



**„OPTOELEKTRONIKA WAŻNYM ELEMENTEM
STRATEGII ZRÓWNOWAŻONEGO
ROZWOJU PAŃSTWA”**

– materiały
z III Konferencji Optoelektronicznej

Hotel Windsor Jachranka, Serock, 8–9 Listopad 2017





Spis treści

Słowo wstępne	4
Gospodarze konferencji	5
Komitety konferencji	7
Patroni konferencji	9
Program III Konferencji Optoelektronicznej	10
Wybrane abstrakty i referaty	14
• „Inżynieria systemów”, Zbigniew Jasiołek, Dyrektor d/s Inżynierii Systemów PCO S.A.	14
• „Aparatura kontrolno-pomiarowa do badań satelitarnych optoelektronicznych systemów obserwacyjnych”, prof. dr hab. inż. Krzysztof Chrzanowski Inframet	17
• „System asopek – budowanie świadomości sytuacyjnej w kosmosie”, dr inż. Jerzy Łukasiewicz Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych	22
• „Optoelektronika azotkowa – nowe aplikacje, nowe szanse, z perspektywy firmy TopGaN” Krzysztof Węgrzyn TopGaN, Spółka z o.o.	27
• „Własności termooptyczne powłok ar otrzymywanych metodami próżniowymi, SOL-GEL oraz CVD”, dr hab. Janusz Jaglarz Politechnika Krakowska	28
• „Wysokowydajne laserowe źródła światła dla zastosowań wojskowych i cywilnych”, dr inż. Anna Kozłowska Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych	34
• „Technologie w VRW Telesystem Mesko”, Arkadiusz Swat CRW Telesystem Mesko	36
• „Laserowy analizator GasEye HCHO – pierwszy system do ciągłego pomiaru emisji formaldehydu z procesów przemysłowych do atmosfery”, Mateusz Straszewski Airoptric Sp. z o.o.	37
• „Optymalizacja obszarów aktywnych międzypasmowych laserów kaskadowych”, dr Marcin Motyka Politechnika Wrocławska	38
• „Urządzenia optoelektroniczne w platformach bezzałogowych i autonomicznych”, dr inż. Tomasz Mirosław – Politechnika Warszawska	39
Dane kontaktowe	41





Słowo wstępne

Szanowni Państwo,

Serdecznie zapraszam Państwa do uczestnictwa w III Konferencji Optoelektronicznej pod tytułem „*Optoelektronika ważnym elementem strategii zrównoważonego rozwoju Państwa*”, odbywającej się w dniach 8–9 listopada 2017 roku w Hotelu Windsor w Jachrance. III Konferencja Optoelektroniczna została objęta patronatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego Jarosława Gowina.

Podobnie jak w poprzednich latach III Konferencja Optoelektroniczna zorganizowana została przez PCO S.A. przy współudziale Wojskowej Akademii Technicznej, Polskiej Platformy Technologicznej Fotoniki oraz Politechniki Warszawskiej.

Celem konferencji jest poszukiwanie form i zakresu współpracy pomiędzy nauką, przemysłem i końcowym użytkownikiem. Dialog jest jednym z najważniejszych elementów konferencji.

Tegoroczna edycja poświęcona jest przedstawieniu najważniejszych osiągnięć w obszarze optoelektroniki. Wystąpienia oraz dyskusja nad

referatami powinny przyczynić się do podniesienia wiedzy inżynierów pracujących nad nowoczesnymi rozwiązaniami w tej dziedzinie. Tematyka konferencji obejmuje między innymi oczekiwania i możliwości rozwoju optoelektronicznych systemów dla bezpieczeństwa Państwa, a także przenikanie optoelektroniki do wszystkich dziedzin życia, w tym eksploracji kosmosu.

Konferencji będzie towarzyszyć wystawa i sesja plakatowa, podczas której zostanie zaprezentowana oferta polskiego przemysłu oraz nauki w obszarze optoelektroniki.

Mam nadzieję, że III Konferencja Optoelektroniczna będzie równie udana, jak poprzednie edycje. Liczę, że będzie okazją do zaprezentowania najnowszych osiągnięć w dziedzinie optoelektroniki oraz szansą na owocne dyskusje.

Zapraszam Szanownych Uczestników do aktywnego udziału w konferencji oraz do zapoznania się z niniejszym opracowaniem zawierającym zbiór przedstawionych referatów.

dr inż. Ryszard Kardasz
Prezes Zarządu
PCO S.A.





Gospodarze konferencji



PCO S.A.

PCO S.A. jest spółką należącą do Polskiej Grupy Zbrojeniowej, a także centrum badawczo-produkcyjnym, w którym wszystkie powstające i sprzedawane wyroby są efektem prac własnego zaplecza badawczo-rozwojowego. Podstawową

działalnością PCO S.A. jest produkcja i sprzedaż wyrobów optoelektronicznych, przyrządów obserwacyjnych i celowniczych z zastosowaniem techniki laserowej, noktowizyjnej i termowizyjnej dla potrzeb wojska.



PPTF

Polska Platforma Technologiczna Fotoniki

Polska Platforma Technologiczna Fotoniki

Polska Platforma Technologiczna Fotoniki (w skrócie PPTF) powstała w dniu 27 lutego 2013 roku w siedzibie PCO S.A. Powstanie platformy było wspólnym przedsięwzięciem przedsiębiorstw, stowarzyszeń, wyższych uczelni oraz instytutów badawczych działających w Polsce w obszarze fotoniki, które wpisywało się w podejście Unii Europejskiej wobec najbardziej innowacyjnych obszarów gospodarki w Europie.

Inicjatywa UE w zakresie budowy europejskich platform technologicznych służy osiągnięciu znacznych efektów wzrostu gospodarczego poprzez inicjowanie i wdrażanie działań innowacyjnych w partnerstwie publiczno-prywatnym.

Stawiając czoło wyzwaniom naukowo-technicznym, nakreślonym w Strategii Europa 2020 i w polskich dokumentach strategicznych dotyczących rozwoju kraju, fotonika jest obecnie jedną z kluczowych technologii UE.

PPTF ma charakter otwarty, w każdej chwili mogą przystąpić do niej nowi członkowie. Członkami PPTF mogą być jednostki organizacyjne, które prowadzą działalność naukową, gospodarczą lub będące organizacjami rządowymi, samorządowymi lub pozarządowymi związanymi z fotoniką lub deklarującymi działalność na rzecz rozwoju fotoniki w Polsce.





Wojskowa Akademia Techniczna

Wojskowa Akademia Techniczna powołana ustawą z 1951 roku, jest publiczną uczelnią akademicką nadzorowaną przez ministra obrony narodowej. Jako otwarty uniwersytet techniczny służy Siłom Zbrojnym, nauce, gospodarce i społeczeństwu poprzez kształcenie podchorążych i studentów, rozwój kadry naukowo-dydaktycznej oraz prowadzenie badań naukowych i prac rozwojowych w obszarach nauk ścisłych, technicznych i społecznych, a w szczególności w zakresie techniki wojskowej

i technologii bezpieczeństwa. Współpracuje z uczelniami akademickimi w kraju i za granicą. W myśl nadrzędnej dewizy: Omnia pro Patria Akademia kontynuuje chlubne tradycje technicznych szkół wojskowych: Szkoły Rycerskiej, Szkoły Głównej Artylerii i Inżynierii oraz Wyższej Szkoły Inżynierii Wojskowej. Przygotowuje przyszłe kadry inżynierskie, przekazuje wiedzę, kształtuje umiejętności i doskonali kompetencje na najwyższym poziomie, ucząc jednocześnie patriotyzmu i odpowiedzialności za Ojczyznę.



Politechnika Warszawska

Politechnika Warszawska – tradycja Politechniki Warszawskiej – największej i najstarszej uczelni technicznej w Polsce – sięga początków XIX wieku. Za datę powstania szkolnictwa technicznego w Warszawie przyjmuje się rok 1826, w którym została otwarta Szkoła Przygotowawcza do studiów technicznych. Inicjatorem powstania szkoły i autorem programu nauczania był działający w Komisji Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego Stanisław Staszic – wszech-

stronny uczyony i działacz oświaty. Na Politechnice Warszawskiej zgromadzony jest największy w Polsce potencjał naukowo-badawczy w dziedzinie nauk technicznych. Tu powstaje największa liczba liczących się w kraju i za granicą opracowań naukowych. O randze Politechniki Warszawskiej świadczą liczne umowy o współpracy z innymi uczelniami, wymiana kadry i studentów oraz wspólne programy badawcze.





Komitety konferencji

Komitet honorowy

1. płk dr hab. inż. Sławomir Augustyn (Inspektorat Implementacji Innowacyjnych Technologii Obronnych)
2. płk dr inż. Karol Dymanowski (Departament Polityki Zbrojeniowej)
3. płk dr hab. inż. Tadeusz Szczurek (Wojskowa Akademia Techniczna)
4. prof. dr hab. inż. Jan Szmidt (Politechnika Warszawska)
5. Błażej Wojnicz (PGZ S.A.)

Komitet naukowy

1. prof. dr hab. inż. Krzysztof Chrzanowski (Inframet)
2. dr hab. inż. Łukasz Dziuda (WIML)
3. dr Jacek Galas (Instytut Optyki Stosowanej im. Profesora Maksymiliana Pluty)
4. mgr inż. Krzysztof Gęborski (Smarttech sp. z o.o.)
5. prof. dr hab. inż. Andrzej Jeleński (Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych)
6. dr Zbigniew Karkuszeński (Instytut Fotonowy sp. z o.o.)
7. płk dr inż. Krzysztof Kopczyński (Wojskowa Akademia Techniczna)
8. płk dr Marek Kozłowski (Inspektorat Uzbrojenia)
9. Mariusz Krawczak (PCO S.A.)
10. prof. dr hab. inż. Małgorzata Kujawińska (Politechnika Warszawska)
11. dr inż. Tomasz Mirosław (PCO S.A.)
12. Stanisław Natkański (PCO S.A.)
13. dr Adam Piotrowski (VIGO System S.A.)
14. dr hab. inż. Roman Polak (PCO S.A.)



15. prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk (Politechnika Warszawska)
16. Jerzy Wiśnioch (PCO S.A.)
17. prof. dr hab. inż. Tomasz Woliński (Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne)

Komitet organizacyjny

Dział Komunikacji i PR, PCO S.A.

1. Paulina Denis-Dyoniziak – Przewodniczący
2. Anna Jabłońska
3. Piotr Ciszewski





Patroni konferencji

Patronat

Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Patronat medialny

Polska Zbrojna





Program III Konferencji Optoelektronicznej „Optoelektronika ważnym elementem strategii zrównoważonego rozwoju Państwa.”*

8–9 Listopad 2017, Hotel Windsor Jachranka, Serock

Dzień I

„Oczekiwania i możliwości rozwoju optoelektronicznych systemów
dla bezpieczeństwa Państwa.”

12:00 – 14:00 Rejestracja uczestników

12:30 – 14:00 Lunch

14:00 – 14:15 Wystąpienia otwierające (15 min)

- dr inż. Ryszard Kardasz – Prezes Zarządu PCO S.A.,
Członek Zarządu ZP PPTF – 3 min
- Jego Magnificencja Rektor, prof. dr hab. inż. Jan Szmidt – Politechnika
Warszawska, Przewodniczący Rady Naukowej PCO S.A. – 3 min
- Jego Magnificencja Rektor-Komendant płk dr hab. inż. Tadeusz Szczurek,
prof. WAT – Wojskowa Akademia Techniczna – 3 min
- dr Adam Piotrowski Prezes Zarządu VIGO System S.A.,
Prezes ZP PPTF – 3 min

14:15 – 15:15 Sesja I: Oczekiwania MON wobec polskiego przemysłu optoelektronicznego (1 godz.)

- „*Plany i oczekiwania MON w kontekście polskiego przemysłu optoelektronicznego*”
płk dr inż. Mariusz Kołodziejczyk, Zastępca Szefa Oddziału Analiz
i Programowania, Departament Polityki Zbrojeniowej MON – 10 min
 - Pytania – 2 min
- „*Miejsce Inspektoratu Uzbrojenia w procesie pozyskiwania sprzętu
optoelektronicznego dla SZ RP. Wybrane aspekty formalno-prawne.*”
płk dr Marek Kozłowski, Zastępca Szefa Szefostwa Uzbrojenia,
Inspektorat Uzbrojenia – 10 min
 - Pytania – 2 min
- „*Oczekiwania i możliwości rozwoju systemów optoelektronicznych*”
płk dr hab. inż. Sławomir Augustyn, Szef Inspektoratu Implementacji
Innowacyjnych Technologii Obronnych – 10 min
 - Pytania – 2 min
- Przedstawiciel JW. GROM – 10 min*
 - Pytania – 2 min

15:15 – 15:45 Przerwa kawowa (30 min)



15:45 – 16:45 Sesja II: Możliwości polskiego przemysłu optoelektronicznego (1 godz.)

- „Inżynieria systemów”
Zbigniew Jasiołek, Dyrektor d/s Inżynierii Systemów PCO S.A. – 10 min
 - Pytania – 2 min
- płk dr inż. Jacek Borkowski, Dyrektor Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia 10 min
 - Pytania – 2 min
- dr inż. Wojciech Gruszecki, Zakłady Mechaniczne „Tarnów” S.A. – 10 min
 - Pytania – 2 min
- płk dr inż. Krzysztof Kopczyński, Dyrektor Instytutu Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna – 10 min
 - Pytania – 2 min

16:45 – 17:15 Prezentacja oferty polskiego przemysłu oraz nauki w obszarze optoelektroniki (30 min)

17:15 – 18:30 Panel dyskusyjny pt. „Wyzwania dla optoelektroniki wobec współczesnych zagrożeń bezpieczeństwa Polski i świata.” (1 godz. 15 min)

- Panel prowadzi płk dr inż. Krzysztof Kopczyński, Dyrektor Instytutu Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna
 - dr Adam Piotrowski, Prezes Zarządu VIGO System S.A., Prezes ZP PPTF
 - płk prof. dr hab. Stanisław Kowalkowski – Akademia Sztuki Wojennej
 - Adam Bartosiewicz – Wiceprezes Zarządu WB Electronics
 - prof. nzw. dr hab. inż. Robert Głębocki – Politechnika Warszawska
 - Przedstawiciel PCO S.A.*

18:30 – 19:00 czas wolny

19:00 Uroczysta kolacja

20:30 – 00:00 Czas wolny w Klubie Akwarium

**Dzień II
„Optoelektronika kreatorem nowej rzeczywistości”**

7:00 – 08:30 Śniadanie

08:30 – 09:10 Sesja I Wyzwania kosmosu wobec polskiej optoelektroniki cz. 1 (40 min)

- „Optoelektroniczny system satelitarnej obserwacji Ziemi kołem zamachowym rozwoju polskiego przemysłu zbrojeniowego”
dr Michał Wierciński PGZ S.A. – 10 min
 - Pytania – 2 min
- ppłk Marcin Gałuszkiewicz, Polska Agencja Kosmiczna – 10 min
 - Pytania – 2 min
- „Kierunki rozwoju systemów i podsystemów optoelektronicznych w programach Europejskiej Agencji Kosmicznej oraz Komisji Europejskiej HORYZONT 2020 program SPACE”
prof. dr hab. inż. Mirosław Rataj, Centrum Badań Kosmicznych – 10 min
 - Pytania – 2 min



09:10 – 09:20 Przerwa kawowa (10 min)

09:20 – 10:00 Sesja I Wyzwania kosmosu wobec polskiej optoelektroniki cz. 2 (40 min)

- „*Aparatura kontrolno-pomiarowa do badań satelitarnych optoelektronicznych systemów obserwacyjnych.*”
prof. dr hab. inż. Krzysztof Chrzanowski Inframet – 10 min
 - Pytania – 2 min
- „*System asopek – budowanie świadomości sytuacyjnej w kosmosie*”
dr inż. Jerzy Łukasiewicz Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych – 10 min
 - Pytania – 2 min
- Grzegorz Brona, Prezes Zarządu Creotech Instruments S.A. – 10 min
 - Pytania – 2 min

10:00 – 10:15 Przerwa kawowa (15 min)

10:15 – 10:30 Związek Pracodawców Polska Platforma Technologiczna Fotoniki – nowe otwarcie, nowa forma działalności, plany na przyszłość. (15 min)

- dr Adam Piotrowski, Prezes Zarządu VIGO System S.A., Prezes ZP PPTF,
- prof. dr hab. inż. Tomasz Woliński, Prezes Polskiego Stowarzyszenia Fotonicznego, Członek Zarządu ZP PPTF,
- prof. dr hab. inż. Małgorzata Kujawińska, Politechnika Warszawska, EPT Photonics21, ZP PPTF – 10 min

10:30 – 11:30 Sesja II Przenikanie optoelektroniki do wszystkich dziedzin życia cz.1 (1 godz.)

- „*Innowacyjne rozwiązania fotoniczne w przemyśle*”
Małgorzata Kuklińska Polskie Centrum Fotoniki i Światłowodów – 10 min
 - Pytania – 2 min
- „*Optoelektronika azotkowa – nowe aplikacje, nowe szanse, z perspektywy firmy TopGaN*”
Krzysztof Węgrzyn TopGaN, Spółka z o.o. – 10 min
 - Pytania – 2 min
- „*Własności termooptyczne powłok ar otrzymywanych metodami próżniowymi, SOL-GEL oraz CVD*”
dr hab. Janusz Jaglarz Politechnika Krakowska – 10 min
 - Pytania – 2 min
- „*Wysokowydajne laserowe źródła światła dla zastosowań wojskowych i cywilnych*”
dr inż. Anna Kozłowska Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych – 10 min
 - Pytania – 2 min

11:30 – 11:45 Przerwa kawowa (15 min)

11:45 – 12:45 Sesja II Przenikanie optoelektroniki do wszystkich dziedzin życia cz.2 (1 godz.)

- „*Technologie w CRW Telesystem Mesko*”
Arkadiusz Swat CRW Telesystem Mesko – 10 min
 - Pytania – 2 min
- „*Laserowy analizator GasEye HCHO – pierwszy system do ciągłego pomiaru emisji formaldehydu z procesów przemysłowych do atmosfery*”
Mateusz Straszewski Airoptic Sp. z o.o. – 10 min
 - Pytania – 2 min



- „Optymalizacja obszarów aktywnych międzypasmowych laserów kaskadowych”
dr Marcin Motyka Politechnika Wrocławska – 10 min
 - Pytania – 2 min
- „Urządzenia optoelektroniczne w platformach bezzałogowych i autonomicznych”
dr inż. Tomasz Mirosław – Politechnika Warszawska – 10 min
 - Pytania – 2 min

12:45 Oficjalne zakończenie Konferencji

- dr inż. Ryszard Kardasz – Prezes Zarządu PCO S.A., Członek Zarządu ZP PPTF

12:45 – 14:00 Lunch

do 15:00 Wymeldowanie uczestników z pokoi hotelowych

* Stan programu na dzień 25.10.2017 r. Organizator zastrzega sobie prawo zmian w programie.





Inżynieria systemów

Zbigniew Jasiołek, Dyrektor ds. Inżynierii Systemów, PCO S.A.

Wstęp

Aby wpisać się w tematykę Sesji tj. „Możliwości polskiego przemysłu optoelektronicznego”, autor postanowił spojrzeć na te możliwości z konkretnej perspektywy i zilustrować omawiane tezy konkretnymi przykładami, czerpanymi z własnego, bardzo różnorodnego, doświadczenia zawodowego, w dużej części informatycznego.

Polski przemysł optoelektroniczny nie jest wyjątkiem wśród innych dziedzin przemysłowych. Doświadcza tych samych procesów, trendów, zjawisk jak inne branże. Ciągły rozwój technologii, ciągły wzrost konkurencyjności, ciągle definiowane na nowo paradygmaty (Przemysł 4.0!), ciągle wzrastająca komplikacja wyrobów, a co najważniejsze – ciągły wzrost oczekiwań klientów.

Każdy z wymienionych aspektów mógłby być przedmiotem nie tylko kolejnej refleksji, ale od-

dzielnej konferencji. Autor skupia się na jednej perspektywie. Chodzi o zdolność przemysłu optoelektronicznego do sprostania oczekiwaniom klienta, zagwarantowanie odpowiednich, coraz bardziej rozbudowanych, funkcji produktom optoelektronicznym, funkcji, coraz bardziej złożonych, wspartych coraz wyższymi osiągnięciami, realizowanymi m. in. narzędziami informatycznymi, funkcji możliwych do realizacji tylko przez działające w rozbudowanym wieloelementowym otoczeniu produkty o konstrukcji złożonej zarówno pod względem architektury, ale również – a może przede wszystkim – z powodu konieczności użycia wielu dziedzin inżynierii.

Krótko mówiąc chodzi o zdolność przemysłu optoelektronicznego do współtworzenia złożonych systemów uzbrojenia i sprostania konkurencji światowej.

Inżynieria systemów

Mówimy o przemyśle optoelektronicznym, a w kontekście głównej aktywności PCO i PGZ, o systemach uzbrojenia. Rozwój nauki i techniki spowodował, iż większość produktów optoelektronicznych to złożone układy z komponentami optycznymi, elektronicznymi, mechatronicznymi, informatycznymi. Same w sobie są one złożonymi systemami, a równocześnie każdy z nich może być elementem jeszcze bardziej złożonego systemu – systemu systemów. Kluczowe ich funkcje są możliwe do osiągnięcia poprzez zastosowanie komponentów zaawansowanej teleinformatyki.

Przykładowo, systemem jest obiektyw o zmiennej ogniskowej. Soczewki posadowione są w złożonych elementach mechanicznych; część z nich jest ruchoma; ruchem za pomocą mikrosilników oraz całością realizowanych funkcji steruje oprogramowanie. Należy jeszcze wspomnieć o interfejsach do systemów zewnętrznych, układach

pomocniczych jak układy kompensacji temperaturowej, stabilizacji, zasilania, nadzoru pracy układu itd.

Obiektyw współpracuje przeważnie z elementem detekcji i przetwarzania obrazu o nie mniejszej, a wręcz większej złożoności. System tych dwóch elementów funkcjonuje przeważnie jako element jeszcze większego systemu, który wykorzystuje odebrany i wstępnie przetworzony obraz. Ten większy system to np. głowica optoelektroniczna. Głowica może łączyć więcej różnych sensorów o podobnej do przykładowego układu obiektyw-kamera złożoności. Dane pozyskiwane z sensorów poddawane są dalszemu przetwarzaniu w systemie informatycznym i wykorzystywane do wyliczania nastaw dla układów nadążnych, sterowania, agregacji na wyższych poziomach przetwarzania i analizy informacji, prezentacji operatorowi itp.



Wzrastająca wykładniczo złożoność systemów powoduje, że posiadanie nawet wybitnych kompetencji dziedzinowych jest daleko niewystarczające. Konieczne jest stosowanie specjalnego podejścia koniecznego do „zapanowania” nad systemem. Projektowanie, konstruowanie i wdrażanie takich systemów wymaga zaangażowania jednocześnie specjalistów, a właściwie zespołów specjalistów-inżynierów z takich dziedzin jak optyka, elektronika, mechatronika, informatyka, inżynieria materiałowa i co szczególnie ważne inżynierów o wąskich specjalnościach takich jak wibroizolacja, projektowanie FPGA, przetwarzanie obrazów.

Z definicji więc powstaje imperatyw orkiestracji procesów projektowych, zarówno w wymiarze technicznym jak i zarządczym. Nie mniej ważnym zagadnieniem jest problem skali (liczebności) wymagań jakie są stawiane dla systemów a także liczebności interfejsów – zależności pomiędzy elementami systemu, co wymóg właściwej orkiestracji jeszcze bardziej uwypukla.

Użytkownik ocenia system w pierwszej kolejności przez pryzmat spełnienia jego wymagań a nie przez nawet najwyższą doskonałość techniczną jego elementów.

W projektowaniu i konstruowaniu złożonych systemów definiowanie wymagań odbywa się, podobnie jak w inżynierii oprogramowania, poprzez definiowanie funkcji systemu. W kolejnych krokach dochodzi do definiowania parametrów fizycznych, środowiskowych, osiągow itp. Aby skutecznie komunikować się z użytkownikiem i zamawiającym system, niezbędne jest więc stosowanie narzędzi i metod, które będą tu odpowiednio skuteczne. Metody takie wypracował PRZEMYSŁ informatyczny. Współczesne syste-

my finansowe, telekomunikacyjne, sterowania ruchem lotniczym mają złożoność kodu liczoną w dziesiątkach milionów linii kodu a same korzystają z infrastruktury programistycznej o nie mniejszej złożoności. Wytworzenie tych systemów nie byłoby możliwe bez specjalnych metodyk i narzędzi oraz ich bezwzględnego przestrzegania.

Autor stawia tezę: bez przyjęcia metod i narzędzi inżynierii systemów w polskim przemyśle w ogóle, a w szczególności, w polskim przemyśle optoelektronicznym, nie osiągniemy zdolności do skutecznego współzawodniczenia z rozwiniętym przemysłem zachodu i Azji.

Największe korporacje światowe i organizacje takie jak NASA już w latach 60-tych zrozumiały ten problem i wypracowały podejście nazwane inżynierią systemów. Wszyscy globalni dostawcy złożonych systemów uzbrojenia posługują się w ich opracowywaniu, rozwoju i produkcji metodami inżynierii systemów. Opracowane są szczegółowe frameworki i wzorce architektoniczne dla poszczególnych dziedzin przemysłu zbrojeniowego. Własne frameworki posiadają oczywiście wszystkie znaczące firmy informatyczne (HP, Oracle, IBM, Asseco), ale co nas najbardziej tu interesuje: Boening, Raytheon, Rheinmetal. Mało: takie frameworki opracowało również DOD. Podejścia te zostały wypracowane w długoletniej praktyce i doświadczeniu, ale skuteczność ich stosowania gwarantuje bezwzględnie stosowany governance, który bazuje na zdefiniowanych ściśle procesach zarządzania.

Narzędzia i metody inżynierii systemów nie są jakąś krótkotrwałą modą czy techniczną religią: są codziennością, kością, krwiobiegiem znakomitej większości efektywnych organizacji.

Kluczowe zagadnienia inżynierii systemów

W każdym nowoczesnym systemie jest element oprogramowania. Ze swojej niematerialnej istoty jego konstrukcja jest najbardziej elastyczna i podatna na zmiany. Jeżeli jednak nie stosuje się konsekwentnie analogicznych metodyk wytwórczych w odniesieniu do pozostałych elementów systemów powstaje naturalne napięcie i źródło problemów. Kluczowe zagadnienia, które są fundamentalne w inżynierii optoelektronicznych

systemów uzbrojenia to:

- zarządzanie wymaganiami,
- zarządzanie architekturą,
- zarządzanie konfiguracją,

Niezbędne elementy skutecznego stosowania inżynierii systemów:

- ład korporacyjny – zakomunikowany i stosowany,
- najlepsze praktyki – opisane i pielęgnowane,



- zarządzanie projektami – wykorzystywane dla zapewnienia skuteczności i minimalizowania kosztów działania,
- zarządzanie wiedzą – jako element uświadomionej kultury organizacyjnej, gwarantujący

ciągłość działania organizacji i zapewniające większą efektywność ponoszonych inwestycji,

- ludzie, ludzie, ludzie...

Kompatybilność instytucjonalna

Część, jeżeli nie większość, zamówień złożonych systemów uzbrojenia pozyskiwanych w Polsce przez MON będzie lokowana u graczy globalnych, którzy z natury rzeczy będą wykorzystywać swoją dominującą pozycję w sytuacji jakiegokolwiek słabości partnerów polskich. Bez zbudowania kompatybilności metodologicznej, współdziałanie może być niemożliwe lub ograniczone. Może to skutkować zepchnięciem polskich partnerów do roli drugorzędnej, poddostawców itp. Powinniśmy naśladować najlepszych – najlepiej poprzez współdziałanie, ale musimy mieć determinację do wdrażania najlepszych praktyk również samodzielnie, bo po prostu to popłaca.

Polski przemysł powinien aspirować do pozycji współtwórców, czyli współautorów koncepcji,

architektury, oprogramowania. Dopiero wówczas możliwe będzie stwierdzenie, że jesteśmy rzeczywistymi partnerami w opracowywaniu i produkcji uzbrojenia.

W systemach, które są nam najbardziej potrzebne, role w większości są rozpisane i karty rozdane. Tu możliwe jest tylko rozwijanie elementów systemów, ewentualna absorpcja wiedzy o architekturze, technologii itp.

Ale... odwagi! Stawiamy jako niezbędny warunek nasz współudział w tworzeniu NOWYCH systemów. Nawet skromny, ale współudział.





Aparatura do badań optoelektronicznych systemów obserwacyjnych dla zastosowań kosmicznych

Krzysztof Chrzanowski, INFRAMET, Graniczna 24, Kwirynów, 05-082 Stare Babice

Streszczenie

W referacie zaprezentowano możliwości firmy Inframet w zakresie produkcji aparatury kontrolno-pomiarowej do badań optoelektronicznych systemów obserwacyjnych, przeznaczonych do zastosowań kosmicznych, oraz wybrane doświadczenia uzyskane w trakcie realizacji zamówień na wyżej wymienioną aparaturę. Zamówienia o których mowa były realizowane na potrzeby

programów kosmicznych realizowanych w Singapurze, Francji, Szwecji, Chinach, Niemczech, USA, Indiach, Arabii Saudyjskiej oraz Turcji.

Słowa kluczowe: aparatura kontrolno-pomiarowa, obserwacyjne systemy optoelektroniczne, obserwacja satelitarna, metrologia

Wstęp

Inframet jest producentem specjalistycznej aparatury kontrolno-pomiarowej do badań optoelektronicznych urządzeń obserwacyjnych (kamery termowizyjne, kamery VIS/NIR, przyrządy noktowizyjne, kamery SWIR, wielosensorowe urządzenia obserwacyjne, kamery THz, kamery UV, dalmierze laserowe, oświetlacze laserowe, celowniki optyczne) oraz głównych bloków ww. urządzeń (wzmacniacze obrazu, sensory obrazujące IR FPA/CCD/CMOS, detektory dyskretne, obiektywy optyczne). Produkowana aparatura umożliwia pomiar szeregu parametrów optoelektronicznych urządzeń obserwacyjnych i ich bloków, których precyzyjne określenie jest wysoce przydatne na wszystkich etapach życia ww. urządzeń: konstrukcja, produkcja, testy kwalifikacyjne, serwis czy naprawa. Firma jest jednym ze światowych liderów i eksportuje produkowaną aparaturę do ponad 40 krajów świata.

Inframet jest producentem aparatury kontrolno-pomiarowej ogólnego przeznaczenia, ale firma dostarczała również sprzęt pomiarowy na potrzeby zagranicznych programów kosmicznych.

W zasadzie prawie cała aparatura kontrolno-pomiarowa do badań optoelektronicznych urządzeń

obserwacyjnych i modułów tych urządzeń produkowana przez Inframet może być pośrednio wykorzystana dla potrzeb sektora kosmicznego. Na przykład sprzęt do badań sensorów obrazujących może być wykorzystany do badań sensorów obrazujących przeznaczonych do konstrukcji kamer do zastosowań w kosmosie. Ten artykuł ogranicza się jednak do przypadków bezpośredniego wykorzystania przez sektor kosmiczny: aparatura wykorzystana do badań systemów obserwacyjnych (lub bloków tych systemów) przeznaczonych do pracy w kosmosie.

Dotychczasowa rola Inframetu w realizacji zagranicznych programów kosmicznych ograniczała się do roli poddostawcy aparatury kontrolno-pomiarowej, z której są budowane specjalistyczne systemy pomiarowe do badań optoelektronicznych systemów obserwacyjnych przeznaczonych do pracy w kosmosie. W tym charakterze Inframet brał udział w realizacji programów kosmicznych w szeregu krajów: Singapur, Francja, Szwecja, Chiny, Niemcy, USA, Indie, Arabia Saudyjska oraz Turcja.

Przeznaczenie aparatury kupowanej od Inframetu do badań sprzętu do zastosowań kosmicznych



często nie jest określone w kontrakcie. Ww. lista państw może być podzielona na dwie części. Zamówienia kiedy poinformowano nas o przeznaczeniu kupowanego sprzętu pomiarowego oraz zamówienia kiedy przeznaczenie nie było określone. W tym drugim przypadku określono przypuszczal-

ne zastosowanie opierając się na kilku przesłankach: nazwa klienta która ma ewidentny związek z kosmosem (np. Space Center, Satellite Institute), wymaganie że wybrane bloki mają pracować w warunkach próżni, oraz ekstremalne wymagania na temperaturę pracy poniżej -50°C .

Zrealizowane dostawy

Lista zrealizowanych dostaw dla sektora kosmicznego:

1. Zestaw TVT150SI do badań kamer VIS-NIR
2. Projektor obrazu IM250
3. Zestaw UVIR110 do badań kamer UV-SWIR
4. Zestaw TVT-L do badań liniowych kamer VIS-NIR
5. Zestaw ST200AR do badań kamer SWIR
6. Zestaw VSB do pracy w komorze próżniowej
7. Wielkogabarytowe ciało czarne TCB-20D
8. Wzorcowe źródło światła BAL100D
9. Zestaw OTEC do badań wielkogabarytowego obiektywu VIS-NIR

Fotografie ww. produktów dostarczanych zaprezentowano poniżej.



Rys.1. Zestaw TVT150SI



Rys. 4. Zestaw TVT-L



Rys.2. Projektor obrazu IM250



Rys. 5. Zestaw ST200



Rys. 3. Zestaw UVIR 110

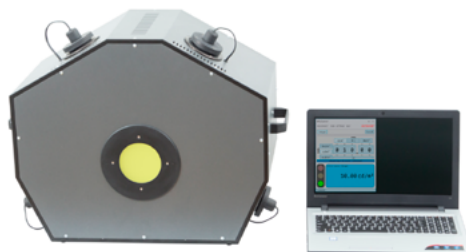


Rys. 6. Zestaw VSB





Rys. 7. Ciało czarne TCB-20D



Rys. 8. Źródło światła BAL100D



Rys. 9. Zestaw OTEC do badań wielkogabarytowych obiektów optycznych

Zestaw TVT150SI to w zasadzie typowy zestaw serii TVT do badań kamer zakresu widzialnego i bliskiej podczerwieni. Twierdzenie o przeznaczeniu tego zestawu do badań systemów kosmicznych jest lekko naciągane, ponieważ został on wykorzystany do badań dalekozasięgowej kamery VIS-NIR przeznaczonej do zamontowania na balonie który miał się unieść na wysokość 40km (prawie przestrzeń kosmiczna).

Projektor obrazu IM250 to nietypowy projektor wykonany według zamówienia klienta. System ten zapewnia projekcję obrazu kołowego obiektu o zmiennej intensywności świecenia oraz o zmiennym położeniu kątowym. Zamawiający przekazał, że projektor zostanie wykorzystany do badań układu wizyjnego robota, który ma polecieć na Marsa, ale dokładna metoda badań robota z wykorzystaniem projektora IM250 nie jest znana.

UVIR 110 to zestaw kontrolno pomiarowy do badań szwedzkiego systemu obserwacyjnego satelitarnej MATS pracującego w zakresie UV-NIR. Twierdzenie o budowie zestawu do badań systemu obserwacyjnego satelitarnej brzmi dumnie, ale w rzeczywistości zamówienie nie było zbyt trudne. MATS to system obserwacji satelitarnej przeznaczony do badań atmosfery, kiedy badane obiekty

są duże i wymagania na jakość obrazu generowanego przez system obserwacyjny są dość niskie.

Zestaw TVT-L to szerokopasmowe kalibrowane źródło promieniowania VIS-NIR zintegrowane z tarczą obrotową z zamontowanym zestawem testów. Źródło charakteryzuje się bardzo wysoką dynamiką regulacji intensywności światła (>109) co pozwala na symulację zarówno warunków bardzo ciemnej nocy w bezdrzewnych górach jak i bardzo jasnego dnia na piaszczystej pustyni. Ww. bloki tworzą generator wzorcowych obrazów, który po integracji z dodatkowymi blokami klienta może być wykorzystany do badań linijkowych kamer VIS-NIR o rozdzielczości obrazu do 10 000 pikseli.

Zestaw ST200AR to w zasadzie klasyczny zestaw serii ST do badań modnych ostatnio kamer SWIR o niskiej wrażliwości na trudne warunki atmosferyczne. Stosunkowo duży kolimator o aperturze 200mm zapewnia możliwość prowadzenia badań kamer daleko-zasięgowych.

Zestaw VSB to wzorcowy promiennik promieniowania termalnego VSB-2D zintegrowany z tarczą obrotową z zamontowanym zestawem testów. Zestaw VSB jest przystosowany do pracy



w komorze próżniowej w ekstremalnych temperaturach spotykanych w przestrzeni kosmicznej.

TCB-20D to wzorcowe niskotemperaturowe ciało czarne o ekstremalnie dużej powierzchni promiennika 500x500mm (typowe rozmiary do 150x150mm). TCB-20D pozwala na potencjalne badania szumowe kamer termowizyjnych z optyką o średnicy do ok 450mm. Inframet jest szczególnie dumny z dostawy TCB-20D, ponieważ otrzymano zamówienie od amerykańskiej firmy sektora kosmicznego pomimo konkurencji lokalnych firm amerykańskich.

BAL100D to kalibrowane źródło promieniowania VIS-SWIR. Źródło charakteryzuje się bar-

dzo wysoką dynamiką regulacji intensywności światła (109), wzorcowym spektrum o temperaturze barwowej 2850K w zakresie widma do 400nm do 1700nm, oraz dużym lambertowskim emitorem o średnicy 100mm.

OTEC to zestaw do badań wielkogabarytowych obiektywów optycznych zakresu VIS-NIR o średnicy do 300mm i ogniskowej do 2000 mm. Zestaw umożliwia pomiar krytycznych parametrów obiektywów takich jak: rozdzielczość, MTF, dystorsja, ogniskowa. OTEC stanowi dobre narzędzie do badań obiektywów optycznych zakresu VIS-NIR przeznaczonych do misji kosmicznych.

Potencjalne zamówienia

W bieżącym roku Inframet został zakwalifikowany do wąskiej grupy firm, z którymi indyjski instytut naukowy prowadzi rozmowy w sprawie dostawy zestawu kontrolno pomiarowego do badań wielkiego wielosensorowego systemu obserwacyjnego: kamera termowizyjna, kamera

VIS-NIR oraz wielopasmowa kamera zakresu VIS-SWIR. Średnica optyki wszystkich sensorów to 500mm. Przeznaczenie badanego systemu obserwacyjnego nie jest określone, ale jego konstrukcja jest zbliżona do konstrukcji dużych satelitarnych systemów obserwacyjnych.

Doświadczenia z kontaktów z klientami

Z punktu widzenia Inframetu jako producenta aparatury pomiarowej klient sektora kosmicznego to potencjalne kłopoty. W sektorze kosmicznym wszystko może być inaczej niż u zwykłego klienta: laboratorium ze stertami pyłu symulującego warunki marsjańskie i uszkadzającego optykę, elementy elektroniczne nie wytrzymujące warunków próżni lub ekstremalnie niskich temperatur, problemy z zastąpieniem chłodzenia powietrznego, powłoki malarskie z efektem odgazowania, silne pola elektromagnetyczne itd.

Co do doświadczeń w zakresie budowy optoelektronicznych systemów obserwacyjnych, które mogą być przydatne dla polskiego programu kosmicznego to jest ich niewiele. Klienci Inframetu zwykle dbają o to, aby dostawca aparatury pomiarowej dowiedział się jak najmniej na temat konstrukcji badanych systemów obserwacyjnych. Potencjalne wnioski:

1. Dobry projekt obiektywu optycznego, perfekcyjne wykonanie elementów optycznych i mechanicznych, ultra-precyzyjne pozycjone-

ry to za mało aby uzyskać dobrze działający obiektyw. Widzieliśmy obiektywy wykonane kosztem bardzo dużych środków finansowych, w których każdy z elementów mógł być przesuwany z dokładnością dziesiątek nanometrów, ale przy dużej liczbie stopni swobody nikt nie potrafił zjustować takiego obiektywu, tak aby potrafił generować wysokiej jakości obraz.

2. Poziom trudności w konstrukcji satelitarnego systemów obserwacyjnych silnie zależy od ilości kamer, ilości pasm widmowych, ale przede wszystkim od wymagań na zdolność rozpoznania szczegółów obserwowanej scenarii. Ta zdolność do rozpoznania szczegółów jest zwykle proporcjonalna do wymiarów optyki. Duże optoelektroniczne systemy obserwacyjne umożliwiające rozpoznanie niewielkich szczegółów scenarii ziemskiej w kilkunastu zakresach widmowych są ponad stokrotnie trudniejsze do wykonania niż małe systemy przeznaczone do obserwacji dużych obiektów: satelity meteorologiczne, ekologia itd.



3. Technicznie jest możliwa konstrukcja satelitar-
nego systemu obserwacyjnego zbudowanego
z wykorzystaniem zakupionych bloków: daleko-
zasięgowa kamera termowizyjna, dalekozasię-
gowa kamera VIS-NIR, kamera hiperspektralna
z przełączalnym pasmem. Takie bloki są do-
stępne na międzynarodowym rynku. Potencjal-
ny niedoceniany problem techniczny to zgranie
obrazów z poszczególnych kamer czy pasm
widmowych dla różnych pól widzenia kamer.
Spotkaliśmy przypadek, kiedy za późno zain-
teresowano się problemem i żadne softwerowe
korekty nie pomagały.
4. Warto dążyć do jak najszybszego przepro-
wadzenia badań zarówno bloków czy całego
systemu. Takie badania dostarczają wiedzy
o możliwych usterkach, które powinny być
jak najszybciej wyeliminowane. W przypadku
przeprowadzenia badań całego systemu tuż
przed misją może zabraknąć czasu na wpro-
wadzenie korekt.
5. Kraje azjatyckie rozwijają szybko swoje pro-
gramy kosmiczne. Inframet wie na temat tych
programów bardzo niewiele, ale nawet same
prezentowane publicznie przetargi na aparatu-
rę pomiarową wskazują na rozmach i szybkość
tych programów.

Ocena możliwości inframet

Teoretycznie jest możliwa udana konstrukcja
satelitarne systemu obserwacyjnego bez
stosowania żadnej aparatury pomiarowej do
weryfikacji zbudowanego systemu, ale ryzyko
niepowodzenia ewentualnej misji jest ogromne.
W tej sytuacji należy przyjąć tezę, że aparatura
kontrolno pomiarowa jest potrzebna do realizacji
programu polskiego satelity obserwacyjnego.

Zakup za granicą to proste rozwiązanie problemu
aparatury na potrzeby omawianego programu.
Przy tym wariantcie należy jednak pamiętać,
że realna wiedza z zakresu metrologii optoelektro-
nicznej pozostaje za granicą. Ten wariant był już
w kraju realizowany z miernym skutkiem.

Aparatura kontrolno pomiarowa na potrzeby
programu polskiego satelity obser-
wacyjnego może być też wytworzona w ramach
tego programu przez jednostki naukowe biorące
udział w tym programie. Tyle tylko, że koszt,
czas i ryzyko realizacji tego wariantu są znacznie
wyższe, niż w przypadku opracowania omawianej

aparatury przez doświadczoną komercyjną firmę,
jaką jest Inframet. Co do ryzyka to należy dodać,
że jest sensowne rozdzielenie prac na konstrukcję
systemu obserwacyjnego od prac nad weryfikacją
tego systemu. Połączenie takich prac grozi pozy-
tywnym wynikiem badań w warunkach ziem-
skich, ale negatywnym wynikiem realnej misji.

Inframet dostarczył na potrzeby zagranicznych
programów kosmicznych szereg zestawów kon-
trolno pomiarowych zaprezentowanych w tym ar-
tykule. Realne możliwości firmy w zakresie apa-
ratury kontrolno pomiarowej są jednak znacznie
większe. Firma jest w stanie opracować w aparatu-
rę kontrolno pomiarową do badań dowolnego
optoelektronicznego systemu obserwacyjnego do
zastosowań kosmicznych na konkurencyjnych
zasadach ekonomicznych. To nie jest gołosłow-
na obietnica, ale deklaracja możliwości oparta
na wieloletnich praktycznych doświadczeniach
zdobytych w serii zrealizowanych dostaw.





System asopek – budowanie świadomości sytuacyjnej w kosmosie

Andrzej Żyluk, Jerzy Łukasiewicz, Joanna Lubieniecka, Wiesław Sarna, Krzysztof Tchórznicki, Jerzy Kusiński, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa

Streszczenie

Posiadanie floty sztucznych satelitów wymusza konieczność zbudowania systemu, dzięki któremu możliwe będzie pozyskiwanie informacji na temat sytuacji panującej na orbicie okołoziemskiej (ang. Space Situation Awareness – SSA). Systemy takie budowane są albo jako aktywne systemy radarowe albo jako pasywne systemy optyczne. ASOPEK składa się z dwóch systemów optycznych (szerokokątnego oraz wąskokątnego) oraz oprogramowania umożliwiającego:

- wykrywanie sztucznych satelitów w polu widzenia systemu,

- identyfikację wykrytych obiektów,
- uaktualnianie bazy danych satelitów o obiekty nieznane,
- uaktualnianie orbit obserwowanych obiektów,
- dodawanie rekordów obrazowych.

System ASOPEK powstał w ramach projektu finansowanego przez NCBiR nr DOB-BIO7/25/02/2015

Słowa kluczowe: satelita, LEO, teleskop, SSA

Wstęp

Pozyskanie zdolności do obserwacji oraz śledzenia sztucznych satelitów Ziemi jest szczególnie istotne dla obronności i bezpieczeństwa państwa, szczególnie kiedy:

- planowane jest utworzenie własnej floty sztucznych satelitów (m.in. służących do optoelektronicznej obserwacji Ziemi)
- pojawia się konieczność wykrywania i identyfikacji obiektów, które „wymknęły się spod kontroli” i mogą stanowić różnorodne zagrożenie (niekontrolowany upadek na Ziemię, kolizję z innymi obiektami na orbicie)
- trzeba identyfikować satelity będące zagrożeniem wywiadowczym dla SZ RP

Systemy obserwacji obiektów na orbicie okołoziemskiej budowane są jako aktywne systemy radarowe lub pasywne systemy optyczne.

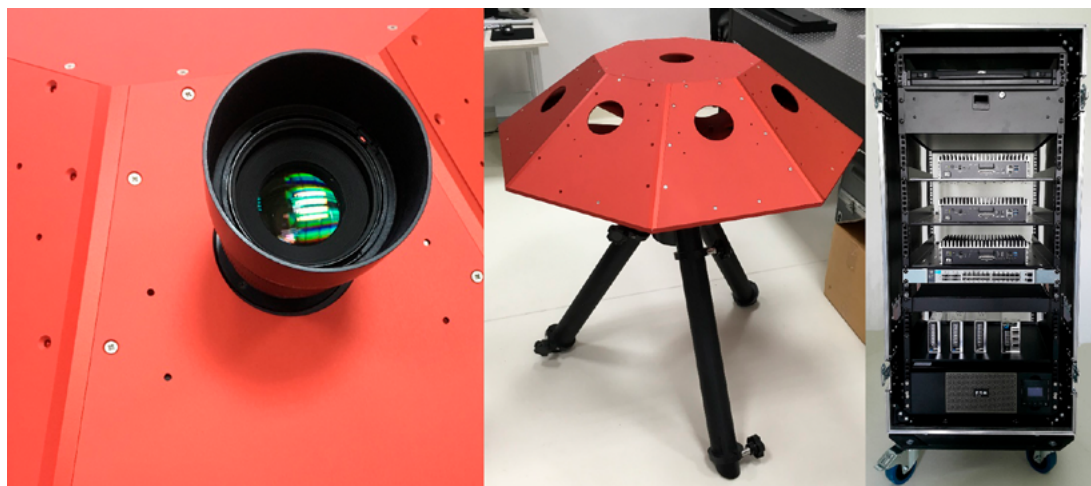
O ile systemy radarowe są z reguły systemami wąskokątnymi to systemy optyczne mogą być budowane również jako systemy szerokokątne lub systemy hybrydowe – zawierające komponent szeroko- oraz wąskokątny. Takim właśnie systemem jest opracowany w ramach projektu NCBiR nr DOB-BIO7/25/02/2015 system ASOPEK.

Komponent szerokokątny (WFOV)

Komponent szerokokątny jest teleskopem o kącie widzenia 120° zbudowanym w układzie „oka muchy” (ang. fly-eye) z dziewięciu mniejszych teleskopów, składających się z optyki o średnicy 50mm i chłodzonej kamery CCD o rozdzielczo-

ści 16 MPix. Kompletny komponent pokazano na rys. 1. Każda z kamer jest sterowana poprzez własny komputer, który służy również do analizy pozyskiwanego obrazu.





Rys. 1. Montaż mechaniczny dla teleskopu szerokokątnego WFOV – obok zamontowana kamera z obiektywem oraz szafa z systemem komputerów sterujących oraz serwerem czasu

Komponent wąskokątny (NFOV)

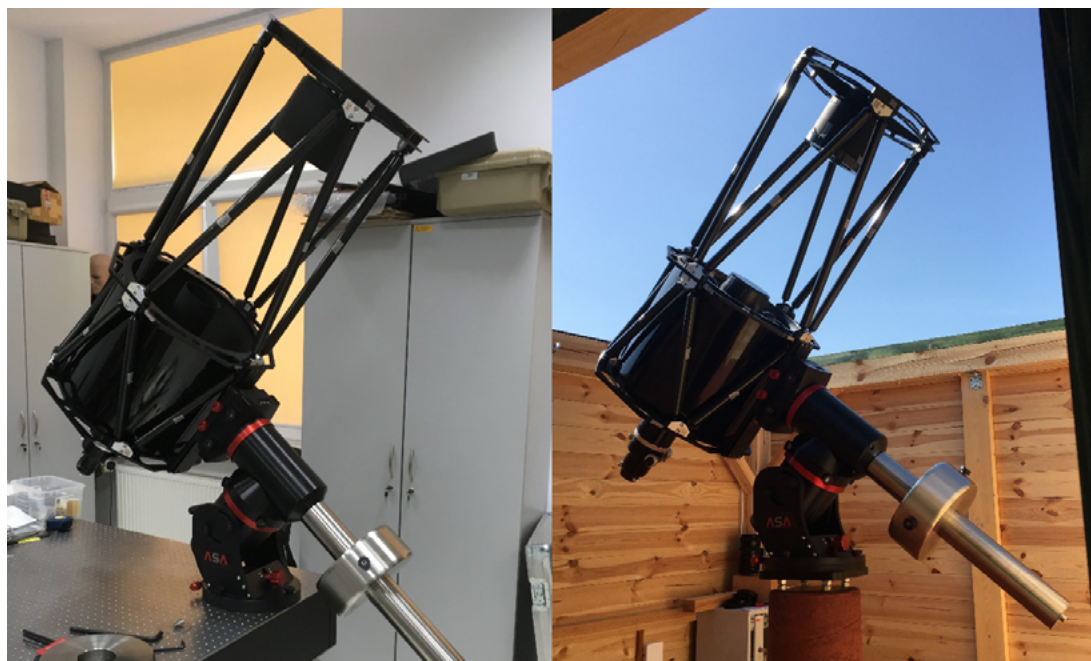
Komponent wąskokątny jest systemem składającym się z:

- teleskopu zwierciadlanego zbudowanego w układzie Richey-Chretienne'a (oba zwierciadła hiperboliczne) o średnicy zwierciadła głównego 0,4 m, wyposażonym w refrakcyjny układ „wypłaszczacza pola” (ang. field-flattner),
- szybkiej (ok. 1 klatki/s), wysokorozdzielczej (50 MPix), chłodzonej kamery CCD,

- komputera sterującego.

Komponent wąskokątny pokazano na rys. 2. Pole widzenia komponentu wąskokątnego wynosi ok. 1° .

Komputery sterujące komponentu szerokokątnego, wąskokątnego, serwer czasu, systemy zasilania umieszczono w jednej szafie typu rack, pokazanej również na rys. 1.



Rys. 2. Teleskop NFOV na stanowisku testowym: laboratoryjnym i polowym

Algorytmy oraz oprogramowanie sterujące i zbierające dane

Opracowanie algorytmów wyodrębniania śladów satelitów z obrazu

Algorytmy wyodrębniania śladów satelitów z obrazu oparto na rozwiązaniach wypracowanych w ramach projektu „Naziemnego systemu wykrywania i śledzenia obiektów na niskich orbitach okołoziemskich” finansowanego przez NCBiR w ramach projektu 0054/R/T00/2008/06,

m.in. dodano możliwość synchronizacji czasu z serwera czasu PTP za pomocą protokołu IEEE 1588–2008 PTPv2 z dokładnością mikrosekundową. Precyzyjna synchronizacja czasu była warunkiem koniecznym zapewnienia wymaganej precyzji określania pozycji satelitów.

Opracowanie algorytmów określenia położenia – obliczanie parametrów orbity

W procesie obliczania parametrów orbity wykorzystano następujące algorytmy opracowane w ramach projektu:

- algorytm wyszukiwania trajektorii,

- algorytm obliczania orbity optymalnej,
- algorytm rozpoznawania śladów.

Algorytm wyszukiwania trajektorii

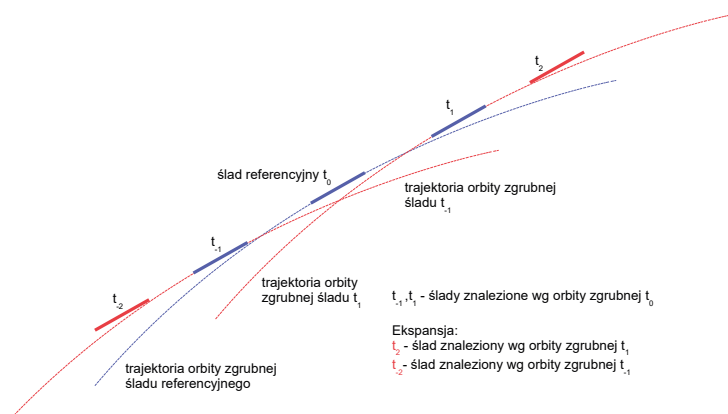
W celu wyznaczenia precyzyjnych parametrów orbity obserwowanego satelity konieczna jest znajomość jak największej liczby punktów (pozycja na niebie i czas) jego trajektorii zaobserwowanej przez podsystem WFOV w danej lokalizacji geograficznej. Podsystem WFOV gromadzi w bazie dane o zaobserwowanych śladach satelitów, które wymagają interpretacji czy dotyczą one przelotu tego samego satelity czy też różnych satelitów. Algorytm wyszukiwania trajektorii pozwala na przyporządkowanie zarejestrowanych śladów do przelotu jednego obiektu.

Operacja wyszukiwania trajektorii wykonywana jest w czterech etapach:

- Etap 1 polega na filtracji zgromadzonych danych w celu wstępnego ograniczenia liczby zareje-

strowanych śladów do śladów pochodzących z lokalizacji geograficznej śladu referencyjnego i zakresu czasu odpowiadającego rejestracji maksymalnie jednego przelotu.

- Etap 2 polega na obliczeniu parametrów orbity zgrubnej śladu referencyjnego i rozpoznaniu zarejestrowanych satelitów według parametrów tej orbity.
- Etap 3 polega na filtracji listy pod względem inklinacji wyznaczonej orbity zgrubnej. Odrzucane są ślady o różnicy inklinacji większej niż zadany parametr poszukiwania.
- Etap 4 polega na ekspansji listy śladów. Ekspansja polega na potraktowaniu każdego śladu należącego do tymczasowej listy jako śladu referencyjnego i wykonania dla niego operacji z etapu 2.



Rys. 3. Algorytm wyszukiwania trajektorii – ilustracja procesu ekspansji poszukiwania śladów



Algorytm obliczania orbity optymalnej

Celem procesu obliczania orbity optymalnej jest znalezienie takich parametrów orbity dla których błąd wyznaczenia trajektorii wyliczonej w stosunku do trajektorii obserwowanej jest minimalny. W skład trajektorii obserwowanej wchodzi lista śladów rozumiana jako pozycje satelity w horyzontalnym topocentrycznym układzie

współrzędnych w określonych momentach czasowych. W skład trajektorii wyliczonej wchodzi lista śladów rozumiana jako pozycje satelity w horyzontalnym topocentrycznym układzie współrzędnych wyliczone na podstawie parametrów orbity w tych samych momentach czasowych co ślady trajektorii obserwowanej.

Algorytm rozpoznawania śladów

Celem procesu rozpoznawania śladów jest powiązanie śladów satelitów zarejestrowanych przez podsystem WFOV z istniejącą bazą znanych satelitów.

Wynikiem operacji rozpoznawania jest utworzenie w bazie danych podsystemu WFOV powiązań rekordów zarejestrowanych śladów z rekordami bazy znanych satelitów.

Algorytm rozpoznawania śladów wykorzystywany jest także przez algorytm poszukiwania trajektorii.

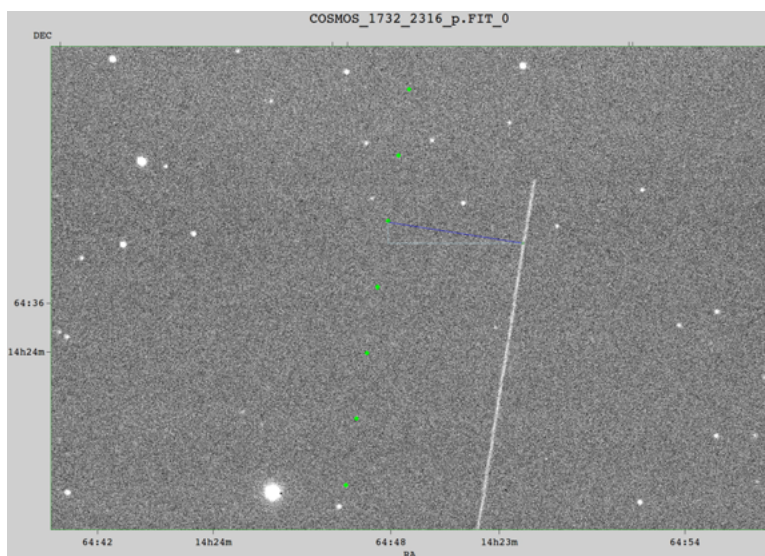
Operacja rozpoznawania śladu przebiega w trzech etapach:

- Etap 1 polega na wyszukaniu dla momentu rejestracji śladu najbliższej czasowo bazy znanych satelitów.
- Etap 2 polega na wyznaczeniu projekcji na sferze niebieskiej pozycji wszystkich widocznych znanych satelitów. Wyznaczone pary pozycji znanych satelitów są traktowane jako symulowane ślady.
- Etap 3 polega na porównaniu rozpoznawanego śladu z wygenerowanymi śladami znanych satelitów.

Wnioski

Opracowany system optyczny może być wartościowym elementem polskiego systemu świadomości kosmicznej (SSA).

Przeprowadzone testy poligonowe dowodzą, że system pracuje zgodnie

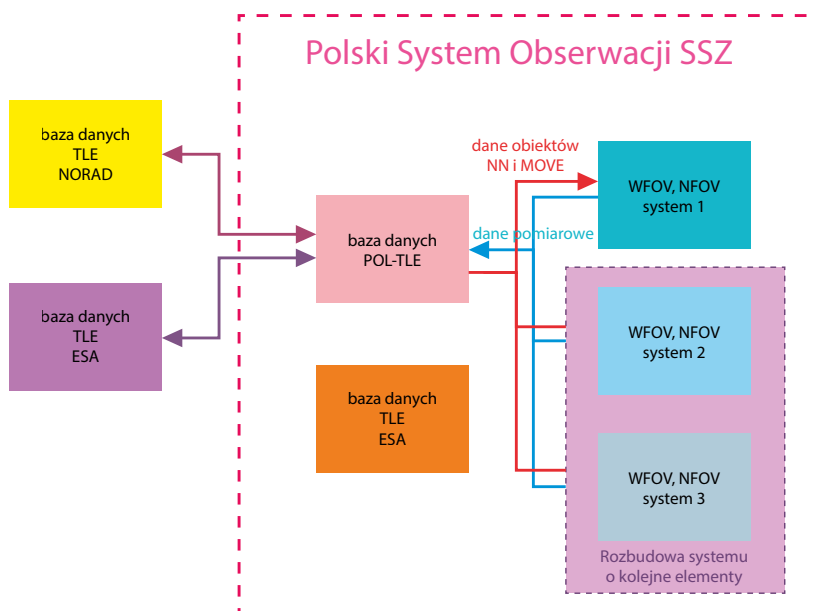


Rys. 4. Zarejestrowany przełot satelity Cosmos-1732 oraz zaznaczona (zielone kropki) orbita obliczona na podstawie bazy TLE (NORAD).



z założeniami. Na rys. 4 pokazano zarejestrowany przeLOT satelity Cosmos-1732 oraz zaznaczoną orbitę wyznaczoną z bazy TLE (NORAD). Różnica ok. 30 arcsec pokazuje, że konieczna jest aktualizacja bazy danych.

Na rys. 5. Pokazano proponowaną strukturę polskiego systemu SSA-PL.



Rys. 5. Schemat polskiego systemu SSA.

Literatura

- [1] Hale Bradt, Astronomy Methods. A physical Approach to Astronomical Observations, Cambridge University Press 2007
- [2] John C. Stover, Optical Scattering. Measurement and Analysis, SPIE Press 1995
- [3] Warren J. Smith, Modern Optical Engineering, SPIE Press 2008
- [4] Rober E. Fisher, Biliana Tadic-Galeb, Paul R. Yoder, Optical System Design, SPIE Press 2008
- [5] Larry C. Andrews, Field Guide to Atmospheric Optics, SPIE Press 2004
- [6] Steve B. Howell, Handbook of CCD Astronomy, Cambridge University Press 2006
- [7] Ian S. McLean, Electronic Imaging in Astronomy. Detectors and Instrumentation, Springer Praxis Publishing 2008
- [8] Rudolf Kingslake, R. Barry Johnson, Lens Design Fundamentals, SPIE Press 2010
- [9] Harold Richard Suiter's, Star Testing Astronomical Telescopes, Willman Bell Inc. 2008
- [10] Philip C.D. Hobbs, Building Electro-Optical Systems. Making It All Work, Wiley Inc. 2009
- [11] Okan K. Ersoy, Diffraction, Fourier Optics and Imaging, Wiley Inc. 2007
- [12] Philip W. Baumeister, Optical Coating Technology, SPIE Press 2004
- [13] Paul R. Yoder, Jr, Mounting Optics in Optical Instruments, SPIE Press 2008
- [14] Jason D. Schmidt, Numerical Simulation of Optical Wave Propagation, SPIE Press 2010





Optoelektronika azotkowa – nowe aplikacje, nowe szanse, z perspektywy firmy TopGaN

Piotr Perlin, Krzysztof Węgrzyn

TopGaN, Spółka z o.o., Sokołowska 29/37, 01-142 Warszawa

W ostatniej dekadzie półprzewodniki azotkowe (AlInGaN) stały się drugą co do wielkości po krzemie rodziną materiałów elektronicznych i optoelektronicznych. Obecnie na bazie azotków wytwarzane są diody elektroluminescencyjne o długościach fali pokrywających cały zakres widzialny i znaczny obszar UV. Do dodatkowo postęp w technologii laserów azotkowych umożliwił produkcję tych przyrządów emitujących od bliskiego UV do zielonego obszaru widma. Technologia azotkowych diod elektroluminescencyjnych stała się podstawą techniczną dla produkcji wielu niezbędnych urządzeń optoelektronicznych: żarówek LED, systemów podświetlania dla obecnie praktycznie wszystkich ekranów LCD, wyświetlaczy wielkoformatowych, oświetlenia specjalnego w samochodach i innych pojazdach

Lasery azotkowe, choć pierwszą motywacją dla ich stworzenia był system zapisu informacji na płytach DVD (tak zwany standard BluRay), znalazły zastosowanie w wielu nowo wyłaniających się aplikacjach:

- W projektorach optycznych, dostarczając wszystkie lub niektóre składowe światła w schemacie RGB.
- W specjalnych światłach laserowych na zasadzie podobnej choć nie identycznej do żarówek LED.

- W systemach komunikacji bezpośredniej z użyciem światła w tym w systemach tzw. Li-Fi, niezbędnych jako uzupełnienie przepływającego się systemu radiowego Wi-Fi.
- W nowej generacji urządzeń „technologii kwantowych” takich jak: systemy kryptografii kwantowej, zegary atomowe, Dopplerowskie chłodziarki atomów itp...
- W sensoryce chemicznej i medycznej.
- W obróbce materiałów, np. spawarki metali kolorowych.

Każda z tych aplikacji ma inne wymagania w stosunku do laserów, zarówno w zakresie długości fali, jakości wiązki, modowości emisji, prędkości modulacji, mocy maksymalnej itd.

TopGaN pracując w raz ze swoimi partnerami przemysłowymi i naukowymi, stara się znaleźć optymalne rozwiązania technologiczne dla swoich laserów, w zależności od aplikacji i potrzeb użytkowników.

W tej prezentacji zaprezentujemy niektóre z rozwiązań TopGaN-u, zaczynając od przyrządów wysokiej mocy optycznej dla systemów projekcyjnych do przyrządów dla technologii kwantowych o bardzo ściśle zdefiniowanych parametrach pracy.





Własności termooptyczne cienkich warstw dielektrycznych otrzymywanych metodami sol-gel oraz rozwirowania chemicznego

Janusz Jaglarz¹, Anna Matek²

¹ Politechnika Krakowska, ul. Jana Pawła II 37, Kraków

² Akademia Górniczo Hutnicza al. Mickiewicza 30, Kraków

Streszczenie

W niniejszej pracy opisane zostały własności termooptyczne cienkich warstw dielektrycznych stosowanych jako powłoki antyrefleksyjne i ochronne dedykowane do powierzchni szklanych. W artykule przedstawione zostały wyniki badań porowatych powłok krzemionkowych SiO_2 oraz polimerowych PAQ.

W pracy prezentujemy zależności współczynników załamania $n(T)$ dla badanych warstw od temperatury oraz i ich charakterystyki widmowe.

W artykule przedstawiamy prostą metodykę wyznaczania współczynników termooptycznych. Materiały, które omawiamy w artykule mogą mieć potencjalne zastosowania w optoelektronice, fotonice i technologiach powłok antyrefleksyjnych dla obszarów widmowych od ultrafioletu (UV) poprzez zakres widzialny (VIS), do zakresu bliskiej podczerwieni (NIR)

Słowa kluczowe: Właściwości termooptyczne cienkich warstw

1. Wstęp

W optyce, fotonice i optoelektronice podstawowymi parametrami charakteryzującymi cienkie warstwy są: współczynniki załamania n , współczynnik ekstynkcji k , oraz ich grubość d .

Znajomość relacji dyspersyjnych współczynnika załamania $n(\lambda)$ i współczynnika ekstynkcji $k(\lambda)$ w szerokim zakresie widmowym dostarcza kluczowych informacji o strukturze elektronowej badanego materiału.

Własności optyczne powłok przezroczyste, dielektryczne, półprzewodnikowych i polimerowych zależą od temperatury a w szczególności ich grubości, gęstości materiałowej i współczynniki załamania. Te zależności są opisane przez współczynnik rozszerzalności cieplnej (CTE) oraz przez współczynnik termooptyczny (TOC) zdefiniowany następująco: $TOC = dn/dT$ [1].

Niektóre warstwy (np.: SiO_2 , TiO_2) posiadają dodatni współczynnik TOC tzn. ich współczynniki załamania światła rosną wraz z temperaturą [2], natomiast materiały organiczne, mają z reguły ujemne wartości współczynnika TOC (tzn. ich współczynniki załamania maleją wraz ze wzrostem temperatury) [3]. Dzięki istnieniu materiałów o przeciwnych właściwościach termooptycznych możliwe jest utworzenie układów atermicznych czyli takich które niwelują zmiany własności optycznych spowodowane zmianami temperatury [4].

Bardzo dużo uwagi poświęcanie jest cienkim warstwom polimerowym ze względu na ich zastosowania w urządzeniach optycznych, takich jak termiczne przełączniki optyczne, tłumiki i łączniki optyczne [5]. Współczynnik termooptyczny TOC warstw i powłok jest jednym z podstawowym parametrów wpływających na działanie cienkowarstwowych czujników i urzą-



dzeń optycznych. Na przykład, cienkie warstwy o małym współczynniku *TOC* sprzyjają redukcji zużycia energii zmniejszając pobór mocy niezbędnej dla wymaganych zmian termicznych.

Stabilność optyczna urządzeń optycznych i fotonicznych jest niezwykle ważna dla zapewnienia prawidłowego funkcjonowania tych urządzeń i sygnałów z nich wychodzących. Brak takiej stabilizacji może spowodować, że sygnał wychodzący będzie zaburzony z powodu warunków środowiskowych, np. temperatury, wilgotności i ciśnienia itp., a tym samym niedokładny i mogący wprowadzić niejasności w interpretacji sygnału.

Najbardziej znanym materiałem wykorzystywanym do stabilizacji termicznej układów optycznych jest dwutlenek tytanu (TiO_2). Posiada on wysoki współczynnik załamania światła, niską absorpcję w obszarach widzialnych i podczerwieni oraz relatywnie niski *TOC* [7]. Niestety TiO_2 jest często hydrofilowy i adsorbuje parę wodną, co prowadzi do niestabilności niektórych urządzeń optoelektronicznych. Dlatego w czujnikach optycznych opartych na warstwach TiO_2 stosowane są hybrydowe układy warstwowe organiczno-nieorganiczne. Dlatego współczynnik

termooptyczny jest ważnym parametrem charakteryzującym warstwy stosowane w optoelektronice. Znajomość *TOC* jest szczególnie ważna w urządzeniach monitorujących i parametry środowiskowe.

Własności termooptyczne materiałów opisuje teoria Prod'Homme'ea [1].

Na wartości wsp. *TOC* wpływa przede wszystkim gęstość i polaryzowalność elektryczna które zmieniają się wraz z temperaturą. Współczynnik termooptyczny jest wyrażony przez następującą zależność:

$$TOC = f(n)(\Phi - \beta) \quad (1)$$

gdzie Φ jest współczynnikiem temperaturowym polaryzacji elektrycznej, β jest współczynnikiem rozszerzalności objętościowej (CTE), a $f(n)$ jest wyrażony następująco:

$$f(n) = \frac{(n^2 - 1)(n^2 + 2)}{6n} \quad (2)$$

Celem niniejszej pracy jest prezentacja własności warstw optycznych o dodatnich i ujemnych współczynnikach *TOC*.

2. Metodyka badawcza

W naszej pracy do znalezienia zależności termooptycznych warstw o bardzo zróżnicowanych właściwościach wykorzystaliśmy metodę elipsometrii spektroskopowej (SE) [8].

Elipsometria jest techniką pozwalającą określić właściwości optyczne i grubość warstw oraz układów wielowarstwowych. W SE mierzone są zmiany stanu polaryzacji wiązki światła, po odbiciu od próbki. Stosując metodę SE możemy wyznaczyć grubości warstw i ich współczynniki załamania.

Elipsometria spektroskopowa SE jest nieniszczącą i bezkontaktową metodą optyczną, umożliwiającą wyznaczanie grubości warstw i ich współczynników załamania. Elipsometria może być stosowana do pomiaru grubości nawet bardzo cienkich warstw, tj. mniejszych niż 1 nm. Jedną z najważniejszych zalet elipsometrii w porównaniu do metod reflektometrycznych jest brak konieczności stosowania wzorca.

W elipsometrii wyznaczane są kąty elipsometryczne, Ψ i Δ , które są złożonymi funkcjami parametrów optycznych kąta padania i długości fali świetlnej. W przypadku, gdy na powierzchni badanej próbki znajduje się cienka warstwa, to kąty Ψ i Δ zależą również od parametrów optycznych warstwy, n i k , jej grubości d i chropowatości σ . W odpowiednich równaniach występują również wielkości, charakteryzujące padające światło: kąt padania, θ_i oraz długość fali λ :

$$\Psi = \Psi(n, k, \lambda, d, \sigma, \theta_i)$$

oraz

$$\Delta = \Delta(n, k, \lambda, d, \sigma, \theta_i) \quad (3)$$

Rozwiązując powyższy układ równań, można wyznaczyć dwie wielkości, np: współczynnik załamania n oraz grubość warstwy d , przy ustalonej długości fali λ i kącie padania θ_i . Wykonanie pomiarów dla różnych długości fali pozwala wyznaczyć związki dyspersyjne $n(\lambda)$ i $k(\lambda)$.



W naszym artykule przedstawiamy wyniki badań elipsometrycznych wykonanych przy użyciu elipsometru M2000 (Woolam Co.) wyposażonego w odpowiednie akcesoria umożliwiające wykonanie pomiarów temperaturowych oraz wyniki badań spektrofotometrycznych wykonanych

w oparciu o spektrofotometr Perkin Elmer (PE) LAMBDA 900 wyposażonego w komorę do badań niskotemperaturowych. Według naszych subiektywnych opinii są one niedoścignionymi wzorcami dla nowych generacji wielu optycznych urządzeń pomiarowych.

3. Wyniki badań termooptycznych

W niniejszym rozdziale przedstawiamy wyniki badań optycznych dla dielektrycznych warstw

nieorganicznych i polimerowych stosowanych jako pokrycia antyrefleksyjne.

3.1. Powłoki o dodatnim współczynniku termooptycznym (porowate krzemionki)

Porowate powłoki krzemionkowe znajdują wiele zastosowań w optoelektronice [9]. Dzięki niskim współczynnikom załamania (od 1,2 do 1,4) można je stosować jako powłoki antyrefleksyjne (ARC) w szklach optycznych. To właśnie obecność porów w warstwach SiO₂ powoduje zmniejszenie się ich współczynnika załamania. Porowatość warstw kserożelowych krzemionki może zmieniać się w granicach od 40 do 50% [10].

Cienkie warstwy porowate SiO₂ mogą być nanoszone na różne podłoża w procesach zol-żel [11], które zapewniają doskonałą jakość próbek oraz wysoką powtarzalność. Warstwy powstałe metodą chemicznego nanoszenia materiału zol-żel zostały naniesione na podłoża szklane metodą rozwirowania (dip-coating).

Na rys. 1 przedstawione są zależności widmową kątów elipsometrycznych Ψ i Δ wyznaczonych w pomiarach elipsometrycznych przy kącie padania światła równym 70°, dla porowatej warstwy SiO₂ o porowatości P=46%. Pomiary wykonano

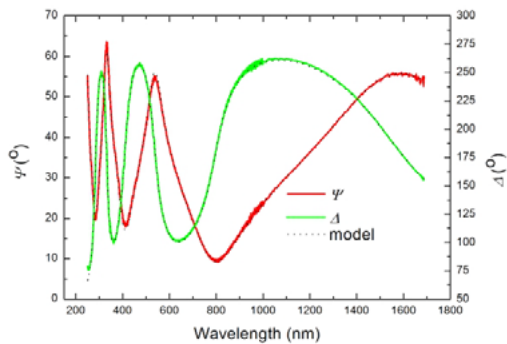
w temperaturze pokojowej T = 25°C oraz 285°C.

Do wyników eksperymentalnych został dopasowany model teoretyczny Cauchy'ego jednorodnej warstwy dielektrycznej, której współczynnik załamania jest funkcją długości fali świetlnej λ (jest to tzw. dyspersja optyczna), wyrażona następująco:

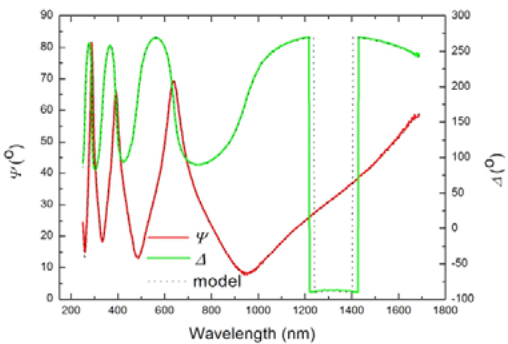
$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \quad (4)$$

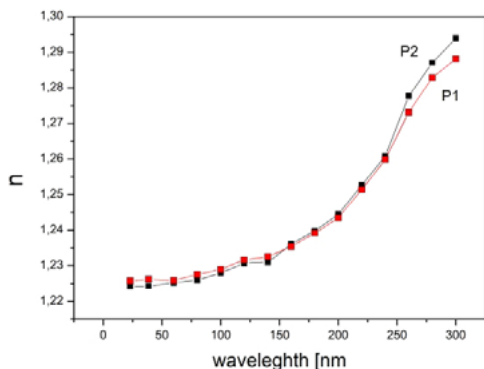
Gdzie parametry A, B i C zostały wyznaczone z dopasowania modelu do wyników eksperymentalnych. Jak można zauważyć dopasowanie modelu jest więcej niż zadawalające. Różnice w uzyskanych wynikach wynikają z różnicy współczynników załamania dla temperatur 25 oraz 285°C.

Na rys. 2 przedstawiono zależność współczynnika załamania światła od temperatury dla długości fali $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

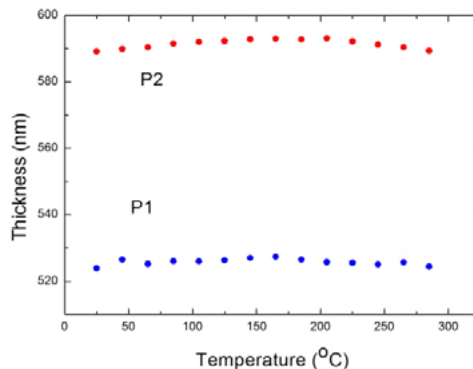


Rys. 1. Kąty elipsometryczne Ψ i Δ dla porowatej warstwy SiO₂ mierzone w temperaturach równych 25 oraz 285°C. Linij przerwany są krzywe uzyskane z dopasowanego modelu optycznego





Rys. 2. Zależność temperaturowa współczynnika załamania światła dla długości fali $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ warstw porowatych SiO_2 o porowatościach odpowiednio równych $P1= 46\%$ oraz $P2= 38\%$



Rys. 3. Zależność grubości porowatych warstw krzemionkowych o różnych porowatościach od temperatury

Jak można zauważyć z rys. 2. wartości wsp. załamania n porowatych warstw krzemionkowych monotonicznie spadają wraz ze wzrostem temperatury. Wartości współczynników załamania w temperaturach pokojowych oraz współczynników termooptycznych są przedstawione w tabeli 1. w kolumnie 2 i 3.

	N ($T=25^\circ\text{C}$)	DN/DT $\times 10^{-4} [1/^\circ\text{C}]$
P1	1.31	0.142
P2	1.33	0,43
PAQ-2	1.43	-9.10
PAQ-4	1.49	-6.12

Tabela 1. Współczynniki TOC dla prezentowanych warstw

Na rys. 3 przedstawione zostały zależności grubości powłok P1 i P2 od temperatury.

Jak łatwo zauważyć, grubość warstw krzemionek porowatych nie zależą od temperatury. Ponieważ grubość jest taka sama w różnych temperaturach, współczynnik rozszerzalności cieplnej β dla porowatych warstw jest równy zero. Stąd współczynnik termooptyczny TOC zgodnie z wzorem (1) zależy tylko od zmiany polaryzowalności dielektrycznej warstw. Wartości TOC są dodatnie, co oznacza wzrost polaryzowalności w warstwach związany ze wzrostem naprężeń w porowatych powłokach SiO_2 . Wzrost temperatury powoduje wzrost ciśnienia powietrza i innych gazów zamkniętych w porach. Rozmiary porów się nie zmieniają, co wynika z zerowego współczynnika rozszerzalności termicznej β . Skutkiem tego jest wzrost naprężeń w porowatej krzemionce bez czasowej reorganizacji struktury krzemionkowej w warstwach. Powtórzone pomiary elipsometryczne po ochłodzeniu warstw SiO_2 wykazały, że współczynniki załamania powłok wróciły do poprzednich wartości.

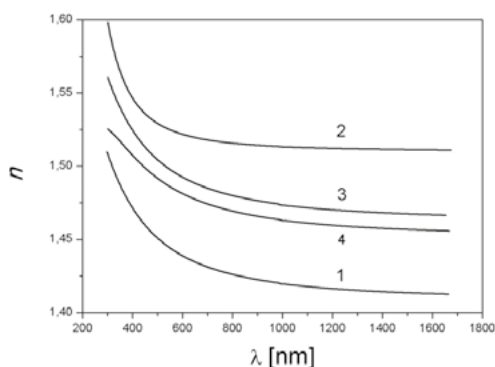
3.2. Warstwy o ujemnych współczynnikach TOC (polimerowe warstwy PAQ)

Polimery i w ogólności materiały organiczne charakteryzują się ujemnymi współczynnikami TOC. W dostępnej literaturze np. w [2,4] opisane są własności termoelektryczne polimerów w zakresie temperaturowym od 0 do 150°C . W naszej pracy prezentujemy jak zmieniają się własności optyczne polimerów chinolinowych 1H[3,4-b] o różnych masach cząsteczkowych w zakresach niskich temperatur od -120 do 50°C . Zostały one oznaczone jako PAQ 1-4 gdzie rosnący numer oznacza większą masę molową polimeru.

Na rys. 4 przedstawione zostały zależności dyspersyjne współczynników załamania dla warstw PAQ wyznaczonych w pomiarach elipsometrycznych dla temperatury pokojowej.

Warstwy PAQ wykazują dyspersję normalną w szerokim zakresie widmowy długości fali od 300 do 1700 nm opisaną przez zależność Cauchyego (4).



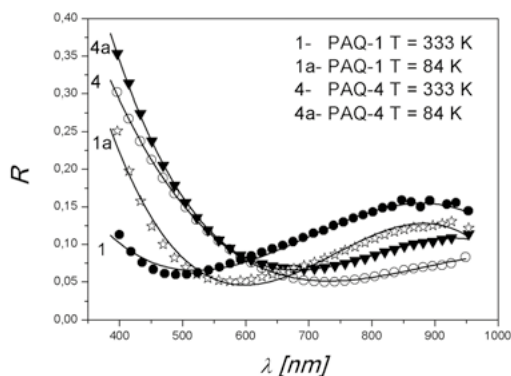


Rys. 4 zależności spektralne współczynników załamania dla warstw PAQ.

Jeżeli warstwy są cienkie i występują wyraźne minima w widmach odbicia co pokazane jest na rys. 5 to współczynnik TOC dla można wyznaczyć według następującej relacji [3]:

$$TOC = \frac{1}{2w_0} \frac{d\lambda(T)}{dT} \quad (5)$$

Jeżeli znamy grubości w_0 w temperaturze pokojowej (np.: wyznaczone z pomiarów elipso metrycznych) to TOC można wyznaczyć bezpośrednio z pomiarów spektroskopowych.



Rys. 5. Zależność widmowa odbicia od warstw PAQ

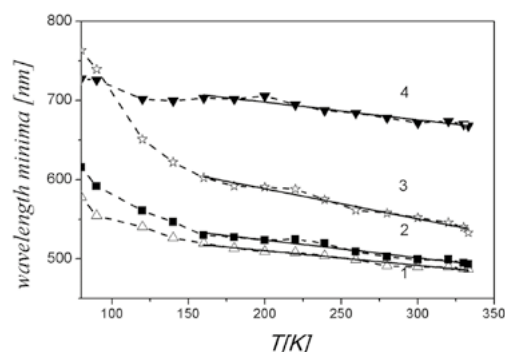
4. Podsumowanie

W artykule przedstawiliśmy dwa rodzaje materiałów o przeciwnych właściwościach optycznych.

Przedstawione w pracy wyniki badań termooptycznych porowatych warstw krzemionkowych potwierdzają wnioski sformułowane dla podobnych materiałów przez innych badaczy. Mianowicie posiadają one dodatnie wartości współczynników TOC a zmiany grubości w dużych zakresach temperatur są nieznaczne.

Wyznaczając położenia minimów w odbiciach widmowych zmierzonych dla różnych temperatur możemy wyznaczyć współczynniki termooptyczne badanych warstw.

Na rys. 6 przedstawiono pozycje minimów długości fali w widmach odbicia. Wartości TOC dla warstw PAQ przedstawione tabeli 1, zostały dopasowane do wyników eksperymentalnych.



Rys. 6. Zmiany pozycji widmowych minimów odbicia w funkcji temperatury.

Współczynniki termoelektryczne TOC są ujemne są ujemne, rzędu 10^{-4} [$1 / K$] i niezależne od temperatury. Jest to typowe dla większości polimerów. Również współczynnik rozszerzalności cieplnej dla warstwy polimerowej jest wyższy niż dla materiałów nieorganicznych ujemnej wartości TOC decyduje przede wszystkim silna rozszerzalność termiczna (wzór 2). Jak widać z Tabeli 1, współczynniki termoelektryczne dla cząsteczek PAQ o większej masie cząsteczkowej są mniejsze niż te PAQ o mniejszej masie, ponieważ usieciowanie redukuje znacznie rozszerzalność termiczną [2,4].



Wrażliwość odbicia na zmiany temperatury polimerach optycznych i szklach organicznych może być wykorzystana do szybkiego zdalnego pomiaru temperatury w odległościach.

Wydaje się że do zastosowań optoelektronicznych i fotonicznych potencjalne zastosowanie mogłyby znaleźć układy warstwowe o hybrydowych właściwościach termooptycznych.

Literatura

- [1] E. E. Having, "The temperature dependence of dielectric constants," J. Phys. Chem. Solids 18, 253–255 (1961).
- [2] G. I. Papadimitriou, G. Papazoglou, A. S. Pomportsis, "Optical switching: switch fabrics, techniques, and architectures," IEEE J. Lightwave Technol. 21(2), 384–405 (2003).
- [3] J. Jaglarz, M. Kępińska, J. Sanetra, thermo-optical properties of 1H[3,4-b] quinoline films used in electroluminescent devices, Optical Materials 36 (2014) 1275–1280
- [4] Ghosh, Handbook of Thermo-Optic Coefficients of Optical Materials with Applications, Academic Press, San Diego, 1998, p. 239
- [5] S.V. Kartalopoulos, Introduction to DWDM Technology, SPIE, Bellingham, W.A, 2000. pp. 141.
- [6] D.N. Nikogosyan, Properties of Optical and Laser-Related Materials: A Handbook, John Wiley & Sons, New York, 1997
- [7] H. Xie, F.L. Ng a, X.T. Zeng, Spectroscopic ellipsometry study of thin film thermo-optical properties, Thin Solid Films 517 (2009) 5066–5069
- [8] Azzam, R.M.A., Bashara, N.M.: Ellipsometry and Polarized Light. North-Holland, Amsterdam (1995)
- [9] Karasiński, J. Jaglarz, J. Mazur, Low loss silica-titania waveguide films, Photonics Letters of Poland, 2 (1) 37–39 (2010)
- [10] P. Karasiński, C. Tyszkiewicz, R. Rogoziński, J. Jaglarz, J. Mazur, Optical rib waveguides based on sol-gel derived silica-titania films, Optical Materials, 31 (2011) 5544.P.
- [11] E. Skoczek, J. Jaglarz, P. Karasiński, Ellipsometric and Spectrophotometric Investigations of Porous Silica Thin Films Produced by Sol-Gel Method, Acta Physica Polonica A, 4 (2011) 732.



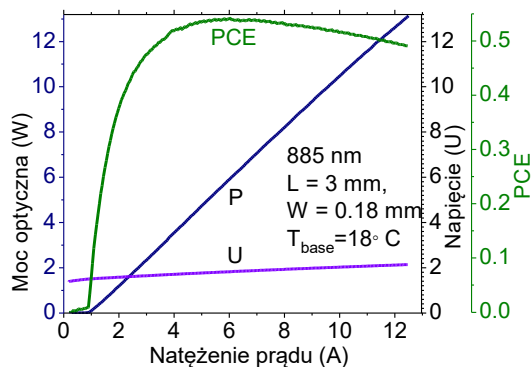
Wysokowydajne laserowe źródła światła dla zastosowań wojskowych i cywilnych

Anna Kozłowska, Andrzej Małąg, Elżbieta Dąbrowska, Marian Teodorczyk,
Helena Węglarz, Ryszard Stępień, Jarosław Kisielewski
Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych

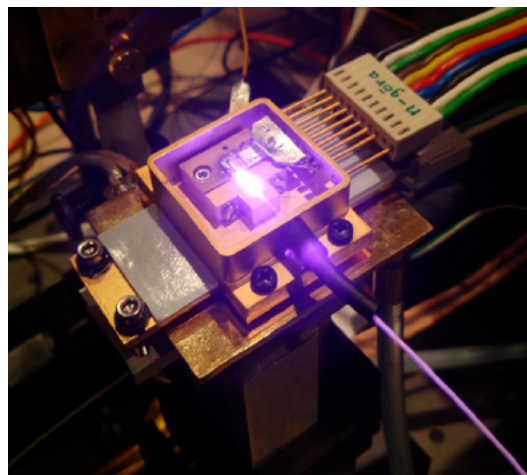
Dążenie do podwyższenia sprawności przetwarzania energii elektrycznej w optyczną źródeł laserowych, często podyktowane jest koniecznością miniaturyzacji źródeł oraz koniecznością ograniczenia poboru energii elektrycznej, przy jednoczesnej emisji wysokich mocy optycznych. Oferta Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych dotyczy opracowania zarówno kompletnych, wysokowydajnych źródeł światła (diod laserowych, pompowanych diodowo laserów na ciele stałym, pobudzanych laserowo źródeł światła białego), jak i innowacyjnych komponentów systemów laserowych, takich jak przezroczyste ceramiki, szkła aktywne oraz monokryształy, pozwalających na budowę wysokowydajnych źródeł.

Opracowane w ITME diody laserowe wyróżniają się rekordowo niskimi rozbieżnościami wiązki w kierunku prostopadłym do złącza oraz wysoką sprawnością przetwarzania energii elektrycznej w optyczną. Oferowane długości fali emisji obejmują typowo stosowane pasma 810, 885 i 970 nm, możliwe jest również opracowanie przyrządów o nietypowych długościach fali światła z zakresu bliskiej podczerwieni (750–2000 nm). Opracowana została technologia wykonywania dowolnych przyłączy światłowodowych (rys. 1a), jak również formowania wiązki za pomocą soczewek dyfrakcyjnych. Diody laserowe są przystosowane zarówno do pracy impulsowej, jak i ciągłej CW (moc emitowana dla pojedynczej diody laserowej osiąga 12 W CW, dla linii 885 nm, rys. 1b). Trwają prace nad matrycami do pracy z długimi impulsami (QCW) na pasmo 970 nm o dużych mocach optycznych.

Diody laserowe o niskich rozbieżnościach wiązki stanowią interesujące źródło do bezpośredniego pompowania optycznego laserowych ośrodków



Rys. 1a Dioda laserowa w obudowie HHL (w wersji z wyjściem światłowodowym, emitująca w paśmie 810 nm)

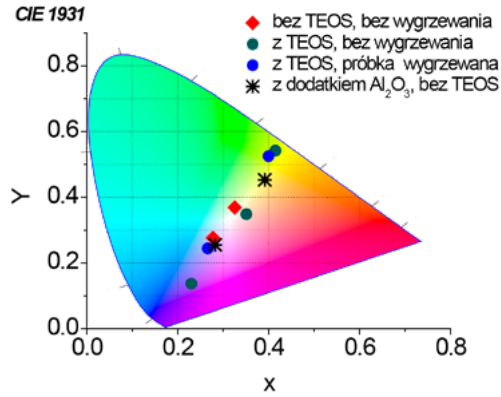


Rys. 1b charakterystyka mocowo-prądowo-napięciowa dla przykładowej diody na pasmo 885 nm (praca CW)

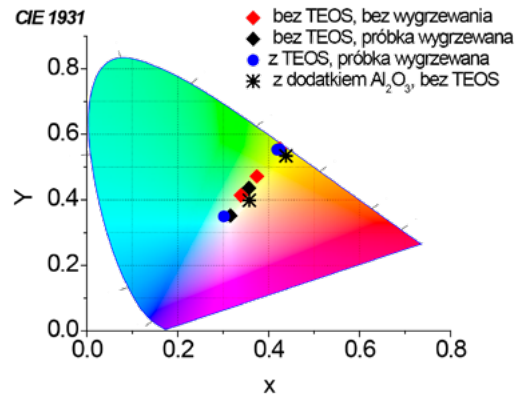
ków aktywnych. W ITME opracowywane są lasery impulsowe (nanosekundowe) na zakres 1,54 μm , np. do zastosowań w konstrukcji dalmierzy, pompowane matrycami diod laserowych. Jako ośrodek aktywny zastosowane są szkła

fosforanowe domieszkowane Er-Yb, zaś do pasywnej modulacji dobroci wykorzystywany spinel glinowo-magnezowy domieszkowany kobaltem ($\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$), w formie monokryształu bądź ceramiki. ITME jest jednym z niewielu ośrodków na świecie, w którym opracowywane przezroczyste ceramiki do zastosowań laserowych, a szczególne osiągnięcia dotyczą materiałów na pasywne modulatory dobroci (m.in. zademonstrowana po raz pierwszy w świecie nieliniowa absorpcja w przezroczystych ceramikach $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$).

Pompowane laserowo źródła światła białego bazują na własnych opracowaniach ceramicznych luminoforów zawierających granat itrowo-glinowy domieszkowany cerem ($\text{Ce}:\text{YAG}$, $\text{Ce}^{3+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), pobudzanych komercyjnymi diodami laserowymi emitującymi w paśmie 450 nm. Wysoka wydajność źródeł uzyskiwana jest dzięki doskonałym własnościom optycznym i mikrostrukturalnym opracowanych ceramik. W wystąpieniu przedstawiona będzie konstrukcja nowych laserowych źródeł światła białego oraz podane zostaną rozwiązania pozwalające na uzyskanie wymaganej barwy źródła (kontrolowana zmiana mikrostruktury, dobór odpowiedniej geometrii, składu i parametrów procesu technologicznego luminoforów, rys. 2). Zastosowania źródeł to reflektory samochodów i innych pojazdów, oświetlacze dużej mocy, lampy do zastosowań specjalnych (np. lampy medyczne), różnego typu panele oświetleniowe.



Rys. 2a Wykresy chromatyczności dla pobudzanych 'niebieską' diodą laserową luminoforów ceramicznych $\text{Ce}:\text{YAG}$ o grubości 0,6 mm dla kilku poziomów domieszkowania i różnych wariantów procesu technologicznego.



Rys. 2b Wykresy chromatyczności dla pobudzanych 'niebieską' diodą laserową luminoforów ceramicznych $\text{Ce}:\text{YAG}$ o grubości 0,8 mm dla kilku poziomów domieszkowania i różnych wariantów procesu technologicznego.





Technologie w CRW Telesystem Mesko

Arkadiusz Swat, CRW Telesystem Mesko

Streszczenie

Firma CRW Telesystem Mesko w wyniku wieloletnich prac nad głowicami samonaprowadzającymi (GSN) do przenośnych przeciwlotniczych zestawów rakietowych opracowała i wdrożyła szereg krytycznych technologii. Należą do nich zdolność do kompleksowego projektowania i testowania systemów opto-elektronicznych, technologie precyzyjnego montażu elementów optycznych, technologie produkcji fotodetektorów opartych o InSb i PbS o wysokiej detekcyjności ($D^* > 10^{10} \text{ (cm}^2\text{Hz}^{0.5}/\text{W)}$)), wytwarzanie elektroniki np.: modułów przetwarzania do GSN, elektroniki mechanizmu startowego, czujnika zbliżeniowego i zapalnika oraz systemu zabezpieczenia przed niepowołanym użyciem. Oprócz technologii związanych bezpośrednio z GSN firma opanowała również te związane z produkcją laserów Nd:YAG do podświetlaczy celu/dalmierzy laserowych

spełniających wojskowe wymagania środowiskowe dla pola walki, technologie dotyczące zarówno modułu opto-mechanicznego jak i integracji modułów elektroniki spodarki, kompasu, pomiaru azymutu i elewacji celu, kodowania (STANAG 3733). Stan prac nad nowym modulem opto-elektronicznym do Amunicji Precyzyjnego Rażenia (APR) jest zaawansowany.

CRW Telesystem Mesko to polski lider systemów naprowadzania w technice raketowej i amunicyjnej o dużym potencjale rozwojowym, producent GSN i mechanizmów startowych do zestawów rakietowych Grom, Piorun, Poprad oraz systemu raketowego Kusza. Firma posiada unikalne kompetencje i jest otwarta na szerszą współpracę zarówno z przemysłem jak i ośrodkami naukowo-badawczymi.





Laserowy analizator GasEye HCHO – pierwszy system do ciągłego pomiaru emisji formaldehydu z procesów przemysłowych do atmosfery

Paweł Kluczyński, Mateusz Straszewski, Krzysztof Siembab

Airoptic Sp. z o.o., ul. Rubież 46, 61-612 Poznań, Email: pawel.kluczynski@airoptic.pl

Spektrometry laserowe GasEye firmy Airoptic Sp. z o.o. wykorzystywane są do szybkiej i precyzyjnej analizy gazów bezpośrednio w procesach przemysłowych i w atmosferze.

Przykładami takich aplikacji są m.in. pomiar *in-situ* par formaldehydu w procesie produkcji płyt drewnianych oraz emisji tego związku do atmosfery z dokładnością kilkunastu części na miliard. System GasEye HCHO jest pierwszym systemem o pracy ciągłej na rynku, który pozwala na szybki i bezinwazyjny pomiar formaldehydu bezpośrednio w procesie przemysłowym. Jest to pierwsze i jedyne tego typu urządzenie na rynku, obecnie pomiar formaldehydu wciąż odbywa się poprzez pobranie próbek z procesu i przesłanie do analizy laboratoryjnej. Dzięki pomiarowi bezpośrednio w procesie i czasowi reakcji instrumentu na poziomie kilku milisekund, system GasEye pozwala na prawie natychmiastowe i selektywne wykrycie śladowych ilości substancji niezależnie od innych składników obecnych w badanej mieszance gazowej. W przeciwieństwie do tradycyjnych analizatorów stosowanych w przemyśle, systemy laserowe GasEye charakteryzują się ponadto zaniedbywalnym dryftem zera, i pracują non-stop bez potrzeby ponownej kalibracji, dzięki wbudowanemu układowi autokalibracji. Mogą

poza tym mierzyć w warunkach słabej widoczności, bezpośrednio w procesach i atmosferze, przy zapyleniach sięgających nawet kilkudziesięciu g/m³. Pozwala to na lepszą optymalizację procesów przemysłowych, a także ograniczenie emisji substancji niebezpiecznych do atmosfery.

Firma Airoptic jako jedna z pierwszych na świecie zastosowała lasery ICL (ang. *interband cascade lasers*) na średniej podczerwieni w komercyjnym produkcie, [1-3].



Rys. 1: System GasEye cross duct HCHO firmy Airoptic Sp. z o.o. monitorujący emisję formaldehydu z procesu przemysłowego do atmosfery

Literatura

- [1] Paweł Kluczyński, Stefan Lundqvist, Sofiane Belahsene, Yves Rouillard, Lars Nähle, Marc Fisher, Johannes Koeth, "Detection of propane using tunable diode laser spectroscopy at 3.37 μm ," *Applied Physics B* 108 (1), 183–188 (2012).
- [2] Stefan Lundqvist, Paweł Kluczyński, Robert Weih, Michael von Edlinger, Lars Nähle, Marc Fischer, Adam Bauer, Sven Höfling, and Johannes Koeth, "Sensing of formaldehyde using a distributed feedback interband cascade laser emitting around 3493 nm," *Applied Optics* 51 (25), 6009–6013 (2012).
- [3] Paweł Kluczyński, Stefan Lundqvist, "Method and apparatus for remote detection of alcohol vapor in the atmosphere", U.S. Pat. 9,068,885 (2015).





Optymalizacja obszarów aktywnych Międzypasmowych Laserów Kaskadowych

Marcin Motyka, Mateusz Dyksik, Krzysztof Ryczko, Marcin Kurka, Grzegorz Sęk, Jan Misiewicz, Laboratorium Optycznej Spektroskopii Nanostruktur, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska. Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Streszczenie

Międzypasmowe Lasery Kaskadowe (ang. Interband Cascade Lasers (ICL)[1]) są szeroko wykorzystywanym w optycznej detekcji gazów źródłem światła podczerwonego. Obecnie lasery o odpowiedniej długości fali emisji są stosowane między innymi w detekcji metanu, formaldehydu oraz etanolu. Niemniej jednak, istnieje potrzeba kolejnych modyfikacji długości fali emisji jak i poprawy parametrów pracy laserów takich jak na przykład moc wyjściowa. Związane jest to zarówno z potrzebą wykrywania i monitorowania wielu innych substancji, jak i z wciąż rosnącymi wymaganiami poprawy poziomu wykrywalności wytwarzanych czujników. Przedstawione w komunikacie rezultaty dotyczą optymalizacji obszarów aktywnych laserów ICL [2] celem wytworzenia urządzenia

mającego zapewnić monitoring mieszaniny węglowodorów in situ. Badania te prowadzone są w konsorcjum, w którego w skład wchodzi między innymi: Uniwersytet w Wurzburgu, Politechnika Wrocławska, firmy Nanoplus i Airopic oraz szwedzka rafineria Preem. Wytworzony finalnie spektrometr ma za zadanie utrzymać odpowiedni skład mieszaniny węglowodorów celem optymalizacji procesu spalania i obniżenia kosztów produkcji energii. Z drugiej strony efektywniejsze pozyskanie energii elektrycznej zmniejszy straty minimalizując równocześnie zanieczyszczenie powietrza. Całość prac realizowana jest w ramach projektu iCspec (ang. In-line Cascade laser spectrometer for process control) finansowanym z programu UE Horyzont 2020.

Literatura

- [1] Bauer, A. et al. „Emission wavelength tuning of interband cascade lasers in the 3–4 μm spectral range, „Applied Physics Letters”, 2009, 95, 251103
- [2] M. Motyka, et al., Type II QWs with tensile strained GaAsSb layers for interband cascade lasers, „Applied Physics Letters”, 2016, 108, 101905





Urządzenia optoelektroniczne w platformach bezzałogowych i autonomicznych

dr inż. Tomasz Mirosław

Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Politechnika Warszawska

Obecnie obserwowany rozwój platform bezzałogowych tzw. DRON-ów wykorzystywanych coraz powszechniej w systemach bezpieczeństwa do monitorowania chronionego obszaru, lub obszaru przeciwnika, jak również coraz powszechniej wykorzystywanych komercyjnie w rolnictwie i leśnictwie generuje zapotrzebowanie na systemy obserwacyjne i zobrazowania informacji.

Aktualnie najbardziej rozpowszechnione są platformy latające, co wynika między innymi z umiejętności budowania systemów obserwacji, nawigacji i interfejsów człowiek-maszyna dostarczających operatorowi informacji, które mogą być efektywnie i szybko przetwarzane przez jego mózg. Pozornie najłatwiejszymi do interpretacji przez operatora są obrazy. Aby obrazy te mogły być odpowiednio interpreto- wane powinny budować w mózgu operatora świadomość sytuacyjną zbliżoną do rzeczywistości, która ma charakter trójwymiarowy. Problem ten zyskuje na znaczeniu w przypadku platform naziemnych zwłaszcza poruszających się w terenie z przeszkodami. W takiej sytuacji okazuje się, że sama interpretacja obrazu przez operatora jest niewystarczająca. Musi być ona wspomagana przez inne dodatkowe układy sensoryczne.

Prowadzone na PW wspólnie z PCO S.A. badania, wykazały duży wpływ umieszczenia sensorów (kamer) barwy oświetlającego otoczenia światła, kształtu znaków referencyjnych na efektywność pracy operatorów.

Następnym etapem rozwoju pojazdów bezzałogowych są platformy autonomiczne, które same rozpoznają otoczenie i wybierają drogę i sposób dotarcia do celu, na bieżąco analizując sytuację i dostosowując do niej swoje działania. Urządzenia te wykorzystują różnorakie sensory naśladując działania zwierząt i ludzi, dla których obraz jest podstawowym źródłem informacji. Wobec tego prawie wszystkie systemy sensoryczne pojazdów autonomicznych posiadają systemy optoelektroniczne począwszy od sensorów ruchu, detektorów przeszkód i rozpoznawania otoczenia jak również rozpoznawania drogi (znaków szczególnych lub konfiguracji elementów otoczenia).

Najwyższą formą zaufania maszynie jest autonimizacja pojazdów przewożących ludzi. Wizje systemów przyszłych miast wskazują takie rozwiązania transportu, jako środek do poprawy przepustowości ulic w miastach. Poruszające się w swobodnej, ale kolizyjnej przestrzeni pojazdy muszą rozpoznawać sytuację,



postępować według pewnych reguł a ponad to komunikować się ze sobą. Właściwie muszą postępować jak ludzie poruszający się w tłumie, którzy obserwują, planują, wysyłają i odbierają od otoczenia sygnały umożliwiające osiągnięcie krótko i długoterminowych celów. W dobie Internetu i rewolucji przemysłowej 4.0, możliwe jest realizowanie takich systemów w oparciu i lokalizację obiektów z wykorzystaniem nawigacji GPS i komunikacji w oparciu o zlokalizowany adres IP. Jednak przy większej ilości poruszających się obiektów, a zwłaszcza w obszarze miejskim gdzie zarówno sygnały GPS jak i radiowe są zakłócane, działania takich systemów mogą okazać się zbyt zawodne.

Wyjściem jest rozpoznawanie otoczenia i komunikacja oparta na transmisji światła, wówczas komunikują się ze sobą jedynie najbliższe

obiekty. A gdy istnieje taka konieczność może powstać dynamicznie organizowana sieć Internetowa.

Wobec tego, zarówno systemy sensoryczne, analityczne i komunikacyjne oparte są na systemach optoelektronicznych.

Aktualnie stoimy na progu ery pojazdów autonomicznych, których algorytmy działania będą naśladowały algorytmy działania ludzi i zwierząt, a do tego potrzebne będą wielomedialne systemy sensoryczne z urządzeniami fotonicznymi. Aby takie urządzenia powstały konieczna jest współpraca naukowców i konstruktorów specjalizujących się w różnych dziedzinach, począwszy od biologów, fizyków, poprzez optoelektroników i informatyków a na psychologach skończywszy.





Dane kontaktowe



PCO Spółka Akcyjna
ul. Jana Nowaka-Jeziorańskiego 28
03-983 Warszawa
pco@pcosa.com.pl
tel. +48 22 515 75 01
www.pcosa.com.pl



Polska Platforma Technologiczna Fotoniki
Siedziba Koordynatora – PCO S.A.
ul. Jana Nowaka-Jeziorańskiego 28
03-982 Warszawa
email: pco@pcosa.com.pl



Wojskowa Akademia Techniczna
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa 49
sekretariat.rektora@wat.edu.pl
tel. 22 683 90 01
www.wat.edu.pl



Politechnika Warszawska
ul. Plac Politechniki 1
00-661 Warszawa
tel. 22 234 72 11
www.pw.edu.pl



