

چشم‌انداز فناوری نانو در مهندسی مکانیک

انوشیروان فرشیدیان‌فر، دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

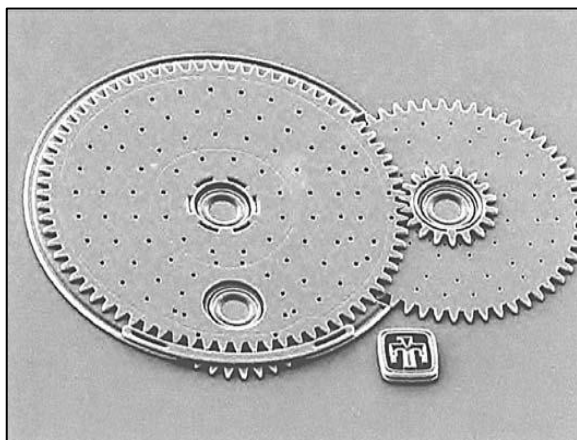
farshid@ferdowsi.um.ac.ir

علی اصغر قصابی، دانشجوی کارشناسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

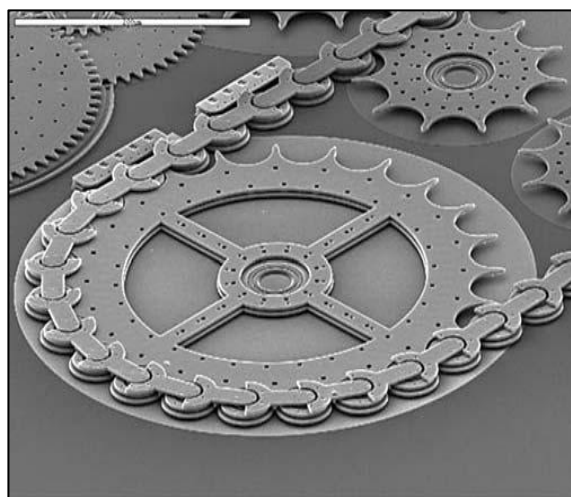
al_qa757@stu-mail.um.ac.ir

محمدحسین فرشیدیان‌فر، دانشجوی کارشناسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

mo_fa160@stu-mail.um.ac.ir



شکل (۸) - تبدیل کننده‌های گشتاور



شکل (۹) - لینک میکرو زنجیری و دنده

(ج) سیستمهای میکرو- نانو الکترومکانیکی

مقدمه

در نیمه دوم سده گذشته با ورود علم الکترونیک و کامپیوتر به عرصه مهندسی، نقش مهندسی مکانیک به گونه‌ای شگفت توسعه یافت و کامپیوترها در این تغییرات بنیادی نقش اصلی را ایفا کرده‌اند. مهمترین این تغییرات شامل: طراحی^۱، ساخت^۲، شبیه‌سازی، ساخت نمونه اولیه سریع و مهم‌تر از همه انجام سریعتر محاسبات پیچیده می‌باشد [۲۱]. امروزه مهندسی مکانیک در کنار فعالیت بر روی ابرسازه‌ها و ابرماشین‌ها بر روی سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی که در ابعاد میکرومتری ساخته میشوند نیز فعالیت بسیار وسیعی دارند. این سیستم‌ها هم اکنون شامل موتورهای کوچک^۳، درایوهای زنجیری^۴، تبدیل کننده‌های گشتاور^۵ (شکل ۸)، انتقال دهنده‌ها^۶، شتاب‌سنج‌ها^۷، سنسورهای فشار^۸، زیروسکوپ‌ها و واحدهای کاهش دنده (شکل ۹) می‌باشند.



تاریخچه

شاید نوشتن تاریخچه‌ای کامل برای سیستم‌های میکرونانو الکترومکانیکی کمی زود باشد اما میتوان گفت ریشه‌های تکنولوژی میکروسیستم‌ها با پیشرفت‌هایی که در جنگ جهانی دوم همراه بود پدیدار شد و مهمترین آنها پیشرفت در زمینه ترکیب و شناسایی مواد خالص نیمه رسانا بود. این مواد به خصوص سیلیکون خالص، ماده اصلی مدارهای میکرو الکترومکانیکی هستند.

محققین سیستم‌های میکروالکترومکانیکی و فناوری نانو هر دو از سخنرانی مشهور ریچارد فاینمن با عنوان "فضای فراوانی در پایین وجود دارد" به عنوان جرقه و سرآغازی در رشته خود یاد می‌کنند [۲۱]. در این سخنرانی که در سال ۱۹۵۹ ارائه شده فاینمن مقدار زیادی از پیشرفتهای چهار دهه گذشته این سیستم‌ها را پیش‌بینی کرده بود:

"ذیای کوچک و فعالی در پایین می‌باشد. در سال ۲۰۰۰ هنگامی که نگاهی دوباره به امروز بیندازید، شگفت زده خواهید شد که چرا تا سال ۱۹۶۰ هیچکس به طور جدی این مسیر را آغاز نکرده بود."

۵ سال پس از این سخنرانی در سال ۱۹۶۴ بود که اچ.سی. ناتانسون و همکارانش [۲۲] در وستینگ هوس^۹ اولین وسیله میکروالکترومکانیکی را ساختند. این دستگاه یک ترانزیستور گیت رزونانسی^{۱۰} بود.

اختراع میکروپروسورها^{۱۱} در ۱۹۷۰ نیز اولین جرقه برای ساخت این سیستم‌ها را به کمک تکنیک‌های لیتوگرافی^{۱۲} ایجاد کرد. در سال ۱۹۷۹ نیز اولین شتاب‌سنج به وسیله محققین دانشگاه استنفرد ساخته شد که بعدها در سال ۱۹۹۸، ۲۷ میلیون از این میکروشتاب‌سنج‌های سیلیکونی تولید گردید.

در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ نیز تحقیقات فراوانی در زمینه فناوری نانو صورت گرفت. اختراع میکروسکوپ‌های تونلی روبشی^{۱۳} و در ادامه میکروسکوپ‌های اتمی و کشف نانولوله‌های کربنی در سال ۱۹۹۱ و تکنیک شکل‌دهی نانولوله‌ها در سال ۱۹۹۱ توسط اسمالی [22] مهمترین وقایع این دو دهه می‌باشند.

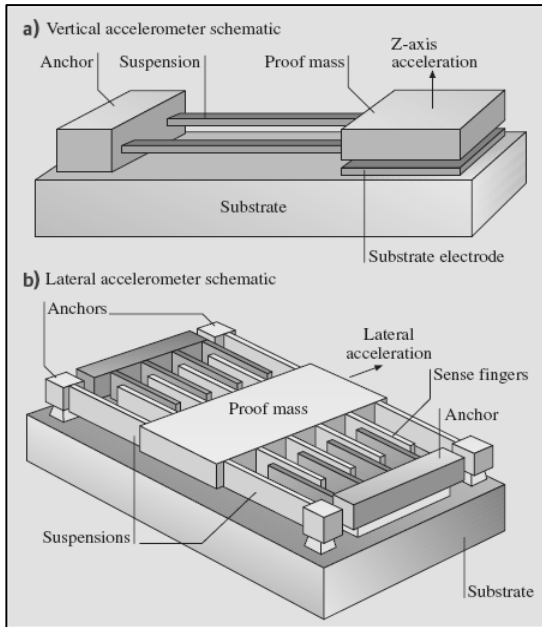
سیستم‌های میکروالکترومکانیکی

گرچه امروزه به خاطر مسائل فنی و اقتصادی هنوز سیستم‌های میکروالکترومکانیکی به تولید انبوه کامل نرسیده‌اند، اما در بین نمونه‌های ساخته شده سیستم‌هایی را می‌توان یافت که در حال گذر از مراحل ساخت و طراحی و رسیدن به مرحله تولید انبوه هستند. حتی برخی از این سیستم‌ها هم اکنون نیز به تولید انبوه رسیده‌اند. حال چند نمونه از کاربردهای این سیستم‌ها و دستگاه‌های ساخته شده در این حوزه را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

• سنسورهای اینرسی^{۱۴}

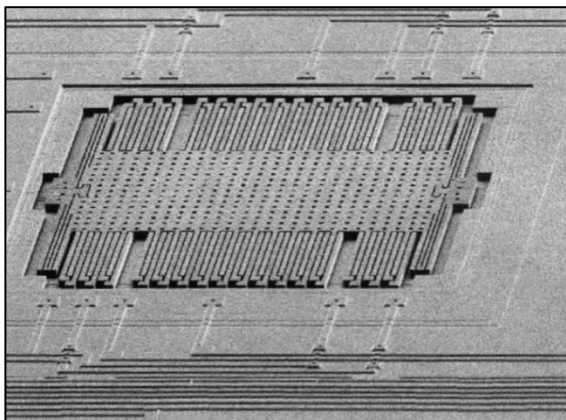
سنسورهای اینرسی به منظور تبدیل یک پدیده فیزیکی به سیگنال‌های قابل اندازه‌گیری ساخته می‌شوند [23]. در واقع این سنسورها از این پدیده‌های فیزیکی (که عموماً مجموعه‌ای از نیروها هستند) برای اندازه‌گیری سرعت و شتاب استفاده می‌کنند. سنسورهای اینرسی به سه گروه شتاب‌سنج‌ها، ژيروسکوپ‌ها^{۱۵} و واحدهای اندازه‌گیری اینرسی^{۱۶} (که ترکیبی از شتاب‌سنج‌ها و ژيروسکوپ‌ها می‌باشند) تقسیم می‌شوند [25]. در بین سیستم‌های میکروالکترومکانیکی، شتاب‌سنج‌ها پس از سنسورهای فشار پر فروش‌ترین میکروسیستم‌ها می‌باشند.





شکل (۱۰) - مکانیزم شتاب سنجهای عمودی و جانبی

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، جرم مقاوم هنگامی که تحت تاثیر یک شتاب جانبی قرار می‌گیرد در صفحه‌ای موازی با قاب حرکت می‌کند که در نتیجه فاصله بین انگشتی‌ها را تغییر می‌دهد. انگشتی‌ها نقش خازن‌های سیستم را بر عهده دارند، با تغییر فاصله بین آنها ظرفیت خازن‌ها نیز تغییر می‌کند و شتاب ورودی اندازه‌گیری می‌شود. در شکل (۱۱) نمونه ساخته شده‌ای از یک شتاب‌سنج جانبی را مشاهده می‌کنید.



شکل (۱۱) - شتاب‌سنج جانبی

میکروسنسورهای اینرسی عموماً از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند: ۱- جرم مقاوم^{۱۷}، ۲- قاب دستگاه. در مرکز تمامی میکروژیروسکوپ‌ها و میکروشتاب‌سنج‌ها یک جرم مقاوم وجود دارد، این جرم نسبت به قاب دستگاه در حرکت است. تفاوت حرکت قاب و جرم مقاوم با شتاب جرم در ارتباط است. این شتاب را می‌توان با استفاده از روش‌های گوناگون اندازه‌گیری کرد. همچنین می‌دانیم که حرکت یک جسم صلب را می‌توان با اندازه‌گیری شتاب‌های خطی در جهات Z و Y و X و سرعت‌های زاویه‌ای حول محورهای Z و Y و X به طور کامل تشریح کرد که این امر از وظایف سنسورهای اینرسی می‌باشد. حال به چند نمونه ساخته شده از این دستگاه‌ها اشاره می‌کنیم:

الف) شتاب‌سنج‌ها

وظیفه شتاب‌سنج‌ها اندازه‌گیری شتاب اجسام می‌باشد. در شتاب‌سنج‌ها یکی از روش‌های اندازه‌گیری شتاب جرم مقاوم، استفاده از خازن‌های الکتریکی می‌باشد. از این روش به عنوان روش خازنی یاد می‌شود، این روش به علت حساسیت بالا و وابستگی دمایی کم، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. شتاب‌سنج‌های خازنی به دو گروه سنسورهای عمودی^{۱۸} و جانبی^{۱۹} تقسیم می‌شوند. شکل (۱۰) انواع شتاب‌سنج‌های خازنی را نمایش می‌دهد.

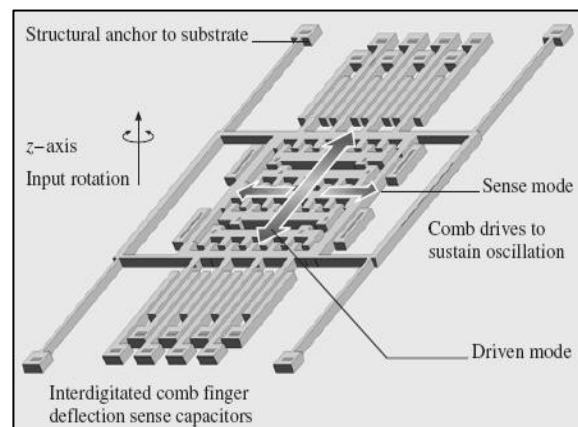
در مدل عمودی جرم مقاوم با یک فاصله چند میکرونی بالای یک الکتروود معلق شده است. مجموعه جرم مقاوم و الکتروودی که بر روی قاب سیستم قرار گرفته‌اند تشکیل یک خازن صفحه‌ای را می‌دهند. حال با استفاده از یک شتاب ورودی جرم مقاوم در جهت Z به حرکت در می‌آید، این حرکت فاصله بین جرم مقاوم و الکتروود را تغییر می‌دهد که در نتیجه مقدار ظرفیت خازن نیز تغییر می‌کند. در روش خازن جانبی نیز

هم اکنون از شتاب سنج‌ها در اسباب‌بازی‌ها و گام‌سنج‌ها^{۲۰}، ضبط برخورد خودروها و کنترل بازی‌های ویدیویی استفاده می‌شود، همچنین شتاب‌سنج‌های سه بعدی نیز در موبایل‌ها استفاده می‌شوند.

در کنار تمامی کاربردهایی که ذکر شد، امروزه مهمترین حوزه فعالیت شتاب‌سنج‌ها در زمینه خودروها و اجزای تشکیل‌دهنده آنها می‌باشد. از اصلی‌ترین بخش‌های کاربردی سنسورهای اینرسی در این حوزه استفاده آنها در سیستم‌های کسبه هوا، کنترل پایداری^{۲۱}، تشخیص واژگونی^{۲۲} (چپه شدگی)، ترمز الکتریکی، هدایت از داخل^{۲۳} و هشدار کجی^{۲۴} (انحراف) می‌باشد [26].

ب) ژيروسکوپ‌ها

ژيروسکوپ‌ها ابزاری هستند برای اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای اجسام، اغلب ژيروسکوپ‌های میکروماشین‌کاری شده، از اجزای مرتعش مکانیکی برای اندازه‌گیری سرعت دورانی استفاده می‌کنند [24]. ساختار این سنسورها به انتقال انرژی بین دو مد ارتعاشی یک سازه بستگی دارند، که این مدها در اثر شتاب کوریولیس ایجاد میشوند.



شکل (۱۲) - ژيروسکوپ ارتعاشی (Z-محور)

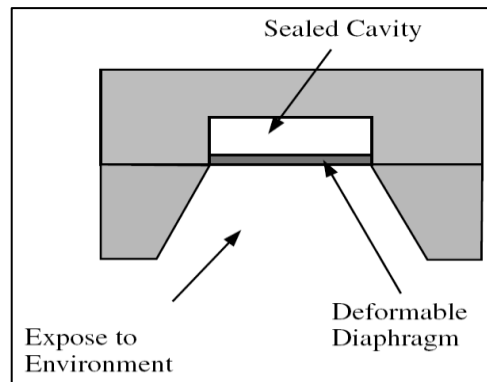
شکل (۱۲) نمایی از یک ژيروسکوپ ارتعاشی عمودی (Z-محور) را نشان می‌دهد. این وسیله شامل یک جرم مرتعش می‌باشد، جرم به وسیله انگشتی‌های شانه‌ای (که در شکل نشان داده شده‌اند) به صورت الکترواستاتیک، در راستای محور تحریک تحت تاثیر تشدید قرار می‌گیرند. چرخش جرم حول محور عمودی (محور Z) سبب پیدایش شتاب کوریولیس می‌شود. شتاب کوریولیس به وجود آمده سبب تغییر شکل سازه در جهت محور حسگر می‌شود. این تغییر شکل ظرفیت خازن را تغییر می‌دهد که این تغییر ظرفیت، مبنای مناسبی برای اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای یک دوران می‌باشد.

ژيروسکوپ‌های میکروماشین‌کاری شده امروزی عموماً به دو دسته ژيروسکوپ‌های حلقه مرتعش^{۲۵} که در بالا توضیح داده شدند و ژيروسکوپ‌های چنگالی^{۲۶} تقسیم می‌شوند.

از کاربردهای مهم ژيروسکوپ‌ها، ثبات تصویر دوربینهای عکاسی و فیلم‌برداری^{۲۷}، کنترل بازی‌های ویدیویی، رباتیک، کشتیرانی، کنترل حرکت و بسیاری از کاربردهای خودرویی که در قسمت شتاب‌سنج‌ها به آن اشاره شد، می‌باشد.

• سنسورهای فشار

سنسورهای فشار یکی از اولین دستگاه‌های ساخته شده به کمک تکنولوژی میکروماشین‌کاری سیلیکونی می‌باشند. این سنسورها از موفق‌ترین سیستم‌های میکروالکترومکانیکی چه در زمینه تجاری و چه در زمینه کاربردی هستند. هدف ساخت این ابزار اندازه‌گیری فشار گازها یا مایعات است.



شکل (۱۳) - میکروسنسور فشار

برای اندازه‌گیری کرنش وجود دارد که از آنها می‌توان به روش‌های الکترومغناطیسی، پیزو الکتریکی^{۳۱}، بصری^{۳۲}، تشدید^{۳۳} و دمایی اشاره کرد. سنسورهای فشاری کاربردهای فراوانی در زمینه خودرو، درمان و حوزه‌های صنعتی دارند که اصلی‌ترین بخشهای این کاربردها عبارت‌اند از:

(۱) اندازه‌گیری فشار: معمول‌ترین و رایج‌ترین کاربرد این سنسورها که در ماشین‌ها، هواپیماها، وسایل سنجش آب و هوا و سایر ماشین‌آلاتی که بر حسب فشار کار می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

(۲) اندازه‌گیری ارتفاع: این کاربرد بیشتر برای هواپیماها، موشکها، ماهواره‌ها و بالون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. (۳) اندازه‌گیری عمق/سطح: از سنسورهای فشار برای اندازه‌گیری عمق یک سیال نیز استفاده می‌شود. از این تکنیک عموماً در اجسام غوطه‌ور مانند زیردریایی‌ها استفاده می‌شود. همچنین با استفاده از این روش می‌توان سطح آب موجود در تانکرها و برج‌های آبی را اندازه‌گیری کرد.

(۴) تست رسوخ^{۳۴}: از سنسورهای فشار می‌توان برای پیدا کردن ناحیه رسوخ در سیستم‌ها استفاده کرد.

در بین تمامی سیستم‌های میکروالکترومکانیکی ساخته شده، سنسورهای فشار قدیمی‌ترین، پرفروش‌ترین و پرکاربردترین این سیستم‌ها تا کنون بوده‌اند. البته این سیستم‌ها هم اکنون نیز در حال پیشرفت و ادامه روند صعودی خود، چه در زمینه تکنولوژی و چه در زمینه تجاری می‌باشند.

• میکرو روبات‌ها

امروزه سیستم‌های الکترومکانیکی هنوز هم با استفاده از روش‌های قدیمی میکروماشینکاری سیلیکونی ساخته

شکل (۱۳) ساختار یک سنسور فشار ساده را نشان می‌دهد. این سیستم از یک دیافراگم منعطف که بر روی یک حفره بسته^{۳۸} قرار گرفته تشکیل شده، این حفره می‌تواند خلأ یا حاوی گازی با فشار معین باشد. طرف دیگر دیافراگم محیطی است که میخواهیم فشار آن را اندازه‌گیری کنیم. اختلاف فشار در دو طرف دیافراگم سبب ایجاد تنش در آن می‌شود، این تنش باعث جابجایی دیافراگم شده که از آن برای اندازه‌گیری فشار استفاده میشود.

روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری تنش‌ها یا جابجایی‌های دیافراگم ارائه شده که مهمترین آن‌ها عبارت‌اند از:

(الف) پیزو مقاومت‌ها^{۳۹}: در این روش از اثر پیزو مقاومتی برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود. طبق این روش مقاومت الکتریکی دیافراگم در برابر تنش ایجاد شده در آن تغییر می‌کند.

(ب) روش خازنی^{۳۰}: از دیافراگم و فشار حفره به عنوان یک خازن متغیر برای اندازه‌گیری کرنش استفاده می‌شود.

در تکنولوژی رایج امروزی از دیافراگم‌های فلزی، سیلیکونی و سرامیکی استفاده می‌شود. علاوه بر دو روش رایجی که به آنها اشاره شد روش‌های دیگری نیز

می‌شوند. اما با توجه به پیدایش سیستم‌های جدیدتری همچون میکروسنسورها، میکروپمپ‌ها، میکرودریچه‌ها، میکروآینه‌ها و سایر سیستم‌های میکروالکترومکانیکی جدید، این سؤال پیش می‌آید که چگونه می‌توان تمامی این سیستم‌ها را در کنار هم قرار داد تا بدین وسیله سیستم‌هایی نوین، یک پارچه، چند منظوره، کم حجم با بازده کاربردی بیشتر تولید کرد. یکی از بهترین روش‌های میکرواسمبلی^{۳۵} سیستم‌های میکروالکترومکانیکی، استفاده از میکروروبات‌ها برای ساخت و اسمبل میکروسیستم‌های جدید می‌باشد. اسمبل کامل سیستم‌های میکروالکترومکانیکی به یکی از دو روش مونولیتیک^{۳۶} و یا هیبرید^{۳۷} صورت می‌پذیرد [23]. در روش مونولیتیک چندین سیستم به طور هم زمان بر روی سطح یک چیپ اسمبل می‌شوند، اما در روش هیبریدی چندین میکروسیستم با استفاده از اسمبلی سری و تکنولوژی‌های متفاوت بر روی چیپ‌های گوناگون اسمبل می‌شوند. در هر دو روش ارائه شده، میکروروبات‌ها کار اسمبلی را بسیار راحت‌تر می‌کنند. طبق تحقیقاتی که توسط فلین و همکارانش [23] صورت گرفت هزینه‌ها و مشکلات اتصالاتی کم‌تر و توانایی کاربردی بیشتر از مزایای استفاده از میکروروبات‌ها می‌باشد.

اما میکروروبات‌ها چه حوزه‌هایی را شامل می‌شوند؟ امروزه علم میکروروباتیک شامل ابزار میکروکنترلر، میکرو حامل‌ها^{۳۸}، مکانیزم‌های لوکوموتیوی^{۳۹}، لینک‌های قابل هدایت^{۴۰} و میکروگیره‌ها^{۴۱} میشود [23]. همچنین تکنولوژی ساخت این سیستم‌ها و الگوریتم کنترل آن‌ها نیز در حوزه فعالیت میکروروباتیک قرار می‌گیرد. اصولاً در ساخت میکروروبات‌ها یکی از مهمترین بخش‌ها، نوع و چگونگی استفاده از محرک‌ها^{۴۲} می‌باشد.

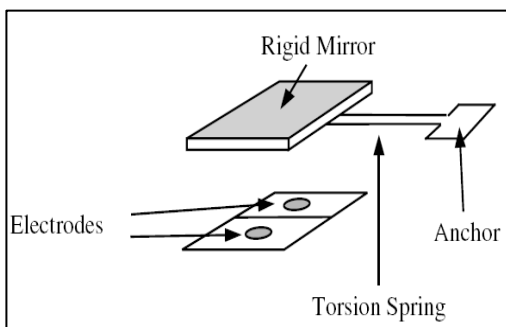
یکی از پرکاربردترین میکروروبات‌های ساخته شده میکروگیره‌ها می‌باشند. از این ابزار برای حمل و نقل و انتقال میکروسیستم‌ها و میکرو ذرات استفاده می‌شود. میکروگیره‌ها نیز مانند سایر میکروروبات‌ها از شیوه‌های تحریک متفاوت استفاده می‌کنند. دو نوع بسیار رایج تحریک در میکروگیره‌ها، تحریک‌های دمایی و تحریک‌های الکترواستاتیکی می‌باشد. اولین میکروروبات ساخته شده یک میکروگیره با دو بازوی سیلیکونی بود. این میکروگیره با استفاده از تحریک الکترواستاتیک صفحه‌ای که امکان جابجایی و حرکت در یک صفحه را فراهم می‌ساخت به کار می‌افتاد. هر چند دو نوع تحریک نام برده دارای نیروی کافی برای باز کردن دهانه گیره می‌باشند اما برای جابجایی و تغییر شکل‌های وسیع مناسب نیستند. امروزه با استفاده از خاصیت اهرمی^{۴۳} این نقص برطرف شده است. در حال حاضر با بهره‌گیری از مکانیزم‌های کامپلاینت^{۴۴} خاصیت اهرمی در میکرونگهدارنده‌ها ایجاد می‌شود. مکانیزم‌های کامپلاینت مکانیزم‌های منعطفی هستند که یک نیروی ورودی یا یک جابجایی را با استفاده از تغییر شکل الاستیک به نقطه‌ای دیگر انتقال می‌دهند. این مکانیزم‌ها عموماً یکپارچه یا بدون مفصل می‌باشند و دارای مزایای خاصی نسبت به مکانیزم‌های صلب هستند. در شکل (۱۴) نمونه‌ای از یک میکروگیره ساخته شده با استفاده از مکانیزم‌های کامپلاینت را مشاهده می‌کنید.

شکل (۱۵) نیز نمونه دیگری از یک میکروگیره را نمایش می‌دهد. این گیره که توسط افرز و همکارانش [23] در سال ۲۰۰۰ ساخته شده، امکان جابجایی بازوهای گیره را در صفحه‌ای عمودی فراهم میکند. از میکروروبات‌ها و مخصوصاً میکروگیره‌ها امروزه در صنعت میکروسیستم‌های الکترومکانیکی بسیار استفاده می‌شود.

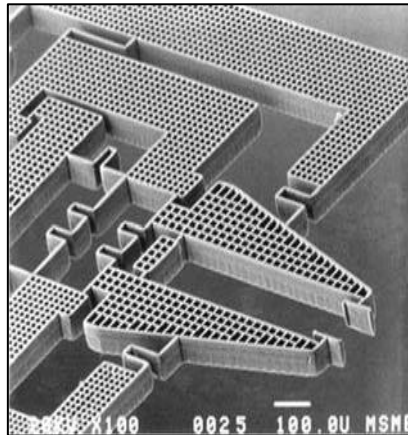
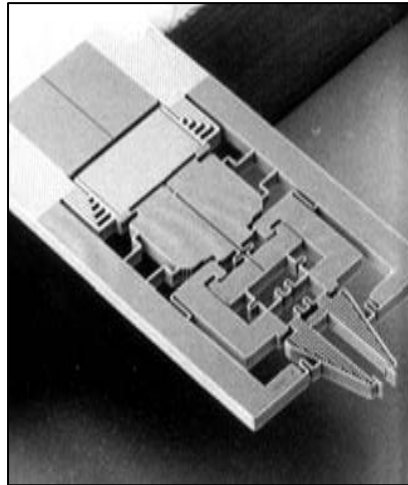


ماکروی خود ارزان قیمت‌تر، دقیق‌تر و کوچک‌تر می‌باشند.

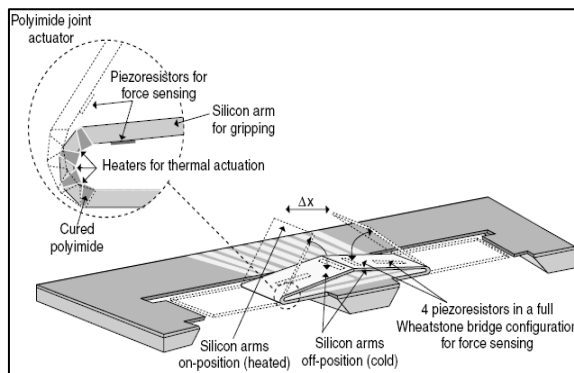
شکل (۱۶) مکانیزم میکروآینه ساده‌ای را نشان می‌دهد که نمونه‌ای از یک سازه الاستیک در بین سیستم‌های میکروالکترونیکی می‌باشد. در این میکروآینه، هدف تغییر زاویه و دوران آینه صلب به منظور کنترل نور بازتاب شده می‌باشد. از این میکروآینه می‌توان به عنوان یک کلید استفاده کرد. برای حرکت (چرخش) آینه از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود، معمول‌ترین آنها استفاده از نیروهای الکترواستاتیک، ترموپنوماتیک^{۴۵}، ترموالاستیک، پیزو الکتریک و مغناطیسی می‌باشد. در سازه نشان داده شده در شکل (۱۶) از نیروهای الکترواستاتیک برای حرکت آینه استفاده شده، بطوریکه دو الکتروود در پایین آینه قرار گرفته‌اند و با اعمال ولتاژ به هر کدام از آنها گشتاور لازم برای چرخش آینه فراهم می‌شود. یکی از موفق‌ترین دستگاه‌های ساخته شده در حوزه میکروآینه‌ها، میکروآینه‌های دیجیتال^{۴۶}، ساخت شرکت تگزاس اینسترومنت^{۴۷} می‌باشد [21,24]. از میکروآینه دیجیتال در نمایش تصاویر استفاده می‌شود، این میکروآینه‌ها نسبت به نمونه‌های تیوب اشعه کاتودی^{۴۸} رایج که هم‌اکنون در تلویزیون‌ها استفاده می‌شوند دارای شفافیت بیشتر، کیفیت بالاتر و نسبت کنتراست بیشتر می‌باشند.



شکل (۱۶) - مکانیزم میکروآینه



شکل (۱۴) - میکروگیره کامپلاینت

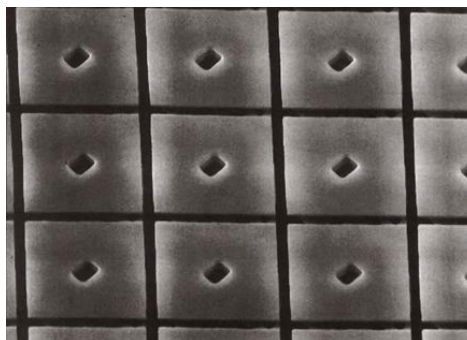


شکل (۱۵) - میکروگیره با گیره‌های عمودی

۴- میکروآینه‌ها

میکروماشین‌کاری سطحی به تازگی سبب پیدایش دستگاه‌های بصری جدید با کاربردهای فراوان شده است. این میکروسیستم‌های بصری نسبت به نمونه‌های

(شکل ۱۸)، دستگاه‌های میکروماشین کاری شده سطحی^{۵۰}، میکروتحریک‌کننده‌ها، سنسورهای جریان‌های مغشوش، میکروپمپ‌های وکیوم، میکرو قطره‌های ژنراتوری^{۵۱}، میکرولوله‌گرمایی و میکروپخش‌کننده گرمایی^{۵۲} می‌شود [23].

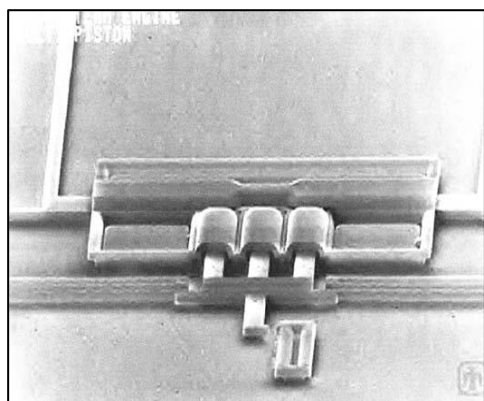


شکل (۱۷) - میکروآینه دیجیتالی

همانطور که در شکل (۱۷) نمای نزدیک یکی از این میکروآینه‌های دیجیتال نشان داده شده، یک میکروآینه دیجیتال از مجموعه عظیمی از میکروآینه‌ها تشکیل شده است. هر کدام از آینه‌ها توانایی چرخش ۱۰ درجه‌ای را دارا هستند، این چرخش عامل روشن و خاموش شدن میکروآینه می‌باشد. نوری که به آینه‌های روشن تابیده می‌شود از یک لنز آشکارساز عبور می‌کند تا تصویر را بر روی صفحه نمایش ایجاد کند. اما نورهایی که به میکروآینه‌های خاموش تابیده می‌شوند بازتاب شده و جذب یک جذب‌کننده می‌شوند. هر کدام از این میکروآینه‌ها می‌توانند به اندازه هزاران بار در ثانیه روشن و خاموش شوند. بدین وسیله با استفاده از این میکروآینه‌های دیجیتال می‌توان تصاویری با کیفیت بسیار بالا تولید کرد. هم اکنون میکروآینه‌های دیجیتال از ارکان اصلی تلویزیون‌های دیجیتالی با کیفیت بالا می‌باشند.

سایر کاربردها

علاوه بر کاربردهایی که در بالا به آن‌ها اشاره شد، که از اصلی‌ترین کاربردهای میکروسیستم‌ها می‌باشند، سیستم‌های میکروالکترومکانیکی هم اکنون در زمینه‌های گسترده دیگری نیز در حال فعالیت هستند. مهمترین این کاربردها شامل: میکرو موتورهای بخار^{۴۹}



شکل (۱۸) - میکرو موتور بخار: کوچکترین میکرو موتور بخار چند پیستونی جهان، که آب داخل سه سیلندر به وسیله جریان الکتریکی گرم می‌شود و فشار لازم برای حرکت پیستون‌ها را فراهم می‌کند.

سیستم‌های میکروالکترومکانیکی در آینده

در حدود دو سوم اجزای موبایل‌ها و رادیوها، سیستم‌های میکروالکترومکانیکی می‌باشند که آن‌ها نیز دستگاه‌هایی مکانیکی هستند. طبق تحقیقاتی که در دانشگاه استنفورد صورت گرفته این مسئله حاکی از آن است که تمامی سنسورها، کامپیوترها و دنده‌های ارتباطی را می‌توان کوچک‌سازی کرد. محققین نشان داده‌اند که رادیوهای میکروسکوپی عادی توانایی انتقال و دریافت پیام در محدوده مدار زمین را دارا هستند. اما رادیوهای معمول در ماهواره‌ها می‌بایست در برابر تشعشعات محافظت شوند که این مسئله را می‌توان با استفاده از میکروسیستم‌ها حل نمود. پیش‌بینی می‌شود که در ۵ سال آینده بازار فرستنده‌ها و گیرنده‌های

میکرونی بسیار وسیع تر و فراگیرتر از امروز شود. امروزه اغلب اجزای یک گیرنده/فرستنده رادیویی اجزایی گسسته و چند پارچه می باشند که می توان با بهره گیری از میکروتکنولوژی آنها را با یک جزء جایگزین کرد.

این سیستم ها نقش بسیار اساسی حتی در ماکروتکنولوژی دارا می باشند، به عنوان مثال موتورهای جت با استفاده از سنسورها و محرک های میکروالکترومکانیکی ایمن تر و مطمئن تر خواهند شد. همچنین به کمک میکروسیستم ها ضریب رسانش گرمایی را نیز می توان کنترل کرد. سنسورهای میکروالکترومکانیک به منظور اندازه گیری معیارهایی چون فشار، تنش، ارتعاشات، دما و خروجی های آکوستیکی در موتورهای جت و در سایت های استراژیکی به کار برده می شوند. طبق گفته های دکتر پیسانو [21] رئیس دپارتمان دانشگاه برکلی حساسیت میکروابزار اندازه گیری تنش حدود ۱۰۰۰۰ برابر نمونه های معمول فلزی آنها است.

محققین بر این باورند که از باتری های کوچک میکرو می توان برای تبدیل انرژی گرمایی به انرژی الکتریکی استفاده کرد، در حالیکه این باتری ها دارای بازده فراوانی می باشند نسبت به باتری های لیتیوم-یونی کنونی دارای صرفه بیشتر نیز هستند. در کنار این باتری ها، موتورهای گرمایی که با گاز متان تغذیه می شوند، می توانند گاز را به انرژی الکتریسیته تبدیل کنند. هر چند محققین به این مسئله اذعان دارند که به دلایل مشکلات ساخت، تولید و بسته بندی میکروسیستم ها، هنوز این تکنولوژی به صورت گسترده رایج نشده اما معتقدند پیشرفت در فناوری نانو در آینده سبب پیشبرد میکروتکنولوژی خواهد شد.

سیستم های نانو الکترومکانیکی

عبارت سیستم های نانو الکترومکانیکی برای ابزاری که شامل کاربرد الکتریکی یا مکانیکی در ابعاد نانو می باشند، به کار برده می شود [۱]. این سیستم ها شامل ترکیب نانو الکترونیک های ترانزیستور شکل با محرک ها، پمپ ها یا موتورهای مکانیکی می باشد که در نتیجه سنسورهای شیمیایی، بیولوژیکی و یا فیزیکی تشکیل می شود. اسم این سیستم ها از ابزاری که در ابعاد نانو ساخته می شوند گرفته شده که این مسئله، ما را به سمت جرم کم، فرکانس شدید مکانیکی بالا، تأثیرات کوانتوم مکانیکی زیاد و نسبت سطح به حجم بالا رهنمود می کند.

فناوری نانو می تواند تغییرات وسیعی را در مهندسی مکانیک به وجود آورد، برخلاف وسایل الکترونیکی، بسیاری از مکانیزم های کوچک مکانیکی در ارتباط مستقیم با جهان فیزیکی هستند. به عنوان مثال می توان از نانوموتورها یا پمپ های نانو سیالاتی نام برد. در حالی که در مقابل، مهندسی الکترونیک و کامپیوتر بر روی تولید، انتقال و یا دریافت اطلاعات در غالب جریان الکتریکی کار می کنند.

محققین بر این باورند که فناوری نانو تأثیرات فراوانی را بر روی نانو الکترونیک نیز خواهد داشت. فناوری نانو امکان ساخت مدارهای مولکولی کوچکتر، سریع تر و ارزان تر را نسبت به مدارهای سیلیکونی معمول فراهم می کند.

هم اکنون دو روش ساخت برای سیستم های نانو الکترومکانیکی وجود دارد: ۱- روش بالا به پایین ۲- روش پایین به بالا.

تکنیک ساخت بالا به پایین که امروزه به کار برده می شود، ساخت قالب های سیلیکونی به منظور تولید

انبوه مدارهای نانو می‌باشد. در این روش از فوتولیتوگرافی^{۵۳} و برش شیمیایی^{۵۴} در فرآیند ساخت قالب‌های سیلیکونی استفاده می‌شود، این قالب‌ها شکلی معادل معکوس ساختاری که برای پرینت کردن ترانزیستورهای نانو به کار برده می‌شود را دارا می‌باشند. مواد الاستومریک^{۵۵} در این قالب‌های سیلیکونی ریخته می‌شوند، پس از آماده‌سازی و برداشته شدن، این مواد "استمپ‌های لاستیکی"^{۵۶} را تشکیل می‌دهند که برای تولید انبوه آرایش‌های گوناگون مدارهای ترانزیستوری به کار برده می‌شوند [۲۱].

استمپ‌ها سپس با جوهرهایی از جنس نانو مواد پوشیده می‌شوند، در پایان با استفاده از تکنیکی به نام "لیتوگرافی نرم"^{۵۷} این استمپ‌ها سبب پرینت و تولید ترانزیستورها بر روی یک ماده مناسب می‌شوند. هدف این طرح تولید انبوه ترانزیستورهای مولکولی بر روی چیپ‌ها می‌باشد. از روش‌های دیگر تولید انبوه ترانزیستورها که نمونه‌ای از ساخت پایین به بالا هم هست، استفاده از زنجیرهای مولکولی برای ساخت نانوپروسورها^{۵۸} و دستگاه‌های حافظه‌ای می‌باشد. چنین روشی نیازمند استفاده پیشرفته از محاسبات مولکولی است. هرچند اینگونه به نظر میرسد که هنوز سال‌های بیشتری مورد نیاز است تا محاسبات مولکولی یکی از تکنولوژی‌های رایج ممکن شود.

هم اکنون نانولوله‌های کربنی موضوع اصلی تحقیقات در زمینه فناوری نانو می‌باشند، این نانولوله‌ها با وجود ابعاد اتمی که دارند اما مقاومت و خصوصیات الکتریکی ویژه‌ای را از خود نشان می‌دهند. به عنوان مثال از نانولوله‌ها می‌توان به عنوان مواد رسانا یا نیمه رسانا استفاده کرد. دانشمندان در مرکز تحقیقات آی.بی.ام واتسون^{۵۹} [۲۱] آمریکا بر این باورند که هر

وسيله الكترونيكي بر روی نانوچیپ‌ها از قبیل سنسورها، ترانزیستورها، پخش کننده‌های نوری^{۶۰} و ابزار بین ارتباطی را می‌توان از نانولوله‌ها ساخت. در حال حاضر ورقه‌های خود-محافظت کننده نانولوله‌ای ساخته شده‌اند که از معادل فولادی خود مستحکم‌تر می‌باشند. این ورقه‌ها انعطاف‌پذیر بوده و برای پخش نور استفاده می‌شوند. محققین دانشگاه تگزاس [۲۱] از این ورقه‌ها به عنوان سلولهای خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی از نور خورشید استفاده می‌کنند.

به تازگی نیز دانشگاه ام آی تی [۲۱] تحقیقاتی را انجام داده که جایگزینی مواد شیمیایی باتری‌ها را با خازن‌هایی که از نانو مواد ساخته شده‌اند امکان‌پذیر می‌کند. در حالیکه در باتری‌ها به کمک یکسری واکنش‌های شیمیایی ولتاژ تولید می‌شود، اما در خازن‌ها انرژی الکتریکی بین دو صفحه فلزی ذخیره می‌شود. در این خازن‌ها هرچقدر مساحت این صفحات بیشتر و فاصله بین آنها کمتر باشد انرژی بیشتری ذخیره می‌شود. محققین صفحات این باتری‌های خازنی شکل را با میلیون‌ها نانولوله کربنی پوشانده‌اند که در نتیجه مساحت سطح صفحات این خازن‌ها بسیار افزایش یافته است. این فرآیند شبیه اضافه کردن لایه‌ای از اسفنج به یک سطح به منظور جذب بیشتر آب می‌باشد. محققین بر این باورند که منفذاری^{۶۱} لایه‌های نانولوله‌های رسانا به این مواد امکان جذب انرژی بیشتر را می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود وقتی این خازن‌ها وارد بازار شوند در طول چند دقیقه یا حتی چند ثانیه شارژ شوند، علاوه بر این گفته می‌شود این خازن‌ها تا مقادیر نامعینی قابل شارژ می‌باشند.

از دیگر تکنولوژی‌هایی که امروزه سیستم‌های میکروالکترومکانیکی را با فناوری نانو ترکیب میکند،

میکروسیالات^{۶۲} است. در میکروسیالات، یک سیستم ساده شامل یکسری پمپ و دریچه میباشد [۲۱]. پیش‌بینی می‌شود میکروسیالات نقش اصلی را در تشخیص‌های دارویی زیستی و شیمیایی بر عهده داشته باشند، همچنین این سیستم‌ها اساس ساخت دستگاه‌های میکرومینیاتوری^{۶۳} هستند که قابلیت رساندن دارو به بیماران را دارا می‌باشند.

یکی از مهمترین سیستم‌های ساخته شده در دارورسانی و تشخیص بیماری‌ها، میکروسوزن‌ها^{۶۴} هستند. این سوزن‌ها از سیلیکون ساخته شده‌اند و دارای قطر داخلی در ابعاد نانومتر می‌باشند که به منظور عبور سیالات تعبیه شده است. برای سیالات شیمیایی و دارویی-زیستی، این سوزن‌ها موانعی دارند که جریان سیال را محدود می‌کند، این امر سبب فیلتر شدن مواد میکروسکوپی ناخواسته یا باکتری‌ها می‌شود. برای سیستم‌های دارورسانی این میکروسوزن‌های زیرپوستی به اندازه کافی مناسب هستند تا سبب کاهش یا حتی از بین رفتن درد شوند. در حال حاضر میکروسوزن‌های سیلیکونی با عرض ۱۵۰ میکرومتر ساخته شده‌اند.

محققین در دانشگاه برکلی وسیله سیلیکونی در ابعاد نانو ساخته‌اند که به مانند یک ترانزیستور سیالاتی عمل می‌کند. با اعمال ولتاژی به این وسیله می‌توان جریان مایع را قطع و وصل کرد و یا تمرکز یون‌ها و مولکول‌های عبوری از کانال‌های این وسیله را کنترل کرد.

یکی دیگر از کاربردهای اساسی سیستم‌های نانوالکترومکانیک در میکروسکوپ‌های نیرو اتمی^{۶۵} میباشد. با حساسیت بیشتری که از سیستم‌های نانو حاصل می‌شود، می‌توان سنسورهایی با بازده بیشتر برای اندازه‌گیری تنش‌ها، ارتعاشات و نیروها در سطح اتمی و سیگنال‌های شیمیایی ساخت. تولید نوک میکروسکوپ‌های نیرو اتمی و سایر اندازه‌گیری‌های

نانویی نیز به پیشرفت در زمینه سیستم‌های نانوالکترومکانیکی بستگی دارند.

مشکلات سیستم‌های نانوالکترومکانیکی

سیستم‌های نانوالکترومکانیکی نیز هم اکنون در سه حوزه ساخت، بسته‌بندی و تولید با چالش‌های بزرگی روبه‌رو هستند. با وجود تمامی ویژگی‌های مفیدی که نانولوله‌های کربنی و گرافین‌ها^{۶۶} (که آنها نیز از مواد اصلی سازنده سیستم‌های نانو الکترومکانیکی می‌باشند) برای تکنولوژی نانو دارند اما هر دو این مواد در راه پیاده‌سازی خود با موانع بسیاری روبه‌رو هستند. یکی از اصلی‌ترین این مشکلات، رفتار کربن در محیط‌های واقعی میباشد. نانولوله‌های کربنی به هنگام قرار گرفتن در کنار اکسیژن تغییرات وسیعی در خصوصیات الکتریکی خود بروز می‌دهند. به همین منظور می‌بایست تمامی تغییرات در خصوصیات مکانیکی و الکتریکی مواد کربنی را قبل از پیاده‌سازی آنها مورد بررسی قرار داد. همچنین به خاطر نسبت سطح به حجم بالایی که این مواد دارند با محیط اطراف سریعاً وارد واکنش می‌شوند. نانولوله‌های کربنی بسته به شیوه تولید از خود رسانایی‌های متفاوت نشان می‌دهند. به خاطر چنین مشکلاتی می‌بایست به هنگام فرآیند ساخت نانولوله‌ها و گرافین‌ها بطور کامل از قبل خصوصیات آنها را مورد بررسی قرار داد.

جمع بندی

با وجود تمامی تأخیرهایی که در زمینه مطالعه و کاربرد سیستم‌های میکرو- نانو الکترومکانیکی در ابتدا صورت گرفت اما در طول چند دهه گذشته پیشرفت‌های بسیار چشم‌گیری در این حوزه بوجود آمده و امروزه دنیا با شتاب فراوان در حال حرکت به این سمت می‌باشد. هر

پیشرفت فناوری‌های جدیدی مانند نانوسیالات، نانوتریبولوژی و سیستم‌های میکرو-نانوالکترو مکانیکی و... مرهون تلاش این گروه از محققان است. البته هنوز راه بسیار زیادی در رسیدن به اجرای عملی این تکنولوژی‌ها وجود دارد.

مراجع

- 21- Sclater, Neil, and Chironis, Nicholas P., "Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook, 4th Ed., Chapter 19, McGraw-Hill, 2007.
- 22- Pelesko, John A., and Bernstein, David H., "Modeling MEMS and NEMS", pp. 3-4, 2003.
- 23- Gad-el-Hak, Mohamed, "MEMS Applications", Taylor Francis/CRC, 2006.
- 24- Bhushan, B., Handbook of Nanotechnology, Springer, 2004.
- 25- www.virtusensors.com
- 26- www.the-infoshop.com
- 27- Weinberg, Harvey, "MEMS Inertial Sensor Use Growing for Automotive Application", Analogue Devices Inc.

پی‌نوشت

- 29- CAD
- 30- CAM
- 31- Tiny Motors
- 32- Chain Drives
- 33- Torque Convertors
- 34- Transmission
- 35- Accelerometers
- 36- Pressure Sensors
- 37- Westing House
- 38- Resonant Gate Transistor
- 39- Micro Processors
- 40- Lithographic Technic
- 41- Scanning Tunneling Microscope (STM)
- 42- Inertial Sensors
- 43- Gyroscopes
- 44- Inertial Measurement Units
- 45- Proof Mass
- 46- Vertical
- 47- Lateral
- 48- Pedometer
- 49- Electronic Stability Control (ESC)

چند در این مسیر موانع فراوان وجود دارد اما حرکت رو به جلو در کنار پیشرفت تکنولوژی، به سرمایه‌گذاری و سود اقتصادی دستگاه‌های ساخته شده نیز بستگی دارد. تکنولوژی سیستم‌های میکرونانوالکترومکانیکی در کنار جنبه‌های کاربردی فراوان امکان ساخت کامل‌تر و دقیق‌تر سیستمها، بازده بیشتر، صرفه‌جویی در انرژی و حتی کاهش هزینه‌ها در بلند مدت را نیز به ما می‌دهد. شاید این نکته جالب باشد که اولین حوزه تأثیر این تکنولوژی بر روی ماکروسیستم‌ها و ابزار مرتبط با آنها است. به عنوان مثال بازده کاربردی موتورهای احتراقی، دستگاه‌های تبدیل انرژی و بسیاری از فرآیندهای ساخت و تولید دیگر با استفاده از این سیستم‌های پیشرفته بسیار بیشتر خواهد بود. با تمامی پیشرفت‌هایی که امروزه صورت پذیرفته، هنوز مسیرهای ناشناخته فراوانی در این راه وجود دارد که شاید شناخت حتی یکی از این مسیرها منجر به پیدایش شاخه‌های جدیدتر و کاربردی‌تری در تکنولوژی و علوم مهندسی شود.

نتیجه‌گیری

پتانسیل فناوری نانو در دگرگونی تمدن بسیار هیجان‌انگیز خواهد بود و رویای انقلاب علمی و صنعتی فناوری نانو در صورتی به واقعیت تبدیل خواهد شد که دانشمندان عرصه علوم و مهندسی بتوانند پدیده‌های مقیاس نانو را بدرستی درک کنند. نکته‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد این است که پیشرفت در زمینه فناوری نانو وابسته به همکاری چند جانبه دانشمندان علوم مختلف است. در این میان محققان مهندسی مکانیک نیز دارای وظایف مربوط به خود خواهند بود و همانطور که ذکر شد ظهور و



- 74- Digital Micromirror Devices
- 75- Texas Instruments
- 76- Cathode Ray Tube
- 77- Microsteam Engine
- 78- Surface Micromachined Devices
- 79- Microdroplet Generators
- 81- Micro Heat Pipes and Micro Heat Spreaders
- 82- Photolithography
- 83- Chemical-Etching
- 84- Elastomeric Material
- 85- Rubber Stamps
- 86- Soft Lithography
- 87- Nano Processor
- 88- IBM Watson
- 89- Light Emitters
- 90- Porosity
- 91- Microfluidics
- 92- Microminiature
- 93- Microneedle
- 94- Atomic Force Microscope (AFM)
- 95- Graphene

- 50- Rollover Detection
- 51- In-car Navigation
- 52- Tilt Alarm
- 53- Vibrating Ring
- 54- Tuning Fork
- 55- Image Stabilization
- 56- Sealed Cavity
- 57- Piezoresistive
- 58- Capacitive
- 59- Piezoelectric
- 60- Optical
- 61- Resonant
- 62- Leak Test
- 63- Microassembly
- 64- Monolithic
- 65- Hybrid
- 66- Micro Conveyors
- 67- Locomotive Mechanisms
- 68- Steerable Links
- 69- Microgrippers
- 70- Actuators
- 71- Leverage Mechanical Property
- 72- Compliant Mechanisms
- 73- Thermo Pneumatic

* * *

مرکز آموزش جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

برگزاری کنه:

دوره های آموزشی نرم افزارهای طراحی . مهندسی . ساخت و تولید به کمک کامپیوتر

دوره های تخصصی مهندسی برق
 Protel , Matlab, LabView , Orcad

دوره های تخصصی مهندسی صنایع
 مدیریت و کنترل پروژه , MSP , SPSS , Primavera

دوره های تخصصی مکانیک
 Catia 51t, Ansys9 , Carrier, CNC , CadWorx , Auto Plant
 Matlab, Simulink matlab , piping , Fluent

SolidWorks , Pro/E , PowerMILL , powerShape

- Pro/ENGINEER
- Solid Works
- Auto cad
- Fluent – Gambit
- Mechanical Desktop
- Matlab
- ANSYS
- Surf CAM
- Power MILL
- Edge CAM
- CATIA

آماده برگزاری دوره های آموزش جهت مراکز ، همیسات و کارخانجات

آدرس : خیابان حافظ ، روبروی دانشگاه صنعتی امیر کبیر ، کوچه آرژانتین ، پلاک ۲
 فکس : ۸۸۸۰۷۰۰۸ ، تلفن : ۸۸۸۹۲۱۴۴ ، ۸۸۸۹۵۹۶۹

