

PROJETO DE UM MICROSCÓPIO DE TUNELAMENTO PARA DEMONSTRAÇÕES ACADÊMICAS UTILIZANDO ARDUÍNO®

Gabriel M. Vieira^{1*}, Rafael S. Lopes², Maximiliano D. Martins³

1. Estudante de IC do Centro de Desenvolvimento de Tecnol. Nuclear (CDTN)

2. Estudante de doutorado do CDTN

3. Professor orientador – pesquisador titular do CDTN

Resumo:

A invenção do microscópio de tunelamento (*Scanning Tunneling Microscope*, STM) revolucionou a pesquisa no campo da nanociência, possibilitando a investigação de características topográficas, eletrônicas e magnéticas da superfície de um material. Em muitos casos este instrumento é capaz de produzir imagens de uma superfície com resolução atômica

Contudo, devido a diversos fatores, principalmente relacionados com os fenômenos físicos envolvidos na técnica, o projeto e a construção de tais instrumentos não são triviais. Esta complexidade se traduz em equipamentos comerciais de elevado custo, o que impossibilita, muitas vezes, que instituições de ensino e pesquisa disponham de um STM em suas instalações.

Foi com o propósito de desenvolver um equipamento STM acessível para a realidade econômica de escolas, faculdades e universidades brasileiras que a equipe do LabNano/CDTN se empenhou nesse projeto, no qual a utilização da plataforma livre Arduino® é parte essencial.

Palavras-chave:

Microscopia de Tunelamento; Instrumentação; Arduino.

Apoio financeiro:

CNPq, CAPES e FAPEMIG.

Introdução:

A invenção do microscópio de varredura por tunelamento (*Scanning Tunneling Microscope* – STM) [1, 2], por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer em 1981, é considerado um marco fundamental na evolução do conhecimento da matéria na dimensão nanométrica e atômica. Isso porque o STM é uma técnica de microscopia com poder de resolução para “ver” a matéria em sua estrutura atômica. Além disso, ele também possibilitou a manipulação da matéria na escala nano, permitindo pela primeira vez a construção de estruturas átomo a átomo [3].

De modo muito simples, pode-se descrever um STM como um dispositivo constituído de uma ponta metálica muito fina que é aproximada da superfície da amostra (um metal ou semimetal). Quando a separação é muito pequena (da ordem de poucos nanômetros) e aplica-se uma tensão de polarização entre estes dois eletrodos (ponta e amostra), é possível observar uma corrente elétrica. A origem desta corrente está relacionada ao fenômeno do tunelamento quântico dos elétrons através da barreira formada pelo meio não condutor (ar ou vácuo) entre a ponta e a amostra.

Considerando princípios da física quântica, a corrente de tunelamento através de uma barreira de potencial unidimensional de dimensão d pode ser expressa por $I(d) \propto e^{-kd\sqrt{\phi}}$, onde k é uma constante e ϕ , a função trabalho [4]. Substituindo valores típicos para os materiais nesta expressão, resulta que para uma mudança na dimensão d equivalente ao tamanho de um átomo (da ordem de décimos de nanometro) a corrente de tunelamento sofre uma variação de aproximadamente dez vezes. Tal variação permite a construção de um instrumento capaz de atingir resolução espacial atômica, ou seja, capaz de “ver” átomos individualmente na superfície de uma amostra.

Via de regra, obter imagens com resolução atômica exige instrumentação com elevado nível de complexidade: circuitos eletrônicos com baixíssimo nível de ruído elétrico, o experimento deve ser realizado em um ambiente livre de contaminação (ambiente de ultra alto vácuo). Este nível de sofisticação se reverte em um custo bastante elevado para os instrumentos de uso científico.

O objetivo deste trabalho foi construir um microscópio de tunelamento de baixo custo de modo a fornecer uma ferramenta acessível de nano microscopia. Além disso, também pode ser usado como uma ferramenta de ensino para a demonstração experimental do fenômeno de tunelamento dos elétrons, tanto em cursos de nível superior como para alunos do ensino médio. Por este motivo, é chamado de *STM Acadêmico*.

Metodologia:

A formação da imagem pelo STM é obtida pelo mapeamento da corrente de tunelamento ao longo da superfície da amostra. De modo a varrer a superfície da amostra (plano xy), a ponta condutora é montada sobre um conjunto de cerâmicas piezoelétricas (PZT). Este material permite descolamentos da ponta com passos tão diminutos quanto alguns décimos de nanômetros. O perfil topográfico da superfície da amostra é obtido registrando-se a posição z da sonda (direção normal ao plano da amostra), a medida que ela é movimentada ao longo da superfície, enquanto um circuito de realimentação mantém a corrente de tunelamento constante. Este modo de operação do STM é chamado modo de corrente constante ou modo topográfico.

A estrutura de um STM é composta basicamente de três estruturas: (i) a estrutura mecânica; (ii) a interface eletrônica de controle e (iii) um software de controle, registro e análise de imagens.

A estrutura mecânica do STM é composta por um sistema de amortecimento de vibrações, que mantém o instrumento estável, sem interferências externas, enquanto uma imagem é coletada. Esta estrutura é a base para a montagem do porta-amostras e do sistema de varredura (Scanner). Um problema adicional a ser resolvido na estrutura mecânica é a aproximação da ponta, que fica inicialmente estacionada em uma posição segura e distante da amostra. Tipicamente a aproximação da ponta é feita por um motor piezoelétrico acoplado ao sistema porta-amostra.

A arquitetura da estrutura mecânica do STM Acadêmico é baseada em desenho tipo Beetle de deslocamento linear [5, 6]. A ponta condutora é montada sobre um tubo piezoelétrico (PZT), que realiza o movimento de varredura. O conjunto do scanner é montado sobre três outros PZTs que fazem a movimentação de todo o scanner com relação a amostra, montado sobre um suporte fixo. A figura 1 mostra uma foto da montagem do STM Acadêmico. Na parte superior, ainda na posição de estacionamento, temos scanner do STM Acadêmico, e na parte inferior o porta-amostra.

A interface de controle eletrônica é composta por dois módulos: o microcontrolador responsável por comandar o STM e uma unidade eletrônica de tratamento de sinais. A corrente de tunelamento, tipicamente na faixa de nanoampere, é tratada por um pre-amplificador de corrente. Os sinais de controle são tratados por um amplificador e

polarizam as cerâmicas piezoelétricas de movimentação da ponta.

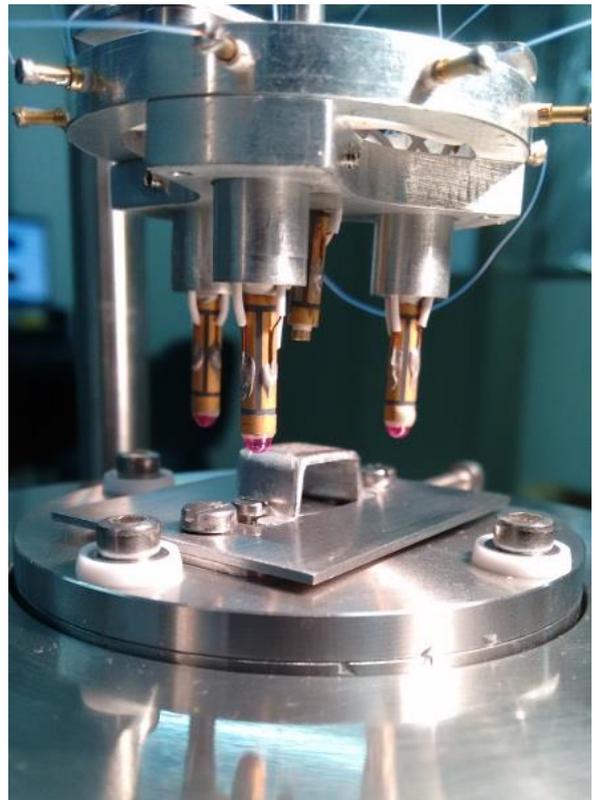


Figura 1: Foto mostrando o Scanner (tipo Beetle) do microscópio STM projetado no LabNano/CDTN.

A interface de controle eletrônica do STM Acadêmico utiliza uma interface microcontrolada Arduino Due® e toda sua comunicação com o computador é feita via interface USB, via protocolo IDE. A unidade de tratamento de sinais é composta de um pre-amplificador e de uma unidade de amplificação de 6 canais, ambos projetados e construídos no LabNano.

O software para comando do STM e processamento de imagem foi implementado em C#, trabalhando em conjunto com o programa de controle da interface Arduino.

Resultados e Discussão:

O STM Acadêmico aqui apresentado é um sub-produto de um projeto de pesquisa de longo prazo desenvolvido no LabNano/CDTN [7]. O grupo é coordenado pelo Prof. Maximiliano D. Martins, do Serviço de Nanotecnologia (SEMAN) do CDTN, e conta com alunos de doutorado, mestrado e estagiários no programa de iniciação científica do CDTN.

Toda a montagem do STM acadêmico foi recentemente finalizada. Testes feitos no sistema de aproximação, aquisição de dados e formação de imagem foram bem sucedidos.

Foram realizadas medidas de STM em

uma amostra padrão de grafite pirolítica (HOPG) que confirmaram o bom funcionamento do equipamento desenvolvido.

Conclusão:

A partir do bom funcionamento de todos os sistemas presentes no STM acadêmico e da formação de imagem da superfície do HOPG, concluímos que o objetivo de se desenvolver um STM a baixo custo, utilizando-se microcontrolador Arduíno, foi atingido.

O baixo custo unido à simplicidade e robustez da montagem apresentada, são características ideais para sua instalação em laboratórios de escolas secundárias e até mesmo de faculdades, tornando-o um equipamento viável ao objetivo final do projeto.

Referências bibliográficas:

- [1] G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, E. Weibel, Phys. Rev. Lett. 49 (1982) 57.
- [2] G. Binnig, H. Rohrer, Rev. Mod. Phys. 59 (1987) 615.
- [3] D. M. Eigler, E. K. Schweizer, Nature 344 (1990) 524.
- [4] C. J. Chen, Introduction to Scanning Tunneling Microscopy, OUP, New York, 2008.
- [5] J. M. MacLeod, Antje Moffat, J. A. Miwa, G. K. Mullins, R. H. J. Dumont, G. E. Constant, A. B. McLean, Rev. Sci. Instrum. 74 (2003) 2429.
- [6] J. A. Miwa, J. M. MacLeod, Antje Moffat, A. B. McLean, Ultramicroscopy 98 (2003) 43.
- [7] Rafael S. Lopes, Desenvolvimento de um microscópio de varredura por tunelamento operado em ultra alto vácuo, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação do CDTN/CNEN, 2013.