

۱۵۷۴۹۴



دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی برق

طراحی و شبیه سازی شتاب سنج خازنی میکروماشینی با
دو درجه آزادی

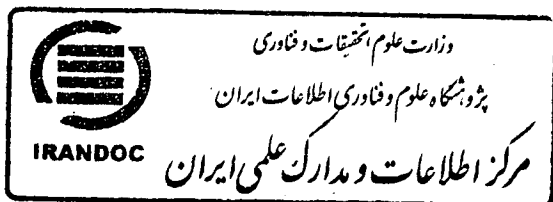
هادی توکلی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

استاد راهنما:

دکتر ابراهیم عباسپورثانی

۱۳۸۹



۱۵۷۶۶۳

۱۳۹۰/۴/۲

تشکر و قدردانی

اینجانب هادی توکلی از استاد ارجمندم جناب دکتر عباسپور که در انجام این پایان نامه قدم به قدم با من همراهی کردند و پدر و مادر دلسوزم که همواره زمینه تحصیل اینجانب را فراهم کرده اند و همچنین از زحمات همسر عزیزم که چه در دوره کارشناسی و چه در دوره کارشناسی ارشد زحمات زندگی دانشجویی را به جان خریده و همواره مشوق اینجانب در ادامه تحصیل بوده و می باشند و ریاست مرکز میکروماشین ارومیه ، جناب آقای مهندس نعلبندی که زمینه ساخت سنسور شتاب را در این مرکز هموار ساخته اند کمال تشکر را دارم.



پایان نامه کارشناسی ارشد الکترونیک خانم / آقای هادی توکلی تاریخ ۳۱/۶/۸۹ شماره
مورد پذیرش هیأت محترم داوران با رتبه عالی و نمره ۱۸۱ نمره قبولی گرفت.

۱- استاد راهنما و رئیس هیأت داوران: حبیب

۲- داور خارجی: محمد اله خور

۳- داور داخلی: نوری

۴- نماینده تحصیلات تکمیلی: زاد

۵- استاد راهنمای دوم: _____

مهر و امضا و نشانی استاد راهنما یا داور
در این بخش درج شود.

چکیده

هدف از انجام این پایان نامه طراحی و شبیه سازی یک شتاب سنج خازنی میکروماشینی با دو درجه آزادی می باشد. کاربرد شتاب سنج طراحی شده در صنایع اتومبیل سازی می باشد. با ارائه دو ایده جدید برای از بین بردن تداخل محورها (cross axis sensitivity)، شتاب در دو جهت افقی و عمودی اندازه گیری می شود، همچنین در حالتی که شتاب همزمان در دو جهت عمودی و افقی به سیستم اعمال شود شتاب اعمال می شود، شتاب اعمالی در هر جهت به صورت جداگانه و بدون خطا اندازه گیری می شود. نوآوری ارائه شده در این پایان نامه استفاده از یک جرم متحرک برای اندازه گیری شتاب در دو جهت عمودی و افقی می باشد. در ساختار اول محدوده شتاب قابل اندازه گیری در جهت افقی $66g$ \pm و در جهت عمودی $30g$ \pm می باشد و در ساختار دوم محدوده شتاب قابل اندازه گیری در جهت افقی $65g$ \pm و در جهت عمودی $27g$ \pm می باشد. اندازه ساختار اول $1,16\mu m^2$ و اندازه ساختار دوم $1,05\mu m^2$ می باشد. در پروسه ساخت هر دو ساختار پیشنهادی از میکروماشین کاری سطحی استفاده شده است. نویز مکانیکی در روش ارائه شده $0.35\mu g / \sqrt{Hz}$ و در روش دوم $0.31\mu g / \sqrt{Hz}$ می باشد. برای طراحی و شبیه سازی شتاب سنج از نرم افزار Intellisuite استفاده شده است.

یکی از دو روش ارائه شده برای رفع مشکل تداخل محورها به دلیل ساده بودن پروسه ساخت آن در مرکز میکروماشین ارومیه در حال ساخت می باشد و بیش از ۸۰ درصد ساخت سنسور به اتمام رسیده است.

کلید واژه: شتاب سنج خازنی - میکروماشین - تداخل محورها - نرم افزار Intellisuite

فهرست مطالب

فصل اول

- ۱-۱-۱- مقدمه..... ۱
- ۱-۲-۱- سیستم های میکرو الکترومکانیکی (MEMS)..... ۱
- ۲-۲-۱- کاربرد و زیر شاخه های MEMS..... ۲
- ۳-۱- تاریخچه..... ۳
- ۴-۱- بازار فروش قطعات MEMS..... ۴
- ۵-۱- روش های ساخت قطعات میکروماشین..... ۵
- ۵-۱-۱- میکروماشین کاری توده ای (Bulk micromachining)..... ۵
- ۵-۲-۱- میکروماشین کاری سطحی (Surface micromachining)..... ۵
- ۳-۵-۱- LIGA..... ۶
- ۴-۵-۱- CMOS Based..... ۸
- ۶-۱- پروسه های رایج در تکنولوژی میکروماشین..... ۸
- ۷-۱- بسته بندی قطعات میکروماشین (packaging)..... ۸

فصل دوم

- ۱-۲-۱- مقدمه..... ۱۰
- ۲-۲-۱- کاربردهای شتاب سنج..... ۱۰
- ۳-۲-۱- اساس کار سنسور شتاب سنج مکانیکی..... ۱۱
- ۴-۲-۱- حد معادله دیفرانسیل حاکم بر شتاب سنج..... ۱۳
- ۴-۲-۱-۱- حل همگن..... ۱۳

- ۱۴..... حال اول -۱-۱-۴-۲
- ۱۵..... حالت دوم -۲-۱-۴-۲
- ۱۶..... حالت سوم -۳-۱-۴-۲
- ۱۷..... حل معادله دیفرانسیل با ورودی سینوسی -۲-۴-۲
- ۱۸..... ۵-۲ فاکتور کیفیت
- ۱۹..... ۶-۲ حداقل شتاب قابل اندازه گیری
- ۲۰..... ۷-۲ پدیده squeeze film damping
- ۲۱..... ۸-۲ بررسی شتاب سنج های مکانیکی با توجه به حل معادله دیفرانسیل
- ۲۱..... ۹-۲ شتاب سنج های حلقه باز و حلقه بسته
- ۲۱..... ۱-۹-۲ شتاب سنج حلقه باز
- ۲۲..... ۲-۹-۲ شتاب سنج حلقه بسته
- ۲۳..... ۱۰-۲ انواع شتاب سنج های MEMS
- ۲۳..... ۱-۱۰-۲ شتاب سنج های پیزو الکتریک
- ۲۴..... ۲-۱۰-۲ شتاب سنج های تونلی (Tunneling Accelerometers)
- ۲۵..... ۳-۱۰-۲ شتاب سنج های رزونانس
- ۲۶..... ۴-۱۰-۲ شتاب سنج با استفاده از مقاومت پیزو
- ۲۷..... ۵-۱۰-۲ شتاب سنج های خازنی
- ۲۸..... ۱۱-۲ سایر روش های اندازه گیری موقعیت
- ۲۹..... ۱۲-۲ شتاب سنج های میکرو ماشین تجاری
- ۳۰..... ۱-۳ مقدمه

فصل سوم

- ۳۰-۲- مزایای شتاب سنج خازنی..... ۳۰
- ۳۰-۳- انواع شتاب سنج خازنی..... ۳۰
- ۳۰-۳-۱- روش های پیاده سازی شتاب سنج خازنی..... ۳۰
- ۳۱-۲-۳- معایب روش استفاده از تغییر فاصله هوایی بین دو الکتروود..... ۳۱
- ۳۱-۳-۳- محاسن استفاده از روش تغییر سطح مشترک بین دو الکتروود..... ۳۱
- ۳۲-۴- تکنولوژی ساخت شتاب سنج های میکروماشین کاری شده..... ۳۲
- ۳۲-۴-۱- میکروماشین کاری سطحی..... ۳۲
- ۳۲-۴-۲- میکروماشین کاری حجمی..... ۳۲
- ۳۲-۵- کارهای انجام شده در سال های اخیر..... ۳۲
- ۳۲-۱-۵- شتاب سنج خازنی سه محوری با استفاده از ویفرهای SOI..... ۳۲
- ۳۴-۲-۵- شتاب سنج خازنی میکروماشینی حجمی تک محور..... ۳۴
- ۳۶-۳-۵- شتاب سنج سه محوری با حساسیت میکروg..... ۳۶

فصل چهارم

- ۳۸-۱- مقدمه..... ۳۸
- ۳۸-۲- پارامترها و تحلیل هایی که در طراحی یک شتاب سنج MEMS..... ۳۸
- ۳۹-۲- اثرات میدان الکتریکی در لبه های الکتروودها بر ظرفیت خازنی..... ۳۹
- ۴۱-۳- تاثیر شکل الکتروود بر ظرفیت خازنی..... ۴۱
- ۴۱-۳-۱- شکل مستطیلی..... ۴۱
- ۴۲-۲-۳- شکل دنداناره ای..... ۴۲
- ۴۳-۳-۳- شکل دایره ای..... ۴۳
- ۴۴-۴-۳- نتیجه گیری برای انتخاب شکل الکتروود..... ۴۴

- ۴-۴-۴ - طراحی ساختار اول..... ۴۵
- ۴-۴-۴-۱- الکتروود تحتانی..... ۴۶
- ۴-۴-۴-۲- الکتروود متحرک..... ۴۷
- ۴-۴-۴-۳- الکتروود فوقانی..... ۴۸
- ۴-۴-۴-۴- تئوری حاکم بر شتاب سنج..... ۴۹
- ۴-۴-۴-۵- پروسه پیشنهادی ساخت..... ۵۶
- ۴-۴-۴-۶- نتایج شبیه سازی..... ۶۱
- ۴-۵-۴-۱- دومین ساختار پیشنهادی..... ۶۴
- ۴-۵-۴-۲- الکتروود ثابت..... ۶۵
- ۴-۵-۴-۳- الکتروود متحرک..... ۶۶
- ۴-۵-۴-۴- تئوری حاکم بر شتاب سنج..... ۶۸
- ۴-۵-۴-۵- نتایج شبیه سازی..... ۷۵
- ۴-۵-۴-۶- پروسه ساخت..... ۷۷
- ۴-۵-۴-۱-۶- روش اول..... ۷۷
- ۴-۵-۴-۲-۶- روش دوم..... ۷۸
- ۴-۶-۴-۶- حداقل شتاب قابل اندازه گیری در دو ساختار پیشنهادی..... ۷۹
- ۴-۷-۴-۷- کار عملی انجام شده..... ۸۰
- ۴-۷-۴-۱- ساخت دو ماسک..... ۸۰
- ۴-۷-۴-۲- اکسیداسیون..... ۸۱
- ۴-۷-۴-۳- لایه نشانی طلا، کروم و آلومینیوم..... ۸۱
- ۴-۷-۴-۴- لیتوگرافی..... ۸۱
- ۴-۷-۴-۵- حذف فتورزیست به روش خشک (plasma ashing)..... ۸۲

۸۲	.....alignment -۶-۷-۴
۸۴	.....lift-off پروسه -۷-۷-۴
۸۶	.....nickel electroplating پروسه -۸-۷-۴
۸۹	.....نتیجه نهایی کار عملی -۹-۷-۴

فصل پنجم

۹۰	.....۱-۵- مقدمه
۹۰	.....۲-۵- خلاصه کار انجام شده
۹۰	.....۱-۲-۵- بررسی اثرات میدان های الکتریکی در لبه های الکترودهای خازن ها
۹۱	.....۱-۲-۵- ساختار اول پیشنهادی
۹۱	.....۱-۲-۵- ساختار دوم پیشنهادی
۹۲	.....۱-۲-۵- مقایسه کار انجام شده با کارهای دیگران
۹۳	.....مراجع

فهرست شکل‌ها

فصل اول

- شکل ۱-۱ - بازار فروش قطعات MEMS ۴
- شکل ۲-۱ - سنسورهای موجود در قسمت‌های مختلف اتومبیل ۵
- شکل ۳-۱ - ایجاد یک ساختار معلق توسط میکروماشین کاری سطحی ۶
- شکل ۴-۱ - مراحل ساخت در پروسه LIGA ۷

فصل دوم

- شکل ۱-۲ - سیستم مکانیکی شتاب سنج ۱۲
- شکل ۲-۲ - نوسانات میرا $\xi < 1$ ۱۵
- شکل ۳-۲ - حرکت غیر نوسانی $\xi > 1$ ۱۶
- شکل ۴-۲ - حرکت با میرایی ۱۶
- شکل ۵-۲ - منحنیهای معادلات ۲۵ و ۲۶ ۱۸
- شکل ۶-۲ - دامنه نوسان به ازای مقادیر مختلف فرکانس ۱۹
- شکل ۷-۲ - سیستم حلقه باز در شتاب سنج ها ۲۲
- شکل ۸-۲ - شتاب سنج پیرو الکتریک با استفاده از ماده PZT ۲۴
- شکل ۹-۲ - طرح شتاب سنج تونلی ۲۵
- شکل ۱۰-۲ - یک برش از ساختار شتاب سنج پیزورزیستو ۲۷
- شکل ۱۱-۲ - یک نمونه از شتاب سنج اولیه خازنی ۲۸
- شکل ۱۲-۲ - بلوک دیاگرام شتاب سنج ADXL50 ۲۹

فصل سوم

- شکل ۳-۱- سه روش پیاده سازی شتاب سنج خازنی..... ۳۱
- شکل ۳-۲- شماتیک کامل شتاب سنج سه محوری..... ۳۳
- شکل ۳-۳- شماتیک کامل شتاب سنج تک محوری..... ۳۴
- شکل ۳-۴- نمایش چیدمان الکتروود ثابت و متحرک..... ۳۵
- شکل ۳-۵- شماتیک کامل شتاب سنج سه محوری با دقت μg ۳۶
- شکل ۳-۶- توضیح نحوه اندازه گیری شتاب در راستای محورهای افقی و عمودی..... ۳۷

فصل چهارم

- شکل ۴-۱- میدان های الکتریکی موثر در ظرفیت خازنی..... ۳۹
- شکل ۴-۲- بررسی اثرات لبه ای در حالت دو الکتروودی..... ۴۰
- شکل ۴-۳- الکتروود مستطیلی شکل..... ۴۲
- شکل ۴-۴- الکتروود دندان اره ای شکل..... ۴۲
- شکل ۴-۵- الکتروود دایره ای شکل..... ۴۳
- شکل ۴-۶- شماتیک کلی شتاب سنج ساختار اول..... ۴۵
- شکل ۴-۷- برش AA'..... ۴۶
- شکل ۴-۸- چیدمان الکتروودهای ثابت و متحرک..... ۴۷
- شکل ۴-۹- شماتیک کامل الکتروود متحرک..... ۴۷
- شکل ۴-۱۰- نامگذاری خازن ها در ساختار پیشنهادی..... ۵۰
- شکل ۴-۱۱- نتایج شبیه سازی برای تغییرات خازنی بر حسب شتاب اعمالی..... ۵۱
- شکل ۴-۱۲- تغییرات خازنهای C۲ و C۳ در اثر شتاب اعمالی در جهت عمودی..... ۵۲

- شکل ۴-۱۳- نتیجه اعمال رابطه (۲) بر تغییرات خازن های C_۲ و C_۳..... ۵۲
- شکل ۴-۱۴- تغییرات خازن C_۱ در اثر شتاب اعمالی در دو جهت عمودی و افقی..... ۵۳
- شکل ۴-۱۵- تغییرات خازن C_۲ در اثر شتاب اعمالی در دو جهت عمودی و افقی..... ۵۳
- شکل ۴-۱۶- نتیجه نهایی رابطه (۳)..... ۵۴
- شکل ۴-۱۷- نتیجه نهایی رابطه (۴)..... ۵۵
- شکل ۴-۱۸- ساختار نهایی شتاب سنج..... ۶۰
- شکل ۴-۱۹- نمودار جابجایی الکتروود متحرک در اثر شتاب دینامیک اعمالی جدول ۴-۲..... ۶۲
- شکل ۴-۲۰- نمودار جابجایی الکتروود متحرک در اثر شتاب دینامیک اعمالی جدول ۴-۳..... ۶۳
- شکل ۴-۲۱- شماتیک کلی شتاب سنج ساختار دوم..... ۶۵
- شکل ۴-۲۲- چیدمان ارائه شده الکتروودهای متحرک و ثابت برای از بین بردن تداخل محورها..... ۶۶
- شکل ۴-۲۳- شماتیک کامل الکتروود متحرک ساختار پیشنهادی دوم..... ۶۷
- شکل ۴-۲۴- تغییرات خازن های C_۱ و C_۲ در اثر شتاب اعمالی در جهت محور افقی..... ۶۹
- شکل ۴-۲۵- تغییرات خازن های C_۱ و C_۲ در اثر اعمال شتاب در جهت محور عمودی..... ۷۰
- شکل ۴-۲۶- نتیجه اعمال رابطه (۶) بر روی تغییرات خازن های C_۱ و C_۲..... ۷۱
- شکل ۴-۲۷- تغییرات خازن C_۱ در اثر شتاب اعمالی در دو جهت عمودی و افقی..... ۷۲
- شکل ۴-۲۸- تغییرات خازن C_۲ در اثر شتاب اعمالی در دو جهت عمودی و افقی..... ۷۲
- شکل ۴-۲۹- نتیجه اعمال رابطه (۷) بر روی تغییرات خازن های C_۱ و C_۲..... ۷۳
- شکل ۴-۳۰- جابجایی الکتروود متحرک در حالتی که شتاب در دو جهت عمودی و افقی اعمال می شود..... ۷۳
- شکل ۴-۳۱- نتیجه اعمال رابطه (۸) بر روی تغییرات خازن های C_۱ و C_۲..... ۷۵
- شکل ۴-۳۲- میزان جابجایی الکتروود متحرک در اثر اعمال شتاب استاتیک I_g در جهت محور X..... ۷۵
- شکل ۴-۳۳- میزان جابجایی الکتروود متحرک در اثر اعمال شتاب استاتیک I_g در جهت محور Z..... ۷۶

- شکل ۴-۳۴ پاسخ ضربه شتاب سنج ۷۷
- شکل ۴-۳۵ طرح کامل ماسک تولید شده ۸۳
- شکل ۴-۳۶ alignment ماسک دوم روی ویفر پس از اعمال ماسک اول ۸۴
- شکل ۴-۳۷ پروسه استاندارد lift-off ۸۵
- شکل ۴-۳۸ عملیات lift-off با استفاده از کلروبنزن ۸۶
- شکل ۴-۳۹ نحوه استفاده از Cr برای از بین بردن step coverage در پروسه lift-off ۸۷
- شکل ۴-۴۰ نحوه لایه نشانی نیکل بر روی ویفر ۸۸
- شکل ۴-۴۱ ساختار الکتروود متحرک قبل از عملیات Al etching ۸۹

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ کاربردهای شتاب سنج‌ها و مشخصات مورد نیاز برای هر کاربرد..... ۱۱
- جدول ۱-۴ مقایسه ظرفیت خازنی اشکال مختلف..... ۴۵
- جدول ۲-۴ شتاب دینامیک اعمالی در جهت محور X..... ۶۱
- جدول ۳-۴ شتاب دینامیک اعمالی در جهت محور Z..... ۶۲
- جدول ۴-۴ مشخصات کامل شتاب سنج..... ۶۴
- جدول ۵-۴ پارامترهای عملیات لیتوگرافی فتورزیست‌های MAP1210 و MAP1215..... ۸۱
- جدول ۶-۴ مشخصات محلول الکتروپلیتینگ..... ۸۶
- جدول ۷-۴ ضخامت نمونه‌های لایه نشانی شده در مدت زمان ۱۲۰ ثانیه و در ولتاژهای مختلف..... ۸۸
- جدول ۱-۵ مقایسه ظرفیت خازنی اشکال مختلف..... ۹۰
- جدول ۲-۵ مقایسه کار انجام شده در این پایان‌نامه با کارهای دیگران..... ۹۲

فصل اول:

مقدمه‌ای بر تکنولوژی میکروماشین

۱-۱- مقدمه

در این فصل مقدمه‌ای بر تکنولوژی میکروماشین، تاریخچه، روش‌ها و پروسه‌های رایج در این صنعت و بازار فروش قطعات و سیستم‌های ساخته شده با این تکنولوژی تحت عنوان Micro Electro Mechanical System (MEMS) توضیح داده می‌شود.

۱-۲-۱- سیستم‌های میکرو الکترو مکانیکی (MEMS)

MEMS مخفف Micro Electro Mechanical System و ریشه آمریکایی دارد. در اروپا به Micro System Technology (MST) معروف است. معادل فارسی آن سیستم‌های میکروالکترومکانیکی می‌باشد. سیستم‌های الکتریکی فقط با سیگنال‌های الکتریکی سرو کار دارند، اگر این سیستم‌ها کار مکانیکی هم انجام دهند سیستم الکترومکانیکی نامیده می‌شوند. حال اگر ابعاد آن به محدوده میکرومتر برسد سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی خوانده می‌شوند.

سیستم‌های MEMS حاصل تلفیق اجزای مکانیکی، حس کننده‌ها، محرکها و قطعات الکترونیکی بر روی یک لایه سیلیکون می‌باشد. مدارات مجتمع را می‌توان مغز متفکر سیستم در نظر گرفت و MEMS با اضافه کردن چشم و بازو این قدرت تفکر را توسعه می‌دهد تا میکروسیستم‌ها بتوانند محیط اطرافشان را حس و کنترل نمایند، این حسگرها اطلاعات مکانیکی، گرمایی، مغناطیسی، نوری و ... را از محیط جمع‌آوری کرده و مدار مجتمع پس از دریافت اطلاعات از حسگر دستوراتی همچون جابجایی، فیلتر کردن و ... را جهت کنترل فرآیند صادر می‌کند.

MEMS به عنوان یکی از تکنولوژی‌های برتر قرن ۲۱ به شمار می‌رود که پتانسیل لازم برای متحول ساختن تولیدات مصرفی و صنعتی را دارد. اگر microfabrication نیمه هادیها را به عنوان اولین انقلاب در تولیدات میکرو در نظر بگیریم، بدون شک MEMS دومین انقلاب در این زمینه است.

یک قطعه MEMS شامل قسمت های زیر است:

۱- سنسور که اطلاعات را از دنیای بیرون دریافت و به سیگنال های الکتریکی تبدیل می کند.

۲- مدار الکتریکی که این سیگنال ورودی را پردازش می کند.

۳- راه انداز (actuator) که به سیستم مکانیکی دستور می دهد چه کاری انجام دهد.

قطعات الکترونیکی با استفاده از تکنولوژی ساخت مدارات مجتمع ساخته می شوند و عناصر میکروماشین شده با استفاده از فرآیندهای micromachining ساخته می شوند، MEMS با ترکیب این دو تکنولوژی امکان ایجاد یک سیستم کامل را روی یک تراشه فراهم ساخته است و فضای طراحی و کاربرد را بسط داده است. مزایای سنسورهای MEMS نسبت به سنسورهای مکانیکی عبارتند از:

۱- سایز کوچکتر ۲- ارزانتر ۳- دقیقتر ۴- قابل اعتمادتر ۵- یکپارچه سازی قسمت حسگر و پردازشگر.
بعنوان یک نمونه می توان به شتاب سنج های مکانیکی استفاده شده در صنعت خودروسازی اشاره کرد، در روش مکانیکی از چندین شتاب سنج حجیم که شامل اجزای مختلف هستند در قسمت جلویی خودرو استفاده می شود ولی قسمت های الکترونیکی در نزدیکی کیسه هوا قرار دارند و قیمت مجموعه بالغ بر ۶۰۰ دلار می باشد، با استفاده از تکنولوژی MEMS شتاب سنج و قسمت الکترونیکی با هزینه کمتر از ۵ دلار بر روی یک تراشه سیلیکونی تلفیق شده است [۱].

۱-۲-۲- کاربرد و زیر شاخه های MEMS

MEMS شامل زیر شاخه های زیر می باشد:

- 1- mechanical MEMS
- 2- thermal MEMS
- 3- MOEMS (micro opto electromechanical system)
- 4- magnetic MEMS
- 5- RF MEMS
- 6- micro fluidic MEMS
- 7- Bio MEMS
- 8- chemo MEMS

محدوده عملکرد MEMS در مقایسه با مدارات مجتمع بسیار وسیع تر می باشد، در MEMS علاوه بر متخصصان برق

رشته هایی همچون مهندسی شیمی، مهندسی پزشکی، مهندسی مکانیک، فیزیک و شیمی مشغول فعالیت می باشند.

سنسورهای MEMS در صنایع مختلفی از جمله: صنایع هواپیما سازی، اتومبیل سازی، شیمیایی، اتوماسیون، دفاعی و نظامی، محیط زیست، مخابرات، بهداشتی و پزشکی، قطعات کامپیوتری (هارد دیسک و پرینتر) کاربرد دارند.

چند نمونه از سنسورهای پرکاربرد MEMS در صنعت عبارتند از:

سنسور فشار: در صنعت خودروسازی برای اندازه گیری فشار روغن، فشار خلا، فشار تزریق سوخت، فشار انتقال سیال،

فشار سیستم ABS، فشار تایر و فشار کیسه هوا بکار می رود.

شتاب سنج: در کیسه هوا و کمربند ایمنی اتومبیل و صنایع نظامی بکار می رود.

سنسور دما: برای نمایش دمای روغن و هوا در اتومبیل.

ژیروسکوپ: در صنایع موشک سازی و هواپیما سازی کاربرد دارد.

۱-۳- تاریخچه [2]

۱- دهه ۵۰: استرین گیج های سیلیکونی بصورت تجاری موجود بودند، در سال ۱۹۵۹ ریچارد فایمن در کالیفرنیا موتور الکتریکی کوچکتر از ۱/۶۴ اینچ را ساخت.

۲- دهه ۶۰: در سال ۱۹۶۱ اولین سنسور فشار سیلیکونی ساخته شد، در سال ۱۹۶۷ میکروماشین کاری سطحی اختراع شد.

۳- دهه ۷۰: در سال ۱۹۷۹ اولین شتاب سنج سیلیکونی ساخته شد و در سال ۱۹۷۹ اولین نازل جوهرافشان میکروماشینی ساخته شد.

۴- دهه ۸۰: در سال ۱۹۸۲ در مبدل فشار خون، سیلیکون به عنوان یک ماده مکانیکی در فرآیند LIGA مورد استفاده قرار گرفت و بالاخره در سال ۱۹۸۸ اولین کنفرانس MEMS برگزار گردید.

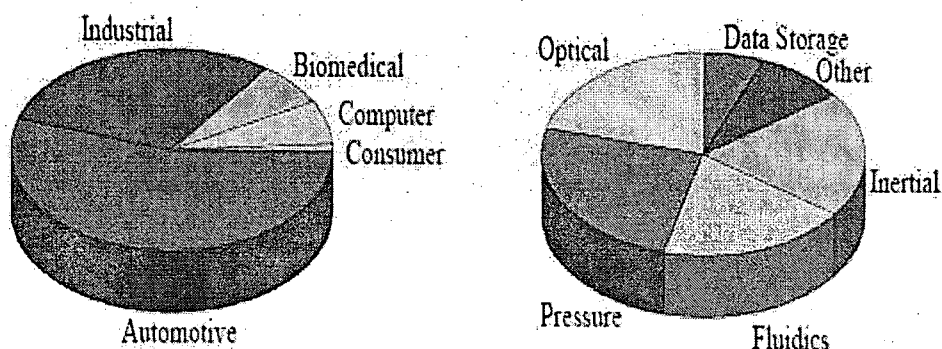
۵- دهه ۹۰: در سال ۱۹۹۳ اولین شتاب سنج میکروماشینی سطحی ساخته (ADXL50) و فروخته شد و در سال ۱۹۹۵

BIOMEMS به سرعت پیشرفت کرد و بالاخره در سال ۲۰۰۰ ساخت اجزای شبکه نوری MEMS جزو مشاغل

بزرگ صنعتی محسوب گردید.

۴-۱- بازار فروش قطعات MEMS

بازار فروش سنسورهای میکروماشین در سال ۲۰۰۸ در شکل ۱-۱ [3] نشان داده شده است. همان طور که از شکل ۱-۱ مشخص است بیشترین کاربرد مربوط به صنایع اتومبیل سازی می باشد.

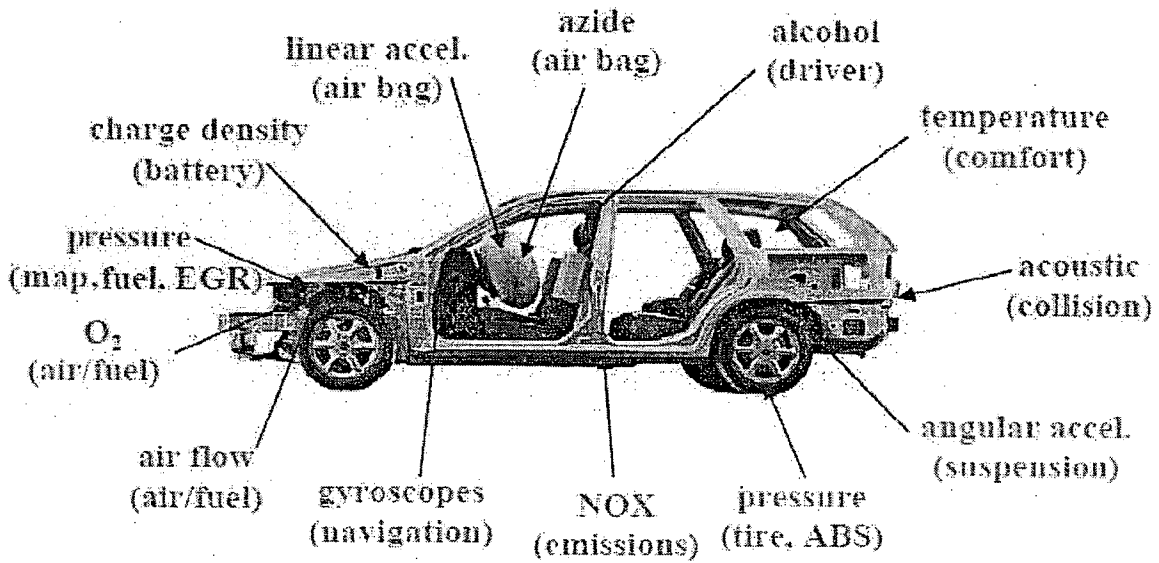


تقسیم بندی برحسب بازار مصرف

تقسیم بندی برحسب نوع کاربرد

شکل ۱-۱- بازار فروش قطعات MEMS

در اتومبیل های آینده بیش از صد نوع سنسور برای اندازه گیری فشار، دما، سرعت زاویه ای، تشخیص نوع گاز و ... در سه بخش از خودرو استفاده خواهد شد: ۱- انتقال قدرت (۴۰ مورد) ۲- شاسی (۲۷ مورد) ۳- بدنه (۴۰ مورد) در شکل ۲-۱ [3] برخی از این سنسورها در قسمت های مختلف اتومبیل نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- سنسورهای موجود در قسمت‌های مختلف اتومبیل

۱-۵- روش‌های ساخت قطعات میکروماشین

۱-۵-۱- میکروماشین کاری توده‌ای (Bulk micromachining)

- مراحل ساخت پیچیده نیستند.

- زدایش (etching) نقش اصلی را ایفا می‌کند.

- ارزانه‌ترین روش بین روش‌های مختلف می‌باشد.

- مناسب برای هندسه ساده (مثلاً میکرو حسگرهای فشار).

- نسبت عمق به عرض (aspect ratio) پایین.

- ضخامت بستر سیلیکونی عمق پنجره را محدود می‌کند.

۱-۵-۲- میکروماشین کاری سطحی (Surface micromachining)

- در این روش لایه‌های متعددی بر روی سطح نشانداده و بصورت انتخابی زدوده می‌شوند.

- این روش مستلزم ساخت ماسک‌های پیچیده و متنوع برای زدایش لایه‌های مختلف می‌باشد.