

MEMS

لیلا محمدیان ، شهلا شوقیان

دانشگاه تبریز - دانشکده برق و کامپیوتر

Lm_b81@yahoo.com

Sh.shoghian@hotmail.com

چکیده - با پیشرفت تکنولوژی امروزه نیازمند داشتن لوازم دقیق تر در صنعت و پزشکی و کشاورزی و سایر علوم هستیم. MEMS و NEMS این امکان را برای تحول در زندگی انسان فراهم ساخته است از این رو در اینجا سعی بر این است تا بعد از آشنایی کلی با این تکنولوژی نو زمینه ها و کاربردهای آن، نحوه طراحی و اصول ساخت و گونه های تلفیقی آن با سایر علوم مورد بررسی قرار گیرد. در پایان با نحوه طراحی مدارهای مجتمع MEMS " CMOS " که جدید ترین شاخه MEMS است آشنا می شویم.

کلید واژه - ابزار، دقیق ، سنسور ، محرکه ، میکرو ماشین ، میکرو الکترونیک .

1. مقدمه

مکانیک ، علم مواد ، مهندسی برق ، مهندسی شیمی ، شیمی و به همین خوبی برای مهندسی سیالات ، ابزار دقیق ، بسته بندی کردن MEMS ها می توانند بکار روند. در سیستمهایی که برای کاربردهای دفاعی ، دارویی ، پزشکی، الکترونیکی و مخابراتی و ... دسته بندی می شوند . MEMS های کنونی که شامل شتاب سنج ها می باشند ، برای سیستمهای airbag ، هد پرینترهای inkjet (جوهر افشان) هدهای read و write دیسک درایو کامپیوترها ، chip های نمایش projection ، سنسورهای فشار خون ، کلید های نوری ، microvalve (شیرهای کوچک) ، بیو سنسورها و ... بکار روند که در حجمهای عظیم تجاری تولید می شوند.

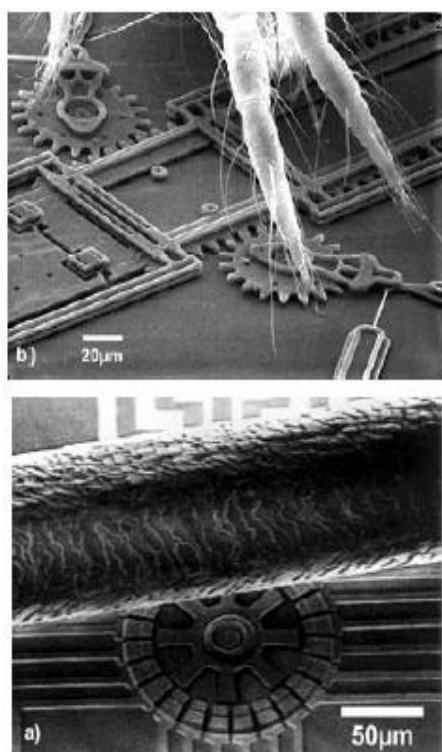
MEMS به عنوان یکی از تکنولوژیهای برتر قرن 21 به شمار می رود که پتانسیل لازم برای متحول

MEMS یک فرآیند تکنولوژی است که برای بوجود آوردن سیستمها و وسایل یکپارچه (مجتمع) خیلی کوچک بکار می رود که از عناصر الکتریکی و مکانیکی ترکیب می شوند. آنها با استفاده از تکنیکهای عملیات تک مرحله ای و در سایزهای بین کمتر از میکرومتر تا میلی متر طبقه بندی می شوند . این وسایل یا سیستمها قابلیت Sense و کنترل و actuate کردن را تا مقیاس میکرو دارند و حتی روی مقیاسهای macro (خیلی بزرگ).

واقعیت MEMS برای طراحی و مهندسی و ساختن و اداره کارهای تخصصی از یک محدوده متنوع و گسترده ای از قسمتهایی که شامل IC می باشد مورد استفاده قرار می گیرد از قبیل : مهندسی

ها در روشی که ساخته می شوند، است. زمانی که IC ها طراحی می شوند تا خواص الکتریکی سلیکون را بکار گیرند ، MEMS یا از خواص مکانیکی سلیکون یا از هر دو خواص الکتریکی و مکانیکی سلیکون بهره می گیرند.

میکروسنسورها تغییرات پیرامون سیستم را بوسیله دریافت اطلاعات پدیده های مکانیکی ، حرارتی ، مغناطیسی ، شیمیایی یا الکترو مغناطیسی نشان می دهند. ادوات MEMS خیلی کوچک هستند، اجزای آن معمولا میکروسکوپی هستند. اهرمها ، دنده ها و پیستونها به خوبی موتورها و حتی توربین های بخار بوسیله MEMS ساخته می شوند (شکل 2).



شکل (2)

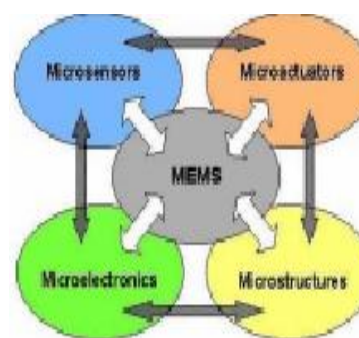
MEMS یک تکنولوژی ساختاری است ، نمونه ای برای طراحی و وجود آوردن سیستمها و ادوات مکانیکی پیچیده به خوبی الکترونیک یکپارچه شان

ساختن تولیدات مصرفی و صنعتی دارد (با ترکیب کردن تکنولوژی میکرو مکانیک و میکرو الکترونیک سلیکونی) تکنیکهای بکار رفته بطور شگفت انگیزی بر روی زندگی ما تاثیر دارد. اگر micro fabrication کردن نیمه هادیها را به عنوان اولین انقلاب در تولیدات میکرو در نظر بگیریم ، MEMS دومین انقلاب در این زمینه است .

MEMS کلمه مخفف است، ریشه آمریکایی دارد، MEMS همچنان به MST (تکنولوژی میکروسیستمها) در اروپا و میکرو مکانیک در ژاپن بر می گردد. بدون توجه به این واژگان، فاکتور MEMS ها در روشی که ساخته می شوند، است.

2. تعاریف و طبقه بندی ها

در شکل عمومی ، MEMS ها شامل ساختارهای کوچک مکانیکی ، میکرو سنسورها، microactuator و میکرو الکترونیک ها همه به شکل چیپ سلیکونی یکسان یکپارچه می شوند (شکل 1).



شکل (1)

MEMS کلمه مخفف است، ریشه آمریکایی دارد، MEMS همچنان به MST (تکنولوژی میکروسیستمها) در اروپا و میکرو مکانیک در ژاپن بر می گردد. بدون توجه به این واژگان، فاکتور MEMS

استفاده می‌شود.

Sensor: وسیله‌ای است که اطلاعات را از محیط اطراف اندازه‌گیری می‌کند و در پاسخ به پارامتر مورداندازه‌گیری می‌دهد. چندین سال پیش، این اطلاعات (یا پدیده‌ها) را در بخشهایی از نوعی انرژی طبقه‌بندی می‌کردند ولی ادوات MEMS بطور عمومی چندین حوزه را پوشش می‌دهند. (یا حتی به یک طبقه متعلق نمی‌باشند)

حوزه‌های انرژی شامل موارد زیر هستند:

1- مکانیکی: نیرو، فشار، سرعت، شتاب و موقعیت

2- حرارتی: دما، آنتروپی، گرما و جریان گرمایی

3- شیمیایی: غلظت، ترکیب شیمیایی و سرعت واکنش

4- نورانی: شدت موج الکترومغناطیس، طول موج، فاز، بازتاب قطبیدگی، شاخص شکست نور، فرستنده

5- مغناطیس: شدت میدان، چگالی شار، گشتاور مغناطیسی، قابلیت گذردهی (پرمابلیته)

6- الکتریکی:

ولتاژ، جریان، بار، مقاومت، خازن، قطبیدگی

Actuator: وسیله‌ای است که یک سیگنال الکتریکی را به عملی تبدیل می‌کند و می‌تواند نیرویی را بوجود آورد که خود، وسایل مکانیکی دیگر یا محیط اطراف را تحت نفوذ قرار دهد تا عمل مفیدی را انجام دهد.

تاریخچه

1- دهه 50: استرین‌گیج‌های سیلیکونی به صورت تجاری موجود بودند. در سال 1959 ریچارد فایمن در کالیفرنیا موتور الکتریکی کوچکتر از $\frac{1}{64}$ اینچ را

که از تکنیکهای ساخت تک مرحله ای استفاده می‌کنند. تکنیکهای ساخت MEMS قادر می‌سازد که اجزا و وسایل با کارایی و قابلیت افزایش یافته تولید شوند، توأم با مزیت‌های معمولی مثل کاهش اندازه فیزیکی، حجم، وزن و هزینه و فراهم کردن پایه ای برای ساخت تولیدات غیر قابل ساخت با روشهای دیگر.

واقعیت نظم داخلی تکنولوژی MEMS و تکنیکهای میکرو ماشین کردن آن به خوبی تنوع کاربرد های آن منجر به محدوده بی سابقه ادوات MEMS در مقابل زمینه های نایسته قبلی میشود (برای مثال بیولوژی و میکروالکترونیک ها). این عاملها MEMS را به مراتب فراگیرتر از تکنولوژی میکروچیپ های IC می‌سازد.

کاربرد های جدید MEMS در محدوده ارتباط از راه دور (بیسیم و نوری)، زیست پزشکی و کنترل فرآیند می باشد.

شکل (3) طبقه‌بندی تکنولوژی میکروسیستم-ها را به نمایش می‌گذارد (MST) MEMS زیرمجموعه-ای از MST است. MOEMS همچنین زیرمجموعه‌ای از MST است و جمعاً با MEMS به حوزه تکنولوژی ویژه استفاده از ترکیبات کوچک شده نورها و مکانیکها و الکترونیکها شکل می‌دهد.

تفاوت اصلی بین MEMS و MST این است که MEMS تمایل به استفاده از فرآیندهای نیمه‌رسانایی برای بوجود آوردن قسمت مکانیکی دارد. در مقابل، نهادن ماده‌ای روی سیلیکون، برای مثال MEMS تشکیل نمی‌دهد ولی این یکی از کاربردهای MST است.

Transducer: یا مبدل وسیله‌ای است که شکلی از سیگنال یا انرژی را به شکل دیگری تبدیل می‌کند و شامل سنسورها و Actuatorها است که در MEMS

ساخت.

کردند و بالاخره در سال 2000 اجزای شبکه نوری MEMS جز مشاغل بزرگ شد.

3. انواع و کاربردهای MEMS

یک MEMS ممکن است کاربردهای گوناگونی در صنعتهای مختلف، پیدا کند. برای مثال نازل هد پرینتر جوهرافشان در کاربرد گسترده امروز توسعه پیدا کردن نسبت به نازل اولیه‌ای که در تجزیه هسته‌ای استفاده می‌شد.

همانطور که در جدول (2) مشاهده می‌شود در مورد همه MEMS ها صحبت نشده است و در محدوده کاری ما نیست. در عوض از MEMS های مرسوم و متداول با کاربردهای آتی چشمگیر و بالقوه، در یک بخش بطور مفصل صحبت شده است.

MEMS ها در سالهای اخیر در زمینه های پزشکی، ارتباطات، هوا فضا و مینیاتور کردن کاربردهای زیادی پیدا کرده اند که در ذیل به آنها اشاره می کنیم:

الف) صنایع پزشکی (Bio-MEMS): کاربردهای ابتدایی MEMS در این زمینه در رابطه با اندازه گیری فشار خون، فلوی مایعات داخلی بدن، ماسک گاز، دیالیز، ظرفیت تنفسی می باشد که به عنوان مثال می توان از Medical Pressure نام برد که ساختاری بر اساس خواص پیزو دارد و به صورت یکبار مصرف در بیمارستانها مورد استفاده قرار می گیرد.

کاربردهای جدید Bio-MEMS:

دارای کاربردهای وسیعی از بررسی محیط زیست و آب تا کشف دارو و بررسی رشته DNA میباشد. تکنولوژی جدید آن بر اساس سیستمهای میکرو فلویدی می باشد که این سیستمها قابلیت آنالیز مقادیر کوچک حجمی مایعات را دارند و بر همین اساس در زمینه صنعت ساخت وسایل پزشکی به ترتیب زیر مورد استفاده قرار می گیرند.

2- دهه 60 : در سال 1961 اولین سنسور فشار سیلیکونی بوجود آمد. در سال 1967 میکرو ماشین کردن سطحی اختراع شد. در سال 1969 شرکت Westinghouse یک ترانزیستور اثر میدان تشدید کننده را بوجود آورد. (RGT)

3- دهه 70 : در سال 1970 اولین شتابسنج سیلیکونی شکل گرفت. در سال 1979 اولین نازل جوهرافشان میکرو ماشین شده، اختراع شد.

4- دهه 80 : در اوایل سال 1980 اولین تجربیات در زمینه سیلیکون میکرو ماشین شده، شکل گرفت. و در اواخر سال 1980 صنعت میکروالکترونیک میکرو ماشین شده و اسناد و نتایج رایج و متداول، نگاه همگان را به سوی خود جلب نمود. در سال 1982 در مبدل فشار خون، سیلیکون به عنوان یک ماده مکانیکی در فرآیند LIGA مورد استفاده قرار گرفت. و بالاخره در سال 1988 اولین کنفرانس MEMS برگزار گردید.

5- دهه 90 : در سال 1990 روشهای میکرو ماشین برای بهبود سنسورها، بدست آورده شد. در سال 1992 MCNC، فرآیند MEMS چند کاربره (MUMPS) را شروع کرد و از طرف DARPA¹ حمایت شد. در همین سال اولین لولای میکرو ماشین شده ساخته شد. در سال 1993 اولین شتابسنجهای میکرو ماشین شده سطحی فروخته شد (ADxL50) و در سال 1995 BIOMEMS به سرعت توسعه پیدا

1. Defence Advanced Research projects Agency

باعث افزایش سرعت کار در تکنولوژی جریان اطلاعات شده است. کاربرد MOEMS در فیلترها، مدولاتورها، آنتنها و موجرها می باشد.

RFMEMS - امروزه کاربردهای بسیار وسیعی در صنعت ساخت موبایل پیدا کرده اند به طوری که با پیشرفت آنها موبایلها ارزانتر شده و اندازه کوچکتری پیدا کرده اند.

4. تکنولوژی MEMS چیست؟

سیستمهای نانومیکرو الکترومکانیکال رشد شگفت آوری در طی چند سال گذشته داشته اند که باعث مزایای زیادی در توسعه نظری، نتایج آزمایشی (استفاده شده در ادوات ابزار دقیق و اندازه گیری حالات مختلف صنعت)، کامپیوترهای با کارایی بالا که در طراحی نرم افزار و محیط مؤثر محاسبات استفاده می شوند. تحقیقات کاربردی و بنیادی اخیر و توسعه سیستم های نانو میکرو الکترومکانیکی، انفورماتیک و نانوتکنولوژی، مشارکت گسترده ای در پروژه های جاری دارند. لبه مقدم تحقیقات، فناوری جدید، نرم افزار و سخت افزار برای ساخت سیستم های جدید و سیستم های موجود مطالعاتی مجتمع شده اند و این ویژگیهای برجسته، پژوهشگران، مهندسان و دانشجویان را به این موضوع و طراحی همزمان سیستم های میکرو نانو و مکانیکال پیچیده مجتمع، متمایل کرده است. همکاری مهندسی، علوم و فناوری برای نائل شدن به هدف لازم است. این موضوع به طور فزاینده ای مشکل شده تا تحلیل و طراحی سیستم های مقیاس میکرو نانو، زیر سیستم ها، ادوات و ساختار را بدون یکی کردن آنها و همکاری های منظم، آماده مجتمع سازی پدیده های جدید و فرآیند های پیچیده کند.

MEMS که میکرو ادوات متحرک مانند (محرک ها و حسگرها)، میکرو ادوات تابنده انرژی (مانند

1 - Lab - on - a - chip : یک چیپ پلاستیکی که به نسبت بسیار بالایی میکرو ماشینی شده است و در واقع یک آزمایشگاه روی یک چیپ قرار گرفته است که دارای ابعاد $3 \times 37 \times 20$ میلیمتر می باشد.

2 - Pharmacy - on - a - chip: در اینجا یک داروخانه روی یک چیپ قرار گرفته است که در ارتباط با بدن قرار می گیرد و مایعات بدن را اندازه می گیرد و در صورت نیاز بدن، مایع به طور خودکار تزریق می شود. این وسیله برای تنظیم انسولین بیماران دیابتی، هورمون و مسکن درد استفاده می شود.

3 - Pac - man: این وسیله هنوز در مرحله پایلوت در آزمایشگاه ملی Sandia در حال تحقیق و بررسی می باشد. شامل دندانهای سیلیکونی بسیار ریز است که مانند یک فک باز و بسته می شود و تعداد گلبولهای قرمز را از طریق یک کانال 20 میکرو متری اندازه می گیرد و برای رسیدن به مقدار مطلوب آنها را می گیرد و یا رها می سازد. هدف نهایی که برای این وسیله در نظر گرفته اند سوراخ کردن سلولها و تزریق DNA، پروتئین، دارو به داخل آنها می باشد که از این طریق تعادل ژنتیکی برقرار کنند.

(ب) صنایع هوا فضا: در نشانگرهای کابین خلبان، ابزار Ejection، اندازه گیرهای تونل هوا و میکرو ماهواره ها کاربرد دارند.

(ج) صنایع ارتباطات: از دو نوع MEMS در این صنایع به طور متداول استفاده می شود: RFMEMS، MOEMS.

MOEMS - به دلیل وجود فوتون بدون جرم نیاز به نیروی کمی دارند، مکان کوچکی را اشغال می کنند، دقت بالایی دارند و با سرعت نور کار می کنند. تکنولوژی ساخت آنها مانند نیمه هادیها می باشد که این امر سبب تولید ارزان قیمت و افزایش کارایی آنها شده است. ساختار جزء آنها میکرو آینه است که

شیمیایی، نوری و مغناطیسی جمع آوری می کنند. الکترونیک سپس اطلاعات گرفته شده از حسگرها و از طریق بعضی تصمیم گیریها به بازوها برای واکنش نشان دادن به وسیله حرکت کردن، تثبیت موقعیت، تنظیم کردن، پمپ کردن و فیلتر کردن دستور می دهد. در نتیجه کنترل محیط برای خواسته های مطلوب انجام می شود.

برای اینکه ادوات MEMS برای استفاده در شیوه های ساخت گروهی مانند مدارهای مجتمع ساخته می شوند، سطوح جدیدی از قابلیت انجام وظیفه، قابلیت اطمینان و مهارت می تواند روی یک تراشه سیلیکونی کوچک با یک هزینه نسبتاً پایین قابل دسترسی باشد.

5. مقدمه ای بر طراحی MEMS & NEMS

گرایشات اخیر در مهندسی و علوم بر تاکید روی ترکیب و تحلیل و کنترل MEMS و NEMS های پیشرفته، افزایش یافته است. فرآیند های ترکیب، طراحی و بهینه سازی در واقع تکاملی بر نمونه های طبیعی هستند.

در هر سطح از سلسله مراتب طراحی، کارایی سیستم در قلمرو رفتار آن برای ارزیابی، بهینه سازی و تصحیح فرآیند بهینه سازی و ترکیب استفاده می شود تا راه حل های جدید پیدا شود. IC ها باید مشخصه های عملکرد MEMS مانند کنترل ادوات و ساختارهای الکترومکانیکی مبتنی بر الکترو مغناطیس، کانالهای ورودی - خروجی، تبدیلات آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ، فیلتر کردن، استفاده از داده ها و غیره را تضمین کنند. مراحل طراحی در شکل زیر نشان داده شده است.

آنتنها، میکرو ساختارها و سیم پیچ ها)، مدارهای حسگر محرک مقیاس میکرون و مدارهای مجتمع پردازش کنترل، را مجتمع می کند به طور وسیع استفاده می شود.

میکروالکترومکانیکال سیستم ها (MEMS)، مجتمع سازی عناصر مکانیکی، سنسورها، محرکها و ادوات الکترونیک روی پایه سیلیکونی بوسیله تکنولوژی ساخت در حد ابعاد میکرون است. مادامیکه ادوات الکترونیک برای استفاده در رشته فرآیند مدارهای مجتمع (IC) ساخته می شوند (مانند فرآیند ساختن CMOS، Bipolar، BICMOS)، "اجزاء میکرو مکانیکال" برای استفاده در فرآیند های میکرو ماشین کردن سازگار و مناسب با آن که به طور انتخابی قسمت به قسمت با قرص های سیلیکونی یا افزودن لایه های ساختمانی جدید برای شکل دادن ادوات مکانیکال و الکترومکانیکال استفاده می شود، ساخته می شوند.

MEMS نوید انقلابی نوین را در زمینه محصولات مجتمع سازی سیلیکون که بر پایه تکنولوژی میکروالکترونیک و میکروماشین ها نباشد، میدهد که در جهت ممکن ساختن تحقق کامل "سیستم ها در یک تراشه" است.

MEMS یک فناوری است که اجازه توسعه محصولات هوشمند، تکمیل توانایی محاسباتی میکروالکترونیکها با در نظر گرفتن قابلیت های میکروسنسورها و میکرومحرکها و توسعه فضای ممکن طراحی و استفاده را می دهد.

مدارهای مجتمع میکروالکترونیک می تواند به عنوان مغز متفکر یک سیستم در نظر گرفته شود و MEMS این قابلیت تصمیم گیری را با چشم ها و بازوهای زیاد کرده تا به میکرو سیستم ها اجازه دهد تا محیط به وسیله اندازه گیری مکانیکی، دمایی، بیولوژیکی،

میکرو الکترونیک ، بسیار از کاربردهای MEMS های جدید پدیدار خواهد شد که علم را ماوراء آنچه هست توسعه خواهد داد.

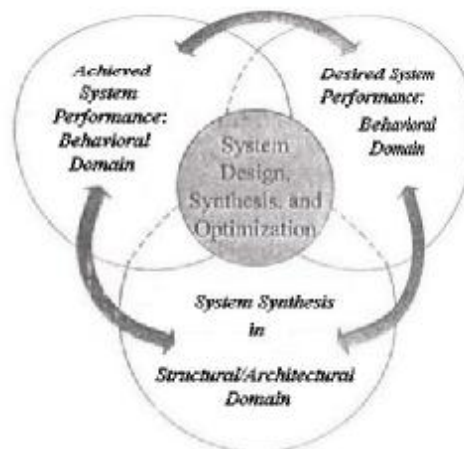
– Biotechnology (اعمال و قواعد زیست شناسی در انسان و ماشین آلات) :

فناوری MEMS کشفیات جدید در علوم و مهندسی مانند : ((میکرو سیستمهای واکنش زنجیره ای پلیمری (PCR) برای تقویت و شناسایی DNA و میکروسکوپیهای سوراخ کن برای مرور میکرو ماشین ها (STMs) ، ساخت چیپها با الهام از قواعد زیست شناسی برای کشف عوامل زیستی و شیمیایی خطرناک و میکرو سیستم هایی برای انتخاب و نمایش دارو با توان عملیاتی بسیار بالا)) را ممکن می سازد.

– ارتباطات :

مدارهای فرکانس بالا به طور قابل ملاحظه ای از زمان ظهور فناوری MEMS ، مفید هستند . اجزاء الکتریکی مانند القاگرها و خازنهای متغیر می توانند به طور معنی داری توسعه پیدا کنند . اگر برای استفاده در تکنولوژی MEMS ساخته شوند با مجتمع سازی تعدادی از این اجزاء کارایی مدارهای ارتباطی توسعه می یابد ، در صورتیکه فضای کل مدار، هزینه و مصرف برق کاهش یابد . در ادامه ، سوئیچ های مکانیکی همچنانکه با تحقیقات توسعه پیدا می کند ، می توانند به یک جزء کلیدی با توان بالقوه بالا در مدارهای میکروویو مختلف تبدیل شوند. نمونه های نشان داده شده از سوئیچ های مکانیکی فاکتورهای کیفیت بالاتری از انواع قبلی موجود دارند .

قابلیت اطمینان و امکان مجتمع سازی اجزاء MEMS دو موضوع مهم هستند که لازم است قبل از عرضه وسیع تر آنها به بازار ، حل شوند.



شکل 2 : مراحل طراحی در ترکیب MEMS و NEMS

MEMS بی نهایت کوچکند. موتور های متحرک کوچکتر از قطر مو، در عین حال تکنولوژی MEMS اصولاً "در باره اندازه ها بحث نمی کند . MEMS معمولاً "به وسیله تکنوژی سیلیکونی ساخته می شود . زیرا سیلیکون دارای خواص خوبی است که آن را به یک انتخاب عالی برای کاربرد های مکانیکی سطح بالا تبدیل کرده است ، برای مثال نسبت استحکام به وزن سیلیکون از بسیاری از موارد مهندسی دیگر بالاتر است که این خاصیت دست یافتن به ادوات مکانیکی دارای پهنای باند زیاد را ممکن می کند .

در عوض نو آوری و دور اندیشی عمیق MEMS یک تکنولوژی ساخت جدید است . راهی برای ساختن سیستمهای الکترومکانیکی پیچیده که در تکنیک های ساخت مجتمع استفاده می شود ، همانند آنچه که برای مدارهای مجتمع (IC) استفاده می شود و در انتها جمع آوری این عناصر الکترومکانیکی به کمک علم الکترونیک

6. کاربردهای MEMS & NEMS

MEMS کاربردهای زیادی دارد. به عنوان یک پیشرفت فناوری ، ایجاد یک همکاری بی نظیر زمینه های غیر مربوطه سابق از قبیل زیست شناسی و

- شتاب سنج ها :

شتاب سنج های ساخته شده با فناوری MEMS ، به سرعت با شتاب سنج های رایج جهان گزین شد، که این شتاب سنج ها در آرایش سیستم های کیسه هوا در موقعیت های ناگهانی در اتومبیل ها به کار می رفتند. در روش سنتی و مرسوم که چندین شتاب سنج بزرگ ساخته شده از مؤلفه های گسسته در جلوی اتومبیل با سیستم الکترونیک جداگانه نزدیک کیسه هوا نصب می شد.

این روش برای هر اتومبیل با لغ بر 50 دلار هزینه داشت.

فناوری MEMS مجتمع سازی شتاب سنج ها و مدارهای الکترونیکی را روی یک تراشه سیلیکونی با هزینه ای بین 5 تا 10 دلار، ممکن ساخت. این شتاب سنج های MEMS کوچکتر، وظیفه مندتر، سبکتر و قابل اطمینان تر بوده و با کسری از هزینه عناصر شتاب سنج های مقیاس بزرگ، ساخته شده اند.

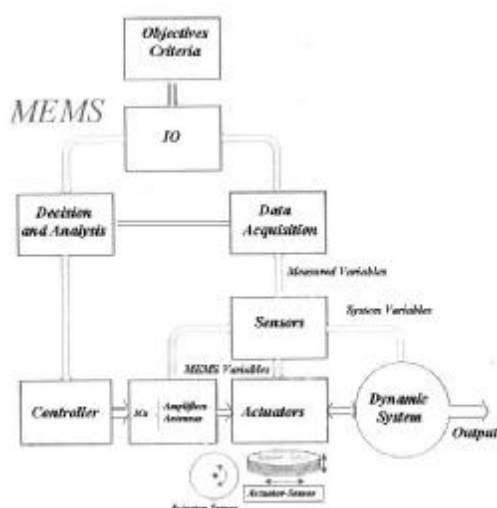
MEMS و NEMS های مختلفی با توجه به مشخصات به نیازها، اهداف و کاربردها باید طراحی شوند. MEMS و NEMS های الکترومکانیکی و الکترونوری مکانیکی توسعه پیدا کرده اند. معمولاً "سیستم های نوری سریعتر، ساده تر و کاراتر، قابل اطمینان تر و بادوام تر از سیستم های الکترومکانیکی هستند. اگر چه سیستم های نوری برای کاربردهای مختلفی طراحی می شوند (مانند ارتباطات، محاسبات و کلید زنی بی سیم و غیره)، پیکر بندی های متفاوتی دارند در حالت کلی خیلی مشکل است که یک مقایسه تطبیقی بین آنها انجام دهیم. برای مثال سیستم های نوری نمی توانند به عنوان محرک به کار روند. نیازهای کاربردی باید شمارش شود و اتصالات الکترومغناطیسی، دما، ارتعاش یا

تشعشعات می توانند فاکتورهای مورد استفاده برای ساخت بهتر باشند. به عنوان یک مثال دیگر نگاهی به محرکهای مقیاس نانو و میکرو می اندازیم.

اندازه محرک به انبوهی نیرو یا گشتاور که تابع ماده به کار رفته و اندازه (حجم) آن است، بستگی دارد. در واقع اندازه با نیرو و گشتاور مورد نیاز و جنس آن تعیین می شود.

این موضوع که MEMS الکترومغناطیسی، میکروساختارها یا میکرو ترانسادیوسدهایی را که با IC های به کار رفته در میکرو ادوات انرژی تابشی کنترل می شوند، مجتمع می کنند، بسیار مهم است. بدینگونه میکرو ساختارها و میکرو ترانسادیوسدها، ادوات انرژی تابشی و IC ها باید مجتمع شوند. فناوری اتصال تراشه مستقیم به طور وسیعی پیشرفت کرد. به ویژه مجموعه MEMS های flip - chip جایگزین شد با نوار سیمی تا به IC ها با محرکها و حسگرهای مقیاس میکرونانو متصل شوند. استفاده از فناوری flip - chip امکان رفع القاگرها و خازنهای و مقاومت های پارازیتی را میدهد. این موضوع اصلاح مشخصات وسیله را منجر می شود. در ادامه مجتمع سازی flip - chip مزایایی در پیاده سازی بسته های انعطاف پذیر پیشرفته، پیشرفت های قابل اطمینان و کاهش وزن و اندازه و.... را منجر می شود. Flip - chip مجتمع شده، میکرو ترانسادیوسدها می توانند همراه با برآمدگی و رو به پایین روی لایه هایی که روی ادوات الکترومکانیکی سوار شده و به پایه IC متصل است، نصب شوند

MEMS مجتمع مقیاس بزرگ (یک عدد تراشه که می تواند به صورت عمده تولید شود و با هزینه کم که در COMS به کار میرود، میکرو ماشین ها و فناوریهای دیگر) می توانند به صورتهای زیر مجتمع شوند:



(4) بلوک دیاگرام عملکرد سطح بالا برای MEMS مقیاس بزرگ با محرکهای انتقالی و چرخشی، حسگرها و IC ها.

محرکها سیستمهای دینامیک را به کار می اندازند. این محرکها به فرمان تحریک (سیگنالهای کنترل) پاسخ داده و گشتاور نیرو را ایجاد می کنند. در این جا تعداد زیادی از مواد زیستی (مثل موتورهای الهام گرفته شده از موجودات زنده در مقیاس نانومتر، ستاره های دریایی، چشم انسان، سیستم های حرکتی) و محرکهای دست ساز وجود دارند. محرکهای زیستی بر مبنای فرایندها و پدیده های شیمیایی- نوری- مکانیکی- الکترومغناطیسی پایه ریزی شده اند. محرکهای دست ساز (الکترومغناطیسی، الکترواستاتیکی، هیدرولیکی، دمایی، صوتی و موتورهای دیگر) اسبابی هستند که سیگنالها یا تحریکها (میدان های الکترومغناطیسی، تنش یا فشار، دمایی یا صوتی و غیره) را دریافت و با نیرو یا گشتاور به آنها پاسخ می دهند.

در اینجا بد نیست نگاهی به ماشینهای پرنده بیاندازیم. هواپیماها، فضاپیماها، موشک ها و ضد

N- گره از میکروترانسدیوسدها (محرک/ حسگرها و ساختارهای هوشمند)

IC- ها و ادوات انرژی تشعشعی (آنتنها)

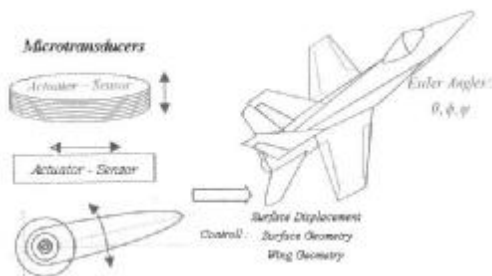
- ادوات نوری و دیگر وسایل برای دست یافتن به ویژگی های ارتباطات بی سیم

- پروسسور و حافظه ها

- شبکه های اتصال داخلی (گذرگاههای ارتباطی)

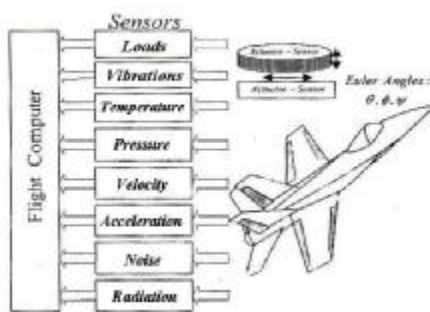
- ادوات ورودی - خروجی (IQ) و غیره

معماری ها و پیکربندی های مختلف می توانند با هم ترکیب شوند. یکی از کاربرهای MEMS و NEMS کنترل سیستم ها، فرآیندها و پدیده های پیچیده است. به منظور کنترل سیستم ها بسیاری از کارها و متغیرهای تصمیم ساز (حالات، خروجی ها، وقایع و ...) باید اندازه گیر شوند. به این معنی که به کار انداختن و حس کردن (که به وسیله میکروترانسدیوسدهای مجتمع در IC ها و ادوات انرژی تشعشعی انجام می شود)، محاسبات، ارتباطات، کارهای مربوط به شبکه، پردازش سیگنال و اعمال دیگر باید انجام شوند. یک بلوک دیاگرام عملکرد سطح بالا برای پیکربندی MEMS دینامیک در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (5): هواپیما با میکروترانسدیوسرهای چرخشی و انتقالی

حسگرها ادواتی هستند که سیگنالها یا تحریک ها را دریافت و به آنها پاسخ می دهند . برای مثال بارهای مخلوط گاز و هوا (که ماشین های پرنده آن را در طول پرواز تجربه می کنند) ، نوسانات ، دما، فشار ، سرعت، شتاب ، نویز و تشعشعات می توانند با حسگرهای مقیاس نانو و میکرون اندازه گیری شوند. (شکل 6) . باید تاکید شود که تعداد زیادی حسگرهای دیگر می توانند برای اندازه گیری تداخلات الکترومغناطیسی ، جایگزینی، جهت ، موقعیت ،ولتاژها ، جریانها ، مقاومت و متغیرهای سودمند در ادوات الکترونیک قدرت ، استفاده شوند.



شکل 6 : کاربرد حسگرهای مقیاس میکرو و نانو در هواپیما

موشکها به وسیله جابجا کردن سطوح کنترلی به سادگی توسط تغییر سطح کنترل و هندسه پرواز ، کنترل می شوند . برای مثال قسمت های متحرک بال ، بالابر ، پره ها ، سکان ، متعادل کننده ها و کج کننده نوک هواپیماهای پیشرفته می توانند با محرکهای مقیاس میکرون و نانومتر که از MEMS های مبتنی بر فناوری محرک هوشمند استفاده می کنند، کنترل شوند. این فناوری محرک کاملاً برای کاربردهای محرکهای پروازی مفیدند.

شکل (5) هواپیما را در جایی که محرکهای چرخشی و انتقالی استفاده می شوند نشان می دهد.

این محرکها برای به کار انداختن سطوح کنترلی و نیز تغییر حالت بال و هندسه سطوح کنترل به کار می رود . استفاده از میکروترانسدیوسر ها به فرد اجازه می دهد تا موفق به کنترل جریان گاز هوا برای مینیمم کردن مصرف سوخت شود . (در واقع منجر به بهبود مصرف سوخت و افزایش سرعت می شود .) در ادامه ، قابلیت مانور، قابلیت کنترل ، چابکی ، پایداری و قابلیت تغییر شکل ماشین های پرنده پیشرفت های مهمی هستند که امکانات پرواز را توسعه می دهند. باید تاکید شود ، اگرچه انبوهی نیرو و گشتاور میکرو ترانسدیوسرها معمولاً مانند محرکهای مقیاس کوچک مرسوم است ، با توجه به ابعاد کوچکشان یک میکروترانسدیوسر نیرو یا گشتاور کوچکتری ایجاد می کند. هر چند این ادوات مجتمع در مقیاس بزرگ و چند گره منظم می شوند ، میکروترانسدیوسرها (که با سیستم های توزیع شده مرحله ای کنترل می شوند) می توانند نیروی مورد نیاز را تولید کرده و سطوح کنترل را به کار اندازند.

7. اصول ساخت MEMS

MEMS ها در میکرو ساختارهای متحرک (با اجزاء الکترومکانیکی) ، حسگرها، محرکها ، ادوات انرژی تشعشعی و میکرو الکترونیک ، مجتمع میشوند. این MEMS ها می توانند برای استفاده در فناوری های میکروساخت مختلف مانند میکروماشین ها ساخته شوند . فناوری اساسی در ساخت MEMS ، CMOS ها و biCMOS ها (برای ساخت IC ها) و میکروماشین ها (برای تولید حرکت و تابش و تشعشع انرژی به ادوات و ساختارهای مقیاس میکرون). یکی از اهداف اصلی این است که میکروالکترونیک را با ادوات و ساختارهای میکرو ماشین های الکترومکانیکی مکانیکی ، مجتمع کنند تا MEMS هایی مجتمع شده و با کارایی بالا تولید کنند. برای تصین کارایی بالا ، قابلیت انجام کار ، قابلیت اطمینان و قابلیت ساخت ، فرآیندهای ساخت فله ای بر مبنای CMOS به خوبی توسعه یافته و باید اصلاح شده و افزایش یابد.

میکروماشین کردن (Micromachining) سطح و تنه (BULK) ، بعلاوه فناوری های نسبت صورت بالا (high – aspect ratio) یا (LIGA و LIGA-like) ، توسعه یافته ترین روشهای ساخت هستند. سیلیسیم ماده زیر لایه اولیه است که در صنعت میکروالکترونیک به کار می رود. یک عدد قالب بلور (استوانه جامد 300mm قطر و 100mm طول) از سیلیکون با درصد خلوص خیلی بالا متبلور شده و در ضخامت مطلوب بریده می شود و سپس به وسیله فناوریهای جلا دادن مکانیکی و شیمیایی ، صیقلی می شود. خواص قرص های الکترومغناطیسی و مکانیکی به جهت و محل متبلور شدن بلور و ناخالصی های پیش بینی شده آن است. بسته به زیر لایه سیلیکونی ، فرآیندهای CMOS و biCMOS برای تولید IC ها استفاده می شوند و فرآیندها رده

بندی شده اند مانند : چشمه n (n-well) ، چشمه p (p-well) یا چشمه توام (twin-well). مراحل اصلی عبارتند از : پخش (diffusion) ، اکسیداسیون (oxidation) ، آرایش دریچه پلی سیلیکون (polysilicon) ، حکاکی نوری (photolithography) ، ماسک زدن (Masking) ، سیاه قلم زدن (etching) ، فلز کردن (metallization) ، پیوستگی سیمی (wire bonding) ، و غیره . در ادامه فرآیندها و مراحل عمده و اساسی ساخت MEMS را بر می شماریم :

مرحله 1) متبلور شدن دی اکسید سیلیکون (Silicon dioxide grow) : دی اکسید سیلیکون به روش حرارتی روی یک پایه سیلیکونی متبلور می شود. برای مثال متبلور شدن می تواند در یک فضای مملو از بخار آب در دمای 1000 درجه سانتی گراد و در مدت یک ساعت انجام شود . سطوح سیلیکونی با لایه ای به قطر 0/5 تا 1 میکرون از دی اکسید سیلیکون پوشانده می شوند (ضخامت اکسید گرمایی در نتیجه پخش بخار آب در طول اکسید سیلیکون به چند میکرون محدود می شود) . دی اکسید سیلیکون میتواند بدون تغییر سطح زیر لایه ته نشین شود ، ولی این فرآیند آنقدر آرام است که فشار غشای باریک را مینیمم می کند. نیتريد سیلیسیم نیز ممکن است ته نشین شود و ضخامت آن به 4 تا 5 میکرومتر محدود می شود

مرحله 2) مقاومت نوری (photoresist) : یک مقاومت نوری (ماده حساس به نور) در سطح دی اکسید سیلیکون استفاده می شود . این عمل می تواند به وسیله چرخاندن روکش مقاومت نوری معلق در یک حلال انجام شود . نتیجه بعد از چرخیدن و بیرون آوردن حلال یک مقاومت نوری با ضخامت 0/2 تا 2 میکرون است . مقاومت نوری سپس برای بیرون آوردن حلالها از درون آن کاملاً پخته و نرم است .

مرحله 3) در معرض گذاشتن حکاکی نوری و توسعه آن

(photolithography Exposure, and Development):
مقاومت نوری مانند یک ماسک حکاک نوری (ماسک نوری) در معرض نور فرابنفش قرار می گیرد. این ماسک نوری راه نور را مسدود کرده و الگویی را برای تضمین نقشه برداری سطح مطلوب تعریف می کند. ماسکهای نوری معمولاً با استفاده از سیلیس گذاشته و شفافیت نوری که در معرض طول موج، پهنی و انبساط گرمایی تا حد مؤثر قرار می گیرند، ساخته می شود. روی یک سطح شیشه یا (کوارتز) یک لایه کدر به عنوان نمونه گذاشته می شود. معمولاً لایه کروم با ضخامت صدها آنگستروم (یک ماسک نوری بر اساس شکل مورد نیاز پوسته پلی سیلیکونی تولید می شود. نقشه برداری سطح به وسیله ماسک تعیین می شود. مقاومت نوری سپس ایجاد می شود. در یک مقاومت نوری مثبت، نور وزن ملکولی مقاومت نوری را کم کرده و ایجاد کننده مقاومت نوری به طور انتخابی مواد دارای وزن ملکولی پایین ترین را حذف می کند.

مرحله 4) قلم زدن دی اکسید سیلیکون (Etch Silicon dioxide): دی اکسید سیلیکون قلم زده می شود. مقاومت نوری باقیمانده به عنوان یک ماسک سخت (Hard mask) استفاده می شود که از بخش دی اکسید سیلیکون محافظت میکند. مقاومت نوری به وسیله قلم زنی مرطوب (Wet etching) (اسید هیدروفلوئوریک، اسید سولفوریک و براکسید هیدروژن) یا قلم زنی خشک (dry etching) (به وسیله پلاسمای اکسیژن)، حذف می شود. نتیجه یک پرده نازک دی اکسید سیلیکون روی پایه سیلیکونی است.

مرحله 5) ته نشین شدن پلی سیلیکون (polysilicon)

(Deposit): پرده نازک پلی سیلیکون روی دی اکسید سیلیکون ته نشین می شود. برای مثال پلی سیلیکون می تواند در سیستم LPCVD در 600 درجه سانتی گراد در یک فضای محدود شده سیلان (SiH_4) ته نشین شود. سرعت ته نشینی در شرایط عادی 65 تا 80 آنگستروم بر دقیقه (Almin) است که فشار داخلی را مینیموم کرده و از خمیدگی و تا شدن جلوگیری می کند. (پرده نازک پلی سیلیکون باید بدون فشار بوده یا یک فشار داخلی کششی داشته باشد). ضخامت پرده نازک بیش از ((4)) میکرون است.

مرحله 6) مقاومت نوری (photoresist): مقاومت نوری در برابر پرده نازک پلی سیلیکون استفاده می شود. مسطح کردن باید انجام شود. پوسته نازک دی اکسید سیلیکون نمونه، توپولوژی سطح زیر لایه را تغییر می دهد. به کار بردن یک روکش یکنواخت مقاومت نوری روی یک سطح با بلندی های مختلف مشکل است. این موضوع باعث می شود که در پرده مقاومت نوری نمونه که ضخامت های مختلف و غیریکنواختی دارند، گوشه ها و لبه ها را نتوان پوشاند. برای ارتفاع ((1)) میکرون یا کمتر این مساله مهم نیست، اما برای پرده های ضخیم تر و لایه های چندگانه دوباره مسطح کردن لازم است.

مرحله 7) در معرض گذاشتن حکاکی نوری و توسعه آن

(photolithography Exposure, and Development):
ماسک نوری که شامل نقشه برداریهای مورد نیاز (شکلهای مورد نیاز) پوسته پلی سیلیکون می شود، با پوسته دی اکسید سیلیکون هم تراز شده است. دقت هم تراز (تلرانس) می تواند در رنج نانومتر بوده و دقت به مشخصات اندازه میکروساختار بستگی دارد.

مرحله 8) قلم زدن پلی سیلیکون (Etch polysilicon)

بعد از حذف دی اکسید سیلیکون، پوسته پلی سیلیکون تغییر شکل می دهد (آزاد می شود) . این پوسته می تواند به پایین خم شده و به سطح زیر لایه در طول خشک شدن بعد از قلم زنی مرطوب بچسبد. برای جلوگیری از این موضوع ، یک پلی سیلیکون ناهموار که نمی چسبد ، می تواند استفاده شود . راه حل های دیگر تولید پوسته پلی سیلیکون با فشار داخلی است که باعث می شود پوسته پلی سیلیکون در طول خشک شدن به سمت بالا کج شود (خم شود) . هر دو راه حل های بالا به خواص مکانیکی ویژه ای برای سطح پلی سیلیکون منجر می شود که نمی تواند از نقطه نظر نیازهای عملگر بهینه باشد . بنابر این در حالت کلی ساخت پوسته پلی سیلیکونی بدون فشاری ممکن شد.

بدیهی است فرآیندها و مواد مرسوم CMOS برای پیشرفت جریان ساخت (مراحل بالا) به منظور ساخت پوسته نازک ، استفاده شدند . بنابر این امکانات ساخت CMOS می تواند به ساخت میکروساختارها ، میکرو ادوات و MEMS تبدیل شوند. شکل های بالا کاربرد فناوری میکرو ماشین سطح را به منظور ساخت پوسته نازک پلی سیلیکون روی پایه سیلیکونی نشان میدهد.

1- نتیجه گیری

با کارهای انجام شده در زمینه MEMS , NEMS امروزه صنعت سوق بیشتری به سمت علم میکرو و نانو گرفته است. از این رو کارهای تحقیقاتی در این زمینه الزامی به نظر می آید که حاصل آن دستیابی به علوم و تکنولوژی برتر قرن می باشد. از جمله کارهای آینده که در این زمینه باید صورت گیرد طراحی بهینه MEMS و دستیابی به گونه های اصلاح شده آن برای کار در سایر علوم می باشد.

:پرده نازک پلی سیلیکون با مقاومت نوری که از شکل پوسته پلی سیلیکونی مطلوب محافظت می کند ، قلم زده می شود . یافتن یک قلم زنی مرطوب (Wetetch) برای پلی سیلیکون که به مقاومت نوری برخورد نکند، مشکل است . بنابر این قلم زنی خشک (dry etching) به وسیله قلم زنی با پلاسما می تواند استفاده شود .

انتخاب پلاسما بین پلی سیلیکون و دی اکسید سیلیکون جای نگرانی ندارد زیرا دی اکسید سیلیکون بعدا حذف خواهد شد . بنابر این پلی سیلیکون بعدا حذف خواهد شد . بنابر این پلی سیلیکون می تواند با حذف آن در بیش از مقدار مورد نیاز ، مافوق نیاز قلم زده شود (over etched) این موضوع محصول برتری را موجب می شود .

مرحله 9) حذف مقاومت نوری (Photoresist remove)
: مقاومت نوری که با پوسته پلی سیلیکونی حفاظت می شود ، حذف می شود.

مرحله 10) ته نشین شدن فلوئورید نیکل (Deposit Nife)
: لایه نازک فلوئوریک نیکل ته نشین می شود.

مرحله 11) حذف دی اکسید سیلیکون : رها کردن پوسته نازک

(Remove silicon dioxide : release the thin film)
: membrane

دی اکسید سیلیکون با قلم زنی مرطوب (هیدروفلوریک یا اسید هیدروفلوئوریک) حذف می شود، زیرا قلم زنی پلاسما بسادگی نمی تواند دی اکسید سیلیکون را در فضای محدود زیر لایه نازک پلی سیلیکون حذف کند. اسید هیدروفلوئوریک به سیلیکون خالص برخورد نمی کند . از این رو پوسته پلی سیلیکون و پایه سیلیکونی قلم زنی نخواهد شد .



مراجع

- 1** Sergey Edward Lyshevski : MEMS and NEMS : Systems , Devices and Structures , Boca Raton : CRS Press (2002)
- 2** S.Y. No, A. Hashimura, S. Pourkamali, F. Ayazi, “Single- Crystal Silicon HARPSS Capacitive Resonators with Submicron Gap-Spacing”, Solid-State Sensors, Actuator and Microsystems Workshop, June, (2002) , pp. 281-284.
- 3** B. Piekarski, D. DeVoe, M. Dubey, R. Kaul, J. Conrad, R. Zeto, “Surface Micromachined Piezoelectric Resonant Beam Filters”, Sensors and Actuators, A 91,(2001) , pp.313-320.
- 4** <http://www.memsnet.org/mems/fabricating>
- 5** S. Dalmia, et al, “High Q Inductors in MCM-L Technology,” *International Microwave Symposium*, May (2001).
- 5** *Micromechanics and MEMS: Classic and Seminal Paper to 1990*, Trimmer, W.S., IEEE Press, New York, NY, 1997.