

Rezumat proiect CEEEX 17/2005

SPINTROMAT

Activitățile din etapa I-a proiectului au vizat realizarea stratului tampon ce constituie o etapă importantă în vederea creșterii structurilor magnetice multistrat. Rolul acestuia este de a adapta „mismatch”-ul reticular dintre substrat și structura ce va fi depusă, precum și de a asigura planeitatea în vederea obținerii unei creșteri de bună calitate.

În vederea realizării stratului tampon au fost luate în considerare trei tipuri de structuri: Cr(10nm)/Cu(30nm), Cr(5nm)/Fe(5nm)/Cu(30nm) și Ru(30nm). Este important de subliniat faptul că depunerea primelor două structuri s-a efectuat la temperatura camerei, lucru ce ar putea facilita o eventuală scalare a procesului de depunere la nivel industrial. Pentru caracterizarea acestora s-au efectuat trei tipuri de analize: SEM/EDX, difracție de raze X la unghiuri mici și AFM.

Primele două tipuri de structuri analizate prin măsurători AFM au fost Cr(10nm)/Cu(30nm) și Cr(5nm)/Fe(5nm)/Cu(30nm). În ambele cazuri se observă o rugozitate slabă de 0,32nm pentru prima structură și de 0,11nm pentru proba conținând Fe. În comparație cu prima structură, adăugarea stratului de fier a condus la o scădere a rugozității medii pătratice de la 0,32nm la 0,11nm. Totuși prezența acestui strat suplimentar ar putea complica ciclurile de magnetizare, interpretarea acestora devenind dificilă. Pentru stratul tampon de ruteniu, depus și tratat termic timp de 30 de minute la temperatura de 450°C, s-a obținut o rugozitate medie pătratică de 0,25nm. În urma depunerii unui strat adițional de cobalt s-a observat o scădere a rugozității medii pătratice la valoarea de 0,15nm. Această scădere a fost pusă pe seama difuziei a unei părți din stratul de cobalt în stratul de ruteniu. Pentru determinarea grosimii exacte a stratului de cobalt difuzat sunt necesare analize ulterioare. De asemenea, la toate structurile prezentate s-a observat faptul că procesul de creștere s-a desfășurat bidimensional, un aspect foarte important pentru obținerea de suprafețe cu o rugozitate scăzută.

În cadrul etapei a doua a proiectului, s-au realizat și studiat aliajele $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$ și $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$ (x este cuprins între 0.4 și 0.6) în vederea utilizării lor ca materiale pentru spintronica. Pentru aliajul $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$ momentul efectiv maxim s-a obținut pentru $x=0,5$. Pentru sistemul $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$ cele mai bune proprietăți magnetice s-au obținut pentru $x=0,475$. În continuare au fost depuse, prin evaporare în fascicul de electroni, și caracterizate din punct de vedere magnetic filmele de Fe, Co și FeCo. Cele mai bune caracteristici morfologice și magnetice s-au obținut pentru filmele de cobalt depuse pe un strat tampon de ruteniu.

O altă direcție urmărită a constat în realizarea și caracterizarea aliajelor cu ordonare antiferomagnetice de tipul FeMnRh precum și în studiul teoretic al influenței dimensiunilor laterale asupra cuplajului de schimb în structuri de tipul AF/FM. Din simularile noastre, s-a observat că talia laterală finită a sistemului limitează numărul de domenii ce se pot forma în AFM, pastrand astfel câmpul de „exchange bias” practic constant.

În continuare s-au realizat arhitecturile multistrat de tipul BL/FM/NM/FM, unde stratul tampon a fost constituit din arhitectura Cr(5nm)/Fe(5nm)/Cu(30nm) precum și dintr-un strat singur de Ru(30nm). Drept straturi feromagnetice s-au utilizat Fe și Co, iar ca straturi nemagnetice s-au utilizat Cr, Cu și Ru. Singurul tip de structură care a prezentat cuplaj de schimb de tip antiferomagnetic a fost: Ru(30nm)/Co(3nm)/Ru(t_{Ru})/Co(3nm), unde t_{Ru} s-a variat între 0,6 și 1,5 nm. Valoarea maximă a constantei de cuplaj, de $-0,64\text{erg}/\text{cm}^2$, a fost obținută pentru o grosime a stratului de ruteniu de 0,8 nm. Studiul morfologiei structurii multistrat FM/NM/FM s-a efectuat folosind analize AFM. Conform acestor analize, rugozitatea medie pătratică variaza între 1.56 și 2.33Å.

Ca si valve de spin s-au realizat structurile: Si/Ru(30nm)/Co(6nm)/Cu(6nm)/ Fe(10nm)/Cr(2nm), pentru care s-a obtinut un semnal GMR maxim de 0,127% si Si/Ru(30nm)/Co(3nm)/Ru(0.8nm)/Co(3nm)/Cu(6nm)/Fe(10nm)/Cr(2nm), pentru care s-a obtinut un semnal GMR maxim de 0,122%, precum si structura Si/Ru(30nm)/MgO(15nm)/Co(6nm)/Cu(6nm)/Fe(10nm)/Cr(2nm), pentru care s-a obtinut un semnal GMR maxim de 0,104%.

Pentru a studia influenta grosimii straturilor componente asupra proprietatilor electrice ale structurilor s-au elaborate doua esantioane avand urmatoarele compozitii: Si/Cr(2nm)/Cu(30nm)/Co(5nm)/Au(3nm)/Fe(5nm)/Cr(2nm) si Safir/Cr(2nm)/Cu(30nm)/Co(10nm)/Au(6nm)/Fe(10nm)/Cr(2nm). Calculand valorile raportului magnetorezistiv in cele doua cazuri se obtin valorile de 0.248% in cazul structurii mai "groase" si respectiv de 0.111% la cea cu straturile componente mai subtiri.

Masuratorile de rezonanta feromagnetica (RFM) au fost efectuate pe sistemul Ru(300Å)/Co(30Å)/Ru(8Å)/ Co(30Å)/Cu(30Å)/ Fe(100Å). Spectrele experimentale RFM indica existenta unei singure linii de rezonanta. Masuratorile au aratat ca pentru valori mici ale magnetizarii de saturatie ($20-60 \text{ emu/m}^3$) constanta de anizotropie variaza intre 1 si 100 J/m^3 , iar pentru valori mari ($103 - 104 \text{ emu/m}^3$) variatia este in domeniul $107-108 \text{ J/m}^3$.

In urma realizarii tuturor etapelor prevazute in aceasta faza s-a constatat faptul ca intr-adevar materialele alese pentru dezvoltarea aplicatiilor in domeniul spintronicii se preteaza la realizarea de dispozitive. Totodata in urma studiilor efectuate s-a constatat o puternica dependenta a proprietatilor structurilor realizate in functie de metoda de realizare aleasa. In viitor, trebuie sa se aleaga o metoda care sa dea rezultate acceptabile ca si proprietati si in acelasi timp sa fie scalabila industrial.

Activitatile din etapa a III-a a prezentului proiect au fost axate pe elaborarea si caracterizarea materialelor pentru jonctiuni magnetice tunel (JTM). Astfel, în cadrul proiectului au fost studiate doua mari categorii de materiale: materiale utilizate pentru bariera de potential si materiale feromagnetice polarizate de spin. Datorita proprietatilor electrice si cristaline, cel mai promitator material pentru realizarea barierei de potential intr-o jonctiune feromagnet-izolator-feromagnet este oxidul de magneziu. În cadrul fazei a III-a au fost depuse prin evaporare în fascicul de electroni filme epitaxiale de MgO pe substraturi monocristaline de $(100)\text{SrTiO}_3$ si $(100)\text{LaAlO}_3$. Filmele depuse au proprietati cristaline si morfologice corespunzatoare unei bariere de potential de calitate.

Datorita perspectivelor deschise de spintronica in domeniul tehnologiei informatiei si al electronicii, dezvoltarea de materiale noi polarizate de spin este deosebit de importanta. Semiconductorii feromagnetici sunt deosebit de promitatori ca electrozi polarizati de spin in dispozitivele spintronice. Din punct de vedere tehnologic, principalul avantaj al acestei clase de materiale consta in faptul ca ea permite o integrare usoara a dispozitivelor spintronice cu cele semiconductoare existente. În cadrul prezentei etape a proiectului s-a studiat din punct de vedere fundamental si tehnologic o serie de manganiti $\text{La}_{0.66}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$, $\text{La}_{0.66}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ si $\text{La}_{1-x}\text{Pb}_x\text{MnO}_3$, precum si sistemul perovskitic $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_3$. Studiile fundamentale au fost efectuate pe probe masive preparate prin reactie în faza solida. Aceste studii au vizat în principal determinarea proprietatilor magnetice, electrice si a structurii electronice prin masuratori XPS, XAS si XES. De asemenea, a fost studiat prin RES mecanismul de dublu schimb în perovskitii cu valenta mixta continand ioni de Mn^{3+} ($3d^4$ cu $S = 2$) si Mn^{4+} ($3d^3$ cu $S = 3/2$) avand configuratiile electronice $t_{2g}^3e_g^1$, respectiv $t_{2g}^3e_g^0$. Interactia dintre acesti ioni 3d a fost explicata pe baza unui mecanism indirect de dublu schimb (DE-Double Exchange) magnetic. Proprietatile de transport electric au fost explicate printr-un model polaronic considerand ca electronul mobil de tip e_g poarta cu el o distorsiune locala anizotropa care ridica degenerarea starii fundamentale electronice. Saltul polaronului e_g de la ionul Mn^{3+} catre ionul de Mn^{4+} este responsabil pentru aparitia conductiei electrice.

Din punct de vedere tehnologic, o mare parte dintre activitatile etapei au fost dedicate depunerii de filme epitaxiale de manganiti. Astfel, au fost depuse prin DC-sputtering (pulverizare catodica) filme de $\text{La}_{0.66}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ pe substraturi de interes practic cum ar fi (100) SrTiO_3 si (100) LaAlO_3 . Analizele de difractie de raze X de inalta rezolutie au demonstrat un inalt nivel de epitaxie al acestor filme cu o valoare a parametrului FWHM de aproximativ $0,06^\circ$. Rugozitatea filmelor determinata prin microscopie de forta atomica (AFM) este în jur de 0.5 nm. Filmele de $\text{La}_{0.66}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ au fost depuse epitaxial prin depunere chimica din solutie utilizand ca si precursori derivati organici ai metalelor. Filmele astfel obtinute sunt comparabile din punct de vedere cristalin cu cele depuse prin DC-Sputtering. Anizotropia proprietatilor magnetice a filmelor a fost determinata prin masuratori de RES si EMR.

Etapa a IV-a a proiectul "SPINTROMAT" a fost dedicata cresterii epitaxiale a filmelor de YBCO pe substraturi monocristaline, atat prin metode fizice, cat si prin metode chimice. S-au obtinut filme epitaxiale de YBCO pe substraturi monocristaline de (100) SrTiO_3 , (100) LaAlO_3 si (100) MgO prin depunere prin ablare laser si prin depunere chimica utilizand ca si precursori triflouroacetatii de Y, Ba si Cu. De asemenea, a fost dezvoltata o solutie precursora pe baza de propionati pentru depunerea filmelor de YBCO. Analizele de difractie de raze X au evidentiat ca filmele de YBCO astfel obtinute sunt epitaxiale cu axa c perpendiculara pe substrat, relatia de epitaxie fiind $[100]\text{YBCO}||[100]\text{STO}$. Masuratorile de tipul ω -scan efectuate pe maximul de difractie (005) al filmului de YBCO au demonstrat un grad inalt de epitaxie al filmului de YBCO crescut pe substratul de (100) SrTiO_3 cu o valoare a parametrului FWHM de 0.19° . Masuratorile de transport supraconductor au aratat ca filmele de YBCO au proprietati supraconductoare excelente cu temperatura critica în jur de 92 K si o largime a tranzitiei $\Delta T=1,5\text{K}$ si o valoare a curentului critic la 77K si în camp magnetic zero de $J_c(T=77\text{K}, B=0) > 10^6 \text{ A/cm}^2$. De asemenea, studiile de morfologie prin SEM si AFM au demonstrat ca filmele au o morfologie adecvata pentru realizarea interfetelor de tipul F-S sau F-I-S.