

Prof. dr hab. Andrzej Szewczyk
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
Warszawa

**Recenzja dorobku naukowego dr Izabeli Kudelskiej oraz jej osiągnięcia naukowego
„Magnetyczne nanokryształy półprzewodnikowe oparte o związki tlenkowe - własności
magnetyczne i strukturalne”, będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora
habilitowanego**

Dr Izabela Kudelska (vel Kuryliszyn, vel Kuryliszyn-Kudelska) ukończyła Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 1998 r., uzyskując tytuł zawodowy magistra fizyki w oparciu o rozprawę zatytułowaną: „Magnetooptyczne i magnetyczne własności kryształów $Mg_{1-x}Mn_xTe$ o strukturze blendy cynkowej”. Promotorem pracy magisterskiej był prof. Andrzej Twardowski. Od 1998 r. do chwili obecnej związana jest zawodowo z Instytutem Fizyki PAN. Początkowo była uczestniczką studiów doktoranckich, a następnie - pracownikiem naukowym IF PAN na stanowiskach asystenta i adiunkta w Zespole Fizyki Półprzewodników Półmagnetycznych - z dwuletnią przerwą związaną z urlopem macierzyńskim i wychowawczym. Dr Kudelska odbyła też roczny staż badawczy USA, w Department of Physics, University of Notre Dame. W 2005 r. uzyskała stopień doktora nauk fizycznych, przedstawiając Radzie Naukowej IF PAN rozprawę „Magnetic and transport properties of ferromagnetic semiconductor multinary alloys $PbMnEuSnTe$ and $GaMnAs$ ”, której promotorem był prof. Witold Dobrowolski.

Ocena dorobku naukowego

Podjmując pracę w IFAN, dr Kudelska włączyła się w bardzo atrakcyjne zagadnienie badawcze, tj. w badania właściwości magnetycznych, termicznych, optycznych i galwanomagnetycznych tzw. półprzewodników półmagnetycznych, nazywanych też rozcieńczonymi półprzewodnikami magnetycznymi. Są to związki pierwiastków z grup II-VI, II-V i IV-VI. Warto wspomnieć, że od lat siedemdziesiątych ub. wieku IF PAN jest jednym z wiodących ośrodków badawczych na świecie w tej dziedzinie.

Według danych z bazy Web of Science z dnia 8 lutego 2019 r., na dorobek naukowy dr Kudelskiej składa się 39 prac, które były cytowane 792 razy, w tym 743 razy bez autocytowań. Jest to spory dorobek, a publikacje dr Kudelskiej budzą duże zainteresowanie w środowisku. Warto zauważyć, że statystycznie na jedną pracę Habilitantki przypada ok. 20 cytowań. Istotne jest też to, że 17 prac pani Kudelskiej jest opublikowanych w wysoko cenionych czasopismach, których „impact factor” jest większy niż 2, w tym 1 praca w Phys. Rev. B (i.f. 3.7), 1 - w Appl. Phys. Lett. (i.f. 3.4), 6 - w J. Alloys & Compounds (i.f. 3.3).

Początkowo, celem badań dr Kudelskiej było zidentyfikowanie fizycznych mechanizmów odpowiedzialnych za właściwości magnetyczne i transportowe próbek objętościowych i warstw półprzewodników półmagnetycznych $(Pb,Mn,Eu,Sn)Te$, $(Sn,Mn,Er)Te$ i $(Ga,Mn)As$, w których sprzężenie pomiędzy lokalnymi momentami magnetycznymi manganu następuje za pośrednictwem swobodnych nośników. Badania przeprowadzone w tym okresie wykazały, że nierównowagowy wzrost warstw $(Ga,Mn)As$ metodą niskotemperaturowej MBE prowadzi do

wytworzenia dużej gęstości defektów międzywęzłowych i że właściwości magnetyczne uzyskanych warstw mogą być silnie modyfikowane poprzez wygrzewanie. Wyjaśniły też mechanizm procesu wygrzewania.

Dr Kudelska prowadziła też badania wpływu obecności dwóch jonów magnetycznych w mieszanych kryształach (Pb,Mn,Eu,Sn)Te i (Sn,Mn,R)Te (gdzie $R = \text{Eu}$ lub Er) na właściwości magnetyczne tych materiałów, w szczególności na występowanie magnetycznych przemian fazowych: paramagnetyk-ferromagnetyk i ferromagnetyk - szkło spinowe.

Oprócz tego dr Kudelska badała właściwości magnetycznych kryształów SiC domieszkowanych Fe oraz chemicznie funkcjonalizowane wielościenne nanorurki.

Od 2009 r. w pracy naukowej dr Kudelskiej zdecydowanie dominują badania właściwości magnetycznych materiałów nanokrystalicznych. Ponieważ znaczna część tych badań wchodzi w skład cyklu publikacji przedstawionego jako osiągnięcie habilitacyjne, omówię je dokładniej w następnej części recenzji.

Dr Kudelska prezentowała też uzyskane rezultaty na międzynarodowych konferencjach. Wygłosiła trzy wykłady zaproszone, w tym jeden plenarny. Poza tym przedstawiła 19 prac na międzynarodowych konferencjach, przy czym z informacji podanych w autoreferacie trudno jest zorientować się, które z nich miały formę referatów, a które - prezentacji plakatowych. Oprócz tego jest współautorką 11 prac, które przedstawili na międzynarodowych konferencjach jej współautorzy. Wygłosiła też 4 referaty na warsztatach i konferencjach krajowych.

Podsumowując tę część recenzji, stwierdzam, że dorobek naukowy Habilitantki po uzyskaniu stopnia doktora wnosi znaczny wkład w rozwój fizyki rozcieńczonych półprzewodników magnetycznych, a więc spełnia wymagania sformułowane w art. 16 ustawy „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”.

Ocena aktywności naukowej, dorobku dydaktycznego, popularyzatorskiego, organizacyjnego i współpracy międzynarodowej

Dr Kudelska wykazuje się bardzo dużą aktywnością naukową. Była kierownikiem jednego i głównym wykonawcą innego projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, a także głównym wykonawcą grantu promotorskiego (KBN) i wykonawcą projektu badawczego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Jak na pracownika instytutu badawczego PAN, posiada duży dorobek dydaktyczny. Prowadziła wspólnie z dr. Szotem i dr. Kilańskim semestralny wykład dla uczestników Międzynarodowego Studium Doktoranckiego IF PAN. Kilkakrotnie prowadziła też ćwiczenia rachunkowe do semestralnych wykładów prowadzonych dla studentów Szkoły Nauk Ścisłych oraz Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego. Ponadto sprawowała opiekę nad dwoma magistrantkami UKSW oraz jedną magistrantką Politechniki Warszawskiej.

Dr Kudelska współpracuje z ośrodkami zagranicznymi, odbyła roczny staż w University of Notre Dame w USA oraz kilkakrotnie, krótkie badawcze wizyty: w Laboratoire National des Champs Magnétiques Pulsés w Tuluzie, w Humboldt University w Berlinie i w Belgrad University w Belgradzie.

Do dużych osiągnięć w pracy organizacyjnej dr Kudelskiej należy zaliczyć dwukrotne pełnienie funkcji sekretarza dużej, międzynarodowej konferencji z serii „International School on the Physics of Semiconducting Compounds” w Jaszowcu, a także udział w przygotowaniu materiałów pokonferencyjnych międzynarodowej konferencji E-MRS Fall Meeting 2002, Symposium G, „Solid Solutions of the II-VI Compounds - Growth, Characterisation and Applications” w Zakopanem.

Kandydatka wykonuje też recenzje artykułów nadsyłanych do renomowanych czasopism fachowych, m.in. do Journal of Alloys and Compounds, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Nanoscale Research Letters, Journal of Physics and Chemistry of Solids, Crystals.

Dr Kudelska ma imponujący dorobek z zakresie popularyzacji nauki. Obejmuje on m.in. wykłady wygłoszone na „Uniwersytecie dzieci”, zorganizowanie na terenie IF PAN szeregu warsztatów doświadczalnych dla młodzieży w ramach: „Środowych spotkań z fizyką”, „Festiwalu Nauki” i „Dni otwartych Instytutu Fizyki PAN”, a także zorganizowanie ok. 20 warsztatów doświadczalnych na terenie szkół podstawowych w Warszawie i Pruszkowie.

Podsumowując, uważam, że dorobek dydaktycznego, popularyzatorski i organizacyjny dr Kudelskiej świadczy o jej istotnej aktywności naukowej i z nawiązką spełnia wymagania sformułowane we wspomnianej wyżej ustawie.

Ocena osiągnięcia habilitacyjnego

Jako osiągnięcie naukowe, będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, dr Kudelska przedstawiła cykl 8 powiązanych tematycznie, wieloautorskich publikacji w międzynarodowych czasopismach, zatytułowany: „Magnetyczne nanokryształy półprzewodnikowe oparte o związki tlenkowe - własności magnetyczne i strukturalne”. Załączone w dokumentacji oświadczenia wszystkich współautorów nie pozostawiają wątpliwości co do tego, że dr Kudelska była pomysłodawcą, inicjatorem, głównym wykonawcą badań właściwości magnetycznych, a także osobą, która interpretowała wyniki i redagowała przedłożone publikacje.

Aby scharakteryzować zawartość merytoryczną przedstawionego osiągnięcia naukowego, należy wspomnieć, że hipoteza badawcza przedłożonych prac bazowała na czterech spostrzeżeniach, z których każde poczyniono ponad 20 lat temu:

1. Materiały w postaci tzw. nanoproszków, których ziarna mają rozmiary rzędu od kilku do kilkudziesięciu nanometrów, wykazują właściwości znacznie różniące się od właściwości takich samych związków chemicznych otrzymanych w formie „materiałów objętościowych”. Najczęściej wiązane jest to z tym, że wraz ze zmniejszaniem rozmiarów cząstki wzrasta rola atomów położonych w pobliżu jej powierzchni i to one zaczynają determinować właściwości cząstki, podczas gdy właściwości cząstek większych, o rozmiarach rzędu mikrometrów, określają atomy znajdujące się wewnątrz, a więc w objętości cząstki (stąd pojawiło się określenie „materiał objętościowy”).
2. Magnetyczne nanomateriały mogą znaleźć liczne zastosowania, np. urządzeniach do zapisu informacji o bardzo dużej gęstości zapisu, w medycynie do punkтового dostarczania leku do chorej tkanki i wykorzystania zjawiska hipertermii do niszczenia chorych komórek.

3. ZnO jest szerokoprzerwowym półprzewodnikiem, który posiada dobre właściwości optoelektroniczne i piezoelektryczne i jest materiałem nietoksycznym, umieszczonym na liście materiałów bezpiecznych.
4. Istnieją przewidywania teoretyczne, że poprzez domieszkowanie jonów magnetycznych do niemagnetycznych półprzewodników, takich jak ZnO czy ZrO_2 , można uzyskać w nich uporządkowanie magnetyczne z temperaturą Curie przewyższającą temperaturę pokojową.

Biorąc pod uwagę powyższe spostrzeżenia należy uznać, że przyjęta w przedłożonych pracach koncepcja badawcza, aby wytworzyć nanoproszkowe materiały na bazie ZnO i ZrO_2 , zawierające jony magnetyczne w takiej koncentracji, że materiał wykazuje dalekozasięgowe uporządkowanie magnetyczne z temperaturą przemiany powyżej temperatury pokojowej lub właściwości superparamagnetyczne z temperaturą blokowania wyższą od temperatury pokojowej, była koncepcją bardzo interesującą i ważną ze względu na potencjalne zastosowania. W celu jej realizacji, Habilitantka nawiązała współpracę z technologami z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, Instytutu Chemii Fizycznej PAN i Politechniki Warszawskiej. W rezultacie wytworzone zostały nanoproszkowe próbki ZnO i ZrO_2 domieszkowane jonami Mn, Co i Fe, z zastosowaniem dwóch metod technologicznych: metody współstrącania i późniejszego wyprażania (kalcynacji) oraz metody syntezy hydrotermalnej. Warto podkreślić, że wytworzono serie wielu próbek o różnym zakresie domieszkowania pierwiastkami magnetycznymi.

Habilitantka zbadała strukturę i skład fazowy uzyskanych materiałów, we współpracy ze specjalistami stosującymi metody rentgenowskie (grupa prof. Paszkowicza w IF PAN), metodę mikroskopii elektronowej, metodę mikro spektroskopii Ramana (grupa prof. Romčevića na Uniwersytecie w Belgradzie) oraz metodę spektroskopii Mössbauera (grupa prof. Kopcewicza w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych). Przeprowadzone badania wykazały, że rozpuszczalność jonów magnetycznych w ZnO jest ograniczona i powstające nanomateriały są, w zdecydowanej większości, materiałami wielofazowymi, a za ich właściwości magnetyczne odpowiedzialne są wytrącenia różnych faz. W tej części badań na szczególne uznanie zasługuje dociekliwość i rzetelność dr Kudelskiej, gdyż nie przyjmowała ona apriorycznie, że otrzymany został jednorodny materiał o założonym składzie chemicznym, a przeprowadziła bardzo dokładną identyfikację składu fazowego próbek. Na przykład nawet wtedy, gdy badania rentgenowskie sugerowały, że w próbce nie ma już fazy czystego ZnO, to wykonane zostały badania metodą mikro spektroskopii Ramana, które pozwoliły wykryć istnienie resztek tej fazy.

Ważną częścią przedstawionego cyklu publikacji są badania dynamicznych właściwości magnetycznych wytworzonych materiałów (niezbyt fortunnie nazwane przez Habilitantkę w autoreferacie „dynamicznymi badaniami magnetycznymi”). Konkretnie, badana była rzeczywista i urojona część podatności magnetycznej w funkcji temperatury i częstotliwości pobudzającego pola magnetycznego. W celu określenia charakteru struktury magnetycznej badanych próbek Habilitantka wyznaczała powszechnie stosowany w tym celu parametr Φ , określający zależność temperatury blokowania lub temperatury zamarzania T_f od częstotliwości f przykładanego pola magnetycznego (będący przybliżeniem pochodnej logarytmicznej $d(\log_{10}T_f)/d(\log_{10}f)$) poprzez iloraz różnicowy), a także stosując metodę Vogela-Fulchera.

W miarę postępu prac Habilitantka publikowała cząstkowe wyniki badań ZnO domieszkowanego Mn i Co (prace H1, H4 i H7) oraz Fe (prace H2 i H3). Podsumowanie rezultatów domieszkowania ZnO pierwiastkami magnetycznymi przedstawiono w publikacji H5,

która ma charakter pracy przeglądowej. Rezultaty badań domieszkowania ZrO_2 jonami magnetycznymi przedstawione są w pracach H6 i H8.

Za najbardziej interesujące rezultaty przedłożonego cyklu publikacji uważam:

1. Wykazanie, że w przypadku ZrO_2 istnieje zakres domieszkowania, w którym nie wytrącają się obce fazy magnetyczne.
2. Wykazanie, że rozpuszczalność jonów magnetycznych w ZnO jest bardzo ograniczona, w związku z czym otrzymuje się próbki wielofazowe i za właściwości magnetyczne poszczególnych próbek odpowiedzialne są nanokrystaliczne wytrącenia różnych faz magnetycznych.
3. Zbadanie, w jaki sposób warunki prowadzenia syntezy wpływają na skład chemiczny, rozmiary i aglomerację wytrącających się nanokrystalitów, a także określenie, jak determinuje to właściwości magnetyczne uzyskiwanego materiału. W większości przypadków Habilitantka stwierdziła, w oparciu o analizę wspomnianego wyżej parametru Φ , że uzyskane materiały wykazują zachowanie charakterystyczne dla superparamagnetyków o nieoddziałujących cząstkach, superparamagnetyków o cząstkach oddziałujących ze sobą lub szkieł spinowych.
4. Określenie, jak w przypadku ZrO_2 warunki prowadzenia syntezy metodą hydrotermalną, w szczególności rodzaj zastosowanego prekursora i wartość pH wyjściowego roztworu, wpływają na właściwości magnetyczne powstającej nanokrystalicznej próbki.

Z recenzenckiego obowiązku wspominam, że w przedstawionych publikacjach można znaleźć nieliczne drobne usterki, głównie o naturze redakcyjnej. Na przykład w pracy H3 we wzorze (2) czynnik $(T_f - T_0)$ powinien być w mianowniku, a nie w liczniku wykładnika; z kolei w pracy H5 autorka pisze (na str.43), że w próbkach otrzymanych metodą kalcynacji temperatura Curie-Weissa „wzrasta” wraz ze zwiększaniem się zawartości fazy magnetycznej, tymczasem zmienia się ona od -4 K do -18 K, a więc wzrasta jej moduł, natomiast sama wartość - maleje. Są to jednak drobne usterki redakcyjne, których nie udaje się uniknąć większości z nas i które nie mają żadnego wpływu na wartość merytoryczną pracy.

Podsumowując, uważam, że przedstawiony cykl publikacji stanowi znaczący wkład dr Izabeli Kudelskiej w rozwój fizyki ciała stałego, a w szczególności - fizyki półprzewodników półmagnetycznych, spełnia więc wymagania wspomnianej wyżej ustawy.

Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z aktywnością naukową i dorobkiem naukowym dr Izabeli Kudelskiej oraz z cyklem jej publikacji przedstawionym jako osiągnięcie habilitacyjne, stwierdzam, że spełniają one w pełni wymagania do nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego, sformułowane w art. 16. „Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. 2017 poz. 1789). W związku z tym zwracam się do Rady Naukowej Instytutu Fizyki PAN z wnioskiem o nadanie dr Izabeli Kudelskiej stopnia doktora habilitowanego.


Andrzej Szewczyk