliwość generacji III i IV harmonicznej z zastosowaniem dodatkowych przetworników poza głowicami. Jako ośrodki czynne w obu głowicach zastosowano pręty YVO_4 o 0.2% domieszce neodymu. Przyjęto wymóg modułowości podzespołów opto - mechanicznych (układów wprowadzania wiązki pompującej, zwierciadeł, chłodnic, uchwytów kryształów nieliniowych itp.) w celu łatwej zmiany konfiguracji (np. wymiany ośrodka czynnego czy zwierciadeł). Do przełączania dobroci zastosowano modulatory akusto-optyczne pracujące na częstotliwości RF 40.67 MHz z częstotliwościami przełączania 10 – 100 kHz. Do chłodzenia ośrodków czynnych i przełączników dobroci zastosowano przepływowe chłodnice miedziane; diody laserowe chłodzono i stabilizowano z zastosowaniem chłodziarek termo-elektrycznych umieszczonych na chłodnicach przepływowych

Zadanie 2.3. Opracowanie i wykonanie modułu lasera włóknowego na zakres widzialny z konwersją wzbudzenia.

Celem prac zadania było opracowanie i wykonanie modułów światłowodowych laserów włóknowych, pracujących w zakresie widzialnym przy pobudzaniu podczerwonym promieniowaniem diod laserowych. Do realizacji zadań wybrano włókno czynne wykonane ze szkła fluorocyrykonowego typu ZBLAN aktywowane podwójnie jonami prazeodymu Pr^{3+} i iterbu Yb^{3+} . Jon Pr^{3+} posiada stany metatrwałe stwarzające możliwość generacji promieniowania na kilku długościach fal, 490, 520, 600 oraz 635 nm natomiast jon Yb^{3+} wykorzystywany jest jako sensybilizator w celu zwiększenia sprawności pobudzania optycznego w zakresie podczerwieni. Przyjęta koncepcja rozwiązania zadania obejmowała wykorzystanie pompowania płaszczowego światłowodu aktywnego wielomodowymi diodami laserowymi dużej mocy w układzie wykorzystującym standardowe, wielomodowe złącza światłowodowe SMA-905 z wbudowanymi zwierciadłami rezonatora w celu sprzężenia układu lasera włóknowego i pompy.

Zadanie 2.4. Opracowanie i wykonanie modułu lasera Er:YAG generującego promieniowanie o długości fali 2.94 μm w nanosekundowym reżymie impulsowym

W ramach realizowanego zadania dokonano analizy dotychczasowych rozwiązań konstrukcyjnych układów laserów Er:YAG generującego nanosekundowe impulsy w układzie

z modulacją dobroci rezonatora. Określono zasadnicze problemy niezbędne do wykonania modulatora dobroci:

1. Materiał na elektrooptyczny modulator dobroci – na etapie założeń konstrukcyjnych odstąpiono od realizacji powszechnie dotychczas stosowanego układu laserowego z wykorzystaniem wirującego zwierciadła.
2. Polaryzator – korzystne jest stosowanie ceramiki, lub cięcie pod kątem Brewstera elementów wchodzących w skład toru optycznego lasera.

Porównywalne wyniki uzyskano dla polaryzatorów w postaci płytki z ceramiki PLZT i płytki szafirowej. Wybrano rozwiązanie oparte na szafirze, ponieważ jest on znacznie łatwiej dostępny i w bardzo dobrej jakości. Ponadto, w odróżnieniu od PLZT, szafir jest przezroczysty w zakresie widzialnym, co znacznie ułatwia zastosowanie go w scalonej konstrukcji, gdzie okienka spełniają podwójną rolę – polaryzatora i elementu hermetyzującego.

Grupa 3. Czujniki światłowodowe do zastosowań w ochronie środowiska naturalnego, medycynie i przemyśle

Zadanie 3.1. Opracowanie i wykonanie modułów czujników światłowodowych do oceny istotnych parametrów wody pitnej i zanieczyszczeń atmosfery.

Podzadanie 3.1.1. Opracowanie i wykonanie modułu czujnika do pomiaru parametrów wody pitnej

Opracowano i wykonano moduł do pomiaru parametrów wody pitnej zawierający trzy czujniki światłowodowe do pomiaru: pH, stężenie jonów wapnia oraz stężenia jonów metali ciężkich.

Każdy z czujników wykonany jest w wersji przepływowej umożliwiającej pomiary stężenia badanej próbki on-line. Wyznaczono parametry metrologiczne skonstruowanych czujników oraz jego działanie przetestowano na próbkach rzeczywistych.

Efektom realizacji zadania jest całkowicie automatyczny system do monitorowania trzech wybranych parametrów wody. Dzięki modułowej konstrukcji oraz elementom i podzespołom użytym do jego budowy możliwa jest jego łatwa modyfikacja i rozbudowa o dalsze moduły czujnikowe.

Cały system pomiarowy umieszczony jest w obudowie (standard 19” typu rack) i jego wersja ostateczna może zawierać komputer przemysłowy z ekranem dotykowym wykonanym w tym samym standardzie. Podłączenie systemu do sieci internetowej umożliwia zdalny dostęp do otrzymywanych danych pomiarowych oraz możliwa jest zdalne nadzorowanie jego pracy. W wyniku realizacji zadania osiągnięto parametry czujnika zgodne z ofertą.

Podzadanie 3.1.2. Opracowanie i wykonanie modułu czujnika do pomiaru zawartości aerozoli

W ramach wykonanego zadania opracowany i wykonany został czujnik- przyrząd pomiarowy pozwalający na pomiar zakresu widzialności wzrokowej, który ograniczany jest przez cząstki i aerozole zawarte w atmosferze. Ponadto przyrząd umożliwia estymację gęstości opadów atmosferycznych. Przyrząd określony nazwą AUROMETR MR3 opiera się na pomiarze mocy rozpraszanej w przód od cząstek i aerozoli zawartych w atmosferze przez oświetlenie niewielkiego obszaru przestrzeni stabilizowaną falą wzorcową w zakresie 880 nm. Fala wzorcowa wytwarzana jest w głowicy nadawczej przyrządu, zaś fala rozproszona odbierana jest przez wysokoczułą głowicę odbiorczą. Na podstawie pomierzonego poziomu mocy rozproszonej oraz ewentualnych impulsowych skoków mocy spowodowanych kroplami opadu przelatującymi przez obszar pomiarowy wyliczane są w komputerze zakres widzialności i natężenie opadu. Do skalowania wskazań miernika w przypadku występowania

opadów wykonano dodatkowo wahadełkowy miernik gęstości opadu wytwarzający sygnał elektryczny po każdorazowym zebraniu 2 ml deszczu ze standardowej powierzchni 236 cm².

Wielosezonowe pomiary działania miernika prowadzone w sposób ciągły zarówno w zimie jak i w lecie wykazały, że pozwala on na zakładany w projekcie wstępnym pomiar zakresu widzialności od 100 do 2000m i pomiary chwilowej gęstości opadów z dokładnością $\pm 3\%$. W tej sytuacji opracowano ulotki reklamowe i podjęto próbę zainteresowania potencjalnych użytkowników takich jak między innymi Urząd Morski, Instytut Dróg i Mostów, Zarządy Portów, Aerokluby możliwością zainstalowania opracowanego miernika na okres eksploatacji próbnej.

Zadanie 3.2. Opracowanie i wykonanie modułów czujników światłowodowych do pomiarów temperatury, ciśnienia hydrostatycznego, naprężeń statycznych i wibracji.

Podzadanie 3.2.1. Opracowanie i wykonanie modułów czujników do pomiaru temperatury, ciśnienia hydrostatycznego i naprężeń hydrostatycznych

Na potrzeby projektu przeprowadzono badanie właściwości transmisyjnych, polaryzacyjnych i spektralnych nowych typów anizotropowych mikrostruktur światłowodowych oraz światłowodów i struktur ciekłokrystalicznym w obecności naprężeń hydrostatycznych i temperatury. Określono wpływ temperatury, skręcenia oraz długości fali w wybranym zakresie spektralnym (1500 nm - 1640 nm) na czułość naprężeniową światłowodu dwójłomnego HB 1500. Na bazie światłowodu fonicznego (UMCS) opracowano ciekłokrystaliczny światłowód foniczny o interesujących właściwościach spektralnych, termicznych i propagacyjnych

Opracowano - pod kątem wymagań PKN ORLEN - moduł czujnika światłowodowego do pomiarów dynamicznych naprężeń mechanicznych. Po serii wstępnych testów laboratoryjnych otrzymano jakościową zgodność pomiędzy odczytami z tradycyjnego (komercyjnego) czujnika drgań oraz zbudowanego światłowodowego czujnika naprężeń.

Opracowano moduły czujników światłowodowych do pomiaru temperatury i ciśnienia. Pomiar temperatury dla zakresu 0-150°C polega na pomiarze przesunięcia krawędzi absorpcji GaAs w funkcji temperatury. Idea pomiaru ciśnienia do 300 MPa wykorzystuje zjawiska elastooptyczne w światłowodach dwójłomnych oraz opatentowany przez kierownika projektu pomysł budowy tensometrycznego przetwornika ciśnienia (W. J. Bock, T. R. Woliński, R. Wiśniewski, "Fiber-Optic Strain Gauge Manometer", *US Patent, No. 5 187 983*, February 23, 1993).

Wykonano serię badań eksperymentalnych i na ich podstawie dokonano optymalizacji wszystkich zbudowanych modułów światłowodowych głowic czujnikowych w szczególności biorąc pod uwagę wymagania otrzymanymi z PKN ORLEN. Dla realizacji powyższego celu w ramach wykonania zadania, uruchomiono w firmie PKN ORLEN pierwszą instalację modułu światłowodowego czujnika obrotu (fazy), który z powodzeniem przeszedł wstępny cykl badań w warunkach przemysłowych.

Podzadanie 3.2.2. Opracowanie i wykonanie modułu czujnika do pomiaru wibracji

Zgodnie z ofertą, celem realizacji podzadania, jest opracowanie i wykonanie dwu modułów czujników do:

- do detekcji drgań o częstotliwości 5kHz i amplitudzie większej niż 5 μ m,
- do pomiaru częstotliwości drgań w zakresie od 1 do 15kHz o amplitudzie większej od 25 μ m.

Dokładność detekcji i pomiaru częstotliwości powinna być nie mniejsza niż 2%.

Wykonano dwa moduły czujników składające się z zintegrowanych układów optoelektronicznych i komunikacyjnych oraz dołączanych głowic światłowodowych, spełniające wskazane wyżej warunki. Moduły czujników poddano wstępnym testom u

potencjalnego odbiorcy i uzyskano potwierdzenie zgodności parametrów. Badania niezawodności wskazały, że głowica czujnika spełnia wymagania dotyczące dokładności monitorowanej częstotliwości i przekroczenia amplitudy drgań równe 2% w zakresie temperatur 10-50°C. Testowany moduł czujnika wykazał się niezawodną pracą w czasie 8 miesięcy. Zadania wynikające z harmonogramu i ustaleń na odbiorach zostały wykonane.

Zadanie 3.3. Opracowanie i wykonanie modułu kolorymetrycznego czujnika z siecią neuronową do rozpoznawania barw.

Istota działania opracowanego modułu kolorymetrycznego polega na porównaniu natężeń trzech wybranych barw bazowych (RGB) w stosunku do światła wiązki referencyjnej (940 nm) słabo zależnej od barwy badanej powierzchni, ale zmieniającej się z jej odległością od czoła sensora, podobnie jak sygnały pomiarowe pozostałych kanałów.

Zgodnie z ofertą projektu moduł czujnika wyposażony został w segment interpretacji danych obejmujący:

standardowo - wyświetlacz poziomu komponentów RGB + wyjścia napięciowe do zastosowań w automatyce,

opcjonalnie – w elektroniczną sieć neuronową w zastosowaniach do analizy barwy

- filtru szumów
- klasyfikacji obiektów

Ostatecznie, wykorzystując opracowany wcześniej model laboratoryjny kolorymetru do porównawczego rozpoznawania barw obiektów i wyniki badań, zaprojektowano i zbudowano model użytkowy modułu kolorymetrycznego **do kontroli zanieczyszczenia oleju napędowego** olejem opałowym i innymi nierozpuszczalnymi substancjami. Kolorymetr pracuje w oparciu o porównawczy pomiar stosunkowy pochłaniania światła w badanym ośrodku w 2 kanałach chromatycznych i jednym achromatycznym. Wykonane urządzenie umożliwia odczyt stężenia zanieczyszczenia olejem opałowym w 2 podzakresach pomiarowych z dokładnością ok. 1% oraz odczyt przezroczystości

Grupa 5 Moduły detektorów promieniowania podczerwonego

Zadanie 5.1. Opracowanie i wykonanie nie chłodzonych i minimalnie chłodzonych detektorów średniej i dalekiej podczerwieni nowej generacji:

- Detektory do spektroskopii Fouriera zakresu 3-16 μm
- Detektory do szerokopasmowej (1 Gb/s) łączności optycznej w otwartej przestrzeni z użyciem laserów falowodowych CO₂

Przedmiotem projektu były zagadnienia związane z technologią wzrostu złożonych heterostruktur HgCdTe metodą MOCVD dla niechłodzonych detektorów średniej i dalekiej podczerwieni, oraz z technologią tych detektorów. Projekt stanowi kontynuację polskich tradycji badań w dziedzinie półprzewodników o małej szerokości przerwy zabronionej i ich zastosowań w optoelektronice.

Podstawowym celem projektu było opracowanie technologii detektorów;

- do spektroskopii Fouriera zakresu 3–16 μm ,
- do szerokopasmowej (1Gb/s) łączności optycznej w otwartej przestrzeni z użyciem laserów falowodowych CO₂.

W ramach zadania zostało wykonane po 10 sztuk detektorów szerokopasmowych, oraz detektorów fourierowskich.

Do najważniejszych wyników osiągniętych w trakcie realizacji zadania należy zaliczyć:

- Opracowanie metod formowania warstw buforowych CdTe o orientacji (111) i (100) na podłożu GaAs o orientacji (100), oraz warstwy buforowej CdTe o orientacji (211) na GaAs o orientacji (211) w technologii MOCVD.

- Określenie zależności właściwości warstw HgCdTe od orientacji podłoża, temperatury wzrostu, ciśnienia par rtęci, rodzaju i stężeń prekursorów, ciśnienia i szybkości przepływu nośnika, parametrów charakteryzujących poszczególne fazy IMP (Interdiffused Multilayer Process), warunków końcowej obróbki termicznej.
- Opracowanie metody zapobiegającej degradacji przypowierzchniowego obszaru heterostruktury w czasie chłodzenia powzrostowego.
- Zaproponowanie i realizację koncepcji zaleczania luk w podsieci metalu poprzez okresową obróbkę powierzchni rosnącej warstwy w atmosferze bogatej w kadm. Warstwy otrzymywane w ten sposób charakteryzują się koncentracją luk daleko niższą od równowagowej koncentracji w warunkach wzrostu. Pozwala to na rezygnację z kłopotliwej powzrostowej obróbki końcowej warstw w parach rtęci. Metoda ta została zastosowana w produkcji umożliwiając dwukrotne skrócenie czasu i znaczne zmniejszenie kosztu wytwarzania bazowych materiałów do produkcji detektorów.
- Opracowanie metod domieszkowania *in-situ* warstw HgCdTe o orientacji (111) i (211) odpowiednio arsenem na typ p, oraz jodem na typ n w technologii MOCVD.
- Wykonanie pomiarów rzeczywistych przebiegów stężeń metaloorganik w obszarze podłoża, na którym rośnie warstwa HgCdTe, z wykorzystaniem opracowanego we własnym zakresie układu pomiarowego.
- Opracowanie technologii (receptur wytwarzania) heterostruktur o złożonym profilu składu i domieszkowania dla różnych fotodiod, a w szczególności wprowadzenie warstw ułatwiających otrzymanie niskooporowych kontaktów.
- Opracowanie technologii pasywowanej immersyjnej fotodiody z kontaktami krawędziowymi.
- Adaptacja i udoskonalenie monolitycznej mikrooptyki immersyjnej detektora wykonanej z podłoża GaAs.

Uzyskane rezultaty były na bieżąco wdrażane do produkcji w VIGO System S.A. Najważniejsze z nich to:

- Wdrożenie do praktyki produkcyjnej technologii MOCVD, w wyniku czego w 2006 roku całkowicie zrezygnowano z technologii ISOVPE.
- Wdrożenie do produkcji technologii fotodiod chłodzonych termoelektrycznie optymalizowanych na 10,6 μm .

Zadanie 5.2. Opracowanie i wykonanie nie chłodzonych detektorów na zakres 1,5 – 2,1 μm .

W zadaniu nr 5.2 Projektu Zamawianego opracowano pierwsze fotodiody o konstrukcji pla-narnej wykonane na bazie InGaAs/InP, pierwsze fotodiody z naprężonymi studniami z $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0,73 \leq x \leq 0,83$) i pierwsze fotodiody wykorzystujące wnękę rezonansową do zwiększenia czułości fotoelektrycznej. Wytworzenie takich przyrządów wymagało opracowania szeregu procesów technologicznych i sprawdzenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Opracowano technologię wytwarzania planarnej diody z InP, co wiązało się przede wszystkim z opracowaniem procesów dyfuzji cynku do InP i procesów wytwarzania na powierzchni InP warstw azotku krzemu, które mogłyby spełniać rolę maski w procesach selektywnej dyfuzji cynku i jednocześnie warstwy pasywującej złącze p-n. Zadanie zostało wykonane bardzo dobrze. W sposób powtarzalny możliwe jest wykonywanie planarnych diod z InP o prądzie wstecznym wynoszącym 10 pA przy napięciu -5 V i 300 pA przy napięciu -50 V i o napięciu przebicia większym od 50 V. Są to parametry znacznie lepsze od założonych. Charakterystyki diod są stabilne. Technologia planarnej diody z InP została

następnie wykorzystana przy wytwarzaniu wszystkich fotodiod opracowywanych w niniejszym projekcie.

Opracowano technologię osadzania metodą MOCVD na podłożu z fosorku indu pseudomorficznym, silnie naprężonym studni kwantowych z $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ o zawartości indu dochodzącej do $x = 0,83$ i grubości bliskiej grubości krytycznej, otoczonych barierami z $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$. W wykonanych heterostrukturach warstwy $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0,73 \leq x \leq 0,83$), zarówno w pojedynczej jak i w podwójnej studni kwantowej, charakteryzują się dobrą strukturą krystaliczną i silnym sygnałem fotoluminescencji (PL) w temperaturze pokojowej. Maksimum PL dla studni kwantowych z $\text{In}_{0,83}\text{Ga}_{0,18}\text{As}$ dochodzi aż do $\lambda = 2,09 \mu\text{m}$. Opracowane studnie kwantowe mogą być zastosowane jako warstwy absorpcyjne w fotodiodach RCE wykrywających promieniowanie z zakresu $1,8 \div 2,06 \mu\text{m}$.

Opracowano pełny cykl procesów technologicznych, wzajemnie do siebie pasujących i umożliwiających wykonanie planarnych fotodiod p-i-n z InGaAs/InP . Wykonano planarne fotodiody p-i-n na pasmo $1,5 \mu\text{m}$ z grubą warstwą absorpcyjną z $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$. Fotodiody charakteryzują się czułością fotoelektryczną przekraczającą $0,8 \text{ A/W}$ dla $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$, prądem ciemnym około 1 nA przy napięciu -5 V i wykrywalnością $D^* = 1,4 \cdot 10^{12} \text{ cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}/\text{W}$. Są to parametry lepsze od założonych.

Zaprojektowano i wykonano heterostruktury fotodiod RCE (*Resonant Cavity Enhanced photodiode*) na pasmo $1,8 \mu\text{m}$, $1,9 \mu\text{m}$ i $1,94 \mu\text{m}$, w których zastosowano naprężone studnie kwantowe z $\text{In}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{As}$ jako warstwy absorpcyjne.

Zaprojektowano i wykonano heterostruktury fotodiod RCE na pasmo $2,06 \mu\text{m}$, w których zastosowano naprężone studnie kwantowe z $\text{In}_{0,83}\text{Ga}_{0,17}\text{As}$ jako warstwy absorpcyjne.

Grupa 7 Elementy optyki światłowodowej

Zadanie 7.1. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie światłowodów kapilarnych, przełączników światłowodowych i światłowodowych siatek Bragga

Podzadanie 7.1.1. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie światłowodów kapilarnych

Opracowano technologię i konstrukcję światłowodów kapilarnych ze szkielek miękkich korzystając z modyfikacji istniejącego ciągu technologicznego przeznaczonego do wytwarzania światłowodów do celów instrumentalnych. Opanowano powtarzalną metodę laboratoryjnego uzyskiwania światłowodów kapilarnych o zmiennych parametrach geometrycznych.

Podsumowanie głównych parametrów wytwarzanych światłowodów kapilarnych

Parametr	Rodzaj, wielkość
Rodzaje szkielek	wieloskładnikowe sodowo-wapniowe, barowo-sodowe, ołowiowo-sodowe, borokrzemionkowe,
Refrakcja	typowo $1,55 - 1,75$, specjalne poza tym zakresem
Technologia	tygłowa, preformowa, hybrydowa
Wymiary geometryczne	typoszereg wymiarowy lub na specjalne zamówienie (znacznie większe koszty) próbki dostępne poza typoszeregiem; w szczególności o mniejszych średnicach;
Średnica zewnętrzna [μm]	Standardowo $30 - 350$, specjalne poza tym zakresem
Średnica wewnętrzna [μm]	Standardowo $2 - 200$, specjalne poza tym zakresem
Stabilność wymiarów poprzecznych [%]	mniejsza niż 3
Średni stopień eliptyczności [%]	mniejsza niż 1
Pokrycie zewnętrzne	Standardowo poliamidowe, twarde,
Pokrycie wewnętrzne	Brak, lub tzw. kondycjonowanie wnętrza kapilary

Zakres przezroczystości [nm]	400 – 2000 , zależnie od materiału włókna,
Średni poziom przezroczystości	80%/5m w zakresie widzialnym
Profil refrakcyjny	Skokowy, wieloskokowy,
Apertura wewnętrzna numeryczna	Typowo 1 lub 0,2-0,4
Apertura zewnętrzna numeryczna	0,15-0,4
Wytrzymałość mechaniczna [GPa]	ok. 0,3-1,5
Parametr Weibulla	ok. 3 – 7
Średni łamiący promień zgięcia	ok. 5mm dla 50 μm do 30 mm dla 200 μm
Długość dostarczanych próbek	typowo 20-40cm, 1 m, (specjalne do 5 m)
Typowe koszty próbek typoszeregu	Zamówienie indywidualne (najmniej korzystne cenowo, związane z jednokrotnym uruchomieniem procesu technologicznego): materiały – ok. 1000zł, technologia ok. 1000zł, pomiary i charakteryzacja podstawowych parametrów ok. 1000zł;
Inne kształtowane światłowody	Pierścieniowe, eliptyczne, o złożonej refrakcji, o złożonym kształcie rdzenia, ze specjalnych materiałów,

Podzadanie 7.1.2. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie przełączników mikromechanicznych

W realizacji podzadania dla celów projektowych opracowano modele głowic przełącznika, które zaimplementowano jako skrypty programu MathCad. W efekcie końcowym wykonano dwa moduły mikro-mechanicznych przełączników światłowodowych o następujących parametrach:

- straty wtrącenia <2dB,
- przesłuch <-70dB (nie mierzalny posiadaną aparaturą -70dB),
- odbicie wsteczne <-60dB,
- czas przełączenia < 10ms, zalecany przy długoterminowej pracy niezbędny czas do ponownego przełączenia 10ms,
- typ światłowódów: BFH 37-400, (możliwość instalacji w głowicy światłowódów o średnicy pokrycia mniejszej od 1mm, i średnicy rdzenia większej od 250μm),
- złącza optyczne SMA,
- sterowanie modułu bezpośrednio elektryczne lub przez interfejs RS232 poprzez załączone oprogramowanie.

Podzadanie 7.1.3. Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie światłowodowych siatek Bragga

Opracowano technologię wytwarzania siatek Bragga w sposób kontrolowany, o określonej szerokości pasma i współczynnika tłumienia umożliwia otrzymanie filtrów optycznych w postaci siatek Bragga na rdzeniu światłowodu i otwiera możliwości ich zastosowania w wielu dziedzinach techniki: telekomunikacji światłowodowej (filtry, multipleksery, kompensatory dyspersji, elementy EDFA), technice laserowej (zwierciadła i filtry), pomiarach wielkości nieelektrycznych (naprężenia i temperatura) i budowie skomplikowanych, niskostratnych podzespołów światłowodowych.

Została stworzona baza technologiczna do realizacji siatek Bragga o parametrach zgodnych z życzeniem użytkownika, powstała unikalna aparatura umożliwiająca wykonywanie i pomiar

parametrów spektralnych siatek na rdzeniu światłowodu (oraz innych podzespołów włóknowych) z rozdzielczością 10pm.

Opracowano technologie umożliwiające projektowanie i realizację siatek Bragga o parametrach zgodnych z ofertą i założeniami pracy:

- szerokości spektralnej 0,15-3nm – granica dolna została w praktyce znacznie rozszerzona, siatki o szerokości spektralnej 1,5nm są względnie proste do wykonania, realizacja siatek o większej szerokości spektralnej wymaga znacznie bardziej skomplikowanych procedur, ale jest w pełni możliwa, jak pokazano na przykładach,
- współczynnika tłumienia do 30dB, osiągnąć można wyższe współczynniki tłumienia, powyżej 40dB, wpływ zastosowanego włókna jest tu istotny,
- zakresie spektralnym 1000 – 1600nm.

Kierunki rozwoju: Fotoniczne technologie i systemy pomiarowe w medycynie i innowacyjnej gospodarce.

Ideą przewodnią w/w proponowanego programu badań strategicznych jest wykorzystanie unikalnego potencjału naukowego polskich jednostek badawczych w dziedzinie nowoczesnych technologii fotonicznych jak również ograniczenie się do niszowej tematyki fotonicznych czujników, urządzeń i systemów pomiarowych dla medycyny i innowacyjnej gospodarki, które zawierają duży ładunek wiedzy i stanowią dobrą propozycję do wytwarzania w małych i średnich przedsiębiorstwach. Dotychczasowe doświadczenia w wytwarzaniu takich produktów świadczą o możliwości szybkiego osiągnięcia znacznych efektów ekonomicznych.

Zgodnie ze specjalnością krajowych ośrodków badawczych i produkcyjnych w programie tym można wyodrębnić następujące trzy grupy tematyczne:

- **Wybrane technologie fotoniczne**
- **Fotoniczna diagnostyka medyczna**
- **Fotoniczne systemy pomiarowe w innowacyjnej gospodarce**

Ambicją byłoby osiągnięcie wyników w postaci sprawdzonych technologii opracowanych elementów i podzespołów oraz użytkowych modeli czujników, przyrządów i fotonicznych systemów pomiarowych z zapewnieniem możliwości ich powielania.

Przyjęcie powyższych założeń w doborze tematyki krajowego programu badawczego wyznacza narodowa strategię rozwoju fotoniki; jednocześnie stworzyłoby szansę osiągnięcia efektu ekonomicznego w krótkim okresie czasu z korzyścią dla rozwoju gospodarki krajowej i społeczeństwa wpisując się jednocześnie w europejskie programy strategiczne rozwoju fotoniki.

Wybrane technologie fotoniczne

Postęp w każdej dziedzinie nauki i techniki związany jest nierozdzielnie z rozwojem technologii materiałów i podzespołów o nowych i lepszych właściwościach technicznych. Pozwala to w konsekwencji na budowę nowoczesnych, unikalnych urządzeń oraz systemów o dużych potencjalnych możliwościach uzyskania efektów ekonomicznych. Dotyczy to także **dziedziny optoelektroniki/fotoniki, a szczególnie obszaru fotonicznych urządzeń i systemów pomiarowych.**

W ramach technologii fotonicznych istnieje możliwość realizacji w kraju trzech grupy tematycznych dotyczące technologii światłowodów, ciekłych kryształów i układów optycznych. Są to technologie o decydującym znaczeniu dla dalszego rozwoju technik fotonicznych w kraju i odpowiadające najwyższym standardom europejskim pod względem merytorycznym.

Światłowody

Technika światłowodowa jest ważną dziedziną nauki oraz gospodarki. Razem z pokrewnymi obszarami techniki współ-tworzy takie dyscypliny jak optoelektronika i fotonika. W połączeniu z techniką laserową, elektroniką i mechatroniką, dziedziny te stanowią fundament wielu obszarów gospodarczych współczesnego społeczeństwa opartego na wiedzy, między innymi takich jak: automatyka przemysłowa, robotyka, inżynieria biomedyczna, monitoring i ochrona środowiska naturalnego, rozległe sieci telemetryczne,

telekomunikacja, teleinformatyka, globalna sieć Internet, hurtownie danych, bezpieczeństwo narodowe. Dopiero uzupełniające się, i jak się okazało silnie synergiczne, połączenie telekomunikacji światłowodowej, optoelektroniki półprzewodnikowej, techniki komputerowej oraz łączności bezprzewodowej jest powodem prawdziwej rewolucji telekomunikacyjnej (i ogólnej informacyjnej), której każdy z nas jest aktywnym uczestnikiem.

Nagroda Nobla z dziedziny fizyki za rok 2009 została przyznana twórcy techniki światłowodowej Charlesowi K. Kao (wspólnie z twórcami matryc CCD), który w 1966 roku pierwszy przewidział możliwość niskostratnej transmisji światłowodowej. Podana została wówczas przez C.K.Kao wartość 20dB/km jako możliwa do otrzymania w szklanych światłowodach i jako progowa dla potencjalnego rozwoju telekomunikacji światłowodowej. Po raz pierwszy dokładniej zlokalizowano źródło strat, jako zanieczyszczenie szkła SiO₂ a nie rozpraszanie i problemy technologiczne, jak sądzono wcześniej. Od tego momentu rozpoczął się intensywny światowy wyścig o obniżenie strat włókien optycznych. Już w roku 1970, kosztem znacznych inwestycji w badania materiałowe i technologiczne w dziesiątkach laboratoriów na świecie, pokonano barierę 1dB/km a w 1976 - 0,2 dB/km.

Technika światłowodowa w kraju rozpoczęła się w 1976 roku od podsumowania pierwszych własnych prac badawczych w tym zakresie, które dokonano w czasie pierwszego krajowego sympozjum Światłowody i ich Zastosowania w Jabłonnej pod Warszawą. Pierwszą Europejską konferencję Telekomunikacji Światłowodowej (ECOC) zorganizowano zaledwie rok wcześniej w Londynie. W 2009 roku odbyła się w kraju już XII konferencja „Światłowody i ich Zastosowania”

Światłowody foniczne z domieszkowanego szkła kwarcowego.

Celem jest opracowanie włókien, których cechy obejmować będą korzystne właściwości światłowodów wykonanych ze szkła kwarcowego oraz z innych szkieł - światłowody o małej tłumienności, dużej wytrzymałości mechanicznej i odporności na czynniki środowiskowe oraz posiadające aktywne rdzenie o dużych średnicach – parametry szczególnie istotne dla techniki czujnikowej. Zostaną opracowane technologie syntezy szkieł *high silica* typu MCVD i OVD umożliwiające wprowadzanie nowych pierwiastków. Przewiduje się wprowadzanie pierwiastków z grupy Ge, P, F, B, Al, pierwiastków ciężkich, oraz pierwiastków ziem rzadkich.

W wyniku realizacji zadania powstaną modele fonicznych światłowodów nieliniowych typu *index-guided* oraz światłowodów z foniczną przerwą wzbronioną o niskiej i wysokiej dwójłomności.

Dwójłomne i nieliniowe włókna foniczne ze szkieł wieloskładnikowych.

Proponowane są nowe typy światłowodów fonicznych (dwójłomne i nieliniowe) zawierające w rdzeniu elementy nanostrukturalne a także anizotropową strukturę płaszcza fonicznego. Wytworzenie włókien z jednowymiarowym stukturyzowanym rdzeniem pozwoli na wytworzenie anizotropii w rdzeniu, a wprowadzenie eliptycznych otworów w płaszczu fonicznym pozwoli na uzyskanie silnej dwójłomności w płaszczu. Połączenie obu efektów umożliwi wytworzenie nowego typu silnie dwójłomnego włókna do zastosowań czujnikowych.

W wyniku badań powstaną modele włókien oraz demonstratory w postaci czujnika światłowodowego o obniżonej czułości temperaturowej, służącego do pomiaru naprężeń oraz źródła supercontinuum o płaskiej charakterystyce widmowej w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni,

Ciekłokrystaliczne światłowody fotoniczne.

Tego typu światłowody łączą w sobie zalety światłowodów mikrostrukturalnych oraz zalety ciekłych kryształów, których właściwości optyczne można stosunkowo łatwo modyfikować przy pomocy zewnętrznych pól fizycznych. Powstaje w ten sposób światłowód o dynamicznie przestrajalnych parametrach. W ramach badań powstaną specjalne struktury światłowodów mikrostrukturalnych, zostanie opracowana technologia połączeń ze światłowodami jednomodowymi i technologia napełniania mikrootworów ciekłym kryształem.

W wyniku pracy powstaną modele ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych o przestrajalnej dwójłomności, tłumienności i przestrajalnych stratach polaryzacyjnych. Światłowody te powinny się charakteryzować powtarzalnymi parametrami propagacyjnymi.

Technologia plastikowych światłowodów mikrostrukturalnych i jednomodowych dwójłomnych

Celem jest opracowanie technologii wytwarzania plastikowych światłowodów mikrostrukturalnych. Realizacja tego celu wymaga opracowania technologii syntezy szkieł organicznych z polimetakrylanu metylu (PMMA) i z polistyrenu (PS) oraz technologii domieszkowania światłowodów fotouczulaczami i substancjami aktywnymi dla zapisów siatek Bragga i wzmacniania światła.

W wyniku badań powstanie szereg światłowodów mikrostrukturalnych o różnej geometrii, wykonanych z różnych materiałów i demonstratory jednomodowe o wysokiej dwójłomności z możliwością wykonania włókien aktywnych lub fotoczułych.

Ciekle kryształy

Materiały ciekłokrystaliczne do sterowania i korekcji parametrów wiązki światła

Celem jest opracowanie nowych materiałów ciekłokrystalicznych umożliwiających efektywne sterowanie i korygowanie parametrów wiązki światła a zwłaszcza wiązki światła prowadzonej w światłowodzie fotonicznym.

W wyniku badań powstaną media nematyczne ciekłokrystaliczne wykazujące zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia w światłowodach kwarcowych i w światłowodach ze szkła o dużych wartościach współczynników załamania, media o dużej lub bardzo dużej anizotropii optycznej dla światła propagującego się według mechanizmu przerwy wzbronionej oraz media o zwiększonej transmisji promieniowania w wybranych obszarach z zakresu 800 – 3000 nm.

Układy optyczne

Technologia wytwarzania zintegrowanych dyfrakcyjnych systemów optycznych

Celem jest opracowanie technologii wytwarzania zintegrowanych dyfrakcyjnych systemów optycznych, to jest układów obejmujących współdziałające elementy dyfrakcyjne, wykonane w obrębie jednego podłoża, umożliwiające wytworzenie funkcji fazowej realizującej pożądane przekształcenie frontu falowego.

W wyniku badań powstaną struktury dyfrakcyjne umieszczone na obu powierzchniach płasko-równoległych przezroczystych podłoży o dokładności integracji ± 1 μm , elementy o 2, 4 lub 8 poziomach fazowych i dowolnej geometrii stref, minimalnej szerokości stopni fazowych 0,5 μm , wysokości 0,02 μm i dokładności profilu fazowego poniżej 10 %.

Technologia osiowo asymetrycznych elementów optycznych i ich wykonanie z przeznaczeniem do obrazowania z powiększoną głębią ostrości i do formowania wiązek emitowanych przez niepunktowe źródła światła.

Celem jest opracowanie technologii wytwarzania osiowo asymetrycznych elementów optycznych w wersji dyfrakcyjnej, refrakcyjnej i hybrydowej. Opanowanie tej technologii pozwoli na wytworzenie nowego rodzaju elementów optycznych: do obrazowania z powiększoną głębią ostrości oraz elementów pozwalających na formowanie wiązek światła o zadanej geometrii w szczególności wiązek wytwarzanych przez niepunktowe źródła takie jak lasery krawędziowe, diody elektroluminescencyjne lub modulatory akustooptyczne.

Wyniki realizacji tematu zostaną przedstawione w formie demonstratorów szeregu układów optycznych w tym soczewki o modulacji kątowej, mocy optycznej 60 – 64 dioptrie i aperturze 2 – 4,5 mm dającej obrazowanie w odległości większej niż 25 cm, kolimatora przeznaczonego do diod krawędziowych 415 nm o wydajności energetycznej nie mniejszej niż 50 % i kolimatora do diody laserowej 808 nm o wydajności energetycznej nie mniejszej niż 60 % i kolimacji na obszarze 2mm x2mm lub mniejszym.

Nanokoncentratory fotoniczne do zastosowania w czujnikach pojedynczych molekuł.

Zagadnienie dotyczy badań możliwości zwiększenia koncentracji wiązek światła do takiego poziomu, że ich połówkowa szerokość wynosić będzie od ok. 20 nm w części krótkofalowej widma widzialnego do 30 nm w zakresie długofalowym. Pozwoli to na znaczną poprawę rozdzielczości przy zastosowaniu koncentratora do mikroskopów skaningowych oraz stworzy możliwość budowy czujników pojedynczych molekuł.

W wyniku badań powstanie stożkowa sonda bezaperturowa o strukturze dielektryk-metal-dielektryk, o promieniu krzywizny końcówki nanokoncentratora 5 – 25 nm działająca w zakresie spektralnym 400 – 740 nm.

Fotoniczna diagnostyka medyczna

Grupę fotonicznych urządzeń diagnostycznych stanowią wybrane tematy badawczo – konstrukcyjne biorąc pod uwagę następujące kryteria:

- Istnieją w kraju wyspecjalizowane zespoły techniczne, zdolne do skonstruowania określonych optoelektronicznych aparatów do diagnostyki medycznych;
- Istnieją w kraju zespoły medyczne, które od wielu lat współpracowały z zespołami inżynierskimi i gotowe są współuczestniczyć w tworzeniu nowej aparatury. Są to znakomite zespoły, kierowane przez znanych naukowców, specjalistów z zakresu większości specjalności medycznych. Ich udział w programie stanowi podstawę powodzenia realizacji poszczególnych zadań;
- Opracowanie i budowa urządzeń do diagnostyki medycznej zawiera znaczący wkład intelektualny; nie są one wytwarzane w skali masowej oraz podlegają szybkim procesom modernizacji i ewolucji;
- Urządzenia do diagnostyki medycznej spełniają wszelkie kryteria produktów niszowych dla polskiej gospodarki i nadają się do wytwarzania w warunkach małego lub średniego przedsiębiorstwa;
- Stanowią one produkt wyższej użyteczności społecznej – ochrony zdrowia i życia społeczeństwa.

W Polsce istnieje tradycja prowadzenia badań i opracowań oryginalnych medycznych urządzeń fonicznych i związanych z nimi nowych metod diagnostycznych i terapeutycznych. W wyniku współpracy zespołów medycznych i technicznych w przeszłości powstało szereg unikatowych urządzeń z powodzeniem stosowanych w praktyce klinicznej. Współpraca ta została częściowo zahamowana otwarciem rynku światowego i napływem aparatury z zagranicy. Nie wszystkich jednak na nią stać, stąd potrzeba pojawienia się tańszych wyrobów krajowych. Ponadto opracowywanie nowej aparatury otwiera możliwość twórczego wpływania na jej kształt i parametry specjalistów tak z zakresu medycyny jak i techniki. Dlatego potrzebę pilnego podjęcia prac badawczych i konstrukcyjnych w zakresie fonicznej aparatury medycznej coraz częściej formułują kliniki (środowisko lekarskie), technicy i co charakterystyczne, niezbyt jeszcze liczne, lecz prężne, firmy produkcyjne w tej branży.

Obecnie w kraju istnieje możliwość opracowania następujących tematów z zakresu fonicznej diagnostyki medycznej:

1. Opracowanie i ocena kliniczna endoskopowego systemu PDD do wczesnej diagnostyki i weryfikacji postępów terapii nowotworów
2. Urządzenie do spektralnej diagnostyki chorób nowotworowych w jamach ciała
3. Ultraczuły sensor, oparty na technice CRDS, do wykrywania markerów chorób nowotworowych na podstawie analizy składu powietrza wydychanego przez człowieka
4. Polarymetryczny tomograf optyczny do zastosowań medycznych
5. Obrazowanie morfologii i funkcji tkanek organizmu ludzkiego metodami tomografii optycznej OCT
6. Opracowanie optycznego systemu pomiarowego do monitorowania ukrwienia i utlenowania tkanki z wykorzystaniem spektroskopii bliskiej podczerwieni i metody laserowo-dopplerowskiej
7. Foniczny system do nieinwazyjnego monitorowania obrzęku mózgu człowieka
8. Opracowanie systemu diagnostycznego mierzącego drgania błony bębenkowej ucha ludzkiego – oto-wibrometru
9. Foniczny system do pomiarów kształtu ciała człowieka i jego zmian w czasie rzeczywistym dla zastosowań medycznych

Spośród wybranych tematów, grupę najliczniejszą stanowią urządzenia do wykrywania i diagnostyki chorób nowotworowych, a szczególnie ich wczesnych stadiów. Dwa pierwsze z nich, nazywane w literaturze światowej PDD (*Photodynamic Diagnosis*), oparte są na idei selektywnego fotouczulania zmienionych (poprzez wcześniejsze zgromadzenie w nich i wzbudzenie promieniowaniem o barwie niebieskiej cząsteczek fotouczulacza np. pochodnych porfiryny) komórek, a następnie ich wykrywanie i lokalizację na podstawie rejestracji fluorescencji w paśmie czerwonym. Diagnostyka – PDD i terapia – PDT są już znane i stosowane również w Polsce także dlatego, iż w kraju opracowana została technologia (ma międzynarodowy patent) otrzymywania fotouczulacza. Jest on w skali laboratoryjnej wytwarzany i udostępniany klinikom.

Mimo pozornej zbieżności tematycznej dwu pierwszych zadań (ich działanie oparte jest na tej samej idei), są one różne tak pod względem budowy, funkcji jak i wykorzystania. Wynikiem opracowania **tematu 1.** będzie uniwersalne urządzenie do wzbudzania i obrazowania (rejestracji) fluorescencji, które poprzez stosowne wyposażenie endoskopowe

można przeznaczyć do wykrywania zmian w różnych organach, także wewnętrznych pacjenta. Będą to urządzenia stosunkowo proste i tanie, przeznaczone do użycia nawet w przychodniach i prywatnych gabinetach lekarskich. Mogą wtedy znacząco przyczynić się do wykrycia wczesnych zmian nowotworowych i zwiększyć skuteczność ich zwalczania. Prostota nie oznacza małej skuteczności. Planowane wyposażenie tych urządzeń pozwoli na skuteczność wykrywania zmian nawet bardzo wczesnych wyższą, niż mają obecnie spotykane na rynku.

W urządzeniu będącym wynikiem opracowania **tematu 2**, rozpoznanie zmian planuje się oprzeć o szeroko zakresową analizę spektralną otrzymanych obrazów. Zapewnia to nową jakość diagnozowania, a zespół autorów tego zadania, który przedstawił uproszczoną wersję realizacji tej idei na 56 Światowych Targach Wynalazczości w Brukseli w 2007, otrzymał najwyższe z nadawanych wyróżnień. Mamy przekonanie, że urządzenie to stanie się nieodzownym wyposażeniem klinik zajmujących się leczeniem nowotworów.

Urządzenia diagnostyczne będące przedmiotem opracowania dwóch pierwszych zadań mogą służyć także do monitorowania (rejestracji) postępów w leczeniu nowotworów.

Całkowicie nową metodę diagnozy choroby nowotworowej płuc proponują autorzy **tematu 3**. Dotychczas przeprowadzone badania podstawowe, w których uczestniczą także członkowie zespołu autorskiego zadania, wskazują na występowanie charakterystycznych związków organicznych w powietrzu wydychanym przez osoby z chorobą nowotworową. Tą niezwykle cenną informację zespół autorski tego zadania proponuje wykorzystać do wczesnej diagnozy nowotworów płuc. Diagnoza dotychczas znanymi metodami tej odmiany schorzenia napotyka na poważne trudności i duże koszty. Powstałe urządzenie będzie pierwszym, opartym na powyższej zasadzie, całkowicie bezinwazyjnym, fotonicznym systemem diagnostycznym.

Temat 4 dotyczy diagnostyki nowotworów metodą analizy polaryzacji rozproszonego w tkankach promieniowania optycznego. Zespół autorski tego zadania specjalizuje się w tzw. **tomografii polaryzacyjnej** i przewiduje za jej pomocą możliwość wykrywania niejednorodności, jaką stanowi silnie ukrwiony guz piersi, o średnicy ok. 5 mm. Propozycja ta stanowi nową metodę, a jej realizacja sprzętowa dawałaby całkowicie bezinwazyjny sposób diagnostyki jednej z najczęściej występujących chorób nowotworowych.

Rozproszenie promieniowania w tkankach wykorzystuje tomografia optyczna OCT (*Optical Coherence Tomography*); ze względu na niskie straty i rozproszenie światła, idealnie nadająca się do obrazowania przekrojów tkanek oka. Zespół autorski z UMK kilka lat temu zbudował takie urządzenie diagnostyczne, które jest do dnia dzisiejszego wytwarzane w dwóch wersjach (do diagnostyki komory przedniej i siatkówki, ważnych do diagnozowania różnych patologii oka) i dostępne na rynku globalnym (produkcji firmy Optopol z Zawiercia). W **temacie 5**, proponuje się opracowanie nowego **tomografu ST OCT**, uzupełnionego o analizę spektralną w połączeniu z szybką rejestracją, posiadającego zdolność **trójwymiarowego obrazowania z możliwością pomiarów czynności poszczególnych tkanek oka, w szczególności charakteru i szybkości przepływu krwi**. Będzie to nowa jakość realizacji tej metody badawczej.

Szybkość przepływu krwi i tym samym utlenowanie tkanek są ważnymi parametrami określającymi ich stan zdrowotny. Parametry powyższe są z sobą ściśle związane, jednak ich pomiary wymagają zastosowania zasadniczo różnych metod. W **temacie 6**, proponuje się zbudować jedno wspólne foniczne urządzenie diagnostyczne realizujące obydwa pomiary jednocześnie. Będzie ono wyposażone w dwa różne źródła światła (lasery), które w określonej przestrzeni tkanek użyte zostaną do pomiaru prędkości

przepływu krwi metodą dopplerowską, zaś stopnia ich utlenowanie przez pomiar wartości światła rozproszonego (różnic w pochłanianiu hemoglobiny utlenowanej i zredukowanej). Istnieje duże zapotrzebowanie na powyższe informacje. Urządzenia te mogą wspomagać leczenie wiele stanów chorobowych w dermatologii, transplantologii, chirurgii plastycznej i rekonstrukcyjnej, terapii oparzeń, chirurgii naczyniowej i wiele innych.

Temat 7. dotyczy opracowania metody i oprzyrządowania do monitoringu powolnych zmian obrzęku mózgu. Obrzęk mózgu zagraża życiu pacjenta i dotychczas nie ma skutecznej metody wykrywania jego stanu początkowego. Wykonane dotychczas badania podstawowe, w oparciu o zbudowany model matematyczny, pozwalają sądzić, że możliwe jest metodami fonicznymi rejestrowanie szerokości warstwy płynnej pomiędzy powierzchnią mózgu i wewnętrzną powierzchnią czaszki i jej zmiany. System realizujący takie pomiary pozwoli na wczesne wykrywanie zagrożenia jakie niesie ze sobą obrzęk mózgu. Stwarza także nadzieję bycia przydatnym w trudnych do leczenia schorzeniach: dłuższych stanów nieprzytomności, urazów głowy, udarze mózgu, zatruciach itp.

Temat 8. powstał dzięki staraniom lekarzy Kliniki Otolaryngologii WUM, którzy od wielu lat współpracują z zespołami fotoników i dzięki tej współpracy dysponują wieloma urządzeniami laserowymi do diagnostyki i terapii w otolaryngologii. Przedmiotem jego jest opracowanie metodyki i oprzyrządowania do pomiarów i rejestracji drgań błony bębenkowej ucha. Pozwoli ona na diagnozowanie stanu membrany, obserwację efektów starzeniowych, stanów chorobowych i uszkodzeń, a szczególnie umożliwi właściwe dobranie kształtu i rozmiarów membrany przy jej rekonstrukcji. Badania tego typu są relatywnie nowe i brak jest informacji o wykorzystywanych tam metodykach. Zespół fotoników z Politechniki Wrocławskiej, mający duże doświadczenie w pomiarach wibracji, zdecydował się na zastosowanie do tego celu klasycznego interferometru Michelsona z pomiarem przemieszczenia poprzez pomiar częstości dopplerowskiej. Pozostawia sobie dużą swobodę w wyborze źródła laserowego i konfiguracji całego zestawu: technika objętościowa lub światłowodowa. Planowana do budowy konstrukcja ma szansę być w pełni oryginalnym rozwiązaniem.

Temat 9 proponuje opracowanie nowatorskiej metody i przyrządu do pomiaru kształtu ciała całego człowieka. Pomiar będzie odświeżany co kilkanaście sekund, co pozwoli na analizę ruchu całego obiektu oraz wybranych jego fragmentów. Propozycja kierowana jest oczywiście do placówek służby zdrowia z myślą o diagnozowaniu wad postawy dzieci i młodzieży, leczenia ortopedycznego itp. Nie mniej ważnym kierunkiem wykorzystania przyrządu jest medycyna sportowa, gdzie może przynieść znaczące korzyści.

Fotoniczne systemy pomiarowe w innowacyjnej gospodarce

Wszystkie z propozycje tematów w tej grupie powstały na podstawie doświadczeń zdobytych przy realizacji różnego rodzaju grantów badawczych, jak również obserwacji zapotrzebowania rynku na niszowe urządzenia pomiarowe bazujące na nowoczesnej technologii fonicznej. W związku z tym charakteryzują się one dużą różnorodnością tematyczną, ale przy tym stosunkowo niewielkimi nakładami na każde zadanie. Nie jest przypadkiem, że większość z nich będzie realizowana na Politechnice Warszawskiej (przy udziale Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego i Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych) oraz w Wojskowej Akademii Technicznej, a więc w ośrodkach, gdzie rodziła się polska fotonika i gdzie ukształtowały się zespoły badawcze mające znaczące osiągnięcia naukowe i wdrożeniowe. Pozostałe zadania będą realizowane również przez zespoły z pozostałych najlepszych ośrodków badawczych w Polsce specjalizujących się w fotonice (Politechniki: Wrocławska, Śląska, Gdańska, Lubelska; Uniwersytet Jagielloński, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk oraz Instytut Optyki Stosowanej).

Największa liczba tematów związana jest z precyzyjnymi pomiarami drgań maszyn, naprężeń konstrukcji, przemieszczeń i zmian kształtu powierzchni obrabianej z zastosowaniem najnowszych zdobyczy fotoniki w tym zakresie z systemem kontroli widzenia maszynowego włącznie.

Zadania te można podzielić na dwie podgrupy, z których jedna poświęcona jest precyzyjnym pomiarom laboratoryjnym takim jak:

1. System do pomiarów trójwymiarowych rozkładów absorpcji, współczynnika załamania i dwójłomności w materiałach i elementach fonicznych,
2. Szybki optyczny spektrometr emisyjny UV-VIS ze wzbudzeniem w mikrofalowej plazmie helowej,
3. Interferometr VAWI – EPI do pomiaru kształtu powierzchni złożonych,
4. Aparatura pomiarowa do badań kamer widzenia maszynowego,
5. System foniczny z aplikacją ultraszybką kamery dużej rozdzielczości.

Aparatura ta może stać się podstawowym wyposażeniem wielu wyspecjalizowanych ośrodków badawczych i pomiarowych przydatna w wielu dziedzinach techniki.

Drużyna podgrupa związana z budową aparatury fonicznej do wyspecjalizowanych pomiarów w przemyśle obejmuje 6 tematów:

1. Światłowodowy interferometryczny przyrząd do nadzoru stanu urządzeń elektroenergetycznych pracujący w obecności wysokich napięć i silnych pól elektromagnetycznych,
2. Wielofunkcyjny moduł pomiarowy do diagnostyki przepływu gazów i cieczy metodą *Particle Image Velocimetry* (PIV),
3. Tensometryczny system światłowodowy do pomiarów zdalnych w obecności silnych zakłóceń elektromagnetycznych oraz zagrożeń toksycznych i wybuchowych,
4. Mikrointerferometr pomiarowy z laserem typu VCSEL,
5. Mikroskop dla zakresu widmowego skrajnego nadfioletu (EUV),
6. Mikro-struktury mozaikowe do pomiaru odkształceń obiektów architektonicznych i inżynierskich.

Ten rodzaj aparatury nabywać będą wyspecjalizowane firmy zajmujące się wykonywaniem precyzyjnych pomiarów na zlecenie przemysłu lub budownictwa w zakresie infrastruktury.

Jeden z tematów związany jest z pomiarami jakości niezbędnymi w przemyśle spożywczym i dotyczy oceny jakości mleka, którego Polska jest liczącym się w Europie producentem z ciągle jeszcze niedoskonałą jego jakością. Stąd pilne zapotrzebowanie na tego typu urządzenia, które oparte na unikalnej koncepcji i technologii fonicznej gwarantuje dostępność urządzenia dla drobnych producentów mleka – „Foniczny system oceny jakości mleka”.

Cztery zadania poświęcone są budowie urządzeń fonicznych związanych z ochroną środowiska a w szczególności urządzeń pomiarowych parametrów środowiskowych takich jak: „Optoelektryczny system do detekcji i pomiarów wybranych gazów toksycznych i wybuchowych”, „System foniczny do pomiaru bardzo słabych pól magnetycznych”, „

Autonomiczny Światłowodowy Sejsmometr Rotacyjny” oraz „Zintegrowany dalmierz laserowy do mierzenia wysokości pułapu chmur”.

Odbiorcami wyspecjalizowanej aparatury fotonicznej powstałej w ramach tej grupy zadań będą przede wszystkim firmy powołane lub zatrudnione przez samorzady terytorialne zainteresowane jakością środowiska naturalnego, jego ochroną oraz wykorzystaniem turystyczno-sportowym.

Dwa ostatnie tematy z tej grupy związane są z budowa urządzeń służących zmniejszeniu emisji gazów szkodliwych i cieplarnianych. Ma to zapewnić „Optoelektroniczny system diagnostyki i sterowania procesem spalania w przemysłowych kotłach energetycznych” a także „Światłowodowy analizator jakości substancji ciekłych i paliw”.

Należy podkreślić, że proponowane tematy z grupy „Fotoniczne systemy pomiarowe w innowacyjnej gospodarce” bardzo dobrze wpisują się w działania „Wsparcie badań naukowych dla budowy gospodarki opartej na wiedzy”. Realizacja tematów z tej grupy powinna stać się podobnym bodźcem do wdrożeń i powstawania nowych firm fotonicznych, jak to miało miejsce na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku i gdzie znaczący udział w tym procesie mieli niektórzy kierownicy i niektórzy główni wykonawcy proponowanych zadań. Wsparci teraz przez liczną grupę doktorantów, studentów i młodych pracowników naukowych, przy proponowanych nakładach finansowych, powinni zapewnić sukces projektowi zarówno naukowy jak i w przyszłości komercyjny.

Ciekłe kryształy: materiały dla optoelektroniki i fotoniki

Ciekłe kryształy są stanem skupienia materii znanym od końca XIX wieku, a intensywnie badanym od lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia. W ostatnich latach zdecydowanie opanowały rynek wyświetlaczy informacyjnych i zapewne jeszcze długo będą podstawą wiodących technologii w tym obszarze.

Jednak badania ciekłych kryształów są kontynuowane z niesłabnącą siłą, gdyż odkrywane są nowe fazy ciekłokrystaliczne, nowe efekty elektrooptyczne, a przede wszystkim nowe obszary zastosowań z zakresu szeroko rozumianej fotoniki.

Zasadniczą cechą ciekłych kryształów z punktu widzenia aplikacji jest możliwość sterowania ich uporządkowaniem nadmolekularnym za pomocą niskich pól elektrycznych. Powoduje to znaczne zmiany różnych właściwości optycznych, a zatem umożliwia konstrukcję elementów optycznych o elektrycznie sterowanych parametrach.

Polscy chemicy, zwłaszcza zespół prof. Romana Dąbrowskiego z WAT, od lat stanowią światową czołówkę w zakresie syntezy nowych związków ciekłokrystalicznych (mezogenów) i otrzymywania mieszanin użytkowych tych materiałów.

W zakresie badania właściwości fizycznych, w szczególności optycznych i elektrooptycznych, ale także dielektrycznych i ich opisu teoretycznego prace polskich uczonych są również cenione na świecie. Należy tu wymienić zespoły z WAT, PW, PP, UJ, Instytut Fizyki Molekularnej PAN.

Badania ciekłych kryształów w Polsce stanowią zatem znaczący w świecie obszar prac nad tą tematyką, a potwierdzeniem tego jest znaczne zainteresowanie naukowców zagranicznych konferencją *Liquid Crystals: Chemistry, Physics and Applications* organizowanej w cyklu dwuletnim od 1979 roku oraz przyznanie Polsce organizacji światowej *Liquid Crystal Conference* w roku 2010.

Zagadnienie aplikacji jest w warunkach krajowych trudniejsze do realizacji. O ile powstało wiele interesujących opracowań, modeli laboratoryjnych i prototypów, to wdrożenie ich do produkcji wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych, o czym będzie mowa dalej.

Materiały i ich charakterystyka

Synteza nowych związków ciekłokrystalicznych oraz projektowanie i otrzymywanie mieszanin ciekłokrystalicznych dotyczy w Polsce przede wszystkim ciekłych kryształów kalamitycznych (o molekułach prętopodobnych lub bananowych). W ciągu przeszło 30 lat otrzymano około 2000 indywidualnych związków i ponad 3000 ich mieszanin.

W Polsce otrzymano po raz pierwszy ciekłokrystaliczne izotiocyjaniany, a zwłaszcza odkryto ortokoniczną fazę antyferroelektryczną.

W chwili obecnej podstawowe kierunki rozwoju syntezy mezogenów oraz otrzymywania mieszanin użytkowych to:

- nematyki o nietypowych właściwościach optycznych; jeden ze współczynników załamania równy lub niższy od współczynnika załamania krzemu – technika światłowodowa; wysoka dwójłomność – elementy optyczne do zaworów optycznych – ochrona wzroku lub płaskich soczewek o elektrycznie sterowanej ogniskowej – fotografia,
- cholesteryki do detekcji i zobrazowania temperatury – kontaktowa termografia medyczna i techniczna, zastosowania estetyczne, artystyczne i reklamowe,

- ortokoniczne antyferroelektryczne smektyki o długim skoku helisy – szybkie przetworniki świetlne,
- kompozyty ciekły kryształ – polimer (PDLC) lub ciekły kryształ – szkło, w tym również domieszkowane barwnikami dichroicznymi i nanokryształami nieorganicznymi wykazującymi nieliniowość optyczną.

Najważniejsze elementy charakteryzacji mezogenów to:

- określenie właściwości ciekłokrystalicznych – rodzajów faz ciekłokrystalicznych, temperatur i entalpii przemian fazowych, stopnia uporządkowania,
- określenie gęstości, lepkości i innych właściwości reologicznych,
- określenie właściwości dielektrycznych,
- pomiar stałych elastycznych deformacji,
- zbadanie właściwości optycznych i elektrooptycznych (opisanych dalej),
- ocena zachowania na powierzchni podłożu (zwilżalność, kąt i energia zakotwiczenia).

W Polsce istnieje i jest rozwijana baza aparaturowa oraz grono doświadczonych badaczy mogących dokonywać takiej charakteryzacji.

Optyka i elektrooptyka ciekłych kryształów

Badania nad tą tematyką zostały wyodrębnione ze względu na wspomniany we wstępie potencjał aplikacyjny. Obejmują one pomiar współczynników załamania i określenie dwójłomności, pomiar charakterystyk i parametrów elektrooptycznych, określenie wpływu warunków kotwiczenia na podłożu na powyższe parametry, w tym zachowanie się ciekłych kryształów w układach światłowodowych, określenie nieliniowości optycznej w ciekłych kryształach, zwłaszcza domieszkowanych barwnikami dichroicznymi i nanokryształami, pomiar pasm absorpcji oraz szereg innych właściwości.

Część z powyższych pomiarów należy do rutynowej charakteryzacji nowych materiałów, jednak wspomniane nowe fazy ciekłokrystaliczne wymagają modyfikacji klasycznych metod i technik pomiarowych.

Dotyczy to zwłaszcza nowych technologii dla nematycznych ciekłych kryształów, wykorzystujących sterowanie jedną elektrodą, jak IPS i MVA, dla których konieczne jest opracowanie nowych mieszanin nematycznych. Ponadto badania ferro- i antyferroelektrycznych smektyków oraz kompozytów ciekłokrystalicznych wymagają również oryginalnego podejścia.

Ważnym kierunkiem prac są badania nad optyką i elektrooptyką ciekłych kryształów w zakresie terahercowym.

W zakresie badań kompozytów ciekłokrystalicznych główne zagadnienia badawcze w latach najbliższych to:

- rozwój technologii ciekłokrystalicznych folii do termografii kontaktowej wykorzystujących nową generację nematyków (obecnie trwają prace wdrożeniowe),
- badania nowych układów kompozytowych typu PDLC i prace rozwojowe nad ich wykorzystaniem w elementach fonicznych.

Bardzo zaawansowane i perspektywiczne są badania nad wykorzystaniem ciekłych kryształów w obszarze czujników światłowodowych, prowadzone na PW i WAT.

Aplikacje

Technologia urządzeń fonicznych zawierających ciekłe kryształy wymaga co najmniej:

- pomieszczeń o wysokim stopniu czystości (clean-room),
- profesjonalnego oprzyrządowania linii produkcyjnej,
- w przypadku wyświetlaczy o dużej pojemności informacyjnej oraz niektórych elementów optycznych – matryc aktywnych do sterowania wyświetlaczem lub elementem optycznym.

Koszty inwestycji, przeszkolenia personelu, marketingu itd. przekraczają możliwości małych i średnich firm krajowych. Wynikają stąd następujące wnioski:

1. Nie wydaje się możliwe wytwarzanie w Polsce produktów wysokiej technologii jedynie w oparciu o potencjał krajowy, natomiast jest możliwa jest współpraca naukowo-przemysłowa z wiodącymi firmami światowymi w ramach wspólnych projektów, konsorcjów itp. oraz sprzedaży technologii, patentów i *know-how*.

2. Możliwa i korzystna jest produkcja prostszych rozwiązań i wynalazków krajowych, zwłaszcza w oparciu o małe i średnie firmy, a przede wszystkim firmy typu *spin-off*.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że dotychczasowe rezultaty badań, jak również istniejący potencjał aparaturowy i kadrowy pozwalają stwierdzić, iż badania ciekłych kryształów są jedną z polskich specjalności w zakresie fotoniki.

Rozwój techniki laserowej w kraju

W 2010 roku upływa 50 lat od wynalezienia lasera. Zjawisko laserowe zostało przewidziane nieco wcześniej. Technika laserowa rozwija się w kraju intensywnie od początku lat sześćdziesiątych. Pierwszy laser w kraju został uruchomiony w roku 1963. Pierwszymi krajowymi ośrodkami badawczymi były Wojskowa Akademia Techniczna (prof. Z. Puzewicz), Politechnika Warszawska (prof. W. Woliński) i Uniwersytet Adama Mickiewicza (prof. F. Kaczmarek). Krajowe środowisko naukowo-techniczne techniki laserowej spotyka się od ponad 25 lat na krajowych Sympozjach Techniki Laserowej a wcześniej w latach 1964 – 80 na Konferencjach Radiospektroskopia i Elektronika Kwantowa i Konferencjach Elektronika Kwantowa i Optyka Nieliniowa w Poznaniu. Sympozja są organizowane tradycyjnie w Świnoujściu, pod auspicjami Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN, Polskiego Komitetu Optoelektroniki SEP i Polskiego Stowarzyszenia Fotonicznego przez Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny (poprzednio Politechnikę Szczecińską) we współpracy z PW i WAT

Krajowe osiągnięcia techniki laserowej podsumowuje, co trzy lata „Symposium Techniki Laserowej” w Świnoujściu. Prace prowadzone w kraju dotyczą zarówno technologii i konstrukcji nowych laserów oraz sprzętu laserowego jak i ich szerokich zastosowań. Wybrane wyniki prac z ostatniego okresu czasu przedstawione na „IX Symposium Techniki Laserowej” we wrześniu 2009 r. zaprezentowane są poniżej.

Lasery i podzespoły:

- Kwantowe lasery kaskadowe z Al/GaAs/GaAs na zakres średniej podczerwieni (ITE)
- Lasery hybrydowe generujące w obszarze bliskiej podczerwieni (WAT)
- Światłowodowe źródła promieniowania koherentnego typu MOPA (PW_r)
- Przechyłalny wielofalowy laser światłowodowy (PW_r)
- Femtosekundowe oscylatory Yb:KYW (UW)
- Optyczny wzmacniacz parametryczny impulsów femtosekundowych z mocą szczytową 2 TW (UW)
- Optyczny grzebień częstotliwości (UW)
- Dwukaskadowy układ światłowodowy typu MOPFA generujący impulsy o zmiennym czasie trwania przy częstotliwości repetycji w zakresie 50 – 500 kHz (WAT)
- Monoimpulsowy laser Er:YAG w zakresie 2,94 μm o energii do 30 mJ i repetycji 25 Hz (WAT)
- Erbowy laser włókowy z rezonatorem DBR w geometrii „all fiber” (PW)
- Impulsowa praca laserów Ar i Kr w krótkofalowym zakresie promieniowania UV (PW)
- Czterokanałowy impulsowy laser He-Xe 3,5 μm wzbudzany prądem w. cz. (WAT)
- Model pracy lasera z ośrodkiem aktywnym w postaci kryształu fotonicznego na progu generacji oparty na formalizmie macierzy przejścia (PW)

- Teoria wielodomowej pracy lasera z ośrodkiem aktywnym w postaci kryształu fotonicznego o sieci kwadratowej (PW)
- Elektroluminescencja organicznych LED wytworzonych na bazie 6-R-1,3-dwufenylu-1H-pirazolo(3,4-b)chinoliny (PCz)
- Ultrakrótkie impulsy generowane za pomocą opracowanego modulatora SESAM (ITE)
- Domieszkowane materiały tlenkowe do przełączania optycznego (ITME, PŚI, WAT)
- Zastosowania, opracowanych epitaksjalnych warstw laserowych granatów aktywowanych jonami metali przejściowych (PW, ITME, WAT)
- Spektroskopowe i laserowe właściwości opracowanych kryształów wanadianów domieszkowanych jonami lantanowców (INTiBS, ITME)
- Szkło fosforanowe domieszkowane Yb^{3+} dla fotonicznego lasera światłowodowego (ITME, UW, WAT)
- Analiza własności spektroskopowych ceramiek laserowych Nd:YAG uzyskanych metodą reakcyjnego spiekania oraz spiekania nanoproszków otrzymanych metodą współstrącenia (ITME, WAT)
- Epitaksjalne warstwy $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ zawierające jony Co^{2+} i Ni^{2+} (ITME, PW, WAT)
- Właściwości emisyjne samoorganizujących się eutektyków tlenkowych YbAG:Er (PW, ITME)
- Badania laserowe opracowanych ceramiek Nd:YAG (WAT, ITME)
- Aktywne światłowody fotoniczne o wysokiej dwójłomności ze szkła kwarcowego (UL)
- Czynniki określające graniczne wartości mocy optycznej emitowanej przez indywidualną diodę laserową (ITME).

Laserowe systemy metrologiczne:

- Multispektralne systemy teledetekcji laserowej (WAT)
- Lidar fluorescencyjny do zdalnej detekcji aerozoli pochodzenia biologicznego (WAT)
- Analiza zjawiska kompresji geometrycznej sygnału lidarowego dla niewielkich odległości detekcji (WAT)
- System detekcji wybranych gazów z wykorzystaniem komory wielokrotnych przejść i laserów kaskadowych (WAT)
- Czujnik zagrożeń biologicznych do systemów wczesnego ostrzegania i wykrywania skażeń (WAT)
- Zastosowanie laserowo wzbudzonej fluorescencji i spektroskopii Fourierowskiej do wykrywania i klasyfikacji skażeń biologicznych (WAT)
- Zastosowanie interferometrycznych struktur optycznych w sensorach gazów toksycznych (PŚI)
- Metoda korekcji charakterystyk reflektancyjnych dla skanera średniego zasięgu (WAT)

- Prędkościomierz laserowy (WAT)
- Zastosowanie lasera QCL w systemie łączności optycznej otwartej przestrzeni (WAT)
- Zastosowanie laserowej metody pomiaru pól prędkości do diagnostyki mikroprzepływów (IMP PAN)
- Zastosowanie interferometrów laserowych w nanotechnologii (PWr)
- Zastosowanie spektroskopii Ramana do badań krwi (UP)
- Zastosowanie spektroskopii Ramana do badań tkanki kostnej (UP)

Zastosowania laserów w obróbce materiałów:

Przedstawiono ponad 30 prac dotyczących mikro cięcia i mikro spawania, nanoszenia cienkich warstw, tworzenia powłok amorficznych, modyfikacji powierzchni, modyfikacji nanowarstw, szkliwienia, kształtowania powierzchni ślizgowych i mikro naświetlania; badania prowadzono dla metali, półprzewodników, ceramik, kompozytów i tworzyw sztucznych metodami nadtapiania, odparowania i ablacji laserowej z zakresu od skrajnego nadfioletu do bliskiej podczerwieni; przedstawiono również prace dotyczące renowacji zabytków. (AGH, IM PAN, CTL PŚw, PŁ, IMP PAN, PŚI, WAT, IF PAN)

Zastosowania laserów w medycynie:

Przedstawiono 4 prace dotyczące: laserów w leczeniu jaskry, stanu metody PDT w okulistyce, zastosowaniu lasera Nd:YAG w leczeniu nawracającej brodawczakowości krtani i leczeniu niektórych naczynek jamistych przez waporyzację laserem Nd:YAG (WUM).

Podsumowanie

Placówki krajowe biorą udział w następujących europejskich projektach badawczych:

- EDA (European Defence Agency) (WAT)
- ELI (Extreme Light Infrastructure) i Laserlab (WAT)
- HIPER (High Power Laser Energy Research Facility) (IFPiLM)

Rozwój laserów na swobodnych elektronach (FEL) w Europie został zdefiniowany w dokumencie ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures). Głównym projektem europejskim dotyczącym maszyny FEL jest E-XFEL. Realizowany jest w DESY w Hamburgu. Demonstratorem tej technologii jest obecnie FLASH. Jednostką zasilająca FLASH (i następnie E-XFEL) jest elektronowy impulsowy liniak nadprzewodzący o długości ok. 200 m generując falę EM o długości ok. 5 nm stosowaną do eksperymentów biomedycznych i z inżynierii materiałowej. Projekt przewiduje wydłużenie liniaka do 2 km. Przewidywany koszt to ok. 2 mld Euro. Dużym osiągnięciem strony polskiej jest to, że zespoły z PW i PŁ pracują przy budowie tego urządzenia.

W kraju istnieje kilkanaście większych zespołów w ośrodkach akademickich, instytutach resortowych i firmach, prowadzących badania nad konstrukcją i zastosowaniami laserów. Wśród tych ośrodków kilka posiada znaczny potencjał badawczy i techniczny. Większość uczestniczy w europejskich projektach strukturalnych lub prowadzi współpracę międzynarodową. Prowadzone prace mają charakter bardzo współczesny, lecz za wyjątkiem kilku projektów, są to działania o charakterze lokalnym i nisko-budżetowym.

Technika laserowa w kraju powoli i systematycznie rozwija się. Aktywne zespoły wchodzą do sieci Europejskich uzyskując dostęp do dużej infrastruktury badawczej tworzącej system ERA – Europejskiej Przestrzeni Badawczej. Jak dotąd w kraju nie został jednak

przekroczony próg budowy części z tej infrastruktury o rozmiarze europejskim. Wydaje się, że krajowe środowisko naukowo-techniczne powinno dążyć do budowy dużej laserowej infrastruktury badawczej i technicznej. Kilka ośrodków krajowych wydaje się być gotowych do podjęcia takiej inicjatywy.

Aktualny stan i perspektywy rozwoju firm fotonicznych w Polsce

Rozwój cywilizacyjny i gospodarczy bogatych krajów odbywa się przede wszystkim dzięki postępowi naukowo-technicznemu. W XIX wieku głównymi czynnikami tego postępu były zagadnienia związane z parą i elektrycznością. Wiek XX bazował na elektronice, informatyce i telekomunikacji. Przewiduje się, że wiek XXI wiele zawdzięczać będzie fotonice.

Era fotoniki tak naprawdę zaczęła się wraz z wynalezieniem lasera na początku lat 60 XX wieku. Prawie natychmiast zaczęły powstawać firmy produkujące lasery i urządzenia wykorzystujące światło spójne emitowane przez lasery. Kiedy dekadę później wynaleziono światłowodów o małej tłumienności fotonika opanowała również telekomunikację. W ciągu 50 lat od wynalezienia laserów powstał potężny dział gospodarki światowej generujący przychód rzędu 300 mld EURO, podobny do tego, jaki wypracowuje przemysł elektroniczny. Światowy rynek fotoniki rozwija się nadal bardzo dynamicznie i mimo kryzysu osiąga wskaźniki wzrostu rzędu 10%. Znaczenie fotoniki docenił Komitet Noblowski przyznając nagrodę za rok 2009 twórcom światłowodów o małej tłumienności (Charles Kao) i wynalazcom detektorów CCD pracującym w każdym współczesnym aparacie fotograficznym i kamerze cyfrowej (William Boyle i George Smith). Również Unia Europejska rozumie znaczenie fotoniki (około 70 mld EURO przychodu w 2009 roku) i w swoich długoletniej strategii wymienia fotonikę, jako jedną z najważniejszych dziedzin przewidzianą do wsparcia zarówno na poziomie badań podstawowych i rozwojowych ale również w zakresie wsparcia małych i średnich firm powstających w celu wdrożenia innowacyjnych opracowań.

Fotonika w Polsce pojawiła się z niewielkim opóźnieniem, ale jedynie jako dziedzina badań. Prawie równolegle w Wojskowej Akademii Technicznej i Politechnice Warszawskiej, trzy lata po światowej premierze, uruchomiono pierwsze lasery w Polsce. Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie uzyskał światłowodów o małej tłumienności pięć lat po ich światowej premierze. Zdobyte przy tym doświadczenie nie znalazło prawie żadnego przełożenia na powstanie firm fotonicznych. Dopiero pod koniec lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku zaczęły powstawać firmy fotoniczne, które stawały się zauważalne na rynku światowym. Takim dobrym przykładem była firma VIGO, której niechłodzone detektory podczerwieni kupowała armia amerykańska, mimo, że pochodziły z za istniejącej jeszcze wtedy „żelaznej kurtyny”. Prawdziwy wysyp firm fotonicznych nastąpił na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia wraz ze zmianami ustrojowymi, ale nie bez wpływu Centralnych Programów Badawczo-Rozwojowych prowadzonych w latach 1986-1990 przez profesorów Politechniki Warszawskiej Wiesława Wolińskiego (lasery) i Bohdana Paszkowskiego (urządzenia fotoniczne tj. zastosowania laserów, światłowodów i ciekłych kryształów), a także przez profesora Andrzeja Waksmundzkiego z UMCS w Lublinie (technologie światłowodowe). Powstało wtedy około sześćdziesiąt firm fotonicznych, które opanowały ubogi rynek krajowy uzupełniając się asortymentowo i sporadycznie eksportowały. W tym samym czasie duże państwowe firmy, które miały lub powinny mieć działy fotoniki albo bankrutowały albo reorganizowały się zbyt powoli jak na potrzeby tak dynamicznie rozwijającej się dziedziny gospodarki, jaką jest fotonika.

W latach 1991-2004 następował względny a czasami bezwzględny spadek nakładów na naukę. Przyznawane wtedy przez Komitet Badań Naukowych i Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego granty badawcze miały głównie charakter czysto naukowy rozliczany publikacjami. Miało to bardzo niekorzystny wpływ na rozwój małych i średnich firm nastawionych na budowę i wdrażanie innowacyjnych osiągnięć badawczych. Zaznaczył

się znaczny zastój w rozwoju małych i średnich firm fonicznych. W tym samym czasie obserwowano gwałtowny rozwój podobnych firm w Unii Europejskiej, a w szczególności w USA i Kanadzie przy znacznej pomocy państwa wspomagających hojnie badania w tych kierunkach i to nie tylko na uczelniach, ale i w samych firmach. W Polsce w tym czasie skoncentrowano niezbyt wysokie nakłady na tzw. „niebieskiej” optoelektronice, które nie przełożyły się - jak do tej pory - na znaczący sukces rynkowy. Jedynym bardzo pozytywnym wyjątkiem było osiągnięcie profesora Andrzeja Kowalczyka i jego zespołu z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, który usprawnił na tyle wynaleziony w Nowym Jorku i we Wiedniu koherentny tomograf optyczny, że firma OPTOPOL z Zawiercia z powodzeniem wdrożyła go i wprowadziła na rynek światowy (ostatnio OPTOPOL został wykupiony przez koncern Canon z Japonii).

Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej w 2004 może dać nowy bodziec do rozwoju małych i średnich firm fonicznych; zarówno poprzez współpracę wewnątrz unijną jak i poprzez realizację wdrożeń przy zwiększonych nakładach na badania na fotonikę popartych priorytetami Unii Europejskiej. Przyznawane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju granty rozwojowe są działaniem, które może przynieść korzystne efekty dla rozwoju fotoniki. Przyznawane sumy są kilkukrotnie wyższe niż przy zwykłych grantach badawczych, a rozliczeniem grantu jest powstanie niszowego urządzenia fonicznego i następnie przez pięć lat monitorowanie wysiłków wdrożeniowych kierownika projektu badawczo-rozwojowego. Większe granty tzw. strategiczne grupujące w ramach konsorcjów wielu zespołów badawczych jak do tej pory w zakresie fotoniki prawie nie znalazły uznania komisji konkursowych.

Prócz barier finansowych i decyzyjnych istnieją jeszcze bariery innej natury powodujące, że powstawanie nowych firm jest blokowane. Według naszych własnych obserwacji, popartych badaniami zespołu profesora Henryka Domańskiego z Instytutu Socjologii PAN, wynika, że w latach 1990-2000 dochody właścicieli małych i średnich firm w tym fonicznych kilkukrotnie przekraczały dochody profesorów, podobnie jak to było i jest w takich krajach jak Stany Zjednoczone. W latach 2000-2009 dochody właścicieli firm wyraźnie spadły w stosunku do poziomu dochodów profesorskich. Nasuwa się pytanie: kto w takiej sytuacji odejdzie z uczelni aby założyć własną firmę – bez wsparcia finansowego państwa – dużo ryzykując przy wdrażaniu własnego opracowania.

Polska osiągnęła 56% średniej unijnej dochodu na głowę mieszkańca. Wykorzystane zostały przy tym prawie wszystkie proste rezerwy związane ze zmianą ustroju. Dalsze podnoszenie dochodu musi odbywać się w dziedzinach niosących duży potencjał innowacyjny a taka dziedzina jest fotonika. Nadszedł czas na strategiczne posunięcia rządu w tym kierunku.

Jednym z takich działań rządu powinno być powołanie *Narodowego Centrum Badań Fonicznych* (NCBF). Zadaniem NCBF w pierwszym etapie działania byłaby konsolidacja i koordynacja konsorcjów fonicznych grup badawczych wokół tematów uznanych za strategiczne i omówionych w niniejszym opracowaniu. Na dalszym etapie badania należałoby dążyć do stworzenia własnych laboratoriów badawczych realizujących strategiczne – z punktu widzenia rozwoju gospodarki krajowej – tematy prac badawczych przy współpracy z rozproszonymi laboratoriami uczelnianymi, przemysłowymi i resortowymi, i innymi badawczymi, w tym Polskiej Akademii Nauk, a także przy udziale firm uczestniczących w badaniach i przygotowanych do wprowadzenia niszowych opracowań na rynek krajowy i światowy.

Roczny budżet NCBF mógłby być na początkowym etapie rządu 3 – 5 mln złotych, aby następnie rosnąć wraz ze zdobywaniem funduszy w postaci grantów krajowych i

europjskich. Powstanie laboratoriów własnych Centrum mogłoby odbywać się stopniowo, ponieważ badania fotoniczne nie wymagają – jak dotąd – dużych nakładów na infrastrukturę lokalową i aparaturę.

Konieczność powstania *Narodowego Centrum Badań Fotonicznych* wynika nie tylko z względnego opóźnienia rozwoju cywilizacyjnego Polski, zwłaszcza na styku nauka – firmy wdrożeniowe, ale również z faktu, iż fotonika w programach Unii Europejskiej jest jednym z 4 głównych kierunków priorytetowych, na którą w kolejnych programach ramowych będą przeznaczane coraz większe środki finansowe. Efektywne wykorzystanie tych środków będzie coraz bardziej utrudnione, jeśli nie niemożliwe zarówno przez rozproszone zespoły badawcze jak i bez utworzenia pod kierunkiem *Narodowego Centrum Badań Fotonicznych* trwałych konsorcjów skupionych wokół tematów ważnych nie tylko z punktu widzenia nauki ale przede wszystkim innowacyjnej gospodarki.

Podsumowanie

Przedstawiony powyżej aktualny stan i wynikająca z niego strategia badań naukowych wyznacza kierunki rozwoju w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki w kraju na najbliższe lata. Efektem realizacji proponowanych badań będzie szereg prototypów, demonstratorów i nowych technologii, które będą mogły znaleźć szerokie zastosowanie w kreowaniu nowych produktów innowacyjnych, zwłaszcza dla małych i średnich przedsiębiorstw.

Celem nadrzędnym powinna być realizacja prac badawczych, które pozwolą na dostarczenie polskim firmom innowacyjnym, zwłaszcza z sektora małych i średnich przedsiębiorstw, nowych rozwiązań technologicznych, które podniosą ich konkurencyjność poprzez wprowadzenie na rynek nowych innowacyjnych wyrobów i technologii z dziedziny optoelektroniki i fotoniki. Realizacja tego celu pozwoli na prowadzenie badań naukowych na wysokim poziomie, które mogą znaleźć potencjalne zastosowanie w gospodarce oraz zwiększenie konkurencyjności polskich przedsiębiorstw, poprzez dostarczenie im nowych innowacyjnych technologii i produktów.

Cele szczegółowe obejmują m.in. rozwój kadry naukowej oraz budowę potencjału badawczego, który pozwoli na aktywniejszy niż dotychczas udział polskich zespołów badawczych w projektach realizowanych w ramach Programów Ramowych Unii Europejskiej. W latach 2008-2009 zakończono, zaawansowano, rozpoczęto realizację lub poczyniono starania o otrzymanie wielu projektów badawczych z optoelektroniki i fotoniki.

W kraju następuje dalsza konsolidacja środowiska optoelektroników i fotoników w kraju. Powołane zostało do życia Konsorcjum Naukowo-Technologiczne „Mazowiecki Klaster Innowacyjnych Technologii Fotonicznych - OPTOKLASTER”, w skład którego weszło 25 mazowieckich firm i instytucji zajmujących się dziedziną fotoniki.

Podejmowane są kroki mające na celu ożywienie działalności Platformy Opto i Nano – Elektroniki we współpracy z europejską platformą fotoniczną *Photonics21*.

Dawna Sekcja Polska SPIE przekształciła się w Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne PSP (*Photonics Society of Poland*), które posiada osobowość prawną i może skuteczniej organizować działalność specjalistów z zakresu fotoniki zarówno na polu naukowym jak i gospodarczym.

Wyrazem integracji krajowego środowiska optoelektroników i fotoników jest wspólne opracowanie przez Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne, Sekcję Optoelektroniki KEiT PAN oraz Polski Komitet Optoelektroniki SEP przeglądu możliwości badawczych środowiska krajowego w tej dziedzinie, a także sformułowanie strategii rozwoju optoelektroniki i fotoniki w kraju w najbliższych latach, w tym postulatu utworzenia w kraju *Narodowego Centrum Badań Fotonicznych*.