بسم الله الرحمن الرحيم

۱۳۹۴۸۶

دانشگاه پیام نور

مرکز مشهد

پایان نامه

جهت دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک حالت جامد

گروه علمی فیزیک

عنوان پایان نامه:

بررسی خواص نانوساختار فیلم فرانازک فلزی

استاد راهنما:

دکتر علی بهاری

استاد مشاور:

دکتر محمدرضا بنام

نگارش:

مرضیه ابراهیم زاده

تیرماه ۱۳۸۹

۱۳۹۳۸۶

دانشگاه پیام نور

مرکز مشهد

پایان نامه

جهت دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک حالت جامد

گروه علمی فیزیک

عنوان پایان نامه:

بررسی خواص نانوساختار فیلم فرانازک فلزی

استاد راهنما:

دکتر علی بهاری

استاد مشاور:

دکتر محمدرضا بنام

نگارش:

مرضیه ابراهیم زاده

۱۳۸۹/۴/۲۸

مرکز اطلاعات مدارک علمی ایران

تیرماه ۱۳۸۹

جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

تاریخ: ۱۳۸۹/۴/۱۳

شماره: ۸۱/۸۷۳۰

پیوست:

دانشگاه پیام نور

خراسان رضوی

باسمه تعالی

تصویب نامه پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان: **بر رسی خواص نانو ساختاری فیلم فرا نازک فلزی** که توسط **مرضیه براهیم زاده** تهیه و به هیئت داوران ارائه گردیده است مورد تایید می باشد.

تاریخ دفاع: ۸۹/۴/۸ نمره: ۱۹/۵ (نوزده و پنج) درجه ارزشیابی: عالی

اعضای هیئت داوران:

نام و نام خانوادگی	هیئت داوران	مرتبه علمی	امضاء
دکتر علی بهاری	استاد راهنما	استاد یار	
	استاد راهنمای همکار		
دکتر محمد رضا بنام	استاد مشاور	دانشیار	
دکتر هادی عربشاهی	استاد ممتحن	دانشیار	
دکتر سعید محمدی	نماینده گروه آموزشی	دانشیار	

تقدیم به:

همسر عزیزم

تشکر و قدردانی

پس از حمد و سپاس خداوند مهربان، بر خود واجب می‌دانم از استادان بزرگوار، **جناب آقای دکتر علی بهاری** و **جناب آقای دکتر محمدرضا بنام** که در طول انجام و نگارش این پایان نامه زحمات زیادی کشیده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

همچنین از دوستان و خانواده‌ی محترم خود به‌ویژه **همسر عزیز و مهربانم** که در طول اخذ مدرک کارشناسی ارشد همواره همراه و مشوق این جانب بوده‌اند، سپاس‌گذاری می‌نمایم.

چکیده

فیلم‌های نازک اکسیدهای فلزی با ثابت دی الکتریک بالا اخیرا مورد توجه زیادی به عنوان جایگزین SiO_2 به خاطر توانایی‌هایشان قرار گرفتند. طوری که کوچک‌ترین ابعاد در مدارات جدید حدود ۱ تا ۲ نانومتر هستند.

با کاهش ضخامت SiO_2، با مسایلی نظیر افزایش جریان تونل‌زنی، جریان نشتی و نفوذ بور، روبه رو هستیم. لذا SiO_2 فرا نازک نمی‌تواند یک گیت دی الکتریک مناسب در تولیدات آتی ترانزیستورهای MOS باشد. به همین دلیل در پی جایگزینی برای اکسید سیلیکون، به مطالعه نانو اکسید تیتانیوم در فشار بالا پرداختیم.

مطالعات نشان می‌دهد که اکسید تیتانیوم جایگزینی مناسب برای اکسید سیلیکون فرا نازک است. اکسید تیتانیوم آمورف بوده و جریان نشتی و تونل زنی را کاهش می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مفاهیم بنیادی

مقدمه ۲

۱-۱) انقلاب نانو از کجا سرچشمه می گیرد؟ ۳

۱-۲) نانو الکترونیک..... ۶

۱-۳) نیمه رسانا ۶

۱-۴) ناخالصی های بخشنده و پذیرنده ۸

۱-۴-۱) بخشنده ها ۸

۱-۴-۲) پذیرنده ها ۹

۱-۵) نوار انرژی در نیمه رساناها..... ۱۰

۱-۶) حالت های الکترونی در نیمه رساناهای آمورف و بلوری..... ۱۱

۱-۷) سیلیکون..... ۱۳

۱-۸) ساختار نواری سیلیکون..... ۱۵

۱-۹) خمیدگی نواری..... ۱۷

۱-۱۰) تیتانیوم ۱۹

۱-۱۱) اکسید تیتانیوم ۲۱

۱-۱۲) نتیجه گیری ۲۱

فصل دوم: ترانزیستور های اثر میدانی MOSFET

مقدمه ۲۴

۲-۱) اهمیت ترانزیستور ها ۲۴

۲-۲) پیشگویی مور ۲۶

۲-۳) آشنایی با ترانزیستورها و انواع آن ۲۷

۲-۴) ترانزیستور اثر میدانی گیت عایق شده (MOSFET) ۲۹

۲-۵) چگونگی عملکرد ترانزیستور MOS ۳۲

۲-۵-۱) اعمال ولتاژ اندک V_{SD} ۳۵

۲-۶) ماسفت نوع افزایشی ۳۹

۲-۷) ماسفت نوع کاهشی ۴۰

۲-۸) MOS تکمیلی یا CMOS ۴۱

۲-۹) اتصال فلز- اکسید – نیمه رسانا ۴۲

۲-۹-۱) لایه تجمعی ۴۳

۲-۹-۲) لایه تخلیه ۴۴

۲-۹-۳) لایه وارونی ۴۴

۲-۱۰) تکنولوژی BiCMOS ۴۵

۲-۱۱) نتیجه گیری ۴۷

فصل سوم : روش های تجربی در بررسی فیلم های نازک

مقدمه..... ۴۹

۳-۱) روش تولید پرتوی X ۴۹

۳-۲) تولید خطوط طیفی پرتوی X ۵۰

۳-۳) پراش پرتوی X (XRD) ۵۰

۳-۳-۱) روش های پراش پرتوی X ۵۱

۳-۳-۲) توصیف دستگاه پراش پرتوی X ۵۲

۳-۳-۳) کاربردهای روش XRD ۵۵

۳-۴) میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) ۵۷

۳-۵) میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۶۰

۳-۶) طیف نمایی فتو گسیلی XPS ۶۳

۳-۶-۱) اجزای تشکیل دهنده سیستم XPS ۶۴

۳-۷) سینکروترون ۶۵

۳-۸) تابش سینکروترون ۶۷

۳-۹) طیف نگاری الکترونی اوژه (AES) ۶۸

۳-۱۰) نتیجه گیری ۷۰

فصل چهارم: سنتز و بررسی فیلم اکسید تیتانیوم

مقدمه ۷۲

۴-۱) مشکلات اکسید سیلیکون و ویژگی های ماده جایگزین ۷۲

۴-۲) تمیز سازی سیلیکون ۷۳

۴-۳) پراکنش ۷۴

۴-۳-۱) نحوه تولید یون آرگون ۷۵

۴-۳-۲) کاربرد پراکنش در تمیز کردن سطح آلوده ۷۵

۴-۴) نحوه تولید بخارات تیتانیوم و رشد نانو اکسید تیتانیوم بر زیر لایه سیلیکون ۷۵

۴-۵) آماده سازی نمونه به روش سل- ژل ۸۸

۴-۶) تاثیر کاتالیزورها و کاتالیست‌های متفاوت در نانوپودر های اکسید تیتانیوم ۸۹

۴-۷) تاثیر دمای فعال سازی در سنتز فیلم اکسید تیتانیوم ۹۱

۴-۸) اثر درجه حرارت واکنش هم دما بر روی خواص کریستالی اکسید تیتانیوم ۹۲

۴-۹) نقش کاتالسیت ها در ساختار اکسید تیتانیوم ۹۳

۴-۱۰) نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فصل اول: مفاهیم بنیادی

شکل (۱-۱) تصویری از نوشتن حروف توسط اتم ها ۴

شکل (۱-۲) شبکه سیلیکون خالص ۷

شکل (۱-۳) سیلیکون نوع n ۹

شکل (۱-۴) سیلیکون نوع p ۹

شکل (۱-۵) نمودار نوار انرژی برای نیمه رسانای پذیرنده ۱۰

شکل (۱-۶) نمودار نوار انرژی برای نیمه رسانای بخشنده ۱۱

شکل (۱-۷) چگالی حالت ها در نیمه رسانای آمورف ۱۳

شکل (۱-۸) ساختار الماسی سیلیکون ۱۴

شکل (۱-۹) نمایی از Si(111) ۱۵

شکل (۱-۱۰) ساختار نواری سیلیکون ۱۶

شکل (۱-۱۱) تغییرات گاف انرژی سیلیکون نسبت به دما ۱۶

شکل (۱-۱۲) خمیدگی نواری در نیمه رسانای نوع p ۱۸

شکل (۱-۱۳) خمیدگی نواری فصل مشترک فلز- نیمه رسانا ، ناشی از تماس اهمی ۱۹

شکل (۱-۱۴) تصویری از بلور تیتانیوم ۲۰

شکل (۱-۱۵) شبکه بلوری اکسید تیتانیوم ۲۱

فصل دوم: ترانزیستور های اثر میدانی MOSFET

شکل (۲-۱) نمودار افزایش ترانزیستور ها بر حسب سال ۲۷

شکل (۲-۲) نواحی مختلف کاری در ترانزیستور ۲۸

شکل (۲-۳) نمایی از یک ترانزیستور MOS ۳۰

شکل (۲-۴) ماسفت کانال p ۳۱

شکل (۲-۵) ماسفت کانال n ۳۲

شکل (۲-۶) یک ترانزیستور nMOS متصل به منبع ولتاژ ۳۳

شکل (۲-۷) اعمال ولتاژ مثبت و و ایجاد کانال در ماسفت نوع n ۳۴

شکل (۲-۸) اعمال ولتاژ منفی و ایجاد کانال در ماسفت نوع p ۳۴

شکل (۲-۹) لایه معکوس یکنواخت در طول کانال ۳۶

شکل (۲-۱۰) به وجود آمدن نقطه تنگیده در کانال ۳۶

شکل (۲-۱۱) مدولاسیون طول کانال ۳۷

شکل (۲-۱۲) جریان بر حسب ولتاژهای مختلف گیت ۳۸

شکل(۲-۱۳) ماسفت نوع افزایشی ۳۹

شکل (۲-۱۴) ماسفت نوع کاهشی ۴۰

شکل (۲-۱۵) چگونگی ایجاد ناحیه تهی و طرز کار nMOS نوع کاهشی ۴۱

شکل (۲-۱۶) نمایی از ترانزیستور CMOS ۴۲

شکل(۲-۱۷) نمودار نوار انرژی فلز- اکسید – نیمه رسانا ۴۳

شکل (۲-۱۸) لایه تجمعی ۴۳

شکل (۲-۱۹) لایه تخلیه ۴۴

شکل (۲-۲۰) لایه وارونی ۴۵

شکل (۲-۲۱) نمایی از ترانزیستور BiCMOS ۴۷

فصل سوم: روش های تجربی در بررسی فیلم های نازک

شکل (۳-۱) پراش پرتوی X توسط یک بلور ۵۱

شکل (۳-۲) تصویر هندسی دوربین پودری دبای شرر ۵۲

شکل (۳-۳) طرحی از یک دستگاه پراش پرتوی X ۵۲

شکل (۳-۴) نمودارپراش پرتوی X برای تعدادی از بلورها ۵۳

شکل (۳-۵) پهنای پیک در نصف ارتفاع ۵۴

شکل (۳-۶) الگوی پراش پرتوی X حاصل از بلور اکسید آلومینیوم ۵۵

شکل (۳-۷) نمایی از دستگاه XRD ۵۷

شکل (۳-۸) نمای بیرونی TEM..... ۵۸

شکل (۳-۹) طرحی از TEM ۵۹

شکل (۳-۱۰) طرحی از SEM ۶۱

شکل (۳-۱۱) طرحی از دستگاه XPS ۶۴

شکل (۳-۱۲) نمای بیرونی یک سینکروترون ۶۶

شکل (۳-۱۳) نمایی از خطوط شیب دار روی محیط حلقه ۶۷

شکل (۳-۱۴) نمایی از تابش سینکروترون ۶۸

شکل (۳-۱۵) شمای کلی از فرایند اوژه ۶۹

شکل (۳-۱۶) AES ۶۹

فصل چهارم: سنتز و بررسی فیلم اکسید تیتانیوم

شکل (۴-۱) نمایش اکسید فرا نازک سیلیکون در گیت دی الکتریک ۷۲

شکل (۴-۲)الف: تصویری از حمام فرا صوت..... ۷۴

شکل (۴-۲)ب: نمونه سیلیکون تمیز ۷۴

شکل (۴-۳) تصویری از کوره CVD ۷۶

شکل (۴-۴) طیف اوژه سیلیکون تمیز ۷۷

شکل (۴-۵) طیف اوژه فیلم حاصل از لایه نشانی اکسید تیتانیوم بر زیر لایه سیلیکون ۷۷

شکل (۴-۶) نمایی از نمونه پس از کندوپاش ۷۸

شکل (۴-۷) تغییرات شدت قله های اکسیژن نسبت به جابجایی انرژی جنبشی قله ها ۷۹

شکل (۴-۸) تغییرات شدت قله های تیتانیوم نسبت به جابجایی انرژی جنبشی قله ها..... ۸۰

شکل (۴-۹) تغییرات شدت قله های سیلیکون نسبت به جابجایی انرژی جنبشی قله ها ۸۰

شکل (۴-۱۰) افزایش غلظت تیتانیوم و تشکیل پیوند Ti-Si ۸۱

شکل (۴-۱۱) افزایش غلظت تیتانیوم و کاهش شدت قله های زیر لایه سیلیکون ۸۲

شکل (۴-۱۲) تغییرات انرژی جنبشی بر حسب شدت قله ها (تیتانیوم- اکسیژن).....۸۳

شکل (۴-۱۳) تغییرات انرژی جنبشی بر حسب شدت قله ها (تیتانیوم- سیلیکون- اکسیژن.....۸۳

شکل (۴-۱۴) XRD مربوط به فیلم تیتانیوم.....۸۶

شکل (۴-۱۵) نقش پراش روتیل.....۸۷

شکل (۴-۱۶) نقش پراش آناتاز.....۸۷

شکل (۴-۱۷) XRD مربوط به فیلم اکسید تیتانیوم ۸۹

شکل(۴-۱۸) XRD مربوط به پلی اتیلن گلیکول، تیتانیای آلاییده با آهن *S1* و تیتانیای آلاییده با آهن *S2* (باز پخت شده در دمای ۵۰۰°C).....۹۰

شکل (۴-۱۹) XRD مربوط به نمونه مرجع اولیه، ($p25_{873}$) ، ($p25_{1073}$) و($p25_{1173}$).....۹۱

شکل (۴-۲۰) XRD مربوط به La(S-C)-TiO_2 نمونه های بدست آمده در دماهای مختلف.....۹۳

شکل (۴-۲۱) نقش پراش کاتالیست Co/TiO_2 کلسینه شده در دمای ۵۰۰°C ۹۵

شکل (۴-۲۲) نقش پراش کاتالسیت Pd/TiO_2 کلسینه شده در دمای ۵۰۰°C ۹۵

شکل (۴-۲۳) نقش پراش کاتالیست Co/Pd/ TiO_2 کلسینه شده در دمای ۵۰۰°C ۹۶

فصل اول

مفاهیم بنیادی

مقدمه

نانوتکنولوژی یا کاربرد فناوری در مقیاس یک میلیاردم متر، جهان حیرت‌انگیزی را پیش روی دانشمندان قرار داده است. پیشرفت‌های پرشتابی که دراین عرصه به وقوع می‌پیوندد، پیام مهمی را که در تاریخ بشریت نظیری برای آن نمی‌توان یافت با خود به همراه آورده است. بشردر آستانه دستیابی به توانایی‌های بی‌بدیلی برای تغییر محیط پیرامون خویش قرار گرفته است و جهان و جامعه‌ای که در آینده‌ای نه چندان دور به مدد این فناوری جدید پدیدار خواهد شد تفاوت‌های بنیادین با جهان مالوف آدمی در گذشته خواهد شد.

در دهه اخیر پیشرفت‌های تکنولوژی، وسایل و مواد با ابعاد بسیار کوچک به‌دست آورده است و به سوی تحولی فوق‌العاده که تمدن بشر را تا پایان قرن دگرگون خواهد کرد پیش می رود. تکنولوژی و مهندسی در قرن پیش‌رو با وسایل، اندازه گیری‌ها و تولیداتی سرو کار خواهند داشت که ابعاد مادون ریزی در حد نانومترِ دارند. در حال حاضر فرایندهایی در ابعاد چند مولکول قابل طراحی و کنترل است. همچنین خواص مکانیکی، شیمیایی، الکتریکی، مغناطیسی، نوری و... مواد در لایه‌ها در حدود ابعاد نانومتر قابل درک وتحلیل و سنجش است .

نانو واحد اندازه گیری، برابر یک میلیاردم متر یا 10^{-9} متراست. در اصل کلمه نانو یک واژه یونانی به معنای کوتوله می‌باشد. برای تصور این اندازه می‌توان گفت که نانو برابر با یک هزارم قطر موی انسان است.

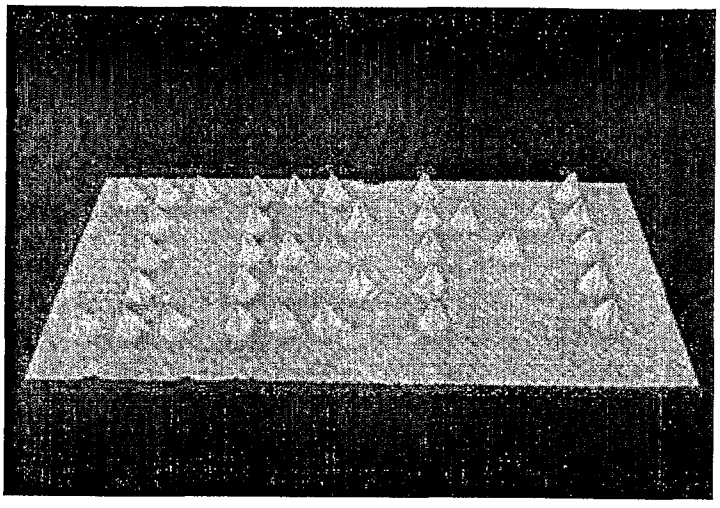
طراحی، ساخت، توسعه و استفاده از محصولاتی که اندازه آن ها در بازه ۱تا۱۰۰ نانومتر قرار دارند را نانوتکنولوژی گویند. درحقیقت این‌جا صحبت از ریز شدن است که این کار تماس بیش‌تر، فعالیت بیش‌ترو افزایش مساحت را ممکن می سازد. نانو یک مقیاس جدید درفن‌آوری‌ها و یک رویکرد جدید درتمام رشته‌هاست و این توانایی را به بشر می‌دهد تا دخالت خود را در ساختار مواد گسترش دهد و درابعاد بسیار ریز به طراحی و ساخت دست بزند و در تمام فن آوری‌هایی که بشر در حال حاضر به آن دست یافته، اثر بگذارد.

۱-۱) انقلاب نانو از کجا سرچشمه می‌گیرد؟

کوانتوم نظری انقلاب نانو به حدود ۴۰ سال پیش برمی‌گردد، زمانی که در سال ۱۹۵۹ فاینمن در هنگام گرفتن جایزه نوبل، نظریه جدیدی مطرح کرد [۱]. او درسخنرانی معروف خود درهمان سال به عنوان (فضاهای زیادی درپایین وجود دارد) به بررسی بعد رشد نیافته مواد پرداخت. فاینمن فرض را بر این قرار داد که اگر دانشمندان فرا گرفته‌اند که چگونه ترانزیستورها و دیگر سازه‌ها را در مقیاس‌های کوچک بسازند پس ما خواهیم توانست آن ها را کوچک و کوچک‌تر کنیم. او در ذهن خود یک دکتر مولکولی تصور کرد که صدها بار از یک سلول کوچک‌تر است و می تواند به بدن انسان تزریق شود و در درون بدن به مطالعه سلامت سلول‌ها و انجام اعمال ترمیمی بپردازد.

فاینمن با طرح این سوال چه اتفاقی ممکن است بروز کند چنانچه بتوانیم اتم های یک شئ را تک تک جابه‌جا کنیم و دوباره آن‌ها را به دلخواه بچینیم؟ ایده فن آوری نانو را پایه ریزی کرد. او کاربردهای نظیر نوشتن حروف با استفاده از اتم های روی سطح یک شئ را نیز مورد ملاحظه قرار داد. (تردیدی وجود ندارد که درانتهای یک سوزن ته گرد آن قدر جا هست که بتوان تمام دائره‌المعارف ۲۴ جلدی بریتانیا را جا داد.) برای نوشتن حروف به وسیله اتم‌ها کافی بود تا اختراع میکروسکوپ تونل زنی منتظر شد پس از اختراع میکروسکوپ تونل زنی STM[1] توسط محققان شرکت IBM، گیفت اگلر دانشمند مرکز تحقیقاتی IBM موفق شد به کمک نوک ظریف میکروسکوپ، اتم ها را دست‌کاری وجابه‌جا کند و سپس آن ها را به دلخواه بر روی سطح بچیند. زمانی که او توانست عبارت IBM را با ۳۵ اتم زنون بر روی سطح بلور نیکل بنویسد پیشگویی ریچارد فاینمن به تحقق پیوست. از این زمان به بعد، پیشرفت در زمینه علوم و فن آوری نانو آغاز شد.

1. STM: Scanning Tunneling Microscopy



شکل (۱-۱) تصویری از نوشتن حروف توسط اتم ها

مواد در ابعاد نانو از خواص ویژه‌ای برخوردار هستند. دخالت در بافت اتمی ساختار جدیدی را ایجاد می‌کند که این ساختار را می‌توان به دو طریق به دست آورد [۲]:

الف) از بالا به پایین: در این روش یک ماده بزرگ را برمی‌داریم و با کاهش ابعاد و شکل‌دهی آن، به یک محصول به ابعاد نانو خواهیم رسید.

ب) از پایین به بالا: در این روش محصولی از مواد ساده‌تر به وجود می‌آید. در حقیقت کاری که این‌جا انجام می‌شود کنار هم قراردادن اتم‌ها و مولکول‌ها (که ابعاد کوچک‌تر از مقیاس نانو دارند) برای ساخت یک محصول نانومتری است .

بدین ترتیب با این دو رویکرد می توان ساختارهای جدیدی ساخت این مواد که خواص جدیدی دارد مواد هوشمند نامیده می‌شوند.

به طور مثال اگر یک سطح ساخته شده از مولکول های آب گریز داشته باشیم این سطح خودش را تمیز می‌کند چون آب با سطح برخورد نمی‌کند و آلودگی را از خودش دور می‌کند. دلیل خشک ماندن سطح برگ نیلوفر آبی نیز همین است. آب روی شیشه معمولی پخش می‌شود ولی آب روی سطحی با ساختار نانو نمی‌ماند. با یکنواخت سازی سطوح می‌توان سطحی کاملا" ضد خش را بوجود آورد. امروزه پنجره هایی ساخته می‌شود که شفافیت آنها با جریان الکتریسیته تغییر می‌کند یا شیشه هایی که در دماهای بالا عایق هستند.