

Caracterização magnética em altas frequências de sistemas nanoestruturados

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

Com o objetivo de se obter a permeabilidade magnética complexa de filmes finos em altas frequências, na ordem de Gigahertz, neste trabalho foi fabricada uma linha de transmissão do tipo *microstrip* e foi desenvolvido um programa na plataforma Maple para tratamento matemático dos dados através de um modelo físico que relaciona a variação dos parâmetros de reflexão da linha de transmissão com a variação na permeabilidade magnética do filme fino.

INTRODUÇÃO

A permeabilidade magnética de um material representa como o material se comporta frente a aplicação de um campo magnético externo (H) e, a partir dessa informação, podemos retirar outras informações associadas como, por exemplo, a magnetoimpedância gigante (GMR) [1], ou seja, a variação da impedância do material pela aplicação de um campo magnético externo. Analisando a dependência da GMR com o campo H e a frequência aplicada, podemos inferir mais informações como, por exemplo, a ressonância ferromagnética (FMR) do material, ou seja, quando a frequência aplicada é igual a frequência natural de precessão dos momentos magnéticos do material em torno de H. É identificada quando a parte real da impedância tem seu valor máximo enquanto a impedância imaginária corta o eixo x. Com o avanço da tecnologia, demandamos de transmissão de informação cada vez mais rápidas e maiores alcances de energia, logo torna-se fundamental entender o funcionamento de materiais em altas frequências, na ordem de Gigahertz. Visando obter a impedância de filmes finos em altas frequências, construímos uma linha de transmissão do tipo *microstrip* e medimos o coeficiente de reflexão da linha quando uma corrente é aplicada na linha com a amostra para então, após um tratamento matemático, se obter a variação da impedância da amostra e, assim, determinar as frequências de ressonância ferromagnéticas para cada campo aplicado.

OBJETIVOS

Implementar técnica alternativa no laboratório de magnetismo da UFRGS (LAM) para a caracterização magnética de filmes finos em frequências na ordem de Gigahertz e usar a técnica para determinar as frequências de ressonância de filmes finos de multicamadas de Ag/NiFe sobre vidro para 15, 50 e 100 camadas.

METODOLOGIA

Foi construída uma linha de transmissão do tipo *microstrip* para determinar a permeabilidade magnética de filmes finos a partir da medida do coeficiente de reflexão (S_{11}), a razão entre o sinal refletido e o enviado, de uma linha de transmissão (figura 1) do tipo *microstrip* em função do campo magnético (H) e da frequência (f) [2]. As medidas são feitas em três situações da linha de transmissão: 1) vazia; 2) apenas com o substrato; 3) com o filme depositado sobre o substrato. As situações 1 e 2 da linha de transmissão são realizadas para eliminar erros dependentes de frequência e perdas devido à condução e ao meio dielétrico. Após calcular as permissividades nas situações 1 e 2 através das relações em [2], calculamos a permeabilidade magnética do filme através da seguinte relação:

$$\mu_{ef} = \left(\frac{ic_0 \ln(-S_{11}^{filme})}{2\omega l_{amostra} \sqrt{\epsilon_{ef}^{sub}}} - \frac{\sqrt{\epsilon_{ef}^{vazio}} l_{vazio}}{\sqrt{\epsilon_{ef}^{sub}} l_{amostra}} \right)^2 ; \text{ Onde } S_{11}^{filme} \text{ é o coeficiente de reflexão com o filme sobre a linha ; } \omega = 2\pi f ; \epsilon_{ef}^{vazio} \text{ e } \epsilon_{ef}^{sub} \text{ são a permissividade elétrica com a linha vazia e com apenas o substrato, respectivamente ;}$$

c_0 a velocidade da luz no vácuo; $i = \sqrt{-1}$; l_{vazio} comprimento da linha onde não há amostra; $l_{amostra}$ comprimento da amostra e μ_{ef} a permeabilidade magnética do filme. Antes de realizarmos as medidas, utilizamos uma unidade de calibração para corrigir os erros até a extremidade do cabo coaxial que se conecta com a *microstrip*. A *microstrip* foi construída de cobre com espessura de 0.5 mm e encontra-se na figura 2.

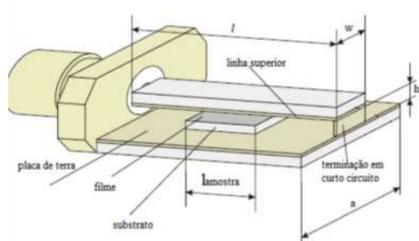


Figura 1. Desenho esquemático da linha de transmissão do tipo *microstrip* com as seguintes dimensões indicadas: $l = 6.5 \text{ mm}$, $w = 3.7 \text{ mm}$, $a = 4 \text{ mm}$, $h = 0.5 \text{ mm}$.



Figura 2. Foto da linha de transmissão construída.

No sistema geral, utilizamos, para gerar o sinal, um analisador de rede vetorial (Rohde & Schwarz) de 10 MHz a 8 GHz; Duas fontes de alimentação KEPCO para alimentar as bobinas de Helmholtz de -300 Oe até 300 Oe; um amplificador lock-in SR 810 para controlar as fontes e programação VEE para controle dos componentes e aquisição dos dados.

Na figura 3 podemos observar um esquema do sistema utilizado:

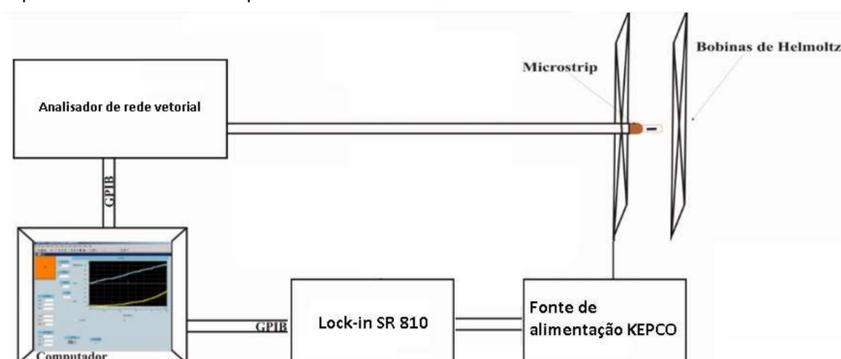


Figura 3. Esquema completo do sistema de medidas de permeabilidade em altas frequências.

Após calcular a permeabilidade complexa, obtemos a impedância de superfície do filme magnético através da seguinte relação:

$$Z_{filme/fito} = R_{dc} k \frac{a}{2} \cot(k \frac{a}{2}) ; \quad k = \frac{(1-i)}{\delta} ; \quad \delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}}$$

Onde Z_{filme} = impedância de superfície do filme; k = constante de propagação; δ = profundidade de penetração; ρ = resistividade do filme magnético; μ = permeabilidade magnética transversal e R_{dc} = resistência DC do filme; f = Frequência AC do estímulo de corrente e a = espessura do filme.

A análise da dependência da impedância com o campo e a frequência revelou as frequências de ressonância ferromagnética para multicamadas de Ag/NiFe depositadas sobre vidro para $x = 15$, 50 e 100 camadas. Na figura 4 temos o desenho esquemático das amostras analisadas.

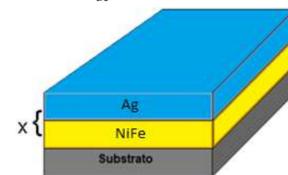


Figura 4. Desenho esquemático das multicamadas de Ag/NiFe para $x = 15$, 50 e 100.100.

RESULTADOS

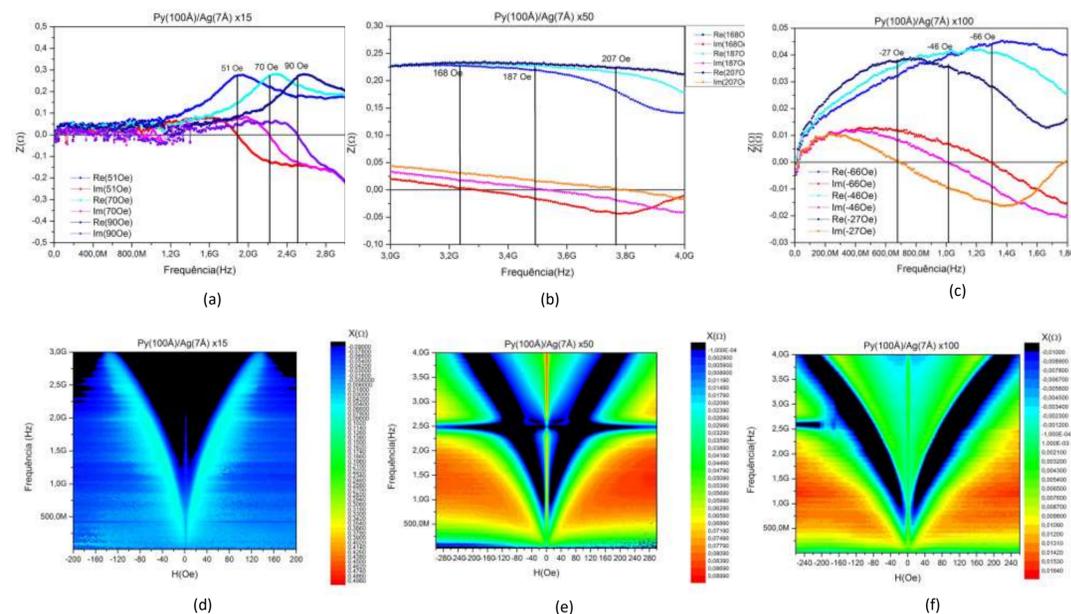


Figura 5. (a), (b) e (c) medidas da impedância complexa e (d), (e) e (f) mapa de cores para a componente imaginária da impedância para as amostras de NiFe/Ag de 15, 50 e 100 camadas. Campo (H) aplicado ao longo do eixo fácil.

Nas figuras 5 (a), (b) e (c) temos, para campos diferentes, o máximo da parte real coincidindo com a passagem da parte imaginária pelo zero, caracterizando, assim, a ressonância ferromagnética. Temos o aumento das frequências de ressonância com o aumento do campo externo (H), como esperado. Nas figuras (d),(e) e (f) temos o padrão em V para a contribuição imaginária e, indicada pela cor preta, a passagem da componente pelo zero. A evolução acompanha a tendência observada em (a),(b) e (c). Logo temos as ressonâncias nas condições e evolução esperadas.

CONCLUSÃO

Após o tratamento matemático, obtemos as condições específicas que indicam a ressonância ferromagnética das amostras de NiFe/Ag e a evolução esperada, assim indicando que o método alternativo da modelagem da variação dos parâmetros da linha de transmissão para caracterização magnética em altas frequências atende aos objetivos iniciais. Mais testes serão feitos em outros tipos de amostras e propriedades derivadas da permeabilidade magnética serão medidas e testadas para definir os limites e a eficácia deste método perante outros métodos.

REFERÊNCIAS

- [1] MACHADO, F.; MARTINS, C.; REZENDE, S.. Giant magnetoimpedance in the ferromagnetic alloy $\text{Co}_{75-x}\text{Fe}_x\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$. Physical Review B, Pernambuco, v. 51, n. 6, p. 3926-3929, fev. 1995.
- [2] A new strip line broad-band measurement evolution for determining the complex permeability of thin ferromagnetic films, Journal of magnetism and magnetic materials, August 2003.

AGRADECIMENTOS

A toda equipe do laboratório de magnetismo da UFRGS (LAM) pela oportunidade de desenvolver um trabalho de iniciação científica junto a grandes referências na área e por toda a disposição de todos os membros para o desenvolvimento deste trabalho. A UFRGS e ao CNPq pelo patrocínio econômico e intelectual.