مقاله نامه ششمین کنفرانس ملّی خلأ ایران
دانشگاه شهید چمران اهواز
۱۶ و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲

لایه‌نشانی کندوپاش با کاتد مگنترون استوانه‌ای

صالحی، مریم[۱]؛ زواریان، علی اصغر[۱]؛ قطبی، سیدمحمدجمال[۱]
[۱]جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، تهران

چکیده

برای لایه‌نشانی داخل سطوح استوانه‌ای روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از بهترین آنها لایه‌نشانی کندوپاش با استفاده از کاتد استوانه‌ای است. در این پژوهش برای اولین‌بار با استفاده از یک کاتد کندوپاش استوانه‌ای جریان مستقیم با مگنترون ثابت، داخل یک استوانه از جنس استیل، لایه‌ای از مس با نرخ لایه‌نشانی ۳ نانومتر بر ثانیه نشانده شد. **در این آزمایش از یک استوانه مسی با قطر مناسب به عنوان کاتد استفاده گردید. استوانه استیل در فاصله معین و هم‌مرکز با آن قرار داده شد. (متوسط میدان مغناطیسی اعمالی در مرکز استوانه در حدود ۲۰۰ گوس بوده است. فشار اولیه محفظه برابر $۶/۷\times۱۰^{-۵}$ میلی‌بار و فشار گاز آرگون در طول آزمایش ثابت و برابر $۱/۱\times۱۰^{-۲}$ میلی بار بود.)**

در این مقاله ابتدا فیزیک و عملکرد کندوپاش استوانه‌ای به اختصار بیان شده است. پس از آن روش آزمایش و نتایج تجربی لایه‌نشانی با استفاده از کاتد استوانه‌ای ساخته شده آورده شده و در پایان نتیجه‌گیری ارائه گردیده است.

Thin Film Deposition by Cylindrical Sputtering Cathode

Salehi, Maryam[1]; Zavarian, Ali Asghar[1], Ghotbi, S. M. Jamal[1]
[1]ACECR, Sharif University Branch

Abstract

There are some methods to deposit thin films on the internal walls of cylindrical bodies which the best of them is a cylindrical sputtering cathode. In this research, for the first time we have used a cylindrical un-cooled cathode with constant outside magnetron to deposit a thin copper film on the internal wall of a steel cylinder. The rate of deposition was 30 A/Sec. In this experiment, a cylindrical copper bar with suitable diameter used as the cathode and steel hallow cylinder concentric to it as the anode. The base pressure was 6.7×10^{-5}mbar and the Argon pressure constant at 1.1×10^{-2} mbar throughout the experiment. In this paper, first the physics of cylindrical sputtering is described in brief and then the experiment of thin film deposition by cylindrical magnetron cathode and its results are explained. Finally the conclusions are expressed.

مقدمه

پیشرفت‌های گسترده‌ای که در فناوری ساخت لایه‌های نازک روی داده است باعث شده این فناوری در بخش‌های مختلف صنعت در مقیاس بیشتری مورد استفاده قرارگیرد. لایه‌نشانی به‌روش کندوپاش[۱] در خلأ یکی از روش‌هایی است که به علت خلوص و چسبندگی بالای لایه و کیفیت خوب آن، از اهمیت خاصی برخوردار است. از این روش در ایجاد ساختارهای نانویی، ساخت مواد ابررسانا، فیلترها و اجزای نوری[۲] و سایر زمینه‌های پژوهشی و صنعتی استفاده می شود. یکی دیگر از کاربردهای لایه نشانی به روش کندوپاش که در صنایع خودروسازی و نظامی مورد استفاده قرار می‌گیرد، لایه‌نشانی بر روی قطعات به منظور جلوگیری از خوردگی مکانیکی آنهاست که بخش مهمی از دانش فیزیک سطح است. به این منظور با ایجاد لایه نازکی از مواد مقاوم در برابر خوردگی مکانیکی مثل نیترید تیتانیوم و تانتالیوم یا ترکیباتی از عناصر مختلف مثل Al_xSn_yCu بر روی قطعه موردنظر، مقاومت مکانیکی و طول عمر آنرا افزایش می دهند[۱].

Archive of SID
www.SID.ir

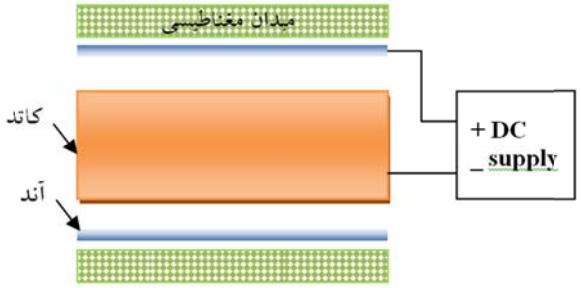
برای لایه‌نشانی روی زیرآیندهای مسطح[۳] از کاتد تخت[۴]استفاده می‌شود. اما این کاتدها برای ایجاد لایه روی سطوح داخلی اجسام استوانه‌ای مناسب نیستند، زیرا به‌علت اختلاف فاصله نقاط مختلف سطح زیرآیند از کاتد تخت، لایه‌نشانی به‌صورت یکنواخت صورت نمی‌گیرد. برای لایه‌نشانی بر روی این سطوح، از کاتد استوانه‌ای استفاده می‌شود مانند ساخت آینه‌های خورشیدی[۳-۱].

فیزیک و عملکرد کندوپاش استوانه‌ای

مانند سایر روش‌های لایه‌نشانی فیزیکی تحت خلا، روش کندوپاش نیز شامل جداکردن یونهای ماده هدف[۵] از سطح آن و انتقال آن‌ها به زیرآیند وتشکیل لایه نازک روی آن است. در روش کندوپاش، با بمباران و برخورد یون‌های مثبت پر انرژی یک گاز نادر مانند آرگون به سطح هدف که دارای پتانسیل منفی است، اتم-ها یا مولکول‌های آن از سطح جدا شده و به بیرون پرتاب می-شوند. زیرآیند دارای ولتاژ مثبت بوده و در واقع نقش آند را داراست و لایه‌ای از جنس هدف روی آن انباشت می‌شود. برای لایه‌نشانی بر روی سطوح قوس‌دار و استوانه‌ای، کاتد باید به شکل استوانه طراحی شود. در این روش کاتد را هم‌محور با زیرلایه قرار می‌دهند.

به علت فشار کاری پایین محفظه که در محدوده 10^{-2} میلی بار قرار دارد، استفاده از میدان مغناطیسی برای افزایش چگالی پلاسما در مقابل سطح هدف الزامی است. روش‌های مختلفی برای اعمال میدان مغناطیسی وجود دارد، که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ایجاد میدان مغناطیسی چندصد گاوسی در سطح هدف با استفاده از عبور جریان بالا از یک سیم مسی که از داخل هدف استوانه ای می گذرد.
- ایجاد چند قطبی مغناطیسی با استفاده از آهنربا در داخل و یا خارج هدف.
- ایجاد چند قطبی مغناطیسی با استفاده از آهنربا در خارج زیرآیند.
- ایجاد میدان مغناطیسی قوی با استفاده از یک آرایه استوانه‌ای آهنربای دائمی یا الکتریکی در فضای خارج زیرآیند[۳-۱].



شکل ۱: طرحواره کندوپاش استوانه ای

در شکل ۱ طرحواره ساده‌ای از کندوپاش استوانه‌ای با اعمال میدان مغناطیسی محوری در خارج زیرآیند نشان داده شده است. طول استوانه کاتد تاثیر کمی بر روی عملکرد آن دارد. درعوض فاصله کاتد و آند بسیار مهم است[۱و۲].

در این مقاله این نوع آرایه مغناطیسی طراحی و مورد استفاده قرار گرفت.

چیدمان آزمایش و نتایج تجربی

در این پژوهش با طراحی و ساخت یک چیدمان آزمایشگاهی ساده و انجام آزمون‌های مختلف، لایه‌نشانی به روش کندوپاش مگنترون با استفاده از یک کاتد استوانه‌ای مسی، بر روی زیرآیند استوانه‌ای از جنس استیل انجام گرفت.

برای انتخاب فاصله مناسب بین کاتد و آند آزمایشات مختلفی انجام شد و در نهایت برای دستیابی به پلاسمایی با چگالی مناسب کاتد و آند به صورت زیر انتخاب شد.

کاتد یک میله مسی توپر به ارتفاع ۵۰ میلی‌متر و زیرلایه یک لوله استوانه‌ای از جنس استیل بود. قطر بیرونی مجموعه ۶۲ و ارتفاع آن ۵۰ میلی متر بود(شکل ۲، سمت چپ).

شکل ۲: اجزای زیرسامانه کندوپاش استوانه ای

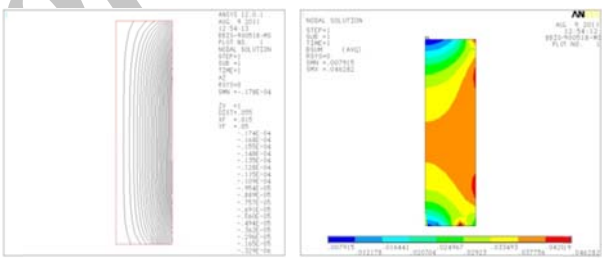
برای ایجاد میدان مغناطیسی محوری در خارج زیرآیند، از یک مجموعه آهنربای دائمی استفاده شد. مجموعه آهنربا شامل یک آرایه ازآهنرباها از جنس NdFeB با درجه N35 بود که درون یک

Archive of SID
www.SID.ir

قاب مناسب در ۱۲ ردیف قرار داده شدند (شکل۲، سمت راست). شدت میدان مغناطیسی قبل و بعد از انجام آزمایش در چند نقطه در اطراف این مجموعه با استفاده از تسلامتر اندازه‌گیری شد. مشاهده گردید که علیرغم افزایش قابل توجه دمای مجموعه آهنرباها، تغییری در شدت میدان آن ایجاد نشد. مقدار بیشینه شدت میدان روی سطح آهنرباهای بالا ۱۱۱۰ گاوس بود.

برای انتخاب این آرایه، میدان مغناطیسی مجموعه با استفاده از نرم افزار ANSYS شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که روی محور استوانه آند، کمینه چگالی شار مغناطیسی حدود ۷۹ گاؤس و بیشینه آن نیز بیش از ۳۷۷ گاؤس است. اندازه‌گیری با تسلامتر برروی قطعه ساخته شده مقدار این کمیت را بیش از ۲۰۰ گاوس نشان داد که با متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده هم‌خوانی داشت.

مجموعه کاتد و زیرلایه به‌صورت هم‌محور داخل این آرایه مغناطیسی و کل مجموعه بر روی صفحه کار سامانه خلأ قرار داده شدند (شکل۳).



شکل ۳: راست: نمایش کانتوری چگالی شار مغناطیسی چپ: نمایش کانتوری خطوط شار در مدل آهنربای دائمی و در فضای درونی آند

برای ایجاد خلأ نهایی ($۶/۷\times۱۰^{-۵}$mbar) از سامانه خلأ بالای EDS100 مجهز به پمپ انتشاری[6]استفاده شد(شکل ٤). فشار کار توسط جریان گاز آرگون در محدوده$۱۰^{-۲}$ میلی‌بار تنظیم گردید. از یک منبع تغذیه جریان مستقیم ۱ کیلو ولت برای ایجاد تخلیه الکتریکی، استفاده شد. در فشار $۱/۱\times۱۰^{-۲}$ ولتاژ منبع تغذیه درمحدوده ۵۰۰ ولت تنظیم گردید. با تغییر رنگ پلاسما از بنفش به سبز، لایه نشانی آغاز و با نرخی در حدود ۳ نانومتر بر ثانیه ادامه یافت. پس از ۱۵ دقیقه لایه‌نشانی در حالت نسبتا پایدار، لایه‌ای به ضخامت ۲/۷ میکرون ایجاد شد.

شکل٤: محفظه لایه نشانی در آغاز فرآیند

نتیجه‌گیری

دراین آزمایش علیرغم نبود سامانه خنک‌سازی، گرمای ایجاد شده در کاتد و اختلال حاصل از آن، مانع از کارپیوسته کاتد نبود. با طراحی بهینه آرایه مغناطیسی بازدهی، نرخ لایه‌نشانی و چسبندگی لایه در حد قابل قبولی بدست آمد. به علاوه در این پژوهش تأئید شد که فاصله کاتد و آند در تشکیل پلاسما و بازدهی سامانه نقش اساسی دارد. در نهایت باید اضافه کرد که برای استفاده در توان-های بالاتر و کارائی بیشتر طراحی آبگرد و تعیین فاصله بهینه کاتد و آند اجتناب ناپذیر است.

مرجع‌ها

[1]Bhavin Shah, *"Depositionof Tantalumon Steelby Sputtering"*, MS Thesis, New Jersey Institute of Technology.

[2]David A. Glocker&etal.*"Recent developments in inverted cylindrical magnetron sputtering"*,Surface and Coatings Technology 146 –147 (2001).

[۳] ضرغام اسداللهی، پروین بلاش آبادی، عبدالجواد نوینروز، محمد رضا قاسمی،« طراحی و ساخت دستگاه کندوپاش مغناطیسی جریان مستقیم با دو تارگت استوانه ای » هفتمین سمینار ملی مهندسی سطح و عملیات حرارتی(۱۳۸۵)

[1]Sputtering
[2]Optical Components
[3]Planar Substrates
[4]Planar Cathodes
[5]Target
[6]Diffusion

Archive of SID
www.SID.ir