

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکز

دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی برق

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد M.Sc

گرایش: الکترونیک

عنوان :

طراحی حسگر گازی برای تشخیص بخارات بنزین در مخازن انبارهای نفت و جایگاههای سوخت

استاد راهنما

آقای دکتر صباغی ندوشن

استاد مشاور

آقای دکتر فرداد فرخی

پژوهشگر

زهرا مختاری

تابستان ۱۳۹۲



ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Central Tehran Branch

Faculty of Technical & Engineering - Department of Electrical Engineering

"M.Sc" thesis

On Electrical Engineering

Subject:

Gas sensor designed to detect gasoline vapors in the oil storage tanks and fuel stations

Advisor:

Dr.Reza Sabbaghi-Nadooshan

Rader:

Dr.Fardad Farokhi

By:

Zahra Mokhtari

Summer 2013

تقدیم به

خانواده عزیزم

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان

و

به پاس قلب‌های بزرگشان و محبت‌های بی‌دریغشان

## تشکر و قدردانی:

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ استاد راهنمای محترم آقای دکتر صباغی ندوشن و همچنین استاد مشاور محترم آقای دکتر فرخی در خصوص رهنمودهای ارائه شده برای این پروژه تشکر و قدردانی نمایم.

در پایان از خانواده‌ی عزیزم که در تمام مراحل زندگی حامی همیشگی من بوده‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده پایان نامه (شامل خلاصه، اهداف، روش های اجرا و نتایج به دست آمده) :

در دهه های اخیر فناوری ساخت ابزار دقیق در ابعاد بسیار ریز رشد فزاینده ای پیدا کرده و استفاده از میکرو حسگرها در حوزه های فراوانی گسترش یافته است. ساخت حسگرها در مقیاس میکرونی در مقایسه با حسگرهای سنتی دارای قیمت کم، اندازه کوچک و مصرف کم می باشند. سیستم های میکرو-الکترومکانیک تحولی نوین هستند که با قیمتی کم و سرعتی بالا با کمک فناوری ساخت مدارات مجتمع ساخته می شوند و به تراشه حسابگر مدارات مجتمع، حسگر و محرک را می افزایند. این تکنولوژی برای طراحی و ساختن و اداره کارهای تخصصی متنوع از جمله در مسائل مهندسی مکانیک، علم مواد، مهندسی برق، ابزار دقیق، مهندسی شیمی مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از کاربردهای وسیع سیستم های میکروالکترومکانیک در ساخت حسگرهای فشار می باشد. حسگرهای فشار مبتنی بر تغییر مقاومت نواحی نفوذ داده شده (پیزومقاومت ها) به واسطه ایجاد تنش و خاصیت تشدید المان مرتعش دیافراگم برای تبدیل متغیر فیزیکی فشار به سیگنال الکتریکی استفاده می شود. در این پایان نامه به بررسی حسگر فشار پیزومقاومتی بر پایه تکنولوژی میکروالکترومکانیک جهت تشخیص نشت بخار بنزین پرداخته شده است. این حسگر شامل لایه حساس دیافراگم و پیزو مقاومت بوده که با بکارگیری نرم افزار comsol ساختار آن شبیه سازی شده است. در اینجا محاسبات و برخی نمودارها با استفاده از نرم افزار matlab بدست آمده است. غلظت گاز به فشار تبدیل شده و فشار معادل به دیافراگم وارد می شود و نهایتاً تغییر وضعیت و ولتاژ خروجی رصد خواهد شد و عملکرد آن از لحاظ بهبود حساسیت بررسی می شود.

## فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه و چشم انداز کلی	۱
۱	۱-۱ مقدمه	۱
۴	۲-۱ انگیزه انجام کار	۴
۴	۳-۱ پیکره‌بندی نوشتاری این پایان‌نامه	۴
۵	۲ فصل دوم: تکنولوژی میکروالکترومکانیک	۵
۵	۱-۲ مقدمه	۵
۶	۲-۲ تکنولوژی میکروالکترومکانیک	۶
۸	۱-۲-۲ تاریخچه تحولات میکروالکترومکانیک	۸
۹	۲-۲-۲ مزیت‌های استفاده از تکنولوژی میکروالکترومکانیک	۹
۱۰	۳-۲-۲ روش ساخت ادوات میکروالکترومکانیک	۱۰
۱۰	۱-۳-۲-۲ نشست یا روشانی	۱۰
۱۰	۲-۳-۲-۲ لیتوگرافی	۱۰
۱۱	۳-۳-۲-۲ حکاکی	۱۱
۱۱	۴-۲-۲ طبقه‌بندی بر اساس فرآیند ساخت	۱۱
۱۲	۱-۴-۲-۲ میکروماشین‌کاری حجمی	۱۲
۱۲	۱-۱-۴-۲-۲ زدایش مرطوب	۱۲
۱۲	۲-۱-۴-۲-۲ زدایش خشک	۱۲
۱۲	۲-۴-۲-۲ میکروماشین‌کاری سطحی	۱۲
۱۳	۳-۴-۲-۲ میکروماشین‌کاری با سهم ظاهری بالا	۱۳
۱۴	۵-۲-۲ جنس در تکنولوژی میکروالکترومکانیک	۱۴
۱۴	۱-۵-۲-۲ جنس لایه زیرین	۱۴

۱۴	..... ۲-۵-۲ جنس مواد اضافه شونده به ساختار چپ
۱۵	..... ۶-۲-۲ کاربردهای تکنولوژی میکروالکترومکانیک
۱۷	..... ۳-۲ حسگر
۱۹	..... ۱-۳-۲ خصوصیات حسگرها
۱۹	..... ۲-۳-۲ اجزاء تشکیل دهنده حسگرها
۲۰	..... ۱-۲-۳-۲ ماده حس کننده و مبدلها
۲۱	..... ۱-۱-۲-۳-۲ پیزومقاومتی
۲۲	..... ۲-۱-۲-۳-۲ پیزو الکتریسیته
۲۶	..... ۳-۱-۲-۳-۲ تکنیک های خازنی
۲۸	..... ۴-۱-۲-۳-۲ تکنیک های نوری
۳۰	..... ۵-۱-۲-۳-۲ تکنیک تشدید یا نوسانی
۳۱	..... ۶-۱-۲-۳-۲ تکنیک های عملگریا تحريك
۳۲	..... فصل سوم: حسگر فشار میکروالکترومکانیک
۳۲	..... ۱-۳ مقدمه
۳۳	..... ۲-۳ حسگر فشار
۳۳	..... ۳-۳ حسگرهای فشار سنتی
۳۳	..... ۱-۳-۳ مانومتر
۳۴	..... ۲-۳-۳ انروید بارومتر
۳۴	..... ۳-۳-۳ لوله بردون
۳۵	..... ۴-۳-۳ حسگر خلاء
۳۵	..... ۴-۳ حسگرهای فشار میکروالکترومکانیکی
۳۶	..... ۱-۴-۳ حسگرهای فشار پیزوالکترونیکی



۳۶	..... ۲-۴-۳ حسگرهای فشار خازنی
۳۷	..... ۳-۴-۳ حسگرهای فشار تشدیدی
۳۷	..... ۴-۴-۳ حسگرهای فشار پیزو مقاومتی
۳۸	..... ۱-۴-۴-۳ تعریف خصوصیات ماده و توصیف ریاضی
۴۲	..... ۲-۴-۴-۳ ضرایب پیزو مقاومت طولی و عرضی
۴۷	..... ۳-۴-۴-۳ پیزو مقاومتی در مقاومت‌های نفوذ داده شده
۴۸	..... ۴-۴-۴-۳ ضریب موثر پیزو مقاومت نفوذ داده شده
۴۹	..... ۵-۴-۴-۳ تغییر مقاومت به عنوان تابعی از تنش
۵۱	..... ۶-۴-۴-۳ جنس مقاومتها
۵۴	..... ۷-۴-۴-۳ آنالیز استرس در میکروماشین‌ها
۵۴	..... ۱-۸-۴-۴-۳ استرس در بیم یا کانتیلیور
۵۵	..... ۲-۸-۴-۴-۳ استرس در غشاء
۵۷	..... ۸-۴-۴-۳ پیکره‌بندی پل‌وتسون
۵۹	..... ۹-۴-۴-۳ طراحی پیزو مقاومت‌ها
۶۲	..... ۵-۳ مروری بر مقالات و مطالعات انجام شده در راستای پروژه جهت تشخیص بخارات مواد نفتی
۶۴	..... ۱-۵-۳ بررسی حسگرهای بخارات آلی رزونانسی پیزو مقاومت
۶۶	..... ۲-۵-۳ دلایل استفاده از تغییر مقاومت (پیزو مقاومت‌ها) به واسطه ایجاد تنش برای این پروژه
۷۸	..... ۶-۳ آنالیز المان محدود
۸۰	..... ۷-۳ بررسی پارامترهای حسگر
۸۲	..... ۴ فصل چهارم: طراحی حسگر پیشنهادی و شبیه‌سازی عملکرد آن
۸۲	..... ۱-۴ مقدمه
۸۲	..... ۲-۴ شبیه‌سازی حسگر

۳-۴	تحلیل نتایج حاصل از سایر مقالات	۸۳
۱-۳-۴	نمودار ولتاژ نسبت به غلظت	۸۳
۲-۳-۴	اثر ابعاد دیافراگم	۸۳
۳-۳-۴	اثر ضخامت دیافراگم	۸۴
۴-۳-۴	اثر فشار بر ولتاژ خروجی	۸۵
۴-۴	معرفی نرم افزار و نتایج حاصل از شبیه‌سازی	۸۶
۱-۴-۴	نرم‌افزار کامسول	۸۶
۲-۴-۴	نتایج حاصل از شبیه‌سازی	۸۷
۱-۲-۴-۴	تغییر در فشار اعمالی و اثر آن بر جابجایی	۹۰
۲-۲-۴-۴	تغییر در ابعاد دیافراگم و تاثیر آن بر جابجایی	۹۴
۳-۲-۴-۴	تغییر در ضخامت دیافراگم و تاثیر آن بر جابجایی	۹۵
۴-۲-۴-۴	تغییرات ولتاژ و حساسیت حسگر	۱۰۲
۵-۴	افزایش حساسیت حسگر	۱۰۵
۵	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و مطالعات آتی	۱۰۷
۱-۵	خلاصه نتایج	۱۰۸
۲-۵	کارهای آتی	۱۱۰
۶	مراجع	۱۱۲

فهرست جدول‌ها:

- جدول ۱-۲ کاربردهای سیستم های میکروالکترومکانیک ..... ۱۶
- جدول ۲-۲ مقایسه‌ای بین خصوصیات انواع مختلف مواد پیزوالکتریک ..... ۲۴
- جدول ۱-۳ ضرایب موثر برای سیلیکون تک بلور ..... ۵۱
- جدول ۲-۳ ضرایب موثر برای تمامی مواد در جهات مختلف کریستال ..... ۵۱
- جدول ۳-۳ بدست آوردن  $\alpha$  و  $\beta_1$  و  $\beta_2$  ..... ۶۰
- جدول ۴-۳ مشخصات عناصر ..... ۷۱
- جدول ۳-۵ پارامترهای طراحی ساختار حسگر پیزومقاومتی با دیافراگم سیلیکونی ..... ۸۱
- جدول ۱-۴ پارامترهای محاسبه فشار بر حسب غلظت ..... ۸۸
- جدول ۲-۴ نتایج شبیه‌سازی ساختار حسگر پیزومقاومتی با دیافراگم سیلیکونی ..... ۱۰۴
- جدول ۳-۴ نتایج شبیه‌سازی ساختار حسگر پیزومقاومتی پلوتسون ..... ۱۰۶
- جدول ۴-۴ نتایج شبیه‌سازی ساختار حسگر تک پیزومقاومتی و پلوتسون ..... ۱۰۶
- جدول ۵-۱ نتایج شبیه‌سازی ساختار حسگر ..... ۱۰۹
- جدول ۵-۲ نتایج شبیه‌سازی حسگر طراحی شده با سایر مقالات ..... ۱۰۹

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ ابعاد و اندازه میکروالکترومکانیک ..... ۷
- شکل ۲-۲ ساختار میکروالکترومکانیک بصورت شماتیک ..... ۷
- شکل ۳-۲ نحوه‌ی استفاده از لیتوگرافی نوری با استفاده از رزیست‌های مثبت و منفی ..... ۱۱
- شکل ۴-۲ میکروماشین‌کاری سطحی ..... ۱۳
- شکل ۵-۲ میکروماشین‌کاری با سهم ظاهری بالا ..... ۱۳
- شکل ۶-۲ مقایسه بین سیستم ارگانیسیم موجودات زنده و حسگرها ..... ۱۸
- شکل ۷-۲ کرنش سنج ..... ۲۲
- شکل ۸-۲ اعمال نیرو به یک لایه از جنس پیزوالکتریک ..... ۲۳
- شکل ۹-۲ مدار معادل تقریبی یک ماده‌ی پیزوالکتریک ..... ۲۵
- شکل ۱۰-۲ نمونه‌هایی از حسگرهای خازن جابجایی (a) صفحه در حال حرکت (تغییر فاصله بین صفحات)، (b) تغییر ناحیه (تغییر سطح موثر صفحات خازن)، و (c) دی‌الکتریک در حال حرکت (تغییر موقعیت ماده دی‌الکتریک) ..... ۲۶
- شکل ۱۱-۲ حسگر خازنی تفاضلی شکل ..... ۲۷
- شکل ۱۲-۲ آشکارساز نوری ..... ۲۹
- شکل ۱۳-۲ مثالی برای آشکارسازی وضعیت خاص ..... ۲۹
- شکل ۱۴-۲ بلوک دیاگرام حسگر نوسانی ..... ۳۱
- شکل ۱-۳ بلوک دیاگرام کلی برای اندازه‌گیری فشار ..... ۳۳
- شکل ۲-۳ ساختار مانومتر ..... ۳۴
- شکل ۳-۳ بوردون تیوب ..... ۳۵
- شکل ۴-۳ رابطه فشار و مقاومت ..... ۳۹
- شکل ۵-۳ نمایی از وضعیت تنش ..... ۴۱
- شکل ۶-۳ شماتیک کلی روند مورد استفاده برای ناخالص‌سازی ..... ۴۸
- شکل ۷-۳ استرس طولی در کانتیلیور ..... ۵۴
- شکل ۸-۳ توزیع دو بعدی جابجایی غشاء و میزان تنش طولی در محور X ..... ۵۵
- شکل ۹-۳ پیکره بندی پل وتسون ..... ۵۸
- شکل ۱۰-۳ حداکثر جابجایی در مرکز ..... ۵۹

شکل ۳-۱۱ طرح‌های متفاوت دیگر با مقاومت‌های موازی و عمودی ..... ۶۰  
شکل ۳-۱۲ a: یک نمونه حسگر تشخیص بخار بنزین b: شکل‌های متفاوت دیافراگم ..... ۷۰  
شکل ۳-۱۳ a: یک نمونه حسگر با دیافراگم مربعی b: پیکره بندی پل وتسون c: وابستگی ولتاژ خروجی  
به رطوبت نسبی  $\phi$  ..... ۷۱

شکل ۳-۱۴ حسگر گاز با لایه پلیمری epoxy acrylate بعنوان جاذب بخار بنزین ..... ۷۳  
شکل ۳-۱۵ حسگر گاز با لایه پلیمری epoxy acrylate پس از جذب بخار بنزین ..... ۷۴  
شکل ۳-۱۶ ساختار شبیه‌سازی شده حسگر فشار با یک پیرومقاومتی توسط نرم افزار کامسول ..... ۷۹  
شکل ۴-۱ منحنی ولتاژ بر حسب غلظت بنزین ..... ۸۳  
شکل ۴-۲ منحنی جابجایی بر حسب فشار در ابعاد مختلف دیافراگم ..... ۸۴  
شکل ۴-۳ منحنی جابجایی بر حسب فشار در ضخامت‌های مختلف دیافراگم ..... ۸۵  
شکل ۴-۴ منحنی ولتاژ خروجی بر حسب فشار ..... ۸۵  
شکل ۴-۵ منحنی فشار بر حسب غلظت ..... ۸۶  
شکل ۴-۶ شماتیک طراحی ..... ۸۷  
شکل ۴-۷ فشار بر حسب غلظت ..... ۸۹  
شکل ۴-۸ a) ساختار شبیه‌سازی شده حسگر فشار با یک پیرومقاومتی توسط نرم افزار کامسول (b) مش  
بندی ..... ۹۰  
شکل ۴-۹ منحنی جابجایی دیافراگم بر حسب فشار (a) بدون اعمال فشار (b) با اعمال فشار خارجی  
۱۰۰ Pa (c) با اعمال فشار خارجی ۵۰۰ P

..... ۹۱  
شکل ۴-۱۰ منحنی جابجایی در مرکز دیافراگم به همراه Total displacement و ماکزیمم-مینیمم سطح  
جابجا شده (a) با اعمال فشار ۲۰۰ Pa (b) با اعمال فشار ۳۰۰ Pa ..... ۹۲  
شکل ۴-۱۱ توزیع استرس بر روی دیافراگم بر حسب فشار (a) بدون اعمال فشار (b) با اعمال فشار  
خارجی ۱۰۰ Pa (c) با اعمال فشار خارجی ۵۰۰ Pa ..... ۹۳  
شکل ۴-۱۲ منحنی جابجایی دیافراگم با ضخامت  $10\ \mu\text{m}$  و بر حسب فشار ۱۰۰ Pa و ابعاد متغییر (a) ابعاد  
 $500\ \mu\text{m} * 500\ \mu\text{m}$  (b) ابعاد  $750\ \mu\text{m} * 750\ \mu\text{m}$  (c) ابعاد  $1000\ \mu\text{m} * 1000\ \mu\text{m}$  ..... ۹۴  
شکل ۴-۱۳ نمودار جابجایی بر حسب فشار در ابعاد متفاوت دیافراگم ..... ۹۵

- شکل ۴-۱۴ منحنی جابجایی دیافراگم با ابعاد  $1000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$  و برحسب فشار  $100\text{Pa}$  و ضخامت متغییر (a) ضخامت  $10\mu\text{m}$  (b) ضخامت  $20\mu\text{m}$  (c) ضخامت  $30\mu\text{m}$  (e) ضخامت  $40\mu\text{m}$  ..... ۹۶
- شکل ۴-۱۵ نمودار جابجایی بر حسب فشار در ضخامت‌های متفاوت دیافراگم ..... ۹۷
- شکل ۴-۱۶ توزیع استرس در دیافراگم با ضخامت  $10\mu\text{m}$  و برحسب فشار  $100\text{Pa}$  و ابعاد متغییر (a) ابعاد  $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$  (b) ابعاد  $750\mu\text{m} \times 750\mu\text{m}$  ..... ۹۸
- شکل ۴-۱۷ توزیع استرس در دیافراگم با ابعاد  $1000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$  و برحسب فشار  $100\text{Pa}$  و ضخامت متغییر (a) با ضخامت  $10\mu\text{m}$  (b) با ضخامت  $40\mu\text{m}$  ..... ۹۹
- شکل ۴-۱۸ نمودار جابجایی بر حسب فشار بدست آمده از شبیه‌ساز کامسول برای کلیه لبه‌های دیافراگم با ابعاد  $1000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$  و ضخامت  $10\mu\text{m}$  ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۱۹ (a) نمایش نقطه وسط دیافراگم با ماکزیمم جابجایی برای دیافراگم با ابعاد  $1000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$  و ضخامت  $10\mu\text{m}$  (b) نمودار جابجایی بر حسب فشار در وسط دیافراگم ... ۱۰۱
- شکل ۴-۲۰ نمودار جابجایی بر حسب فشار بدست آمده از شبیه‌ساز کامسول (a) برای کلیه لبه‌های دیافراگم با ابعاد  $1000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$  و ضخامت  $10\mu\text{m}$  (b) در وسط دیافراگم با ابعاد  $1000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$  و ضخامت  $10\mu\text{m}$  ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۱ نمودار ولتاژ تولیدی در پیزو مقاومت ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۲ نمودار ولتاژ خروجی حسگر ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۳ شماتیک شبیه‌سازی ساختار حسگر پیزو مقاومتی بصورت پل وتسون ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۲۴ نمودار جابجایی در حسگر با ساختار پل وتسون در فشار  $100\text{Pa}$  ..... ۱۰۵

## ۱ فصل اول: مقدمه و چشم انداز کلی

### ۱-۱ مقدمه

بنزین بطور گسترده‌ای در فرآیندهای صنعتی بعنوان سوخت و یا حلال مورد استفاده قرار می‌گیرد. نشت بخار بنزین از مخازن نفت باعث هدر رفت انرژی شده و ممکن است سبب آتش‌سوزی در انبارهای نفت و تخریب محیط‌زیست و به خطر انداختن سلامتی انسان گردد بنابراین تشخیص زود هنگام آن از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد<sup>۱</sup>. حسگرهایی<sup>۱</sup> که قادر به تشخیص گازها هستند، کاربردهای زیادی بخصوص در صنایع نفت و گاز دارند. با توسعه حسگرهای قدیمی و رویکرد علم به ساخت حسگرهایی با قابلیت پیشرفته انطباق پذیری و احساس نیاز بیشتر به سیستم‌های دقیق‌تر، بایستی حسگرهایی که در سیستم‌ها و شبکه‌ها بکار برده می‌شوند عاملیت و کارکرد بیشتر و مناسبتری در جمع‌آوری اطلاعات و انتقال آنها داشته باشند.

چند پارامترهای عملکرد یک سیستم حسگر بطور خلاصه بصورت زیر می‌باشد:

- ✓ هماهنگی و سازش پذیری با محیط: این قابلیت این امکان را به سیستم می‌دهد که با شناسایی تغییرات محیط، اقدام به پاسخگویی مناسب نماید. در واقع یک حسگر، باید قادر به تشخیص تغییرات بدون نیاز به واسطه باشد.
- ✓ پردازش اطلاعات: منظور فهم و تفسیر مجموع اطلاعات رسیده و افزایش کارایی سیستم از طریق اصلاح مشخصه‌های سیگنال‌های اطلاعات، کاهش و تعدیل سازی اطلاعات، شناسایی اتفاقات و در نهایت تصمیم‌گیری براساس پردازش صورت گرفته می‌باشد.
- ✓ مجتمع سازی: این مرحله شامل جمع‌آوری کلیه قابلیت‌ها و ویژگی‌های حسگرها از جمله حس<sup>۲</sup> محیط و عملیاتی‌های حاصل از آن در سطح یک تراشه است برای این منظور می‌توان از نانو تکنولوژی و سیستم‌های میکروالکترومکانیک<sup>۳</sup>، بهره برد.

میکروالکترومکانیک (MEMS) مخفف Micro Electro Mechanical System می‌باشد و در واقع یک فرآیند تکنولوژی است که برای بوجود آوردن سیستم‌ها و وسایل یکپارچه (مجتمع) خیلی

<sup>1</sup> Sensors

<sup>2</sup> sense

<sup>3</sup> MEMS

کوچک بکار می‌رود که ترکیبی از عناصر الکتریکی و مکانیکی می‌باشد [۲]. این وسایل یا سیستم‌ها قابلیت حس کردن، کنترل و تحریک<sup>۱</sup>، را دارند. تکنیک‌های ساخت میکروالکترومکانیک (MEMS) قادر می‌سازد که اجزا و وسایل با کارایی و قابلیت بالاتر، اندازه و حجم کوچکتر و هزینه کمتر تولید شوند. از طرفی نظم داخلی تکنولوژی میکروالکترومکانیک و تکنیک‌های مکانیکال کردن آن و تنوع کاربردهای آنها باعث فراگیرتر شدن نسبت به تکنولوژی میکروچیپ‌ها<sup>۲</sup>، می‌گردد.

یکی از قطعات میکروالکترومکانیک رایج حسگر فشار<sup>۳</sup> است. کشف سیستم‌های میکروالکترومکانیکی که منجر به انقلاب دیگری در سیلیسیم گردید، همزمان با ساخت حسگر فشار میکروماشینی بود. اولین حسگر فشار آزمایشگاهی میکروماشینی در سال ۱۹۶۱ ساخته شد. تولید حسگر فشار سیلیسیمی یکبار مصرف با کاربرد پزشکی در سال ۱۹۸۲ منجر به کاهش قیمت آن گردید. ارزیابی عملکرد این حسگرها تا سال ۱۹۷۵ ادامه یافته و توسعه کاربردها و کاهش هزینه‌های تولید آن تا سال ۱۹۹۰ انجام گرفت و هنوز هم ادامه دارد. مکانیزم تغییرات پیزومقاومتی<sup>۴</sup> به واسطه ایجاد تنش در دیافراگم نازک اولین مکانیزمی بود که برای ساخت حسگر فشار سیلیسیمی بکار گرفته شد که هم اکنون نیز از این مکانیزم بطور وسیعی استفاده می‌شود. حسگرهای فشار پیزومقاومت به واسطه ایجاد تنش و خاصیت تشدیدي المان مرتعش دیافراگم برای تبدیل متغیر فیزیکی فشار به سیگنال الکتریکی استفاده می‌شود. مزیت‌های اصلی اندازه‌گیری فشار با استفاده از پیزومقاومت‌ها، سادگی فرایند تولید آنها، رابطه خطی عالی میان ولتاژ خروجی حسگر و فشار اندازه‌گیری است.

در این پایان‌نامه به بررسی حسگر فشار پیزو مقاومتی بر پایه تکنولوژی میکروالکترومکانیک و بررسی حساسیت حسگر مدنظر پرداخته شده است در این تحقیق حسگر فشار پیزو مقاومتی بر پایه تکنولوژی میکروالکترومکانیک جهت تشخیص نشت بخار بنزین در مخازن انبارهای نفت بررسی می‌شود. این حسگر شامل لایه حساس دیافراگم و پیزو مقاومت بوده و هنگام وارد نمودن فشار به دیافراگم (غلظت گاز)، دیافراگم خم می‌شود و استرس ناشی از خمش دیافراگم باعث تغییر در مقاومت پیزومقاومت می‌گردد و به ولتاژ خروجی تبدیل می‌شود.

---

<sup>1</sup> actuate

<sup>2</sup> IC

<sup>3</sup> pressure

<sup>4</sup> piezoresistive



مهمترین پارامتر، حساسیت حسگر می‌باشد و فرضیاتی که جهت افزایش حساسیت حسگر مطرح می‌باشد عبارتند از تغییر ابعاد و شکل دیافراگم، تغییر ضخامت دیافراگم، انتخاب پیزو مقاومتی با شکل پل‌وتسون.

### ۲-۱ انگیزه انجام کار

کاربردهای وسیع حسگرهای فشار در ابعاد میکرو<sup>۱</sup> و نانومتری<sup>۲</sup> در حوزه‌های فراوان و رشد فزاینده این حسگرها از لحاظ کاربرد و افزایش دقت و حساسیت در آنها، دلیل برای ورود به این عرصه می‌باشد. از طرفی اهمیت دیگر میکروتکنولوژی نزدیکی آن به نانو تکنولوژی می‌باشد که در این تکنولوژی حسگرهایی با قیمت کم و سرعت بالا ساخته می‌شوند. در این پروژه هدف این است که یک حسگر گازی<sup>۳</sup> با صرفه و با حساسیت مطلوب طراحی و شبیه‌سازی گردد.

### ۳-۱ پیکره‌بندی نوشتاری این پایان‌نامه

این پایان‌نامه به این ترتیب است که در فصل دوم ابتدا به معرفی تکنولوژی میکروالکترومکانیک و تاریخچه آن پرداخته و سپس ساختار حسگرها و انواع مبدل‌ها ارائه می‌شود در فصل سوم در ابتدا ساختار حسگرهای فشار و انواع آن معرفی می‌شود و مقایسه‌ای بین حسگرهای فشار صورت می‌گیرد، سپس مروری بر مقالات داشته و در آخر ساختار مکانیکی و پارامترهای عملکردی حسگر مدنظر ارائه می‌شود. در فصل چهارم روش پیشنهادی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی ارائه و مقایسه می‌شود و نهایتاً در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات و کارهای آتی ارائه شده است.

---

<sup>1</sup> Micro

<sup>2</sup> Nano

<sup>3</sup> Gas sensor

## ۲ فصل دوم: تکنولوژی میکروالکترومکانیک

### ۴-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا تکنولوژی میکروالکترومکانیک معرفی می‌شود. سپس توضیحاتی در خصوص حسگرها و انواع آن‌ها بیان می‌شود، در ادامه در خصوص ساختار حسگرها و انواع مبدل‌ها توضیحاتی ارائه می‌شود.

## ۱-۵ تکنولوژی میکروالکترومکانیک

میکروالکترومکانیک (MEMS) مخفف Micro Electro Mechanical System می‌باشد و در واقع ریشه‌ی آمریکایی دارد و به تکنولوژی سیستم‌های میکرونی (MST)<sup>۱</sup>، در اروپا برمی‌گردد و به عنوان میکروماشین‌ها<sup>۲</sup>، در ژاپن شناخته می‌شوند [۲]. با اینحال تکنولوژی میکروالکترومکانیک يك تکنولوژی قدرتمند برای خلق ادوات یا سیستم‌های مجتمع بسیار ظریف و کوچک در ابعاد میکرو و نانو است که با ترکیب عناصر الکترونیکی و مکانیکی بر روی يك تراشه واحد و در کنار یکدیگر تولید می‌شوند. اندازه‌ی این ادوات از نانومتر تا میلیمتر در نوسان است. در شکل ۱-۲ ابعاد در حوزه میکروالکترومکانیک ارائه شده است [۳].

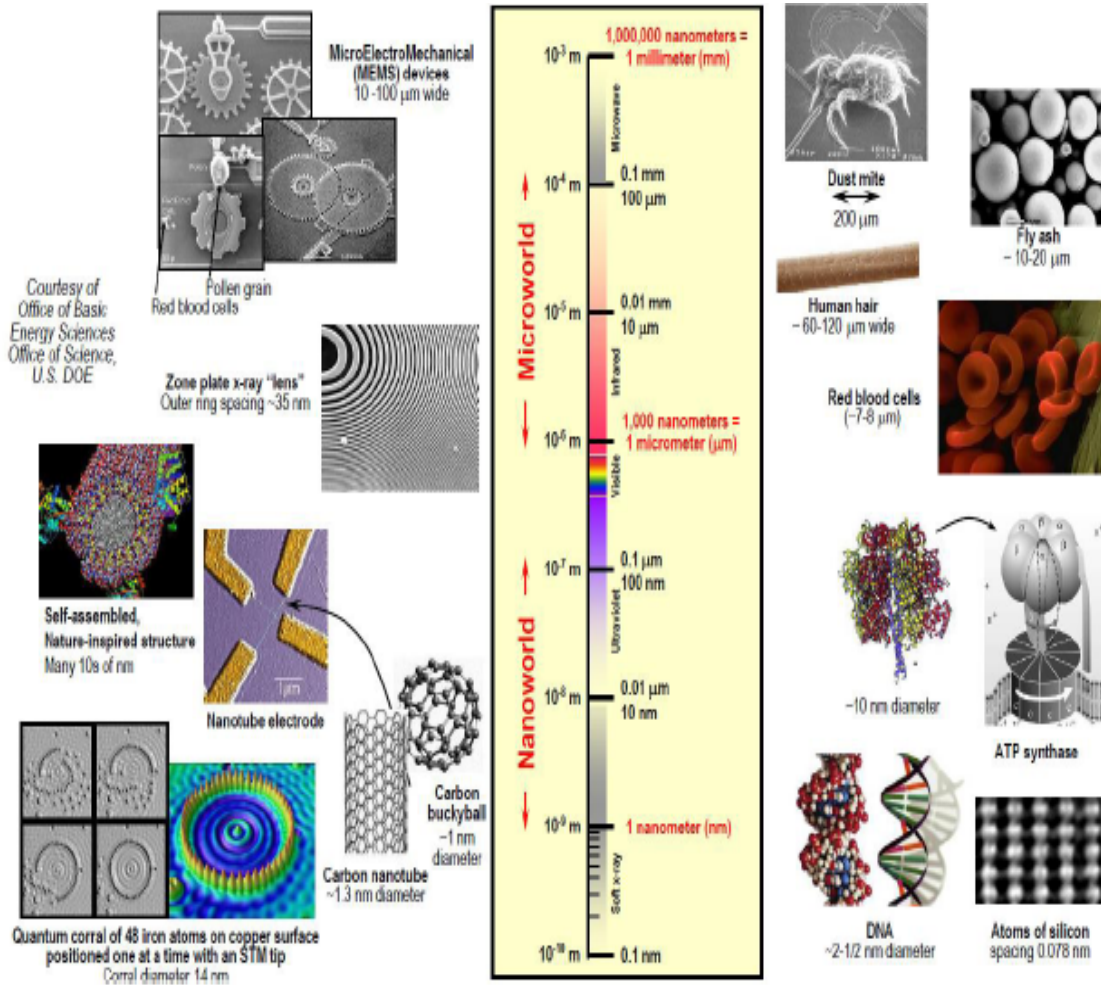
این تکنولوژی یکی از فن‌آوری‌های بنیادی قرن ۲۱ تعریف شده است که با ادغام فناوری‌های ساخت قطعات میکروالکترومکانیک بر پایه سیلیکون و میکروماشین کاری آن بوجود آمده است. در کلی‌ترین حالت میکروالکترومکانیک‌ها شامل ساختارهای کوچک مکانیکی، میکرو حسگرها، میکرو محرک‌ها<sup>۳</sup> و میکرو الکترونیک‌ها بوده که همه به شکل چیپ یکسان، یکپارچه می‌شوند. (شکل ۲-۲) در يك میکروسیستم، میکرو حسگرها تغییرات محیط را تشخیص می‌دهند و میکروالکترونیک‌ها این اطلاعات بدست آمده از حسگرها را پردازش می‌کنند و سپس با ارسال سیگنال، میکرومحرک‌ها را فعال کرده و این محرک‌ها به علامت دریافتی عکس‌العمل نشان می‌دهند و بدین ترتیب تغییری را در شرایط محیطی به وجود می‌آورند [۲].

---

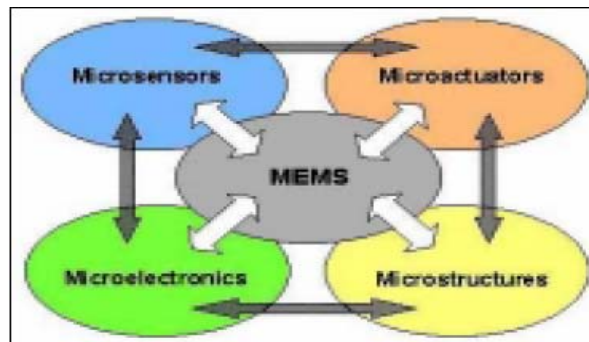
<sup>1</sup> Micro system technology

<sup>2</sup> Micro machines

<sup>3</sup> Micro actuator



شکل ۱-۲ ابعاد و اندازه میکروالکترومکانیک



شکل ۲-۲ ساختار میکروالکترومکانیک (MEMS) بصورت شماتیک