



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

Zespół: prof. dr hab. inż. Bohdan Mroziewicz,  
dr hab. Kazimierz Regiński, doc. dr hab. Jan Muszalski,  
dr inż. Agata Jasik, dr Janusz Kaniewski, dr inż. Kamil Kosiel,  
dr Ewa Papis-Polakowska, dr inż. Dorota Pierścińska,  
dr Iwona Sankowska, dr inż. Michał Szymański,  
mgr Krzysztof Hejduk, mgr inż. Piotr Karbownik,  
mgr inż. Emil Kowalczyk, mgr inż. Justyna Kubacka-Traczyk,  
mgr inż. Leszek Ornoch, mgr inż. Kamil Pierściński,  
mgr inż. Emilia Pruszyńska-Karbownik,  
mgr inż. Anna Szerling, mgr inż. Anna Wójcik-Jedlińska

## 1. Projekty badawcze realizowane w 2008 r.

W 2008 r. w Zakładzie Fizyki i Technologii Struktur Niskowymiarowych realizowano następujące projekty:

- „Fotonika podczerwieni. Badania nad strukturami emiterów promieniowania w obszarze bliskiej i średniej podczerwieni, wytwarzanych ze związków półprzewodnikowych III-V” (projekt statutowy nr 1.01.047);
- „Zaawansowana fotodioda lawinowa InGaAs/InAlAs/InP zintegrowana z monolityczną mikrosoczewką” (projekt badawczy nr 2.01.121, 3T11B06230);
- „Dynamika procesów optyczno-termicznych w laserach półprzewodnikowych” (projekt badawczy nr 2.01.122, 3T 11B 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, 3T11B 028 30);
- “Kwantowe lasery kaskadowe z InAlGaAs: projektowanie i technologia epitaksji MBE heterostruktur modułów obszarów aktywnych” (projekt badawczy nr 2.01.120, 3 T11B06330);
- „Badanie właściwości optycznych nanostruktur fotonicznych metodą mikrofoto-luminescencji” (projekt nr 2.01.128 , N515 003 31/0302);
- „Spektroskopia optyczna struktur laserów kaskadowych” (projekt badawczy nr 2.01.130, N515 013 32/0847);

- “Laserowe źródło promieniowania podczerwonego” VERTIGO (projekt badawczy finansowany przez UE, nr 5.01.037, 138/6.PR UE/2007/7);
- “Termografia odbiciowa laserów półprzewodnikowych i linijek laserów dużej mocy” (projekt badawczy nr N515 416034);
- “Zaawansowane technologie dla półprzewodnikowej optoelektroniki podczerwieni” (PBZ 3.01.015, PBZ-MNiSW-02/I/2007).  
Zakład świadczył również usługi naukowo-badawcze:
- wykonanie procesu osadzania azotku krzemu na płytkach InP metodą PECVD (nr 6.01.595);
- opracowanie technologii wygrzewania Zn do InSb oraz opracowanie technologii nakładania na płytki szafirowe metalizacji CrAu techniką lift off (nr 6.01.603);
- wykonanie metalizacji Cr/Au i fotolitografii na płytkach szafirowych (nr 7.01.156);
- wykonanie metalizacji CrAu na płytkach kwarcowych (7.01.159).

## 2. Najważniejsze osiągnięcia naukowo-badawcze

W Zakładzie prowadzone są prace nad strukturami niskowymiarowymi ze związków półprzewodnikowych III-V i przyrządami optoelektronicznymi wytwarzanymi z tych struktur. Nowoczesne przyrządy półprzewodnikowe są wykonywane metodą epitaksji z wiązek molekularnych MBE (*Molecular Beam Epitaxy*) w reaktorach RIBER 32P i RIBER Compact 21T. Typowymi materiałami wytwarzanymi tą metodą są takie związki podwójne, jak GaAs, AlAs, InAs oraz ich związki potrójne InGaAs, AlGaAs i poczwórne InGaAlAs.

W 2008 r. prace badawcze koncentrowały się na nowych typach laserów półprzewodnikowych, pompowanych optycznie laserów dużej mocy (VECSEL) i kaskadowych emiterach promieniowania bliskiej i średniej podczerwieni.

W dziedzinie laserów VECSEL osiągnięto znaczny postęp w stosunku do roku ubiegłego. Uzyskano akcję laserową w strukturach GaAs/InGaAs i strukturach antymonkowych wytwarzanych technologią MBE w ITE i Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik we Fryburgu. Rozwinięto metody charakteryzacji laserów krawędziowych, m. in. uruchomiono układy pomiarowe do badania wzmocnienia w strukturach i pomiaru współczynników odbicia zwierciadeł.

Kolejną, ważną grupę tematyczną stanowiły prace nad kwantowymi laserami kaskadowymi. Kwantowe lasery kaskadowe stanowią nową klasę unipolarnych laserów półprzewodnikowych, których działanie jest oparte na przejściach wewnątrzpasmowych. W odróżnieniu od klasycznych laserów półprzewodnikowych, wykorzystujących przejścia międzypasmowe, długość fali emitowanego przez nie promieniowania praktycznie nie zależy od materiału, z którego są wykonane, lecz jedynie od geometrii jam kwantowych stanowiących ich obszar czynny. Pozwala to na pokrycie szerokiego spektrum długości fal od bliskiej poprzez średnią do dalekiej podczerwieni za pomocą struktur wytwarzanych na bazie GaAs i InP, materiałów,

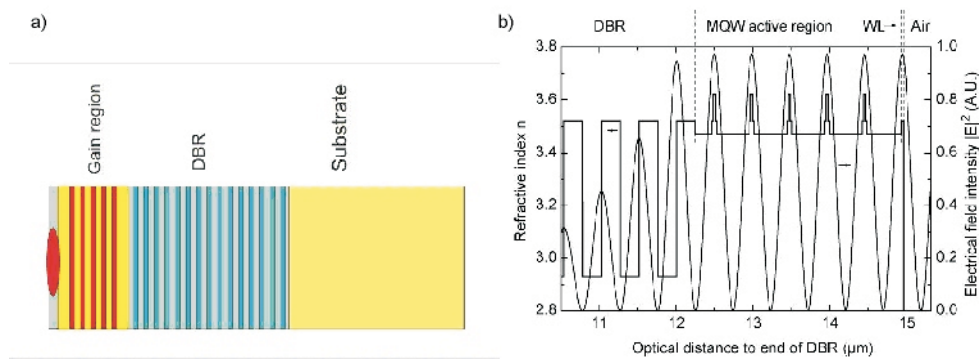
których technologia jest doskonale opanowana. Kaskadowa natura generacji promieniowania pozwala na powielanie fotonów i umożliwia uzyskiwanie mocy przekraczających te, które są generowane w laserach bipolarnych.

Lasery kaskadowe są idealnym źródłem promieniowania w układach detekcji zanieczyszczeń gazowych, spektroskopii molekularnej i systemach telekomunikacji w swobodnej przestrzeni. Można również myśleć o ich zastosowaniach w medycynie do wczesnego wykrywania skażeń i substancji biologicznych. Prowadzone prace koncentrowały się na opracowaniu metod analizy teoretycznej i projektowania laserów oraz opracowaniu podstawowych elementów technologii wytwarzania struktur z wykorzystaniem metody MBE. Jednocześnie prowadzono prace nad metodami charakteryzacji rentgenowskiej struktur laserów kaskadowych.

Istotny postęp został osiągnięty w dziedzinie metod teoretycznych i technik eksperymentalnych badania właściwości cieplnych laserów różnych typów.

### 2.1. Lasery o emisji powierzchniowej typu VECSEL

Lasery typu VECSEL należą do grupy laserów emitujących powierzchniowo z rezonatorem poprzecznym. Typowa struktura lasera VECSEL składa się z 50–100 warstw o różnych składach chemicznych i grubościach: od pojedynczych nanometrów (1 nm w przypadku związków półprzewodnikowych  $A^{III}B^V$  do ok. 3 monowarstw atomowych) do kilkudziesięciu nanometrów. Schemat struktury półprzewodnikowego lasera typu VECSEL jest przedstawiony na rys. 1.

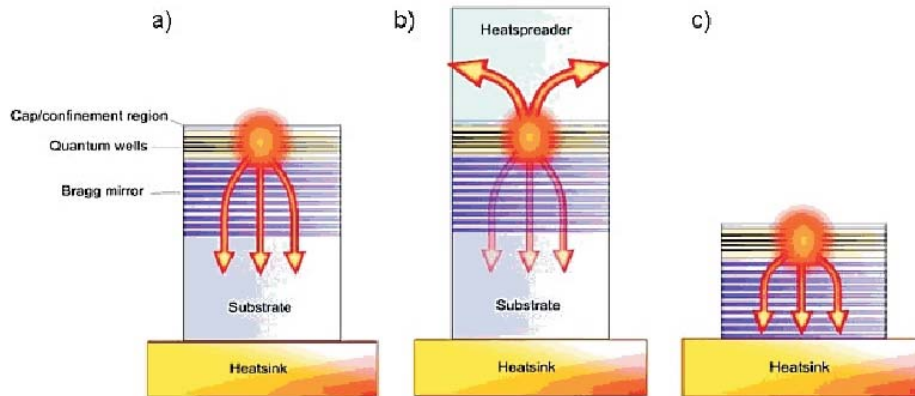


Rys. 1. Schemat struktury lasera VECSEL (a), rozkład amplitudy fali pompującej w strukturze (b)

Struktura składa się z lustra Bragga, obszaru aktywnego oraz warstwy pełniącej rolę bariery dla nośników i zarazem przezroczystej dla projektowanej długości fali. Lasery VECSEL pracujące w bliskiej podczerwieni najczęściej mają zwierciadła zbudowane z kilkudziesięciu par warstw  $\text{Al}(\text{Ga})\text{As}/\text{GaAs}$ . Zwierciadło takie charakteryzuje się bardzo wysokim współczynnikiem odbicia, wynoszącym ok. 99,9%. Obszar czynny składa się z kilku bądź kilkunastu studni kwantowych, najczęściej wykonanych z  $\text{InGaAs}$ , usytuowanych w strzałkach fali stojącej, wytwarzanej przez laser pompujący. Zapewnia to maksymalne sprzężenie pompy z przejściami ekscy-

tonowymi w jamach kwantowych, co prowadzi do optymalnego wykorzystania mocy wiązki pompującej. Schematycznie zostało to zilustrowane na rys. 1b.

Obecnie stosowane są trzy sposoby montażu struktur lasera VECSEL (rys. 2). Pierwszy sposób polega na montowaniu struktury na kostce miedzianej, zespolonej z chłodziarką Peltiera. Drugim sposobem jest mocowanie do powierzchni struktury kryształu mającego duży współczynnik przewodności cieplnej, jak np. diament bądź węgiel krzemu SiC, za pomocą sił kapilarnych wody (*liquid capillary bonding*).



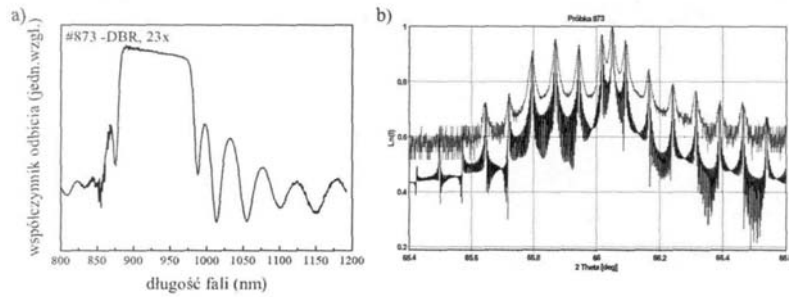
Rys. 2. Sposoby montażu struktur lasera VECSEL w układach chłodzących

Efektywność tego układu jest uzależniona od jakości powierzchni swobodnej struktury i jakości obróbki montowanego kryształu. Trzecim, najbardziej efektywnym sposobem odprowadzania ciepła jest “odwrotna” konstrukcja lasera w połączeniu z usunięciem podłoża. “Odwrotna” konstrukcja oznacza krystalizację na podłożu najpierw obszaru aktywnego, a następnie zwierciadła Bragga. Wówczas struktura od strony DBR jest montowana do kostki miedzianej, a podłoże usuwane, najczęściej chemicznie.

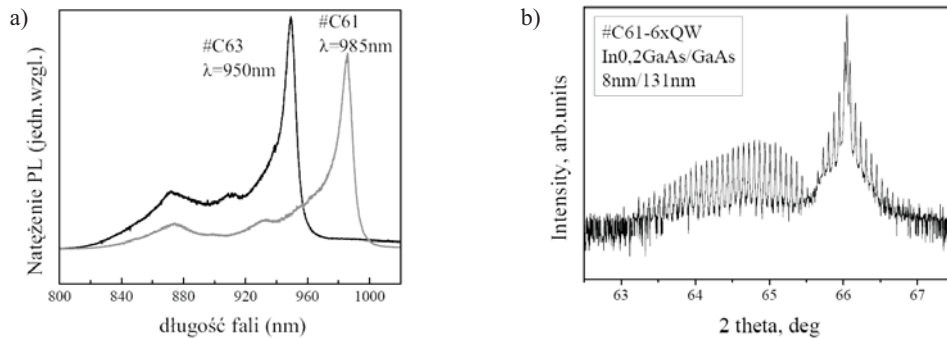
Technologia epitaksji z wiązek molekularnych jest kluczowym zagadnieniem w badaniach nad laserami. Precyzja prowadzenia procesów wzrostu, stabilność urządzenia, powtarzalność – to warunki niezbędne do pozytywnego przeprowadzenia badań. Procesy technologiczne laserów prowadzono na dwóch urządzeniach firmy Riber.

Do charakteryzacji właściwości reflektorów Bragga użyto spektroskopii odbiciowej (R) i wysokorozdzielczej dyfraktometrii rentgenowskiej HR XRD. Przykładowe wyniki są przedstawione na rys. 3. Obszar czynny lasera składa się z wielu jam kwantowych, hodowanych w temperaturze 530°C. Warstwy te były charakteryzowane przy zastosowaniu fotoluminescencji PL i dyfrakcji rentgenowskiej (rys. 4).

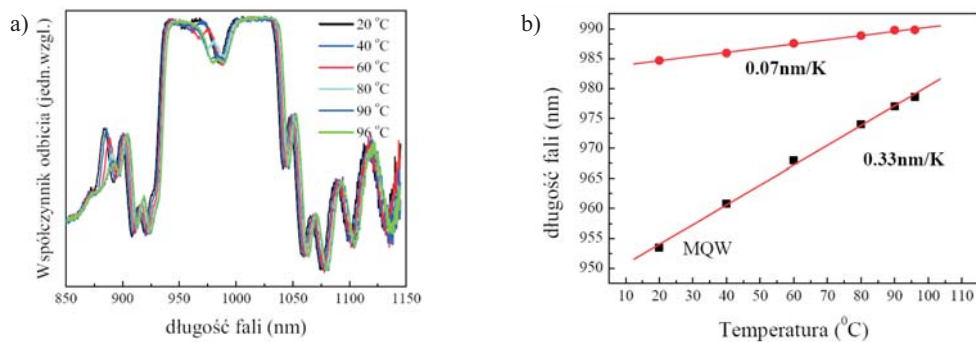
Akcja laserowa w strukturze jest możliwa wtedy, gdy długość fali MQW jest równa długości fali rezonansowej we wnęce. Dlatego struktury są projektowane i wykonywane tak, aby były uwzględnione warunki termiczne towarzyszące akcji laserowej. Struktura pompowana optycznie grzeje się. Na skutek wzrostu temperatury zmniejsza się przerwa energetyczna materiałów półprzewodnikowych, co powoduje



Rys. 3. Zwierciadło Bragga. Profil współczynnika odbicia (a) oraz dyfrakcji rentgenowskiej (b). Pomiar wykonano w ITME.



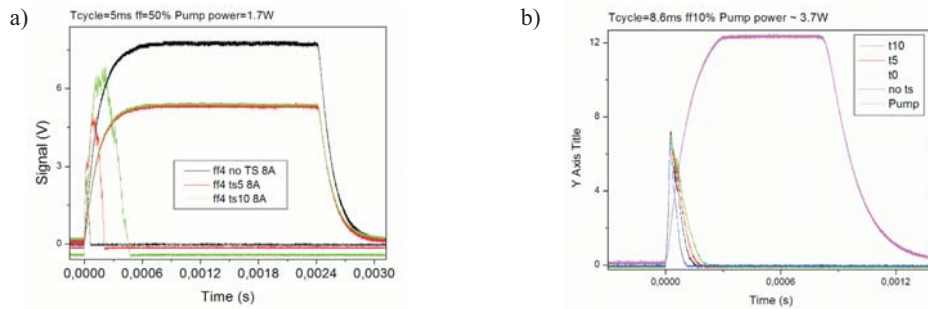
Rys. 4. Widmo PL (a) i dyfrakcji rentgenowskiej (b). Pomiar wykonano w ITME.



Rys. 5. Profile współczynnika odbicia zmierzone w strukturze VECSEL-a w funkcji temperatury (a) i graficzna interpretacja zależności temperaturowej długości fali z MQW (kwadraty) i rezonansu wnęki (kółka) (b)

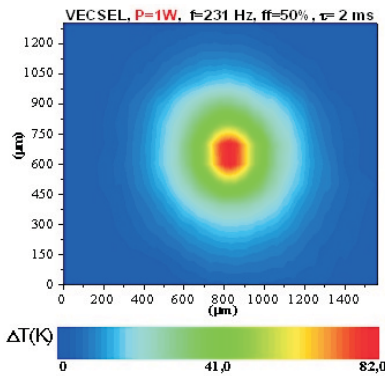
zwiększanie się długości fali. W celu właściwego uwzględnienia tego przesunięcia konieczne jest wykonywanie pomiarów w funkcji temperatury (rys. 5).

Obecnie struktury laserowe typu VECSEL są wytwarzane pod kątem pracy w trybie impulsowym, jak i na fali ciągłej (rys. 6). Długość fali laserującego VECSEL-a wynosi ok. 980 nm. Jako źródło promieniowania pompującego stosowany jest laser o emisji fali długości ok. 800 nm.

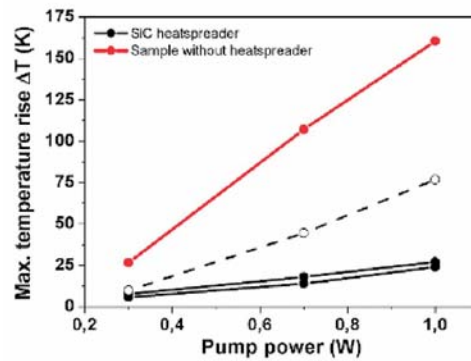


Rys. 6. Przebiegi czasowe dla VECSEL-a (bez heatspreadera) dla różnych różnych temperatur chłodnicy i różnych czasów trwania impulsu impulsu pompującego: a) 5 ms, b) 8,6 ms

W celu zapewnienia optymalnych warunków pracy laserów należy stosować wydajne metody chłodzenia. Z tego powodu przeprowadzono intensywne prace nad rozplywem ciepła w strukturach laserowych typu VECSEL. Mapy termoodbicia dla konstrukcji przyrządu z heatspreaderem są przedstawione na rys. 7. Maksymalny przyrost temperatury dla mocy pompy 1 W wynosi  $82^{\circ}$ . Porównanie przyrostów tem-



Rys. 7. Mapy termoodbicia struktury VECSEL z heatspreaderem SiC dla mocy pompy 0,3 W i 1 W



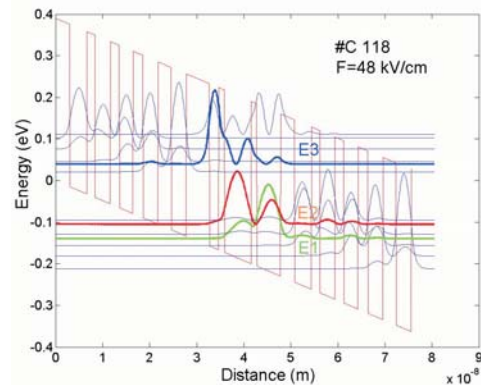
Rys. 8. Porównanie przyrostów temperatur dla badanych struktur lasera VECSEL

peratur dla dwóch badanych struktur (z SiC oraz bez SiC) przedstawiono na rys. 8. Można zaobserwować, że maksymalne przyrosty temperatur rosną liniowo z mocą pompy. Wprowadzenie warstwy heatspreadera SiC obniża znacząco przyrost temperatury na powierzchni struktury lasera VECSEL.

## 2.2. Kwantowe lasery kaskadowe

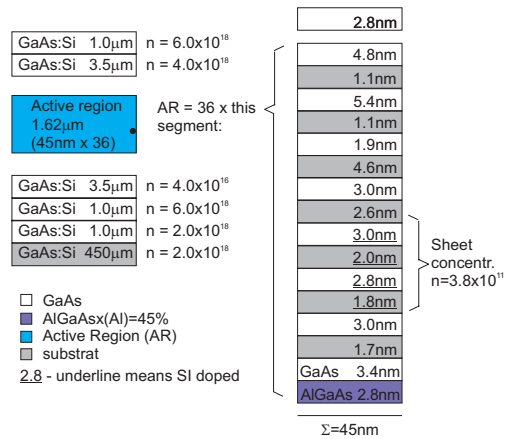
Prace dotyczące laserów kaskadowych QCL obejmowały wiele bardzo różnorodnych zagadnień takich, jak: projektowanie struktur, technologia cienkich warstw epitaksjalnych i struktur, charakteryzacja materiałów i struktur oraz zagadnienia processingu przyrządów.

Problematyka projektowania struktur QCL wiązała się z opracowaniem modelu fizycznego oraz programu komputerowego pozwalającego na modelowanie stanów kwantowo-mechanicznych i związanych z nimi poziomów energetycznych w funkcji konstrukcji obszaru aktywnego. Program ten opracowano w oparciu o rozwiązanie równania Schrödingera, z uwzględnieniem zależności masy efektywnej od położenia metodą różnic skończonych. Program jest stosowany do projektowania QCL emitującego falę o określonej długości. Przykładowe wyniki symulacji przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Wynik modelowania struktury pasmowej struktury QCL45% dla polaryzacji elektrycznej odpowiadającej polu 48 kV/cm

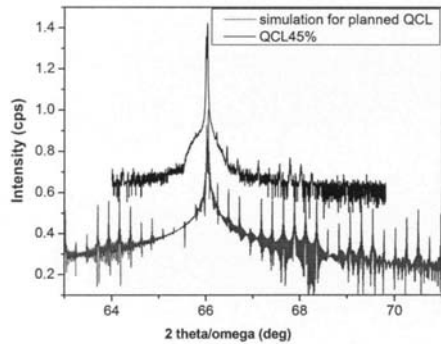
Schemat obszaru aktywnego AR, będącego fragmentem struktury lasera kaskadowego QCL45%, jest pokazany na rys. 10. Obszar ten stanowi sekwencję 36 periodów (modułów) wykonanych ze sprzężonych kwantowych studni potencjału Al<sub>0,45</sub>Ga<sub>0,55</sub>As/GaAs. Każdy z nich jest zbudowany z obszaru emitera składającego się z trzech studni i obszaru iniektora. Warstwy modułu są niedomieszkowane. Jedynie cztery warstwy iniektora (dwie sąsiadujące pary bariera-studnia) są domieszkowane,  $n = 4 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  na jeden period. Struktura QCL45% jest zaopatrzona w falowod plazmonowy z GaAs domieszkowanego Si, zapewniający planarne ograniczenie promieniowania.



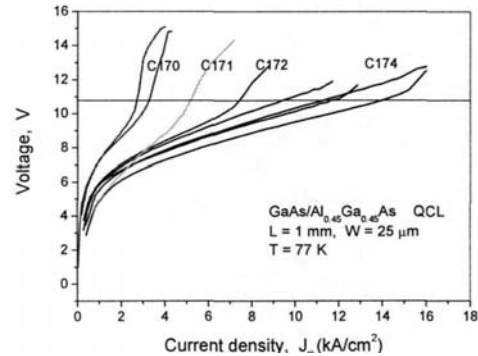
Rys. 10. Schematyczny układ warstw konstrukcji QCL45%

Struktury wykonano metodą epitaksji z wiązek molekularnych MBE w urządzeniu Riber Compact 21T. Analizę warstw i struktur przeprowadzono przy użyciu różnorodnych metod badawczych takich, jak efekt Halla, wysokorozdzielcza dyfraktometria rentgenowska (HRXRD), mikroskopia elektronowa (SEM i TEM), fotoluminescencja (PL), fotoodbicie (PR).

W określenia grubości i składu warstw prowadzono analizę teoretyczną krzywych dyfrakcyjnych, zmierzonych dwukrystalicznym spektrometrem rentgenowskim firmy PANalytical. Do symulacji refleksów symetrycznych (002) i (004) zastosowano dynamiczną teorię dyfrakcyjną. Dzięki temu była możliwa ekstrakcja parametrów konstrukcji struktur periodycznych. Metodę HRXRD należy uznać za kluczową technikę badawczą, której stosowanie jest niezbędne podczas opracowywania tech-



Rys. 11. Porównanie rentgenowskich krzywych dyfrakcyjnych dla struktury typu QCL45%: zarejestrowanej i będącej wynikiem symulacji dla konstrukcji nominalnej



Rys. 12. Charakterystyki I-V dla struktur typu QCL45% różniących się poziomem domieszkania

nologii laserów kaskadowych. Przykładowe wyniki uzyskane przy użyciu tej techniki przedstawiono na rys. 11. W celu otrzymania dodatkowych informacji o strukturze QCL45% badano charakterystyki prądowo-napięciowych (I-V) w temperaturze 77 K (rys. 12).

### 3. Współpraca międzynarodowa

W 2008 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.

### 4. Uzyskane stopnie naukowe

- Dr Emil Kowalczyk „Dynamika procesów optyczno-termicznych w laserach półprzewodnikowych (praca doktorska, promotor prof. dr hab. B. Mroziwicz);
- Dr Anna Szerling „Technologia wytwarzania krawędziowych laserów półprzewodnikowych dużej mocy na pasmo 980 nm” (praca doktorska, promotor dr hab. Kazimierz Regiński);
- Mgr Anna Barańska „Technologia epitaksji z wiązek molekularnych MBE i procesy wytwarzania kwantowych laserów kaskadowych z GaAs/AlGaAs” (praca magisterska, opiekun prof. dr hab. Maciej Bugajski).



**Publikacje'2008**

- [P1] CZERWIŃSKI A., PŁUSKA M., RATAJCZAK J., SZERLING A., KĄTCKI J.: Dependence of Cathodoluminescence on Layer Resistance Applied for Measurement of Thin Layer Sheet-Resistance. *J. Microsc.* (w druku).
- [P2] CZERWIŃSKI A., PŁUSKA M., RATAJCZAK J., SZERLING A., KĄTCKI J.: Impact of Resistance on Cathodoluminescence and Its Application for Layer Sheet-Resistance Measurements. *Appl. Phys. Lett.* 2008 vol. 93 s. 041109-1-3.
- [P3] JASIK A., GACA J., WÓJCIK M., MUSZALSKI J., PIERŚCIŃSKI K., MAZUR K., KOSMALA M., BUGAJSKI M.: Characterization of (Al)GaAs/AlAs Distributed Bragg Mirrors Grown by MBE and LP MOVPE Techniques. *J. Cryst. Growth* 2008 vol. 310 s. 4094–4101.
- [P4] JASIK A., WNUK A., WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., JAKIEŁA R., MUSZALSKI J., STRUPIŃSKI W., BUGAJSKI M.: The Influence of the Growth Temperature and Interruption Time on the Crystal Quality of InGaAs/GaAs QW Structures Grown by MBE and MOCVD Methods. *J. Cryst. Growth* 2008 nr 310 s. 2785.
- [P5] KANIEWSKI J., MUSZALSKI J., PIOTROWSKI J.: Advanced InGaAs/InAlAs/InP Avalanche Photodiodes for High-Speed Detection of 1.55  $\mu\text{m}$  Infrared Radiation. Novel Focal Plane Technologies, Infrared Spaceborne Remote Sensing and Instrumentation XVI. *Proc. of SPIE* 2008 t. 7082 s. 7082F.
- [P6] KOSIEL K.: MBE-Technology for Nanoelectronics. *Vacuum* 2008 vol. 82 nr 10 s. 951–955.
- [P7] KOSIEL K., KUBACKA-TRACZYK J., KARBOWNIK P., SZERLING A., MUSZALSKI J., BUGAJSKI M., ROMANOWSKI P., GACA J., WÓJCIK M.: Molecular-Beam Epitaxy Growth and Characterization of Mid-Infrared Quantum Cascade Laser Structures. *Microelectron. J.* (w druku).
- [P8] ŁASZCZ A., CZERWIŃSKI A., RATAJCZAK J., SZERLING A., PHILLIP F., VAN AKEN P. A., KĄTCKI J.: Transmission Electron Microscopy Characterisation of Au/Pt/Ti/Pt Ohmic Contacts for High Power GaAs/InGaAs Semiconductor Lasers. *J. Microsc.* (w druku).
- [P9] ŁASZCZ A., RATAJCZAK J., CZERWIŃSKI A., KOSIEL K., KUBACKA-TRACZYK J., MUSZALSKI J., BUGAJSKI M., KĄTCKI J.: Electron Microscopy of GaAs/AlGaAs Quantum Cascade Laser. *Proc. of 14th Europ. Microscopy Congr. Aachen, Niemcy, 1–5.09.2008*, vol. 2 s. 61–62.
- [P10] MISIUK A., VANDYSHEV E. N., ZHURAVLEV K. S., WONG H., HEJDUK K., ANTONOVA I. V., PRUJSZCZYK M.: Properties of PECVD Silicon Oxynitride Films Annealed under Enhanced Hydrostatic Pressure. *J. Vacuum Sci. Technol. B* (w druku).
- [P11] MROZIEWICZ B.: External Cavity Wavelength Tunable Semiconductor Lasers – a Review. *Opto-Electron. Rev.* 2008 vol. 16 nr 4 s. 347–366.
- [P12] MUSZALSKI J.: Optoelectronic Devices Employing One Dimensional Photonic Structures. *Acta Phys. Pol. A* 2008 vol. 114 nr 5 s. 983–1000.
- [P13] MUSZALSKI J., KANIEWSKI J.: Low Dark Current InGaAs/InAlAs/InP Avalanche Photodiode. *J. Phys.: Conf. Series* (w druku).
- [P14] PIERŚCIŃSKI K., PIERŚCIŃSKA D., BUGAJSKI M., MANZ C., RATTUNDE M.: Measurements and Simulation of Thermal Properties of Optically Pumped Antimonide VECSELS. *IEEE Proc. of the 15th Int. Conf. Mixed Design of Integrated Circuits and Systems MIXDES 2008 (ICMDIC15)*. Poznań, 19–21.06.2008 (w druku).
- [P15] PIERŚCIŃSKI K., PIERŚCIŃSKA D., BUGAJSKI M., MANZ C., RATTUNDE M.: Investigation of Thermal Management in Optically Pumped, Antimonide VECSELS. *Microelectron.* (w druku).

- [P16] REGIŃSKI K., JASIK A., KOSMALA M., KARBOWNIK P., WNUK P.: Semiconductor Saturable Absorbers of Laser Radiation for the Wavelength of 808nm Grown by MBE: Choice of Growth Conditions. *Vacuum* 2008 vol. 82 s. 947.
- [P17] REGIŃSKI K., REGIŃSKA T.: Light Propagation in Solids as an Inverse Problem for the Helmholtz Equation. *J. Computat. Phys.* (w druku).
- [P18] RZEPJEJEWSKA-MALYSKA K., MOOK W., PARLIŃSKA-WOJTAN M., HEJDUK K., MICHLER J.: In\_situ SEM Indentation Studies on Multilayer Nitride Films: Methodology and Deformation Mechanisms. *J. Mater. Res.* (w druku).
- [P19] SZERLING A., KARBOWNIK P., ŁASZCZ A., KOSIEL K., BUGAJSKI M.: Low Resistance p-Type Ohmic Contacts for High Power InGaAs/GaAs - 980 nm cw Semiconductor Lasers. *Vacuum* 2008 vol. 82 s. 977–981.
- [P20] WOLKENBERG A., PRZESŁAWSKI T.: Charge Transport Diagnosis by: I-V (Resistivity), Screening and Debye Length, Mean Free Path, Mott Effect and Bohr Radius in InAs, In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As and GaAs MBE Epitaxial Layers. *Appl. Surface Sci.* 2008 vol. 254 nr 21 s. 6736–6741.
- [P21] WOLKENBERG A., PRZESŁAWSKI T.: Wpływ pola magnetycznego na transport ładunków w warstwach In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As (0 ≤ x ≤ 1) otrzymanywanych technologią MBE. *Elektronika* 2008 nr 2 s. 72–74.
- [P22] WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., ŁUKOWSKI M., MUSZALSKI J., BUGAJSKI M.: Angular and Temperature Tuning of Emission from Vertical-External-Cavity Surface-Emitting Lasers (VECSELs). *Acta Phys. Pol. A* 2008 vol. 114 nr 5 s. 1341–1347.
- [P23] WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., MUSZALSKI J., BUGAJSKI M.: Mikrofotoluminescencyjne badanie własności optycznych obszaru aktywnego laserów VECSEL. *J. Phys.: Condens. Matter* (w druku).

## Konferencje'2008

- [K1] BARAŃSKA A., PAPIS E., SZERLING A., KARBOWNIK P., WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., KOSIEL K., KUBACKA-TRACZYK J., BUGAJSKI M., RZODKIEWICZ W., WAWRO A., SZADE J.: Complementary Study of (100) GaAs Surface Ion Etching Treatment for Application in Quantum Cascade Lasers. Semiconductor Laser Workshop (SELAWO08). Kazimierz Dolny, 1–2.12.2008 (kom.).
- [K2] CZERWIŃSKI A., PŁUSKA M., RATAJCZAK J., SZERLING A., KĄTCKI J.: Dependence of Cathodoluminescence on Layer Resistance Applied for Measurement of Thin Layer Sheet-Resistance. XIII Int. Conf. on Electron Microscopy (ICEM2008). Zakopane, 8–11.06.2008 (plakat).
- [K3] GACA J., GRONKOWSKI J., JASIK A., TOKARCZYK M., WÓJCIK M.: Determination of the Lateral Inhomogeneity of the Chemical Composition Profile of AlAs/GaAs Distributed Bragg Reflectors Grown by MBE on GaAs (100) Substrate. 9th Int. School and Symp. on Synchrotron Radiation in Natural Science ISSRNS 2008 (ISSRNS9). Kielce, 15–20.06.2008 (plakat).
- [K4] HOPKINS J. M., PIERŚCIŃSKI K., PIERŚCIŃSKA D., KEMP A. J., SCHULZ N., RATTUNDE M., WAGNER J., BUGAJSKI M., BURNS D.: Measurement and Modeling of Temperature in Mid-IR Semiconductor Disk Lasers. 9 Int. Conf. on Mid-Infrared Optoelectronics: Materials and Devices (ICMIOMD9). Fryburg, Niemcy, 7–11.09.2008 (plakat).
- [K5] JANUS P., DOMAŃSKI K., GRABIEC P., BIENIEK T., MROCZYŃSKI R., PIERŚCIŃSKA D., GOTSZALK T.: Active MEMS Structure for Characterization and Calibration of Scanning Thermal Microscopy Probes. 34th Int. Conf. on Micro and Nano Engineering (ICMNE34). Ateny, Grecja, 15–19.09.2008 (kom.).
- [K6] JASIK A., MUSZALSKI J., GACA J., PIERŚCIŃSKI K., WÓJCIK M., MAZUR K., BUGAJSKI M.: (Al)GaAs/AlAs DBR Heterostructures-Growth and Characterisation. Semiconductor Laser Workshop (SELAWO08). Kazimierz Dolny, 1–2.12.2008 (ref.).

- [K7] KANIEWSKI J., MUSZALSKI J., PIOTROWSKI J.: Advanced InGaAs/InAlAs/InP Avalanche Photodiodes for High-Speed Detection of 1.55  $\mu\text{m}$  Infrared Radiation. Infrared Spaceborne Remote Sensing and Instrumentation XVI, SPIE Optics + Photonics 2008 (SPIEOP08). San Diego, USA, 10–14.08.2008 (kom.).
- [K8] KARBOWNIK P., BARAŃSKA A., SZERLING A., PAPIŚ E., WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., KOSIEL K., KUBACKA-TRACZYK J., BUGAJSKI M., RZODKIEWICZ W., WAWRO A., SZADE J.: Improvement of n-type Ohmic Contact Resistance for GaAs/AlGaAs Quantum Cascade Lasers by Optimisation of Surface Pretreatment. Semiconductor Laser Workshop (SELAWO08). Kazimierz Dolny, 1–2.12.2008 (kom.).
- [K9] KOSIEL K., BUGAJSKI M., KUBACKA-TRACZYK J., SZERLING A., KARBOWNIK P., MUSZALSKI J., ROMANOWSKI P.: MBE Growth for QCLs. Semiconductor Laser Workshop (SELAWO08). Kazimierz Dolny, 1–2.12.2008 (ref.).
- [K10] KOSIEL K., KUBACKA-TRACZYK J., KARBOWNIK P., SZERLING A., MUSZALSKI J., BUGAJSKI M., ROMANOWSKI P., GACA J., WÓJCIK M.: Molecular-Beam Epitaxy Growth and Characterization of Mid-Infrared Quantum Cascade Laser Structures. Workshop on Recent Advances of Low Dimensional Structures and Devices (WRALDSD). Nottingham, Wielka Brytania, 7–9.04.2008 (plakat).
- [K11] ŁASZCZ A., CZERWIŃSKI A., RATAJCZAK J., SZERLING A., PHILLIPP F., VAN AKEN P. A., KAŹCKI J.: Transmission Electron Microscopy Characterisation of Au/Pt/Ti/Pt Ohmic Contacts for High Power GaAs/InGaAs Semiconductor Lasers. XIII Int. Conf. on Electron Microscopy (ICEM2008). Zakopane, 8–11.06.2008 (plakat).
- [K12] ŁASZCZ A., RATAJCZAK J., CZERWIŃSKI A., KOSIEL K., KUBACKA-TRACZYK J., MUSZALSKI J., BUGAJSKI M., KAŹCKI J.: Electron Microscopy of GaAs/AlGaAs Quantum Cascade Laser. 14th Europ. Microscopy Congr. Aachen, Niemcy, 1–5.09.2008 (plakat).
- [K13] MISIUK A., VANDYSHEV E. N., WONG H., ZHURAVLEV K. S., HEJDUK K., ANTONOVA I. V., PRUJSZCZYK M.: Properties of PECVD Silicon Oxynitride Films Annealed under Enhanced Hydrostatic Pressure. 15th Workshop on Dielectrics and Microelectronics (WODIM15). Bad Saarow/Berlin, Niemcy, 23–25.06.2008 (plakat).
- [K14] MUSZALSKI J.: Optoelectronic Devices Employing One Dimensional Photonic Structures. XXXVII Int. School on the Physics of Semiconducting Compounds (ISPSC-37). Jaszowiec, 7–13.06.2008 (ref. zapr.).
- [K15] MUSZALSKI J., KANIEWSKI J.: Fotodiody lawinowe z InGaAs/InAlAs/Inp o małym prądzie ciemnym. II Kraj. Konf. Nanotechnologii NANO 2008(NANO2008). Kraków, 25–28.06.2008 (plakat).
- [K16] OCHALSKI T. J., DE BURCA A., HUYET G., LYYTIKAINEN J., GUINA M., PESSA M., JASIK A., MUSZALSKI J., BUGAJSKI M.: Passively Modelocked Bi-Directional Vertical External Ring Cavity Surface Emitting Laser. Conf. on Lasers and Electro-Optics (CLEO). San Jose, California, USA, 4–9.05.2008 (kom.).
- [K17] PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., BUGAJSKI M., BIENIEK T., JANCZYK G.: Thermoreflectance Study of Semiconductor Devices (Part III). 8th eCubes Meet. Graz, Austria, 2–3.04.2008 (ref. zapr.).
- [K18] PIERŚCIŃSKA D., PIERŚCIŃSKI K., BUGAJSKI M.: Analysis of Thermal Processes in the High Power Optoelectronic Devices by Modulation Spectroscopy Techniques. 3rd Int. Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures (IWMSS08). Wrocław, 2–5.07.2008 (ref.).
- [K19] PIERŚCIŃSKI K., JASIK A., BUGAJSKI M.: Photoreflectance Investigation of Semiconductor Saturable Absorber Mirrors. 3rd Int. Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures (IWMSS08). Wrocław, 2–5.07.2008 (ref.).

- [K20] PIERŚCIŃSKI K., PIERŚCIŃSKA D., BUGAJSKI M.: Temperature Mapping of Antimonide-Based OPSDLs. EU Project - Vertigo Meet. (EUPRVEM). Katlenburg, Niemcy, 20–21.10.2008 (ref.).
- [K21] PIERŚCIŃSKI K., PIERŚCIŃSKA D., BUGAJSKI M.: Temperature Mapping of Antimonide-Based OPSDLs. EU Project - Vertigo Meet. (EUPRVEM). Glasgow, Wielka Brytania, 22–23.04.2008 (ref.).
- [K22] PIERŚCIŃSKI K., PIERŚCIŃSKA D., BUGAJSKI M.: Temperature: Thermal Measurements/Heatspreads/FEA Modelling. V(E)CSEL Day Workshop - COM/DTU Photonics (VECSEL). Kopenhaga, Dania, 21–21.05.2008 (ref.).
- [K23] PIERŚCIŃSKI K., PIERŚCIŃSKA D., BUGAJSKI M.: Analysis of Thermal Processes in the High Power Optoelectronic Devices by Modulation Spectroscopy Techniques. 3rd Int. Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures (IWMSSS08). Wrocław, 2–5.07.2008 (ref. zapr.).
- [K24] PIERŚCIŃSKI K., PIERŚCIŃSKA D., BUGAJSKI M., MANZ C., RATTUNDE M.: Measurements and Simulation of Thermal Properties of Optically Pumped Antimonide VECSELS. 15th Int. Conf. Mixed Design of Integrated Circuits and Systems MIXDES 2008 (ICMDIC15). Poznań, 19–21.06.2008 (ref.).
- [K25] PIERŚCIŃSKI K., PIERŚCIŃSKA D., BUGAJSKI M., MANZ C., RATTUNDE M., BURNS D., HOPKINS J. M.: Temperature Mapping in 2.x  $\mu\text{m}$  VECSELS. Semiconductor Laser Workshop (SELAWO08). Kazimierz Dolny, 1–2.12.2008 (ref.).
- [K26] PRUSZYŃSKA-KARBOWNIK E., KARBOWNIK P., MROZIEWICZ B.: Facet Reflectivity Measurements of AR-Coated Laser Diodes. Semiconductor Laser Workshop (SELAWO08). Kazimierz Dolny, 1–2.12.2008 (ref.).
- [K27] RZEPJEJEWSKA-MAŁYSKA K., HEJDUK K., KORTE S., CLEGG W., MICHLER J.: Deformation Mechanisms in TiN/NbN Multilayer Thin Films. EMRS Fall Meet. (EMRS08F). Warszawa, 15–19.09.2008 (plakat).
- [K28] SZYMAŃSKI M.: Modelling of Thermal Phenomena in Semiconductor Lasers-Analytical Methods. Semiconductor Laser Workshop (SELAWO08), Kazimierz Dolny, 1–2.12.2008 (ref. zapr.).
- [K29] WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., ŁUKOWSKI M., MUSZALSKI J., BUGAJSKI M.: Angular and Temperature Tuning of Emission from Vertical-External-Cavity Surface-Emitting Lasers (VECSELS). XXXVII Int. School on the Physics of Semiconducting Compounds (ISPSC-37). Jaszowiec, 7–13.06.2008 (plakat).
- [K30] WÓJCIK-JEDLIŃSKA A., MUSZALSKI J., BUGAJSKI M.: Mikrofotoluminescencyjne badanie własności optycznych obszaru aktywnego laserów VECSEL. II Kraj. Konf. Nanotechnologii NANO 2008 (NANO2008). Kraków, 25–28.06.2008 (kom.).

### **Patenty i zgłoszenia patentowe'2008**

- [PA1] ADAMCZEWSKA J., BAŁ-MISIUK J., DOMAGAŁA J., KANIEWSKI J., MISIUK A., PRUJSZCZYK M., REGIŃSKI K.: Sposób modyfikacji naprężeń w strukturach półprzewodnikowych. Pat. RP nr 200102.
- [PA2] MROZIEWICZ B.: Laser półprzewodnikowy ECL. Zgł. pat. nr P386745 z dn. 9.12.2008.