

# RF 스퍼터링을 이용한 AlN 박막의 증착특성에 관한 연구

이 민 건, 장 동 훈, \*강 성 준, 윤 영 섭  
인하대학교 전자공학과, \*여수대학교 반도체·응용물리학과  
전화 : 032-873-1345 / 핸드폰 : 016-533-3491

## A study on the Deposition Characteristics of AlN Thin Films by using RF Sputtering

Min-Gun Lee, Dong-Hoon Chang, Seong-Jun Kang, Yung-Sub Yoon  
Dept. of Electronics Engineering, Inha University  
E-mail : andycoco@hanmail.net

### Abstract

This study shows the change of the structural characteristic of AlN thin film deposition with the change of the deposition conditions such as Ar/N<sub>2</sub> gas ratio, operating pressure in chamber, and the distance between substrate and target in RF Magnetron Sputtering. The orientation and surface roughness of AlN thin film are studied by using XRD and AFM and the thickness is measured by using STYLUS PROFILER. While we can not identify the orientation of the thin film deposited in Ar only, we can obtain the (100) orientation of the thin film with the addition of N<sub>2</sub> to Ar. Especially the thin film deposited at 10% of Ar/N<sub>2</sub> gas ratio appears to be the most (100) oriented. The (100) orientation of thin film becomes weaker as the operating pressure becomes higher. The further distance between substrate and target is stronger the (100) orientation of the thin film is. The (100) orientation becomes weaker and (002) orientation starts to appear as the distance is shorter.

### I. 서론

AlN 박막은 Wurtzite 육사고냥(hexagonal) 형태의 기본 구조를 가지고 있고 빠른 음향속도와 압전특성<sup>[1]</sup>을 가지고 있기 때문에, 초음속, 압전성, 열적 안정성을 지닌 GHz-band 급 필터소자의 압전체로서 최근 많은 주목을 받고 있다.<sup>[2]</sup>

AlN 박막의 제조방법으로는 반응성 스퍼터링법(reactive sputtering)<sup>[3]</sup>, 화학기상증착법(chemical vapour deposition : CVD)<sup>[4]</sup>이 있으나, CVD 법은 스퍼터링법 보다 증착속

도가 빠르지만 결정성장 온도가 고온이고 증착된 박막의 표면상태가 거칠어 필터 소자의 응용시 문제점이 있다. 이에 반하여 스퍼터링법은 증착속도가 느리지만 우수한 표면상태를 가진 박막과 전기 및 광학적 특성이 우수한 박막제조가 가능하다.<sup>[5]</sup>

AlN 박막이 필터 소자에 응용되기 위해서는 박막의 우선배향성이 매우 신중히 조절되어야 한다. AlN 박막의 우선배향성의 차이는 압전결합계수의 차이로 이어져 그 효율성이 달라진다. (100) 과 (002) 배향성은 일반적으로 알려진 AlN 박막의 우선배향성 이고, 그 배향성은 증착되는 상태에 따라 결정되어진다.<sup>[6]</sup> 일반적으로, 스퍼터링 같은 PVD 방법으로는 (002) 방향으로 배향된 AlN 박막을 쉽게 증착할 수 있다. 그 이유는 (002) 배향성의 경우, Al 과 N 원자가 기판에 증착될 때, 원자단위로 바로 증착되면 가능하기 때문이다. 하지만 AlN 박막이 필터 소자로 응용되기 위해서는 (100) 방향으로 배향된 박막이 필요하다. 이는 (100) 배향성을 지닌 박막이 전기적 에너지를 표면탄성과 에너지로 전환하는 능력을 나타내는 전기기계결합계수(electromechanical coupling coefficient)가 (002) 배향성을 지닌 박막의 전기기계결합계수보다 더 크기 때문이다.<sup>[6]</sup> 하지만 sputtering 같은 PVD 방법으로 (100) 배향성을 가진 박막을 증착하는 것은 어려운 일이다. 박막이 (100) 배향성을 가지기 위해서는, Al 과 N 원자가 기판에 증착될 때, 서로 충돌하여 Al-N 의 dimer 상태로 증착되어야 한다. 그러기 위해서는 챔버내에서 Al 과 N 원자가 서로 충분히 dimer로 형성되도록 낮은 에너지 상태인 조건을 만들어 주어야 한다.<sup>[7]</sup> 하지만 이런 조건에서는 챔버내 입자들의 에너지가 무척 작기 때문에 증착율이 현저히 떨어져서 증착 자체가 어려워진다. 그럼에도 불구하고 스퍼터링을 이용해서 (100) 배향성의 AlN 박막을 제조하는 것은 우수한 표면상태를 지닌 양질의 박막제조가 가능하기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용해서 (100) 방향으로 배향된 평탄한 표면을 갖는 고품질의 AlN 박막제조를 위한 증착조건을 조사하고자 하였다. 가스비, 기판과 타겟 사이의 거리 그리고 진공도를 변화시켜 AlN 박막을 제작하고 XRD, AFM 등을 통하여 박막의 (100) 배향성과 결정성 등을 연구, 분석하였다.

## II. 실험방법

본 실험에서는 넓은 증착 면적과 우수한 배향성을 가진 양질의 막과 투명하고 치밀한 막을 얻을 수 있는 반응성 RF Magnetron Sputtering 법으로 증착하였다. 기판은 Si(100)로 초음파 세척기를 이용하여 아세톤(15분)/알코올(15분)/중류수(10분)/중류수(15분) 동안 세척하고 질소를 이용해 송풍건조한 후 100°C 오븐에서 30분동안 건조하여 사용하였다. AlN 박막은 2 inch AlN 타겟(순도 : 99.999%)을 이용하여 RF전력 150W, 기판온도 500°C 에서 Ar/N<sub>2</sub> 혼합가스비, 챔버내의 진공도, 기판과 타겟사이의 거리를 변화시켜 증착하였다. 증착조건은 표1 과 같다.

표. 1. AlN 박막 증착 조건

Deposition parameter	conditions
RF power	150W
Substrate temperature	500°C
Distance of target-substrate	80 ~ 120mm
Ar/O <sub>2</sub> gas ratio	20/0 ~ 12/8(sccm)
Working pressure	5 ~ 50mTorr
Background pressure	3×10 <sup>-6</sup> Torr

## III. 결과 및 논의

그림 1은 질소분압비에 따른 AlN의 결정 구조를 규명하기 위하여 RF Power 150W, Substrate Temp. 500°C, Operating Pressure 20mTorr, 기판과 타겟 사이의 거리 100mm 조건에서 3600s 동안 증착된 AlN 박막의 X-ray 회절선을 측정된 결과이다.

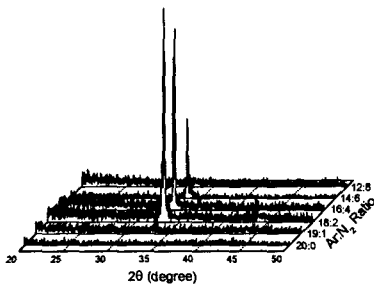


그림 1. Ar/N<sub>2</sub> 가스비에 따른 AlN 박막의 XRD

질소를 전혀 넣지 않은 경우에는 어떠한 회절 피크도 관찰되지 않았다. 5%의 질소분압비의 경우에도 질소를 전혀 넣지 않은 경우처럼 회절 피크가 관찰되지 않았다. 적은 질소농도에서는 질소 가스량이 충분히 크지 않아서 Al 원자를 nitride 하지 못하는 것 같다. 하지만 질소분압비가 10%를 넘어서면서 AlN 박막의 회절 피크를 관찰할 수 있었다. 피크는 33.3°부근에서 나타났고 박막의 배향성은 (100)이었다. 질소분압비가 더욱 커지면서 회절 피크는 점점 그 크기가 작아졌다. 본 연구에서는 질소분압비가 10%일 때 가장 우수한 결정성을 가짐을 실험을 통해 알 수 있었다. 기존에 발표된 AlN 박막의 (100) 배향성에 관한 논문들을 보면 대부분 20%의 질소분압비에서 결정성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 그것은 타겟의 성분 차이로 나타나는 결과로 여겨진다. 대부분 Al 타겟의 경우 20%의 질소분압비에서 Al의 nitride화가 가장 잘 이루어졌지만 본 연구에서는 AlN 타겟을 사용함으로써 10%의 질소분압비에서 가장 큰 회절 피크가 나오게 되는 것 같다. Ar/N<sub>2</sub>의 비에 따라 배향성이 변하는 이유는 타겟 화합물의 구성원소에 따른 스퍼터 효율의 차이에 기인한 박막의 화학양론 변화와 입자 배향성 변화에 따른 결정성 변화가 일어나기 때문으로 여겨진다.

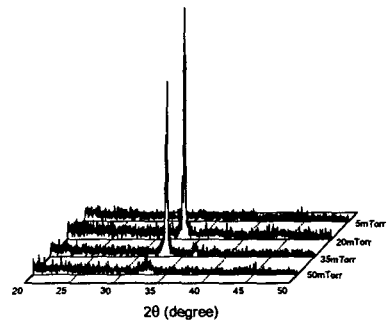


그림 2. 진공도에 따른 AlN 박막의 XRD

그림 2는 RF Power 150W, Substrate Temp. 500°C, Ar/N<sub>2</sub> Gas Ratio 18/2(10%), 기판과 타겟 사이의 거리 100mm 조건에서 Operating Pressure를 변화시키면서 증착한 AlN 박막의 X-ray 회절선을 측정된 결과이다. 5mTorr 고진공에서 증착한 AlN 박막에서는 회절 피크를 관찰할 수 없었다. 20mTorr에서 비로소 나타난 회절 피크는 35mTorr를 거쳐 50mTorr에 이르기까지 점차 감소되는 것을 알 수 있었다. 관찰된 모든 회절 피크는 33.3° 부근에서 나타났고 배향성은 (100)이었다. AlN 박막이 (100) 방향으로 배향성을 갖기 위해서는 기판위에 Al-N dimer를 형성하는 한정된 조건이 필요하다. 단위성장인 Al-N 과 같은 dimer가 아니고 Ar, N 과 같은 원자인 경우 박막의 배향성은 (002)로 형성된다고 알려져 있다. 단위성장인 Al-N 과 같은 dimer일 때, Al-N이 받는 부분 압력이 작은 경우에는 dimer가 분리되지 않고 (100) 배향성이 강화된다. 그러나 Al-N의 부분압력이 높은 경우에는 dimer가 분리되어 (100) 배향성이 약해진다. 그림 2에

서 20mTorr일 때는 Al-N dimer가 분리되지 않고 유지되어 가장 큰 회절 피크를 관찰할 수 있었다. 하지만 50mTorr로 압력이 커질수록 회절 피크가 약해지는데, 그것은 압력에 따른 Al-N dimer의 분리에 의한 가능성으로 짐작할 수 있다.

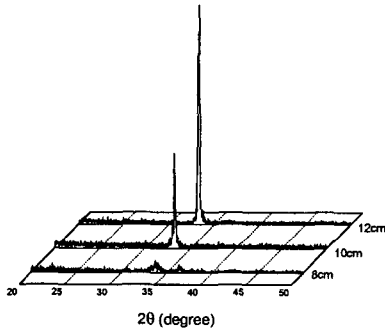


그림 3. 기판-타겟 사이의 거리 따른 AlN 박막의 XRD

그림 3은 RF Power 150W, Substrate Temp. 500°C, Ar/N<sub>2</sub> Gas Ratio 18/2(10%), Operating Pressure 20mTorr 조건에서 기판과 타겟 사이의 거리를 변화시키면서 증착한 AlN 박막의 X-ray 회절선을 측정 한 결과이다. 기판과 타겟 사이의 거리를 120mm로 했을 때, 가장 큰 회절 피크를 관찰할 수 있었고, 거리가 줄어들수록 피크는 약해지고 80mm 거리에서는 (002) 방향의 회절 피크가 나타났다. 본 실험을 통해서 기판과 타겟 사이의 거리가 줄어들수록 (100) 배향성은 약해지고 (002) 방향의 배향성이 나타난다는 것을 알 수 있었다. 챔버내 증착과정 중, Al과 N 원자의 평균자유경로(mean free path)가 기판과 타겟 사이의 거리보다 더 길 때는 Al과 N 원자는 기판에 직접 증착되고, (002) 방향으로 배향된 박막이 성장된다. 그러나 Al과 N 원자의 평균자유경로(mean free path)가 기판과 타겟 사이의 거리보다 더 짧을 때는 기판과 타겟 사이의 공간에서 에너지를 잃은 Al과 N원자의 충돌에 의해 Al-N dimer가 형성되고 dimer인 채로 기판에 증착된다. 이런 경우 박막의 배향성은 (100)이다.

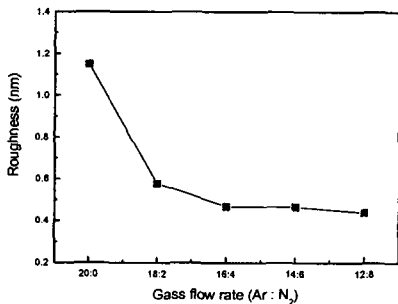
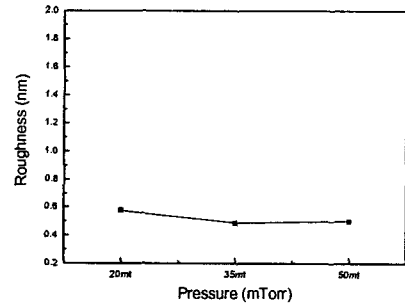
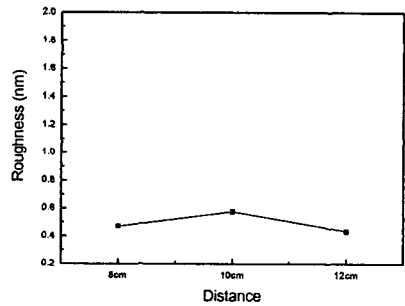


그림 4. Ar/N<sub>2</sub> 가스비에 따른 AlN 박막의 표면거칠기

그림 4는 RF Power 150W, Substrate Temp. 500°C, Operating Pressure 20mTorr 및 기판과 타겟 사이의 거리 100mm 조건에서 질소분압비에 따른 AlN 박막의 표면형상 및 표면 거칠기 변화를 AFM 분석한 결과이다. 박막의 표면 거칠기가 높으면 SAW 및 필터 응용시 신호 왜곡 및 탄성파의 산란으로 인한 필터의 삽입손실을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 순수 아르곤만으로 증착한 박막의 표면 거칠기는 11Å 으로 비교적 다른 질소분압비 보다는 거친 표면형상을 보였다. 하지만 질소의 유입이 늘어나면서 표면 거칠기는 향상되어 약 4~6Å 정도로 매우 매끈한 표면형상이 이루어짐을 알 수 있었다. 질소가 유입됨에 따라 표면 거칠기가 좋아진 이유는 그만큼 증착되는 박막의 표면에서 재스퍼터링(re-sputtering) 현상이 나타나기 때문인 것 같다. 또한 이러한 재스퍼터링으로 인하여 박막의 두께가 감소 될 것이다.



(a)



(b)

그림 5.

- (a) 진공도 따른 AlN 박막의 표면 거칠기
- (b) 기판-타겟 거리에 따른 AlN 박막의 표면 거칠기

그림 5는 RF Power 150W, Substrate Temp. 500°C, Ar/N<sub>2</sub> Gas Ratio 18/2(10%) 에서 챔버내의 진공도와 기판과 타겟 사이의 거리에 따른 박막의 표면 거칠기 변화를 AFM 분석한 결과이다. 진공도와 기판과 타겟 사이의 거리에 따른 표면 거칠기는 근소한 차이는 있으나 모두 4~6Å 정도를 나타냈다. AFM 분석 결과를 통하여 500°C의 고온에서 증착한 AlN 박막은 매우 평탄한 표면형

상 및 표면 거칠기를 나타내고, 표면 거칠기는 질소의 유입여부에 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

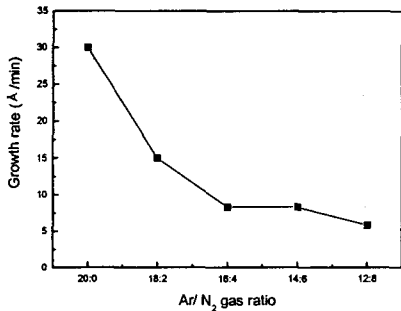


그림 6. Ar/N<sub>2</sub> 가스비에 따른 AlN 박막의 증착속도

실험을 통한 AlN 박막의 (100) 배향성을 위한 최적의 공정 조건은 RF Power 150W, Substrate Temp. 500°C, Operating Pressure 20mTorr, 기판과 타겟 사이의 거리 120mm 였다. 그림 6은 최적의 증착조건에서 Ar/N<sub>2</sub> 조성비에 따른 박막의 증착속도를 나타낸다. 질소 없이 순수 아르곤만으로 증착한 경우에는 30Å/min 정도의 증착속도가 나왔다. 하지만 질소분압비가 10% 정도일 때 15Å/min으로 떨어지기 시작해서 질소가 증가할수록 증착속도는 점점 더 감소함을 알 수 있었다. 이런 결과는 Ar 원자와 N<sub>2</sub> 분자의 스퍼터링을 발생시키는 비율, 즉 sputtering yield 의 차이에 의해 설명되어진다. Ar 원자의 질량이 N<sub>2</sub> 분자의 질량보다 크기 때문에, Ar 원자 sputtering yield 가 N<sub>2</sub> 분자의 sputtering yield 보다 더 크다. 또한, 결합 에너지를 고려하지 않으면 타겟에 충돌하는 입자와 스퍼터링 되는 입자 사이의 에너지 전달은 두 입자의 무게가 비슷할 경우 최대가 되므로 질소가 없을 경우에 sputtering yield 최대가 되어 증착속도가 제일 빠르다. 그러나 질소의 비가 증가하면 아르곤에 의해 타겟에서 스퍼터링되는 양이 줄어들 것이므로 증착속도는 감소하게 된다. 이러한 증착속도의 변화는 챔버내의 스퍼터링 되는 원자의 상태변화를 나타내므로 박막의 배향성에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 Ar/N<sub>2</sub> 가스비, 챔버내의 진공도, 기판과 타겟 사이의 거리 등의 증착조건을 변화시키면서 AlN 박막의 (100) 배향성과 그 구조적 특성을 분석하였다. 질소와 아르곤의 sputtering yield 의 차이에 의해 순수 아르곤만으로 증착할 경우 30Å/min 로 성장 속도를 보였으나 질소가 유입되면서 성장속도가 감소하였다. 스퍼터 공정시 질소가 유입되면서 (100) 배향성을 지닌 AlN 박막을 얻을 수 있었다. 특히, Ar/N<sub>2</sub> 의 조성비가 18/2 (10%) 일 때 가장 우

수한 배향성을 보였다. 그러나 스퍼터 가스내 의 질소 함량이 증가할수록 (100) 배향성은 감소하였다. 챔버내의 진공도 변화에 따른 AlN 박막의 배향성은 5mTorr의 고진공에서는 확인할 수가 없고, 20mTorr 일 때 가장 좋은 (100)회절 피크를 관찰할 수 있었다. 하지만 진공도가 50mTorr 까지 낮아질수록 (100) 배향성은 점차 나빠짐을 확인할 수 있었다. 또한 기판과 타겟 사이의 거리 변화에 따른 배향성은 120mm에서 가장 좋은 (100) 배향성을 보였고, 기판과 타겟 사이의 거리가 가까워질수록 (100) 배향성은 감소하였으며 80mm 에서는 (002) 배향성이 나타남을 관찰할 수 있었다. 질소 분압비에 따른 기판온도로 증착할 경우 11Å 정도의 수치를 보였다. 하지만 질소가 유입되면서 표면 거칠기는 향상되어 4~6Å 정도의 매우 평탄한 박막을 얻을 수 있었다. 이상의 결과로부터 본 연구에서는 Ar/N<sub>2</sub> 의 조성비가 10% 일 때 가장 우수한 (100) 배향성을 가진 AlN 박막을 얻을 수 있었고, 진공도가 높고 기판과 타겟 사이의 거리가 멀어질수록 더욱 우수한 (100) 배향성의 박막을 얻을 수 있음을 확인했다.

#### 참고문헌

- [1] H. P. Laebl, M. Klee, C. Metzmacher, W. Braud, R. Milsom and P. Lok, "Piezoelectric thin AlN films for bulk acoustic wave (BAW) resonators", Materials Science and Engineering, B00, 1-4 (2002)
- [2] E. J. Bienk, H. Jensen, G. N. Pedersen and S. Sorensen, Thin Solid Films, 230, 121 (1993)
- [3] Bing-Nwai Hwang, Chi-Shan Chen, Hong-Yang Lu and Tzu-Chien Hsu, "Growth mechanism of reactively sputtered aluminium nitride thin films", Materials Science and Engineering, A325, 380-388 (2002)
- [4] F. Hasegawa, Tsuyoshi Takahashi, Kiyokazu Kubo and Yasuo Nannichi, "Plasma CVD of Amorphous AlN from Metalorganic Al source and Properties of the Deposited Films", Jpn. J. Appl. Phys., 26(9), 1555-1560 (1987)
- [5] Hwan-Chul Lee, Guen-Hong Kim, Soon-Ku Hong, Ki-young Lee, Yoon-joong Yong, Chang-Hwan Chun and Jai-Young Lee, "Influence of sputtering pressure on the microstructure evolution of AlN thin films prepared by reactive sputtering", Thin Solid Films, 261, 148-153 (1995)
- [6] R. Rodriguez-Clemen, B. Aspar and N. Azema, et al., J. Cryst Growth., 133, 59 (1993)
- [7] M. Ishihara, S. J. Li, H. Yumoto, K.Akashi and Y. Ide, "Control of preferential orientation of AlN films prepared by the reactive sputtering method", Thin Solid Films, 316, 152-157 (1998)