

# 평판 유도 결합형 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar 플라즈마를 이용한 GaN 건식 식각에서 공정 변수가 저항성 접촉 형성에 미치는 영향

## The Effects of Etch Process Parameters on the Ohmic Contact Formation in the Plasma Etching of GaN using Planar Inductively Coupled CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar Plasma

金文永\* · 太興植\*\* · 李昞駿\*\*\* · 李龍鉉<sup>§</sup> · 李正熙<sup>§§</sup> · 白榮植<sup>§§§</sup>

(Moon-Young Kim · Heung-Sik Tae · Ho-Jun Lee · Yong-Hyun Lee · Jung-Hee Lee · Young-Sik Baek)

**Abstract** - We report the effects of etch process parameters on the ohmic contact formation in the plasma etching of GaN. Planar inductively coupled plasma system with CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar gas chemistry has been used as etch reactor. The contact resistance and the specific contact resistance have been investigated using transfer length method as a function of RF bias power and %Ar gas concentration in total flow rate. AES(Auger electron spectroscopy) analysis revealed that the etched GaN has nonstoichiometric Ga rich surface and was contaminated by carbon and oxygen. Especially large amount of carbon was detected at the sample etched for high bias power (or voltage) condition, where severe degradation of contact resistance was occurred. We achieved the low ohmic contact of  $2.4 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$  specific contact resistance at the input power 400 W, RF bias power 150 W, and working pressure 10 mTorr with 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 5 sccm Ar gas composition.

**Key Words** : ohmic contact, n-type GaN, planar inductively coupled, CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar plasma, specific contact resistance, transfer length method, AES

### 1. 서 론

최근 GaN 계 화합물 반도체는 광 및 전자소자 등으로의 다양한 응용가능성으로 인해 적극적으로 연구되고 있다.[1,2,3] 고품위 소자제조를 위해서는 양질의 GaN 결정 성장, 최적의 식각 공정 및 낮은 접촉 저항을 가지는 전극 형성 공정이 필요하다. 식각 공정의 경우, 9 eV 에 이르는 GaN의 높은 결합에너지와 화학적 안정성으로 인해 습식 식각으로는 그림 1과 같은 청색 발광 소자제조에 필요한 높은 식각 속도와 수직 단면 형성이 힘들다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 ECR, ICP등 이른바 고밀도 플라즈마를 이용한 건식 식각에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[4,5,6,7]

플라즈마 식각의 기본적인 메카니즘은 "ion assisted chemical etching" 으로 요약 될 수 있는데, 플라즈마 내에 존재하는 중성 활성종과 수십 eV 이상의 에너지로 가속된

이온들은 GaN의 식각을 가능함과 동시에 시료 표면에 격자 손상, 오염, stoichiometry 변화 등을 유발하여 금속전극 형성시 접촉저항 증가 등의 문제를 일으킬 소지가 크다. 따라서 이러한 문제를 최소화 할 수 있는 식각 공정의 개발은 고품위 광소자 개발에 있어 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 평판 유도 결합형 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar 플라즈마 식각 장치를 이용하여 건식 식각 공정 변수가 n-type GaN 박막 표면에 형성된 Al 전극의 접촉 저항에 미치는 영향을 고찰하였고, 식각 전·후의 표면 분석을 통해 접촉 저항 저감의 주요 원인을 추적하였다.

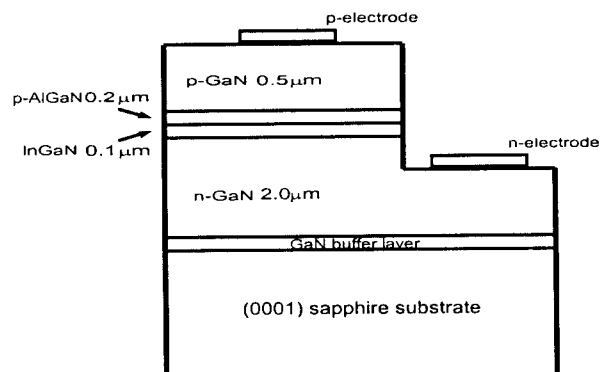


그림 1 청색 발광 다이오드의 구조

Fig. 1 The structure of blue light emitting diode

\* 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 博士課程  
 \*\* 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 助教授 · 工博  
 \*\*\* 正 會 員 : 威德大 電氣工學科 助教授 · 工博  
 § 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 正教授 · 工博  
 §§ 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 副教授 · 工博  
 §§§ 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 正教授 · 工博

接受日字 : 2000年 3月 2日  
 最終完了 : 2000年 6月 28日

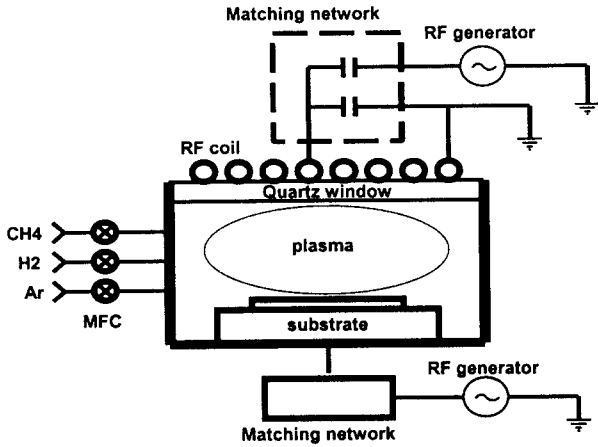


그림 2 평판 유도 결합형 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar 플라즈마 식각 장치의 구조

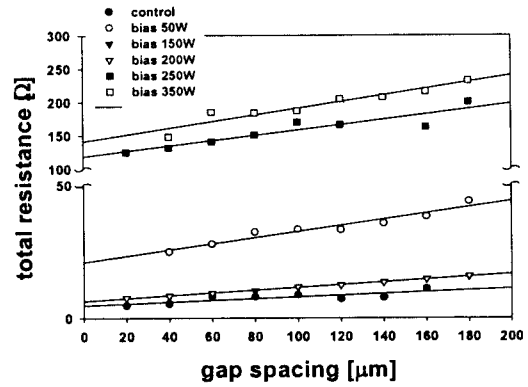
Fig. 2 The structure of planar inductively coupled CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar plasma

2. 실험 방법

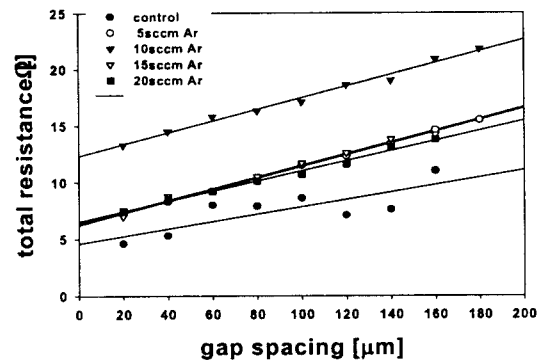
실험에 사용된 GaN 박막은 유기 금속 기상 성장법(metal organic chemical vapor deposition : MOCVD)에 의해 사파이어(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 기판 위에서 성장된 두께 2 μm, 캐리어 농도(carrier concentration) 1~2×10<sup>18</sup> /cm<sup>3</sup>를 가지는 Si을 도핑시킨 n-type GaN 이다. 성장된 GaN 박막을 HF 용액과 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)용액에서의 무기물 제거와 TCE(trichloroethylene), 아세톤(aceton), 메탄올(methanol)의 유기물 제거 방법으로 써 초기 세정 공정(intial cleaning process)을 거친 다음, RF 스퍼터로 성장된 2000 Å 두께의 BaTiO<sub>3</sub>를 사진 감광 공정(photolithography process)으로 패틴을 형성하여 건식 식각 실험의 마스크로 사용하였다.

그림 2는 실험에 사용된 평판형 유도 결합형 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar 플라즈마 식각 장치의 구조를 나타낸다. 건식 식각 장치는 원통형 구조의 공정 반응로가 로드-락(load-lock) 챔버와 연결되어 있다. RF 투과창(window)은 두께 17 mm의 석영(quartz)판을 사용하였다. RF 코일은 외경이 220 mm 가 되도록 등 간격으로 4회 평면형으로 감겨진 형태이며 무산소 구리 표면에 은도금하여 저항 손실을 줄이고자 하였다. 유도 성 부하의 임피던스 정합 회로(impedance matching circuit)는 100 pF와 500 pF의 진공용 콘덴서가 π 회로로 결합되어 있는 것을 사용하였다. RF 전원(RF generator)으로는 13.56 MHz의 주파수에 2 kW 용량을 가지는 RF 전원과 500 W 용량의 RF 전원이 사용되었다. 2 kW 용량의 RF 전원은 RF 코일에 전력을 공급하여 플라즈마 발생에 직접적으로 기여함과 동시에 인가 전원의 변화에 따라 반응로 내의 플라즈마 밀도에 영향을 주는 역할을 하게 되며, 500 W 용량의 RF 전원은 기판(substrate) 전극에 전력을 공급하여 바이어스 전력을 조절함으로써 식각 공정에 직접적인 영향을 주는 기판으로 유입되는 이온 에너지를 제어 가능하게 한다.

식각 실험에 사용된 건식 식각 가스로는 Ga과 반응을 하기 위한 CH<sub>4</sub>, N과 반응을 이루기 위한 H<sub>2</sub> 및 촉매 역할을 하는 Ar을 사용하였다. 이용된 식각 가스들은 유량 조절기



(a) RF bias power



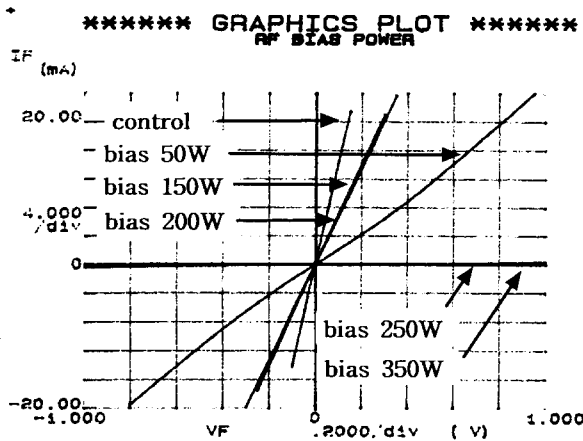
(b) Ar gas flow rate

그림 3 (a) RF 바이어스 전력 (b) Ar 가스 유량의 변화에 따른 TLM gap spacing에 대한 측정된 전체 저항 (입력 전력 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 가스 유량, 공정 압력 10 mTorr)

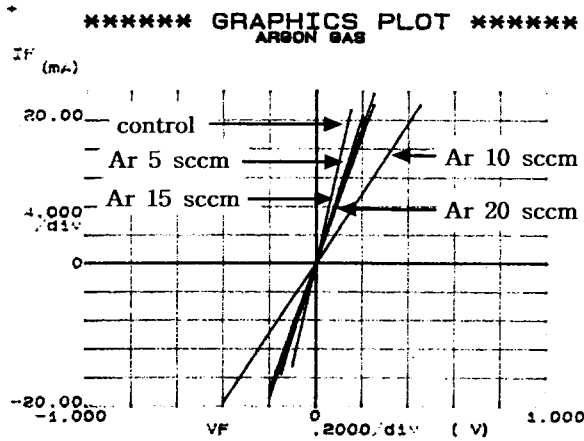
Fig. 3 The measured total resistance on TLM gap spacing as a function of (a) RF bias power (b) Ar gas flow rate (Input power 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub> gas flow rate, working pressure 10 mTorr)

(mass flow controller)를 통해 공정 반응로 내에 공급된다. 공정 반응로는 일정한 벽면 상태를 유지하기 위해 식각 전·후에 10분간의 산소 방전으로 플라즈마 세정(plasma cleaning)을 하였으며, 기저 압력(base pressure)을 5×10<sup>-6</sup> Torr 이하의 영역으로 일정하게 유지하였다. 식각 시간(etch time)은 모든 시료의 식각 깊이가 약 5000 Å 되도록 5분으로 설정하였다.

식각 후 GaN 박막 표면의 전기적(ohmic contact) 특성을 조사하기 위해 TLM(transfer length method)<sup>[8,9,10]</sup>를 사용하였다. 사용된 TLM 패턴의 크기는 길이 1000 μm, 폭 80 μm의 막대 형태의 금속 패드가 20 μm에서 최대 180 μm까지 선형적인 간격으로 이루어진 형태이다. TLM 패턴에 사용된 금속 박막은 열기상증착기(thermal evaporator)로 증착시킨 두께 4000 Å의 Al을 사용하였다. TLM 패턴의 열처리(annealing)는 고순도 N<sub>2</sub> 분위기의 전기 저항 furnace로 600



(a) RF bias power



(b) Ar gas flow rate

그림 4 (a) RF 바이어스 전력 (b) Ar 가스 유량의 변화에 따른 Al과 n-type GaN 접촉의 전류-전압 특성 (gap spacing 100  $\mu\text{m}$ , 입력 전력 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 가스 유량, 공정 압력 10 mTorr)

Fig. 4 I-V characteristics of Al on n-type GaN contacts as a function of (a) RF bias power (b) Ar gas flow rate (gap spacing 100  $\mu\text{m}$ , Input power 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub> gas flow rate, working pressure 10 mTorr)

℃ 온도에서 10 분간 열처리를 하였다.

HP4145 semiconductor parameter analyzer를 사용하여 저항성 접촉의 전기적 특성을 분석하였다. 건식 식각 전·후의 표면 분석에는 AES(Auger Electron Spectroscopy)가 사용되었고, 식각된 표면의 거친 정도를 측정하기 위해 AFM(Atomic Force Microscopy) 분석 장치를 tapping mode에서 rms(root-mean-square) 거칠기(roughness) 단위로 이용하였다.

건식 식각 공정 중에 표면의 손상을 유발시키는 요인인 RF 바이어스 전력과 Ar 식각 가스의 조성비의 변화에 따

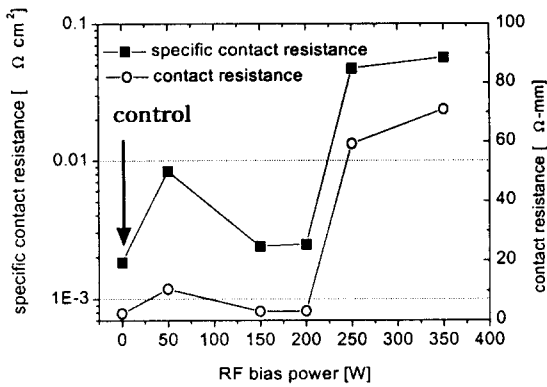
른 저항성 접촉 공정에 미치는 영향을 주 관심 대상으로 삼았다

### 3. 실험 결과 및 고찰

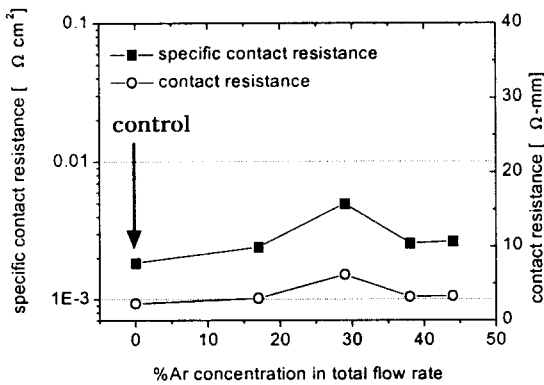
그림 3은 TLM 패턴 각 전극 패드 간격 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180  $\mu\text{m}$ 에 대한 전체 저항을 측정하였다. 그림 3 (a)는 입력 전력 400 W, 식각 가스 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 5 sccm Ar, 공정 압력 10 mTorr의 식각 조건에서 RF 바이어스 전력의 변화에 따라, 그림 3 (b)는 입력 전력 400 W, RF 바이어스 전력 150 W, 식각 가스 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 공정 압력 10 mTorr의 식각 조건에서 Ar 식각 가스의 변화에 따라 측정된 금속 전극의 저항을 식각 하지 않은(control) GaN 표면과 비교한 것이다. 그림에서 y축 절편인 전체 저항 값을 보았을 때 RF 바이어스 전력 250 W와 350 W를 제외하고 대부분 낮은 저항을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 금속 전극간 거리가 100  $\mu\text{m}$ 일 때의 (a) RF 바이어스 전력과 (b) Ar 가스의 농도에 따른 전류-전압 특성 곡선을 나타낸 것이다. 그림 4의 (a)에서는 RF 바이어스 전력 250 W와 350 W일 경우를 제외하고 저항성(ohmic) 특성을 이루는 것을 볼 수 있으며, (b)의 Ar 가스 농도 변화의 경우는 모두 저항성 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 그림 4의 (a)에서 기울기가 크게 나타나는 것은 식각 후 표면 손상에 의해 높은 접촉 저항을 나타내는 것이다.

그림 5는 그림 3과 그림 4의 TLM 방법으로써 (a) RF 바이어스 전력과 (b) 전체 가스 유량에서 Ar 가스 조성비의 변화에 따라 접촉 저항( $R_c$ )과 specific contact resistance ( $\rho_c$ )의 변화를 식각 하지 않은 표면과 비교해서 나타낸 것이다. 그림 5 (a)에서 식각 하지 않은 표면과 RF 바이어스 전력 200 W 인가했을 때까지는  $10^{-3}$   $\Omega\text{cm}^2$  영역대의 비교적 낮은 specific contact resistance를 나타내지만, RF 바이어스 전력 250 W, 350 W에서는  $4.7\sim 5.6 \times 10^{-2}$   $\Omega\text{cm}^2$ 의 specific contact resistance 로써 비교적 높은 접촉 저항을 보여주고 있다. 이는 높은 RF 바이어스 전력에 따른 과도한 이온 에너지의 유발로 인하여 식각된 표면의 손상으로 높은 저항이 나타나는 것으로 추정된다. 그런데, 낮은 RF 바이어스 전력인 50 W에서는  $8.4 \times 10^{-3}$   $\Omega\text{cm}^2$ 의 specific contact resistance로써 최적 조건인 RF 바이어스 전력 150 W, 200 W에서의 specific contact resistance인  $2.4\sim 2.5 \times 10^{-3}$   $\Omega\text{cm}^2$  보다 조금 높은 접촉 저항이 나타나게 되는데, 이것은 150 W, 200W RF 바이어스 전력에서 약 800 ~ 1000 A/min의 식각 속도에 비해 50 W RF 바이어스 전력은 낮은 바이어스 전력에 따라 약 200 A/min 식각 속도로 매우 낮아 GaN 식각 표면이 150 W, 200W RF 바이어스 전력의 식각 조건에 비해 50 W RF 바이어스 전력이 상대적으로 플라즈마에 긴 시간 노출됨에 따른 산소 오염 또는 표면 산화의 증가의 영향으로 생각된다. 따라서 낮은 접촉 저항을 이루기 위해서는 최적의 건식 식각 조건 유지가 중요한 요소임을 알 수 있다. 그림 5 (b)에서는 Ar 조성비의 증가에도 불구하고 접촉 저항의 큰 변화 없이  $2.4\sim 4.5 \times 10^{-3}$   $\Omega\text{cm}^2$ 의 specific contact resistance으로 비교적 낮은 접촉 저항을 나타내고 있음을 보여 준다. 건식 식각에 있어서 Ar 가스는 물리적



(a) RF bias power



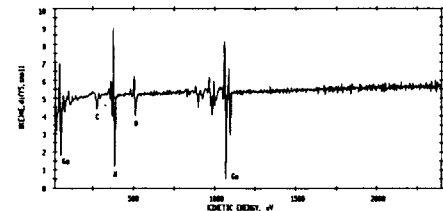
(b) %Ar concentration

그림 5 (a) RF 바이어스 전력 (b) Ar 가스 유량의 변화에 따른 specific contact resistance와 contact resistance의 변화 (입력 전력 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 가스 유량, 공정 압력 10 mTorr)

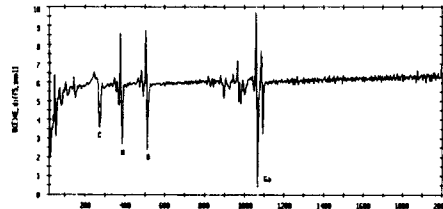
Fig. 5 The variation of specific contact resistance and contact resistance as a function of (a) RF bias power (b) Ar gas flow rate (Input power 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub> gas flow rate, working pressure 10 mTorr)

식각의 역할과 저압 공정에서 플라즈마 발생을 촉진시키며, 반응성이 좋은 활성화 종의 생성에 기여함으로써 식각률을 높이는 것과 동시에 평탄하게 식각된 표면을 얻기 위해 사용된다. 따라서, 그림 5 (b)에서와 같이 Ar 조성비의 증가에도 불구하고 접촉 저항의 큰 변화가 없다는 것은 Ar 이온 충격에 따른 표면 손상에 직접적인 영향을 주는 물리적인 식각에 의한 것보다 Ar 도움으로 인한 화학적 식각의 촉진 (Ar assisted chemical etching) 반응의 역할에 더 많은 참여를 하게 된 것으로 생각된다.

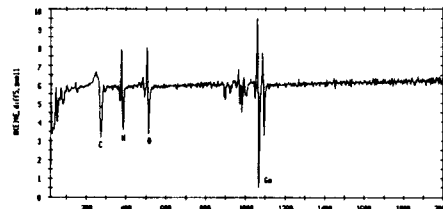
그림 6은 식각 되지 않은 GaN 표면과 RF 바이어스 전력 50 W, 150 W, 250 W에 대해 식각된 GaN 표면의 AES 분석기로서 표면 상태를 분석한 것이다. 그림에서 O 와 C의 peak이 감지되는 것은 공기 노출에 의한 주위 분위기 오염의 결과이다. 전체적으로 식각 되지 않은 GaN 표면에 비해



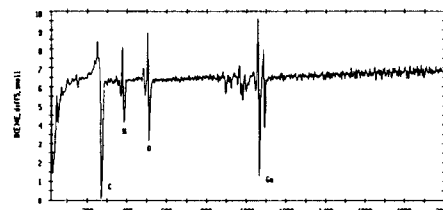
(a) control



(b) RF bias power 50 W



(c) RF bias power 150 W



(d) RF bias power 250 W

그림 6 n-type GaN의 AES 표면 분석 (a) control (b) RF 바이어스 전력 50 W (c) RF 바이어스 전력 150 W (d) RF 바이어스 전력 250 W (입력 전력 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 5 sccm Ar 가스 유량, 공정 압력 10 mTorr)

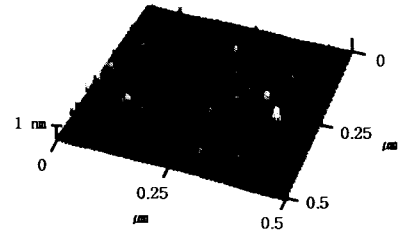
Fig. 6 AES surface scan analyses of n-type GaN (a) control (b) RF bias power 50 W (c) RF bias power 150 W (d) RF bias power 250 W (Input power 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 5 sccm Ar gas flow rate, working pressure 10 mTorr)

식각된 GaN 표면이 O peak이 증가하고, N peak이 감소하는 것이 보이는데, 이는 식각 공정시 이온 에너지에 의해 상대적으로 가벼운 원소인 N 원자가 우선적인 식각 혹은 스퍼터링(sputtering)의 결과로 GaN 표면이 N 결핍 표면 상태로 되어서 공기 중 O의 대체적인 결합으로 GaO<sub>x</sub> 형태의 표

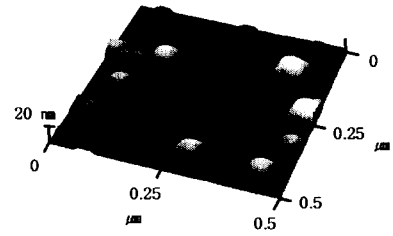
면이 형성되었기 때문이다.<sup>[7]</sup> RF 바이어스 전력 50 W에서 식각된 AES 분석 결과를 보면 Ga:N의 stoichiometry 변화는 가장 적으나 바이어스 150 W 실험 결과에 비해 높은 O peak이 검출됨을 알 수 있다. 50 W의 경우는 식각 속도가 매우 낮아 GaN 식각 표면이 상대적으로 플라즈마에 긴 시간 노출이 된다. 플라즈마 내에서 표면 반응은 비록 전체적으로 식각이 진행된다고 하더라도 증착, 산화, 탄화 등 여러 반응들이 같이 일어나므로 공정 시간이 길어질수록 플라즈마에 존재하는 오염원들이 최종 피식각물의 표면에 미치는 영향이 커질 가능성이 있다. 특히 대형 석영창을 사용하는 ICP 반응로의 경우, 유도 결합성분 외에 안테나에 걸리는 높은 전압에 의한 용량결합성분이 존재한다. 통상적으로 RF 코일에 걸리는 높은 전압에 의한 용량결합 성분을 제거하기 위해 패러데이 차폐막을 사용하지만, 본 실험장치에는 패러데이 차폐막을 구조적인 문제로 인해 사용하지 않았으므로 석영창에 용량결합으로 인한 sheath 전압이 다소 높을 것으로 생각된다. 따라서, 이 용량결합성분에 의한 석영창의 식각이 일어나고, 석영창 손상시에 석영창의 성분중 산소 성분이 플라즈마에 산소 공급원의 구실을 한다. 공정의 재현성을 위해 식각 전·후에 이루어지는 O<sub>2</sub> 방전 이외에 식각 중에도 산소 오염이 일어날 수 있으며, 바이어스 전력 50 W 조건의 경우가 150 W 조건에 비해 약간 높은 specific contact resistance를 보이는 것은 GaN 시료가 다른 식각 공정 조건에 비해 긴 시간으로 플라즈마의 노출됨에 따른 산소 오염 또는 표면 산화의 증가에 일부 기인하는 것으로 생각된다. 통상 n-type GaN의 접촉층 형성시, Al 단일 금속보다 Ti/Al 구조의 경우가 좀더 낮은 접촉 저항을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있는데 이는 GaN 표면에 형성된 산화막의 산소가 열처리시 Ti 층(layer)에 용해됨에 따른 것으로 이해되고 있다. 이러한 점을 고려해 보면 플라즈마 공정조건의 변화가 최종 접촉 저항에 미치는 영향은 식각후 공정인 금속 증착 공정에 따라 다르게 나타날 수 있음을 시사한다.

한편, 접촉 저항이 크게 나타난 RF 바이어스 전력 250 W에서의 AES 분석 결과에서는 C의 peak이 매우 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 식각후 5분간의 산소 방전으로 세정하였음에도 불구하고 매우 많은 양의 C가 검출된 것으로 보아 과도한 이온 에너지에 의해 50 W, 및 150 W의 경우보다 C, CH<sub>x</sub> 이온이 깊게 주입(implant) 되었음을 알 수 있다. C원자가 어떠한 결합을 하고 있는지 정확히 알 수 없으나 바이어스 250 W 조건에서 보여지는 높은 specific contact resistance는 명백히 C 오염에 의한 것으로 생각된다.

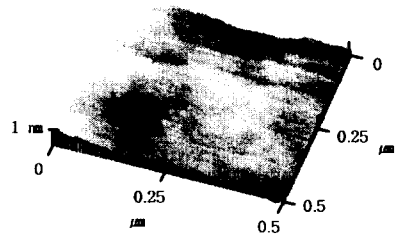
그림 7은 AFM 분석 장치로써 식각 되지 않은 GaN 박막의 표면과 RF 바이어스 전력 50 W, 150 W, 250 W에 대한 식각된 표면의 거친 정도를 비교한 것이다. 식각 되지 않은 GaN 표면의 거친 정도는 rms 거칠기 값으로 1.7 nm 정도이고, RF 바이어스 전력 50 W에서는 19.6 nm, RF 바이어스 전력 150 W에서는 1.0 nm, RF 바이어스 전력 250 W에서는 9.0 nm 정도로 나타났으며, Ar 가스 조성비의 변화에 따른 rms 거칠기 변화는 모두 2~3 nm 정도로 일정하게 나타났다. RF 바이어스 전력 50 W에서 높은 rms 거칠기가 나타난 것은 낮은 식각 속도에 따라 GaN 식각 표면이 상대적으로 플라즈마에 긴 시간 노출됨에 따른 산소 오염 또는 표면 산화의 증가의 영향으로 생각되며, RF 바이어스 전력



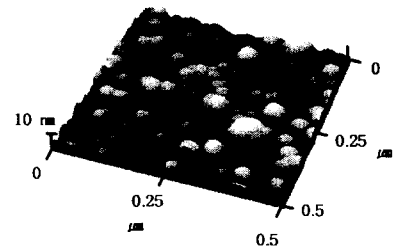
(a) control



(b) RF bias power 50 W



(c) RF bias power 150 W



(d) RF bias power 250 W

그림 7 n-type GaN의 AFM 표면 상태 (a) control (b) RF 바이어스 전력 50 W (c) RF 바이어스 전력 150 W (d) RF 바이어스 전력 250 W (입력 전력 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 5 sccm Ar 가스 유량, 공정 압력 10 mTorr)

Fig. 7 AFM surface morphology of n-type GaN (a) control(unetched) (b) RF bias power 50 W (c) RF bias power 150 W (d) RF bias power 250 W (Input power 400 W, 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 5 sccm Ar gas flow rate, working pressure 10 mTorr)

250 W에서는 RF 바이어스 전력 50 W에 비해 낮은 rms 거칠기를 보여 주지만 과도한 이온 에너지의 영향으로 식각된 표면이 손상된 것을 그림으로 유추할 수 있다. 이와 같이, GaN 표면의 거친 정도와 접촉 저항과의 상관 관계는 대체로 식각된 표면의 거친 정도가 클수록 높은 접촉 저항을 나타내는 경향을 나타낸다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 평판 유도 결합형 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar 플라즈마 식각 장치를 이용하여 건식 식각에서 공정 변수가 n-type GaN 박막의 저항성 접촉 형성에 미치는 영향을 조사하였다.

건식 식각을 하지 않은 n-type GaN 박막과 비교하였을 때 RF 바이어스 전력 50 W에서는  $8.4 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$ 의 specific contact resistance를 가지는 저항성 접촉 특성을 얻을 수 있었으며, RF 바이어스 전력 150 W, 200 W에서는  $2.4 \sim 2.5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 specific contact resistance를 가지는 저항성 접촉 특성을 이룰 수 있었다. 반면에 RF 바이어스 전력 250 W 이상에서는 과도한 이온 에너지로 인한 C 이온의 주입(implantation) 영향으로 손상된 식각 표면이  $4.7 \sim 5.6 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}^2$ 의 높은 specific contact resistance를 나타냄을 알 수 있었다. 또한 Ar 식각 가스 조성비의 변화에 따른 저항성 접촉 특성은  $2.4 \sim 4.5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$ 의 비교적 낮은 specific contact resistance를 이룸으로써 Ar에 의한 물리적 식각 보다는 Ar 도움에 의한 화학적 식각의 촉진으로 작용됨을 알았다.

결론적으로, 평판 유도 결합형 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar 플라즈마를 사용하여 입력 전력 400 W, 식각 가스 10 sccm CH<sub>4</sub>, 15 sccm H<sub>2</sub>, 5 sccm Ar, 공정 압력 10 mTorr 그리고 RF 바이어스 전력 150 W 혹은 200 W의 건식 식각 공정 변수에서 n-type GaN 박막과 금속의 계면에 낮은 저항성 접촉을 형성하는 최적 조건을 이룰 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 1998년도 학술진흥재단의 과학 기술 기초 중점 지원(반도체 분야: 과제번호 1998-016-E00016)으로 진행되었기에 이에 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Seikoh Yoshida, "Reliability of metal semiconductor field-effect transistor using GaN at high temperature," *Journal of Applied Physics*, vol. 84, no. 5, pp. 2940, 1998.
- [2] C.J. Sun, "Quantum shift of band-edge stimulated emission in InGaN-GaN multiple quantum well light-emitting diodes," *Applied Physics Letters*, vol. 70, pp. 2978, 1997.
- [3] S. Nakamura, "Room-temperature continuous-wave operation of InGaN multi-quantum-well structure laser diodes," *Applied Physics Letters*, vol. 69, pp. 4056, 1996.
- [4] R.J. Shul, "Comparison of dry etch techniques for GaN," *Electronics Letters*, vol. 32, no. 15, pp. 1408, 1996.
- [5] C.B. Vartuli, "Cl<sub>2</sub>/Ar and CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar dry etching of III-V nitrides," *Journal of Applied Physics*, vol. 80, pp. 3705, 1996.
- [6] S.J. Pearton, "Inductively Coupled Plasma Etching of III-V Nitrides in CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar and CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Chemistries," *Journal of Electrochemical Society*, vol. 144, no. 8, 1997.
- [7] A.T. Ping, "Dry Etching of GaN Using Chemically Assisted Ion Beam Etching with HCl and H<sub>2</sub>/Cl<sub>2</sub>," *Journal of Electronic Materials*, vol. 25, no. 5, pp. 825, 1996.
- [8] J.S. Foresi, "Metal contacts to gallium nitride," *Applied Physics Letters*, vol. 62, no. 22, pp. 2859, 1993.
- [9] Dieter K. Schroder, *Semiconductor Material and Device Characterization*, John Wiley & Sons, Inc. pp. 99-120, 1990.
- [10] A.T. Ping, "The Effects of Reactive Ion Etching-Induced Damage on the Characteristics of Ohmic Contacts to n-Type GaN," *Journal of Electronic Materials*, vol. 27, no. 4, pp. 261, 1998.

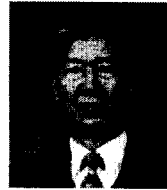
저 자 소 개



김 문 영 (金 文 永)

1970년 6월 28일생. 1996년 경북대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 053-940-8663, fax : 053-950-5505  
E-mail : mykim@palgong.kyungpook.ac.kr



이 용 현 (李 龍 鉉)

1946년 3월 17일생. 1975년 경북대 졸업(학사). 1977년 동 대학원 졸업(석사). 1991년 충남대 대학원 졸업(공학). 현재 경북대 전자전기공학부 교수

Tel : 053-950-5520  
E-mail : yhlee@ee.kyungpook.ac.kr



태 흥 식 (太 興 植)

1962년 11월 14일생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 경북대 전자전기공학부 조교수

Tel : 053-950-6563, fax : 053-950-5505  
E-mail : hstae@ee.kyungpook.ac.kr



이 정 희 (李 正 熙)

1957년 6월 30일생. 1979년 경북대 전자공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1986년 Florida Institute Technology, Electrical and computer Eng. 졸업(석사). 1990년 North Carolina State University, Electrical and computer Eng. 졸업(공학). 1990년~1993년 한국전자통신연구소 선임연구원. 현재 경북대 전자전기공학부 부교수

Tel : 053-950-6555  
E-mail : jlee@ee.kyungpook.ac.kr



이 호 준 (李 晁 駿)

1966년 10월 14일생. 1991년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학부 졸업(공학). 1996년~1998년 Kyoto University, Venture Business Lab. 강사. 1998년~1999년 경북대 전자전기공학부 연구원. 현재 위덕대 전기공학과 조교수

Tel : 0561-760-1663  
E-mail : hjlee@viro.uiduk.ac.kr



백 영 식 (白 榮 植)

1950년 7월 8일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1977년 명지대 전기공학과 조교수. 현재 경북대 전자전기공학부 교수

Tel : 053-950-5602  
E-mail : ysbaek@bh.kyungpook.ac.kr