

ANISOTROPIA MAGNÉTICA PERPENDICULAR EM FILMES ULTRAFINOS DE COBALTO SOBRE SUBSTRATOS DE OURO

GABRIEL TRINDADE DOS SANTOS¹; ANDRÉ GÜNDEL²

¹*Universidade Federal do Pampa – gabrieltrindadegts@gmail.com*

²*Universidade Federal do Pampa – gundel@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

A utilização da memória magnética é uma das tecnologias de armazenamento de dados mais utilizadas em *datacenters*, a cada ano surge a necessidade de aumento na capacidade de armazenar dados. A magnetização perpendicular de filmes ultrafinos (< 10nm) já é uma realidade comercial, mas, porém a exigência de cada vez mais espaço de armazenagem e menores áreas de leitura, incentiva a realização de pesquisas de como aumentar a densidade de gravação de dados. Em materiais ferromagnéticos, a magnetização espontânea M possui direções preferenciais nas quais ela prefere ficar orientada, que podem estar relacionadas com o eixo do cristal, com a forma geométrica, com a superfície, com tensões mecânicas ou ainda com outros fatores. Isso é o que se chama de anisotropia magnética (GÜNDEL, 2002). O objetivo desse trabalho é realizar o estudo anisotropia magnética perpendicular (PMA) *in-situ* de filmes ultrafinos com espessuras inferiores a 5 monocamadas atômicas (ML) de Cobalto (Co). Os filmes são eletrodepositados em substrato de Ouro (Au) com orientação (111), obtidos a partir de CDs (*compact discs*) comerciais especiais. Para realização deste estudo, foi construído um Magnetômetro Óptico a Efeito Kerr Polar (PMOK-Polar Magnetic Optical Kerr Effect), adaptável para medidas *in-situ* por eletrodeposição, que permite a realização de depósitos de materiais magnéticos e simultaneamente (em tempo real) a caracterização magnética do material depositado. O princípio do PMOK está baseado na rotação do eixo de polarização de um feixe laser quando refletido sobre a superfície magnetizada de uma amostra, através de efeito Kerr. Esta rotação, proporcional a magnetização da superfície, é captada por um fotodetector em função do campo magnético externo aplicado perpendicularmente na amostra produzido por bobinas de Helmholtz.

As amostras de Co foram obtidas pela técnica de eletrodeposição potencióstática a três eletrodos (eletrodo de referência- RE, contra eletrodo-CE e eletrodo de trabalho-WE), essa técnica é considerada mais econômica quando comparada com técnicas a vácuo. São apresentados resultados da magnetização perpendicular *in-situ* de Co/Au(111) e comparadas com resultados de magnetização paralela do mesmo material. Também são apresentados dados da espessura em função do tempo de deposição obtidos através da caracterização eletroquímica.

2. METODOLOGIA

Uma célula eletroquímica de dimensões reduzidas foi utilizada para realizar as medidas *in-situ*. A mesma foi posicionada no centro de uma bobina de Helmholtz do sistema MOKE de forma que a superfície do substrato fique perpendicular ao campo magnético aplicado pela bobina. A montagem do sistema eletroquímico é composto por um fio de prata usado como eletrodo de referência

(RE), um fio de platina como contra eletrodo (CE) e como eletrodo de trabalho (WE), foi usado substratos de Au(111) obtidos a partir de CDs comerciais especiais. Para a deposição dos filmes de cobalto, os eletrodos ficam imersos em uma solução eletrolítica, composta por: $\text{CoSO}_4 \ 10^{-3} \text{ M}$ $\text{K}_2\text{SO}_4 \ 10^{-2} \text{ M}$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \ 10^{-3} \text{ M}$, $\text{KCl} \ 10^{-4} \text{ M}$ e água MilliQ. Os depósitos foram realizados a temperatura ambiente. Os eletrodos são conectados a um potenciómetro AUTOLAB 302N e o controle e aquisição de dados é realizado via software NOVA 1.9. Para o controle e aquisição de dados do PMOKE, rotinas foram desenvolvidas na plataforma HPVee.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização eletroquímica dos filmes de Co/Au(111) foi realizada por voltametria cíclica, a partir da qual foi determinado o melhor potencial de deposição do metal (aproximadamente -1,2 V/Ag). A taxa de varredura adotada foi de 50 mV/s. As espessuras dos filmes depositados são obtidas a partir da integração dos picos anódicos dos voltamogramas, que representam a carga depositada durante o processo, e posteriormente convertida em espessura através da lei de Faraday. A área da amostra utilizada para os experimentos é de aproximadamente $0,22 \text{ cm}^2$.

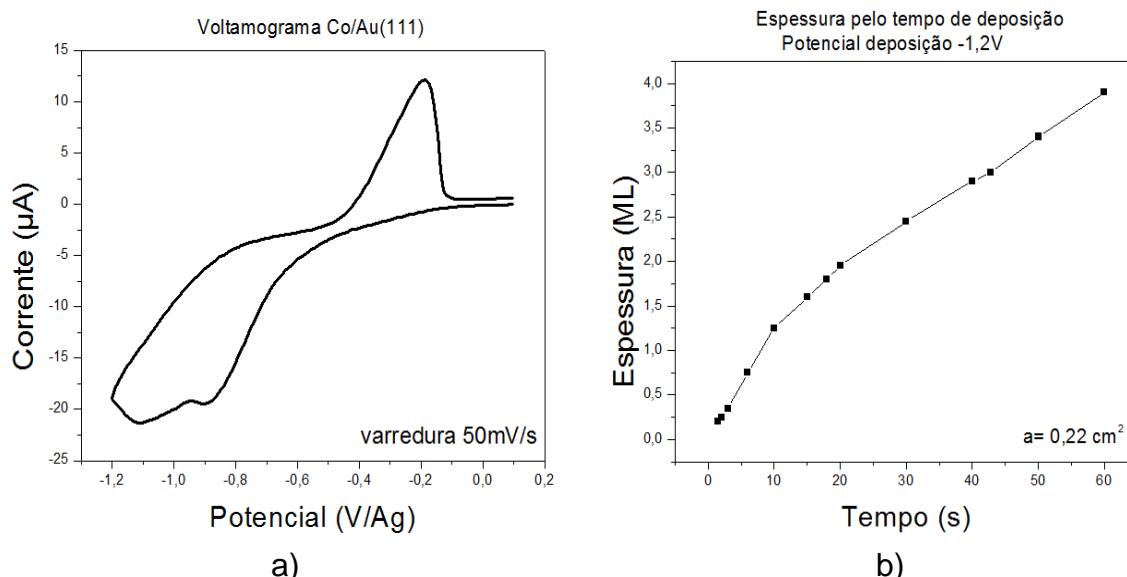


Figura 1: a) Voltamograma *in-situ* de Co/Au(111) e em b) Gráfico da espessura em monocamadas em função do tempo de deposição.

No gráfico a) da figura 1, temos o voltamograma para a deposição de Cobalto realizado *in-situ*, usado para determinar o potencial que permite ter a melhor taxa de deposição do material e a partir da integração do pico anódico (positivo) é determinada a espessura depositada no substrato. Já o gráfico (b) da figura 1 apresenta o aumento da espessura pelo tempo de deposição. Esse gráfico mostra uma taxa de crescimento maior no inicio da deposição (até aproximadamente 10s) e posterior redução da taxa, estando de acordo com a literatura (GÜNDL,2002). O resultado foi obtido para ambas as configurações de medida (paralela e perpendicular).

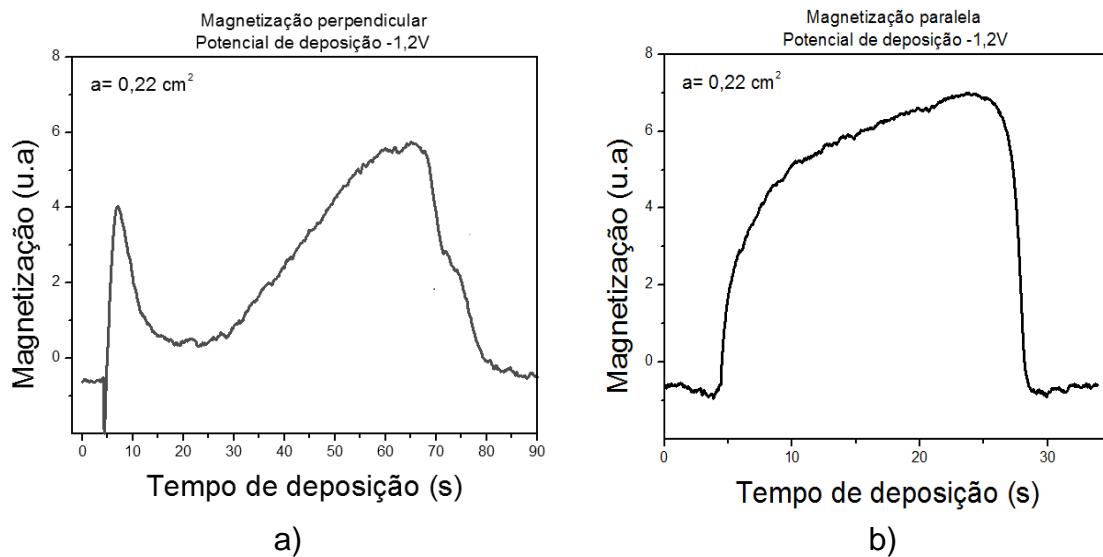


Figura 2: a) Gráfico de $M \times t$ perpendicular de Co/Au(111) e em b) Gráfico de $M \times t$ paralelo de Co/Au(111).

Os gráficos da figura 2 revelam a diferença entre o sinal da magnetização perpendicular (a) e paralela (b) das amostras. Na análise perpendicular é observado uma maior magnetização no início da deposição, onde a espessura é baixa (ver figura 2a) devido ao pouco material magnético depositado. Ao decorrer o tempo de deposição, temos o aumento da espessura e um decaimento do sinal magnético, devido às camadas que passam a ser depositada com os momentos magnéticos no sentido paralelo à superfície.

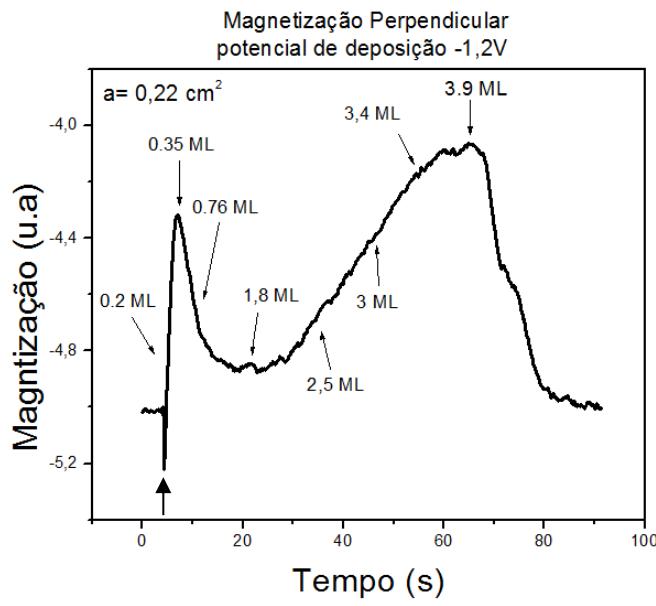


Figura 3: a) Gráfico de $M \times t$ com indicação das espessuras.

O gráfico da figura 3 mostra o inicio da deposição de cobalto em aproximadamente 5s (indicado pela flecha). Após 3s de deposição, é possível visualizar o pico de magnetização perpendicular do experimento, onde a espessura é de aproximadamente 0,35 ML.

4. CONCLUSÕES

O sistema MOKE polar *in-situ* mostrou resultados satisfatórios mediante a dificuldade de realizar medidas em filmes de espessuras muito baixas. Os resultados alcançados são comparados com as medidas obtidas em Magnetômetro de Campo de Gradiente Alternado (AGFM) e mostram bastante semelhante entre as curvas obtidas. Como perspectivas futuras, uma camada de cobre será depositada para proteção dos filmes contra oxidação, possibilitando estudos *ex-situ*. Análises de M x t perpendicular e histereses com variações no campo magnético aplicado e variando potenciais de deposição também serão realizadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GÜNDEL, A. **Estudos das propriedades magnéticas e estruturais de filmes ultrafinos de Fe,Co e Ni/Au(111) produzidos por eletrodeposição.** 2002. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Física, UFRGS.

GÜNDEL, A.; CAGNON, L.; GOMES, C. I.; MORRONE, A.; SCHMIDT, J.E.; ALLONGUE, P . In-situ magnetic measurements of electrodeposited ultrathin Co, Ni and Fe/Au(111) layers. PCCP. **Physical Chemistry Chemical Physics**, London, v. 3, n.16, p. 3330-3335, 2001.

SAVIDAND, G. **Effets d'interfaces sur le retournement de l'aimantation de couches ultra-minces électrodéposées de Co sur Au(111).Etude par MOKE et STM in situ.** 2007. Tese de Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais, L'école Polytechnique.

GESHEV, J.; GÜNDEL, A.; ZAHARIEVA, I.; SCHMIDT, J.E. Edge atoms effects on the perpendicular anisotropy of ultrathin magnetic layers. **Applied Physics letters.** 101, 132407, 2012.