



LASERS DE POLÁRITONS

Polariton Lasers

Cauan Sambati Luizon, cauansambati@alunos.utfpr.edu.br¹

Sidney Alves Lourenço, sidneylourenco@utfpr.edu.br²

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo estudar lasers de poláríttons baseados em perovskitas (PVK) híbridas. As perovskitas são semicondutores cristalinos de estrutura típica ABX_3 , que podem ser inorgânicas ou híbridas, e apresentam propriedades ópticas promissoras para dispositivos de emissão de luz. A operação desses lasers depende de uma cavidade óptica, responsável por confinar e refletir a luz no interior do material, promovendo múltiplas interações entre fótons e éxcitons. Dentro dessas cavidades ocorre a formação dos poláríttons, quase-partículas resultantes do acoplamento entre fótons e éxcitons, cuja presença permite a obtenção de lasers mais eficientes e de baixo limiar de operação. Neste estudo, foram sintetizados filmes de PVK ($MAPbI_3$) pelo método antissolvente e incorporadas diferentes concentrações de pontos quânticos de sulfeto de chumbo (PbS), depositados sobre substratos de vidro por spin-coating. As amostras foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de fotoluminescência (PL). As micrografias mostraram que a dopagem com PbS reduziu o tamanho dos grãos da PVK e aumentou sua uniformidade, favorecendo o confinamento óptico em cavidades do tipo *Whispering Gallery Modes* (WGM). Além disso, os espectros de PL revelaram uma banda estreita em 810 nm, associada à emissão estimulada de poláríttons, cuja intensidade foi maior nas amostras dopadas. Conclui-se que a dopagem com PbS melhora significativamente as propriedades ópticas da PVK, reforçando seu potencial em lasers de poláríttons e dispositivos optoeletrônicos.

Palavras-chave: Poláríttons; Perovskita; Cavidade óptica

ABSTRACT: This work aimed to study polariton lasers based on hybrid perovskites (PVK). Perovskites are crystalline semiconductors with a typical ABX_3 structure, which can be inorganic or hybrid, and exhibit promising optical properties for light-emitting devices. The operation of these lasers depends on an optical cavity, which confines and reflects light within the material, promoting multiple interactions between photons and excitons. Within these cavities, polaritons—quasi-particles resulting from the coupling between photons and excitons—form. Their presence enables the production of more efficient lasers with a low operating threshold. In this study, PVK ($MAPbI_3$) films were synthesized using the antisolvent method, and different concentrations of lead sulfide (PbS) quantum dots were incorporated and deposited on glass substrates by spin-coating. The samples were characterized by scanning electron microscopy (SEM) and photoluminescence (PL) spectroscopy. The micrographs showed that PbS doping reduced PVK grain size and increased its uniformity, favoring optical confinement in Whispering Gallery Modes (WGM) cavities. Furthermore, PL spectra revealed a narrow band at 810 nm associated with stimulated polariton emission, whose intensity was higher in the doped samples. It is concluded that PbS doping significantly improves the optical properties of PVK, enhancing its potential in polariton lasers and optoelectronic devices.

Keywords: Polariton; Perovskita; optical cavity

¹ Curso de Bacharelado em Engenharia Química, UTFPR – Campus Londrina, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UTFPR – Campus Londrina, Brasil



1. INTRODUÇÃO

Os lasers (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) são dispositivos ópticos que emitem luz coerente, ou seja, luz com mesmo comprimento de onda, fase e direção. Seu desempenho depende da qualidade do meio ativo e da cavidade óptica responsável pelo confinamento e amplificação da luz. Entre os avanços recentes nessa área, destacam-se os lasers de poláritons. Poláritons são quase-partículas formadas pelo acoplamento entre fótons e éxcitons em cavidades ópticas, permitindo emissões com menor energia de excitação e maior eficiência.

As perovskitas (PVK) surgem como materiais semicondutores promissores para essa aplicação, devido à sua alta eficiência óptica, estrutura cristalina ajustável e fácil processamento (Lei et al., 2021). A PVK híbrida MAPbI₃, em especial, apresenta propriedades que a tornam adequada como meio ativo para lasers de poláritons. A operação desses dispositivos depende fortemente da morfologia do filme e da qualidade do confinamento óptico, especialmente em cavidades do tipo *Whispering Gallery Modes* (WGM), nas quais a luz se propaga por reflexão múltipla interna (Zhang et al., 2014).

Figura 1: Representação WGM



Fonte: Autoria Própria

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito da dopagem com pontos quânticos de sulfeto de chumbo (PbS) em filmes de MAPbI₃, analisando como essa modificação influencia suas propriedades estruturais e ópticas.



2. METODOLOGIA

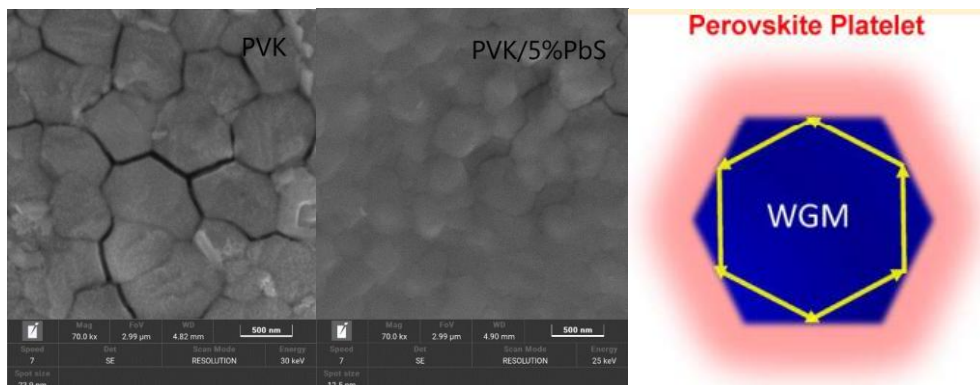
Inicialmente, prepararam-se os substratos de vidro padronizados em lâminas de $1,0 \times 2,5$ cm, que foram submetidos a banho ultrassônico para limpeza. A síntese da perovskita híbrida MAPbI₃ foi realizada pelo método antissolvente, conforme adaptação de Souza (2024). Foram utilizados 645 mg de PbI₂ e 230 mg de CH₃NH₃I (MAI) dissolvidos em uma mistura de 800 μL de dimetilformamida (DMF) e 200 μL de dimetilsulfóxido (DMSO). A incorporação dos pontos quânticos de sulfeto de chumbo (PbS) ocorreu pela adição de diferentes concentrações (1–5%) diluídas em hexano à solução precursora de PVK, sendo as misturas agitadas vigorosamente e deixadas em repouso por 24 horas antes da deposição. Por fim, a deposição dos filmes foi realizada pelo método *spin-coating*, utilizando 100 μL da solução precursora sobre o substrato de vidro. O processo foi conduzido em duas etapas: 1000 rpm por 20 segundos e 4000 rpm por 10 segundos. Durante a segunda rotação, gotejaram-se 400 μL do antissolvente acetato de etila. As amostras obtidas foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para análise morfológica e por espectroscopia de fotoluminescência (PL) para avaliação das propriedades ópticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, foram comparadas as imagens obtidas por MEV dos filmes de PVK pura e daqueles incorporados com PbS. A adição de PbS alterou significativamente a morfologia da superfície, resultando em grãos menores, mais definidos e uniformes em comparação à PVK pura, que apresentou contornos irregulares e tamanhos heterogêneos. Essa diferença indica que a presença de PbS influenciou diretamente o processo de cristalização da perovskita, promovendo uma melhor organização estrutural. Para uma análise mais detalhada, a micrografia da PVK com 5% de PbS foi comparada à imagem de referência do modo de galeria de sussurro (WGM), observando-se grande semelhança entre a forma e a disposição dos grãos. Essa correspondência sugere que a dopagem induziu a formação de cavidades ópticas mais adequadas ao confinamento da luz, reduzindo o tamanho efetivo dos grãos e, conseqüentemente, da cavidade óptica. Esse efeito aumenta o número de reflexões internas, favorecendo o surgimento dos modos WGM e potencializando a eficiência óptica do material.



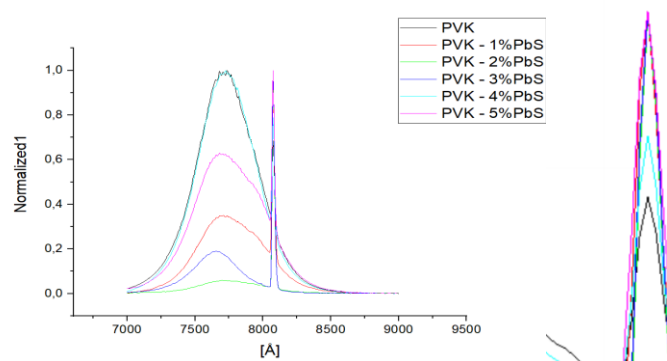
Figura 2: MEV das amostras de PVK contendo diferentes concentrações de PbS



Fonte: Autorial Própria

Os espectros de fotoluminescência (PL) dos filmes de PVK pura e dopados com diferentes concentrações de PbS foram obtidos sob excitação com laser de 520 nm. Observou-se uma banda larga atribuída à emissão espontânea da PVK, associada à recombinação de portadores. Além disso, uma banda estreita em torno de 810 nm foi identificada, indicando emissão estimulada característica de polárítoms. A intensidade dessa emissão aumentou com a incorporação de PbS, evidenciando que a dopagem favoreceu o acoplamento fóton-éxciton e, conseqüentemente, a eficiência óptica do material. Esse comportamento confirma que a modificação estrutural promovida pelo PbS contribui para o aprimoramento do desempenho laser das cavidades ópticas baseadas em PVK.

Figura 3: Espectrometria de Fotoluminescência



Fonte: Autorial Própria



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou a influência da incorporação de pontos quânticos de PbS em filmes de PVK híbrida (MAPbI₃) aplicados a lasers de poláritons. As análises de MEV mostraram que a presença de PbS reduziu o tamanho dos grãos e tornou a superfície mais uniforme, favorecendo o confinamento óptico pelos modos de galeria de sussurro (WGM). A fotoluminescência evidenciou uma banda estreita em 810 nm, típica da emissão estimulada de poláritons, com maior intensidade nas amostras dopadas. Concluiu-se que a adição de PbS aprimora as propriedades ópticas da PVK híbrida, confirmando seu potencial como meio ativo em lasers de poláritons e abrindo perspectivas para estudos futuros com novas concentrações e técnicas de síntese.

REFERÊNCIAS

- L. Lei, Q. Dong, K. Gundogdu, F. So, **Metal Halide Perovskites for Laser Applications**. *Adv. Funct. Mater.* 2021, 31,
- Q. Zhang, S. Tung, X. Liu, T.Chien, Q.Xiong, **Room-Temperature Near-Infrared High-Q Perovskite Whispering-Gallery planar Nanolasers**, ago 2014
- L. DE SOUZA FIGUEREDO. **Síntese e caracterização de filmes de perovskita híbrida orgânica-inorgânica de mapbi₃ contendo pontos quânticos de pbs para aplicação em sistemas optoeletrônicos**, 20 ago. 2022.