

유도 결합형 Cl₂계 플라즈마를 이용한 GaN 식각 특성에 관한 연구

김현수, 이재원*, 김태일*, 염근영

성균관대학교 재료공학과
 * 삼성종합기술원 광반도체연구실

A study of the GaN etch properties using inductively coupled Cl₂-based plasmas

H. S. Kim, J. W. Lee*, T. I. Kim* and G. Y. Yeom

Department of Materials Engineering, Sungkyunkwan University
 * Photonics Lab., Samsung Advanced Institute of Technology

Abstract

GaN etching was performed using planar inductively coupled Cl₂-based plasmas and the effects of main process parameters on the characteristics of the plasmas and their relations to GaN etch rates were studied. Also, the GaN etch mechanism was investigated using a Langmuir probe and optical emission spectroscopy (OES) during the etching, and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) of the etched surfaces. The GaN etch rates increased with the increase of chlorine radical density and ion energy, and a vertical etch profile having the etch rate close to 4000 Å/min could be obtained. The addition of 10% Ar to Cl₂ gas increased the GaN etch rate and the addition of Ar (more than 20%) and HBr generally reduced the GaN etch rate. The GaN etch rate appeared to be more affected by the chemical reaction between Cl radicals and GaN compared to the physical sputtering itself under the sufficient ion bombardments to break GaN bonds.

1. 서 론

GaN와 같은 III-nitride의 wide bandgap 반도체는 고밀도 정보 저장용 CD(compact disk)나 새로운 display 제조 용도의 LED(light-emitting diodes) 뿐만아니라 blue-emitting laser 소자 제조를 위해 널리 연구되고 있다. 이러한 소자를 제

조하는데 있어서 GaN 또는 이의 화합물의 낮은 화학 반응성에 의해 습식법에 의한 식각 속도가 매우 느리기 때문에 건식 식각 기술은 mesa구조 형성과 laser diode를 제작하기 위하여 필요한 경면(mirror facet)을 제작하는데 현재로서 유일한 방법으로 주목 받고 있다. 이는 기판의 cleavage 면과 GaN 및 이의 화합물이 가진 cleavage 면이

일치하지 않기 때문에 발생한 문제이며 최초로 LD발진에 성공한 일본의 Nichia에서의 경우 아직 sidewall roughness 등의 식각 특성이 최적의 특성을 보이지 않지만 SiCl_4 가스를 이용한 반응성이온 식각(reactive ion etching)을 이용하여 경면을 형성하였다¹⁾.

현재까지 보고된 바에 의하면 습식법²⁾이나 반응성이온 식각법³⁻⁵⁾으로는 수백 Å/min 이하의 낮은 GaN 식각 속도를 보이고 있으며 최근 들어 고밀도 플라즈마원⁶⁻¹⁴⁾과 이온빔¹⁵⁻¹⁸⁾을 이용한 결과가 보고되고 있다. III-nitrides에 대한 건식 식각 기술은 고밀도 플라즈마원을 이용함으로써 가장 팔목할만한 발전을 이루게 되는데 GaN 식각에는 ECR⁶⁻¹¹⁾과 ICP¹²⁻¹⁴⁾에 의한 결과가 보고되고 있다. 그러나 이러한 GaN의 식각에 대한 연구는 대부분 GaN의 식각 속도 향상이나 고온 전자소자 응용시 요구되는 InGaN, AlGaIn과 같은 여러 가지 화합물간의 식각 선택비에 관한 연구^{10, 13, 19)}가 대부분이며 플라즈마 진단결과나 실제 식각 기구에 대한 연구 결과는 거의 보고되지 않는다.

본 논문에서는 고밀도 플라즈마원중 하나인 유도결합형 Cl_2/Ar 과 Cl_2/HBr 플라즈마를 이용하여 GaN를 식각하고 가스 조합 및 inductive power, bias voltage, 기판 온도 변화에 따른 GaN의 식각 특성을 연구하였다. 또한 OES와 Langmuir probe 등의 플라즈마 진단방법을 통해 플라즈마 특성을 관찰하였으며 GaN 식각 반응중의 식각 부산물 관측과 식각후 표면분석을 이용하여 GaN의 식각 기구를 연구하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용한 n-GaN 박막은 MOCVD법으로 Al_2O_3 위에 2 μm 두께로 성장시켜 사용하였으며 평판형 유도 결합 플라즈마 식각 장비를 이용하여 다양한 공정 변수에 따른 GaN 식각속도 변화를 관찰하였다. GaN 식각을 위해 Cl_2 가스와 Ar

또는 HBr과의 가스조합을 10mTorr의 일정 압력을 유지하는 조건하에서 사용하였으며 플라즈마를 형성시키는 source power인 inductive power는 200W에서 600W로, bias voltage는 0 V에서 -120V 까지 변화를 주었다. 기판 온도는 chiller를 이용하여 3°C에서 70°C까지 변화를 주었으며 식각 마스크층으로 PR과 SiO_2 두가지를 이용하였고 SEM에 의해 식각 형상을 관찰하였다.

GaN 식각시 플라즈마내 양이온 밀도의 척도로써 이온 전류밀도를 single Langmuir probe를 chamber 중앙에 기판에서 1cm위에서 측정하였으며 플라즈마내 발생하는 다양한 여기종(excited species)은 OES를 이용하여 측정하였다. OES에 의해서는 관측되는 파장은 여기종의 파장이므로, 주 종을 관측하기 위해서는 actinometry라는 기술을 사용해야 한다. 즉, 여기 종의 파장의 크기에 관여하는 전자의 밀도 및 온도를 보정하기 위해 아르곤 가스를 미량 첨가하여 두파장의 비를 관측하는 방법인데 본 실험에서는 5%의 Ar을 actinometry용 가스로 첨가하였다. 또한 GaN의 식각 부산물을 관찰하기 위해 emission 강도를 증가시키기 위해 2-inch GaN/sapphire 반쪽을 이용하였으며 Ga(402nm)과 N_2 (358nm) 등 물리적인 식각 부산물과 화학적 식각 부산물인 GaCl_x ($1 < x < 4$)중 GaCl에 해당하는 peak의 공정변수에 따른 상대 강도를 관찰하였다. 이때 Ga, GaCl_x optical emission peak는 GaAs 웨이퍼의 식각 부산물 관찰로 N_2 의 optical emission peak는 N_2 플라즈마로 확인하였다. 끝으로 식각전 후 GaN 표면의 성분분석은 XPS에 의해 관찰하였으며 표면 성분비의 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 이온 전류 밀도 및 가스분해도를 Cl_2 가스를 주 식각가스로 한 여러 가스조합에 대해 관련된 inductive power와 이온에너지와 관련

된 bias voltage에 따라 관찰하였으며, 이를 Fig. 1에 나타내었다. 우선 GaN의 높은 결합력과 낮은 화학 반응성으로 낮은 기판온도나 bias voltage가 인가되지 않은 조건하에서의 자발적인 식각 반응은 진행되지 않았다. -60 V와 -120 V의 bias 전압이 인가된 조건에서 100%Cl₂, 60%Cl₂/40% Ar, 그리고 60%Cl₂/40%HBr 세 가지 식각 가스 조합에서 inductive power 변화에 따른 GaN의 식각 속도를 관찰하였으며 이 결과를 Fig. 1(a)에 나타내었다. 이때 기판온도는 25°C, 압력은 10 mTorr로 일정하게 하였는데 그림에서 보듯이 GaN 식각 속도는 inductive power를 200W에서 800W로 증가시키기에 따라 bias voltage에 관계없이 증가하고 있으며 60%Cl₂/40%Ar가스에 비해 100%Cl₂ 가스가 높은 식각 속도를 보이고 있다. 이러한 식각 속도의 증가는 Fig. 1(b)에 보인 이온 전류 밀도와 Fig. 1(c)의 OES에 의해 측정된 Cl peak과 소량 첨가한 Ar의 상대비로 연관지을 수 있었다. 먼저 이온 전류 밀도는 다양한 가스 조합의 플라즈마에서 이온 밀도의 척도로서 고려할 수 있으며 모든 가스라디칼 조합에서 inductive power를 증가할수록 이 값은 선형적으로 증가하였다. 또한 Cl의 상대적인 라디칼 밀도를 나타내는 Cl/Ar(Ar actinometry에 의한 Cl라디칼 밀도의 상대량)의 상대비 역시 그림에서 보듯이 inductive power에 비례하여 증가하였다. 이상의 Fig. 1의 결과로 부터 inductive power증가에 GaN 식각 속도 증가는 이온밀도와 가스 분해율의 증가에 따른 Cl 라디칼 증가가 동시에 영향을 준 것으로 판단할 수 있었다. 한편, 그림으로 보이지는 않았으나 400W와 600W의 inductive power에서 -20V에서 -200 V로의 bias voltage를 증가시켜 GaN의 식각속도를 관찰한 결과 GaN의 식각 속도는 전압에 비례하여 증가하였다. Inductive power가 일정할 경우 이온 밀도와 Cl 라디칼 밀도는 거의 동일하므로 이때의 GaN 식각 속도의 증가는 이온 에너지 증가에 따른 스퍼터링 효과로 사료된다.

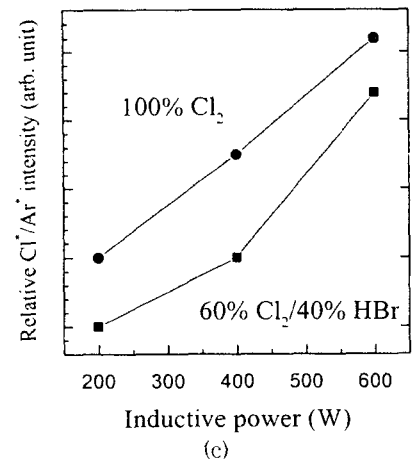
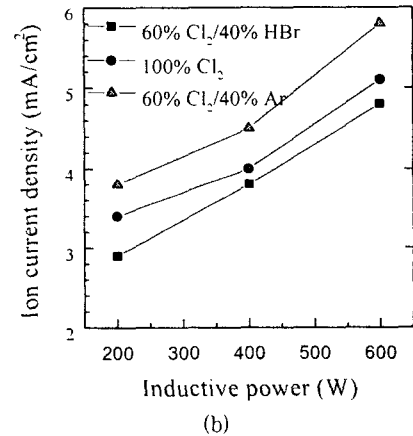
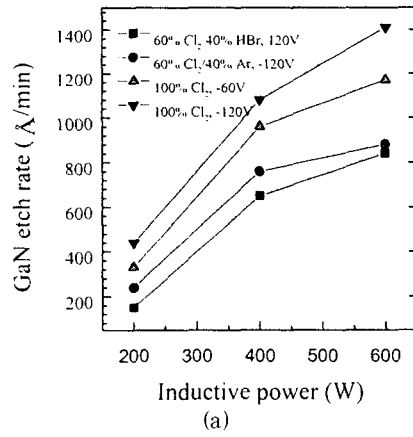
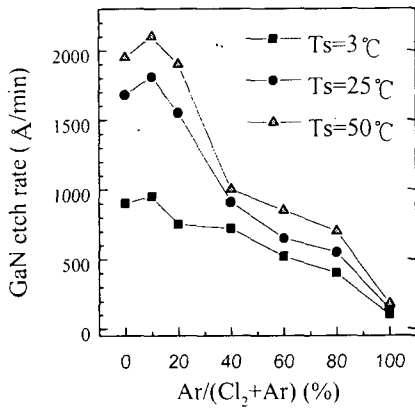
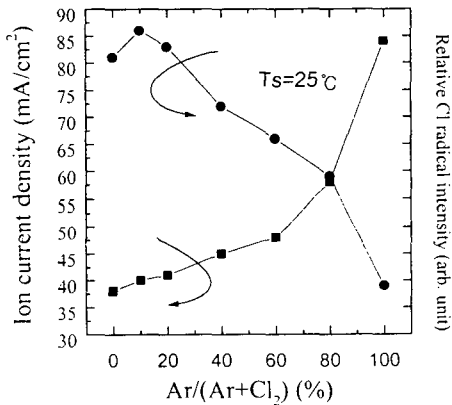


Fig. 1. (a) GaN etch rates, (b) ion current density, and (c) Cl radical intensity as a function of inductive power from 200 Watts to 600Watts.

Fig. 2에는 400W의 inductive power와 -120 volts의 bias voltage에서 Cl_2/Ar 의 가스조합 및 기판온도 변화에 따른 (a) 식각속도, (b) 이온전류밀도와 Cl optical emission peak 강도 변화를 각각 나타내었다. Fig. 2(a)에 보듯이 Ar을 Cl_2 가스에 20% 이상 첨가할 경우 모든 기판온도에서 GaN의 식각속도는 감소하였으나 10%의 Ar을 첨가한 경우에는 오히려 식각 속도가 다소 증가하



(a)



(b)

고 있다. Fig. 2(a)에 보듯이 Ar을 Cl_2 가스에 20% 이상 첨가할 경우 모든 기판온도에서 GaN의 식각속도는 감소하였으나 10%의 Ar을 첨가한 경우에는 오히려 식각 속도가 다소 증가하

고 있다. Ar 첨가량이 증가함에 따라 Cl_2/Ar 플라즈마는 Fig. 2(b)와 같이 이온전류밀도는 선형적으로 증가하고 있는데 이는 Cl_2 에 비해 Ar의 높은 이온화율에 기인한 결과로 사료된다. 이에 비해 Cl optical emission peak 강도에 의해 예측될 수 있는 Cl 라디칼 밀도는 식각 가스내 Cl 라디칼의 공급원이 될 수 있는 Cl_2 양이 첨가된 Ar만큼 감소함에도 불구하고 90% Cl_2 /10%Ar 플라즈마의 경우 100% Cl_2 플라즈마보다 더 높은 Cl라디칼 밀도를 보이고 있다. 이는 첨가된 10%의 Ar이 Cl_2 가스로부터의 Cl 라디칼 형성을 더욱 촉진하는 것으로 보여지며 20% 이상의 Ar을 첨가한 경우에는 이러한 효과는 Cl_2 가스 절대량의 감소로 인해 줄어들어 Cl 라디칼의 양은 감소하였다. Fig. 2로부터 물리적인 식각효과로 고려될 수 있는 이온전류 밀도보다는 화학적 식각 반응을 촉진시킬 수 있는 Cl 라디칼 밀도가 GaN 식각 속도에 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다. 이는 Ar의 높은 이온화율에 의한 상대적으로 높은 이온 밀도에 불구하고 GaN 식각에는 큰 영향을 주지 못하였으며 Cl 라디칼의 양과 같이 화학적 식각 반응을 일으킬 수 있는 식각 요소가 최종적인 식각 속도에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 이상의 결과를 통해 GaN 식각 반응이 이온충돌에 의한 물리적인 sputtering에도 의존하나 N에 비해 상대적으로 낮은 증기압을 보이는 Ga의 제거에 효과적인 GaCl_x 등과 같은 비교적 volatile한 식각 부산물의 형성을 수반하는 화학적 반응이 식각 속도 증가에 가장 중요함을 알 수 있었다. 또한 그림에서 보이는 바와 같이 기판 온도 증가에 따른 GaN 식각 속도 증가로서도 이러한 화학적 식각 반응의 효과를 확인할 수 있었다. 100% Cl_2 플라즈마에서 기판온도 증가에 따른 식각속도 증가는 더욱 잘 나타나는데 이 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Inductive power가 400Watts 또는 600Watts인 경우 모두 기판온도 증가에 따라 GaN의 식각속도는 증가하고 있으며 두 조건 모두 40-50°C

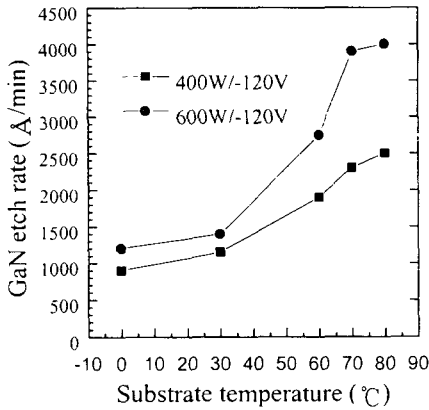
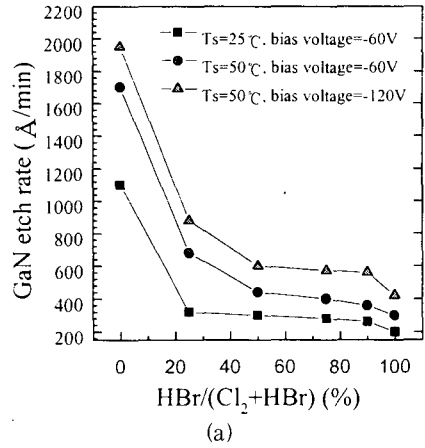


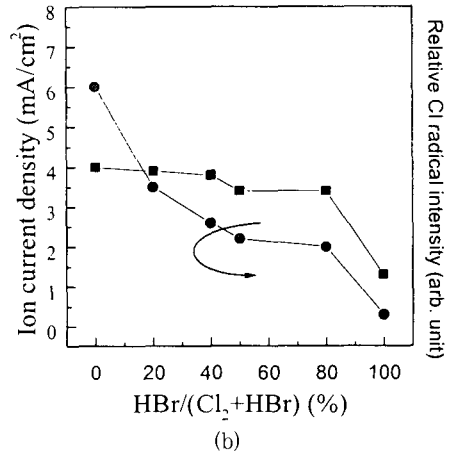
Fig. 3. GaN etch rate as a function of substrate temperature in the 100% Cl₂ plasma, 400 Watts or 600 Watts of inductive power and -120 V of bias voltage.

근처에서 급격한 식각속도의 증가를 보이고 있다. 이러한 기판온도 증가에 따른 식각 속도 증가는 증기압이 높은 식각부산물형성 증가와 기인한 것으로 사료된다.

앞서 Cl₂/Ar 플라즈마의 경우 식각 속도는 높으나 PR과의 식각 선택비는 1이하로 낮은 값을 보이고 있으며 1-2μm 깊이의 식각이 많은 문제점을 지닌다. 이를 개선하고자 즉, PR을 강화시키기 위해 CHF₃, H₂, 그리고 같은 halogen 가스인 HBr을 첨가가스로 이용할 수 있는데 본 연구에서는 HBr을 첨가가스로 이용하였다. Cl과 마찬가지로 halogen족인 Br은 Si식각시 PR과의 선택비를 향상시키고 낮은 자발적인 화학 반응성으로 식각형상의 수직성을 증가시키는 효과를 나타내는 것으로 보고되며 GaN 식각과 관련하여 HBr과 같은 Br을 함유한 가스를 이용한 식각은 RIE에 의한 HBr/(Ar,H₂)⁴⁾와 ECR에 의한 HBr/H₂⁸⁾에 의한 연구가 보고된다. Fig. 4에는 Cl₂/HBr간의 가스조합에 따른 식각 속도와 플라즈마 특성 결과를 나타내었으며 이때 inductive power는 400Watts, bias voltage는 -120V로 유지하였다. 그림에서 보듯이 GaN의 식각 속도는 HBr 첨가량의 증가에



(a)



(b)

Fig. 4. (a) GaN etch rates as a function of Cl₂/HBr gas ratio, substrate temperature, and bias voltage and (b) ion current density and Cl radical intensity as a function of Cl₂/HBr gas ratio at 25°C of substrate temperature, 400 Watts of inductive power and -120 V of bias voltage.

따라 감소하는 경향을 보이고 있으며 이는 이온전류밀도의 감소와 Cl 라디칼 양의 감소에 의한 결과로 판단된다. 또한 GaBr_x 형태의 화학적 식각 효과 또한 크지 않음을 알 수 있었으며 HBr의 분해에 따른 Br의 Br₂로의 전환에 의해 반응성이 저하되는 것으로 사료된다. Cl₂/HBr의 식각 가스 조합을 이용하여 3:1 이상의 식각 선택비를 얻을 수

있었으나 식각 형상을 관찰한 결과 식각전 PR 자체의 slope에 의하여 수직성을 지닌 비등성의 식각 형상은 얻을 수 없었다. 그러나 PR을 식각 마스크로 이용한 이 식각 조건들은 소자 제조 공정을 단순화 할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 이 식각 조건들은 vertical한 식각 형상이 크게 중요하지 않은 LED소자 제조공정이나 mesa구조를 형성하는데 효과적인 것으로 사료된다. 75%Cl₂/25%HBr에서 900Å/min의 식각 속도와 PR간의 2.5:1의 식각 선택비를 얻을 수 있었으며, 이에 대한 식각 profile을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 PR의 손상으로 인해 식각된 GaN의 수직성은 감소함을 알 수 있다.

Fig. 6에는 상온의 기판 온도에서 식각된 Cl₂/Ar의 가스 조성비에 따른 식각 형상을 나타내었



Fig. 5. SEM micrographs of PR masked GaN etched by 60%Cl₂/40%HBr plasma

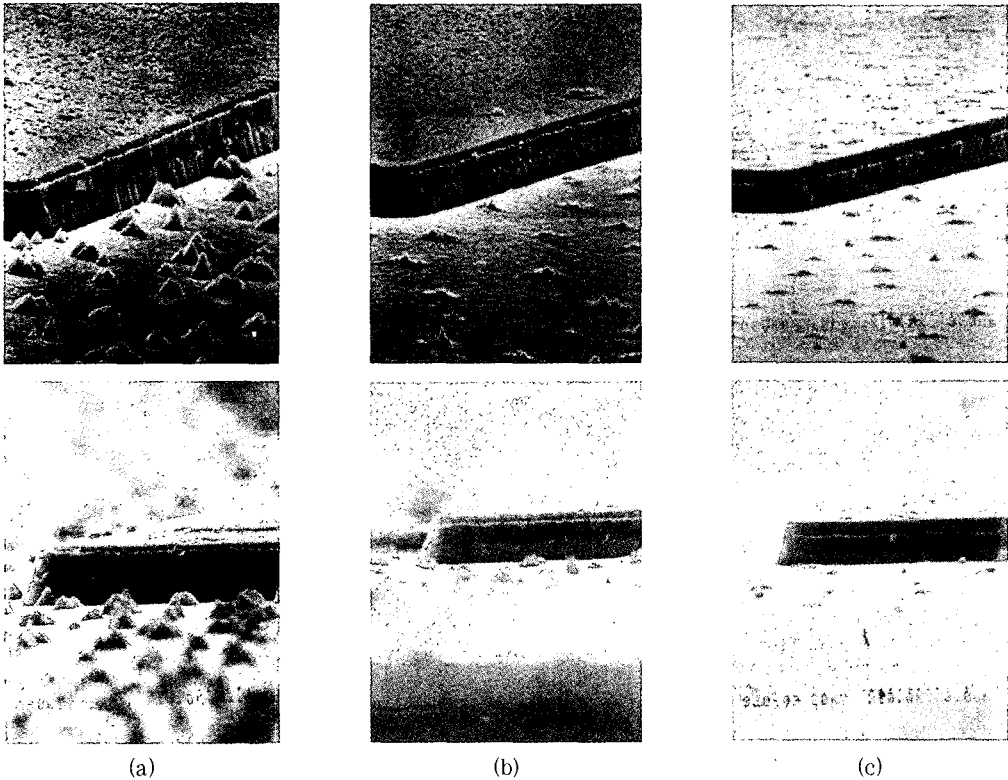
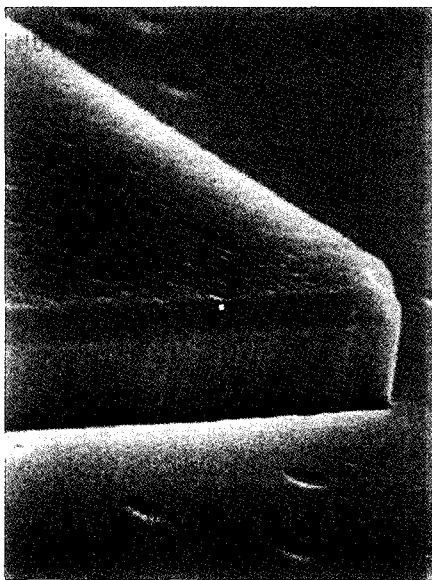


Fig. 6. SEM micrographs of Cr/SiO₂ masked GaN etched by (a) 100% Cl₂ plasma, (b) 60%Cl₂/40 %Ar plasma, and (c) 40%Cl₂/60%Ar plasma at 400 Watts of inductive power, -120V of bias voltage, and 25 °C of substrate temperature.

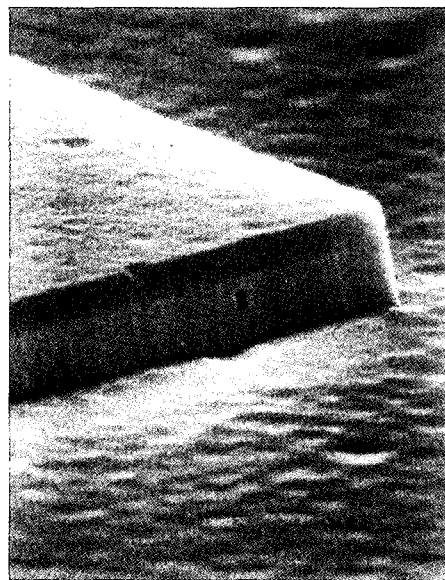
는데 식각 마스크로는 Cr/SiO₂ 이중층의 마스크를 Cr을 제거하지 않고 사용하였으며 식각 조건으로 400Watts의 inductive power 및 -120volts의 bias voltage에서 실험하였다. 그림에서 보듯이 전반적으로 GaN 표면에 micro masking에 의한 잔류물이 관찰되고 있는데 이는 상온에서 식각한 경우 더 심한 정도를 보이고 있다. 그러나 이러한 잔류물의 형성은 100% Cl₂ 보다는 60%, 80%까지 Ar을 첨가함에 따라 감소하고 있으며 동시에 식각형상의 수직성은 감소하고 있다. 이러한 잔류물을 감소시키고자 100% Cl₂ 플라즈마에서, inductive power를 600 Watts로 증가시키거나 bias voltage를 -200volts로 증가시켰으며 이 경우 inductive power보다는 bias voltage의 증가가 효과적임을 알 수 있었다. Cr의 영향을 제외시키고자 잔류 Cr은 습식 처리로 제거하고 SiO₂층만을 식각마스크로 사용하였으며 식각시 기판온도를 70°C로 증가시킨 후 식각하였으며 이 결과의 일부를 Fig. 7에 나타내었다. 600Watts의 induc-

tive power와 -120volts의 bias voltage, 70°C의 기판온도에서 식각 실험을 수행하였으며 (a) 100% Cl₂와 (b) 75%Cl₂/25%Ar에서 모두 거의 vertical하고 smooth한 sidewall roughness를 보이는 식각 형상을 보이고 있다. 한편 그림으로 보이지는 않았으나 Ar첨가량이 증가함에 따라서 식각 형상은 positive angle을 보이고 있으며 따라서 식각형상의 수직성은 감소하고 있다.

Fig. 8에는 Cl₂ 플라즈마를 이용하여 400Watts의 inductive power에서 bias voltage를 변화시켜 가며 GaN을 식각중 OES로 관찰한 optical emission spectra를 나타내었다. 이때 GaN 시편의 크기는 측정 강도를 증가시키기 위하여 2-inch크기의 시편을 사용하였으며 Ga, N₂, GaCl의 spectrum은 실제 GaAs 식각 및 N₂ 플라즈마의 optical emission spectrum에 의해 확인하였다. 그림에서 보듯이 플라즈마 이온종인 Cl⁺, Cl₂⁺ 이외에 식각 부산물인 Ga, N₂, GaCl 등의 emission spectra가 식각 속도를 증가시키는 bias voltage증가



(a)



(b)

Fig. 7. SEM micrographs of Cr/SiO₂ masked GaN etched by (a) 100% Cl₂ plasma and (b) 75%Cl₂/25%Ar plasma at 600 Watts of inductive power, -120V of bias voltage, and 70°C of substrate temperature.

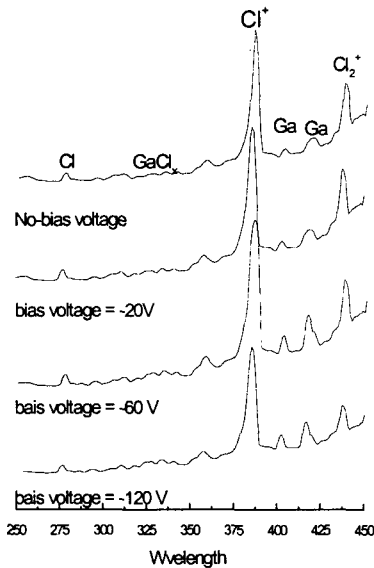


Fig. 8. Optical emission spectra in the 100% Cl₂ plasma as a function of bias voltage at 600 Watts of inductive power and 25°C of substrate temperature.

에 따라 강도는 증가하고 있다. 또한 이러한 플라즈마 특성 분석은 논의된 식각 특성과 관련지을 수 있었으며 일반적으로 Cl₂ 플라즈마에 의한 높은 GaN 식각 속도의 주원인으로 보고되는 GaCl_x 형성 정도를 정성적으로 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는 100% Ar 플라즈마에서도 수행되었으며 이를 bias voltage에 따라 도식 하였으며 이 결과를 앞서 Fig. 8의 결과와 함께 Fig. 9에 나타내었다. 이 결과에서 보면 bias voltage의 증가에 따라 물리적인 식각 부산물인 Ga, N₂ 등과 GaCl의 형성 정도는 높은 이온밀도나 높은 이온화율을 보이는 100% Ar 플라즈마로 식각한 경우가 100% Cl₂ 플라즈마로 식각한 경우에 비해 오히려 낮은 증가 속도를 보이고 있다. 그러므로 앞서도 언급한 바와 같이 GaN의 식각은 단지 물리적인 sputtering 보다는 GaN과 플라즈마간의 화학반응이 중요한 역할을 하는 것을 다시 확인할 수 있었다. 그러나 100% Cl₂ 플라즈마에서의 bias voltage의 의존성

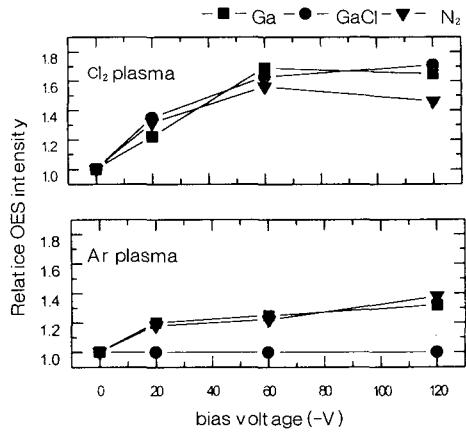


Fig. 9. Relative optical emission intensities at 600 Watts of inductive power and 25°C of substrate temperature.

은 증가된 이온에너지를 지니고 입사된 이온에 의한 형성된 GaCl_x 식각 부산물의 효과적인 제거와 Cl₂⁺, Cl⁺ 등의 반응성 이온의 영향으로 사료된다.

고밀도 플라즈마를 이용한 식각시 GaN 표면에는 식각 과정중에 오염 및 손상이 형성될 수 있다. 이러한 오염 및 손상은 소자 제조 측면에서 효과적인 제거가 요구되며 식각 반응 중에는 이의 최소화가 요구된다. 또한 성분분석을 통한 식각된 표면의 오염 분석결과는 식각기구를 규명하기 위해 앞서 논의된 플라즈마진단 결과와 연관지어 중요한 정보를 제공하게 된다. 즉, GaN의 표면 성분 변화는 플라즈마와 GaN간의 반응을 예측하게 하며 또한 식각 부산물을 간접적으로 측정하게 된다. Ar 첨가에 따른 식각 부산물의 화학양론적인 성분비를 관찰하기 위하여 10mTorr에서 Cl₂/Ar 플라즈마 가스조합에 따라 식각된 GaN 표면의 XPS분석을 하였으며 이중 Ga/N비를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 보면 앞서 언급한 바와 같이 Ar첨가량이 40%까지 증가함에 따라 시편의 깊이에 관계없이 화학양론적 성분비에 근접하였으며 60%Cl₂/40%HBr의 경우도 이와 유사한 control에 근접한 결과를 보이고 있다. Ar 및 HBr

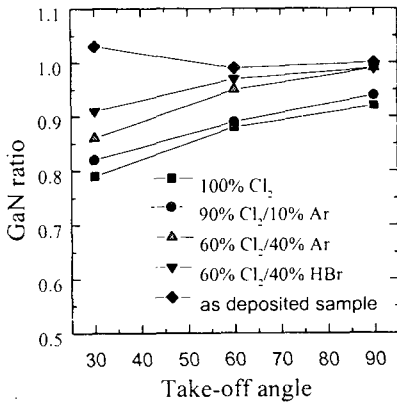


Fig. 10. The variation of Ga/N ratio of the GaN surface measured by angle resolved XPS etched at 600 Watts of inductive power, -120V of bias voltage, and 50 °C of substrate temperature.

첨가에 따른 화학양론적 성분비 유지는 이들 가스가 GaCl_x 형태의 우선적인 제거가 지배적인 Cl₂ 가스에 비해 Ar 첨가의 경우 물리적인 식각요소가 우선적이거나 HBr 첨가의 경우 Ga이 GaCl_x로 제거되는 것 외에 N이 NH₃로 제거되어서 이러한 결과가 나온 것으로 사료된다. 또한 입사각도 변화에 따른 성분비 변화를 보면 표면에 가까울수록 Ga/N비는 더욱 감소하고 있으며 이러한 감소 정도는 시편 내부로 갈수록 줄어들고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 MOCVD로 Al₂O₃위에 성장된 GaN층 위에 PR 또는 Cr를 SiO₂ 식각 마스크 층으로 patterning하고 Cl₂를 주요 식각 가스로 이용하였을때 ICP의 다양한 공정 변수에 따른 GaN의 식각 특성을 연구하였다. 식각후 식각속도 및 마스크 층과의 식각 선택비, 식각 형상을 관찰하였으며 식각 반응에 의해 형성된 GaN의 표면성분 변화도 관찰하였다. 또한 유도결합형 플라즈마를

이용한 GaN 식각 특성시 Cl₂ 가스이외에 Ar, HBr의 가스를 이용하여 식각을 수행하였으며 OES와 Langmuir probe를 이용한 플라즈마 진단 결과를 이용하여 GaN 식각 기구를 연구하였다.

GaN 식각 속도는 기판온도, inductive power, bias voltage를 변화시킴에 따라 증가하였으며 동일 조건에서 가스 조합에 따른 식각 속도를 관찰한 결과 10%이내의 Ar을 제외한 20%이상의 Ar 및 HBr가스를 Cl₂에 첨가함에 따라 GaN의 식각 속도는 감소하였다. GaN의 식각 속도 변화는 이온전류밀도 값 변화에 비하여 OES에 의해 측정된 가스 조합 변화에 따른 Cl 라디칼의 변화에 일치하는 경향을 보이고 있다. GaN의 식각은 PR 마스크만으로는 수직의 식각 형상을 얻을 수 없었으나 SiO₂의 마스크를 이용하고 Cl₂ 과잉의 식각 가스 조합을 사용한 식각을 통해 vertical한 식각 형상을 얻을 수 있었다. GaN에서의 Ga과 Cl₂에서의 Cl간의 화학 반응 즉, GaCl_x의 형성은 GaN의 식각 속도를 조절하는데 있어서 중요한 역할을 하는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국 영상기기 연구조합의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 GaN시편제작에 도움을 주신 삼성종합기술원의 박용조 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

1. S. Nakamura, S. Senoh, S. I. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, Jpn. J. Appl. Phys. 35, L74 (1996).
2. N. J. Barrett, J. D. Grange, B. J. Sealy, and K. G. Stephens, J. Appl. Phys. 57, 470 (1985)

3. I. Adesida, A. Mahajan, E. Andideh, M. A. Khan, D. T. Olson, and J. N. Kuznia, *Appl. Phys. Lett* 63, 2777 (1993)
4. A. T. Ping, I. Adesida, M. Asif Khan, and J. N. Kuznia, *Electron. Lett.* 30, 1895 (1994)
5. G. F. McLane, L. Casas, S. J. Pearton, and C. R. Abernathy, *Appl. Phys. Lett.* 66, 3328 (1995)
6. 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)
7. C. B. Vartuli, S. J. Pearton, J. W. Lee, J. Hong, T. D. Mackenzie, C. R. Abernathy, and R. J. Shul, *Appl. Phys. Lett.* 69, 1426 (1996)
8. S. J. Pearton, C. R. Abernathy, and C. B. Vartuli, *Electron. Lett.* 30 1985 (1994)
9. L. Zhang, J. Ramer, J. Brown, K. Zeng, L. F. Lester, and S. D. Hersee, *Appl. Phys. Lett.* 68, 367 (1996)
10. S. J. Pearton, C. R. Abernathy, and F. Ren, *Appl. Phys. Lett.* 64, 3643 (1994)
11. R. J. Shul, G. B. McClellan, S. J. Pearton, C. R. Abernathy, C. Constantine, and C. Barrett, *Electron. Lett.* 32, 1408 (1996)
12. 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)
13. H. Cho, J. Hong, T. Maeda, S. M. Donovan, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, R. J. Shul, and J. Han, *J. Electronic. Materials*, 27, 915 (1998)
14. H. S. Kim, Y. H. Lee, G. Y. Yeom, J. W. Lee, and T. I. Kim, *Materials Sci. and Eng. B50*, 82 (1997).
15. I. Adesida, A. T. Ping, C. Youtsey, T. Sow, M. Asif Khan, D. T. Olson, and J. N. Kuznia, *Appl. Phys. Lett.* 65, 889 (1994)
16. A. T. Ping, I. Adesida, and M. Asif Khan, *Appl. Phys. Lett.* 67, 1250 (1995)
17. 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)
18. J. W. Lee, H. S. Park, Y. J. Park, M. C. Yoo, T. I. Kim, H. S. Kim, and G. Y. Yeom, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 468, 373 (1997)
19. C. B. Vartuli, S. J. Pearton, J. W. Lee, J. MacKenzie, and C. R. Abernathy, *J. Electrochem. Soc.* 144, 2844 (1997)