

다양한 증착변수에 따른 AlN 박막의 물성 및 SAW 소자의 특성 분석

정준필*, 이명호, 아진복, 박진석
한양대학교 전자전기제어계측공학과

Effects of deposition conditions on properties of AlN thin films and characterization of AlN SAW devices

Jun-Phil JUNG, Myung-Ho LEE, Jin-Bock LEE, Jin-Seok, PARK
Dept. of Electronic, Electrical, Control, and Instrumentation Engineering, Hanyang University

Abstract - AlN thin films were deposited on Si(100) and SiO₂/Si substrates using R.F. magnetron sputtering system. The effect of various deposition conditions on the crystal orientation of AlN films was investigated to obtain a highly (002)-oriented films. SAW filters were fabricated using AlN films with various thicknesses and their frequency response characterizations were measured. Experimental results showed that the (002)-orientation and surface roughness of AlN films played a crucial role of determining the frequency response of AlN SAW devices.

및 SiO₂/Si 기판을 사용하였으며, 증착시 RF 전 력은 150W~450W, 기판온도는 상온~550°C, N₂/Ar의 유량비는 5/25~25/5(sccm/sccm)로 변화시켜 증착하였다.

증착된 AlN 박막은 XRD(x-ray diffraction)를 이용하여 박막의 (002) 우선 배향성을 관찰하였고, XRD 결과로부터 TC(texture coefficient, $I_{(002)}/\sum I_{(hkl)}$)값과 결정립 크기(crystallite size, $0.9\lambda/[FWHM_{rad} \times \cos\theta]$)를 산출하여 구조적 물성의 차이를 정량적으로 비교, 분석하였으며 SEM(scanning electron microscopy)과 AFM(atomic force microscope)을 이용하여 박막의 표면형상 및 표면 거칠기 등을 증착 조건에 따라 분석하였다.

SAW 필터의 제작을 위해 증착된 AlN 박막 위에 DC 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 Al 금속막의 IDT(interdigital transducer)를 제작하였다. 한편 SAW 필터의 IDT전극은 lift-off 공정을 이용하여 선폭이 $2\mu\text{m}(\lambda/4)$ 가 되도록 하였다. 또한, SAW 필터에 사용된 AlN 박막의 두께(h)를 변화시켜, Si(100) 기판을 사용한 경우에는 $h/\lambda = 0.248$ 로 고정시키고, SiO₂/Si 기판의 경우에는 $h/\lambda = 0.073, 0.248, 0.572$ 가 되도록 하여 AlN 박막의 두께 변화에 따른 소자 특성을 비교하였다. 제작된 SAW 필터는 network analyzer(HP 8720C)를 이용하여 주파수 응답 특성을 측정하였다.

1. 서론

최근 통신 시스템의 발전에 따라 고주파 통신용 소자의 개발이 활발히 진행되고 있다. SAW(surface acoustic wave)필터는 LC 필터, 유전체 필터등에 비해 회로의 간략화 및 무조정화가 가능한 장점을 가지고 있기 때문에 고주파 통신용 소자로서 활발한 연구 개발이 진행중이다.^[1] 그러나, 기존의 단결정 압전기판으로서의 고주파 응용에 한계가 있기 때문에 높은 SAW 속도를 갖는 새로운 기판재료의 개발에 대한 필요성이 증가하고 있다. 이와 관련하여 최근에 AlN 및 ZnO를 이용한 다층막 고주파의 SAW 필터 제작에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다.^[2,3]

이러한 박막형 SAW 소자의 성능 향상을 위해서는 우수한 물성을 갖는 압전 박막의 물성확보가 중요한 바, 압전 박막은 그 배향이 (002) 수직 배향으로 성장시 가장 우수한 압전 특성을 나타내며, 박막의 거친 표면이 단성파를 산란시키기 때문에 배향특성 및 표면 거칠기의 제어가 중요한 요소이다. AlN 박막은 ZnO 박막에 비해 SAW 속도가 크고 온도 안정성이 우수하며 고주파 대역에서 전파손실이 작은 장점으로 인해 GHz 대역용 SAW 필터로의 응용에 주목을 받고 있지만,^[4] ZnO 박막에 비해 우수한 배향성을 갖는 박막의 제조가 어려운 단점으로 인하여 AlN 박막을 이용한 SAW 필터의 응용에 대한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 AlN 박막의 증착시, RF 전력, N₂/Ar 유량비, 기판 온도 등의 증착변수를 변화시켜 증착조건에 따른 AlN 박막의 물성변화를 분석하였다. 또한, SAW 필터 제작시, AlN 박막의 두께(h/λ)의 변화 및 기판의 변화가 AlN 박막의 물성에 미치는 영향을 분석하여 SAW 소자의 특성과의 상관관계를 분석하고자 하였다.

2. 본론

2.1 실험방법

AlN 박막은 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 증착하였으며, 99.999%의 Al 타겟에 Ar과 N₂를 주입시켜 증착하는 반응성 스퍼터링법을 사용하였다. 기판은 Si(100)

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 AlN 박막의 물성분석

그림 1은 RF 전력에 따른 AlN 박막의 XRD 측정으로부터 관찰된 배향특성을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 150W의 낮은 전력에서는 (002) 배향외에 (100) 배향의 피크가 존재했으나, RF 전력이 증가함에 따라서 (002) 배향의 피크가 증가하고 (100) 피크가 거의 사라지는 것을 관찰할 수 있었으며, 각각에 대하여 산출된 (002)-TC 값의 변화를 통하여 이러한 경향을 정량적으로 확인할 수 있었다. AlN 박막의 경우 (002) 방향의 성장을 형성하는 Al-N 결합구조가 다른 면의 성장을 유도하는 Al-N 결합구조에 비해 결합에너지가 작아서 증착시 이 결합이 유지되지 위해서는 큰 에너지가 필요하다. 이에 결정성장에 중요한 영향을 미치는 것은 증착시 기판에 도달하는 입자의 에너지이며, RF 전력이 증가할수록 입자의 에너지가 증가하므로 (002) 배향특성이 향상된다고 사료된다. 이는 AlN 박막의 경우 다른 방향으로의 성장을 위한 에너지에 비해서 (002) 방향으로 성장하기 위해 더 높은 에너지를 필요로 한다는 기존의 연구와 일치하는 결과이다.^[5]

그림 2(a) 와 (b)는 RF 전력이 150W와 350W에서 증착된 AlN 박막의 SEM 표면형상을 나타낸 것이다. 일반적으로 박막 증착시 에너지 입자의 충돌이 그 박막의 밀도와 입자의 크기를 결정하며, 증착되는 입자의 에너지가 클수록 결정립의 크기가 커진다고 보고 된 바 있다.^[6] 본 연구에서도 그림 2와 XRD 측정으로부터 산출되는 결정립의 크기는 150W에서 증착된 AlN 박막의 경우 300Å, 350W에서 증

착된 경우는 400Å~450Å으로 RF 전력의 크기 즉, 입자의 에너지가 증가할수록 결정립의 크기가 증가한 것을 관찰할 수 있었다. 결정립 크기의 증가는 결정성의 향상을 의미하며, RF 전력이 증가함에 따라서 (002) 배향특성뿐만 아니라 결정성도 향상됨을 알 수 있었다.

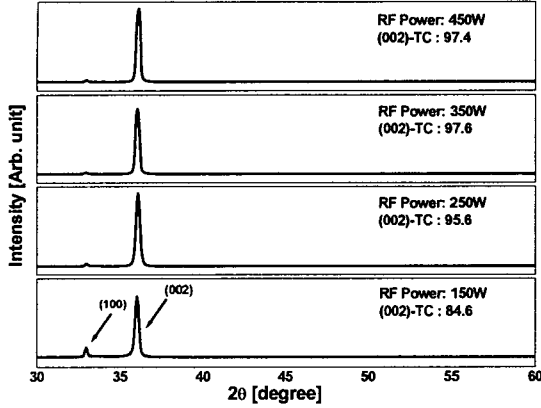


그림 1. RF 전력의 변화에 따른 AlN 박막의 XRD 패턴 ($T_{sub}=250^{\circ}C$, $N_2/Ar=10/20$)

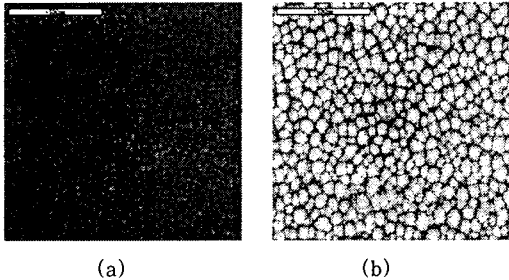


그림 2. RF 전력이 (a) 150W (b) 350W일 때의 AlN 박막의 SEM 표면형상 ($T_{sub}=250^{\circ}C$, $N_2/Ar=10/20$)

그림 3은 N_2/Ar 유량비의 변화에 따른 AlN 박막의 XRD 측정으로부터 관찰된 배향특성을 나타낸 것이다. 혼합 가스 내에 N_2 혹은 Ar 중 어느 한 쪽이 과다하게 포함되는 경우 (즉, 25/5 혹은 5/25) (002) 배향특성이 상대적으로 저하된 결과가 나타났다. N_2 의 유량에 비해서 Ar이 과다하게 첨가된 경우, Ar에 의해 스퍼터링 되는 Al의 양이 증가하고, 과잉이 된 Al이 N_2 와 결합하지 못한 채 박막 내에 존재하게 되어 AlN 박막의 (002) 방향의 성장을 방해한 것이라 판단된다.⁽⁷⁾ 반면 Ar의 유량에 비해서 N_2 가 과다하게 첨가된 경우는 스퍼터링된 Al의 운동에너지의 손실을 가져와 조밀한 AlN 박막의 형성이 어려워져 (002) 배향특성이 저하된다고 사료된다.⁽⁸⁾

그림 4(a)와 (b)는 N_2/Ar 유량비가 5/25와 25/5일 경우의 AlN 박막의 SEM 표면형상을 보여 주고 있다. N_2 의 유량에 따라 표면형상이 상이함을 볼 수 있는데, 그림 4(a)와 같이 N_2/Ar 유량비가 5/25일 경우는 N_2 와 결합하지 못한 Al이 박막내에 다수 존재하여 다른 조건에서 증착한 AlN 박막과 상이한 삼각지붕 형태의 표면 형상을 나타냈다.⁽⁹⁾ 반면, 그림 4(b)와 같이 N_2/Ar 유량비가 25/5의 경우는 일정한 크기의 grain이 성장했다는 것을 확인할 수 있다. 그러나, N_2 의 과도한 첨가로 인해 그림 2(b)에 비해 grain의 크기가 작고, 조밀하지 못한 표면형상을 나타내고 있다.

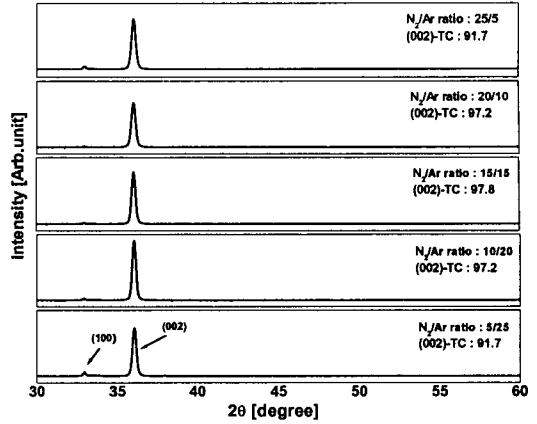


그림 3. N_2/Ar 유량비의 변화에 따른 AlN 박막의 XRD 패턴 ($T_{sub}=250^{\circ}C$, RF power=350W)

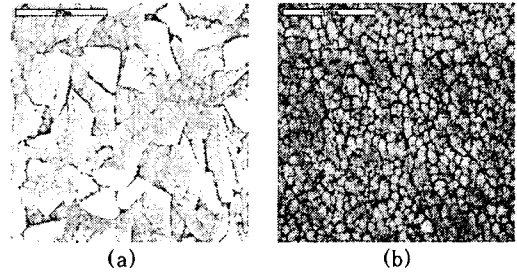


그림 4. N_2/Ar 유량비가 (a) 5/25 (b) 25/5 일 때의 AlN 박막의 SEM 표면형상 ($T_{sub}=250^{\circ}C$, RF power=350W)

그림 5는 기판 온도를 상온에서 $550^{\circ}C$ 범위내에서 각각 달리하여 증착한 AlN 박막의 XRD 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 기판온도가 증가함에 따라서 배향특성이 향상되었으나, $350^{\circ}C$ 이상이 되면 다시 배향특성이 저하되는 것을 관찰할 수 있었다. 기판 온도가 낮은 경우에는 AlN 박막의 증착시 스퍼터링되어 기판에 도달하는 기상 입자들이 기판의 표면 위에서 (002) 방향으로 성장할 수 있는 충분한 이동도를 갖지 못하기 때문이다. 또한, 기판온도가 $350^{\circ}C$ 이상으로 증가된 경우에는 스퍼터링된 Al이 큰 이동도를 가지게 되어 N_2 와 결합하지 못한 채 박막내에 존재하기 때문에 (002) 배향성이 저하되었다고 사료되고,⁽¹⁰⁾ 챔버내의 온도가 증가하면서 챔버 벽내에 존재하는 산소의 유입으로 인해 (002) 배향성이 저하되었다고 판단된다.⁽¹¹⁾

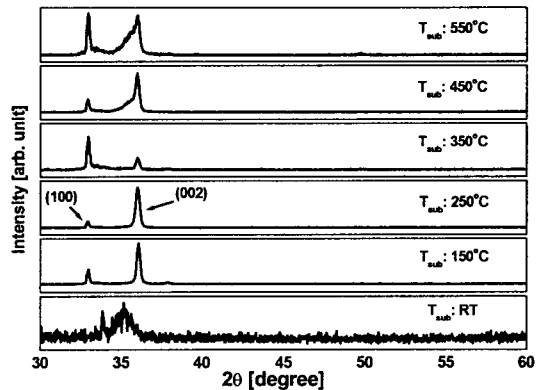


그림 5. 기판온도의 변화에 따른 AlN 박막의 XRD 패턴

상기 결과로부터 SAW 필터의 제작을 위한 우수한 배향특성을 갖는 AlN 박막의 물성을 확보한 바, 이후의 SAW 필터의 제작을 위한 AlN 박막의 증착은 RF 전력은 350W, N₂/Ar 유량비는 10/20, 기판 온도는 250°C에서 수행하였다.

2.2.2 SAW 필터의 특성 분석

SAW 필터의 제작시, SiO₂/Si 기판 위에 AlN 박막의 두께(h)를 변화시키기 위해 증착시간을 1, 3, 7시간으로 변화시켜 SAW 필터의 특성에 대한 AlN 박막 두께의 영향을 분석하였고, 기판의 변화에 대한 영향을 알아보기 위해 Si(100)위에 AlN 박막을 3시간 증착하여 각각에 대한 SAW 소자의 특성을 비교하였다.

그림 6은 SiO₂/Si를 기판으로 하며 h/λ가 0.073, 0.248, 0.572인 SAW 필터의 주파수 응답 특성(그림 6(a)~(c)) 및 Si(100)위에 h/λ를 0.248(그림 4(d))로 고정하여 제작한 SAW 필터의 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. 표 1은 SiO₂/Si 및 Si(100) 기판 위에 두께(h/λ)를 변화시켜 증착한 AlN 박막의 주요 물성과 SAW 특성을 나타낸 것이다.

그림 6과 표 1에 제시된 바와 같이 SiO₂/Si를 기판으로 사용한 경우, h/λ = 0.248일때 삽입손실 32dB, 저지대역폭 24dB를 갖는 가장 우수한 특성을 가진 SAW 필터의 특성을 나타내었다. 또한, 그림 6(d)의 Si(100)을 기판으로 사용한 경우에는 SiO₂/Si를 기판으로 사용한 경우에 비해서 SAW 특성이 저하되는 것을 관찰할 수 있었다. SiO₂/Si를 기판으로 사용한 경우 박막의 두께(h/λ)가 증가함에 따라 배향특성 및 결정성이 향상되는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 두께 증가에 따른 배향특성과 결정성의 향상 및 기판 영향의 감소로 인하여 SAW 필터의 특성이 향상되는 것으로 보고되고 있으나,^[12-13] 본 연구에서는 그림 6(a)~(c)에 나타난 바와 같이 h/λ가 0.572인 경우에는 SAW 필터의 특성이 저하되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 h/λ가 0.572인 경우, 두께 증가에 따른 결정립 크기의 증가가 박막의 표면 거칠기를 10배 이상 증가시켜 SAW 필터의 제작시 IDT 금속 전극과의 계면특성 및 SAW의 전달 손실에 악영향을 미친 것으로 판단된다.

SiO₂/Si 기판과 Si(100) 기판 위에 AlN 박막의 두께(h/λ=0.248)를 같게 증착했을때 SiO₂/Si 기판일 경우, Si(100)을 기판으로 사용할 때에 비해 배향특성과 표면 거칠기가 향상되었다. 이는 Si(100) 기판을 사용한 경우, 기판과 AlN 박막의 격자상수와 열팽창계수의 차이가 박막의 증착시 기판과의 격자부정합을 증가시켜 SiO₂/Si 기판에 비해 배향특성이 저하 되는 것이라고 사료된다. SAW 주파수 응답 특성에서 SiO₂/Si 기판의 경우 Si(100) 기판에 비해 삽입손실과 저지대역폭이 우수하게 나타나고 있으며, 기저대역이 더 낮게 나타나고 있다. 이는 위에 상기한 바와 같이 AlN 박막의 배향성과 표면 거칠기가 SAW 필터의 삽입손실과 저지대역폭에 영향을 준다고 사료되고, SiO₂/Si의 기판 위에 증착된 AlN 박막이 Si(100)을 기판으로 사용한 박막에 비해 Si의 영향을 더 작게 받기 때문에 기저대역이 낮게 나타나는 것이라 판단된다.

표 1. 두께와 기판 변화에 따른 AlN 박막의 물성 및 SAW 특성

기판	SiO ₂ /Si			Si(100)
h/λ	0.073	0.248	0.572	0.248
삽입손실 [dB]	43	32	38	37
저지대역폭 [dB]	19	24	21	12
(002) TC [%]	95.4	98.1	98.8	94.5
결정립 크기 [Å]	321	399	411	403
표면 거칠기 [nm]	2.5	4.7	55.6	5.9

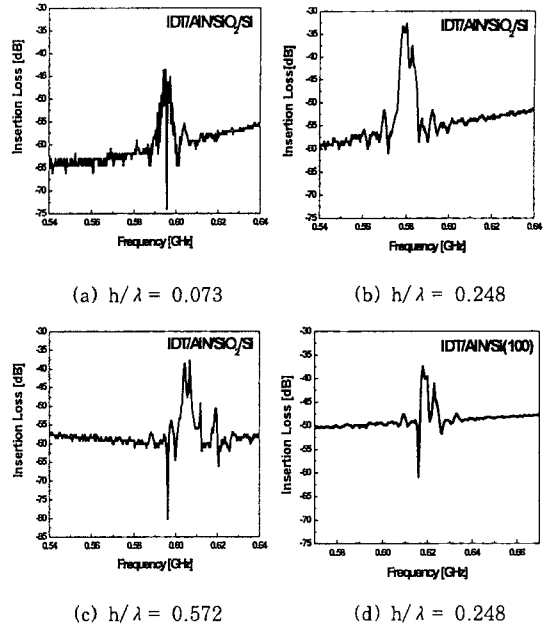


그림 6. AlN 박막의 두께((a)~(c))와 기판((d))에 따른 SAW 필터의 주파수 응답 특성

3. 결론

본 연구에서는 우수한 (002) 배향성을 가지는 AlN 박막을 증착하기 위한 최적 조건을 도출해 내었고, 이 최적조건으로 증착된 AlN 박막을 이용하여 기판과 두께를 변화시키면서 SAW 필터를 제작하였다. 기판의 변화에 대한 AlN 박막의 (002) 배향특성은 Si(100) 기판에 비해 SiO₂/Si 기판의 경우 더 우수하게 나타났고, 이는 기판의 물성이 AlN 박막의 배향성에 영향을 주며, SAW 필터의 주파수 응답 특성에 큰 영향을 끼친다는 것을 확인하였다. 또한, 두께가 증가할수록 AlN 박막의 (002) 배향성은 증가하였지만, 표면 거칠기는 저하되었으며 두께에 따른 AlN SAW 필터의 주파수 응답 특성은 상기한 바와 같이 압전 박막의 배향성 및 표면 거칠기등에 크게 의존하는 경향이 나타났다.

[참고문헌]

- [1] Y. Kobayashi, et al., Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 34, pp.2668-2673, 1995.
- [2] K. Yamanouchi, N. Sakurai, et al., IEEE Ultrasonics Symp., pp. 351-354, 1989.
- [3] M. B. Assouar, O. Elmazria, L. Le Brizoual, P. Alnot, Diamond Relat. Mater., 2002.
- [4] D. Liufu, K.C. Kao, J. Vac. Sci. Technol., A16 2360, 1998.
- [5] Xiao-Hong, et al., Thin solid films. Vol. 388, pp. 62-67, 2001.
- [6] J. K. KIM, S. H. JEONG, J. Korea Physical Society, Vol. 38, pp. 19-24, 2001.
- [7] S. Uchiyama, Y. Ishigami, M. Ohta, M. Niigaki, H. Kan, Y. Nakanish, T. Yamaguchi, J. Crystal Growth, Vol. 189-190, pp. 448-451, 1998.
- [8] J. H. LEE, et al., Surf. Coat. Tech., Vol. 133-134, pp. 220-226, 2005.
- [9] R. Rodriguez - Clemente, et al., J. Crystal Growth, Vol. 133, pp. 59-70, 1993.
- [10] R. S. Naik, et al., J. Electrochem. Soc., Vol. 146, pp. 691-696, 1999.
- [11] W. Y. Chiu, et al., J. Vac. Sci. Tech. A20(3), 2002.
- [12] H. M. Liaw, IEEE Ultrasonic Symp., pp. 375-377, 1994.
- [13] H. M. Liaw, IEEE Ultrasonic Symp., pp. 543-546, 1995.