

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شاهد

دانشکده علوم پایه - گروه فیزیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک بنیادی

بررسی خواص لایه های نازک نیتريد مس تهیه شده بر روی زیرلایه های سیلیکون و کوارتز در دماهای
متفاوت زیرلایه توسط سیستم کندوپاش مغناطیسی واکنشی DC


هادی شاعری

اساتید راهنما:

دکتر جهانگیر پیام آرا

دکتر محمود قرآن نویسی

بهمن ماه ۱۳۹۱

شماره :	اظهار نامه دانشجو	
تاریخ:		

اینجناب هادی شاعری دانشجوی کارشناسی ارشد رشته فیزیک بنیادی دانشکده علوم پایه دانشگاه شاهد، گواهی می دهد که پایان نامه تدوین شده حاضر با عنوان « بررسی خواص لایه های نازک نیتريد مس تهیه شده بر روی زیرلایه های سیلیکون و کوارتز در دماهای متفاوت زیرلایه توسط سیستم کندوپاش مغناطیسی واکنشی DC » به راهنمایی اساتید محترم، جناب آقای دکتر جهانگیر پیام آرا و دکتر محمود قرآن نویس توسط شخص اینجناب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تایید است و چنان چه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان نامه صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجناب را مسترد و ابطال نماید هم چنین اعلام می دارم در صورت بهره گیری از منابع مختلف شامل گزارش های تحقیقاتی، رساله، پایان نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان نامه حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجناب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارایه نشده است. در تدوین متن حاضر، چار چوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً این که کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان نامه حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو (هادی شاعری)

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تقدیر و تشکر:

پس از شکر و سپاس از خالق هستی

بر خود لازم می دانم از زحمات ارزشمند اساتید راهنمای این پروژه، جناب آقای دکتر جهانگیر پیام آرا و جناب آقای دکتر محمود قرآن نویس که اینجانب را در اجرای تمامی مراحل یاری نموده اند، ارج بگذارم و تشکر نمایم.

از دکتر رضا پورصالحی، استاد بزرگوار دانشگاه شاهد و دانشکده نانومواد دانشگاه تربیت مدرس و دکتر حنطه زاده، استاد گراندقدر دانشکده فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، که مرا در اکثر زمینه های علمی و کاربردی این پروژه ، تحلیل آنالیز نمونه ها، و در اختیار قرار دادن مقالات مربوطه و بویژه راهنمایی جهت تعمیر دستگاه کندوپاش در حین کار، یاری نموده اند، کمال قدردانی و تشکر بعمل می آورم.

همچنین بر خود لازم می دانم از سرکار خانم مرتضوی، مسئول آزمایشگاه تفنگ الکترونی و سیستم کندوپاش ، خانم میلانی، مسئول آزمایشگاه اسپکتروفوتومتری و AFM ، خانم فضل الهی، مسئول آزمایشگاه XRD دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، مسئولین آزمایشگاه ضخامت سنجی و مقاومت سنجی دانشگاه تهران و آقای طباطبایی ، مسئول آزمایشگاه AFM دانشگاه شاهد، صمیمانه سپاسگذاری نمایم.

فهرست:

صفحه

موضوع:

فهرست شکلها و جداول

چکیده

۱.....	فصل اول-فیزیک لایه های نازک.....
۱.....	۱-۱ مقدمه.....
۲.....	۲-۱ کاربردهای لایه های نازک.....
۴.....	۳-۱ روشهای لایه نشانی.....
۴.....	۱-۳-۱ روشهای شیمیایی و الکتروشیمیایی.....
۵.....	۲-۳-۱ روشهای فیزیکی.....
۶.....	۴-۱ خواص ویژه لایه های روشنایی شده به روش کندوپاش کاتدی.....
۷.....	۵-۱ ساز و کار تشکیل لایه های نازک.....
۷.....	۱-۵-۱ مراحل تشکیل لایه های نازک.....
۸.....	۲-۵-۱ بررسی دمای زیرلایه بر فرایند هسته بندی.....
۱۳.....	۳-۵-۱ عوامل موثر بر ساختار نهایی لایه.....
۱۴.....	۶-۱ ساختار بلور نگاشتی لایه های نازک.....
۱۷.....	۷-۱ لایه های برآراستی.....

۱۹.....	۸-۱ خواص لایه های نازک.....
۱۹.....	۱-۸-۱ خواص مکانیکی.....
۲۱.....	۲-۸-۱ خواص الکتریکی و مغناطیسی لایه های نازک.....
۲۳.....	۹-۱ خواص فیزیکی لایه های نازک نیمرسانا.....
۲۵.....	فصل دوم- مقدمه ای بر شناخت نیمه رساناها و ساختار نیتريد مس.....
۲۵.....	۱-۲ مقدمه.....
۲۶.....	۲-۲ ساختار بلوری نیمه رساناها.....
۲۶.....	۳-۲ ساختار نواری.....
۲۹.....	۴-۲ فرآیند جذب اساسی.....
۳۱.....	۵-۲ خواص الکتریکی و اپتیکی لایه های رسانا و نیمه رسانا.....
۳۶.....	۱-۵-۲ خواص نوری فونونها.....
۳۷.....	۲-۵-۲ نیمرساناهای با گاف انرژی مستقیم و غیر مستقیم.....
۴۰.....	۳-۵-۲ جذب در نیمه رساناهای گاف مستقیم و غیرمستقیم.....
۴۲.....	۶-۲ خواص نیتريد مس.....
۴۴.....	فصل سوم- آشنایی با وسایل اندازه گیری و آنالیز لایه نازک.....
۴۴.....	۱-۳ مقدمه.....

- ۳-۴ پلاسما..... ۴۵
- ۳-۲-۱ کاربردهای پلاسما..... ۴۶
- ۳-۲-۲ حرکت‌های تک ذره پلاسما..... ۴۶
- ۳-۲-۳ حرکت الکترون و یون در حضور میدان الکتریکی و مغناطیسی متناهی..... ۴۷
- ۳-۳ فرایند کندوپاش..... ۴۹
- ۳-۳-۱ بر همکنش یون با سطح..... ۴۹
- ۳-۳-۲ گسیل ذرات..... ۴۹
- ۳-۳-۳ یونهای ثانویه..... ۴۹
- ۳-۳-۴ ذرات بازتابشی..... ۵۰
- ۳-۳-۵ فوتونها و اشعه X..... ۵۰
- ۳-۳-۶ کاشت یون..... ۵۰
- ۳-۳-۷ افت دیواره..... ۵۱
- ۳-۳-۸ اثرات انواع گاز و فشار آن..... ۵۱
- ۳-۳-۹ جذب و ترکیب گاز..... ۵۲
- ۳-۳-۱۰ حاصل کندوپاش..... ۵۲
- ۳-۴ دستگاه کندوپاش کاتدی مغناطیسی..... ۵۴
- ۳-۵ دستگاه XRD..... ۵۹
- ۳-۵-۱ ویژگی پرتو X..... ۵۹
- ۳-۵-۲ تولید پرتو X..... ۵۹
- ۳-۵-۳ قانون براگ..... ۶۱

- ۶۴..... ۴-۵-۳ کاربردهای پراش پرتو ایکس.....
- ۶۵..... ۵-۵-۳ اندازه دانه های بلوری.....
- ۶۷..... ۶-۳ میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM).....
- ۶۸..... ۱-۶-۳ نحوه عملکرد AFM.....
- ۷۰..... مدهای عملکردی AFM.....
- ۷۱..... ۱-۲-۶-۳ مدهای تماسی.....
- ۷۲..... ۲-۲-۶-۳ مد نیرو ثابت.....
- ۷۳..... ۳-۲-۶-۳ مد ارتفاع ثابت.....
- ۷۴..... ۴-۲-۶-۳ مد شبه تماسی.....
- ۷۵..... ۵-۲-۶-۳ مد خطای تماسی و شبه تماسی.....
- ۷۶..... ۶-۲-۶-۳ مد تصویربرداری از اختلاف فاز.....
- ۷۷..... ۷-۳ اسپکتروفوتومتر.....
- ۷۸..... ۱-۷-۳ ساختمان دستگاه.....
- ۷۸..... ۲-۷-۳ مشخصات دستگاه طیف سنج نوری مورد استفاده در این پژوهش.....
- ۷۹..... ۳-۷-۳ نحوه کار با دستگاه.....
- ۸۰..... ۴-۷-۳ مزایای دستگاه:.....
- ۸۱..... ۸-۳ اندازه گیری مقاومت الکتریکی با پروب چهارسوزنی:.....
- ۸۲..... ۱-۸-۳ نکات مهم کار با دستگاه مقاومت سنج پروب چهار سوزنی:.....
- ۸۳..... ۹-۳ ضخامت سنج (profilometer).....
- ۸۵..... فصل چهارم- بررسی شرایط لایه نشانی نیتريد مس.....
- ۸۵..... ۱-۴ مقدمه.....

- ۲-۴ رشد لایه نازک نیتريد مس بر زير لایه های گوناگون..... ۸۶
- ۳-۴ رشد لایه های نیتريد مس در یک دمای خاص و سپس انجام عملیات **Annealing** و مقایسه با حالت اول..... ۸۸
- ۴-۴ مقایسه لایه های نازک نیتريد مس تهیه شده با دماهای متفاوت زیر لایه..... ۹۲
- ۵-۴ رشد لایه های نیتريد مس با زمانهای متفاوت..... ۹۶
- ۶-۴ تغییرات خصوصیات نیتريد مس با وارد کردن یک اتم فلزی به درون شبکه بلوری آن..... ۹۹
- ۴ ۴ تأثیر توان دستگاه اسپاترینگ بر رشد لایه های نیتريد مس..... ۱۱۴
- ۸-۴ تأثیر شار و فشار جزئی نیتروژن بر ساختار و رشد لایه های نیتريد مس..... ۱۱۸
- ۴ ۴ استفاده از ترکیب گازهای نیتروژن و هیدروژن (به جای گاز خنثی) جهت رشد لایه نیتريد مس ۱۲۲
- ۱۰-۴ مقایسه دستگاههای مختلف لایه نشانی..... ۱۲۷
- فصل پنجم - شرح و تحلیل نتایج آزمایش..... ۱۲۹
- ۱-۵ شرح آزمایش ۱۲۹
- ۱-۵-۱ نکات و اقدامات اولیه جهت تهیه نمونه ها..... ۱۲۹
- ۱-۵-۲ مزیت‌های کوارتز نسبت به شیشه و سیلیکون..... ۱۳۱
- ۱-۵-۳ تمیز کردن و آماده سازی دستگاه کندوپاش ۱۳۳
- ۱-۵-۴ تمیز کردن ورقه مسی..... ۱۳۳
- ۱-۵-۵ تمیز کردن زیر لایه ها ۱۳۴

- ۱۳۵.....۶-۱-۵ راه اندازه‌ی دستگاه و انجام آزمایش
- ۱۳۸.....۲-۵ معرفی قسمت‌های مختلف سیستم کندوپاش
- ۱۴۱.....۳-۵ نتایج و تحلیل آنها
- ۱۴۱.....۱-۳-۵ تحلیل طرح پراش اشعه X (XRD)
- ۱۵۱.....۲-۳-۵ ثابت شبکه و اندازه دانه‌های بلوری نمونه‌ها
- ۱۵۳.....۳-۳-۵ نتایج و تحلیل اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی لایه‌ها
- ۱۵۴.....۴-۳-۵ نتایج و تحلیل آنالیز AFM
- ۱۵۹.....۵-۳-۵ ضخامت سنجی
- ۱۶۱.....۶-۳-۵ اسپکتروفتومتری
- ۱۶۱.....۱-۶-۳-۵ طیف عبور و بازتاب
- ۱۶۴.....۲-۶-۳-۵ نمودار جذب لایه‌ها
- ۱۶۶.....۳-۶-۳-۵ گاف انرژی
- ۱۷۱.....۴-۶-۳-۵ ضریب خاموشی، ضریب شکست و ضریب دی‌الکتریک
- ۱۷۶.....۴-۵ خلاصه نتایج

پیشنهادات

منابع

چکیده انگلیسی

فهرست شکلها:

- ۱-۱: مراحل مختلف رشد لایه ای از جنس آنتیموان ۷
- ۲-۱: وضعیت نور تابشی به یک بلور واقعی و یک بلور ایده آل ۱۴
- ۳-۱: مهمترین صفحه ها در سیستم مکعبی ۱۶
- ۱-۲: شماتیک شکاف انرژی بین نوار رسانش و نوار ظرفیت در فلزات ، نیمه رساناها و نارساناها. ۲۷
- ۲-۲: گذار الکترونها در نیمه رساناها. ۲۸
- ۳-۲: ساده ترین ساختار نواری در یک نیمه رسانا ۲۹
- ۴-۲: گاف انرژی مستقیم و غیر مستقیم ۳۹
- ۵-۲: ساختار بلوری نیتريد مس (Cu_3N) ۴۳
- ۱-۳: شماتیک یک سیستم کندوپاش کاتدی ساده ۵۵
- ۲-۳: شماتیک عملکرد یک سیستم کندوپاش مغناطیسی ۵۸
- ۳-۳: شماتیک مدار داخلی یک نمونه دستگاه تولید پرتوهای ایکس ۶۱
- ۴-۳: بازتاب پرتوهای ایکس از یک بلور ۶۱
- ۵-۳: بردار پراکندگی S ۶۲
- ۶-۳: بردار پراکندگی مساوی بردار شبکه وارون است ۶۴
- ۷-۳: نمودار فرضی یک پیک از آنالیز XRD جهت شناخت FWHM ۶۵
- ۸-۳: شماتیک عملکرد دستگاه AFM ۶۸
- ۹-۳: منحنی تابعیت نیروی وارد بر سوزن از فاصله سوزن از سطح ۶۹

- ۷۰-۳: شماتیک تصویربرداری از سطح در مد غیر تماسی.....
- ۷۲-۳: شماتیک عملکرد AFM در مد نیرو ثابت.....
- ۷۳-۳: شماتیک عملکرد AFM در مد ارتفاع ثابت.....
- ۷۴-۳: مد شبه تماسی ارتعاشی (در یک خط روبش).....
- ۷۶-۳: شماتیک عملکرد AFM در مد خطای تماسی و شبه تماسی.....
- ۷۶-۳: شماتیک عملکرد AFM در مد تصویربرداری از اختلاف فاز.....
- ۷۷-۳: نمای کلی از عملکرد دستگاه اسپکتروفتومتر.....
- ۸۱-۳: شماتیک دستگاه 4 point probe.....
- ۸۴-۳: نمای دستگاه DEKTAK3.....
- ۱-۴: طیف پراش XRD (a) پودر نیتريد مس (b) روی زیرلايه Al_2O_3 (c) روی زیرلايه Pt/MgO.....
- ۲-۴: چگالی نیتروژن و مس در کل لایه در دماهای بازپخت متفاوت.....
- ۳-۴: نمودار XRD نمونه ها.....
- ۴-۴: شماتیک نمونه ها در (a) پس از تهیه لایه (b) پس از بازپخت در دمای $100^{\circ}C$ (c) پس از بازپخت با دمای $300^{\circ}C$
- ۵-۴: طیف XRD لایه ها قبل و پس از بازپخت.....
- ۶-۴: نمودار های طرح پراش پرتو X لایه ها.....
- ۷-۴: وابستگی مقاومت ویژه الکتریکی لایه ها به دمای زیرلايه.....

- ۸-۴ : طیف XRD لایه های نشانده شده بر زیرلایه سیلیکون در دماهای متفاوت زیرلایه در فشار
جزیی گاز نیتروژن 3.75 mTorr..... ۹۵
- ۹-۴ : قسمت‌های حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک لایه $\text{Cu}_3\text{N}/\text{Si}$. خطوط کمرنگ قسمت‌های
حقیقی و موهومی تخمین زده شده با یک مدل multilayer می باشد. ۹۶
- ۱۰-۴ : نتایج آنالیز XRD لایه ها..... ۹۸
- ۱۱-۴ : تصاویر سه بعدی AFM لایه ها..... ۹۸
- ۱۲-۴ : ساختار (a) نیتريد مس خالص (b) dope کردن در یک سلول واحد (c) اضافه کردن یک اتم
در یک سلول بزرگ $3 \times 3 \times 3$ (d) سلولی بزرگ شامل جفت اتمهای یک فلز انتقالی 3d ۹۹
- ۱۳-۴ : طیف XRD لایه های نهشته در توانهای مختلف دستگاه در فشار گاز نیتروژن (a) 0.7 Pa
و (b) 0.9 Pa ۱۰۴
- ۱۴-۴ : تصویر TEM از یک نمونه از لایه های نیتريد مس در فشار کاری 0.9 Pa و با توان 70
W ۱۰۴
- ۱۵-۴ : وابستگی مقاومت الکتریکی نیتريد مس به دما (a) برای بلورهای تقریباً استوکیومتری نیتريد
مس (b) برای نمونه غنی از مس با 78.8% مس ۱۰۵
- ۱۶-۴ : تأثیر مقدار مس در ترکیب بر مقاومت الکتریکی ۱۰۶
- ۱۷-۴ : تصویر SEM از یک نمونه لایه نیتريد مس به ضخامت تقریبی $0.6 \mu\text{m}$ ۱۰۶
- ۱۸-۴ : ساختار پنج ضلعی (و پنج پر) نیتريد مس گرفته شده توسط دستگاه TEM ۱۰۷
- ۱۹-۴ : طیف XRD ترکیب Cu_3NPd_x با مقادیر x متفاوت ۱۰۸

- ۲۰-۴ : تأثیر دما بر مقاومت الکتریکی ترکیب Cu_3NPd_x با مقادیر x برابر (a 0.0 (b 0.048
- ۱۰۹.....0.349 (f 0.238 (e 0.175 (d 0.071 (c
- ۲۱-۴ : طیف XRD ساختار $\text{Cu}_x\text{In}_y\text{N}$ با مقادیر In (a: 0% (b 4.62% (c 8.2%
- ۱۱۰.....47.98% (h 35.7%(g 30.43%(f 23.64%(e 10.79%(d
- ۲۲-۴ : بازپخت نمونه ۲،۸٪ در سه دمای (a 100°C (b 330°C (c 360°C
- ۱۱۰.....
- ۲۳-۴ : طیف XRD ساختار Cu_3NZn_x با نسبت‌های متفاوت از Zn
- ۱۱۱.....
- ۲۴-۴ : مقاومت الکتریکی Cu_3NZn_x نسبت به مقادیر Zn در دمای اتاق
- ۱۱۲.....
- ۲۵-۴ : نمودار XRD مربوط به لایه های نیتريد مس با اضافه کردن اکسيژن در حين لایه نشانی با نسبت اکسيژن (a 0.0% (b 0.5% (c 1.0% (d 1.5% (e 2.0% (f 2.5%.....
- ۱۱۳.....
- ۲۶-۴ : نمودار XRD دو نمونه لایه نازک اکسی نیتريد مس با مقدار ۱ و ۱/۵ درصد اکسيژن در دمای بازپخت (a بدون بازپخت (b 300°C (c 330°C (d 360°C (فقط برای نمونه 1.5%).....
- ۱۱۴.....
- ۲۷-۴ : نمودار پراش پرتو X (XRD) لایه های تهیه شده در توانهای مختلف دستگاه کندوپاش
- ۱۱۶.....
- ۲۸-۴ : (a) طیف عبوری لایه تهیه شده با توان ۱۲۰ وات (b) چگونگی بدست آوردن گاف انرژی همین لایه.....
- ۱۱۷.....
- ۲۹-۴ : گاف انرژی لایه ها در توانهای مختلف دستگاه کندوپاش در حين لایه نشانی.....
- ۱۱۷.....
- ۳۰-۴ : طرح پراش اشعه X لایه های نیتريد مس تهیه شده با شارهای متفاوت گاز نیتروژن.....
- ۱۱۹.....
- ۳۱-۴ : تغییر اندازه ثابت شبکه با میزان شار گاز نیتروژن.....
- ۱۲۰.....
- ۳۲-۴ : طرح پراش اشعه X لایه های نیتريد مس تهیه شده با فشار گاز نیتروژن متفاوت.....
- ۱۲۱.....

- ۳۳-۴: نمودار XRD (a: دو نمونه با شار هیدروژن صفر (b) ۵ نمونه با شارهای مختلف.....۱۲۳
- ۳۴-۴: با افزایش شار هیدروژن مقاومت الکتریکی کاهش می یابد.....۱۲۴
- ۳۵-۴: گاف انرژی با افزایش شار هیدروژن کاهش می یابد.....۱۲۴
- ۳۶-۴: طیف XRD چهار لایه از نمونه CH_3 بازپخت شده.....۱۲۵
- ۳۷-۴: تصاویر FE-SEM از (a) C_2 (b) CH_3 (c) CH_4 از سطح لایه و (d) تصویری از سطح مقطع نمونه CH_3۱۲۶
- ۳۸-۴: لایه CH_3 بازپخت شده در دمای $250^{\circ}C$ در دو بزرگنمایی (a) ۱۰۰۰۰ و (b) ۱۱۰۰۰۰ برابر.....۱۲۶
- ۱-۵: ساختار بلوری سیلیکون خالص- سیلیکون نوع N و سیلیکون نوع P۱۳۰
- ۲-۵: جایگاه کاتد قبل از قرار دادن مس۱۳۳
- ۳-۵: حمام التراسونیک.....۱۳۴
- ۴-۵: جایگاه زیرلایه و استپ روی آن در حین لایه نشانی.....۱۳۵
- ۵-۵: دستگاه کندوپاش در حین کار با دمای اتاق.....۱۳۶
- ۶-۵: ظرف خالی و محتوی نیتروژن مایع۱۳۷
- ۷-۵: پمپ روتاری۱۳۹
- ۸-۵: پمپ توربو.....۱۳۹
- ۹-۵: فشارسنجهای روی سیلندر گاز.....۱۴۰
- ۱۰-۵: ظرف اندیکاتور.....۱۴۰
- ۱۱-۵: ترانس و دستگاه اتواریاک.....۱۴۱

- ۱۲-۵ : دستگاه XRD-STOE دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.....۱۴۲
- ۱۳-۵: XRD نمونه ۱(نهشته بر زیرلایه کوارتز در دمای اتاق)۱۴۴
- ۱۴-۵: XRD نمونه ۲(نهشته بر زیرلایه کوارتز در دمای 100°C)۱۴۴
- ۱۵-۵: XRD نمونه ۳(نهشته بر زیرلایه کوارتز در دمای 200°C)۱۴۵
- ۱۶-۵: XRD نمونه ۴(نهشته بر زیرلایه کوارتز در دمای 300°C)۱۴۵
- ۱۷-۵: XRD نمونه ۵(نهشته بر زیرلایه کوارتز در دمای 400°C)۱۴۶
- ۱۸-۵: XRD نمونه ۶(نهشته بر زیرلایه سیلیکون در دمای اتاق)۱۴۶
- ۱۹-۵: XRD نمونه ۷(نهشته بر زیرلایه سیلیکون در دمای 100°C)۱۴۷
- ۲۰-۵: XRD نمونه ۸(نهشته بر زیرلایه سیلیکون در دمای 200°C)۱۴۷
- ۲۱-۵: XRD نمونه ۹(نهشته بر زیرلایه سیلیکون در دمای 300°C)۱۴۸
- ۲۲-۵: XRD نمونه ۱۰(نهشته بر زیرلایه سیلیکون در دمای 400°C)۱۴۸
- ۲۳-۵: XRD همه نمونه های نهشته بر زیرلایه کوارتز در یک نمودار۱۴۹
- ۲۴-۵: XRD همه نمونه های نهشته بر زیرلایه سیلیکون در یک نمودار۱۵۰
- ۲۵-۵: تصویر AFM از نمونه CD تستر دستگاه.....۱۵۵
- ۲۶-۵: تصویر AFM در مد نیمه تماسی از نمونه رونشانی شده در دمای 200°C بر کوارتز در بازه روبش $101\mu\text{m}$ ۱۵۵
- ۲۷-۵: تصویر AFM در مد نیمه تماسی از نمونه رونشانی شده در دمای 200°C بر کوارتز در بازه روبش $10\mu\text{m}$ ۱۵۶

- ۲۸-۵: تصویر دو بعدی و سه بعدی AFM با مد نیمه تماسی از سطح نمونه دمای 400°C بر روی کوارتز و سیلیکون ۱۵۶
- ۲۹-۵: تصاویر AFM مد غیر تماسی نمونه های روشنایی شده برای ۶ نمونه ۱۵۷
- ۳۰-۵: فراوانی ارتفاع نقاط تصاویر AFM مد غیر تماسی نمونه های روشنایی شده ۱۵۸
- ۳۱-۵: یک نمونه از خروجی دستگاه ضخامت سنج Dektak3 دانشگاه تهران برای لایه روشنایی شده در دمای 100°C درجه سانتی گراد و بر زیرلایه کوارتز ۱۶۰
- ۳۲-۵: نمودار تغییرات ضخامت لایه ها نسبت به دما ۱۶۱
- ۳۳-۵: تصویر دستگاه طیف سنج Varian Cary-500 دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران ۱۶۲
- ۳۴-۵: طیف عبوری نمونه های ۱ تا ۵ ۱۶۲
- ۳۵-۵: طیف بازتاب نمونه های ۱ تا ۵ ۱۶۳
- ۳۶-۵: اثر تداخل در بازتاب و عبور نور از یک لایه نازک ۱۶۴
- ۳۷-۵: نمودار ضریب جذب لایه ها ۱۶۵
- ۳۸-۵: نمودار $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب انرژی و روش بدست آوردن گاف برای نمونه ۱ ۱۶۷
- ۳۹-۵: نمودار $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب انرژی و روش بدست آوردن گاف برای نمونه ۲ ۱۶۸
- ۴۰-۵: نمودار $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب انرژی و روش بدست آوردن گاف برای نمونه ۳ ۱۶۸
- ۴۱-۵: نمودار $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب انرژی و روش بدست آوردن گاف برای نمونه ۴ ۱۶۸
- ۴۲-۵: شماتیک یک Tandem Cell دولایه ای ۱۷۰
- ۴۳-۵: نمودار بازدهی Tandem Cell دولایه ۱۷۰

- ۴۴-۵ : بازدهی Tandem Cell با افزایش تعداد لایه ها..... ۱۷۱
- ۴۵-۵ : نمودار ضریب شکست نمونه های نیتريد مس (نمونه های یک تا چهار)..... ۱۷۲
- ۴۶-۵ : نمودار ضریب خاموشی نمونه های نیتريد مس (نمونه های یک تا چهار)..... ۱۷۳
- ۴۷-۵ : نمودار قسمت حقیقی تابع دی الکتریک نمونه های نیتريد مس..... ۱۷۴
- ۴۸-۵ : نمودار قسمت موهومی تابع دی الکتریک نمونه های نیتريد مس..... ۱۷۵

فهرست جداول:

- ۱-۳: اطلاعات حاصل کندوپاش برای فلزات مختلف ($\frac{m}{\text{یون}}$) ۵۳
- ۲-۳ : مشخصات دستگاه DEKTAK3 ۸۴
- ۱-۴ : پارامترهای ثابت در لایه نشانی بر زیرلایه های گوناگون ۸۷
- ۲-۴ : پارامترهای شبکه بلوری مواد مورد استفاده در کار تجربی فوق ۸۷
- ۳-۴: پارامترهای شبکه لایه ها (باتوجه به پیشنهادی ۴-۱) ۹۰
- ۴-۴ : نتایج ضخامت و نرخ نهشت نمونه ها..... ۹۴
- ۵-۴ : پارامترهای ثابت آزمایش..... ۹۷
- ۶-۴ : نتایج بدست آمده نمونه ها..... ۹۷
- ۷-۴ : نتایج بدست آمده از a_0 ثابت شبکه، C_{ij} ثابتهای الاستیک، G ماژول shear ، B ماژول حجم ، E ، ماژول یانگ، E' انرژی تشکیل برای یک سلول واحد و E'_{333} انرژی تشکیل برای یک سلول $3 \times 3 \times 3$. برای نیتريد مس خالص و بدون دوپینگ و همراه با دوپینگ سایر اتمها..... ۱۰۲

- ۸-۴ : نتایج محاسباتی خواص مغناطیسی ساختار نیتريد مس همراه با دوپینگ اتمهای فلزی انتقالی H,LI و 3d ۱۰۲
- ۹-۴ : نسبت جرمی نیتروژن به کل لایه ۱۱۹
- ۱۰-۴ : گاف انرژی ۵ لایه با آهنگهای شارش نیتروژن مختلف ۱۲۰
- ۱۱-۴ : ثابت شبکه ، ضخامت لایه و آهنگ لایه نشانی ۵ لایه نهشته با فشارهای جزئی گاز نیتروژن مختلف ۱۲۱
- ۱۲-۴ : ضخامت لایه های نیتريد مس در حضور گاز هیدروژن ۱۲۲
- ۱-۵ : مقایسه حرارتی و سختی کوارتز با شیشه BK7 ۱۳۲
- ۲-۵ : اطلاعات داده شده توسط XRD برای نیتريد مس و بدست آوردن ثابت شبکه و قطر دانه های بلوری ۱۵۲
- ۳-۵ : اطلاعات داده شده توسط XRD برای مس و بدست آوردن قطر دانه های بلوری مس ۱۵۳
- ۴-۵ : مقادیر roughness شش نمونه گرفته شده در مد غیر تماسی ۱۵۹
- ۵-۵ : ضخامت لایه ها ۱۶۰
- ۶-۵ : گاف انرژی لایه های نازک نیتريد مس نمونه های ۱ تا ۵ ۱۶۷

چکیده:

نیتريد مس يك ماده نيمه رسانا با گاف انرژي غيرمستقيم است و با توجه به تركيب و ساختار بلوري آن مقدار اين گاف در محدوده ۰,۸ تا ۱,۹ الكترون ولت (eV) گزارش شده است. تركيباتي كه از نيتروژن و مس ممكن است بوجود آيد Cu_3N , CuN_4 , $\text{Cu}(\text{N}_3)_2$ و ... است. كه به شرايط لايه نشاني مانند شار و درصد نيتروژن به عنوان گاز واكنشي در دستگاه كندوپاش و نوع دستگاه و فاصله هدف تا زيرلايه و غيره وابسته است. لايه نازك اين ماده کاربردهاي بسيار خوبي در زمينه الكترونيك، ميكروالكترونيك، اپتوالكترونيك دارد. استفاده در ساخت ذخيره كننده هاي اپتيكي يكبار قابل نوشتن، در تكنولوژي چاپ مدارات الكترونيكي، در مدارهاي مجتمع سرعت بالا، در سلولهاي خورشيدى، در ساخت مقاومت هاي تونلي مغناطيسي به عنوان سد در پيوندگاه دو ماده فرومغناطيسي و در باطريهاي Li-ion قابل شارژ و غيره از کاربردهاي عمده لايه نازك نيتريد مس است. در گزارشات مختلف از تهيه Cu_3N در بين ساير تركيبات بيشتر اسم آورده شده است و احتمال تشكيل اين نوع لايه بيشتر از ساير تركيبات اين دو عنصر است. وجود اين ماده به صورت طبيعي و در طبيعت تاكنون گزارش نشده است و به همين علت لايه نازك نيتريد مس را مي بايست توسط دستگاههاي لايه نشاني و تحت شرايط خاصي بوجود آورد.

لذا در اين كار تجربي و پژوهشي، ما نيز لايه هاي نازك نيتريد مس را روي زيرلايه هاي سيليكون و كوارتز در دماهاي متفاوت زيرلايه (دمای اتاق، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی گراد) توسط سيستم كندوپاش مغناطيسي فعال DC نهشته كرديم و خصوصيات اپتيكي، ساختاري و الكتريكي لايه ها را توسط آناليزهاي AFM و XRD و اسپكتروفوتومتري و مقاومت سنجي انجام داديم. از تصاوير AFM جهت بررسي مورفولوژي سطح لايه ها و براي سه نمونه (100°C ، 200°C و 300°C) انجام داديم. نشان داده شد كه لايه ها به صورت تقريبا يكدست نهشته شده و در دو دمای 100°C ، 200°C نمونه ها به صورت منظم و دانه اي تشكيل يافته است ولي در دمای ديگر خصوصاً بر زير لايه سيليكون، سطح صافتر به نظر مي رسد.