

ESTUDO DE WS₂ e MoS₂ POR MICROSCOPIA DE VARREDURA POR SONDA

Fabiana de Matos Carvalho ¹
Francisco Carlos Carneiro Soares Salomão ²

INTRODUÇÃO

A microscopia de varredura por sonda (*SPM*) é uma das poderosas técnicas modernas de investigação da morfologia e propriedades locais da superfície de materiais, com alta resolução. Este tipo de microscopia utiliza uma sonda mecânica para a detecção de algumas grandezas físicas no estudo das propriedades de uma superfície. Cada técnica está relacionada com o tipo de interação sonda-amostra que é observada e permite além de uma análise morfológica com altíssima resolução obtermos várias informações sobre propriedades do material [1]. Quando a interação entre a sonda e a amostra é de natureza eletrostática, temos a Microscopia de Força Eletrostática, que é uma técnica adequada para investigar a densidade de carga em escala nanométrica [2,3].

Dichalcogenetos de metais de transição (TMDCs) que têm a fórmula geral MX₂, onde M representa um metal de transição, enquanto que X representa o calcogênio. Apesar da existência de mais de quarenta espécies de TMDCs, apenas MoS₂, MoSe₂, WS₂ e WSe₂, foram fortemente estudados até os dias atuais [4,5]. É devido ao fato de que a espécie mencionada apresenta um caráter semicondutor, com um gap de banda considerável, o que torna esses TMDCs muito atraentes para aplicações como dispositivos semicondutores. Usando esfoliação mecânica ou método de deposição de vapor, foi possível obter ou até mesmo camadas únicas desses sólidos da Van Der Walls para construir dispositivos como transistores, ou mesmo

¹ Graduando do Curso de Física da Universidade Estadual do Ceará - UECE, fabiana.matos@aluno.uece.br ;

² Prof. Doutor do Curso de Física da Universidade Estadual do Ceará - UECE, carlos.salomao@uece.br;

integrados circuitos Além disso, a transição na natureza de *band gap*, do indireto em poucas camadas para o direto na camada única, tornam estes materiais muito interessantes para fins opto-eletrônicos. Dispositivos baseados em junções p-n, foto-transistores e fotodiodos são exemplos do potencial de TMDCs semicondutores para opto-eletrônicos dispositivos [6 – 9]. Neste trabalho, utilizamos a Microscopia de Força Atômica (AFM) e a Microscopia de Força Eletrostática (EFM) com o objetivo de investigar a morfologia e as propriedades elétricas de amostra do WS₂ e MoS₂. As medidas foram obtidas em monocamada, bicamada e tricamadas de WS₂ e MoS₂, em substrato de Si.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A amostra de WS₂ e MoS₂ foram obtidas por método de crescimento por deposição à vapor (CVD). As medidas de AFM foram obtidas em modo contato intermitente (*tapping*) e as medidas EFM foram obtidas em modo não contato. Todas as medidas foram realizadas com um sistema Asylum MFP-3D BIO em condições ambientes, utilizando uma ponta com típica de EFM com cobertura de Platino e Irídio, frequência nominal de 70 KHz e raio nominal de 12 nm. A polarização de 1V foi aplicada na condução da sondas EFM durante o modo “*lift*”. A elevação da ponta foi de 30 nm.

DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento da pesquisa se deu pela análise dos números de camadas, através das medidas de AFM e a presença de carga, através das medidas de EFM, baseando-se nas revisão bibliográfica citada acima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 (a) mostra a imagem de microscopia de força atômica (AFM) de uma região triangular de WS₂ seguido de seu respectivo traço AFM - fig 1(b), relativo a linha azul na fig 1(a). Percebemos que temos uma amostra no formato triangular com a formação de bordas com maior altura. Este fato indica que durante o processo de síntese por CVD, a amostra se formou das bordas para o centro.

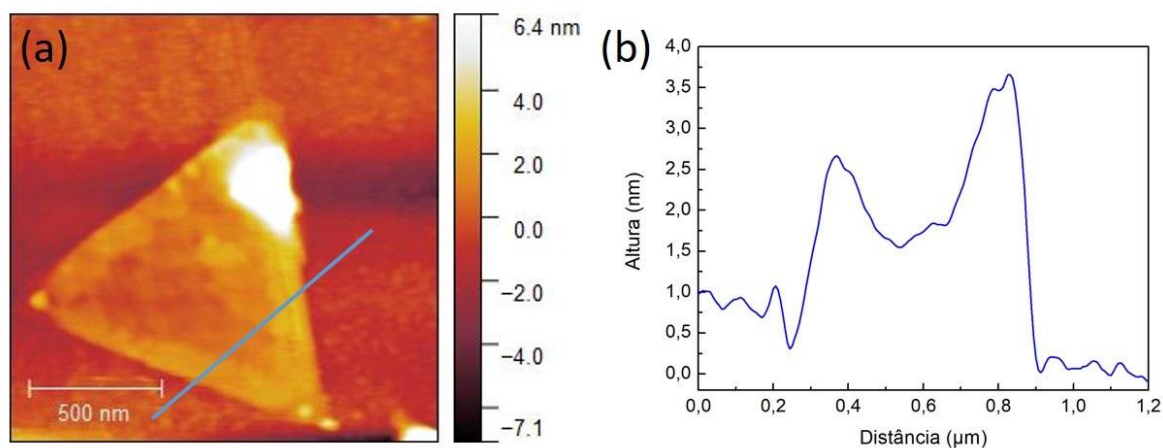


Figura 1: (a) Imagem AFM do WS₂ e (b) traço AFM relativo a linha azul na figura 1(a).

A Figura 2(a) mostra a imagem AFM do MoS₂ onde percebemos a presença de monocamada, bicamada, tricamada e multicamada de MoS₂ na mesma amostra. A fim de investigarmos a mudança no comportamento metálico para semicondutor com o aumento no número de camadas do MoS₂, seguimos para a realização das medidas de EFM.

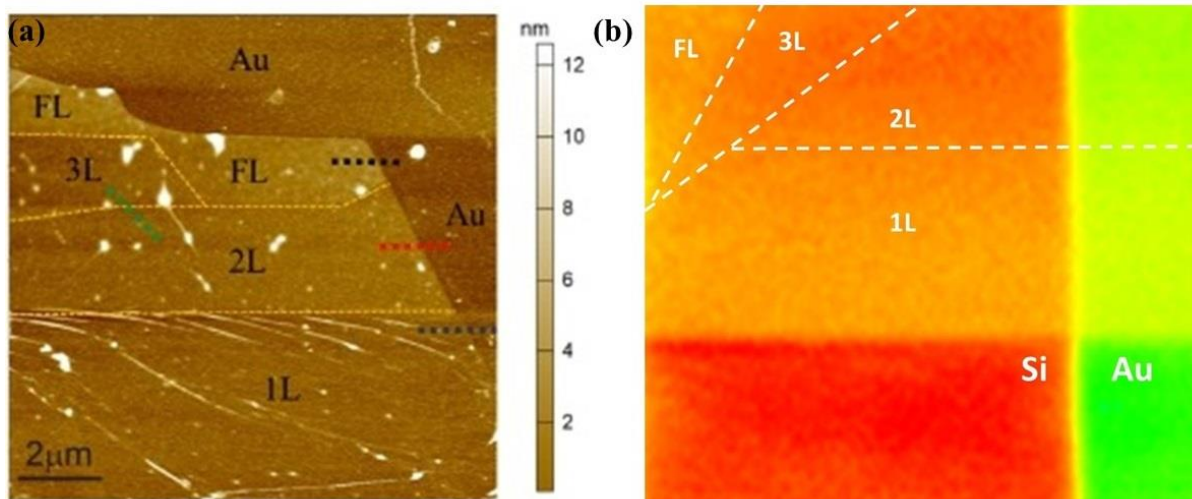


Figura 2: (a) Imagem AFM do MoS₂ e (b) Imagem EFM do MoS₂ relativo a figura 2(a).

A Figura 2(b) nos mostra a imagem EFM do MoS₂ nas regiões sobre o Si e sobre o Au. Da teoria do sinal elétrico das medidas EFM, o contraste da imagem EFM aumenta com o aumento na densidade superficial de cargas da amostra. Assim, o contraste da figura 2(b) que vai do verde para o vermelho, tem a cor verde sobre o Au, indicando a ausência de cargas superficiais, como esperado de um metal e o contraste vermelho sobre o Si, como esperado para um isolante. Assim podemos ver a suave mudança no contraste do verde para o verde amarelado na parte da amostra de MoS₂ monocamada e bicamada sobre o Au, indicando um caráter condutor. Já quando o MoS₂ está sobre o Si, podemos perceber que a monocamada apresenta um contraste tendendo mais para o amarelo do que a bicamada e a tricamada. Isto indica que mesmo sobre o Si, o MoS₂ mantém seu caráter metálico para monocamada, diferentemente da bicamada e tricamada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, utilizamos medidas de Microscopia de Força Atômica e Microscopia de Força Eletrostática para estudar a morfologia e propriedades elétricas do MoS₂ e WS₂. Através da análise das medidas de EFM em monocamada, bicamada e tricamada de MoS₂ podemos identificar a mudança do aspecto metal para semicondutor variando com o número de camadas. Como perspectiva para continuação do trabalho, podemos realizar a mesma análise de EFM para amostras com diferentes números de camadas de WS₂ e outras amostras de TMDCs.

Palavras-chave: Microscopia de Força Atômica, Microscopia de Força Eletrostática, Dissulfeto de Tungstênio, Dissulfeto de Molibidênio.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Binnig, C. F. Quate, Ch. Gerber, **Atomic Force Microscopy**. Phys. Rev. Lett. 56, 9, 1986.
- [2] Huiwen Du, Denghua Li, Yibing Wang, Chenxuan Wang, Dongdong Zhang, Yan-Lian Yang, and Chen Wang. **Determination of the Surface Charge Density and Temperature Dependence of Purple Membrane by Electric Force Microscopy**. Journal Physics Chemistry B (2013) 117, 9895–9899
- [3] PAUL GIRARD. **Electrostatic force microscopy: principles and some applications to semiconductors**. Nanotechnology. (2001) 12, 485–490.
- [4] Qing Hua Wang, Kouros Kalantar-Zadeh, Andras Kis, Jonathan N. Coleman, and Michael S. Strano. **Electronics and optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides**. Nat Nano, 7(11):699{712, Nov 2012.
- [5] Manish Chhowalla, Hyeon Suk Shin, Goki Eda, Lain-Jong Li, Kian Ping Loh, and Hua Zhang. **The chemistry of two-dimensional layered transition metal dichalcogenide nanosheets**. 5:263 EP, Mar 2013. Review Article.
- [6] Zongyou Yin, Hai Li, Hong Li, Lin Jiang, Yumeng Shi, Yinghui Sun, Gang Lu, Qing Zhang, Xiaodong Chen, and Hua Zhang. **Single-layer mos2 phototransistors**. ACS Nano, 6(1):74{80, 2012. PMID: 22165908.

- [7] Saptarshi Das, Hong-Yan Chen, Ashish Verma Penumatcha, and Joerg Appenzeller. **High performance multilayer mos2 transistors with scandium contacts**. Nano Letters, 13(1):100{105, 2013. PMID: 23240655.
- [8] Jen-Ru Chen, Patrick M. Odenthal, Adrian G. Swartz, George Charles Floyd, Hua Wen, Kelly Yunqiu Luo, and Roland K. Kawakami. **Control of schottky barriers in single layer mos2 transistors with ferromagnetic contacts**. Nano Letters, 13(7):3106{3110, 2013. PMID: 23746085.
- [9] Wei Liu, Jiahao Kang, Deblina Sarkar, Yasin Khatami, Debdeep Jena, and Kaustav Banerjee. **Role of metal contacts in designing high-performance monolayer n-type wse2_eld e_ect transistors**. Nano Letters, 13(5):1983{1990, 2013. PMID: 23527483.