

INVESTIGAÇÃO DE NANOESTRUTURAS FERROELÉTRICAS ATRAVÉS MICROSCOPIA DE EMISSÃO DE FOTOELÉTRONS

Pesquisador responsável: Julio Criginski Cezar
Unidade: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

Introdução

Materiais ferroelétricos são definidos como aqueles que apresentam uma polarização elétrica não nula, mesmo sem a presença de um campo elétrico externo. A denominação vem da analogia com os materiais ferromagnéticos, que nesse caso apresentam uma polarização magnética (magnetização) mesmo sem a presença de campo magnético externo. A pesquisa em materiais ferroelétricos se intensificou sobremaneira nas últimas décadas devido ao avanço na tecnologia de fabricação de filmes finos desse tipo de material. Isso abriu o potencial para se propor diversos tipos de dispositivos baseados na ferroeletricidade, de forma similar ao que já se faz a décadas com filmes magnéticos. A substituição, ou pelo menos a complementação, de dispositivos magnéticos por dispositivos ferroelétricos seria muito atraente, uma vez que esses últimos apresentam as seguintes vantagens em relação aos materiais magnéticos:

- i) Os bits de dados podem ser menores, pois a polarização elétrica é intrinsecamente perpendicular à superfície da amostra;
- ii) As paredes de domínios ferroelétricos são mais estreitas que as de domínios magnéticos, permitindo também bits de dados menores;
- iii) A informação pode ser lida ou gravada por pulsos de potenciais elétricos (voltagens) e não de correntes elétricas como no caso de materiais magnéticos.

Os pontos i) e ii) acima poderiam propiciar uma densidade de armazenamento muito maior que as obtidas atualmente com mídias magnéticas, enquanto o ponto iii) significa que o consumo de energia de tal dispositivo seria muito reduzido em relação àquele de dispositivos magnéticos. Todavia, o entendimento de materiais ferroelétricos, principalmente na forma de filmes finos, ainda é muito menor do que sua contrapartida magnética. Ainda é necessário muita pesquisa sobre materiais e seu comportamento, para demonstrar se esse tipo de tecnologia seria realmente viável.

Esse projeto de iniciação científica propõe o estudo de filmes finos ferroelétricos através da técnica de microscopia de emissão de raios X (PEEM, *PhotoElectron Emission Microscopy*) [1]. Nessa técnica a amostra é iluminada com uma fonte de radiação ultravioleta ou de raios X e como consequência do fenômeno de absorção da radiação, a amostra emite elétrons. O microscópio PEEM captura esses elétrons, e através de um sistema de lentes magnéticas similar à coluna de um microscópio de transmissão, faz uma imagem da amostra sob estudo. Nesse caso o contraste da imagem pode ter diversas origens, tais como diferenças de elemento químico, magnetização local, ou polarização elétrica. Esse último tipo de contraste é o que vai ser utilizado nesse trabalho para investigar filmes finos ferroelétricos.

Uma representação 3D do microscópio disponível no LNLS, bem como um esquema de funcionamento das lentes magnéticas pode ser visto na figura 1.

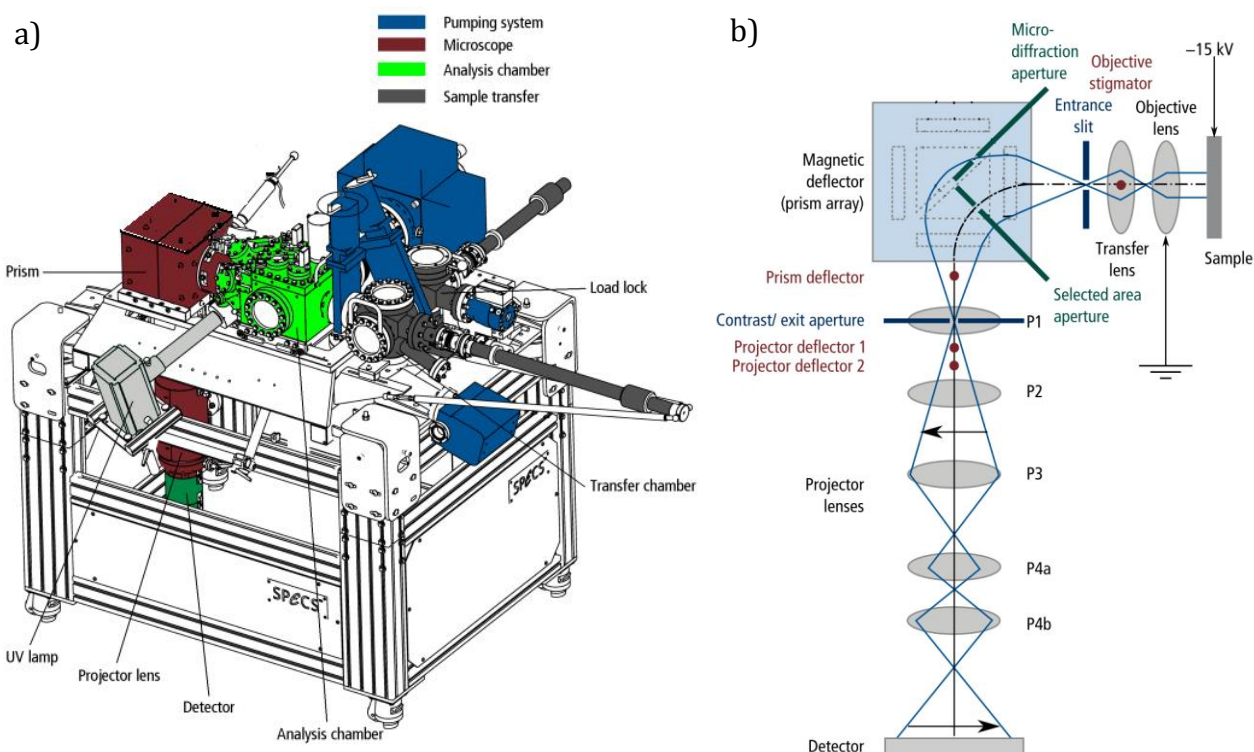


Figura 1: em (a) mostramos o desenho 3D do microscópio destacando seus principais componentes; em (b) temos uma representação esquemática da óptica magnética empregada no microscópio.

Estado da arte

Domínios magnéticos já vêm sendo estudados utilizando PEEM a vários anos [2]. Esse estudo contribuiu de maneira significativa para a compreensão da forma e da dinâmica de paredes de domínio magnético. Mais recentemente PEEM também foi utilizado para estudar paredes de domínios ferroelétricos, começando a preencher uma lacuna no conhecimento que temos sobre domínios ferroelétricos [3]. Materiais ferroelétricos são intrinsecamente isolantes, enquanto que a região entre os domínios ferroelétricos (paredes) pode ser condutora. Isso permite obter um contraste na microscopia PEEM.

A linha U11-PGM do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, à qual esse projeto será associado, dispõe de um equipamento PEEM de última geração, com possibilidade de chegar a resoluções espaciais melhores do que 10 nm (atualmente a máxima resolução é limitada pela intensidade do feixe de radiação incidente). Além disso a linha dispõe de um sistema completo de fabricação e caracterização de filmes finos.

Objetivos

Nesse projeto propomos a utilização de microscopia PEEM para estudar a estrutura de domínios ferroelétricos em filmes finos dos materiais BaTiO_3 e BiFeO_3 . Utilizando radiação ultravioleta pretende-se estudar a topografia dos filmes e utilizando o contraste dado pela diferença de condutividade elétrica entre o filme polarizado e as paredes de domínio, obter também a configuração de domínios ferroelétricos. Os domínios poderão ser “escritos” utilizando microscopia de varredura PFM (*PiezoForce response Microscopy*) disponível no LNNano (Laboratório Nacional de Nanotecnologia, também no CNPEM). Esse projeto é um

primeiro passo para um objetivo mais ambicioso que seria o estudo da dinâmica de domínios ferroelétricos.

Metodologia

Nosso grupo já cresceu filmes finos de BaTiO_3 e BiFeO_3 junto ao laboratório de Nano e Microfabricação do LNNano. Além disso, temos projetos em andamento para o crescimento de filmes finos similares por ablação laser. A(o) estudante selecionada(o) certamente se envolverá com o crescimento de filmes, mas essa não será sua atividade principal. O trabalho de iniciação científica será caracterizar os domínios ferroelétricos dos filmes já obtidos ou que venham a ser crescidos no grupo, utilizando tanto microscopia PFM quanto PEEM. Em particular, o(a) estudante trabalhará diretamente na preparação das amostras para microscopia, na operação dos microscópios e processamento das imagens obtidas. Para amostras selecionadas, experimentos serão realizados utilizando radiação síncrotron, a fim de obter informação sobre eventuais diferenças na estrutura eletrônica do material sob diferentes estados de polarização elétrica.

Ao longo desse projeto, dentro do nosso grupo de pesquisa, a(o) candidata(o) poderá ter contato com diversas técnicas modernas de crescimento e caracterização de amostras, tais como epitaxia por feixe molecular (MBE, Molecular Beam Epitaxy), deposição por ablação laser (PLD, Pulsed Laser Deposition), microscopias de tunelamento e força atômica (STM, Scanning Tunneling Microscopy; AFM, Atomic Force Microscopy), espectroscopia de fotoemissão e de absorção de raios X, entre outros.

Referências

- [1] Uma introdução genérica à técnica PEEM pode ser encontrada na Wikipedia em inglês: http://en.wikipedia.org/wiki/Photoemission_electron_microscopy
- [2] Schneider, Claus M., and Gerd Schönhense. "Investigating Surface Magnetism by Means of Photoexcitation Electron Emission Microscopy." Reports on Progress in Physics 65, no. 12 (December 1, 2002): 1785. doi:[10.1088/0034-4885/65/12/202](https://doi.org/10.1088/0034-4885/65/12/202).
- [3] Rault, J. E., J. Dionot, C. Mathieu, V. Feyer, C. M. Schneider, G. Geneste, and N. Barrett. "Polarization Sensitive Surface Band Structure of Doped BaTiO_3 (001)." Physical Review Letters 111, no. 12 (September 20, 2013). doi:[10.1103/PhysRevLett.111.127602](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.127602).