

논문 21-1-2

# Si와 GaAs기판 위에 AlN 박막의 전기적 특성

## Properties Electric of AlN Thin Film on the Si and GaAs Substrate

박정철<sup>1,a</sup>, 추순남<sup>2</sup>, 권정렬<sup>3</sup>, 이현용<sup>3</sup>

(Jung-Cheul Park<sup>1,a</sup>, Soon-Nam Chu<sup>2</sup>, Jung-Youl Kwon<sup>3</sup>, and Heon-Yong Lee<sup>3</sup>)

### Abstract

To study the effects of H<sub>2</sub> gas on AlN insulation thin film, we prepared AlN thin film on Si and GaAs substrate by means of reactive sputtering method using H<sub>2</sub> gas as an additives. With treatment conditions of H<sub>2</sub> gas AlN thin film shows variable electrical properties such as its crystallization and hysteresis affected to electrical property. As a results, AlN thin film fabricated on Si substrate post-treated with H<sub>2</sub> gas for 20 minutes shows much better an insulation property than thst of pre-treated. And AlN film treated with H<sub>2</sub> gas comparing to non-treated AlN film shows a flat band voltage decrease. But In GaAs substrate H<sub>2</sub> gas does not effect on the flat band voltage.

**Key Words** : Si, GaAs, Flat band voltage, AlN thin film, Reactive sputtering method

### 1. 서론

AlN은 Würtzite 결정구조와 압전특성을 가지는 III-V족 화합물 반도체로서 매우 높은 열전도도와 큰 전기저항, 적당한 유전특성과 기계적 강도, SAW(Surface Acoustic Wave) 전파속도 등을 가지기 때문에 차의선용 광학재료, 반도체소자의 절연층, SAW소자 등으로의 응용이 기대되고 있다 [1,2]. AlN박막은 지금까지는 SAW소자나 광자기 디스크의 보호막 등으로 주로 연구되어 왔으나, 고1온에서의 열적 및 화학적 안정성이 뛰어나고 또한 에너지금지대폭(energy band gap E<sub>g</sub>=6.2 eV)이 매우 크므로 반도체소자에서 절연층 및 보호층으로 응용이 기대된다[3].

특히 GaAs나 Si반도체의 MIS(Metal Insulator Semiconductor)소자에 있어서 절연막으로 응용이

기대되고 있는데, MIS 소자에서 가장 중요한 문제 중의 하나인 안정적인 C-V특성을 보이는 절연막 재료를 개발하는 것이다. AlN박막은 높은 저항률 (10<sup>13</sup>~10<sup>16</sup> Ω·cm)과 커다란 절연파괴강도를 가지며, 또한 열팽창계수가 Si이나 GaAs기판과 거의 유사하고 높은 열전도도를 가지기 때문에 단위시간당의 방열 처리가 문제 시 되는 MIS 반도체 소자의 절연재료로 응용이 기대되고 있다.

일반적으로 AlN박막을 제조할 때는 아르곤과 질소가스 분위기에서 이루어지는데 Takeda등은 2-자장(2개의 자장을 가지는) DC 스퍼터링 장치에 질소와 수소가스의 분위기에서 수소가스의 농도에 따라 c축 방향성이 달라지는 현상을 보고하였다 [4]. 이들은 2-자장(magnetic field)을 적용함으로써 타겟 표면 위에서의 자속(magnetic flux)의 평행 성분(parallel component)을 크게 증가 시켰으며, 또한 낮은 전압 하에서도 매우 높은 방전(discharge) 전류를 얻을 수 있었다. 이들의 보고에 따르면 순수한 질소 분위기 하에서는 기판 표면에 수직인 c축 방향성의 AlN박막을 제조할 수 있었으나, 수소가스를 0~10 % 첨가시킨 경우 수소가스농도의 증가에 따라 증착속도가 급격히 감소하나, c축 방향이 기판표면과 평행하게 바뀌며 또한 깨끗한 표면형상을 얻을 수 있다고 발표하였다. 또한 수정

1. 경원대학교 IT대학 전자공학전공 (경기도 성남시 수정구 복정동 산65)  
2. 경원대학교 공과대학 전기공학전공  
3. 명지대학교 공과대학 전기공학과  
a. Corresponding Author : jcpark@kyungwon.ac.kr  
접수일자 : 2007. 9. 21  
1차 심사 : 2007. 10. 23  
2차 심사 : 2007. 11. 21  
심사완료 : 2007. 11. 26

(quartz) 기판 위에 증착시킨 AlN박막의 광투과율의 변화는 질소와 수소의 혼합가스 분위기 하에서 증착시킨 경우의 시편이 순수한 질소 분위기에서 증착시킨 경우보다 단파장 영역에서 좋은 투과율을 가진다고 하였다. Richthofen 등은 이온빔 스퍼터링(ion beam sputtering)법으로 AlN박막을 증착할 때 가스내 산소의 농도가 2.5 %만 되어도 비정질상이 형성되고 그 이상이 되면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 형성된다고 보고했다[5]. 또한 Aita는 타겟 표면의 산화물을 제거하는 예비스퍼터링(pre-sputtering)에 따라 박막의 특성이 크게 변화한다고 보고했다[6]. 이로부터 미량의 산소가 AlN박막의 형성시 큰 영향을 미침을 알 수 있다. Wang 등은 이온빔 스퍼터링법으로 AlN 박막을 증착시 반응가스인 질소의 25 %를 수소로 치환한 결과 0.3 nm의 매우 평탄한 표면을 얻을 수 있었다. 그러나 수소를 치환함에 따라 박막은 비정질이 되었다[7]. Hasegawa 등은 TMAI(trimethylaluminum)/source를 이용한 plasma CVD로 AlN 박막을 증착시 carrier gas로 질소 대신 수소를 사용한 결과 AlN 박막의 안정도 향상, 박막내 산소량 감소, 광대역(optical bandgap)도 증가한다고 보고했다[8]. 또한 Wang 등은 이온빔 스퍼터링(ion beam sputtering)법을 이용할 때 수소를 5 %만 치환해도 박막의 응력이 감소해서 접착력이 좋아지고 표면이 평탄해진다는 보고를 하였다[9]. 하지만 수소가 함유된 AlN 박막은 수증기에 취약해서 Al(OH)<sub>3</sub>로 변하게 되고 그 결과 수포(blistering)가 발생된다고 보고하였다[10-13]. 이들의 결과를 종합해 보면 수소첨가에 따라 AlN박막은 표면이 평탄해 지고 응력이 감소하는 등 특성이 크게 변함을 알 수 있다. 그러나 AlN박막의 제조 시 수소를 첨가해 줌에 따라 박막의 전기적 특성에도 큰 영향을 줄 것으로 예상되는데 이에 대한 연구는 거의 이루어져 있지 않다.

본 실험에서는 반응성 스퍼터링법으로 AlN박막을 제조할 때 수소가스의 첨가시기를 변화시켜 가면서 Si기판과 GaAs기판을 이용하여 AlN박막의 전기적 특성 변화를 살펴봄으로 GaAs MIS반도체 소자의 응용가능성을 살펴보았다.

## 2. 실험

반응성 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 Si 기판과 GaAs 기판위에 AlN박막을 제조하였다. 시편제작을 위한 기판은 저항율이 0.1~0.6 Ω·cm인 n-type(100) Si 기판, 0.78 3 Ω·cm, n-type(100)

표 1. AlN 박막의 스퍼터링 조건.

Table 1. Sputtering conditions of AlN thin films.

Target	Aluminum(5 N,3 inch diameter)
Substrate	n-type Si(100) n-type GaAs(100)
Target-substrate distance	8.5 cm
Base pressure	3.0× 10 <sup>6</sup> Torr
RF power	150 W
Sputtering pressure	5 mTorr
Substrate temperature	300 °C
Total gas flow rate	8 sccm (Ar:4 sccm+N <sub>2</sub> :4 sccm)
H <sub>2</sub> concentration	5 % (H <sub>2</sub> /[Ar+N <sub>2</sub> ]flow rate ratio)

GaAs를 사용하였고, Si 기판세척은 불순물을 제거하기 위하여 아세톤 속에서 10분 동안 초음파세척을 한 후, 산화막 제거를 위하여 buffered HF 용액을 사용하였고, 마지막으로 D.I water로 세척을 하였다. GaAs 기판은 아세톤과 에틸알콜에서 각각 10분간 초음파세척한 후 산화막을 제거하기위해 HCl 용액에 1분간 처리하였다. 기판온도를 300 °C로 고정시켰으며, 챔버 내의 초기진공도가 3.0×10<sup>6</sup> Torr 에서 실험을 시작하였다. 타겟은 고 순도 알루미늄을 사용하였고 고 순도 아르곤과 질소가스를 각각 4 sccm씩 1:1의 유량비로 혼합하여 AlN 박막을 증착하였다. 이때 수소첨가효과를 알아보기 위해 아르곤/질소 가스의 총 유량을 고정시킨 후 부가적으로 5 %의 수소가스를 첨가해 주었는데, 박막의 증착 진시간(60분)동안 수소가스의 미첨가 및 첨가, 초기 20분간 수소첨가, 후기 20분간 수소첨가를 하는 것을 번수로 선정했다. 박막을 증착하기 전에 타겟 위의 불순물을 제거하기 위하여 아르곤 분위기에서 3분 및 아르곤/질소 분위기에서 20분간 긍정 전 스퍼터링을 행하였으며, 표 1에 AlN박막의 스퍼터링 조건을 보여준다.

전기적 특성 조사를 위해 I-V 특성은 HP 4145B pico-amperemeter를 이용하여 음의 전압을 인가하면서 측정하였고, C-V 특성은 HP 4192A LF impedance analyzer를 이용하여 1 MHz에서 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 300 °C의 기판온도에서 RF 전력은 150 W, 스퍼터링 압력은 5 mTorr에서 첨가시기에 따라 60분 동안 Si 기판 위에 증착한 AlN 박막의

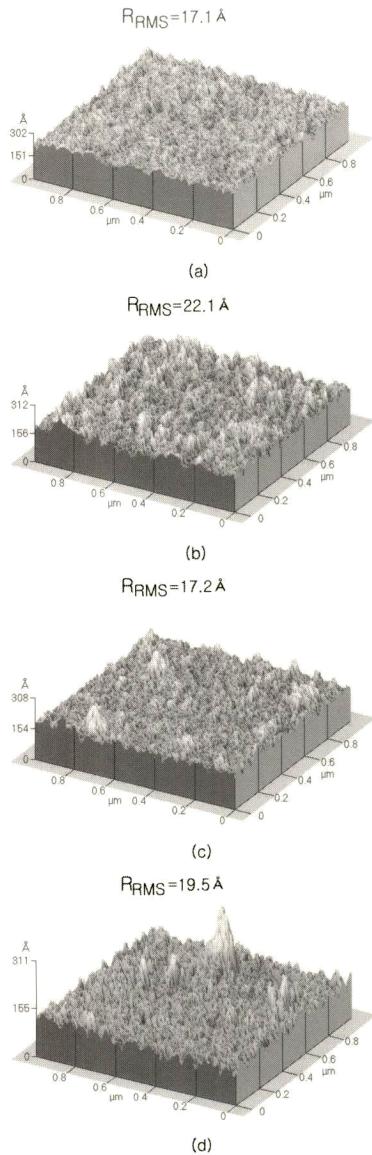
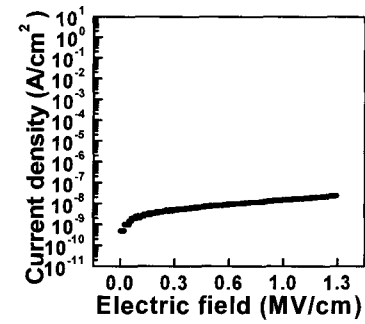


그림 1. AFM에 의한 수소가스첨가에 따른 AlN 박막의 표면형상.

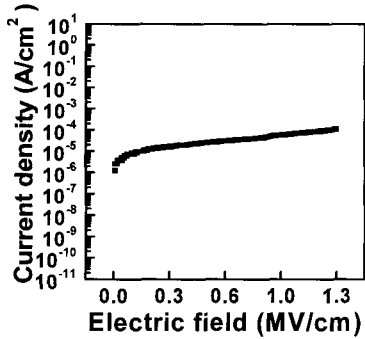
Fig. 1. The surface morphology trend of AlN thin film for adding hydrogen gas by AFM(150 W, 5 mTorr,  $T_{sub}=300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , AFM scan size:  $1\text{ }\mu\text{m}\times 1\text{ }\mu\text{m}$ , Substrate: Si).  
 (a) without adding hydrogen gas  
 (b) full time adding hydrogen gas 5 %  
 (c) during early 20 minutes adding hydrogen gas 5 %  
 (d) during late 20 minutes adding hydrogen gas 5 %

표면형상 AFM사진이다. 수소가스를 첨가하지 않은 경우(a), 전시간 동안 수소가스 농도를 5 % 첨가한 경우(b), 초기 20분간 수소가스를 첨가한 경우(c), 그리고 후기 20분간 수소가스를 첨가한 경우(d)의 AlN 박막의 표면형상의 변화를 보인 것이다. 4개의 시편은 균일하게 박막이 증착 되었으며 평균 거칠기( $R_{RMS}$ )는 수소 가스를 첨가하지 않은 경우와 초기 20분간 수소 가스를 첨가한 경우에는 거의 변화가 없으나, 후기 20분간 첨가한 경우에는 수소가스를 첨가 안한 경우와 초기에 첨가한 경우에 비해 약간 증가하였으며, 전시간 동안 수소 가스를 첨가한 경우에 가장 큰 값을 보였다. 후기 20분간 수소 가스를 첨가한 경우에 표면 형상에서 보이는 높은 봉우리모양은 일반적인 박막 재료에서 관찰되는 작은 언덕(hillock)으로 보인다. AlN 박막의 증착시 수소가스를 첨가하면 일반적으로 증착 속도의 감소와 표면형상의 급격한 변화가 보고 되어있다[14]. 본 실험에서 박막의 평균증착속도는 (a)의 경우  $32\text{ }\text{\AA}/\text{min}$ , (b)의 경우  $20\text{ }\text{\AA}/\text{min}$ , (c)의 경우  $28\text{ }\text{\AA}/\text{min}$ , (d)의 경우  $26\text{ }\text{\AA}/\text{min}$ 으로 측정되었으며, 이는 수소첨가가 AlN박막의 증착속도를 감소되는것을 알 수 있으나 본 연구에서는 60분간 AlN을 증착한 경우, 박막의 전체 두께가  $1700\text{ }\text{\AA}$  내외로 매우 얇기 때문에 표면 형상의 급격한 변화는 나타나지 않았다.

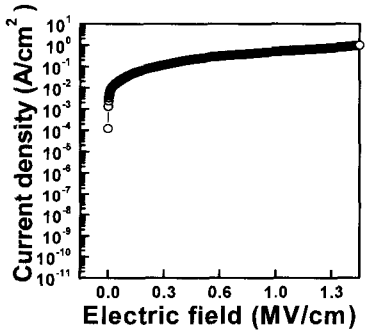
그림 2는 RF 전력 150 W, 스퍼터링 압력 5 mTorr, 60분 동안 실리콘 기판 위에 증착 시킬 때 증착 전시간(60분) 동안 수소가스 첨가 없이 박막을 증착한 경우(a), 초기 20분간 수소 가스 5 %를 첨가시킨 경우(b), 그리고 후기 20분간 수소가스 5 %를 첨가시킨 경우(c)에 대한 AlN 박막의 I-V특성을 보인 것이다. 수소가스 5 %를 전시간(60분) 동안 첨가한 경우에는 전기적특성이 측정되지 않았는데, 이는 수소가스를 첨가함에 따라서 박막이 비정질로 되었기 때문으로 사료된다. 전 시간 동안 수소가스첨가를 하지 않은 AlN박막이 가장 낮은 전류밀도를 보이고 있는 것은 수소가스를 첨가함에 따라 박막이 비정질로 변한다는 보고와 일치하고, 이때  $1\text{ MV}/\text{cm}$  파괴전계시 전류밀도는  $10^{-8}\text{ A}/\text{cm}^2$  이하로 나타났다. 초기 20분간 수소 가스를 첨가한 경우가 후기 20분간 수소가스 첨가를 한 경우보다 누설 전류가 더 작게 흐르는 것은 수소 가스를 첨가한 경우 AlN/Si 계면에서보다는 박막 안에서의 결정질의 변화와 박막의 표면 거칠기에 영향을 미쳐서 전류밀도가 높게 나타나는 현상으로 이해할 수 있다.



(a)



(b)



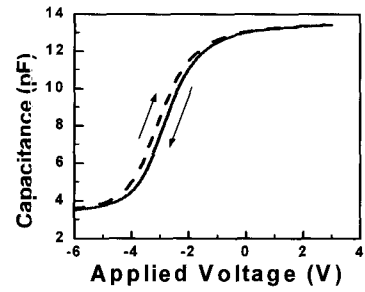
(c)

그림 2. AlN박막의 I-V 특성곡선.

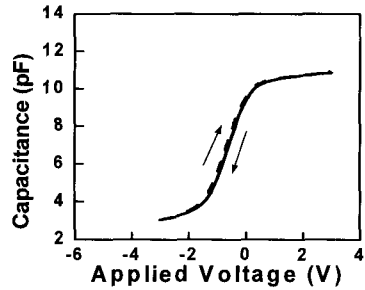
Fig. 2. The I-V characteristic curve of AlN thin film (Substrate: Si).

- (a) without adding hydrogen gas
- (b) during early 20 minutes adding hydrogen gas 5 %
- (c) during late 20 minutes adding hydrogen gas 5 %

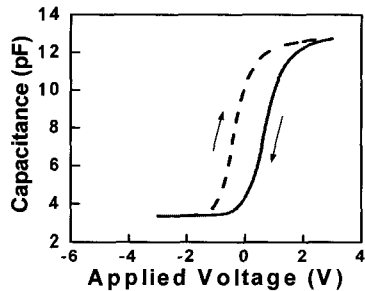
그림 3은 RF 전력은 150 W와 스퍼터링 압력은 5 mTorr에서 60분 동안 AlN박막을 증착시킬 때 수소첨가를 하지 않은 경우(a), 초기 20분간 수소



(a)



(b)



(c)

그림 3. AlN 박막의 C-V 특성곡선.

Fig. 3. The C-V characteristic curve of AlN thin film(Substrate: Si).

- (a) without adding hydrogen gas
- (b) during early 20 minutes adding hydrogen gas 5 %
- (c) during late 20 minutes adding hydrogen gas 5 %

가스를 5 % 첨가시킨 경우(b), 그리고 후기 20분간 수소가스를 첨가시킨 경우(c)의 C-V특성곡선을 보인 것이다. 수소가스첨가를 하지 않은 경우는 플랫밴드전압(flat band voltage)이 매우 크며 히스테리시스도 어느 정도 관찰된다. 이러한 히스테리시스는 불순물 등에 의해 나타나는 현상으로 소자에

나쁜 영향을 미치므로 가능한 작아야 한다. 박막증착 초기에 20분간 수소가스를 첨가한 경우를 살펴보면, 플랫폼전압은 이상적인 특성곡선에 근접해 있으며 또한 히스테리시스도 거의 없는 C-V특성을 보여주고 있다. 그러나 박막 증착 시 후기 20분간 수소가스를 첨가한 경우의 C-V특성곡선에서 플랫폼전압은 마찬가지로 양호하나 초기 20분간 수소가스를 첨가한 경우에 비해 커다란 히스테리시스가 관찰된다. 이것은 박막증착 초기보다 후기에 수소가스를 첨가해 주면 박막이 비정질로 되는 구조적 특성변화와 이에 관련된 전하의 트랩자리 증가 등에 의한 것으로 사료된다.

그림 4는 300 °C의 기판온도에서 DC 전력은 150 W, 스퍼터링 압력은 5 mTorr에서 갈륨비소 기판 위에 AlN박막을 증착시킬 때 수소를 첨가하지 않은 경우(a), 초기 20분 동안 수소가스 5 %를 첨가한 경우(b)와 후기 20분 동안 수소가스 5 %를 첨가한 경우(c)의 I-V 특성을 보여주고 있다. 수소가스를 첨가하지 않은 경우와 초기, 후기에 첨가한 경우 거의 비슷한 특성을 보여주고 있으며, 누설 전류는 세 경우 모두 1 MV/cm에서 약  $10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup>의 값을 보여주고 있다. Si기판을 사용하여 얻은 결과와 비교하여 다소 높은 값을 보이는 것은 GaAs기판이 Si기판에 비해 AlN과 격자불일치와 열팽창계수의 차이가 커서 나타나는 것으로 사료된다.

그림 5는 D.C 전력 150 W와 스퍼터링 압력은 5 mTorr에서 AlN박막을 증착시킬 때 수소가스를 첨가하지 않은 경우(a), 초기 20분 동안 수소가스를 5 % 첨가시킨 경우(b), 그리고 후기 20분 동안 수소가스를 5 % 첨가시킨 경우(c)의 C-V 특성곡선을 보여주고 있다. 수소를 첨가하지 않은 경우는 히스테리시스가 어느 정도 관찰되고 있으나, 박막 증착시 후기에 수소가스를 첨가한 경우에는 어느 정도 감소되는 것을 알 수 있다. 이는 수소가스첨가가 박막내의 산소 농도를 감소시켜 나타난 결과로 판단된다. 그러나 전기에 수소가스를 첨가한 경우에는 오히려 히스테리시스가 커다랗게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 첨가한 수소가스가 AlN 박막 내에 유동이온(mobile ion)으로 작용하여 나타나는 현상으로 생각된다. 초기에 수소가스 5 %를 첨가한 경우가 수소가스를 첨가하지 않은 경우와 후기에 수소가스 5 %를 첨가한 경우보다 더 강한 반전현상을 나타내고 있고, 곡선의 기울기가 매우 가파른 것이 관찰되었다. 이러한 현상은 수소가스를

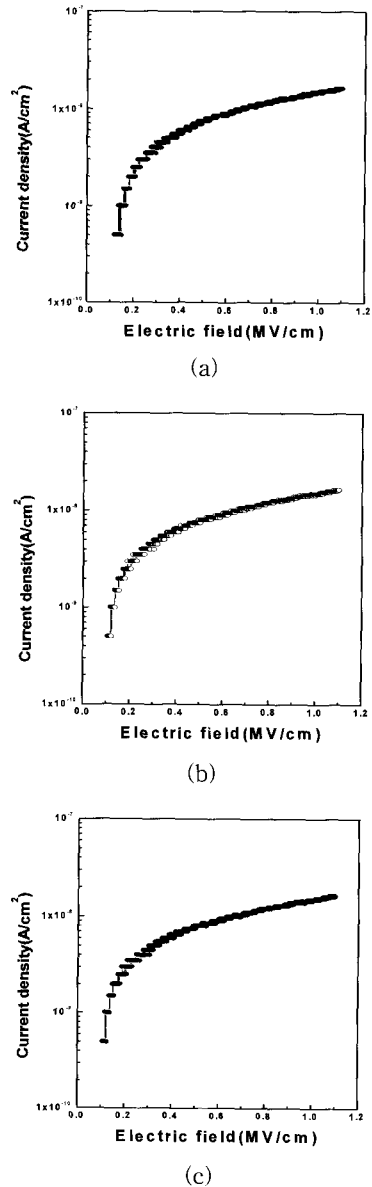


그림 4. AlN박막의 I-V 특성곡선.

Fig. 4. The I-V characteristic curve of AlN thin film(Substrate : GaAs).

(a) without adding hydrogen gas

(b) during early 20 minutes adding hydrogen gas 5 %

(c) during late 20 minutes adding hydrogen gas 5 %

초기에 첨가한 경우가 AlN/GaAs계면에서 불순물로 작용하는 산소 농도를 감소시킨 결과로 표면상태

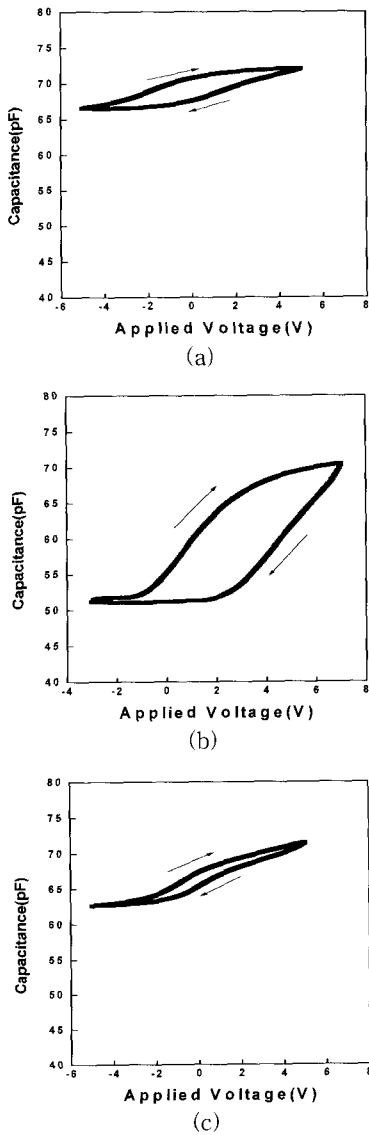


그림 5. AlN 박막의 C-V 특성곡선.  
 Fig. 5. The C-V characteristic curve of AlN thin film(Substrate: GaAs).  
 (a) without adding hydrogen gas  
 (b) during early 20 minutes adding hydrogen gas 5 %  
 (c) during late 20 minutes adding hydrogen gas 5 %

밀도가 낮아졌음을 의미한다. 따라서 AlN박막을 증착시 수소가스첨가시기와 수소가스농도를 최적화 하면 보다 향상된 전기적 특성을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 반응성 스퍼터링법으로 Si 및 GaAs 기판위에 AlN박막을 제작하여 전기적 특성을 연구한 것으로서 AlN 박막의 절연박막으로의 응용가능성에 대해서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. Si 기판을 사용한 시료에서 I-V 특성분석에 의하면 초기 20분간 수소첨가를 행한 AlN 박막이 후기 20분간 수소 첨가를 행한 박막보다 훨씬 우수한 절연특성을 나타내었다. 이것은 수소첨가 효과가 AlN/Si 계면에서 Al/AlN 계면보다 절연 특성을 향상시킬 수 있다는 것을 보여준다.
2. C-V 특성분석에서는 수소첨가를 하지 않은 박막은 상당한 플랫폼전압을 보여주었는데 수소첨가에 따라 플랫폼전압은 크게 감소되었으나 초기 20분간 수소첨가를 시킨 경우는 히스테리시스를 거의 보이지 않았는데 반하여 후기 20분간 수소첨가를 시킨 경우는 오히려 더 큰 히스테리시스를 보여주었다.
3. GaAs 기판을 사용한 시료에서 I-V 특성분석으로는 수소첨가와 첨가하지 않은 경우 거의 비슷한 특성을 보였다. Si 기판을 사용한 시료보다 GaAs기판을 사용한 시료가 다소 높은 값이 측정되었다.
4. C-V특성에서 초기에 수소 5 %를 첨가한 경우가 수소를 첨가하지 않은 경우와 후기에 수소 5 %를 첨가한 경우보다 더 강한 반전현상을 나타내고 있고 곡선의 기울기가 매우 가파른 것이 관찰되었다.

AlN박막을 증착 시 수소가스첨가시기와 수소가스농도를 위의 조건으로 하면 향상된 전기적 특성을 얻어 GaAs MIS 소자용 절연박막으로 우수한 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

[1] H. Ckano, N. Tanaka, K. Shibata, and S. Nakano, "Preparation of aluminum nitride thin films by reactive sputtering and their applications to GHz-band surface acoustic wave devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 64, No. 2, p. 166, 1994.  
 [2] 고훈철, 남창우, "SAW 소자응용을 위한 실리콘 기판 위에 AlN 박막의 최적 증착 조건에

- 관한 연구”, 센서학회지, 16권, 4호, p. 301, 2007.
- [3] B. Monemar and G. Pozina, “Group III-nitride based hetero and quantum structure”, Prog. Quantum. Electron., Vol. 24, p. 239, 2000.
- [4] F. Takeda and T. Hata, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 19, No. 5, p. 1001, 1980.
- [5] A. Von Richthofen and R. Dornick, Thin Solid Films, Vol. 283, p. 37, 1996.
- [6] C. R. Aita, “Basal orientation aluminum nitride grown at low temperature by rf diode sputtering”, J. Appl. Phys., Vol. 53, No. 3, p. 1807, 1982.
- [7] X.-D. Wang, W. Jiang, M. G. Norton, and K. W. Hipps, Thins Solid Films, Vol. 251, p. 121, 1994.
- [8] F. Hasegawa, T. Takahashi, K. Kubo, and Y. Nannichi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 26, p. 1555, 1987.
- [9] X. D. Wang, K. W. Hipps, and U. Mazur, Langmuir, Vol. 8, p. 1347, 1992.
- [10] Vacandio F., Massiani Y., and Gravier P., “A study of the physical properties and electrochemical behaviour of aluminium nitride films”, Surface and Coatings Technology, Vol. 92, p. 221, 1997.
- [11] A. Bourret, A. Barski, J. L. Rouviere, G. Renaud, and A. Barbier, “Growth of aluminum Nitride on (111) silicon : Microstructure and interface structure”, J. Appl. Phys., Vol. 83, p. 2003, 1998.
- [12] P. Limsuwan, N. Udomkan, S. Meejoo, and P. Winotai, “Surface morphology of submicron crystals in aluminum nitride films grown by DC magnetron sputtering”, Intern. J. Mod. Phys. B, Vol. 19, No. 12, p. 2073, 2005.
- [13] 홍성의, 한기평, 백문철, 조경익, 윤순길, “PAMBE를 이용하여 성장된 AlN 박막의 미세구조에 미치는 Al/N 비율영향”, 전기전자재료학회논문지, 14권, 12호, p. 972, 2001.
- [14] H. C. Lee and J. Y. Lee, Thin Solid Films, Vol. 271, p. 50, 1995.