

## Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마 조건이 n-GaN의 식각 특성 및 저저항 접촉 형성에 미치는 영향

김현수 · 이용혁 · 이재원\* · 김태일\* · 염근영

성균관대학교 재료공학과  
\*삼성종합기술원 광반도체연구실

### Effects of Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> Plasma Conditions on the etch Properties of n-GaN and ohmic Contact Formation

Hyeon-Soo Kim, Yong-Hyuk Lee, Jae-Won Lee\*, Tae-Il Kim\* and Geun-Young Yeom

Department of Material Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746

\*Photonics Lab., Samsung Advanced Institute of Technology, Suwon 449-712

(1998년 10월 1일 받음, 1999년 3월 29일 최종수정본 받음)

**초 록** 본 연구에서는 평판형 유도결합 Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마를 이용하여 n-GaN 식각하였으며 플라즈마 식각조건이 식각특성, 표면 성분, 그리고 저항형 접촉형성에 미치는 영향을 관찰하였다. Cl<sub>2</sub> 플라즈마에 수소불 100%까지 첨가함에 따라서 GaN의 식각 속도는 GaCl<sub>x</sub> 형성에 필요한 Cl 라디칼양의 감소에 따라 감소하였으며 50 Å 이내로 제한적이기는 하나 표면성분비가 Ga-과잉에서 N-과잉으로 변화하였다. 또한 GaN의 Ga과 Cl<sub>2</sub> 플라즈마의 Cl사이의 화학 반응에 의해 형성된 식각부산물은 GaN 식각 반응중 OES 분석을 이용하여 관찰하였다. n-GaN의 접촉 비저항값은 100% Cl<sub>2</sub> 플라즈마로 식각시 3×10<sup>-6</sup>Ωcm<sup>2</sup>로서 식각을 하지 않은 n-GaN위에 형성된 접촉 비저항보다 낮은 값을 나타내었으나 수소 첨가량이 증가함에 따라서 증가하였다.

**Abstract** In this study, n-GaN samples were etched using planar inductively coupled Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> plasmas and the effects of plasma conditions on the etch properties, surface composition, and ohmic contact formation were investigated as a function of gas combination. As the addition of hydrogen to the Cl<sub>2</sub> plasma increased to 100%, GaN etch rates decreased due to the reduction of chlorine radical density. Even though the variation of the surface composition is limited under 50 Å, the surface composition was also changed from Ga-rich to N-rich with the increased addition of hydrogen to Cl<sub>2</sub>. Etch products by the reaction between Ga in GaN and Cl in Cl<sub>2</sub> plasma were investigated using OES analysis during the GaN etching. The value of specific resistivity of the contact formed on the n-GaN etched using 100% Cl<sub>2</sub> plasma was 3.1×10<sup>-6</sup>Ωcm<sup>2</sup>, and which was lower than that formed on the non-etched n-GaN. However, the resistivity was increased with the increased hydrogen percent in Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>.

### 1. 서 론

전식 식각 기술은 GaN재료를 이용한 다양한 소자를 제조하기 위해서 mesa 구조를 형성하거나 laser facet을 형성하는데 매우 중요한 역할을 한다. GaN 식각시 높은 식각 속도, 마스크와의 높은 선택비, 그리고 부드러운 측면을 지닌 수직인 식각 형상이 요구되며 이를 위하여 ECR (electron cyclotron resonance) 플라즈마<sup>1-4</sup>와 유도결합형 (inductively coupled) 플라즈마<sup>5-8</sup>와 같은 다양한 고밀도 플라즈마원을 이용한 연구결과와 반응성 가스를 이용한 이온빔 장비인 CAIBE (chemical assisted ion beam etching) 법을 이용한 연구결과<sup>9-11</sup>) 등이 보고되고 있다. 이들 연구의 공통적인 사항으로는 식각 가스로 halogen계 가스와 수소성분을 포함한 가스조합을 이용하고 -150V 이상의 높은 바이어스전압을 이용하며 일부 100°C 이상의 높은 기판온도를 이용한 것이다.

현재까지 보고된 바에 의하면 Si이나 GaAs 등과 같은 다른 재료의 식각 연구에 비해 플라즈마 진단기술을 이용한 GaN의 식각 메커니즘에 관한 연구는 초보적인 단계이

다.<sup>5,7,8</sup> 또한 GaN의 식각후 발생하는 표면 성분비의 변화와 표면 거칠기의 증가에 대하여 보고되고 있으나 식각된 n-GaN상의 저저항 접촉형성과 같은 후속공정이나 전체적인 소자특성에 미치는 영향은 아직 발표된 바가 없는 상태이다.<sup>12-14</sup> 특히, 광소자의 경우 p-GaN/active layer/n-GaN의 식각이 동시에 이루어진 후 잔류하는 n-GaN위에 전극층을 형성하게 되는데 이때 잔류하는 n-GaN위에 저저항의 저항형 접촉형성은 식각 특성에 의존하게 되며 최종적인 소자 특성에 결정적인 영향을 줄 수 있다.

본 연구에서는 Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마의 식각가스 조합과 기판 온도 변화에 따른 GaN 식각 특성을 관찰하였으며 동시에 가스조합이 식각된 n-GaN의 표면성분 및 저저항 접촉형성에 미치는 영향을 관찰하였다.

### 2. 실험 방법

Si이 도핑된 n-GaN는 MOCVD (metal organic chemical vapor deposition) 법으로 (0001) 사파이어 (sapphire) 기판 위에 2μm 두께로 성장시켰다. 또한 GaN 식각 형상 관찰을 위해 식각 마스크로 PECVD로 성장된 1μm 두께의

SiO<sub>2</sub>층을 이용하였으며 반응성 이온 식각법을 이용하여 식각하였다. 본 실험에서는 선행연구결과<sup>10)</sup>로부터 최적화된 600 Watts의 inductive power, -120V의 bias 전압, 10mTorr의 압력의 일정 조건에서 Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 가스 조합과 기판온도 변화에 따른 n-GaN의 식각 특성을 관찰하였다.

Langmuir probe를 이용한 플라즈마 특성분석은 기판위 1cm에서 probe에 -60V를 가한 상태에서 양이온 전류밀도 측정을 통해 관찰되었으며 이를 이온밀도의 척도로서 사용하였다. 플라즈마내 다양한 라디칼종은 OES (optical emission spectroscopy, SC Tech. PCM402)를 이용하여 관찰하였다. 식각반응중 GaN 식각부산물의 emission 강도를 증가시키기 위해 2-inch GaN/sapphire 반쪽을 이용하여 식각하였다. Ga (402nm)과 N<sub>2</sub> (358nm) 등 물리적인 식각 부산물과 화학적 식각 부산물 GaCl<sub>x</sub> (1 < x < 4, 337nm) 중 GaCl에 해당하는 337nm peak를 선택하여 공정 변수에 따른 이들 peak들의 상대 강도를 관찰하였다. 이때 Ga와 GaCl<sub>x</sub>의 optical emission peak는 GaAs 웨이퍼의 식각 부산물 관찰로 N<sub>2</sub>의 optical emission peak는 N<sub>2</sub> 플라즈마로 확인하였다. 또한 변화하는 식각 부산물들의 emission 스펙트럼 (spectrum)의 강도는 5% 첨가된 Ar\*의 강도로 나누어 이를 상대적인 양으로 정량화 하였다.

1μm의 동일한 깊이 만큼 GaN를 식각한 후 표면의 성분 분석은 XPS와 AES에 의해 관찰하였으며 식각 과정을 거치지 않은 control GaN시편의 분석도 병행하였다. 표면 근처의 미세한 변화를 관찰하기 위해 90도의 take-off 각도에서 XPS를 이용하여 측정하였다. 또한 일부 시편에 대해 깊이에 따른 AES 분석을 하였으며 시료내 깊이는 스퍼터링 시간을 step-profilometer로 측정된 깊이로 환산하였다.

n-GaN의 접촉저항은 TLM (transmission line method)을 사용하며 분석하였으며 다음과 같은 방법으로 접촉저항을 형성하였다. 먼저 GaN위에 TLM용 mesa pad pattern을 PR로 형성한 후 기판 사파이어층이 노출되어 각 pad부분이 분리 (isolation) 되도록 GaN층을 식각하였다. 이때 TLM용 mesa 형성은 PR과의 선택비가 좋은 50%Cl<sub>2</sub>/50%HBr가스를 식각 가스로 이용하였고 inductive power/bias 전압이 400Watts/-100V의 조건에서 2μm n-GaN와 buffer층을 모두 제거하는 시간의 30%를 과식각하였다. 이후 PR을 제거한 후 다양한 가스 조합으로 1μm 두께의 GaN를 식각하는 시간만큼 식각하였고 사각형 형태의 TLM pattern을 형성한 후 전자빔 증착법을 이용하여 Ti/Al/Ni/Au을 증착하였다. 끝으로 PR 제거 후 표면 세정 과정을 거친 후 800℃에서 1분간 급속 열처리하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 GaN 식각 속도 및 식각 형상

본 실험에서는 전기적인 특성을 평가하기 위해 Si이 도핑된 n-GaN를 시편으로 이용하였는데 식각결과 undoped GaN의 식각속도와 유사한 결과를 나타내었다. 이는 Cl계의 식각가스를 이용하여 Si을 식각시 n-Si의 식각속도가

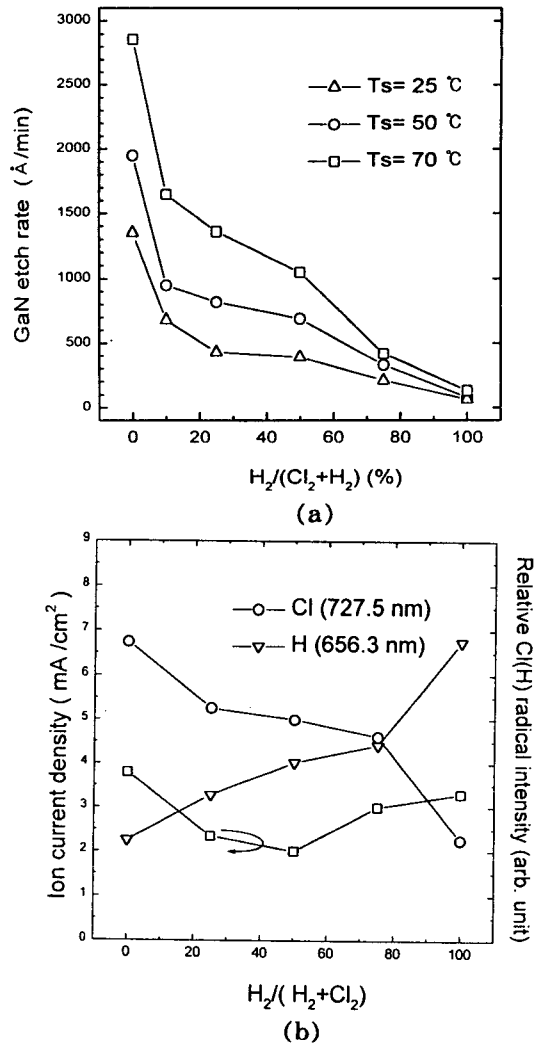


Fig. 1. (a) GaN etch rates as a function of Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> gas ratio and substrate temperature from 3°C to 70°C and (b) ion current density and Cl radical intensity as a function of Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> gas ratio at 50°C of substrate temperature. GaN etching was performed at 600 Watts of inductive power and -120 V of bias voltage.

도핑농도에 의존하는 특성과 비교하면 다른 결과이다.<sup>15)</sup> 이러한 원인으로서는 GaN 식각조건이 화학반응을 수반하기는 하나 우선적으로 높은 GaN의 결합을 끊기 위하여 강한 이온에너지를 식각에 필요로 하기 때문으로 사료되며 n-GaN의 도핑농도와도 측정 범위 내에선 무관하였다.

600 Watts의 inductive power, -120V의 bias 전압, 10mTorr에서 식각된 GaN의 식각 속도를 식각가스 조합과 기판온도에 따라 Fig. 1(a)에 나타내었다. 그림에서 보듯이 동일 기판온도에서 수소 첨가량이 증가할수록 GaN의 식각 속도는 감소하였으며 모든 식각 가스조합에서 기판온도에 비례하여 식각 속도는 증가하였다. 이러한 기판온도증가에 따른 식각속도의 향상은 그림에서 보듯이 Cl<sub>2</sub> 과잉인 가스조합에서 더 큰 효과를 보이고 있다. GaN의 식각 특성에 영향을 주게되는 플라즈마의 효과를 관찰하기 위해 OES와 Langmuir probe를 이용한 플라즈마 진단기술을 이용하였으며 이 결과의 한 예를 Fig. 1(b)에 나타내었다. 식각 가스 조합에 따른 플라즈마 상태를 기판온도 50°C의 경우에 대해 OES를 이용하여 측정된 Cl, H 라디칼 강도를

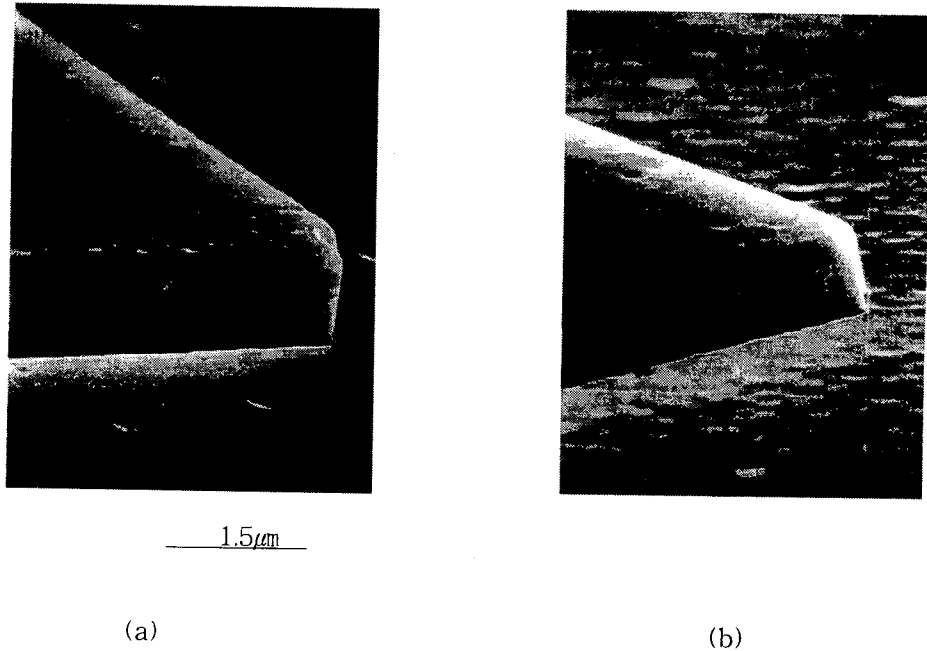


Fig. 2. SEM micrographs of oxide masked GaN etched by (a) 100% Cl<sub>2</sub> plasma and (b) 75%Cl<sub>2</sub>/25%H<sub>2</sub> plasma at 600 Watts of inductive power, -120V of bias voltage, and 70°C of substrate temperature.

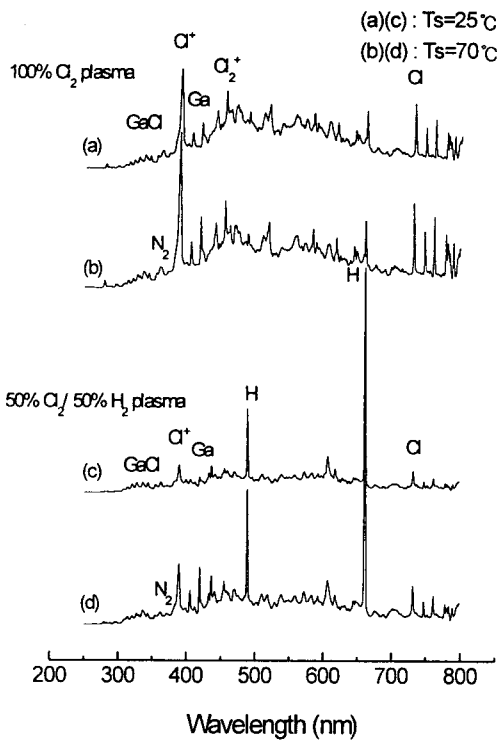


Fig. 3. Optical emission spectra in the 100% Cl<sub>2</sub> plasma and 50% Cl<sub>2</sub>/50%H<sub>2</sub> plasma during the GaN etching at 600Watts of inductive power, -120V of bias voltage and (a) and (c) are for 25°C of substrate temperature and (b) and (d) are for 70°C of substrate temperature.

Ar의 강도로 나눈 각각의 상대적인 비와 이온전류밀도의 변화량으로 나타내었다. Fig. 1의 (a)와 (b)에서 수소 가스가량이 증가함에 따라 H 라디칼은 증가하고 Cl 라디칼은 감소하였으며 세 가지 측정 인자중 GaN의 식각속도에 Cl

라디칼의 양이 가장 밀접한 관계를 보이고 있다.

한편, SiO<sub>2</sub>를 식각마스크로 이용한 GaN의 식각 형상 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보듯이 100%Cl<sub>2</sub> 또는 75%Cl<sub>2</sub>/25%H<sub>2</sub> 플라즈마로 GaN 식각시 거의 수직인 식각형상과 부드러운 측면을 얻을 수 있었다.

### 3.2 GaN 식각부산물 관찰

GaN와 플라즈마와의 반응성을 연구하기 위하여 GaN를 식각하면서 동시에 OES를 이용하여 식각부산물과 플라즈마 종의 변화를 관찰하였다. Fig. 3에는 GaN시편이 플라즈마에 노출된 상태에서 상온과 70°C의 기판온도에 따라 측정된 100%Cl<sub>2</sub> 플라즈마와 50%Cl<sub>2</sub>/50%H<sub>2</sub> 플라즈마의 optical emission 스펙트럼을 보이고 있다. Ga, GaCl, N<sub>2</sub>, Cl<sup>+</sup>, Cl, H 등의 optical emission이 관찰되었으며 100% Cl<sub>2</sub> 플라즈마와 70°C의 50%Cl<sub>2</sub>/50%H<sub>2</sub> 플라즈마의 스펙트럼 상에서 400nm부터 600nm까지 broad한 형태가 관찰되는데 이는 문헌에 보고된 바와 같이 Cl<sub>2</sub><sup>+</sup>와 연관지을 수 있다.<sup>16)</sup> 그림에서 보듯이 100% Cl<sub>2</sub> 플라즈마의 경우 상대적으로 높은 플라즈마 종의 emission 강도와 높은 식각부산물의 emission 강도를 보이고 있으며 기판온도에 따른 종류의 차이는 그다지 크지 않았다.

Fig. 4에는 70°C 기판 온도에서 가스조성 변화에 따른 플라즈마 종들과 GaN의 식각후 생성물의 상대적인 optical emission 강도를 나타내었다. 이때 구별 가능한 Ga (402nm), GaCl (337nm), N<sub>2</sub> (358nm), Cl<sup>+</sup> (389.9nm), Cl (727.5nm), H (666.3nm) 등의 optical emission peak를 선택하여 정량화에 이용하였다. 우선 각 조건에서 측정된 optical emission 강도들을 5% 첨가된 Ar의 optical emission 강도로 나눈후(Ar actinometry) 수소에 의한 signal은 100% H<sub>2</sub>에 비한 상대치를 나타내었으며 다른

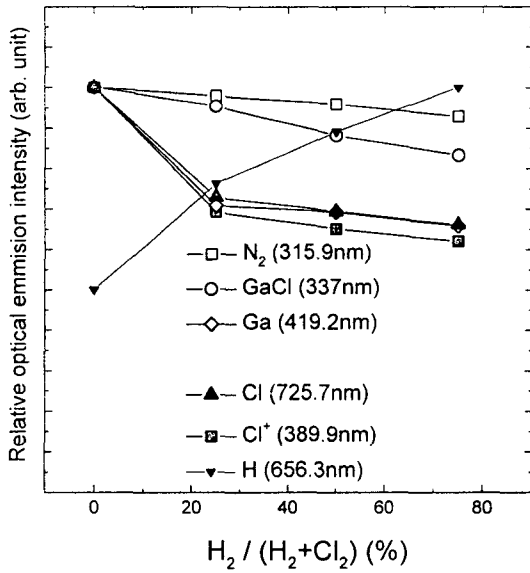


Fig. 4. Relative optical emission intensities of plasma species and etch products during the GaN etching as a function of Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> gas ratio at 600 Watts of inductive power, -120V of bias voltage, and 70 °C of substrate temperature.

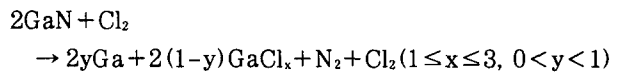
OES emission 강도는 100% Cl<sub>2</sub> 조건에서 얻은 각각의 optical emission 강도로 나눈 상대값을 사용하였다. 그림에서 보듯이 GaN 식각 생성물과 식각 가스의 emission 강도는 수소의 peak를 제외하면 수소 첨가량이 증가할수록 감소하였다. 따라서 수소 첨가량의 증가에 따른 GaN 식각 속도의 감소는 Cl 라디칼과 Cl<sup>+</sup> 이온 밀도의 감소와 밀접하게 관계되어 있는 것으로 판단되었다. 수소를 이용한 GaN의 식각은 LE4 (low energy electron etching)<sup>17)</sup>와 1000 °C 이상의 고온 및 수소분위기의 자발적인 식각<sup>18)</sup>이 보고될 뿐 수소 플라즈마만을 이용한 식각 결과는 보고되지 않는다.

Table 1에는 GaN의 Ga 혹은 N과 식각가스와와의 반응에 의한 형성 가능한 반응물의 끓는점을 나타내었다. 표에서 보듯이 요오드 화합물을 제외하고 Ga의 경우 (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Ga, Ga, GaCl<sub>3</sub>, GaBr<sub>3</sub> 순으로 높은 끓는점을 보이고 있으며, N

Table 1. Boiling points of possible GaN etch products for halogen and hydrocarbon based plasma chemistries.

Etch products	Boiling point (°C)
GaCl <sub>3</sub>	201
GaF <sub>3</sub>	~1000
GaBr <sub>3</sub>	279
GaI <sub>3</sub>	sub 345
(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Ga	55.7
NCl <sub>3</sub>	<71
NF <sub>3</sub>	-129
NBr <sub>3</sub>	na
NI <sub>3</sub>	explodes
NH <sub>3</sub>	-33
N <sub>2</sub>	-196
(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	-33

의 경우 다른 NH<sub>3</sub> 혹은 NCl<sub>3</sub>보다 N<sub>2</sub> 자체가 더욱 낮은 끓는점을 보이고 있다. 물론 식각 과정에서 제거정도는 끓는점보다는 주어진 반응온도에서의 증기압과 연관지을 수 있으나 재료의 특성으로 고려되는 증기압은 온도의 함수로 표현되고 온도에 비례하게 된다. 따라서 동일한 온도에서 식각 반응이 진행될 경우 끓는점이 낮을수록 증기압은 일반적으로 높은 값을 지니게 된다. 그러므로 표에 나타낸 식각 부산물의 끓는점은 식각 부산물의 증기압 혹은 이의 제거 정도와 밀접한 관련을 지니게 된다. 이 가운데 본 실험에서는 앞서 Fig. 4에서 보인바와 같이 식각 부산물로 물리적인 식각 반응에 의한 Ga, N<sub>2</sub> 등과 화학반응이 수반된 GaCl<sub>x</sub> 형태의 부산물이 관찰가능하였다. 또한 OES 측정시 Ga 및 N<sub>2</sub>와 같은 물리적인 스퍼터링 (sputtering)에 의한 식각 부산물도 관찰되었으며 수소첨가에 따른 수소가 포함된 식각 부산물은 관찰되지 않았다. 첨가가스로 사용한 수소 성분의 경우 표에서 보듯이 CH<sub>4</sub> 형태가 아닌 H<sub>2</sub>, HBr의 가스를 이용할 경우 다른 부산물의 형성은 기대하기 어려웠으며 결과적으로 GaN의 식각 속도를 감소시키는 것으로 예상할 수 있다. 또한 첨가된 수소의 경우 낮은 스퍼터링 효과를 지니므로 GaN의 식각속도에 수소의 첨가가 유리하지 않음을 알 수 있었다. 이상의 결과로부터 GaN과 Cl<sub>2</sub>계 플라즈마간의 식각 반응은 아래 식과 같은 반응이 주 반응을 예측 가능하였다.



### 3.3 표면 성분 분석

일반적으로 GaN 식각 연구에서의 경우 표면성분 분석은 대부분 AES를 이용하여 정성적인 관찰에 의존하고 있는 상황이며 이의 정량화나 식각 조건 변화에 따른 결과분석은 보고되지 않는다. 이들 결과에서 보면 CAIBE와 같은 이온 빔이나 Ar 플라즈마를 이용할 경우 스퍼터링에 의한 물리적인 식각 반응이 지배적이므로 정량적이지는 않으나 식각 전 후 표면의 AES 분석결과를 보면 질소가 상대적으로 더 감소하는 결과를 보이고 있다. 식각전후 화학양론비를 유지하는 식각결과는 ICl/Ar ECR 플라즈마를 이용하고 낮은 source power에서 식각된 연구결과만이 보고된다.<sup>2,10)</sup> 본 연구진에서는 식각과정을 거치지 않은 GaN 시편의 XPS 성분분석결과를 통하여 sensitivity factor를 보정하여 이를 1 : 1의 기준으로 함으로써 식각한 시편의 성분비를 분석하였다. 800 °C 열처리 전후에서 가스조합에 대해 관찰하였으며 Ga/N 성분비 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 100% Cl<sub>2</sub>를 사용하였을 때는 Ga이 부족한 표면 성분비를 보이고 있으며 수소 첨가량을 50%까지 증가시킬수록 식각된 GaN 표면의 성분비는 1 : 1에 접근하였다. 수소 첨가량을 더욱 증가시킬수록 질소 부족상태로 표면조성이 변화되었으며 이런 표면 조성의 질소부족으로의 변화는 Ga 성분 부족의 주요 원인인 Cl 라디칼 밀도의 감소에 따른 GaCl<sub>x</sub> 형성량의 감소로 사료된다. 한편 그림에서 보듯이 식각을 거

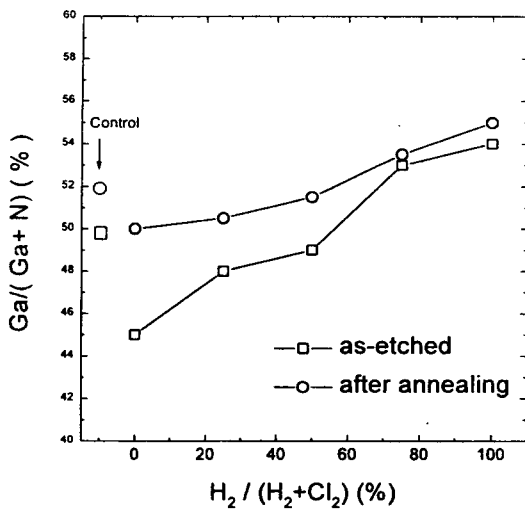


Fig. 5. Surface composition of non-etched GaN and the GaN etched with Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> plasmas measured by XPS as a function of Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> gas ratio before and after the thermal annealing. The etching conditions are the same as Fig. 4.

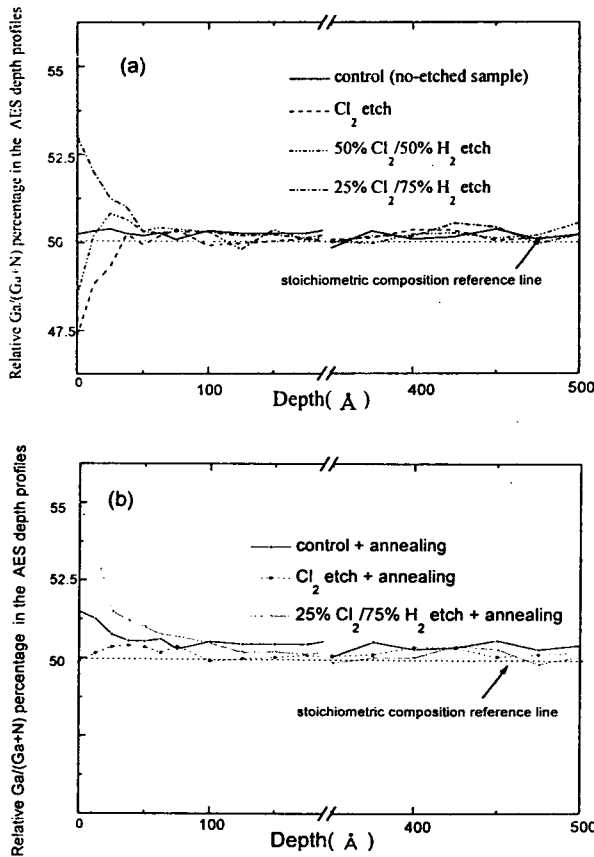


Fig. 6. AES depth profile of the non-etched GaN and the GaN etched with Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> plasmas (a) before and (b) after the thermal annealing. The etching conditions are the same as Fig. 4.

치지 않은 시편을 포함하여 식각후 열처리에 의해 자발적인 질소성분의 증발로 질소성분의 감소가 열처리 후에 관찰되며 모든 식각 조건에서 유사한 경향을 보이고 있다.<sup>10, 19)</sup>

AES depth profile을 이용 비화학양론적인 GaN층의

깊이에 따른 변화를 관찰하였으며 Fig. 6에 깊이에 따른 Ga/N의 비를 나타내었다. 100%Cl<sub>2</sub>, 50%Cl<sub>2</sub>/50%H<sub>2</sub>, 25%Cl<sub>2</sub>/75%H<sub>2</sub> 플라즈마로 각각 식각된 GaN 표면의 식각 후와 열처리 후의 관찰 결과를 식각 과정을 거치지 않은 control 시편과 함께 나타내었는데 그림에서 보이는 바와 같이 비화학양론적인 GaN의 깊이는 모든 경우에서 100 Å을 넘지 않았고, 조성 변화는 50 Å 근처에 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 이상의 두 가지 표면분석에서 식각 후나 식각전의 GaN을 급속열처리(RTA)를 통하여 열처리하였을 경우 Ga/N의 비를 증가시켰는데, 이것은 GaN 표면의 질소가 증발하기 때문으로 사료된다. 또한 이러한 열처리에 따른 GaN의 성분비 변화는 식각 조건에 의존하여 성분비가 변화하게 되므로 열처리전 식각된 n-GaN의 표면 상태는 매우 중요한 영향을 주게 된다.

### 3.4 n-GaN의 저저항 접촉형성에 미치는 영향

일반적으로 GaN-based LED 또는 LD 소자 제작을 위해 p-GaN과 n-GaN위에 전극을 형성하게 된다. p전극의 경우에는 식각시 마스크층에 의해 보호되는 p-GaN위에 형성되는데 비하여 n전극의 경우 식각시 플라즈마에 노출되게 되는 n-GaN위에 형성되게 된다. 이러한 플라즈마에 의한 n-GaN의 노출은 에너지를 가진 이온의 충돌과, 플라즈마 종들의 표면 주입과, 위에서 논의된 바와 같이 표면 성분비 변화로 인하여 식각된 표면에 전기적인 손상을 형성할 수 있다. Fig. 7에는 식각된 GaN 표면 위에 전극층을 형성한 후 800 °C에서 1분간의 RTA 처리한 다음 가스 조성 변화에 따른 TLM 분석으로 얻어진 접촉 비저항값의 변화를 보여주고 있다. 측정된 접촉 비저항값은 3-20 × 10<sup>-6</sup> Ωcm<sup>2</sup>로 측정되었는데 가장 낮은 접촉 비저항은 100% Cl<sub>2</sub>가스로 식각한 GaN위에 형성된 경우에서 관찰되었으며 수소의 첨가량이 증가할수록 열처리 후 형성된 접촉 비저항은 증가하였다. 식각과정을 거치지 않은 GaN과 식각된 GaN의 비저항을 비교하여 보면, 75% 이상의 수소가 첨가된 Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>

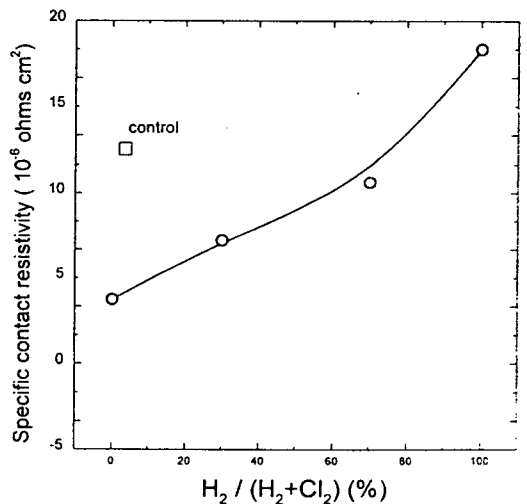


Fig. 7. Specific contact resistivities measured by TLM as a function of Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> gas ratio after the thermal annealing. The etching conditions are the same as Fig. 4.

플라즈마로 식각된 두가지 경우를 제외하고는 식각되지 않은 GaN의 비저항 값이 식각된 GaN의 비저항에 비하여 높았다. 따라서 이 결과를 보면 식각 과정을 거치면서 n-GaN에 형성된 손상은 크지 않음을 알 수 있으며 오히려 접촉 비저항이 감소된 결과를 보이고 있다. 본 실험식각 조건이 낮은 손상을 보이는 원인으로는 여러 가지를 고려할 수 있으나 기존에 보고된 다른 식각 결과들에 비해 낮은 bias 전압을 인가하고 70°C의 기관온도를 사용하였기 때문으로 사료된다. 한편, 후속열처리를 하지 않을 경우에는 TLM에 의하여 측정된 접촉 비저항은  $1.6\text{--}4.7 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}^2$ 로 매우 높은 비저항값이 측정되었으며 Fig. 7에 비해 식각 조건에 따른 큰 차이는 보이지 않았다. 이 경우에는 모두 식각 과정을 거치지 않은 시편의 접촉저항값 ( $2.1 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}^2$ )에 거의 유사한 값을 보이고 있으나 실제 전극형성조건에서 열처리를 하지 않을 경우 충분한 전극형성이 이루어지지 않았으므로 이값을 가지고 논의하기에는 어려움이 있다. 그러므로 실제 접촉 형성조건인 800°C의 급속열처리를 거친 결과를 통해 식각 조건에 따라 접촉 저항값이 의존함을 알 수 있었고 수소 성분이 첨가될수록 접촉 저항값이 증가하는 것을 알 수 있었다.

한편, 그림으로 나타내지는 않았으나 TLM 분석으로 동시에 얻어지는 GaN의 내부 비저항값은 식각조건에 관계없이 일정하였으며 식각 과정을 거치지 않은 GaN의 값에 비해 동일한 값을 보이고 있다. 이 결과로부터 GaN식각시 전기적 특성 변화는 표면 층에 국한됨을 알 수 있었고 수소 첨가에 따른 손상증가의 원인으로는 수소 성분의 내부로의 침투에 따른 전기적 손상과 동일 두께를 식각하는 조건으로 식각시 증가된 플라즈마내 노출 시간이 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 intrinsic하게 n-형 전도도를 보이는 질소 vacancy와 논문에서 보고된 바 있는 질소와 Ti 급속간의 반응성에 영향을 주게되는 표면성분비도 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.<sup>20)</sup>

#### 4. 결 론

본 연구에서는 MOCVD로 사파이어위에 성장된 n-GaN 시편을 평균형 유도결합 Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마를 이용하여 식각하였으며 GaN의 식각속도, 식각형상, 식각부산물, 표면 성분분석, 후속 n-GaN의 저저항 접촉형성에 미치는 영향을 관찰하였다. 이때 플라즈마 진단기술을 이용하여 기본적인 유도결합형 플라즈마 특성 뿐만 아니라 GaN 식각반응 중 식각부산물 관찰을 이용하여 GaN의 식각반응 메카니즘도 연구하였다.

동일한 식각조건인 Cl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마에서 Cl<sub>2</sub> 첨가량과 기관온도가 증가함에 따라 GaN 식각 속도는 증가하였으며 이는 플라즈마내 Cl 라디칼 및 Cl계 이온들과 GaN 간의 반응성 증가에 따른 결과로 진단결과를 통해 알 수 있었다. SiO<sub>2</sub>로 마스크된 GaN 식각형상 관찰결과, Cl<sub>2</sub> 과잉의 식각 가스를 이용한 경우 측면이 smooth하고 수직형 식각 형상을 얻을 수 있었다. 또한 GaN 식각 반응중 OES분석을 이용 Ga, N<sub>2</sub> 그리고 GaCl<sub>x</sub> 형태의 부산물의 형성 및 변화정

도를 관찰 가능하였으며 식각속도와 밀접한 관련성을 보이고 있었다. 또한 수소를 첨가함에 따라서 GaN의 표면 성분비는 Ga부족에서 질소 부족으로 변화하였으며 후속 열처리 시 질소성분비는 감소하였음을 XPS와 AES분석을 통해 알 수 있었다. 끝으로 식각된 n-GaN위에 형성된 접촉 비저항은 100% Cl<sub>2</sub>가스로 식각한 경우 가장 낮은 값을 보이고 있으며 수소 첨가량이 증가할수록 이 값은 증가하였다.

이상의 결과를 바탕으로 Cl<sub>2</sub> 과잉의 식각가스를 이용한 유도결합형 GaN 식각조건은 높은 식각속도와 수직형 식각형상을 보이는 장점 뿐만 아니라 후속 n-GaN의 저저항 접촉형성에도 가장 효과적임을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국연구상기조합의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 GaN시편 성장과 contact 실험에 도움을 주신 박용조 박사님과 김진석, 김택씨께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. J. C. Zolper and R. J. Shul, MRS BULLETIN/FEBRUARY p.36 (1997).
2. R. J. Shul, S. P. Kilcoyne, M. H. Crawford, J. E. Parmeter, C. B. Vartuli, C. R. Abernathy, and S. J. Pearton, Appl. Phys. Lett. **66**, 1761 (1995).
3. C. B. Vartuli, S. J. Pearton, J. W. Lee, J. D. MacKenzie, C. R. Abernathy, and R. J. Shul, J. Vac. Sci. Technol. **A15**, 638 (1996).
4. S. J. Pearton, C. B. Vartuli, R. J. Shul and J. C. Zolper, Mat. Sci. Eng. **B31**, 1 (1995).
5. H. Cho, J. Hong, T. Maeda, S. M. Donovan, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, R. J. Shul, and J. Han, J. Electon. Mat., **27**, 915 (1998).
6. S. A. Smith, C. A. Wolden, M. D. Bremser, A. D. Hanser, R. F. Davis, and W. V. Lampert, Appl. Phys. Lett, **71**, 3631 (1997).
7. R. J. Shul, C. G. Wilson, M. M. Bridges, J. Han, J. W. Lee, S. J. Pearton, C. R. Abernathy, J. D. MacKenzie, L. Zhang and L. F. Lester, J. Vac. Sci. Technol. **A16**, 1621 (1998).
8. H. S. Kim, Y. J. Lee, Y. H. Lee, J. W. Lee, M. C. You, T. I. Kim, and G. Y. Yeom, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. **468**, 367 (1997).
9. A. T. Ping, I. Adesida, and M. Asif Khan, Appl. Phys. Lett. **67**, 1250 (1995).
10. I. Adesida, A. T. Ping, C. Youtsey, T. Sow, M. A. Khan, D. T. Olson, and J. N. Kuznia, Appl. Phys. Lett. **65**, 889 (1994).
11. W. J. Lee, H. S. Kim, J. W. Lee, T. I. Kim, and G. Y. Yeom, Jpn. J. Appl. Phys., **37**, 7006 (1998).
12. K. Saotome, A. Matsutani, T. Shirasawa, M. Mori, T. Honda, T. Sakaguchi, F. Koyama, and K. Iga,

- Mat. Res. Soc. Symp. Proc. **449**, 1029 (1997).
13. A. T. Ping, A. C. Scmitz, I. Adesida, M. A. Khan, Q. Chen, and J. W. Yang, *J. Electron.Mat.*, **26**, 266 (1997).
  14. S. J. Pearton, J. W. Lee, J. D. MacKenzie, C. R. Abernathy, and R. J. Shul, *Appl. Phys. Lett.* **67**, 2329 (1995).
  15. E. A. Ogryzlo, D. E. Ibbotson, D. L. Flamm, and J. A. Mucha, *J. Appl. Phys.*, **67**, 3115 (1990).
  16. V. M. Donnelly, *J. Vac. Sci. Technol.* **A14**, 1076 (1996).
  17. H. P. Gills, D. A. Choutov, K. P. Martin, S. J. Pearton, and C. R. Abernathy, *J. Electrochem.Soc.*, **143**, L251 (1996).
  18. K. Hiramatsu, H. Matsushima, H. Hanai, and N. Sawaki, **482**, 991 (1997).
  19. C. R. Eddy, L. J. Glembocki, D. Leonhardt, V. A. Shmanian, R. T. Holm, B. D. Holms, J. E. Butler and S. W. Pang, *J. Electron. Mat.*, **26**, 1320 (1997).
  20. B. P. Luther, S. E. Mohny, T. N. Jackson, M. A. Khan, Q. Chen, and J. W. Yang, *Appl Phys. Lett.* **70**, 57 (1997).