

**Mgr inż. Piotr Drózdź**

**Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH**

## **„Właściwości magnetyczne nanostruktur epitaksjalnych na bazie stopu FeRh”**

### **Streszczenie**

Magnetyczne przejście fazowe pierwszego rodzaju występujące w stopie FeRh zostało odkryte przez Fallota w 1938 roku. Przejście to polega na zmianie uporządkowania magnetycznego pomiędzy stanem ferromagnetycznym (FM) i antyferromagnetycznym (AFM) w temperaturze około 350 K. To nietypowe przejście magnetyczne, intensywnie badane w układach litych, budzi ostatnio szczególne zainteresowanie w systemach FeRh o obniżonej wymiarowości ze względu na potencjalne zastosowanie w magnetycznym zapisie informacji.

Głównym celem badań, będących przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej, było wykorzystanie wyjątkowej właściwości stopu FeRh, polegającej na termicznie wzbudzonym przejściu AFM↔FM, do sterowania właściwościami magnetycznymi wielowarstwowych układów, gdzie jedną z podwarstw stanowił stop FeRh.

Wytworzone w ramach pracy wielowarstwowe epitaksjalne układy magnetyczne preparowane były na podłożach W o orientacji (110) oraz MgO o orientacji (001). Do charakteryzacji strukturalnej naniesionych warstw użyto metodę dyfrakcji niskoenergetycznych elektronów (LEED – Low Energy Electron Diffraction). W badaniach właściwości magnetycznych wykorzystano metodę magneto-optycznego efektu Kerra (MOKE – Magneto-optical Kerr Effect) oraz spektroskopię Mössbauerowską elektronów konwersji (CEMS – Conversion Electron Mössbauer Spectroscopy).

W układzie Co/FeRh/W(110) w warstwie Co zaobserwowano zjawisko reorientacji spinowej (SRT – Spin Reorientation Transition) pomiędzy dwoma prostopadłymi do siebie kierunkami leżącymi w płaszczyźnie (110). Zjawisko SRT było wzbudzane przejściem AFM↔FM zachodzącym w podwarstwie FeRh. W FM fazie stopu obserwowano kolinearne sprzężenie pomiędzy warstwami Co oraz FeRh z osią łatwą namagnesowania wzdłuż kierunku  $[1\bar{1}0]$ . Natomiast dla AFM fazy stopu oddziaływanie wymienne typu *spin-flop* pomiędzy warstwami prowadziło do indukowania anizotropii jednoosiowej w warstwie Co preferującej obrót osi łatwej namagnesowania na kierunek  $[001]$ .

W dwuwarstwie Fe/FeRh/W(110) w trakcie przejścia od fazy FM do AFM wykazano znaczny wzrost pola koercji w zmierzonych pętłach histerezy magnetycznej. Pomiar CEMS pokazały, że ponownie oddziaływanie typu *spin-flop* jest źródłem dodatkowej jednoosiowej anizotropii odpowiedzialnej za wzrost pola koercji w dwuwarstwie Fe/FeRh w AFM fazie stopu. W przeciwieństwie do układu Co/FeRh ortogonalne sprzężenie typu *spin-flop* przebiega na drodze reorientacji spinowej zachodzącej w warstwie FeRh pomiędzy kierunkami  $[001]$  i  $[1\bar{1}0]$ , odpowiednio w FM oraz AFM fazie stopu. Oś łatwa namagnesowania warstwy Fe jest równoległa do kierunku  $[001]$  bez względu na uporządkowanie magnetyczne stopu.

W trójwarstwie Fe/Au/FeRh/MgO(001) pokazano, że struktura magnetyczna utworzonego zaworu spinowego może być termicznie kontrolowana poprzez obecne w stopie FeRh przejście AFM↔FM. Pośrednie oddziaływanie wymienne zachodzące pomiędzy warstwami Fe i FeRh pozwala na kontrolowanie względnego namagnesowania warstw, które zmienia się w zależności od grubości separującej warstwy Au pomiędzy ustawieniem kolinearnym oraz ortogonalnym. Dodatkowo, wraz z zachodzącym przejściem AFM↔FM w układzie Fe/Au/FeRh zaobserwowano odwracalną płaszczyznową reorientację spinową zachodzącą w warstwie Fe.

W układach Au/FeRh/MgO(001) pokazano, że magnetyczne przejście w stopie FeRh pomiędzy fazą FM, a AFM nie jest kompletne. Pomiary MOKE oraz CEMS pokazały, że obserwowana reszkowa faza FM w nominalnie AFM fazie stopu jest zlokalizowana na międzywierzchni FeRh/MgO oraz posiada składową prostopadłą namagnesowania. Pomiary CEMS pokazały również, że przejściu do fazy FM towarzyszy niecałkowity zanik składowej AFM. Reszkowa faza AFM w nominalnie FM fazie stopu wraz ze zwiększaniem temperatury ulega bezpośrednio przejściu do fazy paramagnetycznej powyżej temperatury Néela.

Kraków, 4.05.2020r