

Undoped-GaN 압전 박막을 이용한 RF용 SAW 필터의 제조 및 특성분석

장철영, 박민정, 정은자, 고성용, 최현철, 이정희, 이용현
경북대학교 대학원 전자공학과
전화 : 053-940-8620 / 핸드폰 : 016-674-1205

Characteristics analysis and fabrication of SAW filter for micro-wave using Undoped-GaN thin film

Cheol-Yeong Jang, Min-Jung Park, Eun-Ja Jung, Sung-Yong Ko, Hyun-Chul Choi,
Jung-Hee Lee and Yong-Hyun Lee
School of Electronic Engineering & Computer Science, Kyungpook National University
E-mail : yhlee@ee.knu.ac.kr

Abstract

Undoped-GaN thin film is deposited on Sapphire substrate by MOCVD. SAW velocity is measured with the center frequency by HP8753C. Center frequency is 266.52 MHz and SAW velocity is 5330 m/s when wavelength(λ) was 20 μ m. insertion loss, Q factor and side lobe attenuation is 41.265 dB, 257.41 and over 23 dB. k^2 is calculated from the measured data. k^2 is from 1 % to 4 %. TCF is -61.817 ppm/ $^{\circ}$ C.

I. 서 론

현재의 이동통신용 주파수 대역이 2 GHz 대역 이상에서 운영되고 있으며, 이 주파수 대역에서 안정적으로 동작하는 필터가 요구되고 있다^[1]. 이에 따라 GHz 대역 SAW(surface acoustic wave) 필터에 대한 연구는 높은 SAW 전파 속도를 가지는 재료, Submicron 공정기술 및 고주파 모드에서 동작하는 SAW 필터 개발 등이 이루어지고 있다. 또한 SAW 소자는 단일 소자로써 필터로 제작이 가능하므로 MMIC용 필터와 듀플렉서 개발에 용이하고 소형화, 박막화가 가능한 이점

때문에 현재 많은 이동통신 사업자의 이목이 집중되고 있다.

압전 단결정을 이용하여 SAW 필터를 제작하는 경우, Rayleigh wave에 비해 전파 속도와 전기 기계적 결합계수(Electro-mechanical coupling coefficient, k^2)가 큰 장점이 있는 leaky SAW를 이용하기 위해 LiNbO₃, Quartz 및 Li₂B₄O₇ 등의 압전 단결정을 기관으로 사용하는 것이 이미 연구되고 있다^[2]. 하지만 압전 단결정의 경우 전파 속도, 삽입 손실 면에서 압전 박막에 비해 좋지 않지만 전기 기계적 결합계수와 TCF (temperature coefficient frequency)가 비교적 좋은 것으로 알려져 있다. 이에 반해서 압전 박막의 경우 전파속도가 빠른 기판 위에 GaN 또는 AlN와 같은 압전 박막을 증착하는 구조로 Sezawa wave^[3]을 이용하면 압전 단결정에 비해 빠른 전파 속도를 손쉽게 얻을 수 있는 장점이 있다^[4-7].

본 논문에서는 기존의 압전 물질보다 빠른 전파 속도와 우수한 박막 배향성 및 온도 안정성을 갖는 GaN 압전 박막을 사용하여 SAW 필터를 제작, 측정하였다. 제작된 압전 박막은 MOCVD로 성장된 Undoped-GaN 박막이며, scanning electron microscopy(SEM) 및 atomic force microscopy(AFM)을 통해 표면 상태를 측정하였고, high resolution XRD(HR-XRD)를 이용하여 박막의 결정성을 조사하였다. 또한 주파수 응답 특성은 HP 8753C network analyzer를 이용하여 측정하였다.

II. 실험

2-1. GaN 압전 박막의 성장

Undoped-GaN 압전 박막은 metal-organic CVD (MOCVD) 장비를 이용하여 2-inch 사파이어 기판위에 성장하였다. GaN 버퍼층은 약 300 Å 두께로 성장되었으며, TMGa가 25 μmol , NH_3/H_2 가 10/10 slpm, 성장온도가 550 $^\circ\text{C}$ 이다. 또한 압전 박막으로 사용된 Undoped-GaN 박막의 성장 조건으로는 TMGa가 200 μmol , NH_3/H_2 가 7/7 slpm, 성장 압력이 200 Torr, 성장 온도는 1020 $^\circ\text{C}$, 성장 시간은 약 40 min 이다. 표 1에 GaN 버퍼 및 압전 박막의 성장 조건에 대하여 나타내었다

표 1. GaN 압전 박막의 성장 조건

TMGa (μmol)	NH_3/H_2 (slpm)	Temp. ($^\circ\text{C}$)	Thick (\AA)	Press. (Torr)
GaN buffer layer				
25	10/10	550	300	200
Undoped-GaN layer				
200	7/7	1020	20,000	200

2-2 GaN 압전 박막을 이용한 SAW 필터 제작

SAW 필터의 중심 주파수는 inter-digital transducer(IDT)의 폭을 조절해서 변경 할 수 있다. 그림 1에 SAW IDT 전극 형성을 위한 마스크의 형태를 나타내었다.

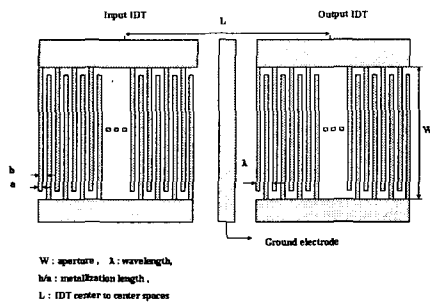


그림 1. SAW filter IDT 전극의 마스크 형태

IDT 패턴은 Photo Resist를 이용하여 lift-off 방법으로 알루미늄을 증착하여 제작하였다. 표 2에는 SAW IDT 설계 파라미터를 기술하였다.

표 2. SAW 필터의 IDT 설계 파라미터

wavelength(λ)	8, 12, 20 μm
Aperture(W)	1800 μm
IDT finger pairs	400, 267, 1600 pairs
IDT center to center space(L)	3650, 4100, 5000, 5900, 6800 μm
Metallization ratio	0.5

III. 결과 및 고찰

3.1 GaN 압전 박막의 특성

성장된 Undoped-GaN 압전 박막은 X-ray rocking curve의 반치폭(FWHM)이 378.36 arcsec에서 380.88 arcsec로 우수한 특성을 나타내었다. GaN 압전 박막의 X-ray rocking curve 결과를 그림 2에 나타내었다.

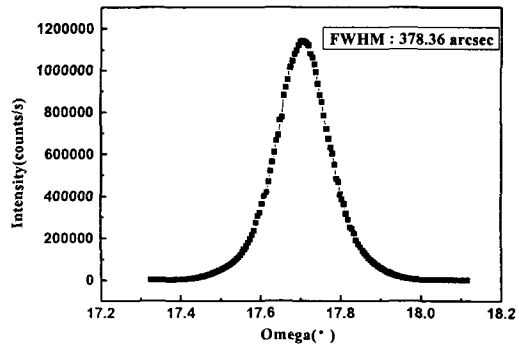


그림 2. GaN 압전 박막의 X-ray rocking curve

AFM 및 SEM으로 측정된 압전 박막의 표면 상태를 각각 그림 3과 4에 나타내었다. AFM 측정 결과 RMS[□]가 0.28 nm ~ 0.3 nm로 우수한 값을 나타내었으며, SEM 측정 결과 또한 깨끗한 표면 상태를 보였다.

3.2 Undoped-GaN 압전 박막의 SAW 특성

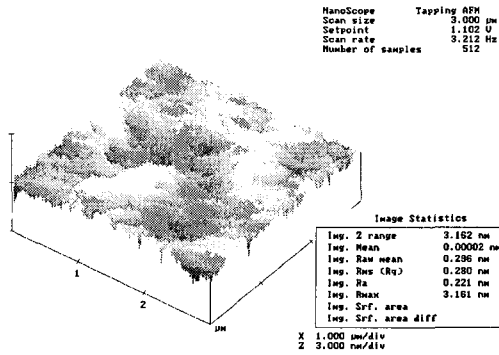


그림 5 GaN 압전 박막의 AFM 특성

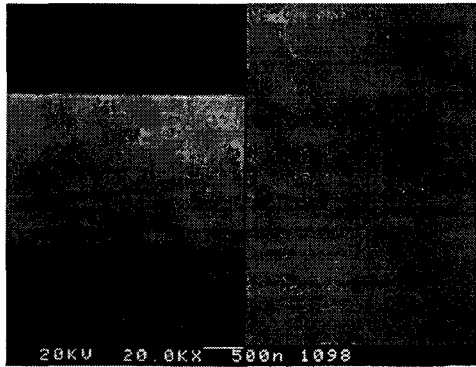


그림 6 GaN 압전 박막의 SEM 특성

파장이 20 μm 로 설계된 SAW 필터의 주파수 응답특성을 그림 5에 나타내었다.

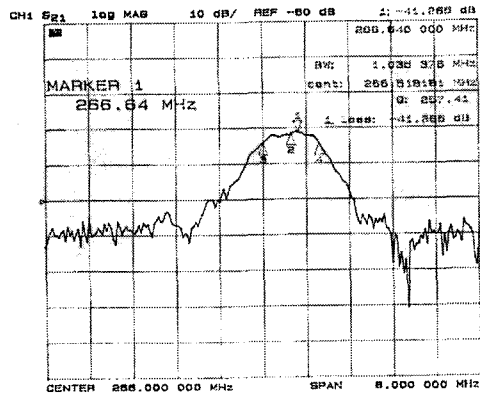


그림 5. SAW 필터의 주파수 응답

기본 모드에서 중심 주파수는 266.52 MHz로 좌우 대

칭의 sinc 함수 모양을 나타내었으며 중심 주파수로부터 얻어진 표면 탄성과 속도는 5330 m/s를 나타내었다. 또한 임피던스 매칭이 되지 않은 상태에서의 삽입 손실은 -41.265 dB였고, 밴드폭은 1.035 MHz, Q factor는 257.41이었으며, side-lobe 감쇠 특성은 23 dB 이상의 값을 나타내었다. kh에 따른 표면 탄성과 속도를 그림 6에 나타내었다. 표면 탄성과 속도의 범위가 5370 m/s ~ 5100 m/s 정도임을 알 수 있다.

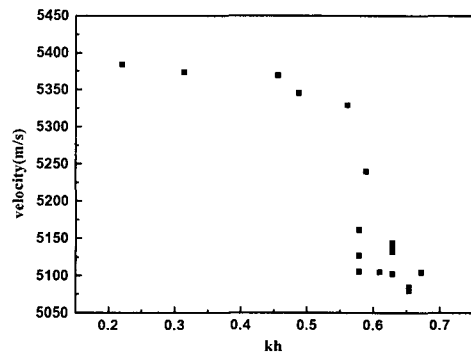


그림 9. kh에 따른 표면 탄성과 속도

온도에 따른 중심 주파수의 변화를 그림 7에 나타내었다. 그림 7의 결과로 계산한 SAW 필터의 TCF는 -61.817 ppm/°C 이다.

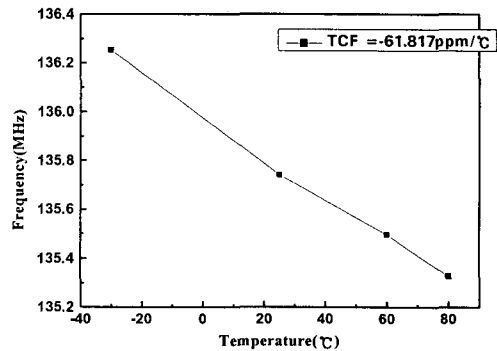


그림 8. kh에 따른 중심 주파수의 변화

Smith chart 측정을 통해서 얻어진 저항과 커패시턴

스 값을 이용하여 전기 기계적 결합계수를 계산식을 통해서 얻을 수 있다^[6,8]. 계산한 결과는 kh가 0.2 ~ 0.67 범위에서 약 1% ~ 4% 정도의 비교적 높은 값을 얻을 수 있었다.

V. 결론

MOCVD 장비를 이용하여 Undoped-GaN 압전 박막을 성장하였다. 성장된 박막의 AFM 측정 결과 및 X-ray rocking curve 측정 결과는 각각 0.28 nm ~ 0.3 nm, 378.36 arcsec ~ 380.88 arcsec로 SAW 필터 제작이 충분한 값이 될 것으로 판단된다.

제작된 SAW 필터의 주파수 응답 측정 결과에 의해 계산된 표면 탄성과 속도는 5370 m/s ~ 5100 m/s 정도의 우수한 특성을 나타내었다. 그러나 매칭을 하지 않은 상태에서의 측정 때문에 삽입 손실은 -41.265 dB 정도로 비교적 높은 값을 나타내었으나, 매칭을 통해 충분히 해결이 가능하다. side-lobe 감쇠 특성이 23 dB 이상으로 비교적 우수한 특성을 나타내었으며, 그로 인한 밴드폭은 약 1.035 MHz 정도 되었다. 전기 기계적 결합계수(k^2)는 약 1% ~ 4%의 값을 나타내었다. 이는 단결정 재료에 비해서 비교적 낮은 값이지만, PZT, AlN 및 ZnO 등의 압전 박막에 비해서는 높은 값을 나타내었다.

위 결과와 같이 GaN 압전 박막은 높은 표면 탄성과 속도와 전기 기계적 결합계수를 가지므로 차후에 GaN 압전 박막의 SAW 소자 연구는 삽입 손실이나 TCF 특성의 개선 등으로 진행되어야 하겠다.

참고문헌

- [1] Tomohiko Shibata, Yuji Hori, Keiichiro Asai, Yukinori Nakamura, Mitsuhiro Tanaka, Kazuyuki Kaigawa, Junko Shibata and Hiroaki Sakai, "2.4GHz SAW Filters Using AlN Deposited on Off-Angle R-plane Sapphire Substrates by MOCVD," IEEE Ultrason. Symp. 2000, pp. 287~292, 2000.
- [2] Fred S. Hickernell, "The Experimental SAW Propagation Characteristics of LiNbO₃ and LiTaO₃ with Free and Metallized Surfaces," IEEE Ultrason. Symp. 2001, pp. 105~108, 2001.
- [3] C. K. Campbell, Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communications,

ACADEMIC PRESS, INC. 1998.

- [4] Akihiro Hachigo and Donald C. Malocha, "SAW Devices Modeling Including Velocity Dispersion Based on ZnO/Diamond/Si Layer Structures," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec. and Freq. Contrl. Vol. 45, No 3, pp. 660~666, 1998.
- [5] Irina S. Didenko, Fred S. Hickernell and Natalya F. Naumenko, "The Experimental and Theoretical Characterization of SAW Propagation Properties for Zinc Oxide Films on Silicon Carbide," IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. and Freq. Contrl. Vol. 47, No 1, pp. 179~187, 2000.
- [6] K. H. Choi, Jin Yong Kim, Hyeong Joon Kim, Hyung Kook yang, and Jong Chul Park, "Effect of Dielectric Layer in ZnO/Dielectric/Si Layered Structure on GSAW and HVPSAW Propagation Properties," IEEE Ultrason. Symp. 2000, pp. 353~356, 2000.
- [7] Mauricio Pereira da Cunha, Eric L. Alder and Donald C. Malocha "HVPSAW Sensitivity to Film Properties for ZnO/Diamond/Si Structures," IEEE Ultrason. Symp. 2000, pp. 283~286, 2000.
- [8] C. Deger, E. Born, H. Angerer, O. Ambacher, M. Stutzmann, J. Hornsteiner, E. Riha, and G. Fischerauer, Appl. Phys. Lett., Vol. 72, No. 19, pp. 2400~2402, 1998.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000 - 2 - 30200 - 006 - 2) 지원으로 수행되었음.