

SiCl₄와 Cl₂ 가스에 의한 InP, InGaAs 및 InAlAs의 반응성 이온 식각: 가스유량, rf 전력, 공정압력, Ar 첨가의 영향

유 제 수, 송 진 동, 배 성 주, 정 지 훈, 이 용 탁
광주과학기술원 정보통신공학과
전화: 062-970-2261/팩스: 062-970-2204

Reactive Ion Etching of InP, InGaAs and InAlAs by SiCl₄ and Cl₂ Gases: Effects of Gas Flow Rate, rf Power, Process Pressure and Ar Addition

Jae Su Yu, Jin Dong Song, Seong Ju Bae, Ji Hoon Jeong, Yong Tak Lee
Dept. of Information and Communications, Kwangju Institute of Science and Technology
E-mail : ytlee@kjist.ac.kr

Abstract

In this paper, we have investigated the effects of gas flow rate, rf power, process pressure and Ar addition on reactive ion etching of InP, InGaAs and InAlAs using SiCl₄ and Cl₂ gases. The etch rates were measured by using a surface profiler. The etched profiles, sidewall roughness, and surface morphology were observed by scanning electron microscopy and by atomic force microscopy. The selective etching of InGaAs to InP and InAlAs was studied by varying the etching parameters. It was found that Cl₂ gas is more efficient for the selective etching of InGaAs to InAlAs than SiCl₄ gas. The etch selectivity of InGaAs to InAlAs is strongly dependent on the rf power and the process pressure.

I. 서론

최근 초고속 인터넷의 급속한 발달로 인한 광통신 시스템의 구현에 필요한 핵심 광소자에 대한 관심이 급증하고 있다. 현재 반도체 소자의 고집적화 및 고속화와 더불어, III-V 화합물 반도체 에피택시와 제조공정을 이용한 새로운 전자소자 및 광소자 제작에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 초고속 대용량 광통신을

위한 반도체 레이저다이오드, 광검출기, 광변조기, 광스위치 등 광소자 제작에 있어서 광도파로 미세 메사 식각은 필수적이다. 특히 1.3-1.6 μ m 장파장 대역 광통신을 위한 InP 및 InGaAs, InAlAs 등의 InP계 화합물의 건식식각은 매우 중요하다. 일반적으로 InP계 화합물의 건식식각에 사용되는 가스로는 크게 탄화수소 계통 [1,2]과 염소 계통 [3-5]이며, 두 종류의 혼합가스 [6]가 사용되기도 한다. 염소 계통의 가스로는 Cl₂, BCl₃, SiCl₄, CCl₄, CCl₂F₂ 가 있으며, 탄화수소 계통의 가스는 CH₄, C₂H₆ 등이 있다. 다른 한편으로 반응성 이온식각 (RIE: reactive ion etching) 방법 외에도 식각속도를 높이기 위해 전자사이클로트론 공명 (ECR: electron cyclotron resonance)과 유도결합플라즈마 (ICP: inductively coupled plasma) 방법이 사용되고 있다. 그러나 이 방법들은 공정의 재현성 및 균일도의 문제점이 있다.

본 논문은 광전소자 응용을 위해 SiCl₄와 Cl₂ 가스에 의한 InP, InGaAs 및 InAlAs의 최적화된 반응성 이온 식각 조건을 확보하기 위한 가스유량, rf 전력, 공정압력, Ar 첨가 등의 식각 조건에 따른 영향을 연구하였다. 또한 SiCl₄와 Cl₂ 플라즈마에서 식각 변수에 따른 InP 및 InGaAs에 대한 InAlAs의 선택적 식각 특성을 조사하였다.

II. 본론

2.1 반응성 이온 식각 실험

InP 기판 및 InP계 3원 화합물 (InGaAs, InAlAs)이 본 실험에 사용되었다. InP에 격자정합된 $In_{0.53}Ga_{0.47}As$, $In_{0.52}Al_{0.48}As$ 층은 VG SEMICON사의 V80H MBE (molecular beam epitaxy) 시스템을 사용하여 성장하였다. 300nm의 SiO_2 층이 PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition)에 의해 증착되었고, 기존의 사진식각 (photolithography)과 건식 식각에 의해 3-5 μm stripe SiO_2 마스크 패턴이 형성되었다. AZ1512 PR (photoresist)이 메사 패턴을 형성하기 위해 사용되었고, 패턴형성 후 PR은 아세톤에 의해 제거되었다. SiO_2 마스크층은 CF_4/O_2 RIE에 의해 식각되었다. 식각 전에 시료 위에 잔류하고 있는 불순물을 제거를 위해 아세톤, 메탄올, DI (de-ionized) water 순서로 시료를 세척하였다. 식각 실험에서 $SiCl_4$ (10-50sccm), Cl_2 (0-50sccm), Ar (0-100sccm) 가스가 사용되었고, rf 전력 (50-200W), 공정압력 (10-100mTorr)이 변화되었다. 실험 결과로, 식각율은 surface profiler와 주사전자현미경 (SEM: scanning electron microscopy)에 의해 측정되었다. 또 식각된 형상은 SEM에 의해 관찰되었고, 표면 거칠기는 AFM (atomic force microscopy)에 의해 분석하였다.

2.2 $SiCl_4$ 가스에 의한 식각

그림 1은 $SiCl_4$ 가스를 사용하여 가스유량, rf 전력, 공정압력, Ar 가스유량에 따른 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각율을 나타낸다. 그림 1(a)에서 보듯이 InP와 InGaAs의 식각율은 $SiCl_4$ 유량이 증가함에 따른 증가한다. 이것은 반응성 입자의 증가로 인한 것이다. 반면 InAlAs의 식각율은 $SiCl_4$ 유량의 증가에 따라 감소하였다. 이는 Al의 식각 메커니즘과 관련된 것으로 보인다. 그림 1(b)는 rf 전력에 따른 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각율을 나타내는데, 100W 이상에서 rf 전력이 증가함에 따라 식각율이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 식각율의 증가는 rf 전력 증가에 따른 반응성 기(radical)와 이온 에너지 밀도의 증가 때문이다. 공정 압력이 증가함에 따라 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각율은 감소한다 (그림 1(c)). 바이어스 전압은 rf 전력 증가, 공정압력 감소에 따라 증가한다. 결과적으로 공정압력의 변화에 따라 바이어스 전압과 반응성 입자의 양이 영향을 받는다. 따라서 식각율의 증가는 $SiCl_4$ 플라즈마에 의한 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각에서 더 높은 공정압력에 따른 증가된 반응성 입자에 의한 영향보다 이온 에너지 증가에 따른 더 효율적인 비활성 반응생성물의 이탈 (desorbing)이 더 우세하

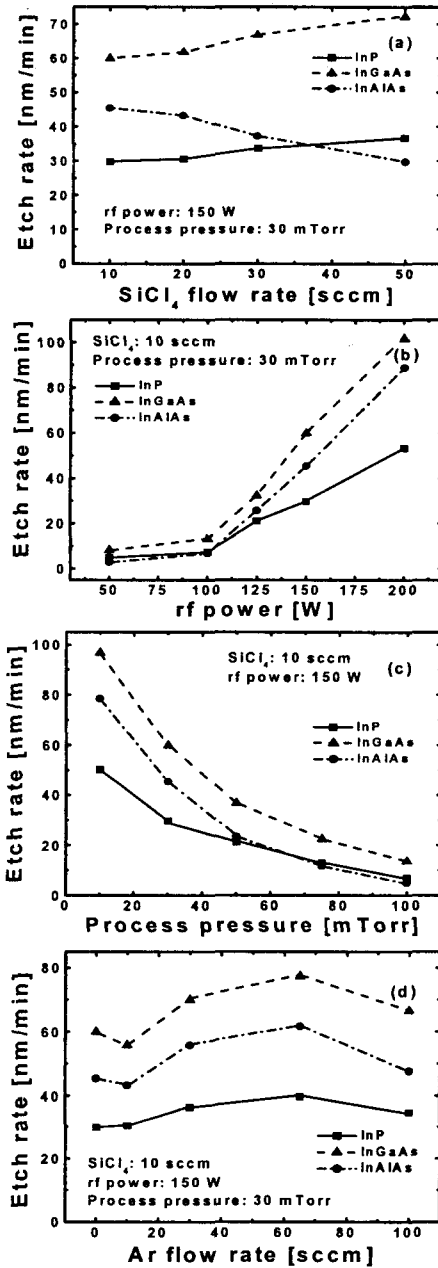


그림 1. $SiCl_4$ 가스유량, rf 전력, 공정압력, Ar 가스유량에 따른 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각율.

다는 것을 보여준다. 그림 1(d)는 $SiCl_4$ 가스에 Ar을 첨가함에 따른 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각율을 나타낸다. 그림에서 보듯이 InGaAs와 InAlAs는 10sccm Ar

SiCl₄와 Cl₂ 가스에 의한 InP, InGaAs 및 InAlAs의 반응성 이온 식각:~

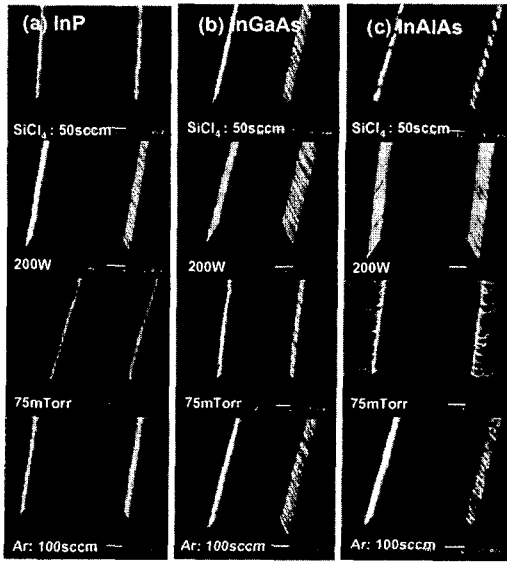


그림 2. SiCl₄ : 10sccm, rf power: 150W, 공정압력: 30mTorr에서 각 식각 변수에 따른 (a) InP, (b) InGaAs 및 (c) InAlAs의 SEM 식각 단면 사진.

침가로 식각율이 약간 감소하는 것으로 나타났다. 그때 Ar양이 65sccm까지는 식각율이 증가하다가 감소한다. 초기의 식각율 감소는 Ar 침가에 따른 실질적 반응성 입자들의 감소로 인한 것이다. Ar양이 증가함에 따라 Ar의 sputtering이 식각에 기여하면서 식각율이 증가하지만, 더 많은 Ar의 양이 오히려 반응성 기들의 식각을 방해하는 것으로 사료된다. InP의 경우 Ar 침가에 따라 증가하다 감소하는 경향을 나타냈다. 그림 2는 SiCl₄ : 10sccm, rf power: 150W, 공정압력: 30mTorr에서 각 식각 변수에 따른 (a) InP, (b) InGaAs 및 (c) InAlAs의 SEM 식각 단면 사진을 나타낸다. 시료들의 표면 거칠기는 rf 전력, 공정압력, Ar 가스유량의 증가에 따라 증가하였다. InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각은 10sccm SiCl₄, 150W, 10mTorr에서 낮은 거칠기와 높은 식각율을 갖는 조건이 얻어졌다.

2.3 Cl₂ 가스에 의한 식각

Cl₂ 가스를 사용하여 가스유량, rf 전력, 공정압력, Ar 가스유량에 따른 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각율이 그림 3에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 Cl₂ 가스에 의해서는 InAlAs의 경우 전체적으로 매우 낮은 식각율을 나타냈다. 이는 Al의 식각에 Cl₂ 가스가 효율적이지 못함을 나타낸다. Ar을 첨가함에 따른 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각율은 Cl₂ 유량의 증가에 따라 증가한다 (그림 3(a)). Cl₂ 유량이 증가에 따라 염소 반응성 기가 증가한다. 그림 3(b)는 rf 전력에 따른 InP, InGaAs

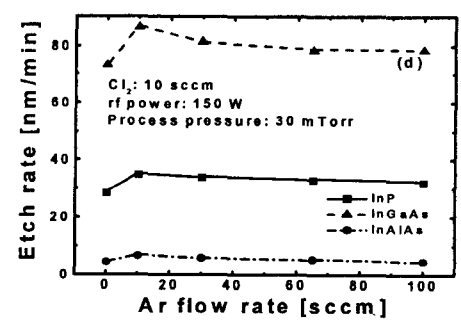
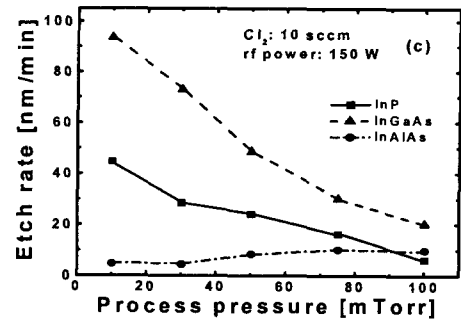
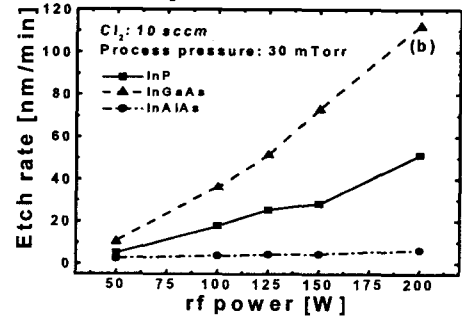
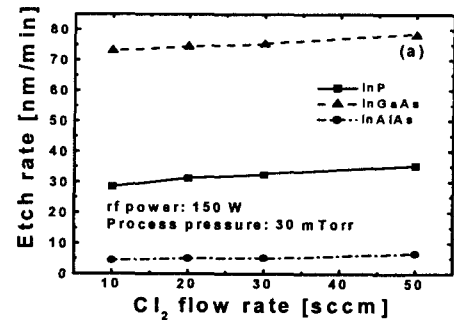


그림 3. Cl₂ 가스유량, rf 전력, 공정압력, Ar 가스 유량에 따른 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각율.

및 InAlAs의 식각율을 나타내는데, InP와 InGaAs는 rf 전력이 증가함에 따라 식각율이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 InAlAs의 경우 rf 전력

증가에 따라 식각율이 크게 변하지 않았다. 그림 3(c)는 공정압력에 따른 InP, InGaAs 및 InAlAs의 식각율을 나타낸다. 공정압력의 증가에 따라 InP와 InGaAs의 식각율은 감소하지만, InAlAs의 식각율은 증가한다. 앞에서 언급한 바와 같이 Cl₂ 플라즈마에서도 바이어스 전압은 rf 전력 증가, 공정압력 감소에 따라 증가한다. InP와 InGaAs의 식각에 대해서는 SiCl₄ 플라즈마에서와 같이 공정압력 증가에 따른 이온 에너지 증가의 영향이 큰 반면, InAlAs의 식각에서는 이러한 영향보다 반응성 입자의 양에 의한 영향을 더 받는 것을 알 수 있다. 그림 3(d)는 Cl₂ 가스에 Ar을 첨가함에 따른 식각율을 나타낸다. 그림에서 보듯이 10sccm Ar 첨가에 따라 식각율의 증가정도가 InGaAs, InP, InAlAs 순서의 크기로 나타났다. Ar 첨가가 InP, InGaAs 및 InAlAs의 Cl₂ 플라즈마 식각에서는 반응성 기체의 활성화에 기여한다. 그러나 Ar양을 더 많이 첨가함에 따라 식각율은 약간 감소하다 거의 일정하게 유지되었다. Cl₂ 플라즈마에 의해 식각된 시료들의 표면 거칠기는 SiCl₄ 플라즈마에서와 유사한 경향성을 나타냈다. 그림 4는 Cl₂ : 10sccm, rf power: 150W, 공정압력: 30mTorr에서 각 식각 변수에 따른 (a) InP, (b) InGaAs 및 (c) InAlAs의 SEM 식각 단면 사진을 나타낸다. InP와 InGaAs의 경우 SiCl₄ 플라즈마에서와 같이 낮은 공정압력, 높은 rf전력, 낮은 Cl₂ 가스유량에 의한 식각이 낮은 거칠기와 높은 식각율을 나타냈다.

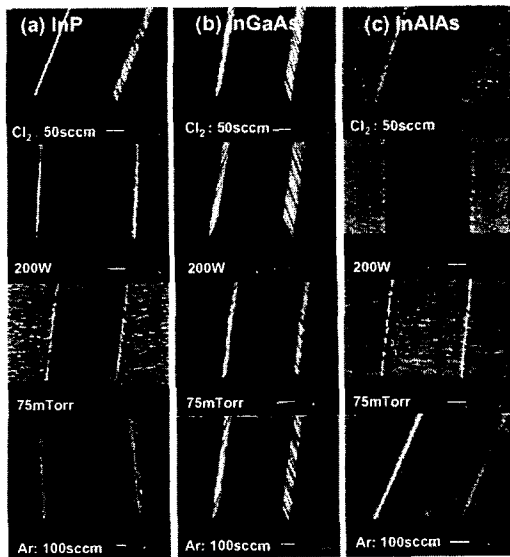


그림 4. Cl₂ : 10sccm, rf power: 150W, 공정압력: 30mTorr에서 각 식각 변수에 따른 (a) InP, (b) InGaAs 및 (c) InAlAs의 SEM 식각 단면 사진.

2.4 InP 및 InAlAs에 대한 InGaAs의 선택적 식각
표 1은 SiCl₄와 Cl₂ 플라즈마에서 식각 변수에 따른 InP 및 InAlAs에 대한 InGaAs의 식각 선택도를 나타낸다. InAlAs에 대한 InGaAs의 선택적 식각은 Cl₂ 플라즈마를 이용할 경우 SiCl₄에서 보다 더 효율적이고, Cl₂ 플라즈마에서 InAlAs에 대한 InGaAs의 식각 선택도는 rf 전력이 높을수록, 공정압력이 낮을수록 증가한다.

표 1. SiCl₄와 Cl₂ 플라즈마에서 식각 변수에 따른 InP 및 InAlAs에 대한 InGaAs의 식각 선택도.

플라즈마	시료	가스 유량 (sccm)	선택도	rf 전력 (W)	선택도	공정압력 (mTorr)	선택도	Ar 가스 유량 (sccm)	선택도
SiCl ₄	InGaAs	10	2.0	50	1.6	10	1.9	10	1.8
	/InP	50	1.9	200	1.9	100	1.9	100	1.9
	InGaAs	10	1.3	50	2.8	10	1.2	10	1.3
	/InAlAs	50	2.4	200	1.1	100	2.7	100	1.4
Cl ₂	InGaAs	10	2.6	50	2.0	10	2.1	10	2.5
	/InP	50	2.2	200	2.2	100	3.2	100	2.4
	InGaAs	10	16.7	50	4.5	10	20.1	10	13.4
	/InAlAs	50	11.9	200	17.7	100	2.1	100	17.1

III. 결론

SiCl₄와 Cl₂ 플라즈마를 이용하여 InP, InGaAs 및 InAlAs의 반응성 이온식각에서 가스유량, rf 전력, 공정압력, Ar 가스유량의 영향을 살펴보았다. 낮은 공정압력, 높은 rf전력, 낮은 Cl₂ 가스유량에 의한 식각이 낮은 거칠기와 높은 식각율을 나타냈다. 결과적 Cl₂ 가스를 이용하여 높은 rf 전력, 낮은 공정압력에서 높은 InAlAs에 대한 InGaAs의 식각 선택도를 얻었다.

참고문헌

- [1] T. Hayes et. al., J. Vac. Sci. Technol. **B7**, 187 (1989).
- [2] Jae Su Yu and Yong Tak Lee, J. Kor. Phys. Soc. **37**, 241 (2000).
- [3] M.B. Stern and P.F. Liao, J. Vac. Sci. Technol. **B1**, 1053 (1983).
- [4] J.W. Lee, J. Hong, and S. J. Pearton, Appl. Phys. Lett. **68**, 847 (1996).
- [5] C. Constantine, C. Barratt, S.J. Pearton, F. Ren, J.R. Lothian et. al., Electron. Lett. **28**, 1749 (1992).
- [6] R. van Roijen, C.W.T. Bulle-lieuwma, E.A. Montie, J. Vac. Sci. Technol. **B10**, 2188 (1992).