

Piezoelectricidad

La piezoelectricidad, es la carga eléctrica que se acumula en ciertos materiales sólidos (tales como: cristales, ciertas cerámicas y la materia biológica, como el hueso, el ADN y diversas proteínas) en respuesta a la tensión mecánica aplicada. La palabra significa electricidad resultante de la presión. Se deriva del griego piezo o piezein, lo que significa apretar o prensar.

Los hermanos Curie, descubrieron que al aplicar presión a un cristal de cuarzo se establecían cargas eléctricas en éste, lo cual se conoce como “efecto piezoeléctrico”, y es la interacción electromecánica lineal entre la mecánica y el estado eléctrico en materiales cristalinos sin simetría de inversión. Es un proceso reversible en que los materiales que exhiben el efecto piezoeléctrico directo (la generación interna de carga eléctrica resultante de una fuerza mecánica aplicada) también exhiben el efecto piezoeléctrico inverso (la generación interna de una tensión mecánica resultante de un campo eléctrico aplicado).

Sensores

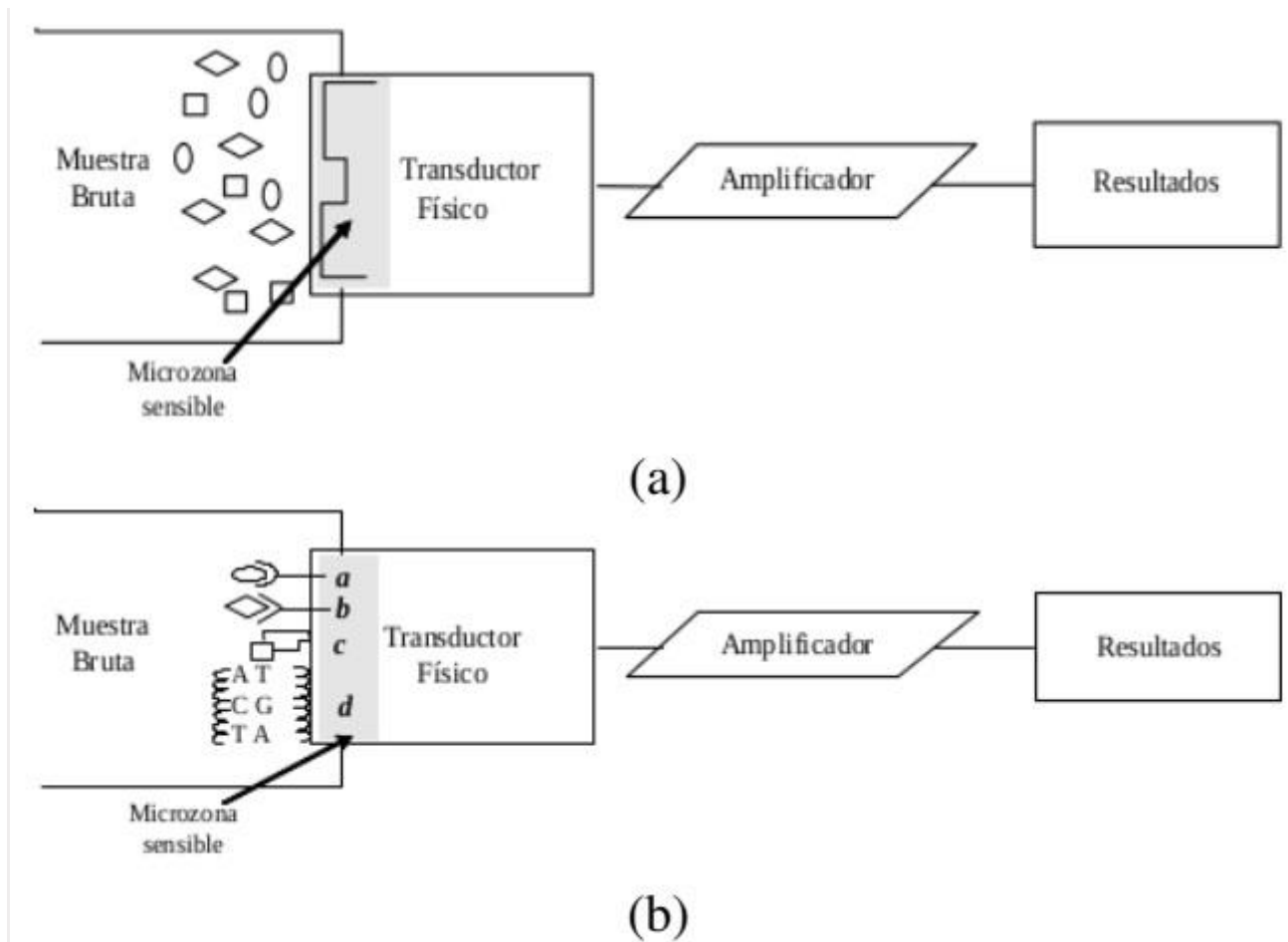
Los términos detectores, transductor y sensor se utilizan con frecuencia como sinónimos, pero tienen un significado con matices diferentes. El detector, se refiere a un dispositivo mecánico, eléctrico o químico que identifica, registra o indica un cambio en algunas de las variables de su entorno.

El transductor se refiere a los dispositivos que convierten la información en dominios no eléctricos a dominios eléctricos y viceversa. Asociado a este término se encuentra la función de transferencia del transductor que se define como la relación matemática que existe entre la salida eléctrica y la entrada (señal) de la potencia radiante, temperatura, tensión o fuerza del campo magnético.

El sensor se utiliza para el tipo de dispositivos analíticos que son capaces de medir determinadas especies químicas o familias de estas de manera continua y reversible. Los sensores constan de un transductor que este acoplado a una fase de reconocimiento que responde específicamente a una propiedad física o química concreta del analito. Los sistemas de detección son el conjunto completo de dispositivos que indican o registran cantidades físicas o químicas.

SENSORES (BIO)–QUÍMICOS

Un sensor se puede definir como una micro zona sensible donde tiene lugar la interacción química o bioquímica que está conectada o integrada con un traductor físico que puede ser óptico, electroquímico, térmico o másico. Esta permite transformar la respuesta del sistema en información analítica que se genera “in situ” y a tiempo real. La figura, muestra las partes de un sensor químico y bioquímico. Estos sensores proporcionan bajos límites de detección y determinación, alta sensibilidad, precisión elevada y fiabilidad de respuesta generada. Además, deben ser reversibles, es decir, que la respuesta desaparezca en ausencia de analitos. La respuesta debe obtenerse a tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones a tiempo



Representación gráfica de un sensor químico (a) y bioquímico (b). La microzona sensible es una capa química y/o bicapa que contiene las moléculas que participan en el reconocimiento de los analitos de interés. En el caso del sensor bioquímico la bicapa puede tratarse de: una enzima, un anticuerpo, célula o cadena de ADN, Fuente: [10].

SENSORES PIEZOELECTRICOS

Los sistemas de transducción piezoeléctricos basan su funcionamiento en la propiedad que presentan determinados materiales de polarizarse eléctricamente cuando son deformados por la acción de una fuerza. Esta polarización genera un campo eléctrico en la superficie que puede usarse para transformar la energía mecánica en energía eléctrica. A su vez, el efecto puede revertirse, de tal forma que aplicando un campo eléctrico a un material piezoeléctrico este se deforma.

Este último efecto permite que estos materiales vibren por la aplicación de un campo eléctrico externo, generando ondas acústicas que se propagan e interactúan con el medio que les rodea, de tal forma que, el grado de interacción o las propiedades del medio pueden ser medidas a partir de las características del campo eléctrico del propio sensor. Estos sensores se comportan como guía de ondas acústicas y pueden responder a la variación de un amplio abanico de cantidades físicas como presión, temperatura, masa añadida en la superficie, densidad o viscosidad de los fluidos en los que se encuentren sumergidos. Además, al aplicar en su superficie un recubrimiento que actúa como receptor selectivo de determinadas sustancias, permite su amplia utilización como biosensores, en los que suele aprovecharse su sensibilidad a los cambios de masa o de densidad-viscosidad en líquidos.

Los transductores piezoeléctricos se utilizan como sensores químicos desde el descubrimiento por Sauerbrey de la relación entre el cambio de masa y la frecuencia de resonancia del cristal; lo cual muestra la ecuación donde:

ΔF es el cambio en la frecuencia de resonancia del cuarzo debido a la carga másica Δm en la superficie;

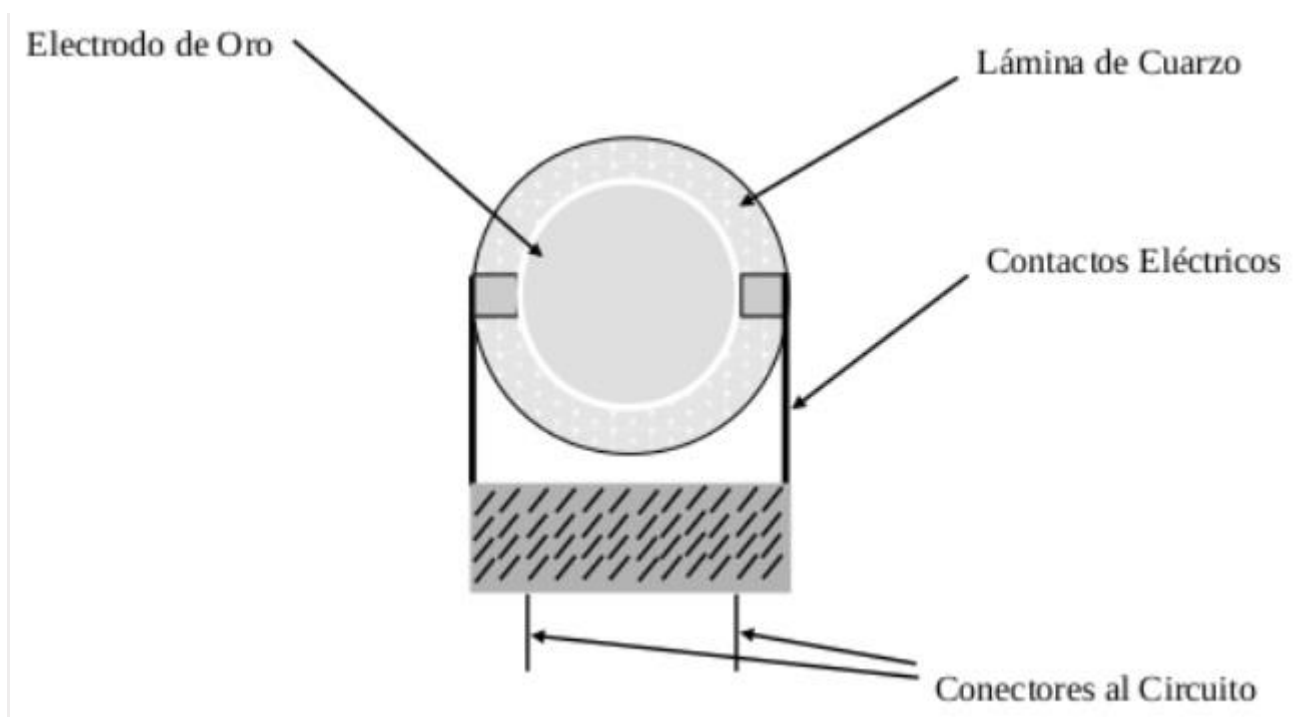
f_0 es la frecuencia de resonancias del QCM;

A es el área activa de cristal;

ρ es la densidad del resonador o material piezoeléctrico y μ es el módulo de corte.

El signo negativo indica que un incremento de la masa en la superficie del cristal, por ejemplo, por la adsorción de una molécula, da lugar a una disminución en su frecuencia de resonancia, y viceversa.

Microbalanzas de cuarzo. Son dispositivos en los que el efecto piezoeléctrico se usa como herramienta para detectar cambios muy pequeños de masa. La frecuencia de resonancia del cristal depende de la masa total resonante. La variación de la frecuencia es proporcional a la cantidad de masa añadida y el sensor tipo microbalanza opera como una balanza sensible. Por otro lado, la microbalanza tiene incorporado un circuito oscilador donde la frecuencia de oscilación va disminuyendo conforme se va acumulando masa sobre la superficie del diseño. Estos dispositivos están formados por una delgada lámina circular de cristal piezoeléctrico, en la que se han depositado por ambas caras recubrimientos metálicos que actúan a manera de electrodo. El oro es el recubrimiento más ampliamente utilizado. En la figura 2, se muestra el esquema del diseño típico de una microbalanza de cuarzo.



Esquema de diseño típico de una microbalanza de cuarzo (QCM). Fuente: [10].

La frecuencia de resonancia de los cristales utilizados como QCM f , se encuentra entre 5 y 30 MHz, dicha frecuencia puede expresarse tal como se muestra en la ecuación.

$$f = n \frac{V_0}{2h_q},$$

donde:

V_0 es la velocidad de propagación de la onda acústica a través del cuarzo;

h_q es el espesor del cristal, y

n es el número de armónico.

La frecuencia fundamental de resonancia (f_0) se obtiene para $n = 1$ y la ecuación de propagación de onda predice que solo son posibles los armónicos impares ($n = 1, 3, 5, \dots$) Puesto que la frecuencia depende exclusivamente de propiedades físicas intrínsecas del cristal y de su espesor, si consideramos que las propiedades físicas del material son constantes, entonces, la frecuencia vendrá determinada por su espesor, y se expresa según la ecuación

$$f_0 = \frac{K}{h_q},$$

donde K es la constante de frecuencia y depende de las propiedades del cuarzo y de la geometría del corte.

Por lo tanto, un cambio en el espesor del cristal supone una variación en la frecuencia de resonancia del sistema, o lo que es lo mismo, si depositamos una película fina de cualquier material sobre la superficie del cristal, lo suficientemente uniforme y rígida como para que pueda considerarse como una extensión de su espesor, se puede estimar el efecto de carga que produce a partir del desplazamiento que sufre la frecuencia de resonancia. Este es el principio en el que se basan las micro balanzas de cristal de cuarzo. La ecuación desarrollada por Sauerbrey, refleja matemáticamente este principio, y establece una relación lineal entre la masa depositada sobre el cristal y la variación en la frecuencia de resonancia. Se ha observado que las vibraciones del cristal se concentran en el centro del disco, perdiendo amplitud más allá de las dimensiones de los electrodos, y por tanto el cristal es más sensible en la parte central del cristal. A la vista de esta expresión se puede deducir que para aumentar la sensibilidad de una micro balanza de cuarzo debe aumentarse su frecuencia de resonancia, y a su vez esto implica disminuir su espesor, por ello en la práctica es difícil trabajar con cristales con frecuencias por encima de los 30 MHz ya que son muy frágiles

La ecuación es válida para capas uniformes, finas y rígidas perfectamente acopladas sobre la superficie del resonador de cuarzo, se utiliza en sistemas de deposición en vacío, y detección en fase gaseosa (humedad etc.), sin embargo, fue a mediados de los 80, con la contribución de Kanazawa, que amplía el modelo para aplicaciones en líquidos Newtonianos, cuando se abren nuevos campos de aplicación para el QCM (sensores químicos, biosensores). La ecuación describe el desplazamiento de la frecuencia de resonancia cuando la superficie del sensor está sumergida en un líquido

$$\Delta f = -f_0^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{\eta_L \rho_L}{\pi \mu_q \rho_q}}$$

donde

ρ_L es la densidad del líquido,

η_L es la viscosidad del líquido,

μ_q es el módulo de corte del cuarzo y

ρ_q es la densidad del cuarzo.

Las Ecuaciones y muestran la capacidad del resonador de cristal de cuarzo como sensor, ambas se aplican para calcular la masa adsorbida en aplicaciones de sensores químicos o para determinar la densidad/viscosidad de líquidos.

Para medir los cambios que ocurren en la frecuencia de resonancia de un sensor piezoeléctrico como resultado de los cambios de masa en su superficie, el sensor se incorpora a un circuito oscilatorio. El sensor piezoeléctrico incorporado a este circuito controla la frecuencia de oscilación que se produce. El cristal piezoeléctrico de cuarzo debe ser colocado en una celda apropiada donde ambos lados del cristal estén protegidos, pues se trata de un dispositivo muy frágil y que a su vez permita poner en contacto la muestra con la superficie del cristal de la manera más adecuada. La frecuencia de la señal de salida procedente del circuito oscilatorio puede medirse mediante un medidor de frecuencia. Los contadores de frecuencia pueden ser conectados a un ordenador equipado con la interfase electrónica adecuada y de esta forma el sistema puede registrar los cambios de masa en la micro balanza de cuarzo en tiempo real

Resume

Un sensor piezoeléctrico es un dispositivo que genera una señal eléctrica en respuesta a una deformación mecánica. Esto se logra mediante el efecto piezoeléctrico, que es la capacidad de ciertos materiales (como el cuarzo o algunos polímeros) de generar una diferencia de potencial eléctrico cuando se someten a presión o tensiones mecánicas.

Tres limitaciones de los sensores piezoeléctricos:

- 1. Incapacidad para medir señales estáticas:** Los sensores piezoeléctricos son excelentes para medir señales dinámicas (como vibraciones o cambios de presión), pero no pueden medir fuerzas o presiones constantes durante largos períodos de tiempo, ya que el voltaje generado se disipa.
- 2. Sensibilidad a la temperatura:** El rendimiento de estos sensores puede verse afectado por cambios en la temperatura, lo que puede generar errores en las mediciones o afectar su durabilidad si están expuestos a temperaturas extremas.
- 3. Fragilidad del material:** Los materiales piezoeléctricos, como el cristal de cuarzo, pueden ser frágiles y susceptibles a daños mecánicos si se aplican fuerzas excesivas o golpes. Esto limita su uso en entornos con altas exigencias físicas.