

O EFEITO EXCHANGE BIAS NOS SISTEMAS DE VÁLVULAS DE SPIN IrMn/Py/Cu/Co E IrMn/Py

Mateus Souza Dutra¹; Willian Edgardo Alayo Rodriguez²;

¹Universidade Federal de Pelotas – Mudtra_97@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – arwillian@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As válvulas de spin propostas por Dieny et al. (1991) são nanoestruturas com grande potencial para aplicações em spintrônica e para o estudo de fenômenos magnéticos em escala nanométrica. Estes sistemas são formados por duas camadas ferromagnéticas (FM₁ e FM₂), uma camada não magnética (NM) e uma camada antiferromagnética (AFM), formando a estrutura do tipo AFM/FM₂/NM/FM₁. A camada FM₁ tem sua magnetização livre para rodar em resposta a um campo magnético aplicado enquanto que a camada FM₂ tem sua magnetização presa devido a interação de troca com o material AFM. Neste trabalho busca-se fazer uma análise comparativa do efeito *exchange bias* em um sistema de bicamada AFM/FM e de válvula de spin usando do medidas de magnetização em função do campo magnético. Os sistemas estudados são IrMn/Py e IrMn/Py/Cu/Co, onde camada não magnética de cobre teve sua espessura variada entre 6 e 20 Å. A Fig. 1 mostra uma representação do sistema de válvula de spin.

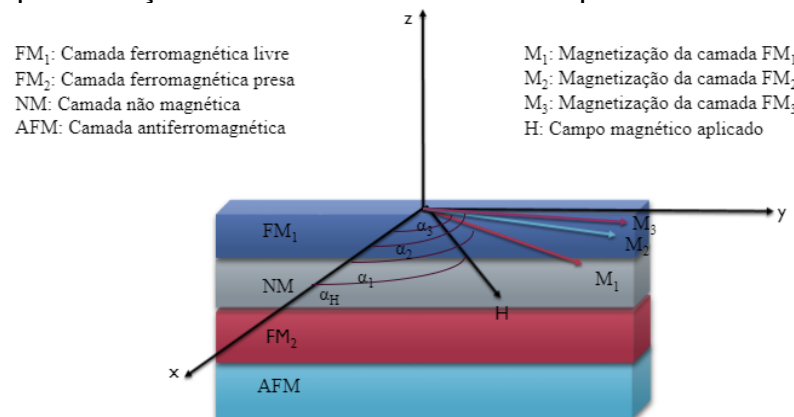


Figura 1: Representação de uma válvula de spin do tipo AFM/FM₂/NM/FM₁

O modelo fenomenológico que descreve as interações magnéticas nos sistemas acima descritos leva em conta a energia Zeeman, energia desmagnetizante, anisotropia uniaxial, a energia devido ao campo de *exchange bias*, e a energia de interação de troca. Considerando as coordenadas mostradas na Fig. 1, a densidade de energia livre, obtida pelo formalismo de Stoner-Wohlfarth (STONER; WOHLFARTH, 1947) é dada por:

$$E = t_1 M_1 [-H \cos(\alpha_H - \alpha_1) - \frac{1}{2} H u_1 \cos^2 \alpha_1] + t_2 M_2 [-H \cos(\alpha_H - \alpha_2) - \frac{1}{2} H u_2 \cos^2 \alpha_2] + t_2 M_2 [-H_E \cos(\alpha_2 - \alpha_3) - H_W \cos \alpha_3 - \frac{1}{2} H_{RA} \cos^2 (\alpha_2 - \alpha_H) + H_k \cos \alpha_2] - J_{bl} \cos(\alpha_1 - \alpha_2) - J_{bq} \cos^2 (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (1)$$

Onde t_i , M_i e α_i com $i = 1, 2, 3$, são respectivamente a espessura, magnetização de saturação e os ângulos entre os vetores de magnetização e a anisotropia no plano do filme, para as camadas FM₁, FM₂ e AFM. α_H é o ângulo do vetor H com respeito à um eixo de anisotropia. A magnetização de camada AFM se refere a uma das camadas na interface AFM/FM₂, $H_W = \delta_w / (t_2 M_2)$ onde δ_w é a energia por unidade

de superfície de uma parede de domínio à 90° na camada AFM (MAURI, 1987). Os campos de anisotropia para as camadas FM_1 e FM_2 são $H_{u1} = 2Ku_1/M_1$ e $H_{u2} = 2Ku_2/M_2$ onde Ku_1 e Ku_2 são as constantes de anisotropia. A anisotropia de exchange é dada pelo fator H_E , onde $H_E = J_E/(t_2M_2)$ no qual é associada com a energia de exchange bias J_E . O termo H_{RA} leva em conta a existência de uma anisotropia rotacional (GESHEV, 2002) K_{RA} para a camada FM_2 , que indica a tendência da magnetização sofrer uma rotação devido a aplicação de um campo externo. Este termo deve ser considerado devido à Py (NiFe) que foi utilizado como a camada FM_2 e que tem uma tendência de rotacionar muito facilmente (PROSEN, 1961). O termo H_k , inclui uma contribuição para a anisotropia rotacional (SOUSA, 2014) e J_{bl} e J_{bq} são respectivamente as constantes bilinear e biquadrática.

2. METODOLOGIA

As multicamadas estudadas neste trabalho foram produzidas pela técnica de pulverização catódica (sputtering). A pulverização catódica é um processo que consiste em ionizar um gás inerte entre dois eletrodos, gerando um plasma. Os íons deste gás se aceleram e colidem com os átomos do alvo e pulverizam sua superfície. Os átomos arrancados são depositados em um substrato para crescer o filme. A representação da bicamada AFM/FM é $IrMn(60\text{\AA})/Py(40\text{\AA})$ e a das válvulas de spin é: $IrMn(60\text{\AA})/Py(40\text{\AA})/Cu(t_{Cu})/Co(40\text{\AA})$, onde as espessuras da camada de cobre foram $t_{Cu} = 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18$ e 20\AA . Nesses sistemas a camada antiferromagnética foi a liga $Ir_{20}Mn_{80}$. As camadas ferromagnéticas de Co e Py($Ni_{81}Fe_{19}$) do segundo sistema estão separadas pela camada não magnética de cobre. Para induzir uma anisotropia unidirecional foi aplicado um campo de aproximadamente 400 Oe fixando pequenos ímãs permanentes no plano dos substratos antes de iniciar o crescimento dos filmes.

As medidas de magnetização em função do campo aplicado foram feitas utilizando um Magnetômetro de Amostra Vibrante (VSM) da Quantum Design em temperatura ambiente. Um campo externo foi aplicado ao longo do plano dos filmes e paralelo a orientação da anisotropia unidirecional para a coleta dos dados de magnetização. Todo o procedimento experimental foi realizado previamente ao início deste trabalho em colaboração com o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 2 mostra os ciclos de histerese da bicamada $IrMn(60\text{\AA})/Py(40\text{\AA})$ e das válvulas de spin $IrMn(60\text{\AA})/Py(40\text{\AA})/Cu(t_{Cu})/Co(40\text{\AA})$ para $t_{Cu} = 6, 18$ e 20\AA . Nota-se que as curvas de magnetização da bicamada $IrMn(60\text{\AA})/Py(40\text{\AA})$ e da válvula de spin com $t_{Cu} = 6 \text{\AA}$ tem a mesma forma, isto é, apresentam um ciclo de histerese deslocado ao longo do eixo do campo magnético, sendo que tal deslocamento, ou campo de *exchange bias*, é maior no caso da bicamada. Isto sugere uma forte interação ferromagnética, ou alinhamento paralelo entre as magnetizações das camadas de Co e Py da válvula de spin. Ao aumentar a espessura do material não magnético é possível observar que o campo de *exchange bias* diminui gradualmente e a energia de interação de troca entre as camadas ferromagnéticas também diminui, o que resulta nos ciclos de histerese das válvulas de spin para $t_{Cu} = 18$ e 20\AA . Também foi possível notar uma oscilação nos valores deste campo. Com o registro das oscilações, a interação entre as camadas FM_1 e FM_2 com a espessura de cobre poderemos analisar os resultados por meio da interação RKKY, onde se faz uma analogia com impurezas magnéticas em uma matriz metálica.

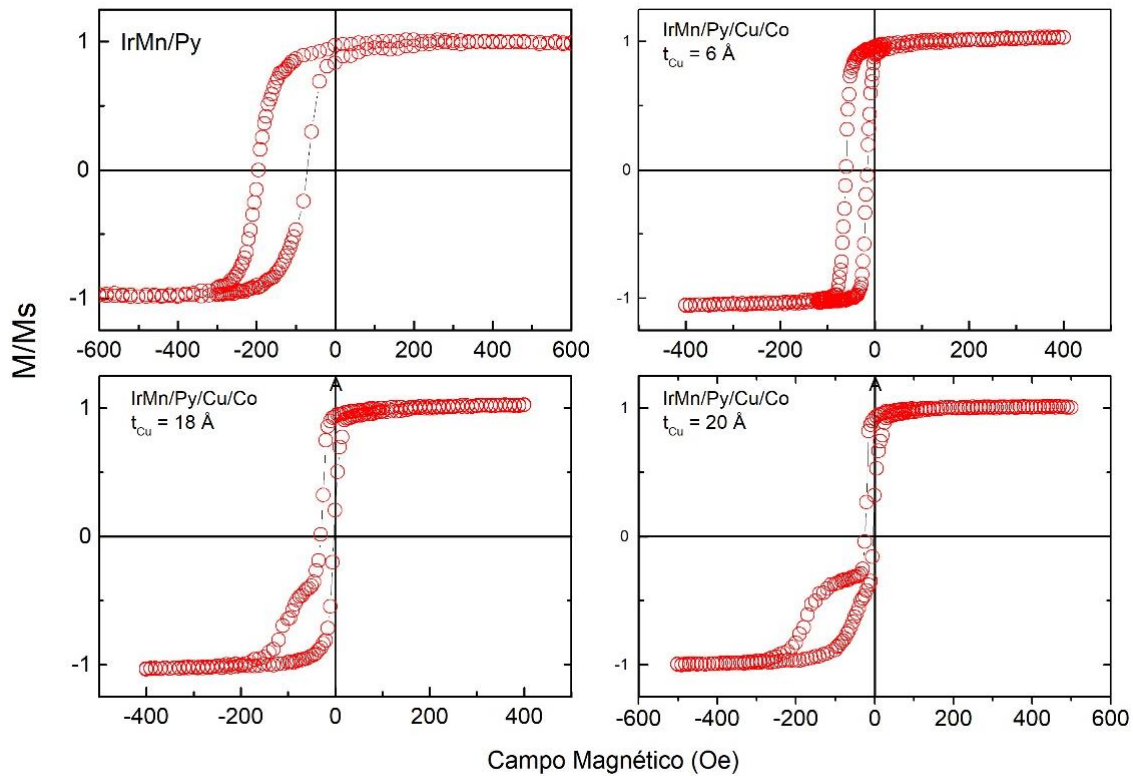


Figura 2 – Curvas de magnetização para IrMn/Py e IrMn/Py/Cu/Co para $t_{Cu} = 6 \text{ \AA}$, $t_{Cu} = 18 \text{ \AA}$ e $t_{Cu} = 20 \text{ \AA}$, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Com a análise dos ciclos de histerese, pode-se notar que o sistema apresenta um acoplamento ferromagnético e a característica marcante de um deslocamento da curva para o lado negativo do eixo do campo magnético. Com a comparação entre a bicamada e a multicamada, é evidente que para espessuras muito baixas, o sistema IrMn/Py/Cu/Co tem um comportamento de uma bicamada. Além disso, o campo de *exchange bias* oscila com a variação da espessura da camada de cobre, o que nos permite uma análise análoga a da interação RKKY. O estudo dos sistemas de válvula de spin tem muita importância na aplicação da spintrônica, pois hoje em dia já estão sendo atingidos os limites para gravações magnéticas e cabe ao estudo dos filmes finos encontrar novas formas de se otimizar as gravações magnéticas por meio de novos estudos de sistemas magnéticos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

B. Dieny, V.S. Speriosu, S. Metin, S.S.P. Parkin, B. Gurney, P. Baumgart, D.R. Magnetotransport properties of magnetically soft spinvalve structures. **Journal Of Applied Physics** Vol. 69, No. 8, 15 April 1991.

D. Mauri, H.C. Siegmann, P.S. Bagus, E. Kay. Simple model for thin ferromagnetic films exchange coupled to an antiferromagnetic substrate **Journal of Applied Physics**. Vol. 62 No. 7, 1 October 1987.

E.C. Stoner, E.P. Wohlfarth. Interpretation of High Coercivity in Ferromagnetic Materials. **Nature** Vol. 160, No. 4071, 8 November 1947.

J. Geshev, L.G. Pereira, J.E. Schmidt. Rotatable anisotropy and coercivity in exchange-bias bilayers. **Physical Review B**. Vol 66, No. 13, 31 October 2002.

M.A. Sousa, F. Pelegri, W. Alayo, J. QuispeMarcatoma, E. Baggio-Saitovitch. Parallel ferromagnetic resonance and spinwave excitation in exchange-biased NiFe/IrMn bilayers. **Physica B : Condensed Matter**. 450 (2014) 167–172.

R.J. Prosen, J.O. Holmen, B.E. Gran. Rotatable Anisotropy in Thin Permalloy Films. **Journal Of Applied Physics**. Vol. 3, No 3, March 1961.