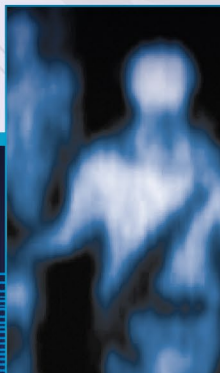
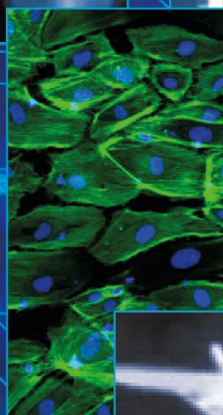
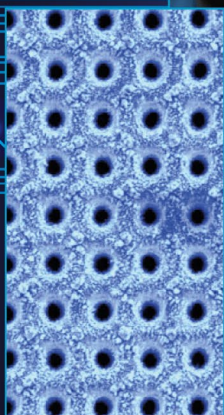




Wojskowa  
Akademia  
Techniczna

Instytut  
Optoelektroniki



INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI

# Raport Roczny 2015

# Raport Roczny 2015

**Instytut Optoelektroniki**  
Wojskowa Akademia Techniczna

**Redakcja:** prof. dr hab. inż. Jan K. Jabczyński  
Ewa Jankiewicz

**Opracowanie**  
**graficzne:** Tomasz Wajnka

**Druk:** DRUKARNIA GRAFFITI  
ul. Kolejowa 13, 05-092 Łomianki  
[www.drukarnia-graffiti.pl](http://www.drukarnia-graffiti.pl)

Raport dostępny jest w Instytucie Optoelektroniki, WAT  
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa  
tel. +48 261 83 94 30, fax: +48 22 666 89 50  
[www.ioe.wat.edu.pl](http://www.ioe.wat.edu.pl)

W przypadku kopiowania wymagane jest podanie źródła  
i wysłanie archiwalnej kopii do IOE.

Tekst raportu nie może stanowić źródła cytowania w publikacjach  
i czasopismach naukowych.

# spis treści

|                                                                                     |                                                                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                                                                                     | Wstęp .....                                                                                                                                                       | 6         |
|    | <b>1. Struktura organizacyjna i tematyka badawcza IOE .....</b>                                                                                                   | <b>8</b>  |
|                                                                                     | 1.1. Zakład Techniki Laserowej .....                                                                                                                              | 10        |
|                                                                                     | 1.2. Zakład Technologii Optoelektronicznych .....                                                                                                                 | 12        |
|                                                                                     | 1.3. Zakład Systemów Optoelektronicznych .....                                                                                                                    | 14        |
|                                                                                     | 1.4. Zakład Techniki Podczerwieni i Termowizji .....                                                                                                              | 16        |
|                                                                                     | 1.5. Akredytowane Laboratorium Badawcze .....                                                                                                                     | 17        |
|                                                                                     | 1.6. Centrum Inżynierii Biomedycznej .....                                                                                                                        | 18        |
|  | <b>2. Badania z obszaru fizyki plazmy i techniki laserowej .....</b>                                                                                              | <b>20</b> |
|                                                                                     | 2.1. Badania plazmy fotojonizacyjnej: temperatura elektronowa .....                                                                                               | 21        |
|                                                                                     | 2.2. Impulsowa kapilarna tarcza gazowa .....                                                                                                                      | 22        |
|                                                                                     | 2.3. Światłowodowy laser tulowy z przełączanym wzmocnieniem<br>i pasywną synchronizacją modów, generujący promieniowanie<br>o długości fali 2 $\mu\text{m}$ ..... | 24        |
|                                                                                     | 2.4. Hybrydowy, CW oraz impulsowy, laser Ho:YLF wykonany<br>w technologii generator – wzmacniacz .....                                                            | 26        |
|                                                                                     | 2.5. Impulsowe lasery na ośrodkach iterbowych pompowane po-<br>przez matryce diod laserowych dużej mocy .....                                                     | 28        |
|                                                                                     | 2.6. Impulsowy mikrolaser bezpieczny dla wzroku .....                                                                                                             | 29        |
|  | <b>3. Zastosowania optoelektronicznych technik pomiarowych .....</b>                                                                                              | <b>32</b> |
|                                                                                     | 3.1. Spektroskopia emisyjna ze wzbudzeniem laserowym (LIBS)<br>w badaniach dzieł sztuki .....                                                                     | 32        |
|                                                                                     | 3.2. Obrazowanie metodą spektroskopii Ramana i FTIR .....                                                                                                         | 34        |
|                                                                                     | 3.3. Terahercowe skanowanie kompozytów polietylenowych .....                                                                                                      | 36        |
|                                                                                     | 3.4. Zastosowanie metody fuzji obrazów do wykrywania ukrytych<br>elementów .....                                                                                  | 38        |
|                                                                                     | 3.5. Pomiary polaryzacji promieniowania w zakresie dalekiej pod-<br>czerwieni .....                                                                               | 39        |
|  | <b>4. Nanotechnologie i technologie optoelektroniczne .....</b>                                                                                                   | <b>40</b> |
|                                                                                     | 4.1. Modyfikacja polimerów na potrzeby inżynierii biomedycznej<br>z zastosowaniem laserowo-plazmowego źródła skrajnego<br>nadfioletu (EUV) .....                  | 40        |

|           |                                                                                                                                        |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.      | Laserowe wytwarzanie mikrosit do zastosowań w bioinżynierii..                                                                          | 42        |
| 4.3.      | Prosta laserowa litografia interferencyjna z optyką pryzmatyczną do mikroobróbki periodycznej biorusztowań .....                       | 44        |
| 4.4.      | Laserowe zdobienie dekoracji szklanych .....                                                                                           | 46        |
| 4.5.      | Synteza nanostruktur plazmonowych typu „core-shell” .....                                                                              | 48        |
| 4.6.      | Obrazowanie fluorescencyjne w bioinżynierii .....                                                                                      | 49        |
| 4.7.      | Aplikacje metody fluorescencji wzbudzanej laserowo w inżynierii biomedycznej .....                                                     | 50        |
| 4.8.      | Badania charakterystyk fluorescencyjnych symulantów i interferentów .....                                                              | 51        |
| <b>5.</b> | <b>Urządzenia i systemy optoelektroniczne</b> .....                                                                                    | <b>52</b> |
| 5.1.      | Kompaktowy mikroskop na zakres EUV z nanometrową rozdzielczością przestrzenną .....                                                    | 52        |
| 5.2.      | Wielospektralny laserowy profilometr reflektancyjny .....                                                                              | 54        |
| 5.3.      | Testy lidar biologicznego w USA .....                                                                                                  | 56        |
| 5.4.      | Ręczny „fotoradar” laserowy .....                                                                                                      | 58        |
| 5.5.      | Optoelektroniczny detektor skażeń powierzchni .....                                                                                    | 59        |
| 5.6.      | Biometria mobilna .....                                                                                                                | 60        |
| 5.7.      | Kompozytowy system pasywnej i aktywnej ochrony obiektów infrastruktury krytycznej .....                                                | 62        |
| 5.8.      | Układy przetwarzania sygnałów typu „lock-in” do detektorów promieniowania optycznego .....                                             | 64        |
| 5.9.      | Celownik termowizyjny kompatybilny z systemem ISW TYTAN ..                                                                             | 66        |
| 5.10.     | Kamery obserwacyjno-rozpoznawcze o szerokim zakresie natężenia światła LLL/CCD TV .....                                                | 68        |
| 5.11.     | Kamera obserwacyjno-rozpoznawcza o zmiennym kącie pola widzenia kompatybilna z systemem ISW TYTAN .....                                | 69        |
| 5.12.     | Zespół kamer do optoelektronicznego, wielowidmowego systemu wspomagającego lądowanie samolotów .....                                   | 70        |
| <b>6.</b> | <b>Dodatki</b> .....                                                                                                                   | <b>72</b> |
| D1.1.     | Projekty międzynarodowe finansowane z UE i innych źródeł zagranicznych .....                                                           | 72        |
| D1.2.     | Programy strategiczne .....                                                                                                            | 74        |
| D1.3.     | Prace z obszaru badań podstawowych finansowane przez NCN ....                                                                          | 75        |
| D1.4.     | Prace badawczo-rozwojowe finansowane przez NCBiR i MNiSW .....                                                                         | 76        |
| D1.5.     | Stypendia naukowe dla wybitnych młodych uczonych .....                                                                                 | 79        |
| D1.6.     | Prace badawcze statutowe .....                                                                                                         | 80        |
| D1.7.     | Prace umowne finansowane z innych źródeł .....                                                                                         | 81        |
| D2.       | Zgłoszenia patentowe Instytutu Optoelektroniki w 2015 r. ....                                                                          | 84        |
| D3.       | Konferencje organizowane przez Instytut Optoelektroniki w 2015 r. ....                                                                 | 85        |
| D4.       | Publikacje naukowe opublikowane w czasopismach z listy A MNiSW – baza JCR .....                                                        | 86        |
| D4.1.     | Artykuły naukowe opublikowane w czasopismach z listy B MNiSW .....                                                                     | 92        |
| D4.2.     | Publikacje w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych indeksowanych w bazach Scopus lub Web of Science – lista C ..... | 95        |



# WSTĘP

**W** roku 2015 po raz pierwszy w historii Instytut Optoelektroniki zrealizował w pełni naukowe, dydaktyczne i organizacyjne uprawnienia wydziału akademickiego. W zakresie działalności naukowo-badawczej stanowiącej ciągle podstawowy obszar aktywności Instytutu realizowaliśmy ponad 80 różnego rodzaju projektów w tym: 12 projektów międzynarodowych (7PR UE, NATO, EDA, H2020, FS) oraz ponad 70 projektów finansowanych przez MNiSW, NCBiR, NCN, MON i krajowe podmioty gospodarcze. Dokonaliśmy również 8 zgłoszeń patentowych. Większość projektów realizowaliśmy w ramach konsorcjów naukowo-przemysłowych. Nasi przemysłowi partnerzy to, obok dużych firm przemysłu zbrojeniowego, małe i średnie przedsiębiorstwa oraz firmy typu high-tech. Podobnie jak w ostatnich kilku latach ponad 50 % budżetu Instytutu związana była z realizacją prac naukowo-badawczych i badawczo-wdrożeniowych na rzecz bezpieczeństwa i obronności państwa. Najważniejsze z nich to projekty w ramach Programu Strategicznego pt. «Nowe systemy uzbrojenia w zakresie energii skierowanej», Program TYTAN - Zaawansowane Indywidualne Systemy Walki (ZISW), Modernizacja przenośnego, przeciwlotniczego zestawu raketowego „GROM”, Systemy amunicji precyzyjnego rażenia, obrony aktywnej, systemy wykrywania broni biologicznej. Duże społeczne znaczenie ma również pomoc ekspercka świadczona Państwowemu Muzeum Auschwitz-Birkenau i Kancelarii Sejmu RP. W konkursach OPUS 9 i SONATA 9 do finansowania zakwalifikowane zostały projekty mjr. dr. hab. inż. Przemysława Wachulaka i dr Marty Michalskiej-Domańskiej. Bardzo ważną formą działalności naukowej Instytutu jest współpraca międzynarodowa. Od wielu lat uczestniczymy w programach UE, Europejskiej Agencji Obrony (EDA) i NATO. W ramach podpisanych umów o współpracy dwustronnej realizujemy projekty z zespołami z wielu krajów z całego świata. W 2015 roku rozpoczęliśmy realizację dwóch projektów w ramach programu UE Horyzont 2020. Rada Instytutu przeprowadziła w 2015 r. sześć procedur doktorskich, trzy habilitacyjne i wszczęła jedno postępowanie profesorskie. W lipcu Prezydent PR nadał tytuł profesorski zasłużonemu nauczycielowi

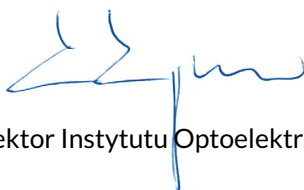
akademickiemu, wybitnemu specjalście z dziedziny technologii podczerwieni i termowizji prof. dr. hab. inż. Henrykowi Madurze.

Z inicjatywy Rady IOE Profesor Wiesław Leonard Woliński (Politechnika Warszawska) – profesor zwyczajny, członek rzeczywisty Polskiej Akademii Nauk, pionier techniki laserowej w Polsce, wychowawca wielu pokoleń inżynierów – został uhonorowany przez Senat Wojskowej Akademii Technicznej godnością doktora honoris causa. Uroczystość nadania tej najwyższej godności akademickiej prof. W. Wolińskiemu odbyła się 20 listopada 2015 r. w Sali Senatu Wojskowej Akademii Technicznej. W minionym roku intensywnie rozwijaliśmy również działalność dydaktyczną. Studia pierwszego stopnia na nowo utworzonym kierunku inżynieria kosmiczna i satelitarna rozpoczęła pierwsza grupa studentów. Kontynuowaliśmy prowadzenie studiów drugiego stopnia na kierunku elektronika i telekomunikacja i rozpoczęliśmy prowadzenie studiów doktoranckich z dyscypliny naukowej elektronika. W ramach europejskiego programu Erasmus Mundus rozprawy doktorskie przygotowuje w IOE 5 studentów z Włoch, Ghany, Pakistanu, Etiopii i Sudanu realizując projekt Extatic.

Pracownicy Instytutu zdobyli ważne nagrody i wyróżnienia. W sierpniu w ramach obchodów Święta Wojska Polskiego Minister Obrony Narodowej Tomasz Siemoniak wyróżnił płk. w st. spocz. prof. dr. hab. inż. Henryka Madurę wpisem do „Księgi Honorowej Wojska Polskiego”. Podczas 10. Międzynarodowej Konferencji „Integrated optics – sensors, sensing structures and methods”, w marcu 2015 r., prof. dr. hab. inż. Mieczysław Szustakowski został uhonorowany szczególnym medalem Politechniki Warszawskiej upamiętniającym 100-lecie odnowienia tradycji tejże uczelni. Medal wręczył rektor PW prof. dr. hab. inż. Jan Szmidt. W kwietniu wzięliśmy udział w III Międzynarodowych Targach Optoelektroniki i Fotoniki OPTONexpo w Centrum Wystawienniczym EXPO XXI w Warszawie podczas Międzynarodowego Roku Światła i Technologii Wykorzystujących Światło (IYL 2015). OPTON to największa w Polsce platforma wymiany myśli, edukacji i prezentacji najnowszych rozwiązań w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki oraz techniki laserowej, która skupia przedstawicieli tychże obszarów. W maju Instytut Optoelektroniki po raz drugi gościł międzynarodowe zespoły naukowców technologii terahercowych dokonujących wspólnych pomiarów w ramach NATO RTO SET-193 Field Trials. Na prośbę Szefa Zarządu Obrony przed Bronią Masowego Rażenia SZ RP w lipcu Instytut przeprowadził szkolenie Połączonego Zespołu Oceny Skazań z zakresu systemów zdalnego wykrywania skażeń chemicznych i biologicznych. W szkoleniu udział wzięli przedstawiciele Sojuszniczego Dowództwa Sił Połączonych NATO w Brunssum (JFC Brunssum), Połączonego Centrum Doskonalenia z Obrony Przed Bronią Masowego Rażenia (JCBRN Defence COE), SZ Węgier oraz SZ Republiki Czeskiej. W czerwcu na poligonie armii amerykańskiej Dugway Proving Ground, położonym w stanie Utah, po raz drugi w ciągu dwóch lat przeprowadzono badania testowe systemu lidarowego skonstruowanego w Instytucie Optoelektroniki WAT.

Rok 2015 był dla Instytutu Optoelektroniki kolejnym okresem dynamicznego rozwoju, pełnym sukcesów i znaczących zmian w działalności naukowej i edukacyjnej. Osiągnięcia odniesione w roku 2015 pozwalają optymistycznie patrzeć w przyszłość i dalszy rozwój Instytutu Optoelektroniki.

**płk dr inż. Krzysztof Kopczyński**



Dyrektor Instytutu Optoelektroniki



## 1.

# STRUKTURA ORGANIZACYJNA I TEMATYKA BADAWCZA IOE

**Tabela 1.1.** Wykaz Zakładów  
i zespołów badawczych IOE

W skład Instytutu Optoelektroniki w 2015 r. wchodziły 4 Zakłady Naukowe, Akredytowane Laboratorium Badawcze i Centrum Inżynierii Biomedycznej. Działalność naukowo-badawcza realizowana była w 16 Zespołach (patrz tabela 1.1.).

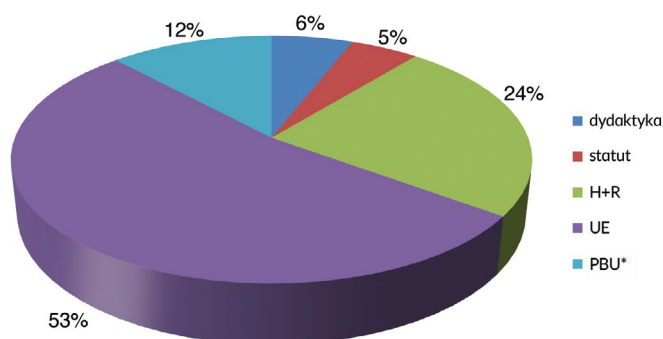
| Nazwa zakładu                                   | Nazwa Zespołu                                            | Lider                       |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Zakład<br>Techniki<br>Laserowej                 | Zespół Oddziaływania Promieniowania Laserowego z Materią | prof. H. Fiedorowicz        |
|                                                 | Zespół Laserów Ciała Stałego                             | prof. A. Zajac              |
|                                                 | Grupa Laserów Światłowodowych                            | dr hab. J. Świdorski        |
|                                                 | Zespół Optyki Laserów                                    | prof. J. Jabczyński         |
|                                                 | Zespół Zastosowań Laserów                                | dr hab. J. Marczak (†)      |
| Zakład<br>Technologii<br>Optoelektronicznych    | Zespół Laserowej Teledetekcji                            | dr M. Zygmunt               |
|                                                 | Zespół Technologii Optycznych                            | dr K. Kopczyński            |
|                                                 | Zespół Nanotechnologii Laserowych                        | dr B. Jankiewicz            |
|                                                 | Zespół Spektroskopii Optycznej                           | dr hab. M. Kwaśny           |
|                                                 | Zespół Biochemii                                         | dr hab. A. Padzik-Graczyk   |
| Zakład<br>Systemów<br>Optoelektronicznych       | Zespół Detekcji Sygnałów Optycznych                      | prof. Z. Bielecki           |
|                                                 | Zespół Systemów Bezpieczeństwa                           | prof. M. Szustakowski       |
|                                                 | Zespół Elektroniki Kwantowej                             | prof. Z. Puzewicz           |
| Zakład Techniki<br>Podczerwieni<br>i Termowizji | Zespół Termodetekcji i Termowizji                        | prof. H. Madura             |
| Akredytowane Laboratorium Badawcze              |                                                          | dr J. Janucki               |
| Centrum Inżynierii Biomedycznej                 |                                                          | dr hab. n. med. M. Łapiński |



Na koniec 2015 r. w IOE zatrudnionych było ponad 200 pracowników, z czego 104 prowadziło działalność naukowo-badawczą, w tym 12 profesorów, 13 doktorów habilitowanych oraz 63 doktorów. Wśród 39 młodych pracowników naukowych (< 35 roku życia) 34 realizowało studia doktoranckie. Rada Instytutu Optoelektroniki posiada uprawnienia do nadawania stopnia naukowego doktora nauk technicznych oraz doktora habilitowanego w dyscyplinie elektronika.

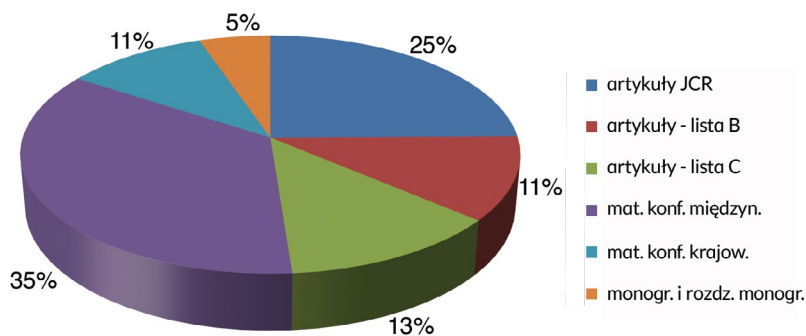
Działalność naukowo-badawcza i badawczo-wdrożeniowa pozostawały ciągle podstawowym obszarem aktywności Instytutu. Zaangażowanie nauczycieli akademickich IOE w procesie dydaktycznym nieznacznie wzrosło. Na rys. 1.1. przedstawiono strukturę finansowania działalności Instytutu.

PBU\* – Prace Badawcze Umowne; Dydaktyka – dotacja dydaktyczna; Statut – dotacja statutowa; B+R – prace B+R finansowane przez MNiSW, NCBiR, NCN i FNP; UE – projekty finansowane przez UE.



**Rys. 1.1.** Procentowy udział źródeł finansowania działalności Instytutu

Prace te, prowadzone w ramach 89 projektów, finansowane były z różnych źródeł (patrz rys. 1.1., załącznik nr 2). Wyniki badań pracowników Instytutu w 2015 r. przedstawiono w 246 publikacjach naukowych w tym 60 artykułach opublikowanych w czasopismach z listy JCR (patrz rys. 1.2., załącznik nr 1).



**Rys. 1.2.** Zestawienie publikacji IOE w 2015 r. – razem 246

W raporcie, w rozdziałach 2-5, przedstawiono wybrane wyniki prac naukowo-badawczych i wdrożeniowych prowadzonych w Instytucie w 2015 r. Poniżej omówiono pokrótce tematykę badawczą i najważniejsze osiągnięcia Zakładów IOE.

## 1.1.

### ZAKŁAD TECHNIKI LASEROWEJ

W Zakładzie Techniki Laserowej (ZTL) prowadzone są badania podstawowe i aplikacyjne związane z rozwojem źródeł promieniowania laserowego, laserowo-plazmowych źródeł miękkiego promieniowania rentgenowskiego (SXR) oraz skrajnego nadfioletu (EUV), a także z zastosowaniem laserów w technice wojskowej, inżynierii materiałowej, technikach pomiarowych, medycynie oraz konserwacji dzieł sztuki. Wysoko wykwalifikowana kadra naukowa, nowoczesne laboratoria oraz bogate wyposażenie w aparaturę badawczą zapewniają wysoki poziom prowadzonych prac naukowych oraz kształcenia studentów.

#### Aktualna tematyka badawcza:

- opracowanie i badania wysokowydajnych stabilnych źródeł promieniowania laserowego oraz ich wykorzystanie w urządzeniach wojskowych, technologicznych i metrologicznych
- opracowanie i badania impulsowych, przestrajalnych pompowanych diodami laserów generujących w obszarze widmowym 1-3  $\mu\text{m}$  oraz ich wykorzystanie w urządzeniach wojskowych, technologicznych i metrologicznych
- badania nad światłowodowymi źródłami supercontinuum zakresu widmowego bliskiej i średniej podczerwieni
- opracowanie, badania i konstrukcje układów zasilania i sterowania parametrami źródeł laserowych
- opracowanie laserowo-plazmowych źródeł promieniowania SXR oraz EUV
- wykorzystanie laserowo-plazmowych źródeł promieniowania w badaniach materiałowych, mikroskopii, inżynierii powierzchni, mikroobróbce i nanolitografii
- badania w zakresie oddziaływania wysokoenergetycznych impulsów laserowych z materią na potrzeby techniki wojskowej i nanotechnologii
- badania procesu ablacji laserowej oraz zastosowanie techniki laserowej do konserwacji zabytków

#### Najważniejsze osiągnięcia w ostatnich latach:

- pompowane diodami lasery na objętościowych ośrodkach domieszkowanych jonami Nd, Yb, Ho, Tm, Er, układy nieliniowej konwersji promieniowania (OPO, generacja harmonicznych, lasery ramanowskie)
- unikalne w skali świata źródła supercontinuum średniej podczerwieni o dużej wyjściowej mocy średniej
- lasery i wzmacniacze światłowodowe generujące promieniowanie o długości fali 1.55  $\mu\text{m}$  oraz 2  $\mu\text{m}$
- technologia wytwarzania struktur periodycznych, w skali mikro i sub-mikro, na powierzchniach dowolnych w tym biogodnych materiałów, metodą bezpośredniej litografii interferencyjnej

- technologia renowacji dzieł sztuki z wykorzystaniem ablacji laserowej w zastosowaniu do skał osadowych, gipsów, ceramik muzealnych i budowlanych, kości zwierzęcej i kości słoniowej, tkanin, również z opłotem metalowym, werniksów oraz drewna
- wysokowydajne laserowo-plazmowe źródła SXR oraz EUV i ich wykorzystanie w rentgenografii impulsowej, mikroskopii, mikroobróbce oraz w modyfikacji powierzchni polimerów

## 1.2.

### ZAKŁAD TECHNOLOGII OPTOELEKTRONICZNYCH

W Zakładzie Technologii Optoelektronicznych prowadzone są badania podstawowe i aplikacyjne związane z opracowaniem materiałów i technologii optoelektronicznych do zastosowań w systemach bezpieczeństwa, obronności, ochronie środowiska, medycynie i przemyśle. Realizowane są również zaawansowane prace konstrukcyjno-wdrożeniowe złożonych urządzeń i systemów optoelektronicznych, w tym systemów punktowej i zdalnej detekcji materiałów niebezpiecznych, zagrożeń chemicznych i biologicznych. Badania podstawowe obejmują głównie inżynierię materiałów i nanomateriałów optoelektronicznych, spektroskopię optyczną, plazmonikę i biotechnologię i in.

#### Aktualna tematyka badawcza:

- fizyka i optyka nowych typów laserów, w szczególności mogących znaleźć zastosowanie w systemach wojskowej techniki laserowej
- projektowanie układów optycznych: refrakcyjnych, odbiciowych i dyfrakcyjnych
- formowanie wiązek optycznych
- laserowe pomiary odległości i prędkości
- metody pomiarowe i stanowiska do kalibracji i testowania wojskowego sprzętu optoelektronicznego
- integracja wojskowych systemów optoelektronicznych
- koherentna i niekoherentna detekcja optyczna
- punktowa i zdalna detekcja optyczna związków chemicznych i biologicznych
- spektroskopia w zakresie UV-Vis-NIR oraz spektroskopia Ramana, SERS i fluorescencyjna
- biomateriały
- technologia cienkowarstwowa
- metody spektralne do zdalnej detekcji zanieczyszczeń i skażeń atmosfery, w tym pochodzenia chemicznego i biologicznego
- nanostruktury plazmonowe do zastosowań w detekcji substancji chemicznych i materiałów biologicznych, fotokatalizie i fotowoltaice
- laserowe wytwarzanie cienkich warstw i nanostruktur metodą PLD
- badania materiałowe metodą spektroskopii plazmy wzbudzonej laserowo
- kalibratory mierników mocy i energii promieniowania laserowego
- procedury analityczne oznaczania poziomu mikroelementów oraz związków biologicznie czynnych
- diagnostyka i terapia nowotworowa
- optoelektroniczne komponenty do badań kosmicznych

**Najważniejsze osiągnięcia w ostatnich latach:**

- Systemy lidarowe do zdalnej detekcji związków chemicznych i biologicznych
- Laserowe moduły pomiaru odległości
- Laserowe mierniki prędkości
- Laserowe symulatory strzelań
- Optoelektroniczny system detekcji i tłumienia wybuchu
- Optoelektroniczne moduły do systemów kierowania ogniem
- Systemy łączności laserowej
- Dozymetry UV
- Radiometry w paśmie UV Solar Blind
- Systemy ostrzegania przed promieniowaniem laserowym
- Rozwiązania optoelektroniczne dla onkologii

## 1.3.

### ZAKŁAD SYSTEMÓW OPTOELEKTRONICZNYCH

Profil badań naukowych i prac wdrożeniowych Zakładu Systemów Optoelektronicznych obejmuje prace badawczo-rozwojowe związane z zastosowaniami nowoczesnych optoelektronicznych systemów detekcji oraz techniki światłowodowej i terahercowej m.in. w ochronie środowiska, medycynie oraz ochronie obiektów infrastruktury krytycznej. W strukturze organizacyjnej ZSO umieszczony jest także Zespół Elektroniki Kwantowej, którego podstawowym zadaniem są prace rozwojowe oraz modernizacja systemów rakietowych pocisków przeciwlotniczych GROM i Piorun.

#### Aktualna tematyka badawcza:

- projektowanie niskoszumowych i wysokoczułych fotoodbiorników pracujących w zakresie promieniowania od EUV, VIS do IR
- projektowanie układów nadawczo-odbiorczych dla łączności optycznych otwartej przestrzeni
- badania ultraczułych optoelektronicznych sensorów niebezpiecznych gazów
- opracowanie i badania układów do zatężania par materiałów wybuchowych oraz urządzeń do ich termicznej dekompozycji
- projektowanie układów do pobierania próbek gazowych na potrzeby laserowej spektroskopii absorpcyjnej
- projektowanie dedykowanych układów sterowania źródłami laserowymi na potrzeby spektroskopii oraz łączności bezprzewodowej
- opracowanie czujników światłowodowych na potrzeby elektronicznej ochrony obiektów rozległych
- projektowanie, opiniowanie i odbiory techniczne elektronicznych systemów ochrony infrastruktury krytycznej
- metody i systemy pomiarowe do badań kamer termowizyjnych, kamer TV, przyrządów noktowizyjnych, urządzeń laserowych oraz wielosensorowych urządzeń obserwacyjnych
- badania sygnatur środków niebezpiecznych (materiały wybuchowe, narkotyki) oraz badania charakterystyk materiałów kompozytowych metodą spektroskopii THz
- badania zintegrowanych systemów radarowo-kamerowych do ochrony lotnisk i portów morskich

#### Najważniejsze osiągnięcia w ostatnich latach:

- Optoelektroniczny czujnik śladowych ilości materiałów wybuchowych
- Ultraczuły sensor ditlenku azotu
- Wdrożenie do produkcji światłowodowego systemu do ochrony perymetrycznej obiektów specjalnych
- Światłowodowy czujnik ochrony zbiorów muzealnych
- Czujnik jednofotonowy do ochrony i monitorowania integralności łączy światłowodowych

- System fotografii laserowej
- Zintegrowana platforma radarowo-kamerowa do ochrony obiektów wojskowych
- Zintegrowany system ochrony portu morskiego
- System ochrony statku przed atakami pirackimi



## 1.4.

### ZAKŁAD TECHNIKI PODCZERWIENI I TERMOWIZJI

Zakres prac badawczych i wdrożeniowych realizowanych w Zakładzie Techniki Podczerwieni i Termowizji obejmuje bezkontaktowe pomiary temperatury, pomiary termowizyjne oraz szeroko pojętą technikę podczerwieni stosowaną w urządzeniach opracowywanych dla potrzeb Sił Zbrojnych RP oraz gospodarki narodowej.

#### **Aktualna tematyka badawcza:**

Wojskowe zastosowania techniki podczerwieni:

- zespoły termodetekcyjne dla amunicji inteligentnej
- wieloczujnikowe zespoły detekcyjne
- czujniki podczerwieni do systemów ochrony
- urządzenia do wykrywania obiektów w podczerwieni
- obserwacyjne kamery termowizyjne z detektorami chłodzonymi i niechłodzonymi
- kamery termowizyjne do systemu indywidualnego wyposażenia żołnierza

Termowizja i pirometria podczerwieni:

- badania termowizyjne oraz analiza termogramów
- projektowanie i wykonanie pirometrów podczerwieni
- projektowanie i wykonanie wzorcowych źródeł podczerwieni
- wzorcowanie i kalibracja pirometrów podczerwieni
- badania parametrów i charakterystyk kamer termowizyjnych, kamer zakresu widzialnego i dalmierzy laserowych

Badania elementów i zespołów termodetekcyjnych:

- wyznaczanie widmowych charakterystyk detektorów podczerwieni
- wyznaczanie kątowych charakterystyk czujników podczerwieni
- badania klimatyczne zespołów termodetekcyjnych

Modelowanie i analizy teoretyczne:

- modelowanie procesów detekcji promieniowania podczerwonego
- symulacja działania zespołów i urządzeń termodetekcyjnych
- wyznaczanie sygnatur obiektów w zakresie podczerwieni
- wyznaczanie zasięgów działania urządzeń termodetekcyjnych

#### **Najważniejsze osiągnięcia w ostatnich latach:**

- termowizyjny celownik strzelecki CTS-1
- kamera termowizyjna KT-1 z detektorem chłodzonym do systemu kierowania ogniem
- wielowidmowa lornetka obserwacyjno-pomiarowa LOP-1

Akredytowane Laboratorium Badawcze (ALB) od 1997 r. funkcjonuje zgodnie z systemem zarządzania jakością badań, spełniającym wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17025. System zarządzania jest udokumentowany i posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji. Wyniki badań wykonywanych w Laboratorium są uznawane w międzynarodowym systemie ILAC/MRA. Laboratorium współpracuje z krajowymi i zagranicznymi ośrodkami naukowymi w zakresie metrologii optoelektronicznej. Nadrzędnym celem oraz zasadą funkcjonowania systemu zarządzania Laboratorium Badawczego Instytutu Optoelektroniki jest dążenie do spełniania wymagań klientów przy jednoczesnym zapewnieniu spełnienia wymagań ustawowych i przepisów.

#### Procedury badawcze ALB

- PB-01 – Pomiar energii impulsu promieniowania laserowego
- PB-02 – Pomiar mocy promieniowania laserowego
- PB-03 – Rejestracja rozkładu natężenia napromieniowania w przekroju poprzecznym wiązki laserowej
- PB-04 – Pomiar czasu trwania i wyznaczanie współczynnika asymetrii impulsu promieniowania laserowego
- PB-05 – Wyznaczanie współczynnika korekcyjnego, nieliniowości mierników energii/mocy promieniowania laserowego
- PB-06 – Wyznaczanie współczynnika absorpcji materiałów optycznych
- PB-07 – Wyznaczanie klasy bezpieczeństwa urządzeń emitujących promieniowanie laserowe
- PB-08 – Wyznaczenie parametrów urządzeń termowizyjnych: funkcji przenoszenia sygnału, składników szumowych modelu 3D, składników szumowych modelu uproszczonego, (szumów typu  $1/f$ , niejednorodność, mocy równoważnej szumom), stosunku sygnału do szumu, funkcji przenoszenia modulacji oraz funkcji przenoszenia kontrastu, funkcji minimalnej rozróżnialnej różnicy temperatur, pola widzenia
- PB-09 – Wyznaczenia parametrów kamer TV, LLTV oraz przyrządów noktowizyjnych: stosunku sygnału do szumu, funkcji przenoszenia modulacji oraz funkcji przenoszenia kontrastu, rozdzielczości przestrzennej oraz funkcji minimalnego rozróżnialnego kontrastu, pola widzenia

#### Laboratorium prowadzi ponadto szkolenia z zakresu:

- bezpieczeństwa urządzeń laserowych
- metrologii optoelektronicznej
- systemów zarządzania jakością badań

## 1.6.

### CENTRUM INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ

Misją powstałego w 2013 r. Centrum Inżynierii Biomedycznej (CIB) jest prowadzenie badań w dziedzinie inżynierii biomedycznej, wytwarzanie innowacyjnych technologii i urządzeń medycznych. CIB prowadzi projekt w ramach konkursu 5.1 POIG pod nazwą „Rozwój Klastra Centrum Inżynierii Biomedycznej” mający na celu dyfuzję innowacji z WAT i innych instytucji naukowo-badawczych do firm powiązanych z klastrem. Klaster zawiązały 44 podmioty: przedsiębiorstwa, organizacje badawcze, instytuty naukowe, uczelnie i instytucje otoczenia biznesu. Obecnie CIB jest w końcowej fazie szkolenia personelu, organizacji i uruchamiania nowych laboratoriów badawczych.

#### Aktualna tematyka badawcza:

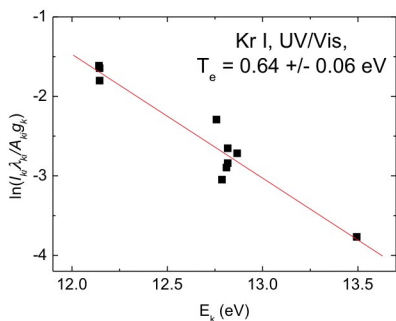
- opracowanie technologii diagnostyki i leczenia chorób nowotworowych i układu krążenia przy wykorzystaniu terapii fotodynamicznej
- opracowanie technologii wykrywania patogenów wywołujących zakażenia szpitalne i powodujących zagrożenia bakteriologiczne
- opracowanie technologii zwiększenia populacji komórek macierzystych i ich różnicowania w przy wykorzystaniu promieniowania ze źródeł LED o różnych długościach fali
- ocena wpływu promieniowania impulsów HPM o niskich częstotliwościach i częstotliwościach mikrofalowych na komórki ssaków na poziomie molekularnym
- oprogramowania informatyczne do zastosowania w medycynie
- wpływ pól elektromagnetycznych na organizm człowieka
- opracowanie innowacyjnej technologii z wykorzystaniem sił molekularnych w diagnostyce i leczeniu chorób nowotworowych



## 2.1.

andrzej.bartnik@wat.edu.pl

Kr II, UV/Vis,  
 $T_e = 1.6 \pm 0.1$  eV



**Rys.3.** Wykres Boltzmannna wyznaczony na podstawie linii widmowych pochodzących od wzbudzonych atomów kryptonu w zakresie widzialnym,  $T_e = 0.64 \pm 0.06$  eV

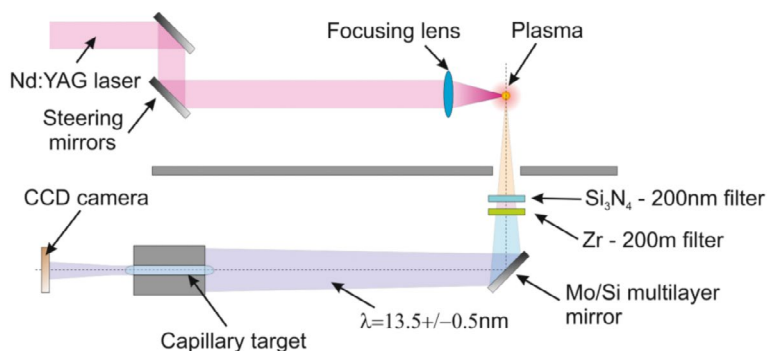
Laserowo plazmowe źródła skrajnego nadfioletu (EUV) opracowane w Instytucie Optoelektroniki znajdują zastosowanie w różnego typu pracach badawczych i rozwojowych. Wbudowany kolektor EUV umożliwia uzyskanie gęstości mocy wiązki promieniowania na poziomie  $10^7 \text{ W/cm}^2$ . Jest to promieniowanie jonizujące umożliwiające prowadzenie interesujących badań oddziaływania z różnego typu materiałami oraz gazami. W wyniku oddziaływania wiązki promieniowania EUV o dużej intensywności z gazami powstaje plazma fotojonizacyjna. W ramach prowadzonych badań zarejestrowano widma emisyjne takiej plazmy, wytwarzanej w różnego typu gazach. Widma rejestrowano w zakresie długości fal  $10 \div 100$  nm za pomocą spektrografu z toroidalną siatką dyfrakcyjną (McPherson, Model 251) oraz w zakresie  $200 \div 780$  nm z zastosowaniem spektrometru Echelle Spectra Analyzer ESA 4000. Na podstawie wyników pomiarów spektralnych wykonano wykresy Boltzmannna, umożliwiające wyznaczenie temperatury elektronowej plazmy  $T_e$ . Jest to tzw. plazma niskotemperaturowa  $T_e \approx 1$  eV. W stosunku do plazmy niskotemperaturowej stosowanej w technologii jej gęstość elektronowa jest o kilka rzędów wielkości wyższa i wynosi  $10^{16} \div 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

## 2.2.

## IMPULSOWA KAPILARNA TARCZA GAZOWA

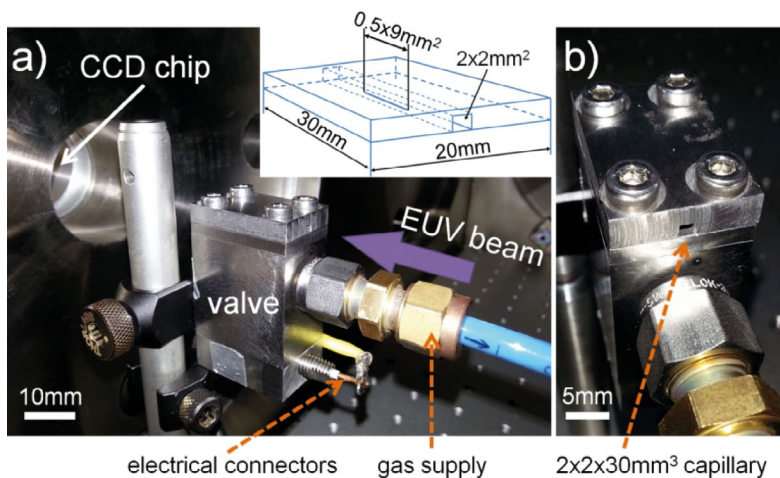
przemyslawwachulak@wat.edu.pl

**Rys. 1.** Układ eksperymentalny do cieniografii impulsowej w zakresie EUV do charakteryzacji impulsowej kapilarnej tarczy gazowej

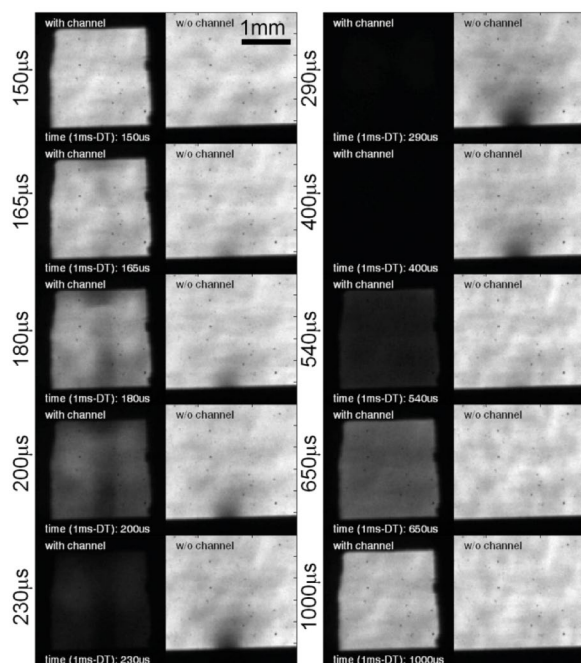


Przeprowadzono eksperymenty dotyczące opracowania i charakteryzacji impulsowej kapilarnej tarczy gazowej. Tarcza ta ma potencjalne aplikacje w eksperymentach dotyczących oddziaływania promieniowania laserowego z materią.

**Rys. 2. a)** Zdjęcie przedstawiające zawór elektromagnetyczny wyposażony w kapilarę, do której wstrzykuje się gaz przez dyszę w postaci szczeliny, **b)** Zdjęcie przedstawiające kapilarę w powiększeniu



Tarcza wytwarzana jest poprzez impulsowe wstrzykiwanie gazu przez dyszę w postaci szczeliny do kapilary. Badania wypływu gazu, gęstości gazu w kapilarze i badanie zjawisk przejściowych (czasowych) przeprowadzono z wykorzystaniem metody cieniografii impulsowej w zakresie skrajnego nadfioletu (ang. extreme ultraviolet - EUV), na długości fali 13.5nm.



**Rys. 3.** Sekwencja cieniogramów w zakresie EUV (obrazy transmisyjne) dla tarczy gazowej w postaci kapilary (po lewej) i dla tarczy gazowej wytworzonej w wolnej przestrzeni (bez kapilary) przez dyszę w kształcie szczeliny (po prawej) dla różnych czasów opóźnień

Czasowo rozdzielcze badania wypływu gazu z dyszy do kapilary oraz efekt kształtowania wypływu gazu przez ściany kapilary zobrazowano przy użyciu czułej na zakres EUV kamery CCD. Gęstości gazu w kapilarze zmierzono dla argonu, zmieniając czas otwarcia oraz ciśnienie gazu dostarczanego do zaworu. Tarcza gazowa tego typu może stanowić interesującą alternatywę dla innych tarcz do badań oddziaływania promieniowania laserowego z materią, przeprowadzanych w reżimie wyższych energii i mniejszych częstotliwości repetycji lasera.



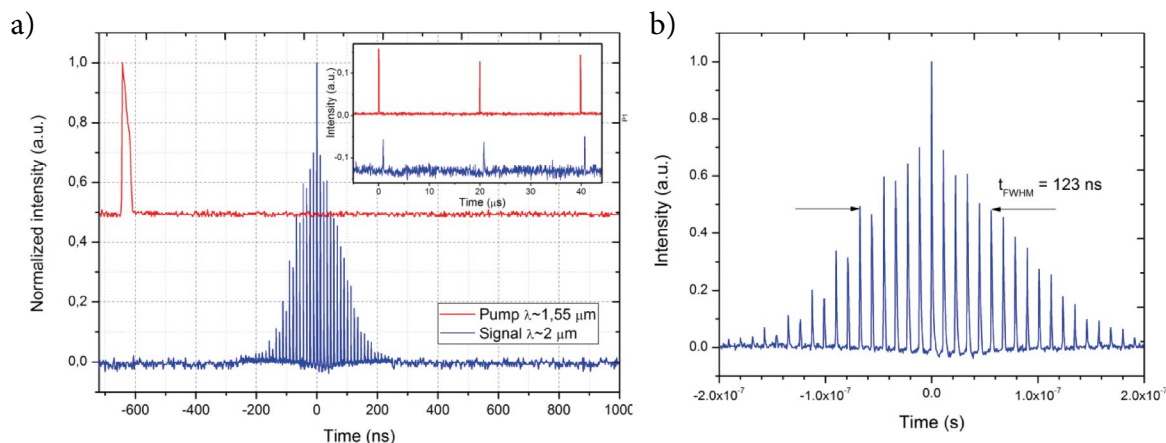
## 2.3.

ŚWIATŁOWODOWY LASER TULOWY Z PRZEŁĄCZANYM WZMOCNIENIEM I PASYWNĄ SYNCHRONIZACJĄ MODÓW, GENERUJĄCY PROMIENIOWANIE O DŁUGOŚCI FALI 2  $\mu\text{m}$ 

jacek.swiderski@wat.edu.pl

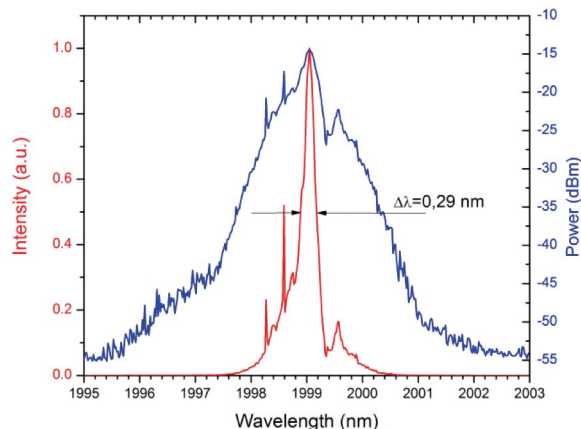
**Rys. 1.** Oscylogram przedstawiający impulsy pompujące (1.55  $\mu\text{m}$ ) oraz impulsy generowane przez tulowy laser światłowodowy (2  $\mu\text{m}$ ) (a); pojedynczy impuls generowany przez laser tulowy z przełączanym wzmacnieniem i synchronizacją modów (b)

Opracowano całkowicie światłowodowy laser tulowy z przełączanym wzmacnieniem i synchronizacją modów generujący promieniowanie w okolicy 2  $\mu\text{m}$ . Laser ten, zbudowany na światłowodzie domieszkowanym jonami tulu  $\text{Tm}^{3+}$ , był pompowany rezonansowo impulsami o długości fali 1.55  $\mu\text{m}$ , dostarczany przez światłowodowy układ MOPA. Pasywna synchronizacja modów realizowana była za pomocą półprzewodnikowego zwierciadła wysycanego SESAM cechującego się gęstością strumienia nasycenia  $\Phi_{\text{sat}} = 65 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  oraz 12% głębokością modulacji.



Układ pracował przy częstotliwości repetycji 50 kHz i generował ciąg impulsów wywołanych przełączaniem wzmacnienia o czasie trwania poniżej 200 ns i wyjściowej mocy średniej do 22 mW.

**Rys. 2.** Widmo promieniowania lasera (skala liniowa i decybelowa)



W obrębie obwiedni tych impulsów rejestrowane były regularne i stabilne subimpulsy o częstotliwości 89 MHz, odpowiadającej czasowi własnemu rezonatora lasera, co jednocześnie pokazuje, że laser pracował na podstawowej częstotliwości synchronizacji modów. Opracowany laser generował promieniowanie o długości fali 1999 nm, przy szerokości widma, mierzonej na poziomie -3 dB, wynoszącej 0.29 nm. Jest to pierwsza demonstracja lasera tulowego z szybkim przełączaniem wzmocnienia i jednoczesną synchronizacją modów o 100% głębokości modulacji. Układ ten jest przedmiotem zgłoszenia patentowego do Urzędu Patentowego RP.

Laser ten może zostać użyty jako źródło impulsów optycznych dla układu o konfiguracji MOPA pozwalającego na osiągnięcie wyższych energii i mocy szczytowych generowanych impulsów, co jest istotne z punktu widzenia układów optycznych generatorów parametrycznych oraz źródeł supercontinuum zakresu widmowego średniej podczerwieni.

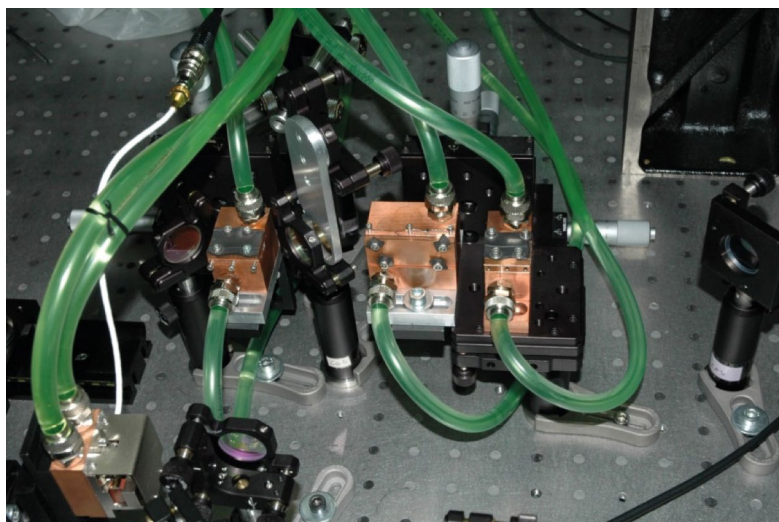
## 2.4.

HYBRYDOWY, CW ORAZ IMPULSOWY LASER  
HO:YLF WYKONANY W TECHNOLOGII GENERATOR -  
WZMACNIACZ

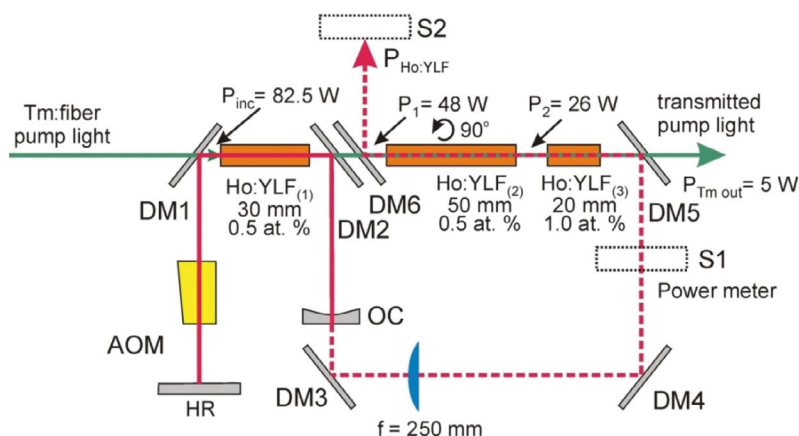
jacek.kwiatkowski@wat.edu.pl

Idea pracy laserów hybrydowych, które są obecnie obiektem prac czołowych laboratoriów naukowych na świecie, polega na zastosowaniu w jednym układzie dwóch laserów, z których pierwszy, włóknowy laser dużej mocy jest wykorzystywany jako wydajna pompa dla drugiego lasera objętościowego. W Zakładzie Techniki Laserowej opracowano konstrukcję lasera Ho:YLF pracującego w reżimie ciągłego działania oraz aktywnej modulacji dobroci rezonatora, w którym jako pompę optyczną zastosowano wiązkę lasera Tm:fiber o dużej mocy wyjściowej na poziomie kilkudziesięciu watów. Badania przeprowadzono w układzie samego generatora jak i w układzie generator-wzmacniacz MOPA (*Master Oscillator Power Amplifier*)

Rys. 1. Fotografia laboratoryjnego układu lasera Ho:YLF

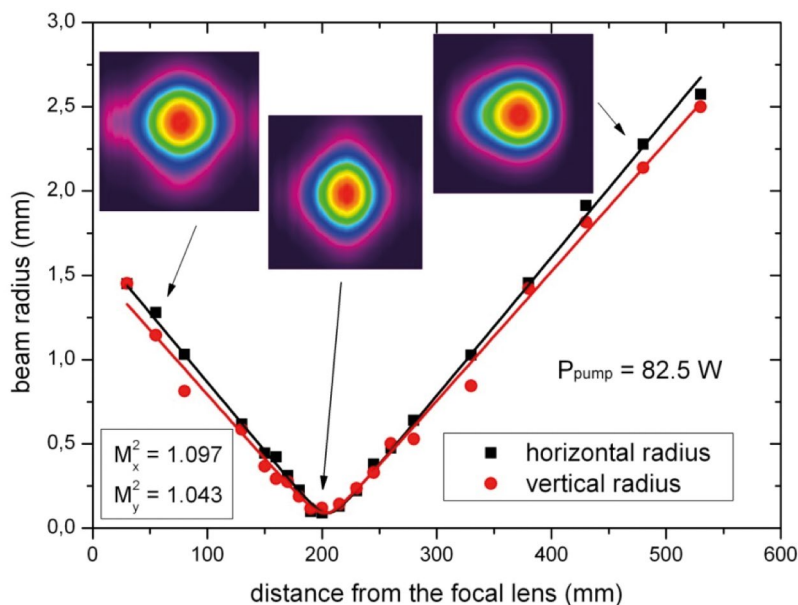


W układzie generatora dla ośrodka czynnego o koncentracji domieszki czynnej na poziomie 0.5 % uzyskano maksymalną moc wyjściową CW o wartości 24.5 W ze sprawnością różniczkową 35.4 % odniesioną do mocy wejściowej padającej na kryształ. Maksymalną sprawność różniczkową odniesioną do mocy zaabsorbowanej w kryształcie uzyskano na poziomie 81.6 %.



Rys. 2. Schemat układu lasera Ho:YLF w układzie generator-wzmacniacz pompowanego laserem włóknowym Tm: fiber o dużej mocy wyjściowej

W wyniku zastosowania dwustopniowego układu wzmacniającego zbudowanego w oparciu o kryształy Ho:YLF o domieszkach jonów Ho o wartościach 0.5 % oraz 1 % i różnych długościach geometrycznych, moce wyjściowe w reżimie CW przekraczały wartość 30 W. W reżimie przełączania dobroci rezonatora, w układzie wzmacniacza zaobserwowano prawie dwukrotny wzrost energii generowanych impulsów w stosunku do układu samego generatora. Dla repetycji 1 kHz uzyskano impulsy o energiach 18.5 mJ z czasem trwania 22 ns i mocy szczytowej na poziomie 841 kW. W zależności od zastosowanej transmisji zwierciadła wyjściowego laser generował promieniowanie o długości fali w obszarze 2060 nm lub 2050 nm i jakości wiązki  $M^2$  o wartościach nie przekraczających wielkości 1.1 w kierunkach odpowiednio poziomym i pionowym.



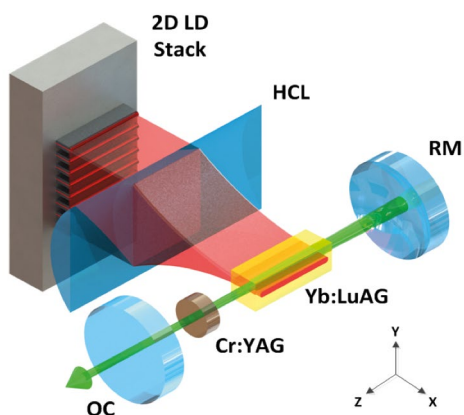
Rys. 3. Pomiar parametru jakości wiązki  $M^2$  oraz rozkład przestrzenny wiązki lasera Ho:YLF w układzie generator-wzmacniacz

## 2.5.

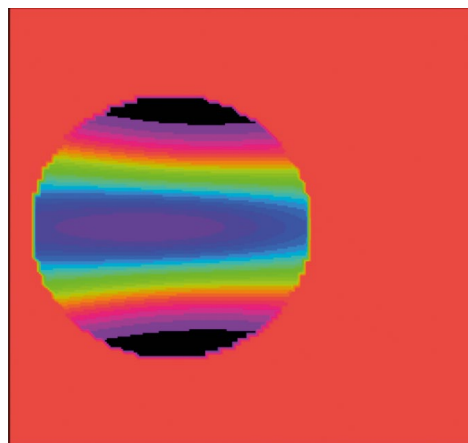
### IMPULSOWE LASERY NA OŚRODKACH ITERBOWYCH POMPOWANE POPRZECZNIE MATRYCAMI DIOD LASEROWYCH DUŻEJ MOCY

jan.jabczynski@wat.edu.pl

Opracowano półanalityczny model laserów pompowanych poprzecznie na ośrodkach quasi-trójpoziomowych, który zastosowano do zaprojektowania wydajnych laserów iterbowych (patrz rys. 1). Model umożliwia obliczenie 2D profilu wzbudzenia (rys. 2), efektywnego wzmocnienia i strat reabsorpcyjnych, zgromadzonej i generowanej energii modu laserowego o zadanej średnicy dla szerokiej klasy ośrodków czynnych o różnych kształtach i poziomach domieszki oraz różnych konfiguracji układu optycznego kształtującego wiązkę pompującą.



Rys. 1. Schemat pompowanego poprzecznie lasera



Rys. 2. 2D rozkład wzbudzenie w przekroju słaba

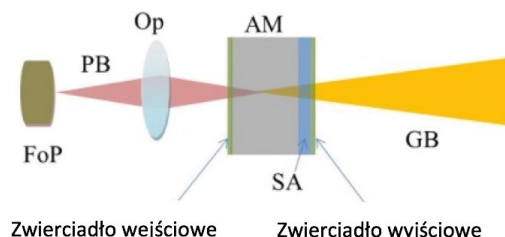
Opracowano model laboratoryjny takiego lasera stosując do pompowania 2D stos LD o energii 0.8 J dla czasu trwania 1 ms generujący na długości fali  $\sim 970$  nm z zastosowaniem pasywnej kontroli temperatury matrycy pompującej. Badano kryształy Yb:YAG i Yb:LuAG o różnych koncentracjach domieszki, generujące na długości fali około 1030 nm. Uzyskano w reżimie generacji swobodnej 160 mJ w laserze Yb:YAG i ponad 100 mJ w laserze Yb:LuAG ze sprawnością różniczkową około 20% w modzie bliskim  $TEM_{00}$ . W reżimie pasywnej modulacji strat z wykorzystaniem modulatorów Cr:YAG, uzyskano do 10 mJ energii i około 2.5 MW mocy szczytowej w laserze Yb:LuAG. Energia wyjściowa była w tym przypadku ograniczona przez próg uszkodzenia ośrodka czynnego. Sformułowano wskazania dotyczące częściowego zmniejszenia tego ograniczenia. Wykazano potencjał pompowanych poprzecznie laserów iterbowych, które mogą obecnie generować energie na poziomie 0.1 J w temperaturach pokojowych. Takie lasery mogą stanowić realną konkurencję dla tradycyjnych, pompowanych lampowo laserów neodymowych oraz laserów iterbowych zrealizowanych w architekturze 'thin-disk'.

## 2.6.

## IMPULSOWY MIKROLASER BEZPIECZNY DLA WZROKU

Opracowano i wykonano impulsowy mikrolaser monolityczny generujący promieniowanie w obszarze promieniowania bezpiecznego dla wzroku. Na bazie wykonanego mikrolasera zbudowano głowicę laserową, która może być z powodzeniem wykorzystana w dalmierzach laserowych.

jaroslaw.mlynczak@wat.edu.pl

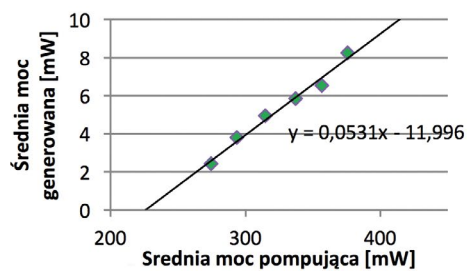


**Rys. 1.** Schemat budowy mikrolasera: FoP – światłowod diody pompującej; PB – wiązka pompująca; Op – układ optyczny; AM – ośrodek aktywny; SA – pasywny modulatur; GB – wiązka generowana

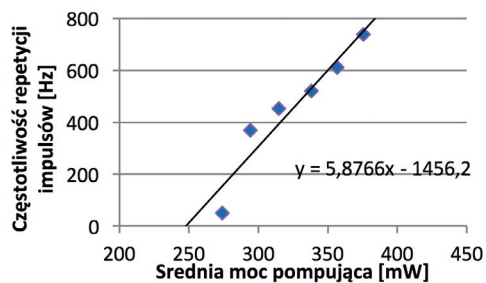


**Rys. 2.** Zdjęcie laserowej głowicy dalmierczej z pompującą diodą laserową

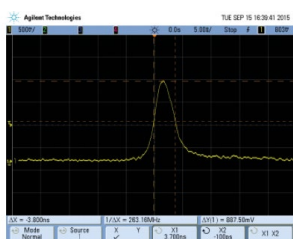
Generowane promieniowanie cechuje się następującymi parametrami: moc impulsu, czas trwania impulsu mierzony na połowie wysokości, energia w impulsie, sprawność różniczkowa  $\eta=5,31$  oraz próg generacji, częstotliwość repetycji impulsów jest zależna od mocy pompującej i dla  $\approx 375$  mW wynosi 0.735 kHz. Parametr  $M^2$  wiązki generowanej przez mikrolaser wynosił  $M_x^2=2.77$  i  $M_y^2=2.27$ .



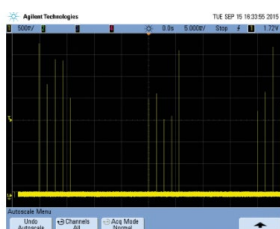
**Rys. 3. Generowana moc średnia w funkcji średniej mocy pompującej padającej na ośrodek aktywny wraz z aproksymacją linią prostą**



**Rys. 4. Zależność powtarzania impulsów od mocy padającej na mikrolaser**



**Rys. 4. Kształt pojedynczego impulsu generowanego przez laserową głowicę dalmierczą**



**Rys. 5. Sekwencja generowanych impulsów dla  $\omega = 735$  Hz generowana przez laserową głowicę dalmierczą**



**Rys. 6.** Spektrum generowane przez laserową głowicę dalmierczą





# 3.

## ZASTOSOWANIA OPTOELEKTRONICZNYCH TECHNIK POMIAROWYCH

### 3.1.

#### SPEKTROSKOPIA EMISYJNA ZE WZBUDZENIEM LASEROWYM (LIBS) W BADANIACH DZIEŁ SZTUKI

wojciech.skrzeczanowski@wat.edu.pl

Spektroskopia emisyjna ze wzbudzeniem laserowym, zwana LIBS od nazwy angielskiej – *Laser Induced Breakdown Spectroscopy*, służy do wyznaczania składu chemicznego i badania struktury dowolnych obiektów w stanie stałym, ciekłym i gazowym. Polega ona, w dużym skrócie, na odparowaniu (za pomocą impulsu laserowego dużej mocy) niewielkiej ilości badanego materiału oraz wytworzeniu plazmy emitującej promieniowanie ciągłe i liniowe. Analiza spektralna promieniowania liniowego emitowanego przez plazmę pozwala zidentyfikować pierwiastki występujące w badanej próbce, określić ich stężenia, a także zidentyfikować charakterystyki stratygraficzne warstw powierzchniowych obiektu.

**Rys. 1.** Korony z Sanktuarium ze Skrzatusza: z lewej – korona Chrystusa; z prawej – korona Matki Bożej

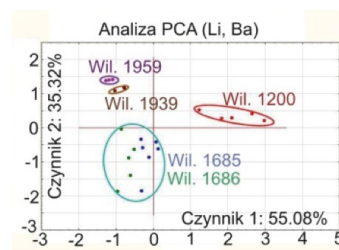


Badania dzieł sztuki z wykorzystaniem techniki LIBS prowadzone są w Laboratorium Zastosowania Laserów IOE WAT od kilkunastu lat. Ostatnio, przeprowadzono szerokie badania identyfikacyjne dwóch koron z XVII wieku z Diecezjalnego Sanktuarium Matki Bożej Bolesnej w Skrzatuszu (rys.1) i kolekcji 5 obrazów olejnych rodziny Króla Jana III Sobieskiego z Muzeum w Wilanowie (rys. 2). Dane LIBS zawierają wiele zmiennych, co pozwala zastosować metody statystyczne, umożliwiające analizę najważniejszych właściwości badanych obiektów i korelacji pomiędzy danymi z różnych punktów pomiarowych. Analiza czynnikowa (FA) i analiza głównych składowych widm (PCA) pozwoliła na stwierdzenie, że korpusy obu koron są wykonane z tego samego stopu srebra z niewielką ilością miedzi, cynku, cyny i ołowiu. Obecność rtęci świadczy o zastosowaniu techniki amalgamacji przy pokryciu złotem. Większość ozdób stanowią później datowane dodatki, wykonane z różnych stopów, a w szczególności dotyczy to opraw kamieni szlachetnych.



**Rys. 2.** Kolekcja 5 obrazów olejnych rodziny Króla Jana III Sobieskiego z Muzeum w Wilanowie

W przypadku kolekcji pięciu obrazów olejnych z Wilanowa, przeprowadzono porównawcze analizy statystyczne PCA zawartości baru i litu w podkładach malarskich (rys.3). Wykazały one podobieństwo składów w poszczególnych malowidłach (np. oznaczonych Wil. 1685 i 1686 – król i królowa na koniu), odpowiadające podobieństwu całkowitych widm LIBS na głębokościach 41-50 i 51-60 strzałów laserowych w badaniach stratygraficznych.



**Rys. 3.** Wyniki analizy PCA zawartości Li i Ba w podkładzie malarskim

## 3.2.

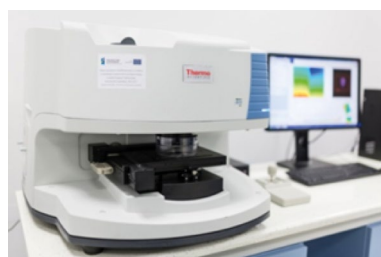
## OBRAZOWANIE METODĄ SPEKTROSKOPII RAMANA I FTIR

aneta.bombalska@wat.edu.pl

Próbki biologiczne charakteryzują się złożoną strukturą i zróżnicowanym składem chemicznym. Badanie tego typu materiałów polega na analizie bioskładników, które występują w bardzo niskich stężeniach. Wśród wielu metod analitycznych techniki spektroskopii optycznej bardzo dobrze sprawdzają się w badaniach komórek i tkanek pochodzenia biologicznego. Do głównych zalet metod spektroskopowych zaliczyć można: małą inwazyjność, niedestrukcyjność oraz możliwość wykrycia zmian patologicznych w tkankach już na wczesnym etapie ich powstania. Metody spektroskopowe są stosunkowo szybkie oraz umożliwiają badania *in vivo*, dzięki czemu można ominąć etapy pobierania i przygotowywania próbek do analizy.

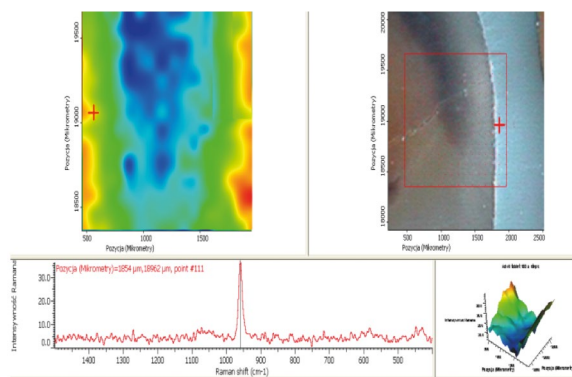


**Rys. 1.** Spektrometr Nicolet IS-50 Raman/FTIR z długością lasera wzbudzającego 1064 nm i detektorem DLaTGS do mapowania techniką rozproszenia Ramanowskiego. Jednocześnie ze spektrometrem sprzężony jest moduł ATR-IR służący do rejestracji widm w zakresie podczerwieni

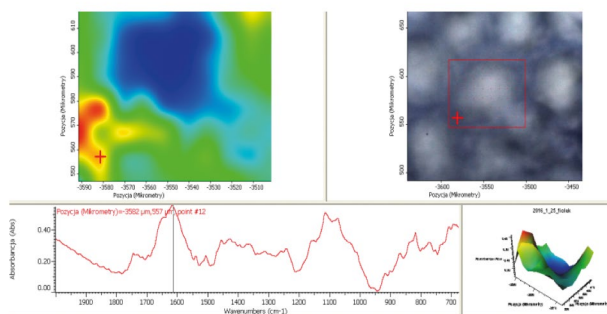


**Rys. 2.** Mikroskop Nicolet iN10 wyposażony w detektory DTGS, MCT, ruchomy stółik umożliwiający precyzyjną lokalizację obszaru mapowanego do mapowania techniką absorpcji w podczerwieni (FTIR). Wymienne przystawki pozwalają na dopasowanie techniki pomiaru (DRIFT, ATR, transmisja) do rodzaju analizowanych próbek

W widmie ramanowskim widoczny jest głównie jeden pik w okolicy  $960\text{ cm}^{-1}$ , charakterystyczny dla grupy  $\text{PO}_4$  pochodzącej od głównego budulca zębów jakim jest hydroksyapatyt. Intensywność tego pasma determinuje zawartość fosforanów w badanej próbce. Próchnica zęba jest zmianą ilościową (ubytek), stąd największa ilość fosforanów obserwowana jest w szkliwie zdrowym mniejsza zaś w miejscu objętym procesem próchnicznym. Antocyjany to duża grupa barwników roślinnych, które w zależności od pH soku komórkowego mogą przyjmować barwę od czerwonej po fioletową. Barwniki te występują w kwiatach, owocach, liściach, łodygach, a rzadziej w korzeniach i drewnie. W komórkach znajdują się w wakuolach, w postaci granulek różnej wielkości, natomiast ściany komórkowe i tkanki miękkie nie zawierają antocyjanów. Charakterystyczna budowa  $\text{C}_6\text{-C}_3\text{-C}_6$  powoduje, iż głównym pasmem identyfikującym te związki jest  $1604\text{ cm}^{-1}$  pochodzące od pierścienia aromatycznego.



Rys. 3. Mapa zęba wykonana techniką Ramana

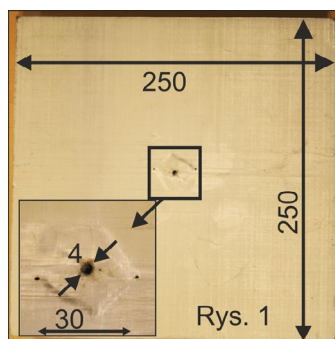


Rys. 4. Mapa wycinka płatka kwiatowego wykonana techniką FTIR

## 3.3.

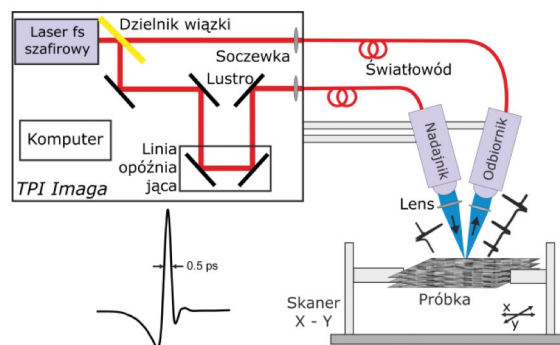
## TERAHERCOWE SKANOWANIE KOMPOZYTÓW POLIETYLENOWYCH

norbert.palka@wat.edu.pl



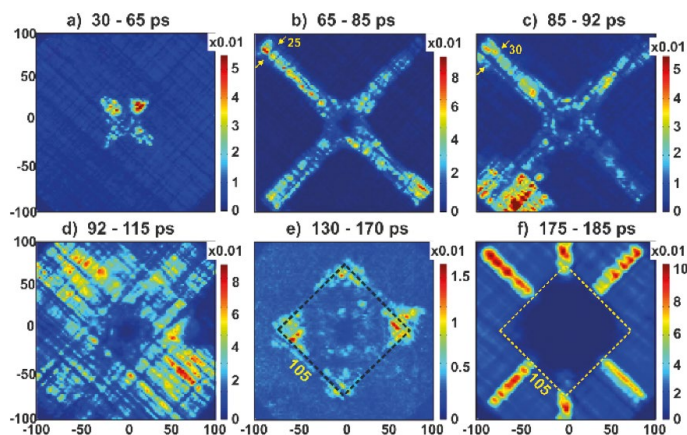
**Rys. 1.** Lokalizacja obszaru delaminacji w badanej próbce

Próbki biologiczne charakteryzują się złożoną strukturą i zróżnicowanym składem chemicznym. Badanie tego typu materiałów polega na analizie bioskładników, które występują w bardzo niskich stężeniach. Wśród wielu metod analitycznych techniki spektroskopii optycznej bardzo dobrze sprawdzają się w badaniach komórek i tkanek pochodzenia biologicznego. Do głównych zalet metod spektroskopowych zaliczyć można: małą inwazyjność, niedestrukcyjność oraz możliwość wykrycia zmian patologicznych w tkankach już na wczesnym etapie ich powstania. Metody spektroskopowe są stosunkowo szybkie oraz umożliwiają badania in vivo, dzięki czemu można ominąć etapy pobierania i przygotowywania próbek do analizy. Kompozyty polietylenowe, czyli płyty o grubości ok. 10-20 mm wykorzystywane są jako materiał do ochrony balistycznej pojazdów, na hełmy i na kamizelki kuloodporne. Składają się z wielu około 50 mm warstw włókien (o średnicy ok. 20 mm) wykonanych z UHMWPE. Włókna w kolejnych warstwach są umieszczone prostopadle względem siebie. W trakcie wyhamowywania pocisku tworzy się komora oraz rozległe delaminacje wewnątrz struktury (rys. 1). Poznanie położenia tych delaminacji, ich zasięgu i grubości jest kluczowe dla określenia jakości materiału i dalszych prac badawczych. Promieniowanie terahercowe z zakresu 0,1-3 THz doskonale przechodzi przez takie struktury i pozwala na dokładną ich analizę oraz trójwymiarową wizualizację. Do zobrazowania wykorzystano układ odbiciowy działający w oparciu o technikę TDS, w której generowany i detekowany jest 0,5 ps impuls promieniowania elektromagnetycznego (rys. 2). Impuls THz propagujący się w wielowarstwowej strukturze natrafiając na granicę ośrodków ulega częściowemu odbiciu. Pozostała część propaguje się dalej w strukturze. W rezultacie w odbiciu otrzymuje się szereg impulsów opóźnionych względem siebie o podwojony czas propagacji w poszczególnych warstwach. Skanowanie punktu po punkcie badanej próbki umożliwia odtworzenie jej struktury wewnętrznej i położenie poszukiwanych delaminacji.



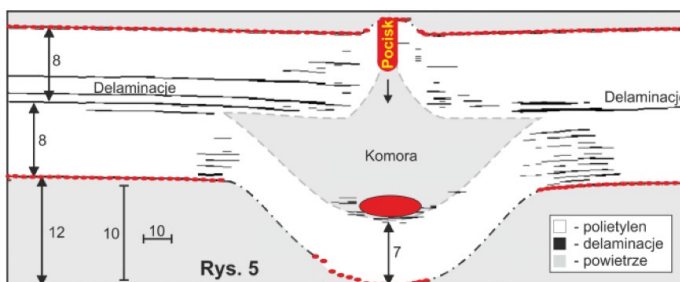
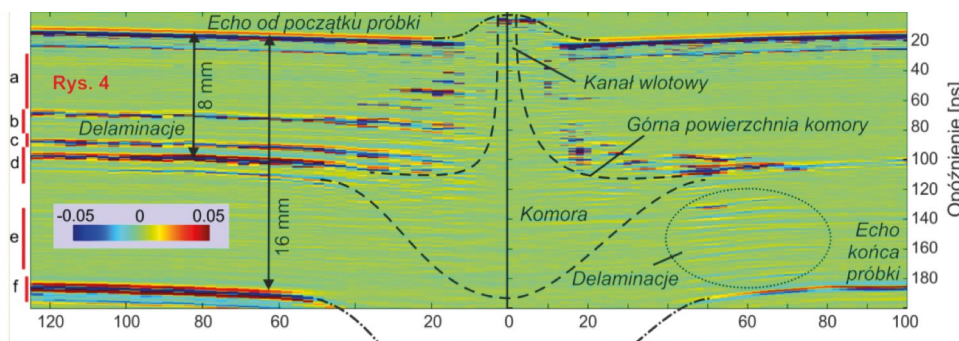
**Rys. 2.** Schemat układu pomiarowego





**Rys. 3.** Przekroje warstwowe struktury kanału wlotowego

**Rys. 4.** Przekrój pionowy struktury kanału wlotowego



**Rys. 5.** Rozkład obszaru próbki i delaminacji

Przekroje pionowy (rys. 3) i poziomy (rys. 4) zobrazonej struktury uwidaczniają kanał wlotowy pocisku, centralnie położoną komorę, radialnie rozchodzące się delaminacje i inne zaburzenia. Stosując przetwarzanie niejednoznacznych terahercowych sygnałów pochodzących z wnętrza próbki, można jednoznacznie określić rozkład obszarów próbki i delaminacji (rys. 5.)

## 3.4.

ZASTOSOWANIE METODY FUZJI OBRAZÓW  
DO WYKRYWANIA UKRYTYCH OBIEKTÓW

marcin.kowalski@wat.edu.pl

**Rys. 1.** Ilustracja fuzji obrazów z kamery THZ (zdjęcie z lewej) i z kamery VIS (zdjęcie środkowe) w złożony obraz (zdjęcie z prawej)



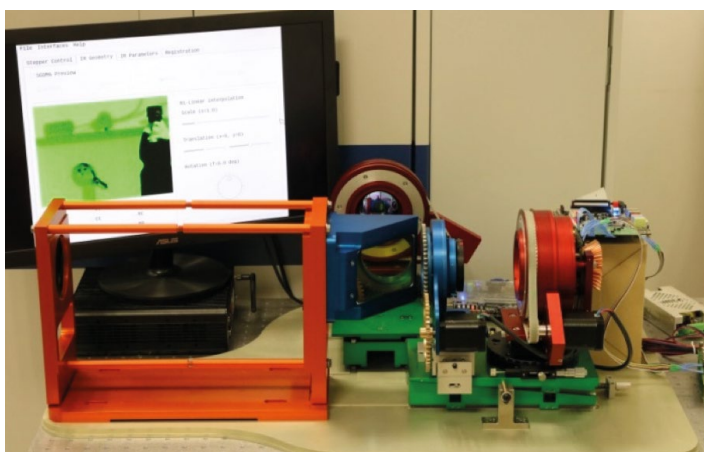
Zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa miejsc użyteczności publicznej np. lotnisk jest jednym z ważniejszych problemów społecznych. Jednym z aspektów tego problemu jest wykrywanie przedmiotów potencjalnie niebezpiecznych ukrytych pod ubraniem człowieka. Urządzenia obrazujące pracujące w zakresie THz mogą znaleźć zastosowanie do wykrywania przedmiotów ukrytych pod ubraniem. Ponieważ większość dostępnych komercyjnie kamer terahercowych oferuje obraz o niskiej jakości, duży potencjał ma zastosowanie technik przetwarzania obrazów do poprawy jakości zobrazowania oraz wykrywania zagrożeń. Naszym celem jest wykrywanie obiektów ukrytych pod ubraniem oraz dostarczenie odbiorcy zobrazowania łatwego w interpretacji. Zastosowanie wielospektralnych urządzeń obserwacyjnych w systemach bezpieczeństwa posiada ogromny potencjał. Dlatego też przeprowadzony został szereg badań mających na celu określenie możliwości wykrywania ukrytych obiektów poprzez bezinwazyjne skanowanie ludzi z wykorzystaniem kamer terahercowej oraz wizyjnej. W celu osiągnięcia zobrazowania łatwego w interpretacji zastosowane zostały metody fuzji obrazów. Na obraz wizyjny osoby został nałożony wykryty na podstawie przetworzenia obrazu THz obiekt. Fuzja obrazów jest techniką, która pozwala nie tylko na łączenie obrazów, ale przede wszystkim na wydobywanie ich cech szczególnych oraz na pozyskiwanie jakościowo nowych informacji (patrz rys. 1). W trakcie badań zastosowana została pasywna kamera terahercowa pracująca na częstotliwości 250 GHz oraz kamera wizyjna.

## 3.5.

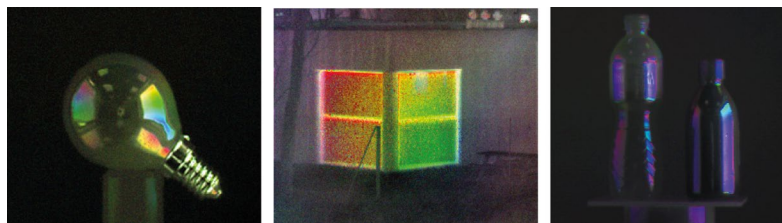
### POMIARY POLARYZACJI PROMIENIOWANIA W ZAKRESIE DALEKIEJ PODCZERWIEŃ

Opracowano innowacyjną metodę pomiaru stanu polaryzacji promieniowania elektromagnetycznego w zakresie dalekiej podczerwieni. Jest to ten sam zakres promieniowania elektromagnetycznego używany w dobrze znanych kamerach termowizyjnych stosowanych na przykład do bezkontaktowego pomiaru temperatury. W odróżnieniu jednak od tradycyjnych kamer termowizyjnych, w tym urządzeniu dodatkowo analizowany jest stan polaryzacji promieniowania pochodzącego od obiektów, co pozwala na wykrycie specyficznych dla niektórych obiektów właściwości. Zasada działania opiera się na znanym powszechnie zjawisku częściowej polaryzacji promieniowania elektromagnetycznego odbitego lub rozproszonego na powierzchniach różnych materiałów. Skonstruowane urządzenie jest w stanie wykryć i zmierzyć podstawowe parametry częściowo spolaryzowanego liniowo promieniowania podczerwonego dzięki specjalnie zaprojektowanemu układowi optycznemu, modułom detekcyjnym z matrycowymi detektorami podczerwieni i dokonującego obliczeń w czasie rzeczywistym systemowi cyfrowemu zbudowanego z układów FPGA i mikroprocesorów. Wykonany model urządzenia został zaprezentowany na rys. 1.

grzegorz.bieszczad@wat.edu.pl



**Rys. 1.** System do pomiarów i wizualizacji stanu polaryzacji promieniowania podczerwonego



**Rys. 2.** Przykłady wizualizacji stanu polaryzacji promieniowania

W ramach projektu opracowano metodę wizualizacji stanu polaryzacji promieniowania ze sceny za pomocą pojedynczego obrazu kolorowego. Metoda polega na przypisaniu barwom azymutu polaryzacji, a nasyceniu koloru stopnia polaryzacji liniowej. Na tej podstawie zostały wygenerowane obrazy widoczne na rys. 2.



# 4.

## NANOTECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OPTOELEKTRONICZNE

### 4.1.

#### **MODYFIKACJA POLIMERÓW NA POTRZEBY INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ Z ZASTOSOWANIEM LASEROWO PLAZMOWEGO ŹRÓDŁA SKRAJNEGO NADFIOLETU (EUV)**

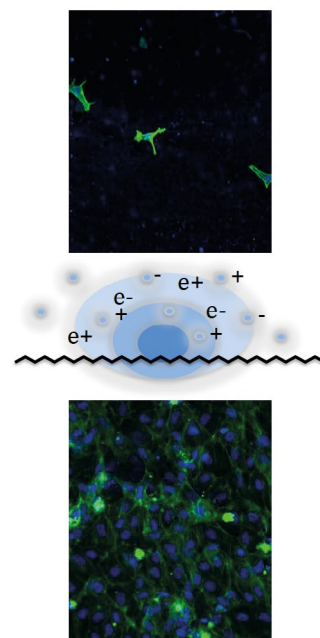
henryk.fedorowicz@wat.edu.pl

Zmiana właściwości powierzchni polimerów jest często konieczna w przypadku ich użycia, jako elementów składowych bioimplantów, sztucznych mięśni lub przyrządów diagnostycznych. Właściwości powierzchni mogą być modyfikowane poprzez wprowadzanie grup funkcyjnych do struktury chemicznej polimeru i wytwarzanie nano- oraz mikrostruktur. W przypadku stosowania niektórych tradycyjnych metod modyfikacji powierzchni, np. poprzez naświetlanie nadfioletem (UV), stwierdzono degradację wewnątrz materiału, co ma znaczenie w przypadku jego stosowania w inżynierii biomedycznej. Problem ten może być rozwiązany poprzez użycie promieniowania w zakresie widmowym skrajnego nadfioletu (EUV), które jest pochłaniane w bardzo cienkiej (poniżej 100 nm) warstwie polimeru.

W niniejszej pracy do modyfikacji polimerów zastosowano laserowo-plazmowe źródło EUV z użyciem dwustrumieniowej tarczy gazowej Kr/Xe naświetlanej impulsami lasera Nd:YAG (3 ns/0.8 J) z częstotliwością 10 Hz. Promieniowanie EUV ogniskowano na powierzchni badanej próbki za pomocą zwierciadła elipsoidalnego. Przeprowadzono naświetlanie kilku wybranych polimerów w różnych warunkach, dla których zmiany własności fizycznych i chemicznych mierzono metodami SEM, AFM, XPS oraz poprzez pomiar kąta zwilżalności. W celu określenia możliwości modyfikacji powierzchni polimerów promieniowaniem EUV na potrzeby inżynierii biomedycznej, wykonano badania narastania na nich kultur komórkowych. Wykazano, że naświetlanie polimeru promieniowaniem EUV silnie

modyfikuje właściwości jego warstwy wierzchniej poprzez powstawanie na niej nano- i mikrostruktur, które powodują zmianę chropowatości oraz zwilżalności badanych polimerów. Naświetlanie polimerów promieniowaniem EUV w obecności gazów molekularnych (tlenu i azotu) skutkowało włączeniem nowych grup funkcyjnych do struktury molekularnej polimerów. Badania narastania kultur komórkowych, prowadzone z zastosowaniem fibroblastów L929 oraz komórek typu HUVEC wykazały zwiększoną biogodność i hemogodność polimeru PTFE, który znajduje zastosowanie, jako bioimplant w urządzeniach wspomagania pracy serca. Modyfikowana promieniowaniem EUV powierzchnia polimeru została także zastosowana do identyfikacji komórek rakowych poprzez pomiar potencjału metastatycznego oraz do kontrolowanej zmiany zwilżalności poprzez zwiększanie jej hydrofobowości lub hydrofilowości na potrzeby zastosowań w urządzeniach do separacji oraz w sztucznych tkankach mięśniowych. Wyniki badań były przedmiotem rozprawy doktorskiej pt. „Application of laser plasma extreme ultraviolet (EUV) source in biomedical engineering” obronionej przez Inama UI Ahada w roku 2015.

Pracę zrealizowano w ramach Erasmus Mundus Joint Doctoral (EMJD) Programme EXTATIC. Badania wykonano we współpracy z Centrum Zaawansowanych Technologii uniwersytetu Miejskiego w Dublinie, Laboratorium Inżynierii Biomedycznej Politechniki Warszawskiej, Laboratorium Mikrostruktur Biologicznych Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie oraz Instytutem Pojazdów Mechanicznych i Transportu Wojskowej Akademii Technicznej.



**Rys. 1.** Narastanie komórek HUVEC na powierzchni PTFE nienaświetlanej (powyżej) oraz naświetlanej promieniowaniem EUV (poniżej) po 48 godzinach hodowli komórek

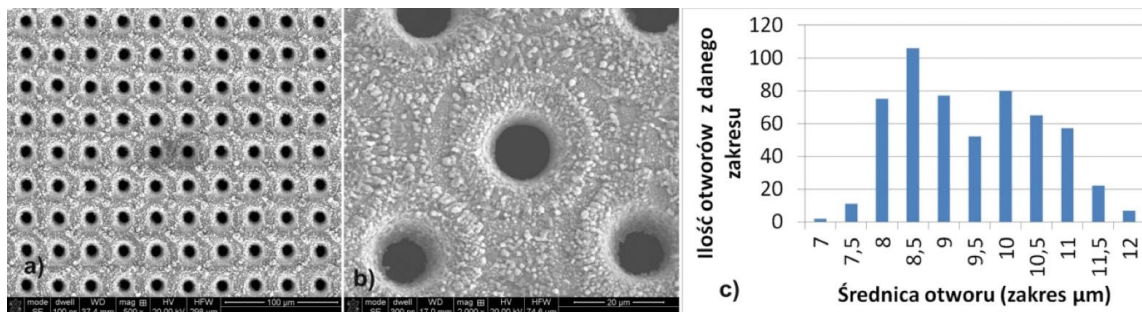
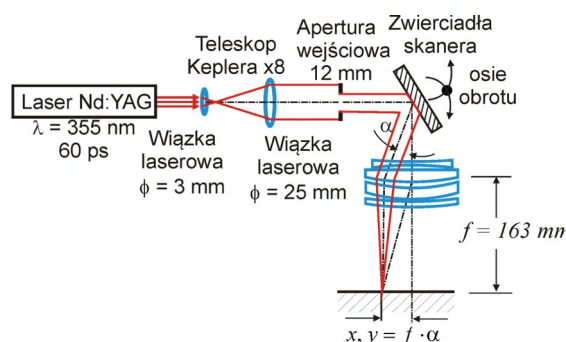
## 4.2.

## LASEROWE WYTWARZANIE MIKROSIT DO ZASTOSOWAŃ W BIOINŻYNIERII

marek.strzelec@wat.edu.pl

Matryce mikrootworów (mikrosita), wytwarzane z różnych materiałów, takich jak polimery, krzem lub metale, są niezbędne w wielu zastosowaniach technologicznych, między innymi w układach mikroprzepływowych i w technikach filtracji-separacji. Wymagane są do tego tanie i proste procesy szybkiego drążenia tysięcy otworów na cykl. Idealnym do tego narzędziem jest impulsowa wiązka laserowa o odpowiedniej gęstości energii i dużej szybkości repetycji impulsów, oddziałująca bez kontaktu z materiałem w łatwym do automatyzacji i szybkim procesie kontroli położenia wiązki (rys.1). Eksperymenty prowadzono za pomocą pikosekundowego lasera Nd:YAG, emitującego impulsy 60 ps z częstotliwością 1 kHz na długości fali 355 nm (trzecia harmoniczna), który był sprzężony ze skanerem galwanometrycznym, wyposażonym w soczewkę F-theta o ogniskowej 163 mm. Na wyjściu głowicy laserowej umieszczono teleskop Keplera, poszerzający wiązkę laserową do średnicy 25 mm (8x).

Rys. 1. Schemat układu eksperymentalnego



Rys. 2. a) Obraz SEM otworów w kwadratowym mikrosicie; b) Powiększony obraz SEM otworów w mikrosicie; c) Przykładowy wynik pomiaru rozkładu średnic otworów

Kwadratowe i spiralne rozkłady otworów w foliach Ni i Al wykonywane były na obszarach o wymiarze poprzecznym 3 mm. Przykłady obrazów SEM pokazano na rys. 2a i rys. 2b. Odległość pomiędzy sąsiednimi otworami regulowano w zakresie od 25 μm do 100 μm, co oznacza wytworzenie do 10 000 otworów na mikrosito. Kwadratowe sita wytwarzano metodą drążenia perkusyjnego folii o grubo-

ści 50  $\mu\text{m}$ , pięcioma strzałami laserowymi w jedno miejsce. Próbki spiralnych mikrosit perforowano w foliach o grubości 7  $\mu\text{m}$  przy użyciu metody "w locie" dla różnych prędkości skanowania. Każdy otwór wiercony był jednym impulsem laserowym. Transmisje zoptymalizowanych sit o regularnych średnicach porów (patrz rys. 2c) i okresach 100, 75, 50 i 25  $\mu\text{m}$  były równe odpowiednio 1%, 2.5%, 5% i 22%. Zastosowane techniki wiercenia „w locie” i perkusyjnego zapewniły wyjątkowo krótkie czasy obróbki, od 1 sekundy dla 900 otworów do poniżej 10 sekund dla sit z 10 000 otworów. Wytworzone mikrosita wykorzystywane są w badaniach filtrów i układów mikroprzepływowych w zastosowaniach w bioinżynierii, również w separacji krążących komórek nowotworowych.

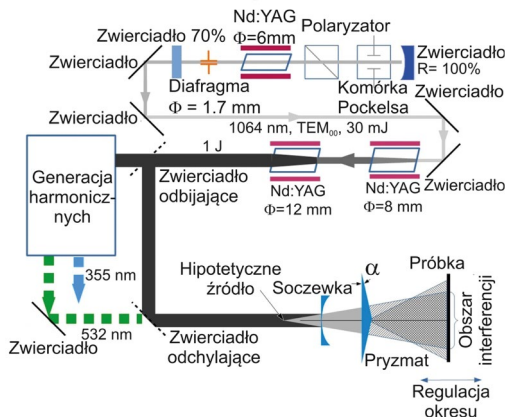
## 4.3.

# PROSTA LASEROWA LITOGRAFIA INTERFERENCYJNA Z OPTYKĄ PRYZMATYCZNĄ DO MIKROOBRÓBKİ PERIODYCZNEJ BIORUSZTOWAŃ

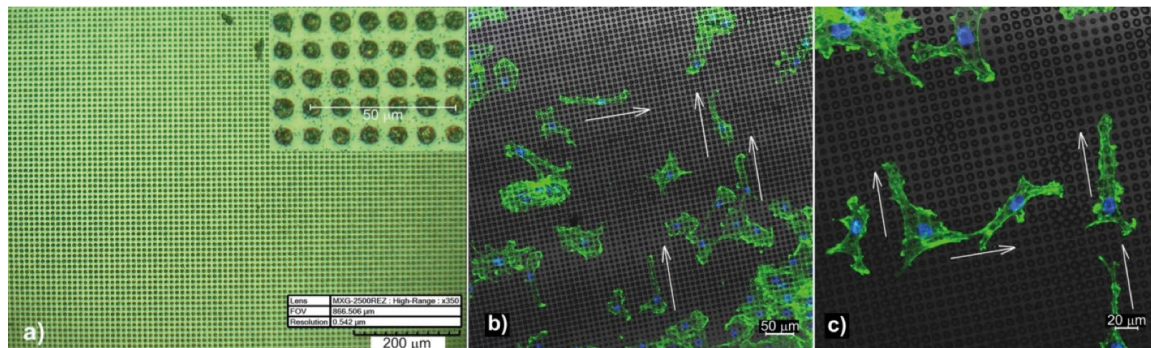
marek.strzelec@wat.edu.pl

Bezpośrednia laserowa litografia interferencyjna, zwana DLIL (*Direct Laser Interference Lithography*) jest coraz szerzej stosowana w kształtowaniu powierzchni materiałów i zmianie ich właściwości. Szczególnie interesujące jest zastosowanie DLIL w bioinżynierii do kształtowania biogodnych rusztowań dla tkanek, przy użyciu materiałów o poprawionych właściwościach mechanicznych i takich, które selektywnie wpływają na wzrost i rozwój komórek. Technika DLIL wykorzystuje nakładanie się co najmniej dwóch wiązek laserowych, tworzących ablacyjnie na wybranej powierzchni obraz interferencyjny. Sposób ten nie wymaga żadnego specjalnego przygotowania powierzchni obróbki (prócz czyszczenia), a jedynym wymaganiem jest wystarczająca wartość współczynnika absorpcji materiału dla danej długości fali i fluencja energii promienistej powyżej wartości progowej. Istnieje wiele metod podziału wiązki laserowej na składowe interferencji, ale jedną z prostszych a przy tym precyzyjną i wydajną jest metoda wykorzystująca optykę pryzmatyczną (rys. 1.) Wielką zaletą tej metody jest łatwy sposób podziału wiązki na składowe interferencyjne drogą odpowiedniego wyboru geometrii pryzmatu oraz kształtowanie charakterystycznego okresu struktury interferencyjnej poprzez regulację rozbieżności promieniowania padającego na pryzmat.

**Rys. 1.** Schemat układu interferencyjnego z optyką pryzmatyczną



Ważnym rodzajem komórek zapewniających w pełni funkcjonalną, podobną do tkanki ściankę naczyń krwionośnych są naczyniowe komórki śródbłonnka. W obszarze układu sercowo-naczyniowego, bardzo często wykorzystywane są twarde i biogodne powłoki z amorficznego węgla (DLC), służące jako powierzchnie implantów w kontakcie z krwią, takich jak pompy, membrany do dializy, stenty czy protezy naczyniowe. Stąd, jednym z przedmiotów badań było wytworzenie kropkowej siatki periodycznej na warstwie DLC na podłożu krzemowym (rys. 2a), a następnie potwierdzenie ukierunkowanej migracji i rozmnażania się komórek śródbłonnka (rys. 2b, c).



**Rys. 2.** a) Obraz struktur interferencyjnych (4 wiązki laserowe) utworzonych na powierzchni cienkiej warstwy DLC+krzem; b,c) fluorescencyjny obraz rozwoju komórek śródbłónka

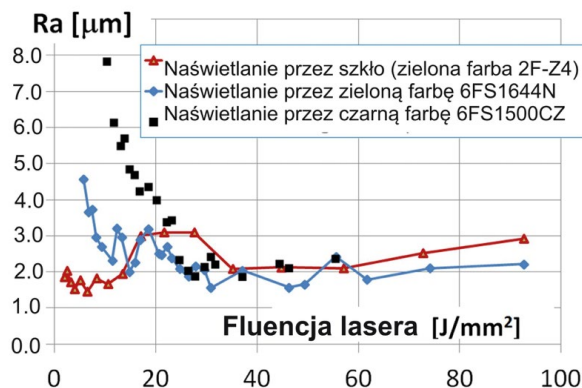
## 4.4.

## LASEROWE ZDOBIENIE DEKORACJI SZKLANYCH

marek.strzelec@wat.edu.pl

Laserowe, trwałe stapianie barwnych farb ceramicznych z wyrobami ceramicznymi i szklanymi wzbudza duże zainteresowanie przemysłu, przede wszystkim ze względu na obniżenie kosztów produkcji i znaczny postęp w procesach technologicznych. Zastępuje ono typowy proces wypalania piecowego w dekorowaniu małych i zmiennych serii wyrobów. Szklane, przezroczyste podłoże wyrobu umożliwia wykorzystanie dwóch konfiguracji układu optycznego w procesie technologicznym – naświetlania laserowego od strony stapianej warstwy ceramicznej oraz od strony podłoża. Testy technologii prowadzono z użyciem szerokiej gamy farb ceramicznych, opracowanych w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, nakładanych na komercyjne podłoża szklane z zakładu przemysłowego – Ceramiki Tubądzin II Sp. z o.o. Procesy badano i optymalizowano za pomocą iterbowych, pompowanych diodowo laserów światłowodowych: GLPM 10 z firmy IPG Inc, USA (10 W, 532 nm) i SP-100C-0020 z firmy SPI Lasers Ltd, Anglia (100 W, 1070 nm), sprzężonych z galwanometrycznymi skanerami wiązki RLC1004 firmy Raylase GmbH, Niemcy.

Rys. 1. Parametr chropowatości w funkcji gęstości energii promieniowania



Główną zaletą naświetlania próbek poprzez szkło jest niska wartość parametrów chropowatości dekoracji dla niskiej dawki energii i wynikająca stąd minimalizacja mikropęknięć na powierzchni wyrobu. Rys. 1 ilustruje porównanie Parametru chropowatości Ra w funkcji dawki promieniowania dla obu konfiguracji optycznych procesu. W podsumowaniu wszystkich testów, przeprowadzonych za pomocą obu laserów światłowodowych, zdecydowanie lepsze wyniki uzyskano dla lasera pracującego na długości fali 532 nm niż dla 1070 nm. Wynika to z wyższej absorpcji farb ceramicznych w widzialnym zakresie widma. Przykłady zdjęć utrwalonych dekoracji pokazano na rys. 2.





a)



b)



**Rys. 2.** Przykład laserowo utrwalonej dekoracji barwnej  
a) ornament przeniesiony z grafiki wektorowej (Corel Draw); b) zdjęcia w postaci mapy bitowej (lewa strona) i jej projekcji laserowej przed zmyciem nadmiaru farby

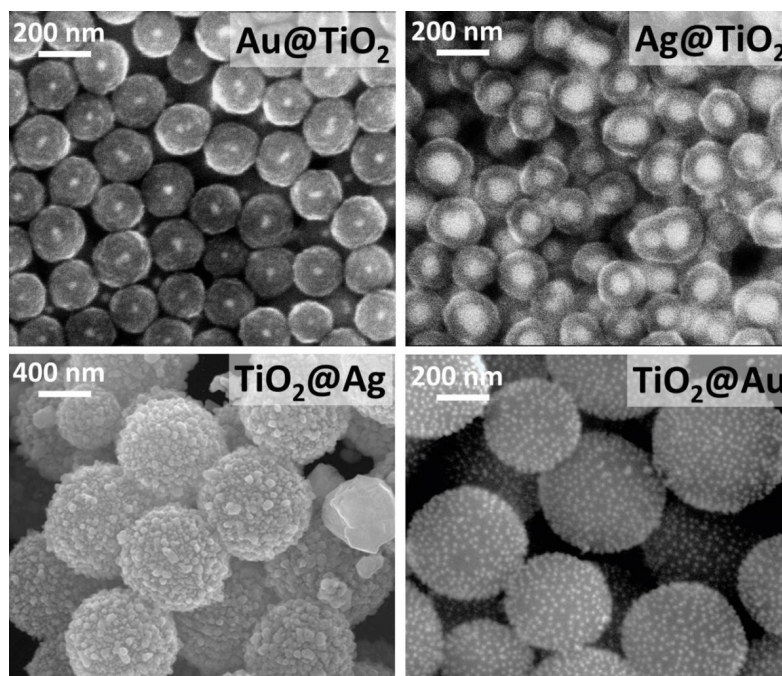


## 4.5.

SYNTEZA NANOSTRUKTUR PLAZMONOWYCH  
TYPU „CORE-SHELL”

bartlomiej.jankiewicz@wat.edu.pl

**Rys. 1.** Zdjęcia SEM struktur core-shell  $\text{TiO}_2@Au$ ,  $\text{TiO}_2@Ag$ ,  $Au@TiO_2$  i  $Ag@TiO_2$  zsyntetyzowanych w IOE WAT.



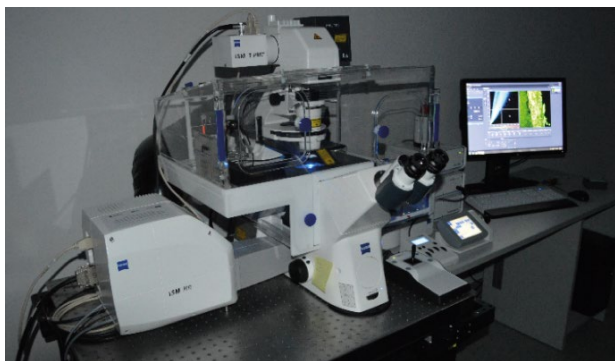
W roku 2015 kontynuowano prace nad wytwarzaniem metodami chemicznymi różnego rodzaju nanostruktur plazmonowych oraz ich charakteryzacją i zastosowaniem. Badania ukierunkowano na wytwarzanie i charakteryzację nanostruktur core-shell na bazie dwutlenku tytanu i metali szlachetnych, posiadających duży potencjał aplikacyjny w fotokatalizie oraz fotowoltaice. W wyniku zrealizowanych prac opracowano metody syntezy struktur core-shell  $TiO_2@Au$ ,  $TiO_2@Ag$ ,  $Au@TiO_2$  i  $Ag@TiO_2$ , w tym struktur widocznych na zdjęciach powyżej. Otrzymywane nanostruktury testowane były pod kątem ich efektywności w procesie fotokatalizy. Struktury te zostały również wykorzystane do budowy prostych komórek fotowoltaicznych. Badania dotyczące drugiego głównego kierunku badawczego rozwijanego przez zespół, wzmocnionej powierzchniowo spektroskopii Ramana (SERS), poświęcone były wykorzystaniu tej techniki w detekcji i identyfikacji endospor bakterii. Przeprowadzone badania pokazały, iż jest to złożone zagadnienie badawcze, a jego rezultaty zależne są od wielu czynników, w tym rodzaju użytego podkładu do SERS oraz długości fali promieniowania wzbudzającego. Zastosowanie obrazowania ramanowskiego wykazało również, że wyniki pomiarów zależne są od umiejscowienia spor na podkładzie SERS oraz ich orientacji przestrzennej. Rozbudowa systemu ramanowskiego IOE WAT wykonana w roku 2015, pozwoli w najbliższym czasie na wykorzystanie do badań nad SERS bakterii między innymi ultraszybkiego obrazowania ramanowskiego oraz obrazowania 3D.

## 4.6.

## OBRAZOWANIE FLUORESCENCYJNE W BIOINŻYNIERII

Obrazowanie fluorescencyjne służy do oceny stanu komórek i tkanek, lokalizacji endogennych i egzogennych fluorochromów. Źródłem endogennej fluorescencji w obszarze UV komórek i tkanek ludzkich są aminokwasy. W tkankach twardych silne właściwości fluorescencyjne wykazuje główny składnik kości – hydroksyapatyt. Laserowy skaningowy system konfokalny LSM 700 z mikroskopem Zeiss Axio Observer.Z1 posiada rozbudowany system oświetleniowy (lasery o długości fali 405nm, 488nm, 555nm, 639nm, panel CoLibri z modułami wzbudzających diod LED 365nm, 470nm, 590nm, lampa halogenowa HAL 100). Umożliwia on obserwację wewnątrzkomórkowych procesów w hodowlach komórkowych w czasie rzeczywistym (kamera monochromatyczna AxioCam MRc5) przy zadanej temperaturze, wilgotności i stężeniu CO<sub>2</sub> (komora inkubacyjna PeCon XLmulti S1), obrazowania fluorescencji preparatów biologicznych in vitro, analizy akumulacji fluorochromów.

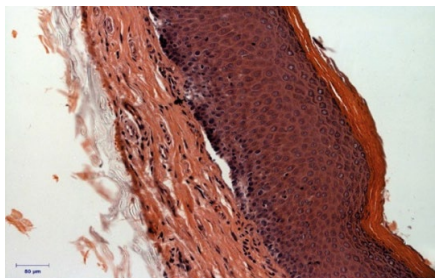
mirosław.kwasny@wat.edu.pl



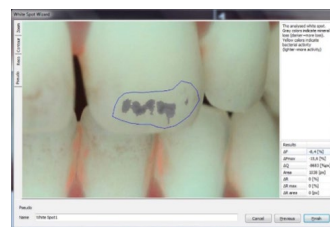
Rys. 1. Laserowy skaningowy system konfokalny LSM 700



Rys. 2. System QLF-D



Rys. 3. Wycinek z dna jamy ustnej, powiększenie x20; Kamera AxioCam MRc5



Rys. 4. Analiza obrazu fluorescencyjnego zębów. Wykryte zmiany próchnicze typu *white spot* zaznaczone na czarno, płytka bakteryjna lub/i kamień nazębny na czerwono

Centrum Inżynierii Biomedycznej WAT jako jedyne w Polsce posiada system QLF-D (ang. Quantitative Light-induced Fluorescence). Jest czulszy od odbiciowej metody oceny szkliwa i pozwala na przesiewowe badanie zębów w krótkim czasie. Oparty jest na metodzie obrazowania fluorescencji przy wzbudzeniu promieniowaniem o długości fali 405 nm. Analiza zielonej fluorescencji umożliwia wykrycie ognisk próchnicznych i demineralizacji powierzchni zębów, natomiast czerwona pokazuje miejsce występowania bakterii i płytki nazębnej.

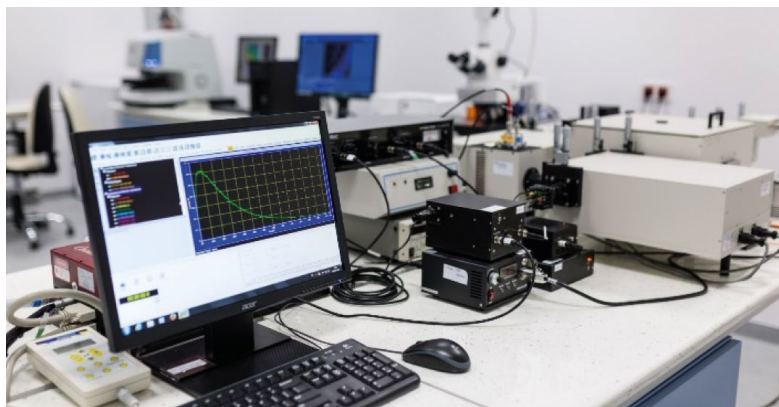
## 4.7.

## APLIKACJE METODY FLUORESCENCJI WZBUDZANEJ LASEROWO W INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ

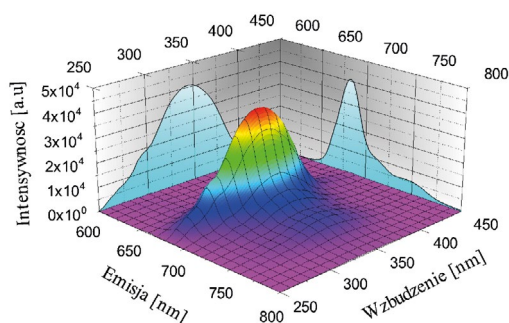
mirosław.kwasny@wat.edu.pl

Luminescencja wzbudzana laserami (LIF) należy do najczulszych metod spektroskopowych. Unikalne układy pomiarowe w Pracowni Zastosowań Laserów w Medycynie umożliwiają pomiary bioluminescencji różnych grup materiałów: fotouczulaczy dla metody PDT, drobnoustrojów, białek, zanieczyszczeń biologicznych atmosfery, kryształów laserowych. Układ spektrofluorymetryczny Quanta Master QM 400 (Horiba) (patrz rys. 1) przeznaczony jest do charakterystyki materiałów luminescencyjnych w postaci proszków, roztworów, cienkich warstw, kryształów oraz nanomateriałów. Spektralny zakres wzbudzenia oraz detekcji jest od 200 do 2200 nm. Źródłami wzbudzenia są: laser impulsowy Na: YAG Opolette 355 LD (225-2200nm), oświetlacz elipsoidalny z lampą Xe (200-900 nm) oraz laser 980 nm do pomiarów up-konwersji.

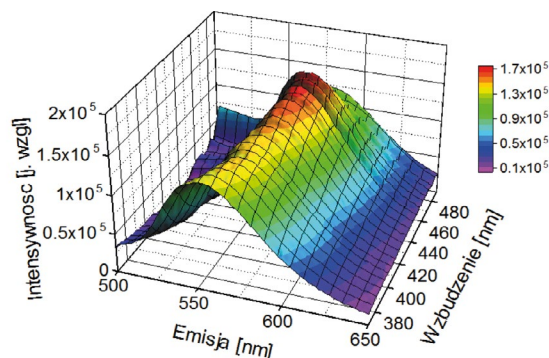
**Rys. 1.** Układ spektrofluorymetryczny Quanta Master QM 400 (Horiba)



Śśród aplikacji metody fluorescencji wzbudzonej laserowo w inżynierii biomedycznej należy wymienić pomiary widm wzbudzenia i emisji, synchronicznych, rozdzielczych w czasie, kinetyki fluorescencji oraz anizotropii polaryzacji luminescencji. Pomiary z wykorzystaniem przystawki absorpcyjnej i sfery integrującej. Układ sprzężony jest z mikroskopem fluorescencyjnym (Zeiss Axio Imager. M2) i superczułą kamerą do pomiarów bioluminescencji.



**Rys. 2.** Mapa EX-EM ftalocyjaniny chloroglinowej



**Rys. 3.** Mapa EX-EM bursztynu

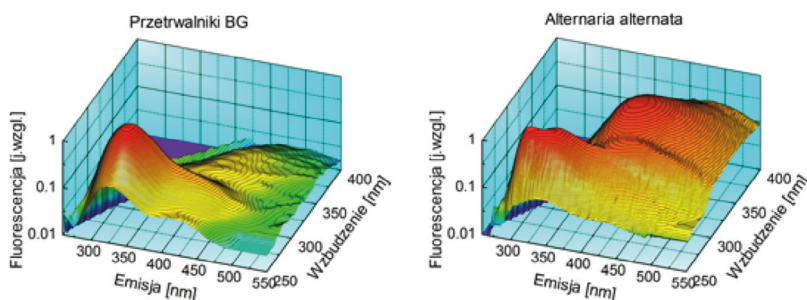


## 4.8.

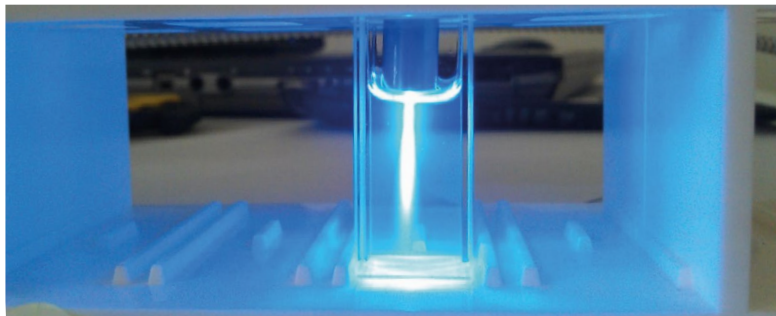
## BADANIA CHARAKTERYSTYK FLUORESCENCYJNYCH SYMULANTÓW I INTERFERENTÓW

Obrazowanie fluorescencyjne służy do oceny stanu komórek i tkanek, lokalizacji endogennych i egzogennych fluorochromów. Źródłem endogennej fluorescencji w obszarze UV komórek i tkanek ludzkich są aminokwasy. W tkankach twardych silne właściwości fluorescencyjne wykazuje główny składnik kości – hydroksyapatyt. Laserowy skaningowy system konfokalny LSM 700 z mikroskopem Zeiss Axio Observer.Z1 posiada rozbudowany system oświetleniowy (lasery o długości fali 405nm, 488nm, 555nm, 639nm, panel Colibri z modułami wzbudzających diod LED 365nm, 470nm, 590nm, lampa halogenowa HAL 100). Umożliwia on obserwację wewnątrzkomórkowych procesów w hodowlach komórkowych w czasie rzeczywistym (kamera monochromatyczna AxioCam MRc5) przy zadanej temperaturze, wilgotności i stężeniu CO<sub>2</sub> (komora inkubacyjna PeCon XLmulti S1), obrazowania fluorescencji preparatów biologicznych in vitro, analizy akumulacji fluorochromów.

maksymilian.wlodarski@wat.edu.pl



**Rys. 1.** Widma wzbudzeniowo-emisyjne przetworników bakterii i zarodników grzyba



**Rys. 2.** Laserowo wzbudzona fluorescencja próbki biologicznej

Opracowano bazy danych własności fluorescencyjnych ponad 50 substancji pochodzenia biologicznego, takich jak bakterie w formie przetrwalnikowej i wegetatywnej, grzyby, pyłki roślin, białka, aminokwasy, podłoża do hodowli drobnoustrojów, nieorganiczne zanieczyszczenia powietrza. Substancje te stanowią symulanty i interferenty bojowych środków biologicznych (BSB). Bazy danych w postaci matryc wzbudzeniowo-emisyjnych, widm fluorescencji wzbudzonych laserowo i charakterystyk zaniku fluorescencji w czasie, z ich analizą metodą składników głównych (PCA) znalazły wykorzystanie dla opracowywanych, wykonanych i testowanych w warunkach poligonowych (we Francji, Szwecji i Stanach Zjednoczonych) systemach detekcji pojedynczych cząstek bioaerozoli w czasie rzeczywistym i stanowią istotny element szybkiego wykrywania i klasyfikacji BSB.

# 5.

## URZĄDZENIA I SYSTEMY OPTOELEKTRONICZNE

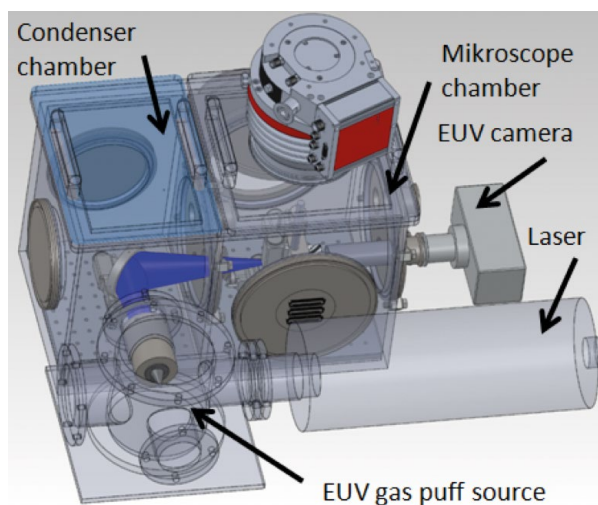
### 5.1.

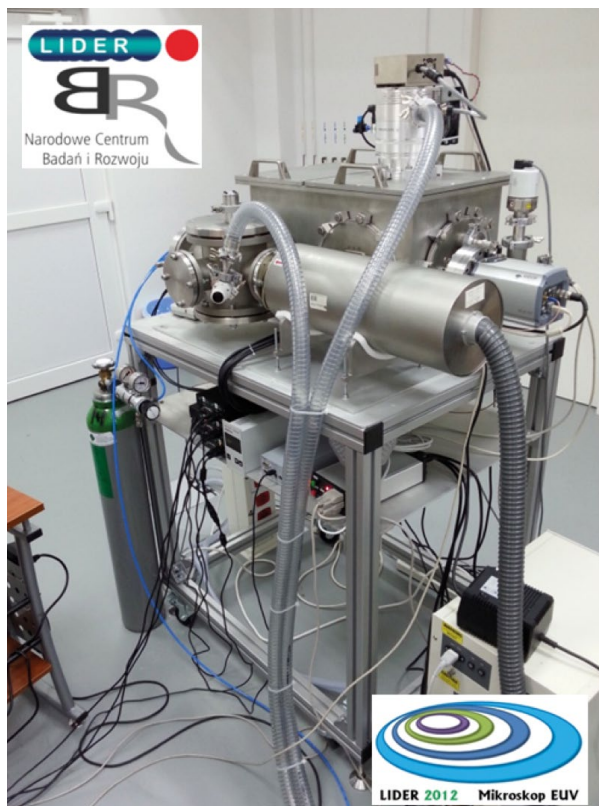
#### KOMPAKTOWY MIKROSKOP NA ZAKRES EUV Z NANOMETROWĄ ROZDZIELCZOŚCIĄ PRZESTRZENNĄ

przemyslaw.wachulak@wat.edu.pl

Badania dotyczące nanoobrazowania w zakresie skrajnego nadfioletu (ang. extreme ultraviolet – EUV) zostały przeprowadzone przy użyciu laserowo-plazmowego źródła EUV. Mikroskop został opracowany i zbudowany w ramach programu LIDER. Mikroskop EUV zbudowany został na bazie wielowarstwowego pozaosiowego zwierciadła pełniącego funkcję kondensora oraz dyfrakcyjnej płytki strefowej Fresnela jako wysokorozdzielczego obiektywu.

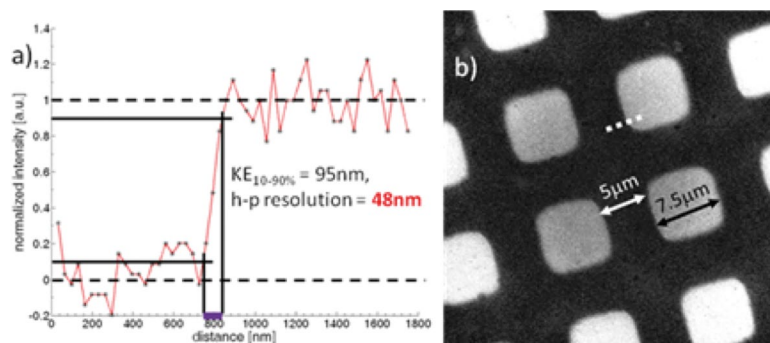
**Rys. 1.** Wizualizacja 3-D  
mikroskopu na zakres EUV





**Rys. 2.** Zdjęcie zbudowanego mikroskopu EUV

W ramach badań przeprowadzono szczegółową optymalizację źródła i mikroskopu. Zmierzono parametry źródła EUV takie jak liczba fotonów rozkład przestrzenny plazmy laserowej oraz widmo emisyjne plazmy azotowo-helowej wytworzonej wskutek oddziaływania promieniowania laserowego z dwustrumieniową tarczą gazową.



**Rys. 3.** Pomiar rozdzielczości przestrzennej przy użyciu kryterium krawędziowego (knife edge KE) a) połowkowa rozdzielczość przestrzenna wynosi 48 nm. Obraz EUV siateczki miedzianej (2000 okresów/cal)

Przy użyciu mikroskopu EUV zobrazowano również obiekty testowe w postaci siateczek miedzianych. Na podstawie tych pomiarów określono przestrzenną rozdzielczość mikroskopu EUV. Rozdzielczość mikroskopu wynosi 48 nm. Czasy ekspozycji pozwalające na uzyskanie obrazów w zakresie EUV z nanometrową rozdzielczością przestrzenną wynoszą od kilku sekund do około jednej minuty.

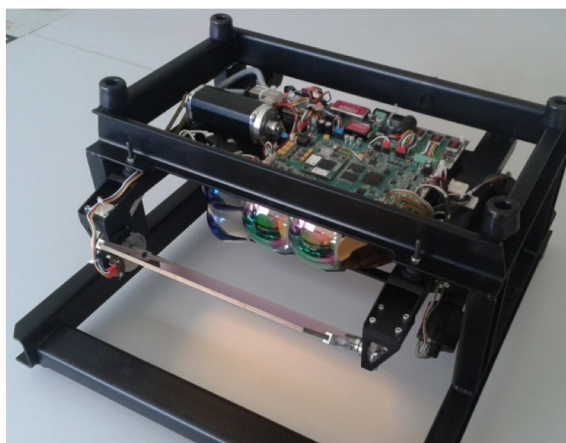
## 5.2.

## WIELOSPEKTRALNY LASEROWY PROFILOMETR REFLEKTANCYJNY

marek.zygmunt@wat.edu.pl

Wielospektralny skaner laserowy jest urządzeniem optoelektronicznym, przeznaczonym do zastosowań na platformach powietrznych w tym bezzałogowych, a jego podstawa działania oparta jest na technice dalmierczej. Jako źródła promieniowania zastosowane zostały cztery półprzewodnikowe diody laserowe wysokiej mocy (850 nm, 905 nm, 2 x 1550 nm). Dzięki zwielokrotnieniu liczby analizowanych długości fali promieniowania, możliwy jest nie tylko pomiar odległości od badanego obiektu, ale także natężenia powracającego sygnału dla poszczególnych kanałów. Zarówno natężenie sygnału powrotnego dla wszystkich długości fali, jak również wzajemne ich relacje, wynikają wprost ze spektralnych charakterystyk analizowanych substancji, a będąc ich unikatową cechą, stanowią podstawę do ich identyfikacji. Otrzymane sygnały porównywane są z charakterystykami reflektancyjnymi zgromadzonymi w specjalnie na cele skanera stworzonej bazie danych i w oparciu o nią dokonywana jest identyfikacja oraz analiza elementów stanowiących pokrycie badanego terenu. Stworzone na potrzeby urządzenia oprogramowanie ilustruje zebrane dane, a finalna informacja przedstawiana jest za pomocą cyfrowych wizualizacji realizowanych w formacie zarówno 2D, jak i 3D, tworząc cyfrowe mapy ukształtowania terenu DEM (Digital Elevation Model) jak również mapy pokrycia terenu DSM (Digital Surface Model).

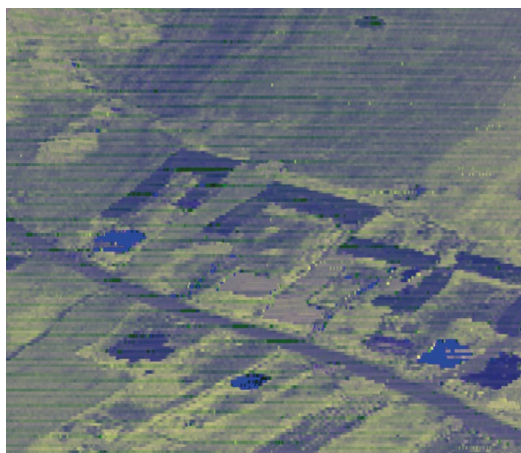
**Rys. 1.** Zdjęcia głowicy profilometru reflektancyjnego



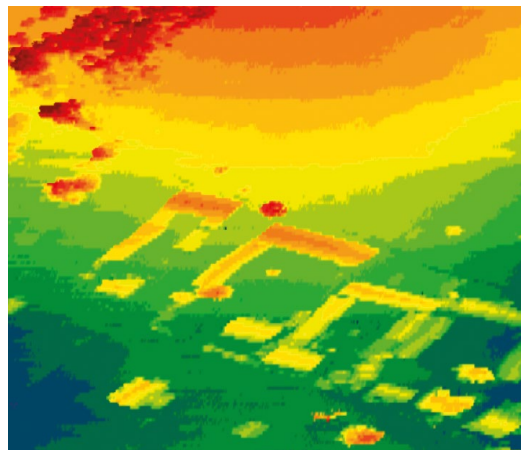




**Rys. 2. Zdjęcie  
analizowanego terenu**



**Rys. 3. Mapa pokrycia terenu**



**Rys. 4. Mapa ukształtowania  
terenu**

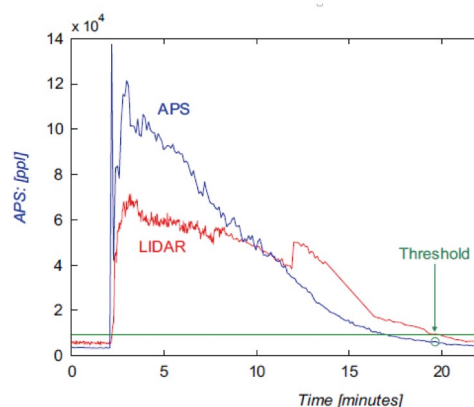
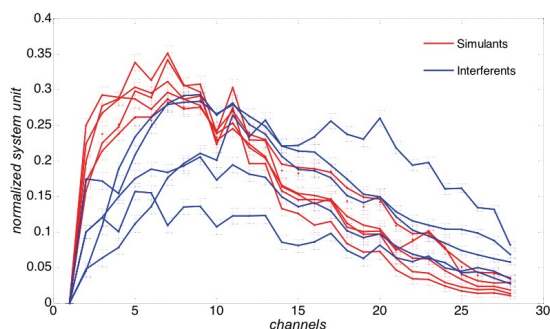
## 5.3.

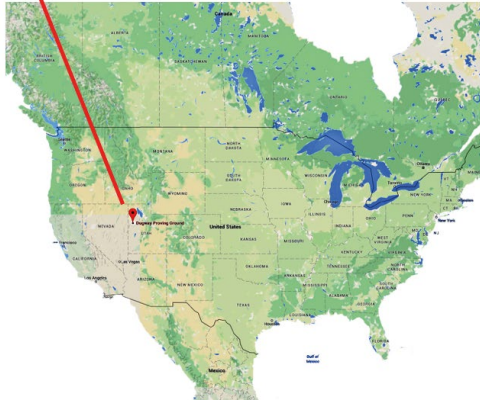
## TESTY LIDARU BIOLOGICZNEGO W USA

jacek.wojtanowski@wat.edu.pl

Lidarowy (ang. Light Detection and Ranging) system średniego zasięgu do zdalnej detekcji zagrożeń biologicznych poddany został 2-tygodniowym testom na wojskowym poligonie technologicznym DGP (Dugway Proving Ground) zlokalizowanym w USA (UT). W ciągu pierwszego tygodnia prowadzono czynności mające na celu dokonanie weryfikacji czułości oraz zbudowanie bazy danych sygnatur fluorescencyjnych i depolaryzacyjnych. Urządzenie zlokalizowano w odległości ok. 1 km od specjalizowanej biokomory pomiarowej, w której w sposób kontrolowany emitowano różne typy aerozoli. Komora przypominała kształtem otwarty z obu stron walec o średnicy podstawy 3.5 m i długości ok. 40 m, wyposażony na obu końcach w kurtyny powietrzne zapobiegające ucieczce rozpylanych wewnątrz cząsteczek na zewnątrz. Dodatkowo, wewnątrz komory zainstalowano szereg urządzeń mających na celu utrzymywanie przestrzennej jednorodności aerozolu w całej jej objętości. Koncentrację monitorowano w czasie rzeczywistym za pomocą trzech niezależnych sensorów typu APC (ang. Aerosol Particle Counter) umieszczonych w komorze, co pozwalało na ocenę czułości lidar. W wielu przypadkach system wykazywał czułość pozwalającą na wykrywanie cząstek biologicznych o koncentracji na poziomie kilkuset ppl, co jest porównywalne z koncentracją charakterystyczną dla naturalnego biologicznego tła atmosfery. Eksperymenty realizowane w ciągu drugiego tygodnia polegały na rozpylaniu aerozoli biologicznych, w otwartej przestrzeni, w różnych punktach obserwowanego obszaru. Ewolucja koncentracji oraz lokalizacji chmury uzależniona była od warunków meteorologicznych, a przede wszystkim wiatru. Lidar funkcjonował w trybie automatycznego skanowania wybranego sektora przestrzeni, w którym wykrywał występowanie aerozoli, określał bądź wykluczał ich przynależność biologiczną na podstawie sygnału fluorescencji, śledził trajektorię przemieszczania.

**Rys. 1.** Charakterystyki widmowe i czasowe badanych sygnałów lidar





**Rys. 2.** Lokalizacja i zdjęcia z poligonu DGP w USA



**Rys. 3.** Lidar biologiczny

## 5.4.

## RĘCZNY „FOTORADAR” LASEROWY

marek.zygmunt@wat.edu.pl

Wykonano końcową wersję prototypu konstrukcji laserowego prędkościomierza zintegrowanego z systemem rejestracji obrazu. Ostateczna wersja prędkościomierza uwzględnia wszelkie korekty w obszarze algorytmów, ergonomii i konstrukcji mechanicznej, których potrzeba została zidentyfikowana w czasie testowania wersji przejściowej urządzenia (rok 2014). Przeprowadzono również testy terenowe, w których porównywano wyniki pomiarów prędkości uzyskiwane zdalnie za pomocą prędkościomierza oraz wyniki rejestrowane na wzorcowej bramce pomiarowej. Badania wykonywano wielokrotnie, o różnych porach dnia, w odmiennych warunkach atmosferycznych, względem różnych pojazdów i dla różnych odległości pomiarowych. Statystyczna analiza wyników pomiarowych potwierdza dokładność wyznaczania prędkości na poziomie poniżej 1 km/s. Urządzenie jest bezpieczne dla wzroku (Klasa 1) i charakteryzuje się maksymalnym zasięgiem pomiarowym 1 km. Ponadto, oprócz sprawców zdarzenia, system rejestruje sposób wykonywania pomiaru przez operatora. Prędkościomierz posiada dwa wyświetlacze – główny (dotykowy) oraz dooczny (do pracy w warunkach silnego nasłonecznienia), a także szereg przydatnych cech i funkcji. Spotkał się z pozytywnym odbiorem wśród przedstawicieli policji i w najbliższym czasie spodziewana jest jego komercjalizacja.

Rys. 1. Fotografie fotoradaru laserowego



## 5.5.

### OPTOELEKTRONICZNY DETEKTOR SKAŻEŃ POWIERZCHNI

W ramach projektu realizowanego w IOE WAT opracowane zostało urządzenie optoelektroniczne umożliwiające szybką analizę czystości powierzchni wyposażenia szpitalnego. Zastosowanie promieniowania UV umożliwia szybkie oszacowanie potencjalnie skażonych obszarów i precyzyjne wskazanie miejsc, z których należy pobrać wymaz do dalszej analizy lub przeprowadzić ich dekontaminację. Wykorzystanie systemów, opartych na laserowo wzbudzonej fluorescencji, do stałego monitoringu czystości mikrobiologicznej sal operacyjnych, elementów sanitarnych i aparatury medycznej, może znacząco obniżyć ryzyko rozprzestrzeniania chorobotwórczych drobnoustrojów i wpłynąć na bezpieczeństwo obywateli.

[miron.kaliszewski@wat.edu.pl](mailto:miron.kaliszewski@wat.edu.pl)



**Rys. 1.** Zanieczyszczenia na sprzęcie sanitarnym w świetle widzialnym i UV



**Rys. 2.** Zastosowanie filtra w celu uzyskania fluorescencji tylko fluoroforów obecnych w drobnoustrojach



**Rys. 3.** Autofluorescencja pyłków roślin na czubku igły



## 5.6.

## BIOMETRIA MOBILNA

mieczyslaw.szustakowski@wat.edu.pl

Eksperymentalny mobilny system dla służb wykonujących kontrolę biometryczną osób. Konstrukcja oparta na bazie kamizelki z możliwością dowolnej konfiguracji (dobór i rozmieszczenie) komponentów.

**Rys. 1.** Kamizelka biometryczna



**Rys. 2.** Odczyt danych z paszportu



Opracowany system umożliwia przeprowadzanie kontroli dokumentów biometrycznych II generacji. Bezpieczna weryfikacja danych odbywa się poprzez komunikację z serwerem certyfikatów. System wyposażony jest w eksperymentalny ultradźwiękowy czytnik linii papilarnych.

**Rys. 3.** Pobieranie linii papilarnych





**Rys. 4. Koncepcja  
wizualizacji danych**

Trwają prace nad możliwością wykorzystania technologii Rozszerzonej Rzeczywistości do akwizycji i wizualizacji informacji (moduł HMD). Dodatkowymi elementami systemu są: czytnik kart PKI, czujnik tętna. Komunikacja z poszczególnymi elementami systemu realizowana jest metodą bezprzewodową. Kamizelka posiada własną centralę energetyczną. System opracowano we współpracy z firmami: Optel i MLabs.



## 5.7.

KOMPOZYTOWY SYSTEM PASYWNEJ I AKTYWNEJ OCHRONY  
OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ

wieslaw.ciurapinski@wat.edu.pl

Wynikiem zrealizowanego projektu jest:

1. Opracowanie doświadczalnej linii technologicznej z oprzyrządowaniem do wytwarzania kompozytowych elementów mechanicznych zabezpieczeń obiektów infrastruktury krytycznej (IK) metodą półtruzji.
2. Instalacja doświadczalnej linii technologicznej do wytwarzania elementów kompozytowych u Kolidcanta Biznesowego -firmy Intermet w Człuchowie oraz wykonanie elementów do budowy doświadczalnych kompozytowych systemów mechanicznych zabezpieczeń obiektów IK.
3. Opracowanie kablowego światłowodowego czujnika do zastosowań w kompozytowych systemach mechanicznych zabezpieczeń systemów IK.
4. Opracowanie kablowego czujnika elektromagnetycznego do zastosowań w kompozytowych systemach mechanicznych zabezpieczeń obiektów IK.
5. Opracowanie integratora elektronicznych systemów czujnikowych do zastosowań w kompozytowych systemach mechanicznych zabezpieczeń obiektów IK.
6. Opracowanie i wykonanie aktywnego zintegrowanego systemu badawczego zabezpieczeń mechanicznych z kompozytowych elementów wytworzonych na doświadczalnej linii technologicznej.

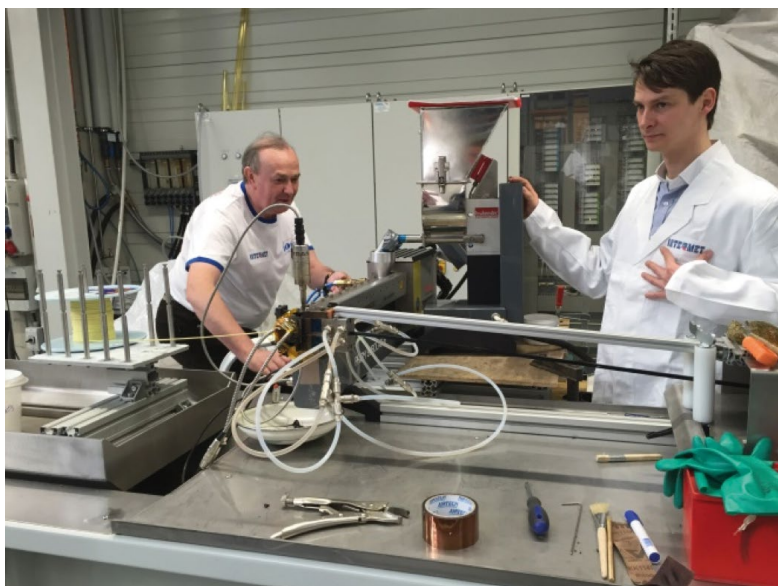
Aktywne kompozytowe systemy zabezpieczeń mechanicznych zostały wykonane poprzez integrację mechanicznych elementów kompozytowych, czujników i integratora. Zostały przebadane w warunkach operacyjnych:

- ogrodzenie z siatki ostrzowej (ogrodzenie 30m długości i 2,7m wysokości z zainstalowanymi czujnikami wybudowano w WAT)
- zasieki z siatki ostrzowej – zwijane walce z kompozytowego drutu ostrzowego z czujnikiem elektromagnetycznym (wykonane i przebadane przez Konsorcjanta Biznesowego)
- siatkowe ogrodzenie pływające do zabezpieczeń podwodnych i nawodnych (przebadane w basenie w Gdyni)
- przenośne rozciągane zasieki do ochrony burt statków przed piratami (utrudnione wejście na statek) - przebadane w Gdyni na statku Amaranth.

Linia technologiczna do półtruzji zainstalowana u Konsorcjanta Biznesowego.



**Rys. 1.** Linia technologiczna do półtruzji zainstalowana u Konsorcjanta Biznesowego



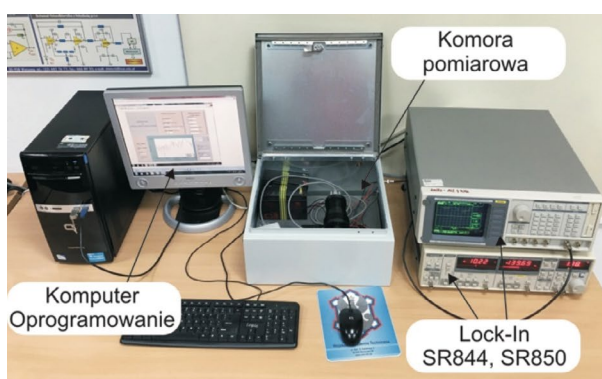
**Rys. 2.** Elementy kompozytowej siatki ostrzowej wykonanej u Konsorcjanta Biznesowego

## 5.8.

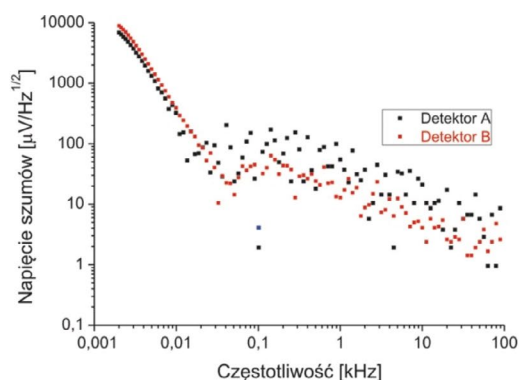
UKŁADY PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW TYPU „LOCK-IN”  
DO DETEKTORÓW PROMIENIOWANIA OPTYCZNEGO

zbigniew.bielecki@wat.edu.pl

**Rys. 1.** Fotografia stanowiska pomiarowego (a) oraz charakterystyka gęstości widmowej szumu przykładowych fotoodbiorników (b)

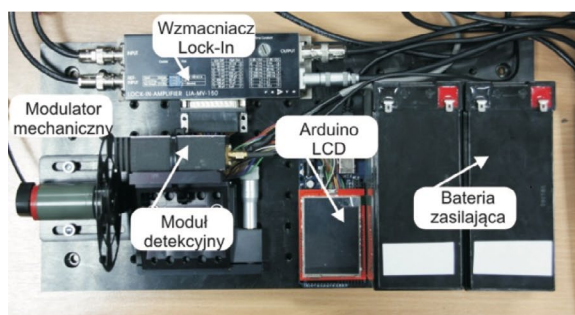


a)

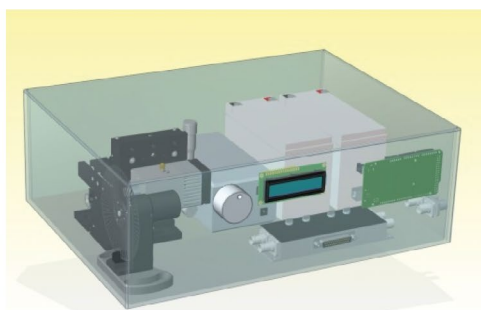


b)

- opracowanie zautomatyzowanego stanowiska do badań parametrów szumowych elementów i układów zarówno elektro-  
nicznych, jak i optoelektronicznych (np. fotoodbiorników),
- opracowanie odbiornika promieniowania optycznego z wbudowanym wzmacniaczem typu lock-in,



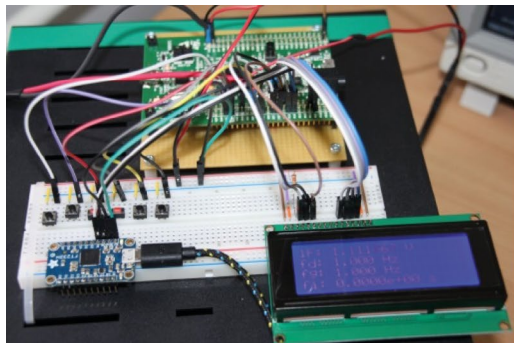
a)



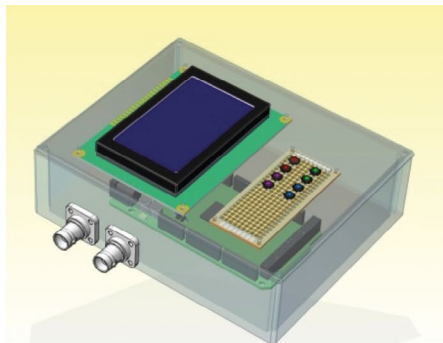
b)

**Rys. 2.** Model laboratoryjny fotoodbiornika ze wzmacniaczem lock-in (a) oraz wizualizacja 3d demonstratora (b)

- opracowanie modułu wzmacniacza typu lock-in.
- Opracowane układy laboratoryjne mogą dostarczyć cennych informacji, które znajdą zastosowanie zarówno na etapie badań układów detekcyjnych promieniowania optycznego, jak również ich praktycznego zastosowania.



a)



b)

**Rys. 3.** Fotografia układu laboratoryjnego wzmacniacza typu lock-in (a) oraz wizualizacja 3d demonstratora (b)

## 5.9.

CELOWNIK TERMOWIZYJNY KOMPATYBILNY  
Z SYSTEMEM ISW TYTAN

henryk.madura@wat.edu.pl

Współcześnie we wszystkich armiach na świecie są stosowane zaawansowane technologicznie urządzenia obserwacyjne. W Instytucie Optoelektroniki we współpracy z PCO S.A. i WB Electronics S.A. został opracowany i wykonany celownik termowizyjny o wysokiej rozdzielczości dla broni strzeleckiej. Celownik jest kompatybilny z systemem ISW TYTAN i może być zintegrowany z wyświetlaczem nabełmowym oraz modułem laserowego systemu identyfikacji „swój-obcy”. Ponadto celownik posiada interfejsy umożliwiające zdalne sterowanie głównymi funkcjami celownika.

Celownik termowizyjny do broni strzeleckiej jest przeznaczony do prowadzenia skutecznego ognia oraz do obserwacji terenu, wykrywania i identyfikacji obiektów w dowolnej porze dnia i nocy, bez względu na warunki oświetlenia, a także przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych (lekka mgła, zadymienie). W celowniku zastosowano nowej generacji niechłodzoną matrycę mikrobolometrycznych detektorów podczerwieni wykonaną z amorficznego krzemu. Zastosowana matryca ma 640x480 detektorów podczerwieni o wymiarze wynoszącym 17  $\mu\text{m}$ , co pozwala na uzyskanie dużych zasięgów identyfikacji obiektów oraz osób. Układy elektroniczne, optyczne i mechaniczne celownika zostały opracowane z zastosowaniem najnowszych technologii co pozwoliło zmniejszyć gabaryty i pobór energii celownika przy zachowaniu jego wymaganych funkcji.

**Rys. 1.** Zdjęcia celownika termowizyjnego kompatybilnego z systemem ISW TYTAN w czasie strzelania (a) oraz zamontowanego na 5,56 mm kbs Beryl (b)



a)



b)





**Rys. 2.** Zdjęcie prototypu celownika termowizyjnego kompatybilnego z systemem ISW TYTAN z zamontowanym modułem laserowego systemu identyfikacji „swój-obcy”



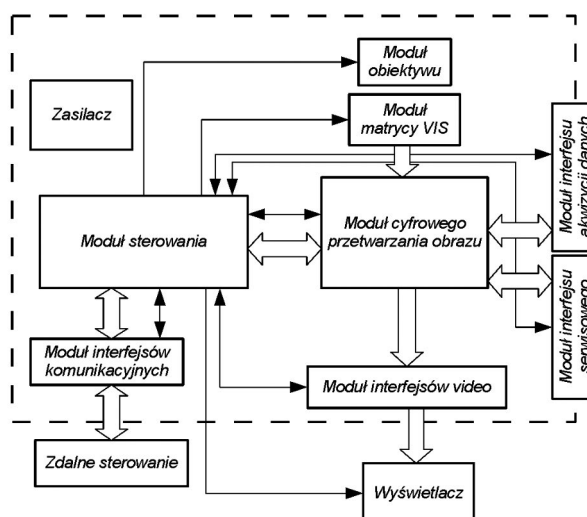
## 5.10.

## KAMERY OBSERWACYJNO-ROZPOZNAWCZE O SZEROKIM ZAKRESIE NATĘŻENIA ŚWIATŁA LLL/CCD TV

henryk.madura@wat.edu.pl

W Instytucie Optoelektroniki we współpracy z PCO S.A. i WB Electronics S.A. została opracowana i wykonana kamera o szerokim zakresie natężenia oświetlenia. Opracowana kamera posiada interfejs umożliwiający przekazywanie obrazu do systemu ISW TYTAN. Jedną z najważniejszych funkcji kamery jest możliwość obserwacji w nocy przy ograniczonym poziomie oświetlenia co wymagało zastosowania sensora o dużej czułości i poszerzonym zakresie spektralnym. Kamera o szerokim zakresie natężenia oświetlenia została opracowana z zastosowaniem monochromatycznego sensora widzyjnego Lynx firmy PHOTONIS o rozmiarze 1280 x 1024 detektorów i widmowym zakresie spektralnym od 350 nm do 1100 nm.

**Rys. 1.** Ogólny schemat budowy kamery o szerokim zakresie natężenia oświetlenia



**Rys. 2.** Zdjęcia kamery o szerokim zakresie natężenia oświetlenia bez obudowy z obiektywem oraz kamery w hermetycznej obudowie dostosowanej do montażu na hełm

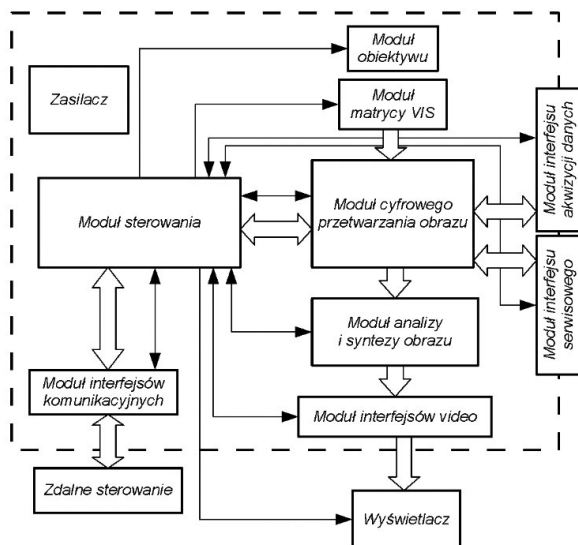
## 5.11.

### KAMERA OBSERWACYJNO-ROZPOZNAWCZA O ZMIENNYM KĄCIE POŁA WIDZENIA KOMPATYBILNA Z SYSTEMEM ISW TYTAN

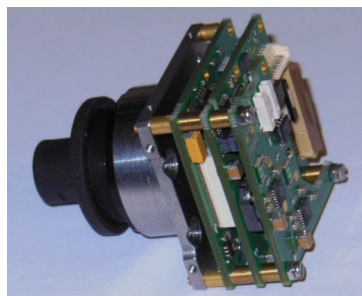
henryk.madura@wat.edu.pl

W Instytucie Optoelektroniki we współpracy z PCO S.A. i WB Electronics S.A. została opracowana i wykonana kamera o zmiennym kącie pola widzenia wraz z systemem analizy i syntezy obrazu. Opracowana kamera posiada interfejs umożliwiający przekazywanie obrazu do systemu ISW TYTAN w celu jego wyświetlenia na wyświetlaczu komputera osobistego i/lub wyświetlaczu na hełmowym, rejestracji, przesyłania informacji. Jedną z podstawowych właściwości kamery jest możliwość poszerzenia zdolności postrzegania żołnierza oraz adaptacji obrazu do zmiennych warunków oświetlenia. W tym celu z kamerą o zmiennym kącie pola widzenia został sprzężony system analizy i syntezy obrazu. System ten posiada funkcje, które za pomocą analizy i syntezy obrazu pozwalają na ostre widzenie interesujących żołnierza szczegółów bez utraty możliwości widzenia całości sytuacji.

Kamera o zmiennym kącie pola widzenia zaprojektowana została z zastosowaniem kolorowego sensora wizyjnego typu AR0132AT6C00XPEA0 firmy APTINA o rozmiarze 1280 x 960 detektorów.



**Rys. 1.** Ogólny schemat budowy kamery o zmiennym polu widzenia wraz z systemem analizy i syntezy obrazu (a) oraz schemat blokowy działania systemu analizy i syntezy obrazu i kamery o zmiennym polu widzenia



a)



b)

**Rys. 2.** Zdjęcie układów elektronicznych kamery o zmiennym kącie pola widzenia wraz z obiektywem (a) oraz kamery w obudowie dostosowanej do mocowania na hełmie (b)

## 5.12.

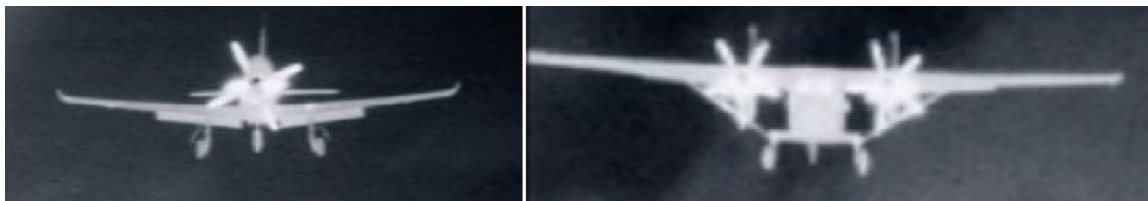
ZESPÓŁ KAMER DO OPTOELEKTRONICZNEGO,  
WIELOWIDMOWEGO SYSTEMU WSPOMAGAJĄCEGO  
LĄDOWANIE SAMOLOTÓW

henryk.madura@wat.edu.pl

W Instytucie Optoelektroniki we współpracy z PIT-RADWAR S.A. oraz PCO S.A. został opracowany i wykonany zespół kamer do optoelektronicznego, wielowidmowego systemu wspomagającego lądowanie samolotów. Podstawowym zadaniem systemu jest dostarczanie informacji o lądującym samolocie (w dzień, w nocy i przy zamgleniu) takich jak: umiejscowienie samolotu w osi pasa, wysokość lotu samolotu, odległość do punktu przyziemienia (lądowania) samolotu, obraz podwozia oraz obraz innych elementów samolotu. Opracowany i wykonany zespół kamer do optoelektronicznego systemu wspomagającego lądowanie samolotów w zasadniczej części składa się z dwóch opracowanych i wykonanych kamer termowizyjnych o wysokiej rozdzielczości z matrycowymi detektorami podczerwieni o wymiarach 640 x 512 detektorów i rozmiarze pojedynczego detektora 15  $\mu\text{m}$  oraz kamery wideo. Kamery termowizyjne pracują w zakresach widmowych średniej (35  $\mu\text{m}$ ) i dalekiej (8-12  $\mu\text{m}$ ) podczerwieni oraz w zakresie widzialnym (0,38 - 0,78  $\mu\text{m}$ ). W kamerze dla zakresu dalekiej podczerwieni zastosowano matrycę fotonowych detektorów podczerwieni CMT 640x512 F/2.05 w firmy AIM (Niemcy). W kamerze dla zakresu średniej podczerwieni zastosowano matrycę detektorów produkcji SCD (Izrael) o nazwie Pelican D, InSb 640 x 512 (15  $\mu\text{m}$ ), F/4. Wyniki badań potwierdziły zakładane parametry techniczne i poprawną pracę zespołu kamer w warunkach rzeczywistych. Potwierdzono, że za pomocą kamer termowizyjnych można obserwować i śledzić samoloty z odległości ponad 10 km w nocy i przy widzialności optycznej około 1 km.



**Rys. 1.** Zdjęcia zespołu kamer od strony obiektywów kamer (po lewej obiektyw kamery MWIR, w środku kamery VIS, po prawej kamery LWIR) oraz jego wnętrza (bez obudowy)



**Rys. 2.** Przykład  
zobrazowania lecącego  
samolotu na odległości  
około 2 km (po lewej Orlik  
- kamera MWIR, po prawej  
Bryza - kamera LWIR) dla  
widzialności około 1 km  
(średnie zamglenie)

# 6.

## DODATKI

### D.1.1.

#### PROJEKTY MIĘDZYNARODOWE FINANSOWANE Z UE I INNYCH ŹRÓDEŁ ZAGRANZNYCH

M1. PUM/09-041/2013/WAT, „Terahercowe platformy obrazujące do zdalnej detekcji IED (improwowanych ładunków wybuchowych) (TIPPSI) „EUROPEJSKA AGENCJA OBRONY EDA, Kierownik: PAŁKA Norbert

M2. PUM/09-058/2013/WAT, RAMBO „EUROPEJSKA AGENCJA OBRONY EDA, Kierownik: JANKIEWICZ Bartłomiej

M3. PUM/09-153/2014/WAT, „AMURFOCAL -Active Multispectral Reflection Fingerprinting of Persistent Chemical Agents” „EUROPEJSKA AGENCJA OBRONY EDA, Kierownik: KASTEK Mariusz

M4. PMW/35-002/2013/WAT, „Wytwarzanie laserem promieniowania rentgenowskiego i skrajnego nadfioletu (EUV) do zastosowań w inżynierii materiałowej i biomedycynie. LASERLAB-EUROPE „MINISTERSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: FIEDOROWICZ Henryk

M5. PRUE/31-089/212/WAT, Laserlab Europe III „KOMISJA WSPÓLNOT EUROPEJSKICH, Kierownik: FIEDOROWICZ Henryk

M6. NCN/36-433/2013/WAT, Impulsowe lasery na ośrodkach quasi-III-poziomowych pompowanie poprzeczna 2D stosami diod laserowych dużej mocy „NARODOWE CENTRUM NAUKI KRAKÓW, Kierownik: JABCZYŃSKI Jan

M7. PMN/36-236/2015/WAT, Badania generacji supercontinuum w światłowodach fluoroindowych pompowanych impulsami optycznymi o czasie trwania z zakresu femtosekund, pikosekund oraz nanosekund. „NARODOWE CENTRUM NAUKI KRAKÓW, Kierownik: ŚWIDERSKI Jacek

M8. FS/32-015/2013/WAT, Rozwój Klastra Centrum Inżynierii Biomedycznej „POLSKA AGENCJA ROZWOJU, Kierownik: ŁAPIŃSKI Mariusz

KL1. FS/32-309/2015/WAT, Rozbudowa Laboratoriów Centrum Inżynierii Biomedycznej Wojskowej Akademii Technicznej „Zarząd Województwa Mazowieckiego Mazowiecka Jednostka Wdrażania Programów Unijnych., Kierownik: ŁAPIŃSKI Mariusz

M9. FS/32-480/2013/WAT, Kompozytowy system pasywnej i aktywnej ochrony obiektów infrastruktury krytycznej „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

M10. PPFM/37-363/2015/WAT, OPTOLAB- Rozbudowa bazy laboratoryjnej Instytutu Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: SZCZUREK Mirosław



## D.1.2.

### PROGRAMY STRATEGICZNE

PST1. PSOB/16-062/2014/WAT, Metody i Sposoby Ochrony i Obrony przed impulsami HPM „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: KOPCZYŃSKI Krzysztof

PST2. PSOB/16-064/2014/WAT, Laserowe systemy Broni Skierowanej Energii, Laserowe Systemy Broni Nieśmiercionośnej „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: KOPCZYŃSKI Krzysztof

## D.1.3.

### PRACE Z OBSZARU BADAŃ PODSTAWOWYCH FINANSOWANE PRZEZ NCN

BP1. NCN/07-145/2012/WAT, Badanie procesu zatężania i dekompozycji w optoelektronicznym sensorze par materiałów wybuchowych „NARODOWE CENTRUM NAUKI KRAKÓW, Kierownik: RUTECKA Beata

BP2. NCN/07-148/2012/WAT, Mikroskopia w zakresie skrajnego nadfioletu oraz miękkiego promieniowania rentgenowskiego „NARODOWE CENTRUM NAUKI KRAKÓW, Kierownik: WACHULAK Przemysław

BP3. NCN/07-150/2012/WAT, Wpływ budowy plazmonowych monostruktur core-shell na bazie tlenku tytanu i metali szlachetnych na ich właściwości optyczne i fotoelektryczne „NARODOWE CENTRUM NAUKI KRAKÓW, Kierownik: JANKIEWICZ Bartłomiej

BP4. NCN/07-381/2013/WAT, Nowe lasery ciała stałego z samo-adaptującymi rezonatorami wykorzystujące efekt cztero-falowego mieszania w ośrodku czynnym. „NARODOWE CENTRUM NAUKI KRAKÓW, Kierownik: ŻENDZIAN Waldemar

BP5. NCN/07-124/2014/WAT, Analiza teoretyczna oraz badania właściwości generacyjnych pompowanego koherentnie, impulsowego lasera Cr:ZnSe, przestrajalnego w paśmie widmowym około 2400 nm. „NARODOWE CENTRUM NAUKI KRAKÓW, Kierownik: GORAJEK Łukasz

BP6. NCN/07-125/2014/WAT, Fotojonizacja ośrodków gazowych impulsami promieniowania plazmy laserowej „NARODOWE CENTRUM NAUKI KRAKÓW, Kierownik: BARTNIK Andrzej

BP7. NCN/07-094/2015/WAT, Badanie generacji supercontinuum w paśmie widmowym średniej podczerwieni z użyciem wybranych światłowodów nieliniowych oraz nowoczesnych laserowych układów światłowodowych generujących pikosekundowe impulsy promieniowania o długości fali 2000 nm „NARODOWE CENTRUM NAUKI KRAKÓW, Kierownik: ŚWIDERSKI Jacek

BR1. PBR/15-291/2012/WAT, Celownik termowizyjny kompatybilny z systemem C4ISR ISW TYTAN, zintegrowany z wyświetlaczem nahałmowym, modułem laserowego systemu identyfikacji „swój-obcy” (IFF) z możliwością zdalnego sterowania głównymi funkcjami celownika. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU”, Kierownik: SOSNOWSKI Tomasz

BR2. PBR/15-305/2012/WAT, Kamery obserwacyjno-rozpoznawcze o szerokim zakresie natężenia światła LLL/CCD TV kompatybilne z systemem C4ISR ISW TYTAN „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU” (BUMAR ŻOŁNIERZ S.A.), Kierownik: MADURA Henryk

BR3. PBR/15-301/2012/WAT, System monitorowania integralności łącza światłowodowego w celu ochrony przed nieautoryzowanym dostępem do informacji niejawnych. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU”, Kierownik: ŻYCKOWSKI Marek

BR4. PBR/15-314/2012/WAT, Uprawnienie procesu odprawy granicznej osób przy wykorzystaniu biometrycznych urządzeń do samokontroli środków transportu przekraczających granicę zewnętrzną UE. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU”, Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

BR5. PBR/15-316/2013/WAT, Środki ochrony wzroku i sprzętu przed wysokoenergetycznym promieniowaniem elektromagnetycznym, w tym laserowym, w szerokim zakresie widma zgodnie z ISW TYTAN. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU” (WYDZIAŁ NOWYCH TECHNOLOGII I CHEMII), Kierownik: ZYGMUNT Marek

BR6. PBR/15-098/2013/WAT, Mobilna kontrola graniczna z wykorzystaniem technik biometrycznych dostosowana do wymogów i zaleceń UE. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU”, Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

BR7. PBR/15-097/2013/WAT, Inteligentny antypocisk do zwalczania pocisków przeciwpancernych „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU WYDZIAŁ MECHANICZNY”, Kierownik: ZYGMUNT Marek

BR8. PBR/15-114/2014/WAT, Narzędzie wspomagające prowadzenie postępowania przygotowawczego i wykonywanie czynności w procesie wykryczym poprzez odtwarzanie wyglądu miejsca zdarzenia i okoliczności zdarzenia. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU CGS”, Kierownik: KASTEK Mariusz

BR9. PBR/15-067/2014/WAT, Innowacyjny hełm strażacki zintegrowany z obserwacyjnym systemem termowizyjnym i systemem umożliwiającym monitorowanie funkcji życiowych strażaka ratownika oraz wyjściem do transmisji obrazów i danych do urządzeń zewnętrznych. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU CENTRALNA SZKOŁA PAŃSTWOWEJ STRAŻY POŻARNEJ CZĘSTOCHOWA. PRZEDSIĘBIORSTWO SPRZĘTU OCHRONNEGO „ASKPOL S.A., Kierownik: MADURA Henryk

BR10. PBR/15-072/2014/WAT, Opracowanie środowiska do wdrożeń koncepcji SmartBorders. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU JAS TECHNOLOGIE GEMALTO SP Z O.O. , Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

BR11. PBR/15-361/2015/WAT, System przeciwdziałania i zwalczania zagrożeń powstałych w wyniku bezprawnego i celowego użycia platform mobilnych (latających, pływających). „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU JAS TECHNOLOGIE GEMALTO SP Z O.O. , Kierownik: KASTEK Mariusz

BR12. PBR/15-364/2015/WAT, Symulatory szkoleniowe w zakresie zwalczania pożarów wewnętrznych. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU JAS TECHNOLOGIE GEMALTO SP Z O.O. , Kierownik: FIRMANTY Krzysztof

BR13. PBST/27-054/2013/WAT, Opracowanie energooszczędnego zestawu biometrycznego do mobilnej kontroli dokumentów i osób z użyciem systemów akustycznych i zobrazowania twarzy „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

BR14. PBST/27-086/2012/WAT, Emitery i detektory podczerwieni nowej generacji do zastosowań w urządzeniach do detekcji śladowych ilości zanieczyszczeń gazowych „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU (Instytut Technologii Elektronowej), Kierownik: BIELECKI Zbigniew

BR15. PBST/27-219/2015/WAT, Aktywny sub-THz skaner 3D do zastosowań antyterrorystycznych. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

BR16. PBST/27-220/2015/WAT, Pompowany diodowo, modułowy zestaw laserowy do zastosowań specjalnych. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: JABCZYŃSKI Jan

BR17. PBST/27-225/2012/WAT, Wielopikselowy detektor promieniowania THz zrealizowany z wykorzystaniem selektywnych tranzystorów MOS i jego zastosowanie w biologii, medycynie i systemach bezpieczeństwa. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: ZAGRAJEK Przemysław

BR18. PBST/27-238/2012/WAT, Opracowanie głowicy skanującej z układami nadawczo-odbiorczymi nowej generacji do wielospektralnego laserowego profilometru reflektancyjnego umożliwiającego określanie rzeźby i charakterystyk fizykochemicznych pokrycia terenu do zastosowania na platformie powietrznej. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: PIOTROWSKI Wiesław

BR19. PBST/27-239/2012/WAT, Optoelektroniczny system sensorów markerów chorobowych. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: BIELECKI Zbigniew

BR20. PBST/27-281/2012/WAT, Opracowanie warunków wytwarzania spinela magnezowego  $MgAl_2O_4$ , skandowo-magnezowego  $ScMgAlO_4$ , oraz szkła Er, Yb, do zastosowania w mikrolaserach dalmierzowych „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: MŁYŃCZAK Jarosław

BR21. PBST/27-345/2012/WAT, Ręczny fotoradar laserowy. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: WOJTANOWSKI Jacek

BR24. INT/19-045/2014/WAT, Lasery chirurgiczne wysokiej mocy pracujące na długości fali 1470nm i 1940 nm do zastosowań w małoinwazyjnej chirurgii endoskopowej i robotycznej. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU (METRUM CRYOFLEX S z o.o., sp.k.), Kierownik: ŚWIDERSKI Jacek

BR25. INT/19-190/2015/WAT, Opracowanie nowatorskiego czujnika detekcji upadku osób wraz z systemem sterowania inteligentnym budynkiem. „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: ŻYCZKOWSKI Marek

BR26. INT/19-335/2015/WAT, Spektrometr ramanowski z heterodyną optyczną „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: KOPCZYŃSKI Krzysztof

BR25. PPFN/34-198/2012/WAT, Nanostruktury plazmonowe do zastosowań w fotowoltaice i optoelektronice „MINISTERSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: NYGA Piotr

BR26. PPFN/34-038/2013/WAT, Metoda i system do wykrywania obiektów z użyciem polarymetrii obrazowej w zakresie dalekiej podczerwieni „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: BIESZCZAD Grzegorz

BR27. PPFN/34-049/2013/WAT, Mikroskop EUV z nanometrową rozdzielczością przestrzenną do zastosowań we współczesnej nauce i technologii „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: WACHULAK Przemysław

BR28. PPFN/34-068/2014/WAT, Detektory promieniowania THz wytworzone z wykorzystaniem tranzystorów polowych do zastosowania w komunikacji bezprzewodowej „NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, Kierownik: ZAGRAJEK Przemysław

## D.1.5.

### STYPENDIA NAUKOWE DLA WYBITNYCH MŁODYCH UCZONYCH

SN2. PPFN/34-001/2012/WAT, Finansowanie stypendium naukowego decyzją Ministra z dnia 31.10.2012 dla wybitnego młodego naukowca „MINISTERSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: NYGA Piotr

SN3. PPFN/34-004/2014/WAT, Finansowanie stypendium naukowego decyzją Ministra z dnia 31.10.2012 dla wybitnego młodego naukowca „MINISTERSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: JANKIEWICZ Bartłomiej



ST1. PBS/23-902/2014/WAT, Optoelektroniczne rozpoznanie pola walki. „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: ZYGMUNT Marek

ST2. PBS/23-903/2014/WAT, Optoelektroniczne metody wytwarzania i charakteryzacji nanostruktur dla potrzeb techniki wojskowej. „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: GIETKA Andrzej

ST3. PBS/23-904/2014/WAT, Zabezpieczenie metrologiczne optoelektroniki. „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik:

ST4. PBS/23-905/2014/WAT, Analiza porównawcza symulatorów lotów przenośnych rakiet przeciwlotniczych krótkiego zasięgu. „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: PUZEWICZ Zbigniew

ST5. PBS/23-906/2014/WAT, Multispektralne urządzenia optoelektroniczne w systemach bezpieczeństwa „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

ST6. PBS/23-907/2014/WAT, Militarne zastosowania laserów pompowanych wiązkami światła „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: ŻENDZIAN Waldemar

ST7. PBS/23-908/2014/WAT, Laserowe i plazmowe technologie mikro-i nano - obróbki warstwy wierzchniej materiałów „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: BARTNIK Andrzej

ST8. PBS/23-920/2015/WAT, Układy przetwarzania sygnałów do detektorów promieniowania optycznego. „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: BIELECKI Zbigniew

ST9. PBS/23-921/2015/WAT, Obserwacyjne kamery termowizyjne dla autonomicznych platform bojowych z niechłodzonymi matrycami detektorów podczerwieni o dużej rozdzielczości. „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: SOSNOWSKI Tomasz

MRN1. PRM 08-754/2015/ WAT, Wytwarzanie ultrakrótkich impulsów spójnego promieniowania w zakresie widmowym skrajnego nadfioletu (EUV) w wyniku oddziaływania femtosekundowych impulsów laserowych z tarczami gazowymi o zmiennym rozkładzie gęstości. „MINISTESSTWO NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, Kierownik: FOK Tomasz

## D.1.7.

### PRACE UMOWNE FINANSOWANE Z INNYCH ŹRÓDEŁ

PBU1. PBU/01/598 2011/WAT, Modernizacja przenośnego przeciwlotniczego zestawu raketowego „GROM” „BUMAR AMUNICJA S.A., Kierownik: PUZEWICZ Zbigniew

PBU2. PBU/01-122/2012/WAT, Wykonanie 19 szt. Układów detekcyjnych FAD Mod.1 do głowicy samonaprowadzającej na promieniowanie podczerwone rakiety morskiej P-22, zwanej dalej „towarem”. „CENZIN SP. Z O.O. , Kierownik: NOGA JANUSZ

PBU3. PBU/01-195/2012/WAT, System amunicji precyzyjnego rażenia do 120 mm moździerz kryptonim RAK i System amunicji precyzyjnego rażenia dla samobieżnych haubic kal.155 mm kryptonim KRAB,KRYL. „BUMAR AMUNICJA S.A., Kierownik: PUZEWICZ Zbigniew

PBU4. PBU/01-356/2012/WAT, Cytadela Bezpieczeństwa Statków - system ochrony jednostek pływających przed atakami pirackimi. „Przedsiębiorstwo Produkcyjno - Usługowe INTERMET Sp. z o.o., Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

PBU8. PBU/01-172/2014/WAT, Zadanie 1 Analiza problemu diagnostycznego dotyczącego degradacji łopatek turbin -opracowanie metody pomiarowej i wymagań dla innowacyjnego laserowego systemu wizyjnego. W ramach realizacji projektu” Innowacyjne laserowe metody diagnostyki oraz technologie naprawy łopatek turbin parowych” „Zakład Remontowy Energetyki Katowice Spółka Akcyjna, Kierownik: PISZCZEK Marek

PBU9. PBU/01-036/2014/WAT, Badania i pomiar parametrów zestawu 12 kamer termowizyjnych w zakresie określonym w zał. Nr 1. „Bracia Strzelczyk, Kierownik: KASTEK Mariusz

PBU10. PBU/01-185/2015/WAT, Opracowanie nowego wzoru / typu kamuflażu. „MASKPOL S.A., Kierownik: KASTEK Mariusz

PBU11. PBU/01-271/2015/WAT, Opracowania udoskonalonego systemu do wideoweryfikacji decyzji sędziowskich w sporcie „BIRS Sp.J., Kierownik: KOPCZYŃSKI Krzysztof

PBU12. PBU/01-282/2015/WAT, Opracowanie i wdrożenie lekkiego systemu ze sterowaną raketą o zasięgu 2,5 km kryptonim „PIRAT”. „MESKO S.A, Kierownik: PUZEWICZ Zbigniew

PBU13. PBU/01-336/2015/WAT, Wykonanie 19 sztuk układów detekcyjnych FAD Mod1 do głowicy samonaprowadzającej na promieniowanie podczerwone rakiety morskiej P-22 . „CENZIN Sp. z o.o., Kierownik: PUZEWICZ Zbigniew

PBU14. PBU/01372/2006/WAT, Przeprowadzenie przez Akademię na rzecz Zamawiającego badań na zgodność z warunkami technicznymi (WT) fotodetektorów InSb, PbS przeznaczonych do GSN GROM w roku 2006 i 2007 oraz przeprowadzenie badań kontroli wejściowej półfabrykatów owiewki dla GSN GROM na warunkach określonych w dalszej jej części. „CRW TELESYSTEM MESKO SP.z o.o., Kierownik: PUZEWICZ Zbigniew

PBU15. PBU/02-254/1999/WAT, Poufna „BUMAR AMUNICJA S.A., Kierownik: PUZEWICZ Zbigniew

PBU16. PBU/02-189/2014/WAT, Zaawansowane Indywidualne Systemy Walki(ZISW) kr. TYTAN „Skarb Państwa Inspektorat Uzbrojenia, Kierownik: ZYGMUNT Marek

PBN1. PBN/03-192/2014/WAT, Pomoc ekspercka w organizacji i przeprowadzaniu postępowania o udzielenie zam. publicznego „Kancelaria Sejmu, Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

PBN2. PBN/03-119/2015/WAT, Wytworzenie struktur Periodycznych przy użyciu techniki DLIL na powierzchni blachy wykonanej z tytanu Grade 2. „Politechnika Warszawska, Kierownik: MARCZAK Jan

PBN3. PBN/03-147/2015/WAT, Instrumentalna analiza defektów, gładkości, rozkładu środków barwnych i rozdzielczości w dekoracji laserowej szkła przy naświetlaniu laserowym od strony podłoża. „Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Kierownik: MARCZAK Jan

PBN4. PBN/03-155/2014/WAT, Doradcy w procesie wyłonienia Wykonawcy w organizowanym przez spółkę postępowaniu na zaprojektowanie i wykonanie technicznego systemu ochrony perymetrycznej Lotniska Warszawa / Modlin oraz uczestnictwo w ocenie należytego wykonania umowy w wyniku postępowania wykonawcą. „Spółka Mazowiecki Port Lotniczy Warszawa –Modlin Sp. z o.o., Kierownik: SZUSTAKOWSKI Mieczysław

PBN5. PBN/03-257/2015/WAT, Badania porównawcze efektów ciśnieniowych w odczycie bezpośrednim i interferometrycznym w materiałach pod wpływem silnych impulsów laserowych. „Instytut Podstawowych problemów Technik PAN, Kierownik: MARCZAK Jan

PBN6. PBN/03-273/2015/WAT, Lokalizacji zawodników w czasie poszczególnych akcji w piłce siatkowej. „BIRS Sp.J., Kierownik: KOPCZYŃSKI Krzysztof

PBN7. PBN/03-289/2015/WAT, Laserowa modyfikacja powierzchni tytanu. „Politechnika Warszawska, Kierownik: MARCZAK Jan

PBN8. PBN/03-232/2015/WAT, Usługi wsparcia w charakterze konsultanta w zakresie rozwiązań technicznych dla etapu II i III. „Państwowe Muzeum Auschwitz-Birkenau, Kierownik: ŻYCZKOWSKI Marek

PBN9. PBN/03-025/2014/WAT, Opracowanie urządzenia do wytwarzania dwustrumieniowej tarczy gazowej przeznaczonej do badań w zakresie oddziaływania impulsów laserowych z gazem pod wysokim ciśnieniem oraz wytwarzania promieniowania w zakresie widmowym skrajnego nadfioletu (EUV). „Inframet Krzysztof Chrzanowski, Kierownik: FIEDOROWICZ Henryk

PBN10. PBN/03-048/2014/WAT, Wykonanie badań laboratoryjnych kamery termowizyjnej i kamery dziennej TV wyrobu ZMO-1, zastosowanego w ZSMU, w zakresie określenia zasięgu wykrycia, rozpoznania i identyfikacji celu dla wąskiego i szerokiego pola widzenia. „Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej, Kierownik: KASTEK Mariusz

## D.2.

### ZGŁOSZENIA PATENTOWE INSTYTUTU OPTOELEKTRONIKI W 2015 R.

ZP1. No. 415256, T: Sposób określania względnej transmisji promieniowania i urządzenie do wykorzystania tego sposobu

ZP2. No. 415227, T: Sposób korekcji wpływu temperatury na wartość czułości napięciowej detektorów w matrycy mikrobolometrycznej

ZP3. No. 415226, T: Urządzenie z ruchomą przesłoną do zdalnego wykrywania par alkoholu w poruszających się pojazdach

ZP4. No. 414689, T: Impulsowy detektor zaburzeń mechanicznych światłowodowej linii transmisyjnej i sposób detekcji zaburzeń mechanicznych światłowodowej linii transmisyjnej

ZP5. No. 414705, T: Kwantowy detektor zaburzeń mechanicznych światłowodowej linii transmisyjnej i sposób detekcji zaburzeń mechanicznych światłowodowej linii transmisyjnej

ZP6. No. 414425, T: Sposób optycznego szyfrowania informacji i układ do optycznego szyfrowania informacji

ZP7. No. 15166490.1-1655, T: An active protection system

ZP8. No. 412840, T: Urządzenie do wykrywania par alkoholu w poruszających się pojazdach z wykorzystaniem międzypasmowych laserów kaskadowych

## D.3.

### KONFERENCJE ORGANIZOWANE PRZEZ INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI W 2015 R.

| Tytuł                                                                                                                                                               | Krajowa/<br>Międzynarodowa | Data                   | Liczba uczestników                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Application of Laser Plasma Sources of X-rays and Extreme Ultraviolet (EUV) in Technology and Science – konferencja zorganizowana w ramach projektu LASERLAB-EUROPE | Międzynarodowa             | 6-9 lipca 2015 r.      | 43 uczestników reprezentujących 11 krajów, w tym Polskę – 26, Niemcy – 5, Szwecję – 2, Japonię – 2, Irlandię – 2, Włochy – 1, Wielką Brytanię – 1, Czechy – 1, Francję – 1, Portugalię – 1, Koreę – 1. |
| XXIX Konferencja Naukowo-Techniczna EKOMILITARIS pt. „Inżynieria bezpieczeństwa – ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń”                                   | Krajowa                    | 15-18 września 2015 r. | 150 uczestników                                                                                                                                                                                        |
| „Innowacyjne technologie w Centrum Inżynierii Biomedycznej”                                                                                                         | Krajowa                    | 25 listopada 2015 r.   | ok. 70 uczestników                                                                                                                                                                                     |

- A1. M. J. Walczakowski, N. Pałka, A. P. Czerwiński, M. Sypek, M. Szustakowski, THz reflection spectra of different materials, including explosives, measured at a distance up to 5 m „Acta Physica Polonica A, 2015, 127, 3, 689-692
- A2. K. Nowak, E.F. Pliński, B. Karolewicz, P. Jarzqb, S. Plińska, B. Fuglewicz, M. Walczakowski, Ł. Augustyn, Ł. Sterczewski, M. Grzelczak, M. Hruszowiec, G. Beziuk, M. Mikulics, N. Pałka, M. Szustakowski, Selected aspects of terahertz spectroscopy in pharmaceutical sciences’, Acta Poloniae Pharmaceutica, 2015, 72, 5, 851-866
- A3. E. Mavrona, U. Chodorow, E.M Barnes, J. Parka, S. Saitzek, J. F. Blach, V. Apostolopoulos, M Kaczmarek, N. Pałka, Refractive indices and birefringence of hybrid liquid crystal - nanoparticles composite materials in the terahertz region „AIP Advances, 2015, 5,7, 77143-77143
- A4. M. Kowalski, M. Kastek, M. Walczakowski, N. Palka, M. Szustakowski, Passive imaging of concealed objects in terahertz and long-wavelength infrared’, Applied Optics , 2015, 54, 13, 3826-3833
- A5. P. Wachulak, A. Torrisi, A. Bartnik, D. Adjei, J. Kostecki, Ł. Węgrzyński, R. Jarocki, M. Szczurek, H. Fiedorowicz, Desktop water window microscope using a double-stream gas puff target source’, Applied Physics B. Lasers and Optics, 2015, 118, 573-578
- A6. J. Bou Sleiman, B.Bousquet, N.Palka, P.Mounaix, Quantitative Analysis of Hexahydro-1, 3, 5-trinitro-1, 3, 5, Triazine/Penterythritol Tetranitrate (RDX- PETN) Mixtures by Terahertz Time Domain Spectroscopy’, Applied Spectroscopy, 2015, 69, 12, 1464-1471
- A7. P. Kwasniak, J. Pura, M. Zwolinska, P. Wieceński, H. Skarzynski, L. Olszewski, J. Marczak, H. Garbacz, J.K. Kurzydłowski, Laser and chemical surface modifications of titanium grade 2 for medical application’, Applied Surface Science, 2015, 336, pp: 267-273
- A8. J. Marczak, Micromachining and patterning in micro/nano scale on macroscopic areas’, Archives of Metallurgy and Materials, 2015, 63 (2), 2221-2234
- A9. Z. Bielecki, T. Stacewicz, J. Wojtas, J. Mikołajczyk, Application of quantum cascade lasers for trace gas detection’, Bulletin of the Polish Academy of Sciences - Technical Sciences, 2015, Vol. 63, No. 2, 2015, 515-525



- A10. M.Traczyk, J. Wojtanowski, Z.Mierczyk, M. Zygmunt, P.KNY-SAK, T. Drozd, M. Muzal, 'Theoretical analysis and optimization of 3D laser beam shaping', *Bulletin of the Polish Academy of Sciences - Technical Sciences*, 2015, 63(2), str 555-560
- A11. Długaszek Maria, Kurpiewska Żaneta, Mierczyk Jadwiga, 'Lithium content in the tea and herbal infusions', *European Food Research and Technology*, 2015, 241: 289-293
- A12. M. Włodarski, M. Kaliszewski, E. A. Trafny, M. Szpakowska, R. Lewandowski, A. Bombalska, M. Kwaśny, K. Kopczyński, M. Mularczyk-Oliwa., 'Fast, reagentless and reliable screening of "white powders" during the bioterrorism hoaxes.', *Forensic Science International*, 2015, 248, 71-77
- A13. M. Kaliszewski, M. Włodarski, E. A. Trafny, M. Szpakowska, R. Lewandowski, A. Bombalska, M. Kwaśny, K. Kopczyński, M. Mularczyk-Oliwa., 'Fast, Reagentless and reliable screening of „white powders” during the bioterrorism hoaxes „Forensic Science International, 2015, 248, 71-77
- A14. J. Suszek, A. Siemion, M. S. Bieda, N. Blocki, D. Coquillat, G. Cywinski, E. Czerwińska, M. Doch, A. Kowalczyk, N. Palka, A. Sobczyk, P. Zagrajek, M. Zaremba, A. Kolodziejczyk, W. Knap, M. Sypek, '3-D-Printed Flat Optics for THz Linear Scanners', *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 2015, 5, 2, 314-316
- A15. E.A. Trafny, R. Lewandowski, K. Kozłowska, I. Zawistowska-Marciniak, M. Stępińska, 'Microbial contamination and biofilms on machines of metal industry using metalworking fluids with or without biocides', *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015, 99, 31-38
- A16. W. Mróz, B. Budner, R. Syroka, K. Niedzielski, G. Golański, A. Słószarczyk, D. Schwarze, T.E. Douglas, 'In vivo implantation of porous titanium alloy implants coated with magnesium-doped octacalcium phosphate and hydroxyapatite thin films using pulsed laser deposition', *J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.*, 2015, 103, 151-158.
- A17. W. Mróz, B. Budner, W. Tokarz, P. Piela, M. L. Korwin-Pawłowski, 'Ultra-low-loading pulsed-laser-deposited platinum catalyst films for polymer electrolyte membrane fuel cells', *J. Power Sources*, 2015, 273, 885-893.
- A18. P. Kopyt, D. Obrębski, P. Zagrajek, J. Marczewski, 'Silicon Junctionless Field Effect Transistors as Room Temperature Terahertz Detectors', *Journal of Applied Physics*, 2015, 118, pp. 104502-8
- A19. P. Kopyt, B. Salski, J. Marczewski, P. Zagrajek, J. Łusakowski, 'Parasitic Effects Affecting Responsivity of Sub-THz Radiation Detector Built of a MOSFET', *Journal of Infrared Millimeter and Terahertz Waves*, 2015, 6, 1-17

- A20. N. Pałka, R. Panowicz, F. Ospald, R. Beigang, 3D Non-destructive Imaging of Punctures in Polyethylene Composite Armor by THz Time Domain Spectroscopy „Journal of Infrared Millimeter and Terahertz Waves, 2015, 36, 8, 770-788
- A21. N. Pałka, S. Krimi, F. Ospald, D. Miedzińska, R. Gieleta, M. Malek, R. Beigang, Precise Determination of Thicknesses of Multilayer Polyethylene Composite Materials by Terahertz Time-Domain Spectroscopy, Journal of Infrared Millimeter and Terahertz Waves, 2015, 36, 6, 578-596
- A22. A. Szerling, K. Kosiel, M. Szymański, Z. Wasilewski, K. Gołaszewska, A. Łaszcz, M. Płuska, A. Trajnerowicz, M. Sakowicz, M. Walczakowski, N. Pałka, R. Jakieła, A. Piotrowska, Processing of AlGaAs/GaAs quantum-cascade structures for terahertz laser „Journal of Nanophotonics, 2015, 9,1, 093079
- A23. P. Wachulak, A. Torrisi, A. Bartnik, Ł. Węgrzyński, T. Fok, R. Jarocki, J. Kostecki, M. Szczurek, H. Fiedorowicz, Fresnel zone plate telescope for condenser alignment in water-window microscope, Journal of Optics, 2015, 17, 055606
- A24. K. Druźbicki, E. Mikuli, N. Pałka, S. Zalewski, M. D. Ossowska-Chruściel, Polymorphism of resorcinol explored by complementary vibrational spectroscopy (FT-RS, THz-TDS, INS) and first-principles solid-state computations (plane-wave DFT) „Journal of Physical Chemistry B, 2015, 119 (4), pp 1681–1695
- A25. A. Bartnik, H. Fiedorowicz, T. Fok, R. Jarocki, M. Szczurek, P. Wachulak, Low-temperature photoionized Ne plasmas induced by laser-plasma EUV sources, Laser and Particle Beams, 2015, 33, 193-200
- A26. P. Wachulak, A. Bartnik, R. Jarocki, T. Fok, Ł. Węgrzyński, J. Kostecki, M. Szczurek, H. Fiedorowicz, Study of uniformity of elongated plasma channels formed in gas puff targets using extreme ultraviolet and soft X-ray radiation, Laser and Particle Beams, 2015, 33, 293-298
- A27. J. Mlyńczak, N. Belghachem, Laser generation in newly developed PAL77 and PAL80 glasses doped with Er<sup>3+</sup> and Yb<sup>3+</sup> ions, Laser Physics, 2015, 25,5, 1-5
- A28. N. Belghachem, J. Mlyńczak, Numerical simulation and optimization of passively q-switched erbium microchip lasers, Laser Physics, 2015, 25,8, 1-7
- A29. J. Mlyńczak, N. Belghachem, ‘ High peak power generation in thermally bonded Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>:glass/Co<sup>2+</sup>: MgAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> microchip laser for telemetry application, Laser Physics Letters, 2015, 12,4, 45803-45807
- A30. P. Dobrowolska, A. Krajewska, M. Gajda-Rączka, B. Bartosiewicz, P. Nyga, B. J. Jankiewicz, ‘ Application of Turkevich Method for Gold Nanoparticles Synthesis to Fabrication of SiO<sub>2</sub>@Au and TiO<sub>2</sub>@Au Core-Shell Nanostructures, Materials, 2015, 8(6), 2849-2862

- A31. M. Vandrovčova, T.E.L. Douglas, W. Mróz, O. Musiał, D. Schaubroeck, B. Budner, R. Syroka, P. Dubruel, L. Bacakova, Pulsed laser deposition of magnesium-doped calcium phosphate coatings on porous polycaprolactone scaffolds produced by rapid prototyping', *Materials Letters*, 2015, 148, 178–183
- A32. Koronkiewicz M., Romiszewska A., Chilmonczyk Z., Kazimierzuk Z., 'New benzimidazole-derived isothioureas as potential antileukemic agents – studies in vitro', *Medicinal Chemistry*, 2015, vol.11, nr 4 str. 364-372
- A33. B. Zakrzewska, Very sensitive optical system with the concentration and decomposition unit for explosive trace detection', *Metrology and Measurement Systems*, 2015, XXII (2015), No. 1, pp. 101–110
- A34. J. Ćwirko, R. Ćwirko, J. Mikołajczyk, Comparative tests of temperature effects on the performance of GaN and SiC photo-diodes', *Metrology and Measurement Systems*, 2015, XXII (2015), No. 1, pp. 119–126
- A35. K. Chrzanowski, Computerized Station For Semi-Automated Testing Image Intensifier Tubes', *Metrology and Measurement Systems*, 2015, 22,3, 371–382,
- A36. P. Wachulak, A. Torrisi, M. Nawaz, A. Bartnik, D. Adjei, Š. Vondrová, J. Turňová, A. Jančárek, J. Limpouch, M. Vrbová, H. Fiedorowicz, A Compact „Water Window” Microscope with 60 nm Spatial Resolution for Applications in Biology and Nanotechnology', *Microscopy and Microanalysis*, 2015, 21, 1214-1223
- A37. I. Ahad, B. Butruk, M. Ayele, B. Budner, A. Bartnik, H. Fiedorowicz, T. Ciach, D. Brabazon, Extreme ultraviolet (EUV) surface modification of polytetrafluoroethylene (PTFE) for control of biocompatibility', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2015, 364, 98-107
- A38. D. Adjei, M. Ayele, P. Wachulak, A. Bartnik, Ł. Wegrzynski, H. Fiedorowicz, L. Vyšín, A. Wiecheć, J. Lekki, W. Kwiatek, L. Pina, M. Davídková, L. Juha, Development of a compact laser-produced plasma soft X-ray source for radiobiology experiments', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2015, 364, 27-32
- A39. E. Dynowska, J. Pelka, D. Klinger, R. Minikayev, A. Bartnik, P. Dłuzewski, M. Jakubowski, M. Klepka, A. Petruczik, O. Seeck, R. Sobierajski, I. Sveklo, A. Wawro, A. Maziewski, Structural investigation of ultrathin Pt/Co/Pt trilayer films under EUV irradiation', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2015, 364, 33-39

- A40. P. Wachulak, A. Bartnik, J. Kostecki, Ł. Węgrzyński, T. Fok, R. Jarocki, M. Szczurek, H. Fiedorowicz, 'Extreme ultraviolet and soft X-ray imaging with compact, table top laser plasma EUV and SXR sources', Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2015, 364, 40-48
- A41. P. Wachulak, A. Bartnik, Ł. Węgrzyński, T. Fok, J. Kostecki, M. Szczurek, R. Jarocki, H. Fiedorowicz, 'Characterization of pulsed capillary channel gas puff target using EUV shadowgraphy', Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2015, 345, 15-21
- A42. D. Kasprowicz, M.G. Brik, K. Jaroszewski, T. Pedzinski, B. Bursa, P. Głuchowski, A. Majchrowski, E. Michalski, 'Spectroscopic properties of Bi<sub>2</sub>ZnOB<sub>2</sub>O<sub>6</sub> single crystals doped with Pr<sup>3+</sup> ions: Absorption and luminescence investigations', Optical Materials, 2015, 47, 428-434
- A43. J. Mlynczak, N. Belghachem, 'Comparative study of the small signal gain coefficient and the dissipative losses evaluation methods of three-level microchip lasers', Optical Materials, 2015, 46, 93-96
- A44. N. Belghachem, J. Mlynczak, 'Comparison of laser generation in thermally bonded and unbonded Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>:glass/Co<sup>2+</sup>: MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> microchip lasers', Optical Materials, 2015, 46, 561-564
- A45. J. Kwiatkowski, J.K. Jabczyński, W. Żendzian, 'An efficient continuous-wave and Q-switched single-pass two-stage Ho:YLF MOPA system', Optics and Laser Technology, 2015, 67, 93-97
- A46. M. Kaśków, L. Gałęcki, J. K. Jabczyński, M. Skórczakowski, W. Żendzian, J. Sulc, M. Nemec, H. Jelinkova, 'Diode-side-pumped, passively Q-switched Yb:LuAG laser', Optics and Laser Technology, 2015, 73, 101-104
- A47. M. Kaśków, W. Żendzian, J. K. Jabczyński, 'Near-diffraction-limited, high peak power, electro-optically Q-switched, diode-side-pumped Nd:YVO<sub>4</sub> grazing-incidence oscillator', Optics and Laser Technology, 2015, 65, 50-55
- A48. J. Mlynczak, N. Belghachem, 'Monolithic thermally bonded Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>:glass/Co<sup>2+</sup>: MgAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> microchip lasers', Optics Communications, 2015, 356, 166-169
- A49. M. Gębski, M. Dems, A. Szerling, M. Motyka, L. Marona, R. Kruszka, D. Urbańczyk, M. Walczakowski, N. Pałka, A. Wójcik-Jedlińska, Q. J. Wang, D. H. Zhang, M. Bugajski, M. Wasiak, T. Czyżanowski, 'Monolithic high-index contrast grating: a material independent high-reflectance VCSEL mirror', Optics Express, 2015, 23, 9, 11674-11686
- A50. J. Szczepanek, T. M. Kardaś, M. Michalska, C. Radzewicz, Y. Stepanenko, 'Simple all-PM-fiber laser mode-locked with a nonlinear loop mirror', Optics Letters, 2015, 40, 3500-3503

- A51. A. Bartnik, Laser-plasma extreme ultraviolet and soft X-ray sources based on a double stream gas puff target: Interaction of the radiation pulses with matter (Review)', *Opto-Electronics Review*, 2015, 23, 172-186
- A52. J. Wojtanowski, M. Traczyk, M. Zygmunt, Z. Mierczyk, B. Przybyszewski, Diffractive wavefront correction of remote sensing systems based on pulsed laser diodes', *Opto-Electronics Review*, 2015, 222-229
- A53. K. Chrzanowski, Review of night vision metrology', *Opto-Electronics Review*, 2015, 23,2, 149-164
- A54. J. Kwiatkowski, Highly efficient high power CW and Q-switched Ho:YLF laser', *Opto-Electronics Review*, 2015, 23(2), 165-171
- A55. A. Bartnik, P. Wachulak, T. Fok, H. Fiedorowicz, T. Pisarczyk, T. Chodukowski, Z. Kalinowska, R. Dudzak, J. Dostal, E. Krousky, J. Skala, J. Ullschmied, J. Hrebicek, T. Medrik, Photoionized plasmas induced in neon with extreme ultraviolet and soft X-ray pulses produced using low and high energy laser systems', *Physics of Plasmas*, 2015, 22, 043302
- A56. A. Bartnik, P. Wachulak, T. Fok, Ł. Węgrzyński, H. Fiedorowicz, W. Skrzeczanowski, T. Pisarczyk, T. Chodukowski, Z. Kalinowska, R. Dudzak, J. Dostal, E. Krousky, J. Skala, J. Ullschmied, J. Hrebicek, T. Medrik, Photoionized argon plasmas induced with intense soft x-ray and extreme ultraviolet pulses', *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 2015, 58, 014009
- A57. I. Kamińska, K. Fronc, B. Sikora, M. Mouawad, A. Siemiarczuk, M. Szewczyk, K. Sobczak, T. Wojciechowski, W. Zaleszczyk, R. Minikayev, W. Paszkowicz, P. Stępień, P. Dziawa, K. Cizak, D. Piątkowski, S. Maćkowski, M. Kaliszewski, M. Włodarski, J. Młyńczak, K. Kopczyński, M. Łapiński, D. Elbaum, Upconverting/magnetic: Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:(Er<sup>3+</sup>,Yb<sup>3+</sup>,Zn<sup>2+</sup>) nanoparticles for biological applications: effect of Zn<sup>2+</sup> doping', *RSC Advances*, 2015, 5, 78361-78373
- A58. J. Wojtas, Application of Cavity Enhanced Absorption Spectroscopy to the Detection of Nitric Oxide, Carbonyl Sulphide, and Ethane—Breath Biomarkers of Serious Diseases', *Sensors*, 2015, 15 (6), pp. 14356-14369
- A59. J. Marczak, W. Skrzeczanowski, B. Dajnowski, J. Kochanowska, A. Koss, J. Mroz, Laser-induced breakdown spectroscopy and optical microscopy investigations of crowns on the Pietà from the parish church in Skrzatusz', *Studies in Conservation*, 2015, 60(S1), S120-S125
- A60. S. Samolik, M. Walczak, M. Plotek, A. Sarzynski, I. Pluska, J. Marczak, Investigation into the removal of graffiti on mineral supports: Comparison of nano-second Nd:YAG laser cleaning with traditional mechanical and chemical methods', *Studies in Conservation*, 2015, 60(S1), S58-S64

## D.4.1.

### ARTYKUŁY NAUKOWE OPUBLIKOWANE W CZASOPISMACH Z LISTY B MNISW

B1. M. Piszczek, Diagnostyka techniczna obiektów z wykorzystaniem aktywnego obrazowania', Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, 2015, 64, 4, 55-69

B2. M. Kwaśny, Z. Mierczyk, M. Łapiński, J. Barański, T. Klepaczewski, Metoda terapii fotodynamicznej w dermatologii. Stan aktualny w Polsce i perspektywy rozwoju', Dermatologia Estetyczna, 2015, 17(3), 145-150

B3. M. Michalska, J. Świdorski, M. Mamajek, Światłowodowy układ laserowy generujący promieniowanie w paśmie widmowym „bezpiecznym dla wzroku”, Elektronika, 2015, 10, 103-107

B4. M. Michalska, M. Mamajek, J. Świdorski, Źródła supercontinuum średniej podczerwieni o dużej wyjściowej mocy średniej', Elektronika, 2015, 10, 108-114

B5. M. Wała, K. Andrejuk, P. Osuchowska, A. Podwysocka, M. Łapiński, Wpływ pola elektromagnetycznego na komórki nowotworowe', Elektronika, 2015, 12, 60-62

B6. M. Kaszczuk, Z. Mierczyk, M. Zygmunt, T. Drozd, A. Gawlikowski, M. Jakubaszek, P. Knysak, A. Młodzianko, M. Muzal, W. Piotrowski, J. Wojtanowski, Wielospektralny skaner laserowy do rozpoznania i analizy elementów terenu', Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania, 2015, 12, str 52-55

B7. M. Helman, J. Wojtas, A. Dudkowiak, Kształtowanie wiązki kwantowego lasera kaskadowego w laserowej spektroskopii absorpcyjnej z modulacją długości fali', Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 10, 2015, 98-100

B8. J. Mikołajczyk, J. Wojtas, M. Kustosz, P. Magryta, T. Stacewicz, Z. Bielecki, Wybrane aspekty wykrywania chorób w układach analizy wydychanego powietrza', Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 8, 2015, 7-9

B9. M. Garlińska, Badanie wpływu warunków atmosferycznych na propagację promieniowania optycznego o długościach fal 1,5 um oraz 10 um', Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 8, 2015, 27-28

B10. Z. Bielecki, T. Stacewicz, J. Wojtas, J. Mikołajczyk, D. Szabra, A. Prokopiuk, M. Nowakowski, R. Mędrzycki, Optoelektroniczny system do wykrywania markerów chorobowych w wydychanym powietrzu', Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 8, 2015, 10-12

B11. J. Młyńczak, K. Kopczyński, J. Kubicki, J. Mierczyk, Problemy zdalnego wykrywania par alkoholu w zamkniętych kabinach', Informatyka, automatyka, pomiary w gospodarce i ochronie środowiska, 2015, Nr. 1, s. 53-59

- B12. B. Mrozikiewicz-Rakowska, M. Mieczkowski, T. J. Siwko, M. I. Bujalska-Zadrożny, A. E. de Corde, E. Gąsińska, K. Kulik, T. Grzela, A. Krejner, R. Dulski, T. Piątkowski, A. Nowak, J. Krzymień, Nowy model ran przewlekłych w cukrzycy – badanie pilotażowe u szczurów rasy Wistar, *Leczenie ran*, 2015, 12(1), 33–39
- B13. A. Hout, M. A. Gagnon, P. Lagueux, V. Farley, M. Chamberland, M. Kastek, Analysis combustion reaction based on infrared multispectral imaging, *Measurement Automation Monitoring*, 2015, 61, 06, 165-168
- B14. T. Sosnowski, H. Madura, G. Bieszczad, M. Kastek, Thermovision system for aircraft landing, *Measurement Automation Monitoring*, 2015, 61, 06, 180-183
- B15. K. Klukowski, A. Bugajski, Sport rekreacyjny a urazy tkanek miękkich, *Medical Tribune*, 2015, 10, 102-106
- B16. K. Klukowski, K. Białobrzaska, Wpływ ciężaru plecaków szkolnych na narząd ruchu dzieci, *Medical Tribune*, 2015, 9, 74-76
- B17. K. Klukowski, M. Kluszczyński, Autorski algorytm postępowania profilaktyczno-terapeutycznego PiLS, *Medical Tribune*, 2015, 6, 73-177
- B18. A. Sarzyński, D. Chmielewska, J. Marczak, A. Olszyna, M. Strzelec, Effects of laser fusing of colour ceramic layers with glass surface during front-side and back-side glass irradiation, *Photonics Letters of Poland*, 2015, 7 (3), 63-65
- B19. J. Radziejewska, J. Hoffman, A. Sarzyński, K. Jach, J. Marczak, A. Rycyk, M. Strzelec, Measurement of stress waves induced by a laser pulse, *Photonics Letters of Poland*, 2015, 7 (4), 112-114
- B20. M. Łapiński, Z. Bogdanowicz, J. Marczak, A. Rycyk, A. Sarzyński, M. Strzelec, Laser manufacturing of microsieves for bio-engineering applications, *Photonics Letters of Poland*, 2015, 7 (3), 60-62
- B21. M. Łapiński, Z. Bogdanowicz, J. Marczak, A. Rycyk, A. Sarzyński, M. Strzelec, Laser manufacturing of microsieves for bio-engineering applications, *Photonics Letters of Poland*, 2015, 7 (3), 60-62
- B22. T. Stacewicz, T. Targowski, Z. Bielecki, B. Buszewski, T. Ligor, J. Wojtas, M. Garlińska, Wykrywanie markerów chorobowych w oddechu metodami optoelektronicznymi, *Pol Merkur Lekarski*, 2015, 134-141
- B23. K. Czyż, R. Major, J. Marczak, K. Trębecka-Wójciga, A. Rycyk, A. Sarzyński, M. Strzelec, Periodyczne strukturuwanie powierzchni wybranych materiałów biozgodnych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2015, 91 (5), 49-52
- B24. Miczuga M., Kopczyński K., Pietrzak J., System wykrywania i identyfikacji zanieczyszczeń gazowych atmosfery, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2015, 9, 134-137



B25. D. Szabra, A. Prokopiuk, Z. Bielecki, A. Zając, D. Majsterek, System kondycjonowania próbek gazowych do optoelektronicznego sensora markerów chorobowych', Przegląd Elektrotechniczny, 2015, 178-180

B26. D. Szabra, A. Prokopiuk, Z. Bielecki, D. Majsterek, A. Zając, Mikroprocesorowy czujnik CO<sub>2</sub>', Przegląd Elektrotechniczny, 2015, 181-183

B27. K. Gocman, T. Kałdoński, W. Mróz, B. Budner, The Effect of Deposition Parameters on the Structural and Mechanical Properties of BN Coatings Deposited onto High-Speed Steel by the PLD Method', Solid State Phenomena, 2015, Vol 220-221 (2015) pp 737-742

## D.4.2.

### PUBLIKACJE W RECENZOWANYCH MATERIAŁACH Z KONFERENCJI MIĘDZYNARODOWYCH – LISTA C.

C1. A. Bartnik, P. Wachulak, R. Jarocki, J. Kostecki, M. Szczurek, D. Adjei, I. Ahad, M. Ayele, T. Fok, A. Szczurek, A. Torrisi, Ł. Węgrzyński, H. Fiedorowicz, Laser plasma sources of soft X-rays and extreme ultraviolet (EUV) for application in science and technology, Proc. of SPIE, 9510 95190Q

C2. A. Torrisi, P. Wachulak, F. Nawaz, A. Bartnik, J. Kostecki, Ł. Węgrzyński, R. Jarocki, M. Szczurek, H. Fiedorowicz, Nanoscale imaging and optimization of a compact „water window” SXR microscope, Proc. of SPIE, 9510 95100N-11

C3. M. Fahad Nawaz, A. Jancarek, M. Nevrla, P. Wachulak, J. Limpouch, L. Pina, Focusing and photon flux measurements of the 2.88 nm radiation at the sample plane of the Soft X-Ray microscope, based on capillary discharge source”, Proc. of SPIE, 9510, 951014-951014-7

C4. M. Kowalski, M. Kastek, M. Szustakowski, Comparison of objects detection capabilities in LWIR and THz ranges, Proc. SPIE, 9651, 96510H

C5. J. Bou-Sleiman, J-B Perraud, B. Bousquet, J-P Guillet, N. Palka, P. Mounaix, Discrimination and identification of RDX/PETN explosives by chemometrics applied to terahertz time-domain spectral imaging, Proc. of SPIE, 9651, 965109

C6. A. Bartnik, T. Pisarczyk, P. Wachulak, T. Chodukowski, T. Fok, Ł. Węgrzyński, Z. Kalinowska, H. Fiedorowicz, R. Jarocki, M. Szczurek, E. Krousky, M. Pfeifer, J. Skala, J. Ullschmied, J. Dostal, R. Dudzak, J. Hřebíček, T. Medrik, J. Cikhardt, B. Cikhardtova, D. Klir, K. Rezac, L. Pina, Photoionized plasmas in laboratory: a connection to astrophysics and planetary sciences, Proc. of SPIE, 9510 9510P

C7. M. Ayele, J. Czwartos, D. Adjei, P. Wachulak, A. Bartnik, Ł. Węgrzyński, M. Szczurek, R. Jarocki, H. Fiedorowicz, Compact laser produced plasma soft x-ray source for contact microscopy experiments, Proc. of SPIE, 9511 95110L

C8. P. Wachulak, A. Torrisi, M. Nawaz, D. Adjei, A. Bartnik, J. Kostecki, Ł. Węgrzyński, Š. Vondrová, J. Turňová, T. Fok, A. Jančárek, H. Fiedorowicz, A compact „water-window” microscope with 60 nm spatial resolution based on a double stream gas-puff target and Fresnel zone plate optics, Proc. of SPIE, 9510 95100M-8

- C1. A. Bartnik, P. Wachulak, R. Jarocki, J. Kostecki, M. Szczurek, D. Adjei, I. Ahad, M. Ayele, T. Fok, A. Szczurek, A. Torrisi, Ł. Węgrzyński, H. Fiedorowicz, Laser plasma sources of soft X-rays and extreme ultraviolet (EUV) for application in science and technology, Proc. of SPIE, 9510 95190Q
- C2. A. Torrisi, P. Wachulak, F. Nawaz, A. Bartnik, J. Kostecki, Ł. Węgrzyński, R. Jarocki, M. Szczurek, H. Fiedorowicz, Nanoscale imaging and optimization of a compact „water window” SXR microscope, Proc. of SPIE, 9510 95100N-11
- C3. M. Fahad Nawaz, A. Jancarek, M. Nevrla, P. Wachulak, J. Limpouch, L. Pina, Focusing and photon flux measurements of the 2.88 nm radiation at the sample plane of the Soft X-Ray microscope, based on capillary discharge source”, Proc. of SPIE, 9510, 951014-951014-7
- C4. M. Kowalski, M. Kastek, M. Szustakowski, Comparison of objects detection capabilities in LWIR and THz ranges, Proc. SPIE, 9651, 96510H
- C5. J. Bou-Sleiman, J-B Perraud, B. Bousquet, J-P Guillet, N. Pal-ka, P. Mounaix, Discrimination and identification of RDX/PETN explosives by chemometrics applied to terahertz time-domain spectral imaging, Proc. of SPIE, 9651, 965109
- C6. A. Bartnik, T. Pisarczyk, P. Wachulak, T. Chodukowski, T. Fok, Ł. Węgrzyński, Z. Kalinowska, H. Fiedorowicz, R. Jarocki, M. Szczurek, E. Krousky, M. Pfeifer, J. Skala, J. Ullschmied, J. Dostal, R. Dudzak, J. Hřebíček, T. Medrik, J. Cikhardt, B. Cikhardtova, D. Klir, K. Rezac, L. Pina, Photoionized plasmas in laboratory: a connection to astrophysics and planetary sciences, Proc. of SPIE, 9510 9510P
- C7. M. Ayele, J. Czwartos, D. Adjei, P. Wachulak, A. Bartnik, Ł. Węgrzyński, M. Szczurek, R. Jarocki, H. Fiedorowicz, Compact laser produced plasma soft x-ray source for contact microscopy experiments, Proc. of SPIE, 9511 95110L
- C8. P. Wachulak, A. Torrisi, M. Nawaz, D. Adjei, A. Bartnik, J. Kostecki, Ł. Węgrzyński, Š. Vondrová, J. Turňová, T. Fok, A. Jančarek, H. Fiedorowicz, A compact „water-window” microscope with 60 nm spatial resolution based on a double stream gas-puff target and Fresnel zone plate optics, Proc. of SPIE, 9510 95100M-8
- C9. E. Kowalska-Strzeciwiłk, D. Strzeciwiłk, M. Kubkowska, J. Kostecki, W. Skrzeczanowski, Microstructural studies and surface analysis of laser irradiated Ni-TiC sample, Proc. SPIE, 9662, 96624P
- C10. E. Kowalska-Strzeciwiłk, D. Strzeciwiłk, W. Skrzeczanowski, M. Kubkowska, J. Kostecki, Spectroscopic study of ns-laser pulse interaction with Co:TiC sample, Proc. SPIE, 9290, 92901F
- C11. M. Strzelec, J. Marczak, W. Skrzeczanowski, A. Zatorska, A. Sarzynski, K. Czyż, D. Zasada, The influence of environment on corrosion of cast iron and carbon steel representing samples of outdoor metal technical heritage, Proc. SPIE, 9527, 95270W

- C12. M.J. Walczakowski, N. Palka, M. Szustakowski, Textile influence on remote identification of explosives in the THz range, Proc. SPIE, 9651, 96510I-8
- C13. Ch. Liberatore, A. Bartnik, I.U. Ahad, M. Toufarová; I. Matulková, V. Hájková, L. Vyšín, T. Burian, L. Juha, L. Pina, A. Endo, T. Mocek, EUV ablation: a study of the process, Proc. SPIE, 9510, 951011
- C14. K. Kasuya, S. Motokoshi, S. Taniguchi, M. Nakai, K. Tokunaga, W. Mróz, B. Budner, B. Korczyc, 'Laser erosion diagnostics of plasma facing materials with displacement sensors and their application to safeguard monitors to protect nuclear fusion chambers', Proc. SPIE, 9255, 925548
- C15. M.G. Ayele, J. Czwartos, D. Adjei, P. Wachulak, A. Bartnik, Ł. Wegrzynski, M. Szczurek, R. Jarocki, H. Fiedorowicz, 'Compact laser produced plasma soft x-ray source for contact microscopy experiments', Proc. SPIE, 9511, 95110L
- C16. M. Życzkowski, M. Szustakowski, P. Markowski, 'New properties of a fiber optic sensor in application of a composite fence for critical infrastructure protection', Pros. SPIE, 9634, 963483
- C17. M. Szustakowski; P. Markowski; W. Ciurapinski; M. Życzkowski; M. Karol, 'The use of composite fence with integrated sensors in security systems', Pros. SPIE, 9647, 964707
- C18. M. Gebiski, O. Kuzior, M. Wasiak, A. Szerling, A. Wójcik-Jedlińska, N. Pałka, M. Dems, Y. Y. Xie, Z. J. Xu, Q. J. Wang, D. H. Zhang, T. Czyszanowski, 'High-Contrast Grating reflectors for 980 nm Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers', SPIE Proceedings, 9372, 937206
- C19. M. Kowalski, P. Zagrajek, D. Coquillat, W. Knap, 'Processing of phase and amplitude terahertz images', IRMMW-THz ,
- C20. J. Suszek, A. Siemion, D. Coquillat, V. Nodjiadjim, A. Konczykowska, M. Riet, A. Sobczyk, P. Zagrajek, N. Palka, E. Czerwinska, N. Blocki, A. Kolodziejczyk, N. Dyakonova, F. Teppe, C. Consejo, W. Knap, M. Sypek, '3D printed flat optics and InP heterojunction bipolar transistor based-detector for THz imaging', Conference IRMMW-THz,
- C21. P. Zagrajek, J. Marczewski, M. Zaborowski, M. Piszczek, 'Silicon Junctionless Field Effect Transistors as Low Noise THz Detectors', Proceedings (IRMMW-THz),
- C22. P. Kopyt, D. Obrębski, P. Zagrajek, J. Marczewski, 'The Effect of Gate Layout on Responsivity of MOSFET THz Detector', Proceedings (IRMMW-THz),
- C23. C. Kołaciński, D. Obrębski, J. Marczewski, P. Zagrajek, 'Low Noise Readout Circuit for THz Measurements without Using Lock-in Technique', Proceedings of (IRMMW-THz),

- C24. J. Bou Sleiman, J.B Perraud, B. Bousquet, N. Palka, J.P. Guillet, P. Mounaix, 'Chemical imaging and quantification of RDX/PETN mixtures by PLS applied on terahertz time-domain spectroscopy', Conference IRMMW-THz,
- C25. M. Kaśków, J. K. Jabczyński, W. Żendzian, J. Sulc, M. Nemec, H. Jelinkova, 'Optimization of diode-side-pumped, passively Q-switched Yb:LuAG slab laser', OSA Digest, CLEO-Europe, 2015,
- C26. J. Mlynczak, N. Belghachem, K. Kopczynski, 'High peak power thermally bonded Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>:glass/Co<sup>2+</sup>: MgAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> microchip laser', OSA Digest, CLEO-Europe, 2015,
- C27. N. Palka, S. Krimi, F. Ospald, R. Beigang, D. Miedzinska, 'Transfer matrix method for precise determination of thicknesses in a 150-polyethylene composite material', Proceedings (IRM-MW-),
- C28. M. Kastek, T. Piątkowski, P. Lagueux, M. Chamberland, M. A. Gagnon, 'Passive Optoelectronics Systems For Standoff Gas Detection: Results Of Tests', WIT Transactions on Ecology and the Environment, 198
- C29. M. Karol, M. Życzkowski, 'Quantum technology in critical infrastructure protection', WIT Transactions on the Built Environment, 151, pp 109-119
- C30. M. Kowalski, M. Kastek, M. Piszczek, M. Życzkowski, M. Szustakowski, 'Harmless screening of humans for the detection of concealed objects', WIT Transactions on The Built Environment, 151, pp. 215-223
- C31. P. Markowski, M. Życzkowski, 'Optimization of the operation of a fiber optic interference-based sensor for perimeter protection', WIT Transactions on the Built Environment, 151, 121-130