

Fabricação e caracterização microestrutural e elétrica de filmes finos de TiO₂

Vitor Alves da Cruz¹, Eliane de Fátima Chinaglia²

^{1,2} Centro Universitário FEI

vitoralves_12@hotmail.com; echinaglia@fei.edu.br

Resumo: Este projeto tem como objetivo caracterizar a microestrutura de filmes finos de Ti e TiO₂, depositados sobre silício e fabricados por Sputtering Magnetron DC. A morfologia foi obtida pela Microscopia de Força Atômica (AFM), a espessura e a estequiometria por Rutherford Backscattering Spectroscopy (RBS) e a resistividade elétrica foi feita pelo método das quatro pontas utilizando um dedo frio.

1. Introdução

Entende-se por filme fino uma camada de material na faixa de nanômetros de espessura. No setor de nanotecnologia, é crescente a utilização de filmes finos em memristores. Um memristor é um componente com um comportamento similar ao do resistor, porém possui o diferencial de “lembrar do passado”, isso significa que ele funciona como uma memória não-volátil, daí sai seu nome: uma junção de memória com resistor [1].

Em 1971, Leon Chua percebeu que estava faltando algo ao estudar como as quatro variáveis básicas de um circuito (tensão, corrente, carga e fluxo) se relacionam com os três elementos básicos de um circuito (resistores, capacitores e indutores).

Cada um dos três blocos básicos da eletrônica se relaciona com duas das quatro propriedades eletrônicas dos circuitos, criando uma cadeia que conecta a carga ao fluxo por meio da tensão e da corrente. Mas a matemática não-linear de Chua mostrava que deveria haver um quarto componente, capaz de ligar diretamente fluxo e carga e então batizou esse “elo perdido” de memristor [2].

2. Metodologia

Para realizar a fabricação dos filmes foi utilizado o Sputtering Magnetron ATC 2000, no qual foram feitas oito séries de deposição em substrato de silício com orientação (100), variando-se três parâmetros: tempo de deposição (de 5 minutos até 50 minutos), pressão parcial do gás de trabalho argônio (1,0; 5,0 e 10mTorr) e composição dos filmes (Ti e TiO₂).

A análise da espessura foi obtida por RBS, onde as amostras foram bombardeadas com íons de He⁺ com uma energia de 2,2 MeV. A energia dos projéteis retroespalhados pelo material do alvo foi medida por um detector e assim é gerado um espectro

Com o AFM foram feitas as caracterizações da morfologia com diferentes áreas de varredura, como a análise da rugosidade e também foram feitas medidas de espessura para serem comparadas com as medidas feitas no RBS.

As medidas de resistividade elétrica foram feitas pelo método das quatro pontas, onde uma corrente foi passada por dois terminais e nos outros dois foi medida a

voltagem. As medições foram feitas no intervalo de temperaturas de 10,0K até 300,0K.

3. Resultados

Na figura 1, é possível observar que a rugosidade de uma mesma amostra aumenta conforme aumenta o tamanho de varredura. Isso pode ser explicado pelo fato de que, quando se analisa uma área maior do filme, o padrão de rugosidade é alterado, uma vez que não é possível observar os padrões da microestrutura granular dos filmes. Na figura 2, é possível observar uma imagem de uma amostra de titânio com 146nm de espessura de varredura de 0,5µm.

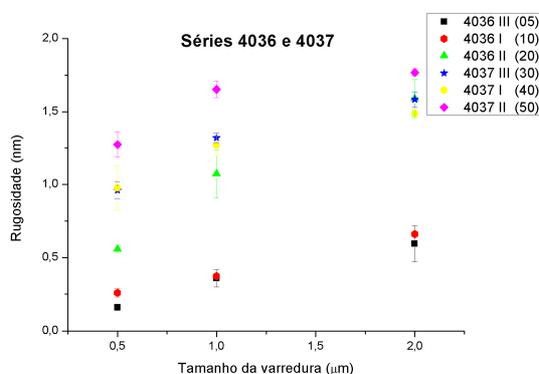


Figura 1 – Variação da rugosidade de amostras de titânio em função do tamanho da varredura no modo contato.

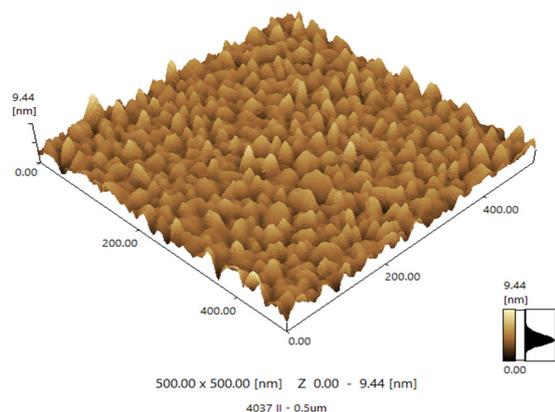


Figura 2 – Imagem da morfologia da amostra 4037 II com espessura de 146nm e com varredura de 0,5µm.

Na tabela 1, é possível observar a comparação entre a espessura obtida com o RBS e a espessura obtida com o AFM. Os valores dos erros estão abaixo de 6%, o que confirma a sua proximidade e consequentemente a veracidade que os dois métodos proporcionam.

Amostra	RBS(nm)	AFM (nm)	Erro
4036 III	14	14	0,0%
4036 I	30	30	0,0%
4036 II	59	62	5,0%
4037 III	93	91	2,2%
4037 I	120	125	4,2%
4037 II	146	144	1,4%

Tabela 1 – Comparação dos dados obtidos no RBS e no AFM.

Na figura 3 é possível observar que, para um mesmo tamanho de varredura, a rugosidade aumenta conforme aumenta a sua espessura. Esse aumento está associado ao desenvolvimento da microestrutura granular. Na figura 4 é possível observar uma imagem de espessura da amostra 4037 II de titânio com 50 minutos de deposição.

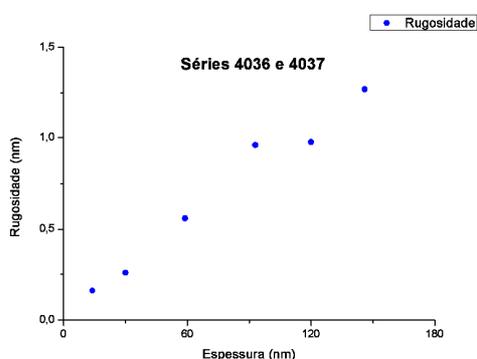


Figura 3 – Variação da rugosidade de amostra de titânio em função da espessura.

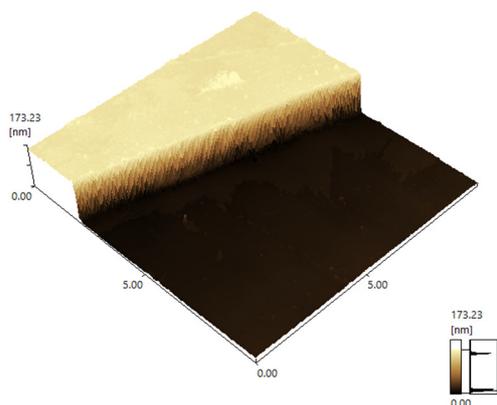


Figura 4 – Imagem da espessura da amostra de titânio 4037 II com 50 minutos de deposição.

A figura 5 mostra como varia a resistência da amostra 4045 III, com vinte minutos de deposição de titânio em silício e pressão parcial de 1,0mTorr. Nessa imagem é possível ver que a resistência do titânio tende a diminuir até certo ponto entre 75k e 100k e volta a aumentar conforme sua temperatura diminui. Esse aspecto é chamado de transição de fase metal-isolante, onde material possui uma fase metal (condutora), referente ao intervalo em que a resistência diminui

conforme a temperatura diminui, e uma fase isolante, referente ao intervalo que a resistência aumenta conforme sua temperatura diminui [3].

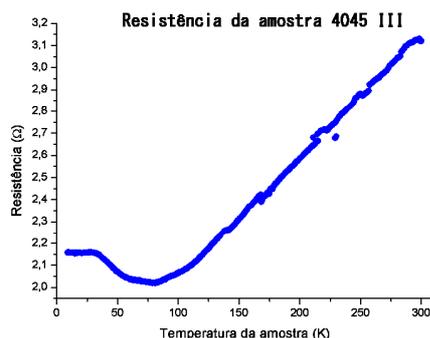


Figura 5 – Variação da resistência da amostra 4045 III de titânio depositada sobre silício a pressão parcial de 1,0mTorr.

4. Conclusões

Pode-se concluir que, para se obter resultados mais característicos da microestrutura, é necessário fazer imagens com varreduras menores, uma vez que, com varreduras maiores, os padrões da microestrutura granular não são observados e consequentemente sua rugosidade não pode ser avaliada.

Das análises de espessura é possível confirmar que os dois métodos (RBS e AFM) são válidos para essas medidas e que, conforme a microestrutura dos filmes se desenvolve, sua rugosidade aumenta.

É possível concluir, das medidas elétricas, que o titânio muda seu comportamento de condução elétrica conforme é submetido a diferentes de temperaturas e para de ser condutor e se torna isolante em um fenômeno chamado de transição de fase metal-isolante.

5. Referências

- [1] MURALI, Santosh et al. Resistive switching in zinc-tin-oxide. In: CALLEJA, Enrique et al. **Solid-State Electronics: An International Journal**. Seattle: Elsevier, 2013. p. 248-252.
- [2] QIANFEI Xia, Warren Robinell, Michael W. Cumbie, Neel Banerjee, Thomas J. Cardinali, J. Joshua Yang, Wei Wu, Xuema Li, William M. Tong, Dmitri B. Strukov, Gregory S. Snider, Gilberto Medeiros - Ribeiro, R. Stanley Williams, "Memristor-CMOS Hybrid Integrated Circuits for Reconfigurable Logic" *Nanno Letters* 9 (2009) 3640-3645.
- [3] OHRING, Milton. **MATERIALS SCIENCE OF THIN FILMS: DEPOSITION & STRUCTURE**. 2. ed. New Jersey: Academic Press, 2001.

Agradecimentos

A professora doutora Eliane Chinaglia, por toda paciência, apoio e conteúdo adquirido neste projeto. Ao Centro Universitário FEI, pelo apoio financeiro e toda sua infraestrutura disponibilizada. Ao Instituto de Física da USP, pela disponibilidade dos equipamentos.

¹ Aluno de Iniciação Científica do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 11/16 a 10/17.