



XXX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica
19 a 23 de agosto de 2024, Uberaba, Minas Gerais, Brasil

VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO POR PLASMA PARA CRIAÇÃO DE FILMES FINOS DE ÓXIDO DE ZINCO PARA CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE ÓXIDO DE COBRE E ÓXIDO DE ZINCO

Maria Júlia Fernandes, d202211094@uftm.edu.br¹
João Vitor Pereira Silva, d202010287@uftm.edu.br¹
Rogério Valentim Gelamo, professor orientador¹

¹Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciência e Tecnologia Av. Randolfo Borges Júnior, 1400 - Univerdecidade, Uberaba - MG, CEP 38064-200

Resumo. O projeto em questão visa o estudo e aprofundamento referente ao processo de fabricação de filmes finos de ZnO por meio da deposição por plasma/sputtering findando somar os resultados com um segundo estudo voltado para o CuO para a produção de células fotovoltaicas funcionais. A variação de resultados gerada pelas iterações combinatórias de parâmetros de deposição como a temperatura, pressão parcial de Ar e O₂ e o tempo de deposição, quando caracterizada através de medidas UV-VIS, FTIR, DRX e medidas elétricas pelo método de 4 pontas, todas passíveis de serem realizadas na UFTM, tende a gerar resultados relevantes para a aplicação final em células fotovoltaicas, possibilitando uma análise comparativa entre os rendimentos das células obtidas, entre si e também com células comerciais.

Palavras chave: Sputtering, Célula Fotovoltaica, ZnO, CuO, Medidas Elétricas.

Abstract. The project in question aims to study and deepen the process of manufacturing ZnO thin films through plasma/sputtering deposition, ending up adding the results to a second study focused on CuO for production of functional photovoltaic cells. The variation in results generated by the combinatorial iterations of deposition parameters such as temperature, partial pressure of Ar and O₂ and deposition time, when characterized using UV-VIS, FTIR, XRD and electrical measurements using the 4-point method, all of which can be carried out at UFTM, tends to generate relevant results for the final application in photovoltaic cells obtained, among themselves and also with commercial cells.

Keywords: Sputtering, Photovoltaic Cells, ZnO, CuO, Electrical Measurements.

1. INTRODUÇÃO

A produção de energia a partir de fontes renováveis é um tema de grande importância atualmente, devido à crescente preocupação com o meio ambiente e a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis. As células fotovoltaicas, que convertam a energia solar em energia elétrica, têm sido uma das principais opções para a geração de energia renovável. Desde a descoberta do efeito fotovoltaico em 1839 por Alexandre-Edmond Becquerel, a pesquisa e desenvolvimento de células fotovoltaicas têm avançado significativamente, resultando em uma ampla variedade de tecnologias de células fotovoltaicas, cada uma com suas próprias vantagens e desvantagens (SAHLI, F. et al, 2018). Atualmente, as células fotovoltaicas de silício são as mais comuns e são amplamente utilizadas. No entanto, a busca por materiais alternativos tem sido uma área de grande interesse na pesquisa de células solares, visando melhorar a eficiência e reduzir os custos de produção. Dentre os materiais alternativos, destacam-se as células solares de perovskita, que têm apresentado avanços significativos nos últimos anos. (ALBUQUERQUE, D. A. C., 2021; BASUMATARY, P., 2022; CHANDER, S., 2013)

Neste estudo, será abordada a produção de células fotovoltaicas de ZnO e CuO através da deposição por plasma, sputtering, dando enfoque no óxido de zinco, tendo em vista que conjuntamente com o mesmo, outro estudo paralelo vem sendo realizado com o mesmo propósito, mas para o óxido de cobre. Essa técnica tem se mostrado promissora para a produção de células fotovoltaicas de baixo custo e alta eficiência, utilizando materiais abundantes na natureza. (SUNG, Y. M., 2013; HUSSAIN, S., 2017; KAPHLE, A., 2020)

No caso do ZnO, a eficiência das células fotovoltaicas produzidas por deposição por plasma, sputtering, é altamente influenciada por diversos fatores. Estudos recentes têm destacado a importância do controle da temperatura durante o processo de deposição (HUSNA, J., 2012; MINAMI, T., 2006). Sabe-se que esse controle é essencial para a

cristalização do material, para o tamanho dos grãos e de suas disposições. Além disso, a pressão parcial do argônio e do oxigênio utilizados na deposição também influencia na eficiência das células fotovoltaicas, tendo em vista que esses fatores afetam a transparência, condutividade e capacidade de oxigenação dos filmes finos. (DAMIANI, L. R., 2012)

Outro fator importante que influencia na eficiência das células fotovoltaicas produzidas por deposição por plasma é o tempo de deposição. Isso se deve ao fato de que o aumento do tempo de deposição pode levar a uma maior quantidade de defeitos no material, o que prejudica a eficiência das células fotovoltaicas, contudo, o baixo tempo de deposição pode não ser suficiente para atingir o potencial máximo do filme fino de conduzir energia. (GONÇALVES, R. S. et al., 2018)

Tendo em vista todos os fatores supracitados, enxergou-se a necessidade de dimensionar, variar, controlar e analisar esses parâmetros com o intuito de otimizar o rendimento da célula fotovoltaica de ZnO e CuO produzida por sputtering, considerando que os estudos na área são poucos e costumam focar separadamente em cada um dos parâmetros ou adicionar o uso da perovskita no estudo. Para tal, recursos como a espectroscopia de absorção ultravioleta (UV-Vis), a espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), a difração de raio-X (DRX) e, principalmente, as medidas de resistência por dois pontos e por quatro pontos são necessárias para aferição e comparação dos resultados advindos da variação dos parâmetros de deposição.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

O Laboratório de Filmes Finos e Processos de Plasma da UFTM conta com o sistema de pulverização catódica (plasma-sputtering) com fonte DC de alta tensão, com termopares e controlador de temperatura acoplado. Gases industriais Argônio e Oxigênio pureza mínima 99,9% com injeção controlada por fluxômetros de massa. Alvos de pulverização catódica de Zn e Cu e de placas de vidro. Eletrodos para medidas elétricas por 4 pontas. Ademais que, se encontra no laboratório o difratômetro de raios-X para análise de estruturas cristalinas.

O substrato utilizado foi o vidro, os quais foram limpos com soluções orgânicas e água DI. Após esse procedimento, os vidros foram posicionados no sistema de pulverização catódica e as deposições foram feitas a pressões de 10^{-6} Pa em atmosfera controlada de argônio e oxigênio cujos fluxos foram feitos através de fluxômetros de massa eletrônicos. A temperatura das deposições foi variada nesse estudo, bem como a vazão de oxigênio de modo a obter estruturas semicondutoras de óxidos de zinco com boa condutividade para aplicações fotovoltaicas.

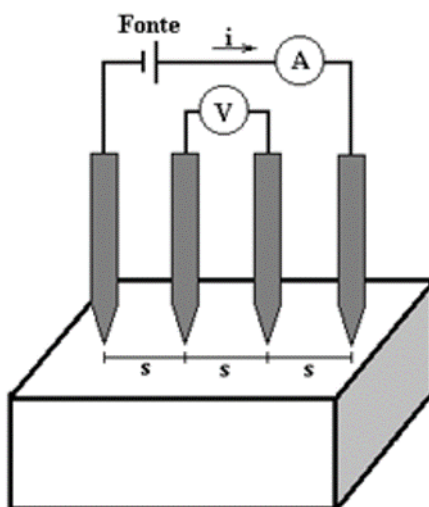
Ao obter-se os filmes finos após o processo de pulverização catódica, foi realizado o estudo de caracterização do filme fino de ZnO, a partir do qual, utilizou-se das medidas por 4 pontas para auxílio nesse processo. A geometria empregada das pontas para a medição é mostrada na Figura 1. Observa-se que quatro eletrodos – identificados por sense-high, sense-low, high e low- foram dispostos à mesma distância. A corrente é injetada por meio de dois dos eletrodos e a tensão é medida nos outros dois restantes.

A equação da resistividade se dá pela Equação 1:

$$\rho = 2\pi s \frac{V}{I} \quad (1)$$

onde, s é o espaçamento entre as pontas e V e I são tensão medida e corrente injetada, respectivamente.

Figura 1: Geometria para medição de resistividade por 4 pontas.



Outro método aplicado para o estudo dos filmes finos e sua absorção de luz foi a Espectrofotometria UV-vis. Seu funcionamento se baseia em uma fonte de luz de amplo espectro direcionada através de um monocromador, que permitiu selecionar o comprimento de onda utilizado para análise. A amostra de filme fino foi posicionada corretamente em frente a passagem da luz e um detector mede a intensidade da luz que passa pelo filme em comparação com a intensidade da luz incidente. Essa diferença é utilizada para calcular a absorbância da amostra. A partir desses dados e do comprimento de onda varrido pela região ultravioleta, construiu-se um espectro de transmitância (T), o qual foi utilizado para o cálculo do Gap ótico.

Para o cálculo do Gap ótico utiliza-se a equação:

$$\sqrt{(\alpha \times E)} \times E_{ev} \quad (2)$$

onde, α é o coeficiente de absorção e E é a energia convertida a partir do comprimento de onda. O cálculo desses fatores é feito pelas equações a seguir:

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln\left[\frac{(1-R)^2}{T}\right] \quad (3)$$

onde, R é a refletividade

$$E_{ev} = \frac{1,24 \times 10^3}{\gamma} \quad (4)$$

onde, γ é o comprimento de onda.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo em vista a importância de se obter junções de semicondutores P-N sobre substratos condutores transparentes à luz visível, óxido de zinco tem se mostrado bastante importante em células fotovoltaicas baseadas em óxidos. Neste caso, o filme fino de óxido de zinco atua como semicondutor tipo N, além de ser transparente à luz visível como observado no Gráfico 1, o qual no comprimento de onda de luz visível pode-se analisar a passagem da luz e, conseqüentemente, sua chegada no óxido seguinte, o qual deve ser do tipo P e absorver a luz.

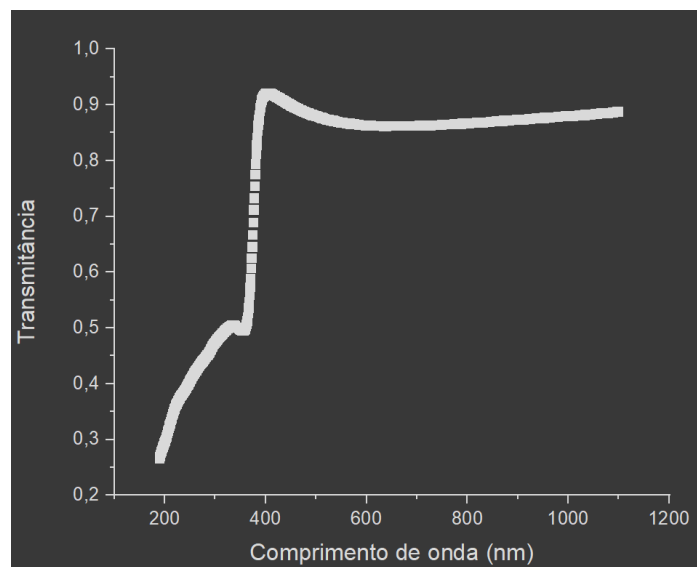


Figura 1. Transmitância do filme fino de ZnO

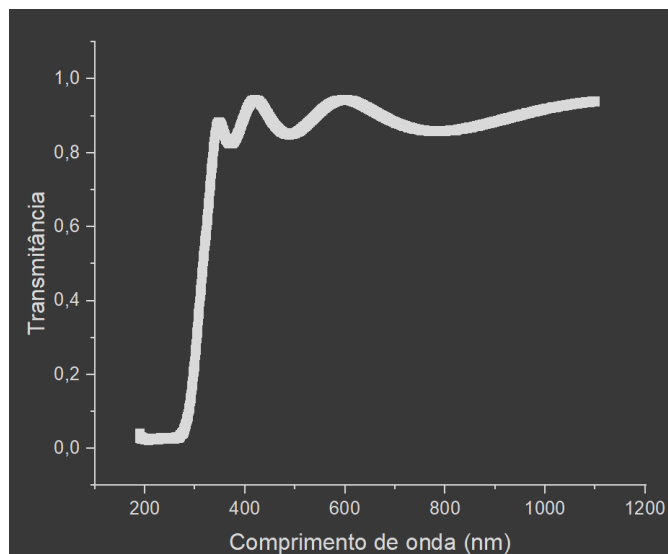


Figura 2. Transmitância do filme fino de CuO

Pelo espectro de transmitância do filme fino de CuO, pode-se observar que este exibiu uma borda de absorção em direção ao $\lambda = 300\text{nm}$ demonstrando o efeito supracitado da passagem de luz do ZnO (óxido de zinco) para sua completa absorção pelo filme fino de CuO (óxido de cobre), contribuindo para a junção P-N necessária para a obtenção de uma célula fotovoltaica funcional.

3. AGRADECIMENTOS

Eu, Maria Júlia, gostaria de agradecer a todos os responsáveis por fazer esse projeto acontecer, desde a minha família, a qual me proporciona a dádiva de poder me dedicar aos meus estudos, aos meus amigos e namorado, que tornam a vivência acadêmica mais leve, ao meu professor orientador, Rogerio Valentim Gelamo, que me ensina todos os dias algo novo no laboratório e por último, mas não menos importante, ao João Vitor e ao Guilherme, responsáveis por me apresentarem o tema que escrevo hoje. A todos aqui citados, os meus mais sinceros agradecimentos.

4. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, D. A. C. et al. SnO₂/ZnO Heterostructure as an Electron Transport Layer for Perovskite Solar Cells. *Materials Research*, v. 24, 2021.
- BASUMATARY, P.; AGARWAL, P. A short review on progress in perovskite solar cells. *Materials Research Bulletin Elsevier Ltd*, , 1 maio 2022.
- CHANDER, S.; TRIPATHI, S. K. Recent advancement in efficient metal oxide-based flexible perovskite solar cells: a short review. *Materials Advances Royal Society of Chemistry*, 9 ago. 2022.
- DAMIANI, L. R.; MANSANO, R. D. Zinc oxide thin films deposited by magnetron sputtering with various oxygen/argon concentrations. *Journal of Physics: Conference Series. Anais...Institute of Physics Publishing*, 2012.
- GONÇALVES, R. S. et al. The effect of thickness on optical, structural and growth mechanism of ZnO thin film prepared by magnetron sputtering. *Thin Solid Films*, v. 661, p. 40–45, 1 set. 2018
- HUSNA, J. et al. Influence of annealing temperature on the properties of ZnO thin films grown by sputtering. *Energy Procedia. Anais...Elsevier Ltd*, 2012.
- HUSSAIN, S. et al. Optical and electrical characterization of ZnO/CuO heterojunction solar cells. *Optik*, v. 130, p. 372–377, 1 fev. 2017.
- KAPHLE, A. et al. Enhancement in the performance of nanostructured CuO-ZnO solar cells by band alignment. *RSC Advances*, v. 10, n. 13, p. 7839–7854, 24 fev. 2020.
- MINAMI, T. et al. Effect of ZnO film deposition methods on the photovoltaic properties of ZnO-Cu₂O heterojunction devices. *Thin Solid Films. Anais...3 jan. 2006*.
- OKA, M. Medida de Quatro Pontas. [s.l: s.n]. Disponível em: <https://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/QuatroPontas.pdf>
- SAHLI, F. et al. Fully textured monolithic perovskite/silicon tandem solar cells with 25.2% power conversion efficiency. *Nature Materials*, v. 17, n. 9, p. 820–826, 1 set. 2018.
- SUNG, Y. M. Deposition of TiO₂ blocking layers of photovoltaic cell using rf magnetron sputtering technology. *Energy Procedia*, v. 34, p. 582–588, 2013.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.