



Deposição de filmes finos de hidróxido duplo lamelar de zinco e alumínio em substratos flexíveis de alumínio para conversão de energia

Ana Clara M. Cruz(G)¹, Estela B. Costa(EM)¹, Gabriela C. de Souza (G)¹, Flávio S. Freitas(PQ)^{1*}

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

*email: freitas@cefetmg.br

RESUMO

Em um contexto de crescente demanda por fontes de energia ambientalmente sustentáveis, a demanda por materiais com maior estabilidade e menor custo permanece um desafio. Nesse sentido, o presente trabalho busca obter filmes finos de hidróxidos duplos lamelares (HDL) em substrato flexível de alumínio – material de baixo custo e amplamente disponível –, bem como a avaliação desses para aplicação em conversão de energia. Além disso, busca analisar a influência de tratamentos térmicos no desempenho dos materiais, empregando tratamento a 100°C, 300°C e 500°C. Para caracterização, foram realizadas análise de espessura, análise termogravimétrica/térmica diferencial (TG/DTA), voltametria linear (VL) e potencial de circuito aberto (OCP). Além de estabelecer metodologia de preparo de filmes flexíveis de HDL, ainda pouco explorados na literatura, foi possível verificar que o tratamento térmico intenso provoca melhora significativa na adesão, sendo que a amostra tratada a 500°C apresentou também melhor desempenho fotoeletroquímico, com maior fator de forma (0,213), tensão de circuito aberto (V_{oc}) de 0,69V e corrente curto-circuito (I_{sc}) de 0,122mA/cm² em células solares sensibilizadas por corante sob iluminação artificial.

Palavras-chave: hidróxido duplo lamelar; filmes finos; substrato flexível; conversão de energia; DSSC.

Introdução

As crescentes preocupações com os impactos ambientais das tecnologias de energia convencionais têm impulsionado a busca por alternativas mais sustentáveis (1), tornando urgentes os investimentos em fontes de energia ambientalmente sustentáveis(2). Nesse contexto, a energia solar surge como uma alternativa promissora (3), destacando-se as células solares sensibilizadas por corantes (DSSCs, do inglês *Dye-Sensitized Solar Cells*). As DSSCs apresentam grande potencial devido ao baixo custo, simplicidade de fabricação e boa eficiência de conversão energética. No entanto, a obtenção de materiais com maior estabilidade e menor custo permanece um desafio crucial para a viabilidade e aplicação das DSSCs (Salih et al., 2022). Assim, este estudo teve como objetivo a obtenção de filmes finos de hidróxidos duplos lamelares (HDL) de zinco e alumínio em substratos de folha de alumínio, bem como a avaliação desses como eletrodos transportadores de elétrons.

Experimental

Síntese do HDL

A síntese dos HDLs foi realizada por coprecipitação a pH constante, mantendo-se o pH entre 9 e 10 durante a adição simultânea de soluções de $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ e $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ (proporção 2:1), e de NaOH, sobre solução de carbonato de sódio. Após a precipitação, o sistema foi envelhecido por 24 horas, seguido de ajuste do pH para 10. O material foi então centrifugado, lavado com água destilada e seco a 60 °C.

Obtenção dos filmes

Os filmes foram obtidos pelo método *doctor blade*, a partir da aplicação de uma pasta aquosa de HDL sobre folhas de alumínio

previamente tratadas com sabão. Após a deposição, os filmes foram submetidos a tratamento térmico em três temperaturas distintas: 100 °C, 300 °C e 500 °C.

Caracterização e avaliação eletroquímica

Foram realizadas análises termogravimétricas do HDL, bem como determinação da espessura dos filmes. Além disso, foram feitos testes de voltametria linear(VL) e potencial de circuito aberto (OCP) de dispositivos DSSC na configuração Al/HDL/corante N719/eletrolito sólido PVDF-NaI-I₂/Pt/FTO sob iluminação artificial com lâmpada comercial.

Resultados e Discussão

Os filmes em substrato de alumínio apresentaram espessura média de 9,67µm, independente da temperatura de tratamento. A Figura 2 apresenta os resultados da voltametria linear das DSSCs fabricadas em substrato de alumínio. As amostras HDL100, HDL300 e HDL500 correspondem, respectivamente, aos filmes tratados a 100 °C, 300 °C e 500 °C. Observa-se que o aumento da temperatura favorece significativamente o desempenho fotovoltaico, sendo a amostra HDL500 a que apresenta os maiores valores de densidade de corrente de curto-circuito (I_{sc}) e de potencial de circuito aberto (V_{oc}) (Tabela 1). Todavia, a comparação com as curvas obtidas no escuro revela que as diferenças são pouco significativas, ainda que as correntes sob iluminação sejam ligeiramente superiores. Isso indica que a contribuição da fotocorrente para a corrente total é bastante limitada, refletindo uma baixa eficiência na geração e transporte de cargas fotogeradas. Tal comportamento pode estar associado a espessura dos filmes obtidos e consequente adsorção insuficiente de corante, à elevada taxa de recombinação de portadores ou ao substrato de alumínio, uma vez que o alumínio se



oxida facilmente ao ar, formando uma camada de Al_2O_3 na superfície. Essa camada atua como uma barreira isolante, dificultando o transporte de elétrons entre o eletrodo metálico e o filme, o que pode limitar ainda mais a eficiência da célula. As tentativas de aumento da espessura dos filmes de HDL não apresentaram boa adesão, sendo um fator limitante ainda a ser superado. Estratégias para a obtenção de filmes com boa barreira do contato entre o alumínio e o eletrólito ainda estão em desenvolvimento para posterior caracterização em iluminação calibrada.

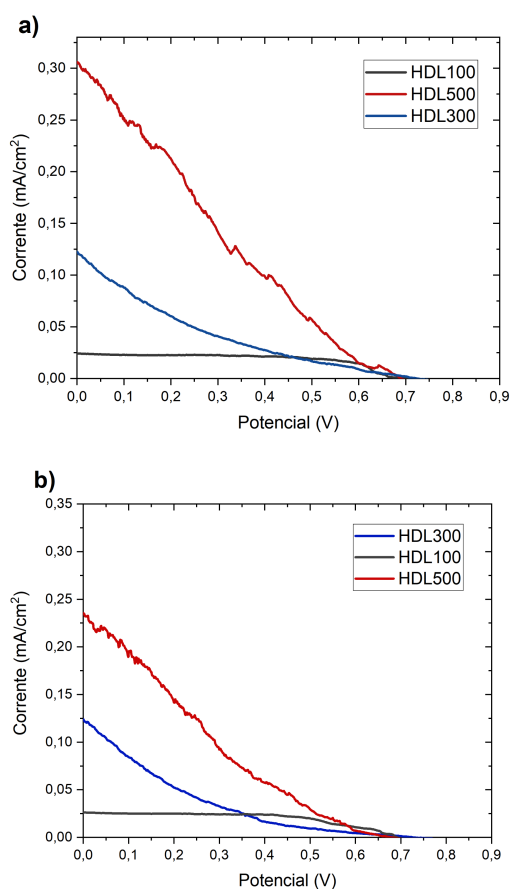


Figura 2: Voltametria linear (a) sob incidência de luz e (b) no escuro para as DSSCs com eletrodos de HDL em substrato de alumínio submetidos a tratamento térmico.

Tabela 1: Parâmetros de desempenho

Amostra	V_{oc} (V)	I_{sc} (mA/cm^2)	FF
HDL100	0,70	0,242	0,059
HDL300	0,73	0,303	0,139
HDL500	0,69	0,122	0,213

Os testes de OCP são apresentados na Figura 3. Para o HDL100, mostraram ausência de oscilações regulares no escuro e sob iluminação, sugerindo uma menor atividade fotoeletroquímica. Por outro lado, as amostras HDL300 e HDL500 apresentaram resposta à iluminação, evidenciada por picos acentuados no potencial quando submetidos à iluminação. No entanto, esses picos não se

mantêm estáveis ao longo do período iluminado, mas exibem um comportamento decrescente com o tempo.

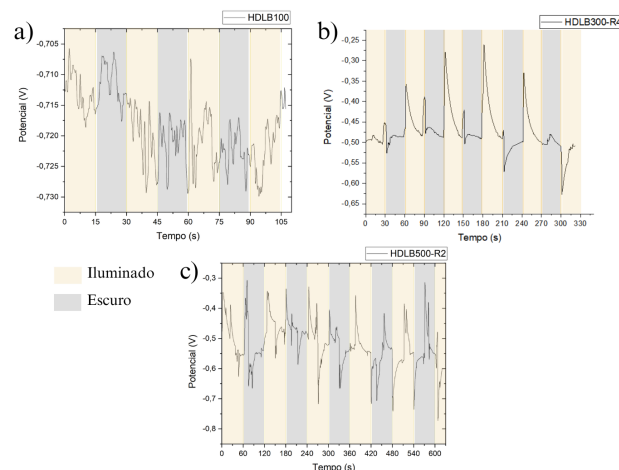


Figura 3: Potencial de circuito aberto com ciclos sob iluminação e no escuro para (a) HDL100, (B)HDL300 e (c)HDL500

A análise termogravimétrica do HDL, apresentada na Figura 1, evidencia que sua decomposição térmica ocorre em etapas, envolvendo a eliminação de água, desidroxilação e remoção de ânions intercalados. Desse modo, a partir de 300°C , ocorre a conversão de hidróxidos a óxidos, que podem melhorar o desempenho eletroquímico do material, devido à maior área superficial. Além disso, destaca-se que o tratamento subsequente dos filmes de alumínio à temperaturas elevadas (300°C e 500°C) aumenta a adesão do material ao substrato.

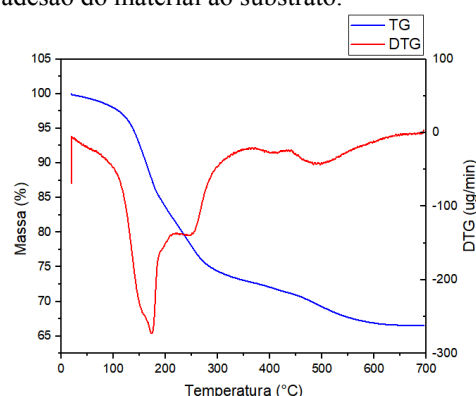


Figura 1. Curvas de perda de massa e DTG em função da temperatura para o HDL-B

Conclusões

A partir do estudo foi possível estabelecer metodologia para preparo de filmes finos de hidróxido duplo lamelar (HDL) em substrato de flexível de alumínio. Verificou-se que o tratamento térmico provoca melhora significativa na adesão, sendo que as amostras tratadas a 500°C apresentaram também melhor desempenho fotoeletroquímico, com maior fator de forma (0,213), tensão de circuito aberto (V_{oc}) de 0,69V e corrente curto-circuito (I_{sc}) de $0,122\text{mA}/\text{cm}^2$.

Agradecimentos

Ao GEMaTE e ao LAB-MIS do CEFET-MG.

Referências

1. A. Arico, et al. *Nature Materials*, v. 4, n. 5, p. 366-377, **2005**.
2. C.E.S. Moreira; A.M. Cardoso. *Bolsista de Valor*, **2010**, 1: 397-402.
3. R. Kumar, et al. *Journal of Materials Science*, **2017**, 52:4743-4795.