

ORIGINAL ARTICLE

Characterization of Optical Parameters of ZnSe and ZnSe/Cu Thin Films Using the Vacuum Evaporation

Rostam Moradian¹, Masome Naseri Tekyeh^{2*}

1 Professor, Physics Department, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, Iran.

2 Ph.D. Student, Physics Department, Faculty of Science, Malayer University, Malayer, Iran.

Correspondence

Masome Naseri Tekyeh

Email:

masomenasseri@yahoo.com

How to cite

Moradian, R. Naseri Tekyeh, M. (2025). Characterization of Optical Parameters of ZnSe and ZnSe/Cu Thin Films Using the Vacuum Evaporation, Optoelectronic, 7(4), 39-44.

ABSTRACT

The ZnSe and ZnSe/Cu thin films successfully prepared using the vacuum evaporation method. Their optical properties investigated using UV-vis spectroscopy. The ZnSe thin film showed better transmission in the transparent region than the ZnSe/Cu thin film. The refractive index of the ZnSe sample depends on the wavelength at low wavelengths, but at wavelengths longer than 600 nm, it is independent of wavelength and has a constant value of about 1.5. For the ZnSe/Cu sample, the refractive index shows slight dependence on the wavelength and has an almost constant value between 1.5 and 1.6. The samples' extinction coefficient decreases with increasing wavelength. The real and imaginary parts of the dielectric constants illustrated the same behavior as the refractive index and extinction coefficient, respectively. From this study, it can be indicated that both thin films with these optical properties are suitable for optoelectronic applications.

KEYWORDS

ZnSe, ZnSe/Cu, Thin Film, Refractive Index, Extinction Coefficient, Dielectric Constant.

فصلنامه علمی

اپتوالکترونیک

«مقاله پژوهشی»

مشخصه‌یابی پارامترهای اپتیکی لایه‌های نازک سلنیدروی و سلنیدروی/مس به روش تبخیر خلاء

رستم مرادیان^۱، معصومه ناصری تکیه^{۲*}

چکیده

لایه‌های نازک سلنیدروی و سلنیدروی/مس با موفقیت به روش تبخیر خلاء تهیه شدند. با استفاده از طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش خواص نوری آن‌ها بررسی شد. در ناحیه شفاف، نمونه لایه نازک سلنیدروی عبور بهتری نسبت به لایه نازک سلنیدروی/مس را از خود نشان داد. ضریب شکست نمونه سلنیدروی در طول موج‌های پایین به طول موج وابسته است اما در طول موج‌های بیشتر از ۶۰۰ نانومتر بدون وابستگی به طول موج و دارای مقدار ثابت حدوداً ۱/۵ است. برای نمونه سلنیدروی/مس ضریب شکست وابستگی کمی به طول موج مشاهده می‌شود و تقریباً مقدار بین ۱/۵ تا ۱/۶ را دارد. ضریب خاموشی برای هر دو نمونه با افزایش طول موج، کاهش می‌یابد. قسمت حقیقی و موهومی ثابت دی الکتریک به ترتیب رفتاری مشابه ضریب شکست و ضریب خاموشی از خود نشان دادند. از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که هر دو لایه نازک با چنین ویژگی‌های نوری برای کاربردهای اپتوالکترونیکی مناسب هستند.

واژه‌های کلیدی

سلنیدروی، سلنیدروی/مس، لایه نازک، ضریب شکست، ضریب خاموشی، ثابت دی الکتریک.

۱ استاد، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲ دانشجوی دکتری، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

نویسنده مسئول:
معصومه ناصری تکیه
رایانامه: masomenasseri@yahoo.com

استناد به این مقاله:

رستم مرادیان، معصومه ناصری تکیه (۱۴۰۴). مشخصه‌یابی پارامترهای اپتیکی لایه‌های نازک سلنیدروی و سلنیدروی/مس به روش تبخیر خلاء. فصلنامه علمی اپتوالکترونیک، ۷(۴)، ۳۹-۴۴.

مقدمه

سلنید روی (ZnSe) یک نیمه رسانای ترکیبی نوع n با گاف نواری مستقیم ۲/۷ eV در دمای اتاق [۱]، متشکل از عناصر گروه II-VI، با انرژی اتصال اکسیتون بالا (۲۲ مگاولت) [۲]، شعاع بور کوچک (۷.۸ نانومتر) [۳] است. همچنین سلنیدروی (ZnSe) دارای شفافیت بالایی در محدوده نور آبی [۴] و ضریب شکست بالا (حدود ۲.۴) [۵] است. با توجه به کاربردهای گسترده سلنیدروی، عموماً در ساختارهای مورفولوژیکی متفاوتی از جمله لایه‌های نازک [۶]، نانومیلها [۷]، نقاط کوانتومی [۸] و نانوسیمها [۹] تهیه می‌گردد. در میان مورفولوژی‌های مختلف، لایه‌های نازک به دلیل استفاده در سلول‌های خورشیدی [۱۰]، ترانزیستورهای لایه نازک [۱۱]، دستگاه‌های فوتولومینسانس [۱۲]، صفحات لیزری [۱۳]، مواد نوری غیرخطی [۱۴] و دیودهای آبی [۱۵] از محبوبیت بیشتری برخوردار است.

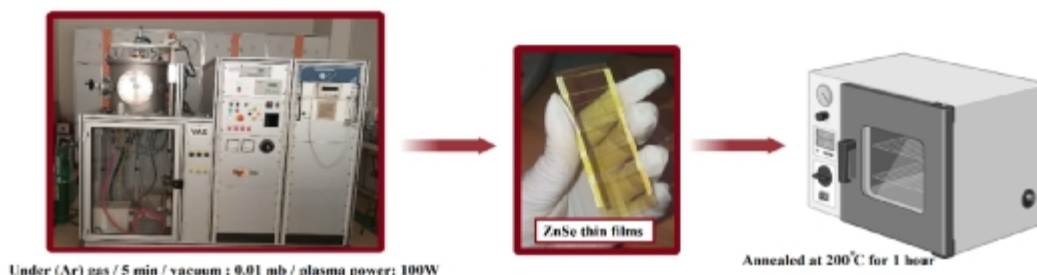
جهت تهیه لایه‌های نازک چندین تکنیک رشد از جمله کندوپاش مگنترون [۱۶]، رسوب تبخیر حرارتی [۱۷]، رسوب الکتریکی [۱۸]، روش سل-ژل [۱۹] و رسوب بخار شیمیایی

Biomate5 جهت بررسی خواص نوری استفاده گردید. ترکیبات عنصری لایه‌های نازک توسط طیف‌سنجی پرتو ایکس پراکنده انرژی (TESCAN VEGA 3) (EDS) تعیین شد. مورفولوژی و ضخامت لایه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (TESCAN MIRA III) (FESEM) مشخص شد.

روش آزمایشگاهی

لایه نازک سلنیدروی با موفقیت به روش تبخیر خلاء با استفاده از پودر سلنیدروی (مرک آلمان، خلوص ۹۹/۹۹٪) روی بسترهای شیشه‌ای پوشانده شد. قبل از لایه نشانی، بسترهای شیشه‌ای چندین بار با اتانول و آب دیونیزه شستشو داده شد. ابتدا محفظه به خلاء 5×10^{-5} میلی بار رسید. در طی فرآیند لایه نشانی، پلاسما دارای گاز آرگون (Ar) در محفظه است و تبخیر به مدت ۵ دقیقه در خلاء کاری ۰/۰۱ میلی بار و توان پلاسما در ۱۰۰ وات انجام شد.

همچنین فاصله بوته تا بستر شیشه‌ای ۴۰ سانتی متر تنظیم



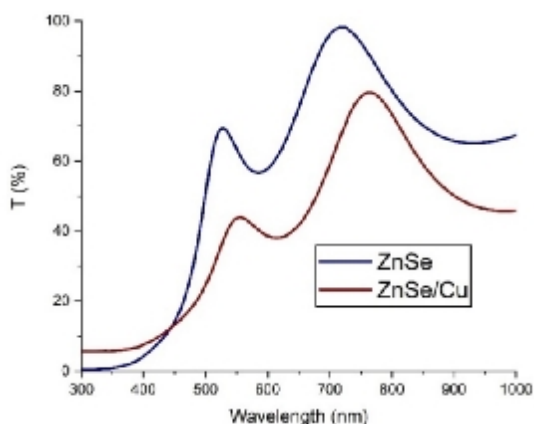
شکل ۱. شماتیک پروسه تهیه لایه‌های نازک

گردید. لایه‌های نازک پوشش داده شده در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت پخت داده شد. جهت تهیه لایه نازک سلنیدروی/مس، پس از تهیه لایه نازک سلنیدروی، دستگاه مشابه حالت قبل تنظیم شد و با استفاده از پودر مس (مرک آلمان، خلوص ۹۹/۸٪) روی لایه نازک سلنیدروی به روش کندوپاش تبخیر خلاء به مدت ۵ دقیقه انجام گردید. شماتیک روند کار در شکل ۱ آورده شده است.

نتیجه و بحث

پیش از بررسی خواص نوری، به بررسی خواص عنصری و مورفولوژیکی نمونه‌ها پرداختیم. از طیف‌سنجی EDS همیشه برای تشخیص درصد عناصر استفاده می‌گردد. شکل ۲ ترکیب عنصری لایه‌های نازک سلنیدروی و سلنیدروی/مس را نشان می‌دهد. همان طور که از شکل ۲ پیداست درصد وزنی عناصر «روی» و «سلنید» برای نمونه سلنیدروی به ترتیب ۴۷/۴۳ و ۵۲/۵۷ درصد است. درصد وزنی عناصر «روی»، «سلنید» و «مس» برای نمونه سلنیدروی/مس به ترتیب ۴۵/۰۹، ۴۳/۶۳ و ۱۱/۲۸ درصد است.

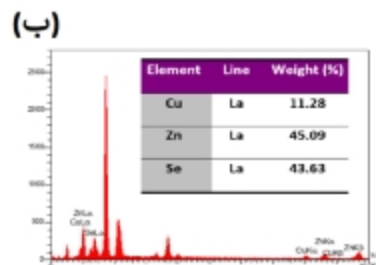
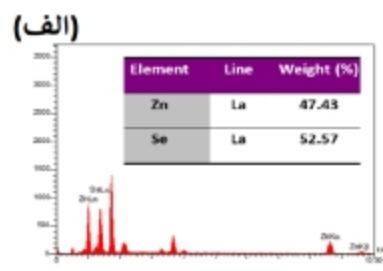
[۲۰] گزارش شده است که در میان این تکنیک‌ها، کندوپاش مگنترون و تبخیر خلاء به دلیل مزایایی همانند ضخامت قابل کنترل، نرخ رسوب قابل تنظیم، یکنواختی بالا، آماده‌سازی حرارتی کم و چسبندگی بهتر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است [۲۱]. طبق پژوهش‌های صورت گرفته، با کنترل و انتخاب روش مناسب، می‌توانیم ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های نازک را تنظیم کرده و آن را برای فناوری‌های مورد استفاده در صنعت، مناسب کنیم. همان طور که می‌دانیم در روش تبخیر خلاء، به دلیل کنترل بهتر دما، فشار و انرژی اتم‌ها، چسبندگی لایه بهتر است و ضخامت یکنواخت‌تری ایجاد می‌شود. چنین کنترل‌هایی منجر به حذف یا به حداقل رساندن ناخالصی‌ها و در نتیجه خواص نوری بهتری می‌شود. همچنین به دلیل اینکه لایه‌های نازک ایجاد شده دارای خلوص بالاتری هستند، ضریب دی‌الکتریک بهتر می‌شود. به همین منظور در این پژوهش، در گام نخست لایه‌های نازک سلنیدروی و سلنیدروی/مس روی بستر شیشه‌ای به روش تبخیر خلاء تهیه شدند و سپس در گام بعدی خواص نوری لایه‌های نازک بررسی گردید. از آنالیز طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش (Thermo UV-visible)



شکل ۴. طیف عبوری لایه‌های نازک سلیندروی و سلیندروی/مس.
با استفاده از روش سوان پول می‌توان ضریب شکست اپتیکی
نمونه‌ها را محاسبه کرد [۲۲]:

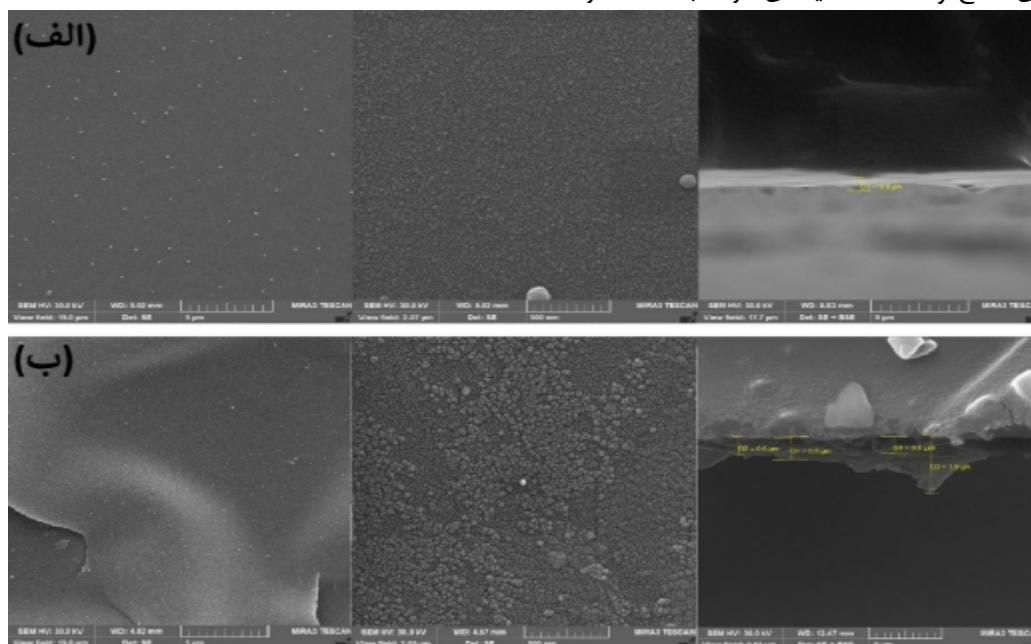
$$n = [N + (N^2 - s^2)^{0.5}]^{0.5} \quad (۱)$$

جایی که:



شکل ۲. درصد وزنی عناصر لایه‌های نازک (الف) سلیندروی و (ب)
سلیندروی/مس

مورفولوژی سطح و ضخامت لایه‌های نازک با استفاده از



شکل ۳. مورفولوژی لایه‌های نازک (الف) سلیندروی و (ب) سلیندروی/مس

$$N = 2s \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max} + T_{min}} + \frac{s^2 + 1}{2} \quad (۲)$$

که در آن T_{max} و T_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل
حاشیه‌های تداخل طیف عبور هستند و s ضریب شکست زیرلایه
است (که ضریب شکست شیشه ۱/۵۱ است).

علاوه بر این، پارامتر ضریب خاموشی، k ، نانو فیلم‌های
ZnSe را می‌توان بر اساس رابطه زیر محاسبه کرد [۲۳]:

$$k = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad (۳)$$

در شکل ۵ پارامترهای ضریب شکست و ضریب خاموشی
لایه‌های نازک بر حسب طول موج آورده شده است. درون
محیط مادی اگر سرعت انتشار برای طول موج‌های مختلف،

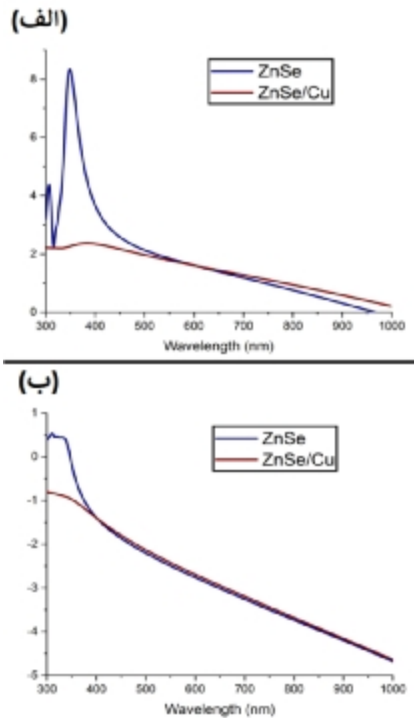
الکترون روبشی گسیل میدانی تهیه و در شکل ۳ نشان داده شده
است. طرفی ساینز نانوذرات لایه نازک سلیندروی/مس از لایه
نازک سلیندروی بزرگ‌تر است. همان‌طور که انتظار می‌رود لایه
نشانی لایه مس سبب افزایش ضخامت نمونه نسبت به حالت
قبل شده است.

شکل ۴ طیف‌های عبور لایه‌های نازک را نمایش می‌دهد که
همان‌طور از آن پیداست در ناحیه شفاف نمونه لایه نازک
سلیندروی عبور نور بهتری نسبت به لایه نازک سلیندروی/مس
را از خود نشان داده است و افزودن یک لایه مس بر روی نمونه
اولیه سبب کاهش میزان نور عبوری گردیده است.

که قسمت حقیقی ϵ_r و موهومی ϵ_i آن با روابط زیر داده قابل محاسبه هستند [۲۸]:

$$\epsilon_r = n^2 - k^2 \quad (۵)$$

$$\epsilon_i = 2nk \quad (۶)$$



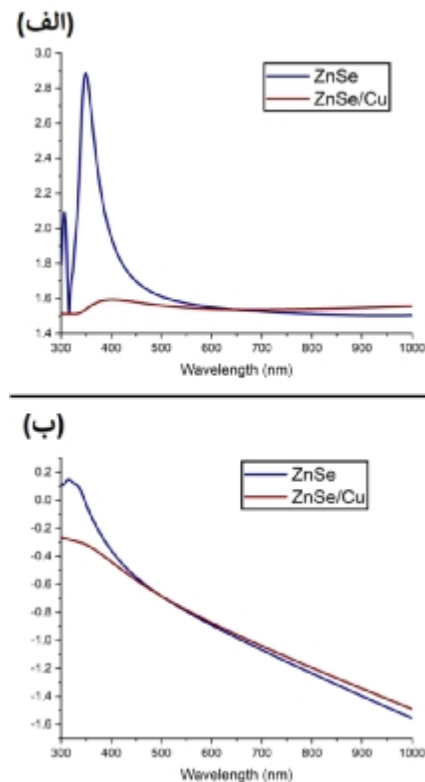
شکل ۵. الف) قسمت حقیقی و ب) قسمت موهومی ثابت دی الکتریک لایه‌های نازک

قسمت حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک برحسب طول موج در شکل ۶ نشان داده شده است. باتوجه به اینکه مقدار بسیارکوچک k و روابط ۵ و ۶ می‌توان بیان داشت که قسمت حقیقی به n^2 بستگی دارد و رفتاری مشابه آن را از خود نشان می‌دهد، از طرفی قسمت موهومی به k بستگی داشته و رفتار مشابه آن از خود نشان می‌دهد [۲۹] که این وابستگی برای نمونه‌ها در شکل نیز کاملاً پیداست.

نتیجه‌گیری

لایه‌های نازک سلنیدروی و سلنیدروی/مس با موفقیت به روش تبخیر خلاء با استفاده از پودر سلنیدروی و مس بر روی بسترهای شیشه‌ای با موفقیت لایه نشانی شدند. از بررسی عنصری نمونه‌ها داریم که درصد وزنی عناصر «روی» و «سلنید» برای نمونه سلنیدروی به ترتیب ۴۳/۴۷ و ۵۲/۵۷ درصد و درصد وزنی عناصر «روی»، «سلنید» و «مس» برای نمونه سلنیدروی/مس به ترتیب ۴۵/۰۹، ۴۳/۶۳ و ۱۱/۲۸ درصد است. از آنالیز الکترون روبشی نیز مشاهده شد ضخامت و سایز نانوذرات لایه نازک سلنیدروی/مس از سلنیدروی بزرگتر است. در ناحیه شفاف، نمونه لایه نازک سلنیدروی عبور نور بهتری نسبت به لایه نازک سلنیدروی/مس را از خود نشان داده است. ضریب شکست نمونه

متفاوت باشد، ضریب شکست محیط به طول موج بستگی دارد و دارای خاصیت پاشندگی است.



شکل ۵. الف) ضریب شکست و ب) ضریب خاموشی لایه‌های نازک

همان طور که از شکل ۵-الف پیداست ضریب شکست نمونه سلنیدروی در طول موج‌های پایین به طول موج وابسته است اما در طول موج‌های بیشتر از ۶۰۰ نانومتر بدون وابستگی به طول موج و دارای مقدار ثابت حدوداً ۱/۵ است. برای نمونه سلنیدروی/مس وابستگی کمی به طول موج مشاهده می‌شود و تقریباً مقدار بین ۱/۵ تا ۱/۶ را دارد. از شکل ۵-ب نیز قابل مشاهده است، ضریب خاموشی تابعی از طول موج و دارای مقادیر متفاوت است که با افزایش طول موج، کاهش یافته است و از آن می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌ها یک ماده نوری امیدوارکننده برای منطقه طول موج بلند هستند [۲۴]. برای طراحی و ساخت دستگاه‌های موجبر، ضریب خاموشی و ضریب شکست باید دقیقاً تابعی از طول موج باشد [۲۵] اما موجبرهای دال اول با ضریب شکست ثابت در لایه‌های هسته و روکش هستند [۲۶] که می‌توان با توجه به عدم وابستگی و ثابت بودن مقدار ضریب شکست در طول موج‌های بالای لایه‌های تهیه شده در روکش این موجبرها استفاده کرد.

یکی از ویژگی‌های اساسی نوری لایه‌های نازک، تابع دی الکتریک مختلط است که اطلاعاتی را درباره عوامل اتلاف نشان می‌دهد. تابع دی الکتریک به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۷]:

$$\epsilon = \epsilon_r + i\epsilon_i \quad (۴)$$

موج، کاهش یافته است. با توجه به اینکه مقدار k بسیار کوچک بوده می‌توان بیان داشت که قسمت حقیقی به n^2 بستگی دارد و قسمت موهومی به k بستگی داشته و رفتار مشابه آن از خود نشان می‌دهد. به‌طور جمع‌بندی از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که هر دو لایه نازک با چنین ویژگی‌های نوری برای کاربردهای اپتوالکترونیکی مناسب است.

سلنیدروی در طول موج‌های پایین به طول موج وابسته است اما در طول موج‌های بیشتر از ۶۰۰ نانومتر بدون وابستگی به طول موج و دارای مقدار ثابت حدوداً $1/5$ می‌باشد. ضریب شکست برای نمونه سلنیدروی/مس وابستگی کمی به طول موج را از خود نشان داد و تقریباً مقدار ثابت بین $1/5$ تا $1/6$ را دارد. ضریب خاموشی تابعی از طول موج و دارای مقادیر متفاوت می‌باشد که با افزایش طول

منابع

References

- [1] Nguyen, D.H., et al., Reaction-dependent optical behavior and theoretical perspectives of colloidal ZnSe quantum dots. *Scientific Reports*, 2024. 14(1): p. 13982.
- [2] Drissi, N., A. Gassoumi, and N. Bouarissa, Energy Gaps, Optical Transitions, and Exciton Properties of ZnSe at High Pressures. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 2024. 13(2): p. 024001.
- [3] Fei, L., et al., Design and fabrication of composite structures in ZnSe providing broadband mid-infrared anti-reflection. *Optical Materials*, 2018. 84: p. 722-727.
- [4] Zollars, B., et al. Performance measurements of infrared windows with surface structures providing broadband wide-angle antireflective properties. in *Window and Dome Technologies and Materials XIII. 2013. SPIE*.
- [5] MacDonald, J.R., et al., Compact mid-infrared Cr: ZnSe channel waveguide laser. *Applied Physics Letters*, 2013. 102(16): p. 102(16).
- [6] Mahdi, S. and H.S. Ali, Developing of tunable attenuator of laser beam via ZnSe thin films. 2024.
- [7] Chen, L., et al., Improvement of Photocatalytic and Photodegradable ZnSe Nanorods by a Vulcanization Strategy. *ACS omega*, 2024.
- [8] Jayalakshmi, S., et al., Aqueous soluble zinc selenide quantum dots for rapid detection of lead in water, fruit juices and biological fluids. *Optical Materials*, 2024. :149 p. 115080.
- [9] Wang, W., et al., In Situ Construction of Z-Scheme ZnO/ZnSe Heterojunction for Enhanced Photocatalytic Plastic Degradation and Hydrogen Production. Znse Heterojunction for Enhanced Photocatalytic Plastic Degradation and Hydrogen Production.
- [10] Arsad, A., et al., Zinc sulfide thin films deposited by chemical bath: Tuning consideration of structural, optical band gap, and electrical properties for CIGS solar cells application. *Ceramics International*, 2024. 50(7): p. 11776-11786.
- [11] Alnakhilani, A., et al., Investigating the impact of heat treatment on the structural, optical, and electrical characteristics of Zn₂₀Se₈₀ thin films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2024. 35(21): p. 1451.
- [12] Tiu, Z.C., et al., Development of polarization modulator using MXene thin film. *Scientific Reports*, 2022. 12(1): p. 6766.
- [13] Yudar, H.H., et al., Zn/ZnSe thin films deposition by RF magnetron sputtering. *Journal of Materials Science: materials in electronics*, 2017. 28: p. 2833-2837.
- [14] Fu, H., et al., The growth and characterization of ZnSe nanoneedles by a simple chemical vapor deposition method. *Journal of crystal growth*, 2006. 289(2): p. 440-444.
- [15] Chazot, M., et al., Enhancement of ZnSe stability during optical composite processing via atomic layer deposition. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2022. 576: p. 121259.
- [16] Gupta, S.P., et al., Nanostructured Zinc Selenide (ZnSe) Thin Films Deposited by Various Modes of Electrodeposition for Photovoltaic Application. *ES Energy & Environment*, 2023. 20: p. 910.
- [17] Ou, K., et al., Investigation on annealing temperature - dependent optical properties of electron beam evaporated ZnSe thin films. *Thin Solid Films*, 2019. 669: p. 247-252.
- [18] Hassanien, A.S., K. Aly, and A.A. Akl, Study of optical properties of thermally evaporated ZnSe thin films annealed at different pulsed laser powers. *Journal of Alloys and Compounds*, 2016. 685: p. 733-742.
- [19] Dahiya, A., et al., Achieving phase stability in ZnSe thin films by thickness and annealing recipes for optical window applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2023. 34(5): p. 410.
- [20] Oyetunde, T., M.O. Omorogie, and P. O'Brien, Aerosol Assisted Chemical Vapour Deposition (AACVD) of Zinc dichalcogenoimidodiphosphinate Complexes for the Deposition of Zinc Selenide Thin Films. *ChemistryOpen*, 2024: p. e202400295.
- [21] Seyahmazegi, E.N., R. Mohammad-Rezaei, and H. Razmi, Multiwall carbon nanotubes decorated on calcined eggshell waste as a novel nano-sorbent: application for anionic dye Congo red removal. *Chemical Engineering Research and Design*, 2016. 109: p. 824-834.
- [22] Swanepoel, R., Determination of surface roughness and optical constants of inhomogeneous amorphous silicon films. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 1984. 17(10): p. 896.
- [23] Garg, A. and R. Jindal, Impact of low dose of gamma irradiation on thin films of Bismuth Tri-iodide. *Applied Radiation and Isotopes*, 2025. 216: p. 111598.
- [24] Chauhan, R., A. Tripathi, and K.K. Srivastava, High-energy ion treatments of amorphous As₄₀Se₆₀ thin films for optical applications. *Progress in Natural Science: Materials International*, 2014. 24(3): p. 239-246.
- [25] Gehrsitz, S., et al., The refractive index of Al_xGa_{1-x}As below the band gap: accurate determination and empirical modeling. *Journal of Applied Physics*, 2000. 87(11): p. 7825-7837.
- [26] Dragoman, D. and M. Dragoman, Advanced optoelectronic devices. Vol. 1. 2013: *Springer Science & Business Media*.
- [27] Emegha, J.O., et al., Optical and electrical properties of semiconducting ZnS thin film prepared by chemical bath deposition technique. *Journal of Materials Science Research and Reviews*, 2019. 2(3): p. 411-418.
- [28] Nasrin, R. and A. Bhuiyan, Thermal and AC electrical properties of thin films prepared from n-butyl methacrylate by a capacitively coupled plasma reactor. *Surface Review and Letters*, 2019. 26(02): p. 1850146.
- [29] Jebas, S. and J. Geetha, Optical, Mechanical and Dielectric Characterization of 5-(3, 4, 5-Trimethoxybenzyl) Pyrimidine-2, 4-Diamine (Trimethoprim-An Antibiotic Drug) Single Crystal. *Indian Journal of Science and Technology*, 2024. 17(28): p. 2914-2923