

dr hab. Mariusz Krawiec
Instytut Fizyki
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
pl. M. Curie-Skłodowskiej 1
20-031 Lublin

Lublin, 15 października 2013

Ocena osiągnięć naukowych i dorobku naukowego dr Anny Wolskiej w postępowaniu kwalifikacyjnym o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Dr Anna Wolska ukończyła studia wyższe na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej w 1997 r. Pracę magisterską zatytułowaną *Zastosowanie cyfrowych metod filtracji przestrzennej do korekcji wybranych wad zdjęć fotograficznych* wykonała pod kierunkiem dr. inż. Macieja Sypki. Stopień doktora nauk fizycznych uzyskała w roku 2001 na podstawie rozprawy *Badanie struktury elektronowej kryształów półprzewodnikowych z układu Cu-In-Se metodą absorpcji promieniowania rentgenowskiego*, wyróżnionej decyzją Rady Naukowej Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej. Promotorem w przewodzie doktorskim był profesor Rajmund Bacewicz. Od 2002 r. dr Anna Wolska pracuje w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Po doktoracie w latach 2002-2005 odbyła staż podoktorski na University of Nevada, oddelegowana do pracy w Advanced Light Source (USA). Od 1998 r. regularnie uczestniczy w sesjach pomiarowych w ośrodkach synchrotronowych w Niemczech, Szwecji i Francji.

Ocena cyklu publikacji pt.

Lokalna struktura wokół atomów Mn w wydzieleniach w matrycach półprzewodnikowych

Przedstawione do recenzji osiągnięcie naukowe, będące podstawą do ubiegania się przez dr Annę Wolską o nadanie stopnia doktora habilitowanego, stanowi jednotematyczny cykl dziewięciu prac opublikowanych w latach 2007-2012. Osiem spośród dziewięciu prac, ponumerowanych przez habilitantkę od [H-1] do [H-8], ukazało się w dobrych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym: Physical Review B (1 praca), Journal of Applied Physics (2), Journal of Non-Crystalline Solids (1), Radiation Physics and Chemistry (2), Acta Physica Polonica A (2). Ostatnia praca [H-9] stanowi rozdział monografii poświęconej implantacji jonów pt. *Ion Implantation*, edytowanej przez M. Goorsky'ego, do napisania którego habilitantka została zaproszona. Jest ona również jedyną autorką tej publikacji. Pozostałe prace są wieloautorskie i zawierają od pięciu do dziewiętnastu autorów. W sześciu z ośmiu prac wieloautorskich dr Wolska jest pierwszym autorem, natomiast w dwóch nazwisko habilitantki figuruje na drugim miejscu listy autorów nieułożonej w kolejności alfabetycznej. Jej wiodący udział w poszczególnych pracach został udokumentowany oświadczeniami współautorów artykułów. Określony przez dr Wolską jej procentowy udział w ośmiu publikacjach wieloautorskich wynosi: 80 % (dwie prace), 75 % (3), 70 % (1), 30 % (1) i 20 % (1), co daje średnio 63 % na publikację. Stanowi to wystarczającą podstawę do stwierdzenia, że przedstawiony cykl publikacji jest oryginalnym wkładem habilitantki do dziedziny będącej przedmiotem jej działalności naukowej.

Pewien lekki niedosyt może budzić niezbyt duża liczba cytowań prac wchodzących w

omawiany cykl. Dotyczy to prac od [H-1] do [H-8]. Łącznie prace te były cytowane 46 razy (stan na 15/10/2013), z czego praca [H-1] opublikowana w Physical Review B – 36 razy. Należy jednak podkreślić, że są to prace nowe i cytowane głównie przez inne grupy badawcze, gdyż liczba autocytowań wynosi zaledwie sześć. Świadczy to o tym, że prace te zostały zauważone przez środowisko naukowe na całym świecie.

Celem badań, których wyniki zostały przedstawione w cyklu dziewięciu prac było uzyskanie półprzewodnikowego materiału ferromagnetycznego w temperaturze pokojowej z wykorzystaniem atomów manganu oraz określenie lokalnej struktury wokół tych atomów i powiązanie jej z właściwościami makroskopowymi badanych materiałów.

W badaniach eksperymentalnych dr Wolska stosowała całą gamę metod pomiarowych wykorzystujących promieniowanie synchrotronowe. Należą do niej m. in. absorpcja promieniowania rentgenowskiego w różnych zakresach widma: blisko krawędzi (X-ray Absorption Near Edge Structure – XANES) oraz w obszarze struktury rozciągniętej (Extended X-ray Absorption Fine Structure – EXAFS). Wyniki pomiarów były korelowane z obliczeniami teoretycznymi, co pozwalało na odpowiednie interpretowanie danych doświadczalnych. Na tej podstawie uzyskiwano informację o lokalnym otoczeniu badanych atomów. Inną metodą stosowaną przez habilitantkę była absorpcja w zewnętrznym polu magnetycznym i pomiary dichroizmu magnetycznego (X-ray Magnetic Circular Dichroism – XMCD). Na tej podstawie możliwe było określenie, czy dany pierwiastek jest źródłem właściwości magnetycznych.

W przedstawionym cyklu publikacji można wyróżnić trzy grupy prac poświęconych atomom Mn w różnych materiałach półprzewodnikowych.

Pierwsza grupa prac, od [H-1] do [H-3], dotyczy krzemu implantowanego manganem. Do implantacji dr Wolska wykorzystwała kryształy Si(100) wytworzone metodą topnienia strefowego oraz metodą Czochralskiego. Implantacja prowadzona była zarówno na zimne jak i na ciepłe podłoże. Analiza widm XANES wykluczyła obecność manganu w formie metalicznej oraz jego tlenków. Przeprowadzenie symulacji komputerowych z pierwszych zasad widm XANES pozwoliło wywnioskować, że atomy manganu nie są podstawiane za atomy Si, ani nie lokują się w położeniach międzywęzłowych w matrycy Si. Wykluczono również obecność regularnych wydzieleni Mn_xSi_y . Struktura widm EXAFS wyraźnie wskazywała na brak uporządkowania dalekiego zasięgu wokół atomów Mn. Zamiast tego wyniki sugerowały obecność klastrów zawierających od pięciu do ośmiu najbliższych sąsiadów. Wyniki tych badań zostały zamieszczone w pracy [H-1]. W tym miejscu warto podkreślić, że jest to pierwsza praca, w której lokalna struktura wokół atomów Mn w tego typu próbkach została zbadana w sposób bezpośredni, metodą absorpcji promieniowania rentgenowskiego.

Dalsze badania implantacji Mn na ciepłe podłoże były podstawą publikacji [H-2]. Celem tej pracy była próba określenia, czy atomy Mn rozłożone są regularnie, czy też tworzą wytrącenia. Zastosowanie technik mikroskopowych, jak transmisyjna mikroskopia elektronowa wysokiej rozdzielczości oraz spektroskopia strat energii elektronów, pozwoliło na stwierdzenie, że atomy Mn grupują się w wydzieleniach o średnicy ok. 5 nm.

Wyniki bardziej kompleksowych badań zależności lokalnej struktury wokół atomów Mn od zastosowanych procesów technologicznych zawarte są w pracy [H-3]. Kluczowym czynnikiem, mającym wpływ na lokalne otoczenie atomów Mn, jest temperatura podłoża podczas procesu implantacji oraz temperatura wygrzewania. Utworzone zaś krystality należą do związków Nowotnego (higher manganese silicides). Pomiary dichroizmu magnetycznego wykluczyły obecność momentu magnetycznego na atomach Mn w zakresie badanych pól magnetycznych i temperatur. Powyższe wyniki wskazują, że porządek ferromagnetyczny, obserwowany w temperaturze pokojowej, nie pochodzi od jonów manganu, ale raczej od defektów strukturalnych, powstających w procesie implantacji. Tak więc różnice w lokalnym otoczeniu atomów Mn w matrycach krzemowych nie przekładają się bezpośrednio na makroskopowe właściwości magnetyczne.

Druga część cyklu prac dotyczy wytrąceń MnAs w matrycy GaAs. Praca [H-4] poświęcona jest

próbkom $Ga_{1-x}Mn_xAs$ z nominalną koncentracją Mn równą 6 i 8 %. Porównanie obliczonych widm absorpcyjnych z widmami XANES prowadzi do konkluzji, że mniej niż 50 % atomów Mn podstawia atomy Ga. Pozostałe atomy Mn lokują się w położeniach międzywęzłowych, wybierając atomy Ga jako najbliższych sąsiadów. Praca [H-4], jako pierwsza w literaturze, wskazuje na możliwość rozróżnienia położenia międzywęzłowych z najbliższymi sąsiadami Ga lub As na podstawie analizy widm XANES. Pozwala zatem określić procentową zawartość manganu w różnych pozycjach krystalograficznych.

Ostatnia, najliczniejsza grupa prac, od [H-5] do [H-9], dotyczy wytrąceń MnSb na podłożach GaAs oraz GaSb.

Publikacja [H-5] poświęcona jest właściwościom strukturalnym i magnetycznym cienkich warstw MnSb, wytworzonych metodą epitaksji molekularnej, na podłożach GaAs(111) oraz GaAs(100). Analiza widm XANES i EXAFS pozwoliła stwierdzić, że warstwy MnSb posiadają strukturę charakterystyczną dla proszku referencyjnego MnSb. Inaczej niż w przypadku krzemu, pomiary dichroizmu magnetycznego w temperaturze ok. 100 K i w temperaturze pokojowej, wskazują na obecność momentów magnetycznych na atomach Mn i Sb. Określona wartość momentu magnetycznego (0.45 magnetonu Bohra μ_B na atom) jest znacznie wyższa niż wartość przewidziana teoretycznie (0.1 μ_B /atom). Wykorzystanie skaningowej mikroskopii elektronowej oraz mikroskopii sił atomowych pozwoliło na stwierdzenie, że warstwy MnSb nie tworzą gładkiej powierzchni, ale charakteryzują się obecnością wielkich wypiętych i struktur rozciągniętych. Wskazuje to na naturalną tendencję MnSb do tworzenia wytrąceń.

W pracy [H-6] uwaga autorów skupiona została głównie na badaniach strukturalnych wydzieleni MnSb na podłożach GaAs(111) oraz GaSb(100). Dane ze skaningowej mikroskopii elektronowej wskazują na zależność rozmiaru wydzieleni od temperatury oraz zależności ich kształtu od rodzaju podłoża. Ilość manganu silnie wpływa na gęstość wydzieleni, ale nie na ich rozmiar. Typowy rozmiar wydzieleni MnSb to kilkaset nanometrów. Ponadto wyniki absorpcji promieniowania rentgenowskiego wskazują na bardziej uporządkowane struktury wokół atomów Mn na podłożu GaSb, niż w przypadku GaAs.

Praca [H-7] dotyczy głównie właściwości magnetycznych wydzieleni MnSb wytworzonych w procesie epitaksji molekularnej na podłożach GaSb(100) oraz GaAs(111). Zastosowanie szeregu komplementarnych metod badawczych pozwoliło potwierdzić istnienie porządku ferromagnetycznego począwszy od temperatur helowych aż do temperatury pokojowej. Dodatkowo okazało się, że struktury MnSb charakteryzują się różnymi kierunkami osi łatwego namagnesowania w zależności od rodzaju podłoża. Jest to istotny wynik z punktu widzenia zastosowań tych układów w spintronice.

Ostatnie dwie prace [H-8] i [H-9] poświęcone są próbom wytworzenia wydzieleni MnSb o niewielkich rozmiarach metodą implantacji jonów Mn do kryształów GaSb. Analiza widm EXAFS próbek implantowanych niewielkimi dawkami i energiami jonów Mn wykazała, że atomy Sb usuwane są z otoczenia manganu i nie tworzą się wydzielenia MnSb. Ponadto stwierdzono, że w otoczeniu atomów Mn rzędu kilku angstromów pojawiają się obszary Ga-Mn ze strukturą krystalograficzną charakterystyczną dla GaSb, ale nie dla GaMn. Zastosowanie wyższych dawek i energii jonów Mn oraz dodatkowe procedury technologiczne, jak wygrzewanie w atmosferze różnych gazów, doprowadziły do podobnych wniosków. Mianowicie, atomy Sb usuwane są z otoczenia manganu. Próby wprowadzenia atomów Sb poprzez wygrzewanie próbki w parach antymonu również nie przyniosły zamierzonego efektu. Razem z atomami Sb do próbki przedostawał się tlen, co skutkowało tworzeniem się tlenków manganu. Dodatkowa implantacja jonów Sb również nie przyniosła pozytywnych rezultatów. Pewnym kierunkiem dalszych badań, zaproponowanym w pracy [H-9], jest implantacja jonami Mn, a następnie Sb, ale na ciepłe podłoże. W tym przypadku znika przynajmniej problem z atomami tlenu, ponieważ wyższa temperatura sprzyja szybkiej rekrytalizacji i zapobiega dyfuzji atomów tlenu. Przeprowadzone wyniki sugerują jednak, że wytworzenie wydzieleni MnSb poprzez proces implantacji do kryształów GaSb może okazać się bardzo skomplikowane lub wręcz niemożliwe.

Przedłożony do recenzji przez dr Annę Wolską monotematyczny cykl publikacji, jako podstawa do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego stanowi spójną całość. Zebrane prace zawierają szereg nowych wyników, które w istotnym stopniu wzbogacają naszą wiedzę o lokalnej strukturze atomowej wokół atomów Mn w matrycach półprzewodnikowych oraz jej relacji z właściwościami magnetycznymi w skali makroskopowej. Są również przykładem nowatorskich zastosowań metod absorpcji promieniowania synchrotronowego do określenia lokalnego rozkładu atomów w kryształach. Tym samym wnoszą one istotny wkład w rozwój fizyki fazy skondensowanej.

Ocena dorobku naukowego

Dr Anna Wolska jest współautorką 48 publikacji objętych bazą *Journal Citation Reports* (JCR), z czego 42 powstało po uzyskaniu stopnia doktora. Opublikowane prace były łącznie cytowane 269 razy (stan na 15/10/2013), co jak na dziedzinę fizyki fazy skondensowanej jest raczej zadowalającym wynikiem. Wśród prac opublikowanych po doktoracie i niewchodzących w skład cyklu publikacji habilitacyjnych, na uwagę zasługują prace opublikowane w renomowanych czasopismach o wysokim współczynniku oddziaływania (IF), takich jak (wymieniając najbardziej liczne): *Physical Review Letters* (4 prace), *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* (4), czy *Chemical Physics Letters* (3). Na liście publikacji znajduje się również osiem prac spoza bazy JCR. Habilitantka jest także autorką rozdziału w monografii poświęconej implantacji jonowej oraz współautorką rozdziału w skrypcie na temat wykorzystania promieniowania synchrotronowego. Jest również współautorką 33 raportów naukowych z prowadzonych pomiarów synchrotronowych, z czego 3 powstały w czasie studiów doktoranckich.

Oceniając powyższe prace, należy podkreślić dużą różnorodność studiowanych problemów oraz szeroką gamę materiałów wykorzystywanych do ich realizacji. Oprócz tematyki zawartej w cyklu publikacji habilitacyjnych, w swoich badaniach dr Wolska zajmowała się między innymi ceramikami NaNbO_3 , ceramikami na bazie azotku boru, strukturami na bazie GaN, kropkami kwantowymi CdSe, materiałami na bazie ZnO, wodorkami faz Lavesa, efektami niedipolowymi w gazach, czy materiałami biologicznymi.

Działalność publikacyjną dr Wolskiej uzupełnia duża aktywność w rozpowszechnianiu wyników badań poprzez prezentację na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych. Habilitantka jest współautorką 130 prezentacji konferencyjnych. W tej liczbie znajduje się 5 referatów na zaproszenie oraz 4 komunikaty ustne, które prezentowała osobiście w kraju i zagranicą.

Dr Wolska uczestniczyła (lub uczestniczy) w charakterze wykonawcy lub głównego wykonawcy w ośmiu projektach badawczych finansowanych ze źródeł zarówno krajowych jak i europejskich. W latach 2002 – 2012 była również kierownikiem 7 projektów na synchrotronowych źródłach europejskich (HASYLAB oraz MAX-lab) oraz uczestniczyła w 11 takich projektach. Ponadto pełniła obowiązki kierownika trzyletniego projektu HASYLAB. Niewątpliwie świadczy to dużym zaangażowaniu habilitantki w prowadzenie badań naukowych jak również w pozyskiwanie środków na te badania.

Dotychczasowa działalność naukowa dr Wolskiej przyniosła jej autorytet eksperta w jej dziedzinie badań, o czym świadczy fakt recenzowania kilkunastu prac dla czasopism naukowych.

Habilitantka charakteryzuje się również sporą aktywnością organizacyjną. Była sekretarzem międzynarodowej konferencji naukowej (*9th International School and Symposium on Synchrotron Radiation in Natural Science*) oraz należała do komitetów programowych czterech krajowych i międzynarodowych konferencji.

Na uwagę zasługuje również aktywność dr Wolskiej na polu popularyzowania technik absorpcyjnych. Współorganizowała i współprowadziła warsztaty naukowe *Zastosowanie Absorpcji Rentgenowskiej do Określania Lokalnej Struktury Atomowej i Elektronowej Materiałów*.

Zaprojektowała i prowadziła również jedno z ćwiczeń w ramach warsztatów dla uzdolnionej młodzieży organizowanych przez Krajowy Fundusz na Rzecz Dzieci.

Podsumowanie

Podsumowując pragnę stwierdzić, że zarówno przedstawiony cykl dziewięciu publikacji i wyniki w nich zawarte, jak i dorobek naukowy uzyskany po uzyskaniu stopnia doktora świadczą o tym, że habilitantka wniosła istotny wkład w rozwój fizyki fazy skondensowanej i wykazuje się dużą aktywnością naukową w tej dziedzinie. Jej osiągnięcia naukowe spełniają wymagania stawiane przez „Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 r. kandydatom do stopnia doktora habilitowanego. Wnioskuje zatem o dopuszczenie dr Anny Wolskiej do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

