بسم الله الرحمن الرحيم

١٠٢٢٦٥

دانشگاه قم
دانشکده علوم پایه

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک

مشخصات الکتریکی غیر خطی سیلیکان متخلخل بر پایه مستقل

استاد راهنما
دکتر رضا ثابت داریانی
(دانشگاه الزهرا)

نگارنده
ایرج بزرافکن

۱۳۸۷/۱۲/۱۵

دی ماه 1386

۱۰۲۲۶۵

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه قم

تاریخ: .....
شماره: .....
پیوست: .....

بسمه تعالی

« صورت جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد»

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر «عجل الله تعالی فرجه الشریف» جلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/خانم: ایرج بزرافکن رشته : فیزیک

تحت عنوان : مشخصات الکتریکی غیر خطی سیلیکان متخلخل بر پایه مستقل

با حضور هیأت داوران در محل دانشگاه قم در تاریخ: ۱۳/ ۱۰/ ۱۳۸۶ تشکیل گردید.

دراین جلسه، پایان نامه با موفقیت مورد دفاع قرار گرفت و نامبرده نمره با عدد ۱۹/۸ با حروف نوزده و هشت با درجه : عالی ○ بسیار خوب ○ خوب ○ قابل قبول ○ دریافت نمود.

نام و نام خانوادگی	سمت	مرتبه علمی	امضاء
دکتر رضا ثابت داریانی	استاد راهنما	دانشیار	
----------	استاد مشاور	------	----------
دکتر وحید دادمهر	استاد ناظر	استادیار	
دکترسیروس راستانی	استاد ناظر	استادیار	
دکتر علیرضا باقری ثالث	نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی	استادیار	

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده
نام و امضاء:

مدیر امور آموزش و تحصیلات تکمیلی
نام و امضاء:

۱۳۸۷/ ۱۲/ ۲۵

نشانی:
قم، جاده قدیم اصفهان،
دانشگاه قم
کدپستی ۳۷۱۶۱۴۶۶۱۱
تلفن ۲۹۲۳۳۱۱
دورنویس:
فتر ریاست ۲۹۳۵۶۸۲
عاونت آموزشی ۲۹۳۵۶۸۴
عاونت اداری ۲۹۳۵۶۸۶
عاونت دانشجویی ۲۹۳۵۶۸۸

تقدیم به

دستان پر تلاش پدرم

فداکاری‌های مادرم

مهربانی همسرم

تشکر و قدردانی

اکنون که به حول وقوه الهی کار نگارش پایان‌نامه به پایان رسیده است، از زحمات بی‌دریغ و راهنمایی‌های پدرانه و صادقانه جناب آقای دکتر رضا ثابت داریانی، استاد راهنمای محترم و ارجمند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر جعفر محمودی ریاست محترم دانشکده علوم و جناب آقای شاهرخ‌وند مسئول آزمایشگاه فیزیک نهایت تشکر و سپاس را دارم. از جناب آقای دکتر وحید دادمهر و جناب آقای دکتر سیروس راستانی، اساتید محترم ناظر به خاطر قبول زحمت نیز کمال تشکر را دارم.

چکیده

سیلیکان متخلخل(PS) با روشهای سونش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بر روی زیرلایه سیلیکان در محلول الکترولیت بر پایه اسید HF ساخته می‌شود. روش آندیزاسیون الکتروشیمیایی عمومی‌ترین روش برای تهیه نمونه‌های سیلیکان متخلخل می‌باشد. در این روش سیلیکان متخلخل در یک سلول الکتروشیمیایی حاوی محلول الکترولیت بر پایه اسید HF به همراه یک محلول آلی از ویفرهای سیلیکان ساخته می‌شود. ساختار نمونه متخلخل به شرائط ساخت از جمله، چگالی جریان عبوری، مدت زمان عبور جریان، نوع محلول و غلظت آنها و نوع ویفر بستگی دارد، بطوری که سیلیکان متخلخل خواص کاملا متفاوتی با سیلیکان کپه‌ای دارد. خواص الکتریکی این ماده به اتمسفر محیط بسیار حساس است و با افزایش تخلخل مقاومت ویژه الکتریکی آن افزایش می‌یابد. در این پایان‌نامه ابتدا مروری بر سیلیکان متخلخل داریم که شامل روشهای ساخت، مدلهای تشکیل، انواع ساختار متخلخل و وابستگی ساختار آن به شرائط ساخت می‌باشد. سپس بعضی خواص الکتریکی سیلیکان کپه‌ای و ترابرد الکتریکی در PS بررسی می‌شود.. در پایان کارهای تجربی و آزمایشهای انجام شده شرح داده می‌شود. این آزمایشها شامل ساخت نمونه‌ها با شرائط آندیزاسیون مختلف، تعیین تخلخل، ضخامت لایه، تهیه نمونه سیلیکان متخلخل بر پایه مستقل(Free-Standing Porous Silicon)، تعیین مقاومت ویژه سطحی نمونه‌های متخلخل و لایه جدا شده با روش وان در پاو(Van der Pauw) و مشخصه جریان ولتاژ اتصال PS/Si می‌باشد. ساختار نمونه‌ها و چگونگی شکل‌گیری تخلخل در نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) بررسی شد. درصد تخلخل نمونه ها با روش وزن سنجی تعیین گردید. ضخامت لایه‌ها نیز با استفاده از تصاویر سطح مقطع عرضی SEM نمونه‌ها مشخص گردید. مقاومت ویژه سطحی نمونه‌های PS نسبت به Si کپه‌ای افزایش می‌یابد که این افزایش نتیجه افزایش ناحیه سطحی (Surface Area) آن نسبت به Si کپه‌ای می‌باشد. همچنین با افزایش تخلخل نمونه‌ها، ناحیه سطحی آنها افزایش و بنابراین مقاومت ویژه سطحی نیز افزایش می‌یابد. انرژی اکتیواسیون نمونه‌ها در دمای اتاق با افزایش تخلخل نیز افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: سیلیکان متخلخل، خوردگی الکتروشیمیائی، دی متیل فرمامید، تخلخل، ضخامت لایه متخلخل، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، روش وان در پاو، مقاومت ویژه سطحی و انرژی اکتیواسیون

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

چکیده

فهرست مطالب

فصل یکم: مقدمه ---------- ۱

۱۰۱۰ بیان مساله ---------- ۲

۲۰۱۰ اهداف پژوهش ---------- ۲

۳۰۱۰ اهمیت پژوهش ---------- ۲

۴۰۱۰ فرضیات پژوهش ---------- ۳

۵۰۱۰ پیشینه پژوهش ---------- ۳

۶۰۱۰ روش پژوهش ---------- ۳

فصل دوم: مروری بر سیلیکان متخلخل ---------- ۴

۱۰۲۰ معرفی سیلیکان متخلخل و تاریخچه آن ---------- ۵

۲۰۲۰ ویژگی‌های ساختاری سیلیکان متخلخل ---------- ۶

۱۰۲۰۲۰ پروسیتی ---------- ۶

۲۰۲۰۲۰ ضخامت لایه متخلخل ---------- ۷

۳۰۲۰۲۰ ابعاد منافذ ---------- ۷

۴۰۲۰۲۰ میکروسکوپ الکترونی روبشی ---------- ۸

۵۰۲۰۲۰ ریخت شناسی نمونه ---------- ۱۱

۳۰۲۰ روش‌های ساخت ---------- ۱۳

۱۰۳۰۲۰ روش خوردگی همسانگرد ---------- ۱۳

۱۰۲۰۳۰۲۰ روش شیمیایی ---------- ۱۴

۳۰۳۰۲۰ روش الکتروشیمیایی ---------- ۱۵

۴۰۳۰۲۰ سلول‌های الکتروشیمیایی ---------- ۱۷

۵۰۳۰۲۰ عوامل موثر بر شکل گیری سیلیکان متخلخل ---------- ۱۸

۱۰۵۰۳۰۲۰ غلظت اسید HF ---------- ۱۸

۲۰۵۰۳۰۲۰ چگالی جریان الکتریکی ---------- ۱۸

۳۰۵۰۳۰۲۰ زمان آندیزاسیون ---------- ۱۹

۰۴۰۵۰۳۰۲ آلایش ویفر ——— ۱۹
۰۶۰۳۰۲ عوامل موثر بر سرعت خوردگی ——— ۲۱
۰۱۰۶۰۳۰۲ اثر بهم‌زدن محلول ——— ۲۱
۰۲۰۶۰۳۰۲ اثر راستای بلوری ——— ۲۱
۰۳۰۶۰۳۰۲ تاثیر نوردهی ——— ۲۱
۰۷۰۳۰۲ روش‌های خشک کردن ——— ۲۲
۰۸۰۳۰۲ محافظت از لایه‌های متخلخل ——— ۲۲
۰۹۰۳۰۲ بررسی نظری سیلیکان متخلخل ——— ۲۳
۰۱۰۰۳۰۲ جداسازی لایه متخلخل از زیر لایه ——— ۲۴
۰۱۰۱۰۰۳۰۲ لایه با تخلخل پایین (P<۵۰٪) ——— ۲۵
۰۲۰۱۰۰۳۰۲ لایه با تخلخل بالا (P>۵۰٪) ——— ۲۵
۰۳۰۱۰۰۳۰۲ لایه با تخلخل بالای ۸۰٪ ——— ۲۵
۰۴۰۲ مدل‌های تشکیل سیلیکان متخلخل ——— ۲۶
۱۰۴۰۲ مدل بیل ——— ۲۶
۰۲۰۴۰۲ مدل پخش محدود ——— ۲۸
۰۳۰۴۰۲ مدل کوانتومی ——— ۳۰
۰۵۰۲ انواع ساختار متخلخل ——— ۳۲
۰۱۰۵۰۲ ساختار میکروتخلخل ——— ۳۳
۰۲۰۵۰۲ ساختار مزو تخلخل ——— ۳۵
۰۱۰۲۰۵۰۲ مزو تخلخل در سیلیکان نوع-n با چگالی ناخالصی پایین ——— ۳۶
۰۳۰۵۰۲ ساختار ماکروتخلخل ——— ۳۷
۰۱۰۳۰۵۰۲ پدیده شناسی ماکرو تخلخل در سیلیکان نوع-n ——— ۳۸
۰۶۰۲ ویژگی‌های شیمیایی سیلیکان متخلخل ——— ۳۹
۰۷۰۲ ویژگی‌های اپتیکی ——— ۴۰
۰۸۰۲ کاربردهای سیلیکان متخلخل ——— ۴۰
فصل سوم: خواص الکتریکی غیر خطی سیلیکان متخلخل ——— ۴۱
۰۱۰۳ مختصری از ویژگی‌های سیلیکان بلوری ——— ۴۲
۰۱۰۱۰۳ ساختار بلوری سیلیکان ——— ۴۲

۰۲۰۱۰۳ منشاء نوار انرژی ---------- ۴۳
۰۳۰۱۰۳ منشاء گاف انرژی ---------- ۴۴
۰۴۰۱۰۳ بستگی گاف انرژی به دما و فشار ---------- ۴۶
۰۵۰۱۰۳ پراکندگی و سوق الکترونها و حفره‌ها ---------- ۴۶
۰۶۰۱۰۳ تولید و بازترکیب حامل‌ها ---------- ۴۷
۰۷۰۱۰۳ انواع بازترکیب ---------- ۴۸
۰۲۰۳ اتصال فلز-نیمرسانا ---------- ۴۹
۱۰۲۰۳ مشخصه‌های جریان-ولتاژدر اتصال فلز-نیمرسانا ---------- ۵۱
۰۲۰۲۰۳ اتصال اهمی ---------- ۵۱
۰۳۰۲۰۳ پیوند ناهمگن ---------- ۵۲
۰۳۰۳ بررسی نظری ترابرد در سیلیکان متخلخل ---------- ۵۳
۰۱۰۳۰۳ مقدمه ---------- ۵۳
۰۲۰۳۰۳ مدلسازی سیلیکان متخلخل بصورت سیم‌های کوانتومی ایده‌آل ---------- ۵۳
۰۳۰۳۰۳ محدودیت کوانتومی در سیلیکان متخلخل ---------- ۵۳
۰۴۰۳۰۳ اثر محدودیت کوانتومی در سیلیکان متخلخل با تخلخل پایین ---------- ۵۴
۰۵۰۳۰۳ سیلیکان متخلخل نانوئی ---------- ۵۶
۰۶۰۳۰۳ مدل‌های ترابرد در سیلیکان متخلخل نانوئی ---------- ۵۷
۰۱۰۶۰۳۰۳ نیمرسانای بلوری نوار پهن ---------- ۵۷
۰۲۰۶۰۳۰۳ پرش در سطح فرمی ---------- ۵۷
۰۳۰۶۰۳۰۳ دو کانال ترابرد ---------- ۵۸
۰۴۰۶۰۳۰۳ مدل بار فضایی ---------- ۵۸
۰۵۰۶۰۳۰۳ مساله نایکنواختی ---------- ۵۸
۰۴۰۳ مقاومت ویژه سطحی ---------- ۵۹
۰۱۰۴۰۳ روش پروب چهار نقطه‌ای ---------- ۵۹
۰۲۰۴۰۳ روش وان در پاو ---------- ۶۰
۰۳۰۴۰۳ مقاومت ویژه سطحی سیلیکان متخلخل ---------- ۶۲
۰۵۰۳ ویژگی‌های الکتریکی سیلیکان متخلخل ---------- ۶۳
۰۱۰۵۰۳ تحرک حامل در سیلیکان متخلخل ---------- ۶۳

۰۲۰۵۰۳ ترابرد جریان در سیلیکان متخلخل ---------- ۶۴
۰۳۰۵۰۳ اثر تخلخل بر مشخصه جریان-ولتاژ ---------- ۶۵
۰۴۰۵۰۳ فوتورسانش ---------- ۶۶
۰۵۰۵۰۳ سیلیکان متخلخل اکسید شده ---------- ۶۶
۰۶۰۵۰۳ نوارهای انرژی و گاف نواری در سیلیکان متخلخل ---------- ۶۷
فصل چهارم: کارهای عملی انجام شده ---------- ۶۹
۰۱۰۴ تهیه و آماده سازی ---------- ۷۰
۰۲۰۴ ساخت نمونه ---------- ۷۲
۰۳۰۴ ریخت‌شناسی نمونه‌ها ---------- ۷۴
۰۱۰۳۰۴ تخلخل نمونه‌ها ---------- ۷۶
۰۲۰۳۰۴ تعیین ضخامت نمونه‌ها ---------- ۷۶
۰۳۰۳۰۴ اثر چگالی جریان ---------- ۷۷
۰۴۰۳۰۴ اثر DMF ---------- ۷۹
۰۵۰۳۰۴ ساخت سیلیکان متخلخل بر پایه مستقل ---------- ۷۹
۰۴۰۴ اندازه‌گیری مقاومت ویژه سطحی نمونه‌ها ---------- ۸۲
۰۱۰۴۰۴ مقاومت ویژه سطحی لایه جدا شده ---------- ۸۴
۰۲۰۴۰۴ مشخصه‌های I-V نمونه‌ها ---------- ۸۵
۰۵۰۴ انرژی اکتیواسیون نمونه‌ها ---------- ۸۷
نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۹
فهرست منابع ۹۰
چکیده انگلیسی

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱ اثر پارامترهای اندیزاسیون بر شکل گیری سیلیکان متخلخل	۲۰
جدول ۲-۲ پارامترهای حدی در روش آندیزاسیون	۲۱
جدول ۲-۳ انواع ساختار متخلخل	۳۲
جدول ۲-۴ ساختارهای متخلخل سیلیکان نوع-p	۳۳
جدول ۴-۱ مشخصات نمونه‌های متخلخل با شرائط مختلف	۷۷
جدول ۴-۲ مقاومت ویژه سطحی نمونه‌ها	۸۴
جدول ۴-۳ مقاومت ویژه سطحی نمونه متخلخل و لایه جداشده از آن	۸۵
جدول ۴-۴ انرژی اکتیواسیون نمونه‌های متخلخل در دمای اتاق	۸۸

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

شکل۲-۱ طرح نمونه سیلیکان متخلخل و نسبت q/m بصورت تابعی از تخلخل نمونه‌ها ۸
شکل۲-۲ ویفر Si (۱۰۰) شامل منافذ استوانه‌ای و مربعی ۱۲
شکل ۲-۳ نمودار شماتیکی یک سلول الکتروشیمیایی ۱۵
شکل ۲-۴ ساز و کار جایگذاری لایه سیلیکان متخلخل ۱۷
شکل ۲-۵ سلولهای تک مخزنی و دو مخزنی ۱۸
شکل ۲-۶ آهنگ رشد لایه بر حسب چگالی جریان ۱۹
شکل ۲-۷ نمودار تخلخل-چگالی جریان برای PS نوع p^- و p^+ ۲۰
شکل ۲-۸ مراحل تشکیل منافذ در سیلیکان متخلخل ۲۳
شکل ۲-۹ جدا کردن لایه متخلخل ۲۵
شکل ۲-۱۰ ساده‌ترین مدل برای تشکیل منافذ بر اساس امپدانس در مقابل شار جریان ۲۸
شکل۲-۱۱ مکانیسم انحلال الکتروشیمیایی سیلیکان ۳۱
شکل ۲-۱۲ ساختارهای سیلیکان متخلخل ۳۳
شکل ۲-۱۳ طرح شماتیک و نمودار نوار انرژی اتصال PS و زیر لایه ۳۴
شکل ۲-۱۴ طیف PL نمونه میکرو تخلخل ۳۵
شکل ۲-۱۵ SEM از ساختار مزو تخلخل بر روی زیر لایه Si نوع-p ۳۶
شکل ۲-۱۶ تصاویر TEM ازنحوه رشد منافذ سوزنی موازی با سطح نمونه مزو تخلخل ۳۶
شکل ۲-۱۷ توزیع بار در منافذ در الکترود Si نوع-p تحت بایاس ۳۸
شکل ۲-۱۸ توزیع بار در منافذ در الکترود فذ در الکترود Si نوع- n ۳۹
شکل ۳-۱ شبکه الماسی ۴۲
شکل ۳-۲ ترازهای انرژی برای دو اتم به فاصله d از یکدیگر ۴۳
شکل ۳-۳ تشکیل نوارهای انرژی برای شبکه الماسی اتمهای سیلیکان ۴۴
شکل ۳-۴ صفحات براگ ۴۵
شکل ۳-۵ ایجاد گاف تحت بازتابش براگ برای حالت دو الکترونی ۴۵
شکل ۳-۶ مسیر نوع الکترون بدون و با اعمال میدان الکتریکی ۴۷
شکل ۳-۷ تولید و بازترکیب نوار به نوار زوج الکترون- حفره ۴۸

شکل ۳-۸ تولید و بازترکیب از طریق حالتهای وسط ---------- ۴۹
شکل ۳-۹ نمودار نوار انرژی اتصال فلز-نیمرسانا قبل و بعد از اتصال ---------- ۵۰
شکل ۳-۱۰ نمودار نوار انرژی MOS ---------- ۵۰
شکل ۳-۱۱ نمودار نوار انرژی اتصال فلز-نیمرسانا در بایاس مستقیم ---------- ۵۱
شکل ۳-۱۲ نمودار نوار انرژی اتصال اهمی ---------- ۵۲
شکل ۳-۱۳ نمودار نوار انرژی برای پیوندگاه ناهمگن ---------- ۵۲
شکل ۳-۱۴ به دام اندازی الکترون آزاد در حالت سطحی سطح مقطع یک نانو سیم Si ۵۵
شکل ۳-۱۵ مدلهای مختلف برای ترابرد در PS نانوئی ---------- ۵۸
شکل ۳-۱۶ طرح شماتیک روش پروب چهار نقطه‌ای ---------- ۶۰
شکل ۳-۱۷ نحوه ایجاد اتصال در روش وان در پاو ---------- ۶۰
شکل ۳-۱۸ طرح شماتیک آزمایش وان در پاو برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه سطحی ۶۱
شکل ۳-۱۹ مشخصه I-V اتصال PS/Si/فلز ---------- ۶۶
شکل ۴-۱ نمونه آماده شده برای ایجاد تخلخل ---------- ۷۱
شکل ۴-۲ دستگاه لایه‌نشانی ---------- ۷۱
شکل ۴-۳ سلول الکتروشیمیایی ---------- ۷۲
شکل ۴-۴ شماتیک مدار فرآیند آندیزاسیون ---------- ۷۳
شکل ۴-۵ مقایسه ظاهری نمونه بدون تخلخل و یک نمونه متخلخل ---------- ۷۴
شکل ۴-۶ تصاویر SEM از سطح مقطع بالای نمونه‌های متخلخل ---------- ۷۵
شکل ۴-۷ تصاویر SEM سطح مقطع عرضی نمونه‌های متخلخل ---------- ۷۷
شکل ۴-۸ تصاویر SEM دو نمونه متخلخل با محلول DMF و چگالی جریان متفاوت - ۷۸
شکل ۴-۹ تصویر معمولی لایه جداشده ---------- ۸۰
شکل ۴-۱۰ تصاویر SEM برای نمونه‌های بدون تخلخل، متخلخل و لایه جداشده آن ۸۱
شکل ۴-۱۱ تصاویر SEM سطح مقطع عرضی یک نمونه متخلخل و لایه جداشده آن - ۸۲
شکل ۴-۱۲ اتصالات ایجاد شده برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه سطحی ---------- ۸۴
شکل ۴-۱۳ طرح شماتیک آزمایش وان در پاو ---------- ۸۴
شکل ۴-۱۴ ساز و کار مشخصه جریان-ولتاژ قطعه Ag/PS/Si/Al ---------- ۸۶
شکل ۴-۱۵ مشخصه‌های I-V نمونه‌های متخلخل ---------- ۸۶

فصل اول
مقدمه

۱-۱ بیان مساله

سیلیکان متخلخل(PS)[1] ماده‌ای است که در دهه اخیر توجهات زیادی به آن معطوف شده است. این ماده در اثر فرآیند الکتروشیمیایی بر روی سطح سیلیکان بوجود می‌آید. بدلیل وابستگی ساختار آن به فرآیند ساخت خواص کاملا متفاوتی با سیلیکان عادی دارد. بررسی و تعیین خواص مختلف مواد، استفاده از آنها را برای کاربردهای مختلف ممکن می‌سازد. بررسی ساختار و خواص فیزیکی این ماده سبب کاربردهای جدیدی در صنعت قطعات نیمرسانا خواهد شد. خواص اپتیکی آن به خوبی بررسی شده و تحقیقات زیادی بر روی آن انجام شده است که سبب کاربرد گسترده آن به خصوص در زمینه اپتوالکترونیک گردیده است[۱]. با بررسی خواص الکتریکی آن می‌توان کاربردهای جدیدی برای این ماده در زمینه الکترونیک و میکرو الکترونیک نیز پیدا کرد.

۱-۲ اهداف پژوهش

هدف از این پژوهش، ساخت سیلیکان متخلخل عادی و سیلیکان متخلخل بر پایه مستقل (Free-Standing) می‌باشد، سپس مشخصات الکتریکی هر دو نمونه به روش وان در پاو[2] بررسی می‌شود و تغییر رفتار در ساخت نمونه بررسی خواهد شد. همچنین مشخصات الکتریکی غیر خطی بر اساس تغییر تخلخل مطالعه و بررسی می‌گردد. این ماده از سال ۲۰۰۰ تا کنون توسط برخی شرکتها حتی به صورت تجاری مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به وابستگی ساختار این ماده به شرائط آندیزاسیون، می‌توان با تغییر شرائط ساخت که مد نظر این تحقیق است، کاربردهای سیلیکان متخلخل را در صنعت افزایش داد.

۱-۳ اهمیت پژوهش

تدوین و تثبیت خواص سیلیکان متخلخل بعنوان یک نانو ساختار یکی از موضوعات مهم در دهه اخیر می‌باشد. در این تحقیق بخشی از این خواص مطالعه خواهد شد.

---

[1] Porous Silicon
[2] Van der Pauw

۱-٤ فرضیات پژوهش

- سیلیکان متخلخل یک ماده با ساختار نانوئی است
- سیلیکان متخلخل دارای خواص کاملا متفاوتی با سیلیکان می‌باشد.
- سیلیکان متخلخل کاندید مناسبی برای ماده‌ی با خواص اپتوالکترونیکی می‌باشد.
- بررسی این خواص در این تحقیق کمک به تدوین این ایده خواهدکرد.

۱-۵ پیشینه پژوهش

سیلیکان متخلخل ماده‌ای است که در اثر فرایند الکتروشیمیایی بر روی سطح سیلیکان بوجود می‌آید و در دهه اخیر مطالعات وسیعی بر روی آن انجام شده است. این ماده نخستین بار بوسیله اوهلر[1] [۲] در سال ۱۹۵۶ ساخته شد. فوتولومینسانس[2] مرئی در دمای اتاق از این ماده که در سال ۱۹۹۰ توسط کن ام[3] [۳] مشاهده شد، نکته ارزشمندی برای آن بوجود آورد، در حالیکه سیلیکان عادی آنرا نشان نمی‌دهد. هم‌اینک تحقیقات زیادی بر روی خواص اپتوالکترونیکی این ماده انجام می‌شود.

۱-٦ روش پژوهش

روش پژوهش این پایان نامه کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی می‌باشد. اطلاعات ابتدایی برای شروع کار از مقالات خارجی موجود در نشریات خارجی که منابع[۹۵-۹۲] تعدادی از آنهاست جمع آوری شده است. این پایان‌نامه با مطالعه چندین کتاب و مقاله و ساعت‌ها کار در آزمایشگاه انجام شده است. در این پایان نامه چندین نمونه با شرائط مختلف متخلخل کرده و همراه با یک نمونه بدون تخلخل در دانشگاه تربیت مدرس با میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM)[4] ساختار آنها بررسی گردید. سپس خواص الکتریکی آنها با روش وان در پاو اندازه گیری شد.

فصل دوم این پایان‌نامه به مطالعه خواص الکتریکی سیلیکان و خواص الکتریکی غیر خطی سیلیکان متخلخل می‌پردازد.

در فصل سوم سیلیکان متخلخل از لحاظ تئوری و برخی خواص آن بررسی شد.

در فصل چهارم کارهای انجام شده و نتایج مرتبط با آن از جمله تصاویر SEM و مقاومت سطحی نمونه‌ها آورده شده است.

---

[1] Uhlir
[2] Photoluminescence
[3] Canham
[4] Scanning Electron Microscope

فصل دوم

مروری بر سیلیکان متخلخل

۲-۱ معرفی سیلیکان متخلخل و تاریخچه آن

سیلیکان متخلخل (PS) نخستین بار در سال ۱۹۵۶ توسط اوهلر [۲] که از روش خوردگی شیمیایی برای از بین بردن لایه‌های خسارت دیده ویفرهای سیلیکانی استفاده کرد، مشاهده گردید. در سال ۱۹۵۸ ترنر[1] تحقیقات بیشتری بر روی فرایند خوردگی انجام داد و سیلیکان متخلخل را با روش آندیزاسیون الکتروشیمیایی که از یک جریان الکتریکی در یک محلول الکترولیت استفاده می‌شود، بدست آورده و این گونه نتیجه گیری کرد که لایه‌های متخلخل تنها زمانی شکل می‌گیرند که چگالی جریان الکتریکی خوردگی از یک مقدار بحرانی (J_{ps}) کمتر باشد.

تیونسین[2] و همکارانش با به کار بردن میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان دادند که لایه‌های تشکیل شده شامل کانال‌هایی است که بطور موضعی به زیر لایه سیلیکانی نفوذ کرده‌اند، این نفوذ ترجیحاً در طول محورهای بلوری می‌باشد. PS را می‌توان به صورت یک شبکه شبه اسفنجی در نظر گرفت، یا بصورت منفذهایی که درون یک اسکلت‌بندی سیلیکانی قرار گرفته‌اند، که ستونهای سیلیکانی از بلورک سیلیکانی با اندازه‌های مختلف تشکیل شده‌اند و خواص کاملاً متفاوتی با سیلیکان عادی دارد.

بیکمن[3] انواع اتمهای جذب شده روی سطح سیلیکان متخلخل را به کمک طیف سنجی جذبی فروسرخ (IR)[4] مطالعه کرده و نشان‌داد که بسته به شرایط آماده‌سازی، بایستی گستره‌ای متفاوت از ترکیبات مختلف اتمهای اکسیژن و هیدروژن روی سطح سیلیکان متخلخل موجود باشد (برای مثال ترکیب $Si\text{-}H_x$).

واتانابه[5] و همکارانش در باره اکسیدشدگی سطح سیلیکان متخلخل کار کرده و پیشنهاد کردند که سیلیکان متخلخل اکسید شده به عنوان یک دی الکتریک در مدارات مجتمع بکار برده شود.

---

[1] Turner
[2] Theunissen
[3] Beckman
[4] InfraRed
[5] Watanabe

کن ام در سال ۱۹۹۰ نورتابی PS در ناحیه مرئی در دمای اتاق را مشاهده کرد[۳] و بعد از آن تحقیقات وسیعی بر روی خواص اپتیکی انجام شد و ماده مناسبی برای کاربردهای اپتوالکترونیکی شناخته شد.

لهمن وگوسل[1] به کمک اندازه‌گیری از طریق عبور اپتیکی، شکاف انرژی سیلیکان متخلخل را بزرگتر از ۱/۸eV تخمین زدند و ادعا کردند که محدودیت کوانتومی درون دیواره‌های باریک بین کانالها، به خوبی بزرگتر بودن شکاف نواری PS نسبت به Si را توجیه می‌کند.

به دلیل خواص متنوع و قابل تنظیم، سیلیکان متخلخل کاربردهای فراوانی در صنعت اپتیک، الکترونیک، اپتوالکترونیک، میکروالکترونیک، سنسورها، موجبرها، حسگرها، دیودهای نوری، کامپیوترهای نوری، سلولهای خورشیدی و مخابرات اپتیکی دارد[۱]. گذشته از اهمیت پتانسیل کاربردی عملی این ماده، مطالعه نظری روی خواص ساختاری از دید فیزیک حالت جامد و همچنین مطالعه جنبه کوانتومی آن از دیدگاه فیزیک نظری بسیار جالب توجه و با اهمیت می‌باشد.

۲-۲ ویژگیهای ساختاری

ویژگیهای ساختاری سیلیکان متخلخل نظیر درصد تخلخل(Porosity)، قطرمنافذ، ضخامت لایه و جهت‌گیری شاخه سیلیکانی و منافذ بوسیله SEM، TEM[2] (میکروسکوپ الکترونی عبوری)، میکروسکوپ کاوه‌ای روبشی، تکنیکهای پراکندگی پرتو –X، تکنیکهای جذب پرتو –X و طیف سنجی رامان بررسی می‌شوند. از روشهای میکروسکوپی گوناگون برای تعیین قطر منافذ، میکروساختار و ضخامت لایه و از آنالیز وزن‌سنجی برای تعیین تخلخل و ضخامت لایه و از روش جذب گاز تکدمایی برای تعیین قطر منافذ نیز استفاده می‌شود[۴].

۲-۲-۱ تخلخل (Porosity)

تخلخل یک نمونه بصورت نسبت حجم فضاهای خالی (pores) به حجم کل نمونه (V) تعریف می‌شود[۵]:

$$P = \frac{V_{Pores}}{V} \qquad (۲-۱)$$

تخلخل به قطر منافذ (d) و ضخامت دیواره آن بستگی دارد. هر چه میزان منافذ در سیلیکان متخلخل بیشتر باشد، تخلخل نمونه هم بیشتر می‌شود. تعیین درصد تخلخل با این روش

[1] Lehman and Gosel
[2] Transmission Electron Microscope

مشکل می‌باشد، مناسبترین روش وزن سنجی است[۵]. درصد تخلخل نمونه با استفاده از این روش از رابطه زیر بدست می‌آید[۵]:

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \qquad (۲-۲)$$

که در آن m_1 جرم سیلیکان قبل از تخلخل، m_2 جرم سیلیکان بعد از تخلخل و m_3 جرم نمونه پس از حل کردن لایه متخلخل در محلول KOH یا NaOH می‌باشد.

۲-۲-۲ ضخامت لایه متخلخل

ضخامت لایه متخلخل بسته به شرایط آزمایش متفاوت و از چند میکرومتر تا چند صد میکرومتر نیز تغییر می‌کند، ضخامت لایه را می‌توان با استفاده از تصاویر SEM سطح مقطع عرضی نمونه براحتی بدست آورد، یا با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید[۵].

$$w = \frac{m_1 - m_2}{S\rho_{Si}} \qquad (۲-۳)$$

S مساحت سطح ویفر و ρ_{si} چگالی حجمی سیلیکان می‌باشد.

۲-۲-۳ ابعاد منافذ

ابعاد منافذ در PS معمولاً از مرتبه نانومتر تادهها میکرومتر متغیر است. ابعاد منافذ یا بعبارت دقیقتر پهنای آنها (d)، بصورت فاصله بین دو دیواره منفذ تعریف می‌شود(شکل ۲-۱). ابعاد منافذ نقشی در ویژگیهای PS ندارند. بعنوان مثال مشخصه های اپتیکی PS مستقل از ابعاد واقعی منافذ هستند و اثرات ابعاد کوانتومی در این باره تأثیر گذار هستند. ابعاد واقعی فقط برای مقایسه انواع مختلف PS مفید خواهد بود که این اختلاف با مشاهده سطح مقطع عرضی نمونه‌ها توسط SEM و تشخیص ابعاد منافذ اشکار می‌شود [۱]. نرخ رشد منفذ به پارامترهای مختلفی از جمله ناخالصی زیر لایه Si، راستای بلوری آن، غلظت اسید و چگالی جریان بستگی دارد[۱].