



Produção e caracterização de filmes finos na forma de bicamadas Co/Pt/IrMn que apresentam o fenômeno de exchange bias

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
LABORATÓRIO DE MAGNETISMO

Deomar Santos da Silva Junior¹ e Antonio Marcos Helgueira de Andrade²
1- Estudante de Engenharia Física; e 2- Professor do Instituto de Física

LAM
Laboratório de Magnetismo

RESUMO

Neste trabalho foram fabricados filmes finos na forma de tricamadas de materiais ferromagnético (FM), espaçador não magnético (NM) e antiferromagnético (AFM) para estudar o fenômeno de *Exchange Bias* [1] (viés de troca ou polarização por intercâmbio – fenômeno que tem como principal característica o deslocamento em campo da curva de magnetização) na interface e sua dependência com a espessura da camada de material não magnético. Os filmes finos foram crescidos na forma de tricamadas de Co/Pt/IrMn₈₀ com campo magnético aplicado *in situ* usando a técnica de desbastamento iônico com canhões magnéticos (*magnetron sputtering*). As amostras foram caracterizadas estruturalmente por difração de raios-x (XRD) e caracterizadas magneticamente por magnetometria de amostra vibrante (VSM). O fenômeno de *Exchange Bias* foi observado em todas as amostras como feitas, ou seja, nenhum tratamento posterior foi necessário. Além disso, foi observado o decaimento do H_{EB} com o aumento da espessura do espaçador não magnético.

INTRODUÇÃO

Nas áreas da física e da ciência dos materiais há um grande interesse no estudo do fenômeno de *Exchange Bias* devido ao grande desafio que é formular uma teoria completa que descreva bem o comportamento do fenômeno em função das mudanças de seus parâmetros. Os materiais que apresentam o fenômeno possuem um alto potencial de aplicação tecnológica, entre as quais estão sensores de campo magnético e dispositivos baseados em magnetorresistência gigante (GMR) tais como: cabeçotes de leitura/gravação e memórias magnéticas de acesso aleatório (MRAM) [2].

Portanto, é essencial que entendamos e saibamos controlar os mecanismos responsáveis pelo fenômeno. Para tanto, as amostras foram produzidas com o intuito de estudar a dependência do fenômeno de *Exchange Bias* em função das espessuras das camadas não magnéticas de Pt. Conhecer a estrutura cristalina dos materiais e controlá-las, no crescimento das camadas, é de crucial importância para obtermos amostras que apresentem o efeito. As estruturas cristalinas das amostras foram investigadas por difração de raios-x (XRD). Como as propriedades magnéticas são de suma importância nos dispositivos magnéticos, uma caracterização magnética foi feita por magnetometria de amostra vibrante (VSM).

OBJETIVOS

Estudar as propriedades magnéticas, estruturais e morfológicas de nanoestruturas magnéticas do tipo tricamadas FM/NM/AFM que apresentam o fenômeno *Exchange Bias* e encontrar, se possível, a espessura do NM que maximiza o fenômeno de EB utilizando diferentes técnicas de caracterização a fim de obter um melhor entendimento de suas propriedades e funcionamento dos mecanismos que dão origem ao fenômeno.

METODOLOGIA

As amostras foram crescidas por desbastamento iônico com canhões magnéticos (*magnetron sputtering*) com campo magnético de 2 kOe aplicado no plano da amostra durante a deposição (*in situ*). Essas amostras foram crescidas na forma de filmes finos sobre substratos de Silício (100) com óxido nativo na seguinte configuração (Figura 1): Ta(15 nm)/Co(7 nm)/Pt(X)/IrMn(15 nm)/Ta(15 nm), onde a espessura X da camada do espaçador não magnético de Pt foi variada (X = 0, 0.18, 0.36, 0.54, 0.72, 0.80, 1.35 e 2.25 nm). Além disso, uma camada semente, para induzir a textura (111) das próximas camadas, e uma camada de cobertura de Ta foram crescidas. Também foram produzidas amostras de Pt e IrMn, separadamente, para que as taxas de deposição fossem calibradas usando a técnica de refletometria de raios-x (RFR). Posteriormente as amostras foram caracterizadas estruturalmente por difração de raios-x (XRD) e caracterizadas magneticamente por magnetometria de amostra vibrante (VSM). As técnicas de deposição e caracterização utilizadas estão disponíveis no Laboratório de Magnetismo (LAM) e no Laboratório de Conformação Nanométrica (LCN) do Instituto de Física da UFRGS.

Este sistema de tricamadas é composto por um FM de alta permeabilidade magnética, um NM sem resposta magnética e um AFM estável a temperatura ambiente de modo que o acoplamento de *exchange* na interface do sistema acontece sem processos externos como, por exemplo, tratamentos térmicos com campo magnético aplicado. Isso só é possível porque uma anisotropia magnética foi induzida na camada ferromagnética com a aplicação do campo magnético externo durante a deposição, assim, uma direção preferencial de magnetização aparece na mesma direção do campo externo aplicado durante a deposição. Do ponto de vista teórico e experimental, foram comparados os deslocamentos em campo da curva de magnetização em função da espessura do NM e um ajuste foi feito para encontrar a equação que rege a variação da espessura com o EB.

RESULTADOS

As amostras apresentaram o fenômeno de *Exchange Bias* sem a necessidade de nenhum tratamento posterior, assim economizando processos que podem ser onerosos em tempo e/ou monetariamente. A caracterização estrutural mostra que as camadas de cobalto (Co) cresceram preferencialmente na textura (111), assim, as camadas não magnética e antiferromagnética (Pt/IrMn) também cresceram preferencialmente nesta mesma textura (111) (Figura 2). Desta forma, o acoplamento FM/AF na interface é garantido [4]. A caracterização magnética mostra os deslocamentos em campo das curvas de magnetização em todas as amostras (Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9). Tanto os campos de *Exchange Bias* (H_{EB}), como mostrado na figura 3, quanto os campos coercivos (H_C) diminuíram com o aumento das espessura do espaçador não magnético de Pt (t_{Pt}).

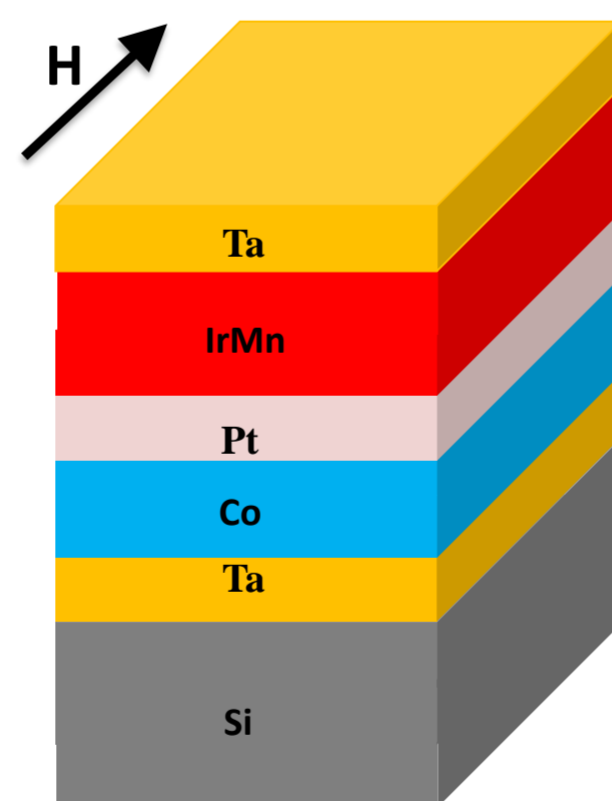


Figura 1. Desenho esquemático das amostras.

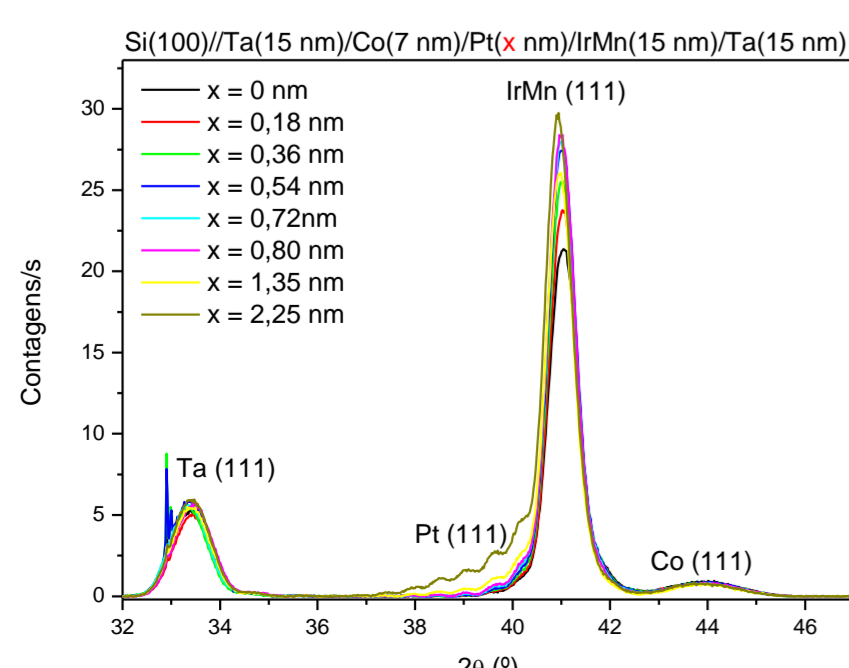


Figura 2. Caracterização estrutural por XRD.

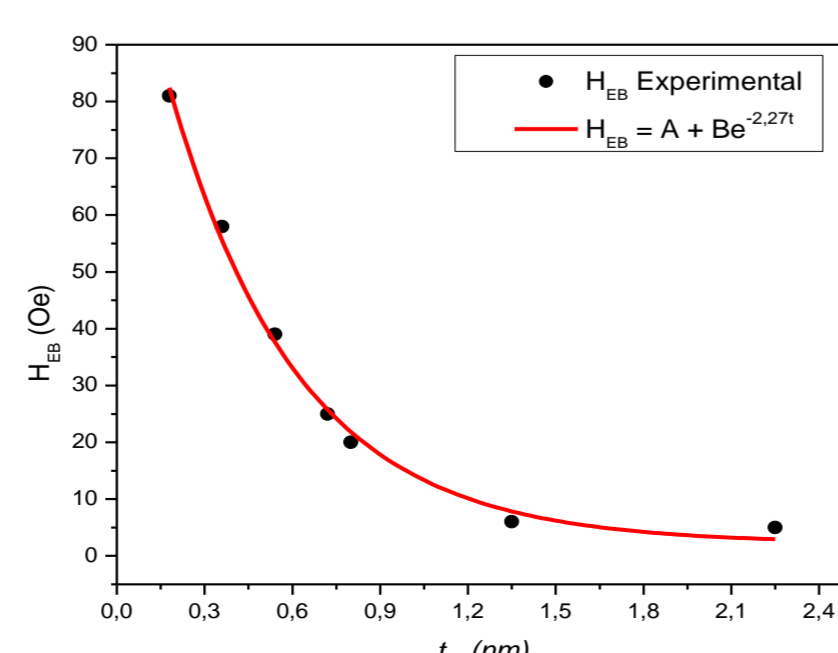


Figura 3. Dependência do EB em função da espessura de Pt.

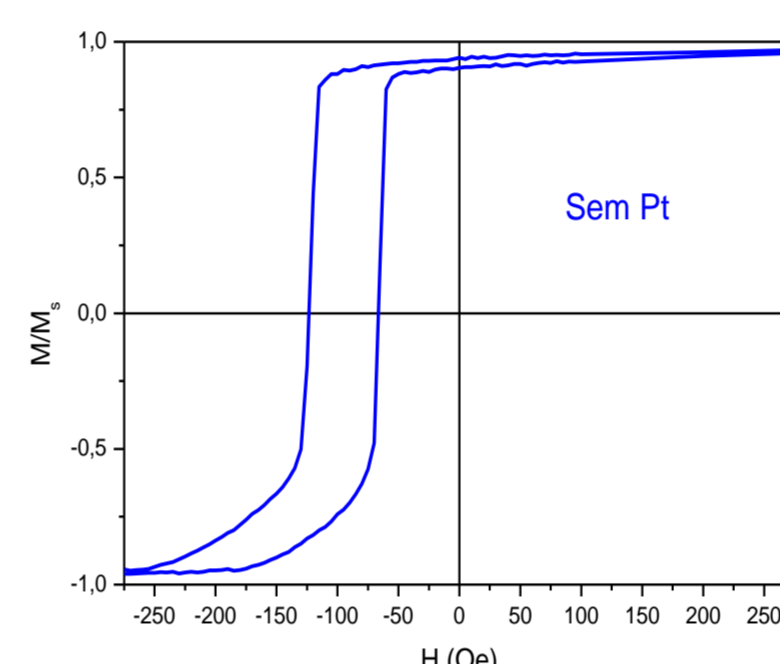


Figura 4. Si//Ta(15 nm)/Co(7 nm)/IrMn(15 nm)/Ta(15 nm)

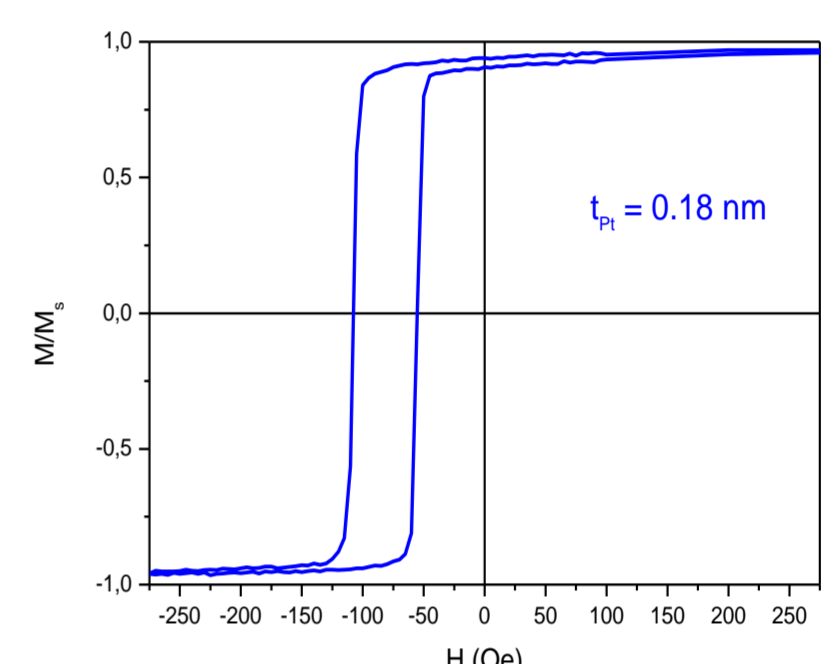


Figura 5. Si//Ta(15 nm)/Co(7 nm)/Pt(0.18 nm)/IrMn(15 nm)/Ta(15 nm)

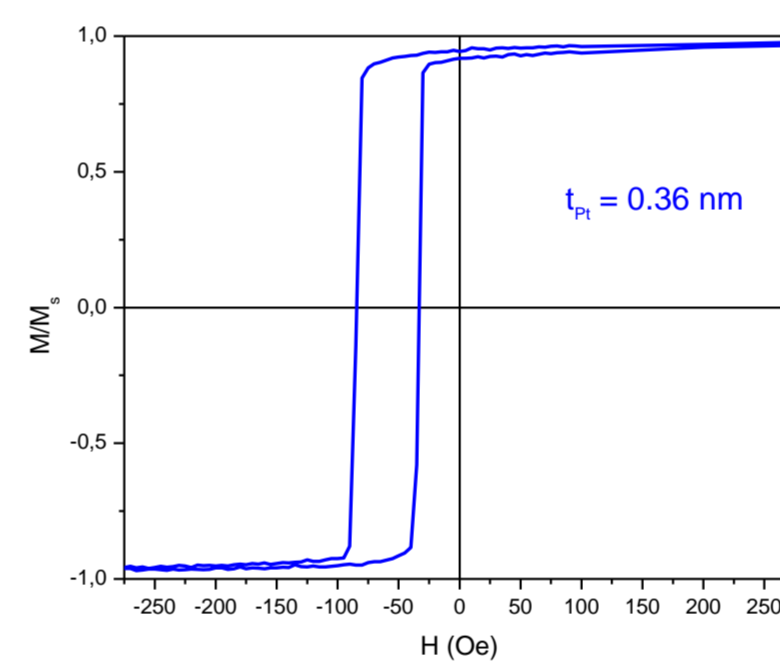


Figura 6. Si//Ta(15 nm)/Co(7 nm)/Pt(0.36 nm)/IrMn(15 nm)/Ta(15 nm)

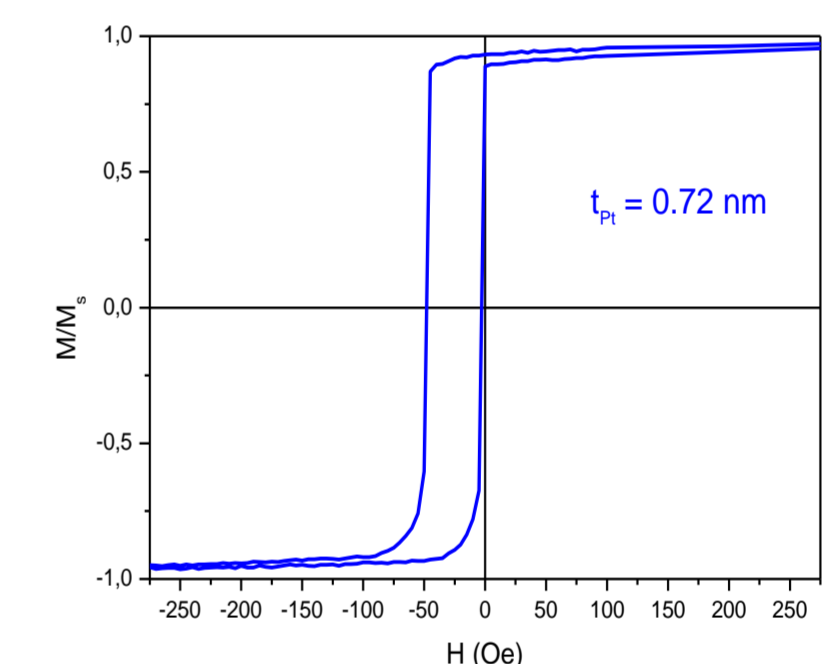


Figura 7. Si//Ta(15 nm)/Co(7 nm)/Pt(0.72 nm)/IrMn(15 nm)/Ta(15 nm)

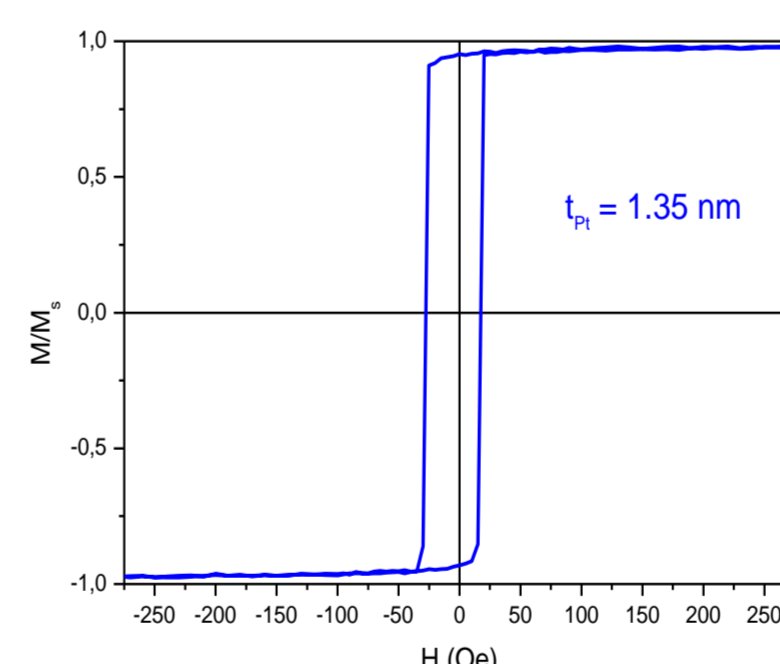


Figura 8. Si//Ta(15 nm)/Co(7 nm)/Pt(1.35 nm)/IrMn(15 nm)/Ta(15 nm)

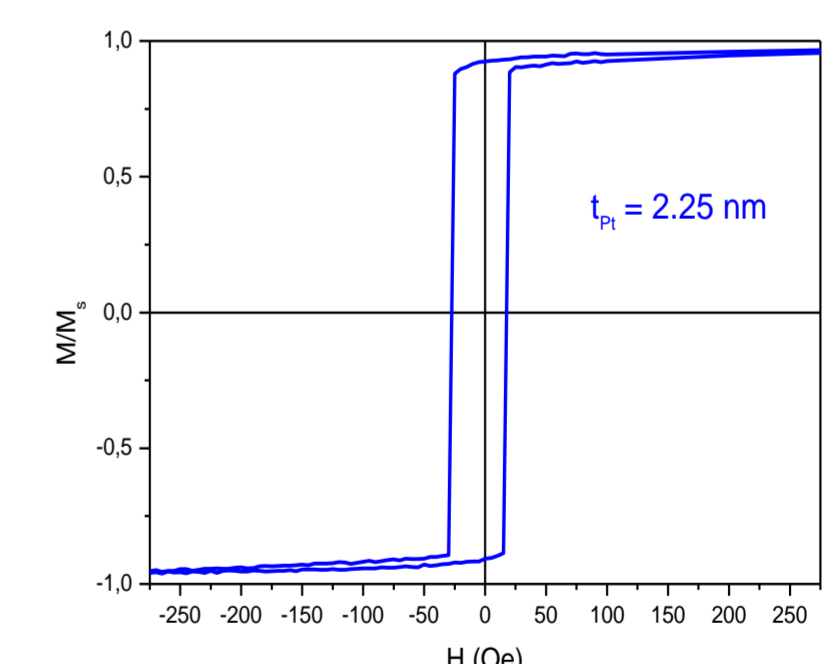


Figura 9. Si//Ta(15 nm)/Co(7 nm)/Pt(2.25 nm)/IrMn(15 nm)/Ta(15 nm)

CONCLUSÃO

As amostras produzidas são de ótima qualidade e apresentaram os efeitos de *Exchange Bias* sem necessidade de nenhum tratamento posterior, como esperado em amostras de qualidade. Nos difratogramas de raios-x foi possível verificar que a textura (111) do Ta induziu a textura (111) do Co, o qual facilitou a textura (111) da bicamada Pt/IrMn, que é essencial para um bom acoplamento na interface. Nas medidas de magnetização podem ser observados os campos de *Exchange Bias* e coercivos onde, claramente, os valores de H_{EB} e H_C diminuíram com o aumento da espessura do material não magnético. Não foi possível observar a maximização do EB em função da espessura de Pt, conforme [5], provavelmente pela espessura de maximização ser menor do que as produzidas.

REFERÊNCIAS

- [1] W. H. Meiklejohn, C. P. Bean, *Phys. Rev.* 102, 1413 (1956); 105, 904 (1957).
- [2] Nogués, J., & Schuller, I. K. (1999). Exchange bias. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 192(2), 203-232.
- [3] A. M. H. de Andrade, M. A. Corrêa, A. D. C. Viegas, F. Bohn, and R. L. Sommer, *Journal of Applied Physics* 115, 103908 (2014).
- [4] J. N. Rigue, F. Beck, A. M. H. de Andrade, P. R. Kern, J. V. Siqueira, and M. Carara, *Exchange Bias in Bilayer and Multilayer NiFe/IrMn*, *IEEE Magnetics Letters* 6 (2015).
- [5] Sort, J., Garcia, F., Rodmacq, B., Auffret, S., & Dieny, B. (2004). Enhancement of exchange bias through a non-magnetic spacer. *Journal of magnetism and magnetic materials*, 272, 355-356.

AGRADECIMENTOS

