

Autoreferat

Dr inż. Remigiusz Kowalik

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Wydział Metali Nieżelaznych

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko:

Remigiusz Kowalik

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania, tytułu rozprawy doktorskiej i nazwisk osób, które pełniły funkcje promotora i recenzentów

Doktor nauk technicznych

Kierunek: Metalurgia

Tytuł pracy: Określanie warunków elektrochemicznego otrzymywania ZnSe z roztworów wodnych

Data obrony: 28.11.2006

Miejsce: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Fitzner

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Stanisław Bala, prof. dr hab. Lidia Burzyńska

Magister inżynier

Kierunek: Metalurgia

Tytuł pracy: Rafinacja selenu

Data obrony: 07.07.2000

Miejsce: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Fitzner

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Adiunkt

Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Katedra Chemii Fizycznej i Elektrochemii

10.2008 – obecnie

Asystent

Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Katedra Chemii Fizycznej i Elektrochemii

11.2004-10.2008

Starszy referent techniczny

Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Katedra Chemii Fizycznej i Elektrochemii

07.2004-11.2004

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny Metalurgia zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki
 - a. tytuł osiągnięcia naukowego

Elektrochemiczna synteza powłok półprzewodnikowych z roztworów wodnych

- b. wykaz prac naukowych, dokumentujących osiągnięcie (osiągnięcia) naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

A-1 Sylwia Gawęda, Remigiusz Kowalik, Przemysław Kwolek, Wojciech Macyk, Justyna Mech, Marek Oszajca, Agnieszka Podborska, Konrad Szaciłowski, Nanoscale digital devices based on the photoelectrochemical photocurrent switching effect: preparation, properties and applications, 2011, WILEY-VCH, Israel Journal of Chemistry, 51, s. 36–55

Impact Factor: 1.535 punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2012): 20.000

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu rozdziału dotyczącego otrzymywania półprzewodników metodą elektrochemiczną i przygotowaniu manuskryptu do publikacji. Mój udział procentowy szacuję na 12,5 %.

A-2 Remigiusz Kowalik, Microgravimetric studies of selenium electrodeposition onto different substrates, 2014, Archives of Metallurgy and Materials, Polish Academy of Sciences. Committee of Metallurgy. Institute of Metallurgy and Materials Science, 59, s. 871–877

Impact Factor: 1.090 punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2014): 25.000

Mój udział procentowy szacuję na 100 %.

A-3 Remigiusz Kowalik, The voltammetric analysis of selenium electrodeposition from H_2SeO_3 solution on gold electrode, 2015, Archives of Metallurgy and Materials, Polish Academy of Sciences. Committee of Metallurgy. Institute of Metallurgy and Materials Science, 60, s. 57–63

Impact Factor: 1.090 (2014) punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 30.000

Mój udział procentowy szacuję na 100 %.

A-4 Karolina Kołczyk, Remigiusz Kowalik, Krzysztof Mech, Piotr Żabiński, Electrochemical deposition of selenium on copper, 2016, Key Engineering Materials, vol. 682, s. 189–196

brak Impact Factor brak punktacji

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania selenu i molibdenu, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy składu pierwiastkowego i fazowego otrzymanych powłok, analizy wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 50 %.

A-5 Remigiusz Kowalik, Dawid Kutyła, Krzysztof Mech, Tomasz Tokarski, Piotr Żabiński, Electrowinning of tellurium from acidic solutions, 2015, Archives of Metallurgy and Materials, Polish Academy of Sciences. Committee of Metallurgy. Institute of Metallurgy and Materials Science, 60, s. 591–596

Impact Factor: 1.090 (2014) punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 30.000

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania telluru, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy składu pierwiastkowego i fazowego otrzymanych powłok, analizy wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 60 %.

A-6 Remigiusz Kowalik, Dawid Kutyla, Krzysztof Mech, Piotr Żabiński, Analysis of tellurium thin films electrodeposition from acidic citric bath, 2016, Applied Surface Science, doi:10.1016/j.apsusc.2016.03.127, in press

Impact Factor: 2.711 (2014) punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 35.000

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania telluru, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy składu pierwiastkowego i fazowego otrzymanych powłok, analizy wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 80 %.

A-7 Monika Duda, Remigiusz Kowalik, Krzysztof Mech, Piotr Żabiński, Electrochemical deposition of CdS thin films from acid solutions, 2012, Rudy i Metale Nieżelazne, SIGMA-NOT, 57, s. 586–591
brak Impact Factor punktacja (lista B czasopism MNiSW, 2012): 7.000

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania powłok, opracowaniu metody otrzymywania powłok CdS metodą impulsową, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy składu pierwiastkowego i fazowego otrzymanych powłok, analizy wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 60 %.

A-8 Remigiusz Kowalik, Dawid Kutyla, Krzysztof Mech, Mirosław Wróbel, Tomasz Tokarski, Piotr Żabiński, Electrochemical codeposition of molybdenum and selenium, Metallurgy and Foundry Engineering, 2015, AGH University of Science and Technology, vol. 41, s. 7–16

brak Impact Factor punktacja (lista B czasopism MNiSW, 2015): 9.000

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania selenu i molibdenu, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy składu pierwiastkowego i fazowego otrzymanych powłok, analizy wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 50 %.

A-9 Remigiusz Kowalik, Dawid Kutyla, Krzysztof Mech, Piotr Żabiński, Mirosław Wróbel, Tomasz Tokarski, Electrochemical deposition of Mo-Se thin films, 2015, ECS Transactions, The Electrochemical Society, vol. 64, iss. 29, s. 23–32

brak Impact Factor brak punktacji

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania powłok Mo-Se, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy składu pierwiastkowego i fazowego otrzymanych powłok, analizy wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 50 %.

A-10 Remigiusz Kowalik, Konrad Szaciłowski, Piotr Żabiński, Photoelectrochemical study of ZnSe electrodeposition on Cu electrode, 2012, Journal of Electroanalytical Chemistry, Elsevier, 674, s. 108–112

Impact Factor: 2.672 punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2012): 30.000

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych i fotoelektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania powłok, opracowaniu metody otrzymywania powłok ZnSe, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 80 %.

A-11 Krzysztof Mech, Remigiusz Kowalik, Piotr Żabiński, Cu thin films deposited by DC magnetron sputtering for contact surfaces on electronic components, 2011, Archives of Metallurgy and Materials, Polish Academy of Sciences. Committee of Metallurgy. Institute of Metallurgy and Materials Science, 56, s. 903–908

Impact Factor: 0.487 punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2012): 20.000

Mój udział polegał na opracowaniu metody otrzymywania powłok, otrzymywaniu powłok metodą napyłania magnetronowego, doborze materiału do osadzania powłok, analizie składu pierwiastkowego i fazowego, analizie i opracowaniu wyników oraz przygotowaniu tekstu manuskryptu. Swój udział szacuję na 60 %.

A-12 Remigiusz Kowalik, Piotr Żabiński, Krzysztof Mech, Electrochemical studies of Cd UPD on polycrystalline silver, 2013, Electrochemistry Communications, Elsevier, 31, s. 49–51

Impact Factor: 4.287 punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2013): 40.000

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania kadmu, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 80 %.

A-13 Remigiusz Kowalik, Analysis of the underpotential deposition of cadmium on copper, 2015, Archives of Metallurgy and Materials, Polish Academy of Sciences. Committee of Metallurgy. Institute of Metallurgy and Materials Science, 60, s. 1629-1632

Impact Factor: 1.090 (2014) punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 30.000

Mój udział procentowy szacuję na 100 %.

A-14 Remigiusz Kowalik, Electrodeposition of CdSe by ECALD from citric buffer, 2016, Journal of The Electrochemical Society, The Electrochemical Society, vol. 163, s. D282–D286

Impact Factor: 3,266 (2014) punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 40.000

Mój udział procentowy szacuję na 100 %.

A-15 Remigiusz Kowalik, Krzysztof Mech, Dawid Kutyła, Tomasz Tokarski, Piotr Żabiński, Magnetic field effect on the electrodeposition of ZnSe, 2015, Magnetohydrodynamics, Institute of Physics, University of Latvia, 51 s. 345–352

Impact Factor: 0.380 (2014) punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 15.000

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania powłok, opracowaniu metody otrzymywania powłok ZnSe, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy składu fazowego otrzymanych powłok, analizy wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 60 %.

A-16 Remigiusz Kowalik, Honorata Kazimierczak, Piotr Żabiński, Electrodeposition of cadmium selenide, 2016, Materials Science in Semiconductor Processing, 50, s. 43-48

Impact Factor: 1.955 (2014) punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 25.000

Mój udział polegał na opracowaniu metodyki badań elektrochemicznych wykorzystywanych do analizy mechanizmu i kinetyki elektrochemicznego osadzania selenku kadmu, dobór składu elektrolitów i podłoża do osadzania, analizy składu pierwiastkowego i fazowego otrzymanych powłok, analizie i interpretacji wyników badań i przygotowaniu manuskryptu. Swój udział szacuję na 80 %.

B-1 Autorzy: Sylwia Gawęda, Remigiusz Kowalik, Przemysław Kwolek, Wojciech Macyk, Justyna Mech, Marek Osajca, Agnieszka Podborska, Konrad Szaciłowski

Tytuł rozdziału: Hybrid semiconducting materials: new perspectives for molecular-scale information processing

Tytuł książki: Molecular and supramolecular information processing : from molecular switches to logic systems

ed. Evgeny Katz, Wiley-VCH, 2012, ISBN: 978-3-527-33195-6, s. 121–173

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu rozdziału dotyczącego otrzymywania półprzewodników metodą elektrochemiczną przygotowaniu manuskryptu do publikacji. Mój udział procentowy szacuję na 12,5 %.

- c. omówienie celu naukowego w/w pracy/prac i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Cel badań i zastosowanie cienkich powłok półprzewodnikowych

Synteza nowych materiałów oraz analiza mechanizmu ich wytwarzania jest jednym z najdynamiczniej rozwijających się obecnie obszarów badawczych wchodzących w zakres inżynierii materiałowej. Podyktowane jest to wzrastającym zapotrzebowaniem na innowacyjne materiały o nowych lub polepszonych właściwościach w stosunku do obecnie stosowanych. Czynnikiem motywującym tego rodzaju badania są także, chęć obniżenia kosztów produkcji poprzez optymalizację znanych procesów lub zaproponowanie nowatorskiej, uzasadnionej ekonomicznie technologii umożliwiającej syntezę materiałów funkcjonalnych o oczekiwanych właściwościach.

W ostatnim okresie obserwuję się na świecie intensywny wzrost zainteresowania cienkimi powłokami półprzewodnikowymi. Przykładami takich materiałów są powłoki selenowe lub tellurowe, a także związki tlenowców z metalami z grup przejściowych np. CdS, CdTe, MoSe₂ itd.. Ze względu na swoje właściwości półprzewodniki z tej grupy stanowią perspektywiczne materiały, które mogą być wykorzystane do produkcji ogniw fotowoltaicznych i fotoelektrochemicznych, materiałów spełniających rolę katalizatorów w ogniwach paliwowych, czy elektrolizerach do produkcji wodoru metodą elektrolizy. Ponadto materiały te także mogą być wykorzystywane do produkcji diod elektroluminescencyjnych, laserów półprzewodnikowych czy detektorów światła.

Obecnie powłoki półprzewodnikowe otrzymuje się przede wszystkim z fazy gazowej. Stosuję się tutaj zarówno chemiczne (CVD – chemical vapour deposition), jak i fizyczne (PVD - physical vapour deposition) procesy nanoszenia warstw z fazy gazowej, oraz ich poszczególne odmiany. Powyższe techniki dają bardzo duże możliwości otrzymywania powłok wysokiej jakości. Jednak ciągle obarczone są barierami w postaci wysokich kosztów aparatury niezbędnej do produkcji oraz bardzo wysoki poziom zaawansowania tych technologii, co wymaga wysoko wykwalifikowanej kadry.

Otrzymywanie powłok półprzewodnikowych metodami elektrochemicznymi jest znacznie rzadziej rozpowszechnione. Należy tutaj podkreślić, że elektrochemiczne metody nakładania powłok są powszechnie stosowane w przypadku warstw metalicznych. Do ich największych zalet należą:

- niskie koszty prowadzenia procesu,
- możliwość dużych powierzchni, a także pokrywania powierzchni o skomplikowanych kształtach, również porowatych,
- możliwość precyzyjnego kontrolowania procesów zachodzących podczas osadzania powłok, a tym samym ich składu, morfologii, struktury i grubości,
- procesy zachodzące podczas elektrolizy są bliskie procesom równowagowym, co umożliwia minimalizację naprężeń wewnętrznych,
- możliwość otrzymywania wielowarstwowych periodycznych struktur o grubości rzędu nanometrów,
- nanoszenie wielowymiarowych struktur z wykorzystaniem fotomasek, matryc tlenkowych lub organicznych,
- niska temperatura prowadzenia procesu niemalże uniemożliwia dyfuzję atomów między nałożoną powłoką a substratem,
- brak konieczności stosowania toksycznych związków metaloorganicznych stwarzających zagrożenie dla środowiska naturalnego,
- brak konieczności stosowania podwyższonych temperatur oraz próżni, co znacznie obniża koszty wytwarzania powłok.

W związku z powyższym wydaję się więc, że zaproponowanie syntezy powłok półprzewodnikowych metodą elektrochemiczną, z uwagi na jej prostotę oraz niskie koszty realizacji sprawia, że jest bardzo obiecujące i wpisuje się w obszar zainteresowań dzisiejszej inżynierii materiałowej. Analiza procesu elektrochemicznego otrzymywania powłok

półprzewodnikowych jest bardzo ciekawa z punktu widzenia możliwości otrzymania tego typu materiałów. Motywem przekonyującym do zastosowania metody elektrochemicznej jest fakt, że jest jedną z najtańszych technologii wykorzystywanych do otrzymywania powłok. Należy także nadmienić, że otrzymane w ten sposób warstwy mogą charakteryzować się zupełnie odmiennymi właściwościami niż ich odpowiedniki otrzymane konkurencyjnymi metodami.

Otrzymywanie powłok półprzewodnikowych o zadanych właściwościach wymaga opanowania mechanizmów syntezy. Obecnie coraz więcej ośrodków badawczych prowadzi badania nad poznaniem mechanizmów i kinetyki syntezy związków półprzewodnikowych metodami elektrochemicznymi, co w rezultacie ma zaowocować opracowaniem technologii elektrochemicznego otrzymywania takich powłok. Kluczowymi problemami są tutaj możliwość otrzymania związków półprzewodnikowych o określonej stechiometrii oraz specyficznej strukturze. Właściwości te decydują o parametrach elektrycznych i optycznych otrzymywanych powłok, a tym samym o ich walorach aplikacyjnych. Przeprowadzone przeze mnie badania znacznie poszerzają wiedzę na temat elektrochemii półprzewodników i zjawisk zachodzących na granicy faz półprzewodnik-elektrolit, co sprzyja rozwojowi tej dziedziny inżynierii materiałowej. Należy tutaj nadmienić, że wraz z jej rozwojem pojawiły się nowe możliwości aplikacyjne dla półprzewodników: przetwarzanie energii słonecznej na elektryczną za pomocą ogniw fotoelektrochemicznych, oczyszczanie powietrza i wody z wykorzystaniem fotokatalitycznych właściwości półprzewodników czy wzbudzające obecnie największe zainteresowanie elektrochemiczne kondensatory i baterie oraz katalizatory charakteryzujące się niskim nad napięciem dla reakcji redukcji wodoru i tlenu, które są kluczowe dla reakcji elektrodowych zachodzących w ogniwach paliwowych lub w elektrolizerach do produkcji wodoru.

Bardzo duża grupa półprzewodników bazuje na związkach selenu i telluru. Wydają się, że poznanie właściwości elektrochemicznych tych pierwiastków ma duże znaczenie, gdyż należą one do tzw. pierwiastków krytycznych. Ponadto oba pierwiastki występują w polskich złożach miedzi. W związku z powyższym wydają się, że znajomość elektrochemii tej grupy pierwiastków staje się niezwykle istotna. Należy dodatkowo nadmienić, że znaczna część moich prac jest związana z selenem i tellurem. Może ona być wykorzystana tak do opracowania technologii produkcji tych pierwiastków z surowców pierwotnych, jak i ich odzysku z materiałów wtórnych. Stąd dodatkowym walorem tej pracy znacznie poszerzającym możliwości aplikacyjne zawartego w niej materiału badawczego jest możliwość jego wykorzystania do opracowania technologii elektrochemicznej produkcji selenu i telluru, lub też odzysku ich na drodze elektrochemicznej z surowców wtórnych.

Przegląd literatury dotyczący możliwości otrzymywania powłok półprzewodnikowych metodą elektrochemiczną został przedstawiony w artykule [A-1], który jednocześnie opisuje możliwości ich zastosowania. Na zaproszenie prof. Evgeny Katz'a powyższa publikacja została dodatkowa opublikowana w postaci rozdziału w książce, której był on edytorem [B-1]. W omawianej publikacji przedstawiono możliwości otrzymywania powłok półprzewodnikowych metodą elektrochemiczną. Wskazano na możliwość wykorzystania metody elektrochemicznej do procesu otrzymywania powłok półprzewodnikowych bazujących na pojedynczych

pierwiastkach (krzem, german), jak i syntezę powłok na bazie związków półprzewodnikowych (ZnSe). Wskazano na szereg zalet metody elektrochemicznej, wynikające z szerokiej gamy parametrów, którymi można manipulować w celu optymalizacji procesu elektrolizy pod kątem otrzymania powłok o pożądanym składzie i właściwościach. Na podstawie dokonanego przeglądu stwierdzono, że jak do tej pory dokonane próby ograniczały się do wąskiej grupy elektrolitów, a także nie uwzględniały możliwości wykorzystania innych rodzajów podłoża w procesie elektrochemicznego otrzymywania powłok półprzewodnikowych.

Analiza mechanizmu otrzymywania powłok selenowych

Selen znajduje bardzo szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, jednak ze względu na swoje właściwości jest przede wszystkim wykorzystywany w przemyśle półprzewodnikowym. Jest on wykorzystywany do produkcji różnego rodzaju powłok światłoczułych lub do syntezy związków półprzewodnikowych wykorzystywanych do produkcji ogniw fotowoltaicznych oraz fotoelektrochemicznych. Elektrochemia selenu jest bardzo skomplikowana i badana od wielu dekad. W wielu publikacjach zwracana jest uwaga na skomplikowany mechanizm osadzania powłok selenowych, który wynika z jego wielu stopni utlenienia. Dodatkowo jest bardzo reaktywnym pierwiastkiem i bardzo często wchodzi w reakcję z podłożem tworząc związki międzymetaliczne. Warto zauważyć, że mimo licznych prac dotyczących analizy mechanizmu osadzania selenu z roztworów wodnych, jak do tej pory istnieje wiele sprzecznych informacji. W związku z powyższym w swoich badaniach podjąłem się analizy procesu osadzania powłok selenowych poprzez redukcję kwasu selenowego(IV) z kwaśnych roztworów siarczanowych i cytrynianowych [A-2, A-3, A-4]. Proces redukcji kwasu selenowego(IV) był badany na elektrodach złotej, srebrnej i miedzianej z wykorzystaniem takich technik elektrochemicznych jak cykliczna woltamperometria, anodowa i katodowa woltamperometria inwersyjna, chronoamperometria czy elektrochemiczna mikrowaga kwarcowa.

Jak zwrócono wcześniej uwagę proces osadzania selenu na elektrodzie złotej z kwaśnych roztworów siarczanowych jest bardzo skomplikowany. W celu analizy mechanizmu redukcji kwasu selenowego(IV) na elektrodzie złotej w pracy [A-2] zastosowano technikę woltamperometrii cyklicznej w połączeniu z elektrochemiczną mikrowagą kwarcową. Na woltamperogramie zidentyfikowano pięć pików katodowych, które wskazują na bardzo skomplikowany przebieg procesu redukcji kwasu selenowego(IV) na złocie. Zauważono, że proces osadzania selenu rozpoczyna się od potencjału 0,35 V (wzgl. Ag/AgCl), a wzrost masy elektrody jest kontynuowany do potencjału -0,4 V. W powyższym zakresie potencjałów kolejnym pikom katodowym pojawiającym się na woltamperogramie towarzyszy zmiana szybkości osadzania selenu, wskazując tym samym na zmianę mechanizmów reakcji elektrodowych. Skomplikowany przebieg woltamperogramu jest związany z zjawiskami podpotencjałowego osadzania selenu na złocie oraz jego redukcji w procesie czteroelektrodowym, jak i sześcieelektronowym. Ponadto przy potencjale -0,4 V zarejestrowano charakterystyczny wysoki pik katodowy i towarzyszący mu spadek masy elektrody. Powyższe wyniki wskazują tym samym na reakcję redukcji Se^0 do Se^- . Mimo rozpoczęcia powyższej reakcji masa elektrody po chwilowym spadku zaczyna ponownie rosnać, co wskazuje z kolei na rozpoczęcie reakcji synproporcjonacji.

W celu dokładniejszej analizy zjawisk zachodzących na elektrodzie złotej w pracy [A-3] wykonano badania woltamperometryczne, zmieniając zakres potencjałów tzw. „okna” elektrochemicznego. Zastosowanie woltamperometrii cyklicznej w zmiennym zakresie potencjałów po raz pierwszy umożliwiło prawidłową interpretację procesów zachodzących na powierzchni elektrody złotej w kwaśnych roztworach zawierających kwas selenowy(IV). Na podstawie pomiarów zauważono, że pierwsze cztery piki katodowe związane są z redukcją zaadsorbowanych cząsteczek kwasu selenowego. Potwierdzeniem są powtórnie wykonane cykliczne woltamperogramy na tej samej elektrodzie, gdzie następnie nie pojawiają się już żadne piki katodowe. Taki efekt związany jest z zredukowaniem wcześniej zaadsorbowanych cząsteczek kwasu selenowego(IV). Ponadto wykonano badania anodowej woltamperometrii inwersyjnej, które umożliwiły potwierdzenie zachodzących reakcji elektrodowych. Proces redukcji zaadsorbowanych cząsteczek kwasu selenowego(IV) został już zarejestrowany przy potencjale 0,4 V (wzgl. Ag/AgCl). Jednak pik anodowy zarejestrowany podczas anodowej woltamperometrii inwersyjnej jest bardzo mały, wskazując na bardzo wolną kinetykę redukcji zaadsorbowanych cząsteczek kwasu selenowego(IV). Obniżenie potencjału do wartości 0,3 V umożliwia osadzenie monowarstwy selenu. Potwierdzeniem tego jest otrzymanie jednego pików anodowych podczas anodowej woltamperometrii inwersyjnej oraz braku jego wzrostu mimo wydłużania czasu osadzania selenu. Wskazuje to na to, że proces jest limitowany powierzchniowo i wynika z oddziaływania między podłożem a osadzonym selenem. Z kolei obniżenie potencjału poniżej 0,3 V powoduje pojawienie się drugiego pików anodowych podczas anodowej woltamperometrii inwersyjnej. Ponadto piki te systematycznie rosną w miarę wydłużania procesu osadzania. W zakresie potencjałów od 0,2 do -0,1 V piki anodowe systematycznie rosną wskazując już, że proces osadzania selenu ma charakter osadzania nadpotencjałowego. Tzn. że powierzchnia złota została zapełniona i dochodzi do dalszego narastania warstwy selenowej. Mechanizm redukcji selenu zmienia się po przekroczeniu potencjału -0,2 V. Potwierdzeniem jest zmiana kształtu pików anodowych otrzymanych po osadzeniu selenu poniżej potencjału -0,2 V podczas badań metodą anodowej woltamperometrii inwersyjnej i wskazuje na zmianę struktury otrzymywanego selenu. Można to przypisać zmianie mechanizmu osadzania selenu. Poniżej potencjału -0,2 V kwas selenowy(IV) jest redukowany do Se^{2-} i zachodzi reakcja synproporcjonacji.

Na podstawie przeprowadzonej analizy mechanizmu redukcji kwasu selenowego(IV) z roztworów siarczanowych wskazano zakres możliwości otrzymywania powłok selenowych. Jako osiągnięcia w powyższej pracy można wskazać możliwość otrzymania jednej monowarstwy selenu stosując potencjał 0,3 V. Z kolei w zakresie od 0,2 do -0,2 V możliwe jest otrzymanie grubych warstw selenowych w procesie czteroelektronowej redukcji kwasu selenowego(IV) bez narażania się na pojawienie konkretnych reakcji redukcji kwasu selenowego(IV) lub osadzonego selenu do selenowodoru, co skutkowałoby obniżeniem wydajności procesu osadzania.

Proces redukcji kwasu selenowego(IV) z wykorzystaniem elektrochemicznej mikrowagi z kwaśnych roztworów siarczanowych prowadzono także z wykorzystaniem elektrod srebrnej i miedzianej [A-2]. Poznanie mechanizmu otrzymywania powłok selenowych na wybranych metalach jest niezwykle istotne ze względu na ich powszechne zastosowanie w przemyśle optoelektronicznym, które wynika z ich bardzo dobrego przewodnictwa elektrycznego.

Zarówno w przypadku elektrody srebrnej, jak i miedzianej, zauważono, że proces redukcji rozpoczyna się już od potencjałów stacjonarnych zarejestrowanych dla elektrod srebrnej i miedzianej. Tym samym wykluczona została tutaj możliwość analizy procesu osadzania selenu z wykorzystaniem anodowej woltamperometrii inwersyjnej, ponieważ proces utleniania osadzonego selenu zachodzi w obszarze intensywnego roztwarzania elektrody srebrnej i miedzianej.

Mechanizm osadzania selenu na elektrodzie srebrnej objawia się poprzez charakterystyczne dwa piki katodowe pojawiające się odpowiednio przy potencjałach 0,05 i -0,1 V (wzgl. Ag/AgCl). Pojawienie się tzw. „przed-piku” wskazuje na możliwość intensywnej adsorpcji kwasu selenowego(IV) na elektrodzie srebrnej i jego redukcji w pierwszym etapie. Drugi pik wskazuje na rozpoczęcie osadzania selenu wg reakcji czteroelektronowej. Poniżej potencjału -0,6 V pojawia się kolejny pik katodowy, któremu towarzyszy intensywny spadek masy elektrody. Wtedy osadzany selen jest redukowany do Se^{2-} . Powyższe badania wykazały, że otrzymanie powłok selenowych jest możliwe w zakresie potencjałów od -0,1 V do -0,6 V z roztworów siarczanowych.

W przypadku elektrody miedzianej widoczny jest tylko jeden pik katodowy na początku woltamperogramu. Jest on szeroki i także może wskazywać na możliwość zachodzenia zjawiska adsorpcji kwasu selenowego(IV) na powierzchni elektrody. Proces redukcji kwasu selenowego(IV) na elektrodzie miedzianej zachodzi z podobną intensywnością jak w przypadku elektrody srebrnej. W przypadku elektrody miedzianej nie widać piku związanego z redukcją osadzonego selenu do Se^{2-} , co jest związane z niższą wartością nadpotencjału wydzielania wodoru niż w przypadku elektrody srebrnej. Spadek masy elektrody odnotowano poniżej potencjału -0,7 V potwierdzając tym samym zachodzenie reakcji redukcji osadzonego selenu do selenowodoru. Jednak już od potencjału -0,6 V wzrost masy elektrody został zatrzymany, wskazując na rozpoczęcie konkurencyjnej reakcji redukcji kwasu selenowego(IV) bezpośrednio do selenowodoru w wyniku reakcji sześcieelektronowej. Na podstawie otrzymanych wyników wskazano, że proces otrzymywania powłok selenowych możliwy jest w zakresie od -0,1 do -0,6 V.

W przypadku elektrody miedzianej wykonano osadzanie selenu z roztworów siarczanowych, a także cytrynianowych w zależności od pH elektrolitu i przyłożonego potencjału [A-4]. Na podstawie badań jako osiągnięcie można wskazać, że elektrochemiczne osadzanie selenu jest możliwe w zakresie potencjałów od -0,2 do -0,6 V z roztworów siarczanowych o pH od 1 do 3. Bardziej ujemne potencjały prowadzą do bezpośredniej redukcji selenu do postaci selenowodoru oraz wydzielania się gazowego wodoru. Powoduje to roztwarzanie osadzonego wcześniej selenu i praktycznie całkowity zanik powłoki. Proces przebiega najszybciej i przy wydajności sięgającej 90 % w roztworach o pH = 2. Obniżanie pH roztworów siarczanowych do pH = 4 powoduje, że reakcja redukcji kwasu selenowego(IV) jest zahamowana, ze względu na niskie stężenie jonów wodorowych, które także biorą udział w reakcji. Stosowanie roztworów cytrynianowych pozwala na otrzymywanie powłok selenowych z roztworów o wyższych pH niż w analogicznych roztworach siarczanowych. W przypadku stosowania buforu cytrynianowego proces osadzania selenu nie ulega zahamowaniu w zakresie wyższych pH, wskazując, że właściwości buforujące roztworu stabilizują pH przy powierzchni elektrody i

utrzymują jego wartość na stałym poziomie, nie hamując tym samym reakcji redukcji kwasu selenowego(IV). Otrzymane powłoki, zarówno w roztworach siarczanowych, jak i cytrynianowych, są jednorodne i bardzo dobrze przylegają do miedzianego podłoża. Jest to związane z tworzeniem się związków międzymetalicznych miedzy selenem a miedzią, co potwierdzają badania rentgenograficzne. Powyższe obserwacje mogą być wykorzystane do syntezy powłok półprzewodnikowych na bazie czystego selenu lub syntezy związków półprzewodnikowych z innymi metalami przejściowymi, zarówno z elektrolitów siarczanowych, jak i cytrynianowych. Należy tutaj dodatkowo nadmienić przewagę roztworów cytrynianowych, które mogą być stosowane w znacznie szerszym zakresie pH bez znacznego obniżenia szybkości procesu osadzania, jak i jego wydajności.

Analiza mechanizmu otrzymywania powłok tellurowych

Podobnie jak w przypadku selenu, zainteresowanie tellurem wynika przede wszystkim z jego właściwości półprzewodnikowych. Może on być wykorzystywany jako pojedynczy pierwiastek, jak i w połączeniu z metalami tworząc różnego rodzaju związki półprzewodnikowe. W publikacji [A-5] przedstawiono analizę mechanizmu osadzania telluru metodą elektrochemiczną z kwaśnych roztworów wodnych. Badania prowadzono w roztworach siarczanowych o pH=1. Analizę mechanizmu osadzania telluru przeprowadzono z wykorzystaniem woltamperometrii cyklicznej i elektrochemicznej mikrowagi kwarcowej. Proces osadzania telluru prowadzono z roztworów zawierających jedynie 0,001 M TeO_2 . Uzyskanie wyższych stężeń w roztworach siarczanowych jest niemożliwe ze względu na jego niską rozpuszczalność. Badania woltamperometryczne i mikrogravimetryczne pokazują, że proces osadzania telluru rozpoczyna się od potencjału 0,3 V (wzgl. Ag/AgCl). Jednak kinetyka osadzania telluru jest bardzo wolna i ma charakter zjawiska limitowanego powierzchniowo, który jest charakterystyczny dla podpotencjałowego osadzania. Proces osadzania prowadzony przez 60 sekund nie wykazał zbyt dużego przyrostu masy przy potencjałach 0,3 i 0,1 V. Dopiero od potencjału -0,1 V widoczny jest systematyczny przyrost masy elektrody z czasem. Badania woltamperometryczne także pokazują, że kinetyka procesu osadzania telluru uległa przyspieszeniu. Możemy tutaj mówić o klasycznym nadpotencjałowym osadzaniu telluru. Według badań woltamperometrycznych od potencjału -0,7 V osadzony tellur ulega redukcji do Te^{2-} . Analiza chronoamperometryczna połączona z pomiarem masy także wykazała, że już przy potencjale -0,7 V możliwa jest reakcja redukcji telluru do Te^{2-} . Próba osadzania telluru przez godzinę pokazała, że proces osadzania przy potencjale -0,1 V przebiega bardzo wolno i przy stosunkowo niskiej wydajności. Przy potencjale -0,3 V szybkość osadzania telluru była najwyższa przy jednoczesnej najwyższej wydajności procesu. Dalsze obniżanie potencjału powodowało zarówno spadek szybkości osadzania telluru, jak i spadek wydajności procesu. Ponadto morfologia osadów ulegała zmianie. W przypadku prowadzenia procesu w zakresie potencjałów od -0,1 do -0,3 V powłoka była zwarta i jednorodna. Stosowanie niższych potencjałów sprzyjało tworzeniu się powłok porowatych, z charakterystycznymi płatkowatymi naroślami. Za zmianę morfologii osadu oraz spadek wydajności oraz szybkości osadzania odpowiada pojawienie się konkurencyjnych reakcji związanych z redukcją do Te^{2-} oraz redukcją jonów wodorowych. Należy zwrócić uwagę, że proces był prowadzony w roztworach o niskim stężeniu jonów telluru, jak i przy niskim pH. Powoduje to, że proces osadzania telluru jest prowadzony w warunkach kontroli dyfuzyjnej, co oznacza, że szybkość narastania powłoki

jest bardzo mała i wtedy osad charakteryzuje się strukturą amorficzną lub drobnokrystaliczną. Ponadto istnieje zagrożenie, że w przypadku wydłużania czasu osadzania pojawią się dendryty lub nawet osad proszkowy. Dodatkowo ze względu na mechanizm redukcji telluru z roztworów wodnych pojawia się konkurencyjna reakcja prowadząca do redukcji telluru do Te^{2-} , a tym samym do rozpuszczania powłoki tellurowej i spadku wydajności procesu elektrolizy.

Tego rodzaju problemów uniknięto stosując roztwory cytrynianowe, co można wskazać jako osiągnięcie poniższej pracy [A-6]. Stosowany elektrolit cechuje się znacznie wyższą rozpuszczalnością telluru w odróżnieniu od innych kwasów nieorganicznych i jednocześnie umożliwia stosowanie wyższego pH. Dzięki zastosowaniu roztworów cytrynianowych możliwe stało się uzyskanie stężeń telluru 0,128 M w roztworach wodnych o pH=2. Na podstawie badań woltamperometrycznych oraz hydrodynamicznych przedstawiono analizę mechanizmu osadzania telluru z roztworów cytrynianowych o pH=2. Wyznaczono zakres stężeń i potencjałów, gdzie proces redukcji telluru przebiega w obszarze kontroli aktywacyjnej. Na podstawie przeprowadzonej analizy przeprowadzono proces osadzania powłok tellurowych. Powiązano morfologię powłok z mechanizmem osadzania telluru wskazując, że zależy on przede wszystkim od mechanizmu osadzania telluru. Badania woltamperometryczne wskazują, że proces osadzania telluru może przebiegać według dwóch mechanizmów. W zakresie bardziej dodatnich potencjałów następuje osadzanie w jednoetapowym procesie redukcji czteroelektronowej. W drugim przypadku przy niższych potencjałach osadzony tellur jest następnie redukowany do tellurowodoru, który wchodzi w reakcję z znajdującymi się w roztworze jonami HTeO_2^+ i daje w rezultacie ponownie Te^0 . Rodzaj mechanizmu decyduje o morfologii otrzymanego osadu. W przypadku pierwszego mechanizmu otrzymujemy jednorodną i spójną powłokę. Z kolei w drugim przypadku osad jest porowaty i gąbczasty. Zwiększanie stężenia telluru w elektrolicie powoduje poszerzenie zakresu potencjałów, gdzie proces osadzania telluru przebiega według mechanizmu jednoetapowego i przesunąć możliwość zachodzenia reakcji redukcji telluru do tellurowodoru w kierunku potencjałów bardziej ujemnych. Dodatkowo zaletą stosowania podwyższonego stężenia jonów tellurowych sprzyja otrzymywaniu powłok bardziej zwartych, bez narośli i dendrytów oraz z mniejszą ilością porów, które są charakterystyczne w przypadku użycia roztworów rozcieńczonych. Powyższy efekt jest związany z przejściem reakcji redukcji HTeO_2^+ w wyniku reakcji czteroelektronowej z zakresu kontroli dyfuzyjnej do aktywacyjnej. Ponadto należy zwrócić uwagę, że zwiększenie stężenia jonów tellurowych znacznie przyspiesza proces osadzania powłok w porównaniu do roztworów o niższych stężeniach. Zastosowanie roztworów cytrynianowych jest bardzo obiecujące nie tylko pod kątem otrzymywania powłok tellurowych, ale także możliwości wykorzystania ich do syntezy tellurkowych powłok półprzewodnikowych takich jak CdTe , ZnTe , CuInTe_2 , CuZnSnTe_2 , czy też do produkcji i rafinacji telluru metodą hydrometalurgiczną. Przyczyni się to przyspieszenia procesu osadzania powłok metodą elektrochemiczną oraz umożliwi uniknięcie bardzo stężonych roztworów kwaśnych lub alkalicznych, w których obecnie prowadzi się proces syntezy powłok półprzewodnikowych na bazie telluru.

Otrzymywanie powłok CdS

Siarczek kadmu wzbudza szerokie zainteresowanie ze względu na wykorzystywanie go między innymi do produkcji ogniw słonecznych. Osiągnięciem w poniższej pracy był zarówno dobór

składu elektrolitu, jak i optymalizacja procesu syntezy CdS metodą impulsową. W przypadku tego związku proces syntezy prowadzono w roztworze wodnym o pH=3, gdzie źródłem siarki był tiosiarczan sodu [A-7]. Podczas wstępnych badań zaobserwowano, że poniżej pH=3 wytrącał się biały osad koloidalnej siarki w roztworze i na katodzie nie osadzał się siarczek kadmu. W przypadku stosowania elektrolitów o pH wyższym od 3, proces osadzania powłoki CdS nie zachodził. Ze względu na skomplikowany mechanizm osadzania się siarki z tiosiarczanu sodu i możliwość jego redukcji przy zbyt niskich potencjałach do siarkowodoru, zaproponowano tutaj technikę impulsową. W przypadku stosowania metody potencjostatycznej w zakresie potencjałów od -0,2 do -0,4 V na elektrodzie można było zaobserwować jedynie wytrącanie się żółtego osadu siarki, natomiast przy niższych potencjałach od -0,7 do -1,1 V pojawiał się szary osad kadmu. Z kolei w zakresie potencjałów od -0,5 do -0,6 V na elektrodzie nie pojawiał się żaden osad, wskazując że siarka jest redukowana do siarkowodoru. W związku z niemożliwością syntezy CdS tradycyjną metodą potencjostatyczną w wybranym elektrolicie, zaproponowano stosowanie metody impulsowej. Metoda ta polega na zadawaniu dwóch krótkich impulsów o różnych wartościach zamiast stałego potencjału. Ze względu na możliwość zmiany wartości zarówno potencjału E_1 i E_2 , a także czasu ich trwania, metoda ta potencjalnie zwiększa możliwości elektrochemicznej syntezy powłok półprzewodnikowych. W przypadku metody potencjostatycznej, stosowanie jednego potencjału umożliwia przebieg tylko niektórym reakcjom elektrochemicznym. W przypadku metody impulsowej elektroda jest polaryzowana w szerszym zakresie potencjałów, co zwiększa możliwość zajścia dodatkowych reakcji elektrochemicznych, które w rezultacie prowadzą do syntezy siarczku kadmu na elektrodzie. Zakres parametrów, gdzie możliwe jest otrzymanie powłok o składzie odpowiadającym stechiometrii związku CdS jest bardzo szeroki i zawiera się od $E_1 = -0,1 \div -0,5$ V, a w przypadku potencjału $E_2 = -1,1$ do -1,9 V. Mechanizm syntezy CdS polega na tym, że podczas stosowania potencjału E_1 dochodzi do osadzania się siarki na elektrodzie, a następnie gdy potencjał jest obniżony poniżej -1,1 V dochodzi do osadzania kadmu i jednoczesnej syntezy siarczku kadmu. Na podstawie przyrostu masy oszacowano szybkość procesu osadzania CdS w zależności od stosowanych parametrów. Stwierdzono, że proces osadzania siarczku kadmu przebiega najszybciej gdy, $E_1 = -0,2$ V, a $E_2 = -1,5$ V.

Otrzymywanie powłok Mo-Se

W ramach prowadzonych badań została podjęta próba otrzymania powłok Mo-Se [A-8, A-9]. Głównym celem badań było otrzymanie związków międzymetalicznych Mo_xSe_y , które cechują się bardzo dobrymi właściwościami katalitycznymi. W toku badań opracowano skład kąpeli, w których możliwe było otrzymanie powłok o składach zbliżonych do stechiometrii wskazanych wyżej związków. Wykazano, że w roztworze o pH = 6 możliwe jest otrzymanie powłok o stechiometrii zbliżonej dla związków $MoSe_2$ i Mo_3Se_4 . Analiza fazowa wskazuje, że podczas procesu osadzania w powłoce występuje mieszanina obu związków półprzewodnikowych. Na podstawie badań woltamperometrycznych przypuszcza się, że dochodzi tutaj do syntezy selenków molibdenu w wyniku podpotencjałowego osadzania molibdenu na selenie.

Analiza procesu syntezy ZnSe metodą fotowoltamperometryczną

Bardzo interesującym związkiem półprzewodnikowym ze względu na możliwości jego zastosowania jest selenek cynku. Problematyka jego syntezy metodą elektrochemiczną została podjęta w mojej pracy doktorskiej (zał. 3, p. , A-27, A-29). Następnie analiza mechanizmu elektrochemicznej syntezy ZnSe na podłożu miedzanym została poszerzona o nowatorskie badania fotowoltamperometryczną [A-10].

Do badań użyto specjalnie przygotowanych elektrod miedzianych. Sposób ich otrzymywania został opisany w publikacji [A-11]. W pracy tej przedstawiono wyniki badań nad wpływem parametrów napyłania magnetronowego cienkich warstw Cu na ich własności. Głównym celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu parametrów procesu napyłania na właściwości cienkich powłok miedzianych i możliwości ich stosowania zarówno w przemyśle elektronicznym, jak i do badań dotyczących syntezy związków półprzewodnikowych na ich powierzchni. Elektrody otrzymywano poprzez magnetronowe napyłanie miedzi na podłożu szklanym. Na podstawie otrzymanych wyników zdefiniowano minimalną grubość powłoki miedzianej wymaganej do prawidłowego przeprowadzenia eksperymentów elektrochemicznych. Wzorując się na przeprowadzonych eksperymentach z powłokami miedzianymi podobnie przeprowadzono badania odnośnie powłok srebrnych i złotych otrzymywanych metodą napyłania magnetronowego. Powłoki metaliczne otrzymywane powyższą metodą zostały wykorzystane do badań opisanych w publikacjach [A-2, A-3, A-10, A-12, A-13, A-14].

W pracy [A-10] opracowano elektrochemiczną metodę umożliwiającą analizę procesu syntezy związku półprzewodnikowego na podstawie badań fotoelektrochemicznych. Klasyczne metody woltamperometria cykliczna oraz chronoamperometria zostały sprzężone z metodami spektroskopii optycznej. Podczas pomiarów wybranymi metodami elektroda była jednocześnie oświetlana źródłem światła o różnej długości fali. Użyto w tym celu specjalnie skonstruowanego układu pomiarowego, którego byłem współautorem (zał. 3, p. II, B). Na podstawie otrzymanych wyników udało się jednoznacznie wskazać zakres potencjałów, w których dochodzi do syntezy związku półprzewodnikowego, na podstawie zarejestrowanych fotoprądów. Zarówno metoda fotowoltamperometrii, jak i fotochronoamperometrii umożliwiła jednocześnie identyfikację rodzaju przewodnictwa jakim charakteryzuje się syntezowany półprzewodnik. Ponadto podczas badań odkryto anomalne zachowanie osadzanego selenku cynku na elektrodzie miedzianej. Otrzymana powłoka na podłożu miedzianym wytwarzała fotoprądy, także gdy była oświetlana laserem o energii mniejszej niż wartość przerwy energetycznej charakterystycznej dla selenku cynku. Na podstawie przeprowadzonych badań spektroskopowych wskazano, że za powyższe zjawisko odpowiada rezonans Fano, który jest efektem oddziaływania pomiędzy syntezowaną warstwą selenku cynku a podłożem miedzianym. Jest to pierwsza publikacja na świecie wskazująca na występowanie tego rodzaju zjawiska w omawianym układzie.

Wpływu pola magnetycznego na proces syntezy ZnSe

Jednym z pionierskich badań, w których uczestniczę dotyczą określenia wpływu pola magnetycznego na proces otrzymywania powłok metodą elektrochemiczną (zał. 3, p. II, A , F). Na bazie zdobytych doświadczeń po raz pierwszy na świecie zaproponowałem proces

syntezy selenku cynku metodą elektrochemiczną w obecności pola magnetycznego [A-15]. W wyniku zastosowania pola magnetycznego podczas procesu elektrolizy dochodzi do zmiany w mikrostrukturze osadzanej powłoki, rozmiarze ziaren osadu katodowego oraz stopnia rozwinięcia powierzchni. Jest to spowodowane pojawieniem się efektu magnetohydrodynamicznego. W przypadku przyłożenia pola magnetycznego równoległego do podkładki katody zwroty wektora kierunku prądu elektrolizy i pola magnetycznego są prostopadłe do siebie. Wygenerowany strumień magnetohydrodynamiczny powoduje wzrost konwekcji, co wpływa na zmianę prądów Faradaya oraz morfologię osadzanych powłok. Efekt magnetohydrodynamiczny związany jest z siłą Lorentza, oddziałującą na poruszający się ładunek (jony) gęstością strumienia pola magnetycznego. Efektem tego jest zwiększenie wartości prądu granicznego przy zachowaniu tych samych stężeń składników w elektrolicie. W omawianej pracy zauważono przede wszystkim wzrost szybkości osadzania oraz zmianę morfologii powłoki ZnSe. Zmiana morfologii powłok objawia się poprzez rozrost ziaren, spowodowany wzrostem prądu granicznego. Z kolei analiza fazowa potwierdziła obecność fazy ZnSe, wskazując przede wszystkim na amorficzny lub drobnokrystaliczny charakter otrzymanych osadów. Ponadto zastosowanie pola magnetycznego spowodowało nieznaczny wzrost zawartości cynku, przybliżający skład powłoki do stechiometrii odpowiadającej czystemu związkowi ZnSe.

Otrzymywanie powłok CdSe

Kolejnym związkiem półprzewodnikowym, który także cechuje się bardzo interesującymi właściwościami optoelektronicznymi jest selenek kadmu. Może on być wykorzystywany w szerokiej gamie urządzeń półprzewodnikowych takich jak diody laserowe, tranzystory cienkowarstwowe czy wysokowydajne, heterozłączowe ogniwa fotowoltaiczne. Analizę mechanizmu współosadzania selenu i kadmu wykonano w elektrolicie siarczanowym na elektrodach złotej i miedzianej [A-16]. Wykonane badania woltamperometryczne na elektrodzie złotej wykazują możliwość współosadzania selenu i kadmu w roztworze siarczanowym o $\text{pH} = 2$ według dwóch mechanizmów. W zakresie bardziej dodatnich potencjałów, w pierwszej kolejności dochodzi do redukcji kwasu selenowego(IV) w czteroelektronowym procesie, a następnie do osadzania kadmu na wcześniej osadzonym selenie w wyniku podpotencjałowego osadzania. Drugi mechanizm zachodzi w zakresie bardziej ujemnych potencjałów i polega na jednoczesnej redukcji selenu i kadmu w reakcji sześcieelektronowej. Podobnie mechanizm wygląda na elektrodzie miedzianej, jednak kinetyka procesów elektrodowych jest szybsza. Na tej podstawie wskazano elektrodę miedzianą jako podkładkę od osadzania powłok CdSe. Na podstawie wyników woltamperometrycznych wybrano zakres potencjałów, w których przeprowadzono proces osadzania powłok Cd-Se na podkładach miedzianych. W zakresie potencjałów od $-0,4$ do $-0,7$ V (wzgl. NEK) powłoki charakteryzują się składem zbliżonym do stechiometrii związku CdSe. W przypadku stosowania potencjałów powyżej $-0,4$ V w osadzie zwiększa się ilość selenu, wskazując że reakcja podpotencjałowego osadzania kadmu na selenie jest wolniejsza niż reakcja redukcji kwasu selenowego(IV), mimo wielokrotnie większego stężenia jonów kadmu w elektrolicie niż kwasu selenowego(IV). Z kolei po przekroczeniu potencjału $-0,8$ V dochodzi do nadpotencjałowego osadzania kadmu i zwiększania zawartości metalu w osadzie ponad stechiometrię odpowiadającą związkowi CdSe. Otrzymane powłoki w zakresie potencjałów od

-0,4 do -0,7 V są jednorodne i bardzo dobrze przylegają do podłoża. Charakteryzowały się szarym kolorem i metalicznym połyskiem. Analiza metodą dyfrakcji rentgenowskiej potwierdziła obecność polikrystalicznej fazy CdSe o strukturze heksagonalnej.

Otrzymywanie powłok CdSe metodą ECALD

Szczególną odmianą otrzymywania powłok półprzewodnikowych jest metoda ECALD - Electrochemical Atomic Layer Deposition, która została zaproponowana przez Stickney'a w latach 90-tych XX wieku i obecnie jest intensywnie rozwijana przez jego zespół. Metoda ta bazuje na zjawisku podpotencjałowego osadzania pierwiastków. Obserwuje się wtedy osadzanie pierwiastków na drodze katodowej redukcji w zakresie potencjałów bardziej dodatnich niż ich odwracalne potencjały równowagowe. Proces tworzenia powłok jest limitowany powierzchniowo i wynika z oddziaływania podłoża z zredukowanym pierwiastkiem. Dzięki temu, poprzez precyzyjną kontrolę procesu osadzania, możliwe jest utworzenie na powierzchni elektrody tylko jednej monowarstwy danego pierwiastka. Cały proces syntezy związków półprzewodnikowych metodą ECALD polega na cyklicznym osadzaniu naprzemiennie monowarstw jednego pierwiastka (A), a następnie drugiego (B), co z kolei prowadzi do syntezy związku półprzewodnikowego (A_xB_y). Efekt podpotencjałowego osadzania w tym przypadku jest wynikiem ujemnej wartości energii swobodnej tworzenia syntezowanych związków. Ta wartość ΔG powoduje przesunięcie potencjału osadzania każdego z pierwiastków i umożliwia proces podpotencjałowego osadzania. Kluczowe znaczenie ma dobór podłoża, które umożliwia osadzanie w warunkach podpotencjałowych pierwszej monowarstwy jednego ze składników związku półprzewodnikowego. Kolejne warstwy są już osadzane w wyniku wzajemnego oddziaływania wcześniej osadzonych warstw z kolejnymi osadzanymi składnikami związku półprzewodnikowego. Proces prowadzony jest w reaktorze przepływowym, w którym elektrolit jest wymieniany cyklicznie w zależności od osadzanego pierwiastka. Warunki osadzania (skład elektrolitu, potencjał osadzania) są tak dobierane, aby nie dopuścić do niekontrolowanego osadzania nadpotencjałowego, przy jednoczesnym uniknięciu roztworzenia wcześniej osadzonych warstw. Grubość powłoki jest zależna od ilości wykonanych cykli. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w wyniku osadzania podpotencjałowego pojedynczych warstw atomowych unika się tworzenia osadów o strukturach trójwymiarowych i ich niekontrolowanego wzrostu, które występują podczas stosowania potencjałów niższych niż odwracalny potencjał równowagowy. Otrzymywanie powłok metodą ECALD jest przeprowadzane w specjalnie skonstruowanym przez mnie układzie pomiarowym umożliwiającym precyzyjne sterowanie procesem elektrochemicznej syntezy związków półprzewodnikowych. Cały proces sterowany jest przez specjalnie napisany w tym celu program komputerowy, który umożliwia poza sterowaniem potencjostatem, także jednoczesną kontrolę sprzężonego z nim układu elektrozaworów odpowiedzialnego za przepływ elektrolitów w reaktorze. Ponadto jako osiągnięcie należy także wymienić, że jako pierwszy zaproponowałem możliwość syntezy związków półprzewodnikowych metodą ECALD z roztworów cytrynianowych.

Kluczowym zagadnieniem decydującym o możliwości otrzymania związków półprzewodnikowych metodą ECALD jest dokładna analiza procesu podpotencjałowego osadzania pierwiastków na różnych podłożach. Zjawisko to jest intensywnie badane od wielu lat i dostępne w literaturze jest wiele danych obejmujących przede wszystkim metale. Ponadto

przy doborze elektrolitów przeznaczonych do osadzania poszczególnych składników związku półprzewodnikowego ważne będą zarazem stabilność elektrochemiczna podłoża, a także wcześniej osadzonych warstw. Zarówno podłoże, jak i składniki osadzonej powłoki nie mogą ulegać roztwarzaniu podczas osadzania następnych monowarstw. Stąd, aby synteza związków półprzewodnikowych przebiegała prawidłowo konieczne jest dokładne przebadanie procesów zachodzących na granicy elektroda-elektrolit pod względem doboru podłoża, jak i składu elektrolitu. Jako podłoże służące do procesu syntezy związków półprzewodnikowych metodą ECALD wytypowano miedź, srebro i złoto.

W toku swoich badań podjąłem się analizy zjawisk podpotencjałowego osadzania kadmu na elektrodzie miedzianej i srebrnej w elektrolitach siarczanowych [A-12, A-13]. W badaniach stosowano techniki woltamperometrie cykliczną połączoną z elektrochemiczną mikrowagą kwarcową oraz elektrochemiczną spektroskopie impedancyjną. Na podstawie tych metod wyznaczono zakres podpotencjałowego osadzania kadmu na wybranych podłożach. Z kolei jak wspomniano wcześniej w publikacji [A-2] badano proces osadzania selenu na różnych podłożach z elektrolitu siarczanowego. Jednak wyniki badań jednoznacznie wskazują, że niemożliwe jest wyznaczenie zakresu podpotencjałowego osadzania selenu na podkładkach srebrnych i miedzianych. Jest to między innymi związane z możliwością reagowania podłoża z osadzonym selenem. W przypadku elektrody miedzianej zostało to potwierdzone i opublikowane w publikacji [A-4]. Dodatkowym problemem, który wykluczył możliwość zastosowania elektrody srebrnej i miedzianej jest organiczny zakres potencjałów, w którym możliwe jest prowadzenie procesu syntezy związków półprzewodnikowych metodą ECALD. Proces osadzania selenu rozpoczyna się już od potencjału stacjonarnego elektrody srebrnej i miedzianej zanurzonej w wybranym elektrolicie. Powyżej tego potencjału zarówno miedź, jak i srebro, roztwarzają się. Tym samym niemożliwe było przeprowadzenie prawidłowo anodowej woltamperometrii inwersyjnej, która umożliwiłaby potwierdzenie zachodzenia zjawiska podpotencjałowego osadzania selenu na wybranych elektrodach czy syntezy związków półprzewodnikowych metodą ECALD. Z kolei badania woltamperometryczne na elektrodzie złotej wskazują, że procesy redukcji kwasu selenowego(IV) rozpoczyna się powyżej potencjałów stacjonarnych wyznaczonych dla elektrody srebrnej i miedzianej w wybranym elektrolicie, co także potwierdza na niemożliwość osadzanie selenu w zakresie podpotencjałowego osadzania na wybranych elektrodach.

Zjawisko podpotencjałowego osadzania selenu było także badane na elektrodzie złotej. Tak jak wspomniano wyżej proces podpotencjałowego osadzania w roztworach siarczanowych jest możliwy przy potencjale 0,3 V w roztworach siarczanowych [A-4]. Jednak występowanie zjawiska adsorpcji kwasu selenowego(IV) znacznie utrudnia zoptymalizowanie procesu syntezy związków półprzewodnikowych metodą ECALD z kwaśnych roztworów siarczanowych. Zakres podpotencjałowego osadzania selenu na złocie w elektrolicie siarczanowym jest bardzo wąski, a co najważniejsze jest w zakresie potencjałów gdzie dochodzi już do roztwarzania wcześniej osadzonego kadmu. Z kolei podwyższanie pH, które mogłoby skutkować przesunięciem zakresu potencjałów gdzie dochodzi do podpotencjałowego osadzania selenu w kierunku bardziej ujemnych, skutkuje całkowitym zahamowaniem procesu osadzania selenu w roztworach siarczanowych. Takiego efektu jednak nie zaobserwowano stosując roztwory cytrynianowe. W związku z powyższym zaproponowano po raz pierwszy

przeprowadzenie procesu syntezy metodą ECALD w roztworach cytrynianowych [A-14]. W powyższej pracy zdefiniowano zakres podpotencjałowego osadzania kadmu na elektrodzie złotej, zdefiniowane także zakres potencjałów gdzie dochodzi do otrzymywania monowarstwy selenu. Syntezę związku półprzewodnikowego rozpoczynano od osadzania selenu przy potencjale -0,7 V przez 30 sekund. Następnie zmieniano potencjał na -0,4 V i płukano celkę elektrolitem podstawowym, a po tym wprowadzano elektrolit z kadmem. Osadzanie kadmu prowadzono przez 30 sekund pozostawiając elektrodę przy potencjale -0,4 V, a potem przed ponownym wprowadzeniem kwasu selenowego(IV) celkę płukano roztworem podstawowym. Potencjał zmieniano na -0,7 V dopiero po ponownym wprowadzeniu roztworu zawierającego selen. Analiza składu przeprowadzona anodową woltamperometrią inwersyjną wykazała systematyczny wzrost pików anodowych związanych z utlenianiem kadmu i selenu. Należy jednak zauważyć, że piki te przesuwają się w kierunku potencjałów bardziej dodatnich. Powyższy efekt można wytłumaczyć wzrostem grubości otrzymanej warstwy oraz coraz większą stabilnością syntezowanego związku. Otrzymane wartości ładunków otrzymane po scałkowaniu powierzchni pod pikami anodowymi odpowiadające odpowiednio roztwarzaniu kadmu i selenu wykazały stosunek bliski stechiometrii związku CdSe. Jednak w miarę zwiększania ilości cykli piki otrzymane podczas liniowej woltamperometrii zaczynają się na siebie nakładać i wyznaczenie poszczególnych wartości ładunków jest utrudnione. Jednak ich sumaryczna wartość rośnie liniowo wraz z ilością przeprowadzonych cykli, wskazując na prawidłowy przebieg procesu osadzania powłoki półprzewodnikowej metodą ECALD. Analiza woltamperometryczna oraz EDS potwierdza możliwość współosadzania selenu i kadmu w proporcjach bliskich stechiometrii związku półprzewodnikowego, a analiza fazowa jednoznacznie wskazuje na obecność fazy CdSe. Obserwacja osadzonych powłok CdSe za pomocą SEM wskazała na ich bardzo dobrą jakość. Są one równomiernie rozłożone na całej powierzchni elektrody złotej i dokładnie odzwierciedlają jej morfologię

Podsumowanie

Przedstawiony cykl prac opisuje możliwość otrzymania szeregu powłok półprzewodnikowych metodą elektrochemiczną. Należą do nich powłoki selenowe, tellurowe, a także związki półprzewodnikowe: CdS, CdSe, ZnSe, Mo₂Se-Mo₃Se₄. Prace przede wszystkim skupiały się na analizie mechanizmu osadzania wymienionych powłok metodą elektrochemiczną. Na podstawie otrzymanych wyników możliwe stało się prawidłowe zinterpretowanie procesów elektrodowych zachodzących podczas redukcji kwasu selenowego(IV) [A-2, A-3, A-4, A-14] oraz tellurowego(IV) [A-5, A-6] z roztworów siarczanowych i cytrynianowych. Dzięki zastosowaniu roztworów cytrynianowych możliwe jest otrzymywanie powłok selenowych w wyższych zakresach pH. Z kolei zastosowanie buforu cytrynianowego umożliwiło otrzymywanie powłok tellurowych z roztworów o bardzo wysokim stężeniu, przy jednoczesnym uniknięciu stężonych roztworów kwasów nieorganicznych lub roztworów silnie alkalicznych.

Znajomość elektrochemii tych pierwiastków umożliwiła z kolei przeprowadzenie procesu syntezy związków półprzewodnikowych z ich wykorzystaniem. Należą do nich związki selenu z molibdenem [A-8, A-9] kadmem [A-16] i cynkiem [A-10, A-15]. Do pionierskich prac należy zaliczyć analizę fotoelektrochemiczną procesu syntezy ZnSe na podłożu miedzanym i odkryciem efektu Fano rezonansu [A-10] oraz określeniem wpływu pola magnetycznego na

proces syntezy ZnSe [A-15]. Ponadto do kluczowych osiągnięć należy zaliczyć opracowanie metody syntezy selenku kadmu metodą ECALD z roztworów cytrynianowych. Stało się to możliwe dzięki analizie zjawiska podpotencjałowego osadzania kadmu i selenu na różnych podłożach [A-2, A-3, A-12, A-13, A-14].

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy, świadczących o istotnej aktywności naukowej habilitanta

Informacje ogólne

Jestem absolwentem Wydziału Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Studia ukończyłem w 2000 roku, uzyskując stopień naukowy magistra inżyniera Metalurgii. Pracę magisterską pod tytułem „Rafinacja selenu” realizowałem pod opieką prof. dr hab. inż. Krzysztofa Fitznera. Studia doktoranckie rozpocząłem w 2000 roku w Katedrze Chemii Fizycznej i Elektrochemii na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH także pod opieką prof. dr hab. inż. Krzysztofa Fitznera. Pracę pt.: „Określanie warunków elektrochemicznego otrzymywania ZnSe z roztworów wodnych” obroniłem w 2006 roku uzyskując tytuł doktora nauk technicznych. W 2004 roku zostałem zatrudniony na Wydziale Metali Nieżelaznych na stanowisku Starszego Referenta Technicznego, następnie w tym samym roku zatrudniono mnie na stanowisku Asystenta. Od 2008 roku pracuję jako adiunkt w Katedrze Fizykochemii i Metalurgii Metali Nieżelaznych.

Działalność naukowo-badawcza i ekspercka

W ramach pozostałej działalności naukowej podejmowałem tematy obejmujące przede wszystkim zagadnienia związane z otrzymywaniem powłok metodą elektrochemiczną oraz analizą zjawisk zachodzących podczas ich osadzania. Ponadto ze względu na szerokie możliwości badawcze jakimi dysponuje Wydział Metali Nieżelaznych szczególnym elementem moich działań były badania właściwości otrzymanych materiałów. Oprócz zainteresowań związanych z syntezą powłok półprzewodnikowych jednym z głównych tematów badawczych, które podejmo wałem podczas swojej dotychczasowej działalności była analiza mechanizmu i optymalizacja procesu syntezy powłok stopowych na bazie niklu i kobaltu z różnymi dodatkami (zał. 3, p. II, A). Głównym celem tych prac było opracowanie metody syntezy powłok o bardzo dobrych właściwościach katalitycznych, które cechują się niskim nad napięciem wydzielania wodoru. Takie materiały mogą być wykorzystywane m. in. jako elektrody w elektrolizerach do produkcji wodoru. Przykładami są powłoki niklowe i kobaltowe modyfikowane takimi dodatkami, jak molibden, wolfram, ruten, rod, pallad czy węgiel i fosfor. Badania obejmowały analizę mechanizmu współosadzania wybranych pierwiastków z wykorzystaniem wielu technik badawczych: chronoamperometria, chronopotencjometria, woltamperometria liniowa i cykliczna, liniowa woltamperometria inwersyjna, wirująca elektroda dyskowa, wirująca elektroda dyskowa z pierścieniem, elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna oraz elektrochemiczna mikrowaga kwarcowa. Optymalizacja procesu elektroosadzania wymagała wybrania odpowiedniego elektrolitu (skład, stężenia składników, pH, dobór buforu, dobór związku kompleksującego), a następnie określenie zakresu potencjałów, gdzie jest możliwe współosadzanie składników omawianych stopów. Istotnym elementem było określenie mechanizmu i kinetyki osadzania zarówno poszczególnych pierwiastków, jak i ich wzajemnego oddziaływania podczas współosadzania z jednej kąpieli. Otrzymane powłoki następnie poddawano badaniom pod względem składu chemicznego i fazowego oraz

struktury i morfologii powierzchni. Z kolei ich właściwości katalityczne były badane z wykorzystaniem technik elektrochemicznych. Poprzez stosowanie odpowiednich dodatków struktura niklu i kobaltu ulegała modyfikacji. Powyższe zmiany odpowiadały za obniżenie wartości nadnapięcia wydzielania wodoru i poprawę ich właściwości katalitycznych. Tym samym umożliwia to ich praktyczne wykorzystanie jako katod w elektrolizerach do produkcji wodoru.

Istotnym elementem moich badań było także określenie wpływu pola magnetycznego na proces syntezy powłok na bazie niklu i kobaltu. Tak jak wspomniano wcześniej pole magnetyczne wpływa na zmianę morfologii i struktury osadzanych stopów. Przede wszystkim powoduje to zmiany w mikrostrukturze osadzanej powłoki, rozmiarze ziaren osadu katodowego oraz stopnia rozwinięcia powierzchni. Powyższe zmiany wpływały na obniżenie wartości nadnapięcia dla reakcji wydzielania wodoru, a tym samym poprawiały ich właściwości katalityczne.

W swojej działalności badawczej podejmowałem także współpracę z innymi ośrodkami naukowymi. W ramach współpracy z Instytutem Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie analizowano proces otrzymywania powłok Sn-Zn (zał. 3, p. II, A-3, C-2). Z kolei w współpracy z Instytutem Chemii Fizycznej Bułgarskiej Akademii Nauk badano proces otrzymywania powłok Ag-In (zał. 3, p. II, A-22, 27). W współpracy z Uniwersytetem Pedagogicznym w Krakowie badano właściwości korozyjne stali kompozytowych (zał. 3, p. II, A-4). Wieloletnia współpraca z ośrodkami naukowymi we Francji zaowocowała między innymi 4 projektami, z których w jednym byłem kierownikiem, oraz stażami które odbyłem w Uniwersytecie w Reims i Uniwersytecie Joseph Fourier'a w Grenoble. W sumie odbyłem 11 staży zagranicznych w zagranicznych ośrodkach naukowych po obronie pracy doktorskiej (zał. 3, p. L), m. in. w laboratorium prof. Pletecher'a w Uniwersytecie Southampton (2007/08) oraz w laboratorium prof. Kolba w Uniwersytecie Ulm (2007). Ponadto w drodze konkursu uzyskałem stypendia umożliwiające mi uczestnictwo w szkoleniach z zakresu elektrochemii w Algierii (2007): „European Summer School on Magneto-Electrochemistry”, w Atenach (2007): „Micro And Nano Scale Patterned Deposition” i Trento (2008): „Deposition for sensors and biomedics”.

W trakcie doktoratu byłem stypendystą Rządu Włoskiego i dzięki temu odbyłem staż naukowy w laboratorium prof. Marii Luizy Foresti (2004). Ponadto odbyłem także praktykę przemysłową w Rassini Frenos S.A. de C.V. w San Martin Texmelucan, Meksyk (2001). Byłem także dwukrotnym stypendystą European Academy of Surface Technology Fellowship, co umożliwiło mi uczestnictwo w dwóch szkoleniach: „Deposition Processes” w Barcelonie (2005) i „Control Of Deposit Processes” w Schwäbisch Gmünd (2006).

Wykonałem 11 recenzji publikacji naukowych w wydawnictwach znajdujących się liście czasopism A i B MNiSW (zał. 3, p. III, P). W wyniku mojej aktywności naukowej zostałem wyróżniony Zespołową nagrodą Rektora Akademii Górniczo-Hutniczej, stopnia II za osiągnięcia w naukowe w 2013.

Efektom mojej pracy naukowo-badawczej jest opublikowanie 50 publikacji naukowych, z których 41 znajduje się w wykazie Journal Citation Report. Jestem współautorem 60 wystąpień

konferencyjnych, z czego w 20 byłem głównym prezentującym wyniki. Sumaryczny Impact Factor publikacji wynosi 81,597, sumaryczna ilość punktów wg Punktacji Ministerialnej – 1190. Liczba cytowań wg bazy Web of Science wynosi 225 (97 - bez autocytowań), wg bazy Scopus wynosi 290 (131 - bez autocytowań). Indeks Hirscha wg Web of Science wynosi 8, wg bazy Scopus wynosi 10.

W ramach współpracy z przemysłem uczestniczyłem w projekcie rozwojowym dotyczącym „Określenie parametrów technologii odzysku telluru z półproduktów oraz materiałów odpadowych towarzyszących procesowi produkcji miedzi w HM Głogów”. Uczestnictwo w tym projekcie rozwinęło moje zainteresowania tellurem, co zaowocowało 2 publikacjami i jednym zgłoszeniem patentowym. Ponadto uczestniczyłem w szeregu prac zleconych przez KGHM Polska Miedź SA, dotyczących procesu elektorafinacji srebra (zał. 3, p. II, F-11-14). Wykonywałem także badania w ramach projektów: projekt rozwojowy nr: UDA-POIG.01.03.01-00-086/09-00 „Zaawansowane technologie wytwarzania materiałów funkcjonalnych do przewodzenia, przetwarzania, magazynowania energii”, zadanie 1.6 projektu pt: „Nowe rodzaje funkcjonalnych miedzi stopowych o wysokiej wytrzymałości i przewodności elektrycznej przeznaczonych dla elektroenergetyki i elektroniki” oraz projekt realizowany w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Priorytet 1, Badania i Rozwój Nowoczesnych Technologii, Działanie 1.3, Wsparcie Projektów B+R na rzecz przedsiębiorców realizowanych przez jednostki naukowe, Poddziałanie 1.3.1, Projekty rozwojowe 2009-2013.

Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Dotychczasowa działalność dydaktyczna obejmowała prowadzenie wykładów, ćwiczeń laboratoryjnych i audytoryjnych, dla studentów studiów stacjonarnych i niestacjonarnych Wydziału Metali Nieżelaznych oraz Wydziału Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Prowadziłem zajęcia dydaktyczne z następujących przedmiotów:

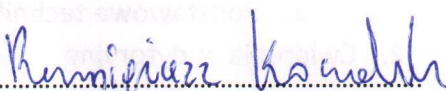
1. Wykład:
 - a. Podstawowe techniki rozwoju osobistego
2. Ćwiczenia audytoryjne
 - a. Chemia ogólna
 - b. Chemia metali i rud
3. Ćwiczenia laboratoryjne
 - a. Chemia Fizyczna
 - b. Korozja metali i stopów
 - c. Informatyka
4. Ćwiczenia projektowe
 - a. Podstawowe techniki rozwoju osobistego

W ramach prowadzonych ćwiczeń laboratoryjnych z Chemii Fizycznej brałem udział w przygotowywaniu oraz modernizacji stanowisk laboratoryjnych. Ponadto samodzielnie opracowałem sylabusy dla modułów Podstawowe techniki rozwoju osobistego oraz Electrochemisty (przedmiot prowadzony w języku angielskim).

W ramach opieki nad studentami byłem promotorem 10 prac inżynierskich i 10 prac magisterskich (zał. 3, p. III, J) oraz recenzowałem 18 prac inżynierskich i magisterskich. Byłem również opiekunem naukowym 4 referatów wygłaszanych na Studenckich Sesjach Kół Naukowych AGH (zał. 3, p. III, I). Obecnie jestem promotorem pomocniczym w jednym przewodzie doktorskim Tomasza Łokcika pt.: „Optymalizacja materiałów hybrydowych zawierających molibdeniany i wolframiany metali ciężkich pod kątem zastosowań optoelektrycznych” (zał. 3, p. III, K).

Ponadto pełnię funkcję „opiekuna roku” dla studentów kierunku Metalurgia rozpoczynających studia w: 2012/13, 2013/14, 2014/15 i 2015/16. W latach od 2009 do 2013 byłem członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej. W latach 2004-2007 uczestniczyłem w organizacji Festiwalu Nauki w Krakowie oraz Nocy Naukowców w 2015 roku. W ramach działalności promocyjnej Wydziału Metali Nieżelaznych prowadzę corocznie pokazy dla uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych w ramach Dni Otwartych AGH. Jako opiekun Laboratorium Elektrochemii prowadzę pokazy promujące jego możliwości dydaktyczne i badawcze, zarówno przyszłym studentom, jak i przedstawicielom z przemysłu lub innych ośrodków naukowych.

W ramach działalności organizacyjnej byłem członkiem komitetu organizacyjnego związanego z obchodami 50-lecia Wydziału Metali Nieżelaznych oraz 90-lecia Akademii Górniczo-Hutniczej. Ponadto byłem także członkiem komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji: 11th International Symposium on Electrochemical/Chemical Reactivity of Metastable Materials. "Chemistry for Materials Science", która odbyła się w dniach 12 - 14 wrzesień 2012, Kraków. Ponadto jestem głównym przedstawicielem z Polski w Komitecie organizacyjnym międzynarodowego projektu COST MP1407: Electrochemical processing methodologies and corrosion protection for device and systems miniaturization (e-MINDS). W ramach tego projektu byłem głównym organizatorem Workshop/MC Meeting of COST MP1407 Kraków, która odbyła się w dniach 28-30 września 2015, Kraków.


Podpis wnioskodawcy