



Respuesta Acústica de un Transductor Piezoeléctrico de Ultrasonido

Gwiric S.⁽ⁱ⁾; Negreira, C.⁽ⁱⁱ⁾

⁽ⁱ⁾INTI-Electrónica e Informática

⁽ⁱⁱ⁾Instituto de Física – LAU, Uruguay

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].

A pesar de que se han desarrollado diferentes alternativas en transductores de ultrasonido de película gruesa, estudiando las características y propiedades de las películas piezoeléctricas de PZT realizadas con serigrafía, existe muy poco publicado sobre su funcionamiento como emisor y receptor de ultrasonido y las características de emisión de su campo acústico [2, 3, 4]. En trabajos anteriores hemos logrado obtener las propiedades electromecánicas adecuadas para plantear la fabricación de transductores de ultrasonido para imágenes y NDT y su caracterización, realizados sobre un sustrato estándar de alúmina [5, 6]. Este trabajo muestra los resultados del comportamiento vibratorio, las características de radiación, y la forma del campo acústico, mostrando el potencial de la tecnología de película gruesa en un transductor con estructura multicapa. Se presenta, además, 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 [7, 8, 9].

Descripción Experimental

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 sustrato 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 sustrato que forma su cara posterior es generalmente de

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

$$Z = \rho \cdot c \quad (1)$$

En esta ecuación ρ es la densidad del material y c es la velocidad del sonido en el mismo [1].

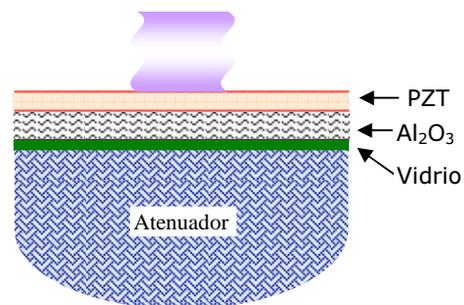


Fig. 1: Esquema final del transductor.

La fabricación del transductor se realiza usando una pintura de PZT con el agregado de una pequeña proporción de 3% de vidrio, y pintando mediante serigrafía una capa de 160 μm de espesor aproximadamente, depositada sobre un sustrato de alúmina para formar una estructura muy delgada que da origen al transductor ultrasónico [10]. Las muestras tienen 4 y 8 mm de diámetro. Un electrodo inferior de Ag se imprimen sobre el sustrato antes de aplicar el piezoeléctrico, y posteriormente un electrodo superior se aplica sobre la pasta de PZT sinterizada a 850 $^{\circ}\text{C}$. En el siguiente paso se coloca sobre la parte posterior del transductor una capa de pintura de vidrio, que es horneada a 600 $^{\circ}\text{C}$. Esta capa actúa como intermediario entre el sustrato de alúmina y la capa de respaldo propiamente dicha que realiza el amortiguamiento. Aquí finaliza la etapa de alta temperatura de la fabricación y a continuación la película de PZT es polarizada calentando la

muestra a 100 °C en un campo eléctrico de 3 kV/mm durante 30 minutos, antes de bajar la temperatura.

Para completar el sistema de amortiguamiento se coloca luego de polarizar la muestra, una capa de resina epoxi con carga de ferrotungsteno cuyo tamaño de partícula pasa por una malla 40. La Fig. 2 muestra un diagrama esquemático del transductor y de la disposición de las capas que lo componen.

En la evaluación de las características de este transductor se midió la respuesta acustoeléctrica por el método de pulso eco, el comportamiento vibratorio mediante espectroscopia acústica de superficie (SAS), y la forma del campo acústico mediante la técnica Schlieren. Cada uno de estos métodos será descrito en el párrafo siguiente junto con los resultados obtenidos.

Resultados

Respuesta Acusto-eléctrica: La respuesta transitoria pulsada de los transductores fue evaluada por el método pulso-eco, colocando el transductor sobre un bloque de acrílico y excitándolo con un pulso eléctrico.

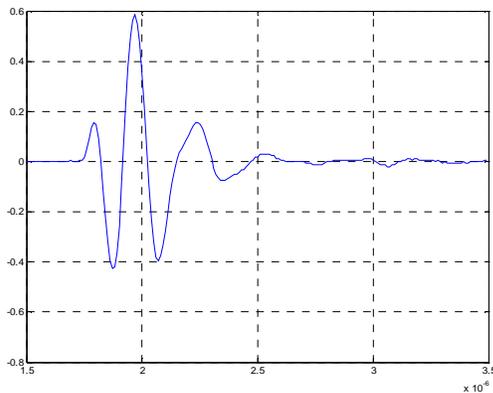


Fig. 2: Señal generada por el transductor.

Los ecos provenientes de la reflexión en la interfase acrílico-aire, obtenidos como respuesta a la excitación, son observados en un osciloscopio conectado a una PC que permite el análisis de las señales. Debido a las pérdidas por onda reflejada que ocasiona 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. Se utilizaron pulsos de 100 Volt de amplitud y 140 ns de ancho. La cantidad de picos o rebotes en la respuesta acústica del transductor disminuye notablemente al agregar la capa de vidrio y adaptar el transductor al generador en la frecuencia de resonancia. En la Fig. 2 se observa la señal generada con el transductor adaptado eléctricamente y con el

respaldo atenuador. Este tipo de pulso es el requerido para utilizar el transductor en sistemas de imágenes con ultrasonido y presenta una frecuencia central de 3.9MHz y un Ancho de Banda a -6dB de 1.9 MHz (50%) para el pulso de la Fig. en el espectro de Fourier.

Espectroscopia Acústica de Superficie: La respuesta acústica se mide recorriendo la superficie de la muestra con un hidrófono que se mueve mediante un sistema motorizado controlado por computadora que puede posicionarlo y ordenar el barrido en frecuencia. El hidrófono se acopla a la muestra mediante un aceite que transmite las vibraciones del piezoeléctrico. Este último se excita mediante un generador senoidal que varía entre 1 y 10 MHz y las vibraciones en el hidrófono son detectadas en forma sincrónica por un analizador de impedancia/ganancia y fase HP4194A. En la Fig. 3 se observa un gráfico de la medición donde se muestra el barrido realizado sobre un disco de PZT con electrodos de 4 mm de diámetro. El hidrófono toma el valor de la amplitud de vibración del PZT cada 0,2 mm y recorre el disco por uno de sus diámetros. El gráfico confirma la emisión en modo pistón a pesar de tener el cilindro piezoeléctrico una de sus caras firmemente adherida al sustrato. Sin embargo, se observa que la amplitud de emisión comienza a decaer antes de llegar al borde del electrodo, principalmente debido a la corona circular de PZT que queda fuera del electrodo, para evitar cortocircuitos durante la polarización, y que por lo tanto no ha sido totalmente polarizada.

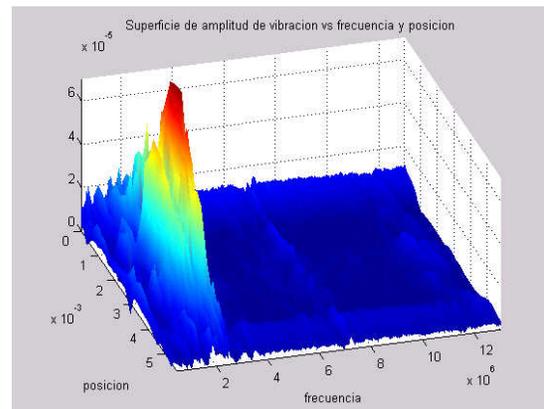


Fig. 3: Espectroscopia acústica. Película de 160 μm .

Difracción de la luz por el ultrasonido: La visualización del haz de ultrasonido en forma continua, emitido por el transductor de película gruesa, facilita el estudio de sus características

como divergencia, homogeneidad, frecuencia de resonancia en agua, etc. El campo de emisión se estudia usando el *efecto Schlieren*, como una aplicación de difracción de la luz por una onda acústica que se propaga en un medio líquido. En la figura 4 se muestra un esquema del sistema óptico utilizado, en el que para obtener las fotos del campo acústico se reemplaza la pantalla por una cámara con la que se adquiere la imagen.

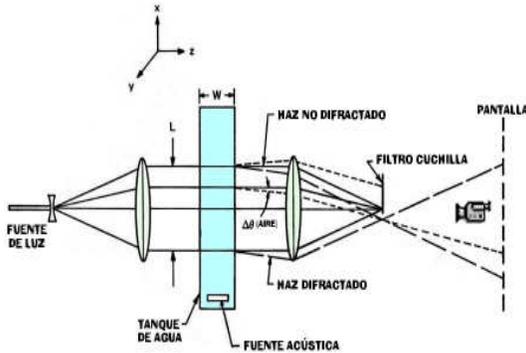


Fig. 4: Esquema utilizado para el efecto Schlieren.

La exposición de la Fig. 5 fue tomada mediante la excitación de un transductor cuadrado (de 4 mm de lado) con 100 ciclos sinusoidales que es casi una onda continua, muestra la estructura del haz de emisión y su divergencia. Como se observa esta es bastante baja aún después del foco, que está en aproximadamente 9 mm.

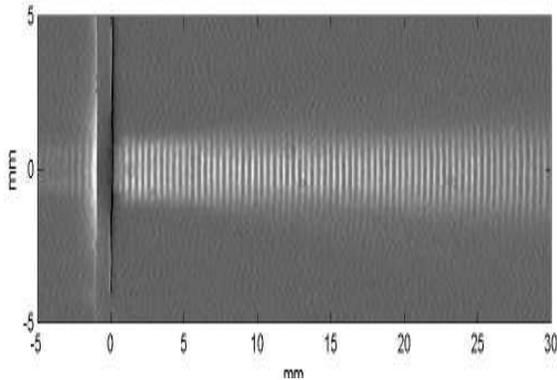


Fig. 5: Imagen de onda acústica generada por el transductor de película gruesa.

Si utilizamos la imagen de la Fig. 5 para analizar la variación de intensidad sobre el eje, encontramos el foco de emisión del transductor a aproximadamente 9 mm del mismo, que es coincidente con el valor teórico de $L = a^2 / \lambda_0 = 9.35$ mm, siendo "a" el radio del transductor y λ_0 la longitud de onda.

Conclusiones

La estructura bicapa que conforma el transductor de película gruesa que hemos realizado, presenta un comportamiento vibratorio del tipo pistón similar a un disco de PZT tradicional levemente anclado, ya que el disco piezoeléctrico tiene restringido el movimiento en la cara unida al sustrato de alúmina. La rugosidad en la superficie es muy notoria en las mediciones con hidrófono (SAS) y puede afectar la resolución al usar varios en la obtención de imágenes, aunque esta situación no se trasluce en mediciones con métodos de pulsos emitidos por un transductor individual. Las imágenes obtenidas por Schlieren resultan de gran claridad mostrando que la potencia suministrada al agua es considerablemente mayor a la que suministra una cerámica tradicional de la misma frecuencia y el área de emisión similar. Desde el punto de vista acústico la emisión en agua o en el cuerpo humano se ve facilitada en la cara anterior del transductor debido a la baja impedancia del piezoeléctrico de película gruesa, que es del orden de 16 MRy. La causa principal de esta situación es la porosidad en la película piezoeléctrica que disminuye tanto su densidad como la velocidad de propagación de las ondas en la capa de PZT.

Referencias

- [1] G S Kino, "Acoustic Waves", Egewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1987.
- [2] 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.
- [3] S Le Dren, L Simon, P Gonnard, M Troccaz, A Nicolas, "Investigation of factors affecting the preparation of PZT thick films", Materials Research Bulletin, 35, pp. 2037-2045, 2000.
- [4] 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.
- [5] 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", pp. 1121-1124, 2000.
- [6] S N Gwirc, M F García Morillo, N Pérez, C Negreira, "Thick Film PZT Arrays Vibration Modes", Proceedings of the "IEEE International Ultrasonics Symposium", pp. 1189 -1191, 2002.
- [7] M F García Morillo, S Gwirc, "Análisis de acoplamiento simple entre dos elementos ultrasónicos por medio del sustrato que los contiene", V Jornadas INTI de Desarrollo e Innovación, Buenos Aires, Argentina, 2004.
- [8] S Gwirc, S Tropea, N Perez, C Negreira "Emission Acoustic Field of Thick Film PZT Elements" Ibersensor 2000.
- [9] S Gwirc, M F García Morillo, D Brengi, "Transductor piezoeléctrico pulsado de película gruesa", Workshop Iberchip 2002.
- [10] Ed. M Prudenziati, *Handbook of Sensors and Actuators/Thick Film Sensors*, vol. 1, Elsevier, NH, 1994.

Para mayor información contactarse con:
Sergio N. Gwirc - sgn@inti.gov.ar