

ESPECTROS DE RESSONÂNCIA FERROMAGNÉTICA EM FILMES FINOS DE IrMn/Py/Cu/Co

Mateus Souza Dutra¹; Willian Edgardo Alayo Rodriguez²

¹Universidade Federal de Pelotas – Mdutra_97@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – arwillian@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As válvulas de spin, definidas por Dieny et. al são definidas como nanoestruturas utilizadas para estudar o comportamento magnético dos materiais. Tais nanoestruturas possuem a seguinte estrutura (Figura 1) : Duas camadas ferromagnéticas, uma camada não magnética e uma camada antiferromagnética. Para fins comparativos, foram utilizadas duas amostras, ambas com a espessura do material não magnético diferentes, sendo 6 e 12 Å. O presente trabalho, visa em analisar via experimento de FMR os espectros de absorção de filmes finos de IrMn(60 Å)/Py(40 Å)/Cu(t_{Cu})/Co(40 Å), a escolha da técnica leva em consideração algumas vantagens em comparação com técnicas como o VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) como a maior precisão em obter parâmetros de amortecimento, constantes de troca e anisotropias e também nos permite uma melhor visualização acerca da estrutura atômica do material.

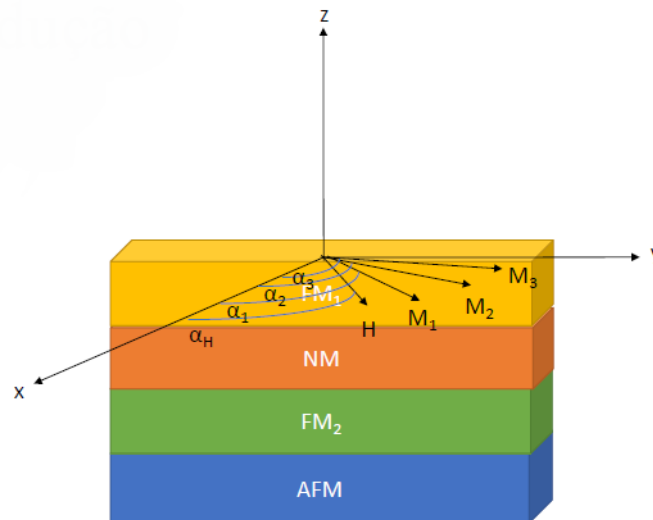


Figura 1. Válvula de Spin

Para entender melhor a dinâmica de magnetização, Landau e Lifshitz propuseram a seguinte equação de movimento:

$$\frac{1}{\gamma} \frac{d\vec{\mu}}{dt} = -(\vec{\mu} \times \vec{H}_0) - \frac{\alpha}{M} [\vec{M} \times (\vec{M} \times \vec{H}_{ef})]$$

Onde, o termo que descreve o amortecimento é um parâmetro admesional dado por α e λ é um termo de relaxação, caracterizado pela interação dipolar entre os momentos magnéticos do material. Gilbert, propôs um termo para descrever o amortecimento de \vec{M} , sendo este proporcional à sua variação temporal, a equação toma a seguinte forma:

$$\frac{1}{\gamma} \frac{d\vec{\mu}}{dt} = -(\vec{\mu} \times \vec{H}_0) + \frac{G}{\gamma^2 M^2} \left(\vec{M} \times \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} \right).$$

Onde G é o parâmetro de relaxação de Gilbert e está diretamente relacionado à energia de dissipação do sistema. Ainda, é importante salientar que ambas equações levam ao mesmo resultado quando o parâmetro de amortecimento for menor do que 0,1. Com campos oscilantes fracos, ambos casos são equivalentes sendo sua forma de linha uma Lorentziana.

Para a realização das medidas, o campo magnético externo foi aplicado no plano do filme policristalino. Considerando um filme com anisotropia uniaxial K_u no plano do filme, a magnetização de saturação fica definida agora pelos ângulos θ , Φ e o campo externo por ψ . Devemos supor também, que a magnetização de saturação fique confinada no plano xy como H_0 . A energia livre do sistema é dada por (utilizando as condições de equilíbrio)

$$\left(\frac{\omega}{\gamma} \right)^2 = [H_0 \cos(\psi - \phi_0) + 4\pi M_s + H_k \cos^2 \phi_0] \times [H_0 \cos(\psi - \phi_0) + H_k \cos^2 \phi_0]$$

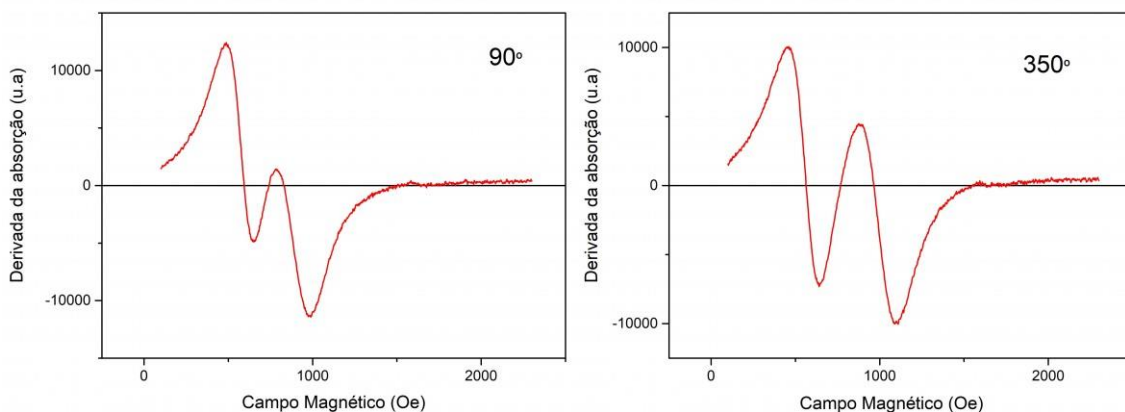
2. METODOLOGIA

As medidas de FMR foram feitas sob temperatura ambiente no Laboratório de Ressonância Magnética Eletrônica da UFG. O equipamento utilizado foi um espectrômetro da marca Burkert, modelo ESP300C. As amostras eram colocadas em um goniômetro, no centro de uma cavidade ressonante cilíndrica, no centro de um eletroímã. Era fornecido um campo magnético de até 20 kOe. A radiação de microondas foi produzida por uma Klystron conduzida até a cavidade ressonante através de uma guia de ondas metálica cilíndrica. Dentro da cavidade a amostra foi posicionada com um certo ângulo entre o campo e o vetor normal ao plano do filme. A frequência de microondas utilizada nas medidas foi de 9,79 GHz e seu campo magnético é aplicado perpendicularmente ao campo estático.

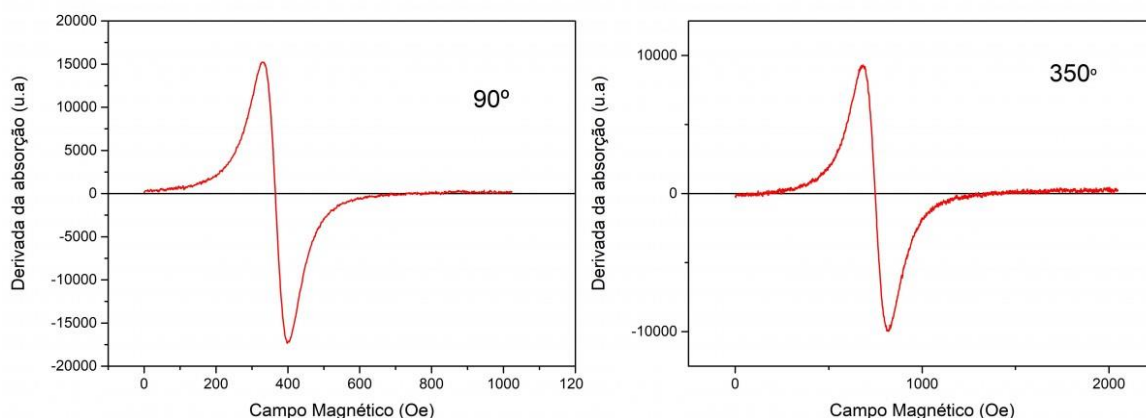
Por conveniência, a frequência das microondas se manteve fixa e variou-se só o campo magnético estático. As amostras eram posicionadas na região de máxima amplitude de intensidade do campo magnético da radiação da cavidade ressonante. Nessas condições elas podem absorver a energia da onda eletromagnética e as alterações que esta absorção provoca na onda são a origem do sinal detectado experimentalmente, baseado no qual, são feitos os estudos das características físicas das amostras. Para melhorar a razão sinal/ruído, foi feita uma modulação do campo H_0 , através de bobinas de modulação. Isso leva a um espectro proporcional à derivada da curva de absorção em relação ao campo H_0 , caso a amplitude de modulação seja muito menor que a largura da linha de absorção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os espectros para a amostra com a espessura de 12 Å para o cobre:



.Para a amostra com espessura do cobre de 6 Å:



Os valores para os campos onde ocorrem o máximo de absorção (campos de ressonância) são dados na tabela abaixo:

Espessura do Cobre (Å)	Ângulo	Campo (Oe)
6	350°	752
12	350°	566 e 970

Espessura do Cobre (Å)	Ângulo	Campo (Oe)
6	90°	367
12	90°	592 e 828

Pode-se reparar que o comportamento das curvas dos espectros em cada amostra é diferente. Enquanto a amostra com a espessura do cobre de 12 Å possui dois picos de absorção, a amostra com a espessura para o cobre de 6 Å mostra apenas um pico. Outro fato a se notar é a diferença nos valores dos campos de ressonância, em amostras com maiores valores de anisotropia em geral mostram campos de ressonância maiores e consequentemente, o campo aplicado à amostra deveria ser maior, necessitando assim de um acréscimo energético ao sistema.



4. CONCLUSÕES

O estudo das válvulas de spin utilizando a técnica de ressonância ferromagnética permite um aprofundamento maior sobre o entendimento da dinâmica de magnetização do material. Atualmente, tem-se utilizado a técnica para estudar dispositivos spintrônicos com o fim de melhorar a capacidade de armazenamento, processamento e transmissão de informação. Os efeitos de anisotropia são os principais influenciadores no que diz respeito aos valores dos campos de ressonância, sendo uma relação em que, quanto maior o efeito de anisotropia, mais energia deverá ser fornecida ao sistema para que seja observado os picos e absorção.

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 spin valve 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. Pelegrini, W. Alayo, J. Quispe Marcatoma, E. Baggio-Saitovitch. Parallel ferromagnetic resonance and spin wave 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.

Rodriguez, Willian Edgardo Alayo, *Anisotropia Magnética e Acoplamento de Troca Em Multicamadas de Metais de Transição*. 2007. Dissertação de Doutorado – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, 2007.

Nascimento, Valberto Pedruzzi, *Estudo das interfaces Nas Multicamadas NiFe/FeMn/NiFe*. 2005. Dissertação de Doutorado – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, 2005.