



Análise de imagens de MFM para o estudo de campos de inversão

Palavras-chave: Magnetic Force Microscopy, Campos de inversão , Gelos de Spins Artificiais Kagome.

Autores:

Lucas Gomes Soares - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Breno Malvezzi Cecchi - Universidade Estadual de Campinas(UNICAMP)

Nathan Cruz - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Prof. Dr. Kleber Roberto Pirota (orientador) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

1 Introdução

Gelos de spin se tratam de imãs frustrados cujos spins obedecem as regras do gelo[1]. Os gelos de spin que estudamos são conhecidos como gelos de spin artificiais kagome (GSKA): redes de nanoímãs que seguem a geometria conhecida como kagome, e que são artificiais, isto é, metamateriais que se comportam tais quais gelos de spin[2].

Aqui, analisamos as imagens geradas por magnetic force microscope (MFM) a fim de observar para quais campos aplicados sobre uma amostra de GSKA ocorria a inversão da magnetização das ilhas magnéticas. Tal estudo visava a comparação com resultados obtidos previamente, através de magneto-optical Kerr effect (MOKE), onde mensuramos a distribuição espacial do campo de coercividade em nossa amostra.

2 Metodologia

MFM é uma técnica de microscopia usada para investigar as propriedades magnéticas de materiais em escalas nanométricas ou micrométricas. Esta técnica, que surge como uma variação da scanning tunneling microscope (STM), resulta da interação entre uma ponta revestida por material magnético e uma amostra sujeita a um campo magnético externo. Tal interação pode ser medida opticamente [3].

MOKE utiliza-se de um fenômeno físico (o efeito Kerr) que envolve a interação entre a luz e um material magnético. Este método tem vantagem em relação a demais métodos quando se trata de determinar paredes de domínio, e como dito, baseia-se no efeito Kerr, onde após a reflexão em um espécime magnético, o plano de polarização é rotacionado[3].

Continuando o projeto iniciado no ano anterior, mencionamos ao final que trabalhávamos em um mapa de calor que quantificava a coercividade para dadas coordena-

nas ao longo de um plano. O gráfico em questão pode ser visto em 3.

A imagem foi obtida a partir de MOKE. Nela, observamos que a coercividade é aproximadamente homogênea no centro da amostra, e ligeiramente maior nas bordas armchair e zig-zag, conforme a escala de cores do gráfico.

Como conseguimos obter imagens geradas por MFM para duas orientações de campo em relação a amostra(ao longo da borda armchair, como em 1, e ao longo da borda zig-zag, como em 2) e obtivemos imagens para diferentes valores de campo aplicado. Isto tudo para um mesmo quadrante da amostra. Para tal quadrante, nós o dividimos em sub-regiões, a fim de comparar as inversões ocorridas em sua borda armchair, zigzag e meio, e depois as comparar com os resultados do MOKE, para se obter resultados a cerca de possíveis efeitos de borda. A mesma amostra

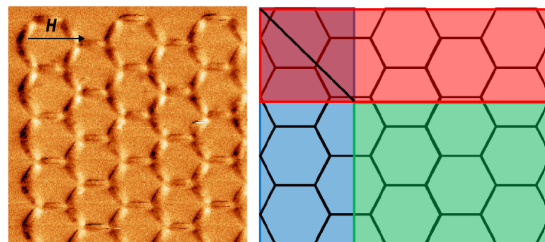


Figura 1: Em vermelho, a borda armchair; em azul, borda zigzag; em verde, o centro da amostra. Na imagem, o vetor \mathbf{H} indica o sentido de aplicação do campo magnético;

foi rotacionada 90 deg, a fim de termos a borda zigzag como borda superior, e consequentemente a armchair como borda lateral.

O estudo de tais campos de inversão, isto é, campos para os quais o spin de uma ilha inverte seu sentido, ajudaria na interpretação da coercividade da rede, afinal, basta pensarmos no que se trata coercividade: um campo magnético aplicado sobre uma rede para qual temos uma magnetização nula na rede. Este campo nulo nos indica que está prestes a ocorrer uma inversão no sentido da magnetização. Nós contamos então o número de inversões, ou

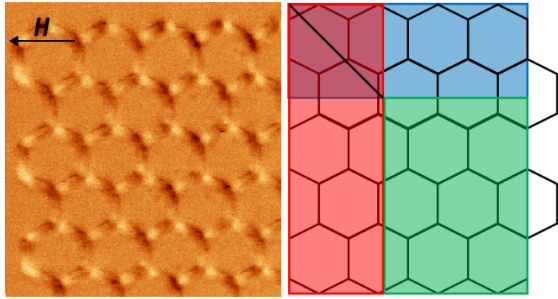


Figura 2: A mesma amostra, após uma rotação de 90 deg. Aqui, a borda vermelha (armchair) se torna borda lateral, e a azul (zigzag), se torna superior. Na imagem, o vetor \mathbf{H} indica o sentido de aplicação do campo magnético.

"flips", ocorridas em cada campo, e montamos histogramas com a quantidade de inversões a cada campo para cada borda e também para o centro da amostra (1 e 2).

3 Resultados e Discussão

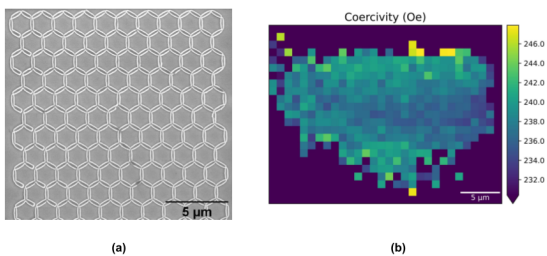


Figura 3: (a) Amostra produzida pelo nosso grupo, na qual se baseia a análise e (b) Mapa de calor da amostra, onde cada ponto no plano possui um dado valor de coercividade.

Seguem-se os histogramas obtidos, para a amostra orientada como em 1:

e para a amostra orientada como em 2:

Para a amostra com a orientação conforme 1, possuímos mais dados para mais valores de campo do que em comparação com 2. Comparando os diagramas com o gráfico da distribuição espacial da coercividade (3), notamos, observando o diagrama em 4, que representa uma rotação de 90 deg do gráfico de 3, que as bordas armchair e zig zag de fato invertem mais, para maiores valores de campo, que o cen-

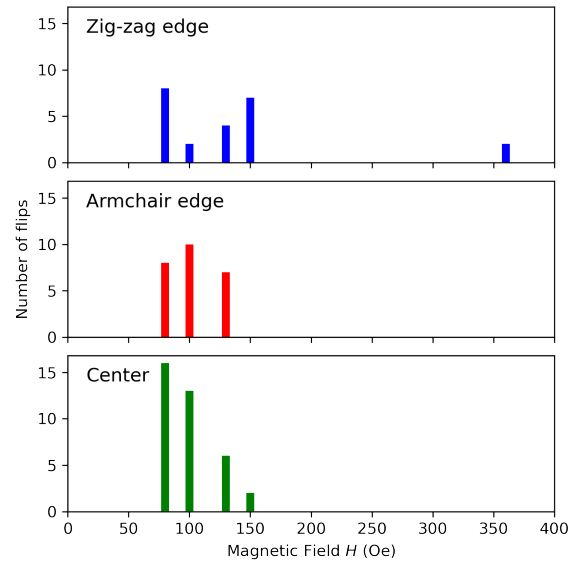


Figura 4: Histograma das inversões ocorridas, para determinados valores de campo, para a amostra orientada conforme a 1.

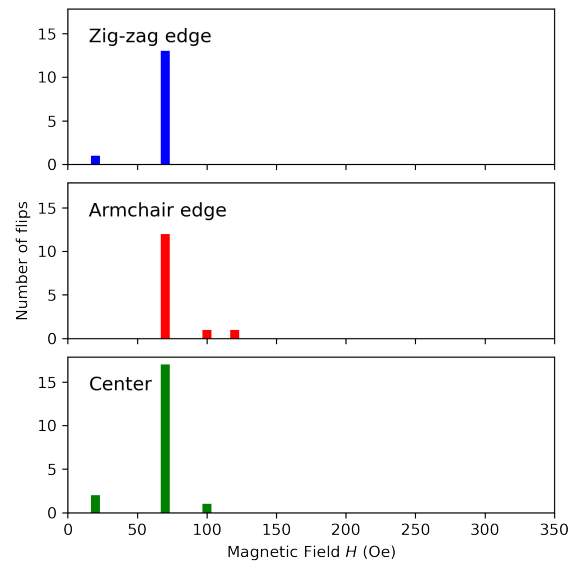


Figura 5: Histograma das inversões ocorridas, para determinados valores de campo, para a amostra orientada como na 2.

tro da amostra, cujo pico ocorre em 60 Oe. Porém, é importante observar que possuímos poucos valores foram obtidos, portantoos mais valores seriam necessários para determinar se a borda zig-zag se inverte para menores valores de campo, ou vice-versa.

Referências

- [1] S. T. Bramwell and M. J.P. Gingras. Spin ice state in frustrated magnetic pyrochlore materials. *Science*, 294(5546):1495–1501, nov 2001.
- [2] Cristiano Nisoli, Roderich Moessner, and Peter Schiffer. 85(4):1473–1490,

2013.

- [3] C.D. Graham B.D. Cullity. *Introduction to magnetic materials*. John Wiley Sons, IEEE Press, 2009.