

INVESTIGAÇÃO DE PROPRIEDADES DE FOTOCONDUÇÃO EM SEMICONDUTORES DE GAP ESTREITO

Crislaine de Paula Agostinho¹ (IC), Marcelos Lima Peres (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: BaF₂, Efeito Hall, SnTe.

Introdução

Nos últimos anos, a busca por novos materiais semicondutores tem se mostrado fundamental para a inovação em sensores, detectores e dispositivos eletrônicos de alto desempenho. Dentre esses materiais, o telureto de estanho (SnTe) tem se destacado, não apenas pelas suas propriedades optoeletrônicas, mas também pelo seu potencial para aplicações na área de fotônica e optoeletrônica. O SnTe é um composto formado por elementos dos grupos IV e VI da tabela periódica, o que lhe confere características particulares tornando-o um candidato promissor para o desenvolvimento de sensores de luz.

Além de suas propriedades semicondutoras, o SnTe é classificado como um isolante topológico cristalino (CTI), o que implica que suas propriedades eletrônicas são protegidas pela simetria de sua rede cristalina (AKIYAMA et al., 2016). Essa proteção garante ao material uma maior robustez frente a defeitos e desordens, sendo uma excelente opção para dispositivos que operam em condições adversas. Graças à sua alta sensibilidade à luz e à rápida resposta a variações de iluminação, o SnTe tem sido alvo de grande interesse na pesquisa para desenvolvimento de sensores que operam em uma ampla faixa do espectro eletromagnético (BODARYA et al., 2024).

Este trabalho apresenta o estudo das propriedades optoeletrônicas de duas amostras de SnTe: uma revestida com fluoreto de bário (BaF₂) e outra sem revestimento, ambas com espessura de 2 µm. O revestimento de BaF₂ foi utilizado visando proteger as amostras contra oxidação e contaminação, além de potencialmente modificar as propriedades elétricas e ópticas do SnTe. Para investigar o comportamento dessas amostras, foram realizados testes experimentais de fotocondução e efeito Hall, submetendo-as a uma corrente constante de 5 mA e alternando a exposição a um LED azul de 470 nm entre períodos de luz e escuridão. As medições foram realizadas em uma faixa de temperatura de 300 K a 77 K, utilizando nitrogênio

líquido para o resfriamento.

Com esses experimentos, pretende-se analisar as características elétricas e de transporte de carga do SnTe em diferentes condições de temperatura e iluminação, o que permitirá obter uma compreensão mais detalhada das propriedades do material e suas implicações para aplicações práticas. Medições de mobilidade, resistividade e concentração de portadores de carga foram realizadas com o intuito de fornecer informações sobre o desempenho das amostras como semicondutores em sensores de luz.

Assim, os objetivos principais deste trabalho são estudar e comparar o comportamento de amostras de SnTe com e sem revestimento de BaF₂, avaliando o impacto do revestimento em suas propriedades e verificando a adequação do SnTe para ser utilizado em sensores de luz. Além disso, busca-se investigar como o desempenho das amostras varia em diferentes temperaturas e explorar o potencial desse material em dispositivos que operam em condições ambientais adversas.

A realização deste estudo está alinhada com a demanda crescente por novos materiais semicondutores que acompanhem o avanço da tecnologia em dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos. Além disso, o estudo busca contribuir para a inovação científica, ampliando o conhecimento sobre as propriedades do SnTe e suas potencialidades em diversas aplicações tecnológicas.

Metodologia

Inicialmente foi feita a montagem das amostras, conforme demonstrada na Figura 1 no próximo item, no qual foram soldados quatro fios de ouro extremamente finos (0.05 mm de diâmetro) nos pontos de contato utilizando solda de índio. A amostra de SnTe foi então posicionada no porta-amostra, e um LED azul (comprimento de onda de 470 nm) foi soldado no mesmo suporte utilizando solda de estanho, garantindo que o LED ficasse direcionado diretamente sobre a

superfície da amostra para a realização dos experimentos.

Duas amostras de SnTe foram investigadas: uma revestida com BaF₂ e outra sem revestimento, ambas com espessura de 2 μm. O revestimento de BaF₂ foi utilizado para proteger a amostra contra oxidação e contaminação, além de potencialmente influenciar suas propriedades elétricas e ópticas. Foi realizado o teste de fotocondução seguido do efeito Hall; o LED azul foi utilizado como fonte de luz, e as medições foram realizadas em uma faixa de temperatura variando de 300 K a 77 K, utilizando nitrogênio líquido para resfriamento.

No experimento de fotocondução, aplicou-se uma corrente constante de 5 mA enquanto a amostra era iluminada ou mantida no escuro, de maneira intercalada, permitindo comparar o comportamento das amostras sob iluminação e em escuridão. A resposta elétrica foi monitorada para entender o comportamento das amostras sob diferentes condições de iluminação e temperatura. No teste do efeito Hall, um campo magnético perpendicular à corrente foi aplicado, gerando uma tensão (voltagem Hall) que foi medida para obter a concentração de portadores, a mobilidade e a resistividade das amostras, de forma similar ao descrito por CASTRO (2015).

Resultados e discussão

Na análise de fotocondução, a amostra sem revestimento apresentou uma resposta mais intensa sob iluminação, especialmente em temperaturas mais baixas, como mostra a Figura 2, indicando uma maior eficiência na geração de portadores de carga sob o LED azul. Esse comportamento reflete uma maior sensibilidade à luz, resultando em um aumento significativo na fotocondução quando a amostra foi exposta à luz, em comparação com a condição de escuridão. Esse resultado sugere que a ausência do revestimento de BaF₂ favorece a geração de portadores de carga, tornando o material mais eficiente para aplicações que exigem alta fotossensibilidade. A Figura 3 mostra os resultados deste mesmo teste na amostra com capa, demonstrando menor amplitude de resposta à luz do led em comparação com a amostra sem capa.

Figura 1 - Exemplificação de montagem da amostra

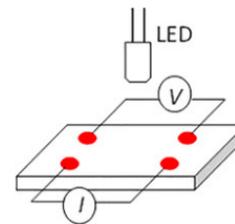


Figura 2 - Curvas de fotocondução da amostra sem capa

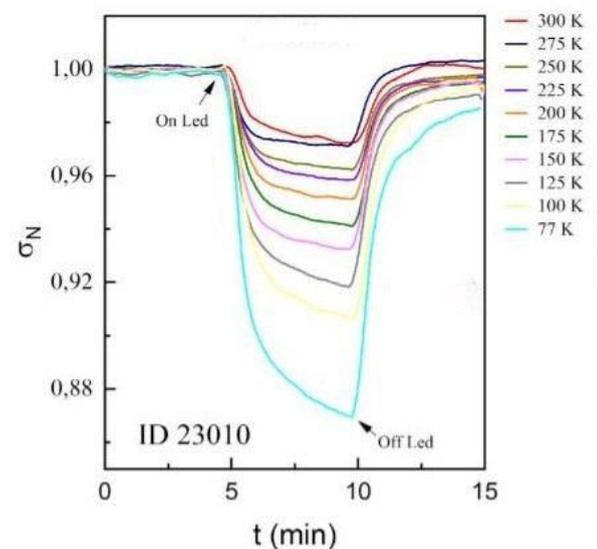
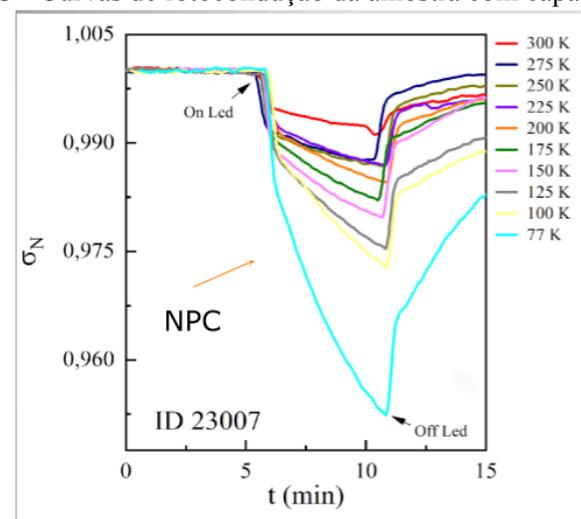


Figura 3 - Curvas de fotocondução da amostra com capa



Por outro lado, a amostra com revestimento de BaF₂ exibiu uma mobilidade de portadores superior em

todas as temperaturas analisadas, como mostrado na figura 4, com destaque para a condição a 77 K, onde a mobilidade alcançou valores significativamente mais altos. A maior mobilidade observada na amostra com capa pode ser explicada pela redução na dispersão dos portadores, já que o revestimento de BaF₂ provavelmente ajuda a diminuir os defeitos na superfície. Estudos, como o de DE CASTRO et al. (2024), mostram que o revestimento em filmes de SnTe também é fundamental para estabilizar os férmions de Dirac, garantindo um melhor desempenho mesmo em condições mais difíceis

A resistividade das amostras também apresentou comportamentos distintos. A Figura 5 ilustra que a amostra sem revestimento apresentou resistividade superior em todas as condições de teste, sugerindo uma maior dificuldade no fluxo de corrente elétrica devido à menor mobilidade dos portadores de carga e à presença de possíveis defeitos ou armadilhas que dificultam o movimento desses portadores. Essa característica, combinada com a maior fotocondução, indica um comportamento vantajoso para dispositivos optoeletrônicos, onde a sensibilidade à luz é priorizada, mas com um custo em termos de condutividade elétrica. Já a amostra com capa de BaF₂ apresentou resistividade menor, o que, associado à maior mobilidade, aponta para um material com melhor capacidade de transporte de carga.

A concentração de portadores de carga foi outra variável que difere entre as amostras, conforme observa-se na Figura 6. A amostra sem revestimento apresentou uma concentração significativamente maior em todas as condições avaliadas, sugerindo que a ausência do revestimento de BaF₂ aumenta a densidade de portadores livres no material. No entanto, essa alta concentração não se refletiu em uma melhor mobilidade, indicando que os portadores estão presentes em maior número, mas seu transporte é limitado por mecanismos de recombinação e defeitos no material. A amostra revestida apresentou uma concentração menor, o que pode ser um indicativo de que o revestimento de BaF₂ introduz defeitos ou aumenta o tempo de recombinação dos portadores, reduzindo a densidade efetiva dos portadores livres.

Figura 4 - comparação da mobilidade (μ)

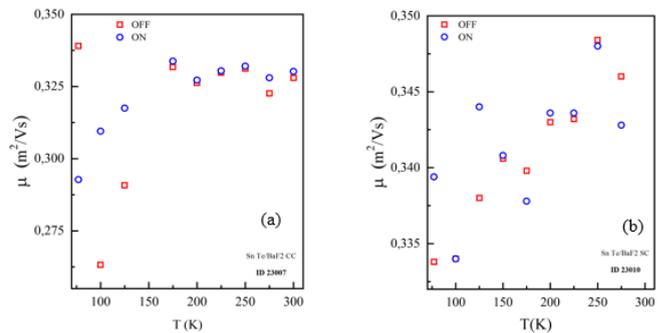


Figura 5 - comparação da resistividade (ρ)

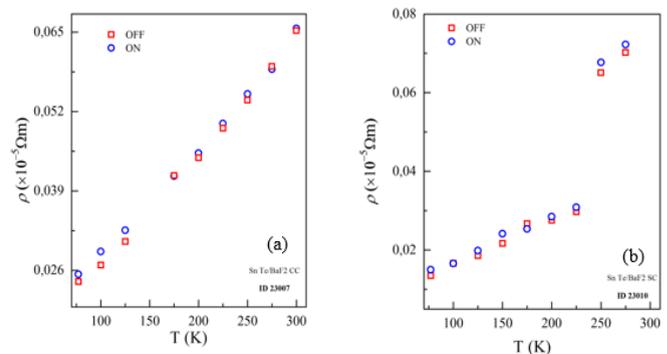
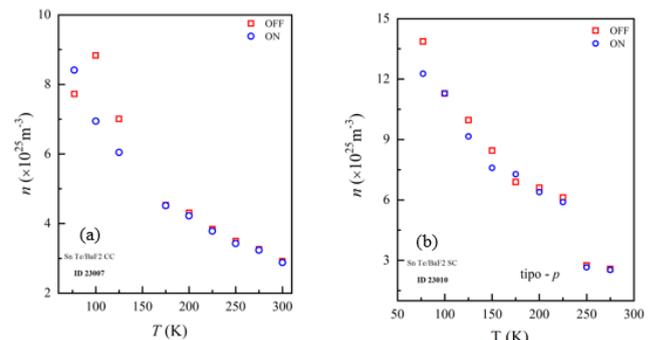


Figura 6 -comparação da concentração de portadores (n)



Esses resultados indicam que as amostras com e sem revestimento de BaF₂ apresentam vantagens e desvantagens distintas, dependendo da aplicação. A amostra sem revestimento é mais eficiente para aplicações que demandam alta sensibilidade à luz, devido à sua maior concentração de portadores e fotocondução. Por outro lado, a amostra revestida com BaF₂ é mais adequada para aplicações que exigem eficiência no transporte de carga e baixa resistividade,

beneficiando-se da maior mobilidade dos portadores. Portanto, a escolha entre as duas amostras deve ser feita considerando o equilíbrio desejado entre a fotossensibilidade e a eficiência de transporte de carga, dependendo da aplicação optoeletrônica pretendida.

Conclusões

A mobilidade dos portadores é maior na amostra com capa (CC), especialmente a 77 K; em 77 K com o LED ligado, a mobilidade na CC é $12.26 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, enquanto na SC é $8.41 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Isso indica que, em temperaturas mais baixas, a capa de BaF_2 melhora a mobilidade dos portadores. A resistividade é maior na amostra sem capa (SC) em todas as condições, o que indica uma maior dificuldade no fluxo de corrente elétrica nessa amostra. Em 77 K com o LED ligado, a resistividade na SC é $2.53 \Omega \cdot \text{cm}$, enquanto na CC é $1.49 \Omega \cdot \text{cm}$. Sobre a concentração de portadores, a amostra sem capa (SC) apresenta uma maior concentração de portadores em ambas as temperaturas (300 K e 77 K), independentemente da presença de luz, comparado à amostra com capa. Por exemplo, em 300 K com o LED ligado, a concentração de portadores na SC é $2.88 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, enquanto na CC é $2.39 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. A amostra de SnTe sem a capa de BaF_2 apresentou uma maior concentração de portadores de carga e fotocondução mais eficiente, especialmente a baixas temperaturas, o que a torna mais sensível à luz. No entanto, sua mobilidade e condutividade elétrica foram inferiores à da amostra com capa de BaF_2 , que, por sua vez, exibiu menor fotocondução, mas um transporte de carga mais eficiente devido à maior mobilidade e menor resistividade. Isso sugere que a escolha entre uma amostra com ou sem a capa de BaF_2 deve depender do equilíbrio desejado entre sensibilidade à luz e eficiência de transporte de carga para a aplicação em questão.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, pelo suporte e infraestrutura oferecidos para a realização deste trabalho. Agradeço ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsa durante o período de desenvolvimento deste projeto. Agradeço aos professores Marcelos Lima Peres e Suelen de Castro por toda ajuda para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- AKIYAMA, Ryota et al. Two-dimensional quantum transport of multivalley (111) surface state in topological crystalline insulator SnTe thin films. *Nano Research*, v. 9, p. 490-498, 2016.
- BODARYA, Vijaykumar et al. Investigations of photo-transient properties and applications as photosensors in well-characterized tin telluride (SnTe) single crystal. *Materials Chemistry and Physics*, v. 314, p. 128879, 2024.
- CASTRO, Suelen de. Medidas de transporte elétrico em semicondutores de gap estreito. 2015.
- DE CASTRO, S. et al. Detection of Dirac fermions in capped SnTe film via magnetotransport measurements. *Journal of Applied Physics*, v. 135, n. 20, 2024