

RF 마그네트론 스퍼터링으로 증착한 AlN 박막의 구조적 특성과 전기적 특성

논문
12-10-10

Structural and Electrical Characteristics of AlN Thin Film using RF Magnetron Sputtering

김경석*, 황영한***, 김희대***, 남창우**, 이규철**

(Kyeng-Suk Kim*, Yeong-Han Hwang***, Hee-Dai Kim***, Chang-Woo Nam**, Gyu-Chul Lee**)

Abstract

Reactive radio frequency(RF) magnetron sputter has been used to deposit AlN thin film on a crystalline Si substrate. Preferred orientation of AlN thin film changed from (100) plane to (002) plane at lower operating pressure. Also, it has been shown that low fraction of nitrogen partial pressure should be maintained to deposit a thin film with a high degree of (002) preferred orientation within a temperature range between room temperature and 700°C. AES in-depth measurements showed that impurities and stoichiometry of aluminum and nitrogen elements were affected by operating pressure. The current-voltage(I-V) measurement measured leakage current and dielectric strength. At an applied electric field of 1[MV/cm], leakage current of AlN thin film was measured at about $3.3 \times 10^{-4} \sim 7.0 \times 10^{-4}$ [A/cm]. Relative resistivity at 0.5 of fraction of nitrogen partial pressure was about 1.4×10^{15} [$\Omega \cdot \text{cm}$]. As substrate temperature increased up to 500[°C], dielectric strength increased slightly. However, AlN thin film deposited at 700[°C] showed decrease of dielectric strength.

Key Words(중요용어) : AlN thin film(질화알루미늄 박막), fraction of nitrogen partial pressure(질소분압 비), Preferred orientation(우선배향성), leakage current(누설전류)

1. 서 론

AlN은 III-V족 화합물의 반도체로서 화학적으로 안정되어 있으며 높은 용융점과 열전도를 때문에 최근 많은 관심을 보이고 있는 기능성 재료 중의 하나이다. AlN 박막은 Wurtzite 육사고압형태의 기본 구조를 가지고 있고 비교적 빠른 음향속도와 압전특성을 나타내고 있어 고주파 표면 음향파(high frequency surface acoustic wave, SAW)장치의 압전 기관재료로 사용될 수 있다. AlN의 열팽창 계수

는 Si와 거의 비슷하기 때문에 Al₂O₃, SiC, BeO박막 등을 대체할 수 있는 적합한 재료로 보고되고 있어 세라믹에 비해 매우 경제적인 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. AlN의 증착은 다양한 방법에 의해 제작되고 있으나 낮은 증착온도에서도 우수한 결정질을 얻을 수 있는 장점으로 인해 경제적인 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용한 많은 연구가 진행되고 있다¹⁻⁴⁾.

1997년 F. Malengreau and M. Vermeersch은 RF 스퍼터링에 의해 제조된 AlN 박막이 40[A] 이하의 경우에는 1050[°C]의 고온영역에서 표면거칠기가 우수한 박막을 얻을 수 있으며 그 이상의 두께에서는 40[A]까지 저온(700°C)에서 성장시킨 후에 고온에서 AlN 박막을 성장시켰을 때 표면거칠기가 우수하다고 보고하였다⁵⁾. 1995년 이완철 외 4명은 수소를 첨가함으로써 AlN박막의 우선배향성이 (002)에서 (100), (110)으로 변하였으며 표면거칠기가 개선된다고 보고하였다. 하지만 AlN박막은 수

* : 울산대학교 전기공학과

** : 경북전문대학 전기설비과

*** : 울산대학교 전기전자 및 자동화공학부

(울산광역시 남구 무거2동 산 29번지, Fax : 052-259-1684, E-mail : cwnam@uou.ulsan.ac.kr

1999년 7월 13일 접수, 1999년 10월 1일 심사완료

소농도의 증가로 증착율이 감소하고 박막의 표면이 수포현상을 유발하기 때문에 다층박막 (AlN/AlN:H/Si)의 구조가 요구된다^{6,7)}.

SAW Filter 등과 같은 전자소자로 사용되기 위해서는 AlN 박막의 우선배향성과 표면거칠기가 매우 신중히 조절되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 저온영역에서 박막을 증착시킬 수 있는 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 진공도, 질소분압비, 기판의 온도, 기판의 바이어스 등 다양한 증착변수를 가변하면서 AlN박막을 제작하고 그 구조적 특성 및 전기적 특성을 고찰하고자 한다. 향후 최적의 증착조건하에 AlN 박막을 기판재료로 이용한 SAW Filter를 제작하고 기판재료로서의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 실험방법 및 순서

본 연구에서 사용된 RF 마그네트론 스퍼터링 시스템(Korea Vac., KOREA)의 진공조는 재질이 스테인레스스틸(SUS 304)이고 내부직경이 300mm, 높이는 260mm인 원통형 구조로 이루어져 있으며 이에 대한 간단한 구조는 그림 1에 도시하였다. 타겟으로는 지름이 4[in], 순도가 99.999[%]인 Al(CERAC, USA)을 사용하였으며 Al 타겟과 Si 기판사이의 거리는 8cm로 고정하고 그 사이에 셔터를 장착하여 초기 스퍼터링시 박막이 증착되는 것을 막았다. 진공조 내부는 로타리펌프와 CRYO 펌프로 초기에 3.0×10^{-4} [torr]까지 배기시킨 후, 질량유동조절기(Mass Flow Controller)로 질소와 아르곤의 유입량을 조절하였다.

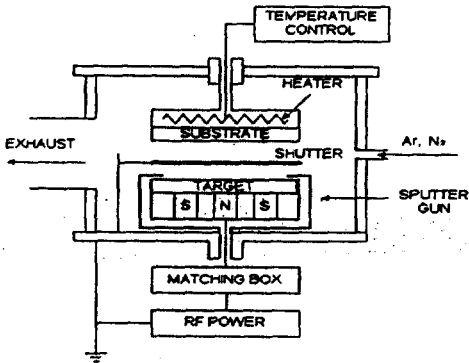


그림 1. RF 마그네트론 스퍼터의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of RF magnetron sputter

실험에 사용된 실리콘웨이퍼는 우선배향성이 (100)인 n-type Si를 이용하였으며 표면세정을 위해 아세톤, 에타놀, 탈이온증류수로 각각 약 10분간 초음파세척을 하였다. 실리콘 웨이퍼를 스퍼터에 장착하기 직전에 희석된 HF용액에 넣어 실리콘 표면의 자연산화막을 제거하였고 탈이온증류수로 다시 세척한 다음 질소가스로 건조시킨 후 장착하였다. 박막을 제조하기 전에 알루미늄 타겟표면의 불순물과 산화막을 제거하기 위해 150[W]의 RF 전원을 가하여 타겟을 약 10분간 스퍼터시켰다. 알루미늄 질소의 유입량을 다르게 하여 질소분압비를 0.3에서 1.0까지 변화시키며 박막의 특성을 살펴보았다. 실리콘 기판의 온도를 실온에서부터 700[°C]까지 변화시키며 박막을 제조하였다. 작동압력은 2[mtorr]에서 50[mtorr]까지 변화시켰다. RF 전원은 150[W]로 고정하였고 동작조건에 따라 1시간에서 5시간까지 증착시간을 조절하였다. AlN 박막의 구조적 특성을 관찰하기 위해 XRD(RIGAKU D/MAX-2500), SEM(HITACHI S-4100), AES(perkin elmer, USA), EPMA(EPMA-1400, JAPAN) 등을 이용하였다. 전기적 특성을 평가하기 위해 진공증착기(KOREA VAC., KOREA)를 이용하여 진공도 2×10^{-4} [torr]이하에서 Al/AlN/Si(100)/Ti/Al구조로 제작하고 Semiconductor Parameter Analyzer (HP 4045B)로 박막의 I-V특성을 고찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 RF 전원을 150[W], 진공도를 2 [mtorr], 증착온도는 상온으로 고정하였을 때 질소분압비의 변화에 따른 AlN박막의 증착을 특성을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 질소분압비가 증가할수록 증착율특성은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 이유는 질소농도가 증가함에 따라 타겟으로 입사하는 질소의 충돌빈도가 증가하는 반면 상대적으로 스퍼터율이 큰 아르곤이 타겟의 표면에 충돌하는 횟수가 감소하기 때문에 스퍼터율이 감소하는 것으로 생각되며 또한 질소분압비의 증가에 따라 타겟표면에서의 질화작용이 증가하게 됨으로 타겟표면의 포텐셜이 감소하기 때문에 스퍼터율이 감소하여 AlN 박막의 증착율이 감소하게 되는 것으로 판단된다⁸⁾. Inoue 등은 RF 마그네트론 스퍼터로 박막을 제작하여 질소분압비를 0에서 1.0까지 증가시키며 따라 박막의 증착율은 감소하는 특성을 나타내었으며 질소분압비가 약 0.4에서 임계값특성을 보이고 있다고 보고하였다. 이때 AlN 박막의 증착율은 100~

500[A/min]이었다⁶⁾. 본 실험에서 얻은 증착율특성은 기존의 연구결과들에 비해 다소 느린 것으로 나타났다. 다른 실험에서 사용한 스퍼터 장비들의 정확한 제원을 알 수 없어 비교하기는 어렵지만 이는 RF POWER, 타겟과 기관사이의 거리등의 스퍼터 장비의 제원차이에서 오는 것으로 판단된다.

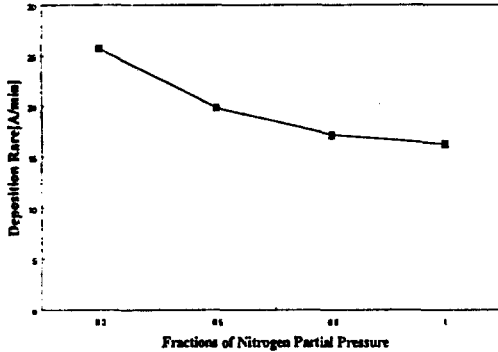


그림 2. 질소분압비에 따른 AlN 박막의 증착율 특성
Fig. 2. Deposition rate characteristics of AlN thin film at various nitrogen partial pressures

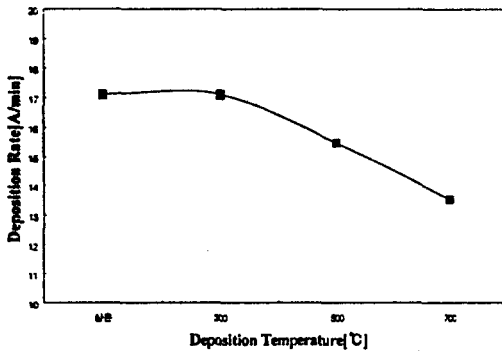


그림 3. 기관온도에 따른 AlN 박막의 증착율 특성
Fig. 3. Deposition rate characteristics of AlN thin film at various substrate temperatures

그림 3은 RF 전원을 150[W], 진공도를 2 [mtorr], 질소분압비는 0.8로 일정하게 한 경우 기관온도에 따른 AlN박막의 증착율 특성을 보이고 있다. 기관의 온도가 증가함에 따라 박막의 증착속도

는 감소하는 경향을 보이고 있으며 약 700[°C]의 증착온도에서 최소증착율을 보였다. 이는 기관온도가 상승함에 따라 기관위에 도달한 증착입자들의 이동도와 탈착현상이 증가하기 때문인 것으로 생각되며 또한 기관온도의 증가는 반응성 가스와의 반응을 촉진하여 박막의 치밀화가 커지고 기관으로부터 방사열을 받은 타겟 표면의 질화촉진에 의해 스퍼터링율이 감소하기 때문인 것으로 생각된다. 본 실험에 사용된 RF 스퍼터링 장비에서 그 보다 높은 고온에서의 실험도 가능하지만, AlN 박막을 전자소자나 광학소자로 제작하는 경우에 공정에 사용할 수 있는 상한온도는 제약을 받게 되므로 증착온도를 700[°C]까지로 제한하였다.

그림 4는 SEM으로 관찰한 증착온도에 따른 AlN 박막의 표면을 보여준다. 진공도 20[mtorr]에서 RF 전원은 150[W], 질소분압비는 0.5로 고정하고 약 1시간동안 증착하였다. 그림에서 알 수 있듯이 300[°C] 이하의 저온영역에서는 박막의 표면이 미세한 구형입자로 덮여있으며 아주 치밀한 구조를 이루고 있다. 기관의 온도가 증가함에 따라 약 500[°C]의 기관 온도에서부터 입자들이 서로 결합하여 그래인의 크기가 점점 더 커짐을 관찰할 수 있으며 약 700[°C]부근에서는 확실한 주상구조의 그래인을 관찰할 수 있었다. 이는 기관을 가열하면 기관표면에서의 입자의 이동도가 활성화되면서 입자가 서로 합쳐져 그래인의 크기가 증가하는 것으로 사료된다. 그림 4의 SEM 이미지로는 박막의 표면의 거칠기정도를 정확히 알 수 없지만 2[mtorr]에서 측정된 기관의 온도변화에 따른 SEM 결과에서는 온도가 증가함에 따라 둥근 입자가 사라지는 것을 관찰할 수 있었다. SAW소자에 사용되는 기관재료의 표면거칠기는 전파손실에 크게 영향을 미치기 때문에 본 실험 조건하에서는 비교적 기관온도가 높은 경우의 박막제작이 바람직한 것으로 판단된다⁶⁾.

표 1은 RF 전원을 150[W], 기관온도를 500[°C], 질소분압비 0.8로 고정하고 진공도의 변화에 따른 AlN 박막의 표면으로부터 약 3[μm]이내의 성분을 정량분석한 EPMA 측정결과이다. 표에서 보이는 바와 같이 20[mtorr]의 낮은 진공도에서는 상당히 많은 산소가 검출되었으나 질소는 검출되지 않아 질소의 농도가 EPMA 최저 측정범위이하인 것으로 판단된다. 모든 시료에서 탄소의 농도도 EPMA 최저 측정범위 이하인 것으로 확인되었다. 8.0[mtorr]보다 낮은 진공도에서 제작한 시료에서 산소의 양은 급격히 줄어드는 것을 확인하였으며 Al과 N의 Mol(%) 비가 거의 비슷해지는 것을 확인할 수 있다. 이러한

결과는 SIMS, XPS, AES 측정결과에서도 확인할 수 있었다. 박막내에 존재하는 산소와 같은 불순물들은 그 전기적 특성과 광학적 특성을 저하시키는 것으로 보고되고 있다. 고순도의 AlN 박막을 얻기 위해서는 H₂O, CO₂, CO, O₂와 같은 잔존가스를 낮게 유지하고 높은 증착율에서 필름을 성장시켜야 한다. 하지만 RF방전에서 10⁻³[torr]이하로 진공도가 떨어지면 방전이 발생하기 어렵고 또한 N₂의 화학적인 반응도 감소하기 때문에 RF 스퍼터링법에서는 적절한 진공도를 유지하여야 한다^[10-12].

그림 5는 RF 전원을 150[W], 질소분압비 0.8로 고정하고 상온에서 증착한 AlN 박막의 진공도에 따른 AES depth profiles을 보이고 있다. AES 측정 결과는 진공도에 따라서는 EPMA 결과와 같이 구성요소의 큰 변화를 나타내고 있는 반면 질소분압비나 증착온도에는 구성요소의 큰 변화를 나타내지 않았다. 그림 5의 (b)에 보는 바와 같이 2[mtorr]의 진공도에서는 탄소나 산소와 같은 불순물의 농도가 측정되지 않아 AES 측정범위이하인 것으로 판단되며, 진공도 20[mtorr]에서 제작된 박막에서는(그림 5(a)) 비교적 많은 양의 산소가 검출되었고 질소의 농도도 상당히 낮은 것으로 측정되었다. AES survey analysis에서는 3%이하의 극히 작은 양이 존

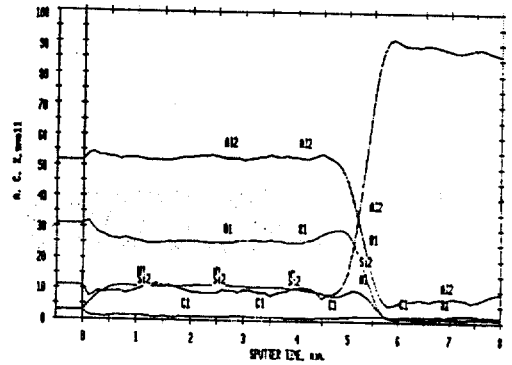
그림 4. SEM으로 관찰한 실리콘 기판의 온도에 따른 AlN 박막의 표면

Fig. 4. SEM image of AlN thin film as a function of substrate temperature

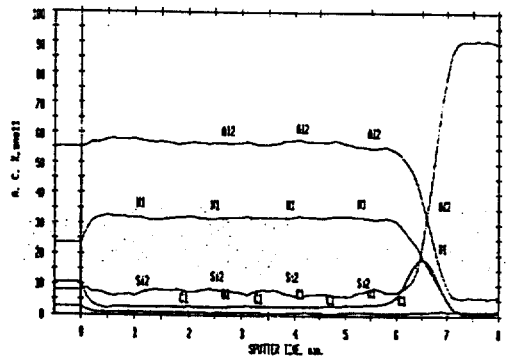
표 1. 진공도에 따른 AlN 박막의 EPMA 측정 결과

Table 1. EPMA results of AlN thin film deposited at various operating pressure

진공도	Al		N		O		C	
	Mol (%)	Wt (%)	Mol (%)	Wt (%)	Mol (%)	Wt (%)	Mol (%)	Wt (%)
20[mtorr]	40.7	53.6	-	-	59.3	46.3	-	-
8[mtorr]	41.2	56.3	41.4	29.	17.3	14.0	-	-
2[mtorr]	43.2	58.9	48.5	34.4	8.21	6.65	-	-



(a) 20[mtorr]



(b) 2[mtorr]

그림 5. 진공도의 변화에 따른 AlN박막의 AES 측정 결과

Fig. 5. AES results of AlN thin film deposited at various gas pressures

제하기 때문에 탄소와 더불어 질소의 양을 무시할 할 수 있었지만 AlN depth profile에서는 어느 정도의 질소가 존재함을 알 수 있으며 이 결과는 표면에서부터 깊이에 따른 운동에너지의 질소피크의 세기를 통해 확인할 수 있었다. 이상의 결과를 토대로 XRD 분석을 한 결과 진공도가 AlN 박막의 우선배향성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 이는 박막내의 산소의 영향인 것으로 추측된다.

그림 6은 RF 전원을 150[W], 기판온도를 500 [°C], 질소분압비를 0.8로 고정하고 진공도의 변화에 따라 증착한 AlN 박막의 XRD의 측정결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 우선배향성은 약 8[mtorr] 근처에서 (001)면에서 (002)면으로 변화하는 것을 관찰할 수 있으며, 진공도가 높을수록 XRD 피크의 FWHM이 감소하는 것으로 미루어 AlN박막의 배향성이 향상됨을 알 수 있다. 이러한 원인은 진공조내에 잔존하는 산소의 영향으로 인해 기인한 것으로 진공도가 낮을수록 잔존산소의 양이 증가하고 포함된 많은 양의 산소가 Al과 N박막의 화학적 반응을 저하시키면서 c축 성장을 억제시켜 AlN 박막의 성능을 떨어뜨리게 되는 원인으로 생각된다. 따라서 c축 성장된 AlN 박막을 얻기 위해서는 최소한 10⁻³[torr] 정도의 진공도를 유지하여야 한다.

그림 7은 RF 전원 150[W], 진공도 2[mtorr], 기판온도는 상온으로 고정하고 질소분압비에 따라 측정된 XRD 측정 결과이다. 질소분압비의 변화에 따른 각각의 피크들은 모두 2θ가 약 35°~36°에서 발생하였다. 그림에서와 같이 상온에서 얻은 XRD 피크들은 질소분압비의 변화에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 500[°C]의 증착온도에서는 측정된 XRD 피크

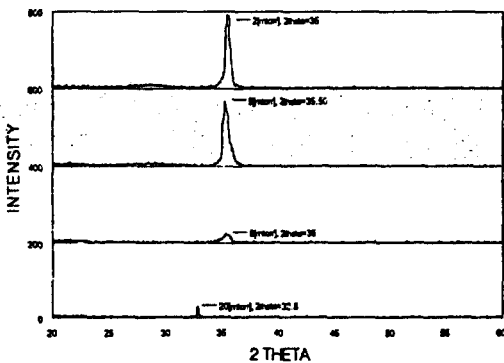


그림 6. 진공도 변화에 따른 AlN 박막의 XRD 결과
Fig. 6. XRD results of AlN thin film deposited at various gas pressures

들은 약간의 차이를 보이고 있으며 질소분압비가 낮은 경우에 (0.3~0.5) XRD 피크들이 크게 나타났다. 따라서 고온에서 AlN 박막을 증착할 경우 질소분압비를 낮게 할수록 박막의 배향성이 더 향상되리라 판단된다. AlN 박막의 FWHM은 질소분압비가 작을수록 더 우수한 특성을 나타냈으며 질소분압비가 0.3에서 XRD 피크가 가장 높게 나타났다. 표 2는 진공도 2[mtorr]에서 질소분압비에 따른 반가폭과 격자상수를 나타내고 있다. 표 2를 분석한 결과 질소분압비가 높은 경우보다 낮은 경우 AlN 박막의 결정성이 우수한 것으로 판단된다. 특히 RF 마그네트론 스퍼터링법에 의해 제작된 AlN 박막은 상온에서도 비교적 결정성이 우수한 박막을 얻을 수 있었고 질소분압비가 0.3~0.5이하에서 우선배향성이 보다 우수한 박막을 얻을 수 있는 것으로 판단된다. 질소분압비에 따른 화학적 조성비의 변화를 고찰하기 위해 AES 분석을 통해 확인한 결과 큰 변화는 나타내지 않았다.

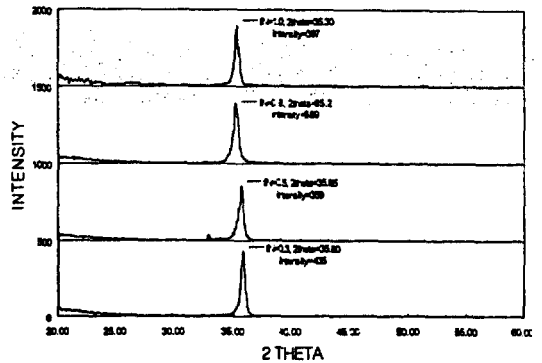


그림 7. 질소분압비의 변화에 따른 AlN 박막의 XRD 결과

Fig. 7. XRD results of AlN thin film deposited at various fractions of nitrogen partial pressure

표 2. AlN 박막의 반가폭과 격자상수
Table 2. FWHM and lattice constants of AlN thin film deposited at various fractions of nitrogen partial pressure.

f _N	0.3	0.5	0.8	1.0
FWHM	0.440	0.445	0.489	0.485
D-SPACE	2.5096	2.5164	2.5475	2.5440
a	3.1350	3.1435	3.1824	3.178
c	5.0192	5.0327	5.095	5.088

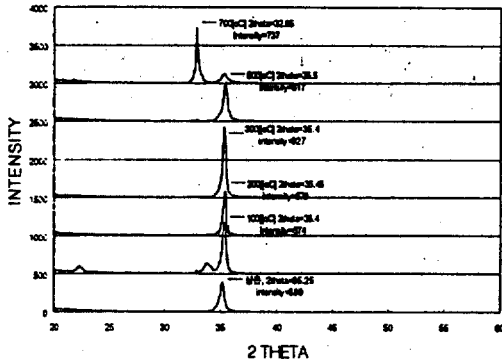


그림 8. 기판온도변화에 따른 AlN박막의 XRD결과
Fig. 8. XRD results of AlN thin film deposited at various substrate temperature

그림 8은 RF 전원을 150[W], 진공도를 2 [mtorr], 질소분압비 0.8로 고정하고 기판온도의 변화에 따라 측정된 XRD의 결과이다. 기판온도는 증착이후 온도컨트롤러에 의해 10분에 100[°C]씩 서서히 냉각할 수 있도록 조절하였다. 그림에서 보는 바와 같이 300[°C]까지는 기판온도가 증가함에 따라 박막의 결정성이 향상되는 것으로 나타났으며 그 보다 높은 온도에서는 다시 결정성이 저하하였다. 이러한 원인은 기판을 가열하여 증착한 경우 다수의 시료에서 마이크로크랙들이 발생하였고 또한 급격한 온도변화시 발생하는 스트레스 또는 시료의 절단과정에서 발생하는 박막의 스트레스로 인해 Si기판과 AlN 박막사이의 경계면이 들뜨거나 또는 AlN박막의 결정내의 격자부정합으로 인해 야기된 것으로 생각된다. 이런 현상은 500[°C]이상으로 가열된 시료에서만 관찰되었다. 특히 700[°C]정도의 기판온도에서는 다수의 시료에서 (100)면과 (002)면의 피크가 동시에 발생하였다. 본 연구에서는 AlN 박막의 배향성은 약 300[°C]의 기판온도에서 가장 우수한 것으로 나타내고 있으나 F. Malengreau 등이 발표한 결과에서는 700[°C]의 고온에서도 배향성이 우수한 AlN박막을 제작하였다. 따라서 증착후 냉각속도를 신중하게 조절한다면 700[°C]이상의 고온에서도 배향성이 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다⁴⁾. 본 연구에서는 증착온도를 가하지 않은 시료에서도 우선배향성이 비교적 우수한 결과를 보이기 때문에 향후 전자소자에 적용시 상온에서도 (002)배향성을 가진 AlN 박막을 제작할 수 있을 것으로 생각한다.

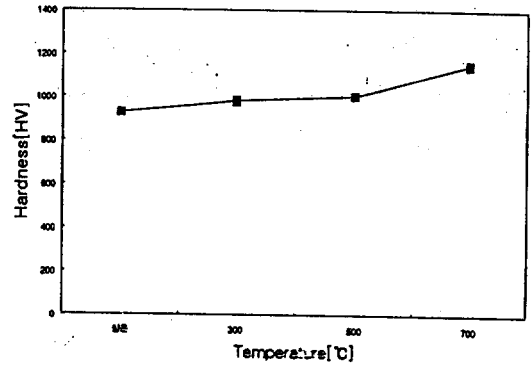


그림 9. 기판온도에 따른 AlN 박막의 미소경도
Fig. 9. Micro Vickers Hardness of AlN thin film deposited at various substrate temperature

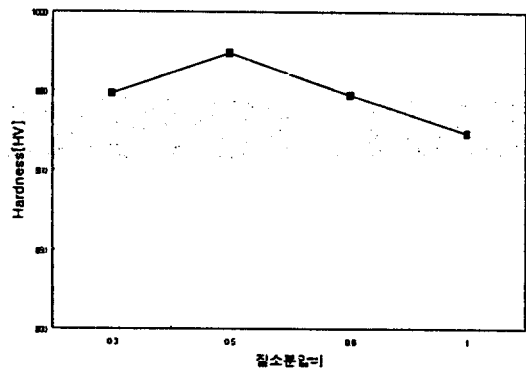


그림 10. 질소분압비에 따른 AlN 박막의 미소경도
Fig. 10. Micro Vickers Hardness of AlN thin film deposited at various fractions of nitrogen partial pressure

그림 9는 RF 전원을 150[W], 질소분압비를 0.8, 진공도를 2[mtorr]로 고정하고 기판온도에 따라 증착된 시료의 미소경도계(Micro Vickers Hardness Tester, Mitutoyo, MVK-H1)의 측정결과이다. SEM 측정결과 AlN 박막의 두께는 증착조건에 따라 다소 차이를 보이고 있지만 하중 100[g]의 무게를 AlN 박막의 표면에 일정하게 가하여 발생한 corn의 크기를 측정하였다. 한 시료에 대해 5회 측정하고 평균하여 계산하였다. 박막의 hardness 측정은 박막의 미세구조 변화에 밀접한 관계를 가지고 있다. 가

상 대표적인 예로 박막내부의 porous 나 마이크로크랙 등은 박막의 구조적 전기적 특성을 저하시킬 뿐만 아니라 박막의 경도를 떨어뜨리는 주요 원인이 된다. 그림 9에서 보는 바와 같이 AlN 박막의 경도는 증착 온도가 증가함에 따라 더 우수한 특성을 보이고 있으며 이러한 경향은 박막의 결정성과 큰 관계가 있는 것으로 판단된다. 증착온도의 상승과 더불어 증착입자들이 활발한 이동을 가지게 되어 입자들이 더욱 밀착되고 박막의 결정화가 더 증가되기 때문인 것으로 생각된다.

그림 10은 RF 전원을 150 W, 진공도를 2 [mtorr]로 고정하고 상온에서 질소분압비의 변화에 따라 증착한 AlN 박막의 미소경도측정 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 질소분압비에 따른 미소경도는 약 920~974[HV]의 범위를 나타내고 있으며 분압비가 0.5에서 최대 미소경도값을 보이다가 이후 질소분압비가 증가하면 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 이유는 질소분압비에 따른 AlN 박막의 미세구조의 변화를 통해 알 수 있다. 질소분압비가 상승할수록 AlN 박막의 표면거칠기가 상승하고 porous와 마이크로크랙과 같은 존재가 발생함을 SEM 결과를 통해 알 수 있었다.

그림 11은 RF 전원을 150[W], 진공도 2.0 [mtorr], 기판온도를 상온으로 고정하고 질소분압비에 따라 측정된 J-E 특성곡선이다. 비교적 1.6[MV/cm] 이하의 저전계영역에서는 질소분압비에 따른 누설전류특성은 큰 변화를 보이지 않고 있다. 반면 약 1.6 [MV/cm] 이상의 고전계영역에서 누설전류가 급속히

증가하였으며 질소분압비에 따라 누설전류특성이 큰 차이를 나타내었다. AlN박막의 질소분압비가 높은 경우보다 낮은 경우에 더 전기적인 특성이 향상되는 것으로 판단되며 질소분압비가 0.5일 때 가장 우수한 특성을 보였다. 그림에서 질소분압비가 0.8과 1.0인 경우에는 전계가 약 2.1[MV/cm]에서 급격히 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 AlN박막내의 존재하는 결함으로 인해 발생된 트랩준위사이를 전자가 호핑하여 발생된 공간전하제한전류인 것으로 판단된다. 이런 호핑전도에는 전자가 준위사이에 있는 퍼텐셜장벽을 터널링기구로 건너가는 경우와 열활성적으로 이동하는 경우가 있으나 본 실험에서는 시료에 온도를 가하지 않았기 때문에 터널링효과에 의해 발생된 것으로 판단된다^[1,2]. 저전계영역에서 질소분압비에 따른 AlN 박막의 누설전류특성은 J-E 특성곡선에서 알 수 있듯이 약 1[MV/cm]에서 전류밀도가 약 $3.3 \times 10^{-8} \sim 7.0 \times 10^{-8}$ [A/cm²]의 범위로 나타났으며, 이때 질소분압비가 0.5인 경우의 비저항특성은 약 1.4×10^{18} [$\Omega \cdot \text{cm}$]이었다.

그림 12는 RF전원을 150[W], 진공도 2.0 [mtorr], 질소분압비 0.8로 고정하고 기판의 증착온도에 따른 J-E 특성곡선이다. 기판온도에 따른 누설전류특성은 1[MV/cm]에서 전류밀도가 약 $2.8 \times 10^{-8} \sim 4.7 \times 10^{-8}$ [A/cm²]의 범위로 나타났으며 비교적 저전계영역에서 AlN 박막의 누설전류특성은 증착온도가 높을수록 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 원인은 온도가 증가함으로써 열적으로 활성화된 표면의 입자들이 더 조밀해져 박막내의 결함이 감소했기

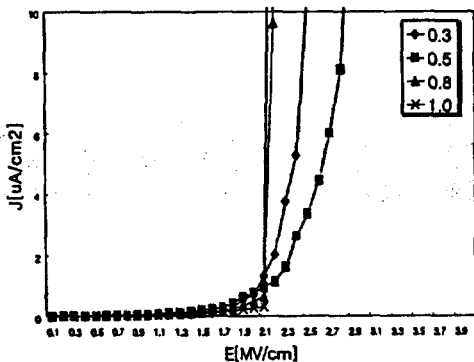


그림 11. 질소분압비에 따른 AlN 박막의 J-E 특성곡선
Fig. 11. J-E plot of AlN thin film deposited at various fractions of nitrogen partial pressure

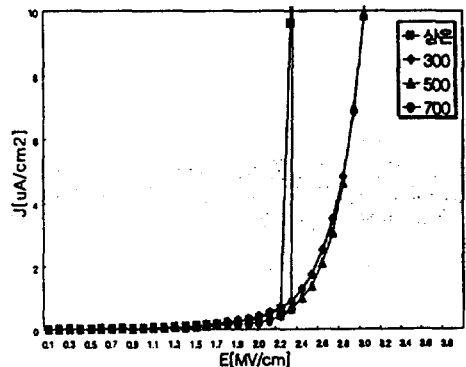


그림 12. 기판온도에 따른 AlN 박막의 J-E 특성곡선
Fig. 12. J-E plot of AlN thin film deposited at various substrate temperature

때문인 것으로 생각된다. 특히 기판온도가 700[°C]인 경우 2.3[MV/cm]의 고전계영역에서 전자의 호핑전도특성으로 인해 누설전류특성이 나빠져 박막의 결합정도를 짐작할 수 있었다. 반면에 AlN 박막의 절연파괴강도는 가장 높게 나타났다. 700[°C]에서 누설전류가 증가한 것은 SEM 사진에서도 알 수 있듯이 AlN박막과 Si의 계면의 트랩의 영향이나 마이크로크랙등에 의해 누설전류가 증가한 것으로 생각된다. 현재 본 연구에서는 MIS구조를 이용한 C-V측정이 진행중에 있으며 곧 그 결과가 발표될 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링법에 의해 AlN 박막을 여러 증착조건하에서 제작하고 그 구조적 특성 및 전기적 특성을 평가하였다. AlN 박막의 우선배향성은 진공도에 따라 큰 변화를 보였으며 진공도가 8[mtorr]이하로 유지될 때 c축으로 성장된 AlN박막을 얻을 수 있었다. 반면에 질소분압이나 기판온도 등과 같은 변수는 박막의 결정화 정도에는 영향을 주었으나 우선배향성에는 큰 변화를 보이지 않았다. 상온에서 제작한 AlN 박막은 비교적 결정성이 우수하였지만 낮은 진공도에서는 산소와 같은 불순물 등으로 인해 박막의 우선배향성을 변화시켰으며 또한 전기적 특성을 저하시키는 것으로 나타났다. 박막의 우선 배향성은 질소분압비가 0.3~0.5인 경우에 더 우수하게 나타났으며 기계적 강도 및 전기적 특성도 더 향상되었다. 특히 질소분압비가 0.8과 1.0인 경우에는 AlN박막내의 존재하는 결합으로 인한 전자의 호핑전도현상을 보였으며 이는 박막내의 결합의 정도를 짐작할 수 있다. 약 1[MV/cm]의 저전계영역에서 AlN 박막의 누설전류밀도가 약 $3.3 \times 10^{-4} \sim 7.0 \times 10^{-4}$ [A/cm²]의 범위로 나타났으며 이때 질소분압비가 0.5인 경우 비저항특성은 약 1.4×10^{14} [$\Omega \cdot \text{cm}$]이었다. 기판 온도에 따른 기계적 특성 및 전기적 특성은 기판 온도가 높은 경우 비교적 특성이 향상되었으나 기판 온도가 500[°C]이상 가열한 다수의 시료에서 마이크로크랙이 발생하였고 박막과 기판사이의 들뜸 현상이 관찰되었기 때문에 박막 증착 후 냉각속도조절에 주의가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 교육부 학술연구조성비(반도체 97-126)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] H. C. Lee, K. Y. Lee, Y. J. Yong, J. Y. Lee and G. H. Kim, "Effect of hydrogen addition on the preferred orientation of AlN films prepared by reactive sputtering", *Thin Solid Films*, 271, (1995) 50.
- [2] T. Shiosaki, T. Yamanoto, T. Oda and A. Kawabata, *Appl. Phys. Lett.*, 36, (1980) 643.
- [3] H. Okano, Y. Takahashi, T. Tanaka, K. Shibata and S. Nakano, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 31, (1992) 3446.
- [4] F. Malengreau, and M. Vermeersch, "Epitaxial growth of aluminum nitride layers on Si(111) at high temperature and for different thicknesses", *J. Mater. Res.*, Vol. 12, No. 1, (1997) 175.
- [5] A. T. Matsuda, H. M. Liaw, W. A. Cronin, H. G. Tompkins, P. L. Fejes, and K. L. Evans, "Polycrystalline grain structure of sputtered aluminum nitride films", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol. 343, (1994) 753.
- [6] M. Arbab and J. J. Finley, "High temperature behavior of reactively sputtered AlN films on float glass substrates", *J. Vac. Sci. Tech.*, (1994) 1528.
- [7] 정성훈, 김영호, 송복식, 문동찬, 김선태, "고주파 때려내기법에 의한 질화알루미늄 박막의 제작과 특성", Vol. 10, No. 7, (1997) 706.
- [8] S. Inoue, H. Uchida, A. Hioki, K. Koterazawa and R. P. Howson, "Structure and composition of (Ti, Al)N films prepared by r.f. planar magnetron sputtering using a composite target", *Thin Solid Films*, 271, (1995), 15.
- [9] H. Okano, et al, "Characteristics of AlN Thin Films Deposited by Electron Cyclotron Resonance Dual-Ion-Beam Sputtering and Their Application to α -Band Surface Acoustic Wave Device", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 33 (1994), Part 1, No. 5B, (1994) 2957.
- [10] Milton Ohring, "the materials science of

thin films", pp. 95~96.

- [11] M. He, N. Cheng, P. Zhou, H. Okabe and J. B. Halpern, "Preparation of nearly oxygen-free AlN thin films by pulsed laser deposition", J. Vac. Sci. Tech., A.

16(4), Jul/Aug (1998), 2372~2375.

- [12] T. M. Dipalma, S. Orlando, A. Giardini-Guidoni, A. J. Paul, J. W. Hastie, and A. Mele, Appl. Surf. Sci. 86, (1995) 68.