

## Eletricidade e Magnetismo no nanomundo: ensinando novos truques a antigos materiais!

Pesquisador responsável: Julio Criginski Cezar

Co-orientador: Jeovani Brandão

Unidade: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron – Linha PGM

### Introdução

Materiais magnéticos já fazem parte de nosso cotidiano e estamos razoavelmente familiarizados com suas propriedades. Por outro lado, materiais ferroelétricos também estão presentes em diversas situações (memórias flash, capacitores, filtros de microondas) mas ainda podemos dizer que são “ilustres desconhecidos”. Ferroelétricos são definidos como aqueles materiais 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 [1]. Tanto materiais magnéticos quanto ferroelétricos podem apresentar fenômenos não triviais quando reduzidos a dimensões nanométricas, e mais do que isso, passam a interagir de forma não convencional. Esse tipo de pesquisa se intensificou nas últimas décadas devido ao avanço na tecnologia de fabricação de filmes finos. Atualmente podemos crescer filmes de diversos materiais com espessuras de poucas camadas atômicas. Isso abriu o potencial para se propor diversos tipos de dispositivos baseados na interação entre magnetismo e ferroeletricidade. Todavia, o entendimento de materiais ferroelétricos, principalmente na forma de filmes finos, ainda é muito menor do que sua contrapartida magnética. E ainda mais incipiente é o estudo sistemático da interação entre magnetismo e ferroeletricidade em dimensões nanométricas.

Esse projeto de iniciação científica propõe a fabricação de filmes finos ferroelétricos através da técnica de ablação a laser ou PLD (do inglês *Pulsed Laser Deposition*) [2]. Nesse caso um feixe intenso de laser incide sobre o material de interesse e vaporiza parte dele. Isso forma um plasma que carrega esse material. Posicionando um cristal (substrato) próximo a esse plasma de forma adequada, podemos depositar o material de interesse sobre o substrato e formar um filme fino. No sistema que temos podemos crescer diversos materiais em sequência e forma o que são conhecidas como heteroestruturas, ou seja, multicamadas de materiais diversos. No nosso caso estamos interessados no crescimentos de camadas intercaladas de materiais magnéticos e ferroelétricos.

Uma vez obtidas as amostras de filmes finos, esse projeto também prevê sua caracterização. Diversas técnicas podem ser utilizadas para determinar a qualidade dos filmes crescidos. Em geral utilizamos microscopia de força atômica, difração de raios-X e espectroscopia de fotoelétrons em todas as amostras. Essas técnicas permitem averiguar tanto a qualidade estrutural quanto química dessas amostras.

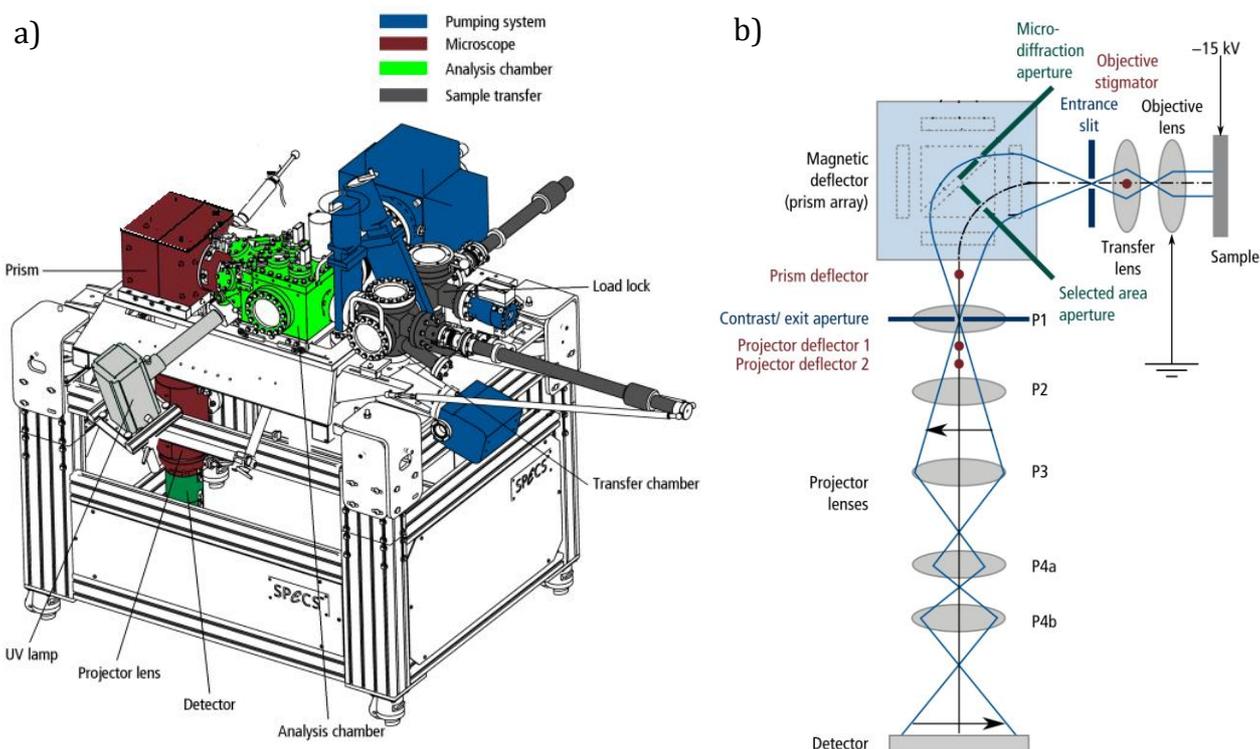


Figura 1: em (a) mostramos o desenho 3D do microscópio destacando seus principais componentes; em (b) temos uma representação esquemática da óptica magnética empregada no microscópio.

Mas um diferencial desse projeto é o emprego de microscopia de emissão de raios X (PEEM, **PhotoElectron Emission Microscopy**) [3]. 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.

### Estado da arte

Domínios magnéticos já vêm sendo estudados utilizando PEEM a vários anos [4]. 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 [5]. 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<sub>3</sub> e BiFeO<sub>3</sub>. 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 grupo. Esse projeto é um primeiro passo para um objetivo mais ambicioso que seria o estudo da interação entre camadas ferroelétricas e magnéticas.

## Metodologia

Nosso grupo já cresceu filmes finos de BaTiO<sub>3</sub> e BiFeO<sub>3</sub> 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, além de 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] Ponto de partida: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ferroelectricity>
- [2] Sobre ablação a laser: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed\\_laser\\_deposition](https://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed_laser_deposition)
- [3] Uma introdução genérica à técnica PEEM também pode ser encontrada na Wikipedia em inglês: [http://en.wikipedia.org/wiki/Photoemission\\_electron\\_microscopy](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<sub>3</sub> (001).” *Physical Review Letters* 111, no. 12 (September 20, 2013). doi:[10.1103/PhysRevLett.111.127602](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.127602).