

CHARAKTERYZACJA NANO-WYDZIELEŃ W MATRYCACH NA BAZIE GaSb

**K. Lawniczak-Jablonska^{1*}, A. Wolska¹, M.T. Klepka¹, J. Sadowski^{1,2},
A. Barcz¹, A. Hallen³, and D. Arvanitis⁴**

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

² *Lund University, MAX-Lab, Lund SE-221 00, Sweden*

³ *Royal Inst. of Technology, Dept. of Microelectronics and Applied Physics, Box 226, SE 164 40 Kista, Sweden*

⁴ *Department of Physics and Materials Science, Uppsala University, Box 530, 75121 Uppsala, Sweden*

Słowa kluczowe: MnSb, GaSb, nano-inclusions, spintronics

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

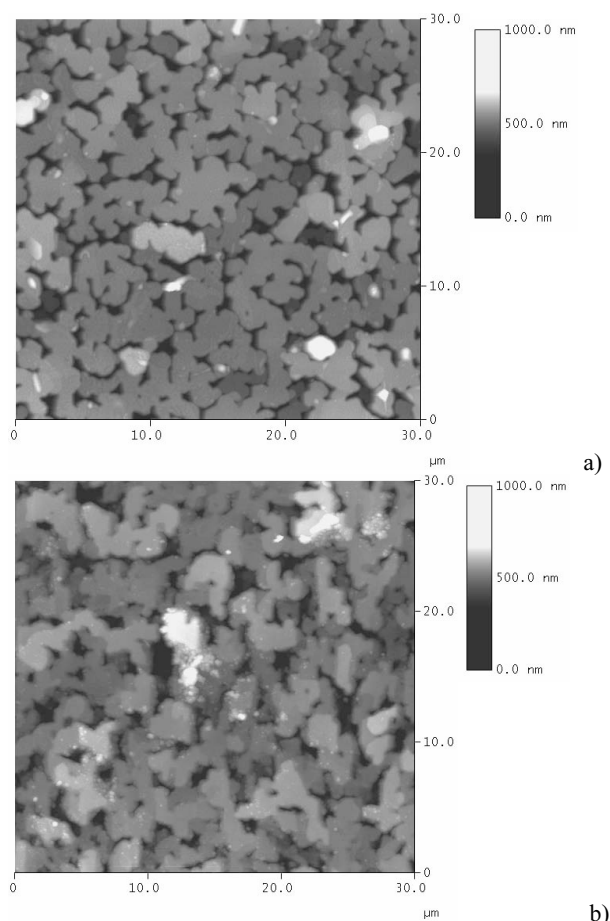
Heterostruktury składające się z metalicznych ferromagnetycznych warstw nałożonych na materiał półprzewodnikowy są potencjalnie użyteczne dla zastosowań spintronicznych. Wśród nich te, wytworzone przez wprowadzenie ferromagnetycznych wtrąceń do matrycy półprzewodnikowej wydają się być bardzo obiecujące. Wymaga to przygotowania systemu w taki sposób, żeby małe ferromagnetyczne nanocząstki były zanurzone w sieci materiału półprzewodnikowego. Taki złożony materiał może być rozważany jako półprzewodnik wypełniony nanomagnesami dostarczającymi wbudowanego pola magnetycznego.

Przeprowadzono wiele badań wydzieleń MnAs w matrycy GaAs, natomiast stosunkowo mało doniesień literaturowych dotyczy badań wydzieleń MnSb. Materiał ten wydaje się interesujący, ponieważ jego temperatura Curie jest wyższa niż temperatura pokojowa, co otwiera nowe możliwości jego wykorzystania.

Jako materiał referencyjny zbadano komercyjny proszek MnSb oraz warstwy MnSb wyhodowane metodą MBE na podłożach GaAs(111)B oraz GaAs(100). Okazało się, że warstwy te są niejednorodne i wykazują tendencje do wzrostu domenowego o kierunku zależnym od struktury podłoża. Stwierdzono również ślady innych faz. Topografia wzrostu tych warstw jest również różna (Rys. 1), co jest zgodne z doniesieniami literaturowymi [1-3]. Również materiał proszkowy wykazywał obecność fazy MnSb o dużym stopniu zdefektowania. Wydaje się, że materiał ten wykazuje naturalną tendencję do segregacji powinien więc być dobrym kandydatem do wytworzenia nano-wydzieleń pod warunkiem opracowania odpowiedniej technologii.

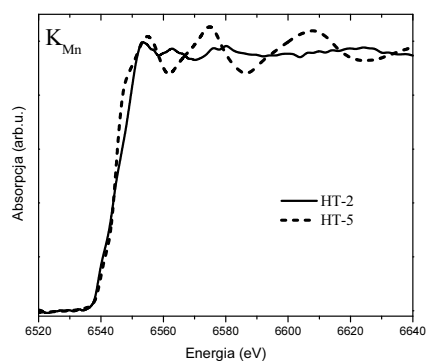
Zostaną zaprezentowane wyniki prób wytworzenia ferromagnetycznych nano-wydzieleń MnSb za pomocą różnych technologii. Mn był wprowadzany do matrycy GaSb zarówno w procesie MBE, jak i poprzez implantację. Stosowano różne warunki wzrostu oraz różne dawki i sposoby poimplantacyjnego wygrzewania. Na tak przygotowanych próbkach przeprowadzono pomiary absorpcji rentgenowskiej, pomiary rozkładu pierwiastków w funkcji głębokości oraz pomiary

dyfrakcyjne, mikroskopowe i magnetyczne w celu pełnej charakteryzacji utworzonych wydzieleń.

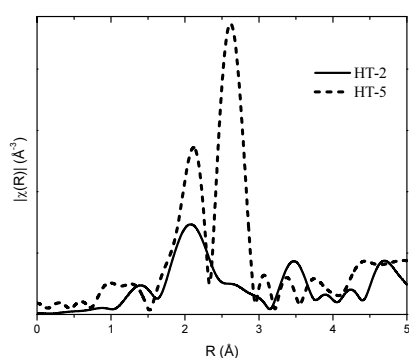


Rysunek 1. Obrazy AFM topografii powierzchni dla próbki a) MnSb na GaAs(111)B i b) dla MnSb na GaAs(100).

Stwierdzono, że bardzo trudno jest wytworzyć wydzielania MnSb za pomocą implantacji, ponieważ Mn znacznie łatwiej łączy się z tlenem niż antymonem. Ponadto w procesie wygrzewania antymon łatwo ulatnia się z próbki i w efekcie tworzą się wydzielania Ga_xMn_y .



Rysunek 2. XANES na krawędzi K manganu.



Rysunek 3. Transformata Fouriera oscylacji EXAFS na krawędzi K manganu.

W przypadku wydzieleni hodowanych metodą MBE stwierdzono silną zależność od temperatury wzrostu, koncentracji Mn oraz od kierunku i rodzaju podłoża. Struktury z wydzieleniami MnSb udało się wyhodować jedynie na podłożach GaSb(100) oraz GaAs(111)B. Dla obydwu podłoży w procesach prowadzonych w temperaturze powyżej 450°C znacząca część atomów manganu lokowała się w sieci GaAs lub GaSb (próbka HT-2, Rys. 2 i 3). Dopiero dla temperatury 450°C udało się wytworzyć wydzielenia MnSb o strukturze heksagonalnej (próbka HT-5, Rys. 2). Zmiany w

sposobie wiązania atomów manganu są widoczne zarówno w strukturze XANES (Rys. 2), jak i w rozkładzie atomów wokół Mn uzyskanym z analizy EXAFS (Rys. 3).

Zaobserwowano również zależność od koncentracji Mn dla obydwu rodzajów podłoża. Wynika z niej, że w próbkach o wyższej zawartości manganu wykształciła się struktura MnSb. Natomiast tam, gdzie zawartość manganu jest bliska 1% tylko część atomów lokuje się w wytrąceniach MnSb, zaś reszta podstawa się w miejsce antymonu w strukturze GaSb. Wielkość nano-wydzieleni zależy od zawartości Mn oraz szybkości wzrostu struktury, natomiast kierunek wzrostu i topologia struktury zależą od rodzaju podłoża.

Absorpcja rentgenowska jako technika selektywna ze względu na rodzaj pierwiastka okazała się idealnym narzędziem do określenia sposobu wbudowania się atomów Mn wprowadzanych do matrycy GaSb za pomocą różnych technologii. Wykazano, że widma absorpcyjne mogą być wskaźnikami utworzenia się wydzieleni w matrycach półprzewodnikowych.

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

Literatura

- [1] 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.
- [2] S.X. Liu, S.M. Bedair, N.A. El-Masry, "Mn-prelayer effects on the epitaxial growth of MnSb on (11) B GaAs by pulsed laser deposition", *Mat. Lett.* **42** (2000) 121–129.
- [3] 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.