

### Stany Mn 3d w paśmie walencyjnym $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Sb}$

Bogdan J. Kowalski<sup>1</sup>, Robert Nietubyc<sup>2</sup>, Janusz Sadowski<sup>1,3</sup>

1. Instytut Fizyki PAN, Al. Lotników 32/46, Warszawa 02668, Poland 2. Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana, Otwock-Świerk 05-400, Poland 3. Lund University, MAX-lab, Lund SE-221 00, Sweden

e-mail: kowab@ifpan.edu.pl

Wkład stanów Mn 3d do pasma walencyjnego  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Sb}$ , ważny czynnik determinujący, właściwości tego półprzewodnika, został określony za pomocą spektroskopii fotoemisyjnej. Badania metodą rezonansowej spektroskopii fotoemisyjnej, prowadzone w zakresie energii fotonów odpowiadającym wzbudzeniu Mn 3p-3d, pozwoliły zidentyfikować struktury widm odpowiadające emisji ze stanów Mn 3d. Zbadanie przebiegu pasma walencyjnego wzdłuż kierunku [100] zostało dokonane za pomocą kątowno-rozdzielczej spektroskopii fotoemisyjnej. Uzyskane wyniki wykazały, że bezdyspersyjna struktura obserwowana przy energii wiązania 3.8 eV (względem energii Fermiego) jest związana ze stanami Mn 3d.

$\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Sb}$  jest rozcieńczonym półprzewodnikiem magnetycznym z grupy III-V wykazującym własności ferromagnetyczne, jednakże we względnie niskich temperaturach ( $T_C = 25$  K [1]). Zapewne z tego względu był on badany znacznie mniej intensywnie niż  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ , jednak skupia na sobie uwagę ze względu na możliwość zbadania w nim oddziaływania jonów magnetycznych z anionami chemicznie odmiennymi od arsenowych a także ze względu na strukturę pasmową przydatną w konstrukcji nowych urządzeń elektronicznych, takich jak ferromagnetyczna rezonansowa dioda tunelowa [2].

Eksperymenty fotoemisyjne były wykonywane za pomocą spektrometru fotoemisyjnego na linii 41 laboratorium synchrotronowego MAX-lab Uniwersytetu w Lund w Szwecji. Widma fotoemisyjne były zbierane w warunkach emisji normalnej dla energii fotonów z zakresu 30-51 eV (w celu obserwowania rezonansu Mn 3p-3d) oraz z zakresu 50-106 eV (w celu zbadania dyspersji pasm wzdłuż kierunku [100]).

Badane próbki  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Sb}$  przygotowywano metodą epitaksji z wiązek molekularnych w układzie bezpośrednio połączonym ze spektrometrem fotoemisyjnym. Były więc przenoszone do spektrometru w ultra wysokiej próżni, co zapobiegało adsorpcji zanieczyszczeń na powierzchni warstw i konieczności ich oczyszczania inwazyjnymi metodami wprowadzającymi ryzyko zaburzenia ich struktury i składu chemicznego. Warstwy epitaksjalne  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Sb}$  o zawartości manganu od 1 do 3% hodowano na podłożach GaSb(100) we względnie niskiej temperaturze około 230°C. Wzrost metodą MBE był monitorowany za pomocą odbiciowej dyfrakcji wysokoenergetycznych elektronów (RHEED). Obrazy dyfrakcyjne odpowiadające dwuwymiarowemu wzrostowi (prążki) oraz wyraźne oscylacje refleksu zwierciadlanego RHEED obserwowano w ciągu całego procesu wzrostu, aż do osiągnięcia ich końcowej grubości (od 50 do 300 Å). Nie zaobserwowano także w obrazach RHEED żadnych przejawów tworzenia się wytrąceń obcej fazy (na przykład segregacji nanokryształów MnSb [3]). Powierzchnie (100) warstw  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Sb}$  wykazywały obrazy dyfrakcji

niskoenergetycznych elektronów (LEED) charakterystyczne dla asymetrycznej rekonstrukcji (1x3). Nieobecność wytrąceń MnSb w badanych próbkach została potwierdzona także przez badania porównawcze (z próbkami zawierającymi wytrącenia) przeprowadzone metodą skaningowej mikroskopii elektronowej.

Przeprowadzone badania otrzymały wsparcie finansowe w ramach projektu "European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) grant agreement no. 226716".

Referencje:

- [1] F. Matsukura, E. Abe, H. Ohno, J. Appl. Phys. **87**, 6442 (2000)
- [2] I. Vurgaftman, J.R. Meyer, Appl. Phys. Lett. **82**, 2296 (2003)
- [3] K. Lawniczak-Jablonska, A. Wolska, M.T. Klepka, S. Kret, J. Gosk, A. Twardowski, D. Wasik, A. Kwiatkowski, B. Kurowska, B.J. Kowalski, J. Sadowski, J. Appl. Phys. **109**, 074308 (2011)

