بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بررسی ساختاری و بهینه‌سازی تنش پسماند نانولایه کروم بر روی زیرلایه‌های شیشه و گالیم آرسناید

مهدیه پرویزیان، فریبا رحیمی اشتری، امیر گودرزی، بهرنگ صبرلوی و پیمان عباسی

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

در این مقاله زبری سطح، آهنگ انباشت و تنش پسماند لایه نازک کروم بر زیرلایه‌های شیشه و گالیم آرسناید به کمک آنالیزهای *AFM*، ضخامت‌سنجی و روش انحنای زیرلایه مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور لایه کروم با ضخامت‌های ۱۲۰-۴۰ نانومتر به روش کندوپاش رادیو فرکانسی بر زیرلایه‌های مذکور لایه‌نشانی شد. نتایج نشان می‌دهد آهنگ انباشت و زبری سطح لایه کروم روی شیشه بیشتر از گالیم آرسناید است و در هر دو زیرلایه با افزایش ضخامت، زبری سطح افزایش می‌یابد. همچنین ضخامت بهینه تنش پسماند برای زیرلایه گالیم آرسناید ۵۸ نانومتر و برای شیشه ۶۲ نانومتر بدست آمد.

کلید واژه- آهنگ انباشت، تنش پسماند، زبری سطح، کروم.

Structure investigation and residual stress optimization of Cr nanolayer on glass and GaAs substrates

M.Parvizian, F.Rahimi Ashtari, A.Goodarzi , B.Sabrloui and P.Abbasi

Iranian National Center for Laser Science and technology

In this study surface roughness, deposition rate and residual stress of Cr thin film on glass and GaAs substrates were investigated by AFM analysis, thickness measurement and substrate curvature method. For this aim Cr layer with different thicknesses, 40-120 nm, was deposited on mentioned substrates by RF sputtering. Results show that deposition rate and surface roughness of Cr layer on glass is more than GaAs and on both substrates by increasing thickness, roughness increases. Also optimized thickness for residual stress obtained at 58 nm for GaAs substrate and at 62 nm for glass.

Keywords: Cr, deposition rate, residual stress, roughness.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

۱- مقدمه

امروزه نانوساختارهای لایه نازک نقش مهمی را در زمینه‌های مختلف تکنولوژیکی و علم مواد مثل سیستم‌های نانوالکترومکانیکی (NEMS) [۱]، سنسورها [۲]، ادوات اپتیکی [۳] و... ایفا می‌کنند. مهمترین پیش‌نیاز برای ساخت لایه نازک با کیفیت بالا اطلاع از فرایند رشد و ساختار لایه در شرایط مختلف لایه‌نشانی است [۴]. لایه‌نشانی تبخیر فیزیکی (PVD) یک روش پرکاربرد با قابلیت کنترل ساختار لایه در ابعاد نانومتری در حین لایه‌نشانی است [۵]. رایج‌ترین روشهای لایه‌نشانی فیزیکی، کندوپاش و تبخیر حرارتی هستند که قابلیت کنترل پارامترها و ویژگیهای لایه مثل ضخامت، اندازه دانه‌ها و پوشانندگی پله در کندوپاش بهتر است [۶]. همچنین در کندوپاش میتوان برخی از پارامترهای لایه‌نشانی نظیر ضخامت، فشار گاز و توان لایه نشانی که بر تنش لایه تأثیرگذارند را بررسی کرد [۷-۹]. از آنجائیکه که لایه نازک کروم کاربردهای فراوانی دارد و به عنوان لایه چسبنده مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این مقاله پارامترهای مختلف این لایه از جمله تنش پسماند، زبری سطح و آهنگ انباشت بر دو زیرلایه مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین ضخامت بهینه برای کمینه تنش پسماند بدست آمده است.

۲- شرح آزمایش

در این کار دو نوع زیرلایه شیشه‌ای به ابعاد ۲×۲ cm با زبری سطح ۳/۴ A° و ویفر p-GaAs (100) با زبری ۲ A° و ابعاد ۱×۱ cm استفاده شده است. چهار زیرلایه شیشه و چهار زیرلایه گالیم آرسنایدجهت آماده‌سازی برای لایه‌نشانی، توسط استون، کلروفرم، دوپروپانول و آب DI تمیزکاری و به سیستم لایه‌نشانی منتقل شدند. سپس لایه کروم به روش کندوپاش RF توسط گاز آرگون با شرایط خلاء ۵ pa و توان ۲۰۰ W در زمان‌های مختلف از ۱۸۰ s تا ۴۵۰ s با بازه ۹۰ s روی زیرلایه‌های مذکور لایه‌نشانی شد. ضخامت و تنش پسماند لایه‌ها توسط دستگاه ضخامت‌سنج و روش انحنای زیرلایه اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین زبری سطح لایه‌ها توسط آنالیز AFM مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۱- بهینه‌سازی تنش پسماند لایه کروم

تنش پسماند در لایه‌های نازک یک چالش بسیار مهم در طراحی و ساخت سیستم‌های میکروالکترومکانیکی است. زیرا ازدیاد تنش در لایه نازک سبب نقص مکانیکی لایه از قبیل ترک خوردگی و کاهش چسبندگی لایه به زیرلایه می‌شود [۱۰-۱۱]. به عبارتی تنش زیاد میتواند بر خواص اپتیکی، الکتریکی و مغناطیسی لایه تأثیرگذار باشد [۱۲]. تنش پسماند لایه‌های نازک کروم با ضخامت‌های مختلف ۴۰-۱۲۰ nm توسط روش انحنای زیرلایه اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت. در این روش که یکی از رایج‌ترین روشهای اندازه‌گیری تنش لایه‌های نازک است، اندازه‌گیری تنش پسماند بر اساس جنس لایه و زیرلایه و همچنین تغییرات انحنای زیرلایه انجام می‌شود. بدین ترتیب که بر اثر تنش انبساطی لایه، سطح زیرلایه مقعر و بر اثر تنش انقباضی محدب می‌شود. سیستم اندازه‌گیری تنش پسماند را بر اساس رابطه زیر که فرمول استونی نامیده می شود محاسبه می کند:

$$\delta = \frac{E_s t_s^2}{6 t_f (1-\vartheta_s)} \left(\frac{1}{R_{post}} - \frac{1}{R_{pre}} \right) \qquad (۱)$$

که در آن،

$\delta =$ تنش پسماند

$R_{pre} =$ شعاع انحنای زیرلایه قبل از لایه‌نشانی

$R_{post} =$ شعاع انحنای زیرلایه بعد از لایه‌نشانی

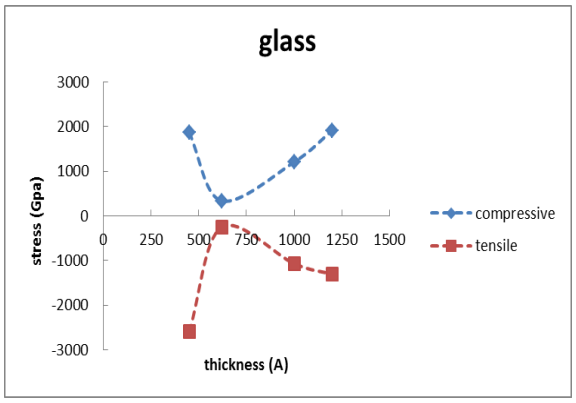
$E_s =$ مدول یانگ زیرلایه

$t_s =$ ضخامت زیرلایه

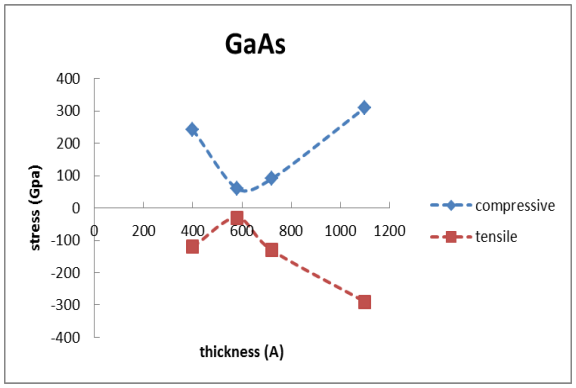
$\vartheta_s =$ نسبت پواسون زیرلایه

نتایج اندازه‌گیری تنش نشان می‌دهد در هر ۲ زیرلایه یک ضخامت بهینه برای لایه کروم وجود دارد که در آن هم تنش انبساطی و هم تنش انقباضی به کمترین مقدار خود می‌رسند. همان‌طور که در شکل‌های ۱و۲ دیده می‌شود کمینه تنش پسماند برای لایه کروم با زیرلایه شیشه در ضخامت ۶۲ nm و برای لایه کروم با زیرلایه گالیم آرسنایدر ۵۸ nm است.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]



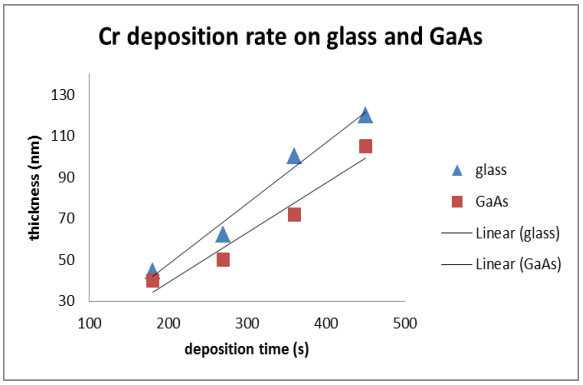
شکل ۱- تنش پسماند لایه کروم روی شیشه بر حسب ضخامت لایه



شکل ۲- تنش پسماند لایه کروم روی گالیم آرسناید بر حسب ضخامت لایه

۲-۲- آهنگ انباشت لایه کروم

اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های نازک کروم روی شیشه و گالیم آرسناید توسط سیستم ضخامت سنج DEKTAK نشان داد که در زمانهای مختلف لایه‌نشانی از ۱۸۰ s تا ۴۵۰s ، ضخامت لایه روی شیشه از ۴۴ nm تا ۱۲۰ nm و روی گالیم آرسناید از ۴۵ nm تا ۱۱۰ nm تغییر کرده است. روند این تغییرات در شکل ۳ آورده شده است.



شکل۳- ضخامت لایه روی شیشه و گالیم آرسناید بر حسب زمان لایه‌نشانی

همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود با افزایش زمان، ضخامت لایه کروم نیز در هر دو زیرلایه بصورت تقریباً خطی افزایش یافته است ولی در زمانهای مساوی ضخامت لایه روی شیشه بیشتر از ضخامت لایه کروم روی گالیم آرسناید است. آهنگ انباشت لایه که بصورت شیب نمودار تغییر ضخامت بر حسب زمان تعریف می‌شود برای گالیم آرسناید (A°/s) ۲/۴ و برای شیشه (A°/s) ۲/۹ بدست آمد که در تطابق با تئوری current nucleation است که بر طبق آن نرخ رشد لایه‌های فلزی بر زیرلایه‌های مختلف متفاوت است [۱۳].

۲-۳- زبری سطح لایه کروم

ایجاد لایه نازک با زبری سطح پایین از مطلوبیتهای ساخت لایه با کیفیت بالا است. هرچه زبری سطح لایه کمتر باشد بستر مناسبتری برای لایه‌ای که روی آن ایجاد می شود خواهد بود. زبری سطح چهار نمونه لایه کروم با زیرلایه شیشه و چهار نمونه با زیرلایه گالیم آرسناید توسط آنالیز AFM مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب که سطح هر نمونه در ۴ مکان متفاوت از سطح با مساحت ۱۰ μm اسکن شد و در نهایت میانگین داده‌ها به عنوان زبری سطح آن نمونه در نظر گرفته شد. مقادیر داده‌ها در جدول ۱ و برخی از نتایج حاصل از آنالیز AFM در شکل های ۴ و ۵ آورده شده است..

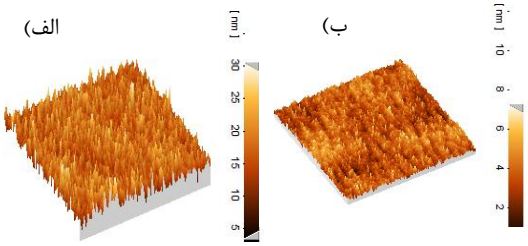
جدول ۱- میانگین زبری سطح لایه کروم با زمان‌های مختلف لایه‌نشانی بر روی شیشه و گالیم آرسناید

مدت زمان لایه‌نشانی (s)	زبری سطح (nm)	
	شیشه	گالیم آرسناید
۱۸۰	۳/۲۸	۰/۸۱
۲۷۰	۴/۳	۱/۷
۳۶۰	۴/۷	۲/۱۶
۴۵۰	۵/۱	۳/۱

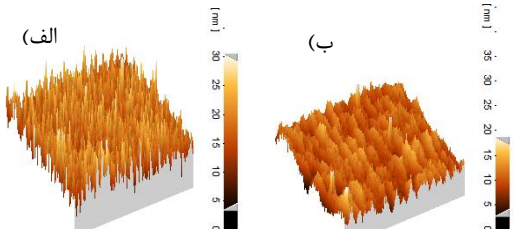
طبق نتایج بدست آمده در هر دو زیرلایه با افزایش

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

ضخامت، زبری سطح نیز افزایش می‌یابد ولی میانگین زبری سطح چهار نمونه لایه کروم روی گالیم آرسناید، ۱/۹ nmو نمونه‌های با زیرلایه شیشه ۴/۳ nm بدست آمد که نشان‌دهنده این است که سطح بسیار نرمتر و صاف‌تری روی گالیم آرسناید تشکیل شده است.



شکل ۴- زبری سطح لایه کروم با ۱۸۰ ثانیه زمان لایه‌نشانی الف) بر روی شیشه ب) بر روی گالیم آرسناید



شکل ۵- زبری سطح لایه کروم با ۲۷۰ ثانیه زمان لایه‌نشانی الف) بر روی شیشه ب) بر روی گالیم آرسناید

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله تنش پسماند، زبری سطح و آهنگ انباشت لایه کروم بر دو زیرلایه شیشه و گالیم آرسناید مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده یک ضخامت بهینه برای لایه کروم وجود دارد که در آن تنش پسماند به کمترین مقدار خود می‌رسد. این مقدار برای لایه کروم با زیرلایه شیشه در ضخامت ۶۲ nm و برای لایه کروم با زیرلایه گالیم آرسناید، در ۵۸ nm بدست آمد. همچنین جنس زیرلایه بر آهنگ انباشت لایه تأثیرگذار است و آهنگ انباشت لایه روی شیشه بیشتر از گالیم آرسناید است. در هر دو زیرلایه با افزایش ضخامت زبری سطح افزایش می‌یابد اما لایه تشکیل شده بر زیرلایه گالیم آرسناید سطح بسیار صاف‌تری دارد.

۴- ۴- مراجع

[1] Nakao S, Ando T, Shikida M, Sato K. **J Micromech Microeng**;16:715 (2006).

[2] Lumelsky VJ, Shur MS, Wagner S. **IEEE Sensors** 1:41; (2001).

[3] Lal S, Grady NK, Kundu J, Levin CS, Lassiter JB, Halas NJ. **Chem Soc Rev** 37:898; (2008).

[4] Siegel et al. **Nanoscale Research Letters** 6:96; (2011).

[5] S. C. Tjong, H. Chen, Mater. **Sci. Eng**. R 45, 1 (2004).

[6] M. Madou, **Fundamentals of Microfabrication**, CRC Press, Boca Raton, New York, (1997).

[7] D.W. Hoffman, J.A. Thornton, **Thin Solid Films** 40 (1977) 355.

[8] J.A. Thornton, J. Tabock, D.W. Hoffman, **Thin Solid Films** 64; (1979).

[9] D.W. Hoffman, J.A. Thornton, J**. Vac. Sci. Technol**. 20 355; (1982).

[10] E. Klokholm, *IBM* **J. Res. Develop**. 585 31 (1987).

[11] M. D. Drory, M. D. Thouless, & et.al, *On the Decohesion of Residually-Stressed Thin Films*, **Acta Metal** 36, 2019 (1988).

[12] H. Awano and T. Sato, Effect of Argon Ion Bombardment on Internal Stress in Evaporated Co-Cr Film, Japan. **J. Appl. Phys.** 27 L880 (1988).

[13] P. Sleplcka, V. Svorclk, **Optoelectronics and advanced materials** Vol. 2, No. 3, p. 153 – 160, (2008).

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]