

## **PIBIC – 2023**

### **Spintrônica em interfaces híbridas usando técnicas de absorção de raios-X no SIRIUS**

Pesquisador Responsável: Jeovani Brandão

Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS)

Linha de Luz SABIÁ (Soft X-ray ABSorption and Imaging)

Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM)

Email: [jeovani.brandao@lnls.br](mailto:jeovani.brandao@lnls.br)

#### **Resumo**

Materiais magnéticos são amplamente utilizados em dispositivos tecnológicos que fazem parte do nosso cotidiano, incluindo computadores, celulares, cartões de crédito e sensores. Com a necessidade de aumentar a capacidade de informação via redução da dimensionalidade dos dispositivos, cada vez mais os processos magnéticos se aproximam do limite quântico, o qual requer novas pesquisas por materiais que permitam escrever, transportar e armazenar bits de memória magnética através da manipulação de spins magnéticos. Nesse cenário, a interseção entre isolantes topológicos, materiais com propriedades quânticas, e o magnetismo em nanoescala, vem ganhando um enorme interesse da comunidade científica, abrindo as portas para explorar propriedades básicas com potencial desenvolvimento em aplicações tecnológicas. Este projeto de iniciação científica tem por objetivo, crescer bi-camadas de filmes finos sub-nanométrico de isolantes topológicos e magnéticos a fim de investigar suas propriedades estruturais, eletrônicas e magnéticas utilizando técnicas de absorção de raios-X no SIRIUS.

#### **Introdução**

Muito provavelmente você já ouviu falar sobre a eletrônica, e que os dispositivos que nos cercam são baseados no controle de cargas elétricas. De fato, a eletrônica domina a grande produção de componentes tecnológicos que fazem parte do nosso dia a dia. Mas você já ouviu sobre a spintrônica? Não? Então esse projeto pode ser uma oportunidade de conhecer esse campo científico que promete revolucionar a eletrônica atual. A eletrônica se encarrega de controlar o movimento de cargas elétricas, enquanto a spintrônica tem por objetivo controlar o movimento dos spins dos elétrons. E isso pode proporcionar diversas vantagens em comparação a eletrônica atual no desenvolvimento de dispositivos que possam armazenar informação com menor consumo de energia.

Quando elétrons se movem num condutor, uma considerável parte da energia é perdida na forma de calor devido ao efeito Joule, e essa dissipação de energia limita, por exemplo, nas dimensões dos quais os dispositivos podem ser produzidos, além de consumir mais energia. A proposta baseada na spintrônica é exatamente reduzir a perda de energia por dissipação de calor, e possibilitar que modernos elementos eletrônicos possam ser mais eficientes, menores e multifuncionais. Mas como isso é possível? Quando uma corrente elétrica passa através de certos materiais não magnéticos, como exemplo, Pt, W e Ta, um mecanismo quântico conhecido como efeito Hall de spin, leva a uma separação e transporte dos spins dos elétrons (com direção para cima e para baixo), produzindo em ambas as bordas do material uma corrente polarizada

em spin. Veja exemplo da figura 1 que ilustra o mecanismo. Se uma camada magnética estiver em contato com o material que conduz a corrente polarizada em spin, formando uma interface entre materiais não magnético/magnético, a corrente polarizada em spin pode provocar no material magnético uma oscilação da sua magnetização que pode gerar a inversão na direção da magnetização, processo do qual são armazenados dados utilizando magnetismo [1,2].

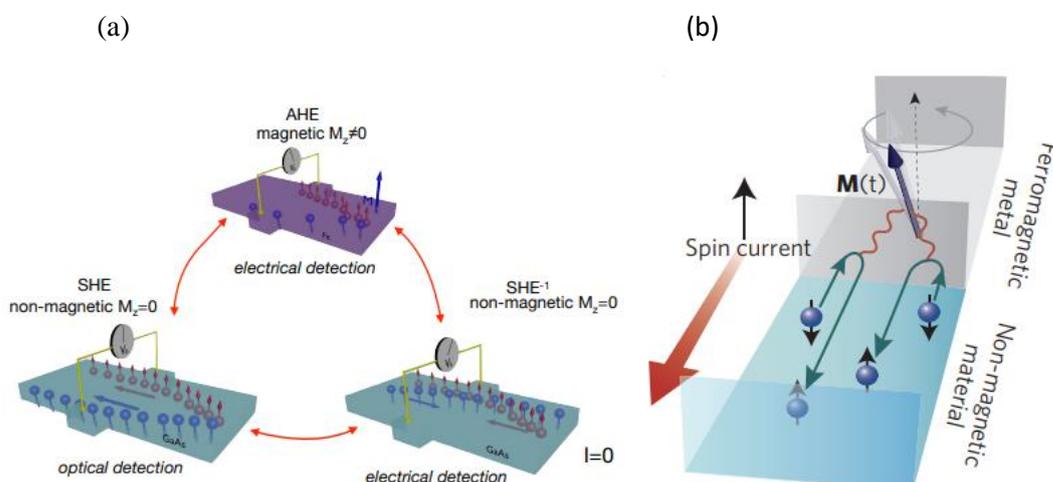


Figura 1. (a), esquema ilustrativo dos diferentes mecanismos de geração de corrente polarizada em spin via efeito Hall de spin. (b), corrente polarizada em spin exerce um torque na magnetização de uma camada magnética adjacente ao metal não-magnético. Figura adaptada da referência [1].

## Objetivo

O objetivo deste trabalho de iniciação científica é o de crescer bi-camadas de materiais não magnéticos e magnéticos para sondar suas propriedades estruturais, eletrônicas e magnéticas utilizando dicroísmo magnético circular por raios-X (XMCD). Dois tipos de materiais não magnéticos que serão os condutores de corrente polarizada em spin são propostos: Pt (Platina) e  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  (Selenato de Bismuto). O primeiro é amplamente estudado como condutor de corrente polarizada em spin, enquanto o segundo, um isolante topológico, surge como uma nova alternativa para conduzir corrente elétrica polarizadas em spin de 2 ordens de grandeza menor comparado a Pt [3]. Os materiais magnéticos depositados sobre os de fonte de corrente polarizada em spin serão Co, Ni e Gd. Ao passar uma corrente elétrica na Pt ou  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ , em contato com a camada magnética, por exemplo Co, a inversão da magnetização será diretamente estudada por espectroscopia de absorção de raios-X e consequente dicroísmo magnético circular por raios-X. Para alcançar esse objetivo, as medidas serão realizadas na linha de luz SABIÁ do Sirius, a qual é equipada com uma estação experimental dedicada a medir espectros de absorção sob aplicação de campos magnéticos, corrente elétrica e temperatura. Poderemos, se tivermos sucesso com o projeto, observar pela primeira vez a inversão da magnetização com seletividade química dos elementos que compõem essa interface híbrida, abrindo a possibilidade de explorar novos fenômenos físicos em nanoescala.

## Metodologia

O projeto irá agregar a formação do aluno (a), várias etapas científicas importantes. A primeira é a de crescer filmes ultrafinos suportados por substratos relevantes em tecnologia, por exemplo o Si (Silício), utilizando técnicas de fabricação de filmes finos como magnetron sputtering (deposição catódica) e/ou molecular beam epitaxy (epitaxia por feixe molecular). Ambas as

técnicas, disponíveis no CNPEM, permitem o crescimento controlado de camadas ultrafinas dos materiais que constituem as bicamadas de interesse. Os filmes serão caracterizados por técnicas de difração de raios-X que nos permite estudar a estrutura cristalina e ordenamento dos materiais. O magnetismo dos filmes sob correntes polarizadas em spin será investigado na bobina supercondutora da linha de luz SABIÁ, instrumento que opera em ultra alto-vácuo e aplica campos magnéticos de até 9 T. Isso permitirá uma oportunidade ímpar ao aluno (a) de realizar medidas em técnicas avançadas utilizando o SIRIUS, adquirindo experiência nos mais diferentes mecanismos que envolvem a condução de experimentos complexos de uma linha de luz.

### **Perspectivas**

O crescimento das amostras e caracterização dos materiais por técnicas de Síncrotron irá possibilitar investigar propriedades físicas de interfaces híbridas complexas com separação química dos elementos, ajudando na compreensão dos fenômenos de inversão magnética devido a passagem de corrente polarizada em spin nas bi-camadas propostas. O que queremos é compreender se a camada de  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  é mais eficiente em transportar correntes polarizada em spin do que a Pt. Ademais, espera-se que o aluno (a) envolvido, adquira ao longo do projeto, experiência na fabricação dessas estruturas, contato com técnicas avançadas nas linhas de luz do Sirius, participação em workshops e/ou congressos como parte de seu desenvolvimento científico.

[1] Sinova, J., Valenzuela, S. O., Wunderlich, J., Back, C. H. & Jungwirth, T. Spin Hall effects. *Rev. Mod. Phys.* **87**, 1213–1260 (2015).

[2] Cheng, R. & Niu, Q. Dynamics of antiferromagnets driven by spin current. *Phys. Rev. B* **89**, 081105 (2014).

[3] J. Han and L. Liu, Topological insulators for efficient spin orbit torques. *APL Mater.* **9**, 060901 (2021).