The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol. 10, No. 1, pp,1-7,1997.

PZT압전세라믹을 이용한 SAW필터의 제작

논문 10-1-1

Fabrication of SAW filter using PZT ceramics

정연호*, 송준태*
(Yeon-Ho Chung, Joon-Tae Song)

Abstract

SAW filter has been used in mobile communication device, bandpass filter and resonator for merits of miniaturization and high reliability. Materials for substrate mainly used single crystal such as $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, ZnO.

In this study, it was attempted that $LiNbO_3$ was substituted for piezoelectric ceramics(PZT4, PZT5A and PZT8) which had simple fabrication process because fabrication of crystal is difficult and it's cost is high. SAW filters were fabricated by the photolithography on piezoelectric ceramics substrates in order to compare their characteristics with $LiNbO_3$'s. The experimental value of center frequency was compared with theoretical one. The average difference of center frequency was 3.7%. PZT8 showed the best bandwidth properties among them. It is considered that PZT8 has higher mechanical quality factor and propagation velocity than others.

key words(중요 용어) : SAW filter(탄성 표면파 필터), surface velocity(표면속도), single crystal(단결정), piezoelectric ceramic(압전 세라믹), mechanical quality factor(기계적 품질 계수)

1. 서 론

1885년 Rayleigh에 의해 Surface Acoustic Wave(SAW)가 처음으로 제시[1]된 후에 1965년에 White와 Voltmer에 의해서 대역 필터에 사용하게 되었다.[2] 그 후로 전자 산업의 발전에 의하여 대역 필터가 많이 요구됨에 따라 SAW를 이용한 필터는 더욱 발전하고 소형화되었다. SAW 필터는 기존의 필터에 비하여 소형이고 조정이 필요하지 않으며, 고신뢰성을 보이는 장점이 있으므로 많이 응용, 연구되고 있다.[3,4] 그 응용 분야로서는 각종 대역 필터, 공진자, 위성방송 시스템의 수신자, 이동통신용 소자, Pulse compressor 등에 사용되고 있다.

SAW필터의 기판으로 사용되는 압전체의 종류는 $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, ZnO, GaAs, Quartz등 단결정이 주로 사용되고 있다. 단결정이 사용되는 이유는 제정수들의 변화가 작으므로 공진 주파수의 온도에 대한 안정도가 우수하고, 표면의 평활도가 좋기 때문이다.[5] 그러나 기판으로 사용되는 단결정의 대부분은 제조과정이 어렵고 고가이며 국내에서의 생산이 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 기판을 제조가 용이한 압전세라믹으로 대치할 수 있는지의 가능성을 타진하고자 한다. 단결정 중에서 가장 많이 사용하는 $LiNbO_3$와 압전세라믹(PZT4, PZT5A, PZT8)의 기판에 똑같은 패턴을 사용하고 필터의 제조공정을 같이 하여 중심주파수, 대역폭 등을 비교 고찰하고자 한다.

* : 성균관대학교 공대 전기공학과
접수일자 : 1996년 9월 19일
심사완료 : 1996년 11월 19일

2. SAW 필터의 설계

통과대역 필터 제작에는 몇 가지 방법이 이용되고 있다.[4,6,7,8] 그 중 본 연구에서는 빌딩 블록 방식에 의해 필터를 제작하였다. 빌딩 블록 방법[4,8]이란 여러 개의 함수를 합성하여 원하는 주파수 응답을 얻는 방법이다. 즉 함수들을 합성한 주파수 응답을 DFT처리하여서 임펄스 응답을 구하였다. 이 과정에서 얻고자하는 중심 주파수와 대역폭에 의하여 임펄스 응답 구간이 결정된다. 그리고 중심주파수와 탄성 표면파의 속도에 따라 전극간의 간격을 산출하였다. 또한 산출한 임펄스 응답의 진폭에 의하여 전극이 겹치는 부분의 크기(weighting)를 계산하였다. 주기는 전극과 전극간의 간격의 2배가 된다.

설계한 대역 필터의 전극 폭은 중심주파수와 탄성표면파의 속도와 관계가 있다. 본 연구에서는 Y-cut, Z-propagation $LiNbO_3$의 탄성표면파 속도를 이용하였다.

$LiNbO_3$와 PZT기판을 이용한 SAW 필터의 중심주파수와 대역폭의 특성을 비교하기 위하여 그림1과 같이 6가지 형태의 패턴을 설계하였다. $LiNbO_3$ 기판의 제정수들을 가지고 중심주파수가 4.5MHz이고 대역폭이 0.1MHz인 대역필터의 패턴을 설계하여 PZT기판에 $LiNbO_3$와 똑같은 패턴을 형성하였다. 입력 전극 패턴의 형태는 DFT에 의한 임펄스 응답의 웨이팅 값과 전극의 간격을 사용하여

설계하였다. 패턴1은 크기가 17.8×12.0㎜기판에 입력 측의 전극 간격과 폭을 각각 파장의 1/8인 97㎛로 설계하여 이중 전극에 의한 출력 전극에서의 전파 반사를 줄이고자 하였다.[9,10,11] 입력 전극에 dummy전극을 아래 전극과 위 전극의 간격을 균일하게 하여 전파의 회절에 의한 전파손실을 줄였다.[9,12,13] 출력전극은 전극 폭과 전극 간격의 비를 3:1인 291㎛로 하여 전파의 반사에 의한 손실을 줄이고자 하였다.[11] 입력 전극과 출력 전극이 간격은 970㎛로 설계하였다. 입력 전극의 수는 50개를 사용하였고 출력전극은 10개를 사용하였다. 패턴2는 입력전극의 폭을 파장의 1/4인 194㎛로 하고 핑거수는 50개로 설계하였으며, 출력전극은 패턴1과 같이 설계하였다. 패턴3은 입력 전극 간격은 파장의 1/4인 194㎛이며 핑거수는 26개로 하였고, 출력 전극은 패턴1과 같이 설계하였다. 패턴4의 입력 전극은 패턴1과 동일하게 설계하였고, 출력 전극은 전극 폭을 파장의 1/8인 97㎛로 하였고 핑거수는 20개로 설계하였다. 패턴5는 입력 전극은 패턴2와 같이 설계하였으며, 출력 전극 패턴은 패턴4와 같이 하였다. 패턴6은 입력 전극은 패턴3과 같고 출력전극은 패턴4와 같이 설계하였다.

3.실험 및 측정

본 연구에 쓰인 $LiNbO_3$는 Crystal Technology사에서 Y-cut , Z-propagation의 것이며, PZT는 VALPEY FISHER제품인 PZT4, PZT5A, PZT8을 사용하였다. $LiNbO_3$와 PZT의 크기는 $LiNbO_3$의 경우에는 3인치, 0.5±0.05㎜인 웨이퍼를 사용하였고 PZT 기판은 17.8×12.0×1.0㎜를 사용하였다. PZT의 분극 방향은 파의 진행 방향과 같은 Z방향을 택하였다. 필터의 각 패턴은 AUTOCAD R12를 사용하여 설계하였고 이것을 40배 확대하여 Rubylith필름으로 제작하였다. 이렇게 제작한 필름을 축소 촬영하여 emulsion glass에 실제 크기와 같게 현상하였다.

기판의 종류에 따라 세척 과정을 다르게 처리하였다.[10] PZT는 온도를 높이면 분극에 영향을 주므로 이를 피하기 위하여 상온에서 Trichlorethyle과 아세톤으로 각각 10분 동안 세척하여 D.I. water로 세척한 후 질소 가스로 건조하였다. $LiNbO_3$의 세척은 100℃의 Trichlorethylene과 아세톤에서 각각 10분간 담궈 유기물을 용해 한 후 D.I. water로 씻었다. 이러한 세척 후에도 남아 있는 유기물을 제거하기 위하여 H_2O: NH_4OH : H_2O_2의 비율을 3:1:1로 한 용액을 75℃에서 가열하여 10분간 시편을 담근 후 초음파 세척기에서 10분 동안 세척한 후 D.I. water로 씻었다. 잔여 물기를 제거하기 위해 압축 질소 가스를 사용하여 건조시킨다.

PZT 기판 표면의 평활도를 향상시키기 위하여 1㎛ 알루미나 연마제(Buehler)를 사용하여 기판의 표면을 연마하였다.

Thermal evaporator(유성엔지니어링)를 이용하여 알루미늄의 두께를 1400Å증착하여 $LiNbO_3$와 PZT의 기판에 전극을 형성하였다. 증착시의 진공도는 3×10^{-5}Torr이었으며, 텅스텐 바스켓을 사용하였다. 전극 증착에 사용된 전극재료는 순도 99.99%인 알루미늄을 사용으며 각 기판 위에 패턴의 형성은 contact printing을 사용하였다.

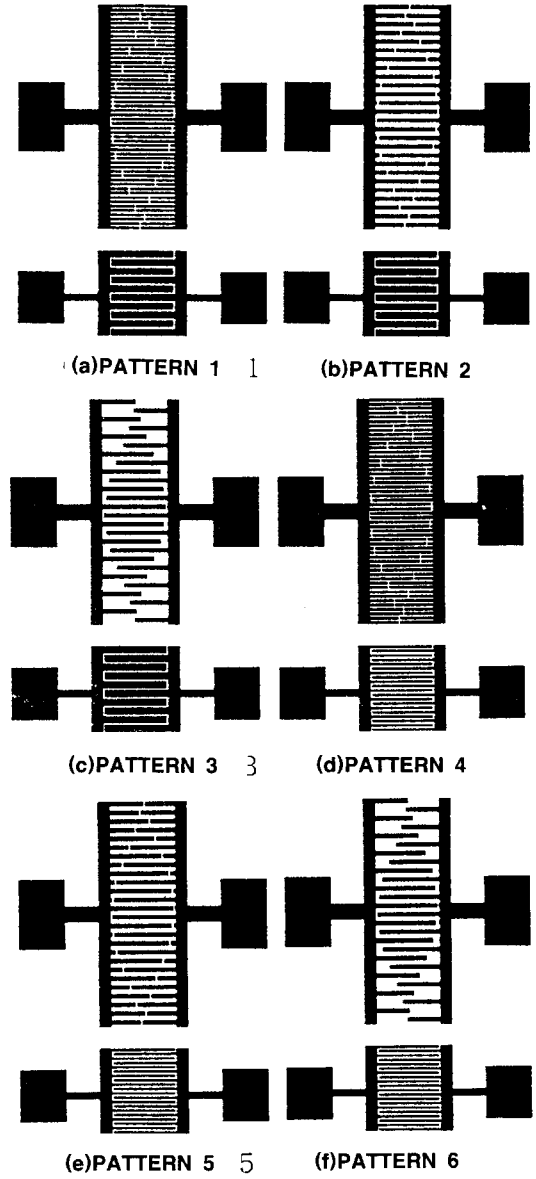
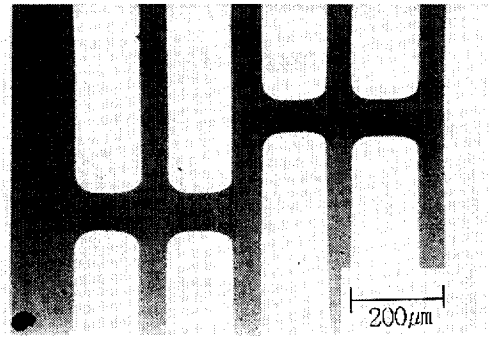


그림 1. SAW 필터의 패턴
Fig. 1. Patterns of SAW filters

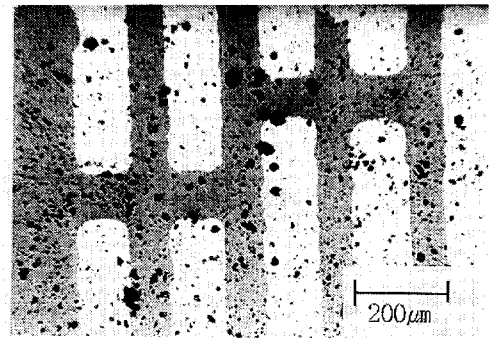
알루미늄이 입혀진 기판에 negative photoresistor(AZ1518)를 1.0㎛입혀 coating spinner에서 4000 rpm으로 30초간 회전시킨다. soft baking(90℃, 10분)을 하고 나서 aliner로 패턴을 형성한 후 20초간

노광하였다. Developing(Developer: H_2O=10:1)은 Developer(AZ351)에서 2분간 시행하였다. 이후 D.I. Water로 세척하여 Hard bake(110℃, 30분)를 하여 패턴을 기판위에 형성하였다.

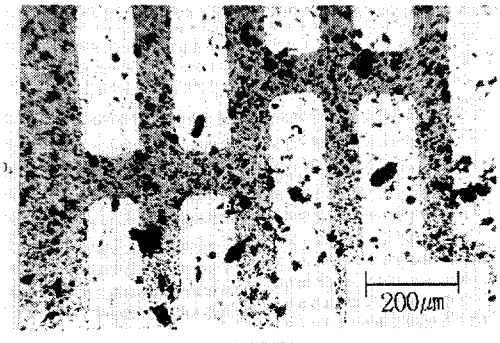
Aluminum Etchant(H_3PO_4 + H_2SO_4 + H_2O)를 사용하여 알루미늄을 식각하고, H_2SO_4:H_2O_2가 19:1인 혼합액을 사용하여 PR(Photoresist)을 제거한 후에 D.I. Water로 세척하였다. 그 후에 질소 가스를 이용하여 수분을 제거하고 건조시켰다. 사진1은 식각 후 400배 확대한 패턴의 형태이다. PZT의 표면 상태가 $LiNbO_3$에 비하여 상당히 거칠다는 것을 알 수 있다. 이러한 방법으로 $LiNbO_3$, PZT4, PZT5A, PZT8의 기판에 각각 6가지 패턴을 제작하였다.



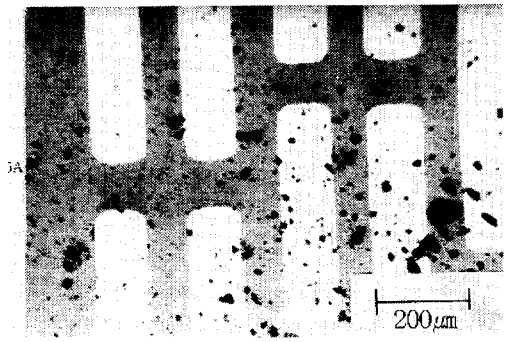
(a)$LiNbO_3$



(b)PZT4



(c)PZT5A



(d)PZT8

사진 1. 식각후의 패턴의 전극
Photo. 1. Electrode of patterns after etching

중심 주파수와 대역폭의 측정은 Tracking generator(ANDO, AC-8292)와 Spectrum analyzer (ANDO, AC-8212)를 사용하였다.

4.결과 및 고찰

그림 2는 각 패턴에서의 중심 주파수를 그래프로 처리한 것이며, 그림 3은 중심 주파수를 이론에 의하여 산출한 값과 실험결과의 값을 비교한 그래프이다. 표면속도의 이론 값은 다음의 수식에 의하여 산출하였다[1].

$$\left(\frac{V_R}{V_s}\right)^6 - 8\left(\frac{V_R}{V_s}\right)^4 + 8\left[3 - 2\left(\frac{V_s}{V_l}\right)^2\right]$$

$$\left(\frac{V_R}{V_s}\right)^2 - 16\left(1 - \left(\frac{V_s}{V_l}\right)^2\right) = 0$$

여기서 V_s는 벌크파의 횡파속도, V_l은 벌크파의 종파속도 그리고 V_R은 표면파 속도를 나타낸다.

PZT의 분극방향과 전파방향을 고려하여 횡파와 종파 속도를 다음과 같이 산출하였다.

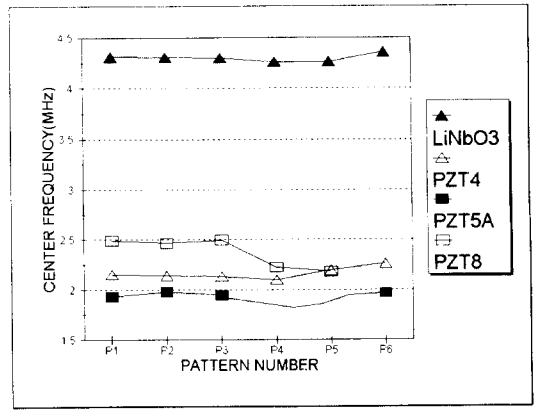


그림 2. 패턴의 중심 주파수
Fig. 2. Center frequency of patterns

$$V_l = \sqrt{\frac{c_{33}^D}{\rho}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{c_{44}^E}{\rho}}$$

여기서 c는 탄성상수이며 ρ는 밀도를 의미한다. 수식에 이용한 각 PZT계의 탄성정수와 밀도를 표 1과 같이 정리하였다.

표 1. PZT의 탄성상수와 밀도
Table 1. Elastic costant and density of PZT

	c_{33}^D (10^{10}N/m^2)	c_{44}^E (10^{10}N/m^2)	ρ (10^3kg/m^3)	Q_M
PZT4	15.9	2.56	7.5	500
PZT5A	14.7	2.1	7.75	75
PZT8	16.1	3.13	7.6	1000

산출한 표면파의 속도는 $LiNbO_3$의 경우는 3,488m/s, PZT4는 1,742m/s, PZT5A는 1,554m/s, PZT8은 1,905m/s이었다. 각각의 표면파 속도와 실험에 사용한 전극간격을 이용하여 PZT계에 대한 중심주파수의 이론값을 구하면 PZT4의 중심주파수는 2.247㎒, PZT5A의 중심주파수는 2.005㎒, PZT8의 중심주파수는 2.458㎒이었다.

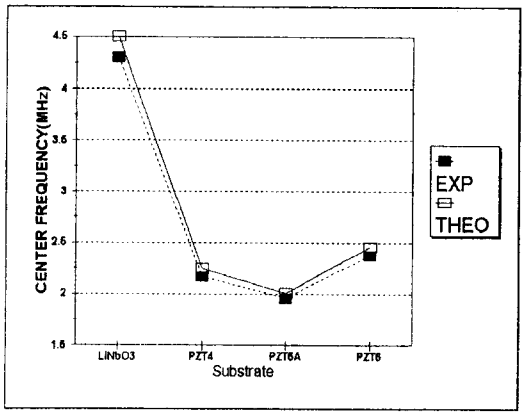
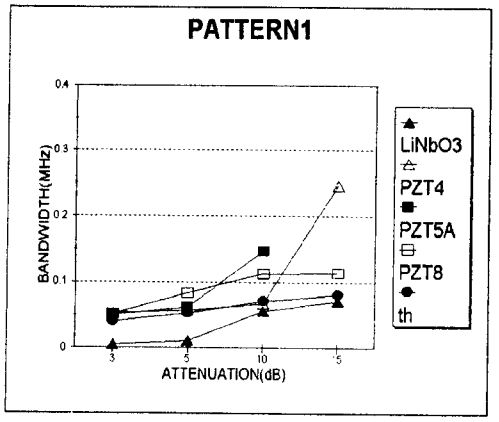
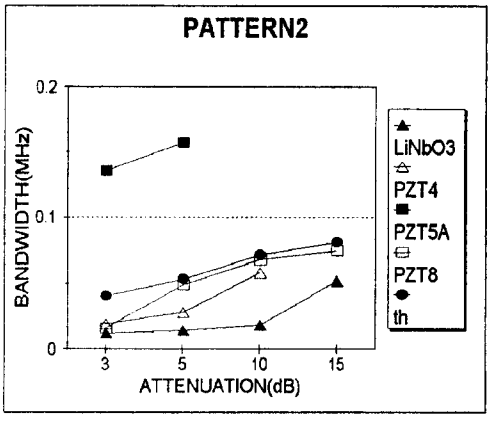


그림 3. 주파수의 이론값과 실험값
Fig. 3. Theoretical value and experimental value of center frequency

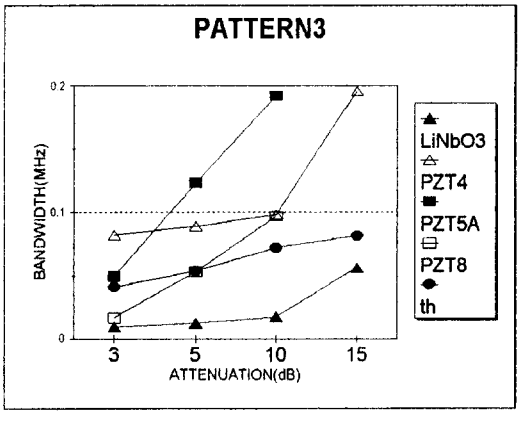
그림3에서 볼 수 있듯이 $LiNbO_3$, PZT4, PZT5A, PZT8의 각 기판에서 중심주파수의 이론값과의 오차는 각각 4.4%, 3.6%, 2.5%, 3.4%이었다. 비교적 이론값과 잘 일치하였다. 오차가 있는 것은 식각 과정에서 wet etching시 발생하는 under cut에 의해 사진 1과 같이 전극의 폭과 전극의 간격이 동일하지 않게 형성된 것이 그 원인이라고 사료된다.



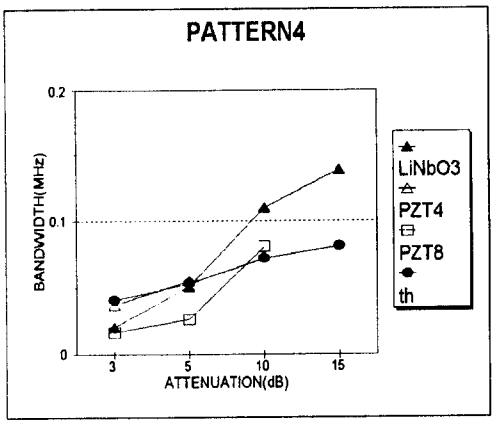
(a)



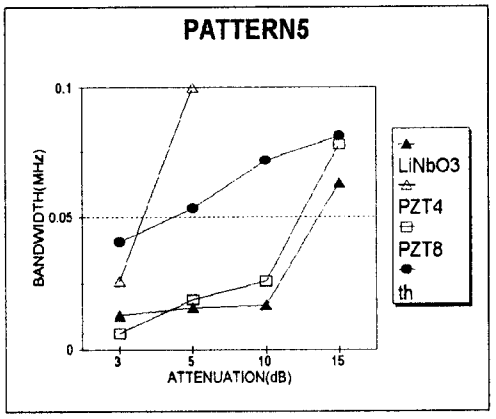
(b)



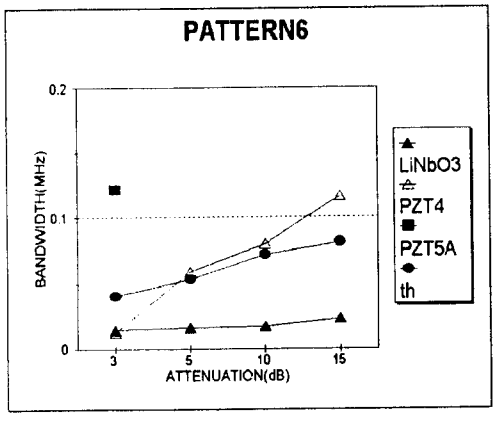
(c)



(d)



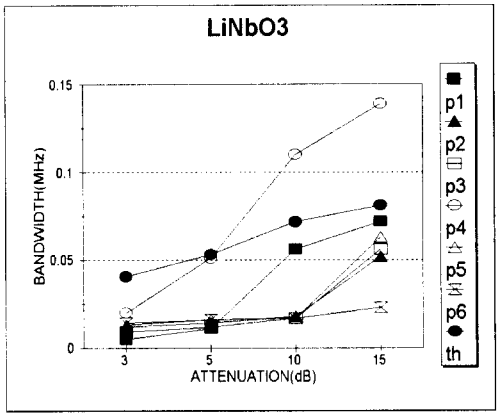
(e)



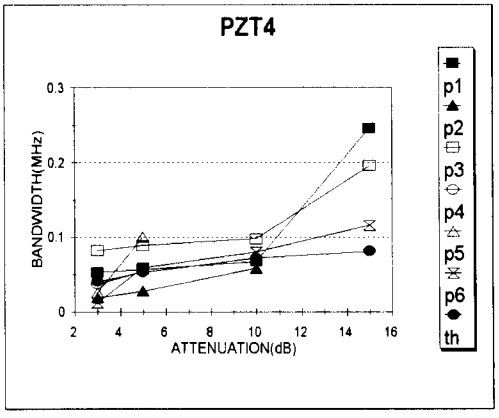
(f)

그림 4. 대역폭과 Attenuation의 비교
Fig. 4. Comparison of bandwidth and attenuation

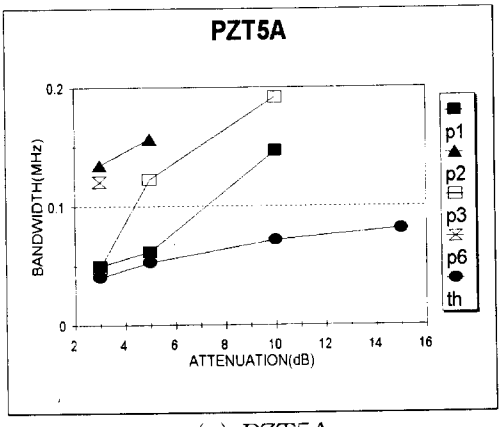
그림 4는 각 패턴에서의 대역폭 특성을 그래프로 보였다. 그래프에서 알 수 있듯이 PZT군에서 이론 값과의 오차가 패턴1인 경우에 27.2%, 패턴2는 97.1%, 패턴3은 61.6%, 패턴4는 56.5%, 패턴5는 73.7%, 패턴6은 122.8%이었다. 이와 같이 차이가 큰 이유는 사진1에서 볼 수 있듯이 전극 간격과 전극 폭을 같도록 설계했는데, 식각 과정에서 전극 폭이 전극 간격보다 넓게 형성된 것이 그 원인이라고 사료된다. 입력 측의 전극의 간격과 폭을 각각 파장의 1/8인 97㎛로 이중 전극으로 하고 출력 전극폭의 비를 3:1인 291㎛로 설계한 패턴1이 PZT를 이용한 SAW필터설계에 적합함을 보였다.



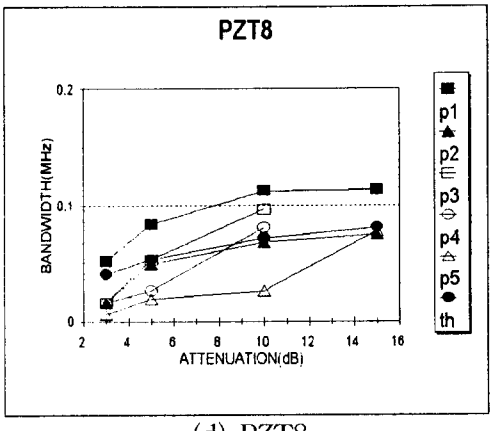
(a) $LiNbO_3$



(b) PZT4



(c) PZT5A



(d) PZT8

그림 5. 기판에 따른 대역폭의 비교
Fig. 5. Comparison of bandwidth for substrate

그림 5는 기판과 대역폭 특성을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 PZT8이 비교적 좋은 특성을 보였다. 이러한 이유는 탄성표면파의 전파에 중요한 인자인 전파손실이 기계적품질계수와 상관관계가 큰 것에 기인한 것으로 생각된다.[14] PZT8은 표 1에서 보는 것 처럼 PZT4나 PZT5A에 비해 품질계수가 거의 두배에 이를 정도로 크기 때문에, PZT8이 가장 우수한 대역폭 특성을 보이는 것으로 사료된다.

5. 결 론

SAW필터의 기판을 $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, ZnO, GaAs, Quartz등과 같은 단결정을 사용하지 않고 제조가 용이한 PZT압전세라믹으로 대치할 수 있는 가능성을 조사한 본 논문의 결론은 다음과 같다.

1. PZT을 사용한 대역필터의 중심주파수는 이론값과 실험값의 오차가 3.7%로 비교적 잘 일치하였다.
2. 6가지의 패턴 중에서 패턴1이 PZT를 이용한 SAW필터의 설계에 가장 적합함을 보였다.
3. PZT4, PZT5A, PZT8를 사용한 기판중에서 PZT8이 비교적 좋은 대역폭특성을 보였다. 이는 품질계수, 표면속도가 크기 때문인 것으로 사료된다.

PZT8은 대역폭 특성이 우수하여 5MHz에서 제품으로의 개발이 가능하다고 사료되며, 보다 높은 주파수에서 PZT를 이용한 SAW필터의 제작 가능성을 확인하는 것이 앞으로의 과제로 남는다.

※ 감사의 글
이 논문은 1995년도 교육부 학술연구조성비(신소재 분야)에 의하여 연구된 것으로, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Lord Rayleigh, "On waves propagating along the plane surface of an elastic solid," Proc. London Math. Soc., Vol. 7, pp.4-11, November 1885
2. R. M. White and F. W. Voltmer, "Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves," Appl. Phys. Lett., Vol. 17, pp. 314-316, 1965
3. MELVIN G. HOLLAND and LEWIS T. CLAIBORNE, " Practical Surface Acoustic Wave Device," Proceedings of the IEEE, vol. 62, NO. 5, pp.582 - 611 , MAY 1974
4. Gordon s. Kino, "ACOUSTIC WAVES: DEVICES, IMAGING, AND ANALOG SIGNAL PROCESSING ," P109-114, PRENTICE HALL, 1987
5. John G. Gualtieri, John A. Kosinski, and Arthur Ballato, " Piezoelectric Materials for Acoustic Wave Applications," IEEE Trans, Ultrason, Ferroelec, Freq, cont, VOL. 41. NO 1. 1994, pp 53-59
6. Evgeniy V. Bausk, and Igor B. Yakovkin, "Withdrawal Weighted Fan-Shaped SAW Transducers," IEEE Trans, Ultrason, Ferroelec, Freq, cont, VOL 42, NO 2, 1995, pp. 164-167
7. ANTHEM R. REDDY, " Design of Bandpass Filters Using New Window Functions", IEEE Trans, Ultrason, Ferroelec, Freq, cont, VOL 35, NO. 1. 1988, pp50-56
8. A. J. DeVries. " A design method for surface wave filters using simple structures as building blocks," Proc. Ultrasonics Symposium, pp. 441-444, 1973
9. Colin Campbell ,"Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing

Applications", ACADEMIC PRESS, 1989
10. Herbert Matthews, "SURFACE WAVE FILTERS DESIGN, CONSTRUCTION, AND USE", A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 1977
11. J. Rypkema, A. DeVries, and F. Banach," ENGINEERING ASPECTS OF THE APPLICATION OF SURFACE WAVE FILTERS IN TELEVISION I. F.'S", IEEE TRANSACTION ON CONSUMER ELECTRONICS, VOL. CE-21, NO. 2, P105-113, 1975
12. CURT FLORY and MICHAEL TAN, "Diffraction Minimization in SAW Devices Using Wide Aperature Compensation," IEEE Trans. Ultrason, Ferroelec, Freq, Cont,.vol. 35, NO. 4, pp 498-502, 1988
13. F. Stuart Foster, Linda K. Ryan and Daniel H. Turnbull, " Characterization of Lead Zirconate Titanate Ceramics for Use in Miniature High-Frequency (20-80 MHz) Transducers," IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Cont., vol. 38, pp. 446-453, 1991
14. 日刊工業新聞社, "表面波 デバイスとその応用", 電子材料工業會 編 , p121

저자소개

정연호

1968년 9월 14일생. 1995년 2월 성균관대학교 공대 전기공학과 졸업. 1997년 현재 성균관대학교 대학원 전기공학과 재학중(석사).

송준태

1952년 2월 15일생. 1975년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986년 미국 Rensseler Polytechnic Institute 연구교수. 현재 성균관대학교 공대 전기공학과 교수.