

## Filmes finos de cupratos supercondutores de alta temperatura crítica

**Pesquisador responsável:** Thiago José de Almeida Mori

**Unidade:** Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

### INTRODUÇÃO

O fenômeno da supercondutividade foi descoberto em 1911 por Heike Kamerlingh Onnes. Ele foi o primeiro a obter a liquefação do gás hélio, que ocorre a aproximadamente 4,2 K, e pesquisava as propriedades de diversos materiais quando observou que a resistência elétrica do mercúrio caía inesperadamente a zero em temperaturas extremamente baixas. A supercondutividade se tornaria um dos fenômenos físicos mais fascinantes e desafiadores do século XX. Um número considerável de aplicações técnicas envolvendo supercondutores já foi implementado, outra parte ainda representa “sonhos” para um futuro mais distante. Entre os equipamentos que utilizam dispositivos supercondutores estão instrumentos de Ressonância Magnética Nuclear, magnetômetros SQUID (*Superconducting Quantum Interference Device*), bobinas para geração de campos extremamente altos e ainda um número grande de dispositivos crioeletrônicos. As áreas de aplicação incluem metrologia, instrumentação eletrônica, radioastronomia, neurologia e diagnósticos médicos, rastreamento eletrônico (radar, detecção de anomalias magnéticas), espectroscopia ambiental (atmosférica e espacial), prospecção ambiental e geológica, telecomunicações, processamento de dados e sinais digitais ultra-rápidos.

Em 1986, Bednorz e Müller observaram a supercondutividade em uma nova classe de materiais cerâmicos, os cupratos, nos quais as camadas da estrutura cristalina são dominadas por planos de óxidos de cobre. Estes materiais são supercondutores a temperaturas tão altas quanto 185 K, temperatura que pode ser atingida usando nitrogênio líquido, cujo ponto de liquefação é 77K. Esta descoberta causou grande euforia na comunidade científica motivada também pelas potenciais aplicações de filmes finos destes materiais tanto em um grande número de dispositivos crioeletrônicos quanto para o estudo das novas propriedades físicas destes compostos.

Mesmo após a descoberta de outras classes de supercondutores de alta temperatura crítica, a maior parte dos estudos ainda se concentra nos sistemas ortorrômbicos  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  (Re = terra rara). Existem várias técnicas que podem ser utilizadas para o crescimento de filmes finos destes materiais, sendo possível crescer amostras tão finas quanto a célula unitária da rede cristalina. Em particular, a técnica de deposição física por ablação a laser (PLD, *Pulsed Laser Deposition*) permite o crescimento destes filmes. Todavia, a produção de amostras não é trivial. Para que seja possível obter filmes finos com excelente qualidade é necessário um completo entendimento dos processos de deposição e crescimento, em outras palavras, necessita-se entender a influência de cada parâmetro de deposição sobre as qualidades da amostra produzida. Este projeto de iniciação científica está inserido neste contexto, envolvendo principalmente o crescimento e caracterizações estrutural, morfológica e elétrica de filmes finos de cupratos supercondutores.

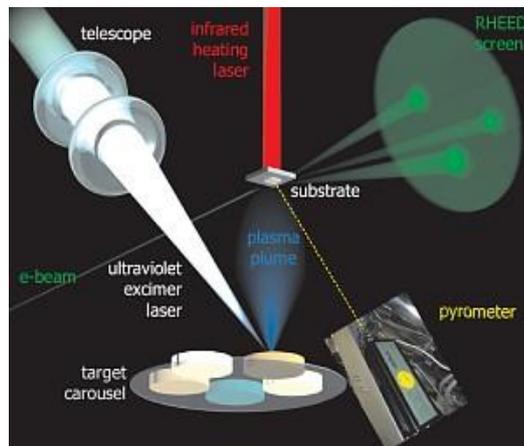


Figura 1: Esquema representativo da deposição de um filme fino por PLD.

### OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho será realizar um estudo sistemático da produção de filmes finos de YBCO, sobre substratos de  $\text{SrTiO}_2$ , na nova câmara de deposição por ablação a laser pulsado da linha U11-PGM do LNS. Mais especificamente, deverá ser determinada a influência dos parâmetros de deposição sobre as propriedades estruturais,

morfológicas, eletrônicas e elétricas dos filmes de YBCO. Busca-se obter filmes finos epitaxiais e com boas propriedades morfológicas e supercondutoras.

## METODOLOGIA

**Produção de filmes finos de YBCO por ablação a laser pulsado:** serão produzidos filmes finos, na câmara de PLD anexa à linha U11-PGM do LNLS, a partir de alvo estequiométrico de  $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ , sob diferentes condições de deposição. Os parâmetros a serem analisados são: energia/fluência do laser, periodicidade dos pulsos de laser, pressão parcial de  $O_2$ , temperatura do substrato de  $SrTiO_2$ , distância alvo-substrato.

**Caracterização estrutural:** para determinar a qualidade cristalina das amostras, serão realizadas principalmente medidas de difração de raios-X. Estas análises poderão acontecer com o uso de difratômetro usual com tubo de Cu (no LNNano) e/ou, eventualmente, com radiação síncrotron (na linha XRD2 do LNLS). Uma vez obtidos filmes epitaxiais, também poderão ser utilizadas técnicas de caracterização estrutural de superfícies, como difração de elétrons de baixa energia (LEED, *Low Energy Electron Diffraction*), difração de elétrons de alta energia por reflexão (RHEED, *Reflection High Energy Electron Diffraction*) e microscopia de varredura por tunelamento (STM, *Scanning Tunneling Microscopy*), todas disponíveis na linha U11-PGM do LNLS.

**Caracterização morfológica/superficial:** para analisar propriedades como espessura, densidade e rugosidade/interdifusão, serão realizadas medidas de refletividade de raios-X no difratômetro do LNNano e/ou eventualmente na linha XRD2 do LNLS. Também serão obtidas imagens topográficas, para avaliar a qualidade da superfície das amostras, através de microscopia de força atômica (AFM, *Atomic Force Microscopy*) no microscópio do grupo.

**Caracterização eletrônica/química:** para analisar a estequiometria e propriedades eletrônicas e químicas das superfícies dos filmes finos, poderão ser utilizadas técnicas de espectroscopias de absorção de raios-x, eventualmente na linha U11-PGM do LNLS, e também técnicas de espectroscopias de fotoelétrons como XPS (*X-ray Photoelectrons Spectroscopy*) e espectroscopia de elétrons Auger, nos equipamentos disponíveis no LNLS.

**Medidas de resistividade elétrica:** para verificar a transição de fase e inferir as propriedades supercondutoras dos filmes produzidos, serão realizadas medidas multiterminais de resistividade – pelo método das 4 pontas - na câmara de medidas de transporte eletrônico do grupo. Esta câmara permite a aquisição de dados sob temperaturas tão baixas quanto 10 K.

## APRENDIZADO PARA O ALUNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Esta proposta oferece treinamento em crescimento e caracterização de filmes finos de óxidos complexos. Do ponto de vista técnico, o estudante será capacitado para operar o sistema de deposição por laser pulsado - o que também poderá envolver controle *in situ* do crescimento por RHEED, e ainda adquirirá conhecimentos avançados em técnicas como difração e refletividade de raios-X, microscopia de força atômica, espectroscopias de absorção e fotoemissão de raios-x, e medidas de transporte eletrônico em baixas temperaturas. Instrumentação para ultra-alto vácuo, uso de laser de alta potência, controle de temperatura, e programação para automação de experimentos são assuntos nos quais o aluno certamente adquirirá habilidades. Ao longo do projeto, o aluno provavelmente terá a oportunidade de participar de experimentos utilizando a fonte de luz síncrotron do LNLS. Do ponto de vista científico, poderá aprofundar seus conhecimentos sobre processos de crescimento de filmes finos e também sobre supercondutores de alta temperatura crítica. Além disso, fará parte de um grupo multidisciplinar de pesquisa em superfícies e interfaces de materiais multifuncionais que também inclui materiais nanoestruturados para estudos envolvendo magnetismo, multiferróicos e catálise, por exemplo. Se o estudante tiver interesse, poderá acompanhar o desenvolvimento do projeto principal ao qual estará vinculado, que envolve o estudo de nanoestruturas do tipo supercondutor-ferroelétrico, por técnicas de absorção e fotoemissão, utilizando radiação síncrotron *in situ* e sob aplicação de campos elétricos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Crassous, A. *et al.* Nanoscale Electrostatic Manipulation of Magnetic Flux Quanta in Ferroelectric/Superconductor BiFeO<sub>3</sub>/YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-d</sub> Heterostructures. *Phys. Rev. Lett.* **107**, 247002 (2011).
- [2] Crassous, A. *et al.* BiFeO<sub>3</sub>/YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-d</sub> heterostructures for strong ferroelectric modulation of superconductivity. *J. Appl. Phys.* **113**, 024910 (2013).

### Para saber mais sobre...

supercondutores de alta temperatura crítica:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Supercondutividade#Supercondutividade a altas temperaturas](http://pt.wikipedia.org/wiki/Supercondutividade#Supercondutividade_a_altas_temperaturas)

deposição por ablação a laser pulsado:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed\\_laser\\_deposition](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed_laser_deposition)

<http://finslab.com/enciclopedia/letra-a/a-deposicao-por-laser-pulsado.php>

difração de raios-X e lei de Bragg:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Bragg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Bragg)

[http://www.angelfire.com/crazy3/qfl2308/1\\_multipart\\_xF8FF\\_2\\_DIFRACAO.pdf](http://www.angelfire.com/crazy3/qfl2308/1_multipart_xF8FF_2_DIFRACAO.pdf)

microscopia de força atômica:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Microscopia\\_de\\_for%C3%A7a\\_at%C3%B4mica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Microscopia_de_for%C3%A7a_at%C3%B4mica)

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Microsc%C3%B3pio\\_de\\_for%C3%A7a\\_at%C3%B4mica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Microsc%C3%B3pio_de_for%C3%A7a_at%C3%B4mica)

medidas de transporte eletrônico:

<http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n4/10539.pdf>