

Sprawozdanie z realizacji badań statutowych Zakładu Optoelektroniki IF ZUT w latach 2008 - 2009

Właściwości spektralne i EPR monokryształów tlenkowych dla zastosowań laserowych

Zakład prowadzi badania właściwości magnetycznych oraz optycznych i dielektrycznych, liniowych i nieliniowych, nowych materiałów krystalicznych i polikrystalicznych, otrzymywanych z fazy stałej (polikrystaliczne) i metodą Czochralskiego (monokrystaliczne). Monokryształy otrzymane w Zakładzie Optoelektroniki ZUT – $\text{PbMoO}_4:\text{Co}$, $\text{Sr}_{0,61}\text{Ba}_{0,39}\text{Nb}_2\text{O}_6:\text{Cr}$, Yb , $\text{Li}_{1,72}\text{Na}_{0,28}\text{Ge}_4\text{O}_9:\text{Cr}$, FeVO_4 , zsyntezowane w zaprzyjaźnionych ośrodkach naukowych (IF PAN Warszawa - $\text{SrLaGa}_3\text{O}_7 : \text{Co}$, V , ITME Warszawa – $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$, Tm , INTiBS Wrocław – $\text{YVO}_4:\text{Yb}$, Tm , $\text{CsDy}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{KY}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{KCe}(\text{WO}_4)_2$, $\text{KDy}(\text{WO}_4)_2$, $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$, $\text{KLa}_{0,25}\text{Pr}_{0,75}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{KLa}_{0,995}\text{Pr}_{0,005}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{KLa}_{0,25}\text{Pr}_{0,75}(\text{WO}_4)_2$, A.M. Prokhorov General Physics Institute RAS Moskwa - $\text{Sr}_{0,61}\text{Ba}_{0,39}\text{Nb}_2\text{O}_6:\text{Cr}$, Ce , Ni , Physical Chemistry of Luminescent Materials, Claude Bernard/Lyon 1 University, Lyon, France – $\text{CaF}_2:\text{Yb}$, $\text{BaY}_2\text{F}_8:\text{Yb}$). Polikryształy wolframianów, molibdenianów i molibdeniano-wolframianów otrzymano na Wydziale Chemii Nieorganicznej i Analitycznej ZUT. W realizacji tych zadań uczestniczą wszyscy pracownicy Zakładu w liczbie pięciu, a także dwoje studentów studiów doktoranckich. W/w badania prowadzone są zgodnie z założonymi przez Krajowy Program Ramowy Priorytetowymi Kierunkami Badań (Pkt 6. Nowe Materiały i Technologie. Pkt 6.2. Zaawansowane materiały i urządzenia elektroniczne oraz optoelektroniczne. Pkt 6.4. Wysokoprzetworzone związki chemiczne oraz materiały o złożonych właściwościach).

1. Badania właściwości optycznych i EPR monokryształów LiNbO_3 , CaF_2 , $\text{SrLaGa}_3\text{O}_7$, YVO_4 , BaY_2F_8 oraz podwójnych wolframianów i molibdenianów. Przeprowadzono je pod kątem wykorzystania ich, jako matryc laserowych. Domieszką aktywną, którą szczególnie analizowano był Yb^{3+} , aczkolwiek analizowano również domieszkowanie tych materiałów erbem i prazeodymem. Szczególnie istotne badania przeprowadzono dla w/w materiałów kodomieszkowanych jonami dającymi wkład diamagnetyczny do postaci zależności podatności magnetycznej od temperatury, wśród nich Pr^{3+} oraz Tm^{3+} .

Yb^{3+} jest najbardziej atrakcyjnym jonem do wykorzystania w laserze bez Nd^{3+} w podczerwonym obszarze spektralnym w pobliżu 1030 nm. Taka sytuacja ma miejsce dla wszystkich laserów pompowanych diodą laserową InGaAs w obszarze pompowania 900-980 nm. Prosta struktura elektronowa jonów Yb^{3+} implikuje brak efektów pasożytniczych, takich jak

absorpcja ze stanów wzbudzonych lub konwersja do wyższych poziomów laserowych, czyni możliwym wysokie domieszkowanie Yb^{3+} w większości materiałów laserowych. Ponadto, stosunkowo mały defekt kwantowy daje wkład do słabych efektów termicznych: materiały domieszkowane Yb^{3+} wydają się być materiałami właściwymi dla laserów pracy ciągłej o dużej mocy, aż do kilowatów. Lasery takie można wykorzystać w obróbce laserowej materiałów i wydają się być poważnymi konkurentami w tej dziedzinie laserów Nd: YAG. Już to samo wystarcza za rekomendację dla zajęcia się takimi laserami również w Polsce. Innym czynnikiem, dającym przewagę materiałom domieszkowanym Yb^{3+} jest ich zastosowanie w źródłach femtosekundowych pompowanych diodami laserowymi, wykorzystujących szerokie widmo fluorescencji Yb^{3+} . Jednak możliwość otrzymania laserów o wysokiej mocy ograniczona jest przez optymalizację optyczną, termiczną i mechaniczną ośrodka laserowego. Dlatego tak ważne wydaje się zrozumienie i poznanie mechanizmów prowadzących do gaszenia luminescencji w materiałach domieszkowanych Yb^{3+} .

Dla wszystkich kryształów przeprowadzono badania spektralne (absorpcja, fotoluminescencja, czasy zaniku luminescencji, widma Ramana) w celu określenia rozkładu i koncentracji jonów Yb^{3+} , obecności par jonów Yb^{3+} lub innych typów klasterów oraz możliwych mechanizmów deekscytacji tych jonów w różnych typach matrycy wykazujących małe odległości międzyatomowe. Wśród badań spektralnych szczególną uwagę poświęcono badaniom EPR oraz podatności magnetycznej (SQUID), służącym określeniu orientacji par Yb^{3+} w strukturze, odległości Yb^{3+} - Yb^{3+} (~ 4 Å) tworzących parę jonów dających efekt kooperatywnej emisji itp. Kryształy te poddano również naświetleniom kwantami gamma, elektronami, protonami, a także wygrzaniu w atmosferach redukcyjnej i utleniającej, w celu stwierdzenia obecności zjawiska konwersji („up” lub „down”) jonów domieszek aktywnych. Obecność par jonów Yb^{3+} oraz kooperatywnej emisji stwierdzono w kryształach $\text{CaF}_2:\text{Yb}$, $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}$ oraz $\text{BaY}_2\text{F}_8:\text{Yb}$. W tych ostatnich kryształach zidentyfikowano również zjawisko „up-konwersji”. Wyniki znacznej części z tych badań podsumowano w książce profesorskiej Kierownika Zakładu [6], a także w pracach [1-4, 9-11]. W pracach nad w/w materiałami uczestniczyli również dr Fuks oraz dr Bodziony. Dr Bodziony wystąpił w 2009 r. o otwarcie przewodu **habilitacyjnego** na Uniwersytecie w Poznaniu. Kierownik Zakładu wystąpił w kwietniu 2008 r. do Rady Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej z wnioskiem o wszczęcie procedury nadania mu tytułu **profesora** fizyki. Na dzień dzisiejszy wszystkie recenzje dorobku

naukowego są pozytywne. Wniosek został zatwierdzony przez Komisję Kwalifikacyjną ds. Tytułów Naukowych i czeka w Kancelarii Prezydenta. Dr Fuks, poza badaniami kryształów podwójnych wolframianów i molibdenianów zajmuje się również badaniami podobnych, ale zupełnie nowych związków wolframiano-molibdenianów domieszkowanych jonami ziem rzadkich w postaci proszków, powiększając swój dorobek naukowy do habilitacji.

2. Monokryształy $\text{Sr}_{0.58}\text{Ba}_{0.42}\text{Nb}_2\text{O}_6$. W 2008 r., w ramach planowanych zadań związanych z tematem badań statutowych zorganizowano laboratorium w nowym pomieszczeniu w Instytucie Fizyki (s. 706), przenosząc do niego i instalując pozyskane oprzyrządowanie: zestawy optyczne (ławy, uchwyty, elementy optyczne), lasery He-Ne oraz analizator widma. Na bazie tego oprzyrządowania zestawiono stanowisko do badań właściwości nieliniowych materiałów optycznych – monokrystalicznych płytek oraz światłowodów. Tematykę badań właściwości nieliniowych materiałów uwzględniono w temacie pracy doktorskiej doktorantki studiów zaocznych, która rozpoczęła naukę na tych studiach od października 2008 – mgr Annę Jasik. W ramach tej tematyki doktorantka przygotowała i przeprowadziła w Instytucie Fizyki seminarium na temat: Badanie właściwości nieliniowych światłowodów i innych tlenkowych materiałów nieliniowych. Pani mgr Jasik zajęła się badaniem właściwości dielektrycznych i nieliniowych monokryształów $\text{Sr}_{0.58}\text{Ba}_{0.42}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN) domieszkowanych chromem oraz iterbem, stosowanych m.in. do generacji solitonów w nowoczesnych liniach transmisyjnych sieci telekomunikacyjnych. Monokryształy te uzyskane zostały metodą Czochralskiego w naszym Laboratorium Wzrostu Kryształów. Wyniki tych prac opublikowano w 2008 r. w czasopiśmie: Journal of Physics:Condensed Matter oraz Phase Transitions. Poza kryształami SBN otrzymanymi metodą Czochralskiego w Zakładzie Optoelektroniki IF ZUT w Szczecinie, przeprowadzono analizę właściwości dielektrycznych i optycznych monokryształów SBN czystych oraz domieszkowanych Ce, Co, Cr otrzymanych metodą Stiepanowa w A.M. Prokhorov General Physics Institute RAS w Moskwie.

Materiały te charakteryzują się niezwykle silnym poprzecznym efektem elektro-optycznym i właściwościami fotorefrakcyjnymi. Dlatego monokryształy SBN wykorzystuje się często w przetwornikach na wyższą harmoniczną, jako pamięci optyczne, wzmacniacze fali świetlnej oraz detektory podczerwieni w systemach wykrywania intruzów i pożaru. Chrom występuje zarówno w kryształach SBN domieszkowanych jak i czystych. Domieszki chromu podstawiają

oktaedryczne położenia niobu, a także wchodzą w międzywęzła. Iterb nie podstawia się w położenia sieciowe kryształu SBN. Nie widać go w widmie absorpcji. Jego obecność w tym kryształcie widoczna jest w postaci pasma absorpcji w bliskiej podczerwieni, będącego potwierdzeniem powstawania w kryształcie SBN kompensujących podstawienie iterbu jonów OH⁻. Właściwości dielektryczne kryształów SBN badano przy pomocy zmodyfikowanego mostka Sawyera-Towera. Stwierdzono, że otrzymane metodą Czochralskiego monokryształy SBN wykazują duże wartości przenikalności dielektrycznej oraz rozmyte w funkcji temperatury przejście fazowe paraelektryk-ferroelektryk, charakterystyczne dla relaksorów. Zmierzono również pętle histerezy, stwierdzając, że wartość polaryzacji spontanicznej w tych kryształach wynosi około $2,44 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ i jest silnie zależna od sposobu domieszkowania. Domieszkowanie chromem oraz iterbem przesunęło położenie punktu Curie ($T_c=389\text{K}$) w stronę niższych temperatur. Kryształy SBN wykazują ponadto wysokie przewodnictwo dziurowe, związane z licznymi wakansami tlenowymi. W literaturze brak jest wyników pomiarów właściwości magnetycznych tych kryształów, ponieważ kryształ ten silnie absorbuje promieniowanie mikrofalowe. Nam udało się pomierzyć widmo EPR, którego pole rezonansowe świadczy o dominacji jonów chromu w położeniach międzywęzłowych [7].

Przeprowadzono badania właściwości optycznych i dielektrycznych monokryształów SBN61 ($\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$), otrzymanych w Instytucie Prokhorova w Moskwie metodą Stiepanova i porównano je z odpowiednimi własnościami monokryształów SBN58 otrzymanych metodą Czochralskiego w Zakładzie Optoelektroniki ZUT. Wyniki tych prac przedstawiono na konferencjach w Gdańsku: S.M. Kaczmarek, D. Piwowarska, K. Matyjasek, M. Orłowski, L. Ivleva, "Optical and dielectric properties of SBN:61 single crystals doped with Ni, Cr, Co and Ce", The second Int. Workshop on Adv. Spectr. and Opt. Mat., 13-17 July 2008 Gdańsk i we Lwowie: S.M. Kaczmarek, M. Orłowski, D. Piwowarska, K. Matyjasek, L. I. Ivleva, "Ferroelectric properties of relaxor type SBN single crystals doped with Co, Cr, Ni and Ce", poster, FNMA Lwów 31.08-6.09.2008. Pierwsza prezentacja zakończyła się publikacją w Optical Materials [7], a druga w Rev. Adv. Mat. Sci. [2010 r].

Dla częstotliwości pomiarowej 10 kHz, zmierzone temperatury maksymalne, T_m , SBN61, SBN61:Ni, SBN61:Ce and SBN61:Cr wynoszą 370, 362, 360 oraz 347 K przy wzroście temperatury, oraz, 377, 360, 358 oraz 345 K przy obniżaniu, odpowiednio. Wartości ϵ'_m oraz T_m są wyższe dla próbek SBN otrzymanych metodą Czochralskiego. Próbki SBN otrzymane tą

metodą wykazywały również wyższe przewodnictwo z powodu większej ilości wakansów tlenowych. Stała dyfuzyjna charakteryzująca anomalie typu relaksorowego zmieniała się od 1,25 dla domieszkowania Ce (1,34 dla czystego SBN) do 1,98 dla domieszkowania Cr oraz Ni. Wydaje się, że domieszka Ce odgrywa rolę porządkującą w sieci SBN.

Wszystkie badane próbki wykazywały spadek wartości ϵ' ze wzrostem częstotliwości. Największy taki spadek obserwowano dla próbek domieszkowanych Ce oraz Ni. Największe straty dielektryczne obserwowano dla próbek SBN61:Ni, zaś najniższe dla SBN61:Cr. Wszystkie próbki SBN, za wyjątkiem domieszkowanych Ni, wykazywały liniowy spadek wartości $\tan \delta$ z częstotliwością. W przypadku próbki SBN61:Ni obserwowaliśmy spadek nieliniowy w zakresie częstotliwości 0,1-10 kHz. Badania przepolaryzowania kryształów SBN61 potwierdzają, że wąski zakres relaksacji polaryzacji kryształu SBN61 może być wyjaśniony przez rozrzut wartości pola koercji w efekcie nieuporządkowania ładunkowego. Zmiana lokalnej wartości pola koercji prowadzi do przypadkowego rozkładu barier dla nukleacji, które działają jak „pinning” centra dla ścian domenowych. Pokazano, że nukleacja i wzrost domen w domieszkowanych kryształach SBN jest silnie zależna od przypadkowego pola związanego z właściwościami relaksorowymi tego materiału. Otrzymane rezultaty pozwalają wnioskować, że zachowanie relaksorowe badanych próbek silnie zależy od typu domieszki, a znacznie mniej od stosunku Sr/Ba.

3. Monokryształy $\text{Li}_{2-x}\text{Na}_x\text{Ge}_4\text{O}_9$ ($0 < x < 1$). Wykazują właściwości segnetoelektryczne i specyficzne właściwości optyczne nieliniowe. Przejście fazowe para-ferroelektryczne dla tego kryształu jest typu porządek-nieporządek. Temperatura Curie w nietypowy sposób zależy od składu x. Szczególnie interesujące właściwości monokryształu ten wykazuje w zakresie składu: $0.2 < x < 0.3$. Monokryształy $\text{Li}_{1.72}\text{Na}_{0.28}\text{Ge}_4\text{O}_9$ oraz $\text{Li}_{1.72}\text{Na}_{0.28}\text{Ge}_4\text{O}_9:\text{Cr}$ otrzymano w Laboratorium Wzrostu Kryształów IF ZUT. Ich badania rozpoczęto, a pierwsze wyniki publikowane będą na konferencji w Szklarskiej Porębie w 2010 r. – ESTE. Kryształy SBN oraz $\text{Li}_{2-x}\text{Na}_x\text{Ge}_4\text{O}_9$ i ich badania wchodzi w zakres tematyczny rozprawy doktorskiej Pani mgr Jasik. Na wsparcie realizacji Jej rozprawy doktorskiej, po rozstrzygnięciu odpowiedniego konkursu, mgr A. Jasik otrzymała 20 000 zł z Wojewódzkiego Urzędu Pracy w Szczecinie w ramach projektu „Inwestycja w wiedzę motorem rozwoju innowacyjności w regionie”.

3. Monokryształy PbMoO_4 oraz $\text{PbMoO}_4:\text{Co}$. Wytworzono nowe monokryształy nieliniowe: $\text{PbMoO}_4:\text{Co}$, których właściwości opisano w pracy [8] oraz Journal of Non-Crystalline Solids. Zbadano ich właściwości optyczne, dielektryczne oraz strukturalne (metodą RHEED). Materiały te okazują się być dobrymi matrycami laserów Ramanowskich. Nas interesował rodzaj defektów strukturalnych pojawiających się w tych kryształach po ich domieszkowaniu jonami kobaltu. Szczegółowe badania przenikalności dielektrycznej, przewodnictwa i tangensa strat w funkcji temperatury (290-400 K) przy częstotliwości 10 kHz oraz częstotliwości (1Hz-100kHz) pokazały wyraźny wpływ domieszki kobaltu na właściwości dielektryczne monokryształów PbMoO_4 . Energia aktywacji przewodnictwa czystych i domieszkowanych kobaltem kryształów oszacowana została, jako: 0.74 oraz 0.66 eV, odpowiednio. Badania spektralne wykazały obecność słabego pasma absorpcji z maksimum dla 500 nm, odpowiadającego przejściu elektronowemu $^4\text{A}_2-^4\text{T}_1(\text{P})$ w jonach kobaltu w położeniach tetraedrycznych. Zaobserwowano również pasmo z maksimum dla 860 nm, charakterystyczne dla centrów typu F (tlen) oraz wakansów Pb. Badania EPR potwierdziły obecność w kryształach PbMoO_4 sprzężonych antyferromagnetycznie jonów kobaltu. Badaniem tego kryształu w ramach przyszłej pracy habilitacyjnej zajmowała się dr Piwowarska.

4. Monokryształy FeVO_4 . Otrzymane zostały w Laboratorium Wzrostu Kryształów IF ZUT. Otrzymano je metodą transportu chemicznego. Są wykorzystywane w przemyśle (w postaci proszkowej), jako katalizatory. Analizowaliśmy ich właściwości magnetyczne (EPR) w celu zrozumienia mechanizmu katalizy. Z uwagi na kłopoty z interpretacją niektórych linii EPR postanowiliśmy rozszerzyć nasze zainteresowanie o InVO_4 czysty oraz słabo i silnie domieszkowany Fe oraz o izostrukuralny względem FeVO_4 związek AlVO_4 . Z analizy związku InVO_4 różnie domieszkowanego żelazem okazało się, że obserwowane w ortowanadanie żelaza w niskich temperaturach linie EPR pochodzą od wanadu czterowartościowego. Uznaliśmy za konieczne zbadanie wszystkich możliwych rodzajów struktury, w której krystalizują FeVO_4 oraz AlVO_4 , stąd zdecydowaliśmy się przeprowadzić analizę XRD w wysokich ciśnieniach. Odpowiednie badania przeprowadzono w Lund, w Szwecji. Wyniki tych badań są aktualnie analizowane. Zostaną wykorzystane do napisania pracy doktorskiej przez mgr. B. Bojanowskiego.

5. Nowe materiały laserowe i luminescencyjne (fosfory). Przeprowadzono prace nad otrzymaniem metodą z fazy stałej oraz zbadano właściwości spektralne nowych materiałów, mogących być matrycami laserowymi, w tym wolframianów i molibdenianów oraz wolframiano-molibdenianów. Stwierdzono, że nieznanne dotąd rodzaje materiałów, domieszkowane jonami ziem rzadkich, mogą wykazywać dobre właściwości luminescencyjne, interesujące z punktu widzenia ich zastosowań, jako potencjalnych laserów i fosforów. Wyniki badań właściwości chemicznych oraz spektralnych IR oraz EPR przedstawiono w pracach [12-13] oraz w wystąpieniach S.M. Kaczmarek, E. Tomaszewicz, H. Fuks, "Spectroscopic investigations of new class of rare-earth and zinc/cadmium tungstates and molybdate-tungstates" oraz E. Tomaszewicz, G. Dąbrowska, S.M. Kaczmarek, H. Fuks, "Solid-state synthesis and characterization of new cadmium and rare-earth metal molybdate-tungstates $Cd_{0.25}RE_{0.50}(MoO_4)_{0.25}(WO_4)_{0.75}$ " na konferencji w Sulmonie, 6-th International Workshop on Functional and Nanostructured Materials, FNMA09, L'Aquila, Italy, 27-30.09.09 oraz S.M. Kaczmarek, E. Tomaszewicz, H. Fuks, "New cadmium and rare-earth metal molybdates ($CdRE_2(MoO_4)_2$) with the scheelite type structure" na konferencji ICOM_2009, Herceg Novi, Montenegro, International Conference on Physics of Optical Materials and Devices. Wystąpienia konferencyjne zakończone zostały publikacjami, które ukażą się w Journal of Non-Crystalline Solids oraz Material Chemistry and Physics w 2010 r. Złożono również zgłoszenia patentowe w Urzędzie Patentowym na niektóre spośród tych materiałów [14-15]. W 2009 r. ZUT otrzymała pieniądze na realizację projektu własnego w kwocie 250 000 zł z tej tematyki. Głównymi wykonawcami projektu są Prof. dr hab. inż. S.M. Kaczmarek oraz dr. H. Fuks. W pracach nad nowymi materiałami uczestniczy również mgr. Tomasz Skibiński, doktorant studiów niestacjonarnych.

Publikacje:

1. T. Bodziony, S.M. Kaczmarek, Cz. Rudowicz, "Temperature dependence of the EPR lines in weakly doped $LiNbO_3:Yb$ – possible evidence of Yb^{3+} ion pairs formation", Physica B 403, 207-218 (2008)
2. S.M. Kaczmarek, T. Bodziony, "Low symmetry centers in $LiNbO_3$ doped with Yb and Er", Journal of Non-Crystalline Solids 354, 4202-4210 (2008)
3. T. Bodziony, S.M. Kaczmarek, "EPR study of low symmetry Er centers in congruent lithium niobate"

4. S.M. Kaczmarek, G. Leniec, G. Boulon, „EPR results and Raman spectroscopy as a complementary characterization of isolated Yb ions and Yb pairs in $\text{CaF}_2 : \text{Yb}$ single crystals”, *Journal of Alloys and Compounds* 451, 116-121 (2008)
5. H. Fuks, S.M. Kaczmarek, T. Bodziony, M. Berkowski, „EPR and optical measurements of highly doped $\text{SrLaGa}_3\text{O}_7 : \text{Co}$, V single crystals”, *Applied Magnetic Resonance* 34, 27-36 (2008)
6. S.M. Kaczmarek, „Wpływ promieniowania jonizującego na właściwości optyczne materiałów stosowanych w optoelektronice”, Książka. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej 2008
7. S.M. Kaczmarek, D. Piwowarska, K. Matyjasek, M. Orłowski, L.I. Ivleva, „Optical and dielectric properties of SBN61 single crystals doped with Co, Cr, Ni and Ce”, *Optical Materials* 31, 1794-1797 (2009)
8. D. Piwowarska, S.M. Kaczmarek, P. Potera, P. Sagan, M. Berkowski, „Structural defects in PbMoO_4 single crystals doped with Co^{2+} ions”, *Optical Materials* 31, 1798-1801 (2009)
9. H. Fuks, S.M. Kaczmarek, L. Macalik, B. Macalik, J. Hanuza, „EPR and vibrational studies of $\text{YVO}_4 : \text{Tm}^{3+}$, Yb^{3+} single crystal”, *Optical Materials* 31, 1883-1887, 2009
10. T. Bodziony, S.M. Kaczmarek, „Temperature dependence of the EPR spectra and optical measurements of $\text{LiNbO}_3 : \text{Er}$, Tm single crystal”, *Journal of Alloys and Compounds* 468, 581-585, 2009
11. S.M. Kaczmarek, G. Leniec, J. Typek, G. Boulon, A. Bensalah, „Optical and EPR study of BaY_2F_8 single crystals doped with Yb”, *Journal of Luminescence* 129, 1568-1574, 2009
12. E. Tomaszewicz, S.M. Kaczmarek, H. Fuks, „New cadmium and rare earth metal tungstates with the sheelite type structure”, *Journal of Rare Earths*, vol. 27, No. 4, 569-573, 2009
13. E. Tomaszewicz, J. Typek, S.M. Kaczmarek, „Synthesis, characterization and thermal behaviour of new copper and rare-earth metal tungstates”, *Journal of Therm. Anal. Calorim.* 98, 409-421, 2009
14. **Zgłoszenie patentowe:** Sposób wytwarzania oksysoli w dwuskładnikowym układzie molibdenianu (VI) kadmu i wolframianów (VI) metali, Patent P.389129 [WIPO ST 10/C PL389129]
15. **Zgłoszenie patentowe:** Oksysól w dwuskładnikowym układzie molibdenianu (VI) kadmu i molibdenianów (VI) metali i sposób wytwarzania oksysoli w dwuskładnikowym układzie molibdenianu (VI) kadmu i molibdenianów (VI) metali. 388827 Patent P. 388827 [WIPO ST 10/C PL388827]

W roku 2008 **doktorat** obronił pracownik Zakładu Optoelektroniki mgr Grzegorz Leniec, promotor: dr hab. inż. S.M. Kaczmarek.

W roku 2008 pracownicy zakładu przedstawili 15 plakatów, wygłosili 3 referaty [1, 6, 10], w tym jeden proszony [1]:

- 1 - S.M. Kaczmarek, G. Leniec, "Spectral and magnetic properties of macroacyclic and macrobicyclic Schiff base RE complexes as selective catalyzers, contrasts and enzymes", **invited paper**, FNMA Lwów 31.08-6.09.2008
- 2 - H. Fuks, S.M. Kaczmarek, M. Bosacka, "EPR properties of $\text{Cr}_2\text{P}_4\text{O}_{13}$, $\square\text{-CrPO}_4$, $\text{Cr}_4(\text{P}_2\text{O}_7)_3$ and $\text{Cr}(\text{PO}_3)_3$ ", **poster**, FNMA Lwów 31.08-6.09.2008
- 3 - G. Leniec, S.M. Kaczmarek, J. Typek, B. Kołodziej, P. Przybylski, E. Grech, B. Brzeziński, "EPR and IR study of a Dy(III) macroacyclic Schiff base complex", **poster**, FNMA Lwów 31.08-6.09.2008
- 4 - E. Tomaszewicz, S.M. Kaczmarek, "IR and magnetic properties of the compounds formed in the solid state between CuWO_4 , CdWO_4 and RE_2WO_6 ($\text{RE}=\text{Nd}$, Sm , Eu , Gd , Dy , Ho and Er)", **poster**, FNMA Lwów 31.08-6.09.2008
- 5 - S.M. Kaczmarek, M. Orłowski, D. Piwowska, K. Matyjasek, L. I. Ivleva, "Ferroelectric properties of relaxor type SBN single crystals doped with Co, Cr, Ni and Ce", **poster**, FNMA Lwów 31.08-6.09.2008
- 6 - T. Bodziony, S.M. Kaczmarek, R. Kruk, "Influence of Tm codopant on magnetic properties of Er-doped lithium niobate single crystals", **lecture**, FNMA Lwów 31.08-6.09.2008
- 7 - N. Guskos, Żołnierkiewicz, J. Typek, Orłowski, A. Guskos, Z. Czech, A. Mickiewicz, "Temperature dependence of FMR spectra of $\square\text{-Fe}_2\text{O}_3$ magnetic nanoparticles forming different agglomerates in glue", **poster**, FNMA Lwów 31.08-6.09.2008
- 8 - N. Guskos, G. Żołnierkiewicz, M. Orłowski, J. Typek, J. Błyszko, W. Kiernożycki, U. Narkiewicz, M. Podsiadły, "FMR study of nickel nanoparticles in concrete", **poster**, FNMA Lwów 31.08-6.09.2008
- 9 - S.M. Kaczmarek, G. Leniec, J. Typek, G. Boulon, A. Bensalah, "Optical and EPR properties of BaY_2F_8 single crystals doped with Yb", poster, 15-th International Conference on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter, **poster**, ICL'08, Lyon, 7-11 July 2008, France
- 10 - H. Fuks, L. Macalik, S.M. Kaczmarek, B. Macalik, J. Hanuza, "EPR, IR, Raman and PL spectroscopy of $\text{YVO}_4:\text{Yb}$, Tm single crystals", **lecture**, The second Int. Workshop on Adv. Spectr. and Opt. Mat., 13-17 July 2008 Gdańsk, Poland
- 11 - S.M. Kaczmarek, D. Piwowska, K. Matyjasek, M. Orłowski, L. Ivleva, "Optical and dielectric properties of SBN:61 single crystals doped with Ni, Cr, Co and Ce", The second Int. Workshop on Adv. Spectr. and Opt. Mat., **poster**, 13-17 July 2008 Gdańsk, Poland
- 12 - S.M. Kaczmarek, T. Bodziony, R. Kruk, "Magnetic properties of $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}$ single crystals", poster, The second Int. Workshop on Adv. Spectr. and Opt. Mat., **poster**, 13-17 July 2008 Gdańsk, Poland
- 13 - P. Tabero, H. Fuks, "Studies on $\text{FeNb}_{11}\text{O}_{29}$ dimorphic phases by EPR and IR spectroscopy", poster, The second Int. Workshop on Adv. Spectr. and Opt. Mat., **poster**, 13-17 July 2008 Gdańsk, Poland

- 14 - P. Tabero, H. Fuks, "Studies on $Fe_{1-x}V_{1+x}O_4$ phase by EPR and IR spectroscopy", poster, The second Int. Workshop on Adv. Spectr. and Opt. Mat., **poster**, 13-17 July 2008 Gdańsk, Poland
- 15 - D. Piwowarska, S.M. Kaczmarek, M. Berkowski, P. Potera, P. Sagan, "Structural, dielectric, electron paramagnetic resonance and optical studies of $PbMoO_4$ single crystals doped with Co^{2+} ions", poster, The second Int. Workshop on Adv. Spectr. and Opt. Mat., **poster**, 13-17 July 2008 Gdańsk, Poland
- 16 - S.M. Kaczmarek, G. Leniec, J. Typek, G. Boulon, A. Bensalah, "Optical and EPR properties of BaY_2F_8 single crystals doped with Yb", **poster**, The second Int. Workshop on Adv. Spectr. and Opt. Mat., 13-17 July 2008 Gdańsk, Poland
- 17 - E. Tomaszewicz, L. Białończyk, S.M. Kaczmarek, H. Fuks, "New cadmium and rare-earth metal tungstates with the scheelite type structure", Karpacz, **poster**, RE spectroscopy 2008
- 18 - E. Tomaszewicz, D. Piwowarska, S.M. Kaczmarek, "Reactivity in the solid state between copper tungstate and some rare-earth metal molybdates (RE_2MoO_6)", Karpacz, **poster**, RE spectroscopy 2008

W roku 2009 pracownicy zakładu przedstawili 5 plakatów, wygłosili 3 referaty [1, 2, 4], z czego dwa prozzone [1, 4]:

- 1 - W. Drozdowski, A. Wojtowicz, S.M. Kaczmarek, M. Berkowski, "Scintillation YIELD of BGO pixel crystals", LUMDETR'2009, 7th International Conference on Luminescent Detectors and Transformers of Ionizing Radiation, 12-17 July 2009, Kraków, Poland, **invited paper**
- 2 - S.M. Kaczmarek, H. Fuks, L. Macalik, B. Macalik, J. Hanuza, "EPR and vibrational studies of some tungstates and molybdates single crystals", ICOM_2009, Herceg Novi, Montenegro, International Conference on Physics of Optical Materials and Devices, **oral** presentation, 27-30.08.09
- 3 - E.Tomaszewicz, S.M.Kaczmarek, H.Fuks, "New cadmium and rare-earth metal molybdates ($CdRE_2(MoO_4)_2$) with the scheelite type structure", ICOM_2009, Herceg Novi, Montenegro, International Conference on Physics of Optical Materials and Devices, **poster**, 27-30.08.09
- 4 - S.M. Kaczmarek, M. Guzik, J. Cybińska, E. Tomaszewicz, H. Fuks, "Spectroscopic investigations of new class of rare-earth and zinc/cadmium tungstates and molybdatotungstates", 6-th International Workshop on Functional and Nanostructured Materials, **invited paper**, FNMA09, L'Aquila, Italy, 27-30.09.09
- 5 - E. Tomaszewicz, S.M. Kaczmarek, G. Leniec, "Re-investigations of some properties of gadolinium sulphate octahydrate and intermediate products of its decomposition", 6-th International Workshop on Functional and Nanostructured Materials, **poster**, FNMA09, L'Aquila, Italy, 27-30.09.09
- 6 - E. Tomaszewicz, G. Dąbrowska, S.M. Kaczmarek, H. Fuks, "Solid-state synthesis and characterization of new cadmium and rare-earth metal molybdatotungstates $Cd_{0.25}RE_{0.50}(MoO_4)_{0.25}(WO_4)_{0.75}$ ", 6-th International Workshop on Functional and Nanostructured Materials, **poster**, FNMA09, L'Aquila, Italy, 27-30.09.09

7 - A. Makal, K. Woźniak, A. Szady-Chełmieniecka, E. Tomaszewicz, G. Leniec, S.M. Kaczmarek, E. Grech, "Synthesis, crystal structure and characterization of a new monohydrate NCS^- and Schiff base copper(II) complex", 6-th International Workshop on Functional and Nanostructured Materials, **poster**, FNMA09, L'Aquila, Italy, 27-30.09.09

8 - S.M. Kaczmarek, E. Tomaszewicz, A. Jasik, G. Leniec, "EPR and IR studies of some praseodymium(III) tungstates", 6-th International Workshop on Functional and Nanostructured Materials, **poster**, FNMA09, L'Aquila, Italy, 27-30.09.09

Zadanie będzie dalej kontynuowane.

Uzasadnienie kontynuowania prowadzonych dotychczas zadań badawczych:

Optoelektronika jest obecnie jedną z najprężniej rozwijających się dziedzin nauki. Aktualne zagadnienia badawcze wpisują się w zapotrzebowanie optoelektroniki krajowej na nowe materiały. Efektem podjętych zadań badawczych będzie opracowanie technologii wytwarzania nowych kryształów oraz związków chemicznych. Wyniki prac opisane zostaną w licznych publikacjach, w czasopismach z LF. Podczas realizacji tej tematyki przewiduję zakończenie prac nad trzema rozprawami doktorskimi (mgr. Bojanowski, mgr Jasik, mgr Skibiński) oraz wszczęcie dwóch przewodów habilitacyjnych (dr Fuks) i zakończenie innego (dr. Bodziony).

Temat zadania badawczego przewidzianego do finansowania w 2010 r.

W 2010 r. przewiduje kolejne prace w zakresie: „synteza, otrzymywanie metodą Czochralskiego oraz badania właściwości spektralnych i EPR materiałów tlenkowych, domieszkowanych ziemiami rzadkimi i metalami przejściowymi, dla zastosowań w optoelektronice”.

Uzasadnienie:

Dotychczasowe prace prowadzone w moim zakładzie w w/w tematyce zakończone zostały bardzo licznymi publikacjami w czasopismach z LF, wystąpieniami konferencyjnymi oraz zgłoszeniami patentowymi, co świadczy o prawidłowości wyboru tej tematyki. W/w badania prowadzone są zgodnie z założonymi przez Krajowy Program Ramowy Priorytetowymi Kierunkami Badań (Pkt 6. Nowe Materiały i Technologie. Pkt 6.2. Zaawansowane materiały i

urządzenia elektroniczne oraz optoelektroniczne. Pkt 6.4. Wysokoprzetworzone związki chemiczne oraz materiały o złożonych właściwościach).

Kierownik Zakładu Optoelektroniki IF ZUT

Prof. dr hab. inż. S.M. Kaczmarek