

“Research article”

Determination of optical constants of thin films and their role in solving of environmental problems

Hassan Absalan*

Department of Physics, Ah.C., Islamic Azad University, Ahar, Iran.

*Corresponding author:1502218569@iau.ir

(Received: 21 April 2025, Accepted: 14 June 2025)

Abstract

In this article, the effect of optical constants on the properties of thin films is studied in order to apply these films in solving of environmental problems. the role of thin films in solving of various problems, including environmental ones, is of interest to most researchers. in recent years, the design and presentation of biosensors based on nanostructures including thin films has been able to significantly help humans reduce the potential risks of damage to the environment. Since thin film production technology, in addition to being useful, can also pose a threat to the environment, it is appropriate to consider issues related to maintaining safety and reducing its potential risks. the optical constants of thin film can enhance its quality and play a decisive role in the appropriate use of a film for industrial applications. there are different methods for determining the optical constants of a thin film. one of these methods is the method proposed by Swanepoel. in addition to estimating thickness, this method is used to calculate and estimate some optical parameters such as refractive index, extinction coefficient, optical band gap, imaginary and real parts of the dielectric constant, and optical conductivity of the samples.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: thin films, optical constants, environment, Swanepoel



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال شانزدهم، شماره‌ی ۶۱
بهار ۱۴۰۴، صفحات ۷۶-۶۷

"مقاله پژوهشی"

تعیین ثابت‌های اپتیکی فیلم‌های نازک و نقش آن‌ها در حل مسائل محیط زیست

حسن آبسالان

گروه فیزیک، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: 1502218569@iau.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۳/۲۴)

چکیده

در این مقاله، تأثیر ثابت‌های اپتیکی در ویژگی‌های فیلم‌های نازک به منظور کاربرد این فیلم‌ها در حل مسائل محیط‌زیست مورد مطالعه قرار گرفته است. نقش فیلم‌های نازک در حل مسائل مختلف از جمله محیط زیست، مورد توجه اکثر محققان می‌باشد. در سال‌های اخیر، طراحی و ارائه حسگرهای زیستی برپایه نانو ساختارهای شامل فیلم‌های نازک، توانسته کمک شایانی به انسان‌ها برای کاستن از خطرات احتمالی آسیب بر روی محیط‌زیست داشته باشد. بدلیل اینکه فناوری تولید فیلم‌های نازک، علاوه بر مفید بودن می‌تواند به عنوان تهدیدی برای محیط‌زیست نیز باشد، مناسب است که مسائل مربوط به حفظ ایمنی و کاهش خطرات احتمالی آن نیز در نظر گرفته شود. ثابت‌های اپتیکی یک فیلم نازک، می‌تواند موجب افزایش کیفیت آن شده و نقش تعیین کننده‌ای در استفاده مناسب از یک فیلم به منظور کاربردهای صنعتی داشته باشد. روش‌های متفاوتی برای تعیین ثابت‌های اپتیکی یک فیلم نازک وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش ارائه شده توسط سوان پل می‌باشد. از این روش، علاوه بر تخمین ضخامت، برای محاسبه و تخمین برخی پارامترهای اپتیکی مانند ضریب شکست، ضریب خاموشی، گاف نواری اپتیکی، قسمت‌های موهومی و حقیقی ثابت دی‌الکتریک و نیز رسانندگی اپتیکی نمونه‌ها استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فیلم‌های نازک، ثابت‌های اپتیکی، محیط‌زیست، سوان پل

مقدمه

فیلم نازک، به لایه‌ای از مواد گفته می‌شود که دارای ضخامت نانومتری تا محدوده چندین میکرومتر می‌باشد. این لایه بر روی سطح قطعات و مواد دیگر قرار گرفته و به آن، ویژگی جدیدی می‌دهد. امروزه فیلم‌های نازک، کاربردهای گسترده‌ای در صنعت از جمله در الکترونیک، انرژی‌های نو و پوشش‌های سخت مقاوم در برابر خوردگی و سایش دارند. در سال‌های اخیر، ساخت فیلم‌های نازک به عنوان یک فناوری کاربردی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. با توجه به اینکه این فناوری با تولید محصولات مختلف و متنوع، کاربردهای متفاوتی در حوزه‌های مختلف علمی از جمله فیزیک، شیمی، محیط زیست و انرژی دارد، لازم است که بررسی‌های دقیقی از اثرات کاربردی آن‌ها بر روی این علوم و مخصوصاً محیط زیست انجام گیرد. تأثیرات سودمند فناوری تولید فیلم نازک بر روی محیط زیست، شامل حسگرها یا سنسورها و سایر دستگاه‌های به کار رفته برای آشکارسازی آلودگی و برطرف نمودن آن‌ها می‌باشد (۱). ایجاد مواد جدید در صنعت با استفاده از تکنولوژی ساخت فیلم‌های نازک می‌تواند اثرات مهمی بر روی محیط‌زیست و بهداشت عمومی جامعه داشته باشد.

در چند سال گذشته، محققان توانسته‌اند انواع گسترده‌ای از حسگرهای زیستی، شامل نانو ساختارهای جدید مانند فیلم‌های نازک، نانولوله‌های کربنی، نانوبلورها و همچنین نانوالیاف‌ها، برپایه تشخیص و شناسایی بیولوژیکی، تولید و به بازار عرضه کنند. نانوبلورهای نیمه‌هادی درخشان و نقاط کوانتومی، گروهی از نانوحسگرهایی هستند که می-

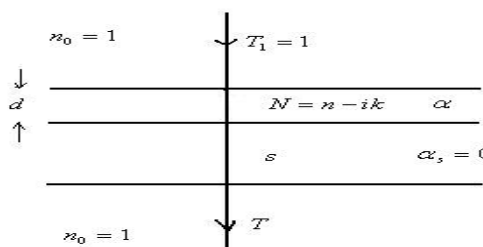
توانند سموم موجود در محیط‌زیست شامل خاک و آب را با حساسیت بسیار بالایی آشکارسازی کنند (۲). از طرف دیگر، دانشمندان توانسته‌اند با تحقیق بر روی نانوساختارهای لوله‌ای مانند نانولوله‌های کربنی و تولید برخی حسگرهای زیستی، کیفیت و فعالیت بیومولکول‌های ساکن را افزایش دهند. خواص ابعادی و الکترونیکی مناسب نانولوله‌های کربنی موجب شده است که از آن‌ها به عنوان موادی ایده‌آل در تولید حسگرهای شیمیایی و بیوشیمیایی استفاده شود. اخیراً محققان توانسته‌اند گروهی از فیلم‌های نازک شامل نانوذرات را برای از بین بردن نمک‌های چندظرفیتی عناصری مانند کلسیم، آهن، منگنز، اورانیوم و برخی آفت‌کش‌ها تولید و به بازار ارائه نمایند. از دیگر کاربردهایی که فیلم‌های نازک برپایه فناوری‌های نانو دارند می‌توان به مزایایی در تولید فیلم‌های تصفیه آب‌های سطحی و زیرزمینی و نیز حذف میکروارگانیزم‌ها و کاهش تیرگی و سختی آب و دفع شوری و نمک‌زدایی آب اشاره کرد (۳).

فناوری نانو بکار رفته در تهیه فیلم‌های نازک، علاوه بر مفید بودن می‌تواند خطراتی نیز داشته و تهدیدی برای محیط زیست و سلامت انسان داشته باشد، بنابراین لازم است که مسائل مربوط به حفظ ایمنی و خطرات احتمالی آن نیز در نظر گرفته شود. ذرات نانو می‌تواند به سیستم ایمنی و دفاعی بدن موجودات زنده و انسان آسیب برساند. کربن سیاه و دی‌اکسید تیتانیوم که کاربرد فراوانی در فرآیندهای صنعتی دارند، موجب آلودگی هوا شده و باعث بوجود آمدن التهاب و جراحات‌های پوستی می‌شوند (۴). از طرف دیگر، ذرات اکسید روی، بدلیل تولید رادیکال‌های آزاد در سلول پوستی، تغییراتی را در

ثابت های اپتیکی فیلم های نازک محاسبه می شود (۶). معمولاً ضریب شکست و ضریب جذب با استفاده از روش های پیچیده کامپیوتری و با بکارگیری هر دو طیف عبور و بازتاب تعیین می شوند. روش سوان پول برای تعیین $n(\lambda)$ و $\alpha(\lambda)$ ، با استفاده از یکسری محاسبات ساده و بکارگیری تنها طیف عبور برقرار است. شکل (۱)، موقعیت عملی یک فیلم نازک بر روی زیرلایه شفاف را نشان می دهد. فیلم دارای ضریب شکست مختلط $(n - ik)$ و ضخامت d است که در آن n ، ضریب شکست و k ، ضریب خاموشی می باشند بطوریکه:

$$k = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad (۱)$$

زیرلایه شفاف دارای ضخامت بزرگتر از d ، ضریب شکست s و ضریب جذب $\alpha_s = 0$ است. در این آنالیزها، تمام بازتاب های چندگانه در فصل مشترک سه تایی، در هنگام محاسبه T در نظر گرفته می شود.



شکل (۱): سیستم یک فیلم نازک جاذب روی یک زیرلایه شفاف متناهی ضخیم

اگر ضخامت d ، یکنواخت نباشد، تمام اثرات تداخل از بین می روند و منحنی عبور، یک منحنی آرام است و طیف می تواند به ۴ ناحیه تقسیم شود که عبارتند از:

الف- در ناحیه شفاف، $\alpha = 0$ و تراگسیل بوسیله n و s و بواسطه بازتاب های چندگانه تعیین می شوند.

ساختمان پروتئین به وجود می آورد که ممکن است باعث سرطان شود. کارخانه هایی که موادی بر پایه نانولوله های کربنی تولید می کنند، می توانند باعث از بین رفتن گلوتامین و آسیب اکسیداتیو بر مغز ماهیان شوند. علاوه بر این، فولرن در خاک می تواند توسط کرم های خاکی جذب شده و وارد زنجیره غذایی انسان ها شود. در سال های اخیر، پیشرفت های انجام شده در زمینه نانوتکنولوژی، تحولات وسیعی را در زمینه های محیط زیست، کشاورزی، پزشکی و صنعت در پی داشته است. در مقابل، خطرات احتمالی مرتبط با استفاده از محصولات نانوفناوری می تواند به عنوان تهدیدی علیه محیط زیست در نظر گرفته شود (۵). از جمله عواملی که می تواند موجب افزایش کیفیت یک فیلم نازک شود، ثابت های اپتیکی آن، مانند ضریب شکست، ضریب جذب و ضخامت فیلم می باشد که می تواند نقش تعیین کننده ای در استفاده مناسب از یک فیلم در کاربردهای صنعتی داشته باشد. از اینرو، تعیین این ثابت ها می تواند کمک شایانی به فناوران در نیل به اهداف مورد نظر داشته باشد. در سالیان اخیر، روش های متفاوتی برای تعیین ثابت های اپتیکی فیلم های نازک توسط محققان ارائه شده است. در این مقاله ما روش ارائه شده توسط سوان پل را مورد مطالعه قرار خواهیم داد.

تعیین ثابت های اپتیکی فیلم های نازک با استفاده از روش سوان پول

بیان دقیق عبور یک فیلم نازک جاذب رسوبی بر روی یک زیرلایه شفاف، بصورت نتایج و فرمول هایی برای ضریب شکست و ضریب جذب تنظیم شده است. در روش ارائه شده توسط سوان پول، با استفاده از فریزهای تداخلی طیف عبور، ضخامت و

در معادلات، حاصل می‌شود (چون k در مقایسه با ضرایب شکست n و s و n_0 خیلی کوچک است). در اینصورت داریم:

$$T = \frac{Ax}{B - Cx \cos \varphi + Dx^2} \quad (5)$$

که در آن:

$$A = 16n^2s \quad (6)$$

$$B = (n+1)^3(n+s^2) \quad (7)$$

$$C = 2(n^2-1)(n^2-s^2) \quad (8)$$

$$D = (n-1)^3(n-s^2) \quad (9)$$

$$\varphi = 4\pi md / \lambda \quad (10)$$

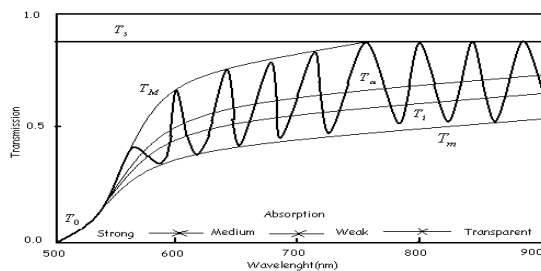
$$x = \exp(-\alpha d) \quad (11)$$

در این صورت اکسترم‌های فریزهای تداخلی می‌توانند به صورت زیر نوشته شوند:

$$T_M = \frac{Ax}{B - Cx + Dx^2} \quad (\cos \varphi = 1) \quad (12)$$

$$T_m = \frac{Ax}{B + Cx + Dx^2} \quad (\cos \varphi = -1) \quad (13)$$

برای تحلیل بهتر فرض می‌کنیم T_m و T_M توابع پیوسته‌ای از λ باشند، در این صورت برای هر λ ، یک T_M و یک T_m خواهیم داشت، یعنی $n(\lambda)$ و $x(\lambda)$ نیز توابع پیوسته‌ای از λ هستند. با توجه به طیف ناشی از پرتو عبوری که در شکل (۲) دیده می‌شود، این طیف را می‌توان به چهار ناحیه متفاوت تقسیم کرد.



شکل (۲): نمایی از طیف عبوری از فیلم و زیرلایه

ب- در ناحیه جذب ضعیف، α مقدار کوچکی دارد و شروع به کاهش عبور می‌کند.

ج- در ناحیه جذب متوسط، α مقدار بزرگی است و عبور عمدتاً به علت تأثیر α ، کاهش می‌یابد.

د- در ناحیه جذب قوی، عبور به علت تأثیر α به شدت کاهش می‌یابد.

در این حالت منحنی آرام عبور، برای تعیین $\alpha(\lambda)$ در نواحی اپتیکی به کار می‌رود. اگر ضخامت d ، یکنواخت باشد، منحنی عبور ناشی از آن دارای چندین بیشینه و کمینه می‌شود (اثرات تداخل در اینجا وجود دارد) و این فریزها می‌توانند برای محاسبه ثابت‌های اپتیکی فیلم‌ها بکار روند. با در نظر گرفتن تنها زیرلایه ضخیم در غیاب فیلم، عبور تداخل آزاد با رابطه زیر داده بیان می‌شود:

$$T_s = \frac{(1-R)^2}{1-R^2} \quad (2)$$

که در آن:

$$R = [(s-1)/(s+1)]^2 \quad (3)$$

معادله پایه برای فریزهای تداخلی عبارت است از:

$$2nd = m\lambda \quad (4)$$

که در آن m ، برای حالت بیشینه، عدد صحیح و برای حالت کمینه، عدد نیم صحیح است. معادله فوق دربرگیرنده اطلاعات لازم در مورد حاصل ضرب n و d است و بطور مجزا راهی برای بدست آوردن اطلاعات در مورد n و d ، با بکارگیری تنها این معادله وجود ندارد. در حالت کلی، طیف عبور T ، یک تابع ترکیبی است و بصورت $T = T(\lambda, s, n, d, \alpha)$ می‌باشد. اگر s ، معلوم باشد، نوشتن معادله فوق در بخش‌هایی از $n(\lambda)$ و درآشامی $x(\lambda)$ ، بسیار راحت است. یک تقریب معتبر در اینجا، با قرار دادن $k = 0$

$$E_M = \frac{8n^2s}{T_M} + (n^2 - 1)(n^2 - s^2) \quad (22)$$

با حل معادله (۱۳) نیز داریم:

$$x = \frac{E_m - [E_m - (n^2 - 1)^3(n^2 - s^4)]^{1/2}}{(n-1)^3(n-s^2)} \quad (23)$$

که در آن،

$$E_m = \frac{8n^2s}{T_m} - (n^2 - 1)(n^2 - s^2) \quad (24)$$

با جمع کردن وارون معادلات (۱۲) و (۱۳) داریم:

$$\frac{2T_M T_m}{T_M + T_m} = \frac{Ax}{B + Dx^2} \quad (25)$$

با حل این معادله بر حسب x داریم:

$$x = \frac{F - [F^2 - (n^2 - 1)^3(n^2 - s^4)]^{1/2}}{(n-1)^3(n-s^2)} \quad (26)$$

که در آن،

$$F = \frac{8n^2s}{T_i} \quad (27)$$

$$T_i = \frac{2T_M T_m}{T_M + T_m} \quad (28)$$

معادله فوق نشان می‌دهد که T_i ، منحنی است که از میان نقاط فریزها عبور می‌کند.

در ناحیه جذب قوی، آثار تداخلی بطور کلی از بین می‌روند و در نتیجه فریزهای تداخلی ظاهر نمی‌شوند، بنابراین در این ناحیه، راهی برای محاسبه n و x بطور مستقل با استفاده تنها از طیف عبور وجود ندارد. مقادیر n را می‌توان با استفاده مقادیر بدست آمده در سه ناحیه قبلی تخمین زد و مقدار x را از روی روابط مربوط به آن‌ها بدست آورد. برای تعیین ضریب شکست در ناحیه جذب ضعیف و متوسط، بایستی مقادیر T_M و T_m در λ های مختلف تعیین شود. به ازاء هر مقدار بیشینه، یک مقدار کمینه و بالعکس خواهیم داشت، چون فرض کرده‌ایم که T_M و T_m ، منحنی‌های پیوسته‌ای هستند. دقت بکار رفته در تعیین λ ، به مقیاس بکار برده شده در نمودار عبور

در ناحیه شفاف، $\alpha = 0$ یا $x = 1$. با جایگذاری معادلات (۶) تا (۱۱) در معادله (۱۲) داریم:

$$T_M = \frac{2s}{s^2 + 1} \quad (14)$$

طبق رابطه فوق، بیشینه فریزهای تداخلی، تنها تابعی از s می‌باشند. با جایگذاری معادلات (۶) تا (۱۱) در معادله (۱۳) برای حالت $x = 1$ داریم:

$$T_m = \frac{4n^2s}{n^4 + n^2(s^2 + 1) + s^2} \quad (15)$$

$$n = \left[M + (M^2 - s^2)^{1/2} \right]^{1/2} \quad (16)$$

$$M = \frac{2s}{T_m} - \frac{s^2 + 1}{2} \quad (17)$$

بنابراین T_m تابعی از n و s است و در نتیجه n را می‌توان با استفاده از T_m و معادله (۱۷) محاسبه کرد.

در ناحیه جذب ضعیف و متوسط، $\alpha \neq 0$ و $x < 1$. با تفريق معکوس معادله (۱۲) از معکوس معادله (۱۳) حالتی حاصل می‌شود که مستقل از x می‌باشد:

$$\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_M} = \frac{2C}{A} \quad (18)$$

با قرار دادن معادلات (۶) تا (۱۱) در معادله (۱۸) می‌توان بترتیب معادلات زیر را بدست آورد:

$$n = \left[N + (N^2 - s^2)^{1/2} \right]^{1/2} \quad (19)$$

$$N = 2s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{s^2 + 1}{2} \quad (20)$$

معادله (۱۹) می‌تواند برای محاسبه $n(\lambda)$ از T_M و T_m بکار رود. با معلوم بودن $n(\lambda)$ ، تمام ثابت‌ها در معادلات (۶) تا (۱۱) معلوم می‌شوند و x را نیز می‌توان از راه دیگری محاسبه کرد. با حل معادله (۱۲) داریم:

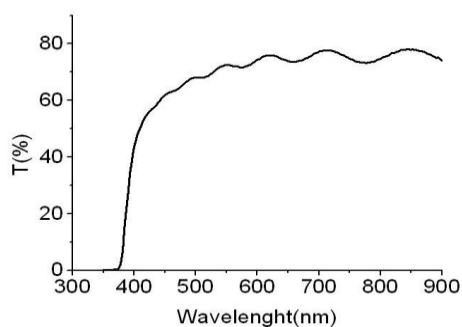
$$x = \frac{E_M - [E_M^2 - (n^2 - 1)^3(n^2 - s^4)]^{1/2}}{(n-1)^3(n-s^2)} \quad (21)$$

که در آن،

بعد از محاسبه $n(\lambda)$ ، $x(\lambda)$ را نیز می‌توان با استفاده از هر یک از منحنی‌های T_m ، T_i ، T_α ، T_M و فرمول‌های مربوطه محاسبه کرد. $\alpha(\lambda)$ نیز از طریق $x(\lambda)$ و d و بکارگیری معادله (۱۱) تعیین می‌شود. فرمول‌های شامل T_m ، حساسیت بیشتری را نسبت به خطاها در s و n نشان می‌دهند. همچنین $\alpha(\lambda)$ حساسیت بیشتری در مورد خطاها در T_m نسبت به T_M دارد، بنابراین به نظر می‌رسد که معادله (۱۱)، بهترین معادله برای استفاده در محاسبه α است و مقادیر حاصل از آن به مقادیر واقعی نزدیک‌ترند. پس از آنکه $\alpha(\lambda)$ بدست آمد، $k(\lambda)$ را نیز می‌توان با استفاده از معادله (۱) محاسبه کرد.

نتایج و بحث

منحنی تغییرات عبور فیلم نازک اکسید روی تهیه شده به روش اسپری پایرولیز، در شکل (۳) مشاهده می‌شود (۷). این فیلم دارای ضخامت ۹۹۲/۱۴ نانومتر می‌باشد. مراحل مختلف تعیین ضخامت و سایر ثوابت اپتیکی مربوط به این فیلم در جداول (۱) و (۲) مشاهده می‌شوند.



شکل (۳): منحنی تغییرات تراکسیلندگی فیلم نازک اکسید روی بر حسب طول موج (۷).

بستگی دارد. باید اشاره شود که مقادیر عبور باید از منحنی‌های T_m و T_M ، در هر طول موجی خوانده شوند نه از طیف حقیقی. بعد از یافتن T_m و T_M به ازاء هر λ ، از معادله (۱۶) جهت تعیین ضریب شکست استفاده می‌کنیم. مقادیر بدست آمده در اینجا، تفاوت چندانی با مقادیر حقیقی ندارند. اگر n_1 و n_2 ضرائب شکست مربوط به دو بیشینه (کمینه) متوالی در λ_1 و λ_2 باشند، داریم:

$$d_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad (29)$$

رابطه فوق، نسبت به خطاهای n حساسیت زیادی دارد و رابطه دقیقی محسوب نمی‌شود. به عنوان یک قاعده کلی، دو اکسترم آخر طیف را در رابطه اخیر قرار نمی‌دهیم. برای رسیدن به یک مقدار دقیق، بایستی $\bar{d}_1$ ، میانگین ضخامت‌های d_1 ، را محاسبه کنیم. از طریق $\bar{d}_1$ و n_1 و همچنین معادله (۴)، مقادیر m را می‌توان بدست آورد. با فرض مقادیر صحیح یا نیم صحیح برای هر m با ازاء هر λ و محاسبه ضخامت d_2 ، که کمی با مقادیر d_1 اختلاف دارند، میانگین مقادیر d_2 یعنی $\bar{d}_2$ را محاسبه می‌کنیم. مقادیر $\bar{d}_2$ بدست آمده، دارای دقت بهتری نسبت به مقادیر $\bar{d}_1$ می‌باشند، چون پراکندگی آن‌ها کم‌تر است. حال با استفاده از مقادیر $\bar{d}_2$ و مقادیر دقیق m و با استفاده از معادله (۴)، مقادیر مربوط به n_2 را بدست می‌آوریم. مقادیر n_2 بدست آمده، به مقادیر واقعی بسیار نزدیکند. با برازش مقادیر بدست آمده n_2 و عملیات برون یابی، ضرائب شکست مربوط به طول موج‌های کوتاه‌تر نیز تعیین می‌شوند.

جدول (۱): تعیین ضخامت فیلم نازک اکسید روی با استفاده از منحنی تراکسیل مربوطه بر حسب طول موج

$\lambda(nm)$	T_M	T_m	N	n_1	$d_1(nm)$	m	$d_2(nm)$	n_2
۸۳۷	۰/۷۸۱	۰/۷۳۶	۱/۸۳۸	۱/۷۰۸		۴	۹۹۲	۱/۷۰۶
۷۷۶	۰/۷۷۹	۰/۷۲۹	۱/۸۹۹	۱/۷۴۵		۴/۵	۱۰۰۱	۱/۷۳۹
۷۱۲	۰/۷۷۷	۰/۷۳۵	۱/۹۵۶	۱/۷۸۸	۹۸۷	۵	۹۹۵	۱/۷۸۳
۶۵۸	۰/۷۷۵	۰/۷۲۳	۲/۰۲۳	۱/۸۳۵	۹۹۵	۵/۵	۹۸۶	۱/۸۳۲
۶۲۲	۰/۷۶۶	۰/۷۱۳	۲/۰۶۳	۱/۸۶۷	۱۰۰۲	۶	۹۹۹	۱/۸۶۹
۵۷۴	۰/۷۵۳	۰/۷۱۷	۲/۱۷۳	۱/۹۳۲	۹۹۳	۶/۵	۹۸۷	۱/۹۲۸
۵۵۴	۰/۷۵۵	۰/۶۷۳	۲/۲۳۱	۱/۹۶۹	۹۸۴	۷	۹۸۵	۱/۹۶۴

$$\overline{d_1} = 992/20 \quad \overline{d_2} = 992/14$$

جدول (۲): تعیین ثوابت اپتیکی فیلم نازک مورد نظر

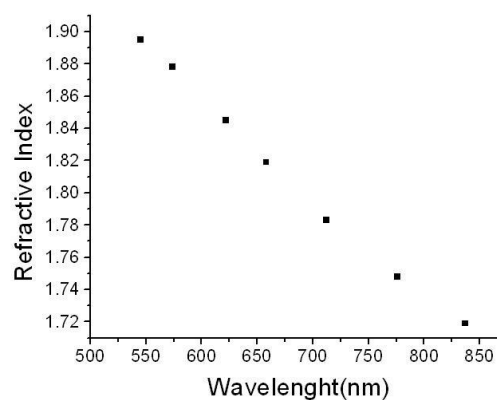
$\lambda(nm)$	T_M	n	E_M	E_M^2	x	$\alpha (\times 10^5)[cm^{-1}]$	$k (\times 10^{-2})$
۸۳۷	۰/۷۸۱	۱/۷۰۶	۴۶/۲۱	۲۱۳۵/۶۷	۰/۸۵۳۸	۱/۵۹۰۷	۱۰/۷۲۰
۷۷۶	۰/۷۷۹	۱/۷۳۹	۴۸/۴۰	۲۳۴۲/۵۰	۰/۸۵۱۲	۱/۶۳۸۷	۱۰/۱۲۰
۷۱۲	۰/۷۷۷	۱/۷۸۳	۵۱/۳۸	۲۶۴۰/۲۰	۰/۸۵۱۱	۱/۶۳۹۵	۹/۲۶۶
۶۵۸	۰/۷۷۵	۱/۸۳۲	۵۴/۸۴	۳۰۰۸/۰۰	۰/۸۵۰۵	۱/۶۳۹۸	۸/۵۳۹
۶۲۲	۰/۷۶۶	۱/۸۶۹	۵۸/۱۱	۳۳۷۶/۷۰	۰/۸۴۳۱	۱/۷۱۸۴	۸/۵۰۵
۵۷۴	۰/۷۵۳	۱/۹۲۸	۶۳/۵۳	۴۰۳۶/۵۶	۰/۸۳۹۷	۱/۸۷۹۷	۸/۴۸۶
۵۵۴	۰/۷۵۵	۱/۹۶۴	۶۶/۲۲	۴۳۸۴/۷۰	۰/۸۳۳۱	۱/۸۸۳۸	۸/۲۰۶

نتیجه معادله ضریب شکست بر حسب طول موج را تعیین کرد. این معادله به فرم زیر می‌باشد (۸):

$$n(\lambda) = (-113.942 + \frac{116.07\lambda^2}{\lambda^2 - 67.32^2})^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

از روی این معادله می‌توان ثوابت اپتیکی فیلم را در طول موج‌های پایین‌تر از طول موج قطع (ناحیه جذب قوی) نیز بدست آورد. محاسبات مربوطه در جدول (۳) قابل مشاهده است. همچنین می‌توان با ترسیم منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ و برون‌یابی آن، فاصله نوار انرژی مربوطه را نیز بدست آورد (شکل (۵)).

منحنی تغییرات ضریب شکست فیلم بر حسب طول موج را می‌توان در شکل (۴) مشاهده کرد.



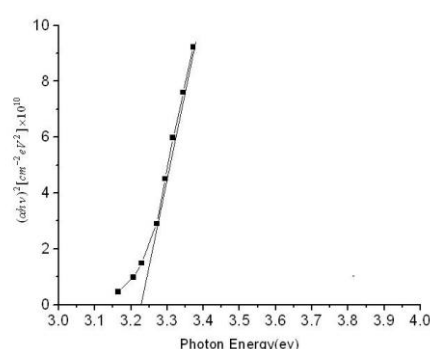
شکل (۴): منحنی تغییرات ضریب شکست فیلم به منظور تعیین معادله سلیمیر

با برازش نقاط منحنی تغییرات ضریب شکست بر حسب طول موج می‌توان ضرائب معادله سلیمیر و در

جدول (۳): محاسبه ثوابت اپتیکی فیلم در ناحیه جذب قوی

$\lambda(\text{nm})$	T_0	n	$x [\times 10^{-3}]$	$\alpha [\times 10^5](\text{cm}^{-1})$	k
۳۷۷	۰/۰۱۳۶	۲/۴۳۹	۱۸/۱۷۰	۴/۲۹۶	۰/۱۲۹
۳۷۴	۰/۰۰۳۶۱	۲/۴۵۲	۴/۸۴۰	۵/۴۱۴	۰/۱۴۰
۳۶۹	۰/۰۰۲۶۴	۲/۴۷۵	۳/۵۵۸	۵/۶۷۸	۰/۱۶۶
۳۶۰	۰/۰۰۰۷۴۶	۲/۵۱۷	۱/۰۱۷	۶/۰۹۴	۰/۱۷۰
۳۵۴	۰/۰۰۰۱۲۹	۲/۵۴۶	۱/۷۷۲	۶/۳۷۹	۰/۱۷۹
۳۴۷	۰/۰۰۰۰۱۵	۲/۵۸۲	۰/۰۲۰۸	۱۰/۸۵۶	۰/۲۹۹
۳۴۰	۰/۰۰۰۰۰۸۸	۲/۶۲۰	۰/۰۱۲۳	۱۱/۳۸۳	۰/۳۰۸
۳۳۳	۰/۰۰۰۰۰۲۵	۲/۶۵۹	۰/۰۰۳۵	۱۲/۶۳۹	۰/۳۳۵

نقش تعیین کننده‌ای در استفاده مناسب از آن‌ها در کاربردهای صنعتی داشته باشد، در نتیجه تعیین این ثابت‌ها می‌تواند کمک زیادی به محققان این عرصه در رسیدن به اهداف مورد نظر داشته باشد. در روش ارائه شده توسط سوان پول برای تعیین و تخمین ثابت‌های اپتیکی فیلم‌های نازک مانند ضرایب شکست، جذب و خاموشی، با بکارگیری یکسری محاسبات ساده و راحت، تنها از فریزهای تداخلی طیف عبور استفاده می‌شود. کاربرد فناوری‌های نانو در تهیه فیلم‌های نازک می‌تواند نقش مهمی را در حذف آلاینده‌ها ایفا کرده و موجب اصلاح خاک آلوده و همچنین کاهش انتشار و تولید مواد زائد گردد. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که تولید فیلم-های نازک با استفاده از فناوری نانو و با کارآمد کردن ابزارهای مورد استفاده در بخش‌های مختلف و نیز با کاهش مصرف انرژی، می‌تواند گامی مؤثر در جهت حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست بردارد. بنابراین ضمن تاکید بر اهمیت نانوفناوری، لازم است دستورالعمل‌هایی به منظور استفاده مناسب از این علم تدوین شود تا بر اساس آن بتوان کنترل مناسب و



شکل (۵): تعیین فاصله نوار انرژی فیلم نازک مورد نظر

نتیجه‌گیری

فناوری ساخت فیلم‌های نازک دارای کاربردهای متفاوتی در حوزه‌های مختلف از جمله محیط‌زیست و بهداشت عمومی است. نانولوله‌های کربنی بکار رفته در طراحی و ساخت حسگرهای شیمیایی و بیوشیمیایی، دارای ویژگی‌های الکترونیکی خوب برای از بین بردن خطرات ناشی از آسیب بر روی محیط‌زیست می‌باشند. ذرات نانوی بکار رفته در تهیه فیلم‌های نازک می‌تواند باعث آسیب رساندن به سیستم دفاعی و ایمنی بدن موجودات زنده و انسان‌ها شود، بنابراین لازم است که مسائل مربوط به حفظ ایمنی و خطرات احتمالی آن نیز در نظر گرفته شود. ثابت‌های اپتیکی فیلم‌های نازک مانند ضریب شکست، ضریب جذب و ضخامت فیلم می‌تواند

صحیحی بر کلیه فعالیت‌های نانوفناوری را در دستور کار قرار داد.

منابع

- [1] Pedanekar, R.S., Shaikh, S.K., Rajpure, K.Y., 2020, "Thin film photocatalysis for environmental remediation: A status review", *Current Applied Physics*, 20 931-952
- [2] Dimitrievska, I., Paunovic, P., Grozdanov, A., 2023, "Recent advancements in nano sensors for air and water pollution control", *Material Sci & Eng.*, 7 113-128
- [3] Goyal, D., Durga, G., Mishra, A., 2013, "Nanomaterials for water remediation", *Green Mater.Sustain.Water Remed.Treatment*, 23 135.
- [4] Bocheva, G., Slominski, R.M., Slominski, A.T., 2023, "Environmental Air Pollutants Affecting Skin Functions with Systemic Implications", *Int. J. Mol. Sci.*, 13 22-30.
- [5] Ray, P.Ch., Yu, H., Fu, P.P., 2009, "Toxicity and Environmental Risks of Nanomaterials: Challenges and Future Needs", *J. Env. Sci. Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev.*, 27 1-35.
- [6] Swanepoel, R., 1983, "Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon", *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 16 1214.
- [7] Uthanna, S., and etal., 2002, "Structure-composition-property dependence in reactive magnetron sputtered ZnO thin films", *Optical materials*, 19 461-469.
- [8] Absalan, H., 2021, Study of the properties of zinc oxide thin films prepared by sol-gel method, *The Application of Chemistry in Environment*, 47 (12), 37-41.