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

طیف سنجی تابشی از پلاسمای آرگون – نیتروژن در کندوپاش مغناطیسی DC

گلشن خواص، سعید[۱]؛ قاسمی، سعید[۲]؛ کوهیان، عطاالله[۱]؛ قمی، حمید رضا[۲]

[۱]دانشکده فیزیک دانشگاه تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی، تهران

[۲] پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران

چکیده – در این کار اثر میزان نیتروژن موجود در محفظه و همچنین اثر گذشت زمان بر روی ویژگی های پلاسما وگونه های موجود در محفظه ی کندوپاش به وسیله طیف سنجی تابش اپتیکی تخلیه ی نورانی، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که ولتاژ پلاسما با افزایش زمان لایه نشانی کاهش می یابد. بررسی های حاصل از طیف سنجی در درصدهای مختلف نیتروژن موجود در محفظه لایه نشانی نشان دادند که با افزایش درصد نیتروژن، یونیزاسیون نسبی آرگون و تفکیک نسبی نیتروژن افزایش می یابد، درهمین حال یونیزاسیون نسبی نیتروژن اتمی و ملکولی کاهش می یابد. با افزایش زمان لایه نشانی یونیزاسیون نسبی آرگون، نسبت نیتروژن ملکولی به آرگون و تفکیک نسبی نیتروژن کاهش یافته ولی یونیزاسیون نسبی نیتروژن اتمی و ملکولی افزایش می یابد.

کلید واژه-تانتالوم نیتراید، طیف سنجی تابش، کندوپاش مغناطیسی، ولتاژ شکست.

Optical Emission Spectroscopy of Ar-N_2 plasma in DC magnetron sputtering

Golshan Khavas, Saeed[1]; Ghasemi, Saeed[2]; Koohian, Ataollah[1]; Ghomi, Hamid Reza [2]

[1] Department of Physics, University of Tehran, Tehran
[2] Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract- Effects of nitrogen percentage were investigated on plasma parameters and plasma species, also these parameters were investigated during the deposition time. Results showed that breakdown voltage increased with increasing percentage of nitrogen and plasma voltage decreased during the deposition time. OES results showed that with increasing nitrogen percentage, argon relative ionization and relative dissociation of nitrogen increased, while the relative ionization of nitrogen decreased. OES results also showed that the argon relative ionization, relative excitation of molecular nitrogen and relative dissociation of nitrogen decreased during the deposition time, conversely the relative ionization of nitrogen increased.

Keywords: Tantalum nitride, Optical Emission Specroscopy, magnetron sputtering, breakdown voltage.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-05-31]

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

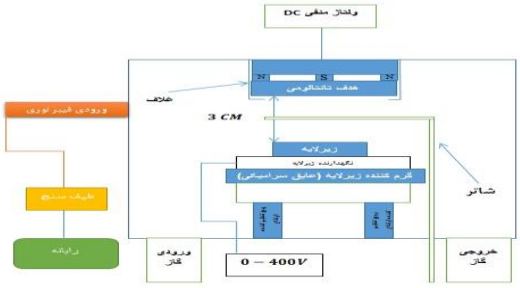
مقدمه

یکی از راههای تولید لایه های نازک تانتالوم نیتراید کندوپاش واکنشی است، که در آن علاوه بر گاز نجیب آرگون، گاز واکنشی نیتروژن نیز موجود می باشد. تانتالوم نیتراید به طور گسترده ای برای کاربردهای میکروالکترونیک مثل لایه ی سد انتشار بین فلز و سیلیکون [۱]، الکترودهای گیت [۲] و لایه های مقاوم در مقابل اکسیداسیون مس استفاده می شود[۳].

پلاسمای کندوپاش مگنترونی از نوع تخلیه ی الکتریکی نورانی می باشد که در اثر اعمال اختلاف پتانسیل بین الکترود های کاتد و آند در یک محفظه ی حاوی گاز آرگون و نیتروژن در فشار های کاری پایین به وجود می آید. یون های مثبت ایجاد شده توسط پلاسما در اثر اعمال میدان الکتریکی قوی به سمت کاتد شتاب گرفته و با بر خورد کردن به ماده ی کاتدی (تانتالوم) موجب آزاد شدن الکترون های ثانویه و اتم های ماده کاتدی می شوند. اتم های موجود در محیط گازی براثر برخورد با الکترون ها، برانگیخته شده و با گذار به ترازهای پایین تر اتمی منجر به تولید فوتون می شوند، این فوتون های گسیلی اساس طیف سنجی تابشی می باشند [۴]. در این مقاله اثر میزان نیتروژن موجود در محفظه و همچنین اثر گذشت زمان بر روی ویژگی های پلاسما وگونه های موجود در محفظه ی کندوپاش به وسیله طیف سنجی تابش اپتیکی تخلیه ی نورانی، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

چیدمان آزمایش

لایه های تانتالوم نیتراید برروی زیرلایه های فولادی به وسیله ی کندوپاش مگنترونی تخت DC بدون گرمایش خارجی و بایاس زیرلایه رشد می کنند. فاصله ی آند تا کاتد ۳ سانتی متر در نظر گرفته می شود. چیدمان دستگاه در شکل ۱ آمده است. تانتالوم مورد استفاده به عنوان هدف دارای خلوص ۹۹/۹۵٪می باشد و گاز کندوپاشی آرگون با خلوص ۹۹/۹۹۹٪ و گاز واکنشی نیتروژن با خلوص ۹۹/۹۹۹٪ در نظر گرفته شدند. فشار پایه در محیط ۵×۱۰^{-۵} میلی بار در نظر گرفته شد. قبل از لایه نشانی هدف و زیرلایه توسط پلاسما با فرآیند های جداگانه تمیز شدند.



شکل ۱ : چیدمان آزمایش

دمای ابتدایی زیرلایه ها، که براثر تمیزکاری با پلاسما بالا رفته بود، ۱۰۰ درجه ی سلیوس می باشد. لایه نشانی ها در فشار ۸×۱۰^{-۳} میلی بار، در توان ۵۰ وات و در مدت ۱ ساعت انجام شدند. لایه نشانی ها در نسبت های مختلف گاز نیتروژن به مخلوط گازی آرگون و نیتروژن، از ۵٪ تا ۲۵٪ انجام شدند. برای طیف سنجی از طیف سنج OCEAN OPTIC مدل HR 2000 استفاده شد و برای تحلیل داده های حاصل از طیف سنجی از پایگاه اطلاعاتی NIST استفاده گردید. برای بدست آوردن تحولات زمانی نمونه های فعال موجود در پلاسما هر یک دقیقه یک طیف ثبت گردید. سنسور فیبر نوری طیف سنج به عنوان جمع کننده ی نور گسیلی از پلاسما در پشت دیواره ی شیشه ای و در ارتفاعی قرار می گیرد که محدوده ی زیر کاتد را پوشش دهد. جهت جلوگیری از نشستن نمونه های فعال موجود در پلاسما بر روی دیواره داخلی محفظه از یک دیافراگم با قطر مناسب استفاده شد. از عوامل ایجاد کننده ی خطا در طیف سنجی میتوان به محفظه ی شیشه ای که جذب کننده ی امواج فرابنفش است اشاره کرد . طول موج های در نظر گرفته شده برای طیف سنجی در جدول ۱ آمده اند.

جدول ۱ : طول موج های در نظرگرفته شده در طیف سنجی.

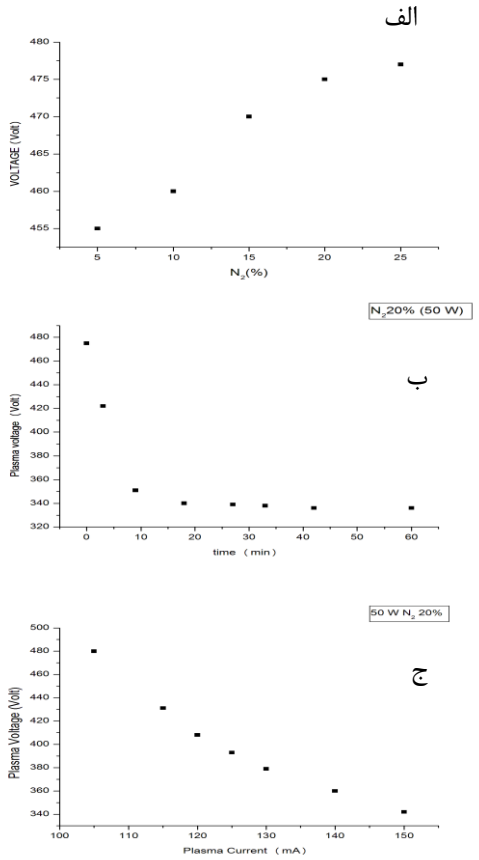
گونه	Ar	Ar^+	N_2	N_2^+	N^+	N
طول موج گسیلی (nm)	۷۶۳/۵	۴۷۶/۵	۳۵۷/۶	۴۷۰/۹	۳۹۹/۵	۷۴۶/۸

نتایج و بحث

در گام اول بررسی پلاسما ی کندوپاش نشان داد که با افزایش درصد نیتروژن موجود در محفظه ولتاژ شکست پلاسما افزایش پیدا می کند. شکل ۲ (الف) نشان دهنده

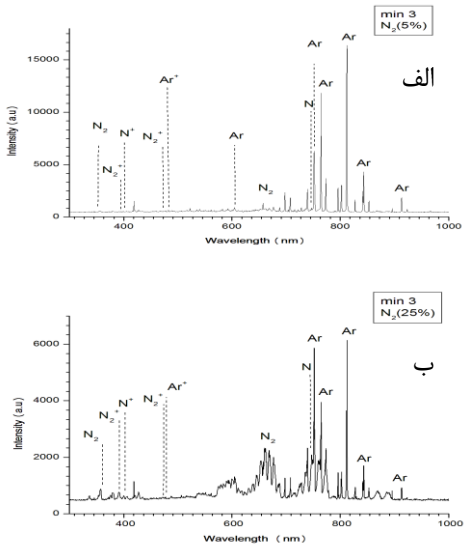
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-05-31]

ی ولتاژ پلاسما نسبت به درصد نیتروژن موجود در محفظه است. شکل ۲ (ب) نشان دهنده ی ولتاژ پلاسما در طول زمان لایه نشانی برای نمونه ی لایه نشانی شده در ۲۰٪ نیتروژن می باشد. همانطور که مشخص است با افزایش زمان لایه نشانی ولتاژ پلاسما کاهش پیدا می کند. برای ثابت نگه داشتن توان پلاسما در طول زمان لایه نشانی جریان لایه نشانی افزایش می یابد که روند آن در شکل ۲ (ج) آمده است.

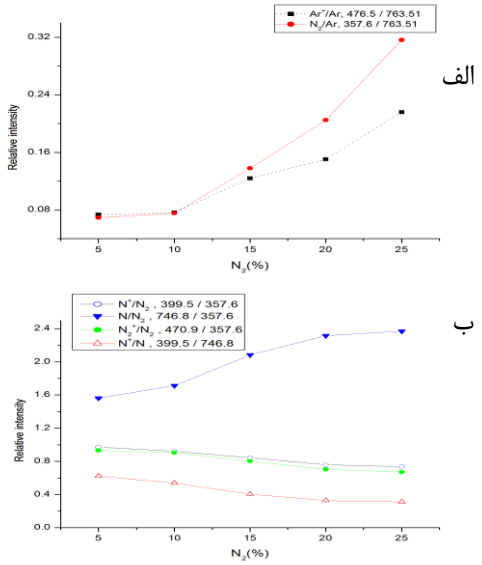


شکل ۲ : مشخصه های پلاسما الف: ولتاژ شکست برای درصد های مختلف نیتروژن ب: ولتاژ پلاسما نسبت به زمان در ۲۰٪ نیتروژن موجود در محفظه ج: ولتاژ بر حسب جریان در ۲۰٪ نیتروژن موجود در محفظه.

در گام بعدی طیف حاصل از طیف سنجی پلاسمای لایه نشانی تانتالوم نیترایدر در شکل ۳ آمده است. همانطورکه با مقایسه ی شکل ۳ (الف) و (ب) مشاهده می شود با افزایش درصد نیتروژن قله های مربوط به طیف نیتروژن افزایش و قله های مربوط به آرگون کاهش می یابد. پس از طیف سنجی پلاسمای آرگون و نیتروژن در نسبت های مختلف روند کاهش یا افزایش نسبت گونه ها در درصدهای مختلف نیتروژن بررسی شدند که نتایج آن در شکل ۴ آمده است.



شکل ۳ : طیف پلاسمای کندوپاش تانتالوم نیترایدر الف : در ۵٪ و ب : در ۲۵٪ نیتروژن در دقیقه سوم لایه نشانی را نشان می دهد.

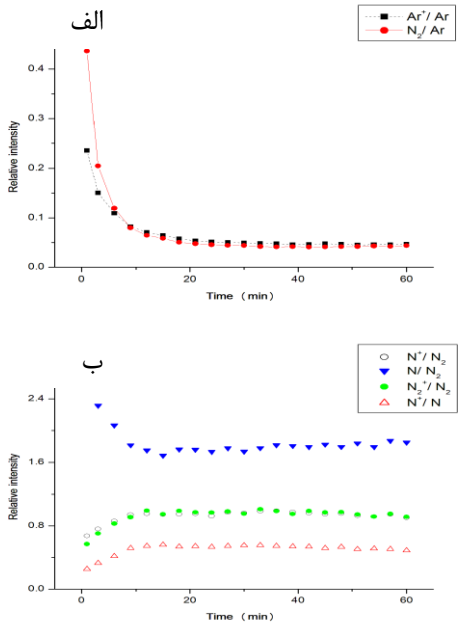


شکل ۴ : نتایج حاصل از طیف سنجی پلاسمای کندوپاش تانتالوم نیترایدر در دقیقه ی سوم لایه نشانی. الف : نمودار روند تغییرات نسبت آرگون یونیده به آرگون و نیتروژن ملکولی به آرگون در درصدهای مختلف نیتروژن ب : نمودار روند تغییرات نسبت نیتروژن اتمی و ملکولی یونیده به نیتروژن ملکولی، نیتروژن اتمی به نیتروژن ملکولی و نیتروژن اتمی یونیده به نیتروژن اتمی در درصدهای مختلف نیتروژن را نشان می دهد.

همانطورکه از شکل ۴ (الف) پیداست، نسبت آرگون یونیده (Ar^+) به آرگون (Ar) با افزایش درصد نیتروژن در پلاسمای کندوپاش (به ۷۵/ ۲ برابر) افزایش می یابد که این امر با توجه به کاهش قله های آرگون در میزان

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-05-31]

نیتروژن های بالا قابل انتظار است. همچنین نسبت نیتروژن ملکولی (N_2) به آرگون با افزایش درصد نیتروژن (به ۴ برابر) افزایش می یابد که این امر با توجه به افزایش نیتروژن در محفظه بدیهی به نظر می رسد. شکل ۴ (ب) نشان می دهد که با افزایش درصد گاز نیتروژن موجود در محفظه، نسبت نیتروژن اتمی (N) به نیتروژن ملکولی (N_2) (به ۱/۵ برابر) افزایش یافته ولی نسبت نیتروژن ملکولی یونیده (N_2^+) به نیتروژن ملکولی (به ۰/۷ برابر) و نسبت نیتروژن اتمی یونیده (N^+) به نیتروژن ملکولی و اتمی (به ترتیب به ۰/۷ و ۰/۵ برابر)کاهش می یابند که این امر ناشی از غلبه افزایش تفکیک نیتروژن نسبت به کاهش یونیزاسیون نیتروژن در میزان نیتروژن بیشتر است. جالب توجه است که نیتروژن ملکولی یونیده و نیتروژن اتمی یونده کاملاً روند یکسانی را نشان می دهند.



شکل ۵: نتایج حاصل از طیف سنجی پلاسمای کندوپاش تانتالوم نیتراید در نسبت نیتروژن ۲۰٪ در طول زمان لایه نشانی الف : نمودار روند تغییرات نسبت آرگون یونیده به آرگون و نیتروژن ملکولی به آرگون نسبت به زمان کندوپاش ، ب : نمودار روند تغییرات نسبت نیتروژن اتمی و ملکولی یونیده به نیتروژن ملکولی، نیتروژن اتمی به نیتروژن ملکولی و نیتروژن اتمی یونیده به نیتروژن اتمی نسبت به زمان کندوپاش را نشان میدهد.

شکل۵ تغییرات گونه های مختلف در نسبت نیتروژن ۲۰ ٪ را در طول زمان لایه نشانی نشان می دهد. همانطورکه از نمودار پیداست نسبت آرگون یونیده (Ar^+) به آرگون (Ar) با افزایش زمان کندوپاش (به ۰/۲ برابر) کاهش یافته و همچنین نسبت نیتروژن ملکولی (N_2) به آرگون با افزایش زمان کندوپاش (به ۰/۱۱ برابر)کاهش می یابد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش زمان نسبت نیتروژن اتمی (N) به نیتروژن ملکولی (N_2) (به ۰/۶برابر)کاهش یافته ولی نسبت نیتروژن های ملکولی یونیده (N_2^+) به نیتروژن ملکولی (به ۱/۸ برابر) و نسبت نیتروژن اتمی یونیده (N^+) به نیتروژن ملکولی و اتمی (به ترتیب به ۱/۸ و ۱/۶ برابر) افزایش می یابند که در کل نمایانگر افزایش یون ها نسبت به اتم ها و ملکول های برانگیخته در طی زمان است که ناشی از چگال شدن پلاسما در طول زمان است، که این امر موجب افت ولتاژ پلاسما در طی زمان کندوپاش می شود، این مطلب به وضوح در شکل ۲ (ب) دیده می شود.

نتیجه گیری

مشاهدات نشان داد که ولتاژ شکست با افزایش درصد نیتروژن موجود در محفظه افزایش یافته و همچنین ولتاژ پلاسما با افزایش زمان لایه نشانی کاهش می یابد.

بررسی های حاصل از طیف سنجی تابش اپتیکی تخلیه ی نورانی از پلاسمای مخلوط آرگون و نیتروژن در درصدهای مختلف نیتروژن موجود در محفظه لایه نشانی نشان دادند که با افزایش درصد نیتروژن، یونیزاسیون نسبی آرگون و تفکیک نسبی نیتروژن افزایش یافته در مقابل یونیزاسیون نسبی نیتروژن اتمی و ملکولی کاهش می یابد. همچنین با افزایش زمان لایه نشانی یونیزاسیون نسبی آرگون، نسبت نیتروژن ملکولی به آرگون و تفکیک نسبی نیتروژن کاهش یافته ولی یونیزاسیون نسبی نیتروژن اتمی و ملکولی افزایش می یابد.

مراجع:

[۱] K.-H. Min, K.-C. Chun, and K.-B. Kim, *J. Vac. Sci. Technol.* B **14** (1996) 3263-3269.
[۲] S. Gopalan, K. Onishi, R. Nieh, C.S. Kang, R. Choi, H.-J. Cho, S. Krishnan, and J.C. Lee, *Appl. Phys. Lett.* **80** (2002) 4416-4418.
[۳] J.-C. Chuang and M.-C. Chen, *J. Electrochem. Soc.* **145** (1998) 3170- 3177.
[٤] س. قاسمی، ع. حیدرنیا، ح.ر. قمی، *طیف سنجی تابشی از پلاسمای کندوپاش مغناطیسی تیتانیوم نیترید*، **هفدهمین کنفرانس انجمن اپتیک و فوتونیک ایران**، ۱۳۸۹.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-05-31]