



Kierownik: prof. dr hab. Maciej BUGAJSKI
e-mail: bugajski@ite.waw.pl
tel. (0-prefiks-22) 548 79 32, fax 548 79 25

Zespół: prof. dr hab. inż. Bohdan Mroziewicz, dr hab. Kazimierz Regiński,
dr hab. Jan Muszalski, dr Agata Jasik, dr Janusz Kaniewski,
dr Kamil Kosiel, dr Anna Kozłowska, dr Tomasz Ochalski,
dr Tomasz Przesławski, dr inż. Michał Szymański,
mgr Krzysztof Hejduk, mgr inż. Piotr Karbownik, mgr inż. Emil Kowalczyk,
mgr inż. Leszek Ornoch, mgr inż. Dorota Pierścińska,
mgr inż. Kamil Pierściński, mgr inż. Tomasz Piwoński,
mgr inż. Emilia Pruszyńska-Karbownik,
mgr inż. Anna Szerling, mgr inż. Anna Wójcik-Jedlińska,
mgr inż. Dorota Wawer, mgr inż. Hanna Wrzesińska

1. Realizowane projekty badawcze

W 2006 r. w Zakładzie Fizyki i Technologii Struktur Niskowymiarowych realizowano następujące projekty:

- „Fotonika podczerwieni. Badania nad strukturami emiterów promieniowania w obszarze bliskiej i średniej podczerwieni wytwarzanymi ze związków półprzewodnikowych III-V” (temat statutowy nr 1.01.047),
- „Zastosowanie technik spektroskopowych z wykorzystaniem analizy fourierowskiej do badań rezonatorów krawędziowych laserów półprzewodnikowych” (projekt badawczy nr 2.01.110, 3 T11B 045 27),
- „Badanie mechanizmów degradacji zwierciadeł w laserach półprzewodnikowych dużej mocy metodą przestrzennie rozdzielczej spektroskopii termoodbiciowej” (projekt badawczy nr 2.01.114, 3 T11B 031 28),
- „Analiza procesów termicznych na powierzchni zwierciadeł laserów półprzewodnikowych” (projekt badawczy nr 2.01.119, 153T11 2005 29),
- „Kwantowe lasery kaskadowe z InAlGaAs: projektowanie i technologia epitaksji MBE heterostruktur modułów obszarów aktywnych” (projekt badawczy nr 2.01.120, 3 T11B 063 30),
- „Zaawansowana fotodioda lawinowa InGaAs/InAlAs/InP zintegrowana z monolityczną mikrosoczewką” (projekt badawczy nr 2.01.121, 4 T11B 062 30),
- „Dynamika procesów optyczno-termicznych w laserach półprzewodnikowych” (projekt badawczy nr 2.01.122, 3 T11B 041 30),
- „Badania nad technologią wytwarzania krawędziowych laserów półprzewodnikowych na pasmo 980 nm i wpływem defektów w strukturach epitaksjalnych

- na uzysk i końcowe parametry przyrządów” (projekt badawczy nr 2.01.123, 3 T11B 028 30),
- „Badanie właściwości optycznych nanostruktur fotonicznych metodą mikro-fotoluminescencji” (projekt badawczy nr 2.01.128, N515 003 31/0302),
 - „Elementy i moduły optoelektroniczne do zastosowań w medycynie, przemyśle, ochronie środowiska i technice wojskowej” (PBZ nr 3.01.011, PBZ-Min 009/T11/2003),
 - Centrum Doskonałości “Fizyka i Technologia Nanostruktur dla Fotoniki” CEPHONA (projekt badawczy finansowany przez UE nr 5.01.024, G5MA-CT-2002-72100),
 - „Laserowe źródło promieniowania podczerwonego” VERTIGO (projekt badawczy finansowany przez UE nr 5.01.037, nr kontraktu FP6-2005-IST-5). Zakład świadczył również usługi naukowo-badawcze:
 - „Opracowanie technologii i wykonanie supersieci z azotków metali: TiN, CrN, NbN na podłożach krzemowych” (nr 6.01.554),
 - „Wykonanie procesów osadzania azotku krzemu na płytkach InP metodą PECVD” (nr 6.01.555),
 - „Wykonanie złocenia 200 szt. elektrod na ceramice piezoelektrycznej” (nr 6.01.560),
 - „Złocenia elektrod na ceramice piezoelektrycznej” (nr 6.01.564),
 - „Złocenie elektrod” (nr 6.01.566),
 - „Wykonanie metalizacji CrAu na 10 próbkach Si” (nr 7.01.028).

2. Najważniejsze osiągnięcia naukowo-badawcze Zakładu

W Zakładzie prowadzone są prace nad strukturami niskowymiarowymi ze związków półprzewodnikowych III-V i przyrządami optoelektronicznymi wytwarzanymi z tych struktur. Nowoczesne przyrządy półprzewodnikowe wykonywane są metodą epitaksji z wiązek molekularnych (Molecular Beam Epitaxy MBE) w reaktorze RIBER 32P. Typowymi materiałami wytwarzanymi tą metodą są takie związki podwójne, jak GaAs, AlAs, InAs oraz ich związki potrójne InGaAs, AlGaAs i poczwórne InGaAlAs.

Badania prowadzone w 2006 r. dotyczyły laserów półprzewodnikowych i linijek laserowych dużej mocy, laserów kaskadowych, pasywnych absorberów promieniowania laserowego, laserów z zewnętrzną wnęką optyczną oraz wszechstronnej charakteryzacji struktur optoelektronicznych metodami optycznymi i elektrycznymi. Główne kierunki badań obejmowały takie zagadnienia, jak:

- elementy technologii wytwarzania laserów i nasycalnych absorberów,
- efekty termiczne w strukturach laserowych,
- zawansowane techniki (charakteryzacja złożonych struktur laserowych),

- zjawiska w strukturach półprzewodnikowych z dwuwymiarowym gazem elektronowym,
- zjawiska w laserach półprzewodnikowych z zewnętrzną wnęką optyczną.
Prace te doprowadziły do uzyskania wielu wartościowych wyników o charakterze poznawczym i praktycznym.

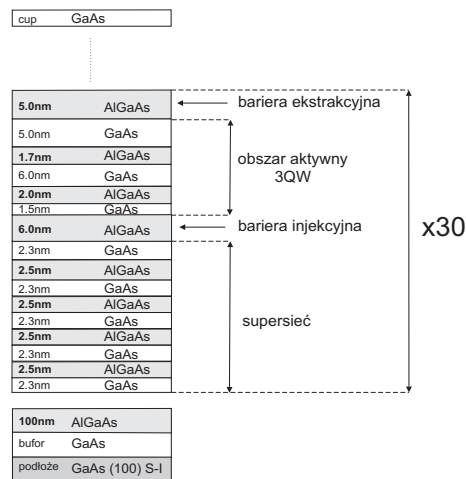
2.1. Elementy technologii wytwarzania laserów i absorberów półprzewodnikowych

2.1.1. Optymalizacja laserów półprzewodnikowych dużej mocy

Istotnym i trudnym problemem wytwarzania laserów dużej mocy jest optymalizacja ich konstrukcji i technologii. Prace dotyczyły zwiększenia wydajności kwantowej heterostruktur laserowych emitujących falę długości 980 nm. W ich wyniku określono optymalne struktury laserów AlGaAs/InGaAs/GaAs o konstrukcji SCH (*Separate Confinement Heterostructure*) i GRIN SCH (*Graded Index Separate Confinement Heterostructure*).

2.1.2. Wytwarzanie elementów struktur emiterów kaskadowych

Kwantowy laser kaskadowy jest złożoną strukturą zawierającą 500 – 1000 cienkich warstw różnych materiałów półprzewodnikowych. Laser tego typu różni się od konwencjonalnych laserów półprzewodnikowych przede wszystkim wykorzystaniem inżynierii kwantowej poziomów elektronowych w materiałach. Długość fali emisji jest w głównej mierze zdeterminowana przez grubość i skład poszczególnych warstw. Laser kaskadowy bazuje na przejściach elektronowych w nanostrukturach. Lasery tego typu pracują przy różnych długościach fali, najczęściej w obszarze średniej i dalekiej podczerwieni. Wymagania dotyczące stabilności i dokładności technologii epitaksji są znacznie większe aniżeli przy wytwarzaniu jakiegokolwiek innego przyrządu optoelektronicznego. Przykładowy schemat fragmentu struktury przedstawiony jest na rys. 1. W wyniku przeprowadzonych prac opracowano technologię obszarów aktywnych (3QW) oraz emiterów supersieciovych będących elementami pełnej struktury lasera kaskadowego.



Rys. 1. Schemat fragmentu struktury lasera kaskadowego. Trzydziestokrotnie powtórzone obszary aktywne są odseparowane od siebie supersieciami.

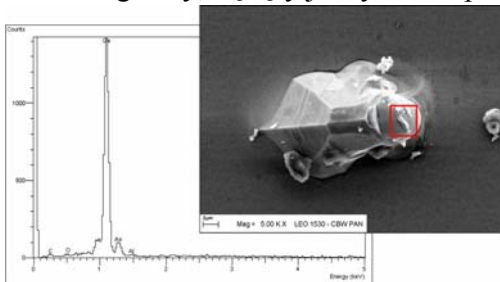
2.1.3. Wytwarzanie elementów struktur pasywnych absorberów promieniowania laserowego

Badania nad technologią struktur pasywnych absorberów promieniowania laserowego wynikają z możliwości ich zastosowania m. in. do wytwarzania ultra-krótkich impulsów optycznych o dużej energii generowanych przez lasery na ciele stałym. W technice tej wykorzystywana jest modulacja współczynnika Q wnęki lasera. Pasywne przełączanie dobroci wnęki (Q -switching) wykorzystuje zjawisko nasycenia absorpcji wewnątrz wnęki lasera na ciele stałym, co wywołuje modulację strat w tej wnęcie. W technice tej jako element pasywny stosuje się nasycający reflektor Braggowski, będący połączeniem zwierciadła Bragga i warstwy absorbera wbudowanej wewnątrz górnej warstwy zwierciadła. Pasywne absorbery wytwarzane są ze związków InGaAs/AlAs/GaAs metodą MBE.

2.1.4. Defekty owalne w strukturach epitaksjalnych

Defekty owalne, stanowiące zaburzenie wzrostu epitaksjalnego i będące specyficznym problemem techniki epitaksji z wiązek molekularnych, mogą w ogólności być powodem degradacji właściwości elektrycznych i optycznych materiałów epitaksjalnych. Dlatego też ważne jest poznanie wpływu obecności defektów na poszczególne procesy technologiczne związane z wytwarzaniem przyrządu. Obecnie przypuszcza się, że ilość defektów owalnych zależy od konstrukcji komórki efuzyjnej stanowiącej źródło galu. Uważa się, że zarodźca defektu może być kropla galu padająca od strony galowej komórki efuzyjnej na powierzchnię rosnącego kryształu. W tym przypadku właściwości defektu zależą od wielkości kropli.

W ramach pracy zweryfikowano obecność defektów owalnych pochodzenia galowego, powstających w heterostrukturach zawierających warstwy (Al)(In)GaAs, a także zbadano wpływ defektów owalnych na wybrany proces technologiczny, będący jednym z etapów processingu. Typowy defekt owalny wraz z widmem mikroanalizy rentgenowskiej przedstawiono na rys. 2. Badania potwierdziły, że fragment defektu owalnego jest zbudowany z czystego galu.



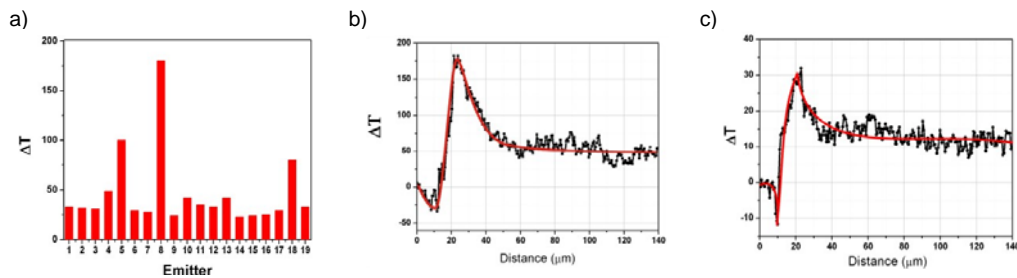
Rys. 2. Mikroanaliza rentgenowska defektu owalnego w materiale $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$. Pomiar wykonano w miejscu oznaczonym kwadratem na zdjęciu ze skaningowego mikroskopu elektronowego.

Na podstawie przeprowadzonych badań zaprojektowano, wykonano i zastosowano maski o specjalnej konstrukcji pozwalające na formowanie przyrządowych struktur testowych o odpowiedniej geometrii.

2.2. Efekty termiczne w strukturach laserowych

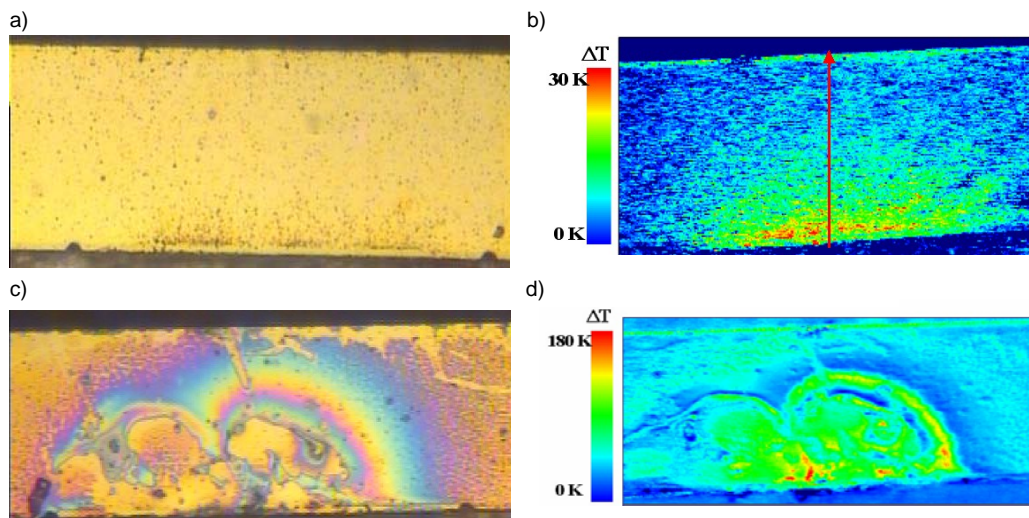
2.2.1. Badania temperatury zwierciadeł matryc diod laserowych dużej mocy

Temperatura pracy ma znaczący wpływ na charakterystyki elektrooptyczne diod i matryc laserowych. Wraz ze wzrostem temperatury następuje m. in. przesunięcie widma emisji oraz spada sprawność przyrządu. Do badania rozkładu temperatury na zwierciadłach emiterów zastosowano spektroskopię termoodbiciową. Na rys. 3 zaprezentowano przykładowe wyniki badań rozkładu temperatury obszaru aktywnego dla poszczególnych emiterów tworzących linijkę laserową składającą się z 19 elementów. Badane emitery były heterostrukturami InGaAlAs/AlGaAs/GaAs.



Rys. 3. Rozkład temperatury obszaru aktywnego w płaszczyźnie złącza dla poszczególnych emiterów linijki laserowej (a), w płaszczyźnie prostopadłej do złącza dla emiterów nr 8 (b) i nr 16 (c)

Dla większości emiterów linijki zmiana temperatury obszaru aktywnego osiąga $T = 30$ K. Kilka emiterów (nr 5, nr 8, nr 18) osiąga jednak wyższą temperaturę, która wynosi nawet 200 K (nr 18). Różne temperatury emiterów są widoczne także na mapach termoodbicia dla powierzchni zwierciadeł (rys. 4).

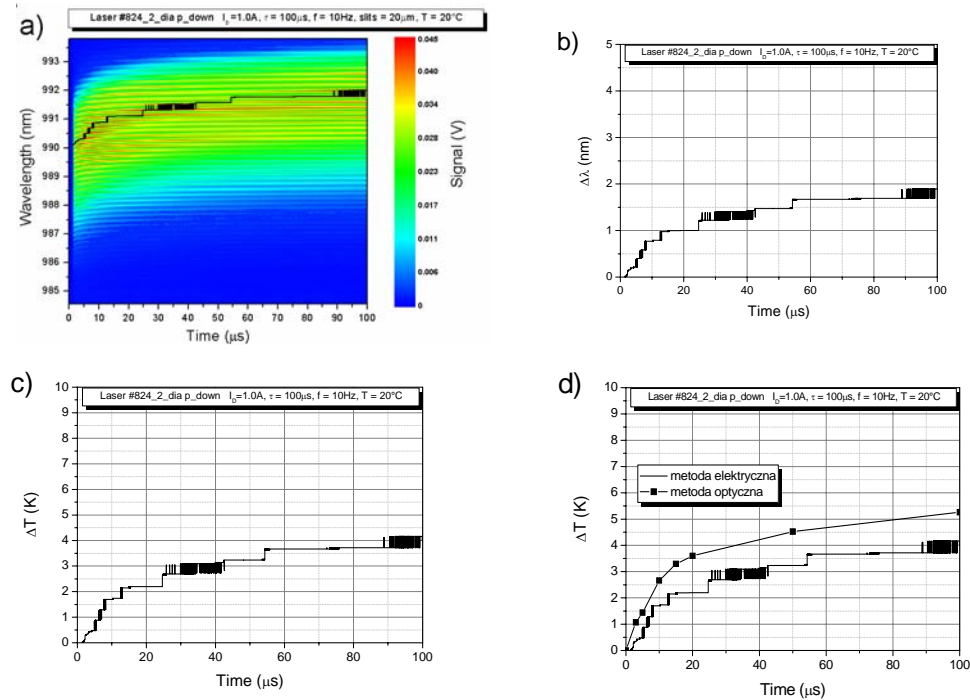


Rys. 4. Zdjęcie fotoemitera (a i c) oraz mapa termoodbicia (b i d). Dobry emiter nr 16 (a i b), zły emiter nr 8 (c i d). Mapy przedstawiają obszar $300 \times 100 \mu\text{m}$.

Uzyskane wyniki pokazują, że eksperymentalne wyznaczenie w mikroskali rozkładu temperatury pracującej linijki laserowej ma istotne znaczenie przy optymalizacji termicznego projektu urządzenia, a także w zrozumieniu mechanizmu degradacji zwierciadeł emiterów.

2.2.2. Badanie stanów przejściowych w laserach dużej mocy

Celem badań było powiązanie procesów optyczno-termicznych zachodzących w laserach zasilanych impulsowo z faktyczną temperaturą obszaru czynnego lasera oraz jej rozkładem przestrzennym i czasowym. Opracowano dwie niezależne techniki pomiarowe: pomiar spadku napięcia przewodzenia złącza p-i-n w funkcji temperatury tego złącza oraz pomiar widm laserowych w funkcji czasu trwania impulsu zasilającego. W ramach prowadzonych prac badawczych wyznaczono szereg czasowo-przestrzennych rozkładów temperatur służących do optymalizacji konstrukcji i technologii wykonywanych w ITE. Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na ilościową oraz jakościową ocenę właściwości termicznych struktur laserowych różniących się między sobą sposobem ich wytwarzania oraz konfiguracją geometryczną montażu do chłodziw laserowych. Przykładowe wyniki są przedstawione na rys. 5.



Rys. 5. Analiza numeryczna czasowo-przestrzennej mapy widma lasera #824_2_dia (a), wyznaczone na tej podstawie przyrosty długości fali emisji (b) i temperatury (c) oraz porównanie przyrostów temperatury obszaru czynnego lasera otrzymanych dwoma niezależnymi metodami (d).

Zamontowanie modułów laserowych na pośrednich chłodnicach wykonanych z diamentu znacząco poprawiło transfer ciepła z lasera do chłodnicy miedzianej. Obniżenie do 60% przyrostów temperatur lasera w stosunku do struktur montowanych bezpośrednio do chłodnic Cu pozwoliło na stabilną pracę laserów dużej mocy w warunkach zasilania długimi impulsami prądowymi (q-CW) oraz pracę na fali ciągłej (CW).

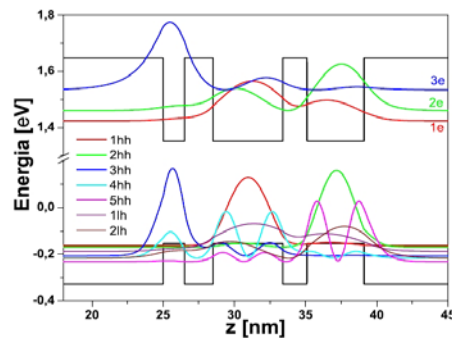
2.3. Rozwój spektroskopowych technik badania struktur

W Zakładzie Fizyki i Technologii Struktur Niskowymiarowych są rozwijane optyczne metody charakteryzacji struktur i przyrządów półprzewodnikowych. Od wielu lat wykonywane są badania struktur przy użyciu technik pomiarowych takich, jak fotoluminescencja, elektroluminescencja, odbicie, absorpcja, fotoodbicie, elektroodbicie, termoodbicie, spektroskopia Ramana. W przypadku fotoodbicia, termoodbicia i fotoluminescencji układy pomiarowe są skonstruowane w sposób umożliwiający wykonywanie map o dużej rozdzielczości przestrzennej.

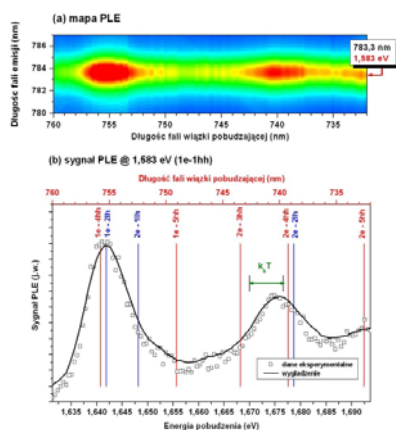
W 2006 r. rozszerzono możliwości pomiarowe o metodę fotoluminescencji wzbudzeniowej (*Photoluminescence Excitation* – PLE). Metoda ta polega na pobudzaniu struktury promieniowaniem, którego energia jest zmieniana w szerokim zakresie. Technika ta umożliwia m. in. badanie wyższych poziomów energetycznych w studniach kwantowych oraz stanów wzbudzonych ekscytonów. Jest ona uzupełnieniem klasycznych badań fotoluminescencji.

Przedmiotem badań były m. in. struktury składające się z trzech studni GaAs grubości 1,5 nm, 4,9 nm i 4 nm, przedzielonych barierami z AlGaAs grubości odpowiednio 2 nm oraz 1,7 nm (rys. 6). Wyniki eksperymentalne, mapę oraz widmo fotoluminescencji wzbudzeniowej przedstawiono na rys. 7. Na podstawie analizy wyników określono energię przejścia podstawowego, która w tym przypadku wynosi 1,583 eV, oraz skład warstwy AlGaAs.

W widmie PLE przedstawionym na rys. 7b widoczne są dwa maksima odpowiadające przejściom między stanami związanymi w badanej strukturze. Na podstawie wyników obliczeń numerycznych i przy uwzględnieniu wartości parametru poszerzenia linii widmowych kBT (wynoszącego dla tej temperatury 7 meV) można stwierdzić, że maksima w widmie PLE odpowiadają przejściom 1e-4hh (1,641 eV) oraz 2e-4hh (1,677 eV). Korzystając z tego wyniku można obliczyć odległość między dwoma kolejnymi



Rys. 6. Schemat struktury 3xQW $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ (kolor czarny); kolorami oznaczono wyniki symulacji obwiedni funkcji falowych w temperaturze 77 K przy wysokości barier odpowiadającej zawartości $\text{Al}_x = 0,24$.



Rys. 7. a) Mapa PLE struktury 3xQW AlGaAs/GaAs w temperaturze 77K; skala kolorystyczna obrazuje intensywność sygnału: czerwony – najwyższa, niebieski – najniższa; b) widmo PLE dla energii 1,583 eV odpowiadającej przejściu 1e-1hh; kwadraty reprezentują dane eksperymentalne, linia ciągła – wygładzenie danych ułatwiające analizę sygnału. Liniami pionowymi oznaczono energie przejść optycznych otrzymane w wyniku symulacji numerycznych. Na rysunku zaznaczono również wartość parametru poszerzenia temperaturowego linii widmowych $k_B T$ (7 meV).

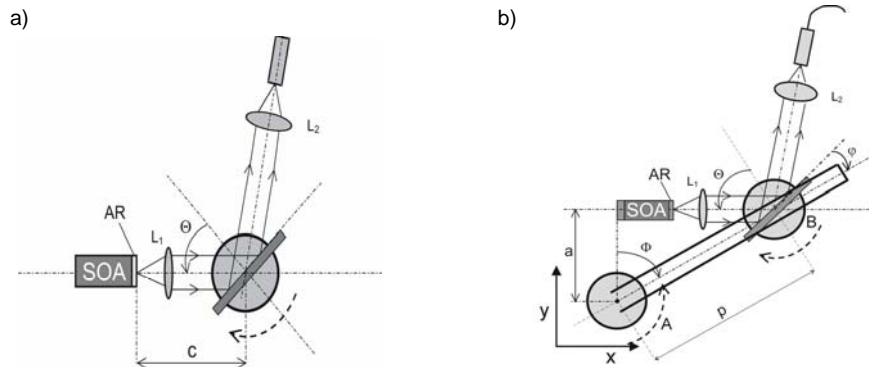
stanami w paśmie przewodnictwa badanej struktury, która wynosi 34 meV. Wartość ta, obliczona na podstawie wyników symulacji, wynosi 36 meV.

Technika fotoluminescencji wzbudzeniowej PLE okazała się użyteczna w badaniu struktury energetycznej układów studni kwantowych i może być z powodzeniem stosowana do określania parametrów działania urządzeń konstruowanych w oparciu o takie struktury.

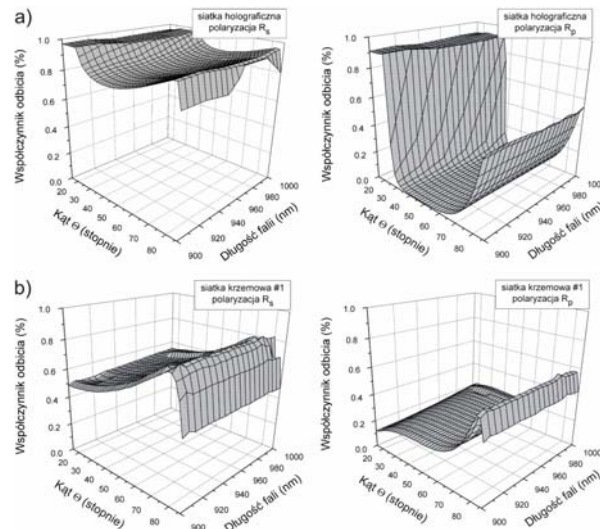
2.4. Lasery półprzewodnikowe z zewnętrzną wnęką optyczną

Lasery z zewnętrzną wnęką optyczną (ECL) tworzą osobną grupę laserów półprzewodnikowych charakteryzujących się jednomodową emisją o przestrajalnej długości fali. Składają się z ośrodka wzmacniającego SOA (Semiconductor Optical Amplifier), którym jest chip diody laserowej z przednim zwierciadłem pokrytym warstwą antyrefleksyjną, oraz ze zwierciadła odbijającego selektywnie fale o żądanej długości. Funkcję takiego zwierciadła pełni z reguły siatka dyfrakcyjna. Zmiana kąta, pod jakim ustawiona jest siatka względem osi podłużnej chipu SOA, wywołuje zmianę długości fali. Zakres przestrajania lasera jest ograniczony głównie przez charakterystykę wzmocnienia optycznego w półprzewodniku. Badania właściwości ECL o konfiguracji Littrowa przeprowadzono w układach o dwóch konfiguracjach geometrycznych przedstawionych na rys. 8.

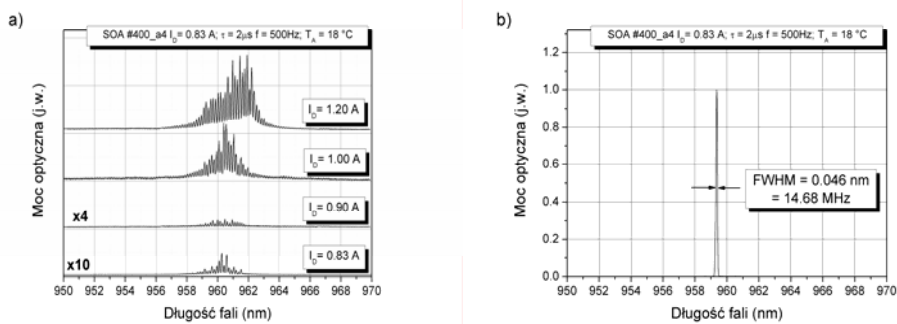
Stosowano dwa rodzaje siatek dyfrakcyjnych; szklaną siatkę holograficzną oraz siatki krzemowe wykonane za pomocą elektronolitografii i reaktywnego trawienia jonowego (RIE). Charakterystyczne zmiany współczynnika odbicia dla obu typów siatek są przedstawione na rys. 9.



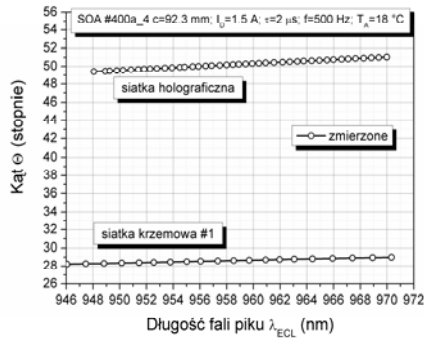
Rys. 8. Schematy laserów ECL o konfiguracji Littrowa: a) układ centryczny, w którym obrót siatki dokonywany jest wokół punktu leżącego na osi optycznej układu, b) układ decentryczny, w którym siatka z platformą obrotową umieszczona jest dodatkowo na obrotowym ramieniu. Punkt obrotu ramienia znajduje się poza osią optyczną układu i może być zmieniany za pomocą liniowych przesuwów x , y .



Rys. 9. Wykresy ilustrujące zależność odbicia siatki od długości padającej na nią fali świetlnej oraz kątem jej padania: a) siatka holograficzna, b) siatka krzemowa (#1)



Rys. 10. Charakterystyki widmowe diody laserowej SQW SCH InGaAs/GaAs: a) laser monolityczny, b) laser w układzie ECL



Rys. 11. Szybkość przestrajania laserów ECL z siatką dyfrakcyjną szklaną i krzemową

Dostrojenie siatki dyfrakcyjnej w układzie ECL przedstawionym na rys. 1a powodowało znaczące zmniejszenie widmowej szerokości wiązki wyjściowej w porównaniu z szerokością widmową mierzoną dla laserów monolitycznych wykonanych z tych samych chipów. Charakterystyki widmowe dla obydwu przypadków przedstawiono na rys. 10. Zakres przestrajania badanych laserów uwidocznił na tym rysunku wynosi ok. 25 nm (rys. 11).

Zbadane układy ECL wykazały możliwość osiągnięcia emisji wiązki laserowej o bardzo wąskiej linii i na wybranej długości fali. Do tego celu dobrze nadaje się układ o konfiguracji Littrowa z siatką dyfrakcyjną obracaną w punkcie leżącym na osi optycznej lasera. Wiązka emitowana przez laser ECL jest znacznie mniej wrażliwa na zmianę temperatury otoczenia niż wiązka o tej samej długości fali, lecz generowana przez klasyczną diodę laserową. Lasery ECL mogą być realizowane z powodzeniem w zakresie długości fal od ultra- krótkich do dalszej podczerwieni. Otwiera to przed nimi ogromne pole zastosowań, zwłaszcza w spektroskopii molekularnej.

3. Współpraca międzynarodowa

W 2006 r. Zakład współpracował z następującymi ośrodkami zagranicznymi:

- Tyndall National Institute, Cork, Irlandia;
- University of Nottingham, Wielka Brytania;
- Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik, Fryburg, Niemcy;
- Max-Born Institut, Berlin, Niemcy.

Publikacje'2006

[P1] BAK-MISIUK J., ORLIŃSKA K., KANIEWSKI J., SHALIMOV A., LUSAKOWSKA E., MISIUK A., MUSZALSKI J., WIERZCHOWSKI W., WIETESKA K., GRAEFF W.: Structural Characterization of $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{InP}$ Layers under Different Stresses. *Appl. Surface Sci.* 2006 vol. 253 s. 261–265.

[P2] BUGAJSKI M., PIWOŃSKI T., WAWER D., OCHALSKI T. J., DIECHEL E., UNGER P., CORBETT B.: Thermoreflectance Study of Facet Heating in Semiconductor Lasers. *Mater. Sci. Semicond. Proc.* 2006 vol. 9 nr 1–3 s.188–197.

[P3] CZERWIŃSKI A., PŁUSKA M., RATAJCZAK J., SZERLING A., KĄTCKI J.: Resistance and Sheet Resistance Measurements Using Electron Beam Induced Current. *Appl. Phys. Lett.* 2006 vol. 89 nr 24 s. 1–3.

- [P4] CZERWIŃSKI A., PŁUSKA M., RATAJCZAK J., SZERLING A., KĄTCKI J.: Layer or Strip Resistance Measurement by EBIC. *Mater. Trans.* (przyjęte do druku).
- [P5] GOLASZEWSKA K., KAMINSKA E., PIOTROWSKA A., RUTKOWSKI J., KOWALCZYK E., PAPIS E., KRUSZKA R., PIOTROWSKI T. T., WAWRO A.: Transparent Ohmic Contact to GaSb/In(Al)GaAsSb Photovoltaic Cells. *phys. stat sol. (c)* (w druku).
- [P6] GOLASZEWSKA K., KAMINSKA E., PIOTROWSKA A., RUTKOWSKI J., KOWALCZYK E., KRUSZKA R., PAPIS E., BODZENA J., KAZMIERCZAK-BALATA A., PIOTROWSKI T.T.: Mid-Infrared Transparent Electrodes for GaSb-Based Photovoltaic Devices. *Thin Solid Films* (w druku).
- [P7] KOSIEL K., KOSMALA M., REGIŃSKI K., BUGAJSKI M.: MBE Technology of Saturable Bragg Reflectors for Mode Locking of Solid State Lasers. *Proc. SPIE 2006* (w druku).
- [P8] KOSIEL K., KOSMALA M., REGIŃSKI K., BUGAJSKI M.: Technologia MBE półprzewodnikowych modułów nasycalnych reflektorów Bragga do synchronizacji modów laserów na ciele stałym. *Mat. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25–29.09.2006*, s. 23–28.
- [P9] KOSIEL K., MUSZALSKI J., SZERLING A., BUGAJSKI M., JAKIELA R.: Zwiększenie wydajności kwantowej półprzewodnikowego lasera krawędziowego InGaAs/GaAs – optymalizacja konstrukcji i technologii. *Mat. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25–29.09.2006*, s. 1–6.
- [P10] KOWALCZYK E., ORNOCH L., MROZIEWICZ B.: Dynamika procesów optyczno-termicznych w diodowych laserach krawędziowych. *Mat. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25–29.09.2006*, s. 87–90.
- [P11] KOWALCZYK E., ORNOCH L., MROZIEWICZ B.: Wavelength Dynamics of Pulse Operated Diode Lasers. *Proc. of SPIE 2006* (w druku).
- [P12] KOZIČ A., PAĐKEVIČ Č., SUĹIEDĚLIS A., GRADAUSKAS J., AĐMONTAS S., SZERLING A., WRZESIŃSKA H.: Asymmetrically Shaped Pseudomorphic Modulation Doped Structure for Microwave Detection. *Acta Phys. Pol.* (w druku).
- [P13] KOZŁOWSKA A., MAŁĄG A., POMRAENKE R., RENARD J., LIENAU CH.: Near-Field Spectroscopic Analysis of the Mode Structure in High-Power Diode Lasers Based on a Double Barrier Separate Confinement Heterostructure. *Proc. SPIE 2006 vol. 6368* (w druku).
- [P14] KOZŁOWSKA A., TOMM J. W., MAŁĄG A.: Microthermographic Investigations of Aging Processes in Diode Lasers. *Proc. SPIE 2006 vol. 6368* (w druku).
- [P15] MROZIEWICZ B., KOWALCZYK E., DOBRZANSKI L., RATAJCZAK J., LEWANDOWSKI S. J.: External Cavity Diode Lasers with E-Beam Written Silicon Diffraction Gratings. *Optical a. Quantum Electron.* (w druku).
- [P16] MROZIEWICZ B.: Połączenia optyczne w układach elektronicznych nowych generacji. *Elektronika 2006 nr 6* s. 6–15.
- [P17] MROZIEWICZ B.: Rewolucja w technologii LED – czy prawa Craforda i Haitza nadal obowiązują? *Elektronika 2006 nr 3* s. 34–39.
- [P18] MROZIEWICZ B.: Fotonika krzemowa – nowe perspektywy. *Elektronika 2006 nr 10* s. 35–44.
- [P19] MROZIEWICZ B., KOWALCZYK E.: Lasery półprzewodnikowe z zewnętrzną wnęką optyczną (ECL) – konstrukcja i technologia. *Mat. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25–29.09.2006*, s. 121–134.
- [P20] MUSZALSKI J., IWASZCZUK K., SZERLING A., MAŁĄG A.: Analiza spektralna wielosegmentowych laserów półprzewodnikowych. *Mat. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25–29.09.2006*, s. 111–115.

- [P21] OCHALSKI T. J., PIERŚCIŃSKA D., MALĄG A.: Analysis of the Front Facet Temperature in Laser Diode with Non Absorbing Mirror. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 2006 vol. 891 s. EE03-26.
- [P22] OCHALSKI T. J., PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., MALĄG A., JASIK A., KOZŁOWSKA A., BUGAJSKI M.: Thermoreflectance Measurements of the Temperature Distributions in Laser Diodes with Non Injected Facet. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 2006 vol. 916 s. DD06-01.
- [P23] OCHALSKI T. J., PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., BUGAJSKI M., TOMM J. W., GRUNSKIE T., KOZŁOWSKA A.: Complementary Thermoreflectance and Micro-Raman Analysis of Facet Temperatures of Diode Lasers. *Appl. Phys. Lett.* 2006 vol. 89 nr 7 s. 071104-3.
- [P24] PETIT M., ROBERT-GOUMET C., BIDEUX L., GRUZZA B., MATOLIN V., ARABASZ S., ADAMOWICZ B., WAWER D., BUGAJSKI M.: Passivation of InP(100) Substrates: First Stages of Nitridation by Thin InN Surface Overlayers Studied by Electron Spectroscopies. *Surf. Interface Anal.* 2005 vol. 37 s. 615–620. Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/sia.2045.
- [P25] PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., BUGAJSKI M., TOMM J. W.: Thermal Properties of High Power Laser Bars Investigated by Spatially Resolved Thermoreflectance Spectroscopy. *phys. stat. sol. (a)* (w druku).
- [P26] PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., BUGAJSKI M., TOMM J. W.: Thermal Properties of High Power Laser Bars Investigated by Spatially Resolved Thermoreflectance Spectroscopy. Collection of papers from Thermionic Workshop 2006.
- [P27] PRZESŁAWSKI T.: Magnetotransport of the Two-Dimensional Electron Gas in $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ Heterostructures Grown on (100)InP. *Electron Technol. Internet J.* www.ite.waw.pl/etij (w druku).
- [P28] REGIŃSKA T., REGIŃSKI K.: Approximate Solution of a Cauchy Problem for the Helmholtz Equation. *Inverse Problems* 2006 nr 2 s. 975–989.
- [P29] REGIŃSKA T., REGIŃSKI K.: A Cauchy Problem for the Helmholtz Equation: Application to Analysis of Light Propagation in Solids. *Berichtsreihe des Mathematischen Seminars Christian-Albrechts-Universität der Kiel*, 2006.
- [P30] SZERLING A., KOSIEL K., WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., PLUSKA M., BUGAJSKI M.: Investigation of Oval Defects in (In)Ga(Al)As/GaAs Heterostructures by Spatially Resolved Photoluminescence and Micro-Cathodoluminescence. *Mater. Sci. in Semicond. Process.* 2006 vol. 9 nr 1–3 s. 25–30.
- [P31] SZYMAŃSKI M., KOZŁOWSKA A., MALĄG A., SZERLING A.: Two-Dimensional Model of Heat Flow in Broad-Area Laser Diode Mounted to the Non-Ideal Heat Sink. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2006 (w druku).
- [P32] SZYMAŃSKI M.: Some Aspects of Thermal Management in Semiconductor Lasers. *Electron Technol. Internet J.* www.ite.waw.pl/etij (w druku).
- [P33] SZYMAŃSKI M.: Two-Dimensional Model of Heat Flow in Broad-Area Laser Diode: Discussion of the Upper Boundary Condition. *Microelectron. J.* (w druku).
- [P34] WAWER D., OCHALSKI T. J., PIERŚCIŃSKI K., SZYMAŃSKI M., BUGAJSKI M., PISKORSKI Ł., GUTOWSKI K., KOZŁOWSKA A., MALĄG A.: Analysis of Facet Heating in Semiconductor Lasers. *Proc. SPIE* (w druku).
- [P35] WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., BUGAJSKI M.: The Role of Photoluminescence Excitation Spectroscopy in Investigation of Quantum Cascade Laser Properties. *Electron Technol. Internet J.* 2005/2006 vol. 37/38 s. 1–4. www.ite.waw.pl/etij.
- [P36] WOLKENBERG A., PRZESŁAWSKI T., KANIEWSKI J., KOWALCZYK E., REGIŃSKI K.: Conductivity Analysis of n-GaAs Molecular Beam Epitaxial Layers Using Multicarrier Fitting. *J. Appl. Phys.* 2006 vol. 99 s. 093708.

[P37] WOLKENBERG A., PRZESLAWSKI T., KANIEWSKI J., KOWALCZYK E.: The Comparison of Conductivity Mobility Spectrum Using Multi-Carrier Fitting in InAs, InGaAs and GaAs MBE Epilayers. *J. Appl. Phys.* (w druku).

[P38] WOLKENBERG A., PRZESLAWSKI T., KANIEWSKI J., KOWALCZYK E.: Mean Free Path and Mott Transition in InAs, $\text{In}_{0.57}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ and GaAs MBE Epitaxial Layers. *J. Appl. Phys.* (w druku).

[P39] WOLKENBERG A., PRZESLAWSKI T.: Magnetic Field Sensors Built from Slightly Crystallographically Mismatched Thin Films of $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}(\text{SI})$ Obtained by MBE and MOCVD. *Sensors a. Actuators A* 2006 vol. 126 nr 2 s. 292–299.

Konferencje , seminaria 2006

[K1] BUGAJSKI M., GRADKOWSKI K., PIERŚCIŃSKI K., KOSIEL K., OCHALSKI T., HALDAŚ G., WASIAK M.: Optical Characterisation of Quantum Cascade Laser Structures. 2nd Int. Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures. Wrocław, 29.06–01.07.2006 (ref. zapr.).

[K2] BUGAJSKI M., MUSZALSKI J., KOSIEL K., OCHALSKI T., PIERŚCIŃSKI K., HALDAŚ G.: Physics and Technology of Low Dimensional Optoelectronics Structures and Devices Grown by MBE. Symp. on Photonics Technologies for Framework Programme 7. Wrocław, 12–14.10.2006 (ref. zapr.).

[K3] BUGAJSKI M., MUSZALSKI J., KOSIEL K., PIERŚCIŃSKI K., WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., KALINOWSKI K., GRADKOWSKI K., HALDAŚ G., WASIAK M.: Growth and Characterization of Quantum Cascade Laser Structures. Semiconductor Optoelectronics. Int. Rev. Conf. Wiedeń, Austria, 26–29.11.2006 (ref. zapr.).

[K4] BUGAJSKI M., PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., TOMM J. W.: Thermoreflectance Study of the Facet Heating in High Power Laser Bars. BRIGHT Workshop, Cambridge, Wielka Brytania, 7.07.2006 (ref. zapr.).

[K5] CIOSEK J., BURDYŃSKA S., PROKOPIUK A., MAJOR B., MAJOR Ł., MINKAYEV M., PRZESLAWSKI T., MRÓZ W.: Metastable Phase and Structural Transitions of Superthin Ti/Si and TiN/SiN Multilayers Deposited with ArF Excimer Laser System. Symp. A, Nanostructured Composite Films: Synthesis Characterization Properties, and Applications. E-MRS Fall Meet. 2006, Warszawa, 4–8.09.2006 (plakat).

[K6] CZERWIŃSKI A., PLUSKA M., RATAJCZAK J., SZERLING A., KĄTCKI J.: Novel Quantitative Non-Linear EBIC Method for Characterization of Semiconductor Buried Layers, Paths and Nanostructures. 6th Japanese-Polish Joint Sem. on Materials Analysis (JPJMSA), Ateyama Kokusai, Toyama, Japonia, 10–13.09.2006 (ref. zapr.).

[K7] GOLASZEWSKA K., KAMINSKA E., PIOTROWSKA A., RUTKOWSKI J., KOWALCZYK E., PAPIS E., KRUSZKA R., PIOTROWSKI T. T., WAWRO A.: Transparent Ohmic Contact to GaSb/In(Al)GaAsSb Photovoltaic Cells. 8th Int. Workshop on Expert Evaluation & Control of Compound Semiconductor Materials & Technologies, Exmatec'06. Kadyks, Hiszpania, 14–17.05.2006 (plakat).

[K8] GOLASZEWSKA K., KAMINSKA E., PIOTROWSKA A., RUTKOWSKI J., KOWALCZYK E., KRUSZKA R., PAPIS E., BODZENA J., KAZMIERCZAK-BALATA A., PIOTROWSKI T.T.: Mid-Infrared Transparent Electrodes for GaSb-Based Photovoltaic Devices. 1st Int. Symp. on Transparent Conducting Oxides, Hersonissos, Kreta, Grecja, 23–25.10.2006 (plakat).

[K9] HALDAŚ G., BUGAJSKI M.: Description of Electronic States in Quantum Cascade Laser (QCL) by the Use of Green Function Method. XXXV Int. Schol on Physics of Semiconducting Compounds. Jaszowiec, 17–23.06.2006 (plakat).

[K10] KAMINSKA E., PIOTROWSKA A., PRZEŹDZIECKA E., KOSSUT J., BARCZ A., JAKIELA R., DYNOWSKA E., DOBROWOLSKI W., PASTERNAK I., KOWALCZYK E., BOGUSLAWSKI P.: Transparent p-

- Type ZnO by Oxidation of Zn-Based Compounds. 1st Int. Symp. on Transparent Conducting Oxides, Hersonissos, Kreta, Grecja, 23–25.10.2006 (kom.).
- [K11] KARBOWNIK P. I., SARZAŁA R. P.: Badanie możliwości wytworzenia lasera półprzewodnikowego emitującego w zakresie ultrafioletu. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (ref.).
- [K12] KOSIEL K.: Molecular Beam Epitaxy of Semiconductor Lasers Structures. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (ref.).
- [K13] KOSIEL K., KOSMALA M., REGIŃSKI K., BUGAJSKI M.: Technologia MBE półprzewodnikowych modułów nasycalnych reflektorów Bragga do synchronizacji modów laserów na ciele stałym. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25.09.2006 (plakat).
- [K14] KOSIEL K., MUSZAŁSKI J., SZERLING A., BUGAJSKI M., JAKIEŁA R.: Zwiększenie wydajności kwantowej półprzewodnikowego lasera krawędziowego InGaAs/GaAs – optymalizacja konstrukcji i technologii. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25.09.2006 (plakat).
- [K15] KOSIEL K., MUSZAŁSKI J., SZERLING A., BUGAJSKI M., JAKIEŁA R., WÓJCIK-JEDLIŃSKA A.: Increasing of Quantum Efficiency of InGaAs/GaAs GRINSCH Laser by Optimizing the Construction and Technology. Vacuum Based Science and Technology. Darmstadt, Niemcy, 10–13.10.2006 (kom.).
- [K16] KOSMALA M., JASIK A.: Projektowanie, wytwarzanie metodą MBE i charakteryzacja struktur SESAM dla lasera Nd :YAG. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (kom.).
- [K17] KOWALCZYK E., ORNOCH L., MROZIEWICZ B.: Dynamika procesów optyczno-termicznych w diodowych laserach krawędziowych. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25–29.09.2006 (plakat).
- [K18] KOWALCZYK E., ORNOCH L., MROZIEWICZ B.: Procesy optyczno termiczne w diodowych laserach krawędziowych. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (kom.).
- [K19] KOZIČ A., SUTIEDĚLIS A., PAĐKEVIČ Č., GRADAUSKAS J., AĐMONTAS S., SZERLING A., WRZESIŃSKA H., URBONAVIČIUS R.: Asymmetrically Shaped Pseudomorphic Modulation Doped Structure for Microwave Detection. XXXV Int. Schol on Physics of Semiconducting Compounds. Jaszowiec, 17–23.06.2006 (plakat).
- [K20] KOZŁOWSKA A., MAŁAĞ A., POMRAENKE R., RENARD J., LIENAU Ch.: Near-Field Spectroscopic Analysis of the Mode Structure in High-Power Diode Lasers Based on a Double Barrier Separate Confinement Heterostructure. Optics East Conf. „Optoelectronic Devices”: Physics, Fabrication, and Application III”. Boston, Mass. USA, 1–4.10.2006 (plakat).
- [K21] KOZŁOWSKA A., TOMM J. W, MAŁAĞ A.: Microthermographic Investigations of Aging Processes in Diode Lasers. Optics East Conf. „Optoelectronic Devices”: Physics, Fabrication, and Application III”. Boston, Mass. USA, 1–4.10.2006 (ref.).
- [K22] ŁYSKO J., LATECKI B., PIJANOWSKA D., NIKODEM M., WRZESIŃSKA H., PANAS A.: Pomiary dynamiki krzemowego termooanemometrycznego czujnika mikroprzepływów. IX Konf. Nauk. "Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne" COE'2006. Kraków-Zakopane, 19–22.06.2006 (plakat).
- [K23] MACHOWSKA-PODSIADŁO E., MAĆZKA M., BUGAJSKI M.: Efficient Method for 3-D Self-Consistent Solution of Poisson and Schroedinger Equations for Electrostatically Formed Quantum Dot. XXXV Int. Schol on Physics of Semiconducting Compounds. Jaszowiec, 17–23.06.2006 (plakat).

- [K24] MROZIEWICZ B., KOWALCZYK E.: Lasery półprzewodnikowe z zewnętrzną wnęką optyczną. Konstrukcje i właściwości. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25.09.2006 (ref. zapr.).
- [K25] MUSZAŁSKI J., IWASZCZUK K., SZERLING A., MALĄG A.: Analiza spektralna wielosegmentowych laserów półprzewodnikowych. 8. Symp. Techniki Laserowej. Szczecin Świnoujście, 25.09.2006 (plakat).
- [K26] OCHALSKI T. J., PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., MALĄG A., JASIK A., KOZŁOWSKA A., BUGAJSKI M.: Thermoreflectance Measurements of the Temperature Distributions in Laser Diodes with Non Injected Facet. MRS Spring Meet. 2006. San Francisco, USA, 17–21.04.2006 (plakat).
- [K27] OCHALSKI T. J., PIERŚCIŃSKI K., KOSIEL K., BUGAJSKI M.: Differential Photoreflectance Studies of Quantum Cascade Laser Structures. 2nd Int. Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures. Wrocław, 29.06–01.07.2006 (ref.).
- [K28] PIERŚCIŃSKA D.: Zastosowanie spektroskopii termoodbiciowej do badania rozkładów temperatury w laserach półprzewodnikowych dużej mocy. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (ref.).
- [K29] PIERŚCIŃSKA D., BUGAJSKI M.: Zastosowanie spektroskopii termoodbiciowej do badania rozkładów temperatury na powierzchni zwierciadeł laserów półprzewodnikowych, Subsydia Profesorskie FNP – Konf. Nauk. „Nauki techniczne jako źródło innowacji”, Wrocław, 19–21.05.2006 (ref.).
- [K30] PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., BUGAJSKI M., TOMM J. W.: Thermal Properties of High Power Laser Bars Investigated by Spatially Resolved Thermoreflectance Spectroscopy. 2nd Int. Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures. Wrocław, 29.06–01.07.2006 (ref.).
- [K31] PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., BUGAJSKI M., TOMM J. W.: Thermal Properties of High Power Laser Bars Investigated by Spatially Resolved Thermoreflectance Spectroscopy. 2nd Int. Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures. Thermic Workshop 2006, Nicea, Francja, 27–29.09.2006 (ref.).
- [K32] PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., OCHALSKI T. J., BUGAJSKI M.: Thermal Management in High Power Semiconductor Lasers and Laser Bars. XXXV Int. Schol on Physics of Semiconducting Compounds. Jaszowiec, 17–23.06.2006 (plakat).
- [K33] PIERŚCIŃSKI K.: Optyczna charakteryzacja struktur półprzewodnikowych. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (ref.).
- [K34] PIERŚCIŃSKI K., KOSIEL K., BUGAJSKI M.: Photoreflectance Study of Quantum Cascade Laser Structures. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (ref.).
- [K35] PIERŚCIŃSKI K., OCHALSKI T. J., KOSIEL K., KALINOWSKI K., BUGAJSKI M.: Electoreflectance Study of Quantum Cascade Laser Structures. XXXV Int. Schol on Physics of Semiconducting Compounds. Jaszowiec, 17–23.06.2006 (plakat).
- [K36] PRUSZYŃSKA-KARBOWNIK E., WASIAK M.: Wzmocnienie optyczne w schodkowych studniach kwantowych. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (ref.).
- [K37] PRUSZYŃSKA-KARBOWNIK E., WASIAK M., NAKWASKI W.: Theoretical Analysis of Red-Shift and Optical Gain in the Step-Like GaInNAs/GaNAs Quantum Well. 8th Int. Conf. on Transparent Optical Networks, ICTON 2006, Nottingham, Wielka Brytania, 18–22.06.2006 (ref.).

- [K38] PRZESŁAWSKI T.: Magnetotransport of the Two-Dimensional Electron Gas in $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ Heterostructures Grown on (100)InP. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (ref. zapr.).
- [K39] RZEPIEJEWSKA-MALYSKA K., WRZESIŃSKA H., MICHLER J., RYMUZA Z.: Nano-Scale Mechanical Phenomena in Superlattice Ultrathin Nitride Films Deposited on Silicon. PhD Symp. "Science is My Passion", EMPA, St. Gallen, Szwajcaria, 19.10.2006 (plakat).
- [K40] SZERLING A., KOSIEL K., PŁUSKA M., CZERWIŃSKI A., BUGAJSKI M.: Technologia wytwarzania półprzewodnikowych emiterów podczerwieni. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (ref.).
- [K41] SZYMAŃSKI M.: Wybrane zagadnienia cieplne dla laserów półprzewodnikowych. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (wykład).
- [K42] WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., BUGAJSKI M., KOSIEL K.: The Role of Photoluminescence Measurements in the Analysing of properties of Quantum Cascade Laser Structures. Sem. Nauk. "Nanostruktury i Nanotechnologie". Bezmiechowa Górna k. Leska, 6–8.10.2006 (kom.).
- [K43] WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., GRADKOWSKI K., OCHALSKI T., KOSIEL K., BUGAJSKI M.: Photoluminescence Excitation Studies of Quantum Cascade Laser Structures. XXXV Int. Schol on Physics of Semiconducting Compounds. Jaszowiec, 17–23.06.2006 (plakat).

Patenty i zgłoszenia patentowe'2006

- [PA1] MROZIEWICZ B.: Sposób pomiaru przestrzennego rozkładu natężenia promieniowania laserów półprzewodnikowych oraz urządzenie do pomiaru przestrzennego rozkładu natężenia promieniowania laserów półprzewodnikowych. Zgł. pat. nr P.378970 z dn. 13.02.2006.