

Amortiguamiento en Transductores de Ultrasonido de Película Gruesa

Sergio N. Gwirc, M. Fernanda García Morillo*

INTI – Electrónica e Informática. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (Argentina)

TE: (+54 11) 4724 6315; email: fernanda@inti.gov.ar

Abstract

The piezoelectric pastes to be used in thick film technology for ultrasound transducers present lower acoustic impedance than the traditional bulk ceramic, allowing an enhancement in the coupling transducer-tissue. In this work we present an alternative to diminish the acoustic impedance, adding another layer to the thick film structure of the ultrasound transducer and the behavior of the emitted signal is analyzed. The addition of a glass layer with tungsten to the piezoelectric transducers, allowed approaching its impedance to that of the resin that which is a considerable improvement in the acoustic response of the transducer. In this way it can be considered the thickness and the active load of the layers to achieve the acoustic attenuation in the backing.

Keywords: Thick film, piezoelectric, PZT, backing, ultrasound

Introducción

La utilización del ultrasonido como herramienta diagnóstica incluye tanto la posibilidad de detectar fallas internas en materiales industriales por medio de ensayos no destructivos, como la identificación de estructuras biológicas por ecografía. En ambos casos se requiere de transductores de alta frecuencia y gran confiabilidad que permitan la visualización de estructuras profundas [1].

En el uso general se tiende a disminuir el tamaño de los transductores y aún más en la fabricación de “arrays” donde se llega a dimensiones de 0.4 mm a 1 mm de lado y el espaciado entre elementos de aproximadamente 0.5 mm. Esto conlleva diferentes inconvenientes para su fabricación, los cuales se ven acrecentados al aumentar el número de elementos requeridos para muestrear una ventana acústica completa. En este punto el desarrollo de las técnicas de película gruesa, que emplea un método serigráfico de alta resolución, facilita el proceso de fabricación manteniendo el número de elementos y permitiendo una gran diversidad de geometrías. El menor tamaño ocasiona una disminución tanto en la potencia de emisión como en la de recepción. En la emisión es causada principalmente por la desadaptación entre los 50 Ω característicos del generador de señales y la alta impedancia del elemento piezoeléctrico, mientras que en la recepción las pérdidas son debidas a la diferencia de capacidades entre el elemento generador piezoeléctrico y la del cable coaxial (con capacidad aproximadamente dos órdenes de magnitud mayor) que conecta el transductor al amplificador del escáner, generándose una considerable pérdida de señal en la recepción.

Aparte de la falta de adaptación eléctrica, otro problema de los transductores, es la pobre adaptación de la impedancia acústica entre el tejido humano y el PZT. Las pinturas fabricadas para ser utilizadas en tecnología de película gruesa presentan una impedancia acústica más baja que las cerámicas tradicionales, permitiendo una mejora en el acoplamiento transductor-tejido. Esto sumado a la ventaja de facilitar el interconexión entre los elementos de un “array” y la posibilidad de concentrar en un espacio muy reducido gran cantidad de elementos, la convierten en una atractiva posibilidad para la fabricación de transductores para imágenes por ultrasonido [2,3].

En este trabajo presentamos una alternativa distinta en la que se agrega una capa más a la estructura del transductor de ultrasonido de película gruesa y se analiza el comportamiento de la señal emitida por este tipo de estructura.

El Transductor

Un transductor de ultrasonido fabricado con esta tecnología está formado básicamente por dos capas de distintos materiales, es decir la película piezoeléctrica de PZT y el substrato sobre el que se sinteriza la película. También tienen un respaldo atenuador en su parte posterior para disminuir o eliminar las ondas reflejadas en esa cara que contribuyen a mantener los rebotes electromecánicos en la cerámica. En este sentido, un inconveniente del transductor de película gruesa es que el material del substrato que forma su cara posterior es generalmente de alúmina [4, 5, 6]. Este material tiene una muy alta impedancia acústica, muy difícil de igualar mediante la mezcla usual de resina epoxi y tungsteno, que se utiliza para lograr

que las ondas pasen a la capa absorbente en lugar de reflejarse en la misma. La impedancia acústica se define de la siguiente manera:

$$Z = \rho \cdot c \tag{1}$$

En esta ecuación ρ es la densidad del material y c es la velocidad del sonido en el mismo [7].

Adaptación Acusto-eléctrica

En este trabajo se presenta una nueva estructura de respaldo para aumentar la amplitud y limitar el número de ciclos en los ecos producidos como respuesta a la excitación con pulsos. Para ello existen dos puntos a tener en cuenta, la adaptación eléctrica a través de una red pasiva que adapte al transductor a los 50 Ω del generador con el que se excita y por otro lado la atenuación acústica, para lo que se utiliza un material absorbente y atenuar así las ondas reflejadas en la cara posterior del transductor. Se busca entonces que el material del respaldo presente una alta atenuación acústica e impedancia lo más cercana posible al sustrato con el cual mantendrá contacto, según la ecuación (2).

$$(\rho \cdot c)_{Substrato} \square (\rho \cdot c)_{Atenuador} \tag{2}$$

Los materiales de la capa de respaldo más comúnmente utilizados están constituidos por una resina epoxi y un material activo de alta densidad para aumentar así la impedancia acústica y crear centros de dispersión que rompen la onda e incrementan el camino recorrido dentro del atenuador.

En trabajos anteriores se probaron distintas resinas de tipo poliéster y epoxi mezclados con tungsteno y ferrotungsteno con resultados bastante magros debido principalmente a la dificultad de igualar la impedancia acústica del respaldo con la alúmina [8, 9, 10].

Fabricación

Se construyeron dos tipos de transductores con tecnología de película gruesa utilizando una pintura basada en Titanato Zirconato de Plomo (PZT). Uno de geometría circular y dos con geometría cuadrada, ambos sobre sustrato de alúmina y con espesores cercanos a los 160 micrómetros para la capa piezoeléctrica y 635 micrómetros para el sustrato. Luego del proceso de polarización para lograr la orientación de los dipolos, se midieron las impedancias en módulo y fase para las frecuencias de resonancia en modo espesor.

Los valores de la impedancia fueron utilizados para mejorar el acoplamiento eléctrico mediante el diseño de una red pasiva de adaptación que permite bajar la impedancia del transductor y ajustar la fase.

El diagrama esquemático de la red de adaptación que mejora la amplitud de los ecos, se muestra en la figura 1. Los valores de módulo y fase de la impedancia del transductor sin adaptar y adaptado, se obtuvieron con un analizador vectorial de redes.

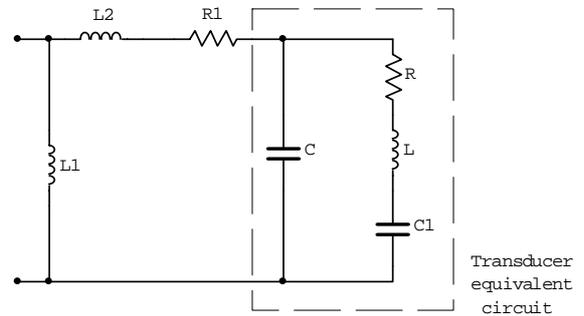


Figura 1: Circuito eléctrico del transductor con red de adaptación eléctrica

Al evaluar el efecto de atenuación acústica de la capa de respaldo, se consideraron dos opciones. Por un lado se colocó sobre la parte posterior del transductor circular y uno de los cuadrados una capa de pintura de vidrio horneada a 600°C, mientras que sobre el otro transductor cuadrado se depositó una capa de pintura de vidrio pero con carga de tungsteno al 10% en volumen, con tamaño de partícula de 12.8 micrómetros. Esta capa, en ambos casos, actúa como intermediario entre el sustrato de alúmina y la capa de respaldo propiamente dicha que realiza el amortiguamiento. Luego se agregó en todos los casos una última capa de resina epoxi con carga de ferrotungsteno, 45% en volumen, de tamaño de partícula mayor (malla 40) a la del tungsteno antes utilizado en la capa de adaptación. La figura 2 muestra un esquemático de la disposición de dichas capas.

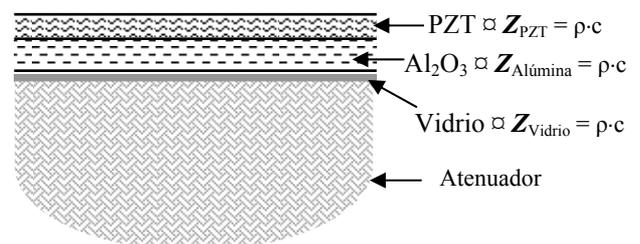


Figura 2: Esquema de la disposición de las capas agregadas a los transductores piezoeléctricos.

El transductor pasa ahora a estar formado por un conjunto tres capas (PZT, sustrato de alúmina y vidrio) que va a resonar en forma conjunta, aunque con una frecuencia de resonancia levemente más baja que el resonador de dos capas. De este modo si bien la capa de vidrio mejora la adaptación a la alúmina, la principal interfaz de adaptación se centra ahora entre el vidrio, o el vidrio más el

tungsteno y la última capa de resina más ferrotungsteno que funciona como atenuadora de las ondas posteriores.

Resultados

La respuesta transitoria pulsada de los transductores fue evaluada por el método del pulso-eco, colocando el transductor sobre un bloque de acrílico y excitándolo con un pulso eléctrico. Los ecos provenientes de la reflexión en la interfase acrílico-aire obtenidos como respuesta a la

excitación, son observados en un osciloscopio con conexión a una PC que permitió luego el análisis de dichas señales. Debido a las pérdidas por onda reflejada que significa la falta de adaptación de impedancia eléctrica y el cambio de impedancia acústica entre medios, es necesario excitar al transductor con un pulso de tensión elevada para obtener un eco de amplitud razonable para la medición. Se utilizaron pulsos de 100 V de amplitud, y 140 ns de ancho.

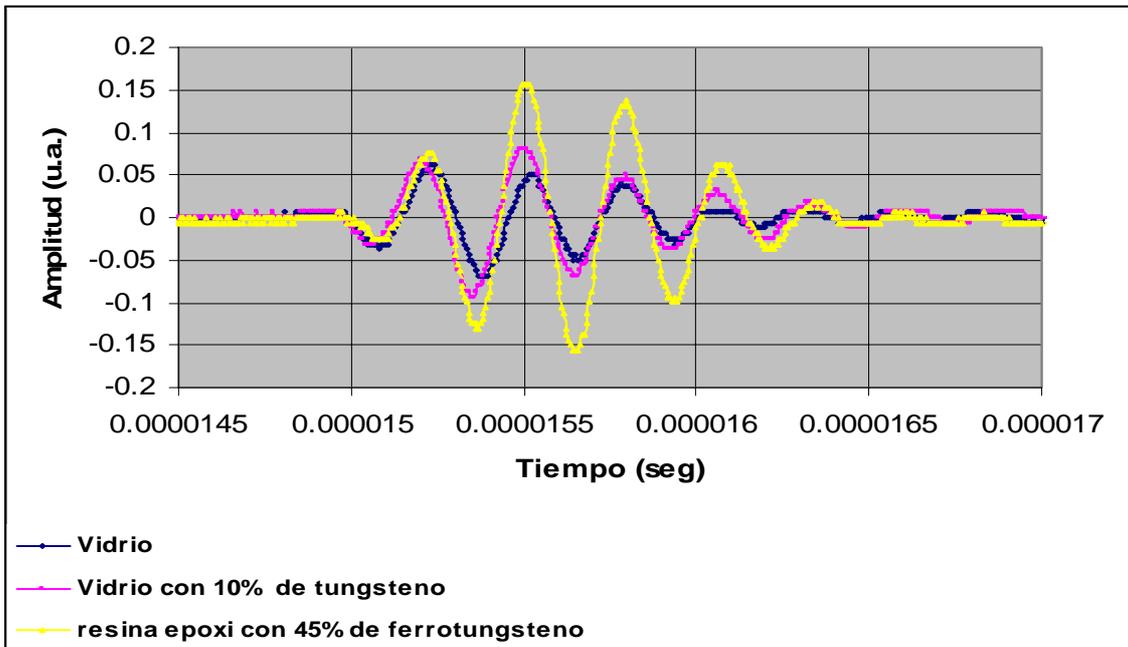


Figura 3: Comparación de la respuesta acusto-eléctrica de los transductores

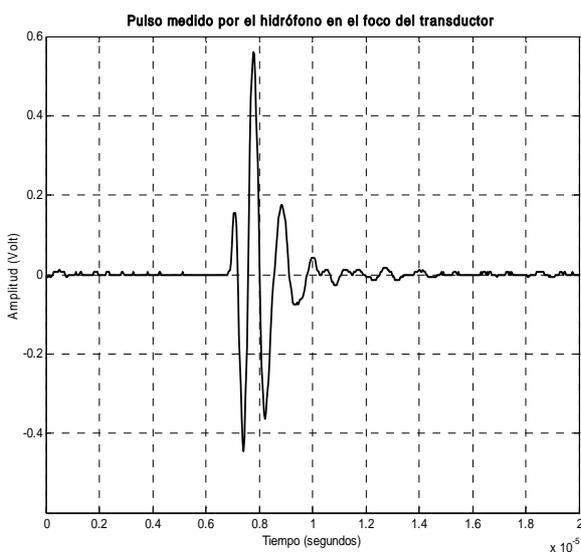


Figura 4

En primer lugar debemos mencionar que la cantidad de picos en la respuesta acústica del transductor disminuye notablemente al agregar la capa de vidrio y adaptar eléctricamente el

transductor al generador en la frecuencia de resonancia. Al comparar los ecos obtenidos utilizando como primera capa vidrio o vidrio con carga de tungsteno, como se muestra en la figura 3, se observa que el agregado del tungsteno en polvo a la pintura de vidrio mejora la señal aumentando su amplitud, probablemente debido a que de esa forma se genera una impedancia acústica intermedia que mejora la capa de adaptación entre el sustrato y el medio. En la misma figura se ve también la comparación con el eco recibido del transductor cuadrado con adaptación acústica constituida por: una primera capa de vidrio, una segunda de vidrio con carga de tungsteno, y por último una tercera capa de resina epoxi más ferrotungsteno. La amplitud aumenta al doble respecto a la que tenía sólo vidrio con carga de tungsteno y casi tres veces con respecto a la que tenía vidrio solamente. Por último la respuesta acústica fue medida directamente colocando en una cuba de agua el transductor y midiendo con un hidrófono en el centro de la superficie de la película de PZT y a la distancia focal del transductor (D^2/λ) que en este

caso resulta de 9 mm aproximadamente. La figura 4 muestra el pulso obtenido, donde se observa una mínima cantidad de oscilaciones. Este pulso es muy bueno para la mayor parte de las aplicaciones ya que permite definir en forma muy precisa un máximo de la señal para su detección temporal. Por otra parte se logra una señal con un gran ancho de banda de alrededor de 1MHz lo que representa una gran ventaja para su aplicación en sistemas de imaginería en medicina.

Conclusiones

El agregado de la capa de vidrio con carga de tungsteno a los transductores piezoeléctricos, permitió aproximar su impedancia a la de la resina lo cual se traduce en una considerable mejoría en la respuesta acústica del transductor. De esta forma se puede estimar el espesor y la carga activa de las capas necesarias para lograr la atenuación acústica que se desee. Esto sumado a la adaptación eléctrica a través de la red pasiva lleva a la disminución de las oscilaciones del pulso obtenido con el transductor de película gruesa, condición óptima y necesaria para su posterior análisis y uso en imágenes tanto médicas como en ensayos no destructivos de materiales.

Referencias

1. Ed. M. Prudenziati, *Handbook of Sensors and Actuators/Thick Film Sensors*, vol. 1, Elsevier, NH, 1994.
2. S. N. Gwirc, S. Tropea, C. Negreira, N. Perez, F. Montero de Espinosa, "Fabrication and Characterization of Piezoelectric Thick Film Elements and Arrays", Proceedings of the "IEEE International Ultrasonics Symposium", Vol. 2, pp. 1121-1124, Oct. 2000.
3. S. N. Gwirc, M. F. García Morillo, N. Pérez, C. Negreira, "Thick Film PZT Arrays Vibration Modes", Proceedings of the "IEEE International Ultrasonics Symposium", Vol. 2, pp. 1189 –1191, Oct. 2002.
4. P. G. Dargie, N. R. Harris, N. M. White, J. K. Atkinson and R. P. Sion, "Characterization of Screen Printable Piezoelectric Thick Films", Proceedings of Sensors and their Applications VIII, Glasgow, Sept. 1997.
5. R. N. Torah, S. P. Beeby, N. M. White, "Improving the piezoelectric properties of thick film PZT: the influence of paste composition, powder milling process and electrode material", Sensors and Actuators A 110, pp. 378–384, 2004.
6. S. Le Dren, L. Simon, P. Gonnard, M. Troccaz, A. Nicolas, "Investigation of factors affecting the preparation of PZT thick films", Materials Research Bulletin, vol. 35, pp. 2037-2045, 2000.
7. G. S. Kino, "Acoustic Waves", Egewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1987.
8. M F García Morillo, S Gwirc, "Análisis de acoplamiento simple entre dos elementos ultrasónicos por medio del substrato que los contiene", V Jornadas INTI de Desarrollo e Innovación, Buenos Aires, Argentina, 2004.
9. S. Gwirc, S. Tropea, N. Perez, C. Negreira "Emission Acoustic Field of Thick Film PZT Elements" Ibersensor 2000.
10. S. Gwirc, M. F. García Morillo, D. Brengi, "Transductor piezoeléctrico pulsado de película gruesa", Workshop Iberchip 2002