

Autoreferat

1. Imię i nazwisko: Jacek Zakrzewski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- 1991 magister, kierunek fizyka, specjalność: fizyka doświadczalna, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
- 2001 doktor nauk fizycznych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
„Zjawiska fotoakustyczne w kryształach mieszanych A2B6”

Promotor: prof. dr hab. Hanna Męczyńska

Recenzenci: prof. dr hab. Franciszek Rozpłoch

dr hab. Marek Grinberg prof. Uniwersytetu Gdańskiego

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

- 1991-1995 studia doktoranckie, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, UMK w Toruniu
- 1995-2002 asystent, Zakład Fizyki Półprzewodników, UMK w Toruniu
- od 2002 adiunkt, Zakład Fizyki Półprzewodników i Fizyki Węgla, UMK w Toruniu
- 9 Października 2007 – 10 Października 2008 – staż podoktorski finansowany przez Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) w Laboratoire d'Acoustique de l'Universite du Maine, Francja

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

A, B) Jako osiągnięcie naukowe zgłaszam monografię pt.:

„Piezoelektryczna spektroskopia fototermiczna w objętości i na powierzchni półprzewodników A₂B₆”,

Wydawnictwo Naukowe UMK, ISBN 978-83-231-2972-1, Toruń 2013

C) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Fototermika jest dziedziną nauki, która bada zjawiska powstające po absorpcji energii promieniowania elektromagnetycznego i przekazaniu jej badanemu materiałowi na sposób ciepła. Może być wykorzystywana do pomiarów widm absorpcji i wzbudzenia, czasów życia stanów wzbudzonych, a także do pomiarów termicznych i elastycznych właściwości materiałów.

Sygnal fototermiczny powstaje w wyniku absorpcji światła. Ta część energii promieniowania, która przechodzi lub jest rozpraszana w próbce, nie wpływa na wartość generowanego sygnału. Badaniami fototermicznymi można objąć materiały, których nie można zbadać konwencjonalnymi metodami – są to zwykle substancje bardzo dobrze rozpraszające światło, takie jak proszki, smary, żele. Inne „trudne” materiały to te, które są optycznie nieprzezroczyste i mają rozmiary znacznie przewyższające głębokość penetracji padającego promieniowania. O ile w pierwszym przypadku sygnał optyczny zależy zarówno od natężenia światła odbitego, jak i przepuszczonego oraz jest bardzo trudny do interpretacji, o tyle w drugim przypadku zbadanie właściwości substancji jest jeszcze trudniejsze z powodu bardzo małej liczby fotonów, które przechodzą przez materiał. „Trudnymi” materiałami w tradycyjnych pomiarach są także czyste, przezroczyste materiały o małej absorpcji.

Fototermika pozwala określić termiczne, optyczne i mechaniczne właściwości materiałów – jest to jednocześnie odmiana kalorymetrii i spektroskopii optycznej. Metody fototermiczne znalazły zastosowanie w badaniach wszystkich rodzajów materiałów organicznych, nieorganicznych, biologicznych, we wszystkich trzech stanach skupienia: gazowym, ciekłym i stałym.

Detektorem stosowanym w fototermice, odpowiadającym za pomiar zjawisk zamiany energii promieniowania elektromagnetycznego na sposób ciepła, może być mikrofon, element piezoelektryczny lub piroelektryczny. W pierwszym przypadku metodę nazywa się fotoakustyką. Efekt fotoakustyczny, który dał impuls do rozwoju innych metod fototermicznych został odkryty w 1881 r. przez Bella [1], jednak do czasu publikacji pracy Rosencwaiga i Gersho w 1976 r. [2] nie był szeroko wykorzystywany. Podstawy teorii dotyczące metody piezoelektrycznej zostały podane przez Jacksona i Amera (teoria J-A) [3] oraz Blonskiego [4] jednak nie były one wykorzystywane w spektroskopii fototermicznej. Powyższe modele nie pozwalają także na analizę zmian obserwowanych w przebiegach widm amplitudy i fazy w przypadku materiałów nieidealnych (zawierających defekty na powierzchni lub w objętości próbki). Podstawą interpretacji we wszystkich wymienionych wyżej metodach jest znajomość rozkładu temperatury w próbce, ale z powodu różnych sposobów detekcji dalsza analiza jest odmienna. W metodzie mikrofonowej bada się zmiany ciśnienia w komorze, w której znajduje się detektor (efekt akustyczny), w metodzie piezoelektrycznej – naprężenia i odkształcenia w próbce, w metodzie piroelektrycznej – zmiany temperatury próbki. W każdej z tych metod próbka oświetlana jest modulowanym

światłem monochromatycznym. Jeśli w próbce zostanie zaabsorbowane promieniowanie, nastąpi wzbudzenie układu i jego przejście do wyższego stanu energetycznego. Poprzez deekscytację stanów wzbudzonych cała energia zaabsorbowanego promieniowania lub jej część jest przekazywana próbce na sposób ciepła w procesach niepromienistych. W gazach energia ta przejawia się przede wszystkim jako energia kinetyczna drobin gazu, podczas gdy w ciałach stałych lub cieczech również jako energia wibracyjna jonów lub molekuł.

Detekcję piezoelektryczną można zastosować do badania kryształów, nie można zrobić tego w przypadku próbek proszkowych, smarów i żelów. W tych przypadkach używany jest mikrofon umieszczony w komorze wypełnionej gazem jako medium przenoszącym fale akustyczne od próbki do detektora. Periodyczne ogrzewanie próbki w wyniku absorpcji promieniowania optycznego prowadzi do przepływu energii od próbki do gazu, który nie absorbuje promieniowania. Wytworzone w ten sposób zmiany ciśnienia gazu mierzone są przez mikrofon.

W monografii skoncentrowano się na metodzie piezoelektrycznej i dodatkowo na jednej z jej odmian – spektroskopii fototermicznej. Celem było przedstawienie możliwości, które daje piezoelektryczna spektroskopia fototermiczna w badaniach właściwości termicznych i optycznych materiałów półprzewodnikowych grupy A₂B₆. Przeprowadzono badania wpływu przygotowania próbek na przebiegi amplitudy i fazy widma fototermicznego oraz przedstawiono metody ich interpretacji.

Szerokopasmowe związki półprzewodnikowe A₂B₆ są w ostatnich latach bardzo intensywnie badane [5-8], a główny powód to możliwość ich zastosowania do produkcji miniaturowych laserów półprzewodnikowych emitujących światło niebiesko-zielone i zielone, wysokiej jakości fotodetektorów promieniowania na zakres widmowy niebieski i UV, zwierciadeł Braggowskich i w tzw „spintronice”. W przypadku tych związków, zmiana wartości przerwy energii wzbronionych pozwala otrzymać związki o ściśle określonych własnościach optycznych, zmiana stałej sieci natomiast związki idealnie dopasowane do podłoża, na którym następuje wzrost epitaksjalny. Bardzo obiecującym materiałem do zastosowań w spintronice jest czteroskładnikowy roztwór stały Zn_{1-x-y}Be_xMn_ySe. Mangan w Zn_{1-x-y}Be_xMn_ySe jest domieszką izoelektronową tzn. zachowuje się jak pierwiastek z grupy II układu okresowego. Pomimo, że jon Mn⁺⁺ posiada pięć niesparowanych elektronów na powłoce 3d, to jednak zachowuje się on podobnie jak jon z powłoką zamkniętą. Powoduje to że w przeciwieństwie do związków z grupy III-V związki II-VI z manganem można dodatkowo domieszkować w celu uzyskania przewodnictwa typu n lub p, co jest jedną z niewątpliwych zalet. Mieszane trójskładnikowe półmagnetyczne półprzewodniki A_{1-x}Mn_xB^{VI} są badane intensywnie już od dłuższego czasu, ale czteroskładnikowy związek Zn_{1-x-y}Be_xMn_ySe stanowi novum w tej dziedzinie. Wprowadzenie berylu powoduje zwiększenie wartości energii przerwy wzbronionej, zmniejszenie stałej sieci oraz zwiększa twardość kryształu. Wzrost twardości tych materiałów jest wynikiem zmiany typu wiązania z jonowego na kowalencyjny. Otrzymanie „twardych” szerokopasmowych mieszanych kryształów II-VI ma istotne znaczenie w wykorzystaniu tych materiałów do konstrukcji „zielonego” lasera. Utwardzenie materiału zmniejsza propagację dyslokacji w warstwie aktywnej diody laserującej, a tym samym zmniejsza jej degradację w czasie.

W przypadku innego z badanych materiałów, związku Zn_{1-x-y}Be_xMg_ySe, odpowiednia kombinacja składników pozwala dopasować stałą sieci do krzemu, jednocześnie przerwa energetyczna pozostaje duża i może wynosić ponad 4 eV. Dzięki tym zaletom związek ten staje się potencjalnym kandydatem do produkcji przyrządów bazujących na dobrze opanowanej technologii krzemowej, ale pracujących w zakresie widmowym odpowiadającym promieniowaniu niebieskiemu i ultrafioletowemu.

Wszystkie związki, których własności termiczne i optyczne są przedmiotem monografii są otrzymywane w Zakładzie Fizyki Półprzewodników i Fizyki Węgla

Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Zbadano czteroskładnikowe związki $Zn_{1-x-y}Be_xMn_ySe$ i $Zn_{1-x-y}Be_xMg_ySe$ oraz dwuskładnikowe materiały: ZnSe, CdS i CdSe. Powierzchnie próbek poddano obróbce mechanicznej (szlifowanie, polerowanie proszkiem polerskim w mieszaninie wody i oleju lub pastą diamentową w zawiesinie olejowej), chemicznej (trawienie w roztworze $K_2Cr_2O_7 : H_2SO_4 : H_2O$ oraz w 50-procentowym roztworze NaOH lub HCl) i termicznej (wygrzewanie w parach cynku w temperaturze 1170 K). Celem było uzyskanie jak najlepszej jakościowo powierzchni kryształów.

W pracy przedstawiono symulacje widm amplitudy i fazy piezoelektrycznego sygnału fototermicznego dla różnych wartości parametrów termicznych i optycznych typowych dla materiałów półprzewodnikowych: przerwy energii wzbronionych, dyfuzyjności termicznej, poszerzenia ogona Urbacha, a także dla różnych grubości próbek i różnych częstotliwości modulacji wiązki wzbudzającej. Przebieg amplitudy i fazy sygnału fototermicznego zależy od sposobu detekcji – wzajemnego położenia detektora i próbki. Przedyskutowano, jak parametry termiczne i optyczne wpływają na widma w obu konfiguracjach pomiarowych. Pokazano, jak podstawy dwóch teorii, które pierwotnie dotyczyły detekcji mikrofonowej – teorii Rosencwaiga–Gersho (dla modelu jednorodnej próbki) i Ferneliusa (dla dwóch warstw) – mogą zostać zastosowane w detekcji piezoelektrycznej. Podano pełne rozwiązanie rozkładu pola temperatury w próbce (nieprezentowane w powyższych pracach) i pokazano, w jaki sposób zastosować je w detekcji piezoelektrycznej. Podane przykłady prezentują wyniki symulacji zarówno dla materiałów idealnych, jak i zawierających defekty w objętości i na powierzchni próbki.

W 2002 r. Maliński [9] podał rozwiązanie rozkładu temperatury wzdłuż grubości próbki oparte na modelu interferencji fal termicznych, które było rozwinięciem koncepcji Benneta i Patty [10]. Rozkład ten został wielokrotnie zastosowany w analizie fototermicznych widm piezoelektrycznych półprzewodników A₂B₆ dzięki uwzględnieniu modyfikacji związanych z obecnością defektów powierzchniowych (Maliński podał je razem z autorem niniejszej monografii [11]). W 2012 r. razem ze współpracownikami [12] po raz pierwszy zaproponowałem zastosowanie w spektroskopii fototermicznej rozkładu podanego przez Blonskiego. Podałem także, analogiczne do metody interferencyjnej, modyfikacje, które umożliwiają analizę widm amplitudy i fazy dla materiałów zawierających defekty. W niniejszej pracy wszystkie dopasowania wykonane dla widm eksperymentalnych są obliczone dla zmodyfikowanego modelu Blonskiego. Pokazano, że model interferencyjny i model Blonskiego dają identyczne rezultaty symulacji widm fototermicznych zarówno dla próbek idealnych, jak i zawierających defekty. Model Blonskiego jest bardziej uniwersalny niż model oparty na założeniach Ferneliusa [13] - w modelu Ferneliusa można założyć istnienie warstwy zdefektowanej tylko na jednej powierzchni próbki (oświetlanej lub nieoświetlanej), w modelach Blonskiego i interferencyjnym – na obu powierzchniach.

Przygotowanie powierzchni wpływa na przebieg widma amplitudy i fazy sygnału fototermicznego. W zależności od stanu powierzchni w widmie amplitudy pojawiają się dodatkowe maksima, a w widmie fazy dodatkowe zmiany, nieprzewidziane w podstawowej (model J-A) teorii detekcji piezoelektrycznej. Odpowiednia obróbka powierzchni powoduje zmniejszenie natężenia dodatkowych maksimów i zmniejsza zmiany fazy – przebieg widm amplitudy i fazy odpowiada charakterowi dla widm kryształów o bardzo dobrej jakości powierzchni. Dzięki temu piezoelektryczna spektroskopia fototermiczna może być wykorzystana do opracowania metod kontroli jakości powierzchni. Obróbka powierzchni oprócz modyfikacji jej samej wprowadza dodatkowe zmiany w warstwie zlokalizowanej poniżej. Pokazano jak metoda piezoelektryczna może pomóc w oszacowaniu jej grubości. W pracy przedyskutowano dwa modele interpretacji: model, w którym założono zmianę przewodności termicznej zdefektowanej warstwy i model warstwy nieefektywnej. Pokazano także, jak jakość kryształu wpływa na kształt amplitudy i fazy sygnału fototermicznego.

Powierzchnie próbki i leżąca pod nią warstwa przypowierzchniowa mimo identycznego procesu obróbki mogą nie być identyczne – na różnych stronach mogą być zlokalizowane defekty o innym położeniu energetycznym.

Zmodyfikowany model Blonskiego umożliwia ocenę, czy obserwowane defekty zlokalizowane są w objętości, czy na powierzchni próbki. W przypadku defektów powierzchniowych można zidentyfikować rodzaj defektu i powierzchnię, na której jest zlokalizowany. Widmo amplitudy i fazy sygnału fototermicznego wykazuje różne zmiany w zależności od tego, czy w badanym materiale są obecne defekty powierzchniowe czy objętościowe. Do właściwej interpretacji niezbędne są oba widma, ponieważ widmo amplitudy może wykazać podobne zmiany dla defektów powierzchniowych i objętościowych. Widmo fazy, które jest inne dla tych przypadków, umożliwia wskazanie właściwej lokalizacji defektów.

Przeprowadzone badania stanowią podstawę do kolejnych zastosowań detekcji piezoelektrycznej. Wzbudzenie wiązką lasera umożliwi wykorzystanie tej detekcji w mikroskopii fototermicznej. Kluczowe znaczenie ma wzbudzenie dla różnych długości fali, aby uzyskać obrazy dla obszaru niskiej i wysokiej absorpcji. W przypadku półprzewodników, zwiększenie częstotliwości modulacji wiązki wzbudzającej do wartości powyżej 50 kHz prowadzi do zmniejszenia termicznej drogi dyfuzji do wartości poniżej mikrometra. Może to znaleźć zastosowanie w badaniach degradacji powierzchni przyrządów półprzewodnikowych. Takie badania są dotychczas prowadzone z wykorzystaniem elektroluminescencji, techniki bramkowego prądu upływu (ang. *gate current leakage*) i za pomocą mikroskopii sił atomowych [14-16]. Badania wykorzystujące mikroskopię piezoelektryczną (ze wzbudzeniem dla różnych długości fal) mogłyby stanowić alternatywę lub uzupełnienie tych metod.

[1] A.G. Bell, *Philos. Mag.* 11, 5, 510 (1881).

[2] A. Rosencwaig, A. Gersho, *J. Appl. Phys.* 47, 64 (1976).

[3] W. Jackson, N.M. Amer, *J. Appl. Phys.* 51, 3343 (1980).

[4] I.V. Blonskij, V.A. Tkhoryk, M.L. Shendeleva, *J. Appl. Phys.* 79, 7, 3512 (1996).

[5] K. Perzyńska, M. Biernacka, P. Zaleski, F. Rozpłoch, J. Patyk, F. Firszt, H. Męczyńska, W. Paszkowicz, M. Marczak, *Phys. Stat. Sol. (b)* 2, 701 (2002).

[6] F. Rozpłoch, J. Patyk, F. Firszt, H. Męczyńska, J. Zakrzewski, A. Marasek *Phys. Stat. Sol. (b)* 229, 707 (2002).

[7] F. Firszt, K. Strzałkowski, J. Zakrzewski, S. Łęgowski, H. Męczyńska, A. Marasek, *Cryst. Res. Technol.* 42 1352 (2007).

[8] A. Waag, Th. Litz, F. Fisher, H.J. Lugauer, T. Baron, K. Schül, U. Zehnder, T. Gerhard, U. Lunz, W. Ossau, M. Keim, G. Reuscher, G. Landwehr, *J. Cryst. Growth* 184/185, 1, (1997).

[9] M. Maliński, *Archives of Acoustics*, 27, 3, 217 (2002).

[10] C.A. Bennet Jr, R.R. Patty, *Appl. Optics*, 21, 1, 49 (1982).

[11] M. Maliński, J. Zakrzewski, K. Strzałkowski, *Int. J. Thermophys.* 28, 1, 299 (2007).

[12] J. Zakrzewski, M. Maliński, K. Strzałkowski, D. Madaj, F. Firszt, S. Łęgowski, H. Męczyńska, *Int. J. Thermophys.* 33, 4, 733 (2012).

[13] N. Fernelius, *J. Appl. Phys.* 51 (1), 650 (1980).

[14] M. Montes Bajo, C. Hodges, M.J. Uren, M. Kuball, *Appl. Phys. Letters* 101, 033508 (2012).

[15] P. Makaram, J. Joh, J.A. Del Alamo, T. Palacios, C.V. Thompson, *Appl. Phys. Lett.* 96, 233509 (2010).

[16] F. Gao, B. Lu, L. Li, S. Kaun, J.S. Speck, C.V. Thompson, T. Palacios, *Appl. Phys. Lett.* 99, 223506 (2011).

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych)

Zarys kariery zawodowej

Przed doktoratem:

W 1991 roku, po ukończeniu studiów magisterskich, rozpocząłem studia doktoranckie na Wydziale Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu w Zakładzie Fizyki Półprzewodników kierowanym przez prof. dr hab. Hannę Męczyńską. W tym samym roku do zakładu zakupiono nową aparaturę, która miała być częścią układu do nowych badań – spektroskopii fototermicznej półprzewodników A2B6. Moim zadaniem było zestawienie aparatury i napisanie programów do sterowania eksperymentem. Skonstruowałem także i przetestowałem kilka komórek fototermicznych do badań piezoelektrycznych, stosując detektory o różnej grubości i częstości rezonansowej. Te badania doprowadziły do skonstruowania komórki piezoelektrycznej, którą można było stosować zarówno w temperaturze pokojowej jak i ciekłego azotu i helu. Początkowo eksperymenty były prowadzone dla cienkich warstw ZnSe/GaAs. Wyniki były obiecujące, ale mała ilość próbek spowodowało zakończenie tych prac. W 1995 roku odbyłem pięciomiesięczne stypendium w ramach programu Tempus w Physik Department E16 Technische Universität München, gdzie prowadziłem badania luminescencji materiałów A2B6. W tym samym roku zostałem asystentem w Zakładzie Fizyki Półprzewodników UMK w Toruniu i rozpocząłem badania mieszanych kryształów z grupy A2B6 za pomocą metod fototermicznych. Związki, które badałem były otrzymane w Zakładzie Fizyki Półprzewodników UMK w Toruniu. Możliwość zmiany wartości przerwy energii wzbronionych pozwala otrzymać związki o ściśle określonych własnościach optycznych, zmiana stałej sieci natomiast związki idealnie dopasowane do podłoża, na którym następuje wzrost epitaksjalny. Te zalety skłaniają do sięgania po nowe związki półprzewodnikowe, najczęściej wieloskładnikowe. Teoretyczne przewidywanie struktury i stechiometrii nowych związków nie jest możliwe i dlatego tzw. inżynieria materiałowa w dużej części musi być oparta na doświadczeniu i intuicji.

W 1998 i 1999 odbyłem dwa miesięczne staże (w ramach stypendiów dla młodych pracowników naukowych UMK) na Università Degli Studi di Roma “La Sapienza”, Dipartimento di Energetica w grupie prof. T. Papy, gdzie prowadziłem badania własności optycznych i termicznych $Zn_{1-x}Mg_xSe$ oraz $Zn_{1-x}Be_xSe$ za pomocą spektroskopii fotoakustycznej. W tej technice wykorzystywany jest mikrofon – najczęściej wykorzystywany detektor w fototermice. Pozwoliło mi to nie tylko na wykonanie badań ale na porównanie wyników dwóch technik fototermicznych, dało mi też podstawy do zaprojektowania w przyszłości własnego układu do badań fotoakustycznych.

W badaniach przed doktoratem koncentrowałem się na eksperymentach dotyczących wpływu składu kryształów mieszanych na ich właściwości optyczne i termiczne w temperaturze pokojowej oraz w temperaturach ciekłego azotu i helu. Badane były próbki zarówno as-grow jak i próbki po wygrzewaniu, zaobserwowałem po raz pierwszy wpływ obróbki termicznej na kształt amplitudy i fazy sygnału fototermicznego po procesach przygotowania badanych próbek. Charakter badań był pionierski, wykorzystujący mało popularną metodę, ale dającą obiecujące wyniki. Dla badanych kryształów mieszanych wyznaczyłem zależność przerwy energii wzbronionych od koncentracji magnezu i berylu, stosując metodę zaproponowaną przez Zegadi [1] i teorię Jacksona – Amera [2]. Zaproponowałem również metodę wyznaczenia wartości przerwy energii wzbronionych z widma fazy sygnału fototermicznego. Wyznaczyłem wartości dyfuzyjności termicznej dla

różnych koncentracji Be w mieszanych kryształach $Zn_{1-x}Be_xSe$ i $Zn_{1-x}Be_xTe$. Dyfuzyjność termiczna jest ważnym parametrem charakteryzującym materiał półprzewodnikowy. Wielkość ta jest wprost proporcjonalna do współczynnika przewodnictwa cieplnego i podobnie jak przerwa energii wzbronionych jednoznacznie go określa. Odwrotność dyfuzyjności termicznej jest współczynnikiem wyrównywania temperatury i ma istotne znaczenie przy konstrukcji urządzeń półprzewodnikowych. Pomiar dyfuzyjności termicznej umożliwia także, przy znanej gęstości i ciepłe właściwym wyznaczenie przewodności cieplnej. Wyznaczanie tych wartości dla mieszanych kryształów jest bardzo istotne, są to bowiem nowe materiały o nieznanym przewodnictwie cieplnym, gęstości i ciepłe właściwym. Zbadałem zależność kształtu widma fotoakustycznego od konstrukcji komórki fototermicznej a także wpływ wygrzewania kryształów na przebieg widma $Zn_{1-x}Mg_xSe$, $Zn_{1-x}Be_xSe$ i $Zn_{1-x}Be_xTe$. Przedmiotem moich badań były także CdSe, Cde oraz $Cd_{1-x}Mg_xSe$. W 2001 roku obroniłem pracę doktorską pt. „Zjawiska fotoakustyczne w kryształach mieszanych A2B6”

Po doktoracie:

W 2002 r. zostałem zatrudniony na stanowisku adiunkta w zakładzie Fizyki Półprzewodników Fizyki i Węgla UMK w Toruniu, gdzie rozwijam i nadal prowadzę badania fototermiczne półprzewodników A2B6.

W latach 2003 byłem koordynatorem programu wymiany naukowej w ramach wspólnego programu DAAD-KBN „Korelacja lokalnych termicznych i elektrycznych właściwości transportowych z lokalnymi parametrami spektroskopowymi w materiałach półprzewodnikowych z defektami strukturalnymi”, w ciągu którego ja i moi współpracownicy odbyliśmy kilkutygodniowe wizyty w Ruhr-Universität w Bochum w grupie prof. J Pelzla, naukowcy z Niemiec gościli natomiast w Toruniu. Jednym z celów strony polskiej było wykorzystanie fototermicznej radiometrii w podczerwieni do badań własności optycznych hodowanych przez naszą grupę kryształów A2B6. Radiometria w podczerwieni (Photothermal Radiometry – PTR) oferuje prosty, bezkontaktowy sposób określania temperatury próbki. Jednoczesny pomiar sygnału z próbki za pomocą klasycznej metody fototermicznej przy detekcji mikrofonowej i radiometrii w podczerwieni, przeprowadzone w warunkach, gdy wzbudzenie odbywa się na przeciwnej powierzchni niż detekcja sygnału z badanej próbki, umożliwia wyznaczenie zarówno dyfuzyjności jak i efuzyjności termicznej. Porównanie sygnału fototermicznego i uzyskanego z radiometrii daje z kolei informacje o emisyjności termicznej próbki.

W dalszych badaniach prowadzonych w Toruniu duży nacisk położyłem na interpretacji otrzymanych widm doświadczalnych. Sprzyjała temu nawiązana w 2003 roku współpraca z dr. Mirosławem Malińskim (obecnie dr hab. prof. PK) z Politechniki Koszalińskiej. Zaproponowane we współpracy z dr. Malińskim modele teoretyczne pozwoliły na nowe interpretacje otrzymanych danych doświadczalnych dla różnych materiałów i różnych koncentracji składów. Rozpoczęliśmy badania z wykorzystaniem nowej konstrukcji komórki piezoelektrycznej, pozwalającej na badania w tzw. konfiguracji *front* i *rewers*, pozbawionej wad poprzednich konstrukcji i dającej nowe możliwości interpretacyjne. Nowe badania dotyczyły także wpływu przygotowania powierzchni na przebieg widma amplitudy i fazy sygnału fototermicznego.

W 2007 wyjechałem na roczny staż podoktorski finansowany przez Centre National de la Recherche Scientifique do grupy prof. Witalija Gusewa z Laboratoire d’Acoustique de l’Université du Maine w Le Mans we Francji. Tematem mojego stażu było obrazowanie i charakteryzacja defektów powierzchni metali metodami nieliniowej akustyki i fotoakustyki. W badaniach wykorzystywaliśmy tzw. technikę mieszanych częstości, opartą na generacji fal akustycznych i termicznych za pomocą dwóch źródeł światła (dwa lasery o tej samej długości

fali) których natężenie jest modulowane dwoma różnymi częstotliwościami. W obrazowaniu powierzchni próbki (za pomocą skanowania powierzchni w płaszczyźnie XY) można dzięki temu wykorzystać zarówno składową liniową jak i nieliniową. Metoda ta może być zastosowana jako wyłącznie optyczna, gdy do detekcji użyje się interferometrii lub deflektometrii. Drgania defektu można wzbudzić także za pomocą elementu piezoelektrycznego dużej mocy. Metodę można zastosować wszystkich materiałów absorbujących światło, w których obecne są defekty, można też jak np. w przypadku metali, sztucznie przygotować defekty w postaci pęknięć lub nacięć.

Po powrocie do kraju kontynuowałem badania materiałów A2B6 przede wszystkim $Zn_{1-x-y}Be_xMg_xSe$ i $Zn_{1-x-y}Be_xMn_xSe$ za pomocą piezoelektrycznej spektroskopii fototermicznej. Celem było zbadanie i interpretacja wyników uzyskanych po obróbce mechanicznej (szlifowanie i polerowanie), chemicznej (trawienie) i termicznej (wygrzewanie). Oprócz stosowanej dotąd metody interpretacji na podstawie zmodyfikowanego modelu Jacksona-Amera i modelu interferencyjnego zaproponowałem wykorzystanie w spektroskopii fototermicznej nie stosowanego dotychczas modelu opartego na pracach Blonskiego [3] i Ferneliusa [4]. Ostatnie badania stały się podstawą do napisania monografii, która przedstawiam jako główne osiągnięcie w postępowaniu habilitacyjnym. W punkcie 4 szerzej opisałem je i wskazałem związane z nimi wyniki.

Jestem autorem 56 artykułów w recenzowanych czasopismach naukowych i 4 w materiałach pokonferencyjnych, wyniki moich badań były przedstawiane na 33 konferencjach naukowych i 3 konferencjach dotyczących dydaktyki. Byłem kierownikiem dwóch grantów KBN i czterech grantów UMK, w latach 2002-2011 byłem członkiem komitetu programowego Workshop on Photoacoustic and Photothermics, moja działalność naukowa była 6 razy nagradzana przez Rektora UMK (nagrody zespołowe), Byłem promotorem 4 prac dyplomowych (dwóch magisterskich i dwóch licencjackich),

Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki znajdują się w dołączonym wykazie.

[1] A. Zegadi, M. A. Slifkin, D. Djamin, A. E. Hill and R. D. Tomlinson Phys. Stat. Sol (a) 133, 533 (1992)

[2] W. Jackson, N.M. Amer, J. Appl. Phys. 51, 3343 (1980).

[3] I.V. Blonskij, V.A. Tkhoryk, M.L. Shendeleva, J. Appl. Phys. 79, 7, 3512 (1996).

[4] N. Fernelius, J. Appl. Phys. 51 (1), 650 (1980).

Andrzej Sobczak