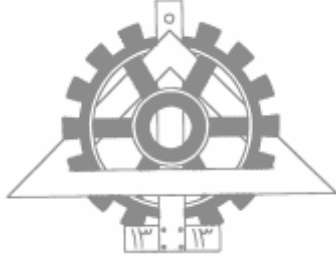


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده های فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

عنوان:

ساخت میکرو محرک بوسیله زدایش عمودی پلاستیک PET با

نور ماورای بنفش

نگارش:

امیر جهانشاهی

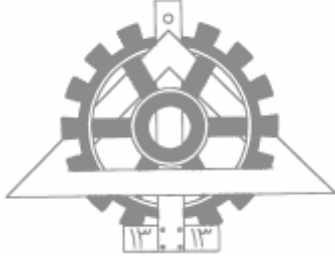
استاد راهنما:

دکتر شمس الدین مهاجرزاده

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

گرایش الکترونیک- افزاره های نیمه هادی



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده های فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

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

عنوان:

ساخت میکرو محرک بوسيله زدایش عمودی پلاستیک PET

با نور ماورای بنفش

نگارش:

امیر جهانشاهی

این پایان نامه در تاریخ ۱۳۸۷/۷/۱۵ در مقابل هیات داوران دفاع گردیده و مورد تصویب قرار گرفت.

معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی پردیس دانشکده های فنی: دکتر جواد فیض

رئیس دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر: دکتر پرویز جبه دار مارالانی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر: دکتر سعید نادر اصفهانی

استاد راهنما: دکتر شمس الدین مهاجرزاده

عضو هیأت داوران: دکتر مهدی فردمنش

عضو هیأت داوران: دکتر بهجت فروزنده

عضو هیأت داوران: دکتر مرتضی فتحی پور

اینجانب امیر جهانشاهی تایید می نمایم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: امیر جهانشاهی

امضای دانشجو:

تقدیم بہ پدر و مادر عزیزم کہ راہ و رسم زندگی کردن را کہ نہ فقط زیستن است، بہ من آموختند.

خدایا، مرا از چہار زندان بزرگ انسان: طبیعت، تاریخ، جامعہ و خویشمن، رها کن، تا آنچنان کہ تو، ای آفریدگار من، مرا

آفریدہ ای۔ خود آفریدگار خود باشم، نہ کہ۔ بہ چون حیوان۔ خود را با محیط، کہ محیط را با خود، تطبیق دہم.

دکتر علی شریعتی

من لم یشکر الخالق لم یشکر المخلوق

بر خود لازم می دانم که از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای دکتر مهاجرزاده کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم، چرا که همواره در طول انجام این پروژه مرا از کمک ها و مشورت های خود بی نسیب نساختند. رهنمود های ایشان همچون مشعلی فروزان در مسیر تاریک این پروژه روشنگر راه بود.

از آقایان امیر تمدن، مهدی سعادت فر، مهدی عاقلی نژاد و جواد کوهسرخ تشکر می نمایم چرا که همیشه در خوابگاه و آزمایشگاه با من همراه بودند و مرا از کمک های بی دریغ خود بی بهره نساختند.

بدون شک یاد کردن اسامی همه دانشجویان آزمایشگاه نانو الکترونیک دانشگاه تهران که یکان یکان ایشان به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم در پیشبرد این پروژه سهم داشته اند غیر قابل اجتناب است، ولی به علت تعدد این دوستان که اکنون در داخل و خارج کشور هستند، و چه بسا اینکه اسامی تعدادی از قلم این بنده بیفتد قدردانی خود را بدون یاد کردن اسامی انجام می دهم.

چکیده

هدف از این پروژه ساخت میکرو محرک به وسیله فرآیند زدایش عمودی ارتقا یافته پلاستیک PET به وسیله نور فرابنفش می باشد. در این کار زدایش عمودی پلاستیک را که قبلا به عنوان یک روش نوین ریز ماشینکاری مطرح شده بود برای ساخت ادوات میکرو مکانیکی کامل نموده ایم و مشکلات قبلی آن از جمله بوجود آمدن ترک و همچنین تغییر شکل دائمی پلاستیک پس از زدایش در آن به طور کاملا قابل قبولی بهبود بخشیده شده است. برای نشان دادن قابلیت این روش یک میکرو محرک بسیار ساده طراحی و ساخته شده است. در قسمت شبیه سازی یک میکرو محرک تک قطبی به وسیله نرم افزار های المان محدود الکترو مغناطیسی شبیه سازی شده است و هم از لحاظ تیوری و هم از لحاظ نرم افزار نشان داده شده است که در موتورهای تک قطبی با حرکت به سمت کوچک سازی موتور نسبت نیرو به جرم در این موتور ها بیشتر می شود. اگر چه از این موتور ها در ابعاد بزرگ به علت راندمان پایین استفاده نمی شود با کوچک کردن هر چه بیشتر این موتور ها استفاده از آنها مقرون به صرفه تر خواهد بود.

فهرست مطالب

مقدمه

مروری بر فناوری MEMS و ریزسیستمها	۱
ریزسیستمها و مینیاتورسازی	۴
ریزسازی:	۸
تاریخچه	۱۲
کاربردها و محصولات	۱۴
ریزچرخندها:	۱۵
ریزموورها:	۱۵
ریزتوربینها:	۱۶
اجزای نوری:	۱۷

فصل دوم

توصیف شکل دستگاه زدایش پلاستیک PET	۱۹
زدایش عمودی ارتقا یافته پلاستیک PET با استفاده از نورماورای بنفش	۱۹
آماده سازی نمونه ها برای لایه نشانی	۲۱
انواع لایه نشانی نقاب روی PET	۲۳
مولتی کریستال شامل مس و ژرمانیوم	۲۳
نقاب سیلیکون	۲۷
نقاب سیلیکون و اکسید سیلیکون	۲۷
سامانه کار دستگاه ریزماشینکاری PET	۲۹

مشکلات رو در رو با زدایش عمودی پلاستیک PET	۳۲
زیر زدایش و رفع آن	۳۲
بوجود آمدن ترک در پلاستیک حین زدایش	۳۵
جبران کاهش نرخ زدایش به علت کاهش دما	۳۸
شرایط دستگاه بعد از اعمال تغییرات اصلاحی	۴۳
ساخت نقاب و کوچک سازی آن	۴۴
نقشنگاری و بحث پیرامون عوامل موثر	۴۷
استفاده از PET به عنوان قالب برای آبکاری	۴۹
چسباندن PET به زیر لایه	۴۹
مراجع فصل دوم	۵۷

فصل سوم

ساخت یک میکرو محرک	۵۸
مراجع فصل سوم	۶۷
بحث و نتیجه گیری و کارهای آینده	۶۸
پیوست ۱	۷۰
شبیه سازی یک میکرو موتور تک قطبی	۷۰
تعریف موتور تک قطبی	۷۰
تاریخچه	۷۱

- ۷۱..... توضیح عملکرد
- ۷۲..... شبیه سازی
- ۷۷..... مراجع پیوست ۱
- ۷۸..... خروجی نرم افزار در حالت میدان مغناطیسی برابر با یک تسلا و در ابعاد بزرگ
- ۷۸..... خروجی نرم افزار در حالت میدان مغناطیسی برابر با یک تسلا و در ابعاد کوچک (۱۰۰۰ برابر)
- ۸۰..... واژه نامه انگلیسی به فارسی

فهرست اشکال

- الف) طرحواره سیستم یک ریزحسگر ۱
- ب) طرحواره سیستم یک ریزعملگر ۲
- شکل ۱-۱ ارتباط میان عناصر مختلف در ریزسیستمهای حسگر و عملگر ۲
- شکل ۱-۲ نحوه پردازش سیگنال در یک ریزسیستم ۳
- شکل ۱-۳ طرحواره یک ریزسیستم باهوش همراه با پسخورد ۴
- شکل ۱-۴: یک خودروی مینیاتوری کاملا خودکار ۷
- شکل ۱-۵ نمونه هایی از خودروهای ساخته شده توسط فرآیندهای ریزماشینکاری ۸
- شکل ۱-۶: شتاب سنج ساخت شرکت ANALOG DEVICE که در سیستم کیسه هوای خودرو استفاده میشود ۱۴
- شکل ۱-۷ نمای یک ریزچرخنده الف) مقایسه ابعاد با سر یک مورچه ب) چرخنده دوسطحی ۱۵
- شکل ۱-۸: یک موتور الکتروستاتیکی که توسط فرآیند لایه‌نشانی الکتروشیمیایی در قالب ساخته شده توسط فرآیند LIGA ایجاد شده است ۱۶
- شکل ۱-۹: یک ریزتوربین ساخته شده از نیکل ۱۷
- شکل ۱-۱۰: یک سوئیچ MEMS در میان سه فیبر نوری ۱۷
- شکل ۱-۱۱: لنزهای ریزماشینکاری شده برای کاربردهای نوری و پزشکی ۱۸
- شکل ۱-۲: سامانه زدایش عمودی پلاستیک PET ۱۹
- شکل ۲-۲: مراحل مختلف آماده سازی نمونه PET ، لایه نشانی و الگودهی نقاب و انجام زدایش نقاب ۲۹

- شکل ۳-۲: طیف توان تابشی یک لامپ بخار جیوه OSRAM (MBF-U) HQL® ۳۰
- شکل ۴-۲: اثر زیر زدایش ناشی از گستردگی منبع نور که باعث زیر زدایش در لبهها شده است. توجه
 نمایید که در شکل (B) مقادیر زیادی ترک وجود دارد. ۳۲
- شکل ۵-۲: اثر بهبود در زیر زدایش به علت استفاده از دریچه یا روزنه با مقایسه این شکلها با شکلهای ...
 ۱-۴ مشخص می شوند. توجه نمایید که در شکل (B) مقادیر زیادی ترک وجود دارد ۳۳
- شکل ۶-۲: اثرات از بین بردن ترک در زدایش. در این شکل ها بهبود به علت استفاده از نقاب سیلیکون
 و کاهش دما بوده است. ۳۸
- شکل ۷-۲: اضافه نمودن محلول DCM در محلول DMF از مقدار ۱٪ تا ۸٪ به ترتیب در شکلهای A تا
 C. همانطور که مشخص است در شکل B,C لبه ها بسیار عمودی تر هستند و نرخ زدایش نیز بیشتر
 است. هر سه نمونه به مدت یکسان زدوده شده اند. اگر چه ترک ها کاملا از بین نرفته اند اما بسیار
 ناچیز و قابل صرف نظر کردن هستند. ۴۰
- شکل ۸-۲: کف نمونه در اثر اضافه نمودن مقدار از ۱٪ تا ۸٪ از DCM در محلول DMF به ترتیب از A
 تا D. با اضافه شدن مقدار DCM نا همواری سطحی بیشتر می شود. ۴۱
- شکل ۹-۲: زدایش (A) سوراخ و (B) ستون در ابعاد نانومتر که نشان دهنده قدرت بالای روش ارائه
 شده است. ۴۴
- شکل ۱۰-۲: نمایی کلی از سامانه دستگاه کوچک ساز نقاب ۴۷
- شکل ۱۱-۲: نمایی از سامانه چسباندن PET به زیر لایه ۴۹
- شکل ۱۲-۲: طرحواره سامانه آبکاری ۵۰

شکل ۲-۱۳: نمونه هایی از ساختارهای آبکاری شده که هنوز در داخل PET قرار دارند. مقایسه ارتفاع آبکاری و PET، ضخامت PET را نشان میدهد. (A,B) ساختار چرخ دنده که هنوز آبکاری نشده است. (C,D) ساختار پره های توربین که با کیفیت خوبی آبکاری شده اند. ۵۳.....

شکل ۲-۱۴: (A) اثر قرارگیری نمونه برای مدت طولانی در محلول آبکاری (B) ناهمگونی سطح آبکاری شده ناشی از هم زدن محلول در حین آبکاری ۵۳.....

شکل ۲-۱۵: ساختار فلزی ایجاد شده با استفاده از نیکل که قالب PET آن برداشته شده است. ۵۴.....

شکل ۲-۱۶: تصویر بزرگ شده از گوشه هایی از شکل ۲-۱۵. ۵۴.....

شکل ۲-۱۷: دستگاه آبکاری مدرن ساخته شده در آزمایشگاه ۵۶.....

شکل ۳-۱: نمایی کلی از میکرو توربین ساخته شده ۵۸.....

شکل ۳-۲: شکل نقاب های (A) استاتور و (B) روتور در نرم افزار COREL DRAW ۵۹.....

شکل ۳-۳: نقاب های استاتور و روتور استفاده شده در ساخت میکرو توربین ۶۰.....

شکل ۳-۴: نمایی از استاتور زدوده شده برای ساخت میکرو توربین (A) بدون ترک و (B) با وجود ترک و (C) نمایی از ترک های شکل (A) ۶۲.....

شکل ۳-۵: طرحواره ای از دستگاه مونتاژ کننده قطعات میکرونی ۶۴.....

شکل ۳-۶: تصویری از یک میکرو توربین مونتاژ شده که بوسیله میکروسکوپ نوری گرفته شده است. ۶۶.....

شکل ۳-۷: مقایسه ای از ابعاد میکرو توربین با (A) سر سوزن و (B) ته سوزن. در این استاتور وجود ترک های هر چند سطحی مشخص می باشند. بسیاری از خراشهای بر روی سطح در مرحله مونتاژ بوجود آمده است. ۶۶.....

شکل ۴-۱: نمایی بسیار ساده از یک موتور تک قطبی. ۷۰

شکل ۴-۲: نمایی از میکروموتوری که قصد شبیه سازی آن را داریم. (A) پلاستیک زدوده شده و برای ایجاد اتصالات. (B) استاتور که سوراخ زیر آن محل قرار گرفتن جیوه می باشد. (C) روتور و دو برجستگی که روی آن قرار دارد محل قرار گرفتن اتصالات می باشد. ۷۳

شکل ۴-۳: طرحواره شبیه سازی شده از موتور تک قطبی در نرم افزار CST STUDIO ۷۶

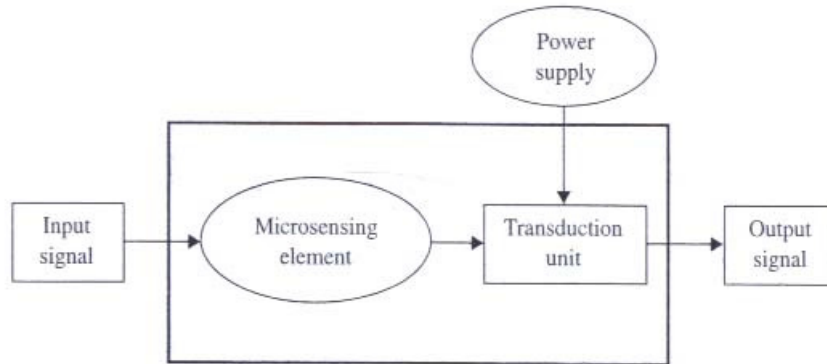
شکل ۴-۴: شکل المان بندی شده از موتور تک قطبی در نرم افزار CST STUDIO ۷۶

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: اصطلاحات و اندازه‌های نسبی ریزسیستمها و فنآوریهای مرتبط [۲]..... ۲
- جدول ۱-۲: تغییرات برخی از قوانین ناشی از مینیاتورسازی [۶]..... ۱۰
- جدول ۱-۲: مشخصات لایه های مختلف نقاب ۲۴
- جدول ۲-۲: شرایط لایه نشانی نقاب آلومینیوم - ژرمانیوم از لحاظ جریان لایه نشانی و ضخامت لایه ۲۶
- جدول ۲-۳: شرایط لایه نشانی نقاب سیلیکون بر روی بستر PET ۲۷
- جدول ۲-۴: شرایط لایه نشانی اکسید سیلیکون بر روی بستر PET ۲۸
- جدول ۲-۵: شرایط لایه نشانی سیلیکون و اکسید سیلیکون چند لایه ۲۸
- جدول ۲-۶: مشخصات لایه برداری از فوتورزیست با استفاده از RIE ۵۱
- جدول ۱-۳: شرایط لایه نشانی سیلیکون بر روی بستر PET بوسیله دستگاه بخار شیمیایی به وسیله پلاسما ۵۹
- جدول ۲-۳: شرایط زدایش سیلیکون در دستگاه زدایش پلاسما با یونهای فعال ۶۱

مروری بر فن آوری MEMS و ریز سیستمها

کلمه MEMS برگرفته از عبارت "سیستمهای میکروالکترومکانیکال"^۱ می باشد. یک افزاره MEMS شامل اجزایی با ابعاد $1\ \mu\text{m}$ تا $1\ \text{mm}$ است که در کنار هم برای انجام یک منظور مشخص قرار گرفته اند. هسته اصلی تشکیل دهنده این افزاره ها اغلب از یک حسگر یا عملگر و یک واحد انتقال سیگنال تشکیل شده است. شکل ۱-۱ ارتباط بین این دو عنصر تشکیل دهنده را برای یک ریزحسگر^۲ یا یک ریزعملگر^۳ نشان می دهد.

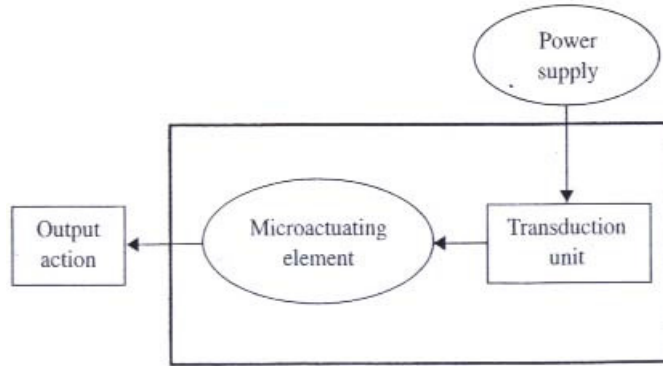


الف) طرحواره سیستم یک ریزحسگر

¹ MicroElectroMechanical Systems

² Microsensor

³ Microactuator



(ب) طرحواره سیستم یک ریزعملگر

شکل ۱-۱ ارتباط میان عناصر مختلف در ریزسیستمهای حسگر و عملگر [۱]

ریزحسگرها برای تشخیص وجود و مقدار یک عامل فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی مانند دما، فشار، نیرو، صدا، نور، تابش هسته‌ای، شار مغناطیسی و ترکیبات شیمیایی ساخته می‌شوند. دقت و حساسیت بالای این حسگرها به مقدار کم نمونه و امکان فراوان‌سازی^۱ آنها همراه با سادگی از میان بردنشان پس از مصرف یا در صورت خراب شدن از مزایای مهم این حسگرها می‌باشد. انواع مختلفی از این حسگرها برای کاربردهای متفاوتی در صنعت وجود دارد که در ادامه به برخی از آنها اشاره خواهیم کرد.

جدول ۱-۱: اصطلاحات و اندازه‌های نسبی ریزسیستمها و فن‌آوریهای مرتبط [۲]

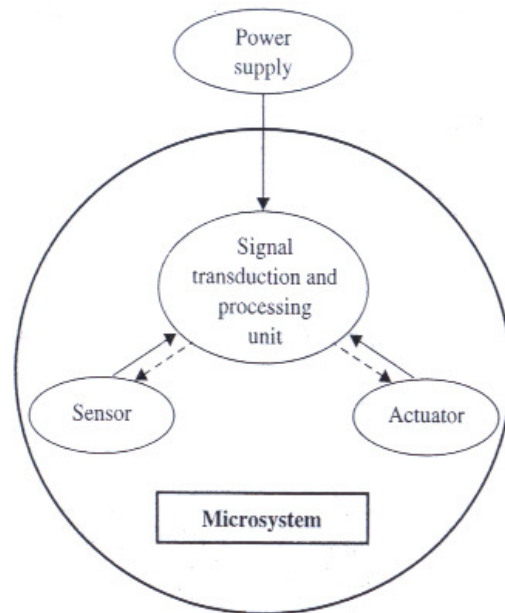
Log scale	$10^{-10}m$	$10^{-9}m$	$10^{-8}m$	$10^{-7}m$	$10^{-6}m$	$10^{-5}m$	$10^{-4}m$	$10^{-3}m$	$10^{-2}m$	$10^{-1}m$	1 m
Dimension, m	$10^{-10}m$	$10^{-9}m$	$10^{-8}m$	$10^{-7}m$	$10^{-6}m$	$10^{-5}m$	$10^{-4}m$	$10^{-3}m$	$10^{-2}m$	$10^{-1}m$	1 m
Other units	Angstrom	1 nm	10 nm	100 nm	1 μm	10 μm	100 μm	1 mm	10 mm	100 mm	1000 mm
Examples of objects	Atom	Virus	Bacteria	Human hair	Human tooth	Human hand	Human leg of tall man				
Terminology	Nanotechnology			Microsystem technology			Traditional engineering linear dimensions				
How to observe	Scanning tunnel microscope			Optical microscope			Magnifying glass		Naked eye		
Fabrication methods	Molecular engineering			Silicon layer technologies			LIGA process		Precision machining		
	Nanofabrication technologies								Conventional machining		
									Casting, forming, sheet-metalworking		

Key: nm = nanometer, μm = micron or micrometer, mm = millimeter, m = meter

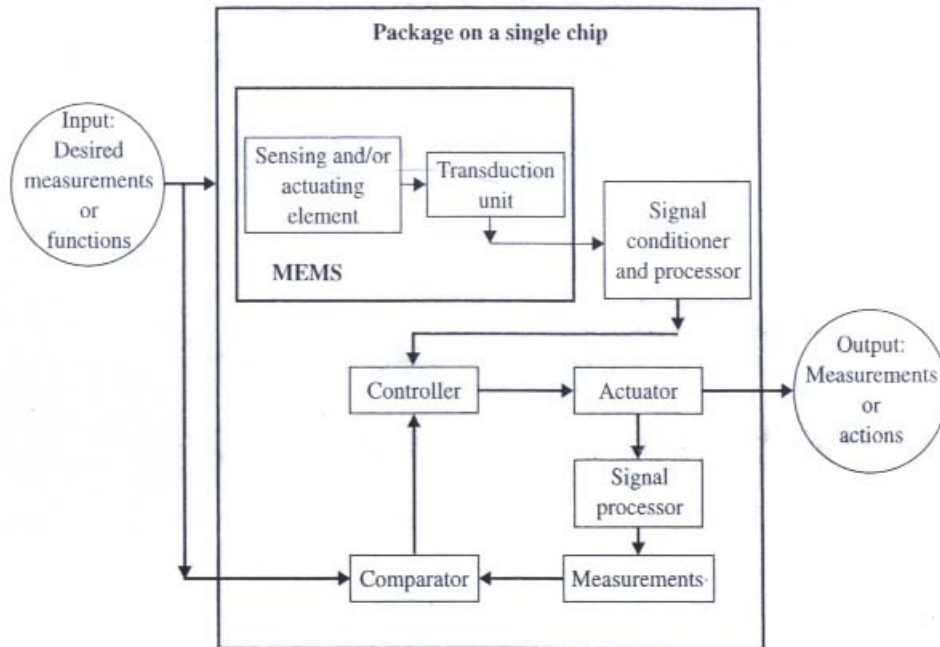
¹ Batch fabrication

یک ریزسیستم شامل اجزای MEMS و بخشهای الکترونیکی مربوط به آن برای انجام اعمال مهندسی خاص است. به عبارت دیگر یک ریزسیستم شامل سه عنصر اصلی حسگر، عملگر و واحد پردازش می باشد. با وجود این حقیقت که اکثر افزاره های MEMS می توانند در ابعاد میکرومتر ساخته شوند، معمولاً ریزسیستمها ابعاد بزرگتری دارند که در حدود میلیمتر تا سانتیمتر است. در جدول ۱-۱ اندازه های نسبی سیستمهای مختلف نشان داده شده است.

شکل ۱-۲ نشان میدهد که در یک ریزسیستم سیگنال دریافتی توسط حسگر از طریق واحد انتقال و پردازش به صورت سیگنال مناسب برای عملگر تبدیل می شود.



شکل ۱-۲ نحوه پردازش سیگنال در یک ریزسیستم [1]



شکل ۱-۳ طرحواره یک ریزسیستم باهوش همراه با پسخورد [۱].

بسیاری از ریزسیستمها برای انجام یک عمل خاص طراحی و ساخته می‌شوند. با این وجود روند آشکاری در صنعت برای استفاده از پردازش سیگنال و سیستم کنترل پسخورد حلقه بسته جهت تولید ریزسیستمهای باهوش^۱ که قادر به انجام وظایف یک سیستم کامل باشند وجود دارد که نمای آن را در شکل ۱-۳ می‌بینید.

ریزسیستمها و مینیاتورسازی

فن آوری ریزسیستمها در دو مسیر مختلف قرار دارد. یکی ساخت این سیستمها با استفاده از ادوات دقیق مکانیکی با توانایی ایجاد اشکال تا حدود $10\mu\text{m}$ و دیگری استفاده از روشهای نقش‌نگاری نوری است که

¹ Intelligent Microsystems

امکان ایجاد ساختارهایی با ابعادی حتی کوچکتر از $1\mu\text{m}$ را هم فراهم می‌سازد و مهمتر از این تولید انبوه و کاهش قیمت را سبب می‌شود؛ هر چند نیاز به تصویر ساختارهای سه‌بعدی در دو بعد دارد [۳].

کاملاً واضح است که ریزسیستمها با تعریفی که از آنها پیش از این نمودیم قدم بزرگی به سمت مینیاتورسازی ماشینها و افزارها هستند. این هدف مانند رایانه‌هایی به ابعاد ذرات گرد و غبار یا رباتهایی به اندازه سر سوزن مدتها آرزوی دانشمندان بوده است. هر چند که روشهای ساخت ریزسیستمهای امروزی در ابتدای این راه قرار دارند اما چشم‌انداز تحقق این آرزو را بسیار روشنتر ساخته‌اند و رشد نانو تکنولوژی مسلماً به تحقق این آرزو خواهد انجامید. در فرهنگ لغات مینیاتور به معنای یک کپی از نمونه اصلی در ابعاد بسیار کوچک معنا شده است و در مهندسی، مینیاتورسازی هنری است که ابعاد شی اصلی را بسیار کاهش می‌دهد هر چند که خصوصیات و عملکرد آن را بدون تغییر میگذارد یا حتی بهتر می‌نماید. نیاز به مینیاتورسازی در دهه‌های اخیر با پیچیده‌تر شدن سیستمهای مهندسی نمایانتر گردیده است. مزایای متفاوتی در کوچک شدن ابعاد افزارها و سیستمها از دید مهندسین وجود دارد که از میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱]:

- سیستمهای با ابعاد کوچکتر می‌توانند حرکات سریعتری داشته باشند زیرا اینرسی با جرم رابطه مستقیم دارد.
- ابعاد کوچکتر باعث می‌شوند که مسائل مربوط به اعوجاج دمایی^۱ و نوسانی کاهش یابد زیرا فرکانس نوسان یک سیستم به طور معکوس با جرم آن متناسب است. بنابراین سیستمهای کوچکتر فرکانسهای طبیعی بالاتری دارند.
- علاوه بر کارکرد دقیقتر سیستمهای کوچکتر، ابعاد آنها برای کاربردهای پزشکی و جراحی و در مونتاژهای میکروالکترونیک مناسبتر است.

¹ Thermal distortion