Título do Projeto: **Manipulação de óxidos *stand-alone* crescidos sobre camada de sacrifício**

Pesquisador Responsável: **Pedro Schio de Noronha Muniz**

Unidade CNPEM: **LNNano**

1. Introdução

Os óxidos funcionais têm ganhado destaque nas últimas décadas devido à diversidade de propriedades eletrônicas que possuem. Esses materiais apresentam fenômenos emergentes de grande interesse científico e tecnológico, como magnetorresistência colossais, supercondutividade de alta temperatura crítica, e forte acoplamento entre graus de liberdade estruturais, eletrônicos e de spin [1,2].

Tradicionalmente, o crescimento epitaxial desses óxidos ocorre sobre substratos monolíticos como $SrTiO_3$ ou $LaAlO_3$, o que impõe limitações tanto nas condições de crescimento quanto na aplicabilidade desses filmes em dispositivos. Além disso, a presença do substrato pode influenciar as propriedades físicas do filme, dificultando o estudo isolado das características intrínsecas dos materiais. Para superar essas limitações, uma abordagem promissora é a obtenção de filmes *stand-alone* — ou seja, livres do substrato original.

2. Estado da Arte

Filmes *stand-alone* são obtidos utilizando camadas de sacrifício entre o substrato e o material de interesse [2,3,4], permitindo o posterior descolamento do filme. Isso viabiliza transferência para diferentes superfícies, incluindo substratos flexíveis, transparentes, ou funcionalizados, ampliando significativamente as possibilidades de estudo e integração em dispositivos.

Uma estratégia empregada envolve o uso de camadas de sacrifício solúveis em água, como SrO e $Sr_3Al_2O_6$, ou suscetíveis a tratamentos químicos específicos, como $YBa_2Cu_3O_7$-δ ou polímeros removíveis. Após o crescimento, o processo de remoção da camada de sacrifício permite o descolamento da película funcional. Essa etapa requer otimização, uma vez que tensões mecânicas, aderência e espessura da camada funcional influenciam a integridade do filme descolado. Métodos de suporte durante a remoção, como o uso de polímeros portadores (por exemplo, PMMA ou PDMS), são frequentemente empregados para preservar a integridade estrutural [1,3].

Os filmes *stand-alone* têm sido usados em investigações fundamentais[2,4,5], por exemplo, para estudar relaxação de tensões fora do substrato, ou mudanças em propriedades eletrônicas e magnéticas. Também apresentam alto potencial para dispositivos flexíveis e heteroestruturas não convencionais. No entanto, permanecem desafios técnicos importantes visando a obtenção de grandes áreas contínuas de películas de interesse.

3. Objetivos

Objetivo geral: Neste projeto de iniciação científica pretendemos investigar o crescimento, descolamento de filmes finos de óxidos funcionais obtidos por PLD e liberados por camadas de sacrifício para aplicações científicas e tecnológicas como materiais *stand-alone*.

Objetivos específicos:

- Avaliar condições de crescimento (temperatura, taxa de deposição, espessura) para otimizar a obtenção de películas contínuas e com boa qualidade cristalina.
- Determinar o tempo de ataque químico e a espessura ideal para obtenção de filmes *stand-alone* de maior área, com integridade mecânica e mínima degradação estrutural.
- Investigar o impacto da separação do substrato sobre as propriedades estruturais, morfológicas e magnéticas dos filmes.
- Desenvolver protocolos de transferência dos filmes para substratos alternativos (SiO2, vidro, polímeros), e avaliar sua adesão e funcionalidade.

4. Metodologia

O projeto será conduzido no Laboratório de Crescimento In Situ (LCIS) do LNNano/CNPEM, utilizando a técnica de Deposição por Laser Pulsado (PLD) para o crescimento dos filmes finos. O sistema de PLD permite controle preciso da taxa de crescimento, energia do laser, atmosfera de oxigênio e temperatura do substrato, fundamentais para a obtenção de filmes epitaxiais de alta qualidade.

Etapas principais:

1. **Deposição dos filmes funcionais** Serão depositados filmes de óxidos de interesse (como LSMO, $SrTiO_3$, etc.) sobre a camada de sacrifício. Parâmetros como temperatura (650–750 °C), pressão parcial de O_2 (10^{-3}–10^{-1} Torr), e número de pulsos serão ajustados para obter espessuras entre 10 e 100 nm.
2. **Descolamento dos filmes** O descolamento será realizado no Laboratório de Amostras Microscópicas por imersão em água deionizada ou solução específica (dependendo da camada de sacrifício), com suporte de polímero (como PMMA ou Kapton) para evitar fraturas. O tempo de ataque será otimizado experimentalmente.
3. **Transferência para novos substratos.** Após descolamento, os filmes serão transferidos para substratos alternativos, como silício, vidro ou polímeros flexíveis, visando aplicações tecnológicas e novas geometrias de estudo.
4. **Caracterização estrutural e morfológica e outras:** Antes e depois da separação do substrato, os filmes serão caracterizados por diversas técnicas como (i) difração de raios X (DRX) para analisar estrutura cristalina e espessura; (ii) microscopia de força atômica (AFM) para rugosidade e morfologia; (iii) espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios (XPS) para composição química; e (iv) magnetometria (VSM ou SQUID) para propriedades magnéticas, se aplicável.
5. **Documentação e apresentação dos resultados** O bolsista irá registrar as etapas no caderno de laboratório, gerar gráficos, imagens e relatórios, e apresentar os resultados em seminários internos e na apresentação final do programa.

5. Cronograma de Atividades

Atividades	1º trimestre (Jan–Mar)	2º trimestre (Abr–Jun)	3º trimestre (Jul–Set)	4º trimestre (Out–Dez)
Integração aos laboratórios, treinamentos e estudo da bibliografia	✔			
Crescimento dos filmes funcionais por PLD	✔	✔	✔	
Processos de descolamento e transferência dos filmes		✔	✔	✔
Caracterizações estruturais e morfológicas (DRX, XRR, AFM, XPS)		✔	✔	
Análise de dados, comparação com literatura e ajustes experimentais			✔	✔
Organização de resultados e redação de relatório final				✔

---

6. Referências Bibliográficas

1. H. Wang et al., "Free-standing oxide thin films for flexible electronics," *Advanced Materials*, vol. 31, no. 16, 1806736 (2019).
2. D. Lu et al., "Synthesis and applications of free-standing perovskite oxide thin films," *Nature Materials*, vol. 15, pp. 1255–1260 (2016).
3. D. J. Groenendijk et al., "Epitaxial growth of perovskite SrIrO3 films on various substrates," *Applied Physics Letters*, vol. 109, 041906 (2016).
4. Y. Z. Chen et al., "A versatile route for the fabrication of free-standing oxide thin films," *Nature Communications*, vol. 6, 6593 (2015).
5. L. Xie et al., "Flexible and transparent oxide electronics by transferring oxide thin films onto arbitrary substrates," *Scientific Reports*, vol. 3, 3567 (2013).