



دانشکده فیزیک

گروه حالت جامد و الکترونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک

عنوان:

تهیه فیلم های نازک **TiAlN** به روش کندوپاش مگنترونی واکنشی و بررسی
خواص الکتریکی و ساختاری آنها

استاد راهنما:

دکتر حسن بیدادی - دکتر مجتبی پرهیزکار

استاد مشاور:

مهندس فرامرز هادیان

پژوهشگر:

سیما مطلبزاده

شهریور ۱۳۸۹



تقدیم به مقدسترین واژه‌های زندگیم

مادرم پیاس مهربانی اش، دعا‌های شبانه اش

پدرم پیاس بردباری اش، پندهای حکیمانه اش

آنان که وجودم برای آنان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر.

توانشان رفت تا به توانایی برسم و مویشان سپیدگشت تا رویم سپید بماند.

آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه‌های جاودانی من است.

آنانکه راستی قائم در سنگتی قاتشان تجلی یافت، در برابر وجودشان زانوی ادب بر زمین می‌نهم و بادلی ملو از عشق و محبت و خضوع بر قلبشان

بوسه می‌زنم.

به نام توای مینای داو و ای توانای بی باور

سپاس و تشکر بیکران تو را که توان و بهتمم هدیه کردی تا قدم در این راه گذارم و یاریم نمودی تا به اینجا رسم. پروردگارا مرا مدد کن تا دانش اندکم نه زردانی باشد برای فزونی تکبر و غرور، نه حلقه ای برای اسارت و نه دستمایه ای برای تجارت، بلکه گامی باشد برای تجلی انسانیت و متعالی ساختن زندگی خود و دیگران.

آموخته هایم را دیدون همه عزیزانی هستم که در این راه کلمه کردند و به من آموختند. در این میان پس از سپاس از پدر و مادر عزیزم و خانواده گرامی ام بخاطر حمایت ها و زحمات فراوان، بر خود لازم می دانم که قدر دان کسانی باشم که به نوعی در پیشرفت و موفقیت من موثر بودند، و تقدیر و تشکر کنم از:

استاد که تقدیرم جناب آقای دکتر حسن بیدادی که در انجام و پیشبرد این پایان نامه مرایاری نمودند.

استاد گرامی جناب آقای دکتر محبتی پرمیرکار و جناب آقای مهندس فرامرزه دیان که در انجام این پایان نامه از راهمائی ایشان بهره مند شدم.

استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد حسین حکمت شعار که داوری این پایان نامه را تقبل کردند.

بخش XRD دانشکده فیزیک دانشگاه تبریز.

آزمایشگاه لیزر پرتو سگده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی.

دوست و هم اتاقی بسیار مهربانم خانم نایه حاجی پور.

همکلاسی هایم آقایان محسن کنجی و سهیل طاهری.

و دوستان عزیزم خانم بهارک محمدزاده، فاطمه مالکی، ایران صیدی و اکرم مهدی زاده و سایر دوستانی که به همراه مرایاری نمودند.

نام خانوادگی: مطلب زاده

نام: سیما

عنوان پایان نامه: تهیه فیلم های نازک $TiAlN$ به روش کندوپاش مگنترونی واکنشی و بررسی خواص الکتریکی و ساختاری آنها

اساتید راهنما: دکتر حسن بیدادی _ دکتر مجتبی پرهیزکار

استاد مشاور: مهندس فرامرز هادیان

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: فیزیک گرایش: حالت جامد و الکترونیک

دانشگاه: تبریز دانشکده: فیزیک تاریخ فارغ التحصیلی: تابستان ۱۳۸۹ تعداد صفحه: ۱۳۶

چکیده:

کاربرد لایه های نازک نه تنها در اتصال قطعات منفرد به یکدیگر بلکه همچنین در تهیه خود قطعات اعم از فعال و نافعال، امکانات جدید میکروریزه شدن را فراهم آورده است. این امر از آنجا ناشی می شود که یکی از ابعاد (از دیدگاه ماکروسکوپی) تقریباً صفر است، و ضخامت عنصر تنها با ضخامت زیرلایه که فرآیند انباشت روی آن انجام می گیرد، تعیین می شود.

لایه های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد با شیوه های متفاوتی از جمله نهشت به کمک باریکه یونی، رونهشتی باریکه مولکولی، نهشت به روش تبخیر و کندوپاش مگنترونی واکنشی RF و DC لایه نشانی می شوند. در میان تکنیک های کندوپاش، کندوپاش مگنترونی DC تکنیکی صنعتی تر محسوب می شود.

زیرا این روش، برای رشد فیلم ها بر روی سطوح بزرگ زیرلایه با نرخ های نهشت بالا و دمای پایین زیرلایه و کنترل در ترکیب شیمیایی فیلم مناسب می باشد. در سال های اخیر، مطالعه روی لایه های نازک TiN بسیار گسترده شده است. این لایه ها کاربردهای زیادی را در صنعت میکروالکترونیک به خاطر پایداری گرمایی بالا و مقاومت الکتریکی پایین، به خود اختصاص داده اند. اما چون لایه های نازک TiN در دمای بالای ۸۷۳ درجه کلون اکسیده می شوند و سختی خود را از دست می دهند، از این رو برای ابزار برنده با سرعت بالا و خشک مناسب نمی باشند، بنابراین از $TiAlN$ که سختی بالا، مقاومت اکسایشی بسیار عالی و پایداری شیمیایی بالاتری را در دماهای بالا نشان می دهد استفاده می شود، بعلاوه پایین بودن رسانندگی گرمایی $TiAlN$ این امکان را پدید می آورد که ابزار برنده با سرعت عمل بیشتری عمل برش را انجام دهند.

در این کار تجربی، لایه‌های نازکی از تیتانیوم آلومینیوم نیتريد با استفاده از کندوپاش مگنترونی واکنشی DC تحت شرایط متفاوت بر روی زیرلایه‌های شیشه‌ای تهیه و برخی از خواص فیزیکی مانند خواص ساختاری، الکتریکی و مکانیکی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. خصوصیات ساختاری فیلم‌ها بوسیله پراش پرتو $X(XRD)$ ، خصوصیات الکتریکی بوسیله دستگاه چهارسوزنی و خصوصیات مکانیکی شامل اندازه‌گیری سختی فیلم‌ها بوسیله سختی سنج ویکرز بررسی گردید. آنالیز پراش پرتو X نشان می‌دهد که تیتانیوم آلومینیوم نیتريد دارای دو نوع ساختار بلوری می‌باشد و سمت‌گیری بلوری به شدت از فلوی گاز نیتروژن، دمای زیرلایه و توان تخلیه تأثیر می‌پذیرد. اندازه دانه‌های تیتانیوم آلومینیوم نیتريد از مرتبه نانومتر است و قویاً به فلوی گاز نیتروژن، دمای زیرلایه و توان تخلیه وابسته می‌باشد. نرخ نهشت با افزایش دمای زیرلایه و توان تخلیه، افزایش و با افزایش فلوی گاز نیتروژن کاهش می‌یابد. مقاومت ویژه الکتریکی فیلم‌های تیتانیوم آلومینیوم نیتريد به فلوی گاز نیتروژن، دمای زیرلایه و توان تخلیه وابسته می‌باشد و با افزایش فلوی گاز نیتروژن، افزایش و با افزایش دمای زیرلایه کاهش می‌یابد. میکروسختی فیلم‌ها نیز به فلوی گاز نیتروژن، دمای زیرلایه و توان تخلیه وابسته می‌باشد و با افزایش دمای زیرلایه افزایش می‌یابد.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول: بررسی منابع و پیشینه پژوهش

۱-۱- مقدمه	۵
۲-۱- تعریف لایه نازک	۵
۳-۱- روش‌های تهیه لایه‌های نازک	۶
۱-۳-۱- روش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی	۶
۱-۱-۳-۱- نهشتن به روش الکترولیز در کاتد	۶
۲-۱-۳-۱- انباشت بدون الکتروود	۷
۳-۱-۳-۱- اکسایش آندی (رونشانی الکترولیتی آندی)	۷
۴-۱-۳-۱- انباشت به روش بخار شیمیایی (CVD)	۷
۵-۱-۳-۱- رونشست فاز مایع (LPE)	۹
۲-۳-۱- روش‌های فیزیکی	۹
۱-۲-۳-۱- روش تبخیر حرارتی	۹
۲-۲-۳-۱- روش روکش کاری یونی	۱۳
۳-۲-۳-۱- روش کندوپاش	۱۴
۴-۱- اصول تخلیه الکتریکی	۱۵
۱-۴-۱- تخلیه	۱۵
۲-۴-۱- تخلیه الکتریکی در میدان مغناطیسی	۲۰
۳-۴-۱- مدهای تخلیه نورانی در میدان مغناطیسی عرضی	۲۱
۴-۴-۱- پلاسما در یک تخلیه نورانی	۲۳
۵-۱- فیزیک پلاسما	۲۴
۶-۱- کندوپاش	۲۶
۱-۶-۱- اصول کندوپاش دیودی	۲۹
۲-۶-۱- محصول کندوپاش	۳۲
۳-۶-۱- تنوعی از نتایج و اثرات کندوپاش	۳۵

۳۸	۷-۱- مکانیسم تشکیل لایه‌های نازک.....
۳۹	۱-۷-۱- مدهای رشد.....
۴۰	۲-۷-۱- مراحل رشد.....
۴۱	۱-۲-۷-۱- جذب فیزیکی.....
۴۱	۲-۲-۷-۱- تشکیل خوشه.....
۴۲	۳-۲-۷-۱- هسته‌سازی.....
۴۲	۴-۲-۷-۱- تشکیل جزیره.....
۴۳	۵-۲-۷-۱- انعقاد.....
۴۳	۶-۲-۷-۱- تشکیل حفره‌ها و کانال‌ها.....
۴۵	۳-۷-۱- انعقاد خوشه‌ها و تهی‌سازی.....

فصل دوم: مواد و روشها

۵۰	۱-۲- مقدمه.....
۵۱	۲-۲- تیتانیوم آلومینیوم نیتريد.....
۵۴	۳-۲- سیستم‌های کندوپاش.....
۵۵	۱-۳-۲- کندوپاش دیودی DC
۵۸	۲-۳-۲- کندوپاش کاتدی سه قطبی (تریودی).....
۵۹	۳-۳-۲- کندوپاش دیودی RF
۶۳	۴-۳-۲- کندوپاش واکنشی.....
۶۴	۱-۴-۳-۲- اثرات پسمانی.....
۶۵	۲-۴-۳-۲- معیار چیلر برای کندوپاش واکنشی DC
۶۶	۳-۴-۳-۲- مدل‌بندی کندوپاش واکنشی.....
۶۹	۴-۴-۳-۲- نرخ‌های نهشت فیلم و عنصرسنجی.....
۷۰	۵-۳-۲- کندوپاش مگنترونی.....
۷۲	۶-۳-۲- انواع مختلف مگنترون.....
۷۲	۱-۶-۳-۲- مگنترون تخت.....
۷۴	۲-۶-۳-۲- مگنترون استوانه‌ای تأخیری.....
۷۵	۷-۳-۲- تنوعی از فرآیندهای کندوپاش مگنترونی.....

۷۵	۱-۷-۳-۲- کندوپاش مگترونی نامتوازن.....
۷۷	۲-۷-۳-۲- مگترونهاى دوگانه.....
۷۷	۳-۷-۳-۲- کندوپاش مگترونی واکنشی.....
۷۹	۸-۳-۲- نگرانی‌های کندوپاش مگترونی.....
۸۰	۴-۲- جنبه‌های عملی سیستم‌های کندوپاش.....
۸۱	۱-۴-۲- هدف (کاتد).....
۸۲	۲-۴-۲- زیرلایه‌ها.....
۸۲	۱-۲-۴-۲- انواع زیرلایه.....
۸۳	۲-۲-۴-۲- آماده‌سازی زیرلایه‌ها.....
۸۵	۳-۴-۲- سیستم‌های خلأ.....
۸۵	۱-۳-۴-۲- پمپ‌های تخلیه.....
۸۸	۲-۳-۴-۲- فشارسنج‌ها برای اندازه‌گیری فشار.....
۹۰	۴-۴-۲- گازها.....
۹۱	۵-۴-۲- نهشت فیلم از طریق ماسک‌ها.....
۹۲	۶-۴-۲- ژنراتورها.....
۹۲	۷-۴-۲- گرم کننده زیرلایه.....
۹۲	۵-۲- بررسی خواص فیزیکی لایه‌های نازک.....
۹۲	۱-۵-۲- خصوصیات ساختاری.....
۹۶	۲-۵-۲- خصوصیات الکتریکی.....
۹۶	۱-۲-۵-۲- مقاومت ویژه (ρ).....
۹۸	۳-۵-۲- سختی.....
۱۰۱	۱-۳-۵-۲- دستگاه تعیین سختی.....
۱۰۲	۲-۳-۵-۲- شرح کار دستگاه تعیین سختی.....
۱۰۳	۶-۲- توصیف سیستم کندوپاش پلاسمایی استفاده شده.....

فصل سوم: نتایج و بحث

- ۱-۳- بررسی نحوه تغییر فاز بی‌شکل به فاز بلوری در فیلم‌های تیتانیوم آلومینیوم نیتريد ($TiAlN$) و تعیین نوع فازها با تغییر شرایط نهشت بوسیله تحلیل XRD ۱۰۹

- ۲-۳- تخمین اندازه دانه در فیلم‌های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد بوسیله تحلیل XRD ۱۱۹
- ۳-۳- تحلیل تغییرات نرخ نهشت بر حسب تغییرات شرایط نهشت. ۱۲۲.....
- ۴-۳- اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی و مقاومت الکتریکی فیلم‌های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد با تغییر شرایط نهشت. ۱۲۴.....
- ۵-۳- بررسی سختی فیلم‌های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد با تغییر شرایط نهشت. ۱۲۹.....
- پیشنهادات. ۱۳۲.....
- منابع. ۱۳۳.....

فهرست شکل‌ها

فصل اول: بررسی منابع و پیشینه پژوهش

- شکل (۱-۱)- سیستم CVD ۸
- شکل (۲-۱)- الف (تبخیر آبی، ب (تبخیر به روش قوس الکتریکی، ج (تبخیر به روش انفجاری، د) تبخیر با پرتو لیزر ۱۳
- شکل (۳-۱): سیستم کندوپاش ۱۴
- شکل (۴-۱)- طبقه بندی تخلیه گاز به ازای جریان‌های تخلیه‌ی مختلف ۱۷
- شکل (۵-۱)- ویژگی‌های یک تخلیه نورانی ۱۹
- شکل (۶-۱)- مسیر الکترون در یک میدان الکترومغناطیس عرضی ۲۱
- شکل (۷-۱)- توزیع‌های پتانسیل برای یک تخلیه نورانی در حضور یک میدان الکترومغناطیسی ۲۲
- شکل (۸-۱) - طرحی از فرایند کندوپاش ۲۷
- شکل (۹-۱) - توزیع سرعت ذرات مس حاصله از تبخیر و کندوپاش کاتدی ۲۸
- شکل (۱۰-۱) - کندوپاش با سه رژیم متفاوت انرژی ۲۸
- شکل (۱۱-۱) - سیستم تخلیه برای کندوپاش کاتدی دیودی ۳۰
- شکل (۱۲-۱)- تغییرات پتانسیل بین کاتد (C) و آند (A) در یک تخلیه نورانی (پلاسما) ۳۱
- شکل (۱۳-۱) - محصول کندوپاش (Y) برای W بصورت تابعی از انرژی یون‌های فرودی. ۳۴
- شکل (۱۴-۱) - وابستگی انرژی آستانه کندوپاش E_p یون‌های H_g^+ به عدد اتمی (A) هدف ۳۵
- شکل (۱۵-۱) - وابستگی محصول کندوپاش به زاویه فرودی برای چند هدف فلزی ۳۷

- شکل (۱۶-۱) - مدهای اساسی رشد لایه‌های نازک ۴۰
- شکل (۱۷-۱) - ساختمان و مراحل مختلف رشد یک لایه ۴۱
- شکل (۱۸-۱) - فرایند تشکیل فیلم جیوه روی MoS_2 ۴۳
- شکل (۱۹-۱) - تأثیر دمای زیرلایه و فشار گاز کاری بر روی میکروساختار فیلم‌های نازک ۴۵
- شکل (۲۰-۱) - انعقاد جزایر ۴۷
- شکل (۲۱-۱) - میکرو عکس‌های الکترونی متوالی از بیانگر انعقاد جزیره‌ای با کلوخه‌سازی ۴۸

فصل دوم: مواد و روش‌ها

- شکل (۱-۲) - ساختار بلوری تیتانیوم آلومینیوم نیتريد الف) ساختار مکعبی از نوع $NaCl$ ، ب) ساختار تنگ پکیده شش گوشه (hcp) ۵۲
- شکل (۲-۲) - آرایش‌های اساسی سیستم‌های کندوپاش ۵۵
- شکل (۳-۲) - مکانیسم کندوپاش DC ۵۷
- شکل (۴-۲) - کندوپاش تریودی با گسیلنده الکترونی گرما یونی ۵۸
- شکل (۵-۲) - دستگاه کندوپاش کاتدی سه گانه ۵۹
- شکل (۶-۲) - سیستم کندوپاش دیودی RF ۶۰
- شکل (۷-۲) - شبکه تطبیق مقاومت ظاهری برای سیستم کندوپاش RF ۶۱
- شکل (۸-۲) - منحنی پسمانی فشار کل سیستم به عنوان تابعی از نرخ شارش گاز واکنشی ۶۵
- شکل (۹-۲) - مد فلزی و مد واکنشی در کندوپاش واکنشی ۶۶
- شکل (۱۰-۲) - طرح یک سیستم کندوپاش واکنشی ساده ۶۷
- شکل (۱۱-۲) - مدل کندوپاش واکنشی ساده ۶۷
- شکل (۱۲-۲) - کاتد مگنترون با صفحه دایره‌ای ۷۰
- شکل (۱۳-۲) - حرکت الکترون در میدانهای الکتریکی و مغناطیسی استاتیک ۷۲
- شکل (۱۴-۲) - میدان‌های اعمالی و حرکت الکترون در مگنترون تخت با کاتد مستطیلی ۷۳
- شکل (۱۵-۲) - میدان‌های اعمالی و حرکت الکترون در مگنترون تخت با کاتد دایروی ۷۴
- شکل (۱۶-۲) - مگنترون استوانه‌ای تأخیری ۷۵

- شکل (۲-۱۷) - الف) انواع مگنترون‌های تخت ب) آرایش کندوپاش مگنترونی پالسی واکنشی
از هدف‌های دوگانه ۷۶
- شکل (۲-۱۸) - چهار مرحله حاکم در کندوپاش مگنترونی واکنشی ۷۸
- شکل (۲-۱۹) - مدل توزیع اتم‌های گاز واکنشی N_2 و اتم‌های آرگون در سطح هدف ۷۹
- شکل (۲-۲۰) - حمام بخار شیمیایی ۸۳
- شکل (۲-۲۱) - الف) نگهدارنده‌ی تفلونی زیر لایه، ب) بشر محتوی حلال شیمیایی و
نگهدارنده‌ی زیر لایه ۸۴
- شکل (۲-۲۲) - پمپ توربو مولکولی و پمپ پیستونی چرخنده ۸۷
- شکل (۲-۲۳) - نمایش پدیده‌ی پراش پرتو X از صفحه‌های اتمی با فاصله d از یکدیگر
..... ۹۴
- شکل (۲-۲۴) - طرحی از سیستم چهار سوزنی بر روی سیستم مکعبی ۹۸
- شکل (۲-۲۵) - نمایی از مقطع ویکرز بر سطح نمونه ۱۰۰
- شکل (۲-۲۶) - دستگاه میکروسختی سنج ۱۰۱
- شکل (۲-۲۷) - طرح نوردهی دستگاه میکروسختی سنج ۱۰۲
- شکل (۲-۲۸) - روش اندازه‌گیری قطر هرم ویکرز ۱۰۳

فصل سوم: نتایج و مباحث

- شکل (۳-۱) - طیف XRD فیلم شماره ۱ ۱۱۰
- شکل (۳-۲) - طیف XRD فیلم شماره ۲ ۱۱۰
- شکل (۳-۳) - طیف XRD فیلم شماره ۳ ۱۱۰
- شکل (۳-۴) - طیف XRD فیلم شماره ۴ ۱۱۱
- شکل (۳-۵) - طیف XRD فیلم شماره ۵ ۱۱۱
- شکل (۳-۶) - طیف XRD فیلم شماره ۶ ۱۱۳
- شکل (۳-۷) - طیف XRD فیلم شماره ۷ ۱۱۴
- شکل (۳-۸) - طیف XRD فیلم شماره ۸ ۱۱۴
- شکل (۳-۹) - طیف XRD فیلم شماره ۹ ۱۱۴
- شکل (۳-۱۰) - طیف XRD فیلم شماره ۱۰ ۱۱۵
- شکل (۳-۱۱) - طیف XRD فیلم شماره ۱۱ ۱۱۷

شکل (۱۲-۳) - طیف XRD فیلم شماره ۱۲	۱۱۷
شکل (۱۳-۳) - طیف XRD فیلم شماره ۱۳	۱۱۷
شکل (۱۴-۳) - طیف XRD فیلم شماره ۱۴	۱۱۸
شکل (۱۵-۳) - نمودار وابستگی اندازه دانه به فلوی گاز نیتروژن	۱۲۰
شکل (۱۶-۳) - نمودار وابستگی اندازه دانه به دمای زیرلایه	۱۲۱
شکل (۱۷-۳) - نمودار وابستگی اندازه دانه به توان تخلیه	۱۲۲
شکل (۱۸-۳) - نمودار وابستگی نرخ نهشت به فلوی گاز نیتروژن	۱۲۳
شکل (۱۹-۳) - نمودار وابستگی نرخ نهشت به دمای زیرلایه	۱۲۳
شکل (۲۰-۳) - نمودار وابستگی نرخ نهشت به توان تخلیه	۱۲۴
شکل (۲۱-۳) - نمودار وابستگی مقاومت ویژه الکتریکی به فلوی گاز نیتروژن	۱۲۶
شکل (۲۲-۳) - نمودار وابستگی مقاومت ویژه الکتریکی به دمای زیرلایه	۱۲۷
شکل (۲۳-۳) - نمودار وابستگی مقاومت ویژه الکتریکی به توان تخلیه	۱۲۸
شکل (۲۴-۳) - نمودار وابستگی میکروسختی به فلوی گاز نیتروژن	۱۲۹
شکل (۲۵-۳) - نمودار وابستگی میکروسختی به دمای زیرلایه	۱۳۰
شکل (۲۶-۳) - نمودار وابستگی میکروسختی به توان تخلیه	۱۳۱

فهرست جداول

فصل اول: بررسی منابع و پیشینه پژوهش

جدول (۱-۱) - نقطه ذوب چند فلز	۱۰
جدول (۲-۱) - محصول کندوپاش بازای انرژی‌های مختلف یون Ar^+	۳۳

فصل دوم: مواد و روش‌ها

جدول (۱-۲) - خصوصیات مکانیکی و فیزیکی تیتانیوم آلومینیوم نیتريد	۵۲
---	----

فصل سوم: نتایج و مباحث

- جدول (۱-۳) - شرایط ثابت عملیات لایه‌نشانی برای بررسی اثر فلوی گاز نیتروژن بر روی ساختار فیلم‌های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد ۱۰۹
- جدول (۲-۳) - شرایط متغیر عملیات لایه‌نشانی برای بررسی اثر فلوی گاز نیتروژن بر روی ساختار فیلم‌های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد ۱۰۹
- جدول (۳-۳) - شرایط ثابت عملیات لایه‌نشانی برای بررسی اثر دمای زیرلایه بر روی ساختار فیلم‌های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد ۱۱۲
- جدول (۴-۳) - شرایط متغیر عملیات لایه‌نشانی برای بررسی اثر دمای زیرلایه بر روی ساختار فیلم‌های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد ۱۱۳
- جدول (۵-۳) - شرایط ثابت عملیات لایه‌نشانی برای بررسی اثر توان تخلیه بر روی ساختار فیلم‌های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد ۱۱۶
- جدول (۶-۳) - شرایط متغیر عملیات لایه‌نشانی برای بررسی اثر توان تخلیه بر روی ساختار فیلم‌های نازک تیتانیوم آلومینیوم نیتريد ۱۱۶
- جدول (۷-۳) - مقادیر مقاومت الکتریکی فیلم‌های ۱ تا ۵ ۱۲۵
- جدول (۸-۳) - مقادیر مقاومت الکتریکی فیلم‌های ۶ تا ۱۰ ۱۲۷
- جدول (۹-۳) - مقادیر مقاومت الکتریکی فیلم‌های ۱۱ تا ۱۴ ۱۲۸

مقدمه

تکنولوژی فیلم‌های نازک به طور همزمان یکی از قدیمی‌ترین هنرها و یکی از جدیدترین علوم به شمار می‌آید. امروزه، مطالعه و پژوهش در زمینه‌های فیزیک سطح، فصل مشترک و لایه‌های نازک به عنوان یکی از با اهمیت‌ترین شاخه‌های فیزیک ماده چگال و سطوح جامد که خود منجر به پیشرفت‌های بسیار در زمینه نانو تکنولوژی شده، شکوفایی بسیاری یافته است.

یک ماده‌ی جامد زمانی به شکل لایه نازک (ساختار دوبعدی) در می‌آید که اتم‌ها، مولکول‌ها یا یون‌های ماده‌ی مذکور در طی یک فرآیند فیزیکی یا شیمیایی کاملاً کنترل شده، بر روی یک زیرلایه نشانده شوند.

اولین لایه نازک به روش الکترولیز در سال ۱۸۳۸ ساخته شد. در سال ۱۸۵۲ بانسن^۱ و گرو^۲ توانستند به ترتیب با استفاده از روش واکنش شیمیایی و کندوپاش توسط تخلیه نورانی لایه‌های نازکی از فلزات را تهیه کنند. در سال ۱۸۵۸، مایکل فارادی با گذراندن جریان الکتریکی از یک سیم فلزی و تبخیر آن (تبخیر حرارتی) توانست لایه نازک فلزی بدست آورد این عمل در محیط گاز بی‌اثر انجام شد.

تهیه لایه‌های نازک به روش کندوپاش کاتدی و تبخیر حرارتی در خلأ، بخش کوچکی از فیزیک لایه‌های نازک است که در نیمه دوم قرن ۱۹ پایه‌گذاری شد اما تا این اواخر پیشرفت قابل‌توجهی نکرد. از ابتدای قرن بیستم، ویژگی‌های الکتریکی لایه‌های نازک، از اندازه‌گیری رسانایی گرفته تا مطالعه ابررسانایی، همچنین گسیل الکترون از لایه‌های نازک، مورد مطالعه قرار گرفته و حتی این پژوهش‌ها در سال‌های اخیر پیشرفت وسیعی داشته است.

¹ . Bunson

² .Grove

با پیشرفت صنایع الکترونیک به قطعاتی نیاز شد که قادر به واکنش سریع در مقابل تغییر سوی جریان و همچنین قادر به پاسخگویی بسامدهای بالا باشند. با ساخت دیود و ترانزیستور اولین گام جدی جهت به کارگیری لایه‌های نازک برداشته شد. دیودها و ترانزیستورها قطعات اصلی در الکترونیک حالت جامد هستند.

امروزه مدارهای مجتمع با مقیاس بزرگ LSI^1 و مدارهای مجتمع با مقیاس خیلی بزرگ $VLSI^2$ ساخته می‌شوند که برای تولید، تقویت، ضبط، انتقال و انتشار علائم الکترونیکی و نوری به کار می‌روند. همچنین مدارهای مجتمع توانسته‌اند در کامپیوتر و در دستگاه‌های محاسبه، ظرفیت حافظه، سرعت محاسبات و انتقال اطلاعات را افزایش دهند.

کاربردهای اپتیکی لایه‌های نازک اولین مواردی بودند که استفاده گسترده صنعتی پیدا کردند. آئینه‌ها اولین قطعات اپتیکی بودند که در سال ۱۹۱۲، با تبخیر فلزات ساخته شدند. از آن زمان لایه‌های نازک مواد جاذب بطور گسترده‌ای در دستگاه‌های اپتیکی بکار برده شده‌اند. به عنوان مثال، می‌توان بازتاب کننده‌های نجومی را نام برد. برای پوشش‌های بازتابنده‌ی آئینه‌ها، از آلومینیوم، رودیم و گاهی نقره استفاده می‌شود. لایه‌های نازک طلا به علت بازتابندگی و تراگسیلندگی گزینشی-شان، برای بازتاب تابش گرمایی بکار می‌روند.

نیتريد‌های فلزات واسطه، معمولاً به ترکیباتی سخت و مقاوم و دارای یک ترکیب غیرعادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی که آنها را هم از نقطه نظر اصولی و هم از نقطه نظر تکنولوژی جاذب می‌سازد، اطلاق می‌شود. این مواد غالباً دارای نقاط ذوب بالا، سختی بسیار بالا، رسانش الکتریکی و گرمایی خوب و استحکام مکانیکی خوب در برابر خوردگی و سایش می‌باشند. این مجموعه و ترکیب یکتا از خصوصیات، هر دو مورد تحقیقات تئوری و آزمایشگاهی طبیعت پیوند شیمیایی مواد

¹ . Large Scale Integrated Circuit

² . Very Large Scale Integrated Circuit

را مورد چگالش قرار داده است و همچنین امکان استفاده از آنها را در طیف وسیعی از کاربردهایشان همچون سد پخشی در صنعت میکروالکترونیک، پوشش‌های مقاوم در برابر سایش بر روی ابزار برشی، لایه‌های مقاوم در برابر خراش بر روی اجزاء مکانیکی و اپتیکی و همچنین در وسایل ثبت-کننده اپتیکی فراهم کرده است.

در سال‌های اخیر، مطالعه روی لایه‌های نازک TiN بسیار گسترده شده است. این لایه‌ها کاربردهای زیادی را در صنعت میکروالکترونیک به خاطر پایداری گرمایی بالا و مقاومت الکتریکی پایین، به خود اختصاص داده‌اند. اما چون لایه‌های نازک TiN در دمای بالای 873°C درجه کلوین اکسیده می‌شوند و سختی خود را از دست می‌دهند، از این رو برای ابزار برنده با سرعت بالا و خشک (بدون اینکه از آب برای خنک‌سازی استفاده شود) مناسب نمی‌باشند. برای حل این مشکل از $TiAlN$ که سختی بالا، مقاومت اکسایشی بسیار عالی و پایداری شیمیایی بالاتری را در دماهای بالا نشان می‌دهد استفاده می‌شود، بعلاوه پایین بودن رسانندگی گرمایی $TiAlN$ این امکان را پدید می‌آورد که ابزار برنده با سرعت عمل بیشتری عمل برش را انجام دهند. معمولاً در ماشین کاری سریع از ابزارهای کاربردی با پوشش $TiAlN$ استفاده می‌شود؛ چرا که این پوشش با ایجاد یک سد حرارتی از ابزار محافظت می‌کند. این پوشش در حدود 35% نسبت به TiN به لحاظ حرارتی مقاومتر است. خاصیت دیگر $TiAlN$ مقاومت سایشی است که سبب شده در ماشین‌کاری قطعات ریخته‌گری شده مؤثر باشد.

فصل اول:

بررسی منابع و پیشینه پژوهش

۱ - ۱ مقدمه

پیشرفت سریع فناوری لایه‌های نازک، به ویژه پیشرفت رونشانی در خلأ، و نیاز به پایداری و قابلیت تولیدپذیری مجددشان در کاربردهای الکترونیکی را می‌توان از انگیزه‌های اصلی پیشرفت پژوهش در فیزیک لایه‌های نازک دانست. مفید بودن خصوصیات لایه‌های نازک و جالب توجه بودن مطالعه بر روی رفتار جامدهای دوبعدی باعث شده است که چه از نظر علمی و چه از نظر تکنولوژی به لایه‌های نازک توجه ویژه‌ای مبذول شود. لایه‌های نازک در ساخت وسایل نوری، الکترونیکی، اپتوالکترونیک، آئینه‌های لیزری و قطعات آکوستیکی نقش اساسی دارند.

پیشرفت‌های تکنولوژیکی در فرآیندهای کندوپاش در سال‌های اخیر موجب شد تا سیستم‌های کندوپاش به طور گسترده در صنعت به عنوان یک جایگزین مهم برای سیستم‌های تبخیر حرارتی سنتی در خلأ و CVD^۱ مورد استفاده قرار گیرند.

در این فصل پس از مروری مختصر بر روش‌های تهیه لایه‌های نازک، به مفاهیم اساسی تخلیه نورانی پرداخته، سپس ساختار و عملکرد سیستم‌های کندوپاش را تشریح و در نهایت به نحوه تشکیل لایه نازک خواهیم پرداخت.

۱ - ۲ تعریف لایه نازک

لایه نازک به ماده یا موادی گفته می‌شود که به صورت پوششی بر یک سطح یا ماده دیگر سبب ایجاد خواص الکترونیکی، فیزیکی و مکانیکی جدیدی شود که نه خصوصیات ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی لایه را داشته باشد و نه خصوصیات سطحی که لایه بر روی آن نهشته شده است. البته بایستی خاطر نشان ساخت که اگر ضخامت لایه از حد معینی بیشتر باشد آن لایه خصوصیات حجمی (*bulk*) ماده را خواهد داشت، [۱].

^۱. Chemical Vapor Deposition

۱ - ۳ روش‌های تهیه لایه‌های نازک

به طور کلی روش‌های تهیه لایه‌های نازک را می‌توان به دو گروه بزرگ تقسیم کرد:

۱- روش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی ۲- روش‌های فیزیکی

روش‌های شیمیایی اکثراً در فناوری نیم‌رساناها به کار می‌روند. نتایج تجربی نشان می‌دهند

که لایه‌های نازک تهیه شده توسط روش‌های فیزیکی خالصتر و بهتر هستند.

حال در زیر به شرح مختصری در مورد روش‌های ذکر شده می‌پردازیم.

۱ - ۳ - ۱ روش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی

مهم‌ترین روش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی که برای ساخت لایه‌های نازک بکار می‌روند

عبارتند از : انباشت الکترولیتی، انباشت بدون الکتروود، اکسایش آندی، انباشت به روش بخار

شیمیایی (CVD) و رونشست فاز مایع (LPE).

۱ - ۳ - ۱ - ۱ نهشتن به روش الکترولیز در کاتد

در این روش ماده‌ای که قرار است به صورت لایه نهشته شود (فلز) می‌بایست به صورت

یون در محلول یا ماده‌ی مذاب الکترولیت موجود باشد. اگر دو الکتروود را در داخل محلول (یا

مذاب) الکترولیت وارد کنیم، یون‌های مثبت فلزی به طرف الکتروود منفی (کاتد)، جایی که فلز رسوب

می‌کند، جذب خواهند شد. خواص مربوط به لایه‌ی نهشته شده از قبیل درخشندگی، چسبندگی به زیر

لایه و ساختار بلوری (اندازه‌ی میکروبلورها) و غیره می‌تواند متأثر از ترکیب الکترولیت باشد. بنابراین

با بکار بردن افزودنی‌های مناسب می‌توان این خواص را کنترل کرد. البته با این روش فقط می‌توان

لایه‌ها را روی زیرلایه‌های رسانا نشانند و از طرفی امکان آلودگی لایه با مواد موجود در الکترولیت

وجود دارد، [۲].