

ECR 플라즈마에서 BCl_3/SF_6 혼합 가스를 이용한 $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ 에 대한 GaAs의 선택적 식각에 대한 연구

논문
11-6-5

An Investigation of Selective Etching of GaAs to $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ Using BCl_3/SF_6 Gas Mixture in ECR Plasma

이철욱*, 이동율*, 손정식*, 배인호**, 박성배***

(Chul-Wook Lee, Dong-Yul Lee, Jeong-Sik Son, In-Ho Bae, Sung-Bae Park)

Abstract

The selective dry etching of GaAs to $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ using BCl_3/SF_6 gas mixture in electron cyclotron resonance(ECR) plasma is investigated. A selectivity of GaAs to AlGaAs of more than 100 and maximum etch rate of GaAs are obtained at a gas ratio $SF_6/(BCl_3+SF_6)$ of 25%. We verified the formation of AlF_3 on $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ from the Auger spectra which enhanced the etch selectivity. In order to investigate surface damage of AlGaAs caused by ECR plasma, we performed a low temperature photoluminescence(PL) measurement as a function of RF power. As the RF power increases, the PL intensity decreases monotonically from 50 to 100 W and then rapidly decreases until 250 W. This behavior is due to surface damage by plasma treatment. This dry etching technique using BCl_3/SF_6 gas mixture in ECR plasma is suitable for gate recess formation on the GaAs based pseudomorphic high electron mobility transistor(PHEMT)

Key Words(중요용어) : Dry Etching(건식 식각), ECR plasma(전자 사이클로트론 공명 플라즈마), Selectivity(선택도), PHEMT

1. 서 론

GaAs pseudomorphic high electron mobility transistor(PHEMT)는 높은 동작 주파수에서 저잡음과 높은 주파수 동작 특성의 장점 때문에 최근 몇 년간 큰 관심을 모으고 있다.¹⁻⁴⁾ 게이트 리세스 형성은 HEMT 소자의 제작에서 가장 중요한 부분 중의 하나이다. 이러한 리세스 과정에서 주로 많이 사용되는 것이 습식 식각에 의한 것이나 이것은 등방성 식각 형태를 가지고 있어 마이크로 단위 이하의 소자에 적용하기 힘들다. 또한 표면 장력의 영향

으로 리세스 식각 깊이의 균일도가 나빠져서 HEMT 소자의 소스 드레인 사이의 전류나 문턱 전압의 균일도를 나쁘게하는 결과가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 GaAs에 대한 AlGaAs etch stop의 선택적 건식 식각으로 게이트를 리세스하는 것이 습식 화학적 식각에 비해 훨씬 더 균일한 dc 소자 특성을 나타낸다고 많은 저자들이 제안하였다.⁵⁻¹¹⁾ AlGaAs에 대한 높은 식각 선택비는 CCl_2F_2 플라즈마^{5,6)}, $SiCl_4/SF_6$ 플라즈마⁷⁻⁹⁾, $SiCl_4/SiF_4$ 플라즈마⁶⁾ 및 $BCl_3/SF_6/Ar$ 플라즈마를 사용한 반응성 이온 에칭(reactive ion etching, RIE) 시스템으로 얻을 수 있다고 알려져 있다. 그러나 RIE는 큰 에너지의 이온 충돌로 인하여 심각한 전기적 특성의 저하를 불러일으킬 수 있다.^{10,12)} 건식 식각에 의한 손상을 줄이기 위해서는 낮은 이온 에너지에서도 높은 식각 선택비를 유지하는 것이 필수적이다. 일반적으로 electron cyclotron resonance(ECR) 플라

* : 한국전자통신연구원 화합물 소자실
(대전시 유성우체국사서함 106호, Fax: 042-861-1033
E-mail : cwlee@physics.yeungnam.ac.kr)
** : 영남대학교 물리학과
*** : 대구대학교 물리학과
1998년 3월 16일 접수, 1998년 4월 23일 심사완료

즈마를 이용한 건식 식각의 경우는 RIE에 비해 낮은 이온 에너지에서 이루어지므로 시료의 손상이 적고 높은 이온 밀도로 인하여 식각률과 선택도는 RIE와 비슷한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 BCl_3/SF_6 혼합 가스를 사용한 ECR 플라즈마 식각 특성을 알아보기 위하여 가스의 혼합비에 따른 GaAs 및 AlGaAs의 식각률과 AlGaAs에 대한 GaAs의 식각 선택비를 조사하였다. ECR 플라즈마에 의해 시료 표면에 미치는 영향을 알아보기 위하여 AlGaAs 표면에 플라즈마 처리를 한 후 Auger electron spectroscopy(AES) 및 저온 photoluminescence(PL) 측정을 하였다.

2. 실험

본 실험에 사용한 electron cyclotron resonance (ECR) 식각 장비는 IPL 3000 D/E 모델로서 시료 장착을 위한 로드-락 챔버가 구성되어 있으며 식각 공정이 이루어지는 반응 챔버의 진공도는 7.0×10^{-6} Torr였다. ECR 플라즈마의 소스로는 최대 출력이 1.5 kW이고 주파수가 2.45 GHz인 microwave와 시료에 바이어스를 부가하기 위한 최대 출력이 600 W이고 주파수가 13.56 MHz인 radio frequency(RF)를 동시에 부가하였다. Microwave의 주파수가 2.45 GHz일 때 ECR 플라즈마가 발생하는 자기장의 세기는 875 Gauss로써 본 실험에서는 공심 형태의 2개의 전자석을 이용하여 875 Gauss 이상의 비균일 자기장을 발생시켜 자기장의 기울기를 주었다. 그림 1은 본 실험에 사용한 ECR 식각 장비의 개략도를 나타낸 것이다.

식각 특성 실험에 사용된 시료는 분자선 에피택시법을 사용하여 반절연성 GaAs 기판 위에 성장하였다. GaAs와 AlGaAs의 식각률과 식각 선택비를 알아보기 위한 시료는 undoped GaAs를 5000 Å 정도 쌓은 시료와 undoped $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ 5000 Å를 쌓은 시료를 준비하였다. 각 시료의 식각 깊이는 α -step profilometer와 Scanning Electron Microscopy (SEM)로 측정하여 조사하였다.

ECR 플라즈마 식각 후 $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ 표면의 잔류물을 알아보기 위하여 표면 Auger를 측정하였고, 시료 표면의 손상을 조사하기 위하여 저온 PL 스펙트럼을 측정하였다. PL 스펙트럼의 측정은 20 K에서 수행되었고 여기광으로는 488 nm의 Ar^+ 레이저를 사용하였으며 시료로부터 발광되는 PL 스펙트럼은 렌즈로 집속하여 초점 거리가 750 mm인 분광기

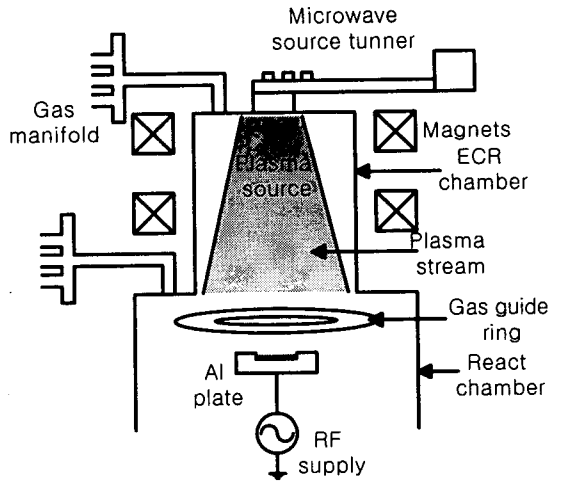


그림 1. ECR 장비 개략도.

Fig. 1. The schematic of ECR system.

를 거쳐 광증배기로 검출한 뒤 lock-in 앰프를 통하여 기록하였다.

3. 결과 및 논의

그림 2는 BCl_3 가스의 유량에 따른 GaAs와 $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ 의 식각률을 나타낸 것이다. 이때 ECR 챔버에 부가된 microwave의 power는 300 W이고 RF power는 65 W이며 SF_6 가스의 유량은 5 sccm(standard cubic centimeter per minute)으로 일정하게 유지하였고 식각되는 반응 챔버의 압력은 약 1.7 mTorr로 고정하였다. 그림 2에서와 같이 BCl_3 의 유량이 증가할수록 GaAs의 식각률이 증가함을 알 수 있다. 일반적으로 GaAs의 식각은 chlorine을 포함하는 가스에 의해 식각되어지고, fluorine을 포함하는 가스에 의해서는 식각되지 않는다고 알려져 있으므로⁷⁻¹²⁾ BCl_3 가스의 유량이 증가함에 따라 GaAs의 식각률이 증가하는 것은 혼합 가스 내의 chlorine의 농도가 증가했기 때문이다. 또한 BCl_3 가스의 유량이 50 sccm 이상이 되면서 GaAs의 식각률이 완만하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 한편, $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ 의 식각률은 BCl_3 유량의 변화에 따라 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있는데 이것은 fluorine에 의해 AlGaAs 표면에 비휘발성 물질인 AlF_3 층의 형성으로 인해 AlGaAs의 식각이 GaAs의 식각에 비해 많이 느려지는 것으로 생각된다.

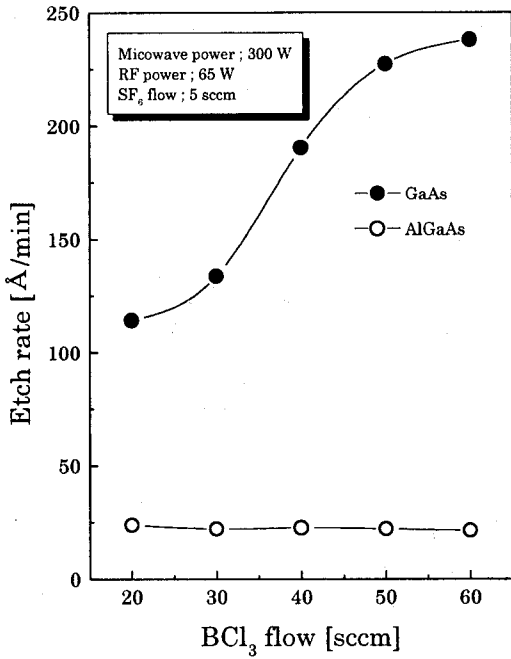


그림 2. 300 W의 microwave power, 65 W의 RF power 및 5 sccm의 SF₆의 유량에서 BCl₃의 유량에 따른 GaAs와 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 식각률.

Fig. 2. Etching rate of GaAs and Al_{0.25}Ga_{0.75}As as a function of BCl₃ flow at a microwave power of 300 W, an RF power of 65 W, and SF₆ flow of 5 sccm.

BCl₃/SF₆ 가스를 사용하여 ECR 플라즈마로 AlGaAs를 식각하는 경우 표면에 비휘발성 물질인 AlF₃ 층이 형성되어 GaAs에 비해 식각률이 현저하게 감소되는 것을 확인하기 위하여 플라즈마에 10분 동안 노출시킨 Al_{0.25}Ga_{0.75}As 시료와 플라즈마에 노출되지 않은 시료에 대해 각각 표면 AES를 측정하여 그림 3에 비교하여 나타내었다. AES 측정 결과 플라즈마 처리 전 시료에서는 표면 잔유물로는 C와 O만이 검출되었지만 플라즈마 처리 후 시료의 표면에서는 C, O와 더불어 S, Cl, 및 F 등이 검출되었다. 이때 표면에서 검출된 F는 AlGaAs 표면의 Al 원자와 반응하여 AlGaAs의 식각을 억제하는 비휘발성 물질인 AlF₃를 표면에 형성하는 것이다. 이러한 불순물들은 NH₄OH 용액이나 HCl 용액에 의해 쉽게 제거되어질 수 있다.¹³⁾

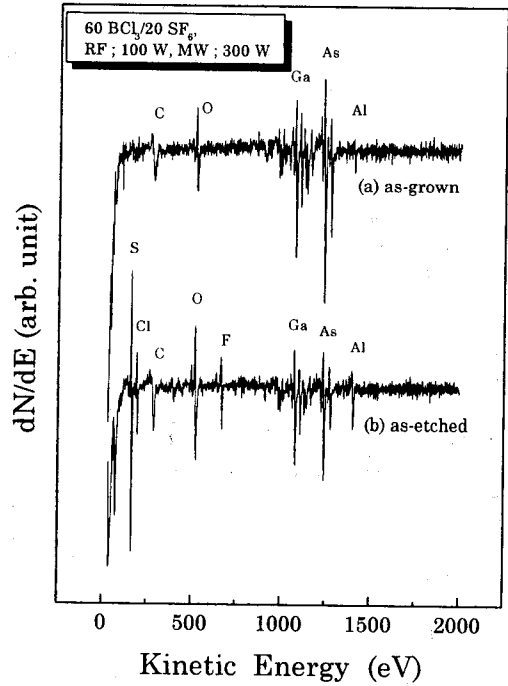


그림 3. 300 W의 microwave power와 100 W의 RF power를 부가하여 60/20 sccm BCl₃/SF₆ 혼합가스를 사용하여 ECR 플라즈마에 10분간 노출된 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 AES 스펙트럼.

Fig. 3 Auger spectrum of Al_{0.25}Ga_{0.75}As sample after a exposure of 10 minutes in ECR plasma at a microwave power of 300 W, RF power of 100 W, and 60/20 sccm BCl₃/SF₆ gas mixture.

그림 4는 BCl₃/SF₆ 가스를 이용한 ECR 플라즈마로 GaAs와 Al_{0.25}Ga_{0.75}As를 식각할 때 BCl₃ 가스 내에 SF₆ 가스가 첨가되어 미치는 영향을 조사하기 위하여 SF₆/(BCl₃+SF₆)의 비에 따라 GaAs와 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 식각률을 조사한 것이다. 여기서 BCl₃+SF₆는 식각에 사용되는 가스의 전체 유량을 의미하며 따라서 SF₆/(BCl₃+SF₆)의 비는 전체 유량에 대한 SF₆ 가스의 유량비를 의미하는 것이다. GaAs의 식각률은 SF₆ 가스의 비가 25%까지 증가함에 따라 증가하였고, SF₆의 비가 25% 이상에서는 SF₆ 가스의 비가 증가함에 따라 GaAs의 식각률은 감소하였다. 반면 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 식각률은 SF₆ 가스의 비가 증가함에 따라 점차적으로 감소하였다.

또한 SF₆/(BCl₃+SF₆) 가스의 비가 25%에서 100 이상의 Al_{0.25}Ga_{0.75}As에 대한 GaAs의 식각 선택비와 GaAs에 대해 최대의 식각률을 얻었다.

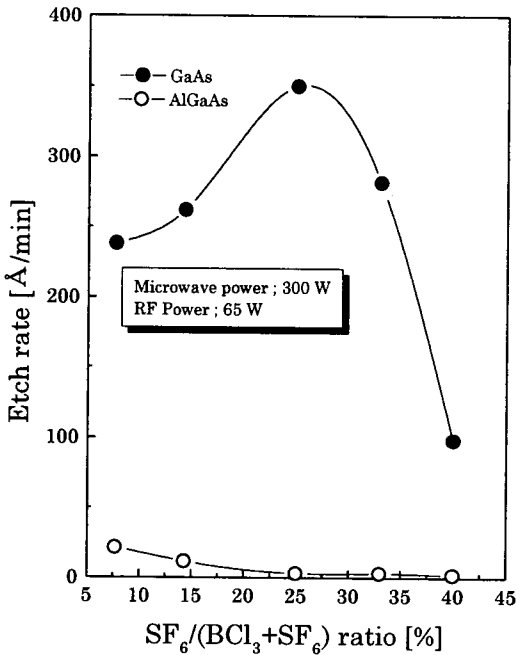


그림 4. 300 W의 microwave power와 65 W의 RF power에서 SF₆/(BCl₃+SF₆)의 가스 혼합비에 따른 GaAs와 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 식각률.
Fig. 4. Etching rate of GaAs and Al_{0.25}Ga_{0.75}As as a function of SF₆/(BCl₃+SF₆) gas ratio at a microwave power of 300 W and a RF power of 65 W.

그림 2와 4에서 BCl₃의 유량의 증가에 따라 GaAs의 식각률이 증가하다가 50 sccm 이상이 되면서 식각률의 증가가 완만해 지는 것이나 SF₆ 가스의 비가 25%까지는 GaAs의 식각률이 증가하다가 25%를 넘어서서는 SF₆의 가스비가 증가함에 따라 감소하는 현상 그리고 SF₆ 가스비의 증가에 따라 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 식각률이 감소하는 것은 다음과 같이 생각되어 진다. 우선, SF₆ 가스는 BCl₃ 가스의 해리를 촉진시켜 chlorine 가스의 비를 증가시켜 주는 역할을 한다. 그러므로 SF₆ 가스의 비가 증가함에 따라 GaAs의 식각률이 증가하고, BCl₃ 가스의 유량이 50 sccm이 넘어서면서 GaAs의 식각률의 증가가 완만해지고 SF₆ 가스의 비가 25%가 넘어서면

서 GaAs의 식각이 오히려 감소하는 것이다. 그리고 Al_{0.25}Ga_{0.75}As 표면에 비휘발성인 AlF₃ 층을 형성시켜 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 식각을 억제시킴으로써 Al_{0.25}Ga_{0.75}As에 대한 GaAs의 식각 선택비를 증가시키는 것이다.

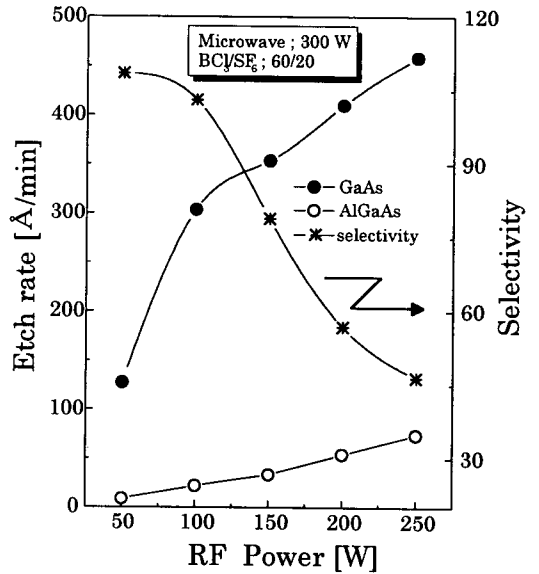


그림 5. 60/20 sccm BCl₃/SF₆ 혼합 가스를 사용하여 300 W의 microwave power에서 RF power에 따른 GaAs와 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 식각률.
Fig. 5. Etching rate of GaAs and Al_{0.25}Ga_{0.75}As as a function of RF power at a microwave power of 300 W, using a ratio of 60/20 sccm BCl₃/SF₆ gas mixture.

그림 5는 BCl₃/SF₆의 가스비를 60/20 sccm으로 하고 RF power에 따른 GaAs와 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 식각률과 GaAs에 대한 AlGaAs의 식각 선택비를 나타낸 것이다. RF power의 증가에 따라 GaAs의 식각률이 증가하지만 Al_{0.25}Ga_{0.75}As의 식각률도 따라서 증가하게 된다. AlGaAs에 대한 GaAs의 식각 선택비는 AlGaAs의 식각률로 GaAs 식각률을 나눈 값이 된다. 식각 선택비를 나타내는 곡선을 보면 100 W 이상에서 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 RF power가 증가함에 따라 플라즈마에 의한 화학적 반응에 의한 식각보다는 이온 충돌에 의한 식각 mechanism이 증가하여 Al_{0.25}Ga_{0.75}As 식각

률이 계속 증가하기 때문이다.

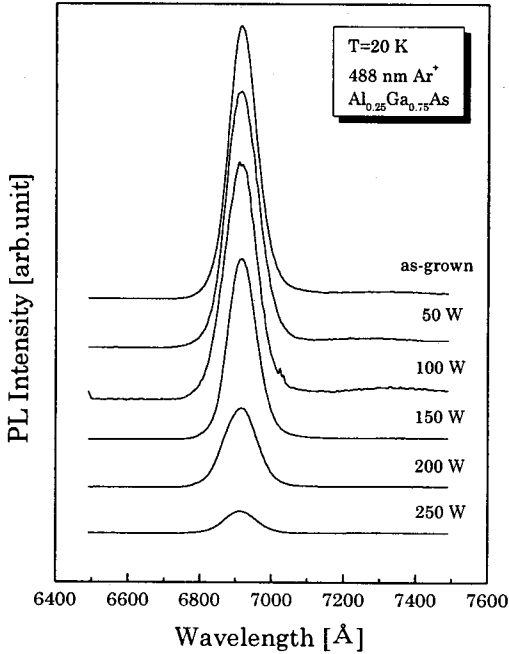


그림 6. 300 W의 microwave power에서 60/20 sccm BCl₃/SF₆ 가스 혼합비로 RF power에 따라 10분간 플라즈마에 노출된 Al_{0.25}Ga_{0.75}As 시료의 PL 스펙트럼.

Fig. 6. PL spectra of Al_{0.25}Ga_{0.75}As sample after an exposure of 10 minutes under various RF power in ECR plasma using 60/20 sccm BCl₃/SF₆ gas mixture with a microwave power of 300 W.

그림 6은 RF power에 따른 식각이 Al_{0.25}Ga_{0.75}As 표면에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Al_{0.25}Ga_{0.75}As를 300 W의 microwave에서 60/20 sccm BCl₃/SF₆ 가스를 사용하여 RF power에 따라 플라즈마를 10분간 처리한 뒤 20 K에서 PL 측정을 하였다. RF power가 증가함에 따라 PL 발광의 세기가 점차로 감소하는 것을 알 수 있다. PL 발광 세기가 감소하는 것은 RF power가 증가함에 따라 플라즈마에 의한 화학적 식각보다 이온 충돌에 의한 물리적 식각의 증가로 인하여 시료의 표면에 비복사성 재결합 준위가 생성되었기 때문이다. 그림 7은 RF power에 따른 PL 발광의 세기를 플라즈마 처리되지 않은 시료의 발광세기로 나눈 값을 나

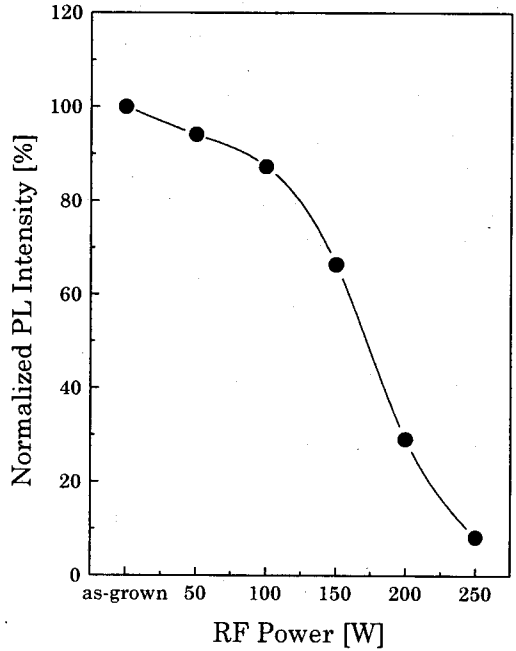


그림 7. 300 W의 microwave power에서 60/20 sccm BCl₃/SF₆ 가스 혼합비로 RF power에 따라 10분간 플라즈마에 노출된 Al_{0.25}Ga_{0.75}As 시료의 규격화된 PL 발광 세기.

Fig. 7. Normalized PL intensity of Al_{0.25}Ga_{0.75}As sample after a exposure of 10 minutes in ECR plasma using 60/20 sccm BCl₃/SF₆ gas mixture at a microwave of 300 W.

타낸 것이다. 그림 7에서 알 수 있듯이 RF power가 100 W 이상에서는 PL 발광 세기가 RF power가 증가함에 따라 급속히 감소함을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 RF power가 100 W 이상에서는 이온 충돌에 의한 물리적 식각 mechanism이 증대되어 식각 선택비가 감소되고 시료 표면의 손상도 급격하게 증가하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

BCl₃/SF₆ 혼합가스를 사용하여 ECR 플라즈마의 선택적 건식 식각 특성을 조사하였다. (SF₆/BCl₃+SF₆)의 비가 25%에서 35%까지 Al_{0.25}Ga_{0.75}As에 대한 GaAs의 식각 선택비를 100 이상의 값을 얻었다. BCl₃ 가스에 SF₆ 가스를 첨가하여 두 가지의 효과

를 얻었다. 즉 SF_6 가스가 BCl_3 가스의 해리를 촉진시켜 식각에 참여하는 chlorine의 비를 증가시켜 GaAs 식각을 증가시키고 AlGaAs 표면에 AlF_3 층을 형성시켜 AlGaAs의 식각률을 억제하여 결과적으로 식각 선택비를 증가시켜 준다. 또한 RF power에 따라 GaAs와 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 의 식각률은 증가하였으나, PL 측정 결과 100 W 이상에서는 발광 세기의 급격한 감소와 식각 선택비가 급격하게 감소하는 것으로 보아 이온 충돌에 의한 식각이 증가하여 표면 손상이 증가하고 식각 선택비도 감소한다.

따라서 BCl_3/SF_6 가스를 사용하여 ECR 플라즈마로 건식 식각을 하는 기술은 비교적 낮은 RF power에서 수행하는 경우 시료의 손상을 줄이고 식각 선택비를 높여서 소자의 동작 특성을 균일하게 할 수 있으므로 pseudomorphic GaAs HEMT의 게이트 리세스 수행에 적합하다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 1998학년도 대구대학교 학술연구비 일부 지원에 의한 논문임.

참고 문헌

1. R. Plana, L. Escotte, O. Llopis, H. Amine, T. Parra, M. Gayral, and J. Graffeuil, "Noise in AlGaAs/InGaAs/GaAs pseudomorphic HEMT's from 10 Hz to 18 GHz", *IEEE Trans. Electron Devices*, **40**(5), pp. 852-858, 1993.
2. R. Lai, C. H. Chen, M. Biedenbender, H. C. Yen, D. C. Streit, K. L. Tan, and P. H. Liu, "High-Power 0.15- μm V-band Pseudomorphic InGaAs-AlGaAs-GaAs HEMT", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, **3**(10), pp. 363-365, 1993
3. J. C. Huang, G. S. Jackson, S. Shanfield, A. Platzker, P. K. Saledas, and C. Weichert, "An AlGaAs/InGaAs Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor With Improved Breakdown Voltage for X- and Ku-Band Power Applications", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **40**(5), pp. 752-997, 1993
4. N. I. Cameron, M. R. S. Taylor, H. McLelland, M. Holland, I. G. Thayne, K. Elgaid, and S. P. Beaumont, "A high performance, high yield, dry-etched, pseudomorphic HEMT for W-band use", *IEEE MTT-s Digest*, pp. 435-438, 1995.
5. K. Hikodaka, "Selective Dry Etching of AlGaAs-GaAs Heterojunction", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **20**, pp. L847-L850, 1981.
6. K. L. Seaward, N. J. Moll, D. J. Coulman, and W. F. Stickle, "An analytical study of etch and etch-stop reactions for GaAs on AlGaAs in CCl_2F_2 Plasma", *J. Appl. Phys.*, **61**(6), pp. 2358-2364, 1987.
7. S. Salimian, "Reactive ion etch process with highly controllable GaAs-to-AlGaAs selectivity using SF_6 and SiCl_4 ", *Appl. Phys. Lett.*, **51**(14), pp. 1083-1085, 1987
8. S. Salimian, "Damage studies of dry etched GaAs recessed gates for field effect transistors", *J. Vac. Sci. Technol.*, **B9**, pp.114-119, 1991.
9. T. Tanimoto, "Dry etching damage and activation ratio degradation in δ -doped AlGaAs/InGaAs High Electron Mobility Transistors", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **33**, pp. L260-262, 1994.
10. W. H. Guggina, "Characterization of GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ selective reactive ion etching in $\text{SiCl}_4/\text{SiF}_4$ plasma", *J. Vac. Technol.*, **B8**, pp. 1956-1959, 1990.
11. T. E. Kazior and B. I. Patel, "Selective gate recessing of GaAs/AlGaAs/InGaAs pseudomorphic HEMT structures using BCl_3 plasma", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **240**, pp. 329-334, 1992.
12. D. G. Ballegeer, "Selective reactive ion etching effects on GaAs/AlGaAs MODFETs", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **240**, pp. 335-340, 1992.
13. D. G. Ballegeer, S. Agarwala, M. Tong, K. Nummila, A. A. Ketterson, I. Adesida, J. Griffin, and M. Spencer, "Selective reactive ion etching in $\text{SiCl}_4/\text{SiF}_4$ plasmas for gate recess in GaAs/AlGaAs modulation-doped field effect transistors", *J. Vac. Sci. Technol.*, **B11**(3), pp. 618-627, 1993.