

Al₂O₃ 기판위에 반응성 RF 마그네트론 스퍼터로 증착한 AlN 박막의 SAW소자 응용에 관한 연구

論文
52C-7-3

A Study on the AlN Thin Film on Al₂O₃ Substrate Prepared by Reactive RF Magnetron Sputtering System for SAW Device Application

高鳳哲* · 孫陳雲* · 金炅錫** · 嚴茂樹*** · 南昌祐§ · 李圭喆§§

(Bong-Chul Ko, Jin-Woon Son, Kyung-Sek Kim, Mu-Soo Eum, Chang-Woo Nam, Kyu-Chul Lee)

Abstract - AlN thin film has been deposited on Al₂O₃ substrate by reactive radio frequency(RF) magnetron sputtering method under various operating conditions such as working pressure, fraction of nitrogen partial pressure, and substrate temperature. Scanning Electron Microscope(SEM), X-ray Diffraction(XRD), and Atomic Force Microscope(AFM) have been measured to find out structural properties and preferred orientation of AlN thin films.

SAW velocity of IDTs/AlN/Si structure was about 5038[m/s] at the center frequency of 251.9[MHz] and insertion loss was measured to be relatively low value of 35.6[dB]. SAW velocity of IDTs/AlN/Al₂O₃ structure was improved to be about 5960[m/s] at the center frequency of 296.7[MHz].

Key Words : SAW(Surface Acoustic Wave), IDT(Interdigital Transducer), AlN thin film, center frequency

1. 서론

고체표면의 탄성 진동현상은 1885년 Rayleigh에 의해 제안되었으며 1965년 캘리포니아대학의 White와 Voltmer가 압전현상을 이용하여 압전 기판위에 박막 IDTs(Interdigital Transducers)를 제조하여 SAW 소자를 구현하였다. 이후 1970년대 LiNbO₃ 단결정에 IDTs를 이용한 SAW 소자를 개발하면서 연구가 활발하게 진행되었다. 오늘날 SAW 소자는 주로 아날로그 신호처리 소자로서 연구되었지만, 현재 SAW 소자는 일반무선통신의 대역통과 필터와 TV 관련 기기의 필터, 그리고 공진기, 발진기, 펄스압축기, 신호처리소자 등 여러 분야에서 널리 응용되고 있다. 특히, 정보·통신의 수단으로서 이동전화기의 역할을 고려할 때, 이동통신 단말기 용으로 0.5 주파수 대역에서 이용할 수 있는 SAW 필터는 고주파 필터로서 주목할만하다.^[1]

SAW 소자용 압전박막으로서 사용되는 AlN은 유전 특성이 좋으며 band gap 에너지(6.2[eV])가 크다. 또한 강도가 우수하고, 열전도도가 높으며, 열팽창계수가 낮고, 화학적으로 안정할 뿐만 아니라, SAW 진행 속도도 빠르다.^[2] 이러한 특성을 가진 AlN이 SAW 소자로 응용될 때, 박막형 SAW 소자의 재료로 사용할 수 있는 ZnO에 비해 SAW 속도가 더 빠르고, 고주파 대역에서 전파손실이 더 작으며, 온도 안

정성이 더 크다는 이점이 있다. 이런 이유에서 광학적 응용이나 집적회로에서의 응용, SAW 필터 등의 응용을 목적으로 AlN 박막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[3]

본 논문에서는 반응성 마그네트론 스퍼터를 이용하여 Al₂O₃ 기판 위에 제작한 AlN 박막의 구조적 특성을 분석하여 SAW 소자용 기판으로 이용하기 위한 최적의 증착 조건을 규명하고, 소자를 제작한 후 그 특성을 측정하여 SAW 소자용 압전 기판으로서의 AlN 박막의 사용 가능성을 분석하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용된 RF 마그네트론 스퍼터링 시스템(Korea Vacuum, KOREA)의 진공조는 재질이 SUS304이고 내부직경이 300[mm], 높이는 260[mm]인 원통형 구조로 이루어져 있다. 타겟으로는 지름이 4[inch], 순도가 99.999[%]인 Al(CERAC, USA)을 사용하였다.

진공조를 로타리 펌프와 cryo 펌프를 이용하여 2.0×10⁻⁶[torr]까지 압력을 낮춘 다음, 기판과 타겟의 거리를 8[cm]로 고정하고 RF 전원, 질소분압비, 증착압력, 기판온도 등을 가변하여 박막을 제작하였다. 박막을 제조하기 전에 알루미늄 타겟표면의 불순물과 산화막을 제거하기 위해 150[W]의 RF 전원을 가하여 타겟을 약 10분간 pre-sputtering을 시켰다. RF 스퍼터링의 동작 조건을 표 1에 요약하였다. COM(Coupling-of-Mode) 이론을 사용한 시뮬레이션 프로그램을 작성한 후 대역폭은 3.5[MHz], 밴드저지율은 25.5[dB], 삽입손실은 16[dB]의 특성을 가지는 그림 1과 같은 2-port SAW 공진기를 설계하였다. 5[μm]의 배선 폭을 가지는 IDTs를 배열하여 파장이 20[μm]인 SAW 소자용 금속 마스크를 제작하였다. 칩 크기를 실제 상용 제품의 크기와 비슷한 약 5[mm]×7[mm]로 제한하여 AlN 박막의 표

* 正會員 : 蔚山大 工大 電氣工學科 博士課程

** 非會員 : LG 이노텍 先任 研究員

*** 正會員 : 蔚山科學大 電氣科 教授 · 工博

§ 正會員 : 蔚山大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博

§§ 正會員 : 蔚山大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2003年 2月 3日

最終完了 : 2003年 5月 30日

면 구배에 의해 발생하는 우선배향성의 분산으로 인한 SAW 특성 저하를 최소화하였다.

표 1 RF 마그네트론 스퍼터의 동작조건
Table 1 Operating conditions of RF magnetron sputtering system.

기저압력	2×10^{-6} torr
작업압력	2 ~ 10 mtorr
기판온도	실온 ~ 500 °C
타겟과 기판 거리	8 cm
가 스	Ar, N ₂
RF POWER	150 W
증착시간	9 시간
질소분압비 n	30[%] ~ 90[%]
$n = \frac{N_{concentration}}{Ar_{concentration} + N_{concentration}} \times 100[\%]$	

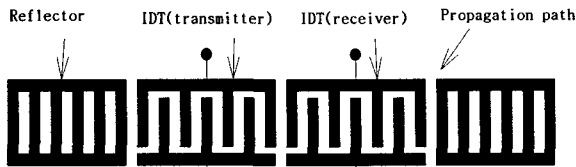


그림 1 2-port 공진기의 IDTs의 형상
Fig. 1 Shape of Two-port resonator's IDTs.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 AlN/Al₂O₃ 구조의 특성

SAW 소자에서 IDTs는 기판의 압전효과를 이용하여 탄성파를 전기적 신호로 변환시키기 때문에, AlN 기판의 c-축 우선배향성은 SAW 소자의 특성에 매우 중요한 역할을 한다.

그림 2는 RF 전원을 150[W], 작업압력 2.0[mtorr], 기판온도 상온에서 질소분압비 n의 변화에 따른 AlN 박막의 XRD 측정결과이다. (002) peak가 35.944°부근에서 검출되었고 질소분압비 n이 30[%]일 때 가장 우수한 우선배향성을 보이고 있으며, 질소분압비가 증가할수록 peak가 감소하는 경향을 나타내고 있다. Rodriguez^[4,5], Ju^[6]등은 이러한 현상이 나타나는 원인을 질소농도가 증가함에 따라 과잉질소가 타겟 표면을 질화시키고 타겟의 질화로 인해 높은 에너지의 입자가 기판에 도달하거나 질소와 알루미늄이 결합된 형태로 기판에 도달할 확률이 커져서 질소와 알루미늄이 공존하는 면인 (100) 면이 발달하는 경향 때문이라고 설명하였다.

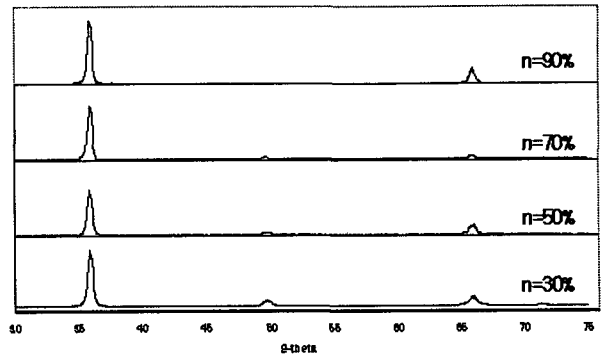


그림 2 질소 분압비에 따른 XRD 피크의 변화
Fig. 2 XRD results of AlN thin film at various fractions of nitrogen partial pressure.

그림 3은 작업압력에 따른 AlN 박막의 XRD 측정결과를 보이고 있다. RF 전원을 150[W], 질소분압비를 50[%], 타겟과 기판거리를 8cm로 고정하고 기판의 온도는 상온으로 하였다. AlN 박막의 (002) 우선배향성은 작업압력이 2[mtorr]일 때 가장 높았으며, 작업압력이 증가함에 따라 우선배향성이 감소하였다. 이는 작업압력이 높아지면 플라즈마내의 산란효과가 증가하여 우선배향성이 감소하는 것으로 생각된다. 그러나 너무 낮은 작업압력하에서는 증착되는 입자의 에너지가 너무 커지므로 타겟에 손상을 주고 박막의 특성을 저하시킬 수 있으므로 적절한 작업압력이 필요하다.

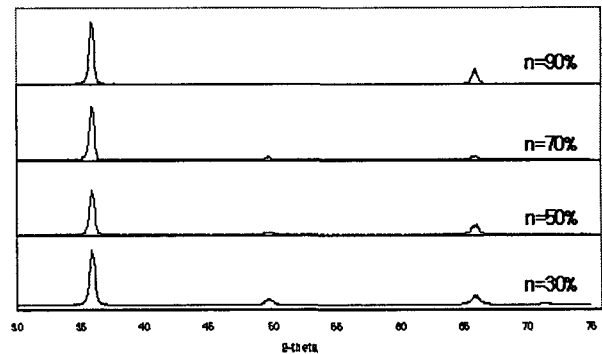


그림 3 작업압력에 따른 XRD 피크의 변화
Fig. 3 XRD results of AlN thin film at various working pressure.

그림 4는 RF 전원을 150[W], 증착시간을 9시간으로 고정하고 질소분압비 변화에 따른 FE-SEM의 표면형상을 나타내고 있다. 질소분압비가 30[%]~50[%]인 경우 입자들이 아주 조밀하게 배치되어 있다. 질소분압비가 70[%] 이상으로 높아지면 입자의 크기가 커지면서 둥근 모양의 입자를 형성하였으며 균일하지만 치밀하지 못한 형상을 보였고 그림 2에서와 같이 이러한 구조를 가지는 박막은 c-축 우선 배향성이 감소하였다. SEM 표면사진으로는 질소분압비의 증가에 따른 표면 거칠기의 변화를 정확하게 확인할 수는 없었

지만 등근 입자의 크기로 대략 비교할 때 표면 거칠기는 질소분압비가 낮을수록 우수한 것으로 보인다. 이를 확인하기 위해 동일 조건하에서 AFM 측정을 행하였으며 이를 그림 5에 나타내었다.

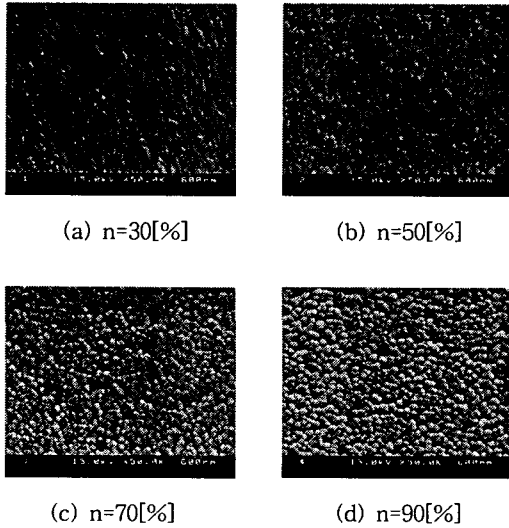


그림 4 질소 분압비에 따른 SEM 표면 사진
Fig. 4 SEM. images of AlN thin film surface at various fractions of nitrogen partial pressure(150W, 9hours).

AlN 박막의 표면거칠기가 나빠지면 SAW의 전파 손실이 커지게 되어 SAW 소자의 삽입손실도 증가하게 된다.^[6,14] AFM 측정결과 질소분압비가 30[%]일때 표면거칠기의 rms 값은 3.68[nm]로 가장 낮았으며, 이후 질소분압비가 증가할수록 박막 거칠기의 rms 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 SAW필터에 사용하기 위한 AlN 박막은 낮은 질소분압비하에서 제작하는 것이 적당하다고 생각된다.

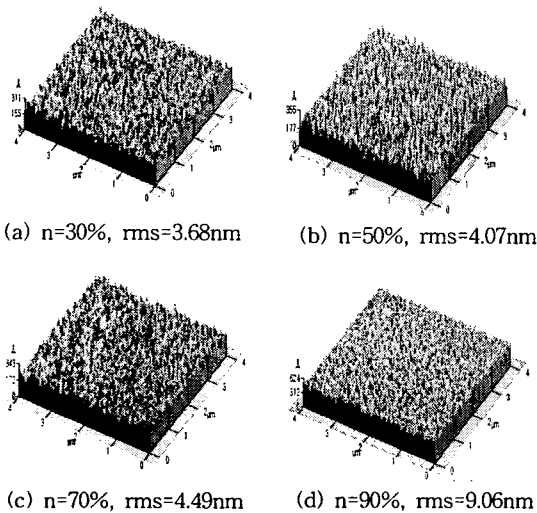


그림 5 질소 분압비에 따른 AlN 박막 표면의 AFM 형상
Fig. 5 AFM images of AlN thin film surface at various fractions of nitrogen partial pressure.

3.2 2-단자 공진기 설계 및 측정결과

식 (1)^[7]의 COM(Coupling-of-Mode) equation을 분석하여 그림 6과 표 2와 같은 특성을 가지는 2-단자 SAW 공진기를 설계하였다.

$$\begin{aligned} \frac{dR(x)}{dx} &= -j\delta R(x) + jk_S(x) + j\zeta V \\ \frac{dS(x)}{dx} &= -jk^*R(x) + j\delta S(x) - j\zeta^*V \\ \frac{dI(x)}{dx} &= -2j\zeta^*R(x) - 2j\zeta S(x) + j\omega CV \end{aligned} \quad (1)$$

$\delta = \beta - \frac{M\pi}{p}$, ζ 는 transduction 계수, k 는 coupling 계수, C 는 단위길이당 static capacitance, p 는 periodicity이다.

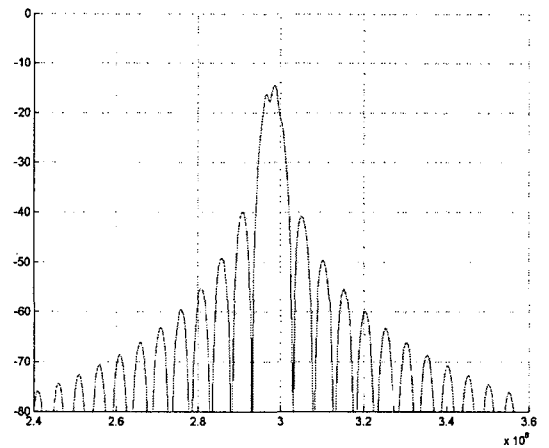


그림 6 Two-port 공진기의 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation results of two-port resonator.

표 2 측정결과와 시뮬레이션 결과 비교
Table 2 Comparison of measurement and simulation results.

	시뮬레이션 결과 (IDTs/AlN/Si)	측정 결과 (IDTs /AlN/Si)	측정 결과 (IDTs /AlN/Al ₂ O ₃)
3[dB]대역폭 (BW)	3.5[MHz]	2.43[MHz]	3.3[MHz]
삽입손실	16[dB]	35.6[dB]	23[dB]
밴드저지율	25.5[dB]	0.7[dB]	24.5[dB]

그림 7은 network analyzer(HP 8753D)를 이용하여 측정 한 IDTs/AlN/Si 형태의 SAW 소자 특성을 보여준다. 2-단자 SAW 공진기의 중심주파수는 약 251.9[MHz]로 측정되었으며 삽입손실은 35.6[dB], SAW 속도는 5038[%]로 측정되었다. 그림에서 볼 수 있듯이 밴드저지율(out of band rejection)이 너무 낮고 삽입손실이 너무 커서 실제 SAW 필터의 특성이 좋다고 볼 수는 없었지만 AlN 박막의 공진특성

을 확인할 수 있었다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 표 2에서 비교하였다. 그림 7에서 IDTs/AlN/Si구조의 2-단자 SAW 공진기에서는 실리콘 기판으로의 전파손실이 크고 AlN 박막의 표면 거칠기 및 결정결함으로 인하여 삽입손실 특성이 매우 저하되는 것으로 판단된다. 또한 큰 삽입손실과 임피던스 부정합 때문에 밴드저지율 역시 나빠진 것으로 판단된다. 이 외에도 산소와 탄소와 같은 AlN 박막내의 불순물에 의한 압전효과의 저하, 박막내의 grain boundary에서 전파산란 등이 특성저하에 영향을 주었을 것으로 예상된다.

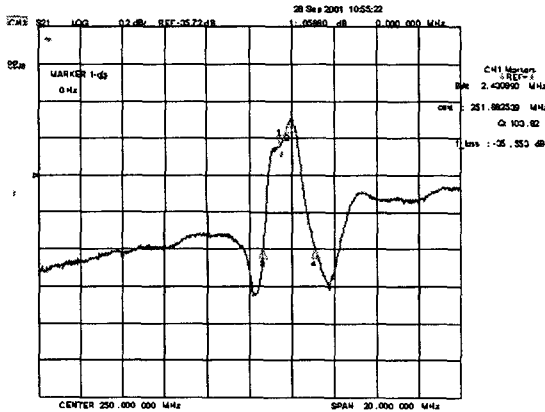


그림 7 IDTs/AlN/Si구조의 2-단자 SAW 공진기의 특성.
Fig. 7 Two port SAW resonator characteristic of IDTs/AlN/Si structure.

높은 삽입손실 및 낮은 밴드저지율의 원인이라고 생각되는 실리콘 기판에 의한 전파손실을 확인하기 위해 IDTs/AlN/Al₂O₃ 구조의 2-단자 SAW 공진기를 제작하였으며 그림 8에 측정결과를 나타내었다. 측정된 결과에서 중심주파수는 296.7[MHz], SAW 속도는 5960[%]로 산출되었다.

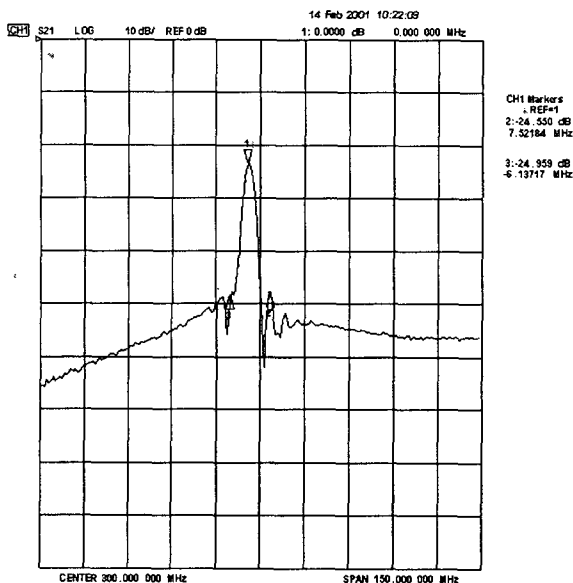


그림 8 IDTs/AlN/Al₂O₃구조의 2-단자 SAW 공진기의 특성.
Fig. 8. Two port SAW resonator characteristic of IDTs/AlN/Al₂O₃ structure.

AlN/Al₂O₃ structure.

시뮬레이션 결과에서 삽입손실은 16[dB]정도 설계되었는데 실제 측정값에서는 23[dB]정도로 여전히 설계값보다는 높게 나타났다. 이는 Al₂O₃기판을 사용함으로써 실리콘 기판에 대한 전파손실은 감소시켰으나 AlN 박막의 표면 거칠기로 인한 삽입손실이 여전히 존재하고 있기 때문이며 입출력단의 임피던스 정합 역시 정확하게 이루어지지 않았음을 보여준다. 대역폭 및 밴드저지율은 설계값 3.5[MHz] 및 25.5[dB]에 거의 일치하는 결과를 보여 주었다.

앞의 두 실험 결과를 통해 AlN 박막이 SAW 필터로 사용될 수 있다는 가능성을 확인하였다. 그러나 실리콘 위에 one-chip화하여 사용하기 위해서는 AlN 박막에 적합한 IDTs패턴을 최적화하는 연구와 DLC^[8](Diamond Like Carbon), 다이아몬드^[9,10,11,12] 및 사파이어^[13] 박막과 같은 중간막을 개발하기 위한 연구가 필요하다. 이러한 중간막들은 높은 경도를 가지므로 실리콘 기판으로의 전파손실을 차단해줄 것이며 높은 Young의 계수를 가지기 때문에 높은 SAW 속도를 가진다.

4. 결 론

이상의 결과를 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) AlN 박막의 (002)면의 우선배향성은 작업압력을 2[mTorr]으로 유지할 때가 가장 좋았다. 따라서 SAW 필터용 AlN 박막을 제작하기 위해서는 비교적 낮은 작업압력에서 제작하는 것이 바람직하다.
- 2) AlN 박막의 표면거칠기는 질소분압비가 낮을수록 특성이 우수하게 나타났다. 표면의 거칠기는 SAW 소자 제작시에 삽입손실과 밀접한 관계를 가지고 있으므로 본 연구에서 측정된 표면거칠기는 SAW 제작에 양호한 특성을 나타내었다.
- 3) IDTs/AlN/Si 형태의 SAW 소자의 중심주파수는 약 251.9[MHz]였으며, 삽입손실은 35.6[dB]정도로 나타났으며 SAW 속도는 5038[%]였다. 반면에 IDTs/AlN/Al₂O₃인 경우 중심주파수는 약 296.7[MHz]이고, SAW 속도는 5960 [%]으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 울산대학교 연구비에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 박용욱, “표면탄성파(SAW) 필터의 이론”, 전기전자재료학회 제13권 제7호, 2000년 7월, pp. 8~13.
[2] S. Inoue, H. Uchida, A. Hioki, K. Koterazawa and R. P. Howson, “Structure and composition of (Ti, Al)N films prepared by r.f. planar magnetron sputtering using a composite target”, Thin Solid Films, 271, 1995, pp.15.

- [3] H. M. Liaw, F. S. Hickernell, " SAW Characteristics of Sputtered Aluminum Nitride on Silicon and Gallium Arsenide", IEEE Ultrasonics Symposium, 1994, pp. 375~379
- [4] A. Rodriguez-Navarro, W.Otano-Rivera, J.M.Garia-Ruiz, R.Messier, and L.J. Pilione, "Development of preferred orientation in polycrystalline AlN thin films deposited by rf sputtering system at low temperature" J.Mater. Res., 12(7), 1850-1855 (1997)
- [5] A. Rodriguez-Navarro, W.Otano-Rivera, J.M.Garia-Ruiz, R.Messier, and L.J. Pilione, "Preparation of highly oriented polycrystalline AlN thin films deposited on glass at oblique-angle incidence" J. Mater. Res., 12(7), 1689-1692 (1997)
- [6] 주한용, "Deposition of AlN thin films by reactive RF magnetron sputtering and characteristics of acoustic wave devices" Ph.D. Thesis in Department of inorganic material, Seoul University, pp. 57-60. 1999.
- [7] Victor Plessky, "Coupling-Of-Modes analysis of SAW devices" International Journal of High Speed Electronics and Systems, Vol. 10, No. 4(2000) pp. 867-947
- [8] J.Y. Kim, Y. E. Lee, H.J. Kim, H.K. Yang, J.C. Park, Y.J. Kim, "Surface Acoustic Wave Properties of ZnO/DLC/Si(100) Multilayer Structure" IEEE Ultrasonics Symposium, 1996, pp. 318~320
- [9] Akihiro Hachigo, Donald C. "SAW Devices Modeling Including Velocity Dispersion Based on ZnO/diamond/Si Layered Structures" IEEE Ultrasonics Symposium, 1998, pp. 660~666
- [10] K. Yamanouchi, N. Sakurai, T. Satoh. "SAW propagation characteristics and fabrication technology of piezoelectric thin film/diamond structure" IEEE Ultrasonics Symposium, 1989, pp. 351~354
- [11] H. Nakahata, A. Hachigo, S. Shikata, N. Fujimori " High frequency surface acoustic wave filter using ZnO/Diamond/Si structure" IEEE Ultrasonics Symposium, 1992, pp. 377~380
- [12] S. Shikata, H. Nakahata, K. Higaki, A. Hachigo, N. Fujimori "1.5 GHz SAW Bandpass filter using poly-crystalline diamond" IEEE Ultrasonics Symposium, 1993, pp. 277~280
- [13] S. Tomabechi, S. Kameda, K. Masu, K. Tsubouchi "2.4GHz Front-End multi-track AlN/a-Al₂O₃ SAW matched filter" IEEE Ultrasonics Symposium, 1998, pp. 73~76
- [14] Ju-Won Soh, Won-Jong Lee "SAW Characteristics of AlN Films Deposited on Various Substrates Using ECR Plasma CVD and Reactive RF Sputtering" IEEE Ultrasonics Symposium, 1996, pp. 299~302

저 자 소 개



고 봉 철 (高鳳哲)

1971년 7월 22일생. 1998년 울산대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 2000년~현재 동대학원 전기공학과 박사과정



손 진 운 (孫陳雲)

1969년 6월 6일생. 1993년 울산대학교 전기공학과 졸업. 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동대학원 전기공학과 박사과정.



김 경 석 (金 鏡 錫)

1969년 10월 9일생 1994년 울산대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년~현재 LG Innotek Co.



엄 무 수 (嚴 茂 樹)

1944년 4월 10일생. 1967년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1982년 영남대학교 전기공학과 졸업(석사). 1997년 울산대학교 전기공학과 졸업(박사). 1979년~현재 울산과학대학 전기전자통신학부 교수.



남 창 우 (南 昌 祐)

1958년 2월 19일생. 1984년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1989년 Univ. of Florida 전기공학과 졸업(석사). 1994년 Penn. State Univ. 전기공학과 졸업(박사). 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수



이 규 철 (李 圭 喆)

1947년 11월 21일생. 1973년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1975년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수, 대한전기학회 울산지부 회장