

# اندازه گیری نمایه لایه نازک با استفاده از تداخل سنجی

مهدی اشرف گنجویی، خسرو حسنی

آزمایشگاه پژوهشی اپتیک ۳، دانشکده فیزیک، دانشگاه تهران

چکیده – یکی از روشهای متداول برای اندازهگیری ضخامت لایههای نازک استفاده از تداخلسنجی نوری است که به دلیل غیر مخرب بودن و عدم نیاز به کالیبراسیون بسیار مورد توجه میباشد. دقت اندازهگیری ضخامت لایه با این روش در بهترین حالت در حدود ۳۰*nm* – ۲۰ بوده و تنها ضخامت میانگین لایه بدست میآید. در این مقاله ما با کمک یک میکروسکوپ تداخلی و با برازش طرح تداخلی از دو طرف پله به یک مدل نظری مناسب توانستهایم دقت اندازهگیری را به کمتر از ۱۰nm برسانیم و علاوه بر آن نمایه تغییرات ضخامت لایهها را نیز بدست آوریم.

کلید واژه – تداخل سنجی، لایه نازک، اندازه گیری ضخامت، میکروسکوپ تداخلی

### Thin Film Profile Measurement Using Interferometry

Mehdi Ashrafganjoie, Khosrow Hassani

Optics Research Lab. 7, Department of Physics, University of Tehran

Abstract – One of the popular techniques for the measurement of the thickness of thin films is based on light interferometry, which has the advantage of being non-destructive and calibration-free. However, the uncertainty achieved by this method is not usually better than T - T - m, and it can only measure the average film thickness. In this work, by using an interference microscope and fitting the interference patterns to an appropriate model, we are able to improve the precision to less than I - m, and also provide the film thickness profile.

Keywords- Interferometry, Thin Film, Thickness Measurement, Interference Microscope

۱– مقدمه

بسیاری از ویژگیهای فیزیکی محصولات صنعتی مانند قطعات نیمه رسانا، دستگاههای اپتیکی، سلولهای خورشیدی، پوششهای ضد خوردگی، حسگرها و نمونه-های زیستی به ضخامت لایههای نازک مواد به کار رفته در آنها بستگی دارد و به همین دلیل اندازهگیری دقیق ضخامت لايه نازک بسيار مهم و مورد توجه است [۴-۱]. روشهای مختلفی برای اندازه گیری ضخامت لایه ابداع شدهاند از جمله، نمایه سنجی استیلوس [۱]، بیضی سنجى [۵ و۶]، تداخل سنجي چند باريکهاي تولانسکي [۵ وج]، AFM ( ميكروسكوپ نيروى اتمى ) [1]، طيف سنجی نوری [۲]، میکرو آنالیز پرتو X [۲] و پراش فرنل [۷]. در بین این روشها روشهای نوری به دلیل غیر-مخرب بودن و بینیازی از درجهبندی مورد توجه ویژه قرار دارند. با این حال دقت اندازه گیری توسط روشهای تداخلسنجی معمول در حدود m۰ m انتظار میرود و تنها ضخامت میانگین لایه قابل اندازه گیری است. در این مقاله ما با استفاده از یک میکروسکوپ تداخلی، پردازش تصویر و برازش طرح تداخلی به یک مدل نظری مناسب توانسته ایم ضخامت لایه نازک را با دو طول موج مختلف با دقتی کمتر از ۱۰ nm بدست آوریم، که از اندازه گیری-های قبلی بهتر است.

# ۲- مبانی نظری اندازهگیری ضخامت لایه با روش تداخلسنجی

مانند آنچه در شکل (۱) نشان داده شده، لایه ناز کی با ضخامت h را درنظر می گیریم که بخشی از زیر لایه S را پوشانده است. اگر تیغه شفاف و تخت U را بطور مایل نسبت به S نگه داشته و نور همدوس و تکفام با طول موج  $\lambda$  را بطور عمود بر S بتابانیم، نقش تداخلی موسوم به فریزهای هم ضخامت به شکل نوارهای موازی تاریک و روشن در نور بازتابی یا عبوری مشاهده خواهند شد. روشن یا تاریک بودن نوارها به اختلاف راه نوری بین دو موج ناشی از ضخامت گوه هوا در هر نقطه از آن سطح بستگی دارد. فاصله b نوارهای تداخلی نیز از روی طول موج نور و زاویه رأس گوه هوا به دست می آید. در محل پله به دلیل تغییر ناگهانی ضخامت گوه هوا، فریزهای تداخلی شکسته



شکل ۱: فریزهای همضخامت در یک گوه هوای یکنواخت

با اندازه گیری این کمیتها میتوان ضخامت پله را به سادگی از رابطه (۱) بدست آورد [۵ و ۶]:

$$h = \frac{\lambda}{2} \frac{\delta}{d} \tag{1}$$

### ۳- آزمایش وکارهای تجربی

در این کار از یک میکروسکوپ تداخلی ( LEITZ ) (D\_۶۳۳۰) استفاده کردیم که در واقع یک تداخلسنج مایکلسون با تفکیک فضایی میباشد. شمای کلی دستگاه در شکل (۲) نشان داده شده است. نور تکفام یا بسفام از چشمه X به باریکه شکن BS میرسد و به دو موج با دامنه برابر تقسیم میشود. موج ۱ پس از عبور از شیئی O۱ به نمونه مورد آزمایش Sa که در واقع نقش آیینه اول تداخلسنج را دارد، میرسد و از آن بازتابیده میشود. موج تداخلسنج را دارد، میرسد و از آن بازتابیده میشود. موج آیینه تخت و مسطح M (آیینه دوم تداخلسنج) فرود آمده و از آن بازتابیده از نمونه و آیینه M دوباره توسط باریکهشکن با هم ترکیب شده و تداخل میکنند. با کمی کج کردن آیینه M نسبت به



شکل ۲: طرح شماتیک نشان دهنده نحوه عملکرد میکروسکوپ تداخلی. S چشمه،BS باریکه شکن، O۱ و O۲ عدسی، M آیینه مرجع، Sa نمونه، P تیغه جبران کننده فاز

تداخلی همضخامت، مطابق آنچه در بخش قبل گفته شد،

در چشمی میکروسکوپ قابل مشاهده خواهند بود. اگرنمونه شامل یک لایه نازک پلهای شکل باشد، شکستگی فریزهای تداخلی در دو سوی آن رخ خواهد داد که با کمک آنها و با استفاده از رابطه (۱) میتوان ضخامت لایه را در نقطه مورد مشاهده بدست آورد. یک تیغه جبران کننده فاز P در بازوی ۲ نصب شده تا بتوان شرط همدوسی زمانی را در استفاده از چشمههای بسفام تأمین کرد.

نمونههای مورد استفاده با لایه نشانی آلومینیوم بر روی نیمی از یک زیرلایه شیشهای (لام میکروسکوپ) و سپس لایه نشانی دوباره بر تمام سطح زیرلایه به روش تبخیر در خلأ تهيه شدند. به اين ترتيب يك پله با ضخامت دلخواه و ضريب بازتاب يكسان در دو طرف آن بدست مىآيد. چشمههای استفاده شده لامپ تخلیه بخار سدیم با طول-موج ۵۸۹,۳ nm و لامپ رشتهای (سفید) با یک فیلتر طیفی در جلوی آن بود. این فیلتر نور سبز با طول موج تقريبي ۵۴۶ nm (طيف سبز لامپ جيوه) را عبور مي دهد. نقشهای تداخلی برای سه نمونه مختلف و برای هر نمونه در سه نقطه از پله ثبت شدند . در شکلهای (۳) و (۴) طرح فریزهای تداخلی برای هر طول موج، برای نمونههای اول و دوم نشان داده شدهاند. شکستگی فریزها در محل پله به خوبی در این شکلها دیده می شوند. برای بدست آوردن ضخامت لایه، همانطور که اشاره شد، لازم است فاصله فریزها و جابجایی نسبی آنها در دو سوی پله اندازه-گیری شود. برای این کار تغییرات شدت فریزها در دو سوی پله در راستای عمود بر فریزها (خطوط راست سفید رنگ) از روی دادهها استخراج شدند. برای این کار ابتدا نمایه نور فرودی بدون تشکیل فریز (با حذف آیینه M از چيدمان) بدست آمده و از عكسها كم شد تا تنها تغييرات هموار شدت فریزها قابل مشاهده باشد. این تغییرات بر حسب مختصه x در راستای عمود بر فریزها به شکل مربع كسينوسي هستند، [رابطه (٢)]:

$$I = A\cos^{2}(\frac{\pi(x - x_{0})}{d}) + I_{0}$$
 (Y)

با برازش این رابطه به دادهها میتوان گام d فریزها، مبدأ مختصات .x. دامنه A و شدت زمینه .I را از پارامترهای برازش شده تعیین کرد. سپس مقدار جابجایی نسبی فریزها در دو سوی پله از تفاوت .x برای شدتهای

تداخلی در دو سوی آن بدست میآید. تغییرات شدت فریزها در دو سوی پله در راستای خط سفید رنگ (نقاط) و همچنین منحنی نظری برازش شده به آنها (خطچینها) بر حسب شماره پیکسل در نمودارهای یک بعدی زیر عکسها رسم شدهاند. پس از برازش با استفاده از رابطه عکسها رسم شدهاند. پس از برازش با استفاده از رابطه در جدولهای (۱) و (۲) برای دو طول موج به کار رفته آورده شدهاند.



شکل ۳: فریزهای تداخلی (a) لامپ سدیم، (b) نور سبز جیوه و نمودار شدت تجربی و منحنیهای برازش شده (c) لامپ سدیم، (d) نور سبز جیوه بر دادههای تجربی برای نمونه اول



شکل ۴: فریزهای تداخلی (a) لامپ سدیوم و (b) نور سبز جیوه و نمودار شدت و منحنیهای برازش شده (c) لامپ سدیوم و (b) نور سبز جیوه برای نمونه دوم

جدول ۱: ارتفاع پله برای سه نقطه بر نمونهها با استفاده از نور لامپ سدیم با طول موج ۵۸۹٬۳n۳.

	h(nm)	h(nm)	h(nm)
	چپ	وسط	راست
نمونه اول	49	۵۲	۵۰
نمونه دوم	174	١٠٧	٨٧
نمونه سوم	10.	184	۱۷۰

جدول ۲: ارتفاع پله برای سه نقطه بر نمونهها با استفاده از نور سبز جیوه با طول موج ۵۴۶nm.

	h(nm)	h(nm)	h(nm)
	چپ	وسط	راست
نمونه اول	۵۳	49	۶١
نمونه دوم	178	117	٨۵
نمونه سوم	141	181	188

همانطور که مشاهده می شود، ضخامت لایه که با استفاده از دو طول موج مختلف بدست آمدهاند در هر نقطه با

اختلاف چندین نانومتر با یکدیگر همخوانی دارند. بیشترین خطای نسبی برای نازکترین لایه (نمونه اول) به ۲۰ درصد هم میرسد، اما برای لایههای ضخیمتر بطور میانگین کمتر از ۵ درصد میباشد. همینطور، به دلیل میانگیک فضایی خوب میکروسکوپ میتوان تغییرات ضخامت لایه در نقاط مختلف آن (نمایه لایه) را اندازه-گیری کرد.

## ۴- نتیجه گیری

ما در این آزمایش توانستیم ضخامت لایه نازک را با روش تداخلسنجی و با استفاده از میکروسکپ تداخلی و برازش نمودار توزیع شدت نظری بر دادههای تجربی، برای دو طول موج مختلف بدست آوریم. تفاوت در اندازهها بین دو طول موج کمتر از ۱۰ mm بود.

#### سپاسگزاری

نویسندگان از خانم یاسمن گنجخانی که نمونه خود را در اختیار ما قرار دادند سپاسگزاری مینمایند.

#### مراجع

- [1] Schmit J., Creath K., Wyant J. C., Optical Shop Testing, p. 774-740, John Wiley & Sons, Y. V.
- [Y] Piegari A., Masetti E., Thin film thickness measurement: a comparison of various techniques, Thin Solid Films VY £ (19A0) Y £9-Y0V.
- [<sup>\[mathef{T}]</sup>] Debnath S. K., You J., Kim S. W., Determination of film thickness and surface profile using reflectometry and spectrally resolved phase shifting interferometry, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 1 · (<sup>\[mathef{Y} + 1]</sup>): <sup>\[mathef{o} - 1]</sup>.
- [<sup>1</sup>] Chopra K. L., *Thin Film Phenomena*, McGraw-Hill, איזק.
- [°] Heavens O. S., Physics of Thin Films, p. 198-784.
- Bennett H. E., Bennett J. M., *Physics of Thin Films*, p. Y1 ć., Academic Press, 197V.
- [<sup>V</sup>] Tavassoly M. T., Moaddel Haghighi I., Hassani Kh., Application of Fresnel diffraction from a phase step to the measurement of film thickness, Appl. Opt. <sup>٤</sup>Λ (<sup>Υ</sup>··<sup>9</sup>) οξ<sup>9</sup>V<sub>2</sub>οο·1.