

## بررسی ویژگی‌های اپتیکی لایه منیزیم فلوراید تولید شده با روش تبخیر باریکه الکترونی در ناحیه طول موجی ۴۰۰-۱۸۰۰ nm

رضا شکوری\*، بابک محمد حسینی

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده علوم، گروه فیزیک

دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۸ ویرایش نهایی: ۱۳۹۵/۰۵/۱۶ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۴

### چکیده

در این مقاله اثر دما بر روی ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید،  $MgF_2$ ، بررسی شده است. لایه‌های  $MgF_2$  با استفاده از تفنگ الکترونی بر روی زیر لایه شیشه‌ای (BK7) در دمای متفاوت ۲۵، ۱۰۰، ۲۰۰، و  $300^\circ C$  انباشته شده‌اند. نرخ انباشت لایه در همه نمونه‌ها مقدار پنج تا شش انگستریم بر ثانیه است،  $R=5-6 \text{ \AA/s}$ . طیف عبور نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفوتومتر در محدوده طول موجی ۴۰۰-۱۸۰۰ nm اندازه‌گیری شده‌اند. نمونه لایه‌نشانی شده در دمای آزمایشگاه به مدت دو ساعت در دمای  $300^\circ C$ ، بازپخت شده است. سپس ضریب شکست نمونه‌ها با سه روش محاسبه شده‌اند. ضرایب شکست حاصل از سه روش توافق خوبی با یکدیگر دارند. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش دما از دمای محیط آزمایشگاه تا دمای  $300^\circ C$ ، ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید به صورت خطی از  $n=1.32$  تا  $n=1.39$  افزایش می‌یابد. به علاوه، ضریب شکست نمونه لایه‌نشانی شده در دمای آزمایشگاه بعد از بازپخت شدن در مقایسه با قبل از بازپخت شدن به طور چشمگیری افزایش یافته است. از طرف دیگر نمونه بازپخت شده مقدار کمی جذب دارد.

کلیدواژگان: ضریب شکست، ضریب خاموشی، منیزیم فلوراید، بازپخت

### مقدمه

شود. در [۵] ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید در طول موج ۲۴۸ nm،  $n=1.43$  گزارش شده است. در حالت کلی ضریب شکست هر ماده یک کمیت مختلط است  $n^* = n + ik$ . اینجا  $n$  ضریب شکست ماده و  $k$  که ضریب خاموشی ماده نامیده می‌شود جذب ماده را توصیف می‌کند و برای موادی که جذب ندارند صفر است. ضریب جذب با رابطه  $\alpha = 4\pi k/\lambda$  تعریف می‌شود که  $\lambda$  طول موج می‌باشد و نسبت شدت نور عبور کرده از یک نمونه با ضخامت  $t$  به شدت نور

تعیین ضریب شکست مواد در شرایط مختلف لایه‌نشانی، یکی از موضوعات مهم و بحث‌انگیز در لایه‌نشانی اپتیکی می‌باشد و کنفرانس‌هایی در این زمینه برگزار شده‌اند [۳-۱]. به طور معمول لایه منیزیم فلوراید بر روی شیشه به عنوان یک پوشش ضد بازتاب<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. این ماده از ناحیه فرابنفش خلاء<sup>۲</sup> (۱۲۰ nm) تا مادون قرمز وسط<sup>۳</sup> (۷  $\mu m$ ) شفاف می‌باشد [۴]. همچنین لایه نازک این ماده می‌تواند در ناحیه مادون قرمز به عنوان لایه محافظ<sup>۴</sup> به کار گرفته

\* نویسنده مسئول: rezashakouri@gmail.com

<sup>۱</sup>Anti-Reflection

<sup>۲</sup>Vacuum UV

<sup>۳</sup>Mid-infrared

<sup>۴</sup>Protective Layer

برای همه نمونه‌ها در هنگام لایه‌نشانی یکسان است. انگیزه انجام این تحقیق به دست آوردن چگونگی تغییرات ضریب شکست با تغییرات دما و اثر بازپخت شدن بعد از لایه‌نشانی بوده است.

### روش و جزئیات آزمایش

سیستم خلأ از یک پمپ توربوملکولار و یک پمپ روتاری تشکیل شده است. مخزن با این پمپ‌ها، حداکثر تا فشار  $1 \times 10^{-6}$  Torr تخلیه می‌شود. ماده منیزیم فلوراید که به شکل گرانل<sup>۲</sup> است، روی بوته مسی قرار داده می‌شوند. فاصله بین زیرلایه تا بوته تبخیر cm ۶۰ است. زیرلایه می‌تواند توسط هیتر تابشی تا دمای °C ۳۰۰ گرم شود و در بازه زمانی که لایه‌نشانی انجام می‌شود دمای زیرلایه توسط یک سیستم کنترل توان که می‌تواند توان هیتر را تغییر دهد ثابت نگه داشته می‌شود. تفنگ الکترونی، با زاویه انحراف باریکه، به اندازه ۲۷۰ درجه، و حداکثر توان ۵ کیلووات می‌باشد (kV ۱۰ و I=۰,۵ A). تفنگ الکترونی الگوهای جاروب<sup>۳</sup> متنوعی دارد بدین معنی که باریکه الکترونی می‌تواند شکل‌های متفاوتی بر روی سطح ماده تبخیر شونده جاروب کند. تغییر الگوی جاروب ممکن است منجر به توزیع‌های متفاوتی از بخار منیزیم فلوراید شود، این به نوبه خود ممکن است منجر به تغییر ساختار و ضریب شکست لایه شود. برای اینکه توزیع بخار در همه آزمایش‌ها یکسان باشد برای همه نمونه‌ها الگوی جاروب یکسان استفاده شده است. با این حال در بعضی منابع اشاره شده است که الگوی بخار برخی مواد، تکرارپذیر نیستند [۸ و ۹] یعنی از یک لایه‌نشانی به لایه‌نشانی دیگر شکل الگوی بخار تغییر می‌کند. فشار در هنگام لایه‌نشانی برای همه نمونه‌ها تقریباً ثابت است

فردی بوسیله رابطه  $I/I_0 = e^{-at}$  مشخص می‌شود. استحکام لایه نازک این ماده نسبت به تغییرات درجه حرارت زیرلایه، خیلی حساس می‌باشد. اگر لایه نازک منیزیم فلوراید را در دمای آزمایشگاه تولید کنیم خیلی سست و ضعیف می‌شود. برای بالا بردن استحکام آن، یا باید دمای زیرلایه را افزایش داد یا از تکنیک انباشت به کمک یون<sup>۱</sup> استفاده کرد. در برخی کاربردها جنس زیرلایه، طوری است که نمی‌توان دمای محیط را افزایش داد. با این وجود، بنا بر گزارش برخی مقالات، استفاده از تکنیک انباشت به کمک یون (IAD) باعث ایجاد جذب در لایه منیزیم فلوراید می‌شود [۶ و ۷]. لایه‌های تولید شده با روش‌های مختلف می‌توانند ضریب شکست متفاوتی داشته باشند. علت وجود ضرایب شکست متفاوت این است که روش‌های مختلف انباشت لایه منجر به تشکیل ساختارهای متفاوتی از لایه‌ها می‌شوند. در لایه‌نشانی‌های چند لایه‌ای، آگاهی از مقدار دقیق ضریب شکست و تغییرات آن با طول موج (پاشندگی) بسیار مهم می‌باشد. زیرا وجود خطا در اندازه ضریب شکست باعث ایجاد خطا در ضخامت لایه می‌شود و این به نوبه خود منجر به عدم تطابق نتیجه لایه‌نشانی با آنچه که از قبل طراحی شده بود می‌شود.

در این مقاله ویژگی‌های اپتیکی لایه منیزیم فلوراید مورد بحث قرار گرفته است. منیزیم فلوراید بر روی زیرلایه‌ای از جنس شیشه با نام تجاری BK7 در دماهای متفاوت، لایه‌نشانی شده است. سپس طیف عبور نمونه‌ها را در محدوده طول موجی nm ۴۰۰-۱۸۰۰ توسط اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری می‌کنیم. در مرحله بعدی ضریب شکست لایه متناظر با هر دما با سه روش محاسبه شده‌اند. تمام پارامترهای لایه‌نشانی، به جز دما

<sup>۲</sup>Sweep Pattern

<sup>۱</sup>Ion Assistance Deposition(IAD)

<sup>۳</sup>Granule

آن خیلی زیاد نیست. برای لایه منیزیم فلوراید، همچنانکه که در مقدمه بیان شد بنا بر گزارش‌های چاپ شده، در ناحیه مرئی و مادون قرمز یا جذب ندارد و یا جذب آن کم است. جزئیات و چگونگی این روش‌ها در مقالات داده شده است در اینجا ما تنها فرمول‌های اصلی و مراجع مربوطه را بیان می‌کنیم. بعد از اینکه لایه‌نشانی هر نمونه در دماهای متفاوت انجام شد، ضریب شکست آنها را به وسیله این روش‌ها محاسبه می‌کنیم. در اینجا تنها از سه روش تقریبی که در مقالات مختلف ارائه شده است برای محاسبه ضریب شکست و ضریب خاموشی کمک می‌گیریم.

روش اول- در مرجع [۱۰-۱۲] با فرض اینکه لایه مورد نظر جذب ندارد، معادله زیر برای محاسبه ضریب شکست استنتاج شده است

$$n = [M + (M^2 - n_s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad ۱$$

که  $n_s$  ضریب شکست زیرلایه است و  $M$  با رابطه زیر تعریف می‌شود

$$M = \frac{2n_s}{T_{\min}} - \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad ۲$$

و اگر لایه جذب داشته باشد، روابط زیر برای محاسبه ضریب شکست و ضریب خاموشی استنتاج شده است

$$n = [N + (N^2 - n_s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad ۳$$

که  $N$  از رابطه زیر به دست می‌آید

$$N = 2n_s \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\min} T_{\max}} - \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad ۴$$

در رابطه بالا  $T_{\max}$  و  $T_{\min}$  به ترتیب میزان عبور نقاط منیمم و ماکزیمم منحنی عبور نمونه می‌باشند که نقاط

$3-5 \times 10^{-5}$  Torr برای اینکه زیر لایه در نتایج آزمایش تأثیر نداشته باشد، از زیرلایه‌هایی که از یک بالک<sup>۱</sup> تهیه شده‌اند استفاده کرده‌ایم. نرخ انباشت لایه نیز برای همه نمونه‌ها در محدوده پنج تا شش آنگسترم بر ثانیه قرار دارد  $\text{Rate} = 5-6 \text{ \AA/s}$ . ضخامت لایه‌ها با یک ضخامت سنخ کریستالی<sup>۲</sup> اندازه‌گیری می‌شود. به این ترتیب تنها پارامتر دما است که در نمونه‌های مختلف تغییر می‌کند و در نتیجه می‌توان تغییرات ایجاد شده در ضریب شکست را به تغییر دمای زیر لایه در هنگام لایه‌نشانی نسبت داد. ضخامت لایه‌ها باید به اندازه‌ای باشد که در منحنی طیف عبور آنها حداقل چند نقطه اکسترم (ماکزیمم یا منیمم) وجود داشته باشد. در بخش بعدی روش محاسبه ضریب شکست را بیان می‌کنیم.

به منظور بررسی اثر دما بر روی ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید، آزمایش در چهار دما انجام شده است. ابتدا بر روی زیر لایه سرد، یعنی در دمای آزمایشگاه، لایه‌نشانی کرده‌ایم. سپس در دماهای ۱۰۰ و ۲۰۰ °C و ۳۰۰ لایه منیزیم فلوراید تولید شده است. لایه تولید شده در دمای آزمایشگاه به مدت دو ساعت در کوره تا دمای ۳۰۰ °C بازپخت شده است و گرادیان افزایش دما از دمای آزمایشگاه تا دمای ۳۰۰ °C به گونه‌ای بوده است که این افزایش دما یک ساعت طول کشیده است. سپس بعد از مدت دو ساعت بازپخت شدن، کوره خاموش شده است و کاهش دما خود به خود تا دمای محیط انجام شده است.

### روش محاسبه ضریب شکست

روش‌هایی که در این بخش برای محاسبه ضریب شکست ارائه می‌شوند، همگی مبتنی بر این فرض می‌باشند که لایه تولید شده همگن است و مقدار جذب

<sup>۲</sup>Crystal monitoring

<sup>۱</sup>Bulk

روش سوم- مطابق مرجع [۱۵] ضریب شکست لایه از رابطه زیر به دست می‌آید

$$n = \frac{1}{2} [8n_s C + (n_s + 1)^2 + (n_s C + (n_s - 1))]^{1/2} \quad ۱۱$$

که

$$C = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2T_{\max} T_{\min}}$$

و برای ضریب خاموشی  $k$  داریم

$$k = \frac{\lambda L}{4\pi d} \quad ۱۲$$

که  $L$  با رابطه زیر تعریف می‌شود

$$L = \ln \frac{U + (U^2 - C^2 + \sigma)^{1/2}}{2a}$$

کمیت‌های  $U$ ،  $\sigma$  و  $a$  به ترتیب با روابط زیر تعریف می‌شوند

$$U = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2T_{\max} T_{\min}}$$

$$\sigma = \left( \frac{n_s^2 - 1}{8n_s} \right)^2 \left( \frac{n^2 - 1}{n} \right)^2$$

$$a = \frac{(n+1)^3 (n+n_s^2)}{16n_s n^2}$$

## نتایج و بحث

شکل ۱ میزان درصد عبور اندازه‌گیری شده توسط اسپکتروفوتومتر در ناحیه طول موجی ۱۸۰۰-۴۰۰ nm، برای مقادیر مختلف دما را نشان می‌دهد. اسپکتروفوتومتری که ما به کار برده‌ایم میزان عبور و بازتاب را حداکثر تا طول ۱۸۰۰ نانومتر اندازه می‌گیرد. البته علت شیفت منحنی‌ها در امتداد محور افقی این

مینیم ناشی از تداخل ویرانگر می‌باشند. برای محاسبه ضریب خاموشی  $k$  ابتدا باید ضریب جذب  $\alpha$  را به دست آورد.

$$\alpha = \frac{E_M - [E_M^2 - (n^2 - 1)^2 (n^2 - n_s^2)]^{1/2}}{(n-1)^2 (n^2 - n_s^2)} \quad ۵$$

که  $E_M$  و  $\alpha$  به ترتیب با روابط زیر داده می‌شوند:

$$E_M = \frac{8n^2 n_s}{T_{\max}} + (n^2 - 1)(n^2 - n_s^2) \quad ۶$$

$$\alpha = \exp\left(\frac{-4\pi k d}{d}\right) \quad ۷$$

روش دوم- در روش تقریبی دیگری که در مراجع [۱۳ و ۱۴] ارائه شده است ضریب شکست از معادله زیر به دست می‌آید

$$n = [N + (N^2 - n_0^2 n_s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad ۸$$

اینجا  $n_0$  ضریب شکست محیط (هوا) می‌باشد که  $n_0 =$  فرض می‌شود و  $N$  از رابطه زیر به دست می‌آید

$$N = \frac{n_0^2 + n_s^2}{2} + 2n_0 n_s \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max} T_{\min}} \quad ۹$$

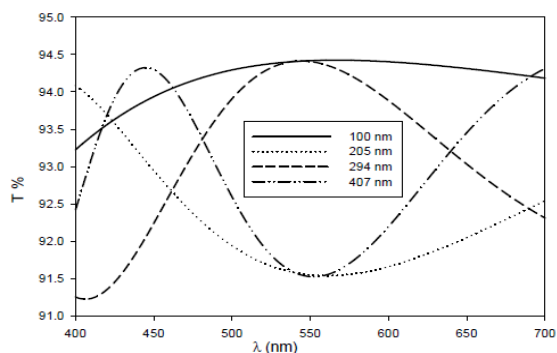
ضریب خاموشی  $k$  از ضریب جذب  $\alpha$  به دست می‌آید

$$\alpha = \frac{C_1 [1 - (T_{\max} / T_{\min})^{1/2}]}{C_2 [1 + (T_{\max} / T_{\min})^{1/2}]} \quad ۱۰$$

که  $C_1$  و  $C_2$  عبارتند از:

$$C_1 = (n + n_0)(n + n_s), \quad C_2 = (n - n_0)(n_s - n)$$

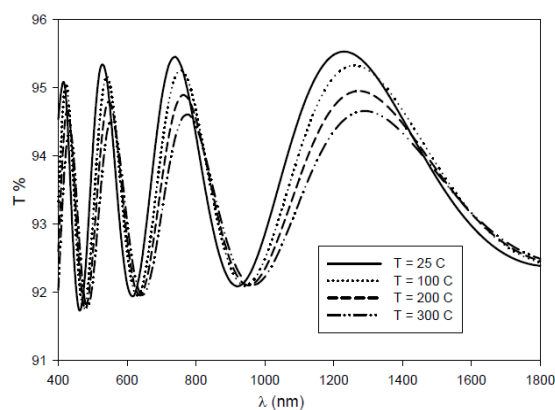
نمونه نقاط ماکزیمم و مینیمم وجود داشته باشد باید ضخامت نسبتاً زیادی بر روی آن نمونه لایه‌نشانی شود. واضح است که افزایش ضخامت در ضریب شکست لایه تأثیری ندارد. زیرا فرض بر این است که لایه همگن است یا ناهمگنی آن ناچیز است.



شکل ۲. طیف عبور لایه منیزیم فلوراید بر روی شیشه با ضخامت‌های متفاوت ۱۰۰، ۲۰۵، ۲۹۴ و ۴۰۷ نانومتر.

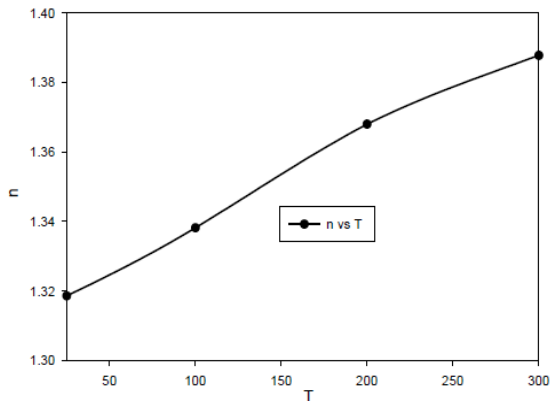
در معادلات ۲، ۴، ۹ و ۱۰ مقادیر عبور در نقاط ماکزیمم و مینیمم ظاهر شده‌اند ( $T_{Min}$ ,  $T_{Max}$ ). بنابراین ما ضریب شکست را فقط در طول موج‌های متناظر با نقاط ماکزیمم و مینیمم محاسبه می‌کنیم. در شکل ۳ ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید در دماهای متفاوت که با استفاده از معادلات روش اول بخش سوم محاسبه شده‌اند رسم شده است. برای مقدار ضریب شکست زیرلایه  $n_s$  مرجع [۱۶] به کار رفته است. همچنانکه ملاحظه می‌شود با افزایش دمای زیرلایه ضریب شکست افزایش یافته است. این کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. زیرا افزایش دمای زیرلایه باعث افزایش جنبش ذرات بخار منیزیم فلوراید و در نتیجه افزایش چگالی لایه  $MgF_2$  بر روی زیرلایه می‌شود. به دلایل محدودیت‌های فنی در سیستم لایه‌نشانی افزایش دمای زیرلایه به مقداری بیش از  $300^\circ C$  ممکن نیست. اگر چه به نظر می‌رسد افزایش بیشتر دما منجر به افزایش بیشتر ضریب شکست خواهد شد.

است که ضخامت لایه کوت شده در تمام نمونه‌ها دقیقاً یکسان نیست. چون ضریب شکست منیزیم فلوراید از ضریب شکست زیرلایه شیشه ( $n_{glass} = 1.52$ ) کمتر است، در شکل ۱، درصد عبور نقاط مینیمم منحنی‌ها برای همه دماها یکسان است. این نقاط متناظر با ضخامت اپتیکی معادل مضرب زوجی از یک چهارم طول موج یا مضرب فردی از نصف طول موج ( $d = (2m+1)\lambda/2$ ) می‌باشند. مقدار عبور برای این نقاط حدود  $T = 92\%$  است. توجه کنید که مقدار بازتاب هر وجه یک زیرلایه، از جنس شیشه در محدوده طول موج مورد نظر ما حدود  $R = 4\%$  است و ما فقط یک طرف نمونه‌ها را لایه‌نشانی کرده‌ایم. از طرف دیگر در شکل ۱ می‌توان دید که هر چقدر دمای زیر لایه بالاتر رفته است درصد عبور نقاط ماکزیمم منحنی کمتر شده است. بنابراین می‌توان گفت ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید با افزایش دما افزایش یافته است.



شکل ۱. منحنی عبور نمونه‌های لایه‌نشانی شده در دماهای متفاوت برحسب طول موج.

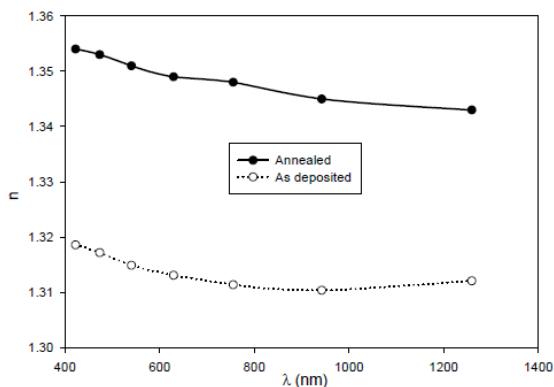
در شکل ۲، طیف عبور اندازه‌گیری شده توسط اسپکتروفوتومتر بر روی یک نمونه که ضخامت‌های متفاوت بر روی آن لایه‌نشانی شده، نشان داده شده است. با افزایش ضخامت، تعداد نقاط ماکزیمم و مینیمم افزایش یافته است و در ضخامت‌های کم، ماکزیمم و مینیمم وجود ندارد. برای اینکه در منحنی عبور یک



شکل ۵. تغییرات ضریب شکست برحسب دما در طول موج

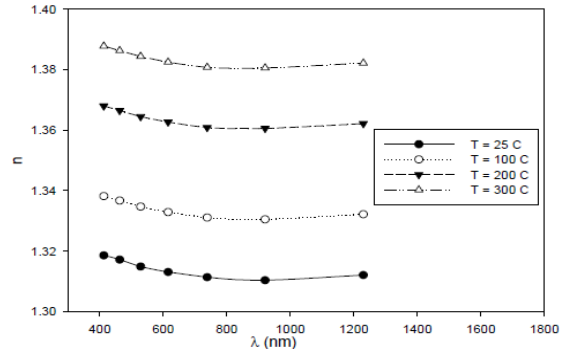
$$\lambda = 416 \text{ nm}$$

در شکل ۶ ضریب شکست نمونه‌ای که در دمای آزمایشگاه تولید شده و سپس در کوره در دمای ۳۰۰°C بازپخت شده است، نشان داده شده است.



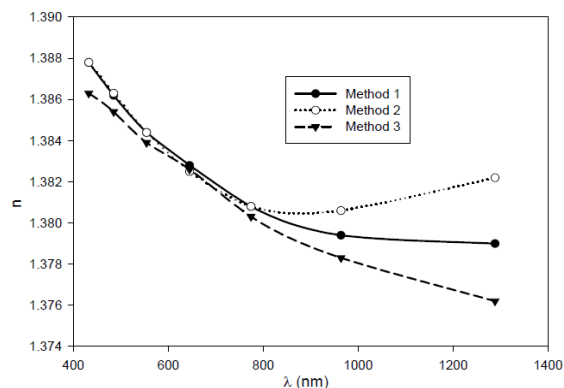
شکل ۶. ضریب شکست لایه MgF2 تولید شده در دمای آزمایشگاه قبل و بعد از بازپخت شدن.

ملاحظه می‌کنیم که ضریب شکست به‌طور چشمگیری بعد از بازپخت شدن افزایش یافته است. از طرف دیگر محاسبه ضریب خاموشی نمونه بازپخت شده نشان می‌دهد که لایه بازپخت شده مقدار کمی جذب دارد. این در حالی است که محاسبات ما که بنا بر معادلات بخش قبلی می‌باشد نشان می‌دهد هیچ یک از نمونه‌های بازپخت نشده جذب ندارند ( $k=0$ ). البته همان‌طوری که در شکل ۷ رسم شده مقدار ضریب خاموشی در نمونه بازپخت شده، نسبتاً کوچک است و تنها در طول



شکل ۳. ضریب شکست برحسب طول موج برای نمونه‌های لایه‌نشانی شده در دماهای متفاوت.

در شکل ۴ ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید که با سه روش ذکر شده در بخش پیشین محاسبه شده است نشان داده شده است. توافق نتایج سه روش نسبتاً خوب است. البته در ناحیه طول موجی مرئی نسبت به ناحیه مادون قرمز توافق بهتر است.



شکل ۴. ضریب شکست لایه نازک MgF2 برحسب طول موج محاسبه شده با سه روش.

در شکل ۵ تغییرات ضریب شکست در یک طول موج با دما رسم شده است. می‌توان دریافت که تغییر ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید با دما تقریباً خطی می‌باشد.

## مرجع‌ها

[1] A. Duparré, D. Ristau, Optical Interference Coatings 2010 Measurement Problem, *Applied Optics* **50** (2011) 172-177.

[2] A. Duparré, D. Ristau, Optical Interference Coatings 2007 Measurement Problem, *Applied Optics* **47** (2008) 179-184.

[3] A. Duparré, D. Ristau, Interference Coatings 2013 Measurement Problem **53** (2014) 281-286.

[4] H. K Pulker, Characterization of optical thin films, *Applied Optics* **18** (1979) 1969-1977.

[5] D. J. Krajnovich, M. Kulkarni, W. Leung, A. C. Tarn, A. Spoon, B. York, Testing the durability of a single-crystal calcium fluoride with and without antireflection coatings for use with high-power KrF excimer lasers, *Applied Optics* **31** (1992) 6062-6075.

[6] Y. Tsou, F.C. Ho, "Optical properties of hafnia and co-evaporated hafnia magnesium fluoride thin films, *Applied Optics* **35** (1996) 5091-5094.

[7] P.J. Martin, R.P. Netterfield: Ion-assisted deposition of magnesium fluoride films on substrates at ambient temperatures, *Applied Optics* **24** (1985) 1732-1733.

[8] R. Chow, N. Tsujimoto, Silicon dioxide and hafnium dioxide evaporation characteristics from a high-frequency sweep E-beam system, *Applied Optics* **35** (1996) 5095-5101.

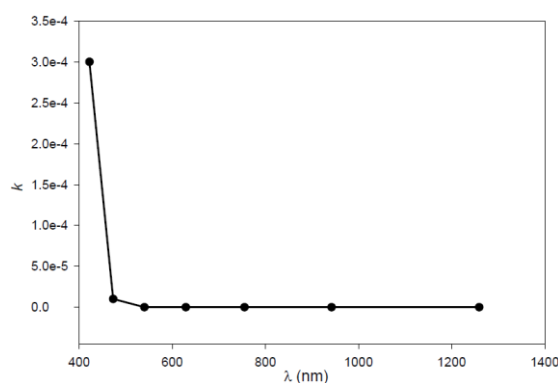
[9] R. Chow, P.L. Tassano, N. Tsujimoto, Oxide Vapor Distribution from a High-Frequency Sweep E-Beam System, *Proceeding Social Vacuum Coaters* **38** (1995) 248-253.

[10] R. Swanepoel, Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon, *Journal of Physics E: Scientific Instrument* **16** (1983) 1214-1222.

[11] E.A. El-Sayes, G.B. Sakr, Temperature dependence of the structural and optical properties of the amorphous-to-crystalline transition in CdGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> thin films, *physica status solidi A* **201** (2004) 3060-3069.

[12] J.C. Manificier, J. Gasiot, J.P. Fillard, A simple method for the determination of the

موج‌های نزدیک ۴۰۰ نانومتر صفر نیست. وجود جذب در لایه منیزیم فلوراید بازپخت شده را می‌توان به وجود MgO در لایه نسبت داد. زیرا ما لایه را در داخل کوره‌ای گرم کرده‌ایم که فشار آن یک اتمسفر است.



شکل ۷. ضریب خاموشی نمونه بازپخت شده در دمای ۳۰۰ درجه.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر دمای زیرلایه بر روی ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید بررسی شد. ضریب شکست نمونه‌هایی که در دماهای مختلف تولید شده بودند توسط سه روش محاسبه شدند نتایج این سه روش توافق خوبی با یکدیگر داشتند. ضریب شکست لایه منیزیم فلوراید در ناحیه طیفی ۱۸۰۰-۴۰۰ با افزایش دما به صورت خطی افزایش می‌یابد. ضریب شکست لایه تولید شده در دمای آزمایشگاه بعد از بازپخت شدن به طور چشمگیری افزایش یافت. از طرف دیگر این لایه بعد از بازپخت شدن مقدار کمی جذب دارد که این جذب به وجود ناخالصی MgO در لایه نسبت داده شد.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از مرکز ملی لیزر ایران برای ایجاد شرایط لازم برای استفاده از دستگاه لایه‌نشانی و کوره جهت انجام آزمایش‌های مورد نیاز در این مقاله، کمال تشکر را دارند.

optical constants  $n$ ,  $h$  and the thickness of a weakly absorbing thin film, *Journal of Physics E Scientific Instrument* **9** (1976)1002-1004.

[13] H.T. El-Shair, A.E Bekheet, Effect of heat treatment on the optical properties of  $\text{In}_2\text{Se}_3$  thin films, *Journal of Physics D Applied Physics* **25** (1992) 1122-1130.

[14] H. Demiryont, L.R. Thompson, G.J. Collins, Optical properties of aluminum oxynitrides deposited by laser-assisted CVD, *Applied Optics* **25** (1986) 1311-1318.

[15] S.M. El-Sayed, Glass formation and local arrangement of chalcogenide of  $\text{Ga}_{40}\text{Se}_{60}$  and  $\text{Ga}_{33}\text{Se}_{60}\text{Te}_7$ , *Materials Chemistry and Physics* **76** (2003) 262-270.

[16] M.J. Weber, *Handbook of Optical Materials*, CRC press LLC (2003).



# Investigation of the optical properties of magnesium fluoride film deposited by electron beam evaporation technique in the wavelengths 400-1800nm

Reza Shakouri\*, Babak Mohammad Hosaini

<sup>1</sup>Department of Physics, Faculty of Science Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Received: 30.09.2015    Final revised: 06.08.2016    Accepted: 05.10.2016

## Abstract

In this paper, the effects of temperature on the refractive index layer of magnesium fluoride, MgF<sub>2</sub>, is investigated. The            layers, using the electron gun, in temperatures of different            ,            , and            were deposited on the glass substrate (            ). In all samples, the deposition rate was            Å/C. Transmission spectra of samples, using a spectrophotometer at wavelengths            were determined. The sample produced at room temperature was annealed for            hours at            . Then, indexes of refraction of samples were calculated using three methods. The refractive indexes according to the methods were in a good agreement with one another. The results showed that by increasing the temperature from laboratory temperature to            , the refractive index of magnesium fluoride increased as a linear function from            to            . Moreover, the index of refraction of the annealed sample increased conspicuously while the annealed sample showed some absorption.

**Keywords:** Index of refractive, Extinction coefficient, Magnesium fluoride, Annealing

---

\*Corresponding Author: rezashakouri@ymail.com