

Microscopia de Tunelamento por Varredura (STM)

LUCAS DE OLIVEIRA LOPES (119757)

lucaslopes1@gmail.com

Instituto de Física "Gleb Wataghin" - UNICAMP

3 de dezembro de 2017

Resumo

Neste trabalho vou apresentar a técnica de microscopia de tunelamento por varredura e usá-la para analisar duas amostras conhecidas: ouro e grafite. Foi possível observar a granulação do ouro e calcular o parâmetro de rede do grafite, cujo valor obtido foi $a_{medido} = 0.141nm$.

I. INTRODUÇÃO

O microscópio de tunelamento por varredura (microscópio de corrente de tunelamento) STM consiste em um aparato no qual é possível obter imagens de estruturas atômicas e moleculares através de correntes de tunelamento, ou seja, produz uma resolução na ordem de Angstroms. Com esta resolução, os átomos individuais dos materiais são facilmente visualizados. A figura 1 é um exemplo de uma imagem de átomos de silício obtida utilizando STM.

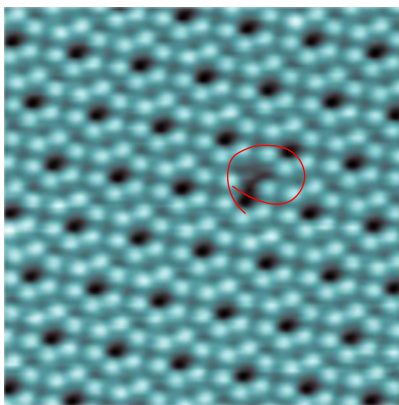


Figura 1: Imagem de uma amostra de silício obtida com STM.[8]

Uma das grandes vantagens do STM é sua pluralidade de ambientes de trabalho. Pode ser utilizado no vácuo, ar, água e diversos outros líquidos ou ambientes gasosos, e em grandes variações de temperaturas, tornando-a uma técnica muito versátil. Foi desenvolvida em 1981 e rendeu a seus inventores, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer (IBM Zürich), o Prêmio Nobel de

Física em 1986.

II. DETALHES EXPERIMENTAIS

O STM possui uma sonda apontada para uma superfície. Um computador, utilizando um servo, ajusta em tempo real a altura da ponta para manter uma corrente elétrica constante (uma corrente de tunelamento) e grava as mudanças de altura, o que permite reconstruir a superfície, figura 2. Existe também a opção de manter a altura da sonda fixa e gravar as oscilações de corrente para a construção da imagem, figura 3.

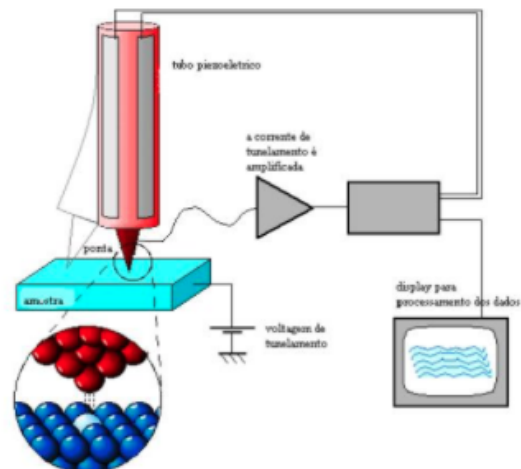


Figura 2: Ilustração dos componentes que constituem um STM. Amostra, ponta, amplificador (pois as correntes são muito baixas) e o computador que controla os servos e coleta dos dados [8]

O STM funciona utilizando como base o um fenômeno

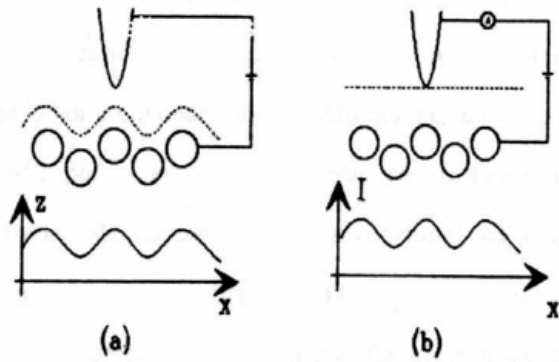


Figura 3: Possíveis formas de varredura de uma superfície. (a) corrente constante com variação de altura, (b) altura constante com variação de corrente. [4]

menor quântico chamado *efeito tunel* ou *tunelamento*. Classicamente, para uma partícula transpor uma barreira de potencial é necessário um mínimo de energia cinética, não sendo possível a transposição para energias com valor abaixo do mínimo. A partir de uma perspectiva quântica, uma partícula tem uma probabilidade finita de entrar em uma região classicamente proibida (barreira de potencial) e por isso, essa partícula pode tunelar através da barreira de potencial que separa duas regiões classicamente permitidas, figura 4.

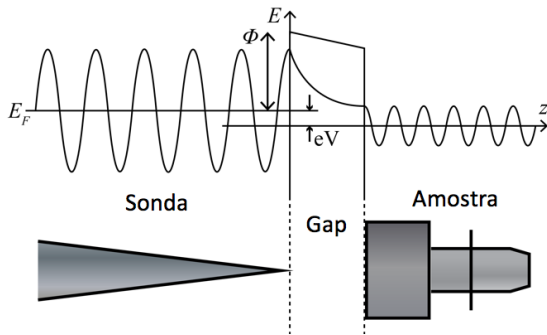


Figura 4: A ilustração mostra a barreira de potencial entre a sonda e a amostra. Note que elas estão em potenciais diferentes; E_F é a energia do elétron e ϕ é a função trabalho. [9]

A probabilidade de uma partícula, como um elétron, aparecer do outro lado de uma barreira de potencial pode ser obtida através da equação de Schrödinger, independente do tempo.

$$\left(\frac{-\hbar^2}{2m} \right) \frac{d^2\Psi(z)}{dz^2} - V(z)\Psi(z) = E\Psi(z) \quad (1)$$

onde \hbar é a constante de Planck normalizada $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; z é a variável unidimensional de posição; m é a massa do elétron; $\Psi(z)$ é a função de onda do elétron, sendo que $|\Psi(z)|^2$ apresenta a densidade de probabilidade da presença de um elétron em z ; por fim $V(z)$ é a energia potencial.

A probabilidade que o tunelamento ocorra dada uma situação é dada por um coeficiente de transmissão T . Assumindo que nosso gap vá de zero até a , podemos escrever

$$\begin{aligned} V(z) &= V_a, z > a \\ V(z) &= V_0, 0 < z < a \\ V(z) &= V_s, z < 0 \end{aligned}$$

Considerando as condições de contorno e aplicando nas devidas soluções temos

$$T \propto e^{-2\sigma a} \quad (2)$$

Onde $\sigma = \sqrt{\frac{2m(V_0 - E)}{\hbar}}$ e a é a largura da barreira.

A corrente I de tunelamento é proporcional a transmitância e pode ser escrita como

$$I = V e^{-A\sqrt{\phi}z} \quad (3)$$

Onde V é o potencial de polarização; ϕ é a altura da barreira de potencial, função dos materiais com que são feitas a sonda e a amostra; z é a distância entre a amostra e a sonda; $A \approx 1.025(eV)^{1/2}A^{-1}$ no vácuo ou ar. Essa equação quando linearizada nos permite encontrar a função trabalho do material.

Utilizamos o equipamento *NanosurfEasyScan2* representando na figura 5

Um detalhe muito importante é a sonda (ponta). Uma ponta ideal deveria conter apenas um átomo em sua extremidade, porém isso é inviável considerando os recursos de um laboratório de ensino. Nossa ponta possui 0,25mm de diâmetro com 1 cm de comprimento, onde produzimos uma extremidade mais aguda possível através de tração e cisalhamento.



Figura 5: Microscópio por corrente de tunelamento (STM) Nanosurf easyScan 2 [7].

Primeiramente fixa-se a amostra e a ponta (sonda) em seus respectivos suportes como mostram as figuras 6 7 .

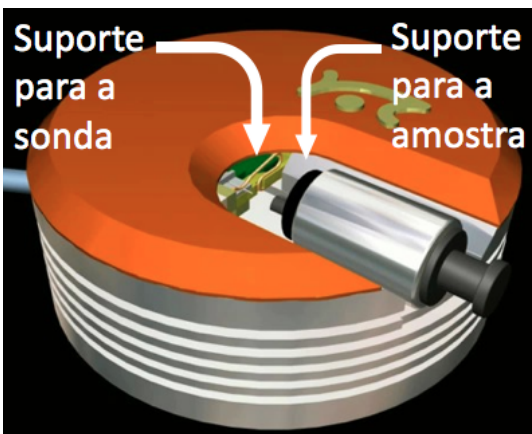


Figura 6: Ilustração dos suportes para a sonda e amostra no microscópio por corrente de tunelamento (STM) Nanosurf EasyScan 2 [5].

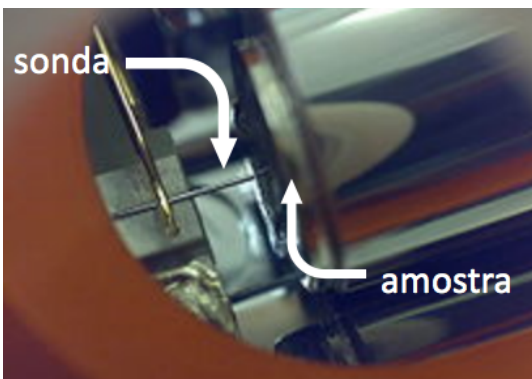


Figura 7: Foto da sonda e da amostra fixas em seus suportes no Microscópio por corrente de tunelamento (STM) Nanosurf EasyScan 2 [6].

Após a montagem, aproximamos a amostra da ponta observando a distância através de uma lupa sem que elas se toquem. Nesse momento iniciamos

uma rotina no computador onde um servo controlará a aproximação até que a corrente entre a ponta e amostra seja de 1nA, isso significa que a distância entre elas estaria na ordem de angstroms. Nesse momento inicia-se a varredura, porém a ponta provavelmente estará posicionada de uma forma a gerar erros na medição e através do software é possível fazer a correção. Feito isso será gerada uma imagem na superfície conforme a amostra se movimenta em relação ao sensor (no caso de nosso equipamento).

Analisamos uma amostra de grafite e uma amostra de ouro. Conhecendo previamente o equipamento e as amostras esperávamos construir imagens semelhantes às figuras 8 9.

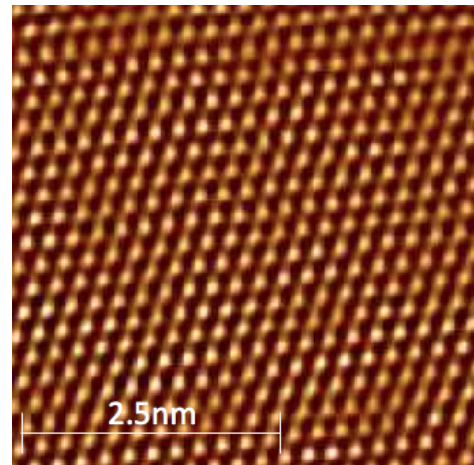


Figura 8: Imagem de referência para o grafite - Laboratório de Filmes Finos - IF - USP - [3]

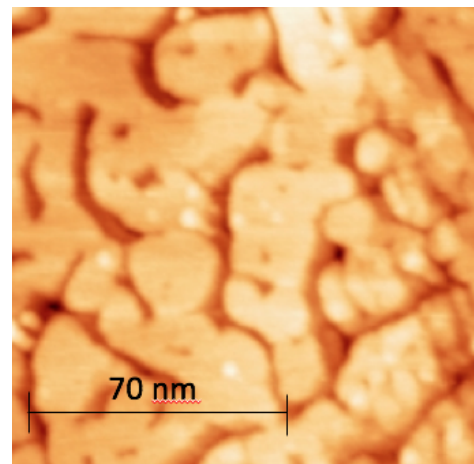


Figura 9: Imagem de referência para o ouro - Laboratório de Filmes Finos - IF - USP - [3]

III. NOTA DE ESCLARECIMENTO

Antes da análise dos dados quero deixar o leitor ciente de que a discussão apresentada a seguir não será feita a partir de dados trabalhados por mim e esclarecer o motivo desse fato.

A princípio apenas as medidas do grafite seriam feitas em parceria com meus colegas de turma Henrique Brolezi e Vinicius Colombo, devido a dificuldade de se conseguir uma boa imagem com a amostra de grafite que tínhamos. Porém meu parceiro de culpa, Rodrigo Leon, que ficou responsável por me enviar os dados aparentemente desistiu do curso e todas as minhas tentativas de contato foram sem sucesso. Este evento me deixou com dificuldades para continuar o trabalho.

Pelo fato do experimento ser delicado e considerando a falta de tempo de todos os envolvidos na disciplina para uma nova aquisição de dados, meu colega Vinicius Colombo cedeu-me suas imagens para que eu tivesse algo para trabalhar. Fica aqui registrado meu muito obrigado por sua gentileza.

IV. RESULTADOS, ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente trabalhamos com a amostra de grafite. A figura 10 foi obtida a partir de dados coletados por mim, mas trabalhados pelos colegas Vinicius Colombo e Henrique Brolezi. Os parâmetros utilizados foram: Set-Point = 1nA , I-Gain = 2000 , P-Gain = 1500 , Tip-Gain = 50mV , Time/Line = 0,5s , Image-size = 4,5nm e Point/Line = 256 como indicado no manual.

Note que a nitidez da imagem está bem distante da nossa referência, figura 8, mas ainda sim, com um pouco de esforço, foi possível identificar as estruturas hexagonais que formam o grafite. Com a ajuda de um software foi possível colher uma série de valores para parâmetro de rede do grafite e calcular sua média. O valor obtido para o parâmetro de rede foi $a_{medido} = 0.141nm$ bem próximo do valor conhecido $a_{medido} = 0.14nm$. Como tive acesso apenas as imagens e ao resultado final não foi possível estimar um erro para a medida ou calcular o valor da função trabalho $\psi_{grafite}$.

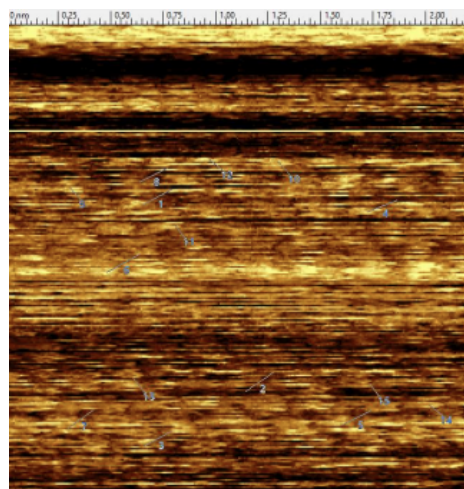


Figura 10: Imagem produzida a partir da amostra de grafite utilizando o microscópio por corrente de tunelamento (STM) Nanosurf easyScan 2 - tamanho da imagem: 9nm × 9nm

A segunda amostra foi o ouro. As figuras 11, 12 e 13 foram obtidas a partir de dados coletados pelos colegas Vinicius Colombo e Henrique Brolezi. Os parâmetros utilizados foram: Set-Point = 1nA , Tip-Gain = 50mV , Time/Line = 0,3s. Na tentativa de melhorar o detalhamento 3 imagens foram produzidas com diferentes áreas de varredura: 200nm × 200nm, 75nm × 75nm e 9nm × 9nm para as figuras 11, 12 e 13 respectivamente. A melhor imagem está apresentada na figura 13 pois nela podemos observar, apenas em parte da imagem, a granulação do ouro.

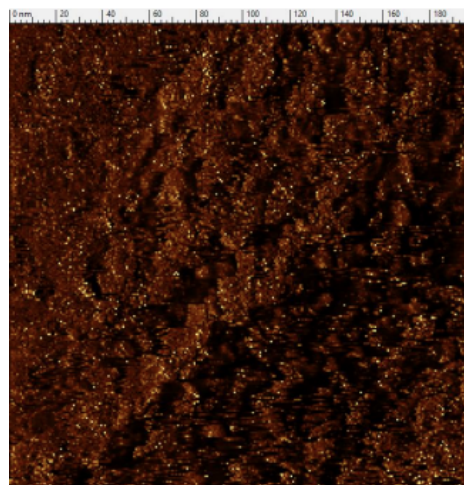


Figura 11: Imagem produzida a partir da amostra de ouro utilizando o microscópio por corrente de tunelamento (STM) Nanosurf easyScan 2 - tamanho da imagem: 200nm × 200nm

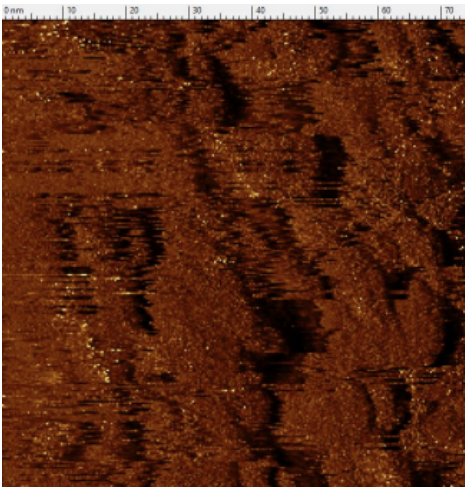


Figura 12: Imagem produzida a partir da amostra de ouro utilizando o microscópio por corrente de tunelamento (STM) Nanosurf easyScan 2 - tamanho da imagem: 75nm × 75nm

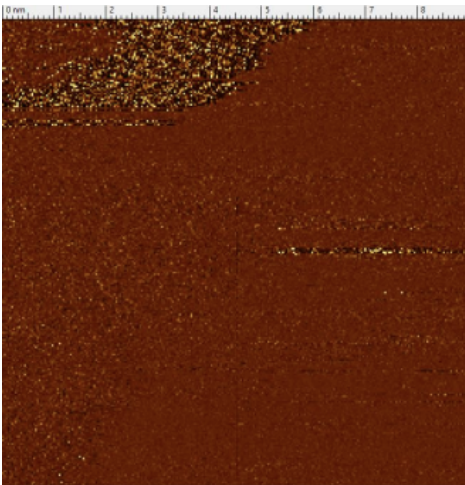


Figura 13: Imagem produzida a partir da amostra de ouro utilizando o microscópio por corrente de tunelamento (STM) Nanosurf easyScan 2 - tamanho da imagem: 9nm × 9nm

REFERÊNCIAS

- [1] Tipler, Llewelly, Modern Physics, 2008, 5ed;; ✓
- [2] Eisberg, R. M., Resnick, R., Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos e Partículas, Editora Campus, 1979; ✓
- [3] <http://fap.if.usp.br/lff/spm.html> ✓
- [4] <http://www.dsif.fee.unicamp.br/furio/IE607A/STMAFM.pdf> ✓ fu-
- [5] <https://weconfigurethisout.org/VL/Virtualinstruments/easyScanSTM/bitmaps/easyScanSTMintro.jpg> ✓
- [6] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Microsc%C3%B3piodecorrentedetunelamento> ✓
- [7] Manual de instruções NanoSurf "Operating Instructions – EasyScan 2 STM version 2.2" ✓
- [8] <http://slideplayer.com.br/slide/359057/> ✓
- [9] <https://www.maths.tcd.ie/bmurphy/thesis/thesis3.html> ✓

V. CONCLUSÃO

No experimento aprendemos, de forma introdutória, a trabalhar com o microscópio por corrente de tunelamento (STM) Nanosurf easyScan 2, vimos que seu funcionamento tem como base o tunelamento de elétrons entre uma amostra e uma sonda de varredura. Com o equipamento construímos imagens de uma amostra de grafite e do ouro que ficaram um pouco distantes de nossas imagens de referência, mas razoáveis. Com elas foi possível determinar o parâmetro de rede do grafite $a = 0.141\text{nm}$ e visualizar a granulação do ouro.

como obtive este valor?