


2015-12-01
Warszawa



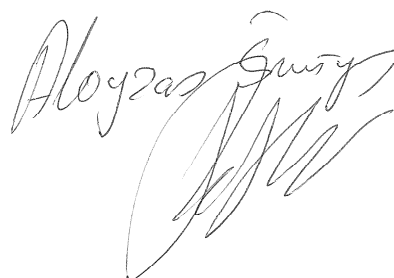
Tematem rozprawy doktorskiej jest wzrost MBE oraz właściwości strukturalne i magnetyczne nanodrutów (Ga,Mn)As-(In,Ga)As.

(Ga,Mn)As jest najbardziej intensywnie badanym materiałem należącym do grupy rozcieńczonych półprzewodników ferromagnetycznych {ang. *diluted ferromagnetic semiconductor (DFS)*}. Współistnienie cech typowym dla ferromagnetyka i półprzewodnika w jednym materiale jest bardzo atrakcyjne ze względu na ciekawe/nowe właściwości fizyczne oraz potencjalne zastosowania w spintronice. W literaturze naukowej, pierwsze doniesienie o ferromagnetycznych właściwościach (Ga,Mn)As pojawiło się w 1996 r (publikacja H. Ohno i współpracowników, z Tohoku University, Sendai, Japonia). Dużo wcześniej badano epitaksjalne warstwy GaAs domieszkowane manganem [np. B. Plot, et. al. J. Phys. C: Solid State Phys. 19, 4279 (1986)], jednak w tym przypadku, z uwagi na niskie koncentracje Mn (poniżej $10^{18}/\text{cm}^3$) nie spodziewano się możliwości istnienia niskotemperaturowej fazy ferromagnetycznej w GaAs:Mn. Dopiero zastosowanie wysoce nierównowagowej metody krystalizacji - epitaksji z wiązek molekularnych {ang. *molecular beam epitaxy (MBE)*}, z niską temperaturą wzrostu umożliwiło otrzymanie o kilka rzędów wielkości wyższych (kilkuprocentowych) koncentracji manganu w (Ga,Mn)As, wystarczających do uzyskania niskotemperaturowego przejścia do fazy ferromagnetycznej {z temperaturą krytyczną (T_c) = 110 K}. Nieco później te wyniki zostały wsparte modelem teoretycznym, przewidującym m.in. wysokości T_c , charakter anizotropii magnetycznej (Ga,Mn)As o różnych koncentracjach manganu oraz nośników ładunku elektrycznego {dziur w przypadku (Ga,Mn)As}. Pierwsze wyniki eksperymentalne, opublikowane przez H. Ohno i współpracowników dotyczyły warstw krystalizowanych na podłożach GaAs(100). Uzyskanie ferromagnetycznych właściwości w domieszkowanym manganem arsenku galu, który jest jednym z materiałów stosowanych na skalę przemysłową do produkcji przyrządów optoelektronicznych (np. źródeł i detektorów promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni) wzbudziło bardzo duże zainteresowanie w środowisku naukowym, w wyniku czego (Ga,Mn)As stał się najbardziej intensywnie badanym rozcieńczonym półprzewodnikiem magnetycznym, zarówno od strony eksperymentalnej jak i teoretycznej.

Niniejsza rozprawa przedstawia wyniki badań pseudo-jednowymiarowych struktur typu nanodrutu, zawierających (Ga,Mn)As. Praca opisuje metody wytwarzania oraz wyniki charakteryzacji kilku rodzajów nanodrutów. Pierwszy z nich to nanodrut GaAs jednorodnie domieszkowane manganem. W tym przypadku nie otrzymano nanodrutów o właściwościach ferromagnetycznych zarówno dla struktur otrzymywanych w wysokich (580 – 600 °C) jak i w niskich temperaturach (300 - 350 °C). Powodem tego jest niezgodność warunków wzrostu nanodrutów GaAs (wysoka temperatura krystalizacji) i (Ga,Mn)As o kilkuprocentowych zawartościach Mn (niska temperatura krystalizacji). W związku z tym zastosowano rozwiązanie polegające na wytwarzaniu radialnych heterostruktur typu rdzeń-otoczka, w którym rdzenie nanodrutów (bez Mn) krystalizowane są w wysokich temperaturach, natomiast otoczki (Ga,Mn)As, w niskich temperaturach, optymalnych dla danej koncentracji Mn (powyżej 1%). Ponadto użycie rdzeni nanodrutów z domieszką In {(In,Ga)As} umożliwia regulowanie anizotropii magnetycznej otoczek (Ga,Mn)As. Co więcej, w przypadku nanodrutów otrzymano próbki o heksagonalnej strukturze wurcytu (zarówno rdzenie jak i otoczki), w której zarówno kryształy objętościowe jak i warstwy GaAs nie występują w normalnych warunkach. (Ga,Mn)As o strukturze wurcytu nie był wcześniej badany. W prostych wurcytowych heterostrukturach typu rdzeń – pojedyncza otoczka zaobserwowano jedynie

super-paramagnetyczne właściwości (Ga,Mn)As. Wiadomo, że uzyskanie fazy ferromagnetycznej w tym materiale wymaga odpowiednio wysokich koncentracji Mn jak i nośników ładunku (dziur). Wyniki badań z użyciem technik transmisyjnej mikroskopii elektronowej, przedstawione w niniejszej rozprawie pokazały, że zawartości Mn w otoczkach nanodrutów są wystarczająco wysokie do otrzymania przejścia do fazy ferromagnetycznej. W związku z tym drugi czynnik (tzn. niskie koncentracje dziur) może być przyczyną braku dalekozasięgowego porządku magnetycznego (super-paramagnetycznych właściwości) otoczek. W celu zweryfikowania tej hipotezy wykonano i zbadano szereg bardziej skomplikowanych radialnych heterostruktur, w których (Ga,Mn)As występuje jako studnia kwantowa otoczona barierami (Al,Ga)As i LT GaAs (wewnętrzna i zewnętrzna, odpowiednio). W takich heterostrukturach spodziewana jest wyższa koncentracja nośników w (Ga,Mn)As (bariery uniemożliwiają dyfuzję dziur poza obszar otoczki domieszkowanej Mn). Rzeczywiście dopiero w tym przypadku - w radialnych studniach kwantowych (Ga,Mn)As, zaobserwowano niskotemperaturowe przejście do fazy ferromagnetycznej; co jest pierwszą obserwacją ferromagnetyzmu w (Ga,Mn)As o strukturze wurcytu. Dalszy postęp (zwiększenie temperatury przejścia, ograniczonej do ok. 30 K w pierwszych badanych strukturach) może zostać osiągnięty poprzez zastosowanie grubszych otoczek (Ga,Mn)As (tutaj ograniczonych do ok. 30 nm), oraz użycie technik powszechnie stosowanych w przypadku warstw (Ga,Mn)As, tzn. niskotemperaturowych wygrzewań redukujących zawartości defektów kompensujących akceptory Mn_{Ga} .

Oryginalne wyniki otrzymane w trakcie realizacji niniejszego projektu zostały opublikowane w kilku czasopismach naukowych o wysokich współczynnikach oddziaływania (ang. *impact factor*), w tym w dwóch wiodących pismach z dziedziny nanotechnologii (Nano Letters, Nanoscale).

A handwritten signature in black ink, reading "Aloyzas Guigas". The signature is written in a cursive, flowing style with some loops and flourishes.