

RF 마그네트론 스퍼터링에 의한 ZnO 박막 SAW 필터에 관한 연구

A Study on the ZnO Thin Film SAW Filter by RF Sputter

박용욱*, 신현용*, 박정흠**, 강종윤***, 심성훈***, 최지원***, 윤석진***, 김현재***, 김경환***, 최형욱***
(Yong-Wook Park*, Hyun-Yong Shin*, Jeong-Heum Park**, Chong-Yun Chang***, Sung-Hun Sim***,
Ji-Won Choi***, Seok-Jin Yoon***, Hyun-Jai Kim***, Kyung-Hwan Kim***, Hyung-Wook Choi***)

Abstract

ZnO thin films on glass substrate were deposited by RF magnetron reactive sputter with various argon/oxygen gas ratios and substrate temperatures. Crystallinities, surface morphologies, chemical compositions, and electrical properties of the films were investigated by XRD, SEM, XPS and electrometer(Keithley 617). All films showed a strong preferred orientation along the c-axis on glass substrate, and the chemical stoichiometry was obtained at Ar/O₂=50/50. The propagation velocity of ZnO SAW filter was about 2,590 m/sec and insertion loss was a minimum value of about -21dB.

Key Words : ZnO thin film, preferred orientation, resistivity, RF magnetron sputter, SAW, Propagation velocity, Insertion loss

1. 서론

ZnO는 wurtzite 결정구조를 가지는 물질로서 가시광 영역에서의 투광성과 높은 굴절률, 큰 압전상수, 강한 전기기계 및 비선형 전기광학 계수를 가져 압전 트랜스듀서, 집적화된 광도파로, 산화 또는 환원 가스 검출 센서, 발광 다이오드와 태양전지의 투명 전도막 등 그 이용 범위가 매우 다양하다[1-5].

특히 LiNbO₃에 상응하는 기계결합계수와 ST-cut quartz에 비견하는 우수한 열적 안정성으로 인해 표면 탄성파 (Surface acoustic wave : SAW)를 이용한 대역통과필터, 공진기, convolver[6-8]등의 통신 기기용 필터 및 신호처리소자로 활발히 연구되는 재료 중의 하나이다. ZnO 박막을 형성하는 방법 중, ZnO 타겟을 사용하고 반응성 가스로 아르곤과 산소의 혼합가스를 사용하는 RF 마그네트론 스퍼터링법은 장치가 단순하며, 높은 증착율, 넓은 증착면적과 우수한 방향성(c축 우선 배향)을 갖는 양질의 막과 투명하고 치밀한 막을 얻을 수 있는 장점이 있다. SAW device, 센서, 및 투명전극과 같은 ZnO 박막의 다양한 응용분야에서는 서로 다른 요구 조건 때문에 ZnO 박막의 증착 변수(가스압, 기판 온도, 가스 혼합비, 기판과 타겟 거리, RF power, 기판의 종류 등)에 따른 박막의 결정성, 표면 형상, 전기적 및 광학적 특성에 미치는 증착 변수 고찰은

* : 남서울대학교 전자정보통신공학부
(충남 천안시 성환읍 매주리 21
Fax : 041-580-2120
E-mail : pyw@nsu.ac.kr)

** : 김포대학 전자전공

*** : KIST 박막연구센터

**** : 경원대학교 전기전자공학부

2001년 2월 15일 접수, 2001년 3월 16일 1차심사완료

2001년 5월 7일 2차심사완료

ZnO 박막을 다양한 응용분야에 사용하기 위해 학계 및 산업계에서 큰 관심을 모으고 있다. 특히 필터 등의 SAW device는 주로 TV, VCR등의 저주파대역 필터로 많이 사용되어 왔으나, 최근 정보통신 분야의 비약적인 발전에 힘입어 고주파대역의 필터가 많이 요구되고 있다. ZnO 박막을 고주파대역의 SAW device에 응용하기 위해서는 박막의 배향성에 의한 삽입손실, 박막의 불균일성에서 발생하는 SAW 전파 속도차에 의한 중심주파수의 변형과 같은 문제점을 해결하기 위해 아주 우수한 c-축 우선 배향성, 균일한 박막, 높은 비저항 등의 특성 개선이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 기존에 연구 발표하였던 [9] 인가전력, 기판온도 등의 증착 공정변수가 ZnO 박막의 결정성, ZnO의 화학 조성비, 전기적 특성 등에 미치는 영향에 추가적인 공정변수인 Ar/O₂의 가스 조성비를 변화시킨 ZnO 박막을 이용한 ZnO SAW 필터를 제작하여 ZnO SAW 필터의 통신기기용 대역 통과 필터로의 특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 ZnO 박막 제작

ZnO 박막을 증착하는 RF 마그네트론 스퍼터링 장치의 대략적인 구성도는 그림 1과 같다. 증착전 챔버내의 진공은 로터리 및 확산펌프를 이용하여 10⁻⁶ Torr를 유지한 후 MFC를 이용하여 반응성 가스인 Ar/O₂ 혼합가스를 챔버내로 주입하였다.

본 연구에 사용된 기판은 7059 corning glass로 증착속도, 기판온도 등의 여러 변수에 따른 ZnO 박막의 특성을 상세히 고찰하기 위해 이러한 증착 변수들을 변화시키면서 최적의 ZnO 박막특성을 얻는 증착 조건을 확립하고자 하였으며, 실험 조건은 표 1과 같다.

각 증착조건에서 제작된 ZnO 박막의 두께는 Tencor의 Alpha-step 200을 이용하여 측정하였다. 또한, 증착 변수에 따른 ZnO 박막의 구조적 특성 고찰을 위해 X-ray diffractometer (Philips; PW 1817 model)를 이용 $\theta/2\theta$ 및 rocking curve를 측정하여 결정성 및 우선배향성을 조사하였고, 박막의 미세구조는 SEM으로 분석하였다. 화학상태 및 결합상태 분석을 위해 2803-s probe를 이용한 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)분석을 행하였고, ZnO 박막의 전기적 특성 변화를 분석하기 위해 증착된 ZnO 박막에 Al 전극을 형성한 후

표 1. ZnO박막 증착조건.

Table 1. Sputtering conditions of ZnO thin films.

Deposition parameters	conditions
R.F power	50 - 200(W)
Substrate temperature	R. T, - 400°C
Distance of target-substrate	3 - 6(cm)
Ar/O ₂ gas ratio	100/0 - 0/100
Background pressure	10 ⁻⁶ (Torr)
Working pressure	10 ⁻² (Torr)

electrometer (Keithley 617)를 사용하여 증착조건에 따른 비저항 변화를 측정하였다.

2.2 ZnO SAW 필터 제조

ZnO 박막 SAW 필터의 주파수 응답을 측정하기 위해 이상적인 전파속도인 2,600m/s로 가정하여 중심주파수가 162.5MHz가 되도록 전극들의 중첩을 갖게

표 2. IDT 설계 제원.

Table 2. Design Specification of IDT.

Double electrode IDT	
Finger width/space	2 μ m/2 μ m
Number of finger pair	30
SAW wavelength	16 μ m
SAW aperture	800 μ m
Propagation length	320 μ m

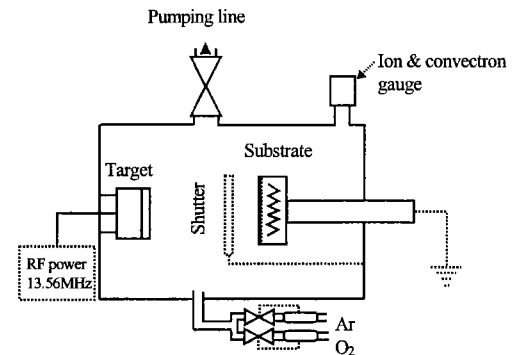


그림 1. R.F 마그네트론 스퍼터링 장치도.

Fig. 1. Schematic diagram of R.F magnetron sputter system.

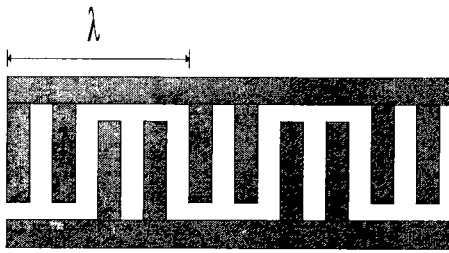


그림 2. 대칭형 Double IDT 구조.
Fig. 2. Schematic diagram of symmetrical double IDT structure.

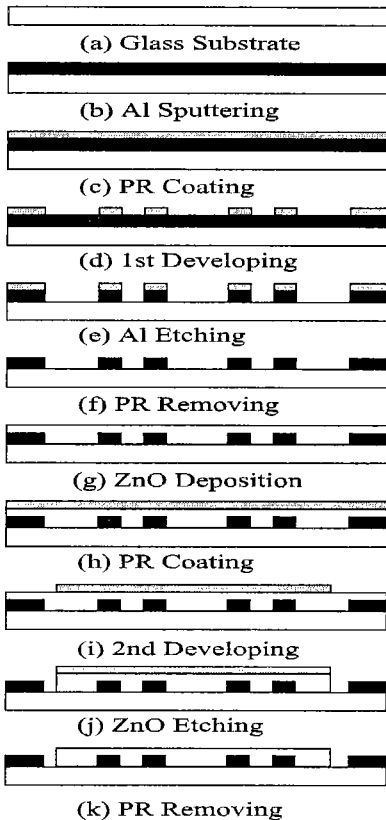


그림 3. ZnO SAW 필터 공정도.
Fig. 3. Fabrication process of ZnO SAW filter.

하는 unapodize pattern을 이용한 uniform 형태의 대칭형 IDT를 설계하였다. 기본적으로 metallization ratios(η)는 기본 모드를 분석하기 위해 0.5로 설정

하여 기본적인 주파수 특성을 확인하기 위해 전극들간의 반사를 최소로 하는 대칭형 double IDT를 설계·제작하였고 설계된 IDT규격은 표 2와 같고 IDT의 구조는 그림 2에 나타내었다. 또한 설계된 IDT를 이용하여 적층 형태의 ZnO SAW 필터를 그림 3과 같이 제작하여 HP network Analyzer 8720C를 사용하여 주파수 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 실험결과 가장 좋은 결정성 및 전기적 특성을 보인 챔버압력 10mT, 인가전력 100W, 기판 온도 200°C 및 타겟과 기판과의 거리 4cm의 증착 조건에서[9] 스퍼터링 가스중의 Ar/O₂ 가스비에 따른 결정성 및 배향성을 분석한 결과이며, 측정된 시편의 두께는 1 μ m로 하였다. Ar/O₂ 가스비에 따른 결정성은 그림 4의 결과에서 알 수 있듯이 기판에 평행한 (002) 결정면만이 성장되었고 O₂의 조성비가 증가할수록 (002) 결정면에 대한 XRD 회절 피크는 산소의 조성비가 50%까지는 비슷하거나 또는 증가하다가 그 이상 산소량이 증가하면 감소하는 특성을 보인다. 기판에 평행한 (002) 결정면의 우선 배향성은 산소량이 50%정도까지 증가할수록 rocking

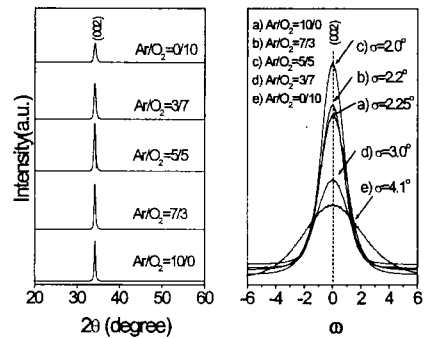


그림 4. 인가전력 100W, 챔버압력 10mT, 기판 온도 200°C, 및 타겟과 기판과의 거리 4cm에서 증착된 ZnO 박막의 Ar/O₂ 가스비에 따른 $\theta/2\theta$ 및 rocking curve spectra.

Fig. 4. The variation of $\theta/2\theta$ and rocking curve spectra as a function of Ar/O₂ gas ratios at 100 W, 10 mT, 200°C, and a target/ substrate distance of 4cm.

curve의 표준 편차는 산소가 존재하지 않고 Ar만으로 증착한 경우는 약 $\sigma=2.25^\circ$ 의 우선 배향성을 보이다가 산소의 유입이 50%까지 증가하면 $\sigma=2.0^\circ$ 로 배향성이 향상되는 결과를 보인다. 이와 같은 결과는 ZnO 산화물 타겟을 사용할 경우 연구자마다 정도의 차이는 있지만 약간의 산소의 유입이 있어야 c-축 우선 배향성이 우수하고 표면이 매끄러운 막을 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있는데[10] 본 실험의 결과도 기존의 결과와 잘 일치하고 있으나 산소 함량에 대한 결과는 Aita[11]등이 보고한 GDS(glow discharge spectroscopy)를 통해 플라즈마 내에서 Zn^+/ZnO^+ 의 비가 최소일 때 우선 배향성이 가장 우수한 특성을 갖는다고 보고한 결과와는 약간의 차이를 가지지만 이는 실험 장비 및 조건의 차이로 보이며 본 실험에서 증착된 박막은 산소의 유입량이 50%정도 일 때 우선 배향성이 $\sigma=2.0^\circ$ 의 표준 편차를 보여 우수한 ZnO 압전 박막이 증착 되었음을 알 수 있다.

그림 5는 챔버압력 10mT, Ar/O₂ =50/50, 인가전력 100W, 기판온도 200°C 및 타겟과 기판과의 거리 4cm의 증착 조건에서 증착한 박막의 미세 구조로 결정립의 형태는 아주 매끄럽고 전체적으로 매우 치밀한 주상구조로 성장되었음을 알 수 있다.

그림 6은 챔버압력 10mT, Ar/O₂ =50/50, 인가전력 100W, 기판온도 200°C 및 타겟과 기판과의 거리

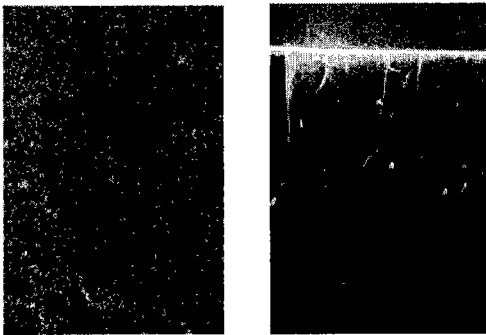


그림 5. 인가전력 100W, 챔버압력 10mT, 기판온도 200°C, Ar/O₂ =50/50 및 타겟과 기판과의 거리 4cm에서 증착된 ZnO 박막의 표면과 단면 SEM.

Fig. 5. Surface and cross-sectional SEM micrographs of ZnO films on glass as a function of Ar/O₂ =50/50 gas ratios at 100 W, 10mT, 200°C, and a target/substrate distance of 4cm.

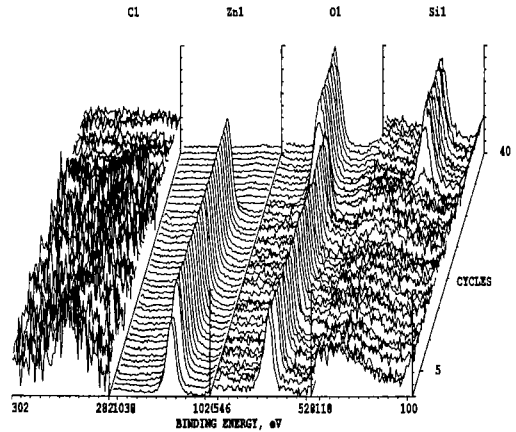


그림 6. 인가전력 100W, 챔버압력 10mT, 기판온도 200°C, Ar/O₂ =50/50 및 타겟과 기판과의 거리 4cm에서 증착된 ZnO 박막의 XPS spectra.

Fig. 6. XPS spectra of Zn1s, O1s, Si1s of ZnO films as a function of Ar/O₂ =50/50 gas ratios at 100 w, 10 mT, 200°C.

4cm의 증착 조건에서 ZnO 박막의 화학 양론적 조성 및 결합상태를 조사한 XPS 결과를 보여준다. 이 결과에서 ZnO 박막의 표면에 존재하는 Zn과 O의 피크가 내부에 존재하는 피크와 다른 크기를 나타내는데, 이는 박막의 표면에 약간의 산소 흡착이 존재하고 내부에는 Zn과 O만이 존재하는 것을 알 수 있다. 이는 표면에 존재하는 O1s의 피크는 기존에 ZnO의 결합에서 O1s가 가지는 기본피크인 530.6eV와 표면에 흡착된 hydroxides에 의한 531eV 근처에 존재하는 두 개의 피크로 구성되어 있고, Zn 2p는 1021.7eV의 결합에너지를 가지는 결합 상태임을 알 수 있다. 이것은 증착된 ZnO 박막의 표면에는 약간의 산소 흡착된다는 것을 보여주며, 약간의 산소가 흡착된 박막 표면을 에칭한 후에는 531eV에 의한 피크가 없어져 오직 O 1s에 의한 기본피크만이 존재하는 것을 알 수 있다. 따라서 표면에 흡착된 O는 수 Å 정도의 두께만을 가지는 것으로 생각된다. 따라서 증착된 ZnO 박막은 표면에 흡착된 약간의 O 이외에는 다른 불순물의 혼입이 발생하지 않고 균일한 Zn:O의 결합상태를 갖는 ZnO 박막이 제작 되었음을 보여준다.

또한 그림 7은 챔버압력 10mT, 인가전력 100W,

기판온도 200℃ 및 타겟과 기판과의 거리 4cm의 증착 조건에서 스퍼터링 가스중의 Ar/O₂ 가스비에 따른 비저항 변화를 보이고 있다. 산소의 양이 0%에서 100%로 증가함에 따라 비저항은 10⁴ Ωcm에서 9×10⁸ Ωcm으로 증가하여 산소의 양이 최대인 100%의 가스분위기에서 9×10⁸ Ωcm로 최대의 비저항값을 가졌다. 이러한 산소의 증가에 의한 비저항의 증가는 기존의 연구결과와 일치하는 특성으로 산소의 양이 증가하면서 표면이나 grain boundary에서 강한 산소의 chemisorption이 발생하고 또한 증착된 박막의 Zn:O의 조성비가 화학양론에 가까워 carrier concentration의 급격한 감소로 비저항이 증가하는 것으로 생각된다[12-13]. 비저항은 산소의 양이 약 30%정도까지 증가함에 따라 비저항이 급격히 증가하나 그이상의 산소양에서는 비저항 값이 증가하지는 않지만 증가폭이 미미하고 포화되는 특성을 보인다. 이 비저항의 특성을 가스혼합비에 따른 표면형상의 특성과 비교하면 산소의 양이 50%이상에서 표면의 거칠기가 급격히 감소되어 평탄한 표면을 얻을 수 있는 것과 상관관계가 있는 것으로 생각되

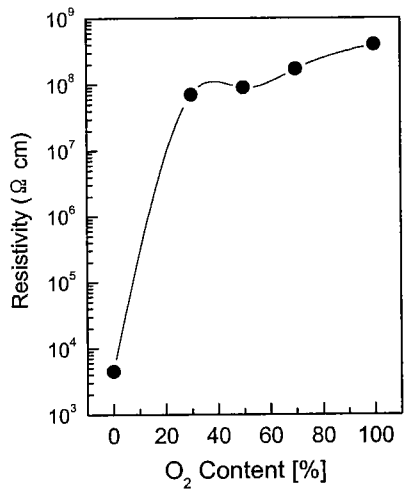


그림 7. 인가전력 100W, 챔버압력 10mT, 기판온도 200℃, 및 타겟과 기판과의 거리 4cm에서 증착된 ZnO 박막의 Ar/O₂ 가스비에 따른 비저항 변화.

Fig. 7. The change of resistivity of ZnO films as a function of Ar/O₂ gas ratios at 100 W, 10 mT, 200℃, and a target/substrate distance of 4cm.

며 산소의 유입은 비저항의 증가와 평탄한 표면을 얻는데 중요한 요인임을 알 수 있다. 또한 산소 50% 이상에서 제조한 ZnO 박막의 비저항은 10⁷ Ωcm 이상으로 압전소자에 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

그림 8은 우수한 c-축 배향성과 높은 비저항값 및 좋은 표면 평활도를 갖는 챔버압력 10mT, Ar/O₂ =50/50, 인가전력 100W, 기판온도 200℃ 및 타겟과 기판과의 거리 4cm의 증착 조건에서 박막의 전기 기계 결합계수가 최대가 되는 조건인 h/λ=0.5의 두께를 갖는 ZnO SAW 필터의 주파수 특성을 측정된 결과이다. 위 결과에서 측정된 중심 주파수는 158.3MHz, 전파 속도는 약 2,590 m/s이며 삽입 손실은 -21dB로 중심 주파수는 설계값인 162.5MHz와는 약 2.5%의 값 차이를 보이지만 이는 전극 제작 시 발생한 오차 등에 의한 것으로 생각되며 다른 특성은 설계한 값과 잘 일치하는 양호한 특성을 보였다.

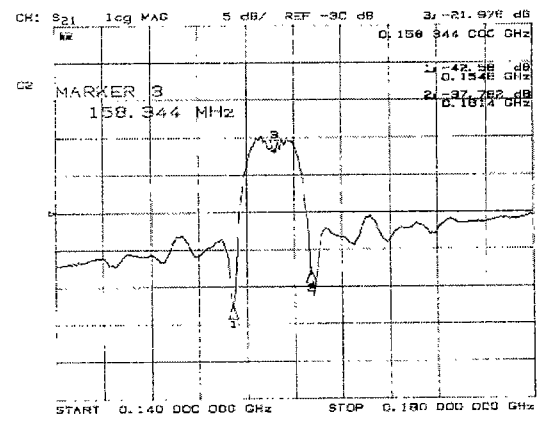


그림 8. ZnO SAW filter의 주파수 응답.
Fig. 8. Frequency response of ZnO SAW filter.

4. 결론

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 ZnO 박막 제작시 증착 공정변수가 ZnO 박막의 결정성, 우선 배향성, 화학 조성비, 전기적 특성 등에 미치는 영향을 고찰하고, 결정성이 우수하며 높은 비저항 값을 가지는 최적의 ZnO 증착조건을 이용하여 제작한 ZnO SAW필터에 대한 특성분석을 수행하여 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 본 실험에서 제작된 ZnO 박막은 모든 제작조건에서 기판에 수직한 (002) 결정면만 존재하고 다른 이상의 결정면은 존재하지 않는 우수한 c-축 우선 배향성을 보였다. 특히, 인가 전력 100W, 챔버 압력 10mT, 기판온도가 200°C, 스퍼터링 가스인 Ar/O₂의 가스 혼합비가 50/50의 조건에서 증착된 ZnO 박막은 최고의 c-축 우선 배향성을 보였으며, rocking curve로 확인한 결과 (002) 결정면의 표준편차는 약 2°로서 아주 우수한 c-축 우선 배향성을 갖는 ZnO 박막을 얻을 수 있었다.
2. 증착된 ZnO 박막은 표면에 약간의 산소흡착은 존재하지만 내부는 균질한 ZnO으로 존재하는 결합 상태를 보였고, 특히 Ar/O₂의 가스 혼합비에서 산소의 양이 증가하면서 Zn:O의 조성비는 Zn의 양이 감소하여 50/50이상의 가스 혼합비에서 거의 화학양론에 가까운 특성을 보였다.
3. 10mT, RF 인가전력 100W, 기판온도 200°C, Ar/O₂=50/50 에서 제작된 SAW 필터는 전파속도가 약 2590m/sec로 아주 우수한 전파특성을 보였고, 또한 삽입손실은 -21dB의 값을 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2000-003-E00146)

참고 문헌

- [1] Frans. C. M. van De Pol, *ceram. Bull.*, 69(12), 959, 1990.
- [2] F. R. Boom, D. J. Yntema, F. C. M. Van De Pol, M. Elwenspoek, J. H. J. Fluitman and Th. J. A. Popma, *Sensors and Actuators.*, A21-A23, 223, 1990.
- [3] S. Pizzini, N. Butta, D. Narducci and M. Palladino, *J. Electrochem. Soc.*, 136(7), 1945, 1989.
- [4] Yasuhiro Igasaki and Hiromi Saito, *J. Appl. Phys.*, 69(4), 2190, 1991.
- [5] R. wang, L. L. H. King and Arthur W. Sleight, *J. mater. Res.*, 11, 1659(1996)
- [6] F. S. Hickernell, *J. Appl. Phys.*, 44, 1061, 1973.

- [7] S. Ono, O. Yamazaki, K. Ohji, K. wasa, and S. hayakawa, *Appl. Phys. Lett.*, 33, 217, 1978.
- [8] S. minagawa, T. Okamoto, T. Nitsuma, K. Tsubonshi, and N. Mikoshiba, *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, SU-32(5), 670, 1985.
- [9] 박용욱, 윤석진, 최지원, 김현재, 정형진, 박창엽, *전기전자재료학회논문지*, Vol.11, No.10, 833, 1998.
- [10] K. S. Chou and C. K. Liu, *Mater. Chem. Ohys.*, 37, 156, 1994.
- [11] C. R. Aita, R. J. Lad and T. C. Tisone, *J. Appl. Phys.*, 51(12), 5405, 1980.
- [12] O. Shusuke, *Appl. Phys. Lett.*, 33, 217, 1978.
- [13] Y. k. Kim and D. William, *J. Appl. Phys.*, 75, 7299, 1994.