بهینه سازی خواص تشعشعی بهینه نانو مقیاس در محدوده نوری مرئی، فروسرخ و فرابنفش با الگوریتم ازدحام ذرات

سید امیر عباس علومی[۱]، مهدی محمدی[۲*]

[۱] گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران
[۲] گروه مهندسی برق، واحد تفت، دانشگاه علمی و کاربردی، یزد، ایران

دریافت: زمستان ۹۶ پذیرش: زمستان۹۶

چکیده

لایه نازک به لایه‌ای از مواد گویند که دارای ضخامت نانومتری تا محدوده چندین میکرومتر می‌باشد. این لایه بر روی سطح قطعات و مواد دیگر قرار گرفته و به آنها خصوصیت ویژه و جدیدی را می‌بخشد. خواص لایه‌های نازک، نظیر خواص مکانیکی، نوری، الکتریکی و غیره به پارامترهای زیادی وابسته است که این پارامترها مربوط به روش تولید، کیفیت و نوع ماده‌ی زیرلایه خواهند بود. با توجه به عملکرد و خواص لایه‌های نازک، می‌توان از آنها جهت بهبود تکنولوژی‌هایی نظیر سلول‌های خورشیدی، سنسورها، کاربردهای نوری، مهندسی الکترونیک و فروالکترونیک نیز استفاده نمود و امروزه کاربرد لایه‌نشانی در صنایع، موضوع توسعه یافته‌ای است، به گونه‌ای که بخش بزرگی از زندگی مدرن را مدیون توسعه صنعت لایه‌نشانی می‌دانند. در پژوهش پیش‌رو خواص تشعشعی طیفی، جهتی و وابسته به دما از قبیل ضریب بازتاب، ضریب عبور و ضریب گسیل برای نانو پوشش‌ها شامل سیلیکون، دی‌اکسید سیلیسیم، نیترات سیلیسیم مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات به دنبال جواب بهینه برای این ضرایب در محدوده نوری مرئی، فروسرخ و فرابنفش می‌باشد، بدین صورت که این الگوریتم با انتخاب مناسب‌ترین ترکیب از جنس، تعداد و ضخامت لایه، بهترین خواص تشعشعی را در طیف کامل نوری نتیجه خواهد داد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** mm6400y@gmail.com

کلمات کلیدی: لایه‌های نازک، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، خواص تشعشعی، بهینه سازی

۱- مقدمه

در حدود چهار هزار سال پیش، هنر چکش کاری طلا با تولید ورقه‌های بسیار نازک زیبا و پایدار در برابر فرایندهای شیمیایی کاربرد داشته است. همچنین در گذشته، سالیان متمادی، لایه نشانی جیوه بر روی قطعات مسی انجام می‌گرفته است. در سال‌های اخیر، علم لایه‌های نازک در میان سایر علوم، رشد قابل ملاحظه‌ای داشته و حجم وسیعی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. بی‌شک رشد چشمگیر ارتباطات، پردازش اطلاعات، ذخیره سازی، صفحه‌های نمایش، صنایع تزئینی، ابزارآلات نوری، مواد سخت و عایق‌ها نتیجه تولید لایه‌های نازک براساس فناوری های نوین می‌باشد [۱].

لایه نازک به لایه‌ای از مواد گویند که دارای ضخامت نانومتری تا محدوده چندین میکرومتر می‌باشد. این لایه بر روی سطح قطعات و مواد دیگر قرار گرفته و به آنها خصوصیت ویژه و جدیدی را می‌بخشد [۲].

به طور کلی لایه به ماده یا موادی گفته می‌شود که به صورت پوششی بر یک سطح یا ماده می‌نشینند و باعث ایجاد خواص الکتریکی، فیزیکی و مکانیکی سطحی جدیدی می‌شود که خصوصیات سطحی زیرلایه را ارتقاء می‌بخشد[۳].

لایه نازک، امروزه کاربردهای گسترده‌ای یافته است، از کاربردهای الکترونیکی، انرژی‌های نو و پوشش‌های سخت، مقاوم در برابر خوردگی و سایش گرفته تا کابردهای دکوراسیون و نمای ساختمان‌ها کاربرد دارد [۲].

لایه ها با دقت اتمی طراحی شده ای از انواع مواد اعم از فلزات، عایق‌ها، نیمه رساناها هستند. که آنها را می‌توان در دسته پوشش‌های نانو ساختار دسته‌بندی کرد. همچنین کاربرد عمده این لایه های نازک در اصلاح خواص سطح جامدات است [۴].

لایه های نازک و بسیار نازک، از دو ویژگی مهم برخوردار هستند. اولین ویژگی، ضخامت زیرمیکرونی آنها است که هر چه به اندازه نانو نزدیک‌تر شوند، ویژگی‌های متفاوت‌تری را برای لایه به وجود می‌آورند. دومین ویژگی، لایه‌ها می‌توانند سطوح فوق‌العاده بزرگی نسبت به ضخامت داشته باشند. این دو ویژگی باعث پدید آمدن خواص متفاوت و کاربردی بیشتری می‌شوند [۳و۴].

خواص لایه‌های نازک، نظیر خواص مکانیکی، نوری، الکتریکی و غیره به پارامترهای زیادی وابسته است که این پارامترها مربوط به روش تولید، کیفیت و نوع ماده‌ی زیرلایه خواهند بود. در مورد روش‌های لایه نشانی از پارامترهای مربوط به روش تولید می‌توان به میزان خلا ، جریان گاز

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.2.3.5]

عبوری حین فرایند رشد لایه، سرعت لایه نشانی و خلوص مواد پوشش اشاره کرد [۳].

با توجه به عملکرد و خواص لایه های نازک، می‌توان از آنها جهت بهبود تکنولوژی‌هایی نظیر سلول‌های خورشیدی، سنسورها، کاربردهای نوری، مهندسی الکترونیک و فروالکترونیک نیز استفاده نمود و امروزه کاربرد لایه نشانی در صنایع، موضوع توسعه یافته ای است، به گونه ای که بخش بزرگی از زندگی مدرن را مدیون توسعه صنعت لایه نشانی می‌دانند.

در زمینه لایه‌های نازک فخاران و همکاران در سال ۱۳۹۵ دریافتند با افزایش مقدار اکسیدانت، افزایش دما و افزایش زمان سایز صفحات اکسید گرافن کاهش می یابد. این امر باعث افزایش مقاومت اتصال بین صفحات و کاهش هدایت الکتریکی از $۴/۵۶ \times ۱۰^{-4}$ به $۱/۲۳ \times ۱۰^{-4}$ می‌گردد. لایه نازک‌های اکسیدگرافن کاهش یافته، بعد از قرارگیری در معرض بخار حاصل شدند. پارامترهایی چون ضخامت لایه‌ها و دمای پخت بر شفافیت و مقاومت سطحی لایه‌ها بررسی شد [۵].

چودی و همکاران در سال ۲۰۱۴ شبیه ساز حرارتی شناخته شده هاتاسپوت را برای اصلاح معادلات تی‌ای مورد استفاده قرار دادن و در شبیه‌ساز توانستند به کاهش دمایی ۱۱ درجه برسند و یا توان کارکرد چیپست را ۸۵ میلی‌وات افزایش دهند. این بدان معنیست که می‌توانند تراشه‌های ۱۲۰۰ مگاهرتز را به روش تی‌ای به ۱۶۰۰ مگاهرتز رساند [۶].

سیلیک و همکاران در سال ۲۰۱۷ ورقه‌های نازک دی‌اکسیدتیتانیوم را بر روی فلورین‌اکسیدقلع و زیرلایه‌های اکسیدقلع و منیزیم بوسیله کوره قوس حرارتی خلاء پوشانده و ضریب انتشار، کارایی رنگ، مدولاسیون نوری و برگشت‌پذیری را محاسبه کردند. بهترین نتایج برای نمونه دی‌اکسیدتیتانیوم بر روی فلورین‌اکسیدقلع با کارایی رنگی $18.6\ cm^2/c$ بدست آمد [۷].

یانگ با همکاران در سال ۲۰۱۷ کنترل فاز برای به دست آوردن سلول‌های خورشیدی با کارایی بالا مورد تحقیق قرار دادند. وقتی که تلوریدمس به عنوان یک تماس پشتی برای سلول‌های خورشیدی تلوریدمس استفاده شود. لایه بافر تماسی کریستال تکفازی سیستم تلورایدمس به راحتی مشخصات دیود را بهبود می‌دهد و عملکرد وسیله را بالا می‌برد. تکفاز تلورایدمس اساسا توسط نسبت تلوراید و مس، از طریق روش تبخیر باهم در ترکیب با واکنش گرمایی سریع کنترل می‌شود [۸].

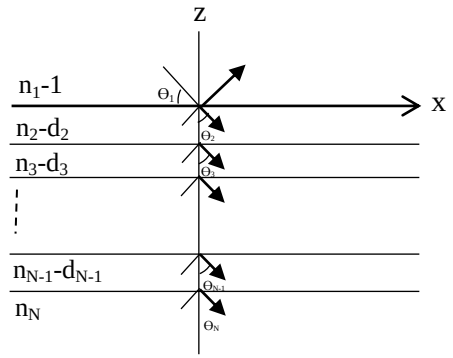
۲- معادلات حاکم

لایه‌های بلوری، از ضخامت نانومتر تا چندین میکرومتر، به وسیله‌ی رسوب بخار بر روی بسترهای نیمه رسانا، تولید می‌شوند. این ساختارهای لایه‌ای نقش مهمی در تکنولوژی‌های اخیر، از جمله مدارهای مجتمع، لیزرهای نیمه‌رسانا، آشکارکننده‌های چاه کوانتومی، قطعات هیبریدی نیمه رسانا / ابررسانا، فیلترهای نوری، و پوشش‌های انتخابی طیفی برای عملکردهای حرارتی خورشیدی ایفا می‌کنند.

خواص تشعشعی بازتاب، عبور و جذب ساختارهای چند لایه‌ای علاوه بر وابستگی به دما به جهت و طول موج اشعه ورودی نیز وابسته هستند. همچنین این خواص، تحت تاثیر پوششهای نازک نیز می‌باشند.

۲-۱ – فرمولاسیون لایه‌های نازک

در محاسبات، خواص نوری هوا را با خواص خلا یکسان در



شکل ۱: هندسه یک ساختار چند لایه ای

نظر می‌گیریم. موج الکترومغناطیس از اولین محیط مادی (هوا) با زاویه به ساختار چندلایه‌ای برخورد می‌کند و توسط لایه‌های زیرین بازتاب یا عبور می‌کند.

بردار موج به کمک رابطه (۱) نشان داده می‌شود.

$$q_j = q_{jx}\hat{x} + q_{jz}\hat{z} \qquad (۱)$$

q_{jx} و q_{jz} اجزای موازی و عمودی بردار موج هستند.

جزء موازی بردار موج q_{jx} از رابطه زیر به دست می‌آید:[۹]

$$q_x = q_{jx} = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 \sin\theta_1 \qquad (۲)$$

هرگاه بردار میدان‌الکتریکی عمود به صفحه اشعه ورودی باشد, اشعه ورودی قطبی از نوع S[1] می‌باشد و هرگاه بردار میدان‌الکتریکی موازی صفحه اشعه ورودی باشد، اشعه ورودی قطبی از نوع P[2] گویند.

از اینرو با اعمال شرایط مرزی در هر یک از سطوح مشترک بین لایه‌ها, می‌توان ضرایب A_1 و B_1 را به ضرایب A_N و B_N به کمک معادله (3) مرتبط ساخت.

$$\begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} A_N \\ B_N \end{pmatrix} \qquad (۳)$$

و ماتریس M از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$M = \prod_{j=1}^{N-1} P_j D_j^{-1} D_{j+1} \qquad (۴)$$

A_1 یک عدد حقیقی است و B_N=0 می‌باشد. در نتیجه خواص تشعشعی طیفی جهتی یک ساختار چندلایه‌ای شامل ضریب بازتاب $\rho_{\lambda,\theta}$ و ضریب عبور $\tau_{\lambda,\theta}$ با توجه به مفهوم و تعریف هر کدام از خواص تشعشعی از روابط زیر محاسبه می‌گردد: [۹]

[1] S Polarization
[2] P Polarization

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.2.3.5]

$$\rho_{\lambda,\theta} = \frac{B_1 B_1^*}{A_1^2} \quad (۵)$$

$$\tau_{\lambda,\theta} = \frac{\mathrm{Re}(\tilde{n}_N \cos\tilde{\theta}_N)}{n_1 \cos\theta_1} \frac{A_N A_N^*}{A_1^2} \quad (۶)$$

در معادلات بالا، علامت * مشخص کننده مزدوج مختلط می‌باشد.

ضریب جذب طیفی جهتی, از تفاضل ضرایب بازتاب و عبور از عدد یک محاسبه می‌گردد و ضریب گسیل طیفی جهتی $\varepsilon_{\lambda,\theta}$ به کمک قانون کرشهف[3] از معادله (۷) محاسبه می‌شود: [۱۰]

$$\varepsilon_{\lambda,\theta} = 1 - \rho_{\lambda,\theta} - \tau_{\lambda,\theta} \quad (۷)$$

در تحقیق پیش رو خواص تشعشعی طیفی، جهتی و وابسته به دما از قبیل ضریب بازتاب ρ ، ضریب عبور τ و ضریب گسیل ε برای نانو پوشش‌ها شامل سیلیکون، دی اکسید سیلیسیم، نیترات سیلیسیم مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. عوامل موثر بر خواص تشعشعی به دقت

v[t+1] = v[t] +c1 * rand() * (pbest[t] - position [t]) (۸)
+c2 * rand() * (gbest[t] - position[t])

position[t+1] = position[t] + v[t+1] (۹)

تجزیه و تحلیل شده، اهمیت و محدوده اهمیت هر کدام نیز مشخص خواهد شد؛ به بیان دیگر مشاهده خواهد شد که تغییر در جنس، تعداد و ضخامت لایه‌ها باعث تغییراتی در ضرایب بازتاب ρ ، عبور τ و گسیل ε می‌شود. و با استفاده از الگوریتم PSO[4] به دنبال جواب بهینه برای این ضرایب در محدوده نوری مرئی و فروسرخ و فرابنفش می‌باشد؛ بدین صورت که این الگوریتم با انتخاب مناسب‌ترین ترکیب از جنس، تعداد و ضخامت لایه، بهترین خواص تشعشعی را در طیف کامل نوری نتیجه خواهد داد. در ادامه خواص تشعشعی هر ساختار و نحوه‌ی تأثیر پارامترهای موثر بر آن‌ها نیز بررسی خواهد شد.

۲-۱-الگوریتم ازدحام ذرات

کلمه PSO به معنی بهینه‌سازی توده ذرات است. توده ذرات در طبیعت برای ما بیانگر هوش جمعی است. حرکت جمعی ماهی‌ها درون آب یا پرندگان هنگام مهاجرت، همگی اعضا با یکدیگر به صورت کاملا هماهنگ حرکت می‌کنند[۱۱].

PSO یک الگوریتم جستجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان مدل شده است. در ابتدا این الگوریتم به منظور کشف الگوهای حاکم بر پرواز همزمان پرندگان و تغییر ناگهانی مسیر آنها و تغییر شکل بهینه‌ی دسته به کار گرفته شد. درPSO ، ذرات در فضای جستجو جاری می‌شوند و تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خودشان و همسایگانشان است. بنابراین موقعیت دیگر توده ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجه‌ی مدل‌سازی این رفتار اجتماعی فرایند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی موفق میل می‌کنند و ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش بدست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند.[۱۲].

اساس کار PSO بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود ارا در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند.[۱۱-۱۳].

ذره در الگوریتم معادل یک پرنده در الگوی حرکت جمعی پرندگان می‌باشد .هر ذره یک مقدار شایستگی دارد که توسط یک تابع شایستگی آن محاسبه می‌شود. هر چه ذره در فضای جستجو به هدف نزدیکتر باشد، شایستگی بیشتری دارد و همچنین هر ذره دارای یک سرعت است که هدایت حرکت ذره را بر عهده دارد . هرذره با دنبال کردن ذرات بهینه در حالت فعلی، به حرکت خود در فضای مساله ادامه می‌دهد. به این شکل است که گروه‌ای از ذرات PSO آغاز کار، به صورت تصادفی به وجود می‌آیند و با به روز کردن نسلها سعی دریافتن راه حل بهینه می‌نمایند .در هر گام، هر ذره توسط دو تا از بهترین مقدار به روز می‌شود، بهترین موقعیتی که تاکنون ذره، موفق به رسیدن به آن شده است و دیگری، بهترین موقعیتی که در بین ذرات بدست آمده است.[۱۳و ۱۴] .

پس از یافتن بهترین مقادیر، سرعت و مکان هر ذره با استفاده از معادلات (۸) و (۹) به روز می‌شود. [۱۱-۱۵].

سرعت ذرات تنها با توجه به موقعیت فعلی و بهترین تجربه ذره و بهترین تجربه جمع تعیین می‌شود. به این ترتیب، بهترین ذره جمع، در جای خود ثابت می‌ماند و سایرین به سمت آن ذره حرکت می‌کنند[۱۶].

برای اتمام الگوریتم روش‌های گوناگونی وجود دارد که می‌توان تعداد تکرار را شرط اتمام الگوریتم و یا اگر تعداد مشخصی از جواب بهینه الگوریتم ثابت و بدون تغییر باشد موجب اتمام کار و مشخص کردن ذره بهینه بشود.[۱۶و۱۷].

۳-نتیجه گیری

در این تحقیق، خواص تشعشعی طیفی، جهتی و وابسته به دما از قبیل ضریب بازتاب ، ضریب عبور و ضریب گسیل برای نانو پوشش‌ها شامل سیلیکون، دی اکسید سیلیسیم، سیلیکون نیترات مورد بحث و بررسی قرار گرفت. عوامل موثر بر خواص تشعشعی به دقت تجزیه و تحلیل شده، اهمیت و محدوده اهمیت هر کدام نیز مشخص گردید، به بیان دیگر مشاهده خواهد شد که تغییر در جنس، تعداد و ضخامت لایه‌ها باعث تغییراتی در ضرایب بازتاب، عبور و گسیل می‌شود.

این تحقیق با استفاده از الگوریتم توده ذرات در طول موج‌هایی در محدوده نوری مرئی، فرابفش و فروسرخ، جواب‌های بهینه‌ای برای این ضرایب مشخص گردید، بدین صورت که این الگوریتم با ایجاد یک جمعیت اولیه برای تعداد لایه ها که محدوده لایه‌ها بین ۳ لایه حداقل و ۹ لایه حداکثر قرار دارد و نوع لایه‌ها که می‌تواند سلیسیوم و نیترات‌سلیکون و دی‌اکسیدسلیکون انتخاب می‌شود.

براساس تعداد لایه‌های انتخابی، مقداری بین صفر تا ۲۰۰ نانومتر برای نیترات‌سلیکون و دی‌اکسیدسلیکون و سیلیسم، ۵۰۰ نانو متر را برای ضخامت لایه ها انتخاب می‌کند.با قرار دادن در تابع هدف مقدار ضرایب عبور و بازتاب وگسیل را بدست می‌آورد.این مقادیر بدست آمد با

[3] Kirchhoff's Law
[4] Particle Swarm Optimization

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.2.3.5]

جمعیت اولیه برای الگوریتم بهترین جواب محلی و کلی می باشد که آنها را ذخیره می کند.برای بارهای بعدی اجرا الگوریتم توسط معادله (۸) سرعت را برای هر جمعیت اولیه مشخص شده و با معادله (۹) موقعیت بعدی آنها معین می‌شود و موقعیت جدید با تابع هدف ارزش یابی شده و به الگوریتم وارد می‌شود در صورت بهینه تر بودن ذخیره شده و این عملکرد تکرار می‌شود تا جایی که ذرات در یک موقعیت متراکم شوند و حرکت آنها ناچیز و موقعیت آنها برای تعداد متوالی ثابت بمانند بنابراین این موقعیت جواب بهینه الگوریتم می‌باشد. با اجرا الگوریتم مناسب‌ترین ترکیب از جنس، تعداد و ضخامت لایه، بهترین خواص تشعشعی در طول موج‌های مرئی و فرابفش و فروسرخ را نتیجه داده شد. که جدول های زیر خروجی‌های الگوریتم می‌باشد که در طول موجهای متفاوت جواب بهینه مشخص شده است.

در جدول‌ها تعداد و نوع لایه ها در طول موج های محدود مرئی، فرابفش و فروسرخ مشخص شده است که عدد ۱ معادل ماده سیلیکون، عدد ۲ معادل ماده دی اکسید سیلیکون، عدد ۳ معادل نیترات سیلیکون و عدد صفر معادل هوا می‌باشد.

در جدول‌های ضخامت لایه، عدد صفر معادل حذف لایه می‌باشد. ضخامت لایه ها برحسب میکرومتر می‌باشد.

جدول ۱: شماره اختصاص گرفته در الگوریتم برای هر نوع لایه

نوع لایه	شماره مختص لایه
هوا	۰
سیلیکون	۱
دی اکسید سیلیکون	۲
نیترات سیلیکون	۳

جدول ۲: نوع و تعداد لایه ها در طول موج‌های مختلف برای ضریب عبور

نوع لایه ها												طول موج(µm)	ضریب بهینه بازتاب
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۳	۱			۰/۵۴	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۱			۰/۰۶۸	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۱			۰/۸۲	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۳	۱			۰/۹۶	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۳	۱			۱	۱

جدول ۳: ضخامت لایه ها در طول موج‌های مختلف برای ضریب بهینه عبور

طول موج(µm)	۰/۵۴	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۹۶	۱
ضخامت لایه‌ها(nm)	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۰
	۰.۰۰۱۰۲ ۷۳	۰.۰۰۸۰ ۶۶	۰.۰۰۴۹۳ ۴۷	۰	۵۰۰
	۰	۰	۰	۰.۰۰۱۲۸ ۴۵	۰
	۰	۰	۰	۰	۰.۰۰۸۸۷۲۸
	۰	۰	۰	۰	۰
	۰	۰۰	۰	۰۰	۰
	۰۰	۰	۰	۰	۰
	۰	۰	۰	۰	۰
	۰	۰	۰	۰	۰
	۰	۰	۰	۰	۰
	۰	۰	۰	۰	۰

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.2.3.5]

جدول ۴: نوع و تعداد لایه ها در طول موج‌های مختلف برای ضریب جذب

نوع لایه ها												طول موج(µm)	ضریب بهینه جذب
۰	۰	۲	۳	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۲	۰/۵۴	۰/۶۸۹۵۵
۰	۰	۰	۲	۲	۳	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۰/۶۸	۰/۶۸۸۱
۰	۰	۰	۰	۳	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۰/۸۲	۰/۶۹۳۸۴
۰	۰	۰	۳	۲	۲	۳	۳	۲	۳	۳	۲	۰/۹۶	۰/۶۹۴۰۲
۰	۰	۱	۱	۲	۳	۲	۱	۳	۲	۲	۳	۱	۰/۶۹۹۰۶

جدول ۵: ضخامت لایه ها در طول موج‌های مختلف برای ضریب بهینه جذب

طول موج(µm)	۰/۵۴	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۹۶	۱
ضخامت لایه‌ها(nm)	۰.۱۵۶۰۸	۰	۰	۰	۰.۰۹۶۶۲۸۶
	۰.۱۹۵۸۴	۰.۲۱۱۳۲	۰.۰۱۵۷۳۷	۰.۱۸۴۷۶	۰.۰۸۳۰۰۶۸
	۰.۱۵۷۵۲	۰.۱۴۳۶۳	۰.۱۵۳۵۶	۰.۱۲۱۲	۰
	۰.۱۶۲۰۹	۰.۲	۰.۱۷۷۸۸	۰.۱۸۵۳۹	۵۰۰
	۰.۱۳۸۵	۰.۱۸۱۱	۰.۲	۰.۱۶۳۸	۰.۲
	۰.۱۵۵۷	۰.۱۲۰۲	۰.۱۳۹۵	۰.۰۹۳۷	۰.۱۸۵۱
	۰.۱۸۲۸۹	۰.۱۶۱۸۷	۰.۱۸۳۶۸	۰.۲	۰.۱۹۰۲۹۸
	۰.۲	۰.۱۸۴۳۷	۰	۰.۱۶۹۷	۵۰۰
	۰	۰	۰	۰	۵۰۰
	۰	۰	۰	۰	۰
	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۷: ضخامت لایه ها در طول موج‌های مختلف برای ضریب بهینه بازتاب

طول موج(µm)	۰/۵۴	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۹۶	۱
ضخامت لایه‌ها(nm)	۰/۱۹۸۹۷	۵۰۰	۰/۲	۵۰۰	۰
	۵۰۰	۵۰۰	۰	۵۰۰	۰/۱۳۴۵۲
	۰/۱۱۹۴۹	۰/۱۱۸۸	۵۰۰	۵۰۰	۵۰
	۰/۱۷۶۴۴	۵۰۰	۰/۱۸۱۰۵	۵۰۰	۰/۱۴۶۳۹۸
	۵۰۰	۰/۰۳۸۲	۰/۰۸۸۴	۰	۰/۰۲۰۸
	۵۰۰	۰/۰۴۴	۰/۰۰۷۲	۰	۰/۲
	۵۰۰	۰/۱۱۹۹	۰/۱۲۶۱۲	۰	۰/۱۸۹۹۴
	۰/۰۳۲۷۶	۵۰۰	۰/۱۴۸۸۹	۰	۰/۱۹۹۱۱
	۰/۱۳۸۷	۰/۰۲۹۷	۰/۱۸۵۸	۰	۰
	۰	۰	۰	۰	۰
	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۶: نوع و تعداد لایه ها در طول موج‌های مختلف برای ضریب بازتاب

نوع لایه ها												طول موج(µm)	ضریب بهینه بازتاب
۰	۰	۲	۳	۱	۱	۳	۲	۱	۳	۱	۲	۰/۵۴	۰/۳۵۶۴۵
۰	۰	۳	۱	۳	۳	۲	۱	۳	۱	۲	۲	۰/۶۸	۰/۳۲۹۵۲
۰	۰	۳	۳	۲	۳	۲	۳	۱	۲	۳	۲	۰/۸۲	۰/۳۱۷۸۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۲	۰/۹۶	۰/۳۱۱۵۴
۰	۰	۰	۳	۲	۳	۲	۳	۱	۳	۰	۲	۱	۰/۳۹۴۲۲

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.2.3.5]

مراجع

[1] C.Tien,H.Yang,M.Liu,Thin Solid Film, proceeding of 4th International Conference on Technological Advances of Thin Films and Surface Coatings, Illinois, USA(2009)

[2] A. Wagendristel,Y. Wang,An Introduction of Physics and echnology of Thin Films ,In World Scientific,(1994)

[3] K. N. Chopra, A. K. Maini,Thin Film and Their Applications in Military and Civil Sectors,Defence Research and Development Organisation,(2010)

[4] ع. رازقی زاده، فیزیک لایه‌های نازک، دانشگاه پیام نور، تهران، (۱۳۸۸)

[5] ز.فخاران، ل.ناجی، خ.معدنی پور، بررسی تاثیر شرایط اکسایش، ضخامت و دما بر هدایت الکتریکی لایه نازک های شفاف بر پایه اکسید گرافن کاهش یافته، نخبگان علوم و مهندسی،(۱۳۹۵)

[6]h.choday,k.w.kwon,k.roy,Workload dependent evaluation of thin-film thermoelectric devices for on-chip cooling and energy harvesting, Proceedings of ICCAD-14, San Jose, California, USA, (2014)

[7]E.Silik,S.Pat,S.Özen,R.Mohammadigharehbagh,H.HakanYudar,C.Musaoğlu,Ş.Korkmaz, Electrochromic properties of TiO2 thin films grown by thermionic vacuum arc method,Thin Solid Films, 640(2017)

[8]Y.Yang,T.Wang,C.Liu,W.Li,J.Zhang,L.Wu,G.Zeng,W. Wang,M.Yu, Single phase control of CuTe thin films for CdTe solar cells, Vacuum,142(2017)

[9]M.Born,E.wolf,A.B.Bhatia.Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light, 7th ed., New York: Cambridge University,press,(1999)

[10]K. Joulain,j.Mulet,F.Marquier,R.Carminati, Surface electromagnetic waves thermally excited: Radiative heat transfer, coherence properties and Casimir forces revisited in the near field, Surface Science Reports, Vol. 57, pp. 59-112,(2005)

[11]H.Izakian,Bt.Ladani,A.Abraham,V.A.Snasel,discrete particle swarm optimization approach for grid job scheduling,Int J Innov Comp Inf Cont6(2010)

[12]K.Wu tunable workflow scheduling algorithm based on particle swarm optimization for cloud computing(2014)

[13]J,Kennedy,R.Eberhart, Particle swarm optimization.IEEE Int Conf Neu Net 4(1995)

[14]J.Huang,K.Wu,L.Leong,S.Ma,M.Moh,A.tunable workflow scheduling algorithm based on particle swarm optimization for cloud computing. Int J Soft Comput Soft Eng (2013)

[15]S.Prathibha,B.Latha,G.Suamthi,Particle swarm optimization based workflow scheduling for medical applications in cloud. Biomedical Research(2017)

[16]D.F.W. Yap, S.P. Koh, S.K. Tiong and S.K. Prajindra, Particle Swarm based Artificial Immune System for Multimodal Function Optimization and Engineering Application Problem, Trends in Applied Sciences Research (2011)

[17] D. C. Diana,S. P. Joy Vasantha Rani, Modified PSO-Based Equalizers for Channel Equalization, Proceedings of the International Conference on Nano-electronics, Circuits & Communication Systems ,(2017.)

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.2.3.5]