

GaN 압전박막을 이용한 SAW 필터 제조

이 석 현, 정 환 희, 배 성 범, 최 현 철, 이 정 희, 이 용 현
경북대학교 전자전기공학부
전화 : (053) 950-5520 / 팩스 : (053) 950-5520

The Fabrication of SAW Filter Using The GaN Piezoelectric Thin Films

Suk-Hun Lee, Hwan-Hee Jeong, Sung-Bum Bae, Hyun-Chul Choi,
Jung-Hee Lee, and Yong-Hyun Lee

School of Electronic and Electrical Engineering Kyungpook National University

E-mail : yhlee@ee.knu.ac.kr

Abstract

This paper proposes GaN film as a piezoelectric material for SAW(surface acoustic wave) filters. The fabricated GaN SAW filter exhibited a very high velocity of 5800 m/s and relatively low insertion loss of -9.9 dB without matching circuit. From Smith's equivalent circuit model, the calculated electromechanical coupling factor (K^2) was about 4.3 ± 0.3 %, which is larger than those obtained from other thin film piezoelectric materials and allows the realization of wider filter fractional bandwidths.

I. 서론

이동통신분야의 급속한 발달과 함께 이에 관련된 부품도 점점더 고주파화 되고 있다. 고주파의 핵심 부품인 표면탄성파(surface acoustic wave, SAW)필터는 앞으로의 시장전망이 매우 유망한 부품중에 하나이다. 기존의 800 ~ 900 MHz 주파수 대역이 포화상태가 되어 감으로써 1.5 ~ 2 GHz 대역용 SAW 필터의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다[1-2]. 이에 따라 SAW 필터용 기판 재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 대표적인 것으로 LiNbO₃, LiTaO₃, Quartz

등의 압전단결정과 ZnO, AlN 압전박막이 있다. 이미 상용화된 LiNbO₃, LiTaO₃, Quartz 등의 압전단결정은 그 전파속도가 4000 m/s 내외이며 온도 안정성이 떨어지고 전파손실이 큰 단점을 가지고 있다. 최근에 3000 m/s 및 5000 m/s 내외의 전파속도를 갖는 ZnO 및 AlN 압전박막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, ZnO 박막인 경우 온도 안정성이 떨어지는 단점을 가지고 있으며, AlN 박막 또한 ZnO 압전박막에 비해 단결정 및 우수한 배향성을 갖는 박막의 제조가 어려운 단점을 가지고 있다[4-8].

본 논문에서는 기존의 상용화된 압전물질보다 전파속도가 크고 온도안정성이 우수하며 뛰어난 결정배향성을 갖는 GaN 압전박막을 이용하여 SAW 필터를 제조하였다. GaN 압전박막은 밴드갭이 3.4 eV로 높고, 좋은 열적, 화학적 안정성, 우수한 강도등의 물리적, 화학적 특성으로 인해 주로 청·녹색 발광 다이오드 및 청자색 레이저 다이오드 등과 같은 광소자는 이미 상용화가 이루어져 있으며 MESFET, HFET 등과 같은 고전력, 고속 스위칭 전자소자, UV 검출기등과 같은 소자에 응용하기 위해서 전세계적으로 활발한 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서 사용하고자 하는 GaN 압전박막은 기존의 Sputtering 방법으로 증착되어진 다결정성의 AlN나

ZnO 박막과는 달리 MOCVD(metal organic chemical vapor deposition) 를 이용하여 단결정으로 성장되기 때문에 우수한 주파수 특성을 갖는 SAW 필터 제작이 용이하다. 제작된 SAW 필터의 표면탄성파 속도는 5800 m/s 이고, 전기기계적결합계수(K^2) 은 4.3 ± 0.3 % 정도로 현재 상용화 되어있는 압전물질보다 높은 값을 나타내었다.

II. 실험 및 측정

본 논문에서 사용된 GaN 압전박막은 사파이어 기판 위에 MOCVD 에 의해 성장되었다. SAW 필터를 만들기 위해 사용한 GaN 구조는 (0001) α - Al_2O_3 위에 GaN 완충층을 360 Å 의 두께로 성장한 다음 GaN를 약 2.0 μm 성장하였다. SAW 필터 특성을 보기위해서 표 1 과 같이 입력과 출력 IDT(interdigital transducer) 모두 18 쌍이고 SAW 파장이 60 μm 이며 접지전극이 있는 solid finger 구조로 설계를 하였다.

표 1 IDT 의 제조규격

Table. 1 Fabrication specifications of IDT

Parameters	GaN 압전박막
Electrode width	19.3 λ
Electrode length	26.5 λ
$\lambda/4$ width	15 (μm)
# of input IDT	18 pairs
# of output IDT	18 pairs

SAW 필터의 제조공정순서는 먼저 사파이어 기판위에 MOCVD 장비를 이용하여 GaN 압전박막을 성장하고 포토리소그래픽 공정을 이용하여 IDT pattern을 형성한후, 열증착기(thermal evaporator) 에 의해 Al을 증착하고 아세톤으로 lift-off 하였다. 제작된 SAW 필터의 측정을 위해서 입력과 출력에 50 Ω 으로 연결이 되어 있는 SMA (surface mount adapter) 커넥터에 제작된 SAW 필터를 놓고, wire bonding을 한후 SAW 필터 특성을 보기위해 HP 8753D Network Analyzer를

이용해서 주파수 특성을 조사하였다.

그림 1 은 SAW 필터의 주파수 특성을 조사하기 위하여 제작된 입력과 출력에 50 Ω 의 SMA connector 로 연결이 되어 있는 측정 기판이다. 입력과 출력에 Network Analyzer 의 connector와 연결을 해서 SAW 필터의 주파수 특성(S_{21})을 보게 된다.

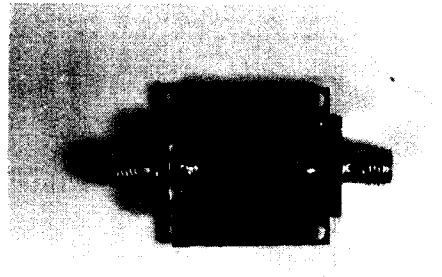


그림 1 주파수 응답 측정을 위한 SMA 커넥터
Fig. 1 SMA Connector for Frequency Response Measurement

III. 결과

그림 2 와 같은 패턴을 형성하여 100 MHz 근방의 주파수 대역에서 SAW 필터 주파수 응답 특성을 그림 3 에 나타내었다. 그림 2 에서보면 finger 사이의 거리, finger width 가 각각 15 μm 의 solid finger 구조로 설계하였고, 입출력 IDT 전극 사이에는 접지전극이 있는 구조이다. 그림 3 은 SAW 필터의 주파수 특성(S_{21})으로 기본모드와 고조파모드가 모두 나타나 있다. 기본모드의 삽입손실은 아주 양호하게 나타나 있지만 고조파 모드에서의 삽입손실은 20 dB 근방으로 높은 값을 보여주고 있다. 기본모드 다음에 나타나는 높은 값은 SAW 필터의 반사특성의 영향으로 보인다. 본 연구에서 사용된 solid finger 구조 대신 split finger 구조를 사용한다면 반사파에 의한 잡음의 영향은 많이 줄어들 것이다. 고조파 모드는 중심주파수(f_0) 96.687 MHz 의 3배와 5배로 나타나 있다. 이것은 일반적으로 solid finger 구조의 특성과 잘 일치하는 것으로 보인다[1]. 기본모드 주파수 응답특성은 중심주파수가 96.687 MHz 로 좌우대칭의 sinc 함수를 나타내고 있다. 따라서 그림 2 와 같은 설계로부터 얻어진 60 μm (15 $\mu m \times 4$) 의 파장과 그림 3 으로부터 얻어진 중심주파

수 96.687 MHz를 수식적인 방법 ($v = f_0 \lambda$)에 의하여 계산하면 표면탄성과 속도가 약 5800 %로 아주 높은 값을 나타내고있다. 그리고 Smith's equivalent circuit model로부터 아래의 수식을 적용해서 계산된 전기기계적결합계수(K^2) 값은 약 4.3 ± 0.3 %로 나타났다[3].

$$G = 8K^2 f_0 CN^2$$

- G : Conductance of IDT
- C : Capacitance of a pair of IDT electrode fingers
- N : Number of finger pairs
- f_0 : Center frequency

그림 3의 기본모드 주파수 응답특성을 보면 SAW 필터의 삽입손실이 입력과 출력에 임피던스 정합없이도 -9.9 dB로 상당히 양호한 특성을 나타내고 있다. 사이드로브 감쇄(sidelobe attenuation)는 약 20 dB이다. 3 dB 밴드폭은 6 MHz로 이것은 본 연구에서 설계한 IDT finger의 개수와 중심주파수로부터 계산된 3 dB 밴드폭과 거의 일치하는 것이다[1].

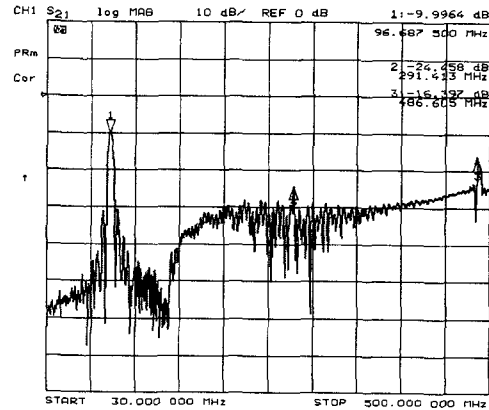


그림 3 60 μm 의 파장을 갖는 GaN SAW 필터의 주파수 응답특성
Fig. 3 Frequency Response Characteristics of GaN SAW Filter with Wavelength of 60 μm

IV. 결론

본 논문에서 제조된 GaN 압전박막을 이용해서 SAW 필터를 제조할 경우 submicron 공정없이도 GHz 대역의 SAW 필터를 제조할 수 있을 것이다. (1 μm 패턴 공정으로 제조할 경우 1.45 GHz 대역의 주파수 특성을 갖는 SAW 필터를 얻을 수 있을 것이다.) 뿐만 아니라 SAW 필터의 삽입손실이 입력과 출력에 임피던스 정합이 없이도 -9.9 dB로 만약 입출력에 임피던스 정합이 이루어진다면 훨씬 개선된 특성을 보일 것이다. 중심주파수에서 사이드로브 감쇄가 20 dB 이상으로 현재 상용화되고 있는 SAW 필터와 비슷한 결과를 나타내고 있다. 따라서 앞으로 GaN 압전박막의 정확한 성장조건을 찾아 다양한 박막을 얻는다면 좀더 좋은 주파수 특성을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 GaN 압전박막이 가지는 열적, 화학적 안정성, 우수한 강도등의 물리적, 화학적 특성을 SAW 필터에 직접 이용할 수 있을 것이다. 그리고 GaN계 질화물 반도체의 광 및 전자소자를 하나로 묶는 one-chip 화가 가능하여 소형 및 경량화에 상당한 기여를 할 것이다.

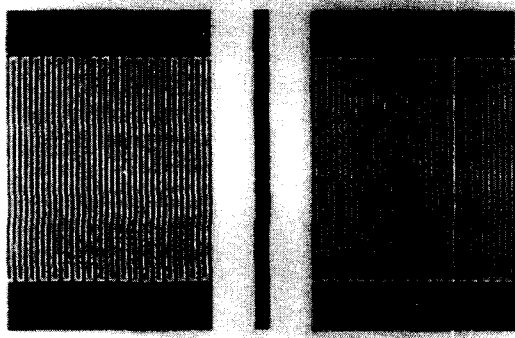


그림 2 제조된 GaN SAW 필터 사진
Fig. 2 Photograph of Fabricated GaN SAW Filter

참고문헌

- [1] C. K. Campbell, "Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communications", Academic Press, 1998.
- [2] M. Ristic, "Principles of Acoustic Devices", JOHN WILEY & SONS, 1983.
- [3] Hideaki Nakahata, Kenjiro Higaki, Akihiro Hachigo, Shinichi Shikata, and Naoji Fujimori, "High Frequency Surface Acoustic Wave Filter Using ZnO/Diamond/Si Structure", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 33, pp. 324-238, 1994.
- [4] D. G. Kipshidze, H. P. Schenk, A. Fissel, U. Kaiser, and Wo. Richter, "Molecular-beam epitaxy of a strongly lattice-mismatched heterosystem AlN/Si(111) for application in SAW devices", American Institute of Physics, Vol. 33, no. 11, pp.1241-1246, 1999.
- [5] H. M. Liaw and W. Cronin, "The SAW Characteristics of Sputtered Aluminum Nitride on Silicon", IEEE Ultrasonics Symposium, pp.267-271, 1993.
- [6] S. Tomabechi, S. Kameda, K. Masu, and K. Tsubouchi, "2.4GHz Front-End Multi-Track AlN/ α -Al₂O₃ SAW Matched Filter", IEEE Ultrasonics Symposium, pp.73-76, 1998.
- [7] Takahiro Sato and Hidenory Abe, "Propagation Properties of Longitudinal Leaky Surface Waves on Lithium Tetraborate" IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect, Freq. Contr., Vol. 45, No. 1, pp.136-151, 1998.
- [8] Yasumi Kobayashi, Naoki Tanaka, Hiroshi Okano, Kousuke Takeuchi, Tatsuro Usuki, and Kenichi Shibata, "Characteristics of Surface Acoustic Wave on AlN Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 34, No. 5B, pp.2668-2673, 1995.