

CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE FILMES FINOS DE Ti E TiO₂

Vitor Alves da Cruz¹, Sueli Hatsumi Masunaga², Eliane de Fátima Chinaglia³
^{1,2,3} Departamento de Física, Centro Universitário FEI
 vitoralves_12@hotmail.com¹, smasunaga@fei.edu.br², echinaglia@fei.edu.br³

Resumo: Este projeto tem como objetivo caracterizar eletricamente filmes finos de Ti e TiO₂, depositados sobre silício e fabricados por Sputtering Magnetron DC. A espessura foi obtida por Rutherford Backscattering Spectroscopy (RBS) e a resistividade elétrica foi feita pelo método das quatro pontas utilizando um cryocooler.

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 vem o 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 seis 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 o espectro gerado foi posteriormente analisado.

As medidas de resistividade elétrica foram feitas pelo método das quatro pontas, onde foram feitos quatro contatos em fileira ao longo da amostra com cola de prata. Uma corrente foi passada pelos dois terminais mais externos enquanto um voltímetro media a voltagem nos dois terminais internos, como é possível

observar na Figura 1. As medições foram feitas no intervalo de temperaturas de 10K até 300K.

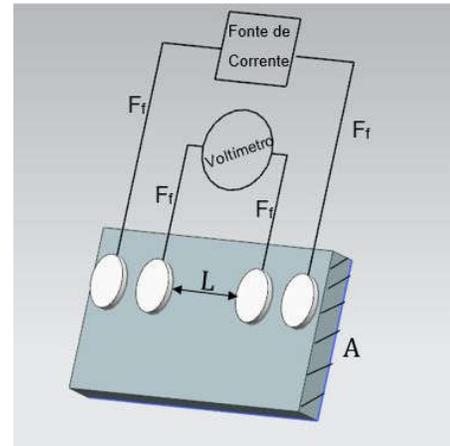


Figura 1 – Representação do método das 4 pontas.

3. Resultados

Apesar de parecerem muito similares, a resistência e a resistividade possuem uma grande diferença. A resistência é uma propriedade do dispositivo enquanto a resistividade é uma propriedade do material.

Primeiramente foi analisada a resistividade em função da espessura dos filmes, a qual aumenta conforme aumenta o tempo de deposição. A resistividade foi obtida através da fórmula (1) e os dados podem ser observados na tabela I.

$$\rho = (R.A)/L \quad (1)$$

Tabela I – Valores das resistências e resistividades.

| Unidades: | [mm] | [10 ⁻¹⁰ m ²] | [Ω] | [μΩ.m] |
|-----------|------|-------------------------------------|-------------|---------------|
| | L | Área | Resistência | Resistividade |
| 4036 (05) | 1 | 0,42 | 23,6 | 0,989 |
| 4036 (10) | 2 | 0,90 | 21,5 | 0,967 |
| 4036 (20) | 1 | 1,8 | 5,5 | 0,965 |
| 4037 (30) | 1 | 2,8 | 4,1 | 1,14 |
| 4037 (40) | 1 | 3,6 | 3,6 | 1,31 |
| 4037 (50) | 1 | 4,4 | 2,5 | 1,08 |

O valor médio da resistividade é de 1,08 μΩ.m, com desvio padrão de 0,13 μΩ.m. É possível observar que os valores de resistividade são muito próximos pelo seu desvio, uma vez que este começa na primeira casa decimal. Assim, por mais que a área da seção transversal e a resistência varie, a resistividade se

manteve aproximadamente a mesma, validando a afirmação de que a resistividade é uma propriedade do material.

A segunda parte consiste em analisar o coeficiente de temperatura (α) entre os valores de 300K até 100K. Os dados foram obtidos pela fórmula (2) e podem ser vistos na tabela II. O erro da tabela está referenciado com o valor de $0,0038 \text{ K}^{-1}$, obtido pelo site Good Fellow [3].

$$\alpha = (\rho - \rho_0) / [\rho_0 \cdot (T - T_0)] \quad (2)$$

Tabela II - Valores dos coeficientes de temperatura.

| Unidades: | [nm] | [K ⁻¹] | |
|-----------|-----------|--------------------|------|
| Amostra | Espessura | Alfa | Erro |
| 4036 (05) | 14 | 0,0032 | 16% |
| 4036 (10) | 30 | 0,0034 | 11% |
| 4036 (20) | 59 | 0,0031 | 18% |
| 4037 (30) | 93 | 0,0033 | 13% |
| 4037 (40) | 120 | 0,0033 | 13% |
| 4037 (50) | 146 | 0,0031 | 19% |

Com os valores dos erros, é possível observar que o coeficiente de temperatura também é uma propriedade inerente ao material e independe do dispositivo analisado, uma vez que o erro teórico foi inferior a 20%.

A última parte a ser abordada diz respeito a transição de fase metal-isolante. A figura 2 retrata esse fenômeno. Nessa imagem é possível ver que a resistência do titânio tende a diminuir até certo ponto próximo de 150 K e volta a aumentar conforme sua temperatura diminui. O material possui uma fase metálica (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 [4].

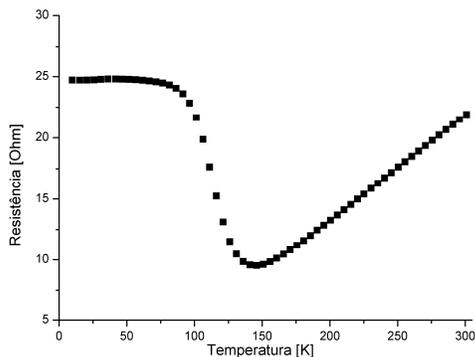


Figura 2 – Transição de fase metal-isolante.

A imagem é referente a amostra com 10 minutos de deposição e espessura de 30nm. É interessante notar que essa transição ocorreu apenas nas amostras de menor espessura. A figura 3 mostra a variação da série 4037, com os tempos de deposição 30, 40 e 50 minutos.

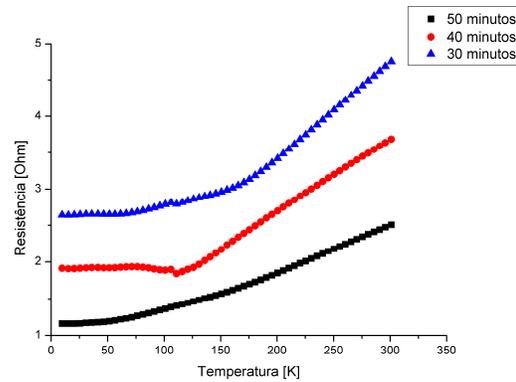


Figura 3 – Variação da resistência da série 4037.

Segundo Gerstenberg [5], o fator que pode ter influenciado para que essas transições ocorressem em filmes de menor espessura são as impurezas. Em filmes de menor espessura, qualquer impureza já corresponde a uma grande porcentagem do material, alterando assim o livre caminho médio dos elétrons. Essas impurezas podem ser resultado de oxidações ou interações residuais com a atmosfera.

4. Conclusões

Foi possível observar as diferenças entre propriedades inerentes ao material como resistividade e coeficiente de temperatura, assim como as propriedades do dispositivo como a resistência. Além disso, foram discutidos alguns aspectos da 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] <http://www.goodfellow.com>
- [4] OHRING, Milton. **MATERIALS SCIENCE OF THIN FILMS: DEPOSITION & STRUCTURE**. 2. ed. New Jersey: Academic Press, 2001.
- [5] D. GERSTENBERG, *Ann. Phys.*, 11(1963) 354

Agradecimentos

À instituição Centro Universitário FEI pela realização das medidas e a Professora doutora Sueli Masunaga pelo apoio e conteúdo adquirido neste projeto.

¹ Aluno de Iniciação Científica do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 02/18 a 01/19.