

بررسی تجربی لایه نشانی فلزات مس و آلومینیوم به روش اسپاترینگ

نوفرستی، امیر عباس؛ انتظامی پژوه، مجید؛ سیدی، سید عباس

شرکت کاربران صنعت مهر، تهران

چکیده

بررسی پارامترهایی که روی توزیع ضخامت فیلم و رفتار هدف در طول لایه نشانی و در نهایت روی خواص فیلم تاثیر میگذارد در لایه نشانی بسیار مهم می باشد و باعث میشود خواص لایه نشانی به صورت آشکار تغییر کند. این مقاله لایه نشانی مس را هم در محدوده فشار بالا و فشار خیلی پایین به صورت آزمایشگاهی، بررسی و آزمایش میکند. همچنین توزیع ضخامت لایه نشانی آلومینیوم با روش DC اسپاترینگ مورد بررسی قرار داده است. نتایج آزمایشگاهی با روش تئوری که در مدل DC اسپاترینگ بدست آمده است، مقایسه شده است. در محدوده های هر دو فشار، یکنواختی فیلم وابسته به موقیت زیر لایه می باشد. اثر فشار، مواد هدف و جریان روی پراکندگی بصورت نمودار نمایش داده شده و صحت مدلی که ذکر شده در هر ۲ محدوده فشار ثابت شده است.

Experimental Investigation of Cu and Al deposition using Sputtering method

A, A, Noferest ; M, Entezami pazhoh ; S, S, Sayedi;
Karbarane Sanate Mehr Institution, Tehran

Abstract

The understanding of the parameters which affects the film thickness distribution and the target behavior during deposition and the way it affects film properties will unequivocally improve coatings properties. This paper examines the deposition of Cu coating in both high and very low range of pressure, experimentally. The thickness distribution of the aluminum coating has been studied using DC magnetron sputtering method, too. The experimental results compare well with those obtained by theoretical methods given the dc magnetron sputtering models used for the study. In both pressure ranges, film uniformity depends on the location of the substrate. The effect of pressure, target material and current on the scattering is illustrated diagrammatically and the validity of presented model in both pressure ranges are proved.

مقدمه

گرایش صنعت به لایه نشانی فیلم های انعکاسی، فیلم های مقاوم حرارت بالا به خصوص میکرو الکترونیک ها رشد وسیعی پیدا کرده است [۱و۲]. هدف اصلی از استفاده از میدان مغناطیسی در یک سیستم اسپاترینگ، به دلیل ساختن و افزایش پلاسمای موثر بیشتر بوسیله به تله انداختن الکترون ها نزدیک هدف و افزایش اثر یونیزاسیون آنها و کاهش تلفات و بهبود شرایط کاری می باشد [۳]. این ها همگی به صورت نسبی باعث افزایش نرخ لایه نشانی، کاهش حرارت زیر لایه ها، پوشش سطحی بهتر و قابلیت کار در فشارهای پایین در صورت نیاز میباشد [۴]. به دلیل انعطاف

مواردی که برای کاربرد های صنعتی تکنولوژی فرایند های لایه نشانی بوسیله مگنترون اسپاترینگ ضروری می باشد شامل نرخ لایه نشانی بالا، استفاده کردن بهینه هدف، کنترل بهینه یکنواختی ضخامت فیلم روی یک سطح وسیع میباشد. فهمیدن پارامترهایی که روی توزیع ضخامت فیلم و رفتار هدف در طول لایه نشانی و در نهایت روی خواص فیلم تاثیر می گذارد خواص لایه نشانی را به صورت آشکار تغییر و بهبود می بخشد. استفاده از وسایل مگنترون اسپاترینگ به سرعت در ۲ دهه اخیر به علت

در یک حالت عمومی از مگنترون اسپاترینگ تعدادی از ذرات که اسپاتر می شوند قبل از این که به زیر لایه برسند از فلوی جریان یافته جدا شده و از بین می روند (حرکت سریع ذرات) که تعداد ذراتی که از فلوی جریان یافته جدا شده و از بین می روند وابسته به میانگین پویش آزاد ذرات که تابعی از فشار گاز و فاصله است، می باشند. گر چه تعدادی از ذرات پراکنده شده (حرکت آهسته ذرات) و روی زیر لایه پخش میشوند که وابسته به شیب دانسیته میباشد. بنابراین مجموع فلوی لایه نشانی شده روی زیر لایه برابر با مجموع فلوی حرکت سریع و حرکت آهسته ذرات می باشد [۶ و ۸].

بنابراین دو نوع فلوی ذرات برای یک هدف خطی دایره ای مطابق مدلی که سامونل ارائه داده، نمایش داده شده است.

ذراتی که حرکت سریع دارند

دانسته فلوی کل ذراتی که به صورت سریع در زیر لایه اسپاتر می شوند به وسیله انتگرال معادله ذیل روی سطح هدف در هر بخشی که جدا میشوند بصورت ذیل بیان می شود [۶]:

$$\Phi_f = \int \frac{j(r)Y_z^2(1+\beta(z/\rho)^2)}{\rho^4} \exp(-c\rho) r dr d\phi \quad (1)$$

که در شکل ۱ نمایش داده شده است. در واقع انتگرال فوق بصورت عددی روی نرخ لایه نشانه ذراتی که حرکت سریع دارند انتگرال گیری می شود.

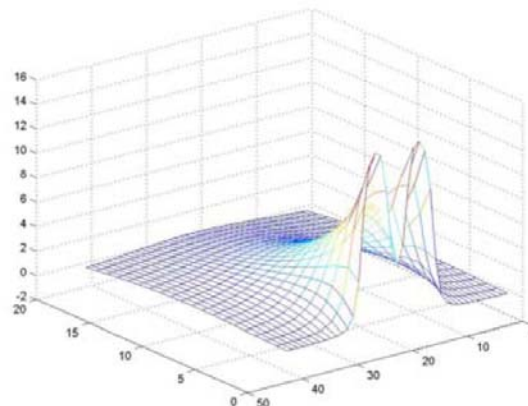
حرکت آهسته ذرات

در اسپاتر مواد ذراتی هستند که پراکنده شده و به وسیله پخش شدگی انتقال می یابند. در این جا ما یک فرم ساده ای را از پخش ذرات در نظر می گیریم که دانسیته موادی که پخش می شوند در مقایسه با دانسیته محیط گازی که پخش می شوند کوچک است برای مشخص کردن فلوی ذراتی که آهسته حرکت می کنند یک مدل چشمه ای نیاز می باشد [۴ و ۶].

با این مدل فلوی اسپاتر شده می تواند یک چشمه ای به عنوان پخش برای ذراتی که به وسیله برخورد پراکنده می شوند باشد. در مجموع فلوی پخش شده برابر است با [۶ و ۷]:

پذیری و کنترل شرایط فرآیند مگنترون اسپاترینگ به صورت گسترده در لایه نشانی مواد مورد استفاده قرار می گیرد. چنانچه ذرات به زیر لایه برسند آنها مومنتوم و انرژی نشست خود را به آنها انتقال می دهند و بنابراین روی خواص رشد فیلم تأثیر می گذارند. برای مشخص کردن این انرژی نشست به صورت آزمایشگاهی معمولاً انرژی برواحد اتم بیان می شود [۴ و ۵]. بنابراین یک مشخصات دقیقی از نرخ نشست فلوی اسپاتر شده نیاز داریم. اگر چه تحقیق درباره لایه نشانی لایه های نازک بوسیله خیلی محققین انجام شده است اما کمتر محققانی آزمایشی را که روی شرایط نرخ لایه نشانی مگنترون اسپاترینگ که در این مقاله گزارش شده است آورده است.

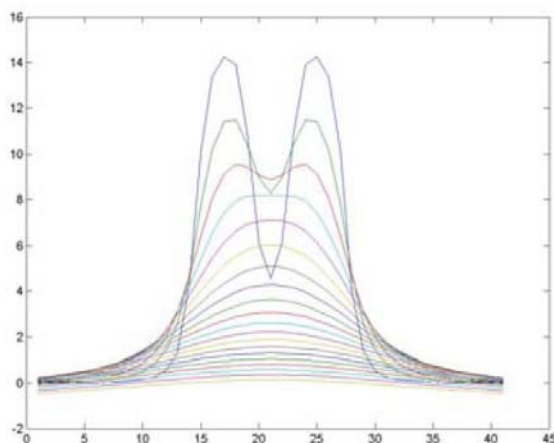
در این مقاله نرخ نشست مس و آلومینیوم در محدوده فشارهای خیلی پایین و خیلی خیلی پایین بررسی شده است. توزیع ضخامت لایه نشانی بوسیله روش مگنترون اسپاترینگ مورد ارزیابی قرار گرفته است در هر دو محدوده فشارهای پایین یکنواختی فیلم وابسته به موقعیت زیر لایه می باشد. اثر فشار، جنس مواد و جریان پراکندهگی به صورت نمودار نمایش و بررسی شده است و صحت مدل بیان شده در هر دو محدوده فشار ثابت شده است.



شکل ۱: دیاگرام لایه نشانی اتم های مس اسپاتر شده تحت قدرت مگنترون ۲۰۰ و فشار گاز آرگون ۲ پاسکال.

مدل

ثابت کار می کند. ضخامت فیلم در طول فرآیند با ضخامت سنج کریستالی اندازه گیری شده است.



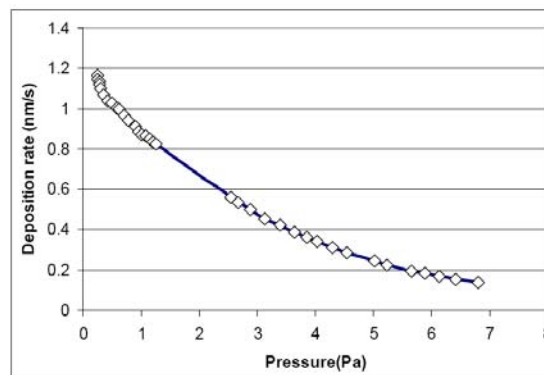
شکل ۳: تاثیرات محل زیرلایه بر روی یکنواختی فیلم، برای لایه نشانی آلومینیوم در توان مگنترون ۲۰۰ وات و فشار گاز ۲ پاسکال.

جدول ۱

Pressure (Pa)	Deposition Rate (nm.s ⁻¹)	Pressure (Pa)	Deposition Rate (nm.s ⁻¹)
0.2	1.16	1.2	0.82
0.2	1.14	2.5	0.55
0.2	1.13	2.6	0.53
0.2	1.11	2.8	0.5
0.3	1.09	3.1	0.45
0.3	1.07	3.3	0.42
0.4	1.03	3.6	0.38
0.4	1.02	3.8	0.36
0.5	1	4	0.34
0.6	0.99	4.3	0.31
0.7	0.96	4.5	0.28
0.7	0.94	5	0.24
0.9	0.91	5.2	0.22
0.9	0.88	5.6	0.19
1	0.87	5.8	0.18
1	0.86	6.1	0.16
1.1	0.84	6.4	0.15
1.2	0.83	6.8	0.14

$$\Phi_s = \frac{zcjY}{4\pi} \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{rdrd\phi(1 + \beta(z/\rho)^2)}{\rho^3} \exp(-c\rho) d\rho \quad (2)$$

که این انتگرال بصورت عددی برای فلوی کل حرکت ذرات آهسته می باشد. در مجموع فلوی کل لایه نشانی شده در زیر لایه برابر مجموع فلوی حرکت ذرات آهسته و حرکت سریع ذرات می باشد.

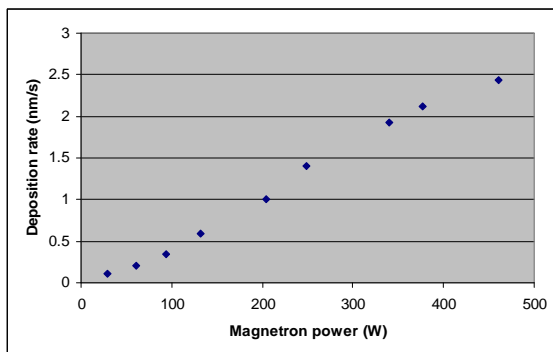


شکل ۲: نرخ لایه نشانی غیر محوری به صورت تابعی از فشار در شرایط توان مگنترون ۳۰۰ وات و فاصله زیرلایه تا هدف برابر با ۱۰.۸ سانتی متر تحت اسپاترینگ با ماده مس.

آزمایش

سیستم لایه نشانی مگنترون اسپاترینگ، با یک چشمه مگنترون خطی ۱۰ cm که با آب خنک می شود در لایه نشانی مواد هدف مورد استفاده قرار گرفته است. لایه مس بوسیله مگنترون اسپاترینگ تشکیل شده است. گاز آرگون به عنوان گاز زمینه با فشار متغییر بین ۰/۲ تا ۰/۷ پاسکال مورد استفاده قرار گرفته است. نرخ فلوی گاز عموماً بین ۶۰ تا ۸۵ می باشد. و شیشه به عنوان زیر لایه در نظر گرفته شده است. شیشه مورد نظر به قطعات ۱۰ cm × ۵ cm بریده شده است و به روش های شیمیایی قبل از اینکه در چمبر مگنترون اسپاترینگ قرار بگیرد تمیز شده است. نرخ فلوی گاز آرگون روی ۷۰ sccm در نظر گرفته شده است. مواد هدف مس با خلوص ۹۹.۹۹۹ درصد برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفته است. جزئیات پارامترهای لایه نشانی در جدول ۱ لیست شده است. فاصله بین زیر لایه و هدف از ۴ تا ۲۱ سانتی متر متغییر می باشد. توان dc، مگنترون اسپاترینگ بین ۱۰ تا ۴۰۰ وات تغییر می کند. تخلیه هم در توان

آمده است. شکل (۵) اثر توان مگنترون برحسب نرخ نشست برای اسپاترینگ مس و آلومینیوم به ترتیب در فشار ۰/۶۷ پاسکال و فاصله ۱۴ cm نشان میدهد و نشان می دهد که مدل و نتایج آزمایشگاهی، نرخ نشست با توان کاهش می یابد.



شکل ۵: نرخ نشست مس به صورت تابعی از توان مگنترون و فشار گاز ۰.۶۷ پاسکال و فاصله از هدف ۱۴ سانتی متر.

تطابق و هماهنگی نتایج آزمایشگاهی برای هر ۲ ماده آلومینیوم و مس خوب ارزیابی می شود و نمایانگر یک غیر خطی بودن جزئی می باشد که ناشی از اثرات رقیق بودن گاز می باشد.

مرجع ها

- [۱] M.G. Hocking, V. Vasantaree, P.S. Sidky, *Metallic and Ceramic Coatings* (1989) 49-102.
- [۲] R.J. Hill, *Physical Vapour Deposition*, Airco Temescal (1976) 1-148.
- [۳] A. Palmero, E.D. van Hattum, W.M. Arnoldbik, F.H.P.M. Habraken, "Argon plasma modelling in a RF magnetron sputtering system", *Surface & Coatings Technology* **188-189** (2004) 392-398.
- [۴] J.A. Thornton, *Thin Solid Films* **54** (1978) 23.
- [۵] S.D. Ekpe, S.K. Dew, *J. Vac. Sci. Technol., A* **20** (2002) 1877.
- [۶] Samuel D. Ekpe, Louis W. Bezuidenhout, Steven K. Dew, "Deposition rate model of magnetron sputtered particles", *Thin Solid Films*, **474** (2005) 330-336.
- [۷] I. Petrov, I. Ivanov, V. Orlinov, J.-E. Sundgren, *J. Vac. Sci. Technol., A* **11** (1993) 2733.
- [۸] Guobo Dong, MingZhang, Xueping Zhao, YangchaoLi, HuiYan, "Influence of working gas pressure on structure and properties of CuAlO₂ films", *Journal of Crystal Growth*, **311**(2009)1256-1259
- [۹] K. Sarakinos, J. Alami, C. Klever, M. Wuttig, "Process stabilization and enhancement of deposition rate during reactive high power pulsed magnetron sputtering of zirconium oxide", *Surface & Coatings Technology*, **202** (2008) 5033-5035.

بحث و نتیجه گیری

متغیرهای r1 و r2 از هدف اندازه گیری شده است که به ترتیب ۳ و ۴/۲۵ سانتی متر می باشد. برای توان مگنترون ۲۰۰ وات و فشار گاز آرگون ۲ pa نرخ لایه نشانی مس اسپاتر شده در شکل (۲) نمایش داده شده است.

شکل (۲) پرو فایل نرخ لایه نشانی که به صورت زیاد وابسته به موقعیت زیر لایه می باشد را نشان می دهد و نشان میدهد که تابعی از فاصله شعاعی R از محور مرکز هدف و همچنین ارتفاع Z از سطح هدف می باشد. در طول محور مرکز، نرخ لایه نشانی با Z افزایش می یابد تا به ماکزیمم مقدار می رسد و سپس با Z کاهش می یابد. معمولاً وقتی هدف استفاده می شود پهنای پخش اسپاتر شده کاهش می یابد.

شکل (۳) محاسبات نرخ نشست را به صورت آزمایشگاهی برای مس و آلومینیوم در توان مگنترون ۳۰۰ وات در یک فاصله ۱۱ cm (کاتدا زیر لایه) برای فشارهای مختلف با گاز آرگون نشان میدهد.

نتایج تئوری با آزمایشگاهی مقایسه شده است. کاهش سریع در نرخ لایه نشانی در فشارهای پایین بدست می آید جای که فلوی لایه نشانی بوسیله حرکت سریع ذرات محاسبه می شود. در فشارهای بالاتر، جای که حرکت آهسته ذرات حاکم است کاهش تدریجی وجود دارد.

شکل (۴) وابستگی یکنواختی فیلم به فاصله (هدف تا زیر لایه (Z)) را نشان می دهد. متغیرهای تئوری و آزمایشگاهی به موازات هم برای مقادیر Z های مختلف ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ نمایش داده شده است. و صحت مدل به کار رفته تأیید شده است. نتایج به صورت واضح نشان داده شده است. و یکنواختی فیلم کاملاً وابسته به موقعیت زیر لایه می باشد. این نتایج نشان میدهد که یکنواختی فیلم با یک نرخ لایه نشانی بالا روی یک زیر لایه ایی که اندازه آن نزدیک به هدف می باشد بدست می آید.

اثر مواد هدف روی شکل پروفایل لایه نشانی در شکل (۵) نمایش داده شده است. شکل پروفایل مشابه آلومینیوم برای شرایط فرایند مشابه می باشد اگر چه نرخ لایه نشانی در شکل (۵) بدست