

Mg-Doped GaN/Sapphire 구조로 제작된 압전 박막 SAW 필터의 특성분석

장철영, 정은자, 정영철*, 최현철, 이정희, 이용현
경북대학교 대학원 전자공학과, *경주대학교 컴퓨터전자공학부
전화 : 053-940-8620 / 핸드폰 : 016-9622-1205

Characteristics analysis of Piezoelectric Thin Film SAW filter using Mg-doped GaN/Sapphire Structure

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

Abstract

The epitaxially grown Mg-doped GaN thin film was prepared by MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) for a SAW(Surface Acoustic Wave) filter. Mg-doped GaN thin film had enough properties for a SAW filter which include crystallinity and morphology. The surface morphology and crystalline of the Mg-doped GaN thin films were characterized using AFM and an X-ray rocking curve.

The SAW filter, which was fabricated by lift-off process and frequency response, was measured by HP 8753C network analyzer. Center frequency was 96.687 MHz and SAW velocity was 5801 m/s when wavelength(λ) was 60 μ m. Insertion loss was over -10 dB, Q was factor over 200, and side lobe attenuation was over 22 dB which was suitable for use as a SAW filter. Electro-mechanical coupling coefficient (k^2) was calculated from the measured data. k^2 was from 1 % to 1.44 %.

The fabricated SAW filter using Mg-doped GaN/sapphire structure has good qualities as a filter and will be used as a SAW filter for operating RF frequency.

I. 서 론

최근 정보전달의 중요성이 대두되며 유·무선 이동통신 사업은 급격하게 성장하여 왔다. 무선 이동통신의 성장은 개인 휴대전화 단말기를 비롯하여 여러 이동통신용 부품들에 대한 수요를 급증시켰다. 또한 개인 이동통신 사업의 성장은 부품뿐만 아니라 주파수 대역의 수요도 증가시켰으며, 기존에 사용된 대역을 포함하여 현재는 2 GHz 대역을 사용하고 있다^[1]. 이에 따라 이동통신 단말기는 고주파에서 동작하는 많은 종류의 부품들이 필요하게 되었고, 그 중 필터는 핵심 부품에 속한다. 이런 필터의 소형화와 박형화에 대한 이동통신 단말기 제조업체들의 관심이 고조되고 있고, 그 가운데 소형화, 박형화가 비교적 쉬운 SAW 필터가 주목받고 있다^[2-3].

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 기판으로 사용하는 것이 이미 연구되고 있다^[4]. 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^[2]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 Mg-doped GaN 압전 박막을 사용하여 SAW 필터를 제작, 측정하였다. 제작된 압전 박막은 MOCVD로 성장된 Mg-doped GaN 박막이며, AFM(Atomic Force Microscopy)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.

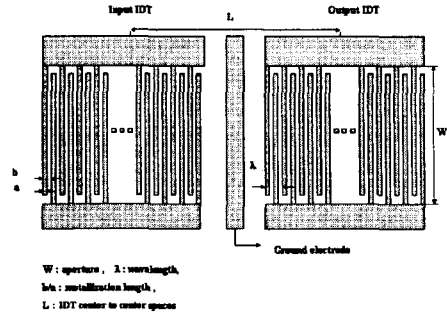


그림 1. SAW filter IDT 전극의 마스크 형태
2-2 GaN 압전 박막을 이용한 SAW 필터 제작

II. 실험

2-1. GaN 압전 박막의 성장

Undoped-GaN 압전 박막은 MOCVD 장비를 이용하여 2-inch 사파이어 기판위에 성장하였다. GaN 버퍼층은 약 1.3 ~ 1.7 μm 두께로 성장되었으며, TMGa가 30 μmol, NH₃/H₂가 1:1의 비율로 주입되었으며, 성장 온도는 550 °C 이다. 또한 압전 박막으로 사용된 Mg-doped GaN 박막의 성장 조건으로는 TMGa가 150 μmol, NH₃/H₂가 역시 1:1의 비율이며, 성장 온도는 1020 °C, 성장 시간은 약 40 min 이다. 표 1에 GaN 버퍼 및 압전 박막의 성장 조건에 대하여 나타내었다

표 1. Mg-deped GaN 압전 박막의 성장 조건

TMGa (μmol)	NH ₃ /H ₂ (slpm)	Temp. (°C)	Thick (μm)	Press. (Torr)
GaN buffer layer				
30	10/10	550	1.3~1.7	200
Mg-doped GaN layer				
150	7/7	1020	2	200

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

표 2. SAW 필터의 IDT 설계 파라미터

wavelength(λ)	60 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

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

III. 결과 및 고찰

3-1. GaN 압전 박막의 특성

성장된 Mg-doped GaN 압전 박막은 X-ray rocking curve의 반치폭(FWHM)이 536.76 arcsec로 비교적 우수한 특성을 나타내었다. GaN 압전 박막의 X-ray rocking curve 결과를 그림 2에 나타내었다.

AFM 측정 결과를 그림 3에 나타내었다. AFM 측정

결과 RMS[□]가 0.280 nm 로 우수한 값을 나타내었으며, 이 결과를 바탕으로 높은 전파속도를 가지는 SAW 필터의 제조가 가능 할 것으로 판단된다.

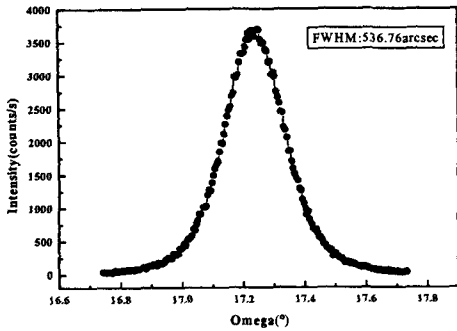


그림 3. Mg-doped GaN 압전박막의 XRD curve

탕으로 $v = f \cdot \lambda$ 식에 의해서 얻어진 표면 탄성과 속도는 5801 m/s로 우수한 특성을 나타내었다. 또한 임피던스 매칭이 되지 않은 상태에서의 삽입 손실은 약 -10 dB였고, 밴드폭은 1 MHz 내외로 나타났다. side-lobe 감쇠 특성은 -22 dB 이상의 값을 나타내었다. 주파수 응답특성 측정결과를 그림 4에 나타내었다.

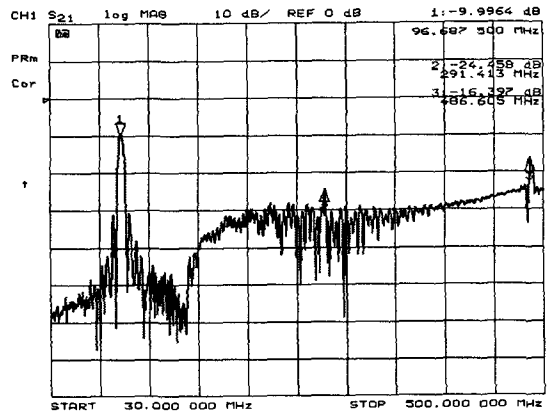


그림 4. Mg-doped GaN SAW 필터의 주파수 특성

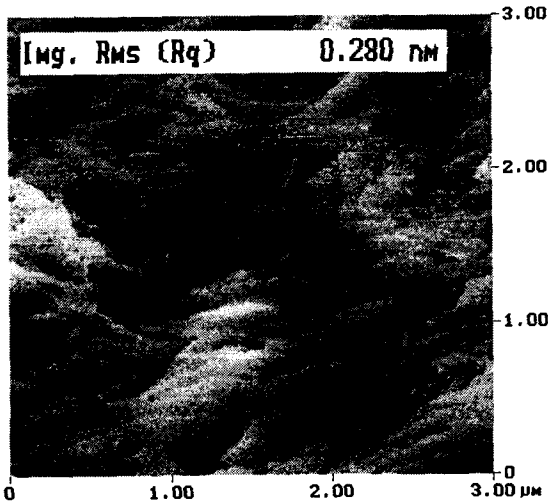


그림 4. Mg-doped GaN 박막의 AFM 표면영상

3-2. Undoped-GaN 압전 박막의 SAW 특성

표 2에 의해 설계된 SAW 필터의 주파수 응답 특성을 HP 8753C network analyzer를 이용하여 측정하였다.

기본 모드에서 중심 주파수는 96.687 MHz로 이를 바

전기기계적 결합계수(k^2)는 crossed-field 등가 모델을 이용하여 식 1을 이용하여 계산하였다.

$$k^2 = \frac{G_a(f_0)}{8 \times f_0 \times C_T \times N} \quad \text{----- (1)}$$

$G_a(f_0)$: 중심 주파수에서 복사 컨덕턴스

C_T : 전체 IDT 전극의 정전용량

N : 입력 IDT finger 쌍의 갯수

계산된 전기기계적 결합계수의 값은 1.00 % ~ 1.44 % 범위로 나타났다.

V. 결 론

MOCVD 장비를 이용하여 Mg-doped GaN 압전 박막을 성장하였다. 성장된 박막의 AFM 측정 결과 및 X-ray rocking curve 측정 결과는 536.76 arcsec로 나타났으며, AFM 측정결과 RMS roughness가 0.28 nm 로 SAW 필터 제작에 충분하리라 판단된다.

제작된 SAW 필터의 주파수 응답 측정 결과에 의해 계산된 표면 탄성과 속도는 5801 m/s 정도의 우수한 특성을 나타내었다. 이러한 전파속도는 기존에 상용화하고 있는 압전 단결정(LiNbO3, LiTaO3)들에 평균 속도인 4000 m/s 보다 훨씬 빠른 속도라서 아주 우수한 특성을 나타내고 있다. 매칭을 하지 않은 상태에서의

삽입 손실은 -10 dB 정도의 우수한 특성을 나타내었고, side-lobe 감쇠 특성 또한 22 dB 이상으로 비교적 우수한 특성을 나타내었다. 그러나 밴드폭은 설계치에 못 미치는 약 1.035 MHz 정도 되었다. 전기 기계적 결합 계수(k^2)는 약 1.00 % ~ 1.44 %의 값을 나타내었다. 이는 단결정 재료에 비해서 비교적 낮은 값이지만, PZT, AlN 및 ZnO 등의 압전 박막에 비해서는 높은 값을 나타내었다.

위 결과와 같이 Mg-doped GaN 압전 박막은 높은 표면 탄성과 속도를 가지고 있으며, 기타 SAW 특성에서도 단결정 재료와 비슷하거나 우수한 특성으로 보이고 있다.

of Dielectric Layer in ZnO/Dielectric/Si Layered Structure on GSAW and HVPSAW Propagation Properties," IEEE Ultrason. Symp. 2000, pp. 353~356, 2000.

- [8] 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.

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] C. K. Campbell, Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communications, ACADEMIC PRESS, INC. 1998.

[3] Herbert Matthews Surface Wave filter, John Wiley & Sons, New York, A Wiley-Interscience Publication, 1997.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] K. H. Choi, Jin Yong Kim, Hyeong Joon Kim, Hyung Kook yang, and Jong Chul Park, "Effect