

LOKALNE OTOCZENIE JONÓW MANGANU IMPLANTOWANYCH W KRYSZTAŁACH GaSb

A. Wolska^{1*}, K. Lawniczak-Jablonska¹, M.T. Klepka¹, A. Barcz¹,
A. Hallen², and D. Arvanitis³

¹ Institute of Physics PAS, al. Lotników 32/46, 02-668, Warsaw, Poland

² Royal Inst. of Technology, Dept. of Microelectronics and Applied Physics, Box 226, SE 164 40 Kista, Sweden

³ Department of Physics and Materials Science, Uppsala University, Box 530, 75121 Uppsala, Sweden

Keywords: MnSb, GaSb, implantation

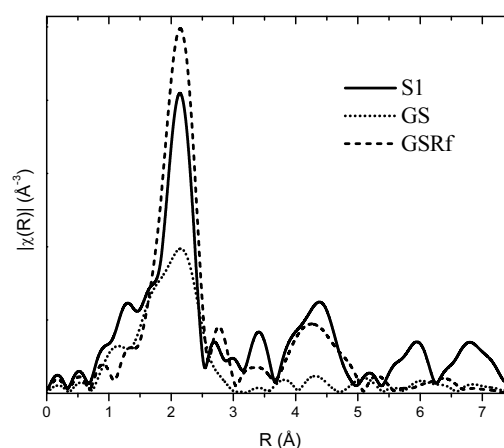
*) e-mail: wolska@ifpan.edu.pl

Wśród materiałów ferromagnetycznych, które mogą znaleźć zastosowanie w urządzeniach wykorzystujących spin, najczęściej wymienia się związek GaMnAs. Intensywnie bada się zarówno jednorodny potrójny stop, jak i wytrącenia MnAs w matrycy GaAs. Co więcej, okazało się, że ferromagnetyczne nanowytrącenia MnAs można uzyskać nie tylko poprzez hodowlę metodą MBE, ale także poprzez implantację jonów Mn do kryształów GaAs [1-3]. Ma to istotne znaczenie praktyczne, gdyż implantacja jest metodą tańszą w masowej produkcji. Innym typem wytrąceń o potencjalnie interesujących własnościach magnetycznych są wytrącenia MnSb. Objętościowy związek MnSb ma temperaturę Curie 587 K i magnetyzację nasycenia w temperaturze pokojowej 710 emu/cm³. Wykazano też, że warstwy Mn_{1-x}Sb_x hodowane na podłożu GaAs osiągają temperaturę Curie 620 K [4, 5]. Umiejętność otrzymywania ich poprzez implantację ułatwiłaby potencjalne zastosowania przemysłowe. Dlatego więc znalezienie optymalnych warunków do uzyskiwania wytrąceń o pożądanym własnościach jest szczególnie istotne.

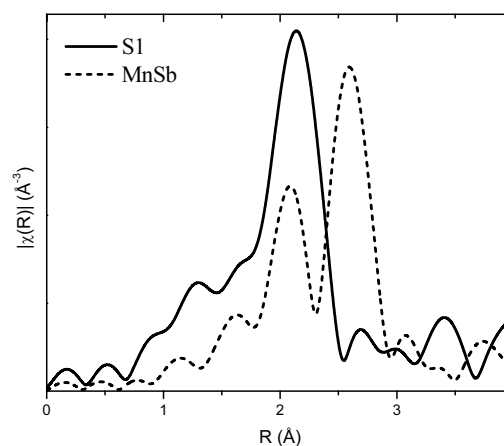
Próbki badane w prezentowanej pracy zostały przygotowane poprzez implantację kryształów GaSb jonami Mn. Energia jonów wynosiła 10 keV dla zestawu próbek oznaczonego S oraz 150 keV dla zestawu oznaczonego GS. Dawki jonów użyte dla zestawu S były następujące: 1×10¹⁶ Mn/cm² (S1), 2×10¹⁶ Mn/cm² (S2) oraz 3×10¹⁶ Mn/cm² (S3). Dla zestawu GS dawka wynosiła 1.7×10¹⁷ Mn/cm². Pierwszy zestaw był następnie wygrzany w piecu próżniowym przez 10 min. w temperaturze 650°C. W przypadku zestawu drugiego jedna próbka pozostała niewygrzana (GS), kolejna była wygrzana w atmosferze argonu przez 5 min. w 350°C (GSRf), kolejne dwie zaś wygrzewano w parach antymonu w 400°C przez 48 h (GS4) oraz 600°C przez 2 h (GS6).

Pomiary absorpcji promieniowania synchrotronowego zostały przeprowadzone w laboratorium Hasylab na stacjach Cemo i E4. Wykonano pomiary widm EXAFS na krawędzi K manganu na próbkach schłodzonych do temperatury ciekłego azotu i przy użyciu detektora fluorescencyjnego. Dodatkowo metodą transmisyjną zmierzono widma komercyjnych proszków MnSb oraz MnO. Uzyskane dane były

analizowane przy pomocy programów Athena i Artemis wchodzących w skład pakietu IFEFFIT [6].

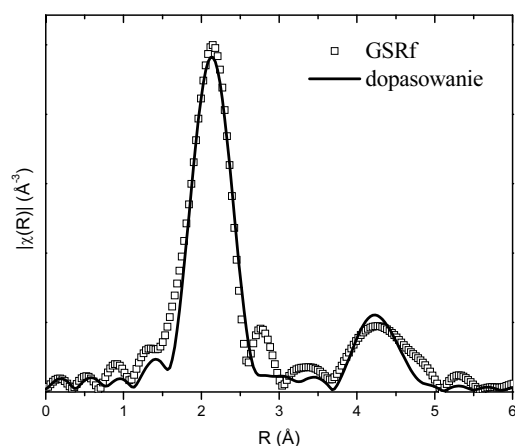


Rysunek 1. Porównanie transformat Fouriera oscylacji EXAFS dla wybranych implantowanych próbek.



Rysunek 2. Porównanie transformat fouriera dla próbki implantowanej (S1) oraz dla standardowego MnSb.

Rysunek 1 przedstawia porównanie transformaty fouriera oscylacji EXAFS dla wybranych próbek. Nie pokazano transformat dla próbek S2 i S3, gdyż są one podobne do S1. Pominięto też GS4 i GS6, gdyż zaobserwowano w nich głównie tlenek manganu. Tak jak się należało spodziewać, w próbce niewygrzewanej (GS) widoczna jest tylko pierwsza strefa koordynacyjna atomów wokół Mn. Jest ona niesymetryczna i dosyć szeroka, co sugeruje amorfizację otoczenia jonów Mn. W próbce GSRf pierwsza strefa staje się symetryczna, a dodatkowo wykształca się druga strefa, co oznacza, że wygrzewanie prowadzi do częściowej rekonstrukcji struktury. W przypadku próbki S1 widoczne są także dwie kolejne strefy co wskazuje na dobrze uporządkowaną strukturę.



Rysunek 3. Wynik dopasowania modelu teoretycznego do widma eksperymentalnego próbki implantowanej (GSRf).

W żadnej z badanych próbek nie wytworzyły się wytrącenia MnSb. Na Rys. 2 przedstawiono porównanie transformaty fouriera dla standardowej próbki MnSb oraz dla jednej z implantowanych próbek (S1). Jak widać, zarówno kształt jak i położenie pierwszej strefy różnią się w stosunku do MnSb. Również próby dopasowania widma eksperymentalnego przy użyciu modelu struktury MnSb nie przyniosły pozytywnych rezultatów. Po wielu próbach eksperymentalną strukturę rozkładu atomów wokół Mn udało się odtworzyć wykorzystując model GaSb (grupa przestrzenna $F-43m$), gdzie centralny atom manganu był podstawiony pod atom antymonu. Model ten daje dobre dopasowanie pod warunkiem, że pominięte strefy zawierające antymon. Rysunek 3 przedstawia wynik takiego dopasowania

dla próbki GSRf. Pierwsza strefa składa się z 4, a druga z 12 atomów galu. Odległości stref znalezione z dopasowania wynoszą: 2.46 Å (w modelu 2.64 Å) i 4.62 Å (w modelu 5.07 Å). Różnią się one znacząco od odległości przewidzianych przez model. Wynika to stąd, że brak podsięci antymonowej powoduje skurczenie się podsięci galowej, przez co kolejne strefy znajdują się bliżej niż to wynika z modelu. Brak antymonu w obszarze implantowanym potwierdziły także pomiary SIMS. Natomiast, jak już wspomniano wcześniej, próby wygrzewania w atmosferze Sb (próbki GS4 i GS6) spowodowały utworzenie tlenku Mn.

Metody wykorzystane do utworzenia wydzielen MnSb w prezentowanych tu próbkach nie doprowadziły do powstania wytrąceń Mn o strukturze MnSb. Ponadto, wygrzewanie w próżni doprowadziło do odparowania atomów antymonu z części próbek, gdzie dotarły jony manganu, zaś podsięć galowa skurczyła się zachowując przy tym strukturę, którą posiadała w kryształach GaSb. Wygrzewanie w atmosferze antymonu spowodowało utlenienie zaimplantowanych jonów Mn.

Podziękowania: Autorzy wyrażają podziękowanie za finansowanie uzyskane dzięki grantowi Ministerstwa Nauki i Edukacji N202-052-32/1189 oraz DESY/HASYLAB i Unii Europejską w ramach projektu RII3-CT-2004-506008 (IASFS).

Literatura

- [1] A. Serres, G. Benassayag, M. Respaud, C. Armand, J.C. Pesant, A. Mari, Z. Liliental-Weber, A. Claverie, "Structural and magnetic properties of MnAs nanoclusters formed by Mn ion implantation in GaAs", *Mat. Sci. Eng. B* **101** (2003) 119–123.
- [2] O.D.D. Couto, Jr M.J.S.P. Brasil, F. Likawa, G. Giles, C. Adriano, J.R.R. Bortoleto, M.A.A. Pudenzi, H.R. Gutierrez, I. Danilov, "Ferromagnetic nanoclusters formed by Mn implantation in GaAs", *Appl. Phys. Lett.* **86** (2005) 071906.
- [3] A. Chanda, H.L. Lenka, C. Jacob, "Study of high energy Mn⁺¹ ion implantation in GaAs", *Appl. Phys. A* **94** (2009) 89–94.
- [4] A.F. Panchula, C. Kaiser, A. Kellock, S.S. Parkin, "Spin polarization and magnetotransport of Mn–Sb alloys in magnetic tunnel junctions", *Appl. Phys. Lett.* **83** (2003) 1812–1814.
- [5] H. Akinaga, K. Tanaka, K. Ando, T. Katayama, "Fabrication and magneto-optical properties of epitaxial ferromagnetic Mn_{1-x}Sb thin films grown on GaAs and sapphire", *J. Cryst. Growth* **150** (1995) 1144–1149.
- [6] B. Ravel, M. Newville, "ATHENA, ARTEMIS, HEPHAESTUS: data analysis for X-ray absorption spectroscopy using IFEFFIT", *J. Synchrotr. Rad.* **12** (2005) 537–541.