بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی تاثیر شرایط انباشت بر خواص نوری لایه نازک یتریا (Y_2O_3)

محمدمهدی حمزه نژاد[۱]، مرتضی حاجی محمودزاده[۱و۲]، حمیدرضا فلاح[۱و۲] و حسین زابلیان[۱]

[۱]گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان

[۲]گروه پژوهشی اپتیک کوانتومی، دانشگاه اصفهان، اصفهان

چکیده - در این مقاله، تاثیر شرایط انباشت از جمله دمای بستره، آهنگ انباشت و فشارجزئی اکسیژن در طول انباشت، بر خواص نوری لایه نازک یتریا بررسی شده است. لایه نشانی به روش تبخیر واکنشی با پرتوی الکترون و در خلاء اولیه از مرتبه 10^{-6}_{mbar} انجام گرفته است و اندازگیری بیشینه بازتاب، به وسیله طیف‌سنجی در گستره ۴۰۰-۸۰۰ نانومتر انجام شده است. نتایج نشان داد که فشار جزئی اکسیژن بیشترین تأثیر را در بین شرایط انباشت دارد. بنابراین، توانستیم با استفاده از این شرط، ساختارهای لایه نازک با خواص نوری متفاوت و از یک ماده یکسان ایجاد کنیم.

کلید واژه-چگالی درهم پکیدگی ، لایه نازک، متخلخل، یتریوم دی اکسید

The Effect of evaporation conditions on the optical properties of yttria (Y_2O_3) thin film

M. M. Hamzenejad[1], M. Haji Mahmoodzadeh[1, 2], H. R. Fallah[1, 2] and H. Zabolian[1]

[1]Department of physics, University of Isfahan, Isfahan

[2]Quantum optics research group, University of Isfahan, Isfahan

Abstract- In this paper, the impact of deposition conditions such as substrate temperature, rate of deposition and residual oxygen partial pressure were investigated on the optical properties of yttria thin films. The deposition was made by reactive electron beam evaporation in vacuum of 10^{-6} orders and measuring reflectance maximum was done by spectroscopy in 400-800 nm region. The results showed that partial pressure of oxygen had the strongest effect on optical properties. Therefore, using this condition, we managed to make thin films structures with different optical properties and the same material.

Keywords: Yttrium dioxide, Packing Density, Porous, Thin film

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

در دهه ۵۰ قرن بیستم میلادی عدم وجود مواد مناسب برای پوشش های نوری سبب محدود شدن ساخت قطعات نوری مختلف شد. در این دهه استفاده از اکسیدها و فلورایدهای عناصر نادر خاکی مانند یتریوم، لانتانیوم، نئودیمیوم و... به دلیل پایداری شیمیایی و مکانیکی که در حالت لایه نازک داشتند، این امید را زنده کرد که مواد مناسبی برای پوشش‌های نوری در ناحیه ضریب شکست ۱/۶ تا ۲/۲ باشند[۱]. در بین این مواد اکسیدیتریوم (Y_2O_3) که به یتریا نیز معروف است به دلیل شفافیتش در ناحیه طیفی ۲۵۰ نانومتر تا ۱۲میکرومتر (ناحیه فرابنفش نزدیک تا فرو سرخ) مورد توجه قرار گرفته است. این ماده همچنین دارای چسبندگی عالی به شیشه، ژرمانیوم، سیلیکون، سولفید روی ، سلنید روی و همچنین به فلزاتی مانند آلومینیوم و نقره است[۲]. روش انباشت لایه‌های نازک و شرایط انباشت (مانند دمای بستره، آهنگ انباشت، فشار جزئی اکسیژن و خلوص و ترکیب ماده اولیه) بر خواص نوری و ساختاری لایه‌های نازک اثر می گذارند[۳]. در این مقاله اثر شرایط انباشت بر خواص نوری لایه نازک یتریا مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از بررسی تاثیر شرایط انباشت دست‌یابی به دو ساختار با ماده یکسان و ضریب شکست متفاوت است که این اختلاف ضریب شکست را معمولاً به تغییر چگالی درهم-پکیدگی لایه‌های نازک نسبت می‌دهند.

۲- خواص نوری لایه های نازک

بازتاب از یک مرز معمولاً جزء خواص مهمی است که برای هر قطعه نوری مورد بررسی قرار می‌گیرد. میزان بازتاب ناشی از یک لایه نازک با ضخامت یک چهارم طول موج مرجع، انباشت شده روی بستره با ضریب شکست n_s، طبق رابطه زیر بدست می‌آید (محیط فرود هوا فرض شده است $n_{air}=1$):

$$R=\left(\frac{1-\frac{n_f^2}{n_s}}{1+\frac{n_f^2}{n_s}}\right)^2 \qquad (۵)$$

که n_f ضریب شکست لایه می‌باشد[۴]. لایه‌های نازک اکسیدی که به وسیله روش تبخیر در خلاء انباشت می‌شوند، معمولاً دارای خلل و فرج‌های زیادی می‌باشند، بنابراین چگالی لایه‌ی تشکیل شده کمتر از مقدار آن در حالت حجیم است[۵]. وجود این خلل و فرج‌ها می‌تواند در مقدار ضریب شکست لایه نازک تاثیرگذار باشد. رابطه بین ضریب شکست و چگالی توسط معادله لورنتس-لورنس برقرار است[۶]:

$$\frac{n^2-1}{n^2+2}=C\rho \qquad (۳).$$

ضریب C رابطه بین کمیت‌های ماکروسکوپیک چگالی ρ و ضریب شکست n و کمیت میکروسکوپیک قطبش پذیری α را برقرار می‌سازد:

$$C=\frac{4\pi}{3}\alpha\frac{N_A}{M} \qquad (۳)$$

که N_A عدد آووگادرو ($۶,۰۲\times۱۰^{۲۳}$) و M وزن مولکولی است.

در بسامدهای اپتیکی، ضریب شکست دی الکتریک تنها تابعی از قطبش پذیری الکترونیکی است. برای بیان تفاوت بین ماده متراکم و لایه‌های نازک دارای حفره (تخلخل)، عبارت چگالی درهم‌پکیدگی p (یا بطور صحیح تر ضریب درهم‌پکیدگی) بکار می‌رود که به صورت نسبت چگالی ماده در حالت لایه نازک ρ_f به چگالی ماده در حالت حجیم ρ_b بیان می‌شود:

$$p=\frac{\rho_f}{\rho_b}=\frac{(n_f^2-1)(n_b^2+2)}{(n_b^2-1)(n_f^2+2)} \qquad (۴)$$

که اگر $p<1$ باشد، لایه نازک حداقل از دو ماده تشکیل شده است[۶].

یک مدل معقول که ضریب شکست فیلم مرکب n_f را به ضریب شکست ماده در حالت حجیم n_b و ضریب شکست ماده پرکننده حفره‌های درون لایه‌ها n_v مرتبط می‌کند عبارت است از[۶]:

$$n_f=(1-p)n_v+p.n_b \qquad (۵)$$

۳- فرایند لایه نشانی

لایه‌های نازک اکسید یتریوم (Y_2O_3) با ضخامت ثابت ۷۵,۹ نانومتر با استفاده از روش لایه نشانی فیزیکی تبخیر واکنشی با باریکه الکترون و در خلاء اولیه ازمرتبه

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

10^{-6}mbar بر روی بستره شیشه BK-7 انباشت شدند. در این فرایند ضخامت لایه‌ها توسط کریستال کوارتز اندازگیری شده است. به منظور بررسی تاثیر شرایط انباشت بر خواص نوری لایه‌های نازک اکسید یتریوم فرایند لایه نشانی در شرایط مختلف انجام گرفت تا تاثیر هرکدام از شرایط بطور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

۴- بررسی تاثیر شرایط انباشت

چگالی درهم‌پکیدگی لایه نازک به دمای بستره، فشار اکسیژن و آهنگ انباشت ماده بستگی دارد. با توجه به تعاریف و معادلاتی که در بخش ۲ بیان شد، این وابستگی بر روی خواص نوری لایه نازک هم تاثیر خواهد داشت. در ادامه به تاثیر تغییر هرکدام از شرایط انباشت خواهیم پرداخت.

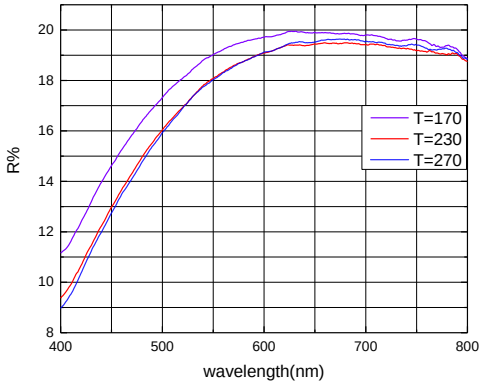
۴-۱- تغییر دمای بستره

دمای بستره یکی از عوامل مهم در انباشت لایه‌های نازک می‌باشد و بیشینه دمای بستره در انباشت لایه‌های نازک اپتیکی حدود $300^{\circ}C$ می‌باشد. به منظور بررسی اثر تغییر دمای بستره طبق جدول ۱، یک لایه نازک از ماده یتریوم اکسید روی بستره شیشه در دماهای مختلف انباشت شده است.

جدول ۱ تغییر دمای بستره فرایند لایه نشانی یک لایه نازک از ماده یتریوم اکسید به ضخامت ۷۵,۹ نانومتر

نمونه	۱	۲	۳
دمای بستره(°C)	۱۷۰	۲۳۰	۲۷۰
آهنگ انباشت(Å/s)	۲۰	۲۰	۲۰
فشار جزئی اکسیژن(mbar)	۷E-۵	۷E-۵	۷E-۵
بیشینه بازتاب(%)	۱۹,۹	۱۹,۵	۱۹,۶
ضریب شکست لایه	۱,۹۹	۱,۹۸	۱,۹۸

همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، با افزایش میزان دمای بستره میزان بازتاب از سطح لایه در ناحیه مرئی کاهش یافته است. براساس معادله ۱، میزان ضریب شکست لایه با افزایش دمای بستره کاهش می‌یابد که این امر را می‌توان به کاهش چگالی درهم پکیدگی لایه‌ها نسبت داد که محاسبه چگالی درهم‌پکیدگی لایه نازک از طریق معادله ۴ می‌تواند به اثبات این موضوع کمک کند.



شکل ۱ منحنی بازتاب لایه‌های نازک انباشت شده در دماهای مختلف بستره برحسب طول موج

۴-۲- تغییر آهنگ انباشت لایه نشانی

یکی دیگر از عوامل مهم در فرایند لایه نشانی میزان آهنگ انباشت لایه نازک روی بستره می‌باشد. با اجرای چند فرایند لایه نشانی براساس جدول ۲ به بررسی تاثیر این عامل در رفتار اپتیکی لایه نازک یتریوم پرداخته شده است.

جدول ۲ تغییر آهنگ انباشت فرایند لایه نشانی یک لایه نازک از ماده یتریوم به ضخامت ۷۵,۹ نانومتر

نمونه	۱	۲	۳
دمای بستره(°C)	۲۷۰	۲۷۰	۲۷۰
آهنگ انباشت(Å/s)	۲۰	۲۷	۳۵
فشار جزئی اکسیژن(mbar)	۷E-۵	۷E-۵	۷E-۵
بیشینه بازتاب(%)	۱۹,۶	۲۰	۱۹,۹
ضریب شکست لایه	۱,۹۸	۱,۹۹	۱,۹۹

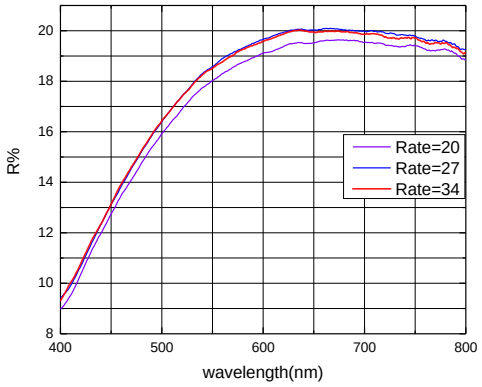
در شکل ۲ نشان داده شده است که با افزایش میزان آهنگ انباشت مقدار بازتاب از سطح لایه نازک نیز افزایش یافته است. البته این افزایش در آهنگ‌های بالا بسیار کمتر شده است. براساس قسمت‌های قبل می‌توان گفت با افزایش آهنگ انباشت میزان ضریب شکست و چگالی در هم پکیدگی نیز افزایش می‌یابد.

۴-۳- تغییر فشار جزئی اکسیژن

فشار جزئی گاز اکسیژن در هنگام انباشت به عنوان یک عامل مهم در انباشت لایه‌ها به خصوص انباشت موادی که دارای عنصر اکسیژن در ساختار خود می‌باشند مطرح می-باشد. به منظور بررسی فشار جزئی اکسیژن فرایند انباشت

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

با سه فشار مختلف انجام شده است که اطلاعات آن در جدول ۳ آمده است.

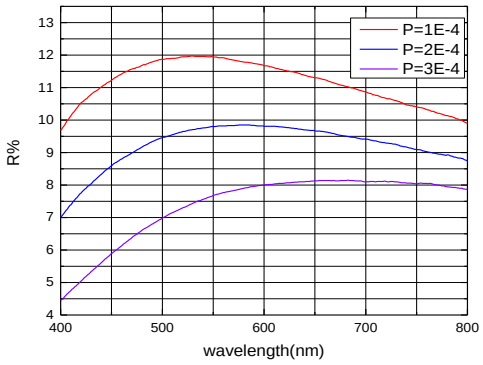


شکل ۲ منحنی بازتاب لایه‌های نازک انباشت شده با آهنگ‌های انباشت مختلف برحسب طول موج

جدول ۳ تغییر فشار جزئی گاز اکسیژن در فرایند لایه نشانی یک لایه نازک از ماده یتریوم به ضخامت ۷۵,۹ نانومتر

نمونه	۱	۲	۳
دمای بستره(°C)	۱۷۰	۱۷۰	۱۷۰
آهنگ انباشت(Å/s)	۲	۲	۲
فشار جزئی اکسیژن(mbar)	۱E-۴	۲E-۴	۳E-۴
بیشینه بازتاب(%)	۱۱,۹۷	۹,۸۴	۸,۱۴
ضریب شکست لایه	۱,۷۷	۱,۷	۱,۶۵

طبق شکل ۳، مشاهده می‌شود که با افزایش فشار جزئی گاز اکسیژن موجود در محفظه خلاء در طول فرایند انباشت میزان بازتاب از سطح لایه نازک کاهش می‌یابد. با افزایش اکسیژن موجود در محیط انباشت میزان خلل و فرجی که در لایه ایجاد می‌شوند افزایش می‌یابد که این موجب کاهش چگالی در هم پکیدگی لایه می‌شود. همچنین، طبق رابطه ۴ با کاهش چگالی درهم‌پکیدگی میزان ضریب شکست نیز کاهش خواهد یافت. بنابراین افت مشاهده شده در نمودار بازتاب را می‌توان براساس معادله ۱ نتیجه کاهش مقدار ضریب شکست لایه دانست.



شکل ۳ منحنی بازتاب لایه‌های نازک انباشت شده در فشارهای مختلف اکسیژن برحسب طول موج

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر تعدادی از شرایط انباشت بر روی لایه نازک ماده یتریا (Y_2O_3) بررسی شد. همانگونه که مشاهده شد در بین این موارد تغییر میزان فشارجزئی گاز اکسیژن بیشترین تاثیر را در بیشینه بازتاب و در نتیجه در مقدار ضریب شکست لایه داشته است که با استفاده از آن می‌توان به دوساختار با خواص نوری متفاوت دست یافت. بنابراین با استفاده از تغییر شرایط انباشت می‌توان ساختارهایی با خواص نوری متفاوت و از جنس یکسان ایجاد کرد که استفاده از آنها در چندلایه‌های با تعداد لایه بالا می‌تواند مفید واقع شود.

مراجع

[1] G. Hass, J. Ramsey, and R. Thun, Optical properties of various evaporated rare earth oxides and fluorides,p116-118, JOSA (1959)

[2] "Yttrium Oxide Y۲O۳ for Optical Coating", http://materion.com/ResourceCenter/ProductData/InorganicChemicals/Oxides/BrochuresAndDataSheets/YttriumOxideY۲O۳forOpticalCoating.aspx.

[3] G. Atanassov, R. Thielsch, and D. Popov, "Optical properties of TiO۲, Y۲O۳ and CeO۲ thin films deposited by electron beam evaporation",p288-292, Thin Solid Films(1993).

[4] H. A. Macleod, "Thin-Film Optical Filters", in *Thin-Film Optical Filters*(CRC Press, ۲۰۱۰), p707-718.

[5] W. Heitmann, "Reactively evaporated films of scandia and yttria", Applied optics ۱۲,p394-397,1973.

[6] N .Kaiser, and H. K. Pulker, "Optical interference coatings", Optical interference coatings/Norbert Kaiser, Hans K. Pulker (eds). Berlin; New York: Springer, (Springer series in optical sciences), ۲۰۰۳.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]