

نانو حسگرها

energyenergy.ir



فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱ - حسگر و نانو حسگر چیست ؟ ۴
- ۲-۱ - انواع نانو حسگرها ۵
- ۳-۱ - روش های تهیه نانوحسگر ۵

فصل دوم: کاربرد نانو حسگرها

- ۱-۲ - نانولوله های کربنی و نانوسیم ها برای شناسایی باکتری و ویروس ۸
- ۲-۲ - نانوحسگرهای مولکولی مکانیکی ۸
- ۳-۲ - نانوحسگرهای زیستی ۹
- ۴-۲ - حسگرها با استفاده از نانوسیم های نیمه هادی برای تعیین عناصر ۹
- ۵-۲ - نانو لوله های کربنی به عنوان حسگر گاز ۱۰
- ۶-۲ - استفاده در پزشکی ۱۰
- ۷-۲ - کاربرد نانوحسگرها در پارچه های هوشمند ۱۰

فصل سوم: حسگرهای شیمیایی

- ۱-۳ - مکانیزم حسگر شیمیایی ۱۲
- ۲-۳ - انواع حسگرهای شیمیایی ۱۳
- ۳-۳ - مواد مورد استفاده در ساخت حسگرهای شیمیایی ۱۶

فصل چهارم: حسگرهای زیستی

- ۱-۴ - حسگر زیستی چیست ؟ ۱۷
- ۲-۴ - اجزای اصلی زیست حسگر ۱۸
- ۳-۴ - زیست حسگرهای نانومکانیکی ۱۹
- ۴-۴ - کانتیلور چیست ؟ ۱۹
- ۵-۴ - رایج ترین سیستم های قرائت ۲۱

فصل پنجم: نتیجه گیری

- ۱-۵ - نتیجه گیری ۲۴

- مراجع ۲۶

چکیده

حسگر وسیله‌ای است که به کمک آن می‌توان تغییرات شیمیایی و فیزیکی را در ابعاد مختلف اندازه‌گیری نموده و پس از تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی، تغییرات را اندازه‌گیری نمود. مواد گوناگونی در ساخت نانوحسگرها مانند ذرات فلزی، نانو لوله‌ها و نانو ذرات مغناطیسی استفاده می‌شود. بدلیل اهمیت فراوان حسگرها، با پیشرفت علم، گستره عملکرد این حسگرها در ابعاد نانو اهمیت زیادی یافته است. نانوحسگرها از دقت و کارایی بالاتری برخوردار هستند به گونه‌ای که میزان حساسیت آن‌ها به تغییرات بسیار بالاتر از حسگرها می‌باشد. نانو حسگرها در زمینه‌های مختلف همچون پزشکی، صنایع دفاع و زمینه‌های دیگر کاربردهای فراوانی دارند.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- حسگر و نانو حسگر چیست ؟

حسگر یک وسیله الکتریکی است که تغییرات فیزیکی یا شیمیایی را اندازه گیری می کند و آن ها را به سیگنال های الکتریکی تبدیل می نماید. حسگرها درواقع ابزار ارتباط ربات با دنیای خارج و کسب اطلاعات محیطی و نیز داخلی می باشند و یا به طور کلی ابزارهایی هستند که تحت شرایط خاص از خود واکنش های پیش بینی شده و مورد انتظار نشان می دهند. شاید دماسنج را بتوان جزء اولین حسگرهایی که بشر ساخت به حساب آورد. با توجه به وجود آمدن وسایل الکترونیکی و تحولات عظیمی که در چند دهه اخیر و در خلال قرن بیستم به وقوع پیوسته است، امروزه نیاز به ساخت حسگرهای دقیق تر، کوچک تر و با قابلیت های بیشتر احساس می شود.

اندازه گیری دقیق پارامترها در مقیاس بسیار ریز (نانو)، از قبیل تغییرات فیزیکی یا حضور گونه های

شیمیایی مستلزم استفاده از حسگرهایی در مقیاس نانو است. نانو حسگرهای از عناصر حسگری در مقیاس نانو استفاده می کنند که حساسیت این نوع از نانو مواد به حد کافی بالا می باشند. همچنین موادی که از نانو حسگرها ساخته می شوند بایستی دوام و استحکام بالا و خواص الکتریکی خوبی داشته باشند. با پیشرفت علم در دنیا و پیدایش تجهیزات الکترونیکی و تحولات عظیمی که در چند دهه ی اخیر و در خلال قرن بیستم به وقوع پیوست، نیاز به ساخت حسگرهای دقیق تر، کوچکتر و دارای قابلیت های بیشتر احساس شد. حسگرهایی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرند، دارای حساسیت بالایی هستند به طوری که به مقادیر ناچیزی از هر گاز، گرما یا تشعشع حساسند. بالا بردن درجه حساسیت، بهره و دقت این حسگرها نیاز به کشف مواد و ابزارهای جدید دارد. با آغاز عصر نانو فناوری، حسگرها نیز تغییرات شگرفی داشته اند.

۱-۲- انواع نانو حسگرها

نانوحسگرها انواع مختلفی دارند که شامل حسگرهای شیمیایی و سنتزی می باشد.

۱-۲-۱- حسگرهای شیمیایی

این حسگرها می توانند دردمای اتاق غلظت های بسیار کوچکی از مولکول های گازی را با حساسیت بسیار بالا آشکارسازی کنند. حسگرهای شیمیایی گازی برای مثال شامل مجموعه ای از نانولوله های تک دیواره هستند و می توانند مواد شیمیایی مانند دی اکسید نیتروژن و آمونیاک را آشکارکنند. این نوع حسگرها در فصل ۳ مورد بحث قرار می گیرند.

۱-۲-۲- حسگرهای سنتزی

این نانوحسگرها از طریق اتصال ذرات خاص به انتهای نانولوله های کربنی و محاسبه فرکانس ارتعاشی در حضور یا بدون حضور ذرات تهیه می شوند. این نانوحسگرها اغلب برای شناسایی و کنترل واکنش های شیمیایی توسط ذرات نانو استفاده می شوند. در تقسیم بندی دیگری که بر اساس نوع ساختار صورت می گیرد، این حسگرها به سه دسته نانولوله های کربنی، نقاط کوانتومی و نانو ابزارها تقسیم می شوند.

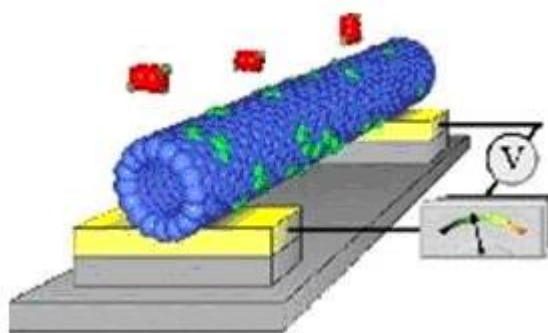
۱-۳- روش های تهیه نانوحسگر

در حال حاضر چند راه برای تولید نانوحسگرها وجود دارد. از این دست لیتوگرافی به عنوان شیوه ای بالا به پایین در اکثر مدارهای مجتمع به کار می رود. این روش شامل شروع از یک بلوک بزرگ تر از برخی مواد و کنده کاری کردن و ایجاد فرم مورد نظر است.

راه دیگر برای تولید نانوحسگر روش‌های از پایین به بالاست که شامل سامان یافتن^۱ حسگر از اجزای کوچک‌تر، به احتمال زیاد اتم‌ها و مولکول‌ها است. این امر شامل حرکت اتم‌های یک ماده خاص به موقعیت خاص است که توسط بررسی‌های آزمایشگاهی با استفاده از ابزارهایی مانند میکروسکوپ اتمی بدست می‌آید.

راه سوم شامل استفاده از نانوساختارهای خاص است که بتوان به عنوان حسگر استفاده کرد. یکی از مواد مورد استفاده در ساخت حسگرها، نانو لوله‌ها خواهند بود. با نانو لوله‌ها می‌توان، هم حسگر شیمیایی و هم حسگر مکانیکی ساخت. به خاطر کوچک و نانومتری بودن ابعاد این حسگرها، دقت و واکنش آن‌ها بسیار زیاد خواهد بود، به گونه‌ای که حتی به چند اتم از یک گاز نیز واکنش نشان خواهند داد.

جهت ساخت حسگر گاز با پایه ی نانو لوله ی کربنی می‌توان نانو لوله‌ها را روی زیر پایه رشد داد یا با استفاده از نانو لوله‌های آماده و بکارگیری روش‌هایی مانند اعمال جریان الکتریکی آن‌ها را روی زیر پایه قرار داد. در سال ۲۰۰۲، ویکتور و همکارانش سه نوع الکتروود میکرونی با شکل‌های مختلف، توسط فرآیندهای متفاوت روی زیر پایه شیشه‌ای ساختند و با اعمال جریان سعی کردند نانو لوله‌های کربنی را بین الکتروودها بنشانند. از آن‌جا که چسبندگی طلا به شیشه کم است از نیکل برای زیرطلا استفاده شد. مقدار ۱۰ میلی گرم نانو لوله‌های کربن چند دیواره در ۵۰۰ میلی لیتر اتانول پخش شده و ۱۰ میکرولیتر با روش تعلیق به روی شیشه منتقل می‌گردد. در اثر اعمال جریان AC با فرکانس ۱ مگاهرتز، اتانول در ۲۰ ثانیه تبخیر می‌شود. نانو لوله‌های کربن چند دیواره بین دو الکتروود قرار گرفته و مقاومت ۱۲ کیلو اهم را نشان دادند. قرار گرفتن نانو لوله‌های کربنی چند جداره بین الکتروودهای طلا تشکیل اتصال به فاصله‌ی بین دو الکتروود بستگی دارد.



شکل ۱-۱- استفاده از نانولوله‌ها در تولید نانوحسگرها

طبق مشاهدات، در فاصله‌ی بیشتر از ۲۵ میکرومتر با فرکانس بین ۱۰۰ هرتز تا ۱ مگاهرتز هیچ اتصالی تشکیل نمی‌شود. برای فاصله‌ی بین ۱۰ تا ۱۵ میکرومتر، اتصال نانو لوله‌های کربن چند دیواره در

^۱ . Montage

همین محدوده‌ی فرکانس ایجاد شده است. مقاومت های حاصل نیز ۱۵۸، ۶۰ و ۷۸ کیلو اهم می باشند. شکل الکترودها نیز در تشکیل اتصال مؤثر است. حالت مربعی ایده آل است زیرا فاصله‌ی بین الکترودها در سرتاسر آن ثابت بوده و میدان الکتریکی یکنواختی اعمال می شود.

فصل دوم

کاربرد نانو حسگرها

در این فصل به برخی از کاربردهای مهم نانو حسگرها اشاره می شود.

۲-۱- نانولوله های کربنی و نانوسیم ها برای شناسایی باکتری و ویروس

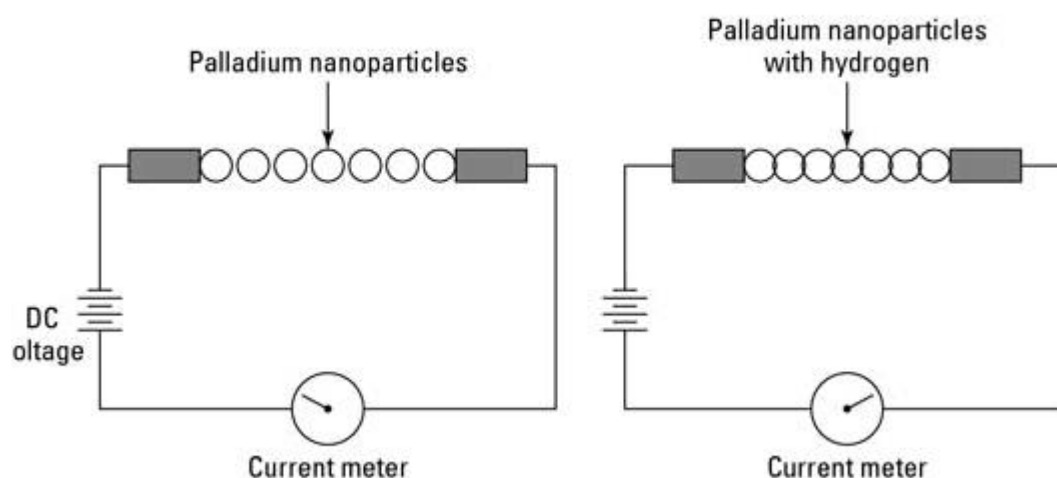
این مواد اغلب می توانند برای شناسایی باکتری یا ویروس استفاده شوند. ابتدا نانولوله کربنی با اتصالات آنتی بادی (Antibody) عامل دار می شود. وقتی که باکتری یا ویروس با آنتی بادی پیوند برقرار می کند هدایت نانولوله تغییر می یابد. در روش دیگر نانولوله به فلز متصل می شود و یک ولتاژ از آن عبور می کند. وقتی یک باکتری یا ویروس با نانولوله پیوند برقرار می کند، جریان تغییر می یابد و یک سیگنال تولید می شود.

۲-۲- نانوحسگرهای مولکولی مکانیکی

این وسیله جهت توسعه حسگرهایی که قادر به تعیین یک مولکول هستند استفاده می شوند. در این حسگرها وقتی که مولکول مورد تجزیه بر نوسانگر کانتیور قرار می گیرد، در فرکانس رزونانسی کانتیلیور

تغییر ایجاد می شود. پوشش دادن کانتیور با مولکول های پذیرنده ای مانند آنتی بادی ها (که می توانند به صورت اختصاصی با باکتری، ویروس یا برخی زیست مولکول ها پیوند برقرار کنند)، کارآیی سامانه را افزایش می دهد.

در شکل ۲-۲ نیز مثالی از نانوحسگر برای شناسایی مولکول هیدروژن ارائه شده است. در حضور گاز هیدروژن تغییر ولتاژ مشاهده می شود.



شکل ۲-۲

۳-۲- نانوحسگرهای زیستی

نانوحسگرهای زیستی معمولاً الکترودهای بسیار کوچکی در اندازه نانومتری و ابعاد سلولی هستند که از طریق تثبیت آنزیم های خاصی روی سطح آنها، نسبت به تشخیص گونه های شیمیایی یا زیستی مورد نظر در سلول ها حساس شده اند. از این حسگرها برای آشکارسازی و تعیین مقدار گونه ها در سیستم های زیستی استفاده می شود. این تکنیک، روش بسیار مفیدی در تشخیص عبور بعضی مولکول ها از دیواره یا غشای سلولی است.

۴-۲- حسگرها با استفاده از نانوسیم های نیمه هادی برای تعیین عناصر

این حسگرها قادر به تعیین یک گستره وسیع از بخارهای شیمیایی هستند. وقتی که پیوند مولکولی بین گاز مورد تجزیه و نانوسیم های ساخته شده از مواد نیمه رسانا برای مثال اکسید روی (ZnO) ایجاد می شود، هدایت سیم تغییر می کند. مقدار تغییر هدایت نانو سیم به میزان اتصال مولکول به سطح

نانوسیم بستگی دارد. برای مثال، گاز دی اکسید نیتروژن هدایت نانو سیم را کاهش می دهد و منواکسید کربن هدایت را افزایش می دهد.

۲-۵- نانو لوله های کربنی به عنوان حسگر گاز

برای تشخیص گازهای شیمیایی ابتدا نانولوله کربنی را با پیوند دادن به یک فلز برای مثال طلا عامل دار می کنند. مولکول گاز با فلز پیوند برقرار کرده و این باعث تغییر در هدایت نانولوله کربنی می گردد.

۲-۶- استفاده در پزشکی

معروفترین مثال از نانوحسگرها که در پزشکی استفاده می شود کادمیم سلنید (CdSe) می باشد. این ترکیب برای تشخیص تومورهای سرطانی با استفاده از ویژگی فلورسانس عمل می کند. همچنین از میان این حسگرها می توان به حسگر برپایه نانوسیم ها اشاره کرد که آسیب های ناشی از تشعشع را در فضاوردان تشخیص می دهد. این نانوحسگرها در سلول های خونی قرار داده می شوند.

۲-۷- کاربرد نانوحسگرها در پارچه های هوشمند

نانو لوله های کربنی جهت تهیه حسگرها در پارچه ها استفاده می شوند. از آنجا که ماهیت نانولوله ها توخالی می باشد، تحت فشار خارجی قطر نانولوله ها تغییر می کند. با سنجش این فشار شعاعی، فشار وارد شده برروی نانو لوله ها قابل اندازه گیری است.

همچنین از نانولوله های کربنی جهت ساخت حسگر حرارتی جهت استفاده در پارچه های هوشمند استفاده شده است. با تغییرات دمایی قطر و طول لوله تغییر می کند. همچنین ضریب انبساط حرارتی نانو لوله های کربنی تک دیواره در جهت محوری و شعاعی متفاوت هستند و وابسته به دما می باشد.

فصل سوم

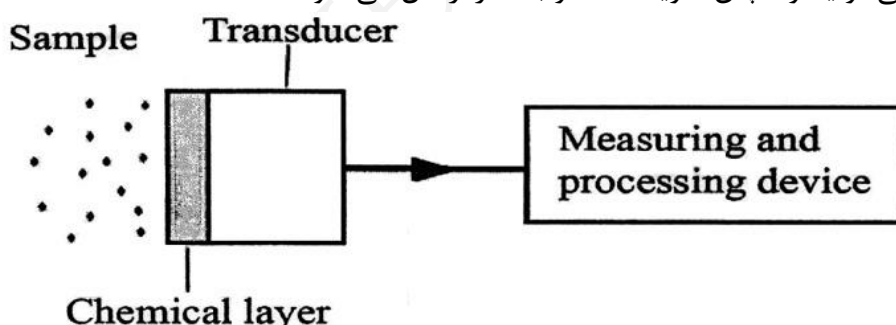
حسگرهای شیمیایی

حسگر شیمیایی یک دریافتگر حسی است که محرک‌های شیمیایی خاصی را در محیط تشخیص می‌دهد. استفاده از حسگرهای شیمیایی یکی از پیشرفته‌ترین روش‌ها در شیمی تجزیه محسوب می‌شود که اندازه‌گیری کمی گونه‌های مختلف را به صورت آنی ممکن می‌سازد. فن آوری الکترونیکی و نوری موجود، این ابزارها را گسترده‌تر کرده است. در طراحی یک حسگر دانشمندان علوم مختلف مانند بیوشیمی، بیولوژی، الکترونیک، شاخه‌های مختلف شیمی و فیزیک حضور دارند. قسمت اصلی یک

حسگر شیمیایی یا زیستی عنصر حسگر آن می باشد. عنصر حسگر در تماس با یک آشکارساز است. این عنصر مسئول شناسایی و پیوند شدن با گونه ی مورد نظر در یک نمونه ی پیچیده است. سپس آشکارساز، سیگنال های شیمیایی را که در نتیجه ی پیوند شدن عنصر حسگر با گونه ی مورد نظر تولید شده را به یک سیگنال خروجی قابل اندازه گیری تبدیل می کند. حسگرهای زیستی بر اجزای بیولوژیکی نظیر آنتی بادی ها تکیه دارند. آنزیم ها، گیرنده ها یا کل سلول ها می توانند به عنوان عنصر حسگر مورد استفاده قرار گیرند.

۱-۳- مکانیزم حسگر شیمیایی

حسگرهای شیمیایی شامل لایه حس کننده ای هستند که در اثر برهمکنش گونه شیمیایی (آنالیت) با این لایه، سیگنال الکتریکی ایجاد می شود. سپس این سیگنال تقویت و پردازش می شود. بنابراین عمل حسگرهای شیمیایی شامل دو مرحله اصلی است که عبارتند از: تشخیص و تقویت. به طور کلی وسیله ای که انجام این فرایند را بر عهده دارد، حسگر شیمیایی نامیده می شود. این وسیله اطلاعات مربوط به ترکیب شیمیایی محیط عمل خود را جمع آوری و به صورت سیگنال نوری یا الکتریکی به پردازشگر منتقل می کند. شکل ۱-۳ مکانیزم عمل یک حسگر شیمیایی را نشان می دهد. یک مثال عینی از این حسگرها در طبیعت، بینی انسان است که در آن با برخورد مولکول های مواد به سلول های عصبی، سیگنال عصبی تولید و سپس تقویت شده و به مغز ارسال می شود.



شکل ۱-۳- مکانیزم حسگر شیمیایی

به طور ایده آل یک حسگر شیمیایی مستقیماً در تماس با نمونه قرار می گیرد و نتایج مناسب را در زمان

کم، دقت و گزینش پذیری^۱ بالا عرضه می کند. معمولاً حس می شود تا یک حسگر نیازی به نمونه برداری، رقیق سازی^۲، افزایش واکنشگر^۳ نداشته باشد. سادگی استفاده از این حسگرها سبب شده است تا در زمینه های گوناگون از آنها استفاده شود. در شیمی بالینی، کنترل عوامل بیماری هایی نظیر دیابت، تشخیص و ردیابی گازهای خاص مانند اکسیژن و منوکسید کربن و غیره کاربرد دارند. از ویژگی های مهم حسگرهای شیمیایی، امکان ساخت آنها در اندازه های بسیار کوچک است. این کوچک شدن امکان اندازه گیری گونه های مختلف را حتی در سلول های بدن موجودات زنده فراهم می کند.

۲-۳- انواع حسگرهای شیمیایی

حسگرهای شیمیایی را براساس مبدل به کار رفته برای تبدیل تغییر شیمیایی به یک سیگنال قابل پردازش، به چهار دسته تقسیم بندی می کنند: حسگرهای گرمایی، جرمی، حسگرهای الکتروشیمیایی (پتانسیومتری، آمپرومتری، هدایت-سنجی) و حسگرهای نوری.

۱-۲-۳- حسگرهای گرمایی

گرما از ویژگی های عمومی واکنش های شیمیایی است. بر این اساس، یک فاکتور فیزیکی مناسب برای حسگری، تشخیص و اندازه گیری تغییرات دمای ایجاد شده در حین انجام یک واکنش است که متناسب با تغییرات غلظت آنالیت می باشد. برای این کار فقط مقدار جزئی از محلول، برای کنترل دما نیاز است. واکنش های آنزیمی از جمله واکنش هایی هستند که می توان به عنوان واکنش های شیمیایی انتخابی برای تولید گرما به کار برد. به همین دلیل در اکثر حسگرهای گرمایی از آنزیم ها برای عمل حسگری استفاده شده است. ترانزیستورهای آنزیمی به دسته ای از این نوع حسگرها گفته می شود که در آنها برای گرماسنجی از سیستم های میان جریانی استفاده شده است. در این سیستم ها واکنش آنزیمی در یک ستون حاوی واکنشگر آنزیمی اتفاق می افتد و گرمای خروجی در پایان ستون و در محل خروج جریان نمونه و محلول اندازه گیری می شود.

در ساخت حسگرهای گرمایی از دو نوع ردیاب گرمایی استفاده می شود. از بین این ردیاب ها، ترمیستور^۴ کاربرد بیشتری دارد. پیروالکتریک ها^۵ نوع دیگر مبدل های بکار رفته در حسگرهای گرمایی هستند که حساسیت بسیار بالایی برای حسگری گرمایی دارند. با استفاده از آنها می توان گرمای جذب شده توسط

^۱ . Selectivity

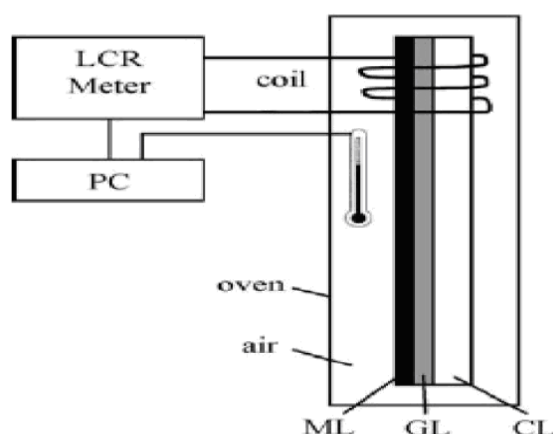
^۲ . Dilution

^۳ . Reagent

^۴ . Thermistor

^۵ . Pyroelectric

لایه گاز را ردیابی کرد. نوع دیگر حسگرهای گرمایی ریزحسگرهای زیستی ساخته شده از تراشه سیلیکونی هستند که حساسیت بیشتری نسبت به حسگرهای ترمیستور معمولی دارند. از جمله کاربردهای حسگرهای گرمایی می توان موارد زیر را نام برد: تعیین کلسترول، اندازه گیری خواص کاتالیزوری سل های تثبیت شده، کنترل فرایندهای زیستی، اندازه گیری آب در مواد غذایی. شکل ۲-۳ یک حسگر گرمایی را نشان می دهد. [۱]



شکل ۲-۳- حسگر گرمایی با لایه دوگانه

۲-۲-۳- حسگرهای جرمی

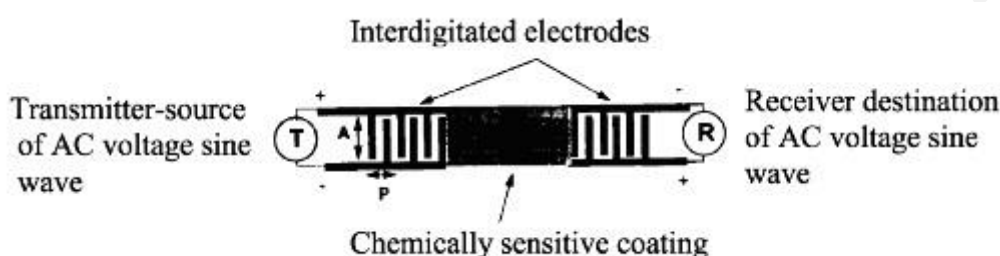
از اندازه گیری تغییر جرم نیز همانند اندازه گیری گرمای حاصل از یک واکنش، می توان به عنوان معیار مناسبی برای حسگرهای شیمیایی استفاده نمود. این ویژگی را می توان برای واکنش هایی استفاده کرد که به دلیل خروج یک واکنشگر کاتالیزستی انتخابی، تغییری در جرم خالص ایجاد می شود. این حسگرها دارای دو ویژگی مهم هستند، اول این که از آن ها می توان در فاز مایع استفاده کرد و دوم این که به دلیل کاربرد در فاز گازی برای کاربردهای ایمنی سنجی استفاده می شوند.

دو نوع عمده از حسگرهای جرمی وجود دارند که در نوع اول از نوسانگرهای توده ای پیزوالکتریک^۱ و در نوع دوم از امواج آکوستیک سطحی^۲ استفاده می شود. به طور کلی در ساخت نوسانگر می توان از کوارتز و پلی وینیل فلوریدین استفاده کرد. کوارتز متداول ترین ماده ای است که برای نوسانگرهای توده ای مثل ریزترازوی کریستال (Crystal Microbalance) بکار می رود. کوارتز دارای بلورهای نامتجانسی است که

^۱ . Piezoelectric

^۲ . Surface Acoustic Waves

فاقد مرکز تقارن هستند و هنگامی که تحت تأثیر یک میدان الکتریکی قرار می گیرند از نظر مکانیکی تغییر شکل می دهند. در نتیجه با استفاده از یک پتانسیل الکتریکی نوسان کننده، بلور به طور مکانیکی مرتعش می شود. هر بلور دارای یک فرکانس ارتعاشی رزونانس است که می تواند تحت تأثیر محیط خود تنظیم شود. فرکانس معمولی این ارتعاش در حدود 10 MHz می باشد. در عمل فرکانس ارتعاش یک بلور پیزوالکتریک متناسب با جرم بلور و سایر مواردی است که سطح بلور را می پوشانند [۲]. علاوه بر بلورهای کوارتز از مواد دیگری مثل پلی وینیل فلوریدین به صورت آرایه مجتمع نیز استفاده می شود. شمایی از یک حسگر جرمی در شکل ۳-۳ دیده می شود.



شکل ۳-۳- حسگر جرمی نوع SAW

۳-۲-۳- حسگرهای نوری شیمیایی

حسگرهای نوری شیمیایی از جمله جوان ترین حسگرهای شیمیایی هستند. دلایل متعددی برای توجه زیاد به این حسگرها وجود دارد :
وسایل نوری لازم جهت استفاده در این حسگرها قبلاً توسعه یافته اند و به راحتی قابل استفاده در حسگرهای شیمیایی می باشند. کاربرد زیادی برای کنترل فرایندها از راه دور دارند که کاربرد آنها را ایمن تر می کند. می توان آنها را در اندازه های کوچک ساخت و حتی در نوک یک فیبر نوری قرار داد.
حسگرهای نوری شیمیایی مانند حسگرهای الکتروشیمیایی از دانش وسیع طیف سنجی (Spectroscopy) استفاده می کنند که به راحتی قابل تبدیل برای حسگرهای راه دور هستند. از حسگرهای نوری به صورت های مختلف نظیر اندازه گیری جذب، فلورسانس و لومینسانس در گستره وسیعی از طول موجها

استفاده می شود. [۳]

۳-۲-۴- حسگرهای الکتروشیمیایی

قدیمی ترین و بزرگترین گروه حسگرهای شیمیایی، حسگرهای الکتروشیمیایی هستند. پاسخ ایجاد شده در این حسگرها، از برهمکنش بین شیمی و الکتریسیته ناشی می شود. حسگرهای الکتروشیمیایی را به سه دسته تقسیم می کنند:

- حسگرهای پتانسیومتری (اندازه گیری ولتاژ سل)
- حسگرهای آمپرومتری (اندازه گیری جریان سل)
- حسگرهای هدایت سنجی (اندازه گیری هدایت).

۳-۳- مواد مورد استفاده در ساخت حسگرهای شیمیایی

مواد مورد استفاده در ساخت حسگرها را می توان به دو دسته کلاسیک و پلیمر تقسیم بندی کرد.

۳-۳-۱- پلیمرها

مواد پلیمری در دهه گذشته به میزان بسیار وسیعی در زمینه تکنولوژی ساخت حسگرها به کار برده شده اند. در ساخت چنین حسگرهایی از یک بافت پلیمری استفاده می شود. یک ترکیب دارای خواص نوری به عنوان ماده حس کننده در داخل زمینه پلیمر (حسگر توده ای) و یا در روی سطح آن (حسگر سطحی) تثبیت می شود. لذا پلیمر تنها نقش نگه دارنده واکنش گر و یا یک بستر جامد را به عهده دارد. در این حسگرها، غشاء پلیمری به کار رفته علاوه بر نگه داشتن شناساگر در یک مکان مشخص و ثابت، نقش های دیگری نیز بر عهده دارد. خواص نفوذپذیری غشاء می تواند سبب دفع سایر گونه ها یا یون هایی شود که به عنوان مزاحم محسوب می شوند.

۳-۳-۲- مواد کلاسیک

اساس کار حسگرهای حالت جامد^۱ پاسخ الکتریکی به محیط شیمیایی است. به عنوان مثال خواص الکتریکی با حضور فاز مایع یا گاز تغییر می کند. این تغییرات برای تشخیص گونه های شیمیایی به کار می رود. اگرچه حسگرهای شیمیایی سیلیکونی مثل FET^۲ توسعه یافته اند، اما قیمت و تکنولوژی مورد نیاز برای ساخت آن ها و نیز مشکلاتی نظیر تکرارپذیری، پایداری، حساسیت و انتخابگری، باعث شده است

^۱ Solid State

^۲ Field Effect Transistor

تا کاربرد آن‌ها همچنان محدود باشد. [۴]

فصل چهارم

حسگرهای زیستی^۱

نانوحسگرهایی که بخش اصلی حسگر در آن‌ها ماهیت زیستی داشته باشند، با نام نانوحسگر زیستی شناخته می‌شوند.

۴-۱- حسگر زیستی چیست ؟

^۱ . Nano-Biosensor

حسگرهای زیستی ابزارهای تجزیه ای هستند که دارای سه جزء اصلی عنصر زیستی، مبدل و سیستم قرائت می باشند. عضو زیستی از گزینش پذیری بالایی برای برهم کنش زیستی و آشکارسازی آنالیت (ماده مورد تجزیه) برخوردار است. مبدل فیزیکی (Transducer) پدیده شناسایی را به یک اثر قابل اندازه گیری مانند سیگنال الکتریکی، نشر نوری یا حرکت مکانیکی تبدیل می کند. این اثر در نهایت توسط سیستم قرائت اندازه گیری می شود. نانوکانتیلورها و میکروکانتیلورها می توانند تعدادی از پدیده ها نظیر تغییرات جرم، دما، گرما، فشار و رطوبت را به انحراف (شیوه استاتیک) یا تغییر در فرکانس رزونانسی (شیوه دینامیک) تبدیل کنند. کانتیلورها در ساختمان زیست حسگرها بعنوان مبدل سیگنال شیمیایی به حرکت مکانیکی با حساسیت بالا بکار می روند. کلید استفاده از میکروکانتیلورها برای آشکارسازی گزینشی مولکول ها قدرت عامل دار کردن سطح کانتیلور است. نانوساختارهای مختلفی در ساخت نانوحسگرهای زیستی استفاده می شوند که بعضی از آن ها عبارتند از: نانوذرات، نقاط کوانتومی، نانولوله ها، نانوفیبرها و نانو سیم ها.[۵]

۴-۲- اجزای اصلی زیست حسگر

همانطور که ذکر شد، حسگرهای زیستی ابزارهای تجزیه ای هستند که دارای سه جزء اصلی عنصر زیستی، مبدل^۱ و سیستم قرائت^۲ می باشند. در حسگرهای زیستی، عضو زیستی با روش های مختلف روی مبدل تثبیت^۳ شده است. این عضو زیستی از گزینش پذیری بالایی برای برهم کنش های زیستی و آشکارسازی آنالیت برخوردار است در سیستم های زیستی بین گیرنده و لیگاند مربوط به آن ارتباط اختصاصی وجود دارد که نمونه جالب آن رابطه کاملاً اختصاصی بین آنزیم و پیش ماده^۴ آن می باشد. بدین معنا که آنزیم فقط پیش ماده خاص خود را می پذیرد و واکنش موردنظر را تنها بر روی پیش ماده ویژه کاتالیز می کند. این ویژگی از تطابق ساختار جایگاه فعال آنزیم (Active site) با ساختار پیش ماده ناشی می شود. مبدل فیزیکی پدیده شناسایی را به یک اثر قابل اندازه گیری مانند سیگنال الکتریکی، نشر نوری یا حرکت مکانیکی تبدیل می کند. این اثر در نهایت توسط سیستم قرائت اندازه گیری می شود.

معمول ترین عضو زیستی در زیست حسگرها آنزیم ها، آنتی بادی ها، اندامک ها، گیرنده ها و اسیدهای نوکلئیک هستند که با اتصال ویژه به آنالیت موردنظر امکان تجزیه کمی و کیفی آن را فراهم می آورند. مبدل های معمول در ساخت زیست حسگرها شامل انواع نوری، الکتروشیمیایی، ترمومتری، پیزوالکتریک و ... می باشند که به ترتیب سیگنال ایجاد شده را به علایم نوری، الکترونیکی، تغییرات گرمایی و نوسانی تبدیل می کنند.

^۱ . Transducer

^۲ . Read out System

^۳ . Immobilize

^۴ . Substrate

این حسگرها بر مبنای نوع جزء زیستی، نحوه کار مبدل یا کاربرد آن‌ها تقسیم بندی می شوند.

۴-۳ - زیست حسگرهای نانومکانیکی

میکروکانتیلورها برای میکروزیست حسگرها و نانوزیست حسگرها بسیار امیدبخش هستند و از کانتیلورهای مورد استفاده در میکروسکوپ نیروی اتمی^۱ AFM مشتق می شوند. کانتیلورها سکوهایی فیزی در اندازه های نانو و میکرو می باشند و بر مبنای انحراف سکو و یا تغییر فرکانس رزونانسی حاصل از حضور آنالیت در سطح کانتیلور عمل می کنند.

زمانی که یک برهمکنش زیست مولکولی در سطح آن‌ها اتفاق می افتد میکروکانتیلور شناسایی مولکولی زیست مولکول ها را به اشارات نانومکانیکی ترجمه می کند که بطور رایج به یک سیستم قرائت نوری^۲ یا پیزورسیستيو^۳ بعنوان مبدل نیروی مکانیکی به جریان الکتریکی کوپل می شود. توسعه زیست حسگرهای مجتمع (Integrated) برای آشکارسازی همزمان گونه های مهم زیستی منجر به مفهوم زیست تراشه ها^۴ شده است که به عنوان بسترهای دارای میکرو آرایه های زیست پذیرنده ها^۵ تعریف می شوند. زیست تراشه های حاوی نانو و میکروکانتیلورها بعنوان عناصر حسگر به نیروی خارجی، نشان دار کردن (Labling) و مولکول های فلورسان نیاز ندارند.[۶]

امروزه طیفی از حسگرهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی قرار گرفته روی سکوی کانتیلور مورد مطالعه هستند. اگر چه آشکارسازهای منفرد بر مبنای کانتیلورها توسعه یافته اند ولی یک آرایه (Array) از چنین حسگرهایی می تواند اطلاعات فزاینده ای فراهم کند که توسط ابزارهای منفرد قابل دسترسی نیستند. حسگرهای میکروکانتیلور چندعاملی^۶ با تنوعی از پوشش ها امکان اندازه گیری مخلوطی از بخارات را با حساسیت بالا فراهم می کنند. تنوعی از پوشش ها و ضخامت ها می توانند برای آشکارسازی بخارات شیمیایی بکار روند. پاسخ آرایه می تواند برای شناسایی مخلوطی از اجزای شیمیایی بکار رود. استفاده از آرایه ها روی یک تراشه و بدست آوردن مجموعه ای از اطلاعات سبب سهولت نصب و ساخت، استفاده سیار از سیستم، کاهش هزینه و نیرو در طیف وسیعی از کاربردها از صنعت تا محیط زیست را فراهم می کند.

۴-۴ - کانتیلور چیست؟

^۱ . Atomic Force Microscopy

^۲ . Optical Readout System

^۳ . Piezo-Resistive Readout System

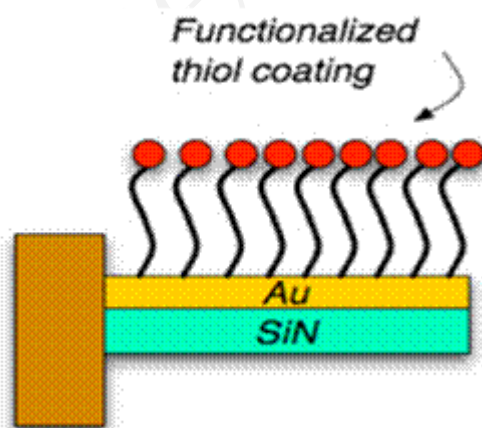
^۴ . Biochip

^۵ . Bioreceptor

^۶ . Multifunctional

کانتیلورها سکوهای فنری در اندازه های نانو و میکرو می باشند که از یک انتها متصل و از انتهای دیگر آزادند. اتصال ماده مورد اندازه گیری به گیرنده ویژه در سطح کانتیلور سبب خمیدگی یا تغییر فرکانس رزونانس در انتهای آزاد کانتیلور می گردد. انعطاف پذیری ذاتی همراه با دسترسی به تکنیک های طراحی شده برای نمایش خمیدگی، کانتیلورها را به ابزارهای قوی همه جانبه تبدیل کرده است. کانتیلورها نوعاً از Silicon یا مواد پلیمری ساخته می شوند که محدوده ابعاد آنها از دهها تا صدها میکرومتر طول و چند ده میکرومتر عرض و صدها نانومتر ضخامت می باشد. همچنین کانتیلورها می توانند بصورت آرایه هایی شامل ده تا هزاران کانتیلور باشند که جایگزین مناسبی برای تراشه های پروتئین و DNA رایج هستند. حساسیت کانتیلور به شدت تابع ثابت فنر می باشد. هر چه ثابت فنر پایین تر باشد حساسیت اندازه گیری بر مبنای روش استاتیک در مایعات بالاتر است. عامل کلیدی که شدیداً ثابت فنر کانتیلور را متأثر می کند ضریب یانگ است که مستقیماً با خواص ماده کانتیلور ارتباط دارد. کانتیلورهای ساخته شده از سیلیکون یا مواد مرتبط ضریب یانگ بالایی دارند اما کانتیلورهایی که از مواد نرم تر ساخته می شوند برای اندازه گیری انحراف استاتیک بسیار حساس خواهند بود. بنابراین پلیمرها با ضریب یانگ خیلی کمتر از سیلیکون بعنوان ماده جایگزین برای ساخت کانتیلورها استفاده می شوند. بین پلیمرها SU-8 بسیار حساس می باشد که ثابت یانگ حدود ۴۰ برابر کمتر از سیلیکون نشان می دهد. استفاده از این مواد ساخت کانتیلورها را ارزان، سریع و قابل اطمینان می سازد [۲].

اصلاح شکل و ابعاد کانتیلورها می تواند ثابت فنر را بهبود بخشد. هر چه کانتیلور طولانی تر و نازکتر باشد ثابت فنر کوچک تر و کارایی بهتر خواهد بود.



شکل ۴-۱- ساختار کانتیلور سیلیکون نیتريد با پوشش طلا

پیشرفت های آینده بهینه سازی ابعاد و شکل کانتیلور را برای رسیدن به کارایی های ویژه شامل می شود. حساسیت فشاری، جرمی و دمایی حداکثری، استفاده از آرایه کانتیلورهای موازی که با معدل گیری از نتایج آنها نسبت S/N (نسبت پاسخ حسگر به مولکول هدف (سیگنال) به پاسخ های بی هدف (نویز) که

هرچه بیشتر باشد کارایی حسگر مطلوب تر است) افزایش می یابد، آنالیزهای چندگانه با کانتیلورهای با پذیرنده‌های مختلف، ساده تر کردن قسمت‌های مختلف و تجمع آن‌ها از این دسته‌اند.

استفاده‌های جاری از زیست حسگرها به دنبال ابزارهایی است که قادر باشند توسط هر کس در هر جایی و برای آزمایش هر چیزی در زمان واقعی و با هزینه جزئی عمل کنند. برای قابل حمل بودن زیست حسگرها، حذف اثرات محیط و خودکارسازی عملکرد زیست حسگر ضروری است. [۷]

جهت گیری‌های بعدی در زیست حسگرهای نانومکانیکی، عمدتاً متوجه راه کارهای جدید ساخت در جهت افزایش پاسخ کانتیلور می باشد. یکی از موارد، کار روی مینیاتوریزه کردن کانتیلور تا مقیاس نانو می باشد. نانوکانتیلورها ثابت فنر بزرگی نشان می دهند و برای آشکارسازی خمیدگی ناشی از جذب سطحی کانتیلور نامناسب اند اما می توانند برای اندازه گیری‌های دینامیک با حساسیت بسیار بالا بکار روند. انتظار می رود نانوکانتیلورها آشکارسازی جرمی با حساسیت بسیار بالا فراهم کنند و نهایتاً به سطح تک مولکولی برسند همچنین روی ساختارهای نانو برای افزایش سطح فعال تمرکز می شود. پوشش سطح با نانوذرات طلا مثال هایی از این جهت گیری اند که بطور جدی ثابت فنر را کاهش می دهد و می تواند پاسخ کانتیلور را با توان دوم افزایش دهد. بعلاوه سطوح فعال گسترده تر نانوساختاری، تعداد سایت های پیوندی برای آنالیت را افزایش می دهند.

همراهی سامانه قرائت با کانتیلور سبب قابل حمل شدن مجموعه شده و کاهش در هزینه و افزایش در سرعت عمل را به همراه خواهد داشت. با این تکنیک S/N (نسبت سیگنال به نویز) افزایش یافته و حساسیت به مداخلات بیرونی کم می شود که امکان عملکرد مستقل از کنترل های بیرونی را فراهم می کند. با استفاده از کانتیلور رفرنس نیز می توان نویز در سیگنال خروجی را کاهش داد. در این حالت، حرکات کانتیلور آزمایشی در مقایسه با کانتیلور رفرنس بررسی می شود. کانتیلور رفرنس تنها تحت تاثیر محرک های خارجی ناخواسته به حرکت در می آید. [۸]

۴-۵- رایج ترین سیستم های قرائت

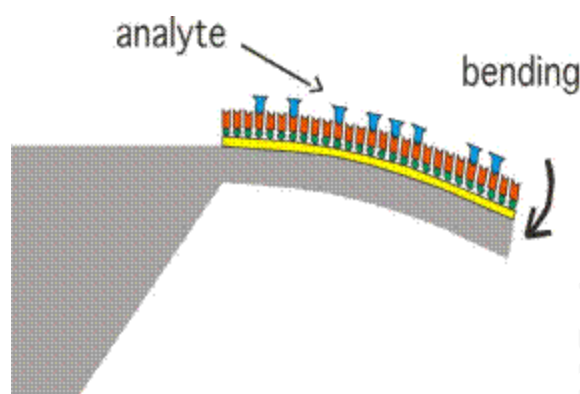
تکمیل یک سیستم قرائت با ظرفیت نشان دادن تغییرات با دقت nm ضروری است. برای این منظور روش های آشکارسازی استاتیک و دینامیک تأیید شده اند که بسیار حساس اند.

۴-۵-۱- روش استاتیک

انعطاف پذیری کانتیلور در این روش سبب می شود تا اتصال مولکول هدف به پذیرنده که بر سطح کانتیلور تثبیت شده منجر به انحراف و خمیدگی در کانتیلور شود. این شیوه اجازه می دهد حسگر تغییرات بی نهایت کوچک ناشی از جذب سطحی مولکولی را اندازه بگیرد. به این علت کانتیلورها زیست حسگرهای بسیار حساسی هستند و با تکنیک کانتیلور، آشکارسازی فشار سطحی تا حد ۴-۱۰ N/m

ممکن است. چنین اندازه گیری همچنین کمی و مرتبط با غلظت آنالیت موردنظر است. چندین تکنیک برای آشکارسازی خمیدگی کانتیلور بکار می روند که می توان مهم ترین آن ها را نام نام برد:

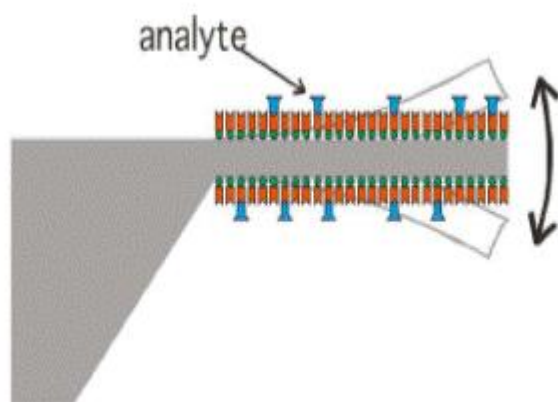
- روش های نوری
- مقاومت پیزو
- روش های خازنی



شکل ۴-۲- خمیدگی کانتیلور در حضور مولکول های تثبیت شده روی سطح

۴-۵-۲- روش دینامیک

در روش دینامیک، کانتیلور بطور مکانیکی در فرکانس رزونانسی خود تحریک می شود که اتصال آنالیت موجب جابه جایی این فرکانس رزونانسی می شود و توسط پل وتستون مجتمع با پیزورسیسیتو حس می شود. تغییرات در فرکانس رزونانسی می تواند با اندازه گیری نویز گرمایی کانتیلور آشکارسازی شود. هنگام کار در مایعات پیک رزونانس بسیار کمتر از هوا انتقال پیدا می کند که از اثر میرایی مایعات ناشی می شود. این فاکتور اندازه گیری های بر مبنای روش دینامیک را به شدت متاثر می کند. در نتیجه این روش برای نشان دادن فرآیندهای بیوشیمیایی در محیط آبی نسبت به روش استاتیک کارآمدی کمتری دارد. حسگرهای کانتیلور که در روش استاتیک عمل می کنند بعنوان شیوه ای برای سنجش های نانومکانیکی زیست مولکولی مفید ترند. برای رسیدن به حساسیت بالا هنگام کار با مایعات در روش دینامیک پیش فعال سازی کانتیلور با استفاده از تغییر زمینه الکتریکی، مغناطیسی یا صوتی ضروری است. بطور کلی حساسیت روش استاتیک دو تا سه برابر از روش دینامیک بیشتر است. [۹][۵]



شکل ۴-۳- رزونانس کانتیلور در حالت دینامیک

فصل پنجم

نتیجه گیری

نانوحسگر وسیله‌ای است بسیار ظریف و دقیق و حساس که می‌تواند به محرک‌های شیمیایی و فیزیکی واکنش نشان دهد و از این طریق اقدام به شناسایی تغییرات کند. نانو حسگرها در زمینه‌های مختلف همچون پزشکی، صنایع دفاع و زمینه‌های دیگر کاربردهای فراوانی دارند. حسگرهای شیمیایی و حسگرهای زیستی کاربردهای فراوانی در تشخیص‌های طبی، تجزیه‌های محیطی، تجزیه مواد غذایی و نظارت بر تولید برخی فرآورده‌ها به وجود آورده است. به عنوان نمونه حسگرها می‌توانند در تشخیص داروهای غیر مجاز، مواد سمی و عوامل جنگ‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرند. نانوحسگرها از دقت و کارایی بالاتری

برخوردار هستند به گونه ای که میزان حساسیت آن ها به تغییرات بسیار بالاتر از حسگرها می باشد. در تقسیم بندی نانو حسگرها می توان آن ها را به حسگرهای شیمیایی و سنتزی تقسیم بندی کرد. در یک نوع تقسیم بندی دیگر که بر اساس نوع ساختار میباشد، نانوحسگرها را به نانولوله های کربنی، نقاط کوانتومی و نانو ابزارها تقسیم بندی می کنند.

قسمت اصلی یک حسگر شیمیایی یا زیستی، عنصر حسگر آن می باشد. عنصر حسگر در تماس با یک آشکارساز است. عنصر حسگر مسئول شناسایی و پیوند شدن با آنالیت هدف در یک نمونه پیچیده است. سپس آشکارساز، سیگنال های شیمیایی که در نتیجه پیوند شدن عنصر حسگر با آنالیت تولید شده اند، به یک سیگنال خروجی قابل اندازه گیری تبدیل می کند.

در نوع دیگری از نانو حسگرها، نانو حسگرهای زیستی می باشند. این حسگرها از تکنولوژی زیست حسگری بهره می برند که فراتر از حسگرهای فیزیکی و شیمیایی می باشد. زیرا فرایندهای بیوشیمیایی و طبیعت محیط عمل از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. در کاربردهای زیست حسگری آشکارسازی معمولاً در محیط مایع (محلول) صورت می گیرد. جریان و اختلاط محلول ایجاد آشفتگی می کند و بر انحراف کانتیلور تأثیر می گذارد. بعلاوه یک تغییر تدریجی در انحراف مشاهده می شود که می تواند ناشی از فرایند آرام الکتروشیمیایی در سطح کانتیلور و بازآرایی های سطح حسگر باشد که معمولاً از چند لایه های مولکول های پیچیده نظیر پروتئین ها ایجاد می شود. استفاده از نانوفناوری در حسگرها و زیست حسگرها قابلیت مطلوب و مورد نیاز را فراهم آورده است.

در فصل ۴ در مورد کانتیلورها بحث شد. حساسیت کانتیلور به شدت تابع ثابت فنر می باشد، هر چه ثابت فنر پایین تر باشد حساسیت اندازه گیری بر مبنای روش استاتیک در مایعات بالاتر است. مهم ترین عاملی که سبب تغییرات ثابت فنر کانتیلورها می شود ضریب یانگ می باشد که مستقیماً با خواص ماده کانتیلور ارتباط دارد. کانتیلورهای ساخته شده از سیلیکون یا مواد مرتبط که ضریب یانگ بالایی دارند در روش دینامیک مناسب اند اما کانتیلورهایی که از مواد نرم تر ساخته می شوند برای اندازه گیری انحراف استاتیک بسیار حساس خواهند بود. به همین دلیل در ساخت کانتیلورها به روش استاتیک، از پلیمرها با ضریب یانگ خیلی کمتر از سیلیکون استفاده می شود. کانتیلورهای نازک تر و طولانی تر دارای ثابت فنر کمتری می باشند که این امر موجب افزایش کارایی آن ها می شود. یکی از کاربردهای کانتیلورها در بررسی سینتیک برهمکنش ها و تعیین غلظت آنالیت می باشد.

- [۱]. Kaniusas, E., Mehner, L. J. "Optimisation of sensitivity and time constant of thermal sensors based on magnetoelastic
- [۲]. Kaniusas, E., Mehner, L. J. "Optimisation of sensitivity and time constant of thermal sensors based on magnetoelastic amorphous bilayers", Alloy & Compounds, Vol.369, pp.198, (2004).
- [۳]. Hisamoto, H., Suzuki, K. "Ion-selective optodes: current developments and future prospects", Trends Analytical Chemistry, Vol.18, pp.513–524 (1999).
- [۴]. Madou, M. J., Morrison, S. R. "Chemical Sensing with Solid State Devices", Academic press, London, (1989).
- [۵]. L.G. Carrascosa, M. Moreno, M. A'lvarez, L.M. Lechuga, Nanomechanical biosensors: a new sensing tool, Analytical Chemistry, Vol. 25, No. 3, 2006.
- [۶]. A.R.A. Khaled, K. Vafai, M. Yang, X. Zhang, C.S. Ozkan, Analysis, control and augmentation of microcantilever deflections in bio-sensing systems, Sensors and Actuators B, Vol. 94, 2003
- [۷]. F. S. Ligler, Perspective on Optical Biosensors and Integrated Sensor Systems, Anal. Chem. Vol. 81, 2009
- [۸]. K.U. Kirstein, Y. Li, M. Zimmermann, C. Vancura, T. Volden, W. H. Song, J. Lichtenberg, and A. Hierlemann, Cantilever-Based Biosensors in CMOS Technology, Computer society, 2005
- [۹]. K. W. Wee, G. Y. Kang, J. Park, J. Y. Kang, D. S. Yoon, J. H. Park, T. S. Kim, Novel electrical detection of label-free disease marker proteins using piezoresistive self-sensing micro-cantilevers, Biosensors and Bioelectronics, Vol. 20, 2005