



تأثیر نانو پوشش‌های فلزی و غیرفلزی و اثر قطبی‌سازی اشعه ورودی بر روی خواص تشعشعی نانو پوشش‌ها

ندا خانی اسفندآباد^۱، سید امیرعباس علومی^{۲*}، سید علی آقا میرجلیلی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات یزد، گروه مهندسی مکانیک یزد، ایران

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد، گروه مهندسی مکانیک، یزد، ایران.

۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات یزد، گروه مهندسی مکانیک، یزد، ایران.

Amiroloomi@iauyazd.ac.ir*

چکیده:

در این تحقیق خواص تشعشعی ساختارهای چندلایه‌ای، شامل زیرلایه سیلیکون آلاییده‌کم با پوشش‌های غیرفلزی نیتريدسیلیکون و دی‌اکسیدسیلیکون و پوشش‌های فلزی، طلا، نقره و مس، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و اشعه ورودی پلاریزه، بررسی شد. از روش ماتریس انتقال جهت محاسبه خواص تشعشعی ساختارهای چند لایه‌ای و بیان‌های تجربی برای ثابت‌های نوری سیلیکون آلاییده‌کم استفاده شد. ضریب عبور پوشش فلزی به‌علت کم بودن عمق نفوذ این پوشش‌ها و ضریب بازتاب بالا، در حالت قطبی نوع S و نوع P و غیرقطبی، صفر است. در پوشش‌های غیرفلزی، به‌علت بزرگ‌تر بودن عمق نفوذ موج الکترومغناطیس، ضریب عبور افزایش می‌یابد. به‌طور کلی نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در پوشش‌های غیرفلزی ضریب عبور قطبش نوع P بزرگ‌تر از قطبش نوع S می‌باشد. ضریب بازتاب پوشش‌های فلزی نسبت به پوشش‌های غیرفلزی به‌طور چشمگیری زیاد بوده، به‌طوری‌که می‌توان از پوشش فلزی در صنایعی که نیاز به بازتاب زیاد است، استفاده نمود. نتایج نشان می‌دهد، اگرچه زیرلایه سیلیکون در دمای اتاق و بازه طول موج، ۰/۴ تا ۰/۸۴ میکرومتر، دارای ضریب جذب ناچیز و در نتیجه ضریب گسیل ناچیز است، ولی پوشش نقره منجر به جذب و در نتیجه مقداری گسیل گردید. همچنین تغییر قطبش اشعه‌ی ورودی از نوع S به P منجر به افزایش ضریب گسیل می‌شود. نتایج نشان می‌دهد، نقره نسبت به طلا و مس بیشترین ضریب بازتاب را دارا می‌باشد. در زاویه تابش صفر (نرمال)، خواص تشعشعی برای هر دو حالت اشعه ورودی قطبی نوع S و قطبی نوع P یکسان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خواص تشعشعی، لایه نازک، سیلیکون آلاییده‌کم، قطبی‌سازی اشعه ورودی، فرمولاسیون همدوس

The Effect of Metallic and Non-metallic Nano-coatings and Polarization of Incident Radiation on Radiation Properties of Nono-coatings

Neda Khani Esfand Abad¹, S.A.A. Oloomi^{2*}, S.A.A Mirjalili³

1- MSc student, Mechanical Engineering Department, Yazd Science and Research Branch, Islamic Azad University, Iran.

2- Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Yazd Branch, Islamic Azad University, Iran.

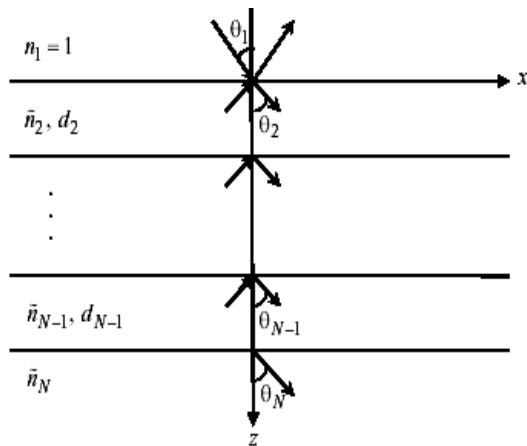
3- Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Yazd Science and Research Branch, Islamic Azad University, Iran.

Amiroloomi@iauyazd.ac.ir*

Abstract

The study aimed at investigating radiation properties of multi-layers constructions including underneath layer of silicon, slightly covered by non-metal coating of silicon nitrate and silicon dioxide, and metal coating of gold, silver and cooper in temperature of 25 degrees Celsius and polarized incident radiation. Ray Transfer Matrix model was used to calculate radiation properties of multi-layers constructions as well as experimental expressions of optical constants of slightly covered silicon. The transmission coefficient of metallic coatings in polarization types of P and S and non-polarized status was zero due to low penetration power and high radiation coefficient. In non-metallic coatings, on the other hand, the transmission coefficient increased contributing to the larger penetration depth of electromagnetic waves. The overall results indicated that polarization coefficient of transmission of type P was significantly larger than Type S in non-metallic coatings. Radiation coefficient of metallic coatings was significantly larger in comparison to non-metallic coatings. As the result, they can be used in industries requiring high radiation. The results indicated that in underneath silicon layers, in room temperature and wave length of 4 to 84 micrometer, the absorption and consequently radiation coefficients were insignificant. However, silver coating indicated significantly higher absorption and radiation. In addition, the fluctuation in polarization of the incident ray of P and S type resulted in an increase in emissivity and transmission factors. The findings showed that silver in comparison to gold and cooper revealed significantly higher radiation coefficient. In radiation angle of zero (normal), radiation properties were equal for both types of S and P.

Key words: Radiation properties, slightly covered silicon, polarization, coherent formulation, multi-layer constructio



شکل ۱: هندسه یک ساختار چند لایه‌ای را نشان می‌دهد [۳]

اگر فرض کنیم که میدان مغناطیسی محیط مادی Z ام مجموع امواج پیشرو و پسرو در جهت Z هستند؛ لذا میدان مغناطیس در هر لایه توسط رابطه زیر بیان می‌شود [۵،۴]:

$$E_j = \begin{cases} \left[A_1 e^{iq_{1z}z} + B_1 e^{-iq_{1z}z} \right] e^{(iq_x x - i\omega t)}, & j=1 \\ \left[A_j e^{iq_{jz}(z-z_{j-1})} + B_j e^{-iq_{jz}(z-z_{j-1})} \right] e^{(iq_x x - i\omega t)}, & j=2,3,\dots,N \end{cases} \quad (1)$$

که A_j و B_j دامنه‌های امواج پیشرو و پسرو در لایه j ام هستند. به همین ترتیب $Z_1=0$ و $Z_j = Z_{j-1} + d_j$ ($j=2,3,\dots,N-1$) می‌باشد. ω فرکانس زاویه‌ای، q_x و q_{jz} اجزای موازی و عمودی بردار موج هستند. با اعمال شرایط مرزی در سطوح تداخل، ضرایب A_j و B_j با ضرایب مرتبط از لایه‌های مجاور، توسط یک معادله خطی ارتباط پیدا می‌کنند [۵،۴]. در نتیجه خواص تشعشعی ساختار چند لایه‌ای توسط روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$\rho = \frac{B_1 B_1^*}{A_1^2} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{\text{Re}(\tilde{n}_N \cos \tilde{\theta}_N)}{n_1 \cos \theta_1} \frac{A_N A_N^*}{A_1^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon = 1 - \rho - \tau \quad (4)$$

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

۲-۲- مدل‌های تجربی برای ثابت‌های نوری سیلیکون آلیایده کم
ثابت‌های نوری شامل ضریب شکست (n) و ضریب استهلاک (k) یک ماده، تابع پیچیده‌ای از طول موج و دما هستند. همچنین به ساختار کریستال و نیز به آلیایده بودن و درجه ناخالصی وابسته می‌باشند. در این تحقیق از بیان‌های تجربی برای محاسبه ثابت‌های نوری سیلیکون آلیایده کم (غلظت آلیایش کوچکتر از 10^{15} cm^{-3} باشد) استفاده می‌شود.

جهت محاسبه ضریب شکست (n) و ضریب استهلاک (k) در محدوده طول موج‌های بین 0.4 تا 0.84 میکرومتر از رابطه (J.M) استفاده می‌شود [۶].

$$n_{JM}(\lambda, T) = n_0(\lambda) + \beta(\lambda)T \quad (5)$$

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر نانو تکنولوژی به یکی از مهمترین زمینه‌های تحقیقات در تکنولوژی‌های نوین بدل شده است. یکی از مواردی که در حال حاضر نانوفناوری در آن به‌طور گسترده و مؤثری مورد استفاده قرار گرفته است پوشش‌دهی نانو ساختارها است. این ساختارهای لایه‌ای نقش مهمی در تکنولوژی‌های اخیر، از جمله، مدارهای مجتمع، لیزرهای نیم‌رسانا، آشکار کننده‌های چاه کوانتومی، قطعات هیبریدی نیم‌رسانا و ابررسانا، فیلترهای نوری، پوشش‌های انتخابی طیفی برای عملکردهای فوتولتائیک، تولید سیستم‌های حرارتی نانومقیاس و ... ایفا می‌کنند. مطالعه انتقال حرارت در مقیاس نانو به منظور دستیابی به کاربردهای فراوان این فناوری، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از آنجا که خواص تشعشعی لایه‌های نازک به‌طور قابل توجه‌ای با خواص تشعشعی در سطوح کپه‌ای و لایه‌های خیلی ضخیم، به دلیل اثرات چند گانه بازتاب و تداخل امواج، تفاوت دارد، لذا اطلاع از خواص تشعشعی لایه‌های نازک در پیش‌برد صنایع میکروالکترونیک، تبدیل انرژی، نانوفناوری، سیستم‌های فضایی و ... کاربردهای فراوانی خواهند داشت. به‌طوریکه، اصلاح سطح توسط نانو پوشش‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجه‌ای، خواص تشعشعی مواد را تحت تأثیر قرار دهد [۱].

با توجه به عدم تحقیق در زمینه، تأثیر قطبی بودن اشعه ورودی بر روی خواص تشعشعی نانو پوشش‌های فلزی و غیرفلزی و مقایسه آن‌ها، تحقیق در این خصوص کاربردهای فراوانی در صنایع مذکور خواهد داشت. خواص تشعشعی ساختارهای چند لایه‌ای نانو مقیاس به‌شدت وابسته به قطبش اشعه‌ی ورودی می‌باشد از این رو نیاز صنایع مختلف را می‌توان با انتخاب قطبش نوع S یا P بدست آورد.

سیلیکون نیمه‌هادی است که نقش حیاتی در مدارهای مجتمع و MEMS/NEMS و ... بازی می‌کند [۲]. در این تحقیق خواص تشعشعی ساختارهای چندلایه‌ای، شامل زیرلایه سیلیکون آلیایده کم با پوشش‌های غیرفلزی نیتريدسیلیکون و دی‌اکسیدسیلیکون و پوشش‌های فلزی، طلا، نقره و مس، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و اشعه ورودی پلاریزه، مورد بررسی قرار گرفت. پوشش‌های فلزی و غیرفلزی با یکدیگر مقایسه شد. از روش ماتریس انتقال جهت محاسبه خواص تشعشعی ساختارهای چند لایه‌ای و بیان‌های تجربی برای ثابت‌های نوری سیلیکون آلیایده کم و نیز از داده‌های جمع‌آوری شده در هندبوک پالیک برای ثابت‌های نوری غیرفلزی نیتريد-سیلیکون، دی‌اکسیدسیلیکون، طلا، نقره و مس استفاده می‌شود.

۱- مدلسازی

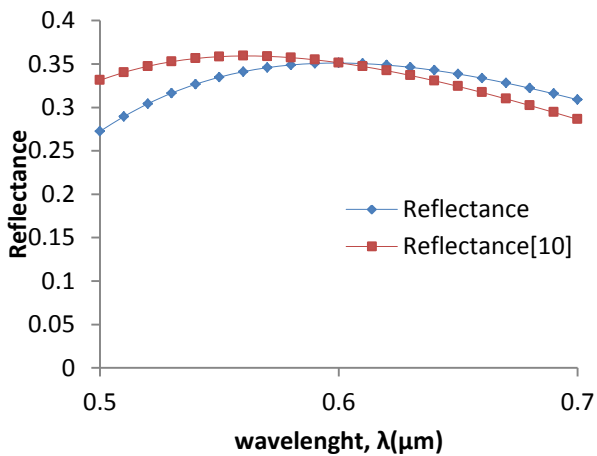
۱-۲- فرمولاسیون هم‌دوس

هرگاه ضخامت هر کدام از لایه‌ها کوچکتر یا قابل مقایسه با طول موج امواج الکترومغناطیس باشند، آنگاه اثرات تداخل امواج داخل هر لایه دارای اهمیت می‌شود. روش ماتریس انتقال یک روش مناسب جهت محاسبه خواص تشعشعی ساختارهای چند لایه‌ای پوشش‌های نازک می‌باشد. شکل (۱)، هندسه یک ساختار چندلایه‌ای را نشان می‌دهد. محیط مادی نیمه بینهایت بالایی هوا است. در محاسبات، خواص نوری هوا را با خواص خلأ یکسان در نظر می‌گیریم. موج الکترومغناطیس از اولین محیط مادی (هوا) با زاویه θ_1 به ساختار چند لایه‌ای برخورد می‌کند و توسط لایه‌های زیرین بازتاب یا عبور می‌کند.

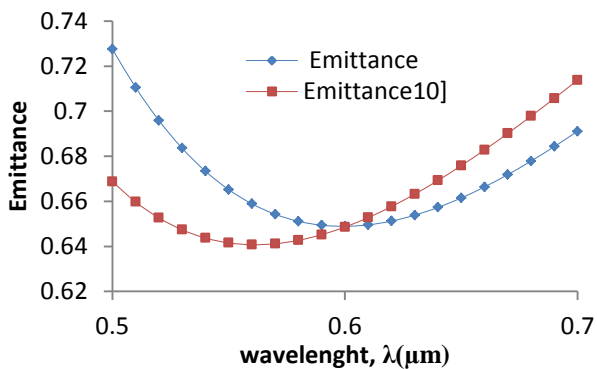
و با زاویه تابش قائم انتخاب شد. شکل‌های (۳) و (۴)، ضرایب جذب، عبور و بازتاب این نانو ساختار را با نتایج [۱۰] مقایسه می‌کنند. همانگونه که در این نمودارها مشخص است، نتایج تطابق خوبی را نشان می‌دهند.

تأثیر پوشش‌های فلزی و غیرفلزی بر روی خواص تشعشعی ساختارهای چند لایه‌ای بسیار متفاوت می‌باشد. در این تحقیق به بررسی اثر قطبی‌سازی اشعه ورودی بر روی پوشش‌های فلزی و غیرفلزی و مقایسه خواص متفاوت این پوشش‌ها می‌پردازیم. از دی‌اکسیدسیلیکون و نیتريدسیلیکون به عنوان پوشش غیرفلزی و از طلا، نقره و مس به عنوان پوشش فلزی استفاده شد. اشعه ورودی قطبی و با زاویه ۶۰ درجه، در دمای اتاق و ضخامت زیرلایه سیلیکون ۱۰ میکرومتر و ضخامت پوشش‌ها ۴۰۰ نانومتر در نظر گرفته شد.

شکل (۵)، (۶) و (۷) مقایسه یک ساختار چندلایه‌ای از زیرلایه سیلیکون آلاییده کم و پوشش دی‌اکسیدسیلیکون از دو سمت و یک ساختار چندلایه‌ای از زیرلایه سیلیکون آلاییده کم و پوشش نقره از دو سمت را نشان می‌دهد.



شکل ۳: مقایسه ضریب بازتاب ρ زیرلایه سیلیکون با پوشش دی‌اکسیدسیلیکون در دو سمت با نتایج [۱۰]



شکل ۴: مقایسه ضریب گسیل ϵ زیرلایه سیلیکون با پوشش دی‌اکسیدسیلیکون در دو سمت با نتایج [۱۰]

$$n_0 = \sqrt{4.565 + \frac{97.3}{3.648^2 - (1.24/\lambda)^2}} \quad (6)$$

$$\beta(\lambda) = -1.864 \times 10^{-4} + \frac{5.394 \times 10^{-3}}{3.648^2 - (1.24/\lambda)^2} \quad (7)$$

$$k_{JM}(\lambda, T) = k_0(\lambda) \exp\left[\frac{T}{369.9 - \exp(-12.92 + 6.831/\lambda)}\right] \quad (8)$$

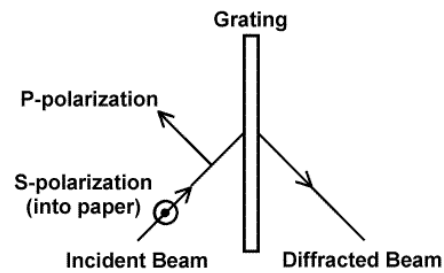
$$k_0(\lambda) = -0.0805 + \exp\left[-3.1893 + \frac{7.946}{3.648^2 - (1.24/\lambda)^2}\right] \quad (9)$$

که در این روابط، λ طول موج در خلأ بر حسب μm و T دما بر حسب $^{\circ}\text{C}$ می‌باشد.

جزئیات بیشتر جهت محاسبه ثابت نوری سیلیکون آلاییده کم در مراجع [۴-۸] آمده است. ثابت‌های نوری دی‌اکسیدسیلیکون، نیتريدسیلیکون، طلا، نقره و مس بر پایه داده‌های جمع‌آوری شده در هندبوک پالیک استوار است [۹].

۲- نتایج

امواج الکترومغناطیس ترکیبی از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌باشند. این دو میدان در راستای عمود به هم ارتعاش می‌کنند و راستای ارتعاش هر دو بر راستای انتشار موج عمود است. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی امواج به صورت اتفاقی در هر جهتی قرار می‌گیرند. لذا احتمال وجود میدان در تمام جهات یکسان است. در مواردی لازم است، که میدان در یک جهت خاص وجود داشته باشد. بنابراین باید به طریقی میدان را در جهت دیگر حذف کرد و فقط میدان در یک جهت خاص داشت. این عمل، قطبش نام دارد. هرگاه بردار میدان الکتریکی عمود به صفحه اشعه ورودی باشد، اشعه ورودی قطبی از نوع S می‌باشد و هرگاه بردار میدان الکتریکی موازی صفحه اشعه ورودی باشد، اشعه ورودی قطبی از نوع P است.



شکل ۲: قطبش نوع S و P

خواص تشعشعی ساختارهای چندلایه‌ای نانو مقیاس به شدت وابسته به قطبش اشعه‌ی ورودی می‌باشد از این رو نیاز صنایع مختلف را می‌توان با انتخاب قطبش نوع S یا P بدست آورد.

یک ساختار چند لایه‌ای شامل زیرلایه‌ی اصلی سیلیکون آلاییده کم به ضخامت ۵۰۰ میکرومتر با نانو پوشش دی‌اکسیدسیلیکون به ضخامت ۴۰۰ نانومتر از دو سمت، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، و اشعه ورودی غیرقطبی

تابشی، فاصله‌ای است که شدت موج الکترومغناطیس پس از طی آن، به $1/e=37\%$ مقدار اولیه خود می‌رسد. علت افزایش ضریب عبور برای پوشش‌های غیرفلزی، بزرگ‌تر بودن عمق نفوذ موج الکترومغناطیس پوشش‌های غیرفلزی در مقایسه با پوشش‌های فلزی می‌باشد. به‌طور کلی نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در پوشش‌های غیرفلزی ضریب عبور قطبش نوع P بزرگ‌تر از قطبش نوع S می‌باشد.

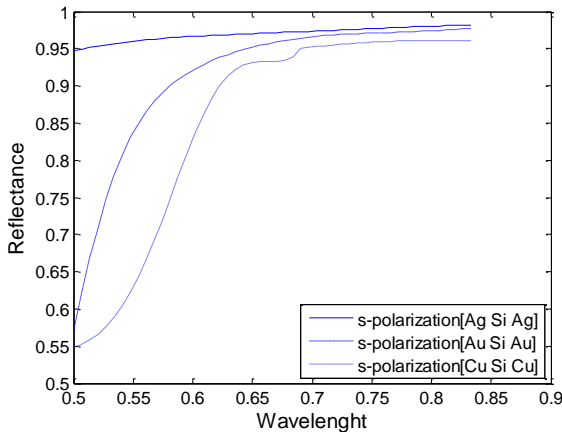
نتایج ارائه شده در شکل (۵) نشان می‌دهد که، اگر چه زیرلایه سیلیکون در دمای اتاق و این بازه از طول موج دارای ضریب جذب ناچیز و در نتیجه ضریب گسیل ناچیز است، ولی پوشش نقره منجر به جذب و در نتیجه مقداری گسیل گردید.

همچنین تغییر قطبش اشعه‌ی ورودی از نوع S به P منجر به افزایش ضریب گسیل می‌شود، به‌عنوان مثال در پوشش غیرفلزی نیتريدسیلیکون در دو سمت زیرلایه اصلی سیلیکون، ضریب گسیل برای قطبش نوع P در طول موج $0.73/0.73$ میکرومتر تقریباً $2/2$ برابر قطبش نوع S می‌باشد.

به‌طور کلی، در پوشش‌های غیرفلزی و فلزی، تغییر قطبش اشعه‌ی ورودی از نوع S به P منجر به افزایش ضریب گسیل، کاهش ضریب بازتاب، افزایش ضریب عبور می‌شود.

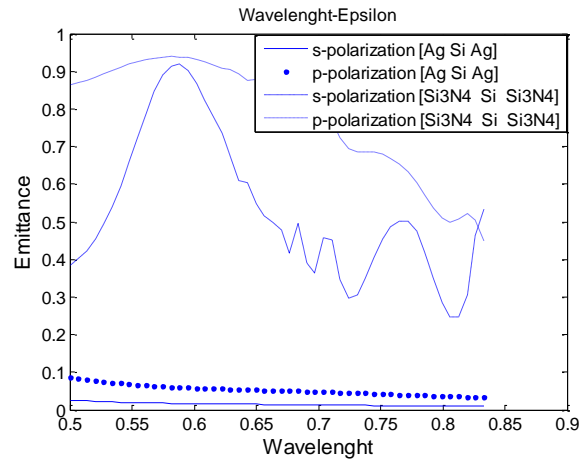
ضریب بازتاب پوشش‌های فلزی نسبت به پوشش‌های غیرفلزی به‌طور چشمگیری زیاد بوده، به‌طوری‌که می‌توان از پوشش فلزی در صنایعی که نیاز به بازتاب زیاد است، استفاده نمود (شکل (۷)).

نتایج نشان می‌دهد، نقره نسبت به طلا و مس بیشترین ضریب بازتاب را دارا می‌باشد (شکل (۸))، که این امر به‌دلیل کوچک بودن عمق نفوذ موج الکترومغناطیس در آن است.

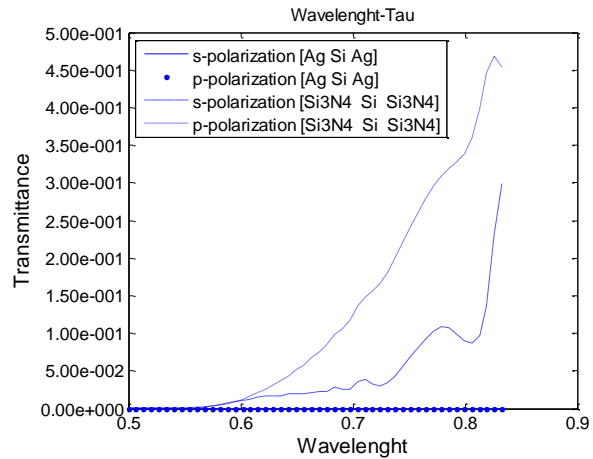


شکل ۸: مقایسه ضریب بازتاب پوشش‌های طلا، نقره و مس

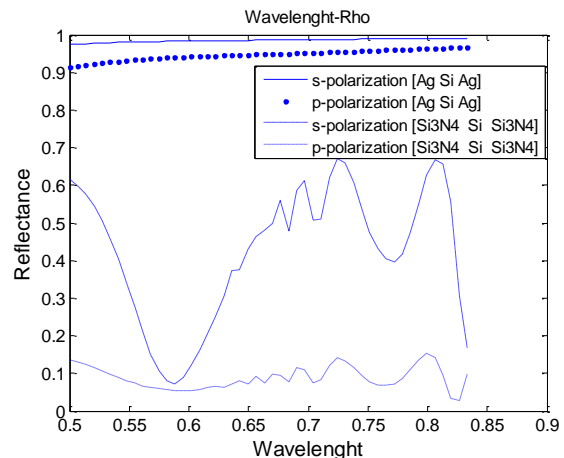
با تغییر زاویه تابش اشعه ورودی به صفر درجه (نرمال)، در شرایط یکسان، و بررسی اثر قطبش اشعه بر روی خواص تشعشعی این نانو ساختارها، نتایج نشان می‌دهند که، در زاویه تابش صفر، خواص تشعشعی برای هر سه حالت اشعه ورودی قطبی نوع S، قطبی نوع P و غیرقطبی یکسان می‌باشد (شکل (۹) و (۱۰)). چراکه ماتریس انتقال برای هر سه حالت اشعه ورودی یکسان است.



شکل ۵: مقایسه ضریب گسیل پوشش فلزی نقره در دو سمت و پوشش غیرفلزی نیتريدسیلیکون در دو سمت زیرلایه اصلی سیلیکون آلاینده کم



شکل ۶: مقایسه ضریب عبور پوشش فلزی نقره در دو سمت و پوشش غیرفلزی نیتريدسیلیکون در دو سمت زیرلایه اصلی سیلیکون آلاینده کم



شکل ۷: مقایسه ضریب بازتاب پوشش فلزی نقره در دو سمت و پوشش غیرفلزی نیتريدسیلیکون در دو سمت زیرلایه اصلی سیلیکون آلاینده کم

همان‌گونه که در شکل ۶ نیز قابل مشاهده می‌باشد، ضریب عبور پوشش‌های فلزی به‌علت کم بودن عمق نفوذ این پوشش‌ها و ضریب بازتاب بالا، در حالت قطبی نوع S و نوع P و غیرقطبی، صفر است. عمق نفوذ

۳. ضریب بازتاب پوشش‌های فلزی نسبت به پوشش‌های غیرفلزی به‌طور چشمگیری زیاد بوده، به‌طوری که می‌توان از پوشش فلزی در صناعی که نیاز به بازتاب زیاد است، استفاده نمود.
۴. در پوشش‌های فلزی، نقره نسبت به طلا و مس بیشترین ضریب بازتاب، و مس کمترین ضریب بازتاب را دارا است.
۵. در پوشش‌های فلزی، ضریب عبور به‌علت کم بودن عمق نفوذ این پوشش‌ها و ضریب بازتاب بالا، در حالت قطبی نوع S و نوع P و غیرقطبی، صفر است.
۶. به‌طور کلی در پوشش‌های غیرفلزی و فلزی، اختلاف بین قطبش نوع S و P با افزایش زاویه تابش اشعه‌ی ورودی افزایش می‌یابد.

۷. در پوشش‌های غیرفلزی، در شرایط قطبش نوع S اشعه ورودی، با زاویه ورود نزدیک به ۹۰ درجه، بیشترین ضریب بازتاب را داریم.

۸. به‌طور کلی در پوشش‌های غیرفلزی و فلزی، اختلاف بین قطبش نوع S و P با افزایش زاویه تابش اشعه‌ی ورودی افزایش می‌یابد.

۹. در پوشش‌های غیرفلزی و فلزی، تغییر قطبش اشعه‌ی ورودی از نوع S به P منجر به افزایش ضریب گسیل، کاهش ضریب بازتاب، افزایش ضریب عبور می‌شود.

جهت دستیابی به خواص تشعشعی مناسب مورد نیاز صنایع مختلف، باید ترکیب مناسبی از تعداد لایه‌های پوشش و جنس پوشش‌ها را انتخاب نمود.

۴- منابع

[1] Makino T. "Thermal radiation spectroscopy for heat transfer science and for engineering surface diagnosis", In: Taine J editor. Heat transfer vol. 1. Oxford: Elsevier Science, p. 55-66, (2002).

[2] Oloomi, S.A.A, Sabounchi, A and Sedaghat, A. "Predict Thermal Radiative Properties of Nanoscale Multilayer Structures", *the IASTED International Conference on Nanotechnology and Applications*, pp. 113-118, Crete-Greece, (2008).

[3] S. A. A. Oloomi, Saboonchi, A and Sedaghat, A, Effects of Thin Film Thickness on Emittance, Reflectance and Transmittance of Nano Scale Multilayers, *International Journal of the Physical Sciences*, 5(5), pp. 465-469, (2010).

[4] P.J. Timans, "the thermal radiative properties of semiconductors" *Advances in Rapid Thermal and Integrated Processing*, Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 35-102, (1996).

[5] Z. M. Zhang, C. J. Fu, and Q. Z. Zhu, "Optical and Thermal Radiative Properties of Semiconductors Related to Micro/Nanotechnology," *Adv. Heat Transfer*, vol. 37, pp. 179-296, (2003).

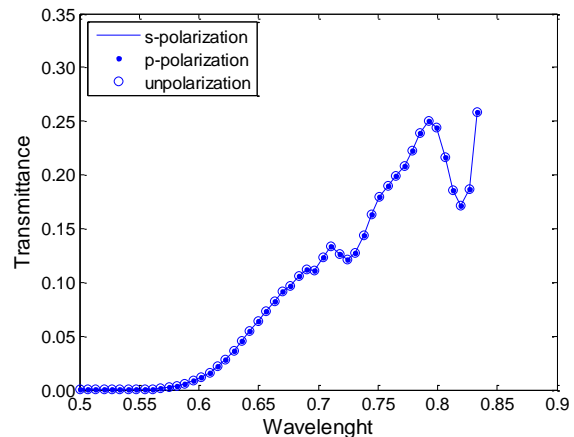
[6] G. E. Jellison and F. A. Modine., "Optical Functions of Silicon at Elevated Temperatures," *J. Appl. Phys.*, vol. 76, pp. 3758-3761, (1994).

[7] P. J. Timans., "Emissivity of Silicon at Elevated Temperatures," *J. Appl. Phys.*, vol. 74, pp. 6353-6364, (1993).

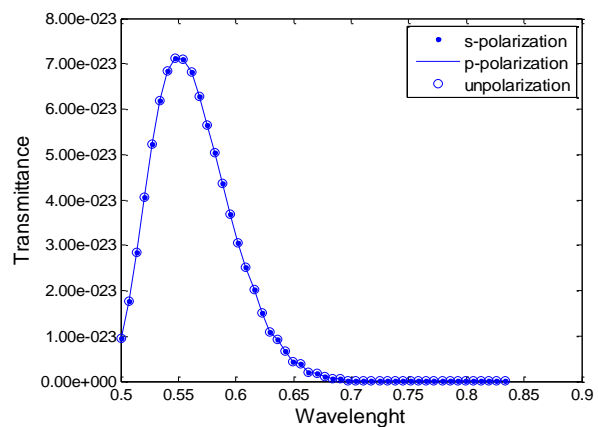
[8] B. J. Lee and Z. M. Zhang, "Modeling Radiative Properties of Silicon with Coatings and Comparison with Reflectance Measurements", *JOURNAL OF THERMOPHYSICS AND HEAT TRANSFER*, Vol 19, No4, pp.558-565, (2005).

[9] H. R. Philipp, "Silicon Dioxide (SiO₂)," "Silicon Nitride (Si₃N₄)" and "Au", *Handbook of Optical Constants of Solids*, E. D. Palik (Ed.), San Diego, CA. (1998).

[10] S. A. A. Oloomi, *Parametric Study of Nanoscale Radiative Properties of Multilayer Structures*, PhD Thesis, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, 2010. (In Persian).



شکل ۹: ضریب عبور ساختار چند لایه‌ای شامل زیرلایه سیلیکون آلاینده کم با پوشش نیتريدسیلیکون از دو سمت، با زاویه تابش اشعه ورودی صفر درجه



شکل ۱۰: ضریب عبور ساختار چند لایه‌ای شامل زیرلایه سیلیکون آلاینده کم با پوشش طلا از دو سمت، با زاویه تابش اشعه ورودی صفر درجه

در این تحقیق سطوح صیقلی در نظر گرفته شد. از آنجاییکه در این پروژه، فاصله بین سطوح در مقیاس‌های بسیار کوچک می‌باشد، لذا فرض صیقلی بودن سطوح، فرض معقولی است. ولی می‌توان جهت بررسی اثرات زبری، در پروژه دیگری سطوح را زبر فرض نمود و تمام پروژه را با سطوح زبر تکرار کرد.

۳- نتیجه‌گیری

نتایج مهم پروژه را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

۱. در پوشش‌های غیرفلزی شاهد نوسانات در نتایج، به‌علت تداخل امواج در لایه‌های نازک بوده، که در پوشش‌های فلزی به‌علت کم بودن عمق نفوذ امواج و نیز صفر شدن ضریب عبور در این پوشش‌ها، شاهد حذف تداخل امواج می‌باشیم.
۲. پوشش‌های غیرفلزی مانند دی‌اکسیدسیلیکون و نیتريدسیلیکون، ضد بازتاب عمل می‌کنند و منجر به کاهش ضریب بازتاب نسبت به زیرلایه سیلیکون می‌گردند. پوشش‌های فلزی مانند طلا، نقره و مس، منجر به افزایش ضریب بازتاب می‌گردد.