

기판의 종류에 따른 SAW 필터용 AlN 박막의 특성

고봉철* · 남창우†

Characteristics of AlN thin films for SAW filters based on substrates

Bong-Chul Ko* and Chang-Woo Nam†

Abstract

AlN thin film for SAW filter application was deposited on (100) silicon, sapphire, $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$, and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ substrates by reactive magnetron sputtering method, respectively. The structural characteristics were dependent on the structure of substrates. Scanning Electron Microscope (SEM), X-ray Diffraction (XRD) and Atomic Force Microscope (AFM) have been used to analyze structural properties and preferred orientation of AlN thin films. Preferred orientation and SAW characteristic of AlN were improved by insertion of Al_2O_3 buffer layer. Insertion loss of SAW devices using AlN/Si and AlN/ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ were about 33.27 dB and 30.20 dB, respectively.

Key Words : AlN thin film, SAW filter, Al_2O_3 buffer layer, reactive magnetron sputter

1. 서 론

고체표면의 탄성 진동현상은 1885년 Lord Rayleigh^[1]에 의해 제안되었으며 1965년 캘리포니아 대학의 White와 Voltmer^[1]가 압전 기판 위에 박막 IDT(Inter-Digital Transducer)를 제조하여 SAW(Surface Acoustic Wave) 소자를 구현하였다^[1]. SAW 소자를 이용한 트랜지스터 소자는 건강관리 시스템, 보안 시스템, 컴퓨터 시스템 및 홈오토메이션 제품을 위한 다양한 원격제어와 무선 가격 표시 장치, RF 신호 확인 시스템 등으로 사용될 수 있기 때문에 앞으로 SAW 소자의 활용도는 계속 높아질 것으로 기대된다^[2,3]. 하지만 현재 SAW 소자는 다른 전자부품 및 능동 회로와 집적화할 수 없기 때문에 능동 회로를 포함하는 부품과의 치열한 경쟁이 예상되며 이를 극복하기 위해서는 반도체 공정을 이용하여 SAW 소자를 집적화하기 위한 연구가 필요하다. 현재 사용되고 있는 SAW 소자용 압전 단결정 기판들을 이용하여 보다 높은 고주파 대역에서 사용하려면 SAW의 IDT 간격을 줄여야 하고 그에 따라 보다 미세하고

정밀한 사진식각 장비와 가공 기술이 필요하므로 생산 단가가 높아지는 단점이 발생한다. 이러한 단점은 기존에 사용되고 있는 압전 단결정 기판들보다 빠른 SAW 속도를 가지는 재료를 개발하여 해결할 수 있다. 빠른 탄성과 속도를 가지는 SAW 소자용 압전 재료를 Si 기판 위에서 박막 증착을 통해서 제조하면 고주파수 영역에서 동작하는 SAW 소자를 제작할 수 있으며 반도체 공정을 이용하기 때문에 SAW 소자를 다른 신호처리 소자 및 반도체 소자와 함께 제작하여 단일 집적화가 가능하다. 박막형 재료를 이용하여 제작한 SAW 소자는 보다 다기능의 소자로 구현될 수 있으며 초소형, 경량화, 대량생산이 가능하고 가격경쟁력에서도 우수한 장점을 가진다.

박막형 SAW 기판으로 ZnO와 AlN은 두 종류의 원소만이 포함되어 있으므로 세 종류 이상의 원소가 포함된 강자성 화합물에 비해 증착하기가 훨씬 쉽다. 또한 GaAs 기판 위에 증착한 ZnO와 Si 기판 위에 증착한 AlN은 반도체 기판 위에 acoustic 부품이나 다른 전자 소자들과 함께 집적화할 수 있는 장점이 있다. Si 기판 위에 증착한 AlN 박막은 Si 기판 또는 GaAs 기판 위에 증착한 ZnO 박막보다 압전 상수는 작지만 SAW 속도가 약 2000 m/s 정도 빠르며 화학적 안정성, 기계적 강도, 높은 열전도성 및 좋은 유전 특성 등의 장점을 가지고 있다. SAW 소자용 박막재료가 우수한

울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (School of Electrical Eng., University of Ulsan)

*현대자동차 (Hyundai Motor Company)

†Corresponding author: cwnam@ulsan.ac.kr

(Received : April. 16, 2007, Accepted : May 17, 2007)

SAW 특성을 가지기 위해서는 박막의 우선배향성, 표면 거칠기, 면저항, 전기기계 결합계수, SAW 속도 등의 물리적 성질이 우수해야 한다. 일반적으로 단층의 박막으로는 이러한 성질들이 우수해지기 어렵기 때문에 중간층이 필요하며 SiO₂^[4], Si₃N₄^[5], DLC^[6,7](Diamond-like Carbon), AlN^[8], Al₂O₃^[9], 다이아몬드^[10]등의 중간층들이 연구되고 있다. 중간층은 Pt 등 금속박막의 특성에도 영향을 미치는 것으로 나타났다^[10].

단결정 박막 또는 우수한 c축 우선 배향성을 가지는 AlN 박막은 CVD(Chemical Vapor Deposition), 펄스 레이저 증착법, 또는 스퍼터링법을 이용하여 성장시킬 수 있으나 CVD는 1000 °C 이상의 고온 처리가 필요하여 높은 결정립 성장률을 보이기 때문에 AlN의 표면이 고르지 않게 되고, 기판과 격자 비정합, 열팽창 계수의 차이로 인한 내부 응력의 문제가 제기된다. SAW 소자로 사용될 경우 전파손실의 원인이 되므로 저온 공정의 이점이 있는 스퍼터링법이 적합하다고 판단된다^[12,13].

본 연구에서는 RF 반응성 스퍼터링법을 이용하여 Si₃N₄/Si, Al₂O₃/Si, Si 및 사파이어 기판 위에 AlN 박막을 증착하여 SAW 소자 기판으로 사용하였다. 기판의 종류에 따른 AlN 박막의 특성을 분석하였으며, 또한 중간층이 AlN 박막의 SAW 특성에 미치는 영향을 분석하여 특성이 개선된 SAW 소자를 제작하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 시스템 (Korea Vacuum, Korea)을 사용하여 (100) 실리콘 기판 위에 AlN 박막을 증착하였다. 로타리 펌프와 cryo 펌프를 이용하여 3.0×10⁻⁶ torr까지 압력을 낮추어 진공 조 내에 있는 불순물들을 제거하였다. AlN 박막을 증착하기 전에 알루미늄 타겟 표면의 불순물과 산화막을 제거하기 위해 150 W의 RF 전원을 가하여 타겟을 약 10분간 예비 스퍼터링하였다.

기판의 종류에 의한 AlN 박막의 SAW 특성의 변화를 알아보기 위하여 진공도를 5 mTorr, RF 파워를 200 W, 질소분압비를 0.5, 기판과 타겟의 거리를 8 cm, 기판온도를 상온, 작압압력을 5 mTorr로 하여 사파이어, Si₃N₄/Si, Al₂O₃/Si 및 Si 등의 기판 위에 AlN 박막을 각각 증착하였으며 이들 박막의 물성 및 SAW 소자 특성을 분석하였다.

박막의 우선 배향특성을 높이기 위하여 실리콘 기판과 AlN 박막 사이에 중간층으로 Al₂O₃ 박막을 증착하였으며 증착조건은 RF 파워를 300 W, 증착 압력을 8 mTorr, 증착온도를 상온, 산소분압비를 0.1로 하였다

표 1. Al₂O₃박막과 AlN 박막의 증착조건

Table 1. Deposition conditions of Al₂O₃ and AlN thin films

증착조건	AlN 박막의 증착조건	Al ₂ O ₃ 박막의 증착조건
RF POWER	200, 300 [W]	300 [W]
증착압력	5 [mTorr]	8 [mTorr]
기판온도	상온	상온
가스분압비	$\frac{N_2}{N_2+Ar} = 0.5$	$\frac{O_2}{O_2+Ar} = 0.1$
기저압력	3×10 ⁻⁶ [Torr]	3×10 ⁻⁶ [Torr]
타겟과 기판사이의 거리	8 [cm]	8 [cm]
가스	Ar, N ₂ (10 [sccm])	Ar, O ₂ (30 [sccm])

(표 1 참조).

SEM, AFM, XRD 등을 이용하여 AlN 박막의 물성을 분석하였다. XRD 측정에서 얻어지는 (002) 피크의 세기는 박막의 두께와 시료의 면적에 의해서 영향을 받으므로 피크의 세기보다는 다른 피크들의 합과 (002) 피크 세기의 비율인 우선 배향율 ((002)peak의 세기/모든피크세기의 합)을 고려하였다.

각각의 구조 위에 증착한 AlN 박막을 이용하여 SAW 소자를 구현하기 위해 진공 증착기(vacuum thermal evaporator, Korea Vacuum)를 이용하여 두께 2000 Å의 Al을 증착하고 사진식각 공정을 이용하여 IDT를 제작하였다. 제작된 SAW 소자는 Network Analyzer E8802A (Agilent, USA)를 이용하여 특성을 분석하였다.

3. 실험 결과

그림 1에 Si₃N₄/Si, Al₂O₃/Si, Si 및 사파이어 기판 위에 증착한 AlN 박막의 HR-XRD 측정 결과를 나타내었다. 사파이어 단결정 기판을 이용하여 증착한 AlN 박막의 우선배향율은 약 98.1%를 나타내었으며 이를 제외한 Si₃N₄/Si, Al₂O₃/Si, Si 기판 위에 증착한 AlN 박막들의 우선배향율은 거의 100%의 값을 보였다. 따라서 기판의 종류에 관계없이 박막의 우선배향률은 모두 우수한 것으로 나타났다.

그림 2에 이들 박막들의 표면 거칠기를 AFM으로 측정된 결과를 나타내었다. AlN/Al₂O₃/Si의 구조에서 표면 거칠기가 가장 큰 9.34 nm이었고, AlN/사파이어의 구조에서는 5.83 nm, AlN/Si₃N₄/Si의 구조에서는 6.23 nm 그리고 AlN/Si의 구조에서는 5.55 nm의 표면 거칠기를 나타내었다. 이들 박막의 두께를 SEM으로 측정하였으

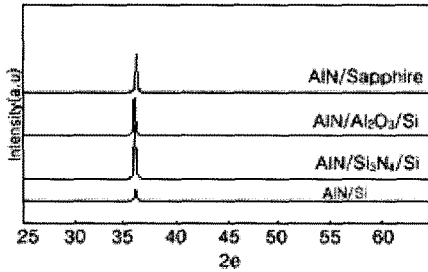


그림 1. 기판의 종류에 따른 AlN 박막의 XRD 측정결과
Fig. 1. XRD results of AlN thin film fabricated on the various substrates.

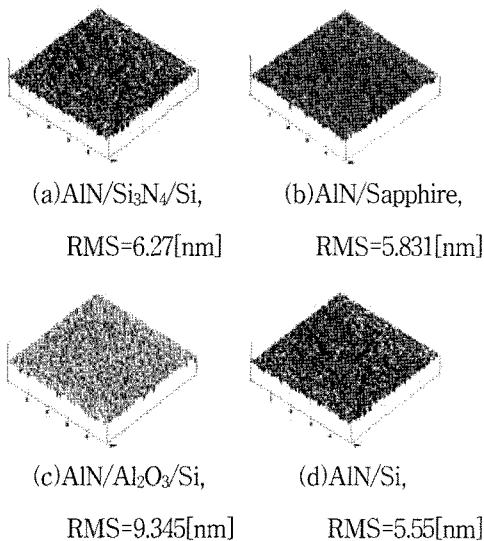


그림 2. 기판의 종류에 따른 AlN 박막의 표면 거칠기 및 표면형상
Fig. 2. Surface roughness and images of AlN thin film deposited on the various substrates.

며, 측정결과 AlN/Al₂O₃/Si의 구조에서 가장 두꺼운 2.97 μm, AlN/사파이어의 구조에서는 2.70 μm, AlN/Si₃N₄/Si의 구조에서는 2.54 μm, 그리고 AlN/Si의 구조에서는 2.84 μm의 두께를 나타내었다.

이러한 구조적 물성을 가지는 AlN 박막들을 이용하여 입력 IDT와 출력 IDT의 개수는 각각 90쌍, finger overlap은 1.6 mm, busbar의 폭은 0.8 mm, 입력 IDT와 출력 IDT 사이의 간격은 1.2 mm로 하여 2단자 SAW 필터를 제작하였으며 이들 특성을 측정하였다. 그림 3에 AlN/사파이어 구조와, AlN/Si 구조의 SAW 특성을 나타내었다. AlN/사파이어 구조에 제작한 2단자 SAW 필터의 삽입손실은 44.83 dB로 가장 컸으며 중심 주파수는 약 137.9 MHz이었다. AlN/Al₂O₃/Si 구조에서는 삽

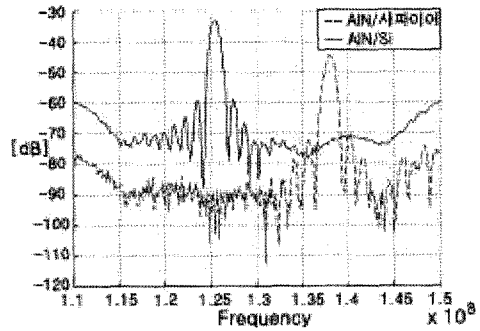


그림 3. 기판의 종류에 따른 2단자 SAW 필터의 특성 변화
Fig. 3. Characteristics of two port SAW filter fabricated on various substrates.

입손실은 30.20 dB, 중심주파수는 약 126.1 MHz이었고, AlN/Si₃N₄/Si의 구조에서는 삽입손실은 40.52 dB, 중심주파수는 약 125.7 MHz, AlN/Si 구조에서는 삽입손실은 33.27 dB, 중심주파수는 125.3 MHz의 특성을 나타내었다. AlN/Al₂O₃/Si 구조와, AlN/Si₃N₄/Si의 구조, AlN/Si 구조에서는 중심주파수가 비슷하여 세 가지 구조에서의 SAW 속도는 5012~5044 m/s로 거의 같은 것으로 나타났다. 특이하게 사파이어 기판 위에 제작한 AlN 박막의 중심주파수가 다른 구조에서보다 약 12 MHz정도 높은 특성을 보였다. 중심주파수로부터 계산한 SAW 속도는 5516 m/s로 AlN/Si 구조보다 10% 정도 빠른 것으로 나타났다. 이는 사파이어 기판의 영의 계수(Young's modulus)가 크기 때문에 사파이어 기판 위에 제작한 AlN 박막의 SAW 속도가 빠르기 때문인 것으로 판단된다^[14]. 박막의 두께, 표면 거칠기, 우선 배향성 등의 물성 특성들을 고려한 결과 AlN/Si 구조에서 제작한 SAW 소자의 삽입손실이 가장 낮고, AlN/Si₃N₄/Si의 구조에서 삽입손실이 가장 클 것으로 예상되었으나 실제 측정된 SAW 특성은 AlN/Al₂O₃/Si 구조에서 가장 낮고 AlN/사파이어 구조에서 가장 높은 특성을 나타내었다.

이러한 경향을 나타내는 원인을 규명하기 위하여 각각의 기판구조에 따른 전기기계 결합계수 K²값을 계산하였으며 이들 결과를 그림 4에 나타내었다. 전기기계 결합계수 K²값은 AlN/사파이어 구조에서 가장 낮은 0.022%, AlN/Si₃N₄/Si의 구조에서는 약 0.028%, AlN/Si 구조에서는 0.15%였으며 AlN/Al₂O₃/Si 구조에서 가장 높은 0.175%의 값을 나타내었으며 이러한 특성은 그림 3에서 살펴본 삽입손실 특성과 잘 부합하는 결과를 나타내었다. AlN 박막의 구조적인 물성은 기판의 종류에 의해 크게 변하지 않지만 전기기계 결합계수 K²값은 크게 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었으며, 이

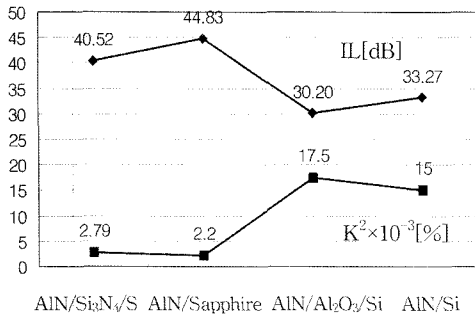
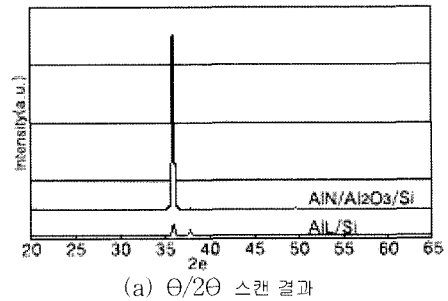


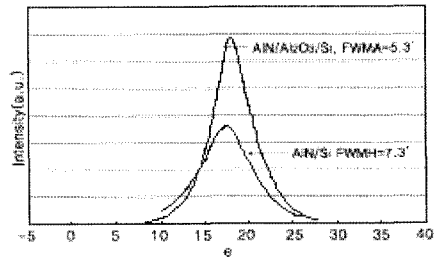
그림 4. 기판의 종류에 따른 전기기계 결합계수 및 삽입손실의 변화
 Fig. 4. Insertion loss and electromechanical coupling coefficients of two port SAW filter fabricated on the various substrates.

러한 전기기계 결합계수 K^2 값들에 의해 SAW 소자 삽입손실 등의 특성들도 변하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 위 결과들을 살펴본 결과 삽입손실의 측면에서는 AlN/Al₂O₃/Si 구조를 이용하여 SAW 소자를 제작하는 것이 가장 바람직하며, 기판의 빠른 SAW 속도를 이용하여 고주파 소자를 제작하는 목적으로는 AlN/사파이어 구조를 이용하여 SAW 소자를 제작하는 것이 가장 유리하다고 판단된다. 사파이어 기판 대신 다이아몬드 등의 기판을 사용하면 보다 빠른 SAW 속도와 고주파 소자를 구현할 수 있다고 보고되었다^[10].

Si 위에 AlN 박막을 직접 증착시키는 경우 200 W 이상의 RF 파워에서는 우선배향성이 저하되고, 표면거칠기가 증가하여 SAW 특성이 급격히 저하되는 것을 관찰하였다. 200 W의 RF 파워에서는 스퍼터에 의한 박막 증착률이 매우 낮아 2 μ m 이상 필요한 두께의 박막을 증착하기에는 너무 많은 시간이 소요된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Al₂O₃ 중간층을 삽입하고 RF 파워를 증가시켜 증착한 AlN 박막의 특성 변화를 고찰하였다. Al₂O₃ 박막을 약 100 nm 증착하고 AlN 박막을 증착하기 위해 RF 파워는 300 W, 증착 압력은 8 mTorr, 증착온도는 상온, 질소분압비는 0.5로 고정하였다. 그림 5(a)의 XRD 측정 결과에서 알 수 있듯이 Al₂O₃ 박막을 중간층으로 삽입하지 않고 Si 웨이퍼 위에 직접 AlN을 증착한 경우, RF 파워를 300 W로 증가시키면 새로운 AlN(101) 피크가 나타났다. 따라서 증착률을 높이기 위해 RF 파워를 올리게 되면 AlN 박막의 우선배향성이 나빠지는 것으로 나타났다. 이와 달리 Al₂O₃ 박막을 중간층으로 증착한 경우에는 스퍼터의 RF 파워를 증가시켜도 다른 피크들이 나타나지 않고 우수한 우선배향성을 유지하는 것으로 나타났다. 그림 5(b)의 rocking curve의 FWHM 값도 중간층을 삽입한



(a) $\theta/2\theta$ 스캔 결과



(b) rocking curves

그림 5. Al₂O₃ 중간층의 삽입에 따른 XRD 측정결과
 Fig. 5. XRD results of AlN thin film deposited on the Al₂O₃ buffer layer.

경우 약 5.3°, 중간층을 삽입하지 않은 경우에는 7.3°로 중간층을 삽입한 경우 약 2°정도 개선된 결과를 나타내었다. 이 실험에서 사용한 스퍼터 장비의 한계 때문에 RF 파워를 더 올리지 못하였지만 300 W에서 증착한 박막의 우선배향성이 좋은 결과로 미루어 볼 때 300 W 이상의 RF 파워를 인가하여 증착률을 증가시켜도 좋은 SAW 특성을 얻는 것이 가능한 것으로 보인다.

그림 6에 표면 거칠기 특성을 비교하였다. Al₂O₃ 박막을 중간층으로 삽입한 구조에서는 9.48 nm의 RMS 값을 나타내었고, 중간층이 없는 구조에서는 9.65 nm의 RMS 값을 나타내었으며, Al₂O₃ 박막의 중간층을

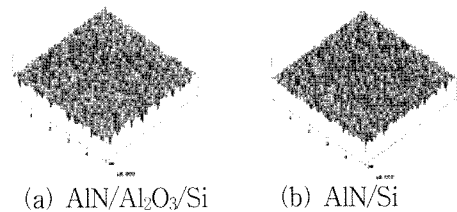
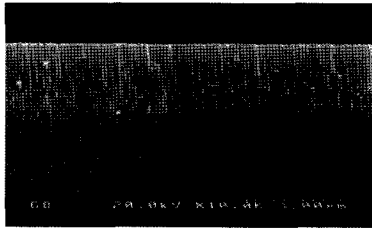
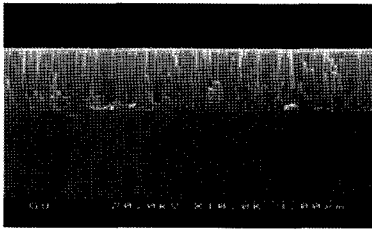


그림 6. Al₂O₃ 중간층의 삽입에 따른 표면 거칠기의 변화 및 표면형상
 Fig. 6. Surface roughness and images of AlN thin film deposited on the Al₂O₃ buffer layer.



(a) AlN/Al₂O₃/Si 두께 : 3.03[μ m]



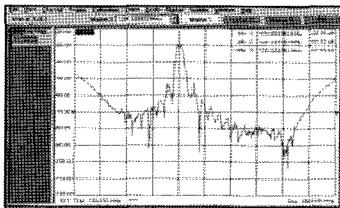
(b) AlN/Si 두께 : 2.87[μ m]

그림 7. Al₂O₃ 중간층의 삽입에 따른 박막의 두께 변화 및 단면 형상

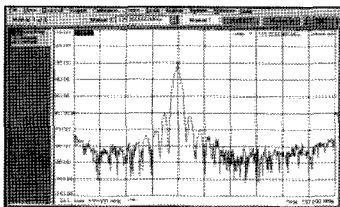
Fig. 7. Cross sectional images of AlN thin film deposited on the Al₂O₃ buffer layer.

삽입하여도 표면 거칠기의 변화는 거의 없었다.

그림 7에 각각의 박막의 단면 형상 및 두께를 나타내었다. Al₂O₃ 중간층이 있는 경우, 박막의 두께는 약 3.03 μ m이었으며 중간층이 없는 경우 박막의 두께가 약 2.87 μ m이었다. 중간층의 삽입에 의해 박막의 두께



(a) AlN/Al₂O₃/Si, 삽입손실 28.75[dB]



(b) AlN/Si, 삽입손실 34.64[dB]

그림 8. Al₂O₃ 중간층의 삽입에 따른 2-단자 SAW 필터의 특성 변화

Fig. 8. Insertion loss of two port SAW filters with AlN/Al₂O₃/Si and AlN/Si structures.

는 약 0.16 μ m의 변화를 나타내고 있으며 Al₂O₃ 박막을 삽입한 경우 주상구조가 약간 더 치밀해지고 좀 더 기판 면과 수직인 경향을 나타내었다. 측정결과 Al₂O₃ 박막의 중간층을 삽입하면 우선 배향 특성이 개선되고, 같은 시간동안 증착한 AlN 박막의 두께가 0.16 μ m정도 두꺼워졌으며, 나머지 대부분의 물성은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이러한 박막들을 이용하여 2-단자 SAW 소자를 제작하여 측정된 결과를 그림 8에 나타내었다. Al₂O₃ 박막의 중간층을 삽입한 구조에서는 삽입손실이 약 28.75 dB로 측정되었으며 중간층이 없는 구조에서는 삽입손실이 약 34.64 dB의 결과를 보였다. 따라서 Al₂O₃ 박막의 중간층을 삽입한 결과 중간층을 삽입하지 않았을 때보다 삽입손실이 상당히 개선되어 5.89 dB정도 낮아졌다.

4. 결 론

이상의 결과를 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) AlN 박막과 Si 기판 사이에 Al₂O₃ 박막을 중간층으로 삽입하면 AlN 박막의 우선 배향성 및 전기기계 결합계수가 개선되어 SAW 특성이 향상된다.

2) 사파이어 기판 위에 증착한 AlN 박막의 SAW 속도는 약 5516 m/s였으며 이는 Si 기판 위에 증착한 AlN 박막의 SAW 속도 5012 m/s보다 10% 정도 빠르다. 따라서 사파이어 기판을 사용하여 AlN 박막을 증착하면 보다 고주파의 SAW 소자를 제작할 수 있다.

3) 빠른 증착률을 얻기 위해서 증착 파워를 증가시키면 AlN/Si 구조에서는 (002) 피크 외에 (101) 피크가 발생하여 우선 배향성이 나빠지며 SAW 소자의 특성이 저하되지만, Al₂O₃ 박막을 중간층으로 삽입하면 증착률이 증가하여도 좋은 우선배향성 및 SAW 특성을 유지할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

[1] M. Feldmann and J. Henaff, "Surface acoustic waves for signal processing", Artech House Acoustics Library, 1989.
 [2] 김진상, 정용철, 강종윤, 김달영, 남창우, 윤석진, "위

- 상변화를 이용한 표면탄성과 가스센서”, 센서학회지, 제14권, 제3호, pp. 186-190, 2005.
- [3] 유범근, 박용욱, 강종윤, 윤석진, 최두진, 김진상, “가스 크로마토그래피를 부착한 표면탄성과 가스센서”, 센서학회지, 제16권, 제1호, pp. 39-43, 2007.
- [4] W. C. shih, M. S. Wu, M. Shimizu, and T. Shiosaki, “The effect of an SiO₂ buffer layer on the SAW properties of ZnO/SiO₂/GaAs structure”, *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.*, vol. 40, no. 6, pp. 642-647, 1993.
- [5] J.-W. Soh, W.-J. Lee, J.-H. Park, and S.-W. Lee, “SAW characteristics of AlN films deposited on various substrates using ECR plasma enhanced CVD and reactive RF sputtering”, in Proc., *IEEE Ultrason. Symp.*, pp. 299-302, 1996.
- [6] J. Y. Kim, Y. E. Lee, H. J. Kim, H. K. Yang, J. C. Park, and Y. J. Kim, “Surface acoustic wave properties of ZnO/DLC/Si(100) multilayer structure”, in Proc., *IEEE Ultrason. Symp.*, pp. 317-320, 1996.
- [7] M. H. Lee, S. M. Chang, C. K. Park, J. B. Lee, and J. S. Park, “Characterization of ZnO/DLC/Si SAW devices using FCVA-produced DLC films”, in Proc., *IEEE Freq. contr. Symp.*, pp. 70-73, 2002.
- [8] J. P. Jung, J. B. Lee, J. S. Kim, and J. S. Park, “Fabrication and characterization of high frequency SAW device with IDT/ZnO/AlN/Si configuration : role of AlN buffer”, *Thin Solid Films*, xx (2003), xxx-xxx (article in press ; Available online 14 November 2003.)
- [9] N. Ohshima, A. Wakahara, M. Yonezu, A. Yoshida, Y.C. Jung, and H. Miura, “GaN epitaxial growth on a Si(111) substrate using γ -Al₂O₃ as an intermediate layer”, *J. of the Korean Physical Soc.*, vol. 34, pp. S359-S363, 1999.
- [10] V. Mortet, M. Nesladek, J. D’haen, G. Vanhoyland, O. Elmazria, M. B. Assouar, P. Alnot, and M. D’olieslaeger, “Deposition of aluminum nitride film by magnetron sputtering for diamond-based surface acoustic wave applications”, *Phys. Stat. sol. (a)* 193, no. 3, pp. 482-488, 2002.
- [11] 나동명, 김영복, 박진성, “DC Magnetron Sputter로 제조된 Pt 박막의 특성”, 센서학회지, 제16권, 제2호, pp. 159-164, 2007.
- [12] F. S. Hickernell and H. M. Liaw, “The structural and acoustic properties of sputtered aluminum nitride on silicon”, in Proc., *IEEE Ultrason. Symp.*, pp. 543-546, 1995.
- [13] H. M. Liaw, W. Cronic, and F.S. Hickernell, “The SAW characteristics of sputtered aluminum nitride on silicon”, *IEEE Ultrason. Symp.*, pp. 267-271 1993.
- [14] T. Pastureaud, A. Soufyane, S. Camou, S. Ballandras, D. schenck, F. semond, J. Desbois, and V. Laude, “AlN and GaN layers deposited on sapphire or silicon substrates : theory and experiment”, in Proc., *IEEE Ultrason. Symp.*, pp. 293-297, 2000.



고봉철

- 1998년 울산대학교 전기공학과 졸업
- 2002년 울산대학교 석사
- 2004년 울산대학교 박사
- 2004년-현재 현대기아 기술 연구소
- 주관심분야 : MEMS 분야



남창우

- 1984년 연세대학교 전기공학과 졸업
- 1989년 University of Florida 석사
- 1994년 Pennsylvania State University 박사
- 1995년-현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부
- 주관심분야 : 박막공정, SAW 응용기술