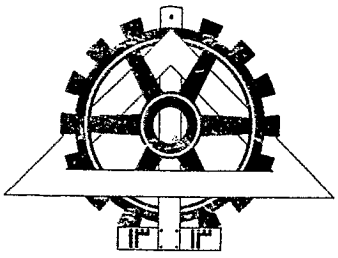
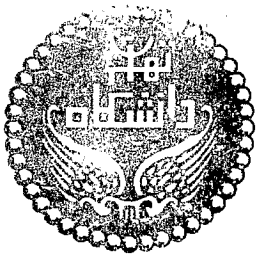
٤٥٨.١





دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

موضوع:

زدایش ناهمسانگرد پلاستیک PET

۱۳۸۲ /۱/ ۱۵

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

توسط:

تیمور ملکی جعفرآبادی

اساتید راهنما:

دکتر سید شمس الدین مهاجر زاده

دکتر علی افضلی کوشا

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی برق-گرایش الکترونیک

اسفند ۱۳۸۱

۴۵۵۰۱

دانشکده فنی
گروه مهندسی برق و کامپیوتر

موضوع:

زدایش ناهمسانگرد پلاستیک PET

نگارش:
تیمور ملکی جعفرآبادی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق-گرایش الکترونیک

از این پایان نامه در تاریخ ۱۳۸۱/۱۲/۱۳ در مقابل داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی	دکتر جواد فیض
مدیر گروه آموزش	دکتر پرویز جبه دار مارالانی
سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه	دکتر حمید رضا جمالی
استاد راهنما	دکتر سید شمس الدین مهاجرزاده
استاد راهنما	دکتر علی افضلی کوشا
عضو هیئت داوران	دکتر کاظم مروج فرشی
عضو هیئت داوران	دکتر ابراهیم اصل سلیمانی
عضو هیئت داوران	دکتر عباسعلی خدادادی

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

تقدیر و تشکر

ضمن سپاس به درگاه ایزد متعال، بر خود لازم می دانم از تمامی کسانی که به هر نحو در انجام این پایان نامه مرا یاری رسانده اند قدردانی نمایم. از جناب آقای دکتر مهاجر زاده که در همه حال مرا از راهنمایی های علمی و معنوی خود محروم نگذاشتند و همواره همچون پدری مهربان در کنار من بودند کمال تشکر را دارم. از دکتر افضلی کوشا که در تمام طول این تحقیق در کنار من بودند و تاریکیها را بر من روشن می ساختند، صمیمانه تشکر می کنم.

از تمامی دوستان و همکاران و کارکنان آزمایشگاه لایه نازک انستیتو الکتروتکنیک دانشگاه تهران که در طول این تحقیق در کنار من بودند، صمیمانه تشکر می کنم. از همکارانم سرکار خانم بهاره صادقی و آقای سامان غفوری فرد ممنونم. از همکاریهای صمیمانه بهترین دوستم مهندس ابراهیم یوسف نژاد کمال تشکر را دارم. همچنین از آقایان امیر گودرزی، جابر درخشنده، بهزاد اسفندیار پور و کلیه دوستانی که مرا در این راه کمک نمودند به خاطر کمکها و همکاریهایشان تشکر می کنم.

تیمور ملکی

زمستان ۸۱

چکیده

یک تکنیک نوین برای ریز ماشین کاری ارائه می شود که در آن زدایش ناهمسانگرد بسترهای PET در حلال DMF در جهت نور تابشی صورت می گیرد. وجود نور UV باعث فعال سازی واکنش در جهت فوتونها می گردد. PET یک ماده سخت می باشد و بسادگی درDMF حل نمی گردد. شاید برخورد فوتونهای پر انرژی UV به منومرهای واقع بر سطح PET، آنها را تحریک نموده وادار به شرکت در واکنش با DMF می‌نماید.

سیستم بکار برده شده در این پروژه شامل یک ظرف شیشه ای دوجداره خنک شونده با آب با دمای قابل کنترل می باشد. درپوش بالایی ظرف شیشه ای از جنس کوارتز انتخاب می شود تا انتقال مناسب نور UV صورت گیرد. از نقاب دو لایه ای آلیاژ ژرمانیم-مس استفاده شده است که ضخامت لایه ژرمانیم برابر 300Å و ضخامت لایه مس 60Å می باشد و این لایه های ساندویچی چند مرتبه تکرار می شوند. این نقاب برای حفاظت بستر PET از نور UV و حلال در نواحی که قصد زدایش نداریم مناسب می باشد.

نرخ زدایش PET به عنوان تابعی از دما و همچنین تابعی از شدت نور UV تابشی مورد مطالعه قرار گرفته است. در انتها هم ریزساختار هایی همانند میکرو چرخ دنده ها، میکرو موتورها و غشاهایی برای ترموکوپل های Ge/Al ساخته شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

مقدمه ۲

۱-۱- تاریخچه ۴

۱-۲-تکنولوژی های ساخت MEMS ۵

۱-۳-میکرو ماشین کاری کپه ای ۵

۱-۴-میکرو ماشین کاری سطحی ۶

۱-۴-۱-لایه نشانی بر اساس واکنش شیمیایی ۸

۱-۴-۲-لایه نشانی بر اساس واکنش فیزیکی ۱۱

۱-۴-۳-میکرو ماشین کاری سطحی به کمک LIGA ۱۲

فصل دوم: PET و کاربرد های آن

۲-۱-پلیمر ها: کاربرد ها و عمل آوری ۱۶

۲-۲- غشاهای نفوذ پذیر ۱۹

۲-۲-۱- زدایش شیمیایی ۲۱

۲-۲-۲- روشهای تغییر دهی ۲۷

۲-۲-۳- کاربرد ها ۲۷

فصل سوم: زدایش ناهمسانگرد PET

۳-۱- آماده سازی پلاستیک PET ۳۵

۳-۲- طراحی الگو ۴۰

۳-۳- نقاب ۴۳

۳-۴- حلال های مورد استفاده ۵۴

۳-۵- انجام عمل زدایش ۵۵

فصل چهارم : نتایج بدست آمده

۴-۱- تست قابلیت های تکنیک نوین زدایش ناهمسانگرد PET ۵۸

۴-۲- بهینه سازی پارامتر های تکنیک ۶۲

۴-۳- ساخت قالب برای چرخ دنده های فلزی ۶۷

۴-۴- ساخت افزاره های پلاستیکی ۷۱

۴-۵- ساخت ترموکوپل ۷۶

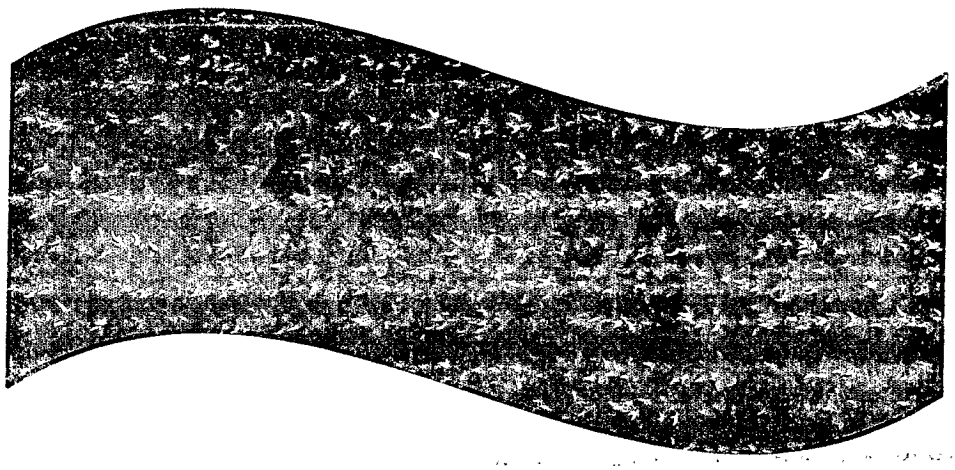
۴-۶- ساخت میکرو موتور ۸۱

فصل پنجم : خلاصه نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- خلاصه و نتیجه گیری ۸۵

۵-۲- پیشنهاد برای ادامه کار ۸۶

فصل اول

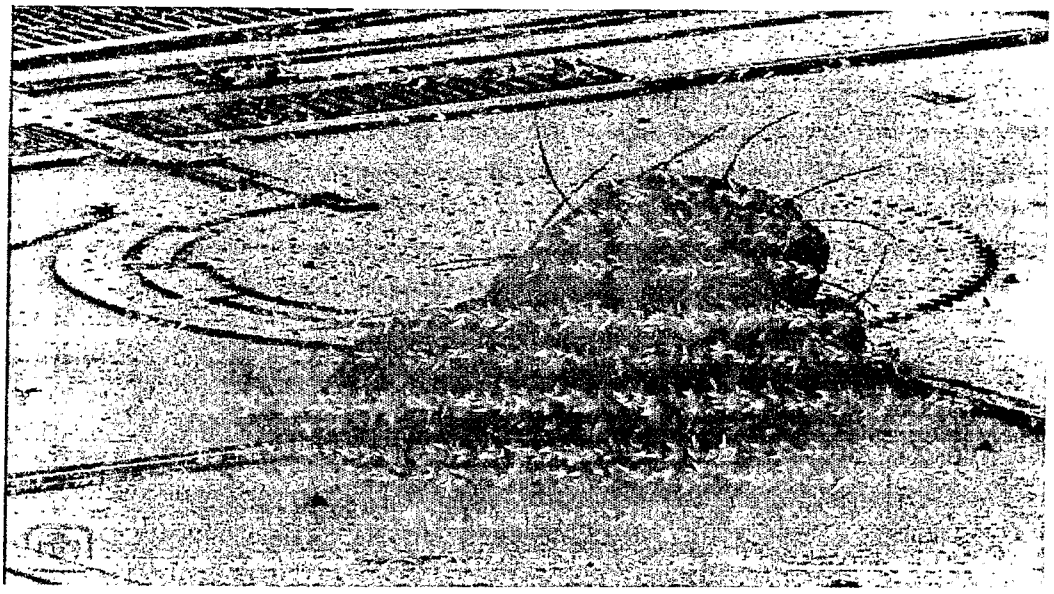


از اطلاعات در آرک عمومی ایران
تهیه شده در آرک

فصل اول

مقدمه

سیستم های میکروالکترومکانیکی[1] (MEMS) نوعی سیستم هستند که اندازهٔ فیزیکی خیلی کوچکی دارند. این سیستم ها معمولاً دارای اجزاء الکتریکی و مکانیکی هستند؛ هرچند که بعضی اوقات دارای قسمت های غیرمتحرک غیرالکترونیکی (مثل قسمت های شیمیایی، بیوشیمیایی و نوری) نیز می باشند. برای ساخت این ادوات خیلی کوچک، از تکنیک ها و موادی که در ساخت مدارهای مجتمع بکار می روند، استفاده می شود. . در شکل(۱-۱) برای نشان دادن کوچکی ادوات MEMS ، یک ریز ساعت با یک عنکبوت مورد مقایسه قرار گرفته است.[1]



شکل(۱-۱):یک عنکبوت که بر روی یک ریز ساعت قرار گرفته است.[1]

[1] Micro Electro Mechanical Systems

تکنولوژی میکرو سیستم‌ها انسان را از ابعاد طبیعی خارج نموده او را وارد دنیایی می‌کند که با ادراک احساسی طبیعی‌اش همخوانی ندارد. هنگامی که ۵۰ سال پیش ترانزیستور اختراع شد تحولی عظیم در تکنولوژی ایجاد نمود که تاثیری همیشگی در زندگی همه ما داشته و خواهد داشت. میکروالکترونیک و ماده سیلیکان[1] بطور محسوسی در تمدن ما به هم پیوسته اند و رابطه نزدیکی با یکدیگر دارند؛ لذا مناسب است که تمدن اخیر را عصر سیلیکان بنامیم.

با گام نهادن به تکنولوژی میکروالکترونیک و ساختارهای ریزتر مفاهیم کوانتومی جایگاه ویژه‌ای در این تکنولوژی پیدا می‌کنند. در این صنعت انتقال طرح ها بر روی نقاب به وسیله نور انجام می گیرد. تصاویر اپتیکی را تنها به صورت الگوهای دو بعدی می‌توان منتقل نمود و در نگاه اول به نظر می‌رسد که این سدی در برابر این تکنولوژی باشد؛ زیرا بیشتر مایلیم روی طراحی و ساخت قطعات در سه بعد کار کنیم.

دلیل این محدودیت به سه خصوصیت نور برمی‌گردد.

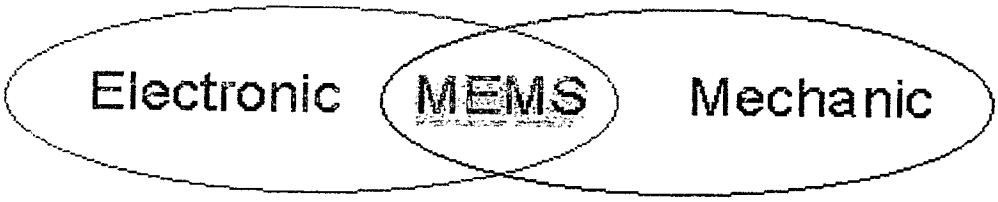
- انتقال جزئیات الگوها به وسیله طول موج نور محدود می‌گردد.
- تلفات نور مثل پراش و تداخل ما را محدود می‌سازد.
- میزان موازی بودن نور[2]

در هر حال با بهینه ساختن این پارامترها می‌توان تا محدوده خاصی برای انتقال الگوها پیش رفت به طوری که می‌توان هزاران مدار مجتمع یا عناصر ذخیره اطلاعات همانند خازن ها را در کنار یکدیگر بر روی قرصهای سیلیکان در ابعاد ۶، ۸ یا ۱۲ اینچی طراحی نمود.[2]

همان طور که در شکل (۱-۲) مشاهده می شود، MEMS در واقع یک پل بین رشته های میکروالکترونیک و مکانیک است و وسیله ای برای برقراری ارتباط و برهمکنش بین دنیای الکترونیک و دنیای اطراف است.

---

[1] Silicon Material
[2] Parallelity of light



شکل(۱-۲): MEMS در واقع پلی بین مکانیک و میکرو الکترونیک می باشد.[3]

۱-۱) تاریخچه

ایده ساخت سیستم های خیلی کوچک اولین بار در سال ۱۹۵۹ توسط فیزیکدان مشهور، ریچارد فاینمن، در یک سخنرانی با عنوان "آن پایین مقداری جا هست" مطرح گردید. او در این سخنرانی، ایده ها و چشم اندازهایی در مورد طرز کار، دانش، مهندسی و کاربردهای سیستم ها و ماشین های خیلی کوچک مطرح کرد. وی در سال ۱۹۸۳ نیز سخنرانی دیگری را در این موارد ایراد نمود و پیش بینی های جالبی را ارائه داد که بعضی از آنها تاکنون محقق شده اند و بعضی دیگر نیز موضوع تحقیقات هستند.[4]

در سال ۱۹۸۲ کورت پیترسن از IBM پس از چند سال پژوهش و آزمایش مقاله ای انتشار داد که در آن با بیان نتایج پژوهش هایش نشان داد سیلیکان دارای خواص و قابلیت های بسیار خوبی (از جمله استحکام) برای ساخت قطعات مکانیکی خیلی کوچک است. از آنجایی که در ساخت مدارهای مجتمع نیز به وفور از سیلیکان استفاده می شود و فرآیندهای لازم برای ساخت ادوات سیلیکانی (مثل نقش نگاری، Etching) وجود داشتند، این مقاله باعث شد که ساخت قطعات مکانیکی سیلیکانی، به سرعت رواج یافته و پیشرفت کند. مقالهٔسال ۱۹۸۲ پیترسن از نظر بسیاری افراد، به عنوان نقطهٔ آغاز رسمی تکنولوژی MEMS شناخته می شود؛ هر چند که قبل از آن نیز کارهای پراکنده ای در مورد ساخت سیستم های بسیار کوچک انجام شده و انتشار یافته بودند.

قبل از سال ۱۹۶۰ هنگامی که تکنولوژی مدارهای مجتمع بوجود آمد، فعالیتهایی در زمینه ریز ماشین کاری بر مبنای سیلیکان انجام گرفته بود. در طول سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ بیشتر تحقیقاتی بر روی زدایش ناهمسانگرد سیلیکان تک کریستالی متمرکز بود. این تکنولوژی با ساختارهای ساده و

تولیدات تجاری اولیه مبدلهای فشار همراه بود. با شروع دهه ۱۹۸۰ پیشرفتهای لایه نشانی لایه نازک و درک بیشتر خصوصیات فیزیکی چنین لایه هایی اجازه ساخته شدن ریز ساختارهایی با زدایش انتخابی بر روی این لایه ها را داد. بعد از نیمه دوم دهه ۱۹۸۰ تحقیقات بر روی ریز مکانیسم ها و ریز موتورهای الکترو استاتیک بر سطح پلی کریستال ریز ماشین ها متمرکز شد. با آغاز دهه ۱۹۹۰ جریان قابل توجه تحقیقات مهم دولتی یک انقلاب تکنولوژیکی به راه انداخت که سیستمهای پیچیده میکروالکترومکانیکی کاملاً مجتمع شامل انواع سنسورها، محرکها و توابع کنترل را برای ما بوجود آورده است.[4]

۱-۲) تکنولوژی های ساخت MEMS

در این قسمت به بررسی تکنیکهای که در ساخت MEMS استفاده می شود می پردازیم. به طور کلی دو روش برای ساخت MEMS استفاده می شود:

میکرو ماشین کاری سطحی[۱]

میکرو ماشین کاری کپه ای[۲]

در میکرو ماشین کاری کپه ای اساس بر زدایش سیلیکان به کمک زداینده های شیمیایی می باشد به این ترتیب زیر بنای اصلی سیلیکان می باشد و قطعات مختلف توسط خود سیلیکان ساخته می شود. اما در میکرو ماشین کاری سطحی زیر لایه معمولاً سیلیکان است و قطعات به کمک نشاندن لایه هایی از مواد دیگر که اصلی ترین آنها پلی سیلیکان می باشد ساخته می شوند.[5]

۱-۳) میکرو ماشین کاری کپه ای

تکنیک زدایش سیلیکان به شکل کپه‌ای به طور گسترده‌ای در ساخت حسگرهای ریزماشینکاری شده، محرکها به کار برده می‌شود. هدف ریزماشینکاری کپه‌ای برداشتن در مقیاس زیاد نواحی‌ای از سیلیکان (که به عنوان زیر لایه استفاده می شود) می باشد. اما این زدایش[۳] به طور خاصی انجام می‌پذیرد، بدین معنی که برای صفحات مختلف کریستالی آهنگ زدایش متفاوت می‌باشد و یا اصطلاحاً

[1] surface micromachining
[2] Bulk micromachining
[3] Etching

زدایش به طور انتخابگری انجام می‌گردد. می توان در کنار سنسورهایی که با استفاده از این تکنیک ساخته می‌شوند، قطعات دیگری قرار داد تا به منظور ساختن یک عنصر مداری از آنها استفاده گردد.

البته اگر هدف از زدایش سیلیکان چیزی غیر از بدست آوردن غشاء[1] باشد، و هدف صرفاً زدایش آن (در هر جهت کریستالی) باشد، می‌توان از محلولهایی استفاده نمود که انتخابگر نباشد. در این صورت آهنگ زدایش در تمام جهات کریستالی یکسان خواهد بودکه به آن زدایش همسانگرد سیلیکان می‌گویند و اغلب توسط محلولهای اسیدی خاص انجام می‌گیرد.

خصوصیت کلیدی دیگری که انواع زداینده‌ها را از یکدیگر متمایز می‌کند فاز زدایش است. به عبارت دیگر زداینده خود می‌تواند به صورت مایع (که در آن صورت به آن تر گفته می‌شود) بخار و پلاسما (که دو حالت اخیر را زدایش خشک می‌نامند) باشد. همان طوری که انتظار می‌رود مکانیسم واکنش، آهنگ واکنش، شیمی واکنش و خواص پخشی این سه نوع کاملاً متفاوت می‌باشد.

محلولهای زدایش خصوصیات مهم دیگری نیز دارند که آنها را از یکدیگر متمایز می‌کند. این خواص عبارتند از: آهنگ زدایش، توانایی زدایش برای تطبیق یافتن با ناخالصی‌ها یا بایاسهای الکتریکی که می‌تواند در زمان زدایش وجود داشته باشد، زبری سطح[2] بر جای مانده، وجود نقاب خوب و قابل دسترس برای محلول زدایش.

همان طور که قبلا گفته شد در زدایش نا همسانگرد، نرخ زدایش در یک جهت کریستالی از بقیه جهات بیشتر است و نرخ زدایش در جهت کریستالی <۱۱۱> در Si از بقیه جهات کمتر است. این دسته از صفحات با خانواده صفحات {100} زاویه 54.74° می‌سازند. اگرچه مکانیسم واکنش به طور کامل روشن و واضح است، اما دلیل زدایش صفحات به صورت ناهمسانگرد دقیقاً مشخص نیست. البته توجیهی که برای این مساله در حال حاضر وجود دارد آن است که صفحات با دانسیته سطحی اتمی کمتر، سریعتر از بقیه خورده شده و لذا اهنگ زدایش آنها بیشتر خواهد بود اما این تئوری در همه موارد جواب قابل قبولی نمی‌دهد. به عنوان مثال، در کریستالهای با سیستم تقارنی مکعبی دانسیته سطحی اتمها در جهات مختلف کریستالی خیلی با یکدیگر تفاوت ندارند.[6]

---

[1] Membrane
[2] Roughness

۱-۴) میکرو ماشین کاری سطحی

همان طور که از نام این فرایند پیداست، میکرو ماشین کاری سطحی بر روی سطح ماده انجام می شود. جنس ماده می تواند سیلیسیم، شیشه، یا فلز باشد. زیر لایه تنها به عنوان یک تکیه‌گاه مکانیکی نقش دارد. فرایند میکروماشین کاری سطحی شامل نشاندن لایه نازک و نقش نگاری آن است. در انتها می توان با زدایش انتخابی، لایه های خاصی را پاک کرد و لایه های دیگری که زیر قسمتی از آنها خالی شده به صورت معلق باقی بمانند.[7]

فرایند انجام شده در میکرو ماشین سازی سطحی تقریباً مستقل از زیر لایه می باشد. بنابراین می توان ابتدا تغییرات لازم مثل ساخت مدارات جانبی را انجام داد و سپس این فرایند را روی سطح آن اجرا نمود. میکرو ماشین کاری سطحی ابتدا محدود به نشاندن لایه های کم ضخامت بود؛ چرا که فقط امکان نشاندن لایه های نازکی ازمواد مختلف روی زیر لایه میسر بود. اما اخیراً با پیشرفت فناوری، امکان ساخت لایه های ضخیم تر نیز فراهم آمده است.

مفهوم ماشین کاری سطحی در دهه ۱۹۵۰ معرفی شد، هر چند استفاده عملی از این فرایند برای ساخت یک قطعه MEMS (که ترانزیستور با گیت تشدید شونده بود) در سال ۱۹۶۷ انجام گرفت. بعد از انتشار این کار، ادواتی با استفاده از این روش ساخته شد که یکی از اولین آنها صفحه نمایش دیجیتال به وسیله آرایه ای از میکرو آینه ها بود. در سال ۱۹۸۲ با نشاندن لایه پلی سیلیسیم به روش LPCVD[1] لایه های معلق و پل روی ویفر ساخته شدند که اولی یک تکیه گاه و دومی دو تکیه گاه دارد. اهمیت فرایند میکرو ماشین کاری با نشاندن پلی سیلیسیم این است که با فناوری ساخت مدارهای مجتمع سازگاری دارد. در دهه ۱۹۸۰ کارهایی در دانشگاه برکلی انجام شد که نشان داد میکرو ماشین سازی با پلی سیلیسیم، استفاده زیادی در ساخت ادوات مختلف مثل قطعات لغزنده روی صفحه، میکرو موتورها، میکرو تشدیدگرها و انبرک ها دارد. امروزه میکروماشین کاری با پلی سیلیسیم، خود به عنوان یکی از مهمترین شاخه های میکروماشین سازی سطحی شناخته می شود. علاوه بر پلی سیلیسیم مواد دیگری مثل آلومینیوم، نیترید سیلیسیم برای غیر فعال سازی[2] و اکسید سیلیسیم به عنوان لایه قربانی[3] نیز استفاده می شود.

---

[1] Low Pressure Chemical Vapor Deposition
[2] Passivate
[3] Sacrifichial layer