

Tailoring the magnetic anisotropy of antiferromagnetic thin films in epitaxial multilayer systems and ferromagnetic / antiferromagnetic nanostructures

W tej pracy doktorskiej badane jest oddziaływanie między cienkimi warstwami antyferromagnetycznymi (AFM) i ferromagnetycznymi (FM) w różnych układach wielowarstw epitaksjalnych. Pierwsze badanie dotyczy dwuwarstwowej struktury NiO(111)/Fe(110), gdzie udokumentowano stabilizację dwóch stanów magnetycznych o ortogonalnych orientacjach spinów w warstwie AFM NiO. Wykazano bezpolową, odwracalną zmianę między tymi stanami, co osiągnięto poprzez precyzyjne dostrojenie magnetycznej anizotropii (MA) na granicy, histerezy cieplnej przejścia reorientacji spinu i wymiany międzywarstwowej FM/AFM. Podkreśla się potencjał bezpolowej zmiany chwil magnetycznych w AFM, co potencjalnie otwiera nowe możliwości w technologii magnetycznego zapisu wspomaganego ciepłem. Ponadto stwierdzono, że momenty magnetyczne w NiO mogą być obracane w płaszczyźnie próbki NiO(111), przy czym MA i orientacja spinu w NiO są wpływane przez podłożową warstwę FM Fe. Poprzez zmianę grubości Fe, temperatury lub zastosowanie niewielkiego zewnętrznego pola magnetycznego osiągnięto modyfikację stanu magnetycznego i anizotropii warstwy AFM NiO.

Następnie badania skupiają się na zjawisku wpływu wymianowego i orientacji spinu w warstwach dwuwarstwowych CoO(111)/Fe(110). Wyniki ujawniają, że efekt wymiany zachodzi w systemie schładzanym w polu zerowym i jest determinowany przez stan magnetyczny warstwy Fe w płaszczyźnie. Kierunek zamrożonych spinów AFM CoO na granicy w płaszczyźnie próbki jest określany przez jednoosiową MA warstwy Fe. Wybór konkretnego stanu magnetycznego warstwy Fe przy przekraczaniu temperatury Néela CoO pozwala na kontrolę zarówno osi, jak i kierunku spinów AFM na granicy w płaszczyźnie próbki.

Wreszcie, zbadano wpływ niemagnetycznej warstwy Au na interakcję między warstwami FM Fe(110) a warstwami AFM CoO(111). Wyniki pokazują, że grubość warstw Fe i Au może być dostosowana w celu modyfikacji efektywnej anizotropii warstwy Fe oraz siły wymiany międzywarstwowej między Fe a CoO. MA warstwy FM powyżej temperatury Néela AFM odgrywa kluczową rolę w sterowaniu efektem wymiany i orientacją spinu CoO na granicy przy niskich temperaturach. Ponadto pokazano, że efekt wymiany może

działać jako dominujące źródło MA dla FM, umożliwiając 90-stopniową rotację osi łatwej w porównaniu z początkową orientacją wolną od efektu wymiany.

Podsumowując, te badania dostarczają wglądu w złożone oddziaływanie między składnikami AFM i FM w epitaksjalnych układach wielowarstwowych. Zrozumienie i kontrola tych interakcji mogą potencjalnie znaleźć zastosowanie w nowych urządzeniach i technologiach magnetycznych. Przeprowadzone w ramach tej pracy badania zaowocowały opublikowaniem 5 artykułów:

- M. Ślęzak, P. Drózdź, W. Janus, H. Nayyef, A. Koziół-Rachwał, M. Szpytma, M. Zając, T. O. Menteş, F. Genuzio, A. Locatelli, and T. Ślęzaka. Fine tuning of ferromagnet/antiferromagnet interface magnetic anisotropy for field-free switching of antiferromagnetic spins. *Nanoscale*, volume 12/ 18091-18095 (2020). DOI: 10.1039/D0NR04193A
- M. Ślęzak, P. Drózdź, W. Janus, M. Szpytma, H. Nayyef, A. Koziół-Rachwał, M. Zając, and T. Ślęzak. Tailorable exchange bias and memory of frozen antiferromagnetic spins in epitaxial CoO(111)/Fe(110) bilayers. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Volume 545/168783 (2021). DOI: 10.1016/j.jmmm.2021.168783
- M. Ślęzak, H. Nayyef, P. Drózdź, W. Janus, A. Koziół-Rachwał, M. Szpytma, M. Zając, T. O. Menteş, F. Genuzio, A. Locatelli, and T. Ślęzak. Controllable magnetic anisotropy and spin orientation of a prototypical easy-plane antiferromagnet on a ferromagnetic support. *Phys. Rev. B*, volume 104/ 34434 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevB.104.134434
- M. Ślęzak, H. Nayyef, P. Drózdź, W. Janus, E. Świerkosz, M. Szpytma, M. Zając, A. Koziół-Rachwał, and T. Ślęzak. Memory of frozen and rotatable antiferromagnetic spins in epitaxial CoO (1 1 1)/Fe and NiO(1 1 1)/Fe bilayers. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Volume 539/148-151 (2023). DOI:10.1016/j.nimb.2023.03.038
- H. Nayyef, E. Świerkosz, W. Janus, A. Klimeczek, M. Szpytma, M. Zając, P. Drózdź, A. Koziół-Rachwał, T. Ślęzak, and M. Ślęzak. Tunable interplay between exchange coupling and uniaxial magnetic anisotropy in epitaxial CoO/Au/Fe trilayers. *Scientific Reports*, volume 13/10902 (2023). DOI: 10.1038/s41598-023-38098-6

Author: Hashim Nayyef

Kraków 15.12.2023

Hashim Nayyef