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

بررسی تأثیر مقدار نیتروژن بر خواص فیزیکی لایه‌های نازک نیتریدمس (Cu_3N) تهیه شده به روش کندوپاش مگنترونی واکنشی DC

عبدالرحمن درویش پور و علی قهرمانی

دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

چکیده - در این کار تجربی فیلم های نازک نیترید مس به روش کندوپاش مگنترونی DC برروی زیرلایه های شیشه ای در یک مخلوطی از گاز نیتروژن و آرگون نهشت داده شده اند. در حالی که شار کل گاز در داخل دستگاه کندوپاش ثابت نگه داشته می شود تأثیر محتوای نیتروژن بر روی جهت گیری بلوری، مورفولوژی سطح و خواص رسانندگی سطحی نمونه ها به ترتیب توسط پراکندگی پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و مقاومت سنج سطحی چهار سوزنی بررسی می شود.

کلید واژه- لایه نازک، نیتریدمس، کندوپاش مگنترونی DC، میکروسوپ نیروی اتمی، مقامت سنج چهار سوزنی

The influence of nitrogen content on the physical properties Cu_3N thin films Produced by DC Magnetron Sputtering

A. Darvishpour and A. Ghahremani

Faculty of Basic Sciences , Sahand University of Technology

Abstract- In this experiment, the semiconducting Cu_3N films were deposited on glass substrates by reactive Direct Current Magnetron Sputtering in a mixture gas of Nitrogen and Argon. The influence of nitrogen content in a fixed total sputtering gaz flow on the preferential crystalline orientation, the morphology, the conductivity properties of the copper nitride films were investigated by X-Ray Diffraction (X-RD) , Atomic Force microscopy (AFM) and Four-point probe techniques respectively.

Keywords: Thin film, Cu_3N, DC magnetron sputtering, Four-point probe, Atomic Force Microscopy

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

۱- مقدمه

در طول دهه گذشته علاقه نسبت به مطالعه نیترید فلزات افزایش چشمگیری یافته است. نیترید فلزات گوناگون نقش مهمی را در صنعت، علوم و تکنولوژی برپایه خصوصیات جذاب و مفیدشان از جمله سختی فوق‌العاده، مقاومت در برابر خوردگی و سایش، خواص الکتریکی و اپتیکی، ایفا می‌کنندچگالی نیترید مس در دمای $25^{\circ}C$ و فشار یک اتمسفر برابر $5.84cm/gr^{3}$ و دارای وزن مولکولی۲۰۴.۶۳ گرم و رنگ آن سبز تیره می‌باشد. نیترید مس در دمای اتاق غیرسمی و پایدار می‌باشد. تحت شرایط محیطی رطوبت ٪۹۵ و دمای $60^{\circ}C$ برای ۱۵ ماه هیچ تغییری در خواص اپتیکی نیترید مس مشاهده نشده است[۱]. به طور مشابه هیچ تغییری در آنالیز XRD آن برای یکسال مشاهده نشده است[۱]. دمای تجزیه فیلم‌های نازک Cu_3N بین ۳۰۰ تا $470^{\circ}C$ می‌باشد [۱-۶]. نیترید مس دارای ساختار کریستال anti-ReO_3 با ثابت شبکه ($3.815\ A^{\circ}$) می‌باشد. در این ساختار کریستالی، اتم‌های Cu جایگاه‌های fcc صفحه(۱۱۱) را اشغال نمی‌کنند. بدین ترتیب ساختار کریستالی دارای تعداد زیادی از جایگاه‌های خالی می‌باشد. این واقعیت موجب می‌شود که با وارد کردن اتم‌های فلزی دیگر، این جایگاه‌ها اشغال شوند و به خصوصیات متمایزی از این ماده دست یافت. با ورود اتم‌های Cu اضافی، ثابت شبکه Cu_3N متحمل یک بسط کوچک٪۱.۱۳ خواهد شد[۸,۷]. نیترید مس یک نیمه هادی با گاف انرژی غیرمستقیم۰.۹eV است[۹]. گاف باند اپتیکی نیترید مس با افزایش فشار نیتروژن از ۰.۲۵ تا ۰.۸۳ eV تغییر پیدا می کند[۱۰]. ضریب بازتابندگی آن برای طول موج‌های بین مرئی و فروسرخ (≈۷۸۰nm) خیلی کمتر از لایه‌های مس خالص می‌باشد بنابراین نیترید مس دارای این استعداد می‌باشد که به عنوان یک محیط ضبط نوری عمل کند[۱۲,۱۱]. از طرفی با توجه به دمای تجزیه پایین آن، می‌توان با استفاده از یک لیزر گرمایی موضعی، خال‌های کوچکی از مس را به دلیل تبخیر نیتروژن، در روی سطح نیترید مس به وجود آورد که از این مورد نیز می‌توان برای ساخت محیط‌های ذخیره کننده نوری یک‌بار چاپ استفاده کرد[۱۳]. از نیترید مس در مدارهای مجتمع با سرعت بالا استفاده می شود[۱۴].

۲- مواد و روش تحقیق

یک هدف مسی با شرایط خلوص ٪۹۹.۹۹ و قطر ۱۰cm را که قبلاً توسط سنباده جلا داده شده و توسط محلول های استون و اتانول تمیز شده است را بر روی کاتد دستگاه کندوپاش مگنترونی قرار می دهیم. زیر لایه های شیشه ای نیز به ابعاد ۱۰×۲۵mm و ضخامت ۱mm را که از قبل توسط محلول های استون و اتیل الکل و در نهایت آب مقطر از هر گونه چربی و آلودگی پاک شده اند را روی جایگاه آند دستگاه کندوپاش مگنترونی قرار می دهیم. آرگون تجاری با خلوص بالای ۹۹٪ بعنوان گاز کاری و نیتروژن با خلوص بالای ۹۹٪ بعنوان گاز واکنشی قرار گرفتند. فیلم های مورد نظر با شرایطی که در جدول ۱ بیان شده است تهیه شده اند. توان کندوپاش و دمای زیرلایه و فشار گاز آرگون ورودی و زمان نهشت برای همه نمونه ها ثابت و طبق شرایط ذکر شده در جدول ۱ می باشد.

جدول ۱: شرایط کاری دستگاه برای نمونه ها

نمونه	اول	دوم	سوم
شار آرگون(sccm)	۲۰	۲۰	۲۰
شار نیتروژن(sccm)	۵	۱۰	۱۵
توان اعمالی(وات)	۲۸۰	۲۸۰	۲۸۰
زمان نهشت(ثانیه)	۹۴۰	۹۴۰	۹۴۰
فشار کاری(mbar)	7.9×10^{-3}	7.9×10^{-3}	7.9×10^{-3}
فشار پایه(mbar)	1.8×10^{-5}	1.8×10^{-5}	1.8×10^{-5}

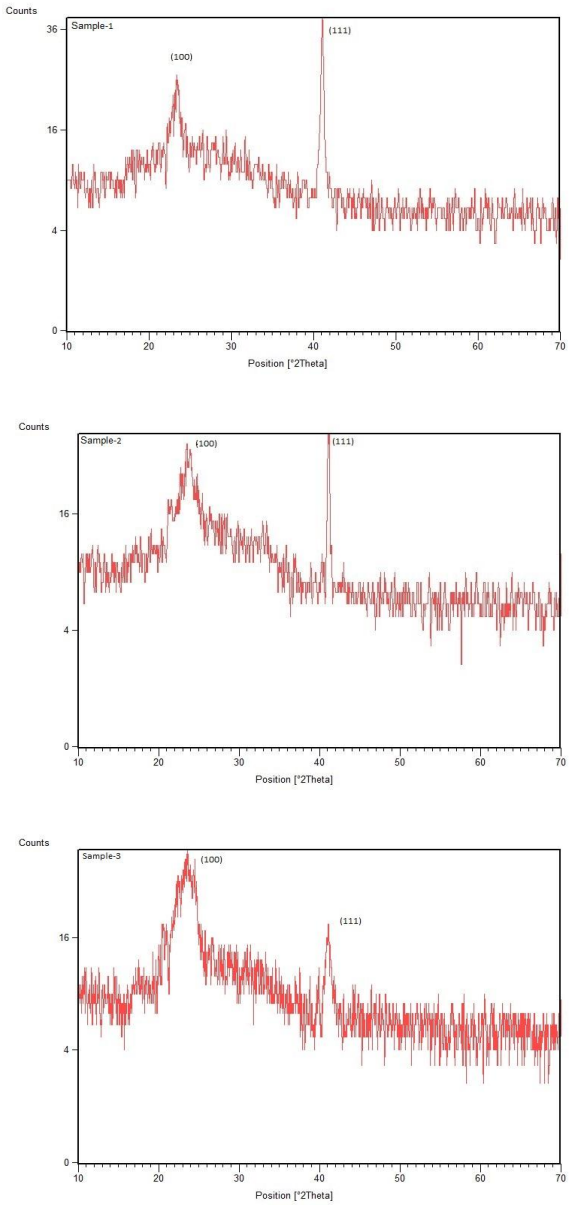
۳- یافته های تحقیق

۳-۱- بررسی ساختار نیترید مس با استفاده از تحلیل XRD

بررسی خواص ساختاری لایه‌های نازک نقش مهمی را در تعیین خواص این لایه‌ها، نوع فازها و ساختار بلورین مواد ایفا می‌کند. برای اندازه‌گیری این خصوصیات، روش‌های متعددی وجود دارد که ما در اینجا به روش پراش پرتو ایکسX-RD خواهیم پرداخت. شکل ۱ طیف‌های حاصله از پراکندگی پرتوایکس برای نمونه‌های تولید شده در این رساله می‌باشند. همان طور که دیده می‌شود نیترید مس تولیدی در تمام نمونه‌ها، دارای ماکزیمم پراکندکی در حوالی زاویه 2θ برابر ۴۱ درجه می‌باشد که این قله

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

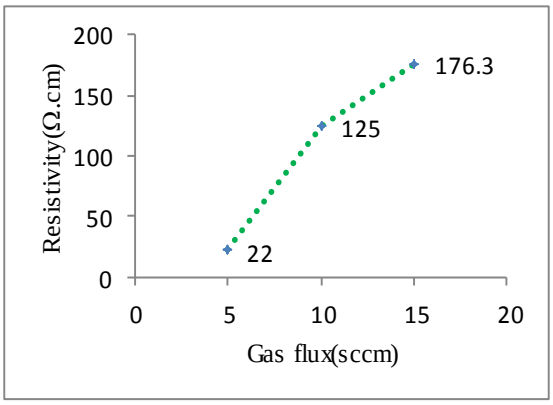
نشان‌دهنده صفحه با اندیس‌های میلر (۱ ۱ ۱) می‌باشد که با طیف پراکندگی حاصل از نیترید مس در نمونه‌های کار شده تطابق دارد[۱۵]. با افزایش شار نیتروژن ورودی قله‌ها به سمت ۲۳ درجه در حرکت می‌باشند یعنی صفحات بلوری (۰ ۰ ۱) در حال شکل گیری هستند در نتیجه از شدت قله در ۴۱ درجه کاسته شده و در ۲۳ درجه قله بعدی ظاهر خواهد شد و این بدین معنی است که ساختار نیترید مس رو به تکامل هست.



شکل ۱: طیف پراکندگی پرتو ایکس برای نمونه ها(به ترتیب افزایش شارنیتروژن از بالا به پایین)

۳-۲- بررسی مقاومت الکتریکی سطحی

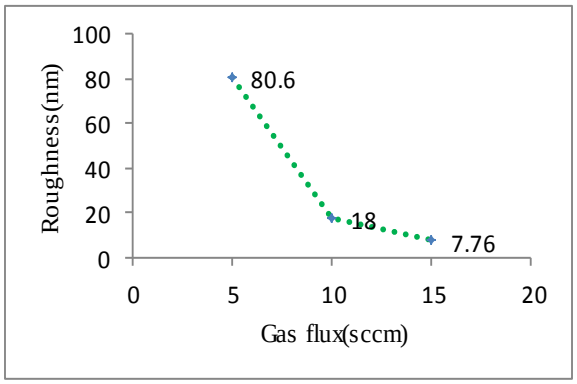
یکی دیگر از خواص سطحی لایه‌های نازک، مقاومت الکتریکی سطحی این مواد می‌باشد که برای اندازه‌گیری آن از یک مقاومت سنج چهار سوزنی استفاده می‌کنیم. همان طور که در نمودار ۱ مشاهده می شود مقاومت سطحی با افزایش شار نیتروژن ورودی در حال افزایش می باشد و این خود بیانگر این مطلب هست که لایه های نیترید مس که خاصیت نیمه هادی دارند در حال شکل گرفتن و تکامل یافتن می باشند (مقاومت سطحی نیترید مس از مس بیشتر می باشد).



نمودار ۱: روند تغییر مقاومت نمونه ها با افزایش شار نیتروژن

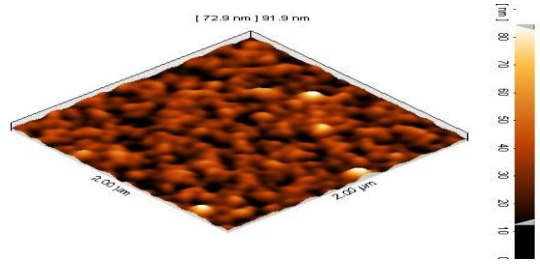
۳-۳- بررسی زبری سطح

یکی دیگر از خواص سطحی لایه‌های نازک، زبری می‌باشد که برای بررسی آن از دستگاه AFM (میکروسکوپ نیروی اتمی) استفاده می‌کنیم. عکس‌های سه بعدی از سطح این لایه‌ها در مقیاس ۲×۲ میکرومتری در شکل ۲ تهیه شده‌اند. این نقاط تاریک و روشن به ترتیب معرف فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌ها روی سطوح این لایه‌ها می‌باشند. نتایج بدست آمده از این اشکال نشان می دهند که زبری سطح با افزایش شار نیتروژن ورودی نسبت عکس دارد (نمودار ۲).

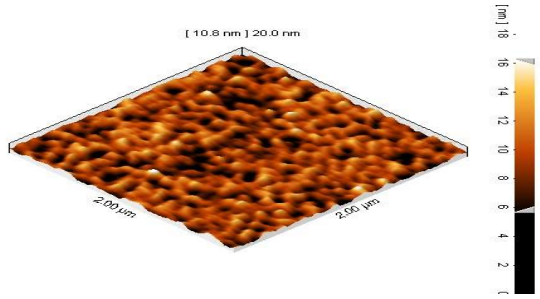


نمودار ۲- روند تغییر زبری نمونه ها با افزایش شار نیتروژن ورودی

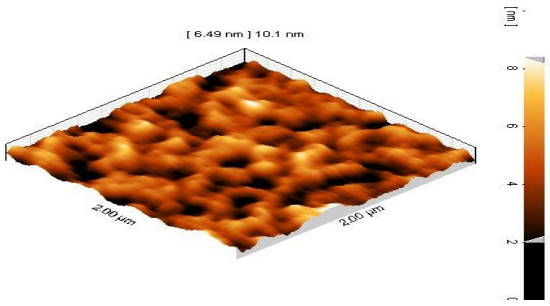
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]



نمونه اول



نمونه دوم



نمونه سوم

شکل ۲: تصاویر گرفته شده ازنمونه ها توسط دستگاه AFM

علت آن را می‌توان به این گونه توجیه کرد که در ابتدا چون شار ورودی کم است و تعداد اتم‌های مس که به زیر لایه می‌رسند بیشتر از اتم‌های نیتروژن فرودی می‌باشند هر یک از اتم‌های مس فرودی برروی زیرلایه، بیشتر تمایل دارند که بصورت جداگانه رشد بکنند یعنی تمایل کمتری برای هسته سازی داشته و بصورت کپه‌ای رشد پیدا کرده و در نتیجه باعث ایجاد زبری و ناهمواری بیشتری در ساختار لایه خواهند شد ولی با افزایش شار ورودی نیتروژن، پیوندهای بیشتری بین اتم‌های نیتروژن و مس بوجود آمده و در نتیجه فرآیند هسته سازی بر فرآیند رشد غالب خواهد بود. با گسترش این هسته‌ها بر روی زیرلایه و در نتیجه به هم پیوستگی این هسته‌ها، جزیره‌ها شکل گرفته و با ادامه دادن این فرآیند یک لایه بوجود خواهد آمد که از زبری کمتری نسبت به حالت‌های با شار پایین‌تر برخوردار خواهد بود.

۴- نتیجه گیری

با بررسی نمونه‌های تهیه شده در این آزمایش مشاهده کردیم که مقدار نیتروژن ورودی می‌تواند روی اکثر خواص فیزیکی ماده تأثیر مستقیم داشته باشد به گونه‌ای که با افزایش شار نیتروژن ورودی مقدار مقاومت سطحی ماده افزایش خواهد یافت. همچنین میزان زبری ماده بطور منظم یک روند نزولی را در پیش خواهد گرفت به این معنی که با افزایش شار نیتروژن ورودی، میزان زبری ماده کاهش و نمونه‌های تولید شده از سطوح هموارتری برخوردار خواهند بود. بنابراین میزان زبری ماده، رابطه عکس با مقدار شار نیتروژن ورودی خواهد داشت.

مراجع

[1] M. Asano, K. Umeda, A. Tasaki, Jpn. J. Appl. Phys 29 (1990) 1985.

[2] D.Y. Wang, N. Nakamine, Y. Hayashi, J. Vac. Sci. Technol., A, Vac. Surf. Films 16 (1998) 2084.

[3] T. Maruyama, T. Morishita, Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 890.

[4] Z.Q. Liu, W.J. Wang, T.M. Wang, S.K. Zheng, Thin Solid Films 325(1998) 55.

[5] T. Nosaka, M. Yoshitake, A. Okamoto, S. Ogawa, Y. Nakayama, Appl.Surf. Sci. 169 (2001) 358.

[6] L. Maya, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 282 (1993) 203.

[7] J. Blucher, K. Bang, Mater. Sci. Eng. A 117 (1989) L1.

[8] T. Maruyama, T. Morishita, J. Appl. Phys. 78 (1995) 4104.

[9] U. Hahn, W. Weber, Phys. Rev. B 53 (1996) 12684.

[10] J.F. Pierson, Vacuum 66 (2002) 59.

[11] K.J. Kim, J.H. Kim, J.H. Kang, J. Cryst. Growth 222 (2001) 767.

[12] D.M. Borsa, S. Grachev, C. Presura, D.O.Boerma, Appl. Phys. Lett.80 (10) (2002) 1823.

[13] D.M. Borsa, D.O. Boerma, Surf. Sci. 548 (2004) 95.

[14] N. Benjemaa, R. El. Abdi, E. Carvou; Eur. Phys. J. Appl. Phys., 49 (2010) 22906.

[15] X. M. Yuan, P. X. Yan, J. Z. Liu; Matter. Lett., 60 (2006) 1809.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]