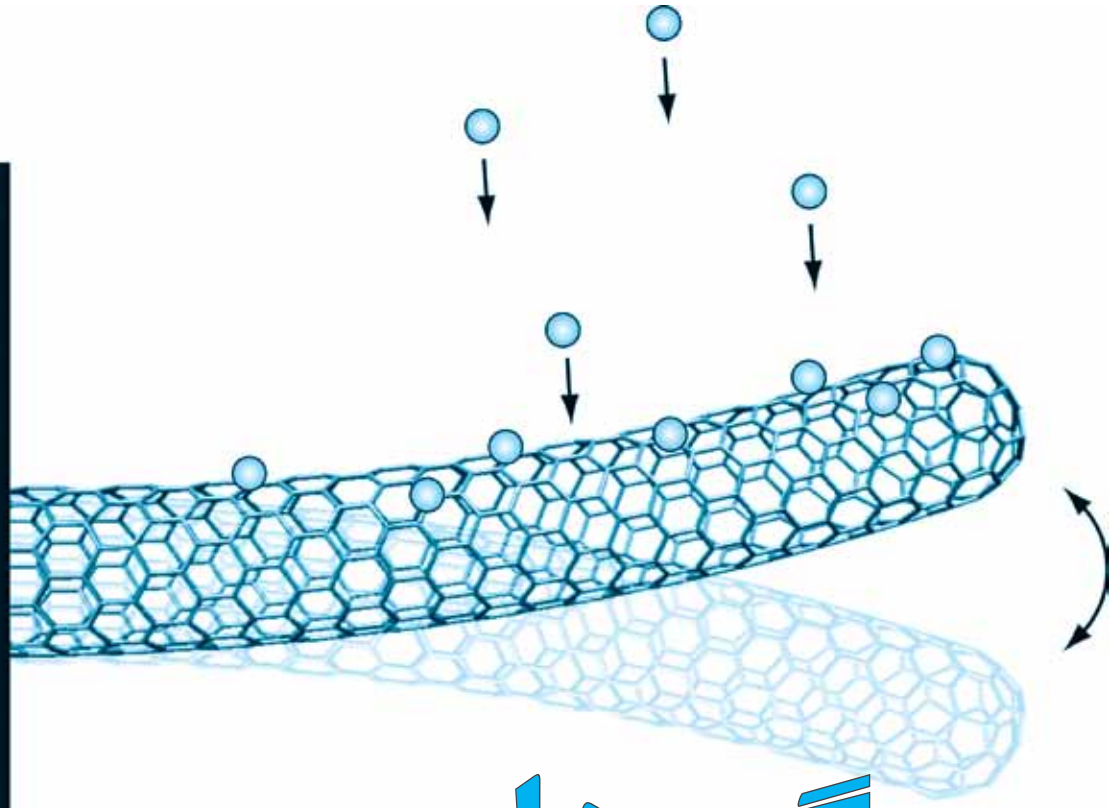


حسگرهای جرمی

ابزاری نو برای دنیایی متفاوت

دکتر منوچهر قنبری
گروه‌های آموزشی آموزش‌وپرورش ملارد

چکیده

اندازه‌گیری وزن از دیرباز مورد توجه انسان بوده است. چنان‌که ترازوهای دو کفه‌ای و شاهینی از قدیمی‌ترین اختراع بشر به‌شمار می‌روند. امروزه باسکول‌ها در مقیاس بزرگ و ترازوهای حساس دیجیتالی در مقیاس کوچک، در امور مختلف، از اقتصادی تا علمی ـ پژوهشی به‌کار می‌روند. در سال‌های اخیر ابزارهای جدیدی برای اندازه‌گیری جرم‌های بسیار اندک در حد نانوگرم، با استفاده از مواد پیزوالکتریک، گسترش یافته است. کوارتز یکی از این مواد پیزوالکتریک طبیعی است که در طراحی حسگرهای جرمی استفاده می‌شود. این حسگرها کاربرد گسترده‌ای در عرصه‌های مختلف صنعتی و علمی پیدا کرده‌اند.

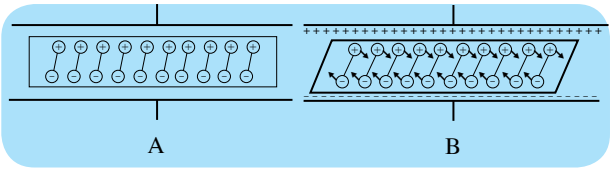
کلیدواژه‌ها

حسگرهای جرمی، مواد پیزوالکتریک، میکروترازوی کوارتز

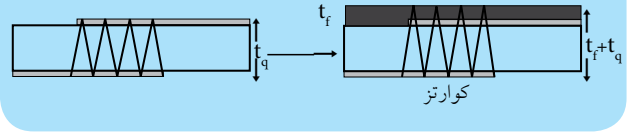
خاصیت پیزوالکتریک

خاصیت پیزوالکتریک توسط برادران کوری کشف شد. برخی مواد با شبکهٔ بلوری ویژه، اگر در فشار قرار بگیرند، دوقطبی‌های موجود در آن‌ها دچار جابه‌جایی می‌شود که حاصل آن، ایجاد یک میدان الکتریکی است. مواد طبیعی و مصنوعی زیادی دارای چنین خاصیتی هستند که از آن جمله می‌توان به کوارتز، باریم تیتانات، سرب تیتانات و پلی‌وینیلیدین فلورید اشاره کرد. در حالت وارونه، اگر به یک ماده پیزوالکتریک، یک میدان الکتریکی متناوب اعمال شود، شبکه بلوری آن دچار تنش می‌شود. در شکل ۱ پدیده یادشده، نمایش داده شده است. یکی از انواع تنش‌های ایجاد شده، ارتعاش‌هایی از نوع امواج بُرشی است که در ضخامت مادهٔ پیزوالکتریک، با فرکانسی در حد فرکانس امواج صوتی، انتشار می‌یابد. شکل ۲ الگوی انتشار این امواج را ـ درون یک لایهٔ پیزوالکتریک که میان دو الکترود، دربرگرفته شده است و یک جریان متناوب به آن‌ها اعمال می‌شود ـ نمایش می‌دهد.

جنس الکترودها معمولاً از طلا، نقره یا دیگر فلزهای بی‌اثر است.



شکل ۱ جابه‌جایی دوقطبی‌های شبکهٔ بلوری مواد پیزوالکتریک در اثر اعمال یک میدان



شکل ۲ الگوی انتشار امواج بُرشی و تغییر آن در اثر افزایش ضخامت لایهٔ پیزوالکتریک

کوارتز یکی از این مواد پیزوالکتریک طبیعی است که در طراحی حسگرهای جرمی، با نام عمومی QCM به معنی میکروترازوی کوارتز، استفاده می‌شود

فرکانس این نوع امواج به کمک این رابطه محاسبه می‌شود:

$$f_0 = \frac{v_{tr}}{2t_q} = \frac{\sqrt{\mu_q/\rho_q}}{2t_q}$$

که در آن f_0 فرکانس پایهٔ ارتعاشی موج تولید شده، v_{tr} سرعت انتشار موج، t_q ضخامت بلور، μ_q ضریب مربوط به جنس ماده و ρ_q چگالی آن است. با دقت در این رابطه، می‌توان دریافت که با ضخیم‌تر شدن لایهٔ پیزوالکتریک، فرکانس ارتعاش کاهش می‌یابد.

رابطهٔ زیر میزان این تغییر را نشان می‌دهد:

$$\frac{\Delta f_0}{f_0} = -\frac{\Delta m}{m_q} = -\frac{2f_0^2 \Delta m}{v_{tr}}$$

پس اگر به‌هر دلیلی، ضخامت لایه تغییر کند، فرکانس موج برشی هم تغییر خواهد کرد. اگر به‌جای ضخامت، جرم معادل را جایگزین کنیم، رابطهٔ مشهور سوربری به‌دست می‌آید که وابستگی تغییر فرکانس را به جرم نشان می‌دهد:

$$\Delta f_0 = -\frac{2f_0^2}{A\sqrt{\mu_q \rho_q}} \Delta m = C_f \Delta m$$

در این رابطه Δm، تغییر جرم، C_f ثابت معادله و A مساحت لایه موردنظر است. بنابراین ابزار یاد شده، یک حسگر جرمی است که میزان تغییر فرکانس آن نمایندهٔ یک جرم مشخص است که در سطح الکترود، قرار گرفته است. مقدار جرم می‌تواند در حدود نانوگرم و حتی کمتر از آن باشد. البته ماده مورد اندازه‌گیری باید به سطح الکترود محکم بچسبد تا موج تولید شده در مادهٔ پیزوالکتریک، بتواند درون آن نفوذ کرده، انتشار یابد. این حسگرها برای نخستین‌بار برای اندازه‌گیری مواد در فاز گازی به‌کار رفتند ولی با تغییراتی در طراحی آن‌ها، استفاده از آن‌ها در محیط‌های مایع هم امکان‌پذیر شد.

کاربردها

حسگرهای جرمی، کاربردهای وسیع و متنوعی در شاخه‌های مختلف علوم دارند. این حسگرها افزون بر جرم، به دما، فشار و گرانروی هم حساس هستند. در اینجا به نمونه‌هایی اشاره می‌شود که فقط محدود به شاخه‌هایی از علم‌شیمی‌اند:

- ✓ حسگرهای زیستی برای اندازه‌گیری مواد زیستی از مولکول‌ها گرفته تا واحدهای درشت سلولی، باکتری‌ها و ویروس‌ها
- ✓ حسگرهایی برای مطالعه سطوح تشکیل و انحلال پلیمرهای طبیعی و سنتزی و خوردگی سطوح فلزی
- ✓ حسگرهای گازی برای شناسایی و اندازه‌گیری گازهای سمی و صنعتی
- ✓ مطالعهٔ برهم‌کنش‌ها بین مولکول‌های DNA و RNA با یکدیگر و بررسی برهم‌کنش پروتئین‌ها با داروها و مواد دیگر
- ✓ مطالعهٔ غشاءهای لیپیدی، مواد مؤثر سطحی و...

آماده‌سازی و اصلاح

موضوع بسیار مهمی که تاکنون اشاره‌ای به آن نشده این است که پاسخ این حسگرها به تغییر جرم کاملاً عمومی است. به‌عبارت دیگر این حسگرها هیچ فرقی بین مولکول‌های مختلف قائل نیستند و توانایی تشخیص مولکول‌ها از یکدیگر را ندارند. برای گزینشی‌کردن سطح الکترودهای به‌کار رفته در این حسگرها که ماده پیزوالکتریک (کوارتز) در بین آن‌ها ساندویچ شده است، از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که عبارتند از:

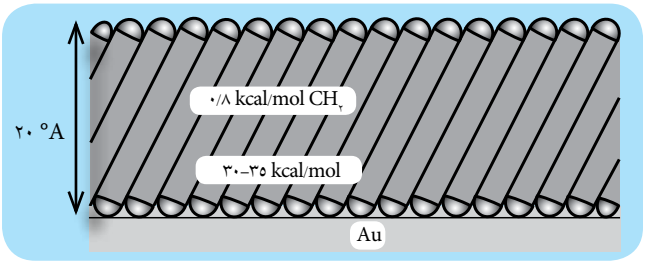
ـ جذب فیزیکی براساس تمایل ذاتی آمین‌ها به فلزهایی مانند طلا

ـ آرایه‌های تک لایه‌ای براساس تمایل گوگرد و گروه‌های عاملی گوگرددار به طلا، شکل ۳

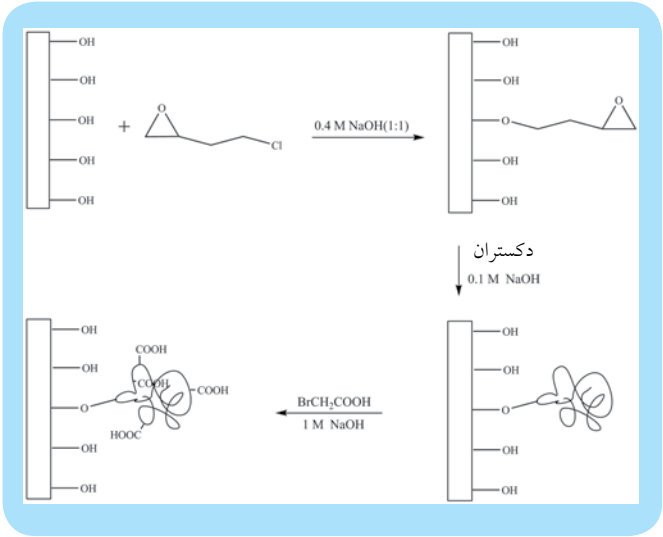
ـ جذب هیدروژل‌های دکسترانی، شکل ٤.

روش‌هایی که برای اصلاح سطوح به‌کار می‌روند عبارت‌اند از:

- لایه‌نشانی کووالانسی، شکل ۵
- گیراندازی
- اتصال درون لایه‌های لیپیدی

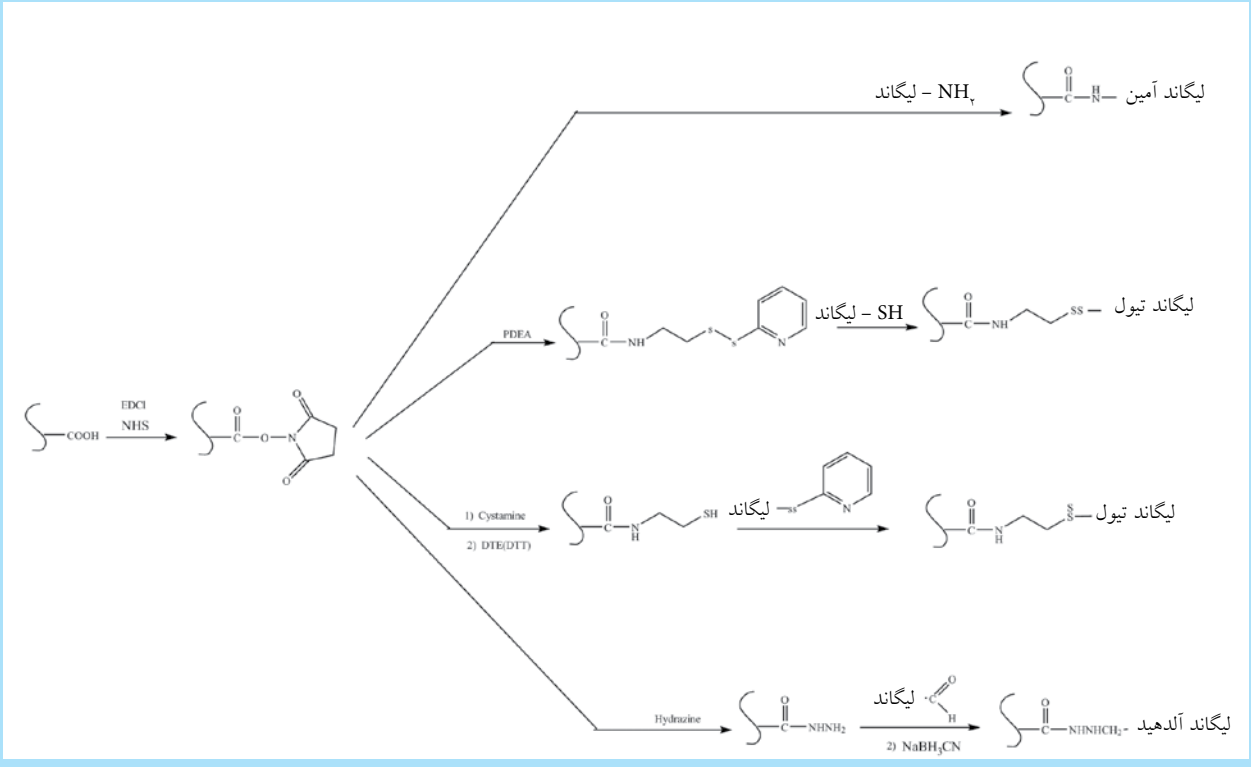


شکل ۳ سطح اشغال شده با یک لایه تک‌مولکولی

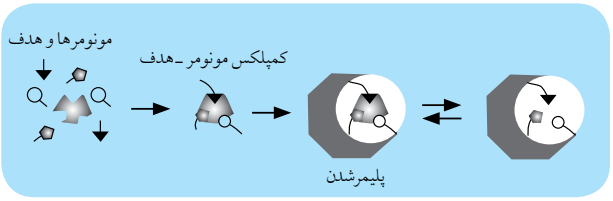


شکل ٤ سطح اصلاح شده با یک لایه دکستران و دارای عامل کربوکسیلیک اسید

شکل ۵ سطح اصلاح شده به‌وسیلهٔ پیوند کووالانسی



● قالب‌زنی مولکولی براساس ایجاد یک قالب از مولکول هدف، درون یک بستر پلیمری آلی یا سل ـ ژل معدنی، شکل ٦.



شکل ٦ سطح اصلاح شده با روش قالب‌زنی مولکولی

ساختار حسگر

یک دستگاه QCM دارای پنج قسمت اساسی به این شرح است:

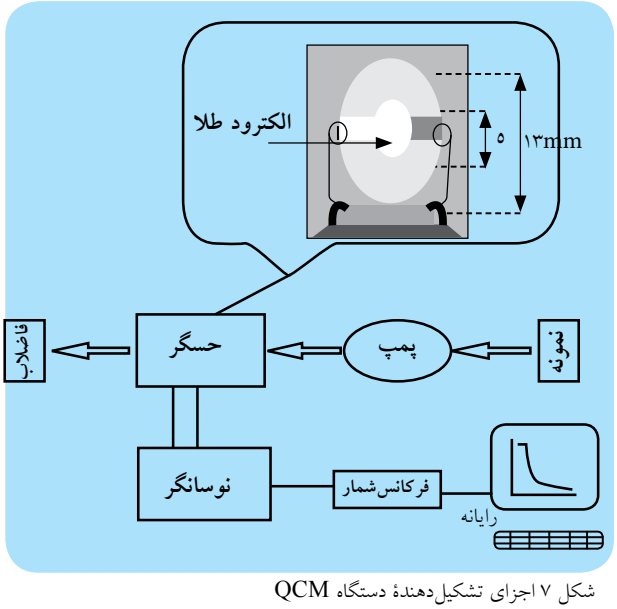
ـ نوسانگر، جهت اعمال جریان متناوب بر الکترودها

ـ حسگر شامل قطعه پیزوالکتریک که بین دو الکترود قرار دارد.

ـ پمپ، جهت ارائهٔ نمونهٔ گازی یا مایع به سطح حسگر در روش آنالیز جریانی یا دینامیکی

ـ شمارنده و ثبت‌کنندهٔ فرکانس

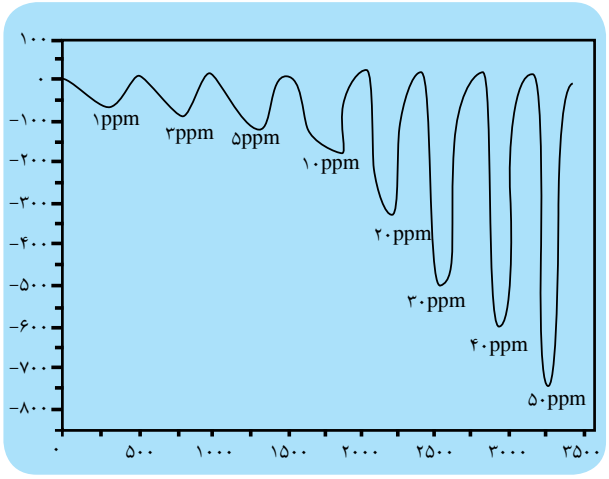
ـ تحلیلگر که معمولاً یک رایانهٔ مجهز به نرم‌افزار مناسب جهت ثبت سنسوگرام است.



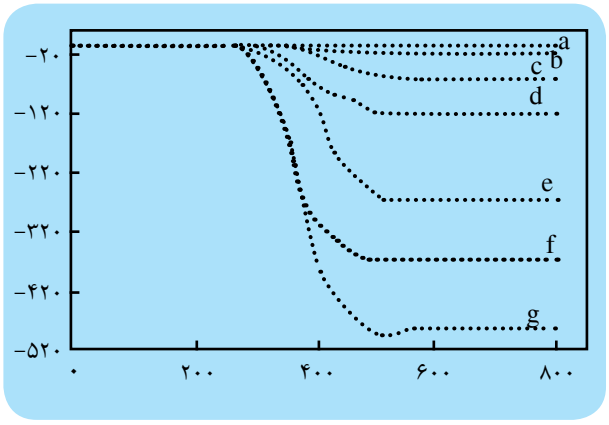
شکل ۷ اجزای تشکیل‌دهندهٔ دستگاه QCM

سنسوگرام

پاسخ حسگر به مقدارهای مشخص از نمونهٔ مورد بررسی، به‌صورت تغییرات فرکانس در واحد زمان گزارش می‌شود که به آن سنسوگرام می‌گویند. شکل ۸ و ۹ نمونه‌ای از سنسوگرام را نشان می‌دهد.



شکل ۸ سنسوگرام مربوط به اندازه‌گیری مولکول استاودین در سطح QCM اصلاح شده، به روش سل ـ ژل



شکل ۹ سنسوگرام مربوط به اندازه‌گیری بخار دی‌متیل، متیل فسفونات

1. Joshua, D. Kittle, Blacksburg, Virginia. MSc Thesis, November, 2006.
2. Buttry, D.; Work, M. Chem. Rev. 92(1992) 1355.
3. Brian R. Eggins. Chemical Sensors and Biosensors. John Wiley & Sons Ltd: 2002.
4. Janshoff, A, Galla, H. J. and Steinem, C. (2000) Angew. Chem. Int. Ed. 39, 4004-4032.
5. Jiri Janata. Principles of Chemical Sensors. Springer, 2009.
6. Chanbari, M. Kermanshah, Iran. PhD Thesis, October, 2012.
7. Wei. He, Xzohongxing. Liu. Talanta 76(2008) 698-702.