

반응성 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착된 AlN 박막의 우선 배향성 및 표면 탄성과 특성에 관한 연구

서주원 · 이원종
한국과학기술원 재료공학과

Preferred Orientation and SAW Characteristics of AlN Films Deposited by Reactive RF Magnetron Sputtering

Ju Won Soh and Won Jong Lee
Dept. of Mater. Sci. & Eng., KAIST, Taejeon 305-701

(1996년 12월 20일 받음, 1997년 4월 21일 최종수정본 받음)

초 록 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 상온에서 *c*-축으로 우선 배향된 AlN 박막을 여러 기판 위에 증착하였다. SiO₂/Si, Si₃N₄/Si, Si(100), Si(111) 그리고 α -Al₂O₃(0001) 기판에서 AlN(0002) 로킹커브 피크의 표준편차는 각각 2.6°, 3.1°, 2.6°, 2.5° 그리고 2.1°의 값을 나타내었다. α -Al₂O₃(0001) 기판에 증착된 AlN 박막은 epitaxial 성장을 나타내었다. Si 기판에 증착된 AlN 박막에서 측정된 비저항과 1MHz 주파수에서 측정된 유전상수의 값은 각각 10¹¹Ωcm과 9.5였다. IDT/AlN/ α -Al₂O₃(0001) 구조를 갖는 지연선 소자의 표면 탄성과 특성을 측정하였다. 상 속도, 전기기계 결합계수 그리고 전파손실은 H/λ가 0.17~0.5 범위에서 각각 5448~5640m/s, 0.13~0.17% 그리고 0.41~0.64dB/λ의 값을 나타내었다.

Abstract Highly *c*-axis oriented AlN films were deposited on various substrates using reactive RF magnetron sputtering at room temperature. Standard deviations of AlN(0002) rocking curve peaks were 2.6°, 3.1°, 2.6°, 2.5° and 2.1° on SiO₂/Si, Si₃N₄/Si, Si(100), Si(111) and α -Al₂O₃(0001) substrates, respectively. The pole figure taken from the AlN film deposited on α -Al₂O₃(0001) substrate exhibited epitaxial growth of AlN film. The resistivity and dielectric constant of the AlN film deposited on Si substrate were 10¹¹Ωcm and 9.5 at 1MHz, respectively. The surface acoustic wave characteristics for the delay line in IDT/AlN/ α -Al₂O₃(0001) structure were measured. The phase velocity, electromechanical coupling coefficient and propagation loss were 5448~5640m/s, 0.13~0.17% and 0.41~0.64dB/λ at H/λ = 0.17~0.50, respectively.

1. 서 론

질화 알루미늄(AlN)은 우수한 물성으로 여러 분야에서 연구되어온 대표적인 III-V 화합물 가운데 하나이다¹⁾. 우수한 강도, 높은 열전도도, 고온에서의 안정성 그리고 Si 및 GaAs와의 우수한 열적 정합은 전자 패키징에 응용 가능하다. 넓은 에너지 밴드 갭 구조는 GaAs 및 InP에 제작된 전자 소자의 절연막으로 적합하다.

그리고, GaN와 화합물을 형성하여 제조된 AlGaN 구조는 청색부터 자외선 파장을 이용하는 광학용 소자에 응용할 수 있다. 특히, 압전성을 이용한 표면 탄성과 소자로의 응용은 이동통신 분야의 급격한 발달로 크게 주목받고 있다. AlN 박막을 표면 탄성과 소자에 이용하기 위해서는 고 압전성을 얻기 위하여 우수한 *c*-축 배향성이 필요하다²⁾. 박막과 기판의 격자상수 및 결정구조의 정합은 박막의 성장 거동에 큰 영향을 주게 되므로 AlN 박막의 높은 *c*-축 배향 성장 또는 epitaxial 성장을 위해서는 적절한 기판의 선정이 중요하다. Silicon 기판에 우수한 *c*-축 배향성을 갖는 AlN 박막을 얻는 것은 silicon에 기초한 소자와의 단일 집

적화를 위해 필요하다. 또한, silicon에 비해 AlN와의 격자정합이 더 좋은 사파이어 기판은 epitaxial AlN 박막 성장에 유리하다.

본 연구에서는 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 SiO₂(100nm)/Si, Si₃N₄(200nm)/Si, Si(100), Si(111) 그리고 α -Al₂O₃(0001) 기판 위에 각각 AlN 박막을 상온에서 증착하였으며, 증착된 박막의 *c*-축 우선배향성, 표면 거칠기, 전기적 특성 그리고 표면 탄성과 특성을 분석하였다.

2. 실험 방법

반응성 RF 마그네트론 스퍼터링 법을 이용하여 상온에서 SiO₂(100nm)/Si, Si₃N₄(200nm)/Si, Si(100), Si(111) 그리고 α -Al₂O₃(0001) 기판에 AlN 박막을 동시에 증착하였다. 증착하기 전에 p-type Si(100) 기판과 Si(111) 기판은 10:1의 HF 용액에 탈이온수(deionized water)로 세척하였으며, α -Al₂O₃(0001) 기판은 HCl 용액을 이용하여 세척하였다. AlN 박막은 N₂ 분위기에서 Al 금속 타겟을 스퍼터링하여 증착하였다. 이때 초기 진공도는 3 × 10⁻⁶

Table 1. IDT geometries of the delay line used for the measurement of surface acoustic wave characteristics.

Parameter	Values
IDT width(μm)	1.0, 2.0, 3.0
IDT space(μm)	1.0, 2.0, 3.0
IDT period(μm)	4.0, 8.0, 12.0
Aperture size(μm)	152, 304, 456
Propagation length(μm)	180, 360, 540
Input/output IDT pairs	31/31

torr였으며 증착 압력은 3mtorr였다. 증착 개스로 Ar 5sccm(순도 5N)과 N₂ 10sccm(순도 6N)을 사용하였다. Al 타겟에 250W의 RF 전력을 인가하여 SiO₂/Si, Si₃N₄/Si, Si(100) 그리고 Si(111) 기판 위에 3시간 증착하여 1.2 μm 두께의 AlN 박막을 얻었으며, α -Al₂O₃(0001) 기판 위에 5시간 증착하여 2.0 μm 두께의 AlN 박막을 얻었다. 증착된 AlN 박막의 결정성은 Cu-K α radiation을 갖는 x-ray 회절($\theta-2\theta$)로 조사하였으며, c-축 배향성은 로킹 커브에서 얻어진 AlN(0002) peak의 표준편차로 분석하였다. 박막의 epitaxial 성장은 x-ray pole figure 분석으로 조사하였다. 증착된 박막의 표면 거칠기는 atomic force microscopy(AFM)를 이용하여 분석하였다. AlN 박막의 전기적 특성은 Al/AlN/p-type Si(111) 구조를 이용하여 측정하였다. 전기장에 따른 누설전류 특성은 HP 4140B picoammeter를 이용하여 음의 전압을 인가하면서 측정하였다. 박막의 유전상수는 1MHz에서 HP 4275A LCR meter를 이용하여 측정하였다. AlN 박막 내에 존재하는 불순물은 Auger electron spectroscopy(AES)로 분석하였다. α -Al₂O₃(0001) 기판에 증착된 AlN 박막의 표면 탄성과 특성을 분석하기 위하여 200nm 두께의 Al interdigital transducer(IDT) 전극을 박막 표면에 형성하여 지연선 소자를 제작하였다. 제작된 표면 탄성과 지연선 소자의 사양을 표 1에 정리하였다. 지연선 소자의 주파수 응답은 Wiltron 360B Network Analyzer를 이용하여 50.0 하에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

AlN 박막의 물성 분석

그림 1은 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 (a) SiO₂(100nm)/Si, (b) Si₃N₄(200nm)/Si, (c) Si(100), (d) Si(111) 그리고 (e) α -Al₂O₃(0001) 기판 위에 각각 증착된 AlN 박막의 회절 패턴, 로킹커브 및 pole figure를 보여준다. 각 기판 위에 증착된 AlN 박막으로부터 $2\theta=36^\circ$ 에서 (0002) 피크만이 나타났으며 이는 증착된 박막이 c-축으로 우선 성장하였음을 보여주는 것이다. 증착된 AlN 박막의 c-축 배향성을 정량적으로 분석하기 위해 측정된 로킹커브에서 AlN(0002) 피크의 표준편차는 SiO₂/Si, Si₃N₄/Si, Si(100), Si(111) 그리고 α -Al₂O₃(0001) 기판에 대해 각각 2.6°, 3.1°, 2.6°, 2.5° 그리고 2.1°의 값

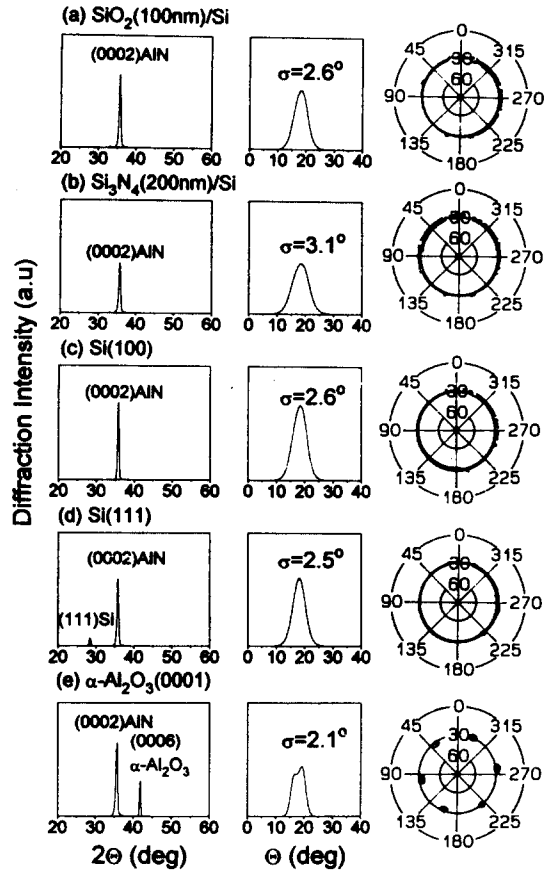


Fig. 1. X-ray diffraction patterns, rocking curves and pole figures of the AlN films deposited at room temperature on various substrates: (a) SiO₂/Si; (b) Si₃N₄/Si; (c) Si(100); (d) Si(111); (e) α -Al₂O₃(0001).

을 나타내었다. 비정질 층(SiO₂와 Si₃N₄)을 갖는 기판 위에 증착된 박막의 배향성이 bare 실리콘 기판 위에 증착된 박막의 배향성보다 약간 나쁘게 나타났으나 큰 차이는 보이지 않았다. 그리고 α -Al₂O₃(0001) 기판 위에 증착된 박막의 배향성이 가장 우수하게 나타났는데, 이는 AlN과의 격자 정합이 타 기판에 비해 잘 일치하였기 때문이라고 생각한다. Pole figure는 비교적 넓은 면적을 갖는 시편의 epitaxial 성장을 분석하는데 유용하다. (0002) pole에 대해 얻은 AlN(10 $\bar{1}$ 1) pole figure는 (0002) pole과 (10 $\bar{1}$ 1) plane 사이의 각도인 60.7°에서 pole contour를 나타낸다. Epitaxial 성장을 한 박막의 경우 $\phi=0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ$ 그리고 300° 에서 6개의 pole contour가 나타난다. 그림 1에서 보듯이 SiO₂/Si, Si₃N₄/Si, Si(100) 그리고 Si(111)기판에 증착된 AlN 박막으로부터 얻은 pole figure는 60.7° 근처에 연속적인 pole contour를 나타냈으며, 이는 증착된 박막이 c-축으로는 우선 배향되었으나 a와 b축으로는 방향성없이 성장하였음을 보여주는 것이다. 즉, 증착된 AlN 박막이 기판과의 격자정합보다는 표면자유에너지를 최소화하려는 성장거동에 의해 좌우되었기 때문이다. 이와 달리 α -Al₂O₃(0001) 기판에 증착된 AlN 박막으로부터 얻은 pole figure는 60°의 간격을 갖는 6개의 pole contour를 나타냈는데, 이는 증착된 박막

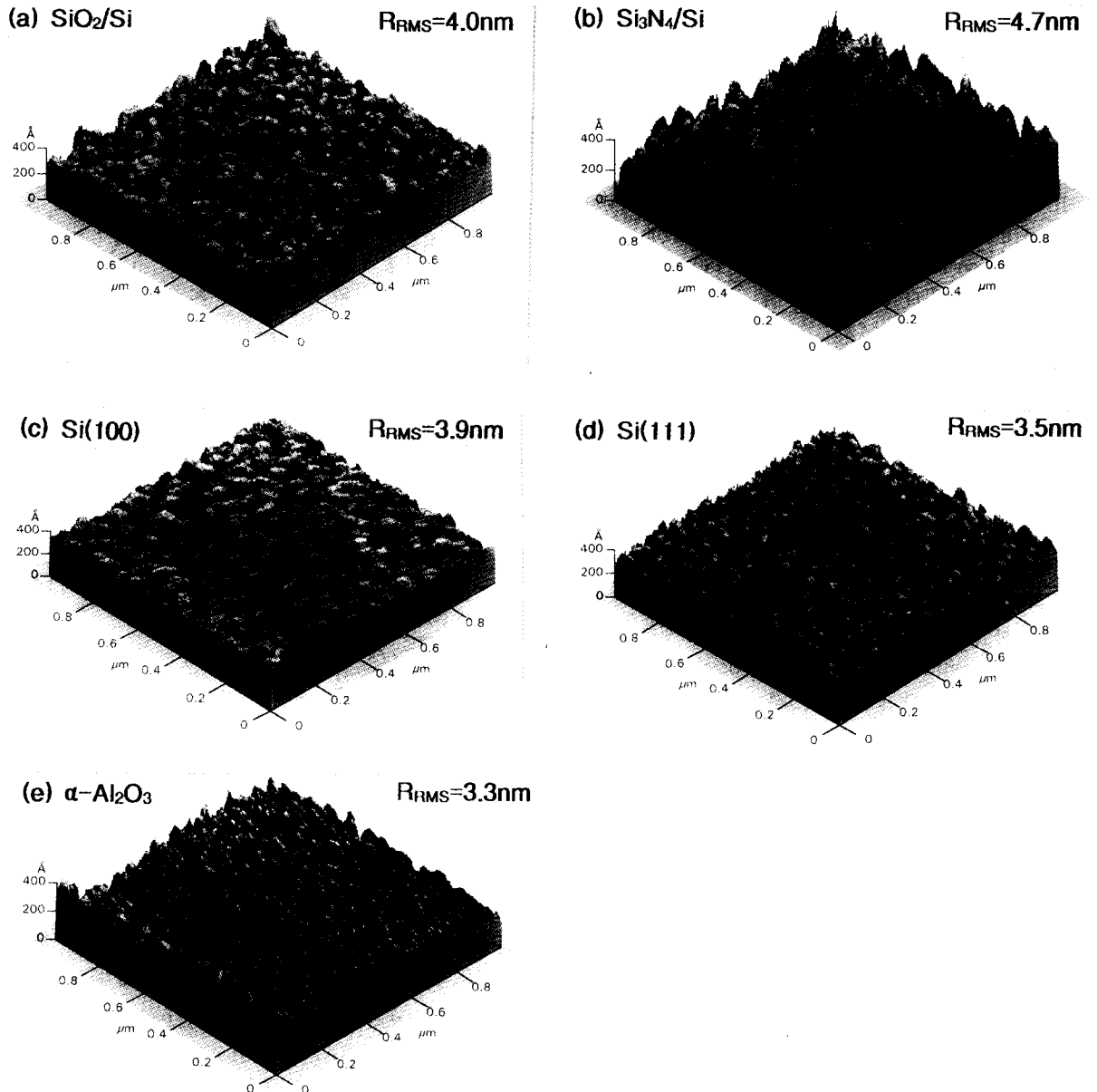


Fig. 2. Atomic force micrographs and root-mean-squared surface roughness of the AlN films deposited at room temperature on various substrates: (a) SiO_2/Si ; (b) $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$; (c) $\text{Si}(100)$; (d) $\text{Si}(111)$; (e) $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$.

이 epitaxial 성장하였음을 보여주는 것이다. 즉, 증착된 AlN 박막의 성장거동은 표면자유에너지뿐 아니라 기판과의 격자정합에 의해서 크게 영향을 받았기 때문이다.

1~3GHz 대역에 사용되는 IDT/AlN/substrate 구조를 갖는 표면 탄성과 소자에서 AlN 박막의 표면 거칠기는 전 파손실에 큰 영향을 미친다. 그림 2는 SiO_2/Si , $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$, $\text{Si}(100)$, $\text{Si}(111)$ 그리고 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ 기판 위에 증착된 AlN 박막의 AFM 사진이다. 각 기판에 증착된 박막의 root-mean-squared(RMS) roughness, R_{RMS} 는 각각 4.0nm, 4.7nm, 3.9nm, 3.5nm 그리고 3.3nm의 값을 보였다. SiO_2/Si 와 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$ 의 비정질 기판 위에 성장된 박막이 가장 큰 표면 거칠기를 나타냈으며 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ 기판 위에서 epitaxial 성장한 박막이 가장 평탄한 표면 형상을 나타내었다. 그림 3은 p-type $\text{Si}(111)$ 기판에 증착된

AlN 박막의 전기장에 따른 누설전류 특성곡선이다. 0.1MV/cm의 전기장에서 $10^{-6}\text{A}/\text{cm}^2$ 의 누설전류를 나타내어 $10^{11}\Omega\text{cm}$ 의 비저항 값을 나타내었다. AlN bulk의 비저항 값은 $10^{13}\sim 10^{14}\Omega\text{cm}$ 정도이다. 그림 4는 p-type $\text{Si}(111)$ 기판에 증착된 AlN 박막의 capacitance-voltage (C-V) 특성 곡선으로 최대 capacitance 값으로부터 계산한 박막의 유전상수는 9.5였다. AlN bulk의 유전상수는 9.0~10.7로 알려져있다. 이와 같은 전기적 특성은 AlN 박막 및 AlN/Si 계면에 존재하는 불순물에 의해서 크게 영향을 받는다³⁾. 그림 5는 $\text{Si}(111)$ 기판에 증착된 AlN 박막의 AES 깊이분포이다. AES 깊이분포는 스퍼터링 시간의 함수로 Al LMM(68eV), N KLL(379eV), C KLL(272eV) 그리고 O KLL(503eV)의 Auger 피크를 분석하여 얻었다. 불순물 탄소 및 산소의 양은 Auger 피크와

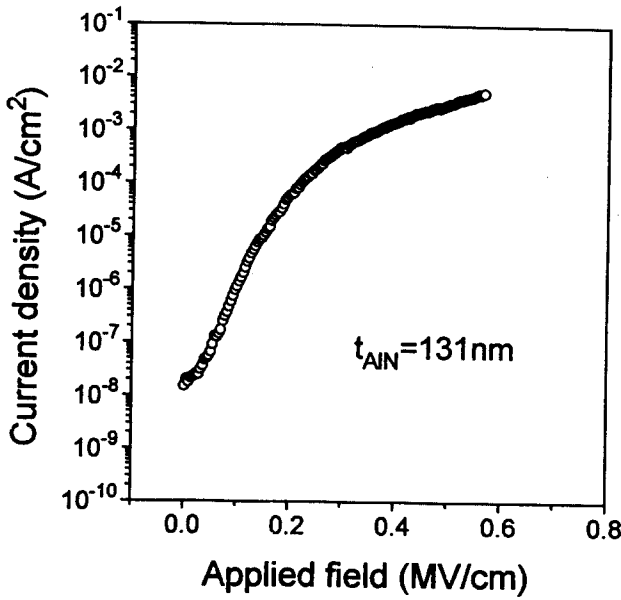


Fig. 3. Current density-applied field curve for the AlN film deposited at room temperature on p-type Si(111) substrate.

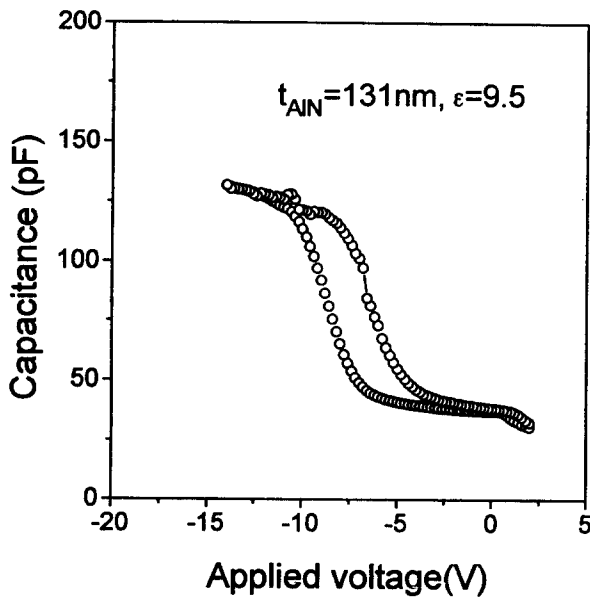


Fig. 4. Capacitance-voltage curve for the AlN film deposited at room temperature on p-type Si(111) substrate.

원소의 sensitivity factor($C=0.14$, $O=0.4$)를 이용하여 얻었다⁴⁾. AlN 박막 및 AlN/Si 계면에 존재하는 산소와 탄소의 양은 모두 1% 이하로 측정되었으며, 증착된 AlN 박막이 비교적 양호한 전기적 특성을 보인 것은 박막에 존재하는 이들 불순물의 양이 상당히 적었기 때문이라고 생각한다.

IDT/AlN/ α -Al₂O₃(0001) 구조의 SAW 특성

표면 탄성과 지연선 소자를 설계하는 방법에 여러 가지 모델이 있는데, 본 연구에서는 Smith *et al.*⁵⁾의 등가회로 모델을 선택하였다. 등가회로 모델에는 표면탄성과의 전파에 전기장의 수평 성분이 크게 영향을 미치는 in-line 모델

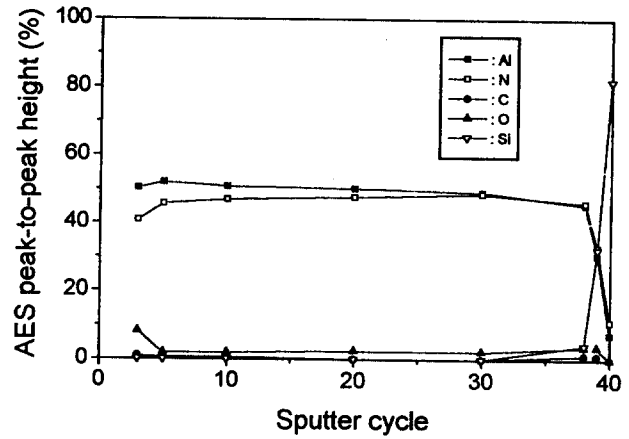


Fig. 5. AES depth profile for the AlN film deposited at room temperature on p-type Si(111) substrate.

과 전기장의 수직 성분이 크게 영향을 미치는 cross-field 모델이 있는데, 각 기판에 증착된 AlN 박막의 *c*-축이 기판 표면에 수직하므로 cross-field 모델을 이용하여 지연선 소자를 설계하였다. Cross-field 모델에서 IDT의 input admittance, $Y_3(\omega_0)$,는 IDT 전극 전체의 capacitance (C_T)가 표면 탄성과의 발생을 나타내는 radiation immittance와 병렬로 연결되어 있는 회로로 표현되며 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$Y_3(\omega_0) = G_a(\omega_0) + j\{\omega_0 C_T + B_s(\omega_0)\} \quad (1)$$

여기서 $G_a(\omega_0)$ 는 radiation conductance로 $(4/\Pi)k^2\omega_0 C_s N^2$ 로 표현되는데, k^2 는 전기기계 결합계수이고 ω_0 는 중심주파수이며 C_s 는 IDT의 static capacitance이고 N 는 IDT finger pair의 수이다. 그리고 $B_s(\omega_0)$ 는 radiation susceptance이다. 중심주파수 근처에서 $G_a(\omega)$ 와 $B_s(\omega)$ 의 주파수 의존성은 식 (2)와 (3)으로 표현된다.

$$G_a(\omega) = G_a(\omega_0) \times (\sin x/x)^2 \quad (2)$$

$$B_s(\omega) = G_a(\omega_0) \times (\sin 2x - 2x)/(2x^2) \quad (3)$$

단, $X = N\Pi(\omega - \omega_0)/\omega_0$ 이다.

최적의 지연선 소자를 설계하기 위하여 최대의 밴드폭과 최소의 삽입손실 그리고 triple transit suppression이 되도록 고려하여야 한다. 먼저 밴드폭을 최대로 하기 위해서는 $G_a(\omega)$ 를 전기적 신호원에 정합시키면서 $B_s(\omega)$ 를 최소로 하여 IDT를 효율적으로 작동시켜야 하는데, 이 때 IDT finger pair의 수는 식 (4)로 표현된다.

$$N^2 = \Pi/(4k^2) \quad (4)$$

삽입손실을 최소로 하기 위해 전기적 정합을 하면 IDT의 acoustic reflectivity에 의해 발생하는 triple transit 신호가 크게 나타나 패스밴드에 리플을 형성하게 된다. 따라서, 최대의 밴드폭을 얻는 조건을 보강하면서 triple tran-

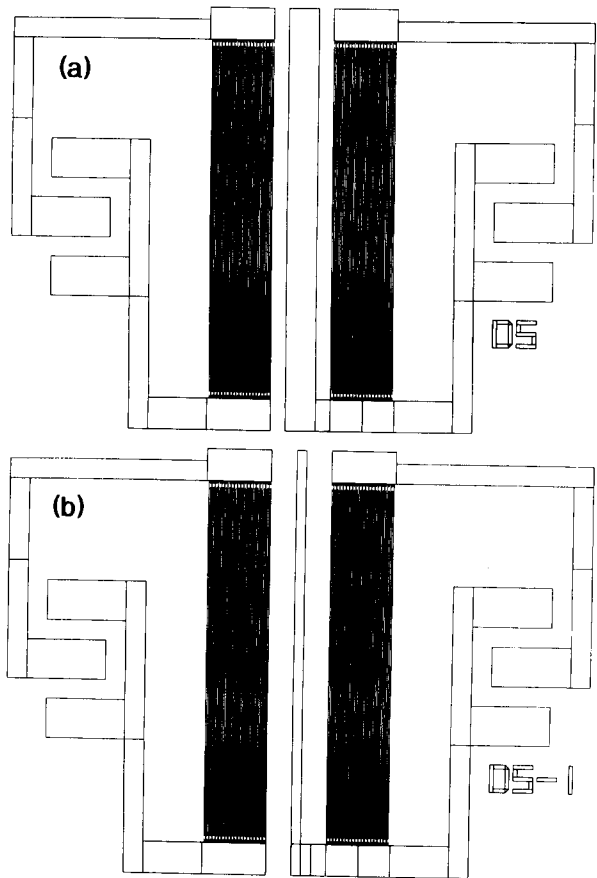


Fig. 6. Schematic diagram of the designed delay line with (a) metallized surface and (b) free surface between input IDT and output IDT.

sit suppression을 크게 하기 위하여 $R_a(w_0)$ 를 10Ω 으로 조절하였다. $R_a(w_0)$ 는 radiation resistance로 식 (5)로 표현된다.

$$R_a(w_0) = G_a(w_0) / \{G_a(w_0)^2 + (w_0 C_T)^2\} \quad (5)$$

이 때 지연선 소자의 aperture size (W)는 식 (6)로 표현된다.

$$W = 4k^2 / (\Pi R_a(w_0) w_0 C_0) \quad (6)$$

여기서 C_0 는 capacitance/IDT pair/unit length를 의미하며 단위는 pF/cm이고 식 (7)로 표현된다.

$$C_0 = \epsilon_0 (k^* + 1) \quad (7)$$

여기서 ϵ_0 는 0.08854pF/cm 이며, k^* 은 유전상수를 나타낸다.

그리고 전체 IDT 전극의 capacitance, C_T 는 식 (8)로 표현된다.

$$C_T = C_0 W N \quad (8)$$

본 실험에서 설계한 지연선 소자를 그림 6에 나타내었는데, 그림 6(a)는 입력 IDT와 출력 IDT 사이에 short surface를 보여주나 그림 6(b)는 입력 IDT와 출력 IDT 사이에 shield 전극만 있는 free surface를 보여준다. IDT/ $\text{AlN}/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ 구조에서 H/λ (H : AlN 박막 두께, λ : IDT wavelength)가 0.17일 때 AlN의 V_s 는 5500m/s , k^2 은 0.1%의 값을 갖는다⁷⁾. 0.1%의 k^2 값을 식 (4)에 대입하여 IDT finger pair의 수를 계산하면 31개이다. 그리고, AlN의 유전상수 9.81을 식 (7)에 대입하여 구한 C_0 는 0.96pF/cm 이다. IDT 주기가 $12.0\mu\text{m}$ ($W_0 = 458.3\text{MHz}$)인 지연선 소자에서 식 (6)을 이용하여 계산한 aperture size는 $456\mu\text{m}$ 이다. 식 (8)을 이용하여 계산한 IDT 전극의 전체 capacitance는 1.37pF/cm 이다. IDT 주기가 $8.0\mu\text{m}$ ($W_0 = 687.5\text{MHz}$)인 지연선 소자에서 식 (6)을 이용하여 계산한 aperture size는 $304\mu\text{m}$ 이다. 식 (8)을 이용하여 계산한 IDT 전극의 전체 capacitance는 0.91pF/cm 이다. IDT 주기가 $4.0\mu\text{m}$ ($W_0 = 1.375\text{GHz}$)인 지연선 소자에서 식 (6)을 이용하여 계산한 aperture size는 $152\mu\text{m}$ 이다. 식 (8)을 이용하여 계산한 IDT 전극의 전체 capacitance는 0.46pF/cm 이다.

위에서 구한 값들을 이용하여 IDT/ $\text{AlN}/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ 구조에서 IDT 주기가 $12.0\mu\text{m}$, $8.0\mu\text{m}$, $4.0\mu\text{m}$ 인 지연선 소자의 이론적인 radiation admittance 특성을 simulation하여 그림 7의 (a), (c), (e)에 나타내었다. 그리고, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ 기판에 $2.0\mu\text{m}$ 의 AlN 박막을 증착하여 실제 제작한 지연선 소자를 network analyzer를 이용하여 측정된 주파수 응답을 그림 7의 (b), (d), (f)에 나타내었다. $12.0\mu\text{m}$ 의 IDT 주기를 갖는 지연선 소자에서 측정된 중심주파수($=470\text{MHz}$)로부터 얻은 상 속도 (V_s)는 5640m/s 였다. 입력 IDT와 출력 IDT 사이에 형성된 free surface와 short surface를 진행하는 표면 탄성파의 상 지연 (phase delay) 차이를 이용하여 얻은 전기기계 결합계수(k^2)는 0.17%였다. 측정된 삽입손실($= -46.2\text{dB}$)로부터 얻은 지연선 소자의 전파손실은 $0.64\text{dB}/\lambda$ 였다. $8.0\mu\text{m}$ 의 IDT 주기를 갖는 지연선 소자에서 측정된 중심주파수($=700\text{MHz}$)로부터 얻은 V_s 는 5600m/s 였으며, 상 지연 차이를 이용하여 얻은 k^2 는 0.15%였으며, 삽입손실($= -43.6\text{dB}$)로부터 얻은 전파손실은 $0.59\text{dB}/\lambda$ 였다. $4.0\mu\text{m}$ 의 IDT 주기를 갖는 지연선 소자에서 측정된 중심주파수($=1.362\text{GHz}$)로부터 얻은 V_s 는 5448m/s 였으며, 상 지연 차이를 이용하여 얻은 k^2 는 0.13%였으며, 삽입손실($= -35.8\text{dB}$)로부터 얻은 전파손실은 $0.41\text{dB}/\lambda$ 였다. Tsubouchi *et. al*⁶⁾는 thermal CVD를 이용하여 1000°C 이상에서 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ 기판에 epitaxial 성장시킨 AlN 박막에 제작한 지연선 소자에서 V_s 는 $5560\text{--}5620\text{m/s}$ 의 값을 k^2 는 0.17–0.2%의 값을 그리고 전파손실은 2.5dB/cm 의 값을 보고하였다. 본 실험에서 제작한 지연선 소자로부터 측정된 상 속도는 위의 값과 큰 차이를 보이지 않았으나 전기기계 결합계수의 값은 다소 작게 나타났다. 이는 증착 중에 박막에 형성된 intrinsic strain 및 c -축 배향성 정

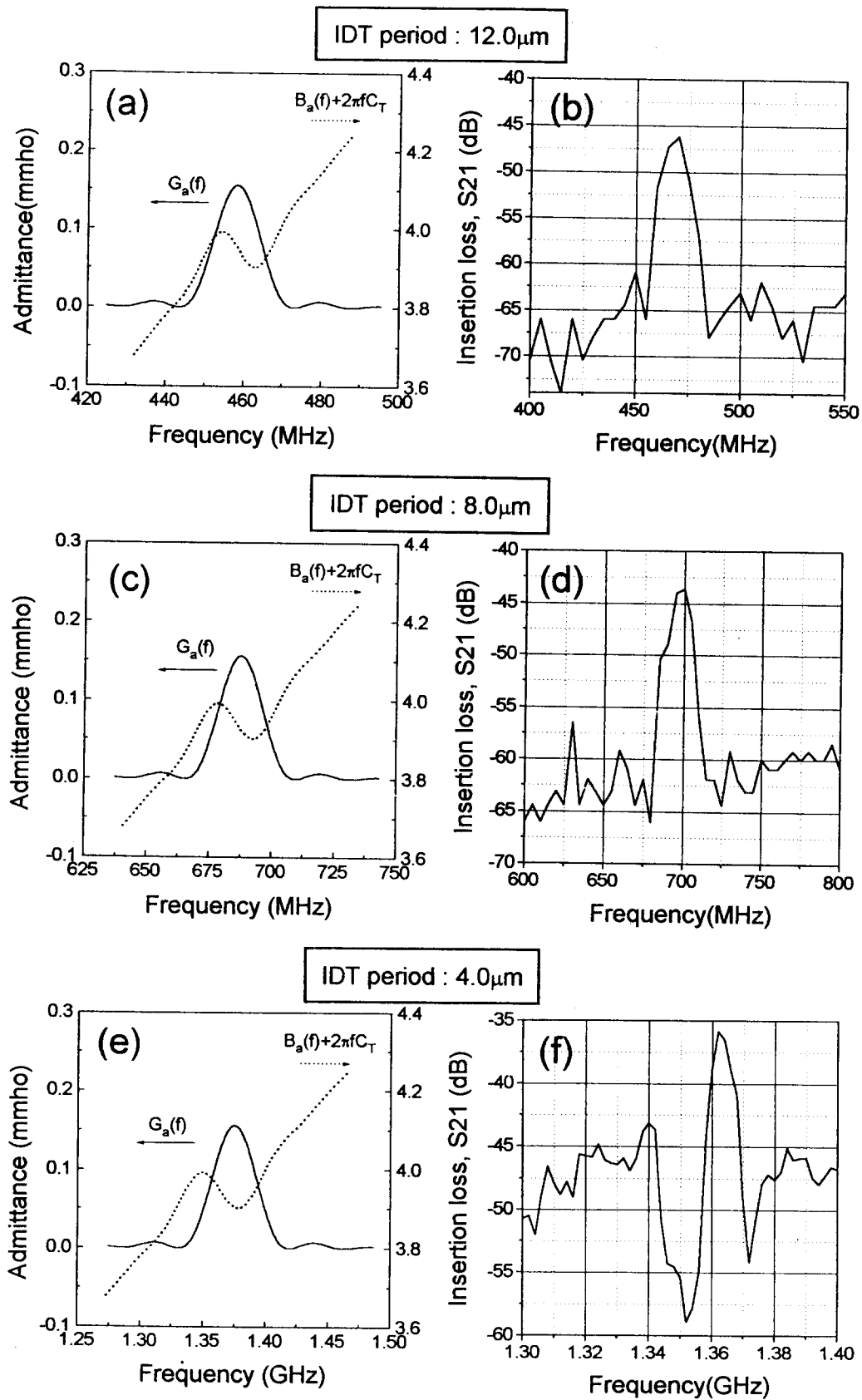


Fig. 7. (a), (c), (e) Radiation admittances near center frequency of the AlN film deposited on α -Al₂O₃(0001) substrate: (b), (d), (f) Frequency responses measured from the AlN film deposited on α -Al₂O₃(0001) substrate. The film thickness (H) is 2.0 μm and IDT input/output finger pairs are 31/31.

도에 차이가 있기 때문인 것으로 생각한다⁷⁾. 또한, 측정된 전파손실은 위의 값에 비해 two order 이상 큰 값을 나타

냈는데, 이는 증착된 박막이 columnar grain을 갖는 다결정으로 성장하였기 때문에 grain boundary에 의한 SAW의 scattering에 의한 손실이 크게 기여했을 것으로 생각한다. 또한, AlN 박막 표면의 거칠기 및 회절에 의한 손실도 기여했을 것으로 생각한다⁸⁾.

4. 결 론

반응성 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 상온에서 각 기판에 증착된 AlN 박막은 우수한 *c*-축 배향성을 나타내었으며, 특히 α -Al₂O₃(0001) 기판에서는 epitaxial 성장하였다. AES 분석 결과 AlN 박막에 존재하는 산소 및 탄소 불순물의 양이 1% 이하로 적었으며, 이로 인해 증착된 박막의 전기적 특성이 비교적 양호하게 나타났다. IDT/AlN/ α -Al₂O₃(0001) 구조를 갖는 지연선 소자의 표면 탄성과 특성을 측정된 결과 AlN 단결정의 물질상수 값을 사용하여 계산한 이론적인 값의 90% 정도를 나타냈는데 이는 실제 증착된 박막의 물성 특히, *c*-축 배향성 정도에 차이가 크기 때문이다.

감사의 글

본 연구는 삼성전기(주)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. R. F. Davis, Proceedings of the IEEE, **79**, 702 (1991)
2. T. Shiosaki and A. Kawabata, Ferroelectrics, **42**, 219 (1982)
3. J. J. Hantzpergue, Y. Pauleau, J. C. Remy, D. Roptin and M. Cailler, Thin Solid Films, **75**, 167 (1981)
4. L. A. Davis, N. C. MacDonald, P. W. Palmberg, G. E. Riach and R. E. Weber, *Handbook of Auger Electron Spectroscopy*, 2nd ed., Perkin Elmer, Eden Prairie, (1978)
5. W. R. Smith, H. M. Gerard, J. H. Collins, T. M. Reeder and H. J. Shaw, IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, **17**, 856 (1969)
6. K. Tsubouchi and N. Mikoshiba, Proceedings of 1983 IEEE Ultrasonics Symposium, 299 (1983) (1985)
7. H. Okano, N. Tanaka, Y. Takahashi, T. Tanaka, K. Shibata and S. Nakano, Appl. Phys. Lett., **64**, 166 (1994)
8. T. Shiosaki, K. Harada and A. Kawabata, Proceedings of 1981 Ultrasonics Symposium, 506 (1981)