

STRESZCZENIE

Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy preparatyki cienkich warstw magnetycznych tlenków żelaza w formie nanokompozytów oraz nanostruktur. Wytworzone materiały zbadano technikami spektroskopowymi i magnetycznymi określając wpływ kształtu nanostruktur na właściwości magnetyczne (głównie anizotropię magnetyczną). Najistotniejszą metodą pomiarową, do której w ramach grantu NCN zatytułowanego „Sprzężenia i anizotropia magnetyczna wieloskładnikowych nanokompozytów i ferrofluidów badane technikami wysokorozdzielczej spektroskopii rentgenowskiej, zostały przygotowane badane próbki, była metoda RIXS-MCD (*ang. Resonant Inelastic X-ray Spectroscopy with Magnetic Circular Dichroism*), która jest precyzyjną, selektywną względem pierwiastka oraz jego poziomu utlenienia (*element- and site-selective spectroscopy*) metodą badania uporządkowania magnetycznego tlenków metali przejściowych.

Na początku pracy przedstawiono teoretyczne właściwości magnetyczne materii. Przedstawiono pętle magnetyczne (*profile namagnesowania*) wraz z ich parametrami, typy faz magnetycznych oraz właściwości i rodzaje anizotropii magnetycznej. Opisano przyczyny występowania anizotropii magnetycznej i wpływ zmiany wymiarów, symetrii i efektów interfejsu na jej wielkość. Następnie zostały opisane domeny magnetyczne oraz właściwości nanokompozytów, w tym nanokompozytów warstwowych o ziarnach zorientowanych prostopadłe (*ang. vertically aligned nanocomposites – VAN*).

Kolejny rozdział zajmuje opis właściwości badanych tlenków żelaza - magnetytu, hematytu oraz maghemitu, których nanostruktury mogą być potencjalnie wykorzystywane, odpowiednio, w spintronice z powodu wysokiej polaryzacji spinowej na poziomie Fermiego, w medycynie przez wzgląd na ich biokompatybilność z organizmem człowieka oraz fotokatalizie ze względu na szeroką przerwę energetyczną.

W kolejnym rozdziale opisano techniki i metody powstawania cienkich warstw, za pomocą których otrzymano dwie serie próbek nanostrukturyzowanych tlenków żelaza. Pierwsze z nich wykonano za pomocą metody reaktywnego rozpylania magnetronowego. W odpowiednich warunkach napyłania otrzymano nanokompozyty charakteryzujące się wzmocnioną prostopadłą anizotropią magnetyczną. Następnie opisano metodę osadzania z wykorzystaniem lasera impulsowego (*ang. Pulsed Laser Deposition - PLD*) wykorzystaną

do otrzymania cienkich warstw magnetytowych, które następnie zostały poddane procesowi litografii elektronowej połączonej z trawieniem przy pomocy plazmy argonowej. W ten sposób wytworzone zostały nanostruktury magnetytowe o różnej anizotropii kształtu. Na części z wytworzonych cienkich warstw magnetytu przeprowadzono również proces nanostrukturyzacji za pomocą innej metody - skupionej wiązki jonów galu (*ang. Focused Ion Beam - FIB*) w celu analizy potencjalnego wpływu na strukturę materiału i porównanie go do trawienia jonami argonu.

Inspekcji wykonanych nanostruktur dokonano za pomocą skaningowej (*ang. Scanning Electron Microscope - SEM*) i transmisyjnej (*ang. Transmission Electron Microscope - TEM*) mikroskopii elektronowej, przy użyciu których określono rozmiar i grubość otrzymanych nanostruktur. Opis tych metod oraz pozostałych technik eksperymentalnych wykorzystanych do charakteryzowania właściwości fizycznych otrzymanych materiałów przedstawiono w rozdziale szóstym. Poza metodami mikroskopii elektronowej przedstawia on metodę magnetometrii wibracyjnej (*ang. Vibrating Sample Magnetometer - VSM*), którą wykorzystano zbadania kątowej zależności magnesowania nanokompozytów.

Najistotniejszą częścią rozdziału szóstego jest opis synchrotronowych technik spektroskopowych wykorzystanych do badania własności magnetycznych i strukturalnych. Przedstawiono w nim podstawowe sposoby oddziaływania promieniowania X z materią oraz metody badania wzbudzeń i relaksacji elektronowych, w szczególności metodę RIXS-MCD i wynikające z niej HERFD-XANES (*ang. High Energy Resolved Fluorescence Detected – X-ray Absorption Near Edge Structure*) oraz HERFD-XMCD (*ang. High Energy Resolved Fluorescence Detected – X-ray Magnetic Circular Dichroism*), które dają informację na temat lokalnej i globalnej struktury mierzonego materiału oraz właściwości magnetycznych. Ostatecznie przedstawiona została metoda magnetometrii RIXS-MCD wykorzystana do otrzymania profili magnetycznych wytworzonych nanokompozytów oraz nanostruktur.

Przedstawiono również parametry wykorzystanych stanowisk pomiarowych w synchrotronach ESRF (Grenoble, Francja) oraz Soleil (St Aubin, Francja)

W kolejnym rozdziale przedstawiono szczegółową metodologię wytworzenia badanych warstw nanokompozytowych oraz wyniki z pomiarów. Przeanalizowano przyczyny powstawania wzmocnienia prostopadłej anizotropii magnetycznej oraz wpływ morfologii i grubości warstw na ich charakterystykę magnetyczną. Przedstawiono metodę korekcji pętli histerezy otrzymanej z pomiarów VSM z wykorzystaniem wyników magnetometrii RIXS-

MCD. W tym samym rozdziale przedstawiono również proces otrzymania nanostruktur magnetytowych przy użyciu litografii elektronicznej korzystając z fotoczułego rezystu negatywowego oraz fotorezystu pozytywowego w postaci wgłębień odtwarzających nanostruktury w litej warstwie. Opisano szczegółowo wyniki pomiarów synchrotronowych cienkich warstw magnetytu, nanostruktur magnetytowych oraz warstw i nanostruktur przykrytych miedzią oraz kobaltem. Na zakończenie tego rozdziału przeprowadzono analizę zmian indukowanych w lokalnej strukturze magnetytu w wyniku procesów bombardowania jonami argonu i galu. Analiza ta została przeprowadzona w oparciu o symulacje teoretyczne widm absorpcji wykonanych za pomocą pakietu FDMNES (ang. *Finite Difference Method Near Edge Structure*).

W ostatnim rozdziale pracy zostały podsumowane najważniejsze wyniki oraz przedstawione możliwe kierunki dalszych badań.