

Efeito de Kerr magneto-óptico

Mariana Gomes (up201402744)

29 de Novembro de 2017

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 4169-007 Porto, Portugal

Resumo

Os objectivos deste trabalho foram medir os ciclos histeréticos magnéticos utilizando a técnica do efeito de Kerr magneto-óptico (MOKE) e a determinação da dependência angular do campo coercivo da amostra. Foram medidos os ciclos histeréticos de um filme fino de *CoFeB*, depositado num substrato de vidro, em função do ângulo do campo magnético aplicado. Concluiu-se que *CoFeB* é um material com características ferromagnéticas e o vidro com características paramagnéticas, tendo este último um declive positivo $m \approx 0,00315$. Verificou-se que o campo coercivo varia sinusoidalmente com ângulo θ .

Introdução

A magnetometria do efeito de Kerr magneto-óptico (MOKE) é uma técnica usada para o estudo e caracterização da reversão da magnetização em filmes finos, sanduiches e de elementos magnéticos padronizados. Esta técnica é não evasiva, não destrutiva e eficiente.

O efeito de Kerr magneto-óptico pode ser visto como a mudança da intensidade e da polarização da luz refletida num material magnetizado. O tipo de efeito de Kerr depende da orientação da magnetização em relação aos planos incidentes e aos planos da amostra:

- Longitudinal (LMOKE)- a magnetização (M) é paralela à superfície de reflexão e ao plano de incidência
- Polar (PMOKE)- a magnetização é perpendicular à superfície de reflexão e paralela ao plano de incidência
- Transversal (TMOKE)-a magnetização é paralela à superfície de reflexão e perpendicular ao plano de incidência

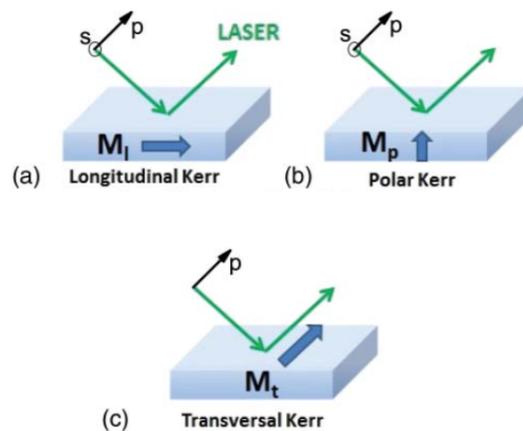


Figura 1: Geometrias do efeito de Kerr: (a)Longitudinal , (b)Polar, (c)Transversal

O LMOKE manifesta-se como a rotação do plano de polarização da luz incidente e a mudança de fase, ou seja, transforma um feixe de luz linearmente polarizado num feixe polarizado elipticamente.

Dependendo das características magnéticas de um material, o seu ciclo histerético de magnetização pode ser :

- Diamagnéticos- uma reta com declive negativo (representado a preto)

- Paramagnéticos- uma reta com declive positivo (representado a azul)
- Ferromagnéticos- um ciclo com uma área diferente de zero (representado a vermelho)
- Superparamagnéticos- um ciclo com uma área próxima de zero (representado a verde)

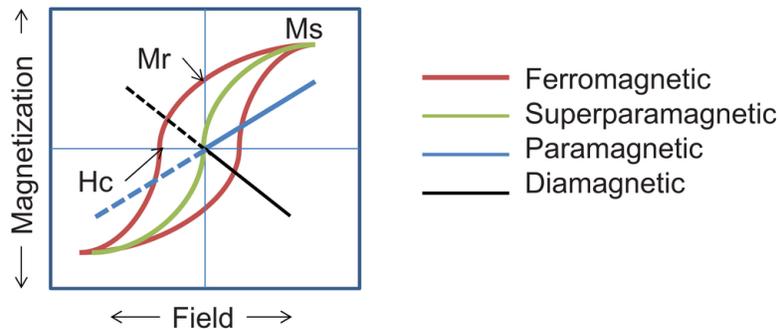


Figura 2: Ciclos de histerese consoante as características magnéticas do material

Co e *Fe* são elementos ferromagnéticos e *B* é um elemento diamagnético. Considera-se *CoFeB* um material ferromagnético, porque quando um material possui características ferromagnéticas ou paramagnéticas, o diamagnetismo nele presente é desprezável.

Método experimental

Montagem experimental

A montagem utilizada permite medir simultaneamente as componentes longitudinal e transversa da magnetização, no entanto só foram feitas medições para a componente longitudinal.

Como demonstrado na figura 3, no nosso setup do MOKE o laser produz um feixe de luz vermelho que passa por entre as bobinas, é refletido na amostra, passa por uma lâmina $\frac{\lambda}{2}$ e, através de um prisma, é dividido em dois feixes que incidem nos díodos A e B. Um gerador de sinal triangular alimenta uma fonte bipolar e simultaneamente gera um sinal (trigger) de frequência $1Hz$ e amplitude $20V$ que é ligado a um dos canais do osciloscópio. A fonte bipolar alimenta as bobinas, e devido ao sinal triangular introduzido pelo o gerador, provoca uma variação no campo magnético produzido pelas bobinas.

Um programa de LabView é responsável pela aquisição e parte da análise dos dados.

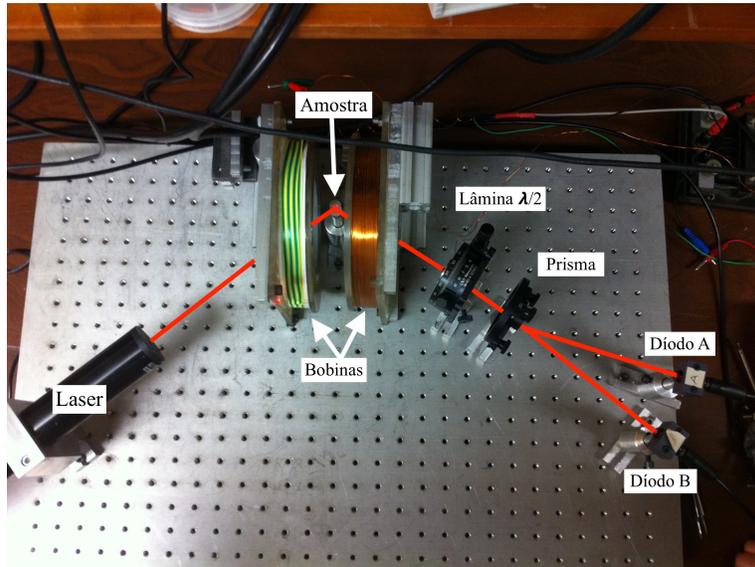


Figura 3: Montagem experimental de um MOKE

A amostra utilizada foi um filme fino de $CoFeB$, depositado num substrato de vidro, e foi colada a suporte que se encontra no meio das bobinas.

As bobinas usadas têm um raio $R = (5,85 \pm 0,05) \text{ cm}$. Como foram colocadas o mais próximo possível da amostra (a uma distância $< 5,85 \text{ cm}$), de forma a garantir que o campo magnético por elas criado era o mais uniforme possível, não podem ser consideradas bobinas de Helmholtz.

A utilização de uma lâmina $\frac{\lambda}{2}$ teve como objectivo maximizar a sensibilidade da montagem. Rodou-se o eixo óptico desta lâmina para um ângulo que garantiu que os sinais incidiam nos dois detectores de modo a que o sinal $A - B$ fosse o mais próximo de zero possível.

1. Depois de toda a montagem do circuito efetuada, rodou-se θ a amostra e através do programa de LabView obteve-se os valores de magnetização (M) e campo magnético aplicado (H). A amostra foi rodada de $\theta = 45^\circ$ até $\theta = 180^\circ$, com um incremento de $22,5^\circ$. Como o suporte da amostra não tinha escala, num pedaço de papel desenhou-se um referencial que serviu como guia para rodar θ a amostra. Na figura seguinte está definido o que se considerou $\theta = 0^\circ$ e a orientação de θ .

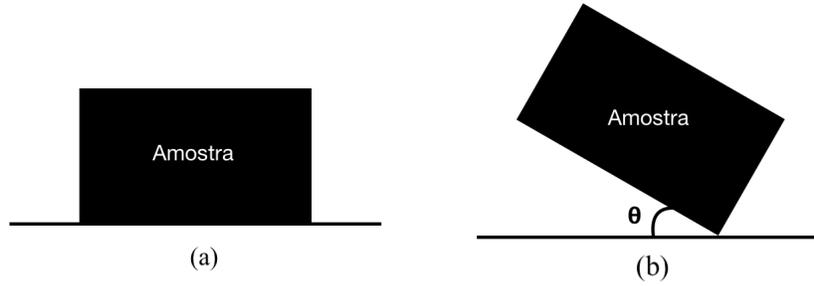


Figura 4: (a) amostra para $\theta = 0^\circ$ (b) rodou-se a amostra segundo o ângulo θ

2. Com os dados adquiridos e utilizando o Origin, construíu-se os ciclos de histerese, ou seja, a magnetização em função do campo magnético, para cada θ . É importante notar que todos os ciclos histeréticos tinham com um declive principalmente notório na zona da saturação, algo que não seria esperado, porque *CoFeB* é um material ferromagnético. Para cada um dos gráficos retirou-se este declive (ver Anexos) e obteve-se os seguintes ciclos:

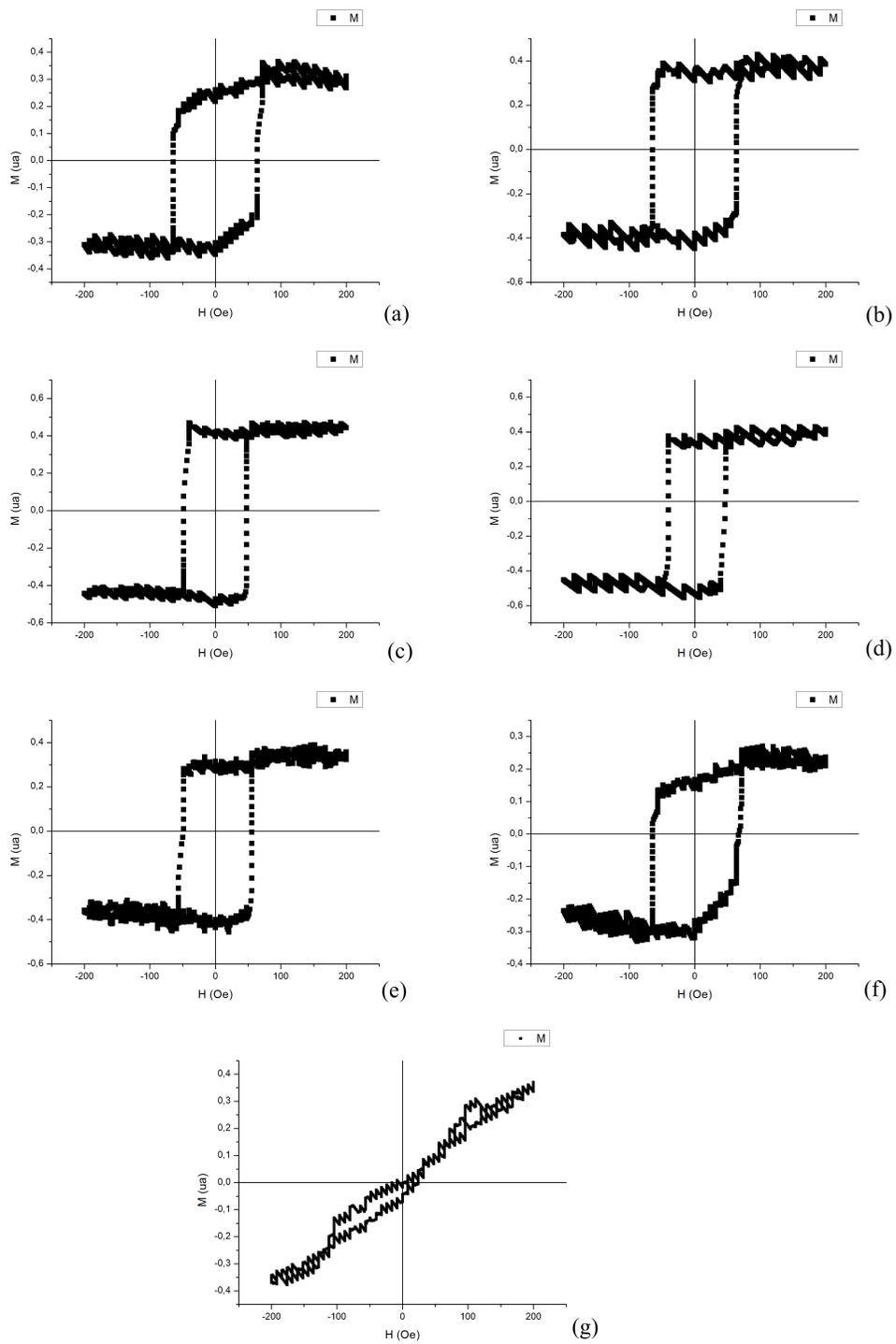


Figura 5: Ciclos histeréticos para θ igual a: (a) 45° ; (b) $67,5^\circ$; (c) 90° ; (d) $112,5^\circ$; (e) 135° ; (f) $157,5^\circ$; (g) 180°

3. A partir dos ciclos de histerese da figura 5, retirou-se o valor do campo coercivo H_c , isto é, o valor do campo magnético para o qual M é nulo e construiu-se os seguintes gráficos.

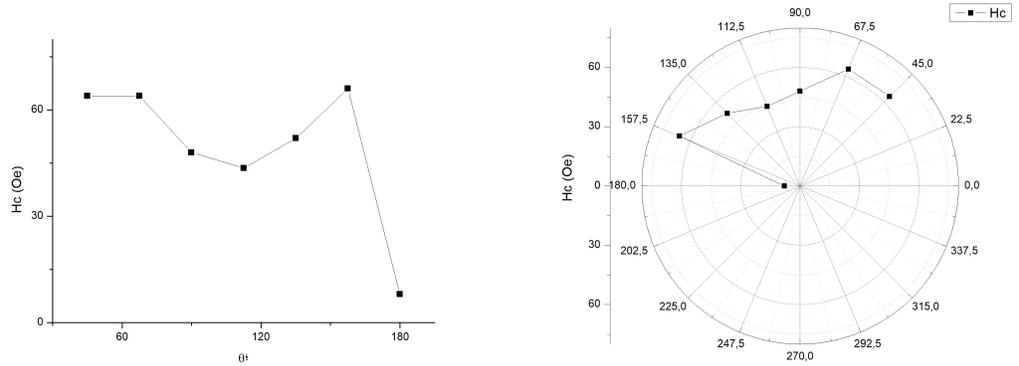


Figura 6: Gráfico e gráfico polar do campo magnético coercivo, H_c , em função de θ

Notar que θ variou de 45° até 180° , por isso não temos uma informação completa sobre o comportamento do campo para uma gama de $0^\circ - 360^\circ$. No entanto é visível uma dependência sinusoidal do H_c com θ .

Conclusão

- A razão pela qual todos os ciclos de histerese apresentavam um declive (ver Anexo) deve-se à contribuição do substrato de vidro que têm propriedades paramagnéticas, ou seja, a sua magnetização apresenta um declive positivo $m \approx 0,00315$. Isto deve-se ao facto de o filme de *CoFeB* ser muito fino e o laser ter uma grande capacidade de penetração, chegando ao substrato de vidro no qual o filme estava depositado.
- A partir do comportamento dos ciclos de histerese que apresentam um ciclo com área não nula e atingem uma zona de saturação constante, confirmou-se o comportamento ferromagnético do *CoFeB*.
- Para 180° , obteve-se um campo coercivo estimado $H_c = 8Oe$, sendo que o valor esperado seria $H_c = 0Oe$. No entanto dado a grandes flutuações verificadas no gráfico (g) da figura 6 este valor pode ser considerado uma boa aproximação.
- Verificou-se que para $\theta = 180^\circ$ existe um eixo de magnetização difícil, ou seja, um eixo para o qual o ciclo se torna quase uma recta, e para um $\theta = 90^\circ$ existe um eixo de magnetização fácil, eixo para o qual o ciclo de histerese torna-se um retângulo quase perfeito.

- Verificou-se que o campo coercivo da amostra H_c têm dependência sinusoidal do ângulo θ .

Referências

- [1] J. M. Teixeira, R. Lusche, J. Ventura, R. Fermento, F. Carpinteiro, J. P. Araujo, J. B. Sousa, S. Cardoso, P. P. Freitas. Versatile, high sensitivity, and automatized angular dependent vectorial Kerr magnetometer for the analysis of nanostructured materials. Review of Scientific Instruments 82, 043902 (2011)

Anexos

Para achar o declive do ciclo de histerese fez uma linearização das duas zonas de saturação do gráfico, como explicado na figura seguinte

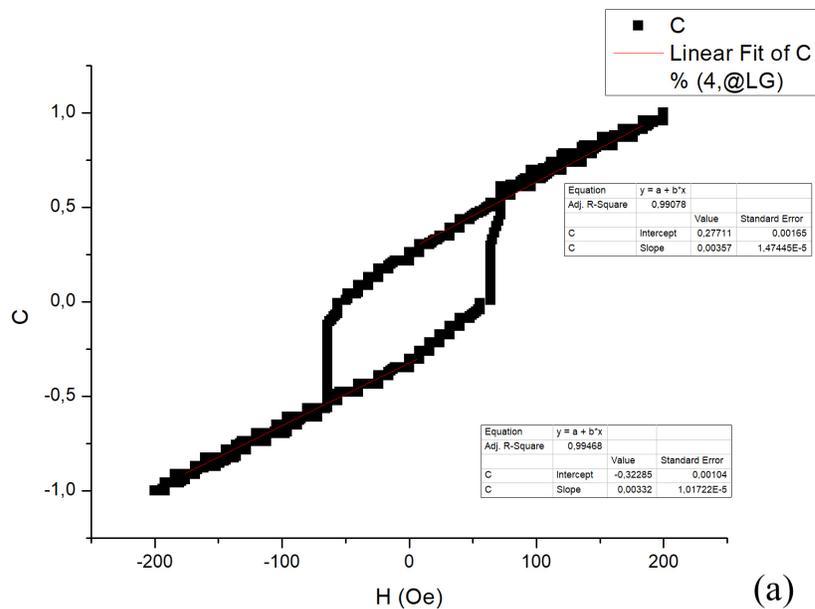


Figura 7: Ciclo histerético para $\theta=45^\circ$, com o declive

Determinou-se o declive fazendo a média dos declive destas duas zonas de saturação, excepto no gráfico para $\theta = 180^\circ$ que se retirou o declive com apenas uma linearização.

θ	Média dos declives
45°	0,003445
67,5°	0,00308
90°	0,0027845
112,5°	0,002735
135°	0,003035
157,5°	0,00382
180°	0,00519

Tabela 1: Declives para cada θ

Notar que os valores são muito próximos, tirando para $\theta = 180^\circ$ devido a apenas ter sido feita uma linearização para o ciclo todo. Neste caso, em vez de se utilizar o valor da linearização, fez-se uma média de todos os declives outros θ' s e obteve-se um declive $m = 0,00315$.

Para se retirar esta inclinação dos ciclos de histerese causada pelo vidro (ver Conclusão) fez-se o seguinte

$$Col(M_{s/declive}) = Col(M_{c/declive}) - declive \times Col(H) \quad (1)$$

Ou seja, à coluna dos dados da magnetização subtraiu-se o valor do declive multiplicado à coluna dos dados do campo magnético. Desta forma os ciclos apresentam um comportamento típico de um material ferromagnético, como era esperado.