

CH₄/H₂ 유도결합 플라즈마를 이용한 InP의 건식 식각에 관한 연구

박철희 · 이병택 · 김호성*

전남대학교 금속공학과
*세라믹공학과
(1998년 1월 13일 접수)

Reactive Ion Etching of InP Using CH₄/H₂ Inductively Coupled Plasma

Chul-Hee Park, Byung-Teak Lee, and Ho-Sung Kim*

Dept. of Met. Eng.

*Dept. of Ceramics Eng., Chonnam National University, 500-757, Korea

(Received January 13, 1998)

초 록 - Taguchi가 제안한 강건설계 및 연구자의 주관에 의존하는 통상적인 실험방법을 병행하여 CH₄/H₂ 유도결합 고밀도 플라즈마를 이용한 InP 소재의 반응성이온에칭에 있어 공정변수들이 식각특성에 미치는 영향을 분석하고 적정조건을 도출하였다. 연구 결과 ICP 전력은 표면거칠기와 측벽수직도, bias 전력은 식각속도와 수직도에, CH₄ 분율은 수직도와 식각속도, 석영창과 시료 사이의 거리는 표면 거칠기에 영향을 주는 변수로 작용하였고, 식각속도에 가장 크게 영향을 주는 변수는 공정압력임을 알 수 있었다. 결과적으로 ICP Power 700W, bias Power 150W, 시편/coil 거리 14 cm, 압력 7.5 mTorr, 15% CH₄의 적정조건에서 시간당 약 3.1 μm의 식각속도와 미려한 표면을 얻어, 기존의 반응성 이온 식각 (RIE)과 비교하여 1.5배 이상의 식각속도를 얻을 수 있었다.

Abstract - Reactive ion etching process for InGaAsP/InP using the CH₄/H₂ high density inductively coupled plasma was investigated. The experimental design method proposed by Taguchi was utilized to cover the whole parameter range while maintaining reasonable number of actual experiments. Results showed that the ICP power mainly affects surface roughness and verticality of the sidewall, bias power does etch rate and verticality, CH₄ gas concentration does the verticality and etch rate, and the distance between the induction coil and specimen mostly affects the surface roughness. It was also observed that the chamber pressure is the dominant parameter for the etch rate and verticality of the sidewall. The optimum condition was ICP power 700W, bias power 150W, 15% CH₄, 7.5 mTorr, and 14 cm distance, resulting in about 3 μm/hr etch rate with smooth surfaces and vertical mesa sidewalls.

1. 서 론

최근 반도체 소자에 사용되는 미세구조의 크기가 급속하게 감소하여 소위 half-micron 단위까지 구현됨에 따라 실제 소자 제작에 있어서 미세한 모양을 식각하는 공정이 매우 중요하게 되었다[1]. 특히 광섬유 통과 손실이 최소인 1.3~1.5 μm 파장 대역의 빛을 수광/발광할 수 있어서 장거리 광통신용 소자로 사용되고 있는 InGaAsP/InP를 소재로 한 광소자의 경우[2] 소자의 제작에 있어 식각높이, 모양 등 제반 특성 조절에 대한 정밀도가 필수적으로 요구되어 이를 구현하기 위한 방안

으로서 건식 식각 공정이 활발히 연구되고 있다[3-6].

InP 계통 재료의 건식에칭 방법은 여러가지가 있으나 현재 가장 많이 사용되는 것은 CH₄/H₂ 혼합기체를 사용한 반응성 이온 에칭(RIE, reactive ion etching) 법이다[3]. 이 방법은 비교적 사용이 간단하고 적절한 조건에서 사용하였을 때 광소자에 적당한 고품위 에칭 표면을 얻을 수 있으며 무엇보다 공해 및 유독성의 문제가 없어서 널리 쓰이고 있다. 그러나 CH₄/H₂ RIE 방법은 2 μm/hr 정도의 낮은 에칭속도, 에칭공정 시 시료 표면에 심하게 생성되는 고분자 침적물, 높은 dc bias 전압으로 인한 시료표면의 손상 등 몇가지 본질적인 약점을 가

지고 있어서 그 개선 방안이 계속 연구되고 있다[3-5].

유도결합 플라즈마 (ICP, inductively coupled plasma) 공정은 고밀도의 플라즈마를 RF 유도결합 방식으로 생성하고 기판에 bias 전력을 가하여 이온에 운동에너지를 주는 방식을 사용하므로 이온의 밀도와 운동에너지 및 운동방향의 독립적 조절이 가능하고, 저압 공정이 가능하며, 대형화가 가능할 뿐만 아니라 공정 자체의 조절이 매우 간단하고 재현성 있어서 최근 SiO₂와 고분자물질의 식각공정 및 포토레지스트 제거공정 등을 중심으로 실용화되어 미세소자의 제작을 위한 핵심 공정으로 인식되고 있다[7, 8].

본 연구에서는 이러한 ICP 공정을 InP 매사 식각공정에 적용하여 식각속도, 표면미려도, 매사측벽수직도 등을 고려한 최적공정을 도출하고 실제 소자에 적용가능성을 살펴보았다. InP CH₄/H₂ ICP 식각공정에는 ICP 전력, bias 전력, 반응기체 중 CH₄ 분율, 공정압력, 플라즈마와 시료사이의 거리 등 5가지 정도의 주요 공정변수들이 존재하여 전체 공정변수 범위에서 최적공정을 도출하기 위해서는 매우 많은 실험회수가 소요되므로 이를 최소화하면서 전체 변수범위를 걸친 데이터를 확보하기 위해 Taguchi가 제안한 실험계획법을 적용하여 연구를 진행하였다. 또한 이를 보완, 실증하기 위해 연구자의 주관에 의존하는 통상적인 실험방법을 병행하여 수행하였다.

2. 실험방법

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 ICP장치의 개략도이다. 이 장비는 자체적으로 제작한 평판형 ICP 장치로서 유도결합플라즈마 전원으로 13.56 MHz RF를, bias 전력용 전원으로 100 kHz RF를 사용하였으며, 터보펌프를 장착하여 10⁻⁷ torr 이하의 기본 압력을 얻을 수 있고, 5개의 가스조절 채널을 설치하였다. 사용된 시료는 상용의 (100) n⁺-InP기판과 이 기판 상에 0.5 μm 두께의 InGaAsP 박막층과 2 μm InP 상부층을 성장시킨 광도파로용 시료였다. 시료의 크기는 결시료(dummy)를 포함해서 20×20 mm로 고정하여 시료크기의 영향을 배제하였다. 마스크로는 Si₃N₄를 플라즈마 화학 증착법으로 0.2~0.3 μm 두께로 성장시키고, 광식각 방법을 이용하여 폭 2~5 μm의 직선패턴으로 제작하여 사용하였다.

본 연구에서 적용된 공정조건은 ICP 전력을 500W, 600W, 700W, bias 전력 50W, 100W, 150W, 200W,

ICP SYSTEM CONFIGURATION

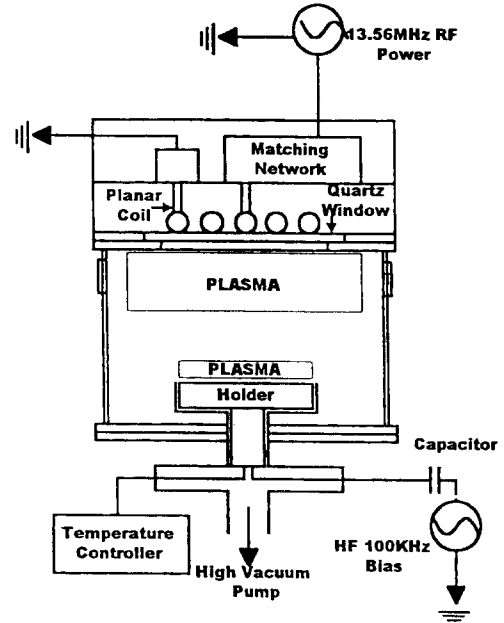


Fig. 1. 본 연구에서 사용한 자체제작 ICP 장치의 개략도.

250W, 300W, CH₄의 분율 10%, 15%, 20%, 공정압력 3 mTorr, 8 mTorr, 11 mTorr, 석영창과 시료사이의 거리 11 cm, 13 cm, 17 cm로 하여 30분간 식각을 진행하였다. 상기 조건을 조합하였을 경우 매우 많은 회수의 실험이 수행되어야 하므로 Taguchi가 제안한 강건설계[9, 10]에 명기된 L₁₈ 직교배열을 적용하여 실험계획표를 작성, 실험을 진행하였다. 또한 통상적인 실험방법, 즉 연구자의 주관적인 경험을 바탕으로 적정조건을 설정하고 한 번에 한가지의 변수만을 변화하여 실험하는 방법을 병행하여 확인실험하였다. 식각 후에 ashing공정은 O₂ 50 sccm을 주입하고 ICP 전력 600W, bias 전력 150W, 6 mTorr에서 30분간 실시하였다. 각 공정변수에 따라 식각된 시료들을 마스크가 존재하는 상태에서 식각모양, 식각깊이, 매사각, 표면 거칠기를 SEM (주사전자현미경)을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 식각특성에 미치는 공정변수들의 영향

Table 1은 Taguchi가 제안한 강건설계의 직교배열 L₁₈(6¹*3³)으로 작성된 실험계획표이다. 이는 L₁₈(2¹*3³)의

Table 1. Taguchi가 제안한 실험계획법에 따른 실험계획표

No.	bias Power (W)	CH ₄ (%)	ICP Power (W)	Pressure (mTorr)	Distance (cm)
1	50	10	500	3	8
2	50	15	600	8	11
3	50	20	700	11	14
4	100	10	500	8	11
5	100	15	600	11	14
6	100	20	700	3	8
7	150	10	600	3	14
8	150	15	700	8	8
9	150	20	500	11	11
10	200	10	700	11	11
11	200	15	500	3	14
12	200	20	600	8	8
13	250	10	600	11	8
14	250	15	700	3	11
15	250	20	500	8	14
16	300	10	700	8	14
17	300	15	500	11	8
18	300	20	600	3	11

Table 2. 실험계획표에 따른 식각특성(그림 2)을 정리한 결과

No	Etch rate (μm/hr)		Surface	Sidewall
	Measured	S/N ratio		
1	0.69±0.15	4.315	A	C
2	2.69±0.30	8.311	C	C
3	2.48±0.15	7.863	C	C
4	1.84±0.30	4.662	B	B
5	3.84±0.25	11.342	A	B
6	1.63±0.30	0.053	D	B
7	1.23±0.10	1.784	B	B
8	4.09±0.30	12.118	B	C
9	3.42±0.35	10.300	A	C
10	3.27±0.30	10.173	B	C
11	1.62±0.20	4.168	A	A
12	3.81±0.20	11.527	B	B
13	4.07±0.20	11.944	C	C
14	1.27±0.30	1.348	A	B
15	3.86±0.20	11.645	A	B
16	1.90±0.10	5.141	C	C
17	4.21±0.15	12.471	C	C
18	1.54±0.15	3.607	B	A

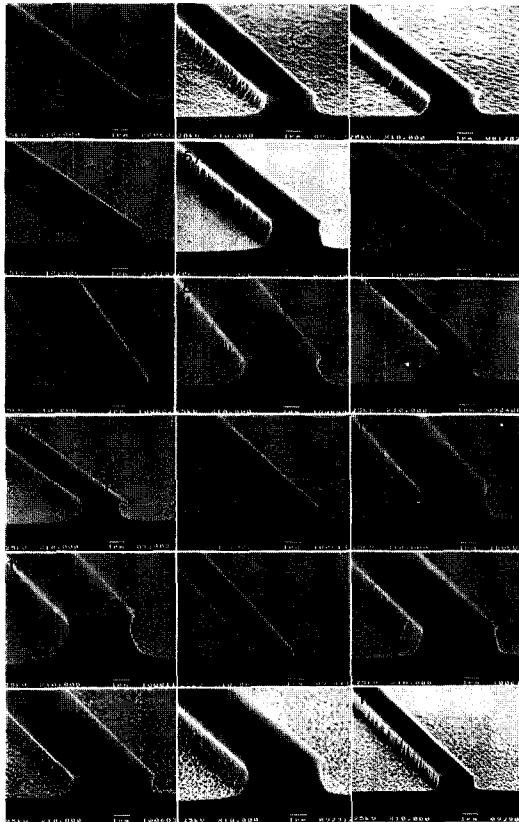


Fig. 2. 표 1의 실험계획표에 따라 식각된 메사들의 단면 SEM 사진.

직교배열을 열병합법과 의수준법을 사용하여 직교배열을 변형시켜 5수준 인자 하나와 3수준 인자 4개를 배치할 수 있게 한 것이다[9, 10]. Fig. 2는 표 1에 제시된 18회의 실험에서 식각된 InP 메사단면의 SEM 사진을 보여주며, 이 사진으로부터 식각속도, 표면거칠기, 측벽수직도 등을 측정하였다. 식각속도는 μm/hr 단위로 측정하였으며 각 실험에서 3~5개의 데이터를 얻었다. 표면거칠기와 측벽수직도는 정량화하기 힘들어 SEM 사진을 기준으로 표면거칠기는 4단계, 측벽수직도는 3단계로 분류하여 수치화하였으며 그 결과를 Table 2에 정리하였다. 이들 데이터로부터 특성 데이터 제공과 표준편차 제공의 비에 비례하는 S/N 비 (signal-to-noise ratio)

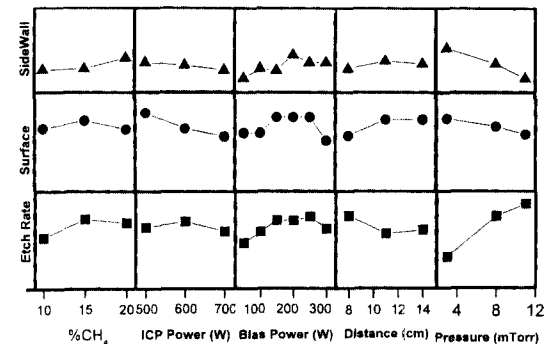


Fig. 3. Fig. 2 및 Table 2의 식각특성을 분석하여 도출한 각 공정변수들의 주효과.

Table 3. 각 인자들의 제곱합과 제곱평균값

	Etch Rate		Surface		Sidewall	
	제곱합	제곱평균	제곱합	제곱평균	제곱합	제곱평균
Bias power	2.552	0.5104	2.994	0.5988	1.767	0.3534
CH ₄ %	2.074	1.037	0.444	0.222	0.924	0.462
ICP power	0.546	0.273	3.111	1.555	0.340	0.170
Pressure	16.187	8.093	0.444	0.222	5.007	2.503
Distance	1.873	0.936	1.778	0.889	0.340	0.170

를 계산하였다[10].

실험결과를 평가한 데이터를 이용하여 평균분석과 분산분석으로 각 인자가 수준에 따라 실험결과에 영향을 주는 경향성과 인자영향의 상대적 크기를 분석하여[9, 10] 그 결과를 각각 Fig. 3과 Table 3에 나타내었다. Fig. 3의 횡축은 각 변수들의 변화값을 나타내고 있으며 종축은 주효과, 즉 변수변화에 따른 해당 특성의 평균적인 변화를 나타낸다. 또한 Table 3의 분산분석 결과에 있어서는 주어진 특성에 대해 제곱합과 제곱평균이 가장 큰 값을 갖는 변수가 그 특성에 가장 크게 영향을 주는 것을 의미하게 된다[9, 10].

Fig. 3a는 식각기체 중 CH₄ 분율의 주효과로 CH₄ 증가에 따라 표면의 상태에는 거의 영향이 없지만 식각속도를 다소간 증가시키고, 측벽 수직도를 향상시키는 것으로 관찰되고 있다. Fig. 3b는 ICP 전력의 주효과로서 ICP 전력의 증가에 따라 식각속도는 거의 변화가 없지만 측벽수직도와 표면의 거칠기는 나빠짐을 나타내고

있고, Fig. 3c는 bias 전력의 주효과를 나타내는 것으로 bias 전력의 증가에 의해 식각속도는 대체적으로 증가하고, 표면은 150~250W의 범위에서 미려하게 되는 결과를 보이고 있으며, 측벽의 수직도는 다소간 증가하는 것을 보이고 있다. Fig. 3d는 플라즈마와 시료사이의 거리가 식각특성에 나타내는 주효과로서 측벽의 상태에는 거의 영향을 주지 않고 주로 표면과 식각속도에 영향을 주고 있는 것을 알 수 있고, Fig. 3e는 공정압력의 주효과로서 압력의 증가는 식각속도를 크게 향상시키는 반면 표면과 측벽의 상태를 악화시키는 것을 보여주고 있다.

분산분석은 실험에서 얻은 데이터를 직접 계산한 경우와 S/N비를 사용한 경우를 살펴보았다. Table 3에 실험에서 얻은 데이터를 직접 계산한 분산분석 자료를 나타내었으며, 이 표에서 제곱합과 제곱평균 값이 클수록 해당 특성에 큰 영향을 줌을 의미한다. 분산분석 결과 식각속도의 경우 데이터를 직접 계산한 경우와 S/N비를 사용한 경우 모두 공정압력이 가장 큰 영향을 주는 것

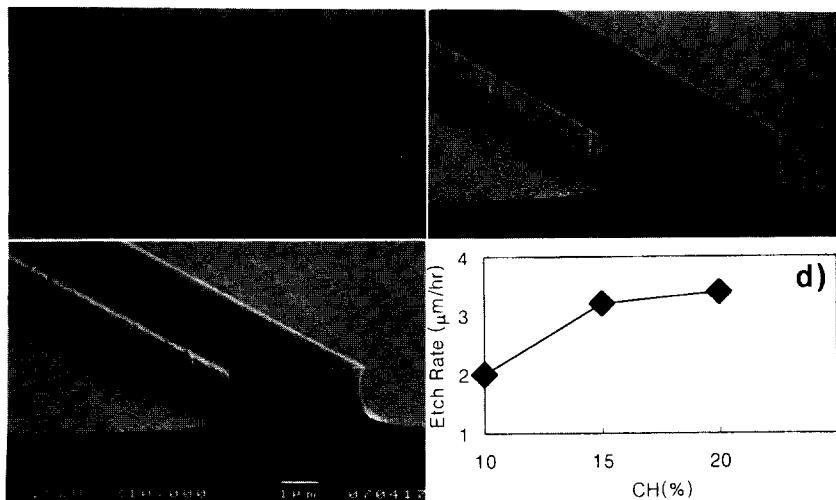


Fig. 4. ICP 전력 700W, bias 전력 150W, 7.5 mTorr, 17 cm의 조건에서 CH₄을 a) 10%, b) 15%, c) 20%로 변화시킬 때의 SEM 단면사진 및 d) 식각속도 변화.

으로 나타났고, 석영창과 시료사이의 거리의 경우 변동이 어느 정도는 존재하나 중요한 인자는 아님을 알 수 있다. 표던기질기와 측벽수직도의 경우에 대해서는 각각 ICP 전력과 공정압력이 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. Table 3의 분석에 있어 오차의 제곱평균값은 0.22로 모든 인자에 비해 낮아 결과의 신뢰도는 높은 것임을 알 수 있었다.

Fig. 4~8은 연구자의 주관적인 경험을 바탕으로 각각의 변수를 변화시켜서 수행한 실험결과를 보여준다. Fig. 4는 CH₄ 분율의 변화에 따른 식각양상을 연구하기 위해 ICP 전력 700W, bias 전력 150W, 공정압력 7.5 mTorr, 석영창-시료 거리 14 cm에서 CH₄ 분율을 (a) 10%, (b) 15%, (c) 20%로 변화시킨 결과의 SEM 사진이며, (d)는 측정된 식각속도이다. CH₄ 분율이 증가할수록 식각속도는 증가하고 표면도 미려해지지만 큰 영향이 관찰되지 않은 점은 앞질의 강건설계 평균분석 결과와 일치하고 있으나 측벽의 수직도가 다소간 나빠지는 것은 측벽상태가 개선된다는 강건설계 결과와 다소 상이한 결과이다. 이는 측벽수직도의 변화를 정량적으로 정확하게 표현할 수 없기 때문에 강건설계 분석에 있어 평가기준을 A, B, C의 3단계로만 결정하였기 때문으로,

사실상 CH₄ 분율의 변화가 측벽상태에 미치는 영향은 미소한 것을 의미한다고 사료된다.

Fig. 5는 ICP 전력에 따른 식각의 양상을 관찰하기 위해 bias 전력 150W, 7.5 mTorr, 14 cm, 15% CH₄의 조건에서 ICP 전력을 (a) 400W, (b) 500W, (c) 600W, (d) 700W로 변화시켜서 식각을 진행한 SEM 사진이며 (e)는 상기 SEM 사진으로부터 측정된 식각속도를 나타낸 것이다. ICP 전력이 증가함에 따라 식각속도가 다소간 증가하며, 측벽 수직도는 다소간 나빠지지만 표면미려도에는 큰 영향을 주지 않아 식각특성에 큰 영향이 없음을 보여주고 있다. 이 결과는 ICP 전력이 표면미려도에 가장 큰 영향을 준다는 강건설계 분산분석의 결과와 일치하지 않는 것이나 플라즈마-시료 거리를 다른 값으로 하였을 때는 분산분석 결과와 일치하는 경우도 있었으며 이는 본 연구의 강건설계 분석에 있어 변수들간의 교호작용이 고려되지 않아 세부적인 값들에 있어 부정확성이 발생하였기 때문으로 사료된다.

Fig. 6은 ICP 전력 700W, 7.5 mTorr, 14 cm, 15% CH₄의 조건에서 bias 전력을 (a) 100W, (b) 200W, (c) 300W, (d) 400W로 변화시켜 광도파용 시료를 식각한 결과의 SEM 사진이며 (e)는 상기 SEM 사진으로부터 측정된 식각속도이다. Bias 전력이 증가하면 식각속도

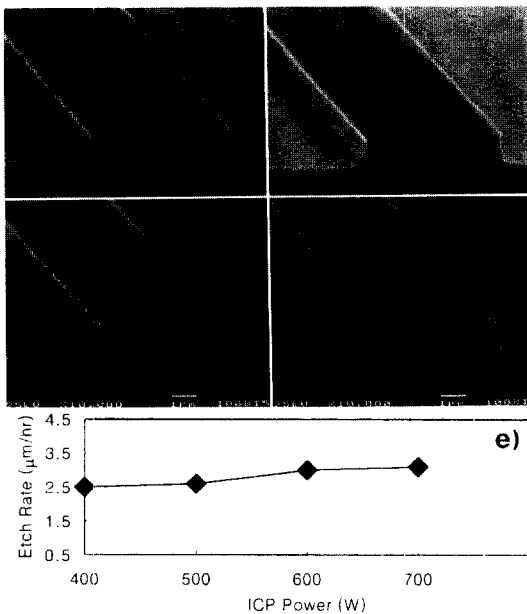


Fig. 5. Bias 전력 150W, 15% CH₄, 7.5 mTorr, 17 cm의 조건으로 고정시키고 ICP 전력을 a) 400W, b) 500W, c) 600W, d) 700W로 변화시켰을 때의 SEM 사진, e) 식각속도 변화.

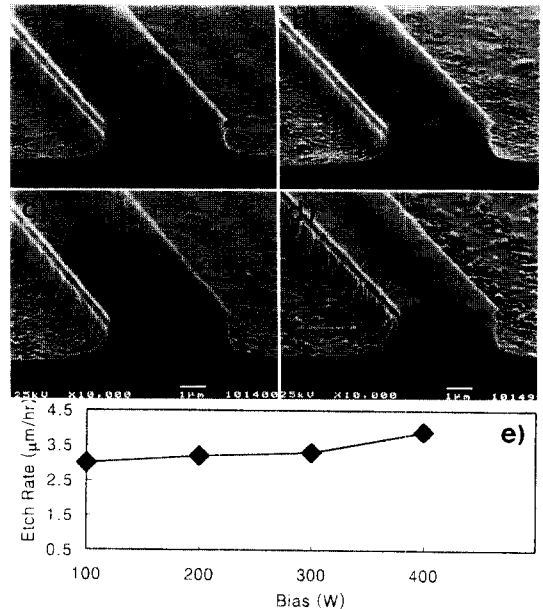


Fig. 6. ICP 전력 700W, 15% CH₄, 7.5 mTorr, 17 cm의 조건에서 bias 전력을 a) 100W, b) 200W, c) 300W, d) 400W로 변화시켰을 때의 SEM 사진, e) 식각속도 변화.

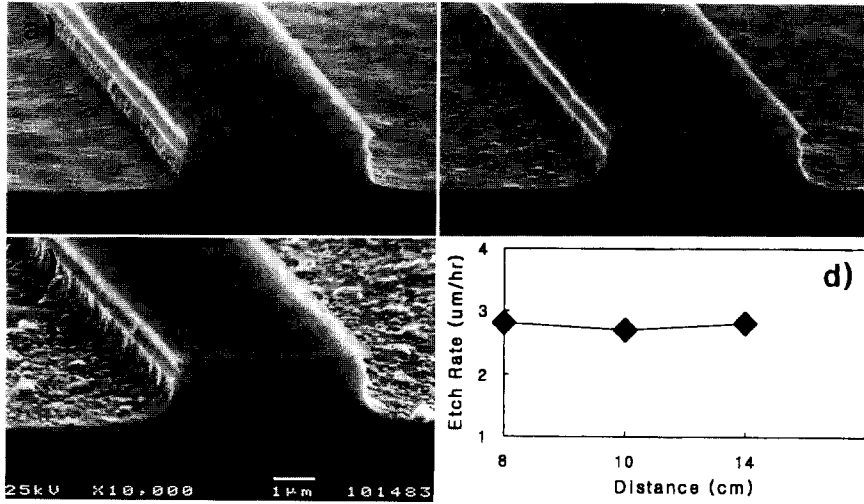


Fig. 7. ICP 전력 700W, bias 전력 150W 15% CH₄, 7.5 mTorr의 조건으로 고정시키고 석영창과의 거리를 a) 11 cm, b) 13 cm, c) 17 cm로 변화시켰을 때의 SEM 단면 사진 및 d) 식각속도 변화.

와 측벽의 수직도는 다소간 증가하며 표면은 거칠어지지만 전체적으로 식각특성에 큰 영향은 없음을 보여주며, 대체적으로 평균분석의 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 플라즈마와 시료사이의 거리 변화에 따른 식각양상을 관찰하기 위해 ICP 전력 700W, bias 전력 150W, 7.5 mTorr, 15% CH₄의 조건에서 거리를 (a) 14 cm, (b) 10 cm, (c) 8 cm로 변화시킨 결과의 SEM 사진이며, (d)는 측정된 식각속도이다. 플라즈마와 시료사

이의 거리가 감소함에 따라 식각속도의 변화는 거의 없으며, 표면에는 반응 생성물이 잔류하고 거칠어지는 것이 관찰되어 강건설계 결과와 대체적으로 일치함을 알 수 있다.

Fig. 8은 공정압력에 따른 식각의 양상으로, 광도파용 시료를 ICP 전력 700W, bias 전력 150W, 14 cm, 15% CH₄에서 압력을 (a) 12 mTorr, (b) 8 mTorr, (c) 4 mTorr로 변화시켰을 때의 SEM 사진이며, (d)는 측정된 식각속도이다. 압력이 증가함에 따라서 식각속도는 현저히

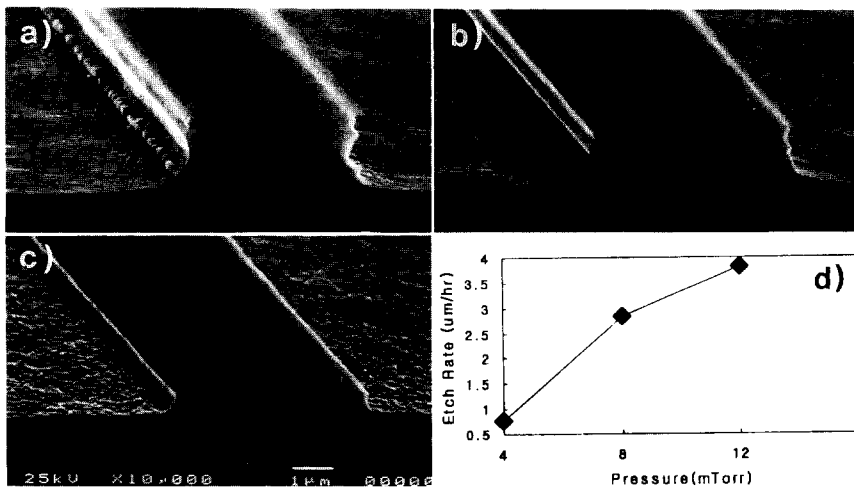


Fig. 8. ICP 전력 700W, bias 전력 150W, 15% CH₄, 17 cm의 조건으로 고정시키고 공정압력을 a) 4 mTorr, b) 8 mTorr, c) 12 mTorr로 하였을 때 SEM 사진 및 d) 식각속도.

증가하고 매사측벽에는 마스크 언더컷이 나타나는 것을 볼 수 있다.

지금까지 논의된 결과 통상적인 방법에 의한 실험결과와는 강건설계에 의한 식각특성과 전체적으로 일치하여 본 연구의 결과 밝혀진 식각특성에 대한 공정변수들의 영향은 전체 공정변수 영역에 걸쳐 적용될 수 있음을 보여주고 있다.

CH₄ 분율의 증가에 따라 식각속도가 증가하고 측벽수직도가 다소간 나빠지는 것은 플라즈마 내의 메탄이온이 증가함에 따라 이온-시료물질 화학결합에 의한 식각작용이 증가하여 식각속도가 증가하였으며, 상대적으로 이온의 충돌에 의한 물리적 식각작용의 영향은 감소하여 등방성 식각의 경향이 강해짐으로써 수직도 감소가 발생한 것으로 사료된다[13-17].

ICP 전력이 증가함에 따라서는 플라즈마 내의 이온 밀도와 이온의 운동에너지는 증가하지만 시료방향으로의 충돌에너지는 거의 증가하지 않기 때문에 CH₄ 분율의 증가와 마찬가지로 화학적 식각효과가 증가할 것으로 예상된다. 그러나 실제 식각속도가 현저히 증가하지 않는 것으로 보아 그 효과는 CH₄ 분율의 경우에 비해 미약한 것으로 사료된다. Bias 전력을 증가시킬 경우에 식각속도와 수직도가 증가하는 것은 bias 전력을 상승시키면 시료방향에 대한 이온의 운동에너지가 증가하여 물리적인 충돌효과가 강해지기 때문으로 사료된다[12]. Bias 전력의 증가에 따라 식각된 표면이 거칠어지는 것은 표면이 충돌하는 이온의 에너지가 증가하고, 이에 따라 시료의 표면으로부터 이탈되는 시료덩어리가 커지며, 이들의 제거가 불충분하게 되어 표면에 잔류하게 되기 때문으로 사료된다[12].

시료의 위치가 플라즈마에 근접함에 따라 표면에 반응생성물이 잔류하고 거칠어지는 것은 시료가 고밀도 플라즈마 내의 이온과 직접 접촉하게 됨에 따라 반응생성물이 다량 발생되고, 이들이 완전하게 제거되지 않게 되기 때문으로 사료된다. 압력의 증가에 따라 식각속도가 현저히 증가하며 공정의 지배변수로 작용하는 것은 전기적 양성 가스인 CH₄와 H₂에서 압력의 증가는 이온의 밀도를 현저히 증가시키기 때문으로[11] 식각속도와 측벽의 수직도에 크게 영향을 미친 것으로 사료된다.

3.2 적정조건의 도출 및 CH₄/H₂ RIE 결과와의 비교

강건설계에 의한 실험결과인 Fig. 3으로부터 적정 식각조건을 도출하였다. CH₄ 농도의 증가에 따라 식각속

도는 크게 변화하지 않으므로 수직도와 표면상태가 적정한 15% 정도가 적당하다고 사료되며, ICP 전력은 전체적으로 큰 영향이 없으므로 600W 정도, bias 전력은 150~250W의 범위에서 거의 비슷한 양상을 나타내었지만 시료의 표면손상을 낮추기 위하여 150W, 석영창과 시료사이의 거리는 식각속도, 측벽의 수직도와 표면상태를 고려하여 13 cm, 공정압력은 8 mTorr 정도의 조건이 적정하다고 사료된다. 이로부터 적정조건은 ICP 전력 600W, bias 전력 150W, 공정압력 8 mTorr, 거리 18 cm, 15% CH₄ 정도임을 알 수 있었다. Fig. 4-8의 통상적인 실험결과에서 도출된 적정조건은 ICP 전력 700W, bias 전력 150W, 7.5 mTorr, 18 cm, 15% CH₄이며, 이는 실험 계획법에 의한 결과와 대체적으로 일치하고 있다.

Fig. 9a는 ICP 전력 700W, bias 전력 150W, 7.5 mTorr, 14 cm, 15% CH₄의 조건에서 30분간 식각한 매사의 단면 SEM 사진이고, Fig. 9b는 평판형 플라즈마 장치를 사용하여 RF 전력 150W, 15% CH₄, 30 mTorr 조건으로 RIE에서 1시간 식각한 시료의 SEM 사진이다. 두 결과를 비교했을 때 표면과 측벽의 수직도는 거의 같은 수준이고,

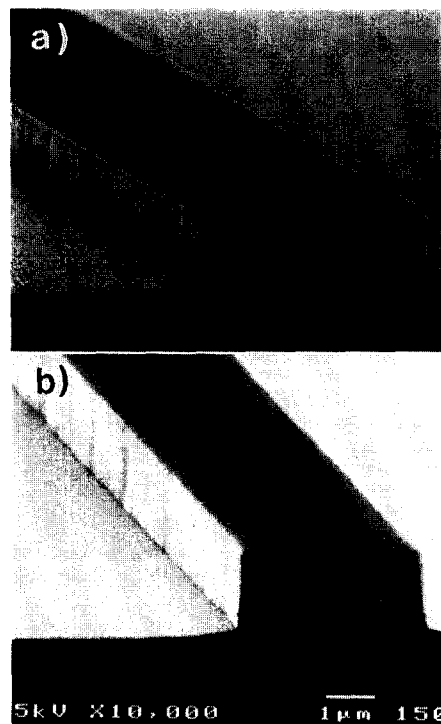


Fig. 9. a) ICP 전력 700W, bias 전력 150W, 15% CH₄, 7.5 mTorr, 17 cm, 30분, b) rf 전력 100W, 15% CH₄, 30 mTorr, 1시간 동안 식각한 시료의 SEM 사진.

약 1.5배 정도의 식각속도를 얻을 수 있었다. ICP의 경우 플라즈마 내의 이온밀도가 일반적인 플라즈마에 비해 10배 이상임에 비해 적정조건에서의 식각속도가 1.5배 정도만 얻어지는 것은 본 연구에서 표면미려도, 배사측벽 수직도 등 광소자 제작에 요구되는 다른 특성을 같이 고려하여 적정조건을 결정했기 때문으로 식각속도 위주로 공정조건을 결정한다면 훨씬 높은 식각속도를 얻을 수 있다고 사료된다. 실제로 플라즈마-시편 거리를 매우 가깝게 하였을 때에는 식각속도가 크게 증가하고 표면은 매우 거칠어지는 것을 관찰하였다.

4. 결 론

InP의 ICP-RIE 식각에 있어 Taguchi가 제안한 강건설계 및 연구자의 주관에 의존하는 통상적인 실험방법을 병행하여 전체 변수범위에서 실험을 수행하고 변수들의 영향을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 공정압력이 식각속도에 가장 큰 영향을 주는 지배 변수로 작용하였으며, 식각속도와 측벽수직도에 큰 영향을 주었다.

2) ICP 전력의 변화는 측벽수직도와 표면미려도에 주로 영향을 미쳤다.

3) Bias 전력의 증가는 식각속도와 측벽의 수직도를 향상시키지만 표면이 거칠어졌다.

4) 반응기체 중 CH_4 분율의 변화는 식각속도와 측벽 수직도를 향상시켰다.

5) 플라즈마와 시료사이 거리의 변화는 표면미려도에 가장 큰 영향을 주었다.

6) 적정식각 조건은 ICP 전력 700W, bias 전력 150W, 공정압력 7.5 mTorr, 플라즈마와의 거리 14 cm, 15% CH_4 으로, 식각속도는 시간당 3.1 μm 정도로 통상적인 RIE보다 1.5배 정도이었고, 표면의 거칠기, 측벽의 수직도, 등은 유사한 수준을 나타내었다.

후 기

본 연구는 1996년도 교육부 신소재 분야 연구지원 (Ministry of Research Fund for Advanced Materials)에 의해서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. P. Singer, Semiconductor International, December, **65** (1995).
2. Conference Proceeding of LEOS '93, November 1993, San Jose. CA.
3. T. R. Hayes, M. A. Dreinsbach, P. M. Thomas, W. C. Daurtermont-Smith, and L. A. Heimbrook, J. Vac. Sci. Technol. **B 7**, 1130 (1989).
4. B.-T. Lee, R. A. Logan, R. F. Kalicek Jr., A. M. Sergeant, D. L. Coblenz, K. W. Wecht, and T. Tanbun-ek, Photonics Tech. Lett. **5**, 279 (1993).
5. B.-T. Lee, T. R. Hayes, P. M. Thomas, R. Pawelek and P. F. Sciortino, Jr., Appl. Phys. Lett. **63**, 3170 (1993).
6. B.-T. Lee, R. A. Logan, C. J. Pinzone, A. M. Sergeant, and T. Tanbun-Ek, unpublished, AT & T TM 11154-930128-06.
7. P. Burggraaf, Semiconductor International, May, 56 (1994).
8. F. H. Bell, O. Joubert, G. S. Oehrlein, Y. Zhang, and D. Vender, J. Vac. Sci. Technol. A **12**, 3095 (1994).
9. G. Taguchi, "On-line Quality Control During Production", Japanese Standards Association, 1981, Tokyo, Japan.
10. Madhav S. Phadke, "강건설계를 이용한 품질공학", 민영사, 1990, pp. 59-82.
11. John C. Forster and John H. Keller, *High Density Plasma Sources*, (Oleg A. Popov, Noyes Publications, New Jersey, 1996) chap. 2.
12. J. Etrillard, F. Heliot, P. Ossart, M. Juhel and G. Patriarche, P. Carcenac and C. Vieu, M. Puech and P. Maquin, J. Vac. Sci. Technol. **14**, 1056 (1996).
13. Stephen M. Rossnagel and Jerome J. Cuomo, *Handbook of Plasma Processing Technology*, 16(1989).
14. D. L. Melville and J. G. Simmons, J. Vac. Sci. Technol. **B 11**, (1993).
15. S. C. Menevvin, J. Vac. Sci. Technol. **B 56**, 1667 (1990).
16. S. J. Fonash, Solid State Technol. **28**, 150 (1985).
17. J. H. Thomas, III, G. Kaganowicz, and J. L. Robinson, J. Electrochem. Soc., **135**, 1201 (1988).