

압전 세라믹의 탄성 표면파 속도 측정에 관한 연구

A study on the measurement of SAW velocity on piezoelectric ceramics.

*위 규 진(Wee, G. J.)
강 진 규(Kang, J. K.)
강 원 구(Kang, W. K.)
박 창 엽(Park, C. Y.)

요 약

본 연구에서는 압전 세라믹에서 탄성 표면파의 속도 측정에 대한 실험 방법을 제시한다. Oscilloscope 와 Pulse Generator 만으로 실시할 수 있으며 특히 feed-through에 의한 신호가 있는 경우에도 측정 가능한 방법이다.

IDT응답이 Convolution 이론에 따르는 것에 주목하여 파가 진행한 거리를 정확히 산출하여 속도를 구할 수 있었다. 본 연구의 방법으로 측정한 결과 상온에서 YZ-LiNbO₃에 대하여 3,480m/sec를 구할 수 있었으며 feed-through가 큰 PbTiO₃계 압전세라믹에 대해서는 2,770m/sec를 측정하였다.

ABSTRACT

In this paper, the measurement of SAW velocity on piezoelectric ceramic is studied.

It can be done by using oscilloscope and pulse generator, and measure the velocity especially when feed-through is appeared.

The propagating distance was exactly calculated considering that IDT responses are obtained by

convolution theory, therefore the velocity was measured by the above simple method.

As the results, the measurement velocity at room temperature was 3480 m/sec for YZ-LiNbO₃ single crystal and 2770 m/sec for a family of PbTiO₃ ceramics with feed-through signal.

I. 서 론

고체의 표면 위에서 전파하는 탄성 표면파는 1980년 영국의 Rayleigh 경에 의해 발견된 이후 1970년 미국의 Stanford 대학에서 압전 물질인 LiNbO₃ 단결정 표면에 Interdigital 형태의 전극을 증착하여, 전기적인 신호를 기계적인 변위로 변환시킬 수 있게 됨에 따라 전기 전자 및 통신 분야의 응용에 관한 연구가 활발히 진행되었다⁽¹⁾.

이러한 탄성 표면파를 응용한 소자로서는 지연선, Color TV IF Filter, FM복조기 및 Spread Spectrum 통신 방식에서의 PN Code Generator 등 그 응용 분야는 광범위하다.

현재 탄성 표면파 소자의 기관으로는 LiNbO₃ 단결정이 사용되고 있으나 이는 단결정이므로 가격이 비싸고 wafer 크기에도 제한이 있으며 온도에 따른 주파수 안정도가 좋지 않은 등의 문제가 있다. 따라서 이러한 단점을 제거할 수 있는 압전 세라믹을 기관으로 사용하려는 연구가 진행되고 있다⁽²⁾. 그러나 다결정체인 압전 세라믹은 동일 조성의 물질에 대해서도 탄성 정수 압전 상수 유전 상수 등이 열처리 과정 및 분극 등에 의해 달라지므로 여러가지 진동 모드의 측정으로부터 구해지는 위의 제정수⁽³⁾ 값들이 단결정의 경우와 같이 언제나 일정할 수는 없다.

따라서 J. J. Campbell⁽⁴⁾ 등이 이론적으로 산출한 탄성 표면파의 속도 및 전기 기계 결합계수는 위 제정수 값들의 측정오차가 큰 압전 세라믹의 경우에는 이론치와 실제값이 정확히 일치하지 않으므로 직접 측정에 의해 속도와 전기기계 결합계수를 구하는

방법이 제시되어 왔다. 이러한 방법에는 크게 2가지 방법이 있으며 하나는 Laser 광을 이용하여 측정하는⁽⁵⁾ 것이고 다른 방법은 시간 지연을 이용한 측정⁽⁶⁾ 법이 있다.

종래 시간지연을 이용하여 측정하는 방법은 rf pulse를 이용한 pulse-echo-overlap⁽⁷⁾ 방법이 이용되었다. 이 pulse-echo-overlap 방법은 3개의 IDT를 기관 위에 설치하여 입력 IDT에 rf pulse를 인가하여 시간 지연된 첫번째 출력과 두번째 출력이 in-phase 상태가 되도록 rf-pulse의 repetition rate를 조절하여 이 repetition rate를 frequency counter로 측정하여 이 주파수에 IDT 사이의 거리를 곱함으로써 시간지연을 구할 수 있다. 그러나 이 방법은 입력 파형이 feed-through에 의해 양 channel에 동시에 나타나는 경우 이 feed-through 신호가 in-phase 상태에 걸치게 되어 정확한 in-phase 상태를 포착할 수 없는 문제점이 있으며 rf pulse generator에서 repetition rate를 미 조정할 수 있는 기능이 있어야 하는 점도 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 feed-through가 존재하는 경우도 이를 이용할 수 있으며 또 feed-through가 없는 경우에도 측정이 가능하며 측정 설비는 pulse generator와 oscilloscope 만으로 가능한 간단한 측정 방법을 제시하고자 한다.

II. 탄성표면파 속도 및 전기기계 결합계수

2 - 1. 탄성표면파의 여기 및 검출

탄성표면파의 여기 및 검출은 그림 1과 같은 Interdigital 형태의 전극에 전압을 가하여 접선과 같

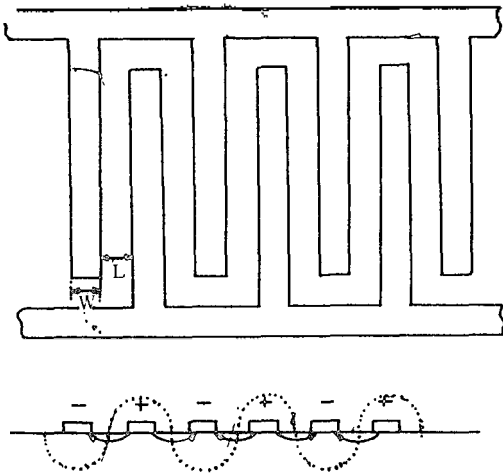


그림 1 The structure of IDT.

은 변위를 여기시키고 또한 이러한 변위에 의한 압전 효과로 전극(IDT)에서 전기적 신호를 검출한다. 이때 인가전압의 주파수가 그림 1의 점선으로 표시되는 파장에 일치될때 탄성표면파가 여기전파 된다.

$$V_s = f_o \cdot \lambda \quad (1)$$

$$\lambda = V_s / f_o = 2(W+L) \quad (2)$$

단, V_s : 탄성 표면파 속도

λ : 파장

f_o : 여기 주파수

W : IDT finger의 폭 ($W=L$)

L : IDT finger 간격

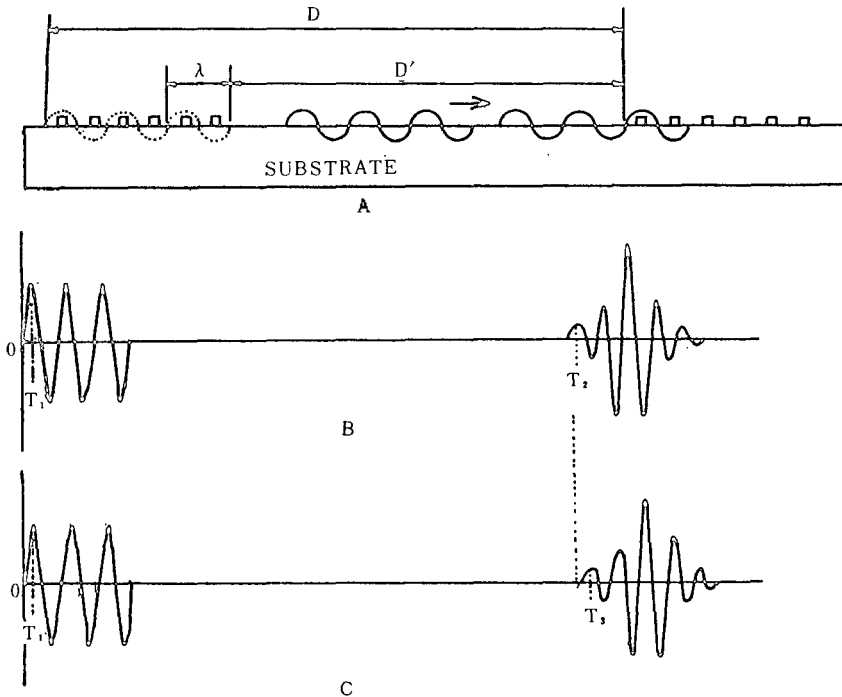


그림 2 Propagation of SAW and its time delay responses.
 a) Propagation of Surface Acoustic Wave
 b) Time delay response on free surface
 c) Time delay response on metallized surface

그러므로 탄성 표면파의 속도 V_s 를 알아야 IDT의 finger 폭과 간격을 결정하여 선택된 여기 주파수에서 동작하도록 IDT를 설계할 수 있다. 또한 finger의 쌍수 N 은 전기기계 결합계수 (K_s^2)⁽⁸⁾로 부터 구한다.

$$N^2 = \pi / (4 K_s^2) \tag{3}$$

전기기계 결합계수는 D. P. Morgan⁽⁹⁾에 의하여

$$K_s^2 = 2 |\Delta V| / V_s \tag{4}$$

으로서 V_s 는 자유 표면에서의 탄성표면파 속도이고 $|\Delta V|$ 는 자유 표면에서의 속도와 이상적인 얇은 금속이 덮힌 경우의 속도와의 차이를 나타낸다.

2 - 2. 속도 측정 방법

그림 2 - A와 같이 기판위에 IDT를 거리 D 만큼 두고 증착한 경우에 입력 IDT에 λ 보다 폭이 작은 pulse를 인가하면 3쌍의 전극에 의해 그림 2 - A의 점선으로 표시한 파형이 동시에 여기되어 전파한다. 매질의 자유 표면을 D' 만큼 진행한 탄성 표면파의 첫 번째 파형이 출력 IDT의 첫 번째 finger쌍에 입사되면 압전효과에 의해 전기신호가 검출되기 시작하여 탄성 표면파(그림 2 - B)가 전부 출력 IDT에 도달할 때 출력 신호의 크기는 최대가 된다⁽¹⁰⁾.

한편 입출력 IDT 사이의 거리 D 가 IDT의 전체 폭에 비하여 그다지 크지 않은 경우 또는 Impedance 정합이 충분히 되지 않은 경우에 있어서는 입력 신호가 직접 출력 IDT를 통해 feed-through되어 Oscilloscope 상에 나타나게 된다. 따라서 feed-through(그림 2 - B)가 있는 경우에는 이 feed-through 신호를 인가 신호와 동일하게 생각하여 그림 2 - B의 T_1 를 기준시간으로 하고 feed-through가 없는 경우에는 인가 pulse를 channel 2에 입력하여 기준시간으로 사용한다.

그러므로 그림 2 - B에서 $T_2 - T_1$ 의 시간 동안 탄성표면파가 진행한 실제 거리는 IDT 사이의 거리 D 가 아니라 자유표면거리 D' 에 1λ 만큼 더한 거리가 된다. 따라서 속도 V_s 는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$V_s = (T_2 - T_1) / (D' + \lambda) = V_m \tag{5}$$

또 D' 상에 얇은 금속 막이 덮혀 있는 경우의 속도 V_m 은 V_s 보다 늦어져 그림 2 - C와 같이 된다. 따라서 이때의 속도는

$$V_m = (T_3 - T_1) / (D' + \lambda) \tag{6}$$

이다. 따라서 전기기계 결합계수는 식(4)에 의해 계산된다.

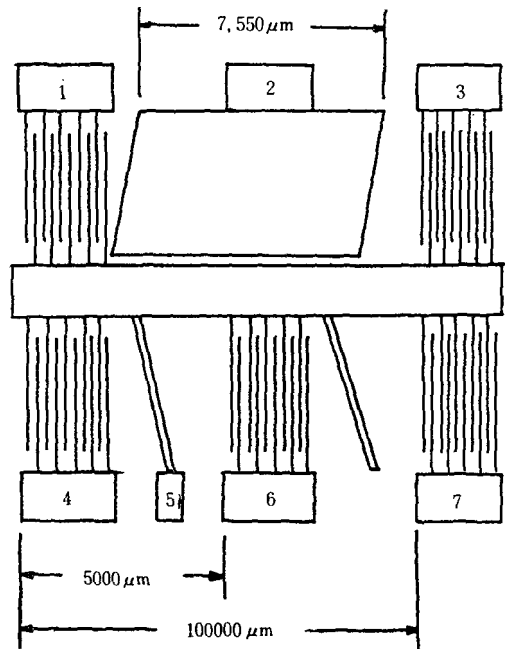


그림 3 IDT Patterns for measurement.

III. 실험결과 및 고찰

그림 3 과 같은 IDT Pattern을 제작하였다. 이때 IDT finger의 폭(W)과 간격(L)은 $50\mu\text{m}$, 유효전극 길이(Aperture) 40λ , finger 갯수 5쌍, Shield 용 전극(5번 Pad) 1λ , 금속 Plate $7,550\mu\text{m}$, IDT 간의 거리 $5,000\mu\text{m}$ 로 하였다. 이와 같은 IDT Pattern을 Ag 증착하여(증착 두께 약 $1,000\text{\AA}$) Photolithography 방법으로 단결정 YZ-LiNbO₃ 및 PbTiO₃ 계 압전세라믹¹⁰⁾위에 제작하였다.

그림 4는 PbTiO₃계 압전 세라믹을 위와 같은 방법으로 제작하여 측정용 Mount 위에 설치 한 것이고 그림 5와 같은 방법으로 결선하여 측정하였다.

측정한 결과는 다음과 같다.

표 1에서 V_{∞} 및 V_m 은 각각 다음과 같은 식에서 구하였다.

$$\begin{aligned} \tau &= (50 * 10 + 200 * 2 + 2W) / V_m + \\ &+ (10000 - 800 - (50 * 10 + 200 * 2 + 2W)) / V_{\infty} \\ &= 1,000 / V_m + 8,200 / V_{\infty} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \tau' &= (7,550 + 2W) / V_m + (10,000 - 800 - (7,550 + \\ &2W)) / V_{\infty} = 7,650 / V_m + 1,550 / V_{\infty} \end{aligned} \quad (8)$$

따라서

$$\begin{aligned} V_m &= (8,200 * 7,650 - 1,550 * 1,000) \\ &/ (8,200 \tau' - 1,550 \tau) \end{aligned} \quad (9)$$

표 1

Substrate	$T_2 - T_1 = \tau$	$T_2 - T_1 = \tau'$	V_{∞} (m/sec)	V_m (m/sec)	K_s^2 (%)	비 고
YZ-LiNbO ₃	2.65	2.69	3,480	3,408	4.13	
YZ-LiNbO ₃			3,488	3,402	4.3	ref. 4
PbTiO ₃ 계	3.325	3.355	2,770	2,741	2.1	

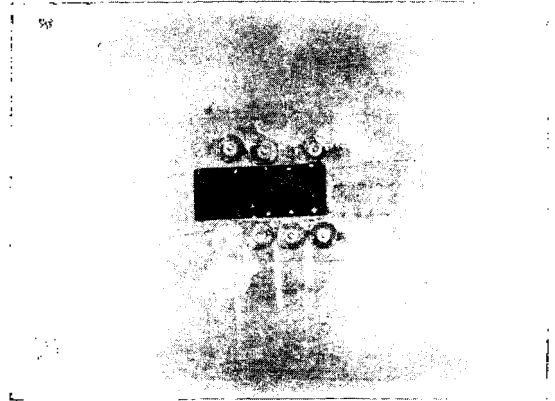


그림 4 PbTiO₃ ceramic on Mount.

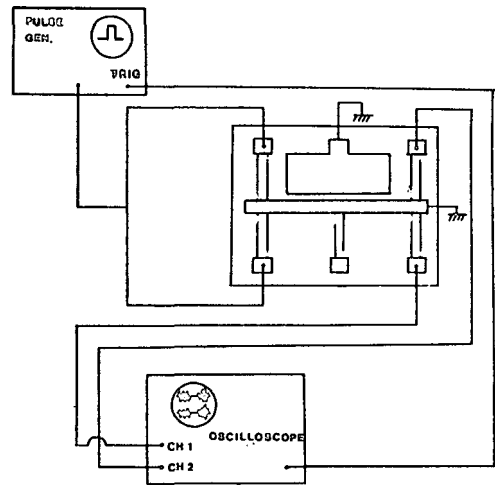


그림 5 Circuits for measurement.

$$V_{\infty} = (8,200 * 7,650 - 1,550 * 1,000) / (7,650 \tau - 1,000 \tau') \quad (10)$$

식 (7)에서 τ 는 자유표면을 전파하는데 소요되는 시간에 금속이 덮여 있는 부분(그림 3에서 5, 6번 Pad로 표시된 부분 및 1λ 만큼 더할 때의 finger부분)을 전파하는데 소요되는 시간을 더함으로써 보상을 하였고 식(8)도 동일한 방법으로 식을 세웠다. 그림 3에서 6번 Pad로 표시된 IDT는 속도제산에는 불필요 하나 이 Pattern을 이용하여 전파 손실을 측정하기 위해 미리 설계·제작된 것이다.

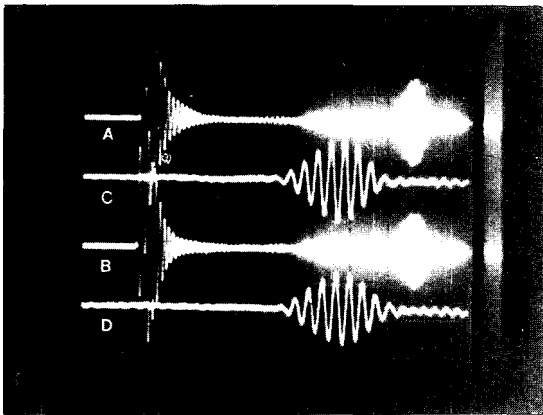


그림 6 Time delay responses of PbTiO₃ ceramics.

그림 6은 PbTiO₃ 계 압전세라믹을 기관으로 하여 본 측정을 한 결과이다. 그림에서 Channel A는 그림 3의 IDT Pattern에서 4번 IDT를 입력, 7번 IDT를 출력으로 한 자유표면 상에서의 시간지연 응답 특성이고 Channel B는 1번 IDT를 입력, 3번 IDT를 출력으로 한 금속 Plate 부분의 시간지연 응답 특성이며, Channel C와 D는 A와 B의 출력파형(밝게 빛나는 부분)을 시간 축으로 2.5배 확장하여 시간지연의 비교를 위한 것이다.

IV. 결 론

pulse generator와 oscilloscope를 이용하여 탄성 표면파의 속도 및 전기기계 결합계수를 측정하는 새로운 방법을 제시하고 이 방법으로 측정한 결과를 기존의 실험결과와 비교하여 그 타당성을 입증하였다.

1. λ 보다 폭이 작은 pulse를 인가하여 feed-through가 있는 경우에는 feed-through를 기준으로 하고 없는 경우에는 divider를 이용하여 입력 pulse를 기준으로 시간지연을 측정한다.
2. 거리 산출시에는 IDT 사이의 거리 D를 이용하는 것이 아니라 D에서 IDT의 폭을 뺀 거리 D'에 1λ 를 더한 거리를 사용해야 한다.

이는 convolution 이론에 따라 출력 IDT의 첫번째 finger 쌍에 탄성표면파가 전파되는 순간 출력 convolution 특성의 첫번째 파형이 유도되므로 실제로 표면파가 전파하는 거리는 $D' + \lambda$ 가 된다.

3. 이 방법으로 자유표면 상태에서의 속도 V_{∞} 와 금속판이 덮힌 상태에서의 속도 V_m 를 구하고 이 속도의 차이에서 전기기계 결합계수를 측정하였다. 그 결과 YZ-LiNbO₃ 단결정에 대하여서

$$V_m = 3,408 \text{ m/sec}, \quad V_{\infty} = 3,480 \text{ m/sec}$$

$$K_s^2 = 4.13\% \text{ 이었고}$$

PbTiO₃ 계 압전 세라믹에 대하여서는

$$V_m = 2,741 \text{ m/sec}, \quad V_{\infty} = 2,770 \text{ m/sec}$$

$$K_s^2 = 2.1\% \text{ 이었다.}$$

참 고 문 헌

1. R.M. White, "Surface Elastic Wave". IEEE Proc., Vol.58, No.8, pp.1238-1276, 1970.
2. 電子材料工業會 "表面波デバイスとその材料に関する調査報告書", 1977.
3. ANSI/IEEE std 176-1978.

4. J.J. Campbell, "A Method for Estimating Optimal Cuts and Propagation Directions for Excitation of Piezoelectric Surface Waves", IEEE Trans., Vol.SU-15, No.4, 209-217, 1968.
5. A.J. DeVries and R.L. Millers, "Optical Measurement of Surface-wave Scatter Losses in Piezoelectric Ceramics", Appl. Phys. Lett., Vol.20, pp.210-212, 1972.
6. L. Pantani, "A coherent-pulse Superposition Technique for Velocity Measurements on Surface Elastic Waves", IEEE Trans., Vol.SU-19, No.3, pp.384-386, 1972.
7. M. Kodama and H. Iwasaki, "Fabrication of New Piezoelectric Ceramic and its Surface Wave Velocity", Jap. Jour. Appl. Phys., Vol.13, No.1, 1974.
8. W.R. Smith, "Design of surface wave delay Line with interdigital Transducers", IEEE Trans. Vol. MTT-17, pp.865-873, 1969.
9. D.P. Morgan, "Surface acoustic wave devices and applications", Ultrasonic, Vol.11, pp.121-131, 1973.
10. H. Matthews, Surface Wave Filters, John-Wiley & Sons, New York, 1977, Chapter 3.
11. 추후발표예정 "PbTiO₃ 제압전세라믹의 탄성표면파 특성에 관한 연구"