



Cossensibilização utilizando CdS como estratégia para aumentar a eficiência de células solares de pontos quânticos de CuInS₂

Pedro Henrique Silva (PG)* e Marco Antonio Schiavon (PQ)

*Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Departamento de Ciências Naturais (DCNAT), São João del-Rei, MG, Brasil, 36301-160
pedrohs0812@outlook.com; schiavon@ufs.edu.br

RESUMO

A grande demanda por energia se volta para produções mais limpas e renováveis. As células solares se destacam, pois, o sol está disponível em praticamente todo o planeta. Este trabalho tem como objetivo a preparação de células solares cossensibilizadas utilizando os pontos quânticos (PQs) de CuInS₂ (CIS) e CdS. A síntese dos PQs de CIS foi realizada por método *one-pot* e o CdS, assim como a passivação, foram depositados via SILAR. Os fotoanodos foram caracterizados por MEV, DRX, espectroscopia de absorção no modo de reflectância, enquanto as células solares passaram por caracterizações elétricas. Foram utilizados contraeletrodos de latão e eletrólito de polissulfeto. A combinação dos PQs resultou em células com maior absorção solar, gerando maior densidade de corrente, implicando em maior eficiência, passando de 2,64 para 5,74 %. Também foi possível determinar a melhor combinação destes PQs, com o CdS sendo depositado por cima do CIS, gerando efeito cascata, benéfico para as células.

Palavras-chave: Célula Solar, Pontos Quânticos, Cossensibilização, CuInS₂, CdS

Introdução

O aumento da demanda por energia tem sido uma das maiores preocupações mundiais e evitar uma crise ambiental, e energética, é a principal discussão na transição energética em andamento.[1,2] Existem algumas maneiras de evitar esta crise e uma alternativa envolve a utilização de células solares sensibilizadas por pontos quânticos (CSSPQs), considerando seu desenvolvimento nos últimos anos, bem como pela alta eficiência teórica que são capazes de atingir.[3] Alguns dos desafios para este tipo de célula solar são aumentar a eficiência de conversão e sua vida útil. Esses objetivos envolvem avanços no fotoanodo, que é um componente de extrema importância para as CSSPQs, pois é responsável pela absorção da luz. Os estudos para o aumento da eficiência da conversão de energia têm como enfoques a melhora da conversão de fóton em corrente elétrica e a diminuição dos processos de recombinações de carga dos dispositivos. Uma estratégia que amplia o espectro de absorção, reduz as perdas energéticas e aprimora a eficiência das CSSPQs é a cossensibilização do fotoanodo, no qual são combinados dois ou mais pontos quânticos distintos como material sensibilizador. [4,5]

Experimental

A deposição do TiO₂ foi realizada no substrato de FTO utilizando a técnica de *doctor blade*, onde a área é delimitada com o uso de uma fita, a pasta é depositada em uma extremidade e com o auxílio de um bastão é arrastada pela área, formando um filme fino e uniforme. A síntese aquosa dos PQs de CIS foi realizada por método *one-pot*. A deposição do CdS, assim como a camada de passivação de ZnS, foram depositados pelo método de adsorção e reação (*SILAR*), onde

o substrato, contendo TiO₂, é imerso alternadamente em soluções contendo íons de cádmio e enxofre e zinco e enxofre. Em cada imersão, uma fina camada do material desejado se forma por reação entre os íons adsorvidos na superfície.[6] O ciclo é repetido algumas vezes. Como contraeletrodo foi utilizada uma liga metálica de latão (70% Cu/30% Zn) que foi imersa previamente em uma solução de ácido clorídrico à 70 °C por, pelo menos, 1 hora. As células solares foram montadas unindo o fotoanodo e o contraeletrodo com garras metálicas, utilizando um *o-ring* de borracha como espaçador. O eletrólito de polissulfeto foi injetado na célula solar utilizando uma seringa. Como caracterização, os fotoanodos foram submetidos MEV, DRX, espectroscopia de absorção no modo de reflectância, enquanto as células solares passaram por caracterizações elétricas, como voltametria linear, fotocronoamperometria e espectroscopia de impedância

Resultados e Discussão

Os dispositivos preparados foram submetidos a caracterizações eletroquímicas, como espectroscopia de impedância e voltametria linear. A deposição de um segundo ponto quântico possibilitou ampliar o espectro de absorção da célula solar, aumentando a corrente elétrica fornecida ao circuito elétrico, como pode ser visto na Figura 1, também reduziu as perdas energéticas, gerando uma estrutura que favorece o processo de injeção em cascata de cargas no fotoanodo podendo levar um aumento considerável da eficiência, quando comparados os fotoanodos de CIS e CIS/CdS/ZnS. Os dados de eficiência, densidade de corrente, fator de preenchimento e potencial de circuito aberto podem ser observados na tabela 1.

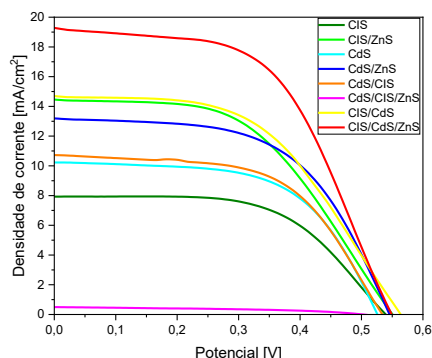


Figura 1: Curvas densidade de corrente x potencial das CSSPQs.

tabela 1: Densidade de corrente (J_{sc}), potencial de circuito aberto (V_{oc}), fator de preenchimento (FF) e eficiência (η) das CSSPQs.

CSSPQs	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF (%)	η (%)
CIS	$8,311 \pm 0,193$	$0,546 \pm 0,006$	$58,22 \pm 0,22$	$2,64 \pm 0,12$
CIS/ZnS	$14,677 \pm 0,118$	$0,554 \pm 0,004$	$51,21 \pm 0,20$	$4,16 \pm 0,05$
CdS	$10,220 \pm 0,012$	$0,526 \pm 0,001$	$59,88 \pm 0,16$	$3,22 \pm 0,02$
CdS/ZnS	$13,076 \pm 0,052$	$0,540 \pm 0,001$	$57,31 \pm 0,21$	$4,04 \pm 0,01$
CdS/CIS	$10,717 \pm 0,048$	$0,531 \pm 0,002$	$57,74 \pm 0,22$	$3,28 \pm 0,02$
CdS/CIS/ZnS	$0,502 \pm 0,013$	$0,501 \pm 0,002$	$44,38 \pm 0,72$	$0,11 \pm 0,01$
CIS/CdS	$14,663 \pm 0,148$	$0,557 \pm 0,007$	$51,83 \pm 0,30$	$4,22 \pm 0,04$
CIS/CdS/ZnS	$19,210 \pm 0,075$	$0,542 \pm 0,005$	$55,15 \pm 0,12$	$5,74 \pm 0,05$

O efeito cascata só é observado quando há uma combinação adequada dos *bandgaps* dos PQs envolvidos nas transferências de cargas. A Figura 2 exemplifica o posicionamento destes *bandgaps* envolvidos nos dispositivos estudados. Sabe-se, pela literatura que os valores de *bandgap* do CdS e CIS são, respectivamente, $\sim 2,49$ e $\sim 1,50$ eV.[7] Partindo disso, devido ao posicionamento destes *bandgaps*, o efeito cascata só aparece quando o CIS é depositado primeiro, tendo o CdS por cima. A deposição inversa dificulta a transferências desses elétrons, visto que o elétron ainda necessitaria de um *gap* de energia para se transferir do CIS para o CdS.[1]

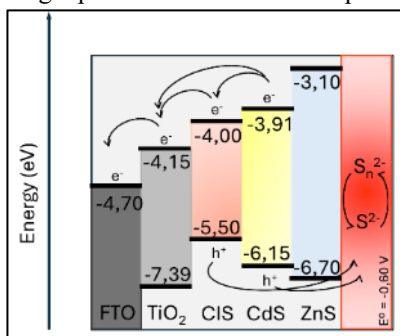


Figura 2: Posicionamento dos *bandgaps* gerando uma estrutura que favorece o processo de injeção em cascata de cargas.

Comparando estes dispositivos com a literatura pode afirmar que os resultados são esperados e satisfatórios. O dispositivo CdS/ZnS teve eficiência de 4,04 %, contra o valor de 3,83 % quando utilizado um contraeletrodo de CuS.[4] Já a configuração CIS/CdS/ZnS, com eficiência 5,74 % teve seu desempenho mais que dobrado, quando comparada somente com o fotoanodo de CIS e 1,78 vezes maior quando comparada com o fotoanodo de CdS, indicando que, sim, o processo de cossensibilização funciona, elevando a densidade de corrente ($8,311$ para $19,210$ mA/cm²) e, por sua vez, a eficiência.[8]

Conclusões

Os métodos utilizados para a deposição dos PQs, e da camada de passivação, são eficientes e confiáveis, pois estes procedimentos foram realizados diversas vezes e, visualmente, geravam resultados muito similares. Os métodos de caracterização resultaram análises que proporcionaram o entendimento físico, e óptico, dos materiais. O objetivo do trabalho foi atingido, visto que foi possível realizar a deposição das combinações do PQs e fazer o estudo dessas, indicando que a combinação CIS/CdS/ZnS, junto com a camada de passivação, é o melhor conjunto, alcançando densidade de corrente igual a $19,210$ mA/cm² com eficiência de 5,74 %. Essa eficiência é 2,17 vezes maior quando comparado a uso de, somente, um PQ, o CIS e 1,78 vezes maior comparada ao uso de, somente, o CdS.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento FAPEMIG, CAPES, FINEP e CNPq.

Referências

- Kumar, S.; Patra, N.; Hossain, I.; Thakur, A.; Jaseetharan, T.; Shimpi, N. G.; *Mater Res Bull* **2025**, 184, 113223.
- Oni, A. M.; Mohsin, A. S. M.; Rahman, Md. M.; Hossain Bhuian, M. B.; *Energy Reports* **2024**, 11, 3345.
- Ren, Y.; He, Y.; Li, S.; Wang, Y.; He, L.; Ye, P.; Zhou, L.; Gao, R.; Chen, G.; Cai, W.; Fu, C.; *Physica E Low Dimens Syst Nanostruct* **2024**, 160, 115937.
- Carvalho Junior, J. A.; Nunes, C. L.; Machado, W. S.; Schiavon, M. A.; *Energy Technology* **2024**, 12, 2400254.
- Archana, T.; Vijayakumar, K.; Subashini, G.; Nirmala Grace, A.; Arivanandhan, M.; Jayavel, R.; *RSC Adv* **2020**, 1, 14837.
- Khurshid, S.; Latif, H.; *Opt Mater (Amst)* **2023**, 142, 113915.
- Kokal, R. K.; Deepa, M.; Ghosal, P.; Srivastava, A. K.; *Electrochim Acta* **2016**, 219, 107.
- Ahmadi, M.; Marandi, M.; *J Solid State Chem* **2024**, 340, 125020.