

평판 유도 결합형 CH₄/H₂/Ar 플라즈마를 이용한 GaN 건식 식각 특성

論 文

48C-9-3

Dry Etching Characteristics of GaN using a Planar Inductively Coupled CH₄/H₂/Ar Plasma

金文永*·白榮植**·太興植***·李龍鉉§·李正熙§§·李昉駿§§§

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

Abstract - A planar inductively coupled CH₄/H₂/Ar plasma was used to investigate dry etch characteristics of GaN as a function of input power, RF bias power, and etch gas composition. Etch rate of GaN increased with input power up to 600 W and was saturated at the higher power. Also, the etch rates increased with increasing RF bias power, composition of CH₄ and Ar gas. We achieved the maximum etch rate of 930 Å/min at the input power 400 W, RF bias power 250 W, and operational pressure 10 mTorr. This paper shows that smooth etched surface having roughness less than 1 nm in rms can be obtained by using planar inductively coupled plasma with CH₄/H₂/Ar gas chemistry.

Key Words : a planar inductively coupled CH₄/H₂/Ar plasma, dry etching, GaN, etch rate, roughness

1. 서 론

현재 GaN계 청색 발광 LED(Light Emitting Diode) 및 LD(Laser Diode) 개발이 적극적으로 연구되고 있다.[1,2,3] 소자 제조를 위한 공정 중에서 식각 공정은 GaN가 화학적으로 안정한 구조를 이루고 있기 때문에 습식 식각 보다는 건식 식각이 높은 식각률을 이룰 수 있고, 또한 소자 제조시 비등방성 식각과 수직인 식각 단면 그리고 평탄하고 부드러운 식각 표면이 요구되므로 이에 적합한 건식 식각 기술 개발이 연구되고 있다. 건식 식각 기술 개발의 방향은 크게 건식 식각 장치와 건식 식각 가스의 선택으로 나눌 수 있는데, 건식 식각 장치로는 RIE(Reactive Ion Etching), ECR(Electron Cyclotron Resonance), ICP(Inductively Coupled Plasma), CAIBE(Chemically Assisted Ion Beam Etching)등이 다양한 식각 가스의 혼합으로 이용되고 있으며[4,5,6,7], 건식 식각 가스의 선택으로는 높은 식각률을 보이기 위해 Cl₂-based 플라즈마 등이 대부분 사용되고 있다.[8,9,10,11]

본 연구에서 사용된 평판 유도 결합 플라즈마 식각 장치는 용량 결합형 플라즈마와 비교하여 동작 압력이 낮고 높은

플라즈마 밀도를 가지고, 플라즈마를 생성하는 진공 챔버 내에 방전용 전극을 갖지 않으므로 전극의 sputtering 현상에 의한 플라즈마 중으로의 불순물의 혼입이 적다. 그리고 ECR 플라즈마와 비교하여 작동원리에서 강력한 외부 자장을 이용하지 않고도 플라즈마 균일도와 플라즈마 면적을 증가시키는 것이 용이하고 장치의 구조가 매우 간단할 뿐만 아니라 기판 바로 위에서 플라즈마가 형성되므로 플라즈마를 직접 식각 반응에 사용 가능한 장점이 있다.[12,13,14]

건식 식각 가스로는 Cl₂-based 플라즈마에 비해 식각률은 다소 낮으나 소자 제조시 요구되는 부드러운 식각 표면과 비등방성 식각이 가능하고 독성과 부식성이 없어 안정성이 보장되는 CH₄/H₂ 플라즈마를 선택하였으며[15,16,17], Ar 가스의 첨가는 저압 공정에서 플라즈마 발생을 촉진시키며, 기판으로 입사되는 이온 에너지에 의한 도움으로 식각률을 증가시킬 뿐 아니라 평탄하게 식각된 표면을 얻을 수 있다.[16]

이와 같은 조건하에서 평판 유도 결합형 CH₄/H₂/Ar 플라즈마를 이용하여 공정 변수에 따른 GaN의 건식 식각 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용된 건식 식각 장치는 기본적으로 GaN 박막 식각 응용을 고려하여 제작되었다. 공정 챔버는 내경 280 mm, 높이 120 mm인 원통형 구조이며 load-lock 챔버와 연결되어 있다. 배기는 turbo molecular pump와 mechanical pump로 이루어지며 기저 진공도를 10⁻⁶ Torr로 유지하였다. 진공 챔버 내의 압력은 convection pirani gauge, cold cathode ion gauge 및 baratron gauge로 측정하였다. 가스 공급은 유량 조절기(mass flow controller)를 통해 진공 챔버 내에 도달한다.

* 正 會 員 : 慶北大 電氣工學科 博士課程

** 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 正教授

*** 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 助教授

§ 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 正教授

§§ 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 副教授

§§§ 正 會 員 : 威德大 電氣工學科 助教授

接受日字 : 1999年 5月 10日

最終完了 : 1999年 7月 29日

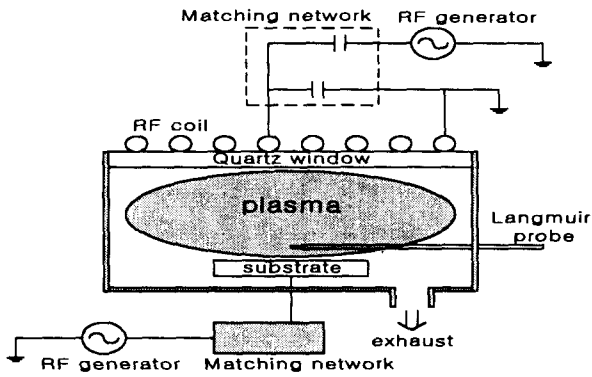


그림 1 평판 유도 결합형 플라즈마 식각 장치 개략도
 Fig. 1 A schematic diagram of a planar inductively coupled plasma etcher

플라즈마 발생을 위한 전력 입력부는 RF 투과창, 안테나, 임피던스 정합 회로(impedance matching circuit) 및 13.56 MHz의 RF generator로 구성되어 있다.

RF 투과창은 두께 17 mm의 quartz판을 사용하였으며, 안테나의 경우 저항 손실을 최소화하기 위해 전기 전도도가 좋은 재질인 무 산소 구리를 선택하였고, RF 전류는 전도 영역이 표피에 한정되므로 표면을 은으로 도금하여 외경이 220 mm가 되도록 등 간격으로 4회 평면형으로 감겨진 형태이다. 유도성 부하의 고주파 파워 정합 회로는 100 pF와 500 pF의 진공용 콘덴서가 π 회로로 결합되어 있는 정합 회로를 사용하였다. RF 전원으로는 코일에 전력을 공급하여 플라즈마 밀도에 주된 영향을 주는 주파수 13.56 MHz, 2 kW의 용량을 가지는 RF generator와 기판 전극에 전력을 공급하여 기판으로 유입되는 이온 에너지를 조절하기 위한 주파수 13.56 MHz, 500 W 용량의 RF generator가 사용되었다. 그림1은 평판 유도 결합형 플라즈마 식각 장치의 개략도를 나타낸 것이다.

플라즈마의 기본적인 특성이 되는 전자 밀도와 전자 온도는 Hiden사의 Langmuir probe로써 측정하였다. 그림2는 RF 바이어스 전력 150 W, Ar 가스로써 압력 10 mTorr 조건하에서 제작된 평판 유도형 플라즈마 식각 장치의 입력 전력 변화에 따른 전자 밀도와 전자 온도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 전자 밀도가 $1.6 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ 에서 $1.6 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ 까지 입력 전력 증가에 따라 증가한 것을 볼 수 있는데, 이는 입력 전력의 증가가 이온화에 참여하는 전자에 보다 많은 이온화 에너지를 전달함으로써 공정 챔버내의 이온화를 높이기 때문에 전자 밀도를 증가시키게 된다. 전자 온도는 입력 전력 200 W에서 1000 W까지의 모든 영역에서 1 eV 정도로 일정한 것을 알 수 있었다. 따라서 제작된 평판 유도형 플라즈마 식각 장치는 $10^{10} / \text{cm}^3$ 이상의 플라즈마 밀도를 가지는 고밀도 플라즈마 소스임을 확인할 수가 있었다.

실험에 사용된 GaN 박막은 유기 금속 기상 성장법(MOCVD)에 의해 사파이어(Al_2O_3) 기판 위에서 성장된 2 μm 두께의 carrier 농도가 $1 \sim 2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 인 도핑이 되지 않은 undoped GaN와 $8 \sim 9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 의 carrier 농도를 가지는 Si을 도핑시킨 N-type GaN이다. 식각에 사용된 마스크는 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)

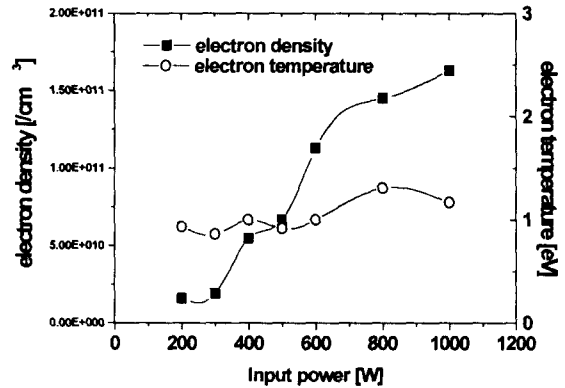


그림 2 입력 전력에 따른 전자 밀도와 전자 온도의 변화 (RF 바이어스 전력 : 150 W, 압력 : 10 mTorr)
 Fig. 2 Variation of electron density and electron temperature as a function of Input power (RF bias power : 150 W, pressure : 10 mTorr)

로 성장된 3000 Å 두께의 SiO_2 와 RF sputter로 성장된 2000 Å 두께의 BaTiO_3 이다.

공정 챔버는 일정한 벽면 상태를 유지하기 위해 식각 전·후에 10분간의 산소 방전으로 플라즈마 세정(plasma cleaning)을 하였고, 기저 압력을 10^{-6} Torr 영역대의 저 압력으로 일정하게 유지하였다.

식각 실험후 식각 정도를 측정하기 위한 분석 장비로는 Alpha-step 200과 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 사용하였고, rms(root-mean-square) surface roughness와 3-dimension etched surface를 측정하기 위해 AFM(Atomic Force Microscopy)으로써 식각된 표면의 거친 정도를 측정 분석하였다.

3. GaN 박막의 건식 식각 실험 결과 및 고찰

3.1. 입력 전력 변화에 따른 건식 식각 특성

입력 전력의 증가는 식각 장치에 투입되는 전력의 증가를 의미하며 전자 밀도 및 이온 전류의 증가와 더불어 활성종의 밀도를 증가시킨다. 입력 전력에 따른 식각률과 표면 상태가 변화되는 경향을 보기 위해 바이어스 전력을 150 W로 일정하게 유지 되도록 하였으며, CH_4 유량 10 sccm, H_2 유량 15 sccm, Ar 유량 5 sccm으로 전체 식각 가스 유량을 30 sccm의 조절로 공정 압력 10 mTorr로 일정하게 유지하였다.

그림3은 입력 전력 변화에 따른 식각률과 식각된 표면의 거친 정도의 변화를 나타낸 것이다. 입력 전력 600 W까지는 서서히 식각률이 증가하였으나, 그 이상의 입력 전력에서는 식각률의 증가도가 나타나지 않는 것을 알 수 있는데, 이는 RF 바이어스 전력이 일정한 상태에서 입력 전력 증가에 의해 플라즈마 밀도는 증가하지만, DC 바이어스 전압은 -200 ± 10 V에서 -120 ± 10 V로 감소하므로 전체 식각률의 증가가 제한되는 것으로 생각된다. 본 실험에서는 입력 전

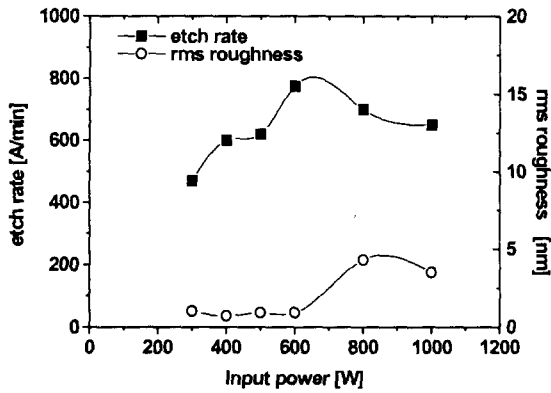


그림 3 입력 전력에 따른 GaN 박막의 식각률과 rms roughness의 변화 (RF 바이어스 전력 : 150 W, 압력 : 10 mTorr)

Fig. 3 Variation of etch rate and rms roughness of the GaN thin film as a function of Input power (RF bias power : 150 W, pressure : 10 mTorr)

력 600 W에서 약 780 Å/min의 식각률을 얻을 수 있었다. 식각된 표면 상태의 변화는 AFM 분석 장치로써 rms roughness 값으로 그 변화를 측정하였다. 성장시 표면의 거친 정도 0.8 nm 인 것과 비교하여 식각된 표면의 거친 정도는 입력 전력 300 W에서 600 W까지 1 nm 정도로 평탄하고 부드러운 식각 표면을 얻을 수 있었고, 그 이상의 입력 전력에서는 rms roughness 값이 3~4 nm 정도로 증가되었음을 알 수 있었다.

3.2. RF 바이어스 전력 변화에 따른 건식 식각 특성

건식 식각 실험에 있어서 식각 하고자 하는 대상의 표면에 발생하는 현상 중에는 크게 활성화된 중성 입자들에 의한 화학적 식각(chemical etching)과 기관으로 입사되는 이온들의 이온 에너지가 추가 되는 물리적 식각(physical etching)으로 나누어 볼 수 있다.

화학적 식각은 사용 가스의 조성비, 플라즈마 밀도 혹은 기관 온도 등에 의해 여러 상황으로 조절이 가능하여 높은 식각률에 있어 변수가 되지만, 이방성 식각이나 식각 단면 형상에서의 수직한 단면을 얻기 위한 조절 방법은 어려운 점이 많다. 반면에 물리적 식각은 negative-self bias에 의한 기관으로 입사되는 이온들의 에너지를 이용함으로써, 즉 이온에 의한 방향성 식각이 가능함으로 화학적 식각으로는 얻을 수 없는 완벽한 이방성 식각이 가능하다. 그러므로, 식각 실험에 있어서 바이어스 전력과 DC 바이어스 전압의 변화는 중요한 공정 변수 중의 하나이다.

그림4는 입력 전력을 400 W로 일정하게 유지하고, CH₄ 유량 10 sccm, H₂ 유량 15 sccm, Ar 유량 5 sccm으로써 전체 식각 가스 유량을 30 sccm의 조절로 공정 압력을 10 mTorr의 일정 압력에서 RF 바이어스 전력 변화에 따른 GaN 박막의 식각률의 변화 및 식각된 표면 상태의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 식각률의 변화는 RF

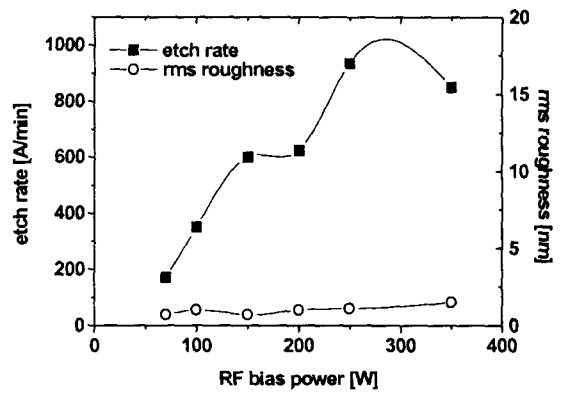


그림 4 RF 바이어스 전력에 따른 GaN 박막의 식각률과 rms roughness의 변화 (입력 전력 : 400 W, 압력 : 10 mTorr)

Fig. 4 Variation of etch rate and rms roughness of the GaN thin film as a function of RF bias power (Input power : 400 W, pressure : 10 mTorr)

바이어스 전력의 증가에 따라 증가하는 것을 알 수 있었고, RF 바이어스 전력 250 W에서 930 Å/min의 식각률을 얻을 수 있었다. 이는 RF 바이어스 전력의 증가에 따른 DC 바이어스 전압이 -100±10 V에서 -220±10 V로 증가되므로 기관으로 입사되는 방향성을 가지는 이온 에너지가 증대되었기 때문이다. 이 이온 에너지는 GaN 박막의 초기 결합 파괴를 증대시키고, sputter 도움에 의한 효과적인 탈착(desorption)을 수행하는 역할을 한다. 표면 상태의 변화는 rms roughness 값으로 그 변화를 측정하였는데, 이온 에너지의 증가에도 불구하고 큰 변화 없이 1 nm이하의 거친 정도로 비교적 평탄하고 부드러운 식각 표면을 형성할 수 있었다.

3.3. CH₄ 조성비 변화에 따른 건식 식각 특성

건식 식각에 이용되는 가스로는 대부분 높은 식각률을 보이기 위해 Cl₂-based 플라즈마를 사용하지만, CH₄ 가스를 이용하는 경우 식각률은 다소 낮으나 부식성과 독성이 없어 안정성이 보장된다는 점과 식각된 표면이 평탄하고 이방성 식각이 가능하다는 장점이 있다. 그리고, 본 실험의 식각에 사용된 CH₄ 가스는 반응성이 좋은 활성화된 중성 입자로 Ga와 (CH₃)₃Ga의 형태로 결합하여 휘발성 부산물(volatile products)을 생성[18], 주로 화학적인 반응인 화학적 식각을 이루게 된다.

그림5는 입력 전력 400 W, RF 바이어스 전력 150 W, 공정 압력 10 mTorr로 일정하게 유지하고, H₂ 유량 15 sccm, Ar 유량 5 sccm으로 일정하게 한 상태에서 CH₄ 가스 유량을 변화시켜, 전체 식각 가스 유량에 대해 CH₄ 조성비의 변화에 따른 GaN 박막의 식각률과 식각된 표면의 거친 정도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 CH₄ 가스의 조성비가 증가함에 따라 식각률이 증가하는 양상을 나타내고, CH₄ 가스 조성비가 38% 이상에서는 일정한 식각률을 보이다가 조

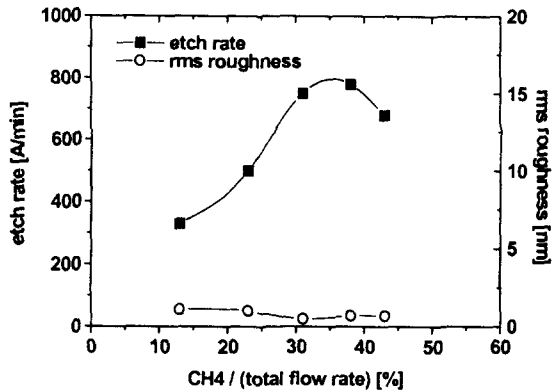


그림 5 CH₄ 가스 조성비에 따른 GaN 박막의 식각률과 rms roughness의 변화 (입력 전력 : 400 W, RF 바이어스 전력 : 150 W, 압력 : 10 mTorr)

Fig. 5 Variation of etch rate and rms roughness of the GaN thin film as a function of CH₄ gas mixture (Input power : 400 W, RF bias power : 150 W, pressure : 10 mTorr)

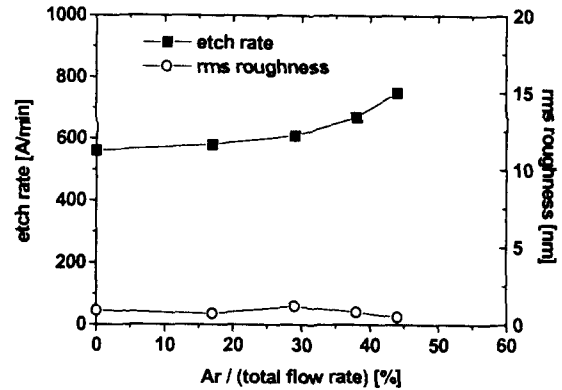


그림 7 Ar 가스 조성비에 따른 GaN 박막의 식각률과 rms roughness의 변화 (입력 전력 : 400 W, RF 바이어스 전력 : 150 W, 압력 : 10 mTorr)

Fig. 7 Variation of etch rate and rms roughness of the GaN thin film as a function of Ar gas mixture (Input power : 400 W, RF bias power : 150 W, pressure : 10 mTorr)

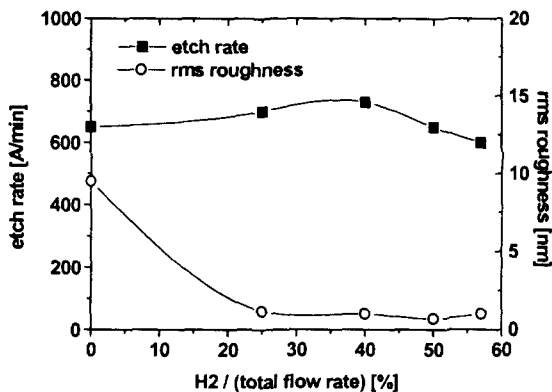


그림 6 H₂ 가스 조성비에 따른 GaN 박막의 식각률과 rms roughness의 변화 (입력 전력 : 400 W, RF 바이어스 전력 : 150 W, 압력 : 10 mTorr)

Fig. 6 Variation of etch rate and rms roughness of the GaN thin film as a function of H₂ gas mixture (Input power : 400 W, RF bias power : 150 W, pressure : 10 mTorr)

급씩 줄어드는 변화를 알 수 있다. 이와 같은 원인은 38% 이상의 CH₄ 가스 조성비에서는 식각률 증가와 더불어 CH₄ 가스의 증착률도 또한 증가되므로 상대적으로 전체 식각률이 감소된 것으로 사료된다. 식각된 표면 상태를 나타내는 rms roughness는 유도 결합형 플라즈마 장치로 Cl₂ 플라즈마로 식각을 한 문헌에서는 약 4 nm의 rms roughness를 보였지만[8], CH₄ 플라즈마를 사용한 본 실험에서는 1 nm 이하의 rms roughness 결과를 얻어 보다 부드러운 식각 표면을 이룰 수 있었다.

3.4. H₂ 조성비 변화에 따른 건식 식각 특성

H₂ 플라즈마의 역할은 GaN의 N과 NH_x 종으로 결합하여 휘발성 부산물(volatile products)를 생성하는 것으로[15], 그림6에서 H₂ 가스 조성비에 따른 GaN 박막의 식각률과 식각된 표면의 거친 정도를 나타내었다. 실험 조건은 입력 전력 400 W, RF 바이어스 전력 150 W, 공정 압력을 10 mTorr로 일정하게 유지하고, CH₄ 유량 10 sccm, Ar 유량 5 sccm으로 일정하게 한 상태에서 전체 식각 가스 유량 30 sccm에 대해 H₂ 가스 조성비를 변화시켰다. 그림에서 보는 것과 같이 식각률에 있어서는 600~700 A/min으로 큰 변화 폭이 없지만, H₂ 가스를 첨가하였을 때의 1 nm 이하의 rms roughness 값과 H₂ 가스를 첨가하지 않을 때의 rms roughness 값은 9.5 nm로써 둘 사이에는 큰 rms roughness 변화를 나타내고 있다. 이러한 식각된 표면의 rms roughness의 증가는 H₂ 가스의 첨가 없이 식각 실험을 했을 때 CH₄ 식각 가스만의 반응으로 인하여 GaN 박막의 표면에 질소가 상대적으로 더 많이 존재하는 데 기인하는 것으로 사료된다.

3.5. Ar 조성비 변화에 따른 건식 식각 특성

건식 식각 실험에 있어 Ar 가스는 화학적 반응보다는 물리적 반응 즉, 물리적 식각의 역할과 저압 공정에서 플라즈마 발생을 촉진시키며, 반응성이 좋은 활성화 종의 생성에 기여함으로 식각률을 높이는 것과 동시에 평탄하게 식각된 표면을 얻기 위해 사용된다.

그림7은 입력 전력을 400 W, RF 바이어스 전력 150 W, 공정 압력 10 mTorr에서 CH₄ 유량 10 sccm, H₂ 유량 15 sccm으로 일정하게 유지한 상태에서 Ar 가스의 유·무에 따라 그리고, Ar 가스의 조성비에 따라 GaN 박막의 식각률

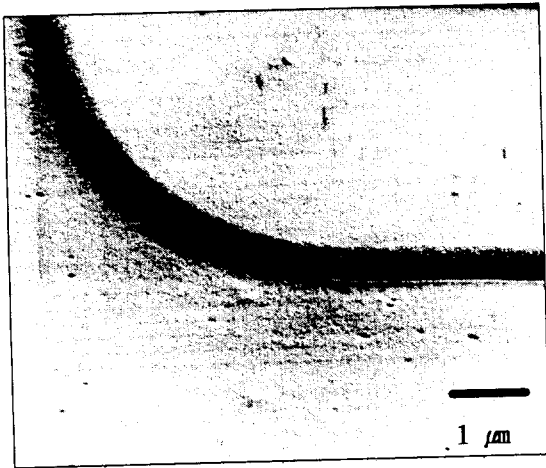


그림 8 입력 전력 400 W, RF 바이어스 전력 250 W, 공정 압력 10 mTorr에서 식각된 GaN의 SEM 사진

Fig. 8 SEM photograph of etched GaN at Input power 400 W, RF bias power 250 W, operational pressure 10 mTorr

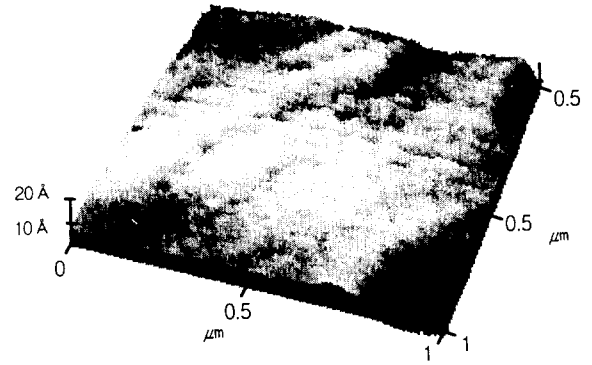
과 식각된 표면의 거친 정도를 나타낸 것이다. Ar 가스로부터 이온화된 Ar 이온은 바이어스 전력에 의해 결정된 에너지로 가속되며, 화학적 반응보다는 이온 충격에 의한, 화학적 식각을 촉진시키는 역할 즉, ion assisted chemical etching을 하는 것으로 사료된다. 그림에서와 같이 Ar 가스의 조성비가 증가할수록 식각률은 점차 증가하는 것을 알 수 있다. 반면에 Ar 가스가 첨가되지 않았을 때에는 물리적인 식각 보다는 화학적 식각이 주로 이루어지게 되고, 방향성을 가지는 이온 에너지 밀도가 낮으므로 수직된 식각 단면을 얻기가 어렵다. 식각된 표면의 거친 정도를 나타내는 rms roughness는 Ar 가스의 조성비 변화에 따라 측정된 결과 1 nm 안팎의 평탄하고 부드러운 표면 상태를 이룰 수 있었다. 이는 Ar 가스의 증가가 직접 GaN 박막에 Ar 이온 충격에 의한 물리적인 식각에 의한 것이라기 보다 화학적 식각 반응을 촉진시키는 역할에 더 많은 참여를 했을 것으로 사료되므로 Ar 가스 조성비 변화에 따라 rms roughness가 변하지 않는 것으로 생각된다.

그림8은 입력 전력 400 W, RF 바이어스 전력 250 W, CH₄ 유량 10 sccm, H₂ 유량 15 sccm, Ar 유량 5 sccm, 공정 압력 10 mTorr 조건에서 식각된 GaN의 식각 단면을 SEM 사진으로 보여 주고 있고, 그림9는 건식 식각 전과 건식 식각 후의 GaN 표면 상태를 AFM으로 분석한 사진을 나타낸 것이다.

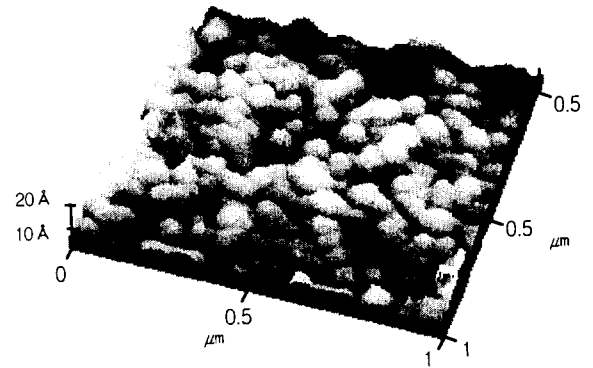
4. 결 론

본 연구에서는 청색 발광 LED나 LD등의 광소자 제조에 관련된 GaN 박막을 평판 유도 결합형 CH₄/H₂/Ar 플라즈마 식각 장치를 이용하여 공정 변수를 변화에 따른 건식 식각의 기본적인 특성을 측정, 분석하였다.

입력 전력이 600 W로 증가함에 따라 780 Å/min까지 식각률이 증가하는 변화를 보였으며, RF 바이어스 전력이 250



(a) before dry etching



(b) after dry etching

그림 9 (a) 건식 식각 전 (b) 건식 식각 후 GaN의 AFM 표면 상태

Fig. 9 AFM surface morphology of GaN (a) before dry etching (b) after dry etching

W까지 증가함에 따라 식각률도 증가하여 930 Å/min의 식각률을 얻을 수 있었다. 38%의 CH₄ 조성비에서 780 Å/min의 식각률을 이루었으며, H₂ 가스의 조성비가 증가하는 경우 전체적으로 식각률의 큰 변화가 없는 것을 확인할 수가 있었다. 식각된 GaN 표면의 거친 정도는 건식 식각 공정 변수의 모든 영역에서 1 nm의 rms roughness를 가지는 평탄하고 부드러운 식각 표면을 이룰 수 있었으나, H₂ 가스를 첨가하지 않는 경우는 9.5 nm의 rms roughness로 매우 민감하게 나타남을 알 수 있었다. Ar 가스 조성비가 증가하는 경우는 식각률도 함께 증가하였으며, 전체 식각 가스에 대해 44%의 조성비에서 750 Å/min의 식각률을 얻을 수 있었고, 식각된 표면의 거친 정도 또한 1 nm 이하로 평탄하였다. 이 사실로부터 GaN 건식 식각에서도 ion assisted chemical etching 과정이 중요함을 알 수 있었다.

CH₄/H₂/Ar 식각 가스를 이용한 평판 유도 결합형 플라즈

마에서의 GaN 건식 식각 실험에 있어서 공정 제 변수의 최적화 결과 930 A/min의 식각률과 1 nm 정도의 평탄한 식각 표면 상태를 구현할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 반도체 공동 연구소의 교육부 반도체 학술 연구 조성비(과제번호 : ISRC 97-E-3031)에 의해 수행되어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] H.C. Casey "Dominance of tunneling current and band filling in InGaN/AlGaIn double heterostructure blue light-emitting diodes", Applied Physics Letters, vol. 68, pp. 2867, May 1996

[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, June 1997

[3] S. Nakamura "Room-temperature continuous-wave operation of InGaN multi-quantum-well structure laser diodes", Applied Physics Letters, vol. 69, pp. 4056, December 1996

[4] R.J. Shul "Comparison of dry etch techniques for GaN", Electronics Letters, vol. 32, no. 15, pp. 1408, July 1996

[5] C.B. Vartuli "Cl₂/Ar and CH₄/H₂/Ar dry etching of III-V nitrides", Journal of Applied Physics, vol. 80, pp. 3705, October 1996

[6] S.J. Pearton "Inductively Coupled Plasma Etching of III-V Nitrides in CH₄/H₂/Ar and CH₄/H₂/N₂ Chemistries", Journal of Electrochemical Society, vol. 144, no. 8, August 1997

[7] A.T. Ping "Dry Etching of GaN Using Chemically Assisted Ion Beam Etching with HCl and H₂/Cl₂", Journal of Electronic Materials, vol. 25, no. 5, pp. 825 December 1995

[8] R.J. Shul "Inductively coupled plasma etching of GaN", Applied Physics Letters, vol. 69, pp. 1119, 1996

[9] G.F. McLane "High etch rates of GaN with magnetron reactive ion etching in BCl₃ plasmas", Applied Physics Letters, vol. 66, pp. 3328, June 1995

[10] L. Zhang "Electron cyclotron resonance etching characteristics of GaN in SiCl₄/Ar", Applied Physics Letters, vol. 68, pp. 367, January 1996

[11] Heon Lee "Reactive ion etching of GaN using CHF₃/Ar and C₂ClF₅/Ar plasmas", Applied Physics

Letters, vol. 67, pp. 1754, September 1995

[12] Kazuyoshi Yoshida "Gate Electrode Etching Using a Transformer Coupled Plasma", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 34, pp. 2089-2094, April 1995

[13] J. Menard "Laboratory measurements and optimization of inductively coupled loop antenna plasma source", Plasma Source Science Technology, vol. 5, pp. 363-370 January 1996

[14] Maurice H. Francombe and John L. Vossen, Plasma Source for Thin Film Deposition and Etching, Academic Press, pp.52-59, 1994

[15] S.J. Pearton "Low bias electron cyclotron resonance plasma etching of GaN, AlN, and InN", Applied Physics Letters, vol. 64, pp. 2294, April 1994

[16] G.F. McLane "Magnetron enhanced reactive ion etching of GaAs in CH₄/H₂/Ar : Surface damage study", Journal of Vacuum Science Technology A, vol. 12, no. 4, pp. 1356, Jul/Aug 1994

[17] R.J. Shul "High temperature electron cyclotron resonance etching of GaN, InN, and AlN", Applied Physics Letters, vol. 66, pp. 1761, April 1995

[18] G.F. McLane "Magnetron-enhanced reactive ion etching of GaAs and AlGaAs using CH₄/H₂/Ar", Journal of Vacuum Science Technology A, vol. 11, no. 4, pp. 1753, Jul/Aug 1993

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



백 영 식 (白榮植)
 1950년 7월 8일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1977년 명지대 전기공학과 조교수. 현재 경북대 전자전기공학부 교수.
 Tel : (053) 950-5602
 E-mail : ysbaek@bh.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(공학박). 현재 경북대 전자전기공학부 조교수.

Tel : (053) 950-6563, Fax : (053) 950-5505

E-mail : hstae@ee.kyungpook.ac.kr



이 용 헌 (李龍鉉)

1946년 3월 17일생. 1975년 경북대 학사 졸업. 1977년 동 대학교 석사 졸업. 1991년 충남대 박사 졸업. 현재 경북대 전자전기공학부 교수.

Tel : (053)950-5520

E-mail : yhlee@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(공학박). 1990년~1993년 한국전자통신연구소 선임연구원. 현재 경북대 전자전기공학부 부교수

Tel : (053) 950-6555

E-mail : jlee@ee.kyungpook.ac.kr



이 호 준 (李晔駿)

1966년 10월 14일생. 1991년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학부 졸업(공학박). 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