

# 다결정 AlN 박막을 이용한 800 MHz 대 표면탄성과 대역통과 필터개발에 관한 연구

## A Study on the Development of 800 MHz band Pass Filters using Polycrystal AlN Film

이형규\* · 최익권\* · 용윤중\*\* · 이재영\*\*

Hyung Gyoo Lee\* · Ik Guen Choi\* · Yoon-Joong Yong\*\* · Jai-Young Lee\*\*

### 요 약

본 논문에서는 다결정 AlN 박막을 이용하여 800 MHz 대역의 표면탄성과 필터를 시험제작한 연구 결과를 제시한다. 고주파 스퍼터링 방법에 의하여 실리콘 기판위에 증착시켜 X선 rocking curve의 반치폭이 3°이고 박막 성장 방향으로 결정의 c축이 우선 배향된 박막을 얻었다. 임펄스 모델링 기법을 이용하여 시험제작된 표면탄성과 필터는 중심주파수 865 MHz, 3 dB 대역폭 45 MHz이며 측정된 주파수 응답곡선으로부터 유도된 전기기계 결합상수는 0.8 %, 표면탄성과 전달속도는 5,709 m/s이다.

### Abstract

We present the results on the applicability of the polycrystalline AlN thin films for a surface acoustic wave filter operating at 800 MHz frequency. The films show the FWHM of 3° from the X-ray rocking curve, which indicates that the c-axis of the films is preferentially oriented along the growth direction. The fabricated band pass filters exhibit the center frequency of 865 MHz with 3 dB band-width of 45 MHz. From the measured frequency response, the electro-mechanical coupling constant of 0.8 % and the SAW velocity of 5,709 m/s are obtained. Thus, we conclude that the sputtered AlN films are feasible for the fabrication of upper UHF band SAW filters.

### I. 서 론

최근에 이동통신기술의 발전에 따라 표면탄성과 (SAW) 필터를 1 GHz 대에서 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>1)</sup>. 이러한 고주파 표면탄성과 필터를 제작하기 위한 압전기판재료는 삽입

손실과 열팽창 계수가 작아야 하고, 높은 표면탄성과 전파속도를 지녀야 한다. 대표적 기판재료의 특성을 표 1에 수록하였다. 높은 표면탄성과 특성으로 보아 AlN, ZnO 박막들이 기존의 대부분 SAW 기판재료로 사용되는 LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub>, quartz 재료를 대체할 수 있으리라 기대되며, 이 박막들은 또한 스퍼터링이나 화학증기증착법에 의해 쉽게 대량

「본 연구는 정보통신부 정보통신연구개발사업으로 지원되었음.」

\* 충북대학교 전기전자공학부(School of Electrical and Electronics Engineering, Chungbuk National University)

\*\* 한국과학기술원 재료공학과(Department of Materials Science and Engineering, KAIST)

· 논문 번호 : 970427-026

· 수정완료일자 : 1997년 7월 11일

표 1. 대표적 표면탄성과 재료의 특성

Table 1. SAW properties of commonly used materials.

	표면파 전파속도 (m/s)	결합계수 $k^2$ (%)	참고문헌
ST - Quartz	3,158	0.14	[3]
128° rotated Y-X LiNbO <sub>3</sub>	3,992	5.3	[3]
Y-Z LiNbO <sub>3</sub>	3,488	4.5	[3]
Y-prop LiTaO <sub>3</sub>	3,295	0.6	[3]
ZnO /glass	2,610	1.8	[4]
ZnO /sapphire	5,200	4.5	[4]
AlN /sapphire	6,000	0.8	[7]
ZnO /AlN /glass	5,840	4.3	[3]

생산할 수 있다<sup>[2,3]</sup>. 특히 AlN, ZnO, 다이아몬드 박막을 다층구조로 제작하면 높은 표면탄성과 전파속도와 전기기계 결합계수가 매우 큰 특성의 표면탄성과 소자를 제작할 수 있는 이점이 있다<sup>[4,15]</sup>. 한편, AlN 박막의 전기기계 결합계수( $k^2$ )는 LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub>에 비하여 적은 단점이 있으나 박막 증착시에 수소를 첨가함으로써 이를 1.35 %까지 증가시킬 수 있다<sup>[6]</sup>.

단결정 AlN 박막을 이용한 1 GHz 이상의 표면탄성과 소자에 관한 연구보고는 몇 건 되어 있다<sup>[7]</sup>.<sup>[8]</sup> 반면, 다결정 박막으로 300 MHz 미만의 소자를 제작한 보고가 있으나 800 MHz 대역의 필터제작에 관한 보고는 되어 있지 않다<sup>[9],[10]</sup>. 다결정 박막은 단결정 성장법, 예를 들면 분자선증착법 또는 화학증기증착법에 비하여 저온에서 증착함으로써 기판의 선택에 다양성이 있고 불순물의 유입을 줄일 수 있고 격자정합이 되지 않은 다층구조의 제작과 장비의 설치 및 대량 생산면에서 장점이 있다. 하지만 여러 방향으로 방향성을 가진 다결정 입자에 의해 표면탄성과의 전달속도와 전기기계 결합계수의 감소가 우려되기도 한다. 고로, 다결정 AlN 박막이 고주파수 소자로 사용되기 위하여는 AlN 결정의 c축이 기판에 수직하게 성장되어 입자의 배향성이 우수하여야 표면의 평활도가 좋아져 전송손실이 적고 1 GHz 이상의 고주파수용 좁은 간격의 IDT 전극의 제조에도 유리하다.

따라서, 본 논문에서는 높은 c축 배향성을 지니는 다결정 AlN 박막을 이용한 고주파용 표면탄성과 필터의 제작 가능성을 타진하기 위하여 800 MHz 대 필터를 임펄스 모델링 기법을 이용하여 설계, 제작하였다. 박막은 실리콘 기판위에 반응성 스퍼터링법으로 증착하였으며 박막의 특성은 X선 회절과 주사전자현미경으로 관찰하였고, 필터의 특성은 망분석기로 측정하였다. 제작된 필터는 중심 주파수 865 MHz, 3 dB 주파수 대역폭 45 MHz, 표면탄성과 전달속도 5,709 m/sec를 얻을 수 있어 스퍼터링법에 의하여 제작된 AlN 박막이 고주파 표면탄성과 필터로 사용되기에 단결정 박막과 비교할 만한 우수한 특성을 보임을 알 수 있었다.

## II. AlN 박막의 증착

3 인치 크기의 p형(100) 실리콘 기판위에 고주파 마그네트론 스퍼터링 장비를 이용하여 AlN 박막을 증착하였다. 고순도의 알루미늄 타겟과 AlN 조성을 맞추기 위하여 고순도의 질소가스와 스퍼터링을 위하여 아르곤 가스를 사용하였다. 증착 전에 기판은 세정과정을 거친 후 산화막 제거를 위하여 희석된 불화수소로 에칭하고 질소가스로 송풍건조 하였다.

AlN 박막을 증착하기 위한 조건을 표 2에 요약하였다. 박막의 우선방향성과 결정성의 정도를 알

표 2. 본 연구에 사용된 AlN 박막의 스퍼터링 조건  
Table 2. Sputtering conditions for AlN deposition in this study.

타겟	알루미늄
증착전 압력	$< 5 \times 10^{-7}$ Torr
RF power (W)	150~400
스퍼터링시 압력	1~30 mTorr
질소 농도	25~75 %
유량	아르곤 6 sccm, 질소 6 sccm
기판-타겟 간 거리	8 cm
기판 온도	실온 -300 °C

아보는 방법으로 X선 rocking curve를 많이 이용하였다<sup>[9],[10]</sup>. 고주파 전력을 250 와트로 고정하고 아르곤/질소가스의 유입량을 변화시키며 성장한 박막들의 x-선 회절측정 결과, (0002)면의 우선 방향성을 가지며 박막이 형성되는 것을 알 수 있었다. 특히, 아르곤/질소의 비가 6:6 sccm이고 8 또는

15 mTorr의 압력에서 증착하였을 때 (1010)면의 우선 방향성이 상대적으로 감소하여 (0002)면으로 방향성이 두드러 짐을 알 수 있었다. 이 실험 결과를 그림 1에 나타내었다. 이는 AlN의 결정구조인 육방정 wurzite 구조에서 보듯이 박막의 증착방향을 따라 결정의 c축이 평행하며 알루미늄과 질소원자의 층이 교대로 증착되는 것을 의미한다. 증착압력 8 mTorr, 아르곤/질소의 유량이 6:6 sccm의 조건에서 증착온도를 변화시키며 X선 rocking curve를 측정한 결과 그림 2와 같은 결과를 얻었으며 실온에서 증착하였을 때 가장 작은 반치폭(Full-Width-at-Half-Maximum)인 3.1°를 얻었다. 이 반치폭은 우선방향성의 표준편차를 의미한다. 현재 TV용의 40 MHz 대역의 표면탄성과 필터로 실용화되어 있는 ZnO 박막을 SAW필터로 사용하기 위하여는 반치폭이 6 이하의 값을 가져야 된다는 연구 보고가 있는데<sup>[11]</sup>, 이 기준은 AlN 박막의 경우에도 통용될 수 있으리라 생각된다.

이상의 결과로부터 c축 배향성이 좋은 박막증착 조건 하에서 박막을 제작하였다. 사용된 조건은 압

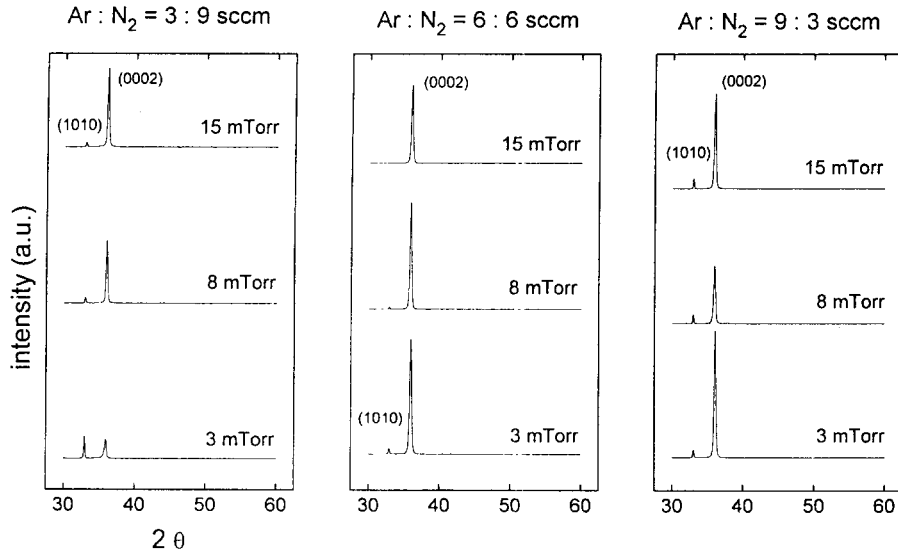


그림 1. 아르곤, 질소가스의 유입량과 증착압력의 변화에 따른 박막의 X선 회절측정 결과  
Fig. 1. Results of X-ray diffraction by changing Ar, N<sub>2</sub> flow rate and chamber pressure.

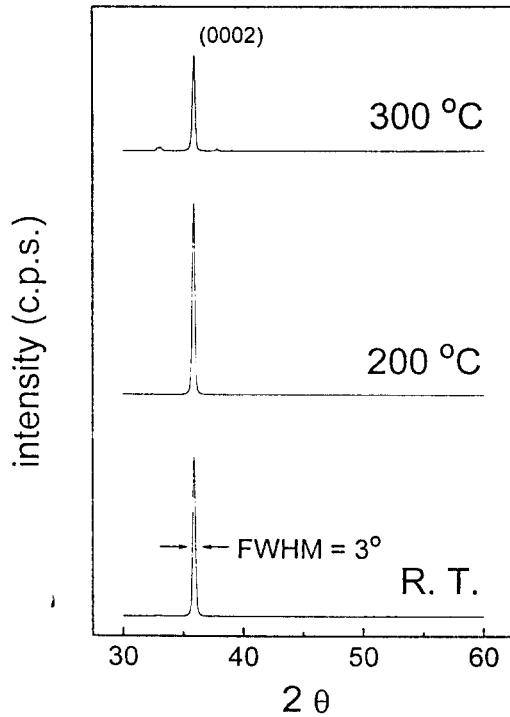


그림 2. 온도변화에 따른 X선 회절측정 결과(아르곤: 질소 = 6:6 sccm, 250 W RF power, 증착압력 8 mTorr)

Fig. 2. X-ray diffraction result as a function of substrate temperature obtained under the conditions: flow rate of Ar/N<sub>2</sub> = 6/6 sccm, 250 W RF power, chamber pressure of 8 mTorr.

력 8 mTorr, RF power 250 W, 아르곤과 질소의 유량 각각 6 sccm의 조건으로 실온에서 증착하였으며 그 결과 c축 배향성의 표준편차 3°를 얻었다. 이 조건에서의 박막 증착속도는 120 Å/min이었다. 그림 3의 증착된 박막의 현미경 사진에서 보듯이, c축 배향성에 의한 주상조직이 결정성장 방향으로 성장하였음과 박막의 표면이 매우 매끄러움을 알 수 있다.

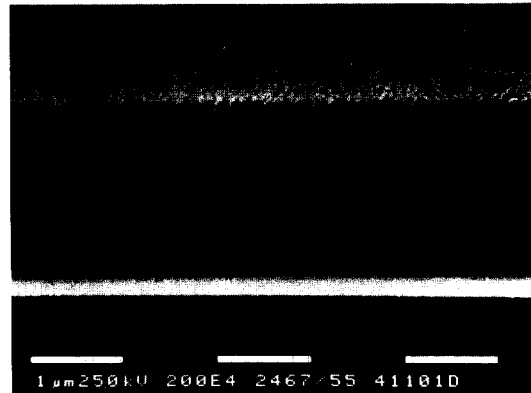


그림 3. 증착된 AlN 박막의 주사전자현미경 사진. 결정의 c축이 결정성장 방향으로 우선배향되어 있고 표면이 매끄러우며 주상조직의 반경이 균일하게 매우 작음을 알 수 있다.

Fig. 3. Scanning electron microscopy image of the deposited AlN film. It shows that the c-axis of crystals are vertically aligned, the smooth top surface, and columnar structures having lateral small radius.

### Ⅲ. 표면탄성과 필터의 제작

다결정 AlN 박막이 고주파수용 표면탄성과 필터로써 구현 가능성을 타진하기 위하여 중심주파수가 800 MHz이고 3 dB 주파수 대역이 80 MHz의 햄밍 윈도우 함수 주파수 특성을 갖는 일전극형 필터를 설계, 제작하였다<sup>[12]</sup>. 주파수 대역이 상용의 이동통신용 전화기의 필터 특성(3~5%)에 비하여 비교적 넓으나 주파수 대역을 줄이기 위하여는 전극의 개수가 많아져 전극제작 공정이 어려워진다. 따라서 본 연구의 목표인 박막의 고주파수 구현성 타진을 위하여 주파수 대역이 넓음을 감수하였다. 설계는 임펄스모델을 이용하였으며 입력변환기는 더미전극을 갖는 아포다이즈형울, 그리고 출력변환기는 정규형의 전극지로 하였다<sup>[13]</sup>. 이와 같이 설계된

전극은 우선 AlN 박막 증착 후 스퍼터장비내에서 알루미늄타겟만 스퍼터링하여 약  $0.2 \mu\text{m}$  두께로 증착한 알루미늄 박막위에 반도체 소자 공정을 따라 제작하였다. 목표된 탄성표면파의 파장은  $6.6 \mu\text{m}$ 이며 제작된 입력과 출력 전극의 개구 길이는 모두  $163.5 \mu\text{m}$ 이었다. 또한 전극의 간격, 두께는 모두  $1.65 \mu\text{m}$ 이고 입, 출력 단자간의 간격은  $14.85 \mu\text{m}$ 이었다. 제작된 필터의 패턴 및 입출력전극의 구조는 그림 4와 같다.

제작된 필터의 주파수 응답 측정 결과는 그림 5에 나타내었는데, 중심주파수가 865 MHz, 3 dB 통과 대역폭은 약 45 MHz로 설계목표인 햄밍 윈도우 주파수 응답특성과 차이가 있지만 전체적으로는 대역통과필터의 특성을 보이고 있다. 이러한 오차는 예상된 것으로 본 설계가 전극간 전기 및 탄성파적 상호작용, 탄성파회절현상, 전극이 탄성파전파 특성에 미치는 영향, 에너지저장효과, 전파손실 등 실제 표면탄성과 필터내에서 일어나는 현상들을 전혀 고려하지 않는 임펄스모델에 기초한 때문으로 보다 정확한 설계기법을 이용하여 설계할 경우에는 제거될 수 있는 오차들이다<sup>[13],[14]</sup>. 약 18.7 dB의 삽입손실은 일전극형 SAW필터의 특성으로 다전극형구조를 채택하면 역시 해결될 수 있으리라 예상된다<sup>[15]</sup>.

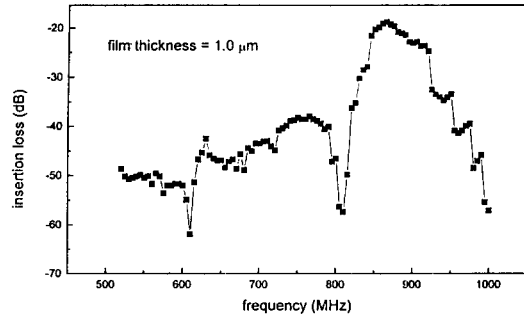


그림 5. AlN 박막을 이용한 800 MHz 대 표면탄성과 필터의 주파수 응답. 중심주파수 865 MHz, 3 dB 통과대역폭 45 MHz, 삽입손실 18.7 dB의 특성을 보이고 있다.

Fig. 5. Frequency response of the fabricated SAW filters on polycrystal AlN film. It has the center frequency of 865 MHz, 3 dB bandwidth of 45 MHz, and the insertion loss of 18.7 dB.

주파수 특성으로부터 계산된 탄성표면파의 전달 속도는  $865 \text{ MHz} \times 6.6 \mu\text{m} = 5,709 \text{ m/s}$ 이었으며, 기계결합계수( $k^2$ )로 0.797 %를 얻었다. 주파수 특성과  $k^2$  값은 박막의 두께를  $0.3 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 으로 변

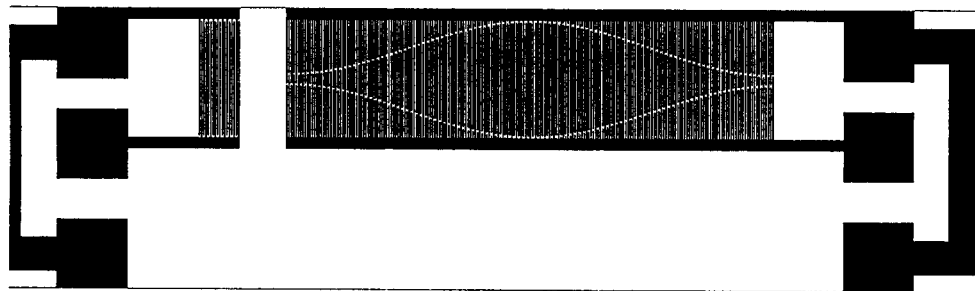


그림 4. 제작된 표면탄성과 필터의 개략적 구조. 입력변환기는 더미전극을 갖는 아포다 이즈형이며 출력변환기는 정규형의 전극지로 구성되어 있다.

Fig. 4. A schematic of the fabricated SAW filter. The input transducer is apodized having dummy electrodes, output transducer is constitutes of un-apodized normal interdigital electrodes.

화시키며 측정하였을 때 큰 변화가 없었다. 또한, 본 연구에서 제작된 박막의 X-선 rocking curve의 반치폭이 3°로써 타 연구의 결과인 1°에 비하여 큰 값이지만, 표면탄성과 전파속도가 그들의 값에 비하여 더 크며 삽입손실은 비슷한 결과를 나타내고 있다<sup>[9]</sup>.

#### IV. 결 론

고주파 스퍼터링 방법을 사용하여 c축 배향성 표 준편차가 3°인 AlN 다결정 박막을 성장하였으며 이를 이용하여 800 MHz 대의 탄성표면파 필터를 제작하였다. 해밍 윈도우 함수 주파수 특성을 갖는 일전극형 필터를 설계, 제작하여 중심주파수 865 MHz, 3 dB 통과대역폭 45 MHz, 삽입손실 18.7 dB인 필터 특성을 얻었다. 이로부터 계산된 전기기계 결합상수는 0.8 %이었으며 표면탄성과 전달속도는 5,709 m/s이었다. 이로써, 다결정 AlN 박막이 이동통신 주파수대 이상의 주파수 대역에서의 표면탄성과 필터의 제작에 적합한 특성을 보임을 알 수 있었다. 전극간 전기 및 탄성파적 상호작용, 탄성파 회절현상, 전극이 탄성파 전파특성에 미치는 영향, 에너지 저장효과, 전파손실 등을 고려하는 설계 기법과 삽입 손실을 줄이기 위한 다전극형 구조를 이용하여 800 MHz 대 이동통신용 및 1.9 GHz 대 개인 휴대 통신용 표면탄성과 필터를 설계, 제작하는 것이 향후 연구과제이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Kazuhiko Yamanouchi, "Nanometer fabrication processing technology and GHz-range unidirectional low-loss SAW filters", *Proc. Int. Symp. SAW Devices for Mobile Comm.*, pp. 123-133, 1992.
- [2] K. Wasa and S. Hayakawa, *Handbook of Sputter Deposition Technology*, Park Ridge, NJ: Noyes Publications, chap. 5.
- [3] Colin K. Campbell, "Applications of surface acoustic and shallow bulk acoustic wave devices", *Proc. of the IEEE*, vol. 77, no. 10, pp. 1453-1484, Oct. 1989.
- [4] Tadashi Shiosaki, Yasuki Mikamura, Fumio Takeda and Akira Kawabata, "High-coupling and high-velocity SAW using ZnO and AlN films on a glass substrate", *IEEE Trans on Ultra, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. UFFC-33, no. 3, pp. 324-332, May 1986.
- [5] H. Nakahata, A. Hachigo, K. Higaki, S. Fujui, S. Shikata and N. Fujimori, "Theoretical study on SAW characteristics of layered structures including a diamond layer", *IEEE Trans on Ultra, Ferroelectrics, and Frequency Control*, UFFC-42, pp. 362-374, 1995.
- [6] Yoon-Joong Yong and Jai-Young Lee, "Characteristics of the hydrogenated aluminum nitride(AlN:H) films prepared by RF reactive sputtering and their application to surface acoustic wave(SAW) devices", *J. Vac. Sci. Tech.*, (To be published).
- [7] Kazuo Tsubouchi and Nobuo Mikoshiba, "Zero-temperature-coefficient SAW devices on AlN epitaxial films", *IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics*, vol. SU-32, no. 5, pp. 634-644, Sep. 1985.
- [8] H. Okano, N. Tanaka, Y. Hirao, Y. Kobayashi, K. Shibata and S. Nakano, "Characteristics of AlN thin films deposited by electron cyclotron resonance dual-ion-beam sputtering and their application to GHz-band surface acoustic wave devices", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 33, no. 5B, pp. 2957-2961, May 1994.

- [9] Horoshi Okano, Yusuke Takahashi, Toshiharu Tanaka, Kenichi Shibata and Stoichi Nakano, "Preparation of c-axis oriented AlN thin films by low-temperature reactive sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 31, no. 10, pp. 3446-3451, Oct. 1992.
- [10] T. Shiosaki, T. Yamamoto, T. Oda and A. Kawabata, "Low-temperature growth of piezoelectric AlN films by rf reactive planar magnetron sputtering", *Appl. Phys. Lett.* 36(8), 643, 1980.
- [11] Clinton S. Hartmann, DeLamar T. Bell, Jr. and Ronald C. Rosenfeld, "Impulse model design of acoustic surface-wave filters", *IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-21, no. 4, pp. 162-175, Apr. 1973.
- [12] William D. Stanley, *Digital Signal Processing*, Reston Publishing Co., pp. 312-313, 1975.
- [13] R. Weigel, B. Bader, G. Fischerauer and P. Russer, "Design and performance of wide-band IIDT-type SAW filters with low loss and improved sidelobe suppression", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1505-1508, 1993.
- [14] Kiyoshi Inagawa and Masanori Koshiba, "Equivalent networks for SAW interdigital transducers", *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 41, no. 3, pp. 402-411, May 1994.
- [15] Peter M. Smith and C. K. Campbell, "A theoretical and experimental study of low-loss SAW filters with interdigitated interdigital transducers", *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 36, no. 1, pp. 10-15, Jan. 1989.

이 형 규



1953년 12월 16일생  
 1976년 2월 : 서울대학교 공과대학  
 재료공학과(공학사)  
 1978년 2월 : 서울대학교 대학원 물  
 리학과(이학석사)  
 1980년 2월 : 한국과학원 재료공학과  
 (공학석사)

1989년 5월 : 미국 University of Southern California,  
 Materials Science (Solid State Electronics) (공학박  
 사)

1980년 3월~1983년 7월 : 충북대학교 공과대학 금속공학과  
 전임강사, 조교수

1986년 1월~1987년 12월 : 미국 Honeywell Physical  
 Sciences Center, Consultant

1989년 3월~1991년 3월 : 미국 University of Pittsburgh,  
 Department of Electrical Engineering, Research As-  
 sociate

1991년 4월~1993년 3월 : 미국 AT&T Bell Laboratories  
 (Murray Hills), Member of Technical Staff

1993년 3월~현재 : 충북대학교 자연과학대학 반도체학과  
 및 공과대학 전기전자공학부(반도체전공) 부교수

[주 관심분야] 화합물반도체, 광전자소자

용 윤 중

1969년 6월 1일생

1991년 2월 : 한국과학기술원 재료공학과(공학사)

1993년 2월 : 한국과학기술원 재료공학과(공학석사)

1997년 8월 : 한국과학기술원 재료공학과(공학박사)

[주 관심분야] 박막성장

최 익 권



1950년 12월 26일생  
 1974년 2월 : 서울대학교 공과대학  
 자원공학과(공학사)  
 1976년 2월 : 서울대학교 대학원  
 자원공학과(공학석사)  
 1986년 9월 : 미국 오하이오주립대  
 학원 전자공학과(공학박사)

1976년 3월~1979년 6월 : 육군 제3사관학교 교수부 물리  
 학 전임강사

1981년 10월~1986년 9월 : 미국 오하이오주립대학 부설  
 ESL(Electro Science Laboratory) 연구원

-지하구조 탐사용 레이더 시스템 개발 연구

-마이크로스트립 어레이 안테나 개발 연구

1986년 10월~1987년 9월 : 미국 메사추세츠 주립대학교  
 Antenna Laboratory 연구원

-마이크로스트립 웨이스트 어레이 안테나 개발 연구

1987년 10월 ~ 1993년 8월 : 한국전자통신연구소 이동통  
 신기술연구단

-위성추적시스템 성능분석 연구

-식별부호 자동송출 및 수신장치 개발 연구

-특수페이지 개발 연구

-휴대용 소형내장형 안테나 개발 및 전파특성 연구

-EMI/EMC 측정 및 방지 대책 연구

1993년 9월~1994년 3월 : 전북대학교 정보통신공학과 조  
 교수

1994년 3월~현재 : 충북대학교 전기전자공학부(전파공학  
 전공) 조교수

[주 관심분야] 어레이 안테나, EMI/EMC, RF/MW 통  
 신소자

이 재 영

한국과학기술원 재료공학과 교수