

## Projeto para Bolsa de Iniciação Científica PIBIC/CNPEM

### Estudo de propriedades eletrônicas em Isolantes Topológicos e interfaces Grafeno/metal utilizando a técnica ARPES

**Orientador:** Wendell Simões e Silva

**Coorientador:** Túlio Costa Rizuti da Rocha

**Unidade:** Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

#### INTRODUÇÃO

Materiais bidimensionais veem há alguns anos chamando a atenção por propriedades bastante interessante do ponto de vista de física básica quanto pelo seu grande potencial para aplicação em várias áreas tecnológicas tais como eletrônica, spintrônica, transporte de energia e armazenamento de informação[1-5].

Compostos do tipo  $\text{Bi}_2\text{X}_3$  como  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  ( $\text{X}=\text{Se},\text{Te}$ ) fazem parte de um tipo de material, com propriedades bidimensionais, conhecido como Isolante Topológico. Efeitos relativísticos e de emaranhamento quântico nos Isolantes Topológicos dão origem a uma estrutura de bandas contendo os elétrons de Dirac sem massa [6], que por sua vez, se localizam nas bordas do material. Esses elétrons se encontram em estados de superfície [7] que são descritos pela equação de Dirac. Tais estados formam o Cone de Dirac, como pode ser observado na figura 1a. Esses materiais têm propriedades eletrônicas inteiramente novas, que os distinguem dos isolantes triviais: enquanto o volume é isolante, considerações fundamentais de simetria impõem à superfície uma natureza metálica, cujos estados são protegidos topologicamente. Essa proteção está relacionada com a robustez dos estados de superfície à desordem da estrutura cristalina, pois simetrias fundamentais proíbem qualquer chance de retroespalhamento dos elétrons nesses estados.

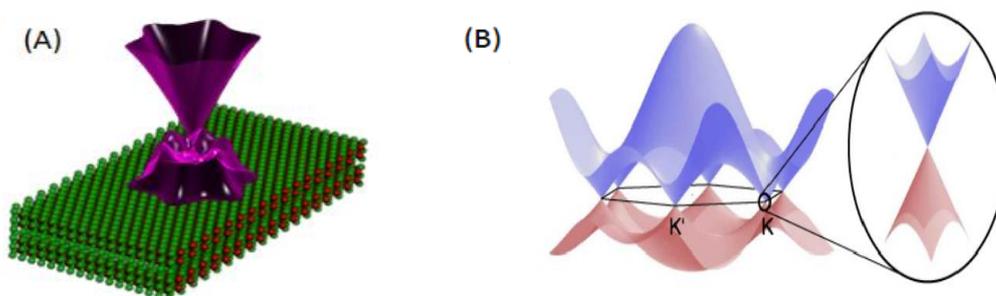


Figura 1: (a) Cone de Dirac do Isolante Topológico  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ [8]. (b) Estrutura de bandas na 1ª Zona de Brillouin do Grafeno mostrando todos os seis Cones de Dirac em cada um dos pontos K, K'.

O Grafeno é outro material que pertence a essa classe de materiais. Também conhecido como a forma 2D do carbono, este consiste de uma folha de grafite formada por uma rede hexagonal de átomos de carbono com uma forte ligação covalente entre os primeiros vizinhos. A estrutura de bandas do Grafeno, assim como os Isolantes Topológicos, possui dispersão linear na forma de um cone na região próxima ao nível de Fermi possui. Na figura 1b podemos observar seis Cones de Dirac na estrutura de bandas do Grafeno. A diferença é que nos Isolantes Topológicos eles aparecem no centro e no Grafeno eles aparecem nas bordas da Zona de Brillouin.

## OBJETIVOS

Esse trabalho consiste:

- na preparação do substrato de Platina na face (533) para o crescimento do Grafeno. A preparação envolve uso de técnicas de bombardeamento de íons de  $Ar^+$  sobre o substrato seguido de aquecimento para a limpeza, e caracterização química e da estrutura cristalina utilizando espectroscopia de fotoemissão de raios-X (XPS) e difração de elétrons de baixa energia (LEED).
- crescimento do Grafeno sobre Pt(533) e caracterização da estrutura eletrônica da interface Grafeno/Pt(533) utilizando espectroscopia de fotoemissão resolvida em ângulo (ARPES).
- caracterização de amostras de  $Bi_2Te_3$  utilizando LEED e ARPES.

## Estado da ARTE

ARPES tem sido uma ferramenta ideal para estudar diversos materiais, pois oferece informação direta da função espectral no espaço dos momentos, dentre eles os Isolantes Topológicos e o Grafeno. Ela foi essencial para a observação dos estados Topológicos e do Cone de Dirac no Grafeno. A linha U11-PGM do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, à qual esse projeto será associado, dispõe de um equipamento ARPES e uma câmara MBE, ambos de última geração. A câmara de MBE é totalmente equipada para uso em limpeza e caracterização de substratos. Lá podemos utilizar um canhão de íons de  $Ar^+$  para limpeza de substratos, um manipulador com cinco graus de liberdade, sendo 3 de translação e dois de rotação, e que nos permite aquecer a amostra até aproximadamente  $900^\circ C$ , e um LEED onde pode-se checar a ordem cristalina da superfície. Entre as câmaras de MBE e a de ARPES existe a possibilidade de transferência dos filmes sobre atmosfera de ultra alto vácuo. O sistema de medidas ARPES é equipado com um manipulador com seis graus de liberdade e  $0.05^\circ$  de resolução angular e com analisador SPECS Phibos 150 que pode chegar a 2 meV de resolução em energia.

## METODOLOGIA

**Limpeza do substrato Pt(533):** o substrato de Pt(533) será preparado na câmara de MBE anexa à linha U11-PGM do LNLS, usando um canhão de íons de  $Ar^+$  para bombardear a superfície do substrato e um manipulador com feixe de elétrons para aquecer a amostra. Após alguns minutos de bombardeamento com íons de  $Ar^+$  para remoção de eventuais moléculas de gases ou átomos indesejados adsorvidos na superfície a amostra é aquecida a  $900^\circ$  por alguns minutos para

recuperar sua estrutura cristalina. Para checar se após esse procedimento de limpeza ainda há adsorbatos sobre o substrato e se esse possui uma boa qualidade cristalina da superfície usaremos a técnica de XPS e LEED, respectivamente.

**Crescimento e caracterização do Grafeno:** uma vez que conseguimos garantir uma limpeza e uma qualidade cristalina razoáveis será inserido gás propileno na câmara de MBE. Esse ao entrar em contato com a superfície da Pt (533) pré-aquecida será quebrado resultando na formação do Grafeno, que poderá ser observada pelo LEED. Assim que constatado o crescimento do Grafeno, a amostra será transferida para a câmara principal de análises onde usaremos a técnica ARPES no estudo da estrutura eletrônica da interface entre o substrato e o Grafeno.

**Medidas ARPES em Isolantes Topológicos:** essa parte consiste em montar o esquema de clivagem in-situ de amostras para o  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , que será clivado no sistema de MBE para logo após realizarmos as medidas de ARPES para o estudo de propriedades eletrônicas desse material.

Além do projeto a ser desenvolvido o(a) estudante poderá ter contato com outras técnicas modernas de caracterização e crescimento de amostras, tais como microscopias de tunelamento e força atômica (STM, Scanning Tunneling Microscopy; AFM, Atomic Force Microscopy), entre outros.

## REFERÊNCIAS

- [1] M. Z. Hasan, and C. L. Kane, Rev. Mod. Phys. 82, 3045-3067 (2010)
- [2] S. C. Zhang, Matter Physics 1, 6 (2008).
- [3] J. E. Moore, Nature 464, 194 (2010).
- [4] B. A. Bernevig, Ta. L. Hughes, and S.-C. Zhang, Science 314, 1757-1761 (2006).
- [5] S. A. Wolf, et. al., Science 294, 1488 (2001).
- [6] C. Day, Phys. Today 62 (4), 12 (2009).
- [7] L. Fu, and C. L. Kane, Phys. Rev. B 76, 045302 (2007).
- [8] [http://www.arpes.org.uk/Research\\_TIs.html](http://www.arpes.org.uk/Research_TIs.html)