

Właściwości magnetyczne asymetrycznych układów warstwowych typu metal ciężki / ferromagnetyk

Streszczenie

Wielokrotne struktury cienkowarstwowe stanowią relatywnie nową grupę sztucznych układów o znacznie odmiennych właściwościach niż te, którymi cechują się składowe materiały w postaci objętościowej. Wśród nich istotną pozycję w badaniach podstawowych i zastosowaniach praktycznych zajmują materiały magnetyczne. Ich kluczową cechą jest ograniczenie rozmiarowości w kierunku prostopadłym do płaszczyzny warstwy. W takich układach atomy tworzące interfejs stanowią duży udział w całej strukturze warstwowej. Ich odmienne otoczenie powoduje, że wykazują one inne właściwości w porównaniu do atomów z wnętrza warstwy o jednorodnej koordynacji. W związku z tym w cienkowarstwowych strukturach efekty interfejsowe grają wyraźnie zauważalną rolę. W przypadku warstw magnetycznych np. istotnie modyfikują prostopadłą anizotropię magnetyczną (PMA) – jeden z ważniejszych parametrów. Innym czynnikiem modyfikującym właściwości jest grubość warstw składowych np. warstwy niemagnetycznej rozdzielającej warstwy magnetyczne. Jeśli ich grubość jest mniejsza od pewnych charakterystycznych długości, takich jak: średnia droga swobodna elektronów, czy długość dyfuzji spinów, pojawiają się dodatkowe efekty sprzężenia międzywarstwowego. Dobór odpowiednich materiałów warstw składowych oraz ich grubości pozwala na intencjonalne modyfikowanie właściwości układów wielowarstwowych w szerokim zakresie.

Niniejsza rozprawa doktorska przedstawia wyniki badań asymetrycznych struktur cienkowarstwowych W/Co/Pt. Oprócz efektów wymienionych powyżej, asymetryczne otoczenie warstwy ferromagnetycznej (Co) warstwami wykonanymi z metali ciężkich (W i Pt), które charakteryzują się silnym sprzężeniem spin-orbita, indukuje dodatkowo oddziaływanie Dzyaloshinskii-Moriya (DMI). Oddziaływanie to znacząco modyfikuje strukturę spinową magnetycznych układów warstwowych, prowadząc do występowania np. spirali spinowych czy skyrmionów – topologicznie chronionych stabilnych wirów namagnesowania. Badane warstwy zostały wytworzone za pomocą techniki epitaksji z wiązki molekularnej. Zapewnia ona dobrze zdefiniowaną strukturę krystaliczną warstw składowych oraz wysoką jakość interfejsów, które są kluczowe dla obserwowanych zjawisk. Bardziej perfekcyjna struktura krystaliczna

wzmacnia obserwowane efekty w porównaniu do badanych warstw powszechnie wytwarzanych metodą sputteringu.

Badania zostały przeprowadzone w układach o rosnącym stopniu złożoności: począwszy od struktur zawierających pojedynczą warstwę Co (Rozdział 4), poprzez struktury z dwoma, lub kilkoma (6 lub 7) warstwami Co (Rozdział 5), aż do wielowarstw z 20-krotnym powtórzeniem podstawowej trójwarstwy W/Co/Pt (Rozdział 6). Wraz ze wzrostem wspomnianej złożoności pojawiają się nowe oddziaływania (sprężenie magnetyczne, oddziaływanie magnetostrykcyjne), które dodatkowo wpływają na właściwości magnetyczne. Takie podejście pozwala na pełniejsze zrozumienie wpływu poszczególnych oddziaływań na wynikowe właściwości badanych układów, objawiających się w ich konfiguracjach magnetycznych, procesach przemagnesowania, czy strukturze domenowej. Wyniki eksperymentalne zostały uzyskane za pomocą zróżnicowanych technik badawczych, takich jak: magnetometria SQUID, magnetometria wykorzystująca polarny efekt Kerra (PMOKE), mikroskopia sił magnetycznych (MFM), czy spektroskopia nieelastycznego rozpraszania światła (BLS). Część próbek została wykonana w wersji matrycowej – warstwy składowe zostały wytworzone w postaci klinów lub schodków o wzajemnie prostopadłych gradientach grubości. Taka struktura warstw wielokrotnych w połączeniu z lokalnym próbkowaniem właściwości umożliwiła efektywne określenie ich zależności w funkcji grubości warstw składowych. Interpretacja wyników eksperymentalnych została wsparta modelowaniem numerycznym obejmującym symulacje mikromagnetyczne i obliczenia oparte na teorii funkcjonałów gęstości (DFT). Opisywane struktury magnetyczne, przyjmujące postać domen bąbelkowych (skyrmiony) czy układów paskowych, są nie tylko przedmiotem badań charakterze fundamentalnym, ale również budzą zainteresowanie w kontekście zastosowań praktycznych (np. jako kryształy magnoniczne lub nośniki zapisu magnetycznego).

Oprócz rozdziałów opisujących uzyskane wyniki doświadczalne niniejsza rozprawa doktorska zawiera krótki wstęp (Rozdział 1), teoretyczne wprowadzenie do badanych zagadnień (Rozdział 2) oraz zwięzły opis zastosowanych technologii wytwarzania próbek i technik badawczych (Rozdział 3). Rozprawę kończą wnioski i podsumowanie uzyskanych wyników.

27.02.2023

Sukanta Kumar Jana