



Estudo de gelo de spin artificial em materiais que apresentam frustração magnética

Gabriel H. M. de Aguiar*, Breno M. Cecchi, Murilo F. Velo, Kleber R. Pirota

Resumo

O intuito do trabalho foi estudar sistemas artificiais de spin, especificamente gelo de spin artificial, que apresentam frustração magnética. A frustração no sistema dá origem a fenômenos emergentes, como regra de minimização de energia (regra do gelo). Utilizando o processo de litografia por feixe de elétrons fabricamos as amostras em várias etapas de desenvolvimento. Por fim, considerando o efeito de proximidade, foi obtido uma amostra com sucesso. A partir de imagens de microscopia de força magnética, observamos o fenômeno de frustração nas amostras.

Palavras-chave:

nanomagnetismo, sistemas frustrados, gelo de spin artificial

Introdução

Sistemas artificiais de spin são arranjos nanométricos de ilhas magnéticas que se comportam como macrospins. A geometria favorece o fenômeno de frustração magnética, que é uma degenerescência dos estados de energia. Neste trabalho foi escolhido a geometria de kagomé, pois as interações magnéticas entre os vizinhos são equivalentes [1].

Estes sistemas são governados pela regra de gelo, a qual mantém o sistema em estado de minimização de energia [2]. Na estrutura kagomé o estado mínimo corresponde a dois spins entrando no vértice e um saindo, ou vice-versa.

Resultados e Discussão

As amostras foram feitas por processo de *lift-off*. O processo consiste em desenhar o padrão da estrutura em um substrato com *resist* por litografia e realizar a deposição do metal, e após a limpeza do *resist* o resultado é a estrutura metálica sobre o substrato. Devido as dimensões das ilhas foi necessário utilizar litografia por feixe de elétrons.

Para fabricar as amostras precisou considerar o efeito de proximidade. O efeito ocorre quando elétrons do feixe da litografia são refletidos no substrato e colidem novamente com o *resist*, o sensibilizando fora do padrão desenhado. Além disso, foi feito um reescalamento horizontal da dose (quantidade de carga por área) do feixe. O resultado é mostrado na figura 1.

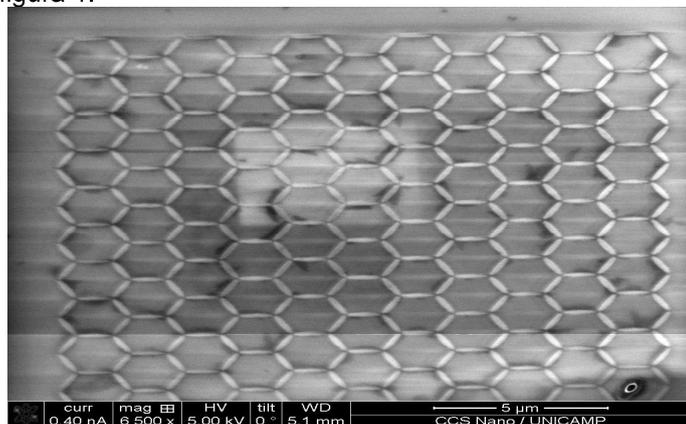


Figura 1: Amostra de estrutura kagomé 10x11 células. Imagem retirada no FIB.

Para verificar a validade da regra do gelo analisamos a amostra em um microscópio de força magnética (MFM). O microscópio mede a variação de campo magnético através de uma ponta que varre a amostra. Em geral, pontos escuros indicam um máximo do gradiente do campo, e pontos claros indicam um mínimo. A amostra foi saturada e a imagem da mensuração está na figura 2.

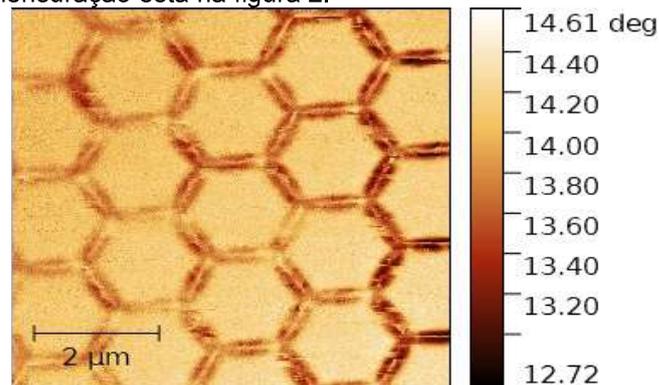


Figura 2: Medida de MFM na amostra 10x11. A escala da intensidade do gradiente está a direita.

É possível notar um padrão em todo vértice de dois pontos escuros e um claro, ou dois claros e um escuro. O padrão é interpretado como a regra de gelo, supondo um estado de minimização de energia da amostra. Porém é necessário medidas mais precisas para validar a regra e explicar as laterais escuras presentes em cada ilha.

Conclusão

No trabalho estudamos sistemas artificiais de spin que apresentam frustração magnética. Através de microfabricação foi feita uma amostra de estrutura kagomé 10x11, que foi possível a fabricação apenas quando considera o efeito de proximidade. Por análise de microscopia de força magnética interpretamos a regra de gelo no sistema em estado de saturação.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao CCSnano/Unicamp, CNPq e Fapesp pelo investimento.

1.L. J. Heyderman and R. L. Stamps, "Artificial ferroic systems: Novel functionality from structure, interactions and dynamics," *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 25, no. 36, pp. 1–29, 2013.

2.Qi, Y., Brintlinger, T. & Cumings, J. "Direct observation of the ice rule in an artificial kagome spin ice." *Phys. Rev. B* 77, 2008