دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم ، گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش : فیزیک هسته ای

عنوان :

تعیین مساحت سطح نانو متخلخل سیلیسیومی به روش آنالیز با باریکه یونی

استاد راهنما :

دکترامید رضا کاکوئی

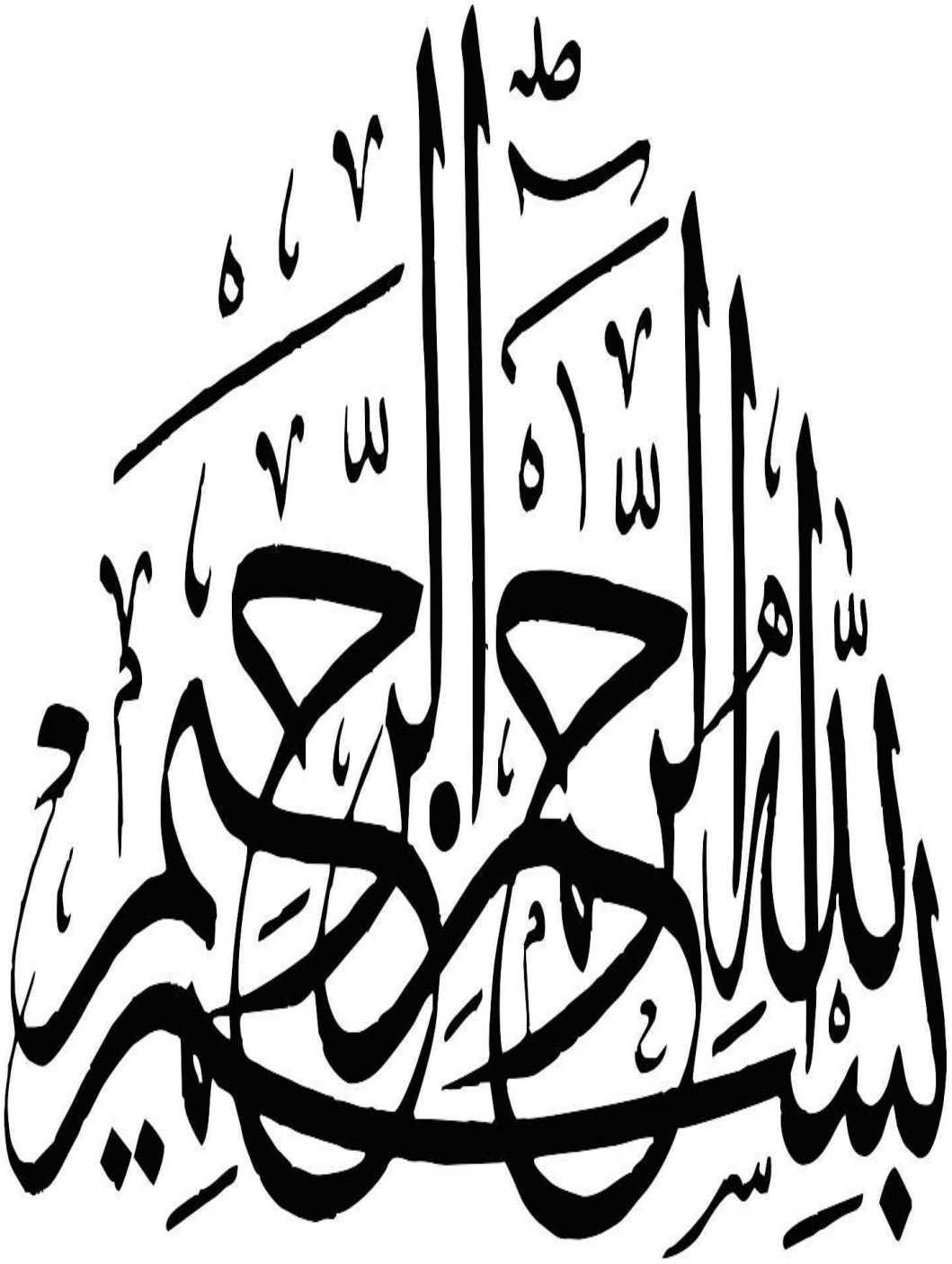
استاد مشاور :

دکتر علی اکبر میرزائی

پژوهشگر :

مرتضی اسمعیلی نوجه دهی

بهمن ۱۳۸۹


بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم ، گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش : فیزیک هسته ای

عنوان :

تعیین مساحت سطح نانو متخلخل سیلیسیومی به روش آنالیز با باریکه یونی

استاد راهنما :

دکترامید رضا کاکوئی

استاد مشاور :

دکتر علی اکبر میرزائی

پژوهشگر :

مرتضی اسمعیلی نوجه دهی

تابستان ۱۳۹۰

تقدیم به

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

تشکر و قدردانی

خدای عزوجل را سپاس و ثنا می گویم که فرصتی دوباره به من داد تا در کسب علم و اخلاق از اساتید مهربان و فرزانه‌ام گامی بلند در مسیر زندگی ام بردارم.

بر خود واجب می دانم که از استاد راهنمای ارجمندم آقای دکتر امیدرضا کاکوئی که با زحمت‌های بی‌دریغشان مرا یاری فرمودند تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از استاد مشاور گرانقدرام آقای دکتر علی‌اکبر میرزائی تشکر می کنم.

لازم می دانم از آقای دکتر سید علی موسوی بهبهانی، رئیس بخش فیزیک هسته ای و استاد گرامی آقای دکتر محمد لامعی رشتی، رئیس آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی و تکنسین‌های آزمایشگاه که در تمام مراحل آزمایش ها کمال همکاری را داشته‌اند تشکر کنم.

از آقای مهندس وحید فتح‌الهی، آقای بهزاد یدالهی، خانم نعیمی و خانم همقلم و ازتمام دوستان عزیزی که مرا در تهیه این اثر یاری کردند سپاسگذارم.

از خانواده ام بخصوص از سهیلا اسمعیلی خواهر بسیار مهربانم که در این مدت با فداکاری همه جانبه مرا همراهی و تحمل نمودند و در تهیه این ÷ایان نامه مرا یاری فرمودند، تشکر ویژه‌ای می‌نمایم.

بسمه تعالی

در تاریخ :

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای مرتضی اسمعیلی نوجه دهی از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره ۲۰ بحروف بیست و با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء استاد راهنما

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه ۲

فصل دوم: پیشینه تحقیق ۵

۲-۱) سیلیسیوم متخلخل..... ٦

۲-۱-۱) ساختار سیلیسیوم متخلخل ۱۰

۲-۲) روش‌های ساخت سیلیسیوم متخلخل..... ۱۱

۲-۲-۱) ساخت سیلیسیوم متخلخل با استفاده از روش شیمیایی ۱۱

۲-۲-۲) ساخت سیلیسیوم متخلخل با استفاده از خورش الکترو شیمیایی..... ۱۳

۲-۳) مکانیسم انحلال Si و تشکیل تخلخل ۱٦

۲-٤) نقش پارامترهای فیزیکی در ساخت سیلیسیوم متخلخل ۱۸

۲-۵) خواص و ویژگی‌های سیلیسیوم متخلخل ۱۹

۲-۵-۱) پیوندهای سطحی سیلیسیوم متخلخل ۱۹

۲-۵-۲) تثبیت و یا تغییر پیوندهای سطحی سیلیسیوم متخلخل ۲۲

۲-۵-۳)خواص شیمیایی سیلیسیوم متخلخل ۲۳

۲-۵-٤) خواص فیزیکی سیلیسیوم متخلخل ۲٤

۲-٦) کاربردهای سیلیسیوم متخلخل ۲٦

۲-۷) طبقه بندی مواد متخلخل ۳۲

۲-۸) بررسی چگالی و میزان تخلخل در مواد متخلخل..... ۳۳

۲-۹) روش‌های متداول اندازه‌گیری مساحت سطح سیلیسیوم متخلخل ۳٤

۲-۹-۱) اندازه‌گیری مساحت سطح به روش BET..... ۳۵

۲-۹-۲) اندازه‌گیری مساحت سطح به روش ESA..... ۳٦

۲-۹-۳) اندازه‌گیری مساحت سطح به روش تخلخل‌سنج جیوه‌ای..... ۳۸

۲-۱۰) مشخصه‌یابی به‌روشمیکروسکوپ الکترونی عبوریTEM ۳۸
۲-۱۱) مشخصه‌یابی به‌روش میکروسکوپ الکترونی روبشیSEM ٤۱
۲-۱۲)مشخصه یابی به وسیله میکروسکوپ نیرو اتمیAFM ٤۹
۲-۱۳) برسی ساختار سیلیسیوم متخلخل با باریکه یونی ۵۱
۲-۱۳-۱) اثرات القاءشده از ساختار..... ۵۵
۲-۱۳-۲) مشاهده تجربی اثرات القاءشده از ساختار ۵۷

فصل سوم: آنالیز با باریکه یونی و روش‌های متداول آن..... ۷۱
۳-1) آنالیز برهم‌کنش هسته‌ای NRA ۷۲
۳-۱-۱) اصول حاکم بر آنالیز به روش NRA ۷۲
۳-۱-۲) سینماتیک واکنش در NRA ۷۵
۳-۱-۳)برخی از برهم‌کنش‌های هسته‌ای مهم... .....۷۸
۳-۱-٤) آنالیز کربن با استفاده از NRA ۷۹
۳-۱-۵) آنالیز نیتروژن با استفاده از NRA ۸۰
۳-۱-٦) آنالیز اکسیژن با استفاده از NRA.....۸۰
۳-۱-۷) کاربردهای NRA ۸۱
۳-۲) آنالیز با طیف‌سنجی پس پراکندگی رادرفوردRBS ۸۱
۳-۲-۱) مفهوم کلی پراکندگی یونی ۸٤
۳-۲-۱-۱) تعیین جرم در لایه‌های نازک ۸٤
۳-۲-۱-۲) نمایه غلظت ۸۷
۳-۲-۲) شرایط متعارف آزمایشگاهی.....۸۸
۳-۲-۳) تفکیک جرمی ۸۹
۳-۲-٤) حساسیت ۹۱
۳-۲-۵) تفکیک عمقی ۹۲

۳-۲-٦) ناهمگنی‌های جانبی ۹۳
۳-۳) پراکندگی نارادرفورد ۹۷
٤-۳) آنالیز با آشکارسازی ذرات پس‌زده از برخورد کشسان(ERD) ۹۹
۳-٤-۱) قوانین اصلی ۱۰۰
۳-٤-۲) نمایه عمقی ۱۰۲

فصل چهارم: آزمایش‌ها و نتایج ۱۰۵
٤-۱) روش انجام آزمایش و مراحل تحقیق آن ۱۰٦
٤-۲) آماده سازی نمونه سیلیسیوم متخلخل ۱۰۷
٤-۳) آنالیز برهم‌کنش هسته‌ای نمونه‌ها ۱۰۸
٤-۳-۱) بررسی آلودگی سطحی نمونه با آنالیز برهم‌کنش هسته‌ای NRA ۱۰۸
٤-۳-۲) بررسی مقدار آلودگی‌های کربن بر روی نمونه‌ها ۱۱٤
٤-٤) اندازه‌گیری میزان تخلخل با استفاده از آنالیز RBS ۱۱۹
٤-٥) آنالیز ERD برای تعیین میزان هیدروژن نمونه‌های سیلیسیوم متخلخل ۱۲۷
٤-٦) بررسی مقدار میانگین در آنالیز ERD ۱۳۱

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۳۵
۵-۱) نتیجه‌گیری ۱۳٦
۵-۲) پیشنهادات ۱٤۱

مراجع ۱٤۲

چکیده (انگلیسی) ۱٤۵

فهرستشکل

عنوان صفحه

شکل ۲-۱ ..... ۸
شکل ۲-۲ ..... ۱۱
شکل ۲-۳ ..... ۱۲
شکل ۲-٤ ..... ۱۳
شکل ۲-٥ ..... ۱٤
شکل ۲-٦ ..... ۱٤
شکل ۲-۷ ..... ۱٦
شکل ۲-۸ ..... ۱۸
شکل ۲-۹ ..... ۲۰
شکل ۲-۱۰ ..... ۲۱
شکل ۲-۱۱ ..... ۲۷
شکل ۲-۱۲ ..... ۳۲
شکل ۲-۱۳ ..... ۳٤
شکل ۲-۱٤ ..... ۳۷
شکل ۲-۱٥ ..... ۳۹
شکل ۲-۱٦ ..... ٤۰
شکل ۲-۱۷ ..... ٤۱
شکل۲-۱۸ ..... ٤۳
شکل ۲-۱۹ ..... ٤٤
شکل ۲-۲۰ ..... ٤٤

شكل ٢-٢١ ..... ٤٦
شكل ٢-٢٢ ..... ٤٨
شكل ٢-٢٣ ..... ٤٨
شكل ٢-٢٤ ..... ٤٩
شكل ٢-٢٥ ..... ٥٠
شكل ٢-٢٦ ..... ٥١
شكل ٢-٢٧ ..... ٥٢
شكل ٢-٢٨ ..... ٥٣
شكل ٢-٢٩ ..... ٥٩
شكل ٢-٣٠ ..... ٦٠
شكل ٢-٣١ ..... ٦٢
شكل ٢-٣٢ ..... ٦٤
شكل ٢-٣٣ ..... ٦٥
شكل ٢-٣٤ ..... ٦٦
شكل ٢-٣٥ ..... ٦٨
شكل ٢-٣٦ ..... ٧٠
شكل ٣-١ ..... ٧٣
شكل ٣-٢ ..... ٨٢
شكل ٣-٣ ..... ٨٣
شكل ٣-٤ ..... ٨٣
شكل ٣-٥ ..... ٨٥
شكل ٣-٦ ..... ٨٨
شكل ٣-٧ ..... ٩١
شكل ٣-٨ ..... ٩٢

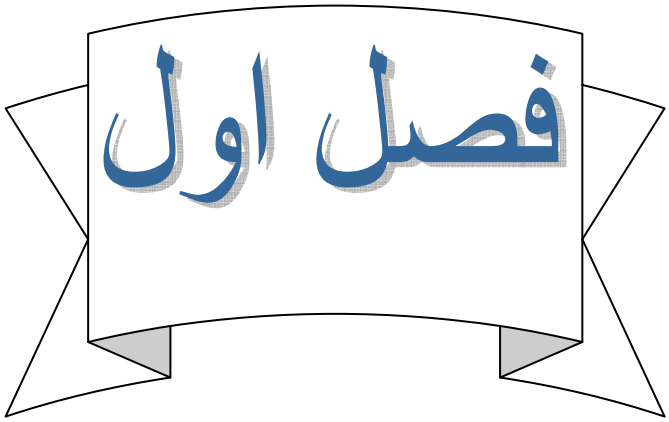
شكل ٣–٩ ..... ٩٣
شكل ٣–١٠ ..... ٩٤
شكل ٣–١١ ..... ٩٥
شكل ٣–١٢ ..... ٩٦
شكل ٣–١٣ ..... ٩٧
شكل ٣–١٤ ..... ٩٨
شكل ٣–١٥ ..... ١٠٠
شكل ٣–١٦ ..... ١٠١
شكل ٣–١٧ ..... ١٠١
شكل ٣–١٨ ..... ١٠٣
شكل ٤–١ ..... ١٠٧
شكل ٤–٢ ..... ١١٠
شكل ٤–٣ ..... ١١٢
شكل ٤–٤ ..... ١١٣
شكل ٤–٥ ..... ١١٣
شكل ٤–٦ ..... ١١٥
شكل ٤–٧ ..... ١١٧
شكل ٤–٨ ..... ١١٨
شكل ٤–٩ ..... ١٢٠
شكل ٤–١٠ ..... ١٢١
شكل ٤–١١ ..... ١٢١
شكل ٤–١٢ ..... ١٢٢
شكل ٤–١٣ ..... ١٢٣
شكل ٤–١٤ ..... ١٢٦

شكل ٤-١٥ ..... ١٢٨
شكل ٤-١٦ ..... ١٢٩
شكل ٤-١٧ ..... ١٣٢
شكل ٤-١٨ ..... ١٣٢
شكل ٤-١٩ ..... ١٣٣
شكل ٤-٢٠ ..... ١٣٣

فهرست جدول

عنوان صفحه

جدول ۲-۱ ..... ۱۹
جدول ۲-۲ ..... ۲۶
جدول ۳-۱ ..... ۸۵
جدول ۳-۲ ..... ۸۹
جدول ٤-۱ ..... ۱۱۱
جدول ٤-۲ ..... ۱۱٦
جدول ٤-۳ ..... ۱۱۷
جدول ٤-٤ ..... ۱۱۸
جدول ٤-٥ ..... ۱۲٦
جدول ٤-٦ ..... ۱۳۱



مقدمه

فصل اول

مقدمه

برای ایجاد سطح موثر بیشتر بر روی لایه سیلیسیم، نانوحفره‌هایی باقطر دهانه و نیز عمق چند ده تا چند صد نانومتر و گاهی با ابعادبزرگتر ایجاد می‌شود. برای دستیابی به بیشینه بازده، کنترل مساحت سطح در حین فرایند ساخت ضروری است. سیلیسیم با داشتن نانوحفره می‌تواند در ابزارهایی همانند سنسورهای گازی و سنسور زیستی و غیره مورد استفاده قرار گیرد.

لایه سیلیسیم متخلخل به روش خورش سیلیسیوم بلوری در محلول HF در مجاورت یک اسید دیگر بدست می‌آید. این فرایندخورش در ابتدا به صورت کند بر روی سطح سیلیسیم ناهمواری ایجاد کرده و در ادامه با سرعت بیشتری در محل‌های خورش ابتدایی، ادامه می‌یابد، بطوریکه در این محل‌ها سوراخ‌هایی عمود بر سطح بلور سیلیسیوم و یا در جهت‌های بلوری آن ایجاد می‌شود. فرآیند خورش با استفاده از انتخاب جهت بلوری سیلیسیوم، نوع آلاینده موجود در آن، ترکیب ماده شیمیایی مورد استفاده، اختلاف پتانسیل بین سطح بلور و یک الکترود در محیط محلول، و همچنین زمان خورش کنترل می‌شود. این تخلخل‌ها می‌توانند اسفنجی(با قطر 1-10nm)، ستونی و یا مخلوط باشند.

برای ساخت مواد با خواص ویژه، لازم است ترکیب و ساختار سطحی و حجمی آنها مشخصه‌یابی شوند. در بین ابزارهای مختلف مشخصه‌یابی، آنالیز با باریکه یونی جایگاه ویژه‌ای دارد. از

مزیت‌های روش آنالیز با باریکه یونی می‌توان به توانمند بودن ، غیر مخرب ، متنوع ، بس عنصری و همچنین سریع بودن اشاره کرد. با این روش‌ها می‌توان نوع و غلظت عناصر تشکیل دهنده ماده مجهول (روش پیکسی PIXE)، نوع، ترکیب و ضخامت لایه‌های نازک (روش پس پراکندگی رادرفوردRBS) را تعیین کرد. همچنین میزان هیدروژن و عناصر سبک موجود در ماده (روش ERD) را به صورت غیر مخرب تعیین کرد. روش‌های مکمل دیگر مانند میکروسکوپ روبشی پروتون برای تعیین نقشه ترکیب سطحی عنصری نمونه در مقیاس کوچک و بررسی آنالیز نمایه عمقی توزیع عناصر این نقشه مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی که هدف مورد آنالیز تک بلور باشد، با روش آنالیز کانال‌زنی (Channeling)می‌توان ضمن مطالعه ساختار شبکه بلوری و تعیین ثابت‌های آن، ناخالصی‌ها و ناراستی‌های شبکه را بررسی و عمق لایه‌های رونشانی شده و آمورف را مشخص کرد. این روش‌های آنالیز در آزمایشگاه واندوگراف پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای در دسترس هستند.

مشخصه‌یابی سیلیسیم نانو متخلخل به روش آنالیز با باریکه یونی در آزمایشگاه واندوگراف انجام شده و راهکارهای نوینی در این‌رابطه ارائه شده است. در این پروژه میزان غلظت هیدروژن موجود در سطوح حفره‌های سیلیسیوم متخلخل برای تعیین مساحت سطحی نانو متخلخل سیلیسیوم با استفاده از روش ERD مورد ارزیابی قرار گرفته است. ایده این است که اتم‌های هیدروژن در هنگام خورش شیمیایی Si بر روی سطح نانو حفره‌ها جذب می‌شوند. بنابراین تعیین نمایه عمقی این هیدروژن‌های انباشت شده می‌تواند راهکاری برای مشخصه‌یابی سطوح ایجاد شده در حین فرایند خورش شیمیایی و کنترل فرایند برای رسیدن به شرایط بهینه باشد.

تحلیل طیف‌های اندازه‌گیری شده در این پروژه با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند SIMNRA، Maple، SRIM انجام شده است و با توجه به راهکار پیشنهادی برای تعیین مساحت سطح نمونه با استفاده از آنالیز با باریکه یونی، یک روش نو و بدیع در زمینه آنالیز غیرمخرب مواد متخلخل ارائه شده است که خود می‌تواند پنجره‌ای را برای مشاهده نتایج علمی موثری در زمینه گسترش استفاده این مواد در صنعت الکترونیک و میکروالکترونیک باشد.

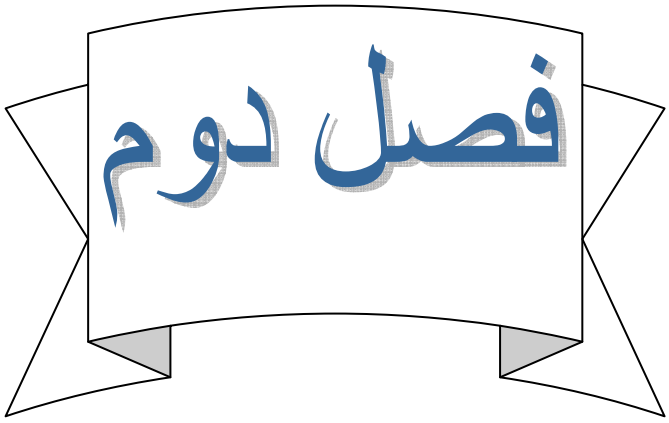
در این پروژه، روش تهیه نمونه توضیح داده شده و سپس نحوه استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری هسته‌ای بیان می‌شود و با انجام آزمایش‌های آنالیز با باریکه یونی جمع‌آوری داده‌های موردنیاز بررسی می‌شود. از آنجا که برای تحلیل این داده‌ها راهکار مشخصی وجود ندارد، سعی می‌شود با فراگیری کدهای موجود آنالیز با باریکه یونی مسئله تا حد ممکن ساده‌سازی شده و بصورت پدیده‌شناختی مورد ارزیابی قرار گیرد.

درفصل دوم این پایان‌نامه در رابطه با نانومتخلخل سیسیلیسیوم وخواص وکاربردهای آن وهمچنین روش‌های ساخت آن بیان شده است. در ادامه روش‌های متداول برای تخمین مساحت سطح نمونه‌های متخلخل معرفی شده است. در پایان این فصل مشخصه‌یابی سیلیسیوم متخلخل با باریکه یونی به تفصیل شرح داده شده است.

در فصل سوم روش‌های آنالیز با باریکه یونی که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته‌اند به طور مفصل مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل چهارم روش آماده‌سازی نمونه‌ها توضیح داده شده و سپس آزمایشات و نتایج آنها شرح داده شده است. در ابتدا آزمایشهای مربوط به روش NRA که آلودگی‌های سطحی نمونه‌ها را مشخص می‌کند بیان شده است. سپس میزان تخلخل نمونه‌ها از طریق آزمایش RBS مشخص شد. در انتها میزان هیدروژن موجود در سطح نمونه‌ها از طریق آزمایش ERD اندازه گیری شد و با انجام محاسبات مربوط به چگالی سطحی و حجمی هیدروژن در سطح سیلیسیوم متخلخل، مساحت سطح هر کدام از نمونه‌ها تخمین زده شد.

در آخرین فصل پایان‌نامه نتایج مربوط به آزمایش‌های مورد استفاده به طور خلاصه جمع‌بندی شده است. در پایان پیشنهاداتی برای پژوهش گسترده‌تر در زمینه‌های مشخصه‌یابی سیلیسیوم متخلخل و همچنین بهبود روش‌ها و ایده‌ها، ارائه شده است.



پیشینه تحقیق

فصل دوم

۲) پیشینه تحقیق

۲-۱) سیلیسیوم متخلخل

سیلیسیوم متخلخل را می‌توان بعنوان یک بلور سیلیسیوم که دارای شبکه‌ای از حفره‌هاست، در نظر گرفت. حفره‌هایی به ابعاد نانو در توده Si ایجاد می‌شود و به این ترتیب ساختار اسفنجی‌شکل از حفره‌ها و کانال‌ها که با چهارچوبی از نانوسیم‌های سیلیسیوم بلوری احاطه شده است. خواص فیزیکی سیلیسیوم متخلخل اساساً بوسیله شکل و قطر تخلخل‌ها، ضخامت و غلظت نسبی Si، حفره‌ها و در بعضی از موارد غلظت نسبی ترکیبات متفاوت Si در لایه متخلخل شده تعیین می‌شوند. این پارامترها بستگی به شرایط آماده سازی دارد بطوریکه امکان طراحی مواد با خواص فیزیکی خاص بین سطح Si و هوا (یا میانه که حفره‌ها را پر می‌کند) ، بوجود می‌آید. بعلاوه هنگامی که اندازه شکل نانوسیم‌های Si کمتر از چند نانومتر باشند، اثرات متنوع کوانتومی رخ می‌دهد که این خاصیت سیلیسیوم متخلخل را جالبتر می‌سازد. بدلیل خاصیت‌های تطبیق‌پذیری و تنظیم‌پذیری/قابل طرح‌ریزی، سیلیسیوم متخلخل تبدیل به ماده مشهوری درمیان دانشمندان و پژوهشگران شده است و در زمینه‌های متنوعی در دو دهه گذشته مورد کاربرد قرار گرفته است.