

PROJETO – DE – PESQUISA

Programa de Iniciação científica e Tecnológica CBPF

Nome do pesquisador ou tecnologista (orientador interno):

Elisa Maria Baggio Saitovitch

Coordenação: COMAN - Coordenação de Matéria Condensada, Física Aplicada e Nanociência

Nome do pesquisador ou tecnologista (coorientador/colaborador externo, se houver):

Isabel Castro Merino e Liying Liu

Instituição de Pesquisa Externa (se houver): _____

Título do projeto: **Estudo do Exchange Bias em multicamadas do tipo [FM/NM]3/AFM.**

Palavra-chave: Exchange Bias, Filmes Finos, Multicamadas

Área de conhecimento: Física da Matéria Condensada Experimental

Pré-requisito desejado (se houver): Aluno deve ter cumprido o ciclo básico do curso de Física

Possibilidade de orientação remota: () Sim (x) Não

Resultante principal do Projeto:

- (x) Publicação (horizonte de 4 anos).
- (x) Preparação do bolsista para área científica.
- () Produto tecnológico.
- () Produto educacional ou didático.

Rio de Janeiro, 29 de março de 2023.

Projeto de Pesquisa

Resumo:

Neste projeto propõe-se o desenvolvimento de atividades de pesquisa experimental na área de magnetismo de filmes finos. O objetivo é produzir e estudar sistemas magnéticos com anisotropia no plano e fora do plano que apresentem o efeito Exchange Bias. Através da análise destes sistemas contendo materiais ferromagnéticos (FM), antiferromagnéticos (AF) e não magnéticos (NM) serão abordadas questões fundamentais relativas a estes fenômenos. Nas primeiras etapas serão investigadas as bicamadas FM/NM e NM/AFM, as quais serão depositadas por Magnetron Sputtering e cujas propriedades estruturais serão analisadas por difração e refletividade de Raios-X. As propriedades magnéticas serão estudadas por Magnetometria no CBPF e Ressonância Ferromagnética, a qual é conhecida por sua sensibilidade na investigação das anisotropias magnéticas; neste caso em colaboração com UFG, Goiânia. O aluno deve ir no Iniciação Científica ao estudo de Filmes Finos que é uma das áreas de interesse do nosso grupo de trabalho no CBPF.

Introdução e justificativa:

As multicamadas são filmes finos formados por estruturas artificiais compostas por uma ou várias camadas, de materiais puros ou suas ligas, depositadas sobre um substrato, sendo a espessura de cada camada com espessura da ordem de nanômetros. A investigação científica na área destes materiais tem se tornado, nas últimas duas décadas, um dos pilares para o avanço da nanotecnologia [1]. Dentre as propriedades mais importantes que apresentam estes sistemas temos, por exemplo, a Magnetorresistência Gigante e o Efeito Exchange Bias. A magnetorresistência gigante foi descoberta em super-redes Fe/Cr, levando ao Prêmio Nobel de Física em 2007 a dois grupos independentes, e é intensamente estudada em diversos tipos de nanoestruturas [2, 3]. Por outro lado, o efeito Exchange Bias (EB) é caracterizado por um deslocamento da curva de magnetização ao longo do eixo do campo magnético e tem sido aplicado em cabeçotes de leitura de discos rígidos [4, 5]. Contudo, ainda existem várias questões não resolvidas, por exemplo, o efeito EB que foi descoberto em sistemas granulares Co/CoO em 1956 e desde então continua sendo intensamente estudado numa grande variedade de sistemas com interfaces FM/AFM [4]. Do ponto de vista teórico, ainda não há um modelo definitivo que explique o deslocamento da curva de magnetização e o aumento do campo coercivo dos sistemas FM/AFM. Uma das razões é a grande quantidade de sistemas estudados, que incluem nanopartículas, filmes magnéticos depositados por técnicas de crescimento epitaxial e, policristalinos depositados por Magnetron Sputtering. Ainda na procura do entendimento destes fenômenos, pretende-se estudar sistemas de bicamadas do tipo FM/NM e NM/AFM e, multicamadas [FM/NM]N/AFM que apresentem EB.

Objetivos:

Este projeto tem como objetivo estudar de forma sistemática o crescimento e análises dos filmes magnéticos. Dará ao aluno (a) de Iniciação Científica um excelente treinamento nas linhas de pesquisa, correspondente à preparação e caracterização de filmes finos. Permitindo ao IC ter uma visão ampla dos sistemas magnéticos, interagindo com os nossos colaboradores e, ganhando experiência nas áreas abrangidas pelo projeto;

Plano de Trabalho do bolsista:

As atividades na quais o aluno (a) de iniciação científica ficaria envolvido durante o período de duração da bolsa serão: a) Uma discussão em forma de uma revisão bibliográfica dos principais conceitos físicos e estruturais relacionados às multicamadas (bicamadas e tricamadas), aos principais modelos fenomenológicos que contribuem para a descrição das propriedades desses sistemas. B) Um breve treinamento do manuseio da técnica de deposição de filmes finos por Magnetron Sputtering. C) Acompanhamento e preparação dos filmes. Análise dos resultados experimentais acompanhados da interpretação e suas respectivas discussões. Através da utilização das técnicas de caracterização magnética e estrutural, destacando alguns aspectos da teoria e das instalações experimentais utilizadas.

Material e métodos:

Para realização da pesquisa, o candidato (a) a Iniciação Científica vai dispor de toda a infraestrutura de laboratórios do grupo de Materiais Avançados, bem como a infraestrutura dos laboratórios de multiusuários do CBPF. Uma das técnicas, mas empregadas no crescimento de filmes finos magnéticos é o Magnetron Sputtering. Este sistema possui facilidade de operação, rapidez na preparação dos filmes, excelente reprodutibilidade e é bastante versátil. A escolha dos materiais a serem crescidos neste equipamento envolve a liga permalloy $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$, que é um ferromagneto mole muito utilizado em dispositivos de sensores (possui alta permeabilidade magnética, baixa coercividade, baixa anisotropia magnetocristalina, entre outras características). O Co também foi escolhido sendo um metal de transição 3d que possui alta anisotropia uniaxial, comparado ao Fe e ao Ni, e um complexo equilíbrio entre as energias magnetostática, magnetoelástica e magnetocristalina. Em filmes ultrafinos de Co, a contribuição magneto-cristalina é, na maioria dos casos, anisotrópica, portanto desempenhando uma forte influência sobre as propriedades magnéticas do filme. Neste sentido, a anisotropia magnética perpendicular de filmes de Co, vem sendo exaustivamente estudada por sua dependência com a espessura do filme. Filmes de Co passam da fase fcc para hcp com o aumento da espessura. No caso da escolha do IrMn é um AFM promissor, capaz de induzir um campo de troca forte, mesmo quando a camada AFM é muito fina ($\approx 7,5$ nm) [6], apresentando uma aceitável resistência à corrosão [6, 7] (ligeiramente melhor que o FeMn [6], e uma $T_N=690$ K [8], consequentemente, dispositivos que possuem IrMn possuem maior estabilidade térmica. Além disso, a textura cristalina IrMn-

fcc [111] em bicamadas influencia fortemente o campo de EB [9]. Já no caso da caracterização magnética e estrutural dos filmes, o candidato (a) vai ter a sua disposição um sistema de Dynacool da Quantum Design, instalado no laboratório Interinstitucional de Medidas de Transporte e Magnéticas do CBPF, que permite realizar medidas magnéticas na faixa de temperatura (1,8–400 K) e utilizar campos magnéticos até 9 T. Além disso, o CBPF dispõe de 2 difratômetros (multiusuário) para a caracterização estrutural das amostras segundo o tipo de amostra (pó e/o bulk e, para filme). Medidas de FMR seriam feitas através da colaboração com a UFG e UnB.

Forma de análise dos resultados:

Para o análise das propriedades estruturais e magnéticas dos filmes, se utilizaram um conjunto de técnicas experimentais: para determinar a estrutura cristalina, se usaram medidas de difração de Raios-X convencional. Valores como espessura das camadas e rugosidades interfaciais se obterão por medidas de refletividade (difração a ângulos rasantes). Comportamentos magnéticos serão avaliados através das técnicas de Magnetometria de Amostra Vibrante (VSM) e, Ressonância Ferromagnética (FMR) que é uma técnica que permite investigar de forma independente o comportamento magnético.

O aluno de Iniciação Científica ganhara experiência: a) Na utilização de diversas técnicas de preparação de amostras como: Magnetron Sputtering e, outras técnicas de preparação de amostras que possui o Grupo de Pesquisa como Criostato Evaporador Stöhr e, Criostato e Forno de Cluster; b) Na realização de medidas magnéticas e de transporte elétrico, utilizando equipamentos como Dynacool, Versalab, PPMS, c) Na realização de medidas de Raios X e d) ganhará experiência também com trabalhos em alto vacuo.

Bibliografia relacionada ao projeto:

- [1] M. T. Johnson, P. J. Bloemen, F. J. den Broeder, J. J. de Vriest. Magnetic anisotropy in metallic multilayers. Rep. Prog. Phys. 59, 409 (1996).
- [2] S. Chikazumi, Physics of Ferromagnetism (Oxford University Press, New York, 1997).
- [3] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich, J. Chazelas. Giant magnetoresistance of Fe/Cr superlattices. Phys. Rev. Lett. 61, 2472 (1988).
- [4] J. Nogués, J. Sort, V. Langlais, V. Skumryev, S. Suriñach, J. S. Muñoz, M. D. Baró. Exchange bias in nanostructures. Physics Reports 422, 65 (2005).
- [5] D. Stamopoulos, E. Manios, M. Pissas. Synergy of exchange bias with superconductivity in ferromagnetic-superconducting layered hybrids: the influence of in-plane and out-of-plane magnetic order on superconductivity. Supercond. Sci. Technol. 20, 1205 (2007).
- [6] A. J. Devasahayam, P. J. Sides, e M. H. Kryder. Magnetic, temperature, and corrosion properties of the NiFe/IrMn exchange couple. J. Appl. Phys., 83, 7216-7218 (1998).
- [7] A. E. Berkowitz e K. Takano. Exchange anisotropy - a review. J. Magn.Magn. Mater., 200, 552-570 (1999).
- [8] J. Nogués e I. K. Schuller. Exchange bias. J. Magn. Magn. Mater., 192, 203-232 (1999).
- [9] G. Anderson, Y. Huai, L. Miloslawsky. CoFe/IrMn exchange biased top, bottom, and dual spin valves. J. Appl. Phys., 87, 6989-6991 (2000).