

Determination of the band gap of thin films using ultraviolet-visible spectroscopy for optoelectronic applications

Sayed Abdul Saboor Mosamem

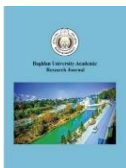
Department of Physics, Education Faculty, Baghlan University, Afghanistan.

Corresponding Author: S. A. Saboor Mosamem. E-mail: smosamem@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article Type: Review Article Article History: Received: 15, November, 2025 Accepted: 25, March, 2026 Published: 7, June, 2026	In this study, the determination of thin film bandgaps using UV-Visible spectroscopy has been investigated. In a particular case, ZnO thin films with Nanorods morphology due to being compound and exhibiting semiconductor property has been chosen and analyzed. A cheap of thin films, was exposed to UV-Visible radiations using a JASCOV-670 spectrometer and its absorption spectra was recorded. The obtained data were analyzed using Origin Project software. With respect to Beer Lambert equation, a specific equation was derived for calculation of absorption coefficient which can be used for any thin films. Moreover, the plotting of bandgap energy diagram is possible simply using this equation. The Tauc plot for recorded data was analyzed. The results indicated that the thin film bandgap is extractable thorough $(\alpha E)^{1/\gamma}$ versus energy E, which the type of band (Direct or Indirect) are determined with respect to γ value. The bandgap energy was obtained 3.15 eV for ZnO which indicates the absorption of photons in the UV range and lower wavelengths. This amount of energy is suitable for photovoltaic and photoelectrochemical applications to produce electricity and Hydrogen gas respectively.

Keywords: Absorption coefficient, Band-gap, Direct transition, Solar cell

To cite this article: Mosamem. S. A. S: 2026. Determination of the band gap of thin films using ultraviolet-visible spectroscopy for optoelectronic applications. Baghlan University Journal of Natural and Social Sciences, Vol. 14, Issue. 1, Serial No. 38. Spring (2026), 43-54. License: RCTD – GNJR – 0018 – 23.
 Publisher: University of Baghlan Journal@baghlan.edu.af



تعیین باند ممنوعه فلم‌های نازک با استفاده از روش طیف سنجی ماورای بنفش-قابل دید برای کاربرد های اپتوالکترونیکی

پوهنمل سیدعبدالصبور مصمم

عضو کادر علمی دیپارتمنت فزیک پوهنځی تعلیم و تربیه پوهنتون بغلان.

اطلاعات مقاله چکیده

نوع مقاله:

مقاله علمی-تحقیقی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۸/۲۴ هـ ش

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۵/۰۱/۵ هـ ش

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۳/۱۷ هـ ش

در این مطالعه، تعیین باند ممنوعه فلم‌های نازک با استفاده از طیف‌سنجی نور ماورای بنفش-قابل دید بررسی شده است. این پژوهش به صورت تجربی و با رویکرد کمی انجام شده است. به طور خاص، فلم نازک ZnO با ساختار نانومیله بادر نظر داشت ویژگی‌های چون ترکیبی بودن و نشان دادن خاصیت نیمه هادی، انتخاب و تحلیل شد. قطعه‌ای از فلم مذکور، در معرض تشعشعات نور UV-Vis با استفاده از دستگاه طیف‌سنج JASCOV-۶۷۰ قرار گرفت و طیف جذبی آن ثبت گردید. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Origin تحلیل شدند. با در نظر داشت معادله بیر-لمبرت معادله مشخصی برای محاسبه ضریب جذب، استخراج شد که می‌تواند در فلم‌های مختلف استفاده شود. نتایج نشان داد که باند ممنوعه فلم‌های نازک از طریق نمودار $(\alpha E)^{1/2}$ بر حسب انرژی E قابل استخراج است؛ که نوع باند (مستقیم یا غیرمستقیم) با توجه به مقدار γ تعیین می‌شود. باند ممنوعه ZnO حدود ۳.۱۵ eV به دست آمد که نشان‌دهنده جذب فوتون‌های ناحیه ماورای بنفش و طول‌موج‌های پایین‌تر است.

واژه های کلیدی: انتقال مستقیم، باند-ممنوعه، سلول خورشیدی، ضریب جذب.

استناد: مصمم، سیدعبدالصبور. (۱۴۰۵)، تعیین باند ممنوعه فلم‌های نازک با استفاده از روش طیف‌سنجی ماورای بنفش-قابل دید برای کاربرد های اپتوالکترونیکی، مجله علمی تحقیقی علوم طبیعی و اجتماعی پوهنتون بغلان، شماره ۱، بهار (۱۴۰۵)، شماره مسلسل ۳۸، دور ۱۴.

دور ۱۴. (۵۴-۴۳). ناشر: پوهنتون بغلان. Journal@baghlan.edu.af

مقدمه

بسم الله الرحمن الرحيم؛ الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد ﷺ و على آله و أصحابه أجمعين. اما بعد!

مواد از نظر هدایت الکتریکی به سه دسته هادی‌ها، عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها تقسیم می‌شوند که هر کدام نقش مهمی در فناوری‌های نوین ایفا می‌کنند (Malvino & Bates, 2016). نیمه‌هادی‌ها به دلیل خواص منحصر به فردشان، به‌ویژه در صنعت الکترونیک و انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد معمولاً به صورت فلم‌های نازک ترکیبی تولید می‌شوند تا ویژگی‌های اوپتیکی و الکترونیکی مطلوبی داشته باشند (مصمم، ۱۳۹۹). یکی از مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده کاربرد نیمه‌هادی‌ها، انرژی باند ممنوعه (Eg) است که مشخص‌کننده ناحیه جذب طیف نور خورشید می‌باشد و نقش کلیدی در عملکرد دستگاهایی مانند سلول‌های خورشیدی ایفا می‌کند (Andrew & Nie, 2009).

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در تولید نیمه‌هادی‌ها، همچنان موثریت تبدیل انرژی در سلول‌های خورشیدی و فرآیندهای فوتوالکتروکیمیایی محدود است؛ به طور مثال بالاترین موثریت گزارش شده در سلول‌های خورشیدی حدود ۴۷.۶٪ (Frank, 2022) و در تولید هایدروجن از طریق اتصال نیمه‌هادی-مایع حدود ۱۲.۴٪ است (Jia, 2016). این موضوع نشان‌دهنده وجود خلای تحقیقاتی در جهت بهبود مشخصات مواد و افزایش موثریت است که نیازمند تحقیقات جامع و دقیق در زمینه ترکیب مواد و مشخصه‌یابی آنهاست.

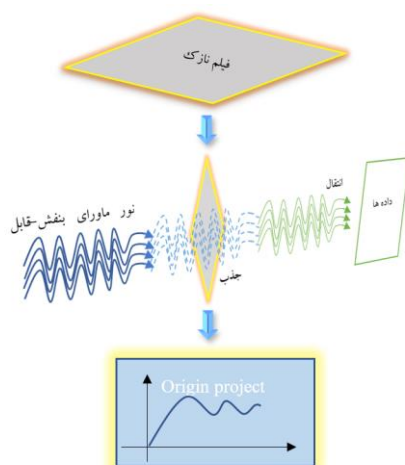
یکی از اصلی‌ترین مشخصه‌یابی‌ها، تعیین دقیق انرژی باند ممنوعه فلم‌های نازک است که می‌تواند با روش‌های مختلفی انجام شود. روش طیف‌سنجی نور ماورای بنفش-قابل دید (UV-Vis) به عنوان یکی از راهکارهای موثر در این زمینه شناخته شده است. با استفاده از منحنی انتقال (transmission curve) که در آن انتقال T بر حسب طول موج λ ترسیم گردیده است مشخصات چون ضخامت فلم (t)، ضریب جذب α ، انرژی باند ممنوعه Eg با در نظر داشت معادله $I = I_0 e^{-\alpha t}$ مورد تحلیل قرار گرفته است با این فرض که میزان انعکاس خیلی کوچک و قابل نظر می‌باشد (Yue, 2012). همچنین؛ تعیین مشخصات چون باند ممنوعه Eg، ضریب انکسار فلم $n(\lambda)$ ، ضخامت فلم (d) برای یک فلم شفاف قرار گرفته بر روی بستر مسطح غیرجاذب بر اساس اطلاعات برخورد نارمل و انتقال و برخورد نارمل و انعکاس نیز گزارش شده است (Monjoy & Suchitra, 2004). با این حال، چالش‌های تحلیل داده‌های طیف‌سنجی و پیش‌فرض‌های موجود در برخی

روش‌ها می‌تواند بر دقت تعیین باند ممنوعه تأثیرگذار باشد. بنابراین، بررسی روش‌های جایگزین و دقیق‌تر برای تحلیل داده‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

در این مقاله، با تمرکز بر فلم نازک ZnO به عنوان یک نیمه‌هادی ترکیبی و شناخته شده با انرژی باند ممنوعه حدود 3.3 eV (Klingshirn, 2007)، تلاش شده است تا باند ممنوعه این فلم‌ها با استفاده از منحنی جذب طیف نور UV-Vis تعیین گردد. این تحقیق با تحلیل طیف جذبی فلم نازک و معرفی فورمول‌های کاربردی به دنبال ارایه راه حل دقیق به منظور شناسایی و محاسبه انرژی باند ممنوعه است. معرفی یک روش مناسب، ساده و آسان می‌تواند نتایج دقیق و عاری از خطا را برای تحقیقات در زمینه مشخصه یابی مواد ممکن سازد. در حالی که مطالعات متعددی به این منظور انجام شده اند، مطالعه خاصی که نشان‌دهنده‌ی استفاده از طیف جذبی برای محاسبه باند ممنوعه با جزییات و محتویات کافی باشد وجود ندارد. انتظار می‌رود که استفاده از طیف جذبی موثرترین روش به مقصد متذکره باشد. علاوه بر آن، تبدیل طول موج به انرژی و استخراج ضریب جذب می‌تواند به عنوان روشی مکمل مورد استفاده قرار گیرد. درین تحقیق، طیف جذبی مورد تحلیل قرار گرفته، معادلات بیرلامبرت، انرژی فوتون‌ها، ساختار باند ممنوعه نیمه هادی‌ها، در زمینه بررسی شده است. برخلاف مطالعات قبلی، تحقیق حاضر نه تنها یافته‌های تجربی را با تیوری در زمینه پیوند می‌دهد بلکه بررسی جامعی را بر نوعیت باند متذکره ارایه می‌دهد که می‌تواند در شناخت نیمه هادی‌ها ازین نقطه نظر نیز کمک نماید.

مواد و روش کار

این پژوهش به صورت تجربی و با رویکرد کمی انجام شده است. به منظور ثبت طیف جذبی فلم نازک ZnO که بر روی بستر FTO رسوب داده شده بود، از طیف‌سنج JASCO V-670 استفاده گردید. پارامترهایی چون ضریب جذب، انرژی معادل فوتون‌های نور در ناحیه ماورای بنفش و مرئی جهت ترسیم نمودار تاک (Tauc plot) و تعیین مقدار باند ممنوعه انرژی (Eg) تحت بررسی قرار گرفتند. رابطه میان جذب A، انتقال T و انعکاس R بصورت $R + T + A = 1$ داده شده است. این سه پارامتر با هم در ارتباط اند و تعیین مشخصات اوبتیکی نظر به هر یکی از این‌ها ممکن می‌باشد. طرح آزمایش در دیاگرام (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): دیاگرام مراحل اجرا، ثبت داده‌ها و تحلیل آنها.

اطلاعات به‌دست‌آمده از طیف سنجی نور ماورای بنفش-قابل دید با استفاده از نرم‌افزار Origin Project مورد تحلیل قرار گرفت. این نرم‌افزار امکانات متنوعی را برای تحلیل داده‌ها فراهم می‌سازد، از جمله برش (fitting) منحنی داده‌ها با روش‌های مختلف، برجسته‌سازی خطوط، قطع نمودن محورها و منحنی‌ها در محدوده‌های مشخص، و تعیین نقاط تقاطع. این قابلیت‌ها تحلیل دقیق‌تر پارامترهای موردنظر از جمله انرژی باند ممنوعه را امکان‌پذیر می‌سازند و دقت نهایی نتایج را نسبت به سایر نرم‌افزارها افزایش می‌دهند.

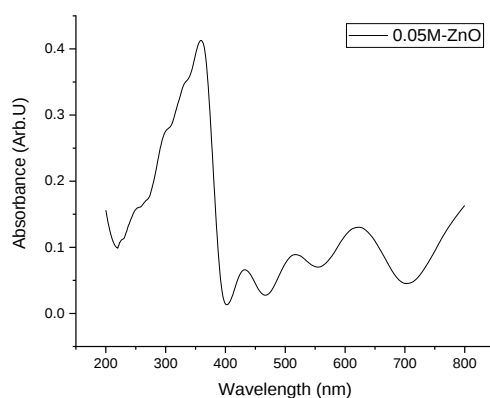
نتایج

جهت تعیین مشخصات اپتیکی فیلم نازک از جمله باند ممنوعه، طیف جذبی فیلم نازک ZnO در محدوده ای ۲۰۰ الی ۴۰۰ nm ثبت گردید. طیف جذبی میزان جذب (Absorbance) را بر حسب طول موج (wavelength) فوتون‌های ورودی ارائه می‌نماید. برخی از داده‌های مهم که توسط آنها منحنی تاک قابل ترسیم است در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): داده‌های ثبت شده از طیف سنجی ماورای بنفش و محاسبه انرژی معادل همراه با ضریب جذب.

طول موج (nm)	ضریب جذب (Arb. Un)	انرژی (eV)	ضریب جذب $(\text{eV cm}^{-1})^2$
800	0.16319	1.55	3.75827
770	0.12615	1.61039	2.90523
740	0.07863	1.67568	1.81085
710	0.04648	1.74648	1.07043
680	0.06231	1.82353	1.435
650	0.10944	1.90769	2.5204
620	0.13015	2.00000	2.99735
590	0.10429	2.10169	2.4018
560	0.07106	2.21429	1.63651
530	0.08389	2.33962	1.93199
500	0.07565	2.48000	1.74222
470	0.02835	2.6383	0.6529
440	0.06111	2.81818	1.40736
410	0.02298	3.02439	0.52923
380	0.20959	3.26316	4.82686
350	0.39168	3.54286	9.02039
320	0.31596	3.875	7.27656
300	0.27564	4.13333	6.34799
280	0.20015	4.42857	4.60945
260	0.16269	4.76923	3.74675
240	0.13808	5.16667	3.17998
220	0.09875	5.63636	2.27421
200	0.15635	6.2	3.60074

داده‌های ثبت شده توسط Origin Project به صورت جذب (A) برحسب طول موج (λ) ترسیم شد. شکل (۲) طیف جذبی ثبت شده در محدوده 200nm تا 800nm را نشان می‌دهد.

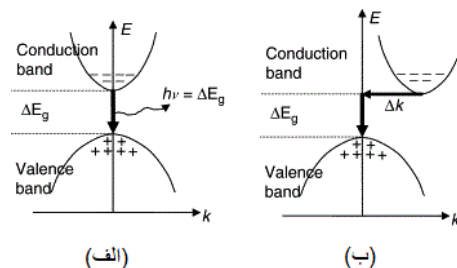


شکل (۲): طیف جذبی فلم نازک ZnO.

نیمه هادی‌ها از نقطه نظر ایجاد الکترون-حفره دارای دو نوع باند ممنوعه اند که عبارت است از مستقیم و غیر مستقیم (شکل ۳) (Hui & O'Sullivan, 2009). در حالت باند ممنوعه مستقیم مومنتم فوتون $k = h/\lambda$ حفظ می شود و پروسه جذب از انرژی $(E = h\nu)$ شروع می شود که برابر با فاصله باند ممنوعه (E_g) باشد (شکل ۳-الف). در نهایت؛ الکترون بدون تغییر مومنتم به صورت عمودی از باند ولانسی به باند هدایت منتقل می شود. ضریب جذب (α) برای انتقال الکترون توسط رابطه ذیل داده شده است:

$$(\alpha h\nu)^{1/\gamma} = B(h\nu - E_g) \quad (1)$$

که در آن α ضریب جذب، h ثابت پلانک، B میل قسمت خطی نمودار تاک (tauc plot) و E_g انرژی باند ممنوعه می باشد. ضریب γ به ماهیت انتقال الکترونی بستگی دارد و برای باند ممنوعه مستقیم و غیرمستقیم به ترتیب برابر با $1/2$ یا 2 است.



شکل (۳): دیاگرام انرژی (E) بر حسب (k). الف) باند ممنوعه مستقیم. ب) باند ممنوعه غیرمستقیم.

نمودار تاک از طیف $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب E تشکیل می شود. نمونه هایی از مواد نیمه هادی دارای باند-گپ مستقیم GaAs، CdS، CdTe، InP و غیره هستند که عبارت از نیمه های ترکیبی می باشند. در حالت باند ممنوعه غیرمستقیم، انتقال الکترون از باند ظرفیت (VB) به باند هدایت (CB) در مقادیر مومنتم مختلف (k) اتفاق می افتد (شکل ۳-ب). انتقال الکترون از حداکثر انرژی VB به حداقل انرژی در CB با نشر و جذب نوسان (phonon) مومنتم مورد نیاز صورت می گیرد. فونون دارای مومنتم زیاد اما دارای انرژی کم است. از آنجایی که فرآیند جذب به یک ذره اضافی به نام فونون نیاز دارد، احتمال جذب نور در این فرآیند بسیار کمتر از فرآیند جذب مستقیم است. ضریب جذب کل با $\alpha = \alpha_a + \alpha_e$ داده می شود، که در آن، α_a و α_e ضریب جذب ناشی از جذب

فونون و انتشار فونون هستند. نمونه هایی از مواد نیمه هادی با باند-گپ غیرمستقیم عبارت از Si، AlAs و غیره هستند.

طوری که در شکل (۲) دیده می شود لبه ی باند (band edge) در محدوده 350-450nm روی محور افقی طول موج اتفاق افتاده است که بیانگر باند ممنوعه در همین محدوده می باشد. برای تبدیل طول موج فوتون ها به انرژی معادل آن از رابطه ذیل استفاده گردید:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

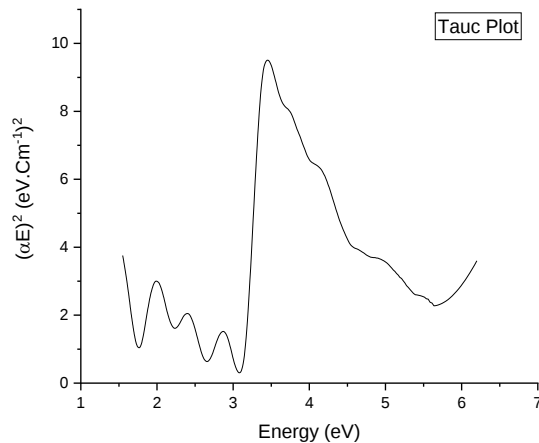
که در آن h ثابت پلانک برابر با 6.63×10^{-34} J.s و c سرعت نور برابر با $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ می باشد (Malvino & Bates, 2016). نتایج مربوط در جدول (۱) نشان داده شده است. جهت دریافت مقدار دقیق انرژی باند ممنوعه نمودار تاک با استفاده از نرم افزار (Origin Project) ترسیم شد. ازینکه باند ممنوعه ZnO دارای ماهیت مستقیم است بنابراین $(\alpha E)^2$ بر حسب انرژی E درنظر گرفته شد زیرا اگر معادله (2) در مقایسه با معادله خط مستقیم $(y=mx)$ در نظر گرفته شود، با قرار دادن $(y=0)$ یعنی $(\alpha h\nu)^{1/\gamma} = 0$ مقدار $h\nu = E_g$ بدست می آید که نشان دهنده انرژی باند ممنوعه می باشد (Rasouli, Rouhollahi, & Ghahramanifard, 2018). شکل (۳) نمودار تاک مربوط را نشان می دهد. برای دریافت محاسبه α معادله بیر-لمبرت استفاده شد، یعنی؛

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (3)$$

که در آن I_0 عبارت از شدت تشعشع برخوردکننده، I شدت تشعشع انتقالی و x مقدار ضخامت می باشد. با در نظر داشت جذب اپتیکی $A = -\log(\frac{I}{I_0})$ و ضخامت فلم $x=d$ چنین بدست آمد:

$$\alpha d = 2.303 A \quad (4)$$

با درنظرگرفتن ضخامت برابر 1mm معادله فوق بصورت $\alpha = 23.03 A \text{ cm}^{-1}$ خلاصه شد که نظر به اطلاعات ثبت شده از آزمایش برای طیف جذبی فلم داده شده این ضریب برای طول موج های مختلف نظر به جذب متناظر A محاسبه گردید (جدول ۱).



شکل (۴): نمودار تاک فلم نازک ZnO.

طوری که در شکل دیده می‌شود، لبه‌ی باند در محدوده‌ی 3-3.5 eV قرار دارد که نشان دهنده‌ی باند ممنوعه در همین ناحیه می‌باشد (جدول ۲). اما برای تعیین مقدار دقیق آن؛ نقطه تقاطع لبه‌ی باند با محور انرژی (E) توسط یک خط فرضی منطبق با لبه (edge) در نظر گرفته شد. که در نتیجه؛ نقطه تقاطع خط فرضی با محور انرژی (E) برابر با 3.15 eV بود (شکل ۴). این نشان می‌دهد که باند ممنوعه ZnO برابر با 3.15 eV بوده و فوتون‌های با انرژی مساوی یا بیشتر از 3.15 eV قادر اند تا الکترون‌ها را از باند ولانس به باند هدایت منتقل نمایند (Özgül, 2005).

جدول (۲): نتایج دیاگرام (۱) و (۲) که منتج به تعیین انرژی باند ممنوعه و تشخیص ناحیه جذب شده است.

لبه ای باند (eV)	لبه ای باند (nm)	انرژی باند ممنوعه (Eg)	طول موج معادل (nm)	محدوده‌ی جذب (nm)
۳-۳.۵	۴۱۳-۳۵۴	۳.۱۵	۳۹۳.۶۵	۲۰۰-۳۹۳.۶۵

طول موج فوتون‌های مربوط با استفاده از معادله (3) مساوی و بیشتر از ۳۹۳.۶۵ nm دریافت گردید. چنین معنی می‌دهد که ناحیه کمی از نور قابل دید و ناحیه مکمل از نور ماورای بنفش قابل جذب است (جدول ۲).

مناقشه

دریافت مقدار دقیق باند ممنوعه فلم‌های نازک جهت تثبیت ناحیه جذب تشعشعات خورشیدی برای کاربرد های سلول‌های خورشیدی و سلول‌های فوتوالکتروکیمیای از مسایل عمده و اساسی در تحقیق امروزی می‌باشد. درین پژوهش از طیف جذبی در طیفسنجی نور ماورای بنفش-قابل دید

به این منظور استفاده شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که روش طیف‌سنجی UV-Vis همراه با تحلیل نمودار تاک می‌تواند ابزاری کارآمد و دقیق برای تعیین انرژی باند ممنوعه (E_g) در فلم‌های نازک نیمه‌هادی باشد. مقدار به‌دست‌آمده برای باند ممنوعه ZnO برابر با 3.15 eV است که به‌خوبی با مقادیر مرجع مطابقت دارد (Klingshirn, 2007). این تطابق، صحت روش تجربی و تحلیل نرم‌افزاری مورد استفاده را تأیید می‌نماید و بر قابلیت اعتماد این رویکرد تأکید دارد. با توجه به اینکه ZnO دارای باند ممنوعه مستقیم است، استفاده از نمودار تاک با $\frac{1}{2} \gamma$ رویکرد درستی بوده و باعث افزایش دقت در استخراج E_g شده است. لبه‌ی جذب مشاهده‌شده در حدود 350-450nm نیز با ویژگی‌های نوری این ماده مطابقت داشته و نشان‌دهنده‌ی جذب در ناحیه‌ی ماورای بنفش است. این خصوصیت، ZnO را به گزینه‌ای مناسب برای کاربردهایی مانند فتوکاتالیزورها، سلول‌های خورشیدی-UV فعال و حسگرهای نوری تبدیل می‌کند (Patel, Hanumantha, Velikokhatnyi, & Datta, 2015).

فرضیات تحقیق مبنی بر قابل اعتماد بودن طیف جذبی برای تعیین E_g و استفاده از تبدیل طول موج به انرژی، در عمل تأیید شد. استخراج ضریب جذب بر اساس معادله بیر-لامبرت و استفاده از نرم‌افزار Origin Project برای ترسیم و فیتینگ دیاگرام تاک به تحلیل دقیق‌تر دیتاها کمک شایانی کرد. این امر نشان‌دهنده ضرورت استفاده از ابزارهای دقیق محاسباتی در کنار آزمایش‌های تجربی است. آزمایش انجام شده یک جنبه مهم از طیف سنجی ماورای بنفش-قابل دید را برای دریافت باند ممنوعه به معرفی می‌گیرد. تعیین باند ممنوعه براساس منحنی جذب اوپتیکی صورت گرفته است که می‌تواند در مشخصه یابی عناصر و مرکبات مبتنی برطیف سنجی نور ماورای بنفش-قابل دید کاملاً مفید و موثر واقع شود. استفاده از معادله $I = I_0 e^{-\alpha t}$ برای دریافت ضریب جذب α همخوانی کامل با سایر تحقیقات در زمینه دارد (Yue, 2012).

با این وجود، باید توجه داشت که عوامل متعددی ممکن است بر مقدار انرژی باند ممنوعه تأثیرگذار باشند؛ از جمله ضخامت فلم، یکنواختی ساختار، نوع بستر، و شرایط رسوب‌دهی. در این تحقیق، فرض بر آن بوده که ضخامت فلم برابر با 1 mm است، در حالی که در واقع فلم‌های نازک معمولاً ضخامت بسیار کمتری دارند (در حد چند میکرومتر تا چند نانومتر). اگرچه این فرض برای سهولت محاسبه در نظر گرفته شده، اما ممکن است بر دقت α و در نهایت E_g تأثیر گذاشته باشد. لذا استفاده از روش‌های تکمیلی مانند SEM یا AFM برای تعیین دقیق ضخامت می‌تواند به دقت بیشتر کمک کند. همچنین، در حالی که تمرکز این تحقیق بر روی ساختار نانومیله ZnO بوده، تأثیر

مورفولوژی (ساختار سطح) به صورت مستقیم مورد ارزیابی قرار نگرفته است. بررسی‌های بیشتر می‌توانند نقش انواع مختلف ساختارهای نانویی ZnO مانند نانوصفحات یا نانوذرات را در تغییر باند ممنوعه و بهینه‌سازی جذب نوری آشکار سازند.

در نهایت، هرچند این تحقیق بیشتر بر ویژگی‌های نوری تمرکز دارد، ترکیب این اطلاعات با ویژگی‌های الکتریکی (مانند تحرک‌پذیری حامل‌ها و کثافت نقص‌ها) می‌تواند دید کلی‌تری نسبت به عملکرد اپتوالکترونیکی ZnO در کاربردهای عملی ارائه دهد.

نتیجه‌گیری

طیفسنجی نورماورای بنفش-قابل دید برای تعیین باند ممنوعه فیلم‌های نازک بررسی شد. دیده شد که این طیفسنجی یک روش کلیدی برای دریافت باند ممنوعه فیلم‌های نازک است. باند ممنوعه فیلم نازک زینک اوکساید از طریق تحلیل طیف جذبی و ترسیم نمودار تاک به دقت بالا در حدود 3.15 eV دریافت شد که ناحیه جذب طول موج‌های مساوی و کمتر از 393.65 nm را شامل می‌شود. فوتون‌های این ناحیه از طیف نور خورشید انرژی لازم را برای تولید ولتاژ برق و تولید هایدروجن در سلول‌های فوتوالکتروکمیای دارا می‌باشند. معادله مشخصی برای محاسبه ضریب جذب اشتقاق گردید و می‌توان از آن در اندازه‌گیری ضریب جذب فیلم‌های نازک بادر نظر داشت انرژی فوتون ورودی استفاده کرد. انرژی محاسبه شده برای باند ممنوعه با مقایسه این مقدار با مقادیر قبلاً گزارش شده تجزیه و تحلیل شد. تفاوت قسمی در مقدار بدست آمده نشان می‌دهد که عوامل چون ضخامت دقیق فیلم و ساختار سطح آن نباید اغماض شود. در نهایت دیده شد که طیف جذبی یک تکنیک عالی برای تعیین باند ممنوعه فیلم‌های نازک از طریق محاسبه ضریب جذب و انرژی معادل فوتون‌های نور ماورای بنفش و قابل دید به منظور ترسیم دیاگرام تاک است. لازم است تا بررسی شود اینکه ضخامت فیلم و ساختار سطح به کدام میزان می‌توانند در محاسبه باند ممنوعه اثر گذار باشند.

مأخذ

مصمم، س. (1399). بررسی ساختمان نیمه هادی‌ها و کاربرد آنها در صنعت. مجله علمی پوهنتون بغلان.

Andrew , M. S., & Nie, S. (2009). Semiconductor Nanocrystals: Structure, Properties, and Band Gap Engineering. Accounts of chemical research.

Frank , D. (2022, 05 30). Fraunhofer ISE Develops the World's Most Efficient Solar Cell with 47.6 Percent Efficiency. Retrieved from Fraunhofer ISE:

- <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2022/fraunhofer-ise-develops-the-worlds-most-efficient-solar-cell-with-47-comma-6-percent-efficiency.html>
- Hui, R., & O'Sullivan, M. (2009). Fiber Optic Measurement Techniques. Science Direct. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373865-3.00001-X>
- Jia, J. S. (2016)). Solar water splitting by photovoltaic-electrolysis with a solar-to-hydrogen efficiency over 30%. Nat Commun (7), 13237 . Retrieved from <https://doi.org/10.1038/ncomms13237>
- Klingshirn, C. (2007). ZnO: Material, Physics and Applications. ChemPhysChem(8), 782 – 803.
- Li, H., Liu, H., Wang, F., & Li, G. (2022). Hot electron assisted photoelectrochemical water splitting from Au-decorated ZnO@TiO₂ nanorods array. Nano Research. doi:<https://doi.org/10.1007/s12274-022-4203-z>
- Malvino, A., & Bates, D. (2016). Electronics. New York: McGraw-Hill Education.
- Monjoy , S., & Suchitra , S. (2004). A simple spectrophotometric method for determination of the optical constants and band gap energy of multiple layer TiO₂ thin films. Material chemistry and Physics , 169–177.
- Özgür, Ü. A. (2005). A comprehensive review of ZnO materials and devices. Journal of applied physics(98(4)).
- Patel, P. P., Hanumantha, P. J., Velikokhatnyi, O., & Datta, M. K. (2015). Nitrogen and cobalt co-doped zinc oxide nanowires e Viable photoanodes for hydrogen generation via photoelectrochemical water splitting. Journal of power source(11), 11-24. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.08.027>
- Rasouli, F., Rouhollahi, A., & Ghahramanifard, F. (2018). Fabrication of silver nanoparticles decorated zinc oxide nanotubes by electrodeposition technique for photoelectrochemical water splitting. Materials Science in Semiconductor Processing, 1369-8001. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.08.004>
- Yue, L. W. (2012). Preparation and characterization of the ZnO:Al/Fe₆₅Co₃₅/ZnO:Al multifunctional films. Applied Physics A, 106:717–723.