

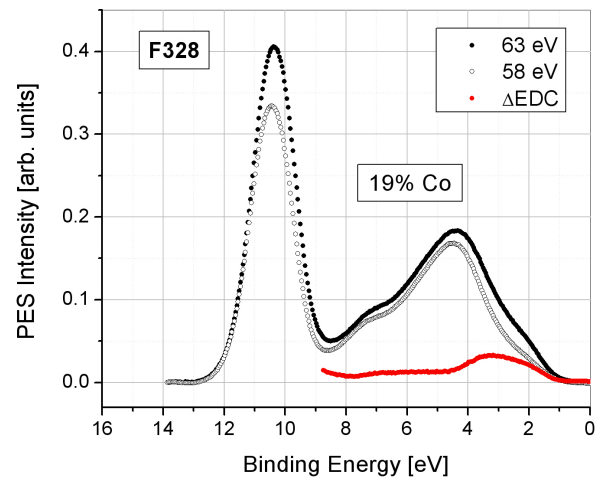
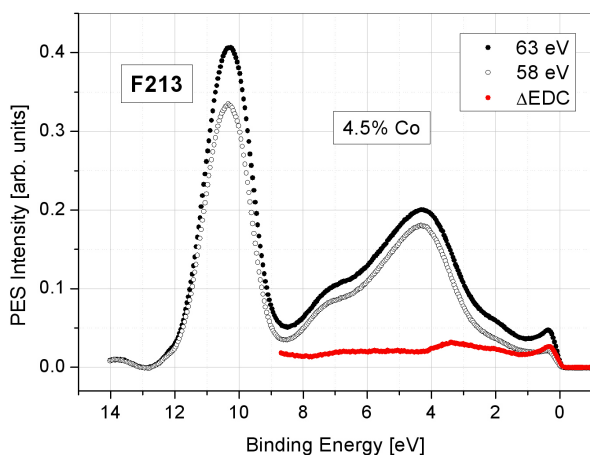
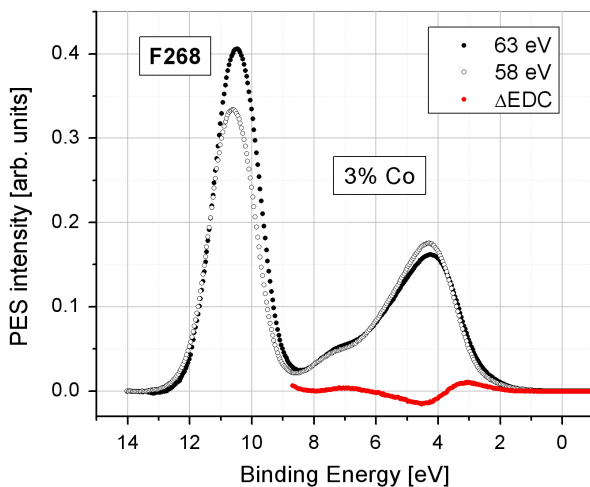
Rezonansowe badania fotoemisyjne ferromagnetycznych warstw ZnCoO

Elżbieta Guzewicz¹, Małgorzata I. Łukasiewicz¹, Łukasz Wachnicki¹, Krzysztof Kopalko¹, Marek Godlewski^{1,2}

1. Polish Academy of Sciences, Institute of Physics, al. Lotników 32/46, Warszawa 02-668, Poland 2. Cardinal Stefan Wyszyński University, College of Science, Warszawa, Poland

e-mail: guzel@ifpan.edu.pl

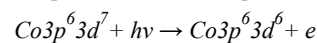
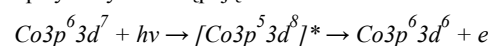
Półprzewodniki półmagnetyczne są ostatnio intensywnie badane w związku z nadzieją na zastosowania w spintronice. Wśród tych materiałów duże zainteresowanie budzi tlenek cynku z dodatkiem kobaltu. Dzieje się tak dlatego, że jony kobaltu Co^{2+} oraz cynku Zn^{2+} mają prawie identyczne promienie jonowe, dlatego możliwe jest wprowadzanie do tlenku cynku stosunkowo dużych ilości kobaltu. Ferromagnetyzm w temperaturze pokojowej dla warstw ZnCoO był opisywany już 10 lat temu [1], wciąż jednak trwają spory jakie jest jego pochodzenie. Część autorów wskazuje, że przyczyną ferromagnetyzmu w ZnCoO są defekty sieci [2], część wiąże go z wytrąceniami obcych faz, głównie tlenków kobaltu [3]. Część prac, w tym także nasze wcześniejsze badania [4], wskazuje, że przyczyną jest akumulacja metalicznego kobaltu w obszarze międzypowierzchni oraz wytrącenia metaliczne w warstwach.



Rys. 1. Widma fotoemisyjne warstw ZnCoO. Widma mierzone były w maksimum ($h\nu = 63 \text{ eV}$, pełne czarne kółka) oraz w minimum rezonansu ($h\nu = 58 \text{ eV}$, puste czarne kółka). Krzywe różnicowe $\Delta\text{EDC} = \text{EDC}(63 \text{ eV}) - \text{EDC}(58 \text{ eV})$ pokazują wkład stanów $\text{Co}3d$ do pasma walencyjnego.

Istnieje bardzo niewiele badań fotoemisji rezonansowej dotyczących układów ZnCoO. Brak też porównania wyników rozkładu stanów $\text{Co}3d$ dla próbek ferro- i paramagnetycznych [5-6]. W naszej poprzedniej pracy [7] pokazywaliśmy wyniki badań paramagnetycznych warstw ZnCoO otrzymanych w niskiej temperaturze (160°C) metodą osadzania warstw atomowych (ang. Atomic Layer Deposition, ALD). Badania prowadzone metodą rezonansowej spektroskopii fotoemisyjnej (ang. Resonant Photoemission Spectroscopy, RESPES) pokazały, że wkład powłoki $\text{Co}3d$ do pasma walencyjnego warstw ZnCoO jest różny dla próbek paramagnetycznych różniących się zawartością kobaltu. Dla badanych próbek ZnCoO największą intensywność fotoemisji z powłoki $\text{Co}3d$ zaobserwowano dla warstwy zawierającej 3.5% Co oraz najwyższą zawartość wodoru. W tym przypadku nie zaobserwowano też struktury satelitarnej znajdującej się ok. 7eV poniżej poziomu Fermiego, co oznacza, że stany $\text{Co}3d$ są silnie związane ze stanami elektronowymi ligandów.

Prezentowane w tej pracy wyniki RESPES otrzymane zostały dla serii ferromagnetycznych warstw ZnCoO otrzymanych metodą ALD w temperaturach 200°C - 300°C . Zawartość kobaltu w mierzonych warstwach wynosiła pomiędzy 2% a 19%. Badania fotoemisyjne zostały przeprowadzone w laboratorium synchrotronowym MAXlab (Szwecja) na linii pomiarowej I4. Fotoemisyjne krzywe rozkładu energetycznego (ang. Energy Distribution Curves, EDCs) mierzono dla energii fotonów bliskich rezonansowego przejścia $\text{Co}3p \rightarrow \text{Co}3d$. Dla tego obszaru energii fotonów (58 eV- 65 eV) obserwujemy zwiększoną intensywność fotoemisji z powłoki $\text{Co}3d$, co związane jest z interferencją pomiędzy dwoma ścieżkami fotoemisyjnymi opisywanymi następująco:



Energję rezonansową przejścia określono jako 63 eV, natomiast antyrezonansową jako 58 eV [7]. Różnica pomiędzy widmami fotoemisyjnymi zmierzonymi dla energii rezonansowej oraz antyrezonansowej ($\Delta\text{EDC} = \text{EDC}(63 \text{ eV}) - \text{EDC}(58 \text{ eV})$) obrazuje

wkład elektronów $Co3d$ do struktury elektronowej pasma walencyjnego. Badania pokazały, że obliczone wkłady ΔEDC dla poszczególnych warstw $ZnCoO$ różnią się pomiędzy sobą. Na podstawie analizy krzywych ΔEDC warstwy $ZnCoO$ można podzielić na trzy grupy: i) warstwy, w których przy poziomie Fermiego wyraźnie widać wkład metalicznego kobaltu (rys. 1 a), ii) warstwy, w których następuje zmiana gęstości stanów macierzystego związku ZnO (krzywa antyrezonansowa 4.5 eV poniżej E_F jest wyższa od krzywej rezonansowej), rys. 1 b, iii) warstwy $ZnCoO$, dla których wkład elektronów $Co3d$ obserwowany jest pomiędzy 2 eV a 4 eV poniżej poziomu Fermiego (rys. 1c).

W przypadku żadnej z ferromagnetycznych warstw $ZnCoO$ nie zaobserwowano struktury satelitarnej przy energii wiązania 7 eV. Ta ostatnia struktura obserwowana jest powszechnie w badaniach fotoemisyjnych paramagnetycznych warstw $ZnCoO$ [5-6].

Podziękowania

Autorzy dziękują za finansowanie badań przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, poprzez grant Innovative Economy (POIG.01.01.02-00-008/08), Research Infrastructure Action w programie ramowym FP6 « Structuring the European Research Area » (Integrated Infrastructure Initiative “Integrating Activity on Synchrotron and Free Electron Laser Science”).

1. Ueda, K., Tabata, H., Kawai, T., **Appl. Phys. Lett.** **79**, 988 (2001)
2. Coey, J.M.D., Wongsaprom, K., Alaria J., Venkatesan, M., **J. Phys. D Appl. Phys.** **41**, 134012 (2008)
3. Behan, A.J., Mokhtari, A., Blythe, H.J., Score, D., Xu, X-H., Neal, J.R., Fox, A.M., Gehring, G.A., *Phys. Rev. Lett.* **100**, 047206 (2008)
4. M. Godlewski, E. Guziewicz, M.I. Łukasiewicz, A.I. Kowalik, M. Sawicki, B.S. Witkowski, R. Jakiela, W. Lisowski, J.W. Sobczak, and M. Krawczyk, **phys. stat. sol.(b) (in print)**, DOI 10.1002/pssb.201001142)
5. Wi, S.C., Kang, J.-S., Kim, J.H., Cho, S.-B., Kim, B.J., Yoon, S., Suh, B.J., Han, S.W., Kim, K.H., Kim, K.J., Kim, B.S., Song, H.J., Shin H.J., Shim, J.H., Min, B.I., **Appl. Phys. Lett.** **84**, 4233 (2004)
6. Kobayashi, M., Ishida, Y., Hwang, J.I., Mizokawa, T., Fujimori, A., Mamiya, K., Okamoto, J., Takeda, Y., Okane, T., Saitoh, Y., Muramatsu, Y., Tanaka, A., Saeki, H., Tabata, H., Kawai, T., **Phys. Rev.** **B72**, 201201(R) (2005)
7. E. Guziewicz, M.I. Łukasiewicz, L. Wachnicki, K. Kopalko, A. Kovacs, R.E. Dunin-Borkowski, B.S. Witkowski, B.J. Kowalski, J. Sadowski, M. Sawicki, R. Jakiela, M. Godlewski, **Rad. Phys. Chem.** **2011** (doi:10.1016/j.radphyschem.2011.05.004)