۱۷۷۰۳
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

بسم الله الرحمن الرحیم

۲۳۳۲

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

فرآیند
لیتوگرافی
در ساخت مدارهای تجمعی سیلیکن

۱۷۷۰۳

تقدیم به پدرم علی و مادرم فاطمه

که اوّلین و بهترین معلّمین من بوده اند

عنوان پروژه : فرآیند لیتوگرافی در ساخت مدارهای تجمعی سیلیکون

پروژه کارشناسی ارشد : عباس رستگار

استاد راهنما : دکتر سید حسین کشمیری

هیئت داوران : دکتر علاء محسنی بهبهانی (دانشگاه صنعتی شریف)

دکتر ناصر شاه طهماسبی (دانشگاه فردوسی مشهد)

دکتر سید حسین کشمیری (دانشگاه فردوسی مشهد)

ارائه در تاریخ : چهاردهم شهریور ماه هزار و سیصد و هفتاد

پیشگفتار

فرآیند لیتوگرافی، یکی از اساسی‌ترین و پرهزینه‌ترین مراحل در ساخت‌مدارهای تجمعی است. در مقایسه با سایر فرآیندهای ساخت‌مدارهای تجمعی مثل: اکسیداسیون، ناخالص‌سازی و فلزگذاری که تحقیقاتی هم در زمینه شبیه‌سازی کامپیوتری این فرآیندها و هم در زمینه آزمایش عملی آنها با تکنیک‌های موجود در کشور انجام پذیرفته است، در مورد لیتوگرافی هیچ تحقیق سازمان یافته ومشخصی که به‌جزئیات این فرآیند بپردازد، انجام نپذیرفته است.

هدف ما در این رساله گرد آوری اطلاعات دقیق راجع به فرآیند لیتوگرافی و روشهای عملی انجام آن می‌باشد. در این راستا سعی شده است که تکنیک‌هایی که بیشترین سازگاری را با تکنولوژی موجود در کشور دارند، به طور کامل مورد بررسی قرار گیرند و در انتهای آزمایشات عملی که با استفاده از تکنولوژی در دسترس، انجام پذیرفته است و نتایج حاصله ذکر گردیده است. امید داریم که مجموعه حاضر بتواند به عنوان نقطه شروعی در تحقیقات گسترده‌تر بعدی مورد استفاده محققین و دانش پژوهان کشورمان قرار گیرد.

با توجه به اینکه لیتوگرافی علمی است که از تلفیق فیزیک، شیمی، پلیمر و علم مواد پدید آمده و چون در حال حاضر کمتر کسی یافت می‌شود که در تمامی علوم فوق مسلط باشد، لذا هر خواننده این رساله، با توجه به‌رشته تخصصی خود با یک‌سری مطالب آشنا و یک‌سری مطالب ناآشنا برخورد می‌نماید. چون توضیح تمامی اصطلاحات موجود در تمامی علوم فوق در چنین رساله‌ای ممکن نیست (زیرا در این صورت حجم این رساله بسیار زیاد می شد) به این دلیل سعی شده است که هر جا مطلب جدیدی عنوان می شود، در همانجا مرجع آن ذکر شود تا خوانندگان بتوانند به آن رجوع نمایند.

مراجع توسط علامت کروشه مشخص گردیده است به طور مثال: [۱ص.۳۲] به معنی مرجع یک و صفحه ۳۲. می باشد. لیست مراجع در انتهای رساله آمده است. در طی متن هرکجا که از نام غیر فارسی استفاده شده است، توسط علامت پرانتز

مشخص گردیده و در زیر نویس آن صفحه ، معادل لاتین آن ذکر گردیده است .

چون این رساله با کمک نرم افزار "رای نگار" تحریر شده است ، استفاده کنندگانی که دارای سیستم کامپیوتری AT با صفحه نمایش VGA هستند ، قادرند از دیسکت ضمیمه استفاده نمایند.

برای اجرای نرم افزار و استفاده از آن به دو طریق می‌توان عمل کرد. روش ساده‌تر آن است که دیسکت ضمیمه را در دستگاه دیسک خوان قرار داده و سپس کامپیوتر روشن شود. همچنین می‌توان بعد از روشن کردن کامپیوتر دیسکت را در دستگاه دیسک‌خوان قرارداده وبعد از تایپ‌کردن کلمه Litho ، کلید Enter زده شود. در هر دو صورت پس از لحظاتی چند صفحه نمایش اولیه نرم‌افزار ظاهر خواهد گشت و بایک بار فشردن کلید Enter ، صفحه اصلی ، که شامل عناوین فصول متن می‌باشد ، در دسترس قرارمی‌گیرد. از این پس به سادگی با فشردن کلید Enter بر روی عنوان هر فصل به زیر فهرست آن فصل و با استفاده مجدد از کلید Enter به متن مورد نظر دست خواهیدیافت. به وسیله نرم افزار فوق می‌توان عملیاتی نظیر جستجو برای یک کلمه خاص ، چاپ‌متن و ... را مورد استفاده قرار داد. برای توضیحات بیشتر می توان با استفاده از کلید کمکی F1 اطلاعات لازم را در مورد طرز کار برنامه بدست آورد.

عباس رستگار ، شهریور ۱۳۷۰

سپاسگزاری

از اساتید گرامی : آقایان دکتر علاء محسنی بهبهانی ، دکتر ناصر شاه‌طهماسبی و دکتر سیدحسین‌کشمیری که زحمت مطالعه رساله اینجانب و حضور در جلسه دفاعیه را پذیرفتند ، کمال تشکر را دارم . مایلم از استادم دکتر سیدحسین کشمیری ، که برای من معلمی دلسوز ، مشوقی مهربان ومحققی باحوصله‌بودند ، تشکر فراوان بنمایم . برخوردهای صمیمانه ، رفتار بی ریا و صادقانه و پشت کار فراوان ایشان همواره مشوق تمامی دانشجویان ایشان بوده است .

از آقایان ابوالفضل احمدی و ایرج فیروزی به خاطر کارهایی که در زمینه ساخت دستگاه منبع نور فرابنفش انجام دادند و از آقای کورش جاویدان به خاطر کار بر روی ریز پردازنده کنترل کننده اتاق تمیز و از آقای بهروز شیردلان که‌با علاقه و پشتکار فراوان مرا در انجام فرآیندهای لیتوگرافی یاری دادند و نیزاز آقای وحید ژاله پور به خاطر رسم کامپیوتری الگوهای تست و کمک در رسم شکل ها صمیمانه تشکر می نمایم .

همچنین از آقایان کیانی، حدادیان ، عرفانیان ودیگر دانشجویان فیزیک که صرفا به‌خاطر خدمت به علم، داوطلبانه در ساخت اتاق تمیز به همکاری پرداختند، و نیز ازآقای صمدپور که تایپ‌کامپیوتری متن حاضر را به‌عهده‌گرفتند، سپاسگزارم.

نهایتا از آقایان عقیلی در امورفنی و رضایی در کارپردازی که متحمل زحمات زیادی در ساخت و فراهم سازی ابزارهای لازم اتاق تمیز شدند، تشکر می نمایم .

فصل اول : مدارهای تجمعی سیلیکون

۱-۱ اهمیت تکنولوژی مدارات تجمعی ۲

۱-۱-۱ اهداف تجمع سازی ۴

۱-۱-۲ چالش تجمع ومحدودیت های تجمع سازی ۵

۱-۲ تکنولوژی ساخت مدارات تجمعی ۸

۱-۲-۱ تکنولوژی دوقطبی ۹

۱-۲-۲ تکنولوژی MOS ۱۱

۱-۳ فرآیندهای ساخت مدارات تجمعی ۱۱

۱-۳-۱ لیتوگرافی ۱۳

فصل دوم : مقاومها و اعمال آنها بر زیرلایه

۲-۱ مقاوم ها ۱۹

۲-۱-۱ تعاریفی از شیمی آلی ۲۰

۲-۲ نور مقاوم منفی ۲۲

۲-۲-۱ حساس کننده ها ۲۳

۲-۲-۲ پلی ونیل سینامیت ۲۴

۲-۲-۳ مقاوم های حساس شده آزاید ۲۵

۲-۲-۴ نتیجه گیری ۲۶

۲-۳ نور مقاوم مثبت ۲۷

۲-۳-۱ نورمقاوم DQN ۲۷

۲-۳-۲ خواص شیمی نور DQN ۲۸

۲-۳-۴ خواص کلی نور مقاوم ها برپایه DQN ۲۹
۲-۳-۴ مقایسه نور مقاوم‌های مثبت DQN و نورمقاوم‌های منفی ۳۰

۲-۴ آماده سازی سطح ۳۲
۲-۴-۱ اتاق تمیز ۳۴
۲-۴-۲ آلودگی های سطحی ورفع آن ۳۶
۲-۴-۳ آماده سازی سطح برای تزریق مقاوم ۳۷

۲-۵ پوشش دهی زیرلایه ۳۹
۲-۵-۱ پوشش دهی چرخشی ۳۹
۲-۵-۲ پارامترهای پوشش دهی چرخشی ۴۲
۲-۵-۳ روشهای دیگر جایگذاری لایه‌مقاوم ۴۴

۲-۶ پخت اولیه ۴۷
۲-۶-۱ تکنیکهای پخت‌اولیه ۵۱
۲-۶-۲ همرفت ۵۱
۲-۶-۳ هدایت ۵۲
۲-۶-۴ استفاده‌از فروسرخ IR ۵۳
۲-۶-۵ استفاده از ماکروویو ۵۵
۲-۶-۶ روشهای دیگر پخت اولیه ۵۶

فصل سوم : تولید تصویر

۳-۱ مقدمه ۵۹
۳-۱-۱ اصول اپتیکی ۶۰
۳-۱-۲ منابع نوردهی ۶۵

۳-۲ نوردهی ۶۹

۳-۲-۱ طیف جذبی مقاومها ۷۰

۳-۲-۲ بهینه سازی نوردهی ۷۰

۳-۳ کنترل ابعادی ۷۲

۳-۳-۱ امواج ایستا ۷۵

۳-۳-۲ هندسه زیرلایه ۷۷

۳-۴ انطباق الگو ۷۹

۳-۴-۱ خطاهای روی هم‌نهادن ۸۱

۳-۵ تکنیک های نوردهی ۸۴

۳-۵-۱ چاپ تماسی ۸۵

۳-۵-۲ چاپ مجاورتی ۸۷

۳-۵-۳ چاپ تصویری ۸۸

۳-۵-۴ چاپ تکرارپله‌ای ۹۲

فصل چهارم : ظهور و پخت نهایی

۴-۱ مقدمه ۹۷

۴-۱-۱ مکانیزم ظهور نورمقاوم منفی ۹۹

۴-۱-۲ مکانیزم ظهور نورمقاوم های مثبت (DQN) ۱۰۳

۴-۲ ویژگیهای ماده ظهور ۱۰۵

۴-۲-۱ زمان ظهور ۱۰۵

۴-۲-۲ دمای ظهور ۱۰۷

۴-۲-۳ غلظت ماده ظهور ۱۰۹

۴-۲-۴ مواد ظهور بدون فلز وتکان دادن ۱۱۲
۴-۲-۵ بهینه سازی ظهور ۱۱۴

۴-۳ تکنیکها وابزار ظهور ۱۱۵
۴-۳-۱ ظهور به روش غوطه‌وری ۱۱۶
۴-۳-۲ ظهور به روش حوضچه‌ای ۱۱۷
۴-۳-۳ ظهور به روش اسپری فراکنیر گریز از مرکز ۱۲۰
۴-۳-۴ ظهور به روش اسپری حوضچه‌ای ۱۲۲
۴-۳-۵ ظهور به روش اسپری ۱۲۳
۴-۳-۶ ظهور خشک ۱۲۴

۴-۴ پخت نهایی ۱۲۶
۴-۴-۱ فیزیک پخت نهایی ۱۲۹
۴-۴-۱-الف چسبندگی ۱۳۱
۴-۴-۱-ب ذوب ۱۳۳
۴-۴-۲ واکنش‌های شیمیایی درپخت نهایی ۱۳۴
۴-۴-۳ بهینه‌سازی پخت‌نهایی برحسب جریان‌دمایی وبرداشتن‌مقاوم ۱۳۵
۴-۴-۴ روشهای دیگر سخت‌کردن تصویر ۱۳۶
۴-۴-۵ روش عملی پخت‌نهایی و نتایج ۱۳۶

فصل پنجم : خوردگی شیمیایی
و برداشتن نور مقاوم

۵-۱ مقدمه ۱۳۹

۵-۲ خوردگی شیمیایی تر ۱۴۱
۵-۲-۱ سنیتیک شیمیایی ،خوردگی شیمیایی تر ۱۴۴

۵-۲-۲ خوردگی شیمیایی تر SiO_2 ۱۴۶

۵-۲-۲ الف چسبندگی و برش زیرین در سطح SiO_2 مقاوم ۱۵۲

۵-۲-۳ خوردگی شیمیایی تر Si_3N_4 ۱۵۵

۵-۲-۴ خوردگی شیمیایی تر Si ۱۵۷

۵-۲-۵ خوردگی شیمیایی تر Al ۱۵۹

۵-۲-۶ خوردگی شیمیایی تر کروم ۱۶۱

۵-۲-۷ مزایا ومعایب خوردگی شیمیایی تر ۱۶۲

۵-۳ روشهای خوردگی خشک ۱۶۴

۵-۳-۱ خوردگی اسپاترینگ (اسپاترینگ معکوس) ۱۶۵

۵-۳-۲ خوردگی با یون واکنش پذیر (اسپاترینگ واکنش پذیر) ۱۶۸

۵-۳-۳ خوردگی پلاسما ۱۶۹

۵-۳-۴ دستگاه های خوردگی پلاسما ۱۷۴

۵-۴ برداشتن لایه نور مقاوم ۱۷۹

۵-۴-۱ فرمولبندی بردارنده های مایع ۱۸۲

۵-۴-۲ بردارنده های حلال آلی ۱۸۲

۵-۴-۳ بردارنده های غیر آلی ۱۸۵

۵-۴-۴ بردارنده های پلاسما ۱۸۷

۵-۵ نکات ایمنی ۱۸۹

فصل ششم : تکنیک های پیشرفته لیتوگرافی

۶-۱ مقدمه ۱۹۳

۶-۲ فتولیتوگرافی با اشعه فرابنفش عمیق ۱۹۴

۶-۲-۱ منابع تولید اشعه فرابنفش عمیق ۱۹۴
۶-۲-۲ نورمقاومهای فرابنفش عمیق ۱۹۸
۶-۲-۳ ابزارهای نوردهی فرابنفش عمیق ۲۰۰

۶-۳ لیتوگرافی ستون الکترون ۲۰۱
۶-۳-۱ مقاوم های ستون الکترون ۲۰۵
۶-۳-۲ سیستمهای ستون الکترون تصویری ۲۰۷
۶-۳-۳ سیستم های ستون الکترون جاروبی ۲۱۰
۶-۳-۴ تولیدالگو و کنترل ستون الکترون در سیستمهای جاروبی ۲۱۳

۶-۴ لیتوگرافی اشعه ایکس ۲۱۶
۶-۴-۱ منابع تولید اشعه ایکس ۲۱۷
۶-۴-۲ مقاوم های اشعه ایکس ۲۱۹
۶-۴-۳ ماسک اشعه ایکس ۲۲۰
۶-۴-۴ دستگاه های مولد اشعه ایکس ۲۲۳

۶-۵ لیتوگرافی ستون یون ۲۲۵
۶-۵-۱ لیتوگرافی با ستون یون متمرکزشده ۲۲۶
۶-۵-۲ لیتوگرافی باستون یون ماسکشده ۲۲۷

۶-۶ نتیجه گیری ۲۲۸

فصل هفتم : کارهای انجام شده

۷-۱ مقدمه ۲۳۲
۷-۱-۱ طراحی اتاق تمیز ۲۳۳
۷-۱-۲ پمپ و سیستم تهویه اتاق تمیز ۲۳۶

۷-۱-۳ سیستم‌های کنترل اتاق تمیز ۲۲۰

۷-۲ کارهای انجام شده در زمینه فرآیند نوشتولیتوگرافی ۲۳۱

۷-۲-۱ طراحی و سیستم رسم الگو ۲۳۲

۷-۲-۲ کاهش تصویر الگو و تهیه ماسک امولسیون ۲۳۶

۷-۲-۳ جایگذاری لایه فلزی و آماده‌سازی زیرلایه ۲۳۸

۷-۲-۴ اعمال نورمقاوم ۲۵۰

۷-۲-۵ دستگاه پوشش دهی چرخشی ۲۵۱

۷-۲-۶ پخت اولیه ۲۵۴

۷-۲-۷ نوردهی ۲۵۶

۷-۲-۸ منبع نورفرابنفش ۲۵۷

۷-۲-۹ ظهور و پخت نهایی ۲۶۰

۷-۲-۱۰ خوردگی شیمیایی ۲۶۲

۷-۳ نتایج کارهای انجام شده ۲۶۳

فصل اول : مدارهای تجمعی سیلیکون

۱-۱ اهمیت تکنولوژی مدارات تجمعی ۲

۱-۱-۱ اهداف تجمع سازی ۴

۱-۱-۲ چگالی تجمع ومحدودیت های تجمع سازی ۵

۱-۲ تکنولوژی ساخت مدارات تجمعی ۸

۱-۲-۱ تکنولوژی دوقطبی ۹

۱-۲-۲ تکنولوژی MOS ۱۱

۱-۳ فرآیندهای ساخت مدارات تجمعی ۱۱

۱-۳-۱ لیتوگرافی ۱۳