

Edital PIBIC/CNPEM 2023

Interação e acoplamento entre fases ferroelétrica e ferromagnética em compostos multiferroicos caracterizados por difração de raios X e dicroísmo

Flávia Regina Estrada, Julio Criginski Cezar
Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

Introdução

Memórias não voláteis, sensores de posição ultra precisos, equipamentos de ultrassom de alta resolução são exemplos de dispositivos cujo desenvolvimento requer novos materiais com propriedades controladas e controláveis sobre os estímulos magnéticos, elétricos, térmicos e/ou mecânicos [1]. Sendo assim, o desenvolvimento de materiais ferroicos e multiferroicos é fundamental para a evolução desta área de engenharia e a física de materiais e cristalografia tem muito a contribuir.

De acordo com o dicionário internacional de cristalografia o termo *ferroic* descreve um material que apresenta o chaveamento de uma propriedade sob ação de um estímulo externo, quebrando alguma simetria [2]. Uma das características comuns aos estados ferroicos primários é a sua localização em regiões cristalinas chamada de domínios. Eles apresentam uma transição de fases de uma fase elementar de alta temperatura para outra de baixa temperatura, seguindo a relações de grupo-subgrupo. Além disso, o chaveamento desses domínios por um estímulo externo está associado a um ciclo histerese como os exemplos mostrados na Figura 1.

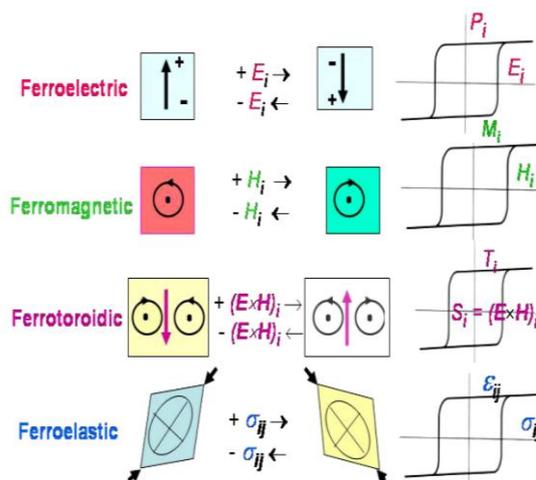


Figura 1: (a) Esquema ilustrativo dos ciclos de histereses apresentados pelos estados ferroicos de ferroeletricidade, ferromagnetismo, ferrotoroidicidade e ferroelasticidade. Referência: Schmid e colaboradores [2].

Entre os multiferroicos mais buscados, estão aqueles que apresente tanto ferroeletricidade e ferromagnetismo. Mais interessante ainda é poder acoplar esses

ordenamentos ferroicos de forma que se pode cruzar as propriedades por exemplo: ler uma magnetização a partir de um estímulo elétrico ou ler uma polarização elétrica gerada por um campo magnético. Este acoplamento recebe o nome de acoplamento magnetoelétrico.

Estado da arte

São raros os materiais monofásicos que acoplam mais de um ordenamento [3]. Sendo assim, o desenvolvimento de materiais compósitos composto por uma fase ferroelétrica e uma fase ferromagnética é uma estratégia para a busca deste acoplamento [4]. Neste caso no acoplamento, a fase ferroelétrica apresenta polarização elétrica espontânea e chaveável, além de deformação mecânica como resposta ao estímulo elétrico. Enquanto a fase magnética apresenta deformação mecânica em resposta ao estímulo magnético. Tais deformações se acoplam por um efeito de interface e são potenciais para aplicação em sensores de temperatura e/ou de campo. Contudo, neste caso o acoplamento dependerá das características individuais de cada fase e a descrição precisa do quanto cada fase contribui e como elas contribuem para o acoplamento são questões fundamentais para esta área da ciência.

O principal **objetivo** deste projeto de iniciação científica é investigar a origem e influência da interação multiferroica de compósitos cerâmicos a partir da avaliação de sua estrutura cristalina considerando diferenças concentração de fases.

Metodologia

Tal avaliação será feita a partir de caracterização dessas cerâmicas por difração de raios X em condição ambiente e em função da temperatura na linha de luz Paineira do Sirius. A caracterização de propriedade magnética será feita com as técnicas de magnetometria (squid-VSM) no Laboratório de Baixas Temperaturas da UNICAMP e XMCD na linha Sabiá do Sirius. As caracterizações elétricas e de acoplamento serão realizadas em colaboração com o no Grupo de Materiais Ferroicos da UFSCAR. As altas resoluções magnética, químicas e espaciais alcançáveis com o com conjunto de técnicas avançadas de caracterização da matéria proposto neste projeto trará respostas minuciosas sobre a origem do acoplamento destes fenômenos.

Entre as **metas** teste projeto temos: 1) compreender a estrutura cristalina em função da composição química de cada fase; 2) desenvolver método científico para análise estrutural em função da temperatura; 3) caracterização das propriedades magnéticas; 4) correlação estrutura-propriedades (elétricas, mecânicas e magnéticas); e 5) divulgação do

trabalho – hipóteses, testes de hipóteses e resultados – em apresentação de trabalhos e artigos científicos.

A execução deste projeto guiará o entendimento sobre a correta correlação entre acoplamento multiferroico e estrutura cristalina, assim como, possíveis mudança na natureza do acoplamento multiferroico para diferentes. Com isso o trabalho agregará a este tema contribuições para um melhor conhecimento das interações multiferroicas, consolidando experiência nesta estratégica área de pesquisa e agregando conhecimento científico e tecnológico no Brasil.

Cronograma

Atividade /bimestre	1	2	3	4	5	6
Revisão teórica	x	x	x	x	x	x
Caracterização magnética		x			x	
Análise de perfil de difração de raios X		x		X		
Caracterização por XMCD em condição ambiente			x			
Discussão de resultados		x	x	X	x	x
Relatório			x			x

Referências:

- [1] J. Hu, T. Nan, N. X. Sun, and L. Chen, “Multiferroic magnetoelectric nanostructures for novel device applications,” vol. 40, no. September, pp. 728–735, 2015.
- [2] H. Schmid, “Some symmetry aspects of ferroics and single phase multiferroics,” *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 20, no. 43, 2008.
- [3] N.A. Spaldin, “Advances in magnetoelectric multiferroics”, *Nature Materials*, vol. 18, 2019.
- [4] R.A.R. Carvalho, et al., “A Phenomenological Model for the Magnetodielectric Effect in Magnetoelectric Composites”. MAGMA-D-23-00931, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4419238> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4419238>