



تاثیر 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^۲

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

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

Amiroloomi@iauyazd.ac.ir*

چکیده:

طور 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:

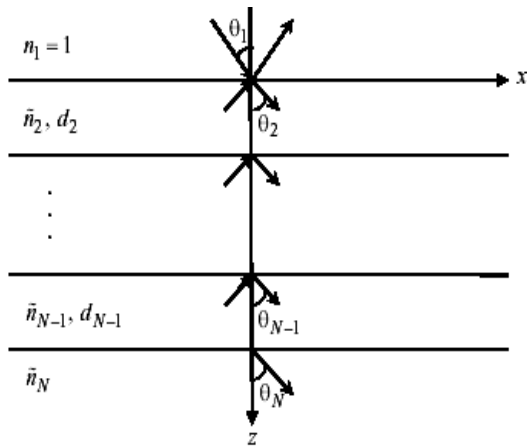
خواص تشعشعی، لایه نازک، سیلیکون آلاینده‌کم، قطبی-سازی اشعه ورودی، فرمولاسیون همدوس

در این تحقیق خواص تشعشعی ساختارهای چندلایه‌ای، شامل زیرلایه سیلیکون آلاینده‌کم 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 بیان-های تجربی برای ثابت‌های نوری سیلیکون آلاینده‌کم 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 غیر-فلزی، 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 به-

۱- مقدمه

انتخابی طبیعی برای عملکردهای فوتوولتاییک، تولید سیستم‌های حرارتی نانومقیاس و... ایفا می‌کنند. مطالعه انتقال حرارت در مقیاس نانو به منظور دستیابی به کاربرد-های 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، به‌دلیل اثرات چند گانه بازتاب و تداخل امواج، تفاوت دارد، لذا اطلاع از خواص تشعشعی لایه‌های نازک در پیش‌برد صنایع میکروالکترونیک، تبدیل انرژی، نانوفناوری، سیستم-

در سال‌های اخیر نانوتکنولوژی به یکی از مهمترین زمینه-های 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 پوشش-دهی 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



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 Z ام هستند. به همین ترتیب $Z_1=0$ و $Z_j = Z_{j-1} + d_j$ 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 تشعشی 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.

های فضایی و ... کاربردهای فراوانی خواهند داشت. به-طوری‌که، اصلاح سطح توسط نانو پوشش‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجهی، خواص تشعشی مواد را تحت تاثیر قرار دهد [۱].

با توجه به عدم تحقیق در زمینه، تاثیر قطبی بودن اشعه ورودی بر روی خواص تشعشی نانو پوشش‌های فلزی و غیرفلزی و مقایسه آن‌ها، تحقیق در این خصوص کاربردهای فراوانی در صنایع مذکور خواهد داشت. خواص تشعشی 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 تشعشی ساختارهای چندلایه‌ای، شامل زیر-لایه سیلیکون آلیایده‌کم با پوشش‌های غیرفلزی نیتريد-سیلیکون 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 تشعشی ساختارهای چند لایه‌ای و بیان‌های تجربی برای ثابت‌های نوری سیلیکون آلیایده‌کم و نیز از داده‌های جمع‌آوری شده در هندبوک پالیک برای ثابت‌های نوری غیرفلزی نیتريد-سیلیکون، دی‌اکسید-سیلیکون، طلا، نقره و مس استفاده می‌شود.

۱- مدل‌سازی

۱-۲- فرمولاسیون همدوس

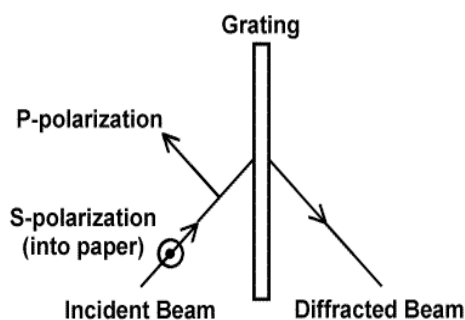
هرگاه ضخامت هرکدام از لایه‌ها کوچکتر یا قابل مقایسه با طول موج امواج الکترومغناطیس باشند، آنگاه اثرات تداخل امواج داخل هر لایه دارای اهمیت می‌شود. روش ماتریس انتقال یک روش مناسب جهت محاسبه خواص تشعشی ساختارهای چند لایه‌ای پوشش‌های نازک می‌باشد. شکل ۱، هندسه یک ساختار چندلایه‌ای را نشان می‌دهد. محیط مادی نیمه بینهایت بالایی هوا است. در محاسبات، خواص نوری هوا را با خواص خلا 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.

۲-۲- مدل های تجربی برای ثابت های نوری سیلیکون آلیایده کم

۲- نتیجه

امواج الکترومغناطیس ترکیبی از میدان های الکتریکی و مغناطیسی می باشند. این دو میدان در راستای عمود به هم ارتعاش می کنند و راستای ارتعاش هر دو بر راستای انتشار موج عمود است. میدان های الکتریکی و مغناطیسی امواج به صورت اتفاقی در هر جهتی قرار می گیرند. 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 جهات 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 می باشد و هرگاه بردار میدان الکتریکی موازی صفحه اشعه ورودی باشد، اشعه ورودی قطبی از نوع P است.

S & P Polarizations Defined



شکل ۲ قطبش نوع S و P

خواص تشعشی ساختارهای چندلایه ای نانو مقیاس به شدت وابسته به قطبش اشعه ی ورودی می باشد از این رو نیاز صنایع مختلف را می توان با انتخاب قطبش نوع S یا P بدست آورد.

یک ساختار چند لایه ای شامل زیرلایه ی اصلی سیلیکون آلیایده کم به ضخامت ۵۰۰ میکرومتر با نانو پوشش دی-اکسیدسیلیکون به ضخامت ۴۰۰ نانومتر از دو سمت، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، و اشعه ورودی غیرقطبی و با زاویه تابش قائم انتخاب شد. شکل های (۳) و (۴)، ضرایب جذب، عبور و بازتاب این نانوساختار را با نتایج [۱۰] مقایسه می کنند. همانگونه که در این نمودارها مشخص است، نتایج تطابق خوبی را نشان می دهند.

ثابت های نوری شامل ضریب شکست (n) و ضریب استهلاک (k) یک ماده، تابع پیچیده ای از طول موج و دما هستند. همچنین به ساختار کریستال و نیز به آلیایده بودن و درجه ناخالصی وابسته می باشند. در این تحقیق از بیان های تجربی برای محاسبه ثابت های نوری سیلیکون آلیایده کم (غلظت آلیایش کوچکتر از 10^{15} cm^{-3} باشد) استفاده می شود. جهت محاسبه ضریب شکست (n) و ضریب استهلاک (k) در محدوده طول موج های بین ۰/۴ تا ۰/۸۴ میکرومتر از رابطه (J.M) استفاده می شود [۶].

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

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

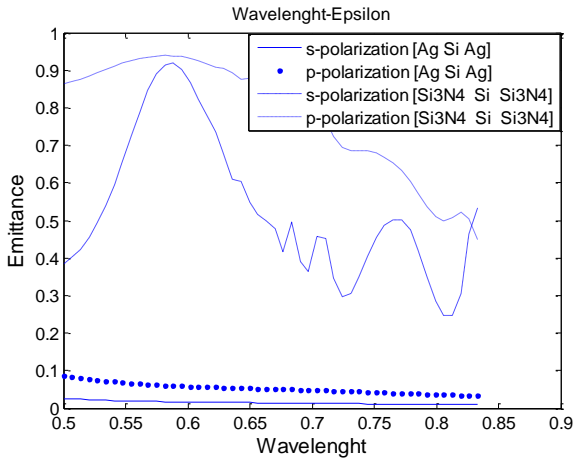
$$\beta(\lambda) = -1.864 \times 10^{-4} + \frac{5.394 \times 10^{-3}}{3.648^2 - (1.24/\lambda)^2} \quad (7)$$

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

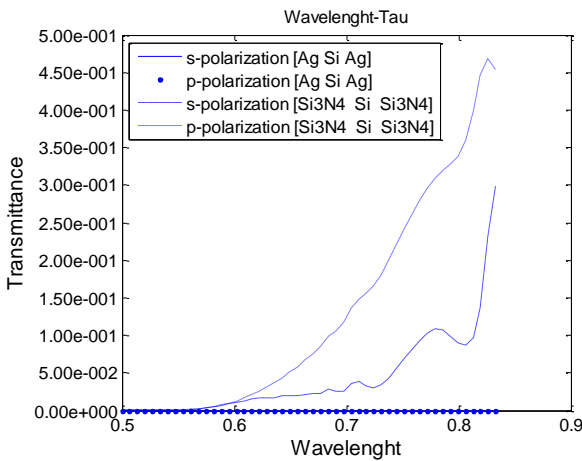
$$k_0(\lambda) = -0.0805 + \exp\left[-3.1893 + \frac{7.946}{3.648^2 - (1.24/\lambda)^2}\right] \quad (9)$$

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

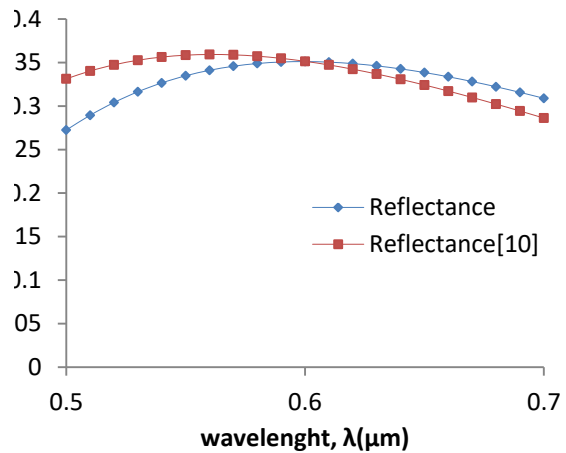
جزئیات بیشتر جهت محاسبه ثابت نوری سیلیکون آلیایده کم در مراجع [۴-۸، ۷] آمده است. ثابت های نوری دی اکسیدسیلیکون، نیتريدسیلیکون، طلا، نقره و مس بر پایه داده های جمع آوری شده در هندبوک پالیک استوار است [۹].



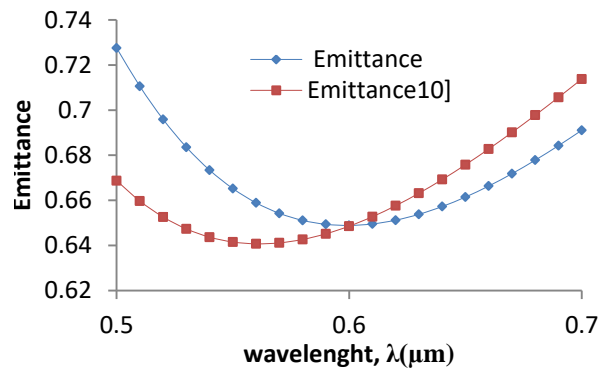
شکل ۵ مقایسه ضریب گسیل پوشش فلزی نقره در دو سمت و پوشش غیرفلزی نیتريدسیلیکون در دو سمت زیر- لایه اصلی سیلیکون آلاینده کم



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



شکل ۳ مقایسه ضریب بازتاب ρ زیر لایه سیلیکون با پوشش دی اکسیدسیلیکون در دو سمت با نتایج [۱۰]



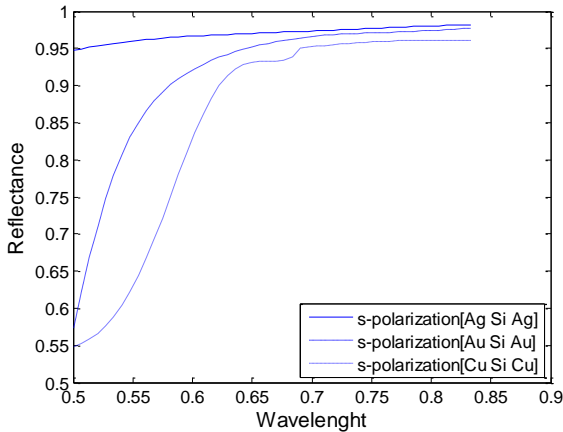
شکل ۴ مقایسه ضریب گسیل ϵ زیر لایه سیلیکون با پوشش دی اکسیدسیلیکون در دو سمت با نتایج [۱۰]

تاثیر 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 نیتريد-سیلیکون 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 زیر لایه سیلیکون ۱۰ میکرومتر و ضخامت پوشش‌ها ۴۰۰ نانومتر در نظر گرفته شد.

شکل ۵، ۶ و ۷ مقایسه یک ساختار چند لایه‌ای با زیر لایه سیلیکون آلاینده کم و پوشش دی‌اکسیدسیلیکون از دو سمت و یک ساختار چند لایه‌ای با زیر لایه سیلیکون آلاینده کم و پوشش نقره از دو سمت را نشان می‌دهد.

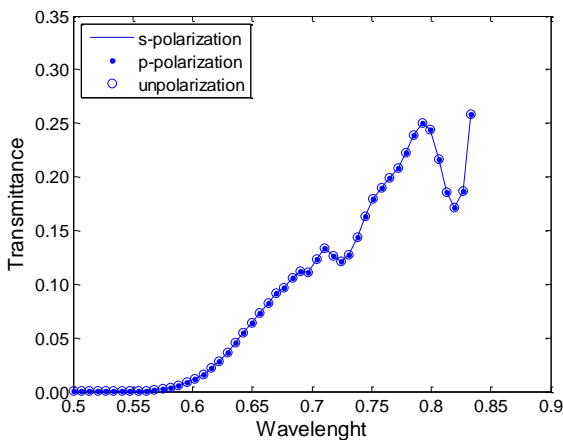
پوشش فلزی در صنایعی که نیاز به بازتاب زیاد است، استفاده نمود (شکل ۷).

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



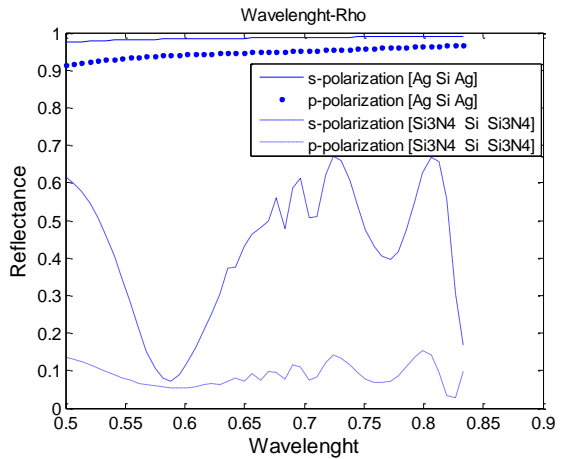
شکل ۸ مقایسه ضریب بازتاب پوشش های طلا، نقره و مس

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 ۹ ضریب عبور ساختار چند لایه‌ای شامل زیرلایه

سیلیکون آلیایده کم با پوشش نیتريدسیلیکون از دو سمت، با زاویه تابش اشعه ورودی صفر درجه



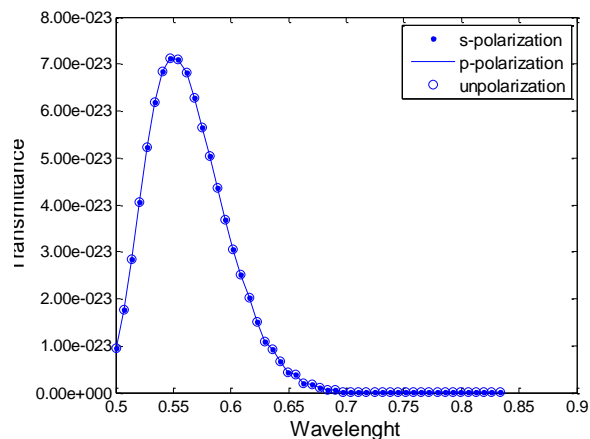
شکل ۷ مقایسه ضریب بازتاب پوشش فلزی نقره در دو سمت و پوشش غیرفلزی نیتريدسیلیکون در دو سمت زیر- لایه اصلی سیلیکون آلیایده کم

همان‌گونه که در شکل ۶ نیز قابل مشاهده می‌باشد، ضریب عبور پوشش‌های فلزی به علت کم بودن عمق نفوذ این پوشش‌ها و ضریب بازتاب بالا، در حالت قطبی نوع S و نوع P و غیرقطبی، صفر است. عمق نفوذ 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 پوشش های فلزی می‌باشد. به طور کلی نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در پوشش‌های غیرفلزی ضریب عبور قطبش نوع P بزرگتر از قطبش نوع S می‌باشد.

نتایج 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 میکرومتر تقریباً $2/2$ برابر قطبش نوع S می‌باشد. به طور 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

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.



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

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).

۳- مراجع

[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