

مجموعه مقالات

BIO-MEMS

(میکرو الکترو سیستم‌های مکانیکی پزشکی)

(فارسی - انگلیسی)

مترجم:

مصطفی خوشه بست

مقدمه

در واقع « MEMS » یا سیستم‌های میکرو الکترو مکانیکی تلفیقی از اجزای مکانیکی ، حسگرها ، بازوهای مکانیکی و اجرای الکترونیکی هستند که بر روی لایه‌ای از ماده استراتژیک « سیلیکون » قرار دارند. این ساختار مکانیکی بسیار کوچک در ابعاد « میکرون » بر پایه تکنولوژی « تراشه‌های الکترونیکی » استوار هستند.

امروزه در کشورهای پیشرفته جهان ، توسعه تلفیقی سیستم‌های مکانیکی و الکترونیکی در ابعاد بسیار کوچک مورد نظر است، زیرا این بخش مهم علمی موجب افزایش سرعت و کم حجم شدن ابعاد صنایع در بخش صنعت خواهد شد.

فناوری « MEMS » یا فناوری سیستم های میکرو الکترو مکانیکی ، در صنایع مختلف و اثرگذار جهان از جمله صنایع خودروسازی ، موشکی ، تراشه‌ها، نظامی و پزشکی کاربرد بسیار زیادی دارند.

بیومز مجموعه‌ای از سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی (MEMS) و میکرو تکنولوژی است که به طور کلی برای سیستم‌های بیولوژیکی به ویژه برای سلامت انسان اعمال می‌شود. بیومز شامل میکرو ربات‌های مورد استفاده در بیولوژیک و پزشکی است.

برخی از کاربرد فناوری MEMS :

- میکروسیستم‌های واکنش‌های زنجیره‌ای پلیمراز (PCR) برای تقویت و شناسایی DNA
- میکروسکپ‌های تونل‌زنی پیمایشگر (STM) که با فرآیندهای ماشینکاری میکرونی ساخته شده‌اند
- تراشه‌های زیستی شناساگر عوامل خطرناک شیمیایی و بیولوژیکی
- فناوری جهشی میکروسیستم‌ها جهت غربال و انتخاب سریع دارو

این اثر شامل مجموعه‌ای از مقالات مفید و کاربردی در زمینه بیومز می‌باشد که اطلاعاتی راجع به کاربردهای پزشکی میکرو ربات‌های زیستی و میکرو آزمایشگاه‌های تراشه‌ای در اختیار خوانندگان قرار می‌دهد.

مصطفی خوشه بست

بهار ۱۳۹۶

۰۹۱۵۹۹۲۱۱۳۸

mostafakhba@gmail.com

فهرست مطالب:

۱	کاربردهای پزشکی ممز
۱	چکیده
۱	مقدمه
۲	میکروفبریکیشن:
۲	ریزمایشین سازی سطحی:
۳	ریزمایشین سازی فله
۴	لایه های پیوندی:
۴	میکروفبریکیشن غیر سیلیکونی:
۵	LIGA
۵	SU-8
۵	قالبهای پلاستیکی با PDMS:
۶	میکرو سنسورهای زیست پزشکی:
۶	میکروسنسورها در بیومکانیک:
۶	کرنش سنجها:
۶	شتاب سنج:
۷	میکروسنسورها در بیوسیستمهای پنوماتیک:
۸	میکروسنسورها در بیوسیستمهای شیمیایی:
۸	امپدانس سنسورها:
۸	پلیمرهایی بر اساس سنسور گاز:
۹	اکسیدهای فلزی:
۱۰	سنسورهای الکتروشیمیایی:
۱۰	سنسور مولکولی خاص:
۱۱	ISFETs:

۱۱	سنسور رزونانس:
۱۱	سنسورها با اساس سلولی:
۱۲	میکروسنسورها برای بیوسیستم الکتریکی:
۱۳	میکرو دستگاههای دستورزی از دور:
۱۴	میکرو ابزارهای جراحی:
۱۶	میکرو پمپها و میکرو والوها، میکرو فیلترها و میکرو نیدلها:
۱۶	میکرو نیدلها:
۱۶	میکرو فیلترها:
۱۷	میکرو والوها:
۱۹	میکرو پمپها:
۲۰	میکرو سیستمهای زیست پزشکی:
۲۰	سیستمهای میکروسیالی:
۲۰	مجموعه میکروبی تجزیه و تحلیل سیستمها (MTAS):
۲۱	میکرو سیستمها برای تجزیه و تحلیل ژنتیکی:
۲۲	چیپس ژن:
۲۲	نتیجه گیری:
۲۳	بیوممز: جایگاه هنر در تشخیص، فرصتها و نظریه ها
۲۳	چکیده:
۲۳	۱. مقدمه و تعریف بیوممز:
۲۴	۲. مواد استفاده شده:
۲۵	۳. بیوممز برای کاربردهای تشخیصی:
۲۶	۱,۳ روش های تشخیص، بیوممز و سنسورهای زیست تراشه:
۲۶	۱,۱,۳. بیوممز و تشخیص مکانیکی:
۳۰	۳,۱,۲. بیوممز و تشخیص الکتریکی:

۳۵	.....	۳,۱,۳. بیوممز و تشخیص نوری
۴۴	.....	۴. نتایج و مسیرهای آینده
۴۴	.....	۴,۱. مجتمع های تشخیصی با دستگاه های درمانی
۴۵	.....	۴,۲. بیوممز برای دستگاه های ترکیبی و مصنوعی سه بعدی
۴۷	.....	۴,۳. بیوممز برای ابزار تازه در نانو بیولوژی
۴۹	.....	سپاسگزاری
۵۰	.....	ممز در پزشکی
۵۰	.....	چکیده
۵۰	.....	پیشینه
۵۱	.....	ممز چیست؟
۵۲	.....	MEMS چگونه کار میکند؟
۵۲	.....	انواع دستگاهها BIOMEMS
۵۴	.....	کاربردهای پزشکی BIOMEMS
۵۴	.....	سنسور. فشار خون
۵۵	.....	مجتمع سنجش سیستم های مجتمع، و یا ISSYS
۵۶	.....	سیستمهای آنالیزی
۶۰	.....	تعیین توالی ژنوم

1- BIOMEDICAL APPLICATIONS OF MEMS.....	125
ABSTRACT.....	125
INTRODUCTION	125
MICROFABRICATION	124
SURFACE MICROMACHINING	124
BULK MICROMACHINING.....	123
SUBSTRATE BONDING	122
NON-SILICON MICROFABRICATION	122
LIGA.....	121
SU-8.....	121
PLASTIC MOLDING WITH PDMS	121
BIOMEDICAL MICROSENSORS	121
MICROSENSORS FOR BIOMECHANICS.....	120
STRAIN GAUGES	120
ACCELEROMETERS.....	120
MICROSENSORS FOR PNEUMATIC BIOSYSTEMS	119
MICROSENSORS FOR CHEMICAL BIOSYSTEMS	119
IMPEDANCE SENSORS	118
ELECTROCHEMICAL SENSORS	117
MOLECULAR-SPECIFIC SENSORS	116
CELL-BASED SENSORS	115
MICROSENSORS FOR ELECTRICAL BIOSYSTEMS	114
BIOMEDICAL MICROACTUATORS	113
MICROMANIPULATORS	112
SURGICAL MICROINSTRUMENTS	112
MICROPUMPS, AND MICROVALVES,.....	111
MICROFILTERS, AND MICRONEEDLES	111
MICRONEEDLES.....	111
MICROFILTERS	110
MICROVALVES	110
MICROPUMPS	109
BIOMEDICAL MICROSYSTEMS	108
Microfluidic Systems.....	107

MICRO TOTAL ANALYSIS SYSTEMS (μTAS).....	107
MICROSYSTEMS FOR GENETIC ANALYSIS.....	106
CONCLUSIONS	105

2- BIOMEMS: STATE-OF-THE-ART IN DETECTION, OPPORTUNITIES AND PROSPECTS..... 104

ABSTRACT.....	104
KEYWORDS	104
1. INTRODUCTION AND BIOMEMS DEFINED	104
2. MATERIALS USED	102
3. BIOMEMS FOR DIAGNOSTIC APPLICATIONS.....	102
3.1. DETECTION METHODS, BIOMEMS, AND BIOCHIP SENSORS.....	101
3.1.1. BIOMEMS AND MECHANICAL DETECTION	100
3.1.2. BIOMEMS AND ELECTRICAL DETECTION.....	97
3.1.3. BIOMEMS AND OPTICAL DETECTION.....	92
3.2. MICRO-ARRAY TECHNOLOGY	89
3.3. LAB-ON-A-CHIP AND MICRO-FLUIDIC DEVICES	87
4. CONCLUSIONS AND FUTURE DIRECTIONS	82
4.1. INTEGRATING DIAGNOSTIC WITH THERAPEUTIC DEVICES AND PERSONALIZED MEDICINE	82
4.2. BIOMEMS FOR HYBRID DEVICES AND 3-D ARTIFICIAL ORGANS	81
4.3. BIOMEMS FOR NOVEL TOOLS IN NANOBIOLOGY	80
ACKNOWLEDGEMENTS	78

3- MEMS IN MEDICINE..... 76

ABSTRACT	76
KEYWORDS	76
BACKGROUND.....	76
WHAT IS MEMS?	75
HOW MEMS WORKS	74
TYPES OF BIOMEMS DEVICES	73
BIOMEMS MEDICAL APPLICATIONS	72
SENSORS; BLOOD PRESSURE.....	72

INTEGRATED SENSING SYSTEMS INC., OR ISSYS, PERFORMED.....	71
ANALYTICAL SYSTEMS.....	69
DNA AMPLIFICATION/ANALYSIS/SEQUENCING	69
Genome Sequencing	69

۱- کاربردهای پزشکی ممز

جک دبلیو جودی

دانشگاه کالیفورنیا، لوس آنجلس

۶۸-۱۲۱ مهندسی ۴ بخش ۱۵۹۴۱۰

لوس آنجلس، سی ای ۹۰۰۹۵-۱۵۹۴

تلفن: ۳۱۰ ۲۰۶-۱۳۷۱

jjudy@ucla.edu

چکیده

فن آوری ریزماشین‌ها و ممز می‌توانند در تولید دستگاه‌های الکترونیکی، مکانیکی، سیال، سازه‌های حرارتی، نوری، و مغناطیسی، و سیستم‌هایی در مقیاسی به اندازه اندام‌ها تا اندامک‌ها مورد استفاده قرار بگیرند. این توانایی کوچک‌سازی، ممز را در بسیاری از زمینه‌های زیست‌شناسی، پزشکی و مهندسی پزشکی پرکاربرد کرده است. بیوممز آینده روشنی دارد و برای (۱) شناسایی آرایه‌های میکرو سنسورها، که به عنوان بینی یا زبان الکترونیکی عمل می‌کنند، (۲) سیستم عصبی میکروماشینی که قادر به کنترل دستگاه‌های پروتز حسی حرکتی اند و یا، (۳) ابزار میکروسکوپی بدون درد، و (۴) سیستم‌های کامل میکروسبالی مواد شیمیایی و یا تجزیه و تحلیل ژنتیکی به کار می‌روند.

مقدمه

سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (ممز) یک تکنولوژی کوچک‌سازی است که تا حد زیادی به صنعت مدارهای مجتمع وابسته است و در کوچک‌سازی تمام سیستم (به عنوان مثال، نه تنها سیستم‌های الکتریکی بلکه مکانیکی، نوری، سیال، مغناطیسی، و غیره) اعمال می‌شود. فرآیند کوچک‌سازی با فرآیندهای میکروفبریکیشن، مانند ریزماشین‌ها، که معمولا از لیتوگرافی، و همچنین تکنیک‌های موجود غیر لیتوگرافی میکروفبریکیشن (EDM، FIB، ماشینکاری لیزری) ترکیب می‌شوند. با توجه به وسعت بسیار زیاد و تنوع زمینه ممز، این واژه مخفف، برای این کاربردها مناسب نیست. با این حال، در بسیاری از دانشگاه‌ها از آن برای اشاره به کل زمینه و کاربردهای آن استفاده می‌شود. (به عنوان مثال، تمام دستگاه‌های تولید شده توسط ریزماشین‌سازی). نام‌های دیگری که به طور کلی برای این حوزه استفاده می‌شوند عبارتند از: رایج در اروپا، "میکروسیستم‌ها"، و رایج در آسیا "میکروماشین‌ها".

خواننده علاقه مند برای بحث اولیه در ممز، به مراجع بسیاری از مقالات همایشی، مراجعه می‌کند. و برای یک بحث جامع از فرآیندهای ریزماشین سازی و ابزارهای ممز، به متون نوشته شده توسط کوکس و مادو مراجعه می‌کند.

میکروفبریکیشن:

اگر چه بسیاری از تکنیک های میکروفبریکیشن و مواد مورد استفاده برای تولید ممز از صنعت IC گرفته شده است، زمینه ممز به توسعه و پالایش از دیگر فرایندهای میکروفبریکیشن و غیر سنتی مواد کشیده شده است.

فرآیندهای متعارف IC و مواد:

- لیتوگرافی نوری؛ اکسیداسیون حرارتی؛ انتشار نا خالص. کاشت یون؛ LPCVD؛ PECVD؛ تبخیر؛ کندوپاش؛ مرطوب اچ. پلاسما اچ. سونش پلاسما؛ یون فرز
- سیلیکون؛ دی اکسید سیلیکون؛ نیتريد سیلیکون؛ آلومینیوم

فرایندهای اضافی و مواد مورد استفاده در ممز:

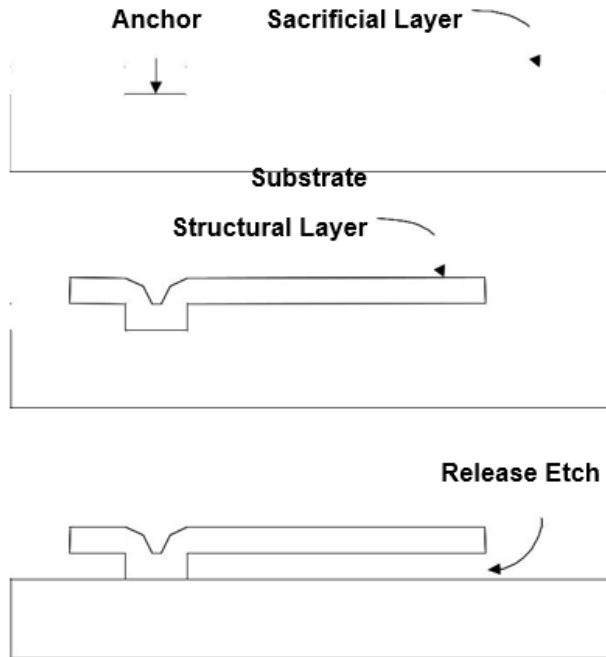
- ناهمسانگرد مرطوب اچ سیلیکونی تک کریستال؛ یونش عمیق پلاسما یا DRIE؛ لیتوگرافی اشعه ایکس؛ آبکاری؛ فیلم های LPCVD کم استرس؛ فیلم ضخیم و مقاوم در برابر (SU-8)؛ ریخته گری چرخشی؛ میکرومدلینگ؛ میکرومدلینگ؛
- فیلم های پیروالکترونیک مانند PZT؛ فیلم های مغناطیسی مانند نیکل، آهن، کبالت و آلیاژهای حاکی کیمیا؛ مواد در دمای بالا مانند SiC و سرامیک؛ آلیاژهای آلومینیوم محکم مکانیکی؛ فولاد ضد زنگ؛ پلاتین؛ طلا؛ ورق شیشه ای؛ پلاستیک مانند پی وی سی و PDMS

روش های مورد استفاده در یکپارچه سازی مواد و الگوهای متعدد و ساخت یک دستگاه کامل ممز به اندازه فرآیندهای مستقل و مواد گوناگون مهم هستند. دو روش کلی ادغام ممز در بخش های فرعی بعدی شرح داده شده اند: ریزماشینسازی سطحی و ریزماشینسازی فله.

ریزماشینسازی سطحی:

به بیان ساده، ریزماشینسازی سطحی یک روش تولید ممز با سپردن، الگودهی، و چسباندن فیلم های نازک متعدد که معمولاً ۱ میکرون ضخامت دارند است. یکی از مهم ترین مراحل پردازش که در ابزارهای پویا ممز لازم است، حذف انتخابی از یک فیلم زمینه ای، به عنوان یک لایه قربانی، است که بدون پوشش با حمله به فیلم، به عنوان لایه های ساختاری، برای ایجاد قطعات مکانیکی مورد استفاده قرار می گیرد. شکل ۱ نشانگر روند معمولی ریزماشینسازی سطحی [۴]. ریزماشینسازی

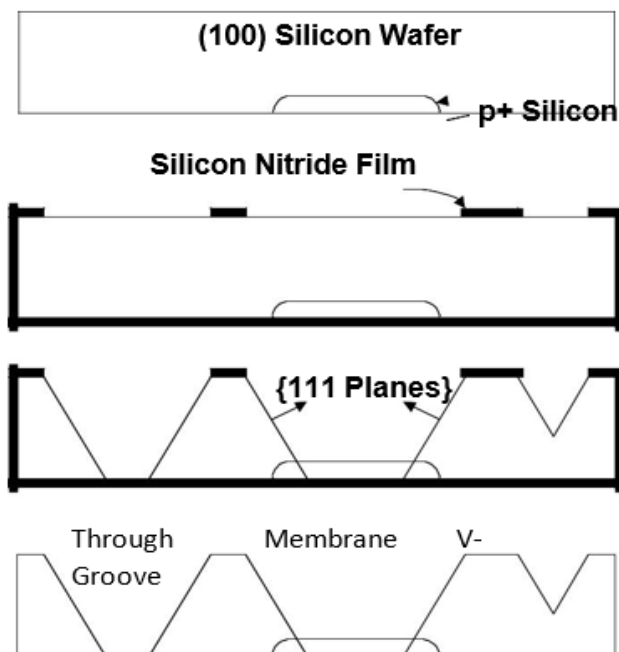
سطحی برای تولید گسترده انواع دستگاہ های ممز و بسیاری از برنامه های کاربردی مختلف استفاده شده است. در واقع، برخی از آنها در حجم های بزرگ تجاری (میلیون قسمت در ماه) تولید می شوند.



شکل ۱: ریزماشینسازی سطحی و روش لایه قربانی

ریزماشینسازی فله:

ریزماشینسازی فله با ریزماشینسازی سطحی در موارد مواد بستر، که معمولاً سیلیکون تک کریستال است، الگو و شکل که به شکل یک جزء مهم عملکردی دستگاہ است تفاوت دارد. (به عنوان مثال، سیلیکون کند نه تنها به عنوان یک پایه مکانیکی سفت و سخت عمل می کنند بلکه به عنوان مورد نوعی برای ریزماشینسازی سطحی به کار می رود). با بهره برداری از ویژگی های اچ ناهمسانگرد قابل پیش بینی سیلیکون های تک کریستال، بسیاری از پیچیده با دقت بالا اشکال سه بعدی، مانند V-شیار، کانال، چاله های حفاری، هرمی، غشاء، *via* ها، و نازل ها، می تواند تشکیل شود [۵]. یک نمونه از روند ریزماشینسازی فله در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲: ریزماشینسازی فله

لایه‌های پیوندی:

سیلیکون، شیشه، فلز و پلیمر می‌تواند با هم از طریق انواع فرآیندهای پیوند تشکیل دهند (به عنوان مثال، اتصال جوشی، اتصال آندی، اتصال یوتکتیک، و باندهای چسبنده). به طور معمول حداقل یکی از لایه‌های پیوندی قبلاً میکروماشینی شده‌اند. پیوند بسترهای به طور معمول برای رسیدن به یک ساختار تشکیل می‌شوند که تشکیل آن به صورت‌های دیگر دشوار است (به عنوان مثال، حفره‌های بزرگ که ممکن است مهر و موم شده و یا یک سیستم پیچیده از کانال‌های محصور باشد) و یا برای به سادگی اضافه کردن پشتیبانی مکانیکی و حفاظت [۲] تشکیل می‌شوند.

میکروفبریکیشن غیر سیلیکونی:

توسعه ممز به طور قابل توجهی به بهبود تکنیک‌های میکروفبریکیشن غیر سیلیکونی کمک کرده است. LIGA و قالب‌های پلاستیکی دو نمونه برجسته از بسترهای میکروماشینی هستند.

LIGA

LIGA یک مخفف آلمانی برای لیتوگرافی، آبکاری و ریخته‌گری است [۶]. با این حال، عمل LIGA اساساً یک فرایند است که ترکیبی از فیلم‌های مقاومتی بسیار ضخیم (اغلب < ۱ میلی متر) و لیتوگرافی اشعه ایکس است که می‌تواند الگوی مقاومت را با دقت بالا طراحی کند که نتیجه آن دیواره‌های عمودی است. اگرچه برخی از برنامه‌های کاربردی ممکن است تنها الگو مقاومت بالا در برابر ساختار خود نیاز داشته باشد، برنامه‌های کاربردی دیگر از ضخامت مقاومت به عنوان قالب آبکاری استفاده می‌کنند (به عنوان مثال، مواد می‌تواند به سرعت به قالب‌های آبکاری سپرده شوند). یکی از اشکالات وارد شده به LIGA نیاز به منبع انرژی بالا اشعه ایکس است (به عنوان مثال، سینکروترون و یا شتاب دهنده های خطی) که بسیار گران قیمت و کمیاب هستند (تنها چند نمونه از منابع در ایالات متحده وجود دارد).

SU-8

اخیراً یک جایگزین ارزان برای LIGA، تقریباً با همان عملکرد، توسعه داده شده است. راه حل این است که از مقاومت خاص نوری اپوکسی به نام SU-8 استفاده کنیم که می‌تواند در جهت ضخامتش بچرخد لایه (< ۵۰۰ میکرون)، که معمولاً با ابزار لیتوگرافی در دسترس و در عین حال ساده دیواره-های عمودی طراحی شده است [۷].

قالب‌های پلاستیکی با PDMS:

پلی دی متیل سیلوکزان (PDMS) شفاف و الاستومر است که می‌تواند در بیش از یک قالب ریخته و پلیمریزه شود، (به عنوان مثال، یک ویفر با الگویی از سازه بلند SU-8) و سپس به سادگی با لایه برداری از بستر قالب آن حذف شود [۸]. مزایای استفاده از این روند عبارتند از (۱) بسیاری از قطعات ارزان PDMS می‌توانند از یک قالب واحد ساخته شوند، (۲) PDMS ها می‌توانند دوباره ویژگی‌های زیر میکرون را در قالب تولید کنند، (۳) PDMS ها زیست سازگار اند و در نتیجه می‌توانند در انواع برنامه‌های کاربردی بیوممزها استفاده شوند، و (۴) از آنجایی که PDMS ها شفاف اند، بافت‌ها، سلول‌ها و دیگر مواد می‌توانند به راحتی از آن‌ها دیده شوند. کاربردهای رایج PDMS در زیست پزشکی عبارتند از: چاپ میکروبی مواد بیولوژیکی (برای مشاهده رفتار هندسی سلول‌ها و بافت‌ها) و سیستم‌های سیالی میکروبی [۹] [۸].

میکرو سنسورهای زیست پزشکی:

اکثر برنامه‌های کاربردی ممزها مورد استفاده در پزشکی به عنوان سنسور عمل می‌کنند. برای مثال سنسور حساس که در حین عمل جراحی استفاده می‌شوند (اندازه‌گیری فشار خون داخل عروقی)، سنسورهای بلند مدت در دستگاه‌های پروتز، و سنسور بسیار پیچیده آرایه‌ای که برای تشخیص‌های آزمایشگاهی با کیفیت در مصارف خانگی استفاده می‌شوند. بحث جامع از تمام سنسورهای مختلف و برنامه‌های کاربردی آن‌ها فراتر از محدوده این مقاله است. در عوض، در مورد کلاس‌های مختلف میکروسنسورها و یک مرور کلی از برنامه‌های کاربردی آن‌ها بحث خواهد شد.

میکروسنسورها در بیومکانیک:

مطالعات بر روی نیروهای ایجاد شده و تحمیل شده بر بدن از افزایش حساسیت سنسورهای تنش و کرنش مکانیکی استفاده می‌کنند و به فکر کاهش اندازه و هزینه‌های این سنسورها نیز هستند. در زیر به نمونه‌هایی از میکروسنسورهایی که در مطالعه بیومکانیک استفاده می‌شود اشاره شده است.

کرنش سنج‌ها:

کرنش سنج‌ها برای توصیف نیروهای بدن استفاده می‌شوند. از آنجایی که سیلیکون‌ها به عنوان یک ماده عالی پیروزستور شناخته شده‌اند (مقاومت آن در اثر نیروی وارد شده به آن تغییر می‌کند)، می‌توان آن را به راحتی میکروماشینی کرد و به شکل‌های فشار سنج میلیمتری چند محور تبدیل کرد [۱۰]. کاربردهای این کرنش سنج‌های کوچک شده شامل تحقیقات ارتوپدی و مطالعه عضلات است. اگر چه عملکرد ماهیچه و ساختار آن در سطح ماهیچه‌ای و سلولی به خوبی درک شده است، اما کاربردهای آنها در سطح بین ماهیچه‌ای و سلولی به خوبی شناخته نشده‌اند. درک بهتر این سطح اجازه توسعه بیشتر و بهبود در انتقالات و همچنین پیشرفت درمانی و پروتزی می‌دهد.

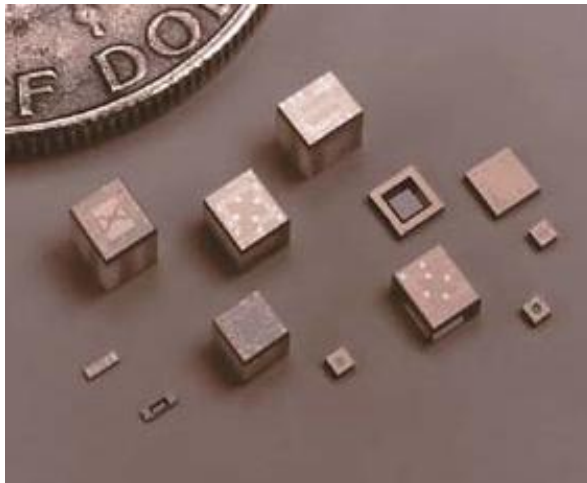
شتاب سنج:

یک کلاس از میکروسنسورها که فناوری ممز تا به حال بیشترین اثر مثبت را روی آنها گذاشته‌اند سنسورهای حرکت سنجی است. (مانند شتاب سنج و GYIOS). از آنجا که دستگاه‌های محرک معمولاً از یک توده ثابت و خمش مکانیکی، و سنسور جابجایی‌اند، فناوری ممز به خوبی این عناصر سنسور را ادغام کرده است و تبدیل به یک تراشه کرده است. در واقع، ادغام مدارهای مجتمع با عنصرهای میکروماشینی ممکن است تا تقویت‌کننده‌های سیگنال‌ها و قابلیت فیلتراسیون کردن را به این

سنسورها در مقیاس تراشه اضافه کرد [۱۱]. میکروسنسورهای حرکتی به منظور تعیین تاثیر مفید سطح و وضعیت بیمار است.

میکروسنسورها در بیوسیستم‌های پنوماتیک:

از آنجا که بسیاری از بدن انسان یک سیستم پیچیده از پمپ ها، شیرها، عروق و اتصالات داخلی است، فشار در بسیاری از نقاط بدن پارامتری مهم برای نشان دادن سلامت و رهایی از بیماری است. سنسورهای فشار در بسیاری از کاربردهای پزشکی استفاده می‌شوند از جمله: فشار خون، فشار ممانه، و فشار مایع مغزی نخاعی. علاوه بر عملکردهای مورد نیاز، اندازه سنسور فشار، به خصوص آنهایی که به بدن تزریق می‌شوند باید کوچک و یکبار مصرف باشند. تکنولوژی ممز راه‌هایی برای این فرصت ارائه می‌دهد. در واقع، یک مثال خوب که از نظر تجاری موفق و کم هزینه است، سنسورهای فشار یکبار مصرف پزشکی توسعه یافته توسط لوکاس NovaSensor NPC-107 اند (شکل ۳). [۱۲] در آن عنصر سیلیکون میکروماشینی برای دیدن و یا عقب گذاشتن همه موارد مورد نیاز صنعت (به عنوان مثال، حساسیت در $\pm 1\%$ و خطی بهتر از 1%) استفاده شده است. یکی دیگر سنسور فشار میکروماشینی سیلیکونی تولید شده توسط NovaSensor است که به اندازه کافی کوچک اند (۱ میلی متر $\times 0.7$ میلی متر $\times 0.175$ میلی متر ضخامت) تا از طریق یک کاتتر وارد شریان شوند.



شکل ۴: سنسور فشار میکروماشینی مرگ با کوچکترین ابعاد (۱۷۵ \times ۷۰۰ \times ۱۰۰۰ μm).

میکروسنسورها در بیوسیستم‌های شیمیایی:

از آنجا که ارگانسیم‌های زنده سیستم‌های پردازش شیمیایی بسیار پیچیده هستند، کاربردهای زیست پزشکی بسیاری برای حسگرهای شیمیایی وجود دارد (به عنوان مثال، ابزار پزشکی تشخیصی، غربالگری مواد مخدر، سنسور کاشت مفصل و نظارت بر محیط زیست). اگر چه سنسورهای شیمیایی ریزماشینسازی معمولاً ساده است، گاهی اوقات اجزای دیگر سیستم سنسورهای شیمیایی استفاده می‌شوند. (به عنوان مثال، نمونه‌های آماده سازی و تحویل، کنترل واکنش و دفع زباله) سخت‌تر با هم ادغام می‌شوند.

امپدانس سنسورها:

هدایت برخی از مواد توسط حضور و غلظت نسبی گازهای معین و یا بخارات تحت تاثیر قرار می‌گیرند. نمونه‌هایی از این مواد عبارتند از پلیمرهای دوپ شده با ذرات رسانا، پلیمرهای رسانا، و برخی از اکسیدهای فلزی. چالش‌های رایج مواد شیمیایی مبتنی بر امپدانس سنسور شامل شناسایی گازهای تک اتمی، گاز کم غلظت، برخورد با مخلوط‌های گازی، حساسیت به بخار آب، حساسیت به دمای تغییرات، و میکروفبریکیشن آرایه‌ای که منحصر به فرد سنسورهای حساس اند.

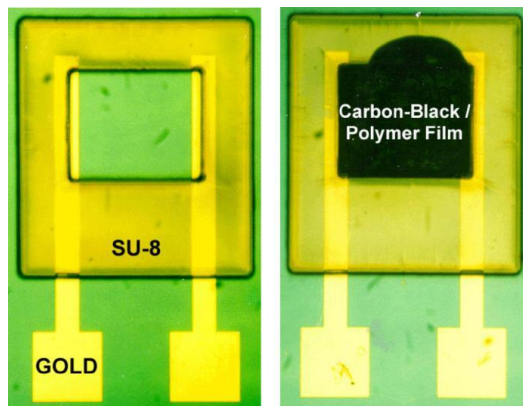
پلیمرهایی بر اساس سنسور گاز:

بسیاری از پلیمرها زمانی که در بین گازهای معینی قرار می‌گیرند از نظر هندسی متورم خواهند شد. پلیمرهای رسانا مانند پلی پیرول، می‌توانند به طور مستقیم به عنوان یک مقاومت شیمیایی مقاوم استفاده شوند. برای استفاده از پلیمرهای عایق، آنها با ذرات رسانا ترکیب شده و امپدانس خود را کاهش می‌دهند (به عنوان مثال، کربن سیاه و سفید). زمانی که ترکیب می‌شوند، مقاومت کلی پلیمر ترکیب شده به عنوان یک تابع از نظر شیمیایی خاص تغییر خواهد کرد و وابسته به غلظت تورم است [۱۳]. یکی از مشکلات این است زمانی که پلیمر در انواع گازهای مختلف قرار می‌گیرد به میزان‌های متفاوتی متورم می‌شود. برای شناسایی گازهای خاص، الگوی پاسخ بسیاری از پلیمرهای مختلف به تورم مورد نیاز است. علاوه بر اندازه‌گیری مقاومت تورم هندسی، تنظیمات ظرفیتی که برای تشخیص تورم استفاده می‌شود نیاز است. در این سنسورها پلیمرهای عایق ترکیب نشده اند. از آنجا برخی از بیماری‌های خاص باعث تولید گازهای خاصی که به طور طبیعی وجود ندارند می‌شوند، سنسورهای گاز برای کمک به تشخیص سلامت بیمار به کار گرفته شده اند.

به منظور ساختن آرایه‌ای از سنسورها با پلیمرهای منحصر به فرد، فرآیند ادغام با حجم زیادی از حلال باید اتفاق بیفتد که به طور معمول در طول رسوب پلیمر صورت می‌گیرد. علاوه بر این، روش میکروفبریکیشن نباید به رسوب پلیمرهای قبلی آسیب بزند. یک استراتژی این است که از یک ماسک قابل جابجایی استفاده شود که به صورت انتخابی هر پلیمر را به یک منطقه خاص وارد می‌کند. این روش مشکلاتی در تشکیل سنسورهای زیر میلیمتری با توجه به چسبندگی ضعیف به بستر دارد، زمانی که ماسک برداشته شود (به عنوان مثال، پلیمرها نیروی بیشتری به ماسک نسبت به بستر وارد می‌کند). یک استراتژی دیگر این است که از یک ساختار میکروول دائمی استفاده شود که شامل راه حل پلیمر-حلال در ساختار میلیمتری است که بدون اختلال پلیمرها سپرده خواهد شد. نمونه‌ای از یک سنسور گاز مبتنی بر امیدانسن پلیمری است که از ساختار SU-8 میکروول که در شکل ۵ آورده شده است استفاده می‌کند.

اکسیدهای فلزی:

هدایت اکسیدهای فلزی خاص، معمولاً SnO_2 ، به عنوان یک تابع از متغیر غلظت گازهای خاص (مانند O_2 ، H_2 ، CO ، CO_2 ، NO_2 ، و H_2S) شناخته شده اند وقتی که اکسید فلزی به اندازه کافی برای القاء یک واکنش شیمیایی که شناسایی شده است گرم می‌شوند، مکانیسم‌های متعددی برای تغییر مقاومت اکسید فلزی وجود دارد [۲]. میکروفبریکیشن این سنسورها می‌تواند نسبتاً ساده باشد، مگر اینکه میکروماشین‌هایی به منظور بهبود پاسخ سنسور و مصرف انرژی اضافه شوند (به عنوان مثال، یکپارچه سازی بخاری میکروساختاری، ایزولاسیون حرارتی سازه‌ها (غشاء) که نیاز به قدرت کمتر برای ایجاد گرما دارد، و تشخیص سیگنال CMOS، تقویت، و فیلتراسیون مدار).



شکل ۵: پلیمر میکروساختاری سنسور گاز کربن سیاه با میکروول SU-8 برای مهر حلال (از [۱۴])