

## BCl<sub>3</sub>/O<sub>2</sub>/Ar 유도결합 플라즈마를 이용한 InP의 건식 식각에 관한 연구

이병택 · 박철희 · 김성대 · 김호성

전남대학교 신소재공학부  
(1999년 5월 31일 접수)

### Reactive ion etching of InP using BCl<sub>3</sub>/O<sub>2</sub>/Ar inductively coupled plasma

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

Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea  
(Received May 31, 1999)

**요 약** - Taguchi가 제안한 강건설계 및 연구자의 주관에 의존하는 통상적인 실험방법을 병행하여 공정변수들이 식각 특성에 미치는 영향을 분석하고 적정조건을 도출하였다. 연구 결과 ICP 전력과 공정압력이 식각특성에 가장 큰 영향을 미치는 변수임을 알 수 있었다. ICP 전력과 bias 전압의 증가는 식각속도를 증가시키고 표면 상태를 악화시키며, 공정압력의 증가는 식각속도를 감소시키고 수직도를 개선하며, 시료온도의 증가는 표면거칠기와 수직도를 감소시켰다. O<sub>2</sub>의 첨가는 표면 반응물의 생성을 억제하여 표면을 미려하게 하였으나 첨가량의 증가에 따라 식각속도는 감소하였다. 결과적으로 ICP 전력 800 W, bias 전압 -150 V, 산소분율 15%, 공정압력 8 mTorr, 시료온도 160°C의 조건에서 약 4.5 μm/min의 매우 큰 식각속도를 얻었으며, 소자제작에 필요한 측벽수직도와 표면미려도를 같이 고려한 경우 ICP 전력 600 W, bias 전압 -100 V, 10% O<sub>2</sub>, 공정압력 6 mTorr, 시료온도 180°C의 조건에서 분당 약 0.15 μm/min의 식각속도와 평탄한 표면을 얻었다.

**Abstract** - Reactive ion etching process for InP using BCl<sub>3</sub>/O<sub>2</sub>/Ar high density inductively coupled plasma was investigated. The experimental design method proposed by the Taguchi was utilized to cover the whole parameter range while maintaining reasonable number of actual experiments. Results showed that the ICP power and the chamber pressure were the two dominant parameters affecting etch results. It was also observed that the etch rate decreased and the surface roughness improved as the ICP power and the bias voltage increased and as the chamber pressure decreased. The Addition of oxygen to the gas mixture drastically improved surface roughness by suppressing the formation of the surface reaction product. The optimum condition was ICP power 600 W, bias voltage -100 V, 10% O<sub>2</sub>, 6 mTorr, and 180°C, resulting in about 0.15 μm/min etch rate with smooth surfaces and vertical mesa sidewalls. Also, the maximum etch rate of about 4.5 μm/min was obtained at the condition of ICP power 800 W, bias voltage -150 V, 15% O<sub>2</sub>, 8 mTorr, and 160°C.

## 1. 서 론

최근 반도체 소자에 사용되는 미세구조의 크기가 급속하게 감소하여 소위 sub-micron 단위까지 구현됨에 따라 실제 소자 제작에 있어서 미세한 모양을 식각하는 공정이 매우 중요하게 되었다 [1]. 특히 광섬유 통과 손실이 최소인 1.3~1.55 μm 파장 대역의 빛을 수광/발광할 수 있어서 장거리 광통신용 소자로 사용되고 있는 InGaAsP/InP를 소재로 한 광소자의 경우 소자의 제작에 있어 식각높이, 모양 등 제반 특성 조절에 대한 정

밀도가 필수적으로 요구되어 이를 구현하기 위한 방안으로서 건식식각공정이 활발히 연구되고 있다 [3-5].

InP 계통 재료의 건식식각방법은 여러 가지가 있으나 Cl<sub>2</sub> 계통의 기체를 사용할 경우현재 많이 쓰이고 있는 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>에 비해 높은 식각속도와 적은 표면손상 및 오염, 고분자물질이 생성되지 않아 후처리 공정이 필요하지 않다는 장점을 가지고 있다. BCl<sub>3</sub> 혼합기체를 사용한 식각공정은 혼합물로 인해 발생하는 장비 손상과 강한 화학적인 식각 현상을 상대적으로 저감하여 Cl<sub>2</sub> 식각의 문제점을 완화하는 장점이 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 SiO<sub>2</sub>와 고분자물질의 식각공정 및 포토레지스트 제거공정 등을 중심으로 실용화되어 미세소자의 제작을 위한 핵심 공정으로 인식되고 있다 [6,7].

본 연구에서는 이러한 ICP와 BCl<sub>3</sub> 기체를 이용한 RIE 공정을 InP 메사 식각공정에 적용하여 식각속도, 표면 미려도, 메사 측벽 수직도 등을 고려한 최적공정을 도출하고 실제 소자에 적용가능성을 살펴보았다. 식각공정에는 ICP 전력, bias 전력, 반응기체 중 O<sub>2</sub> 분율, 공정압력, 시료의 온도 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

본 연구에 사용된 장비는 자체적으로 제작한 평판형 ICP 장치로서 이미 보고된 구조와 같이 [8] 유도결합플라즈마 전원과 바이어스(bias) 전압용 전원으로 공히 13.56 MHz RF를 사용하였으며, 터보펌프를 장착하여 10<sup>-7</sup> mTorr 이하의 기본 압력을 얻을 수 있고, 5개의 가스조절 채널을 설치하였다. 시료의 가열은 시료 홀더 내부에 할로겐 램프를 장착하여 구현하였고, 램프에 인가되는 전압과 시료의 실측 온도를 미리 보정하는 방법으로 시료의 온도를 측정하였다. 실험용 시료는 상용의 (100) n<sup>+</sup>-InP기판을 사용하였고, 마스크로는 SiO<sub>2</sub>를 플라즈마 화학 증착법으로 0.2~0.3 μm 두께로 성장시키고, 통상적인 광식각 방법을 이용하여 폭 2~5 μm의 직선패턴으로 제작하여 사용하였다. 바이어스 전압을 측정하기 위해 100:1 프로브를 사용하여 오실로스코프를 rf 발생기와 시편 홀더 사이의 케이블에 설치하였으며, 여기에서 출력되는 직류와 교류전압의 차이로부터 바이어스 전압을 결정하였다.

본 연구에서 적용된 식각의 변수는 ICP 전력을 400, 500, 600, 700, 800 W로, bias 전압을 -50, -100, -150, -200 V로, 시료온도를 140, 160, 180, 200, 220°C로, 공정압력 4, 8, 12, 16 mTorr로 변화시켜 실험하였다. BCl<sub>3</sub>/O<sub>2</sub>/Ar 혼합기체 농도의 조절은 총유량을 33 sccm으로, Ar 유량을 3 sccm으로 고정하고 산소의 분율을 0, 5, 10, 15%로 변화하였으며 Ar은 별도의 관을 통해 반응기 상부의 ICP 전압인가 지역으로, BCl<sub>3</sub>와 O<sub>2</sub>는 원형 관을 통해 시편 상부로 주입하였다. 식각시간은 조건별 식각속도에 따라 2~10분 정도로 조정하였고, 어느 경우나 식각 후 다른 처리는 하지 않았다.

상기 조건을 조합하였을 경우 매우 많은 실험방법의 수를 가지므로 Taguchi가 제안한 강건설계에 명기된 직교배열의 L<sub>16</sub>을 적용하여 실험계획표를 작성하여 실험을 진행하였으며 [11], 다른 한편으로 통상적인 실험방법, 즉 연구자의 주관적인 경험을 바탕으로 적정조건을 설정하고 한 번에 한가지의 변수만을 변화하여 실험하는 방법을 병행하여 실험하였다.

각 공정변수의 변화에 따른 메사의 식각 모양, 식각깊이, 메사각, 표면 거칠기를 SEM (주사전자현미경)을 이용하여 관찰하였다. 식각속도와 측벽수직도는 SEM 사진으로부터 측정하였으며 표면거칠기는 SEM 사진을 기준으로 실험자의 주관적 판단에 따라 10단계로 나누어 수치화하였고, 한 실험조건 당 3~5번의 실험을 수행하여 평균을 얻었다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 식각특성에 미치는 공정변수들의 영향

그림 1과 2는 연구자의 주관적인 경험을 바탕으로 ICP 전력, bias 전압, 공정압력, 시료온도, 산소분율 등 각 변수를 변화시켜서 수행한 실험결과로부터 측정된 식각속도, 메사각도와 표면상태를 보여준다. 그림 1a는 bias 전압 -150 V, 10% O<sub>2</sub>, 4 mTorr, 160°C의 조건에서 ICP 전력을 400~700 W로 변화하여 식각한 결과를 정리한 것으로 ICP 전력이 증가할수록 식각속도가 증가하는 경향을 보였고, 표면상태는 다소간 거칠어지고 측벽의 수직도는 거의 변화를 보이지 않음을 알 수 있다.

그림 1b는 ICP 전력 500 W, 10% O<sub>2</sub>, 4 mTorr, 160°C의 조건에서 바이어스 전압을 -50~-200 V로 변화시켜서 얻은 결과로 바이어스 전압이 증가하면 식각 속도가 크게 증가하고 표면은 현저하게 거칠어지며 측벽수직도

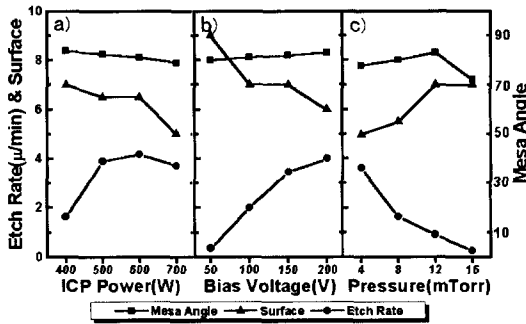


그림 1. (a) ICP 전력, (b) bias 전압, (c) 공정압력의 변화가 식각속도, 메사 측벽각도, 표면상태에 미치는 영향.

는 다소간 증가하는 것이 관찰된다. 그림 1c는 ICP 전력 700 W, bias 전압 -150 V, 10% O<sub>2</sub>, 140°C의 조건에서 공정압력을 4~16 mTorr로 변화시켜 식각한 결과

로서 압력이 증가함에 따라서 식각속도는 현저히 감소하고 측벽수직도와 표면미러도는 다소간 개선됨을 알 수 있다.

그림 2a는 ICP 전력 400 W, bias 전압 -150 V, 4 mTorr, 160°C의 조건에서 O<sub>2</sub> 분율을 0~15%로 변화시킨 경우의 식각 결과로서 BCl<sub>3</sub>에 산소를 첨가함에 따라 식각속도가 증가하였으나 O<sub>2</sub> 분율이 증가함에 따라서는 감소하였고, 측벽수직도와 표면미러도는 개선됨을 알 수 있었다. 그림 2b는 ICP 전력 400 W, bias 전압 -150 V, 10% O<sub>2</sub>, 4 mTorr의 조건에서 시료온도를 140~200°C로 변화시킨 식각 결과를 정리한 것으로 시료의 온도가 증가함에 따라서 식각속도는 다소간 증가를 보이는 반면, 표면은 매우 거칠어지며 측벽수직도는 다소간 증가함을 알 수 있다.

그림 1, 2의 실험결과 관찰된 경향이 전체 변수 범위

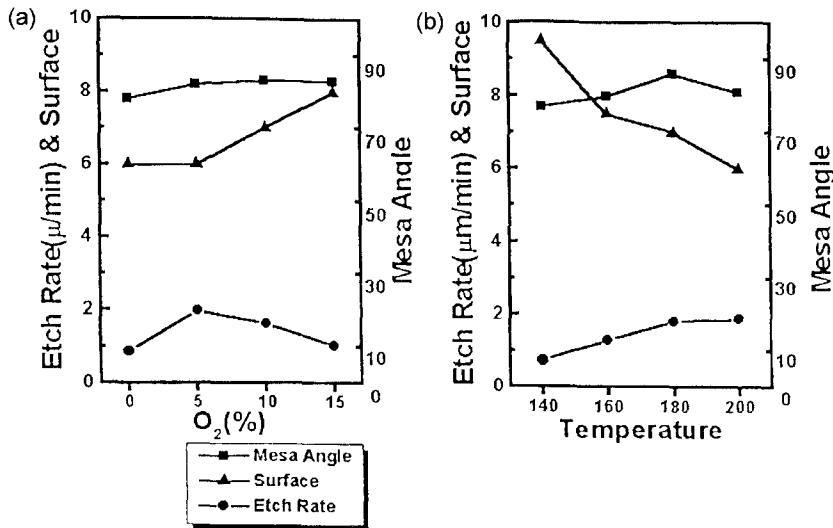


그림 2. (a) 산소분율에 따른 식각특성의 변화 (b) 시료온도에 따른 식각특성의 변화.

표 1. Taguchi가 제안한 실험계획법에 따른 실험계획표

No.	ICP (W)	Bias (V)	Pres. (mTorr)	O <sub>2</sub> (%)	Temp. (°C)	No.	ICP (W)	Bias (V)	Pres. (mTorr)	O <sub>2</sub> (%)	Temp. (°C)
1	500	50	4	0	160	9	700	50	12	15	180
2	500	100	8	5	180	10	700	100	16	10	160
3	500	150	12	10	200	11	700	150	4	5	220
4	500	200	16	15	220	12	700	200	8	0	200
5	600	50	8	10	220	13	800	50	16	5	200
6	600	100	4	15	200	14	800	100	12	0	220
7	600	150	16	0	180	15	800	150	8	15	160
8	600	200	12	5	160	16	800	200	4	10	180

표 2. 표 1의 실험계획표에 따라 식각한 시료들의 분석 결과.

No.	Etch rate (μm/min)	Surface (step)	Mesa angle (°)	No.	Etch rate (μm/min)	Surface (step)	Mesa angle (°)
1	0.3	8	78	9	0.3	6	71
2	0.4	7	75	10	0.3	9	76
3	0.5	8	69	11	1.2	8	84
4	0.7	9	58	12	0.5	1	77
5	1.3	4	70	13	1.5	5	64
6	2.0	7	75	14	1.4	7	71
7	0.5	7	66	15	2.0	6	79
8	1.0	6	65	16	3.8	3	78

에서 적용되는지 알아보기 위해 Taguchi가 제안한 강건 설계에 기반을 둔 실험을 실시하였다. 표 1은 직교배열  $L_{16}$ 으로 작성된 실험계획표이며, 한 실험조건 당 3~5 번의 식각 실험을 수행하여 평균을 얻은 결과를 표 2에 정리하였다. 이들 데이터로부터 특성 데이터 제공과 표준 편차 제공의 비에 비례하는 S/N비 (signal-to-noise ratio)를 계산하였고, 평균분석과 분산분석으로 각 인자가 수준에 따라 실험결과에 영향을 주는 경향성과 인자영향의 상대적 크기를 분석하여 [9,10] 그 결과를 각각 그림 3과 표 3에 나타내었다. 그림 3의 횡축은 각 변수들의 변화값을 나타내고 있으며 종축은 주효과, 즉 변수변화에 따른 해당 특성의 평균적인 변화를 나타낸다. 또한 표 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].

그림 3a는 ICP 전력이 식각특성에 나타내는 주효과로서 ICP 전력이 증가함에 따라서 식각속도는 현저히 증가하고, 표면상태는 악화되지만, 측벽의 상태에는 거의 영향을 주지 않는 것을 알 수 있었다. 그림 3b는 바이어스 전압의 주효과를 나타내는 것으로 바이어스 전압의 증가에 의해 식각속도는 증가하고, 표면은 다소간 거칠어지는 경향이 나타내었으며, 측벽의 수직도는 큰 변화를 보이지 않았다.

그림 3c는 공정압력의 주효과로서 공정압력이 4 mTorr에서 16 mTorr로 증가에 따라 표면미려도는 증가를 보였지만, 측벽 수직도와 식각속도는 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 그림 3d는 기체중의  $O_2$  분율의 주효과를 나타내는 것으로  $O_2$ 량이 증가함에 따라서 식각속도는 증가하였고, 측벽 수직도는 증가하였으나 표면미려도에는 큰 영향을 주지 않았다. 그림 3e는 시료 온도에

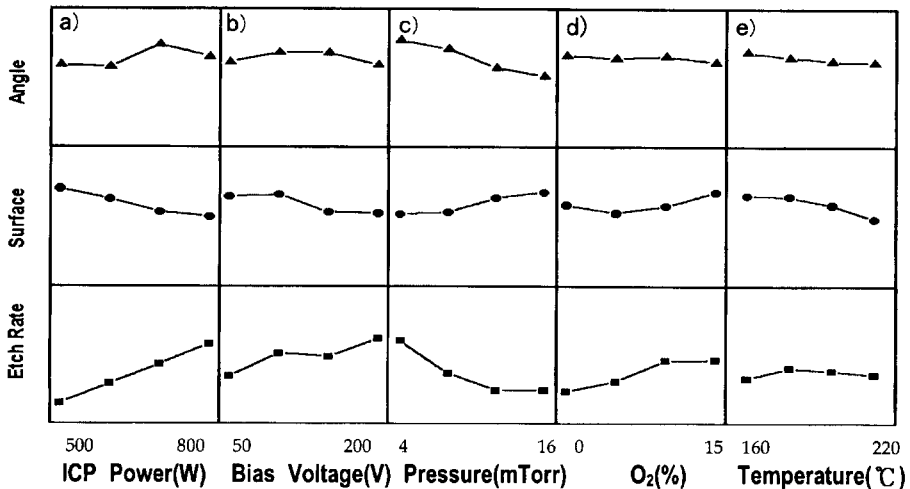


그림 3. 표 2의 식각 특성을 분석하여 도출한 각 공정변수들의 주효과.

표 3. 실험계획법에 의한 각 인자들의 제곱합과 제곱평균 값 분석결과.

	Etch Rate		Surface		Mesa Angle	
	Sum	Ave.	Sum	Ave.	Sum	Ave.
ICP Power	27.5	9.2	29.6	9.9	489.7	163.2
Bias Voltage	2.8	0.9	17.7	5.9	202.7	67.3
Pressure	11.3	3.8	21.2	7.1	1261.7	420.6
O <sub>2</sub> %	5.1	1.7	14.1	4.7	39.2	13.1
Temperature	0.6	0.2	21.2	7.1	93.2	31.2

변화의 주효과로서 온도의 변화에 따라 식각속도에 큰 영향은 없었으며, 측면의 수직도와 표면미려도는 감소시키는 것이 관찰되고 있다.

분산분석은 실험에서 얻은 데이터를 직접 계산한 경우와 S/N비를 사용한 경우를 살펴보았다. 표 3에 실험에서 얻은 데이터를 직접 계산한 분산분석 자료를 나타내었으며, 이 표에서 제곱합과 제곱평균 값이 클수록 해당 특성에 큰 영향을 줄을 의미한다. 분산분석 결과 식각속도, 표면미려도, 측면각도 공히 공정압력과 ICP 전력이 큰 영향을 주어 이들이 식각공정의 주 변수임을 알 수 있었다. 표 3의 분석에 있어 오차의 제곱평균값은 모든 인자에 비해 낮아 결과의 신뢰도는 높은 것임을 보여준다.

그림 1-3의 분석으로부터 실험계획법에 의한 분석 결

과와 주관적인 실험의 결과는 산소 농도의 영향을 제외하고는 대체적으로 일치하며 이에 따라 본 연구의 결과가 전체 변수범위에 걸쳐 적용될 수 있음을 알 수 있다. 산소농도가 식각속도에 미치는 영향이 실험방법에 따라 상이하게 도출된 것은 산소 첨가에 따라 식각속도가 증가하나, 첨가량의 증가에 따라 속도가 감소하는 상반된 경향이 고려된 변수 범위에 포함되어 있기 때문으로 사료된다.

### 3.2. 식각 결과에 대한 고찰

ICP 전력에 따라서 식각속도가 증가하는 것은 플라즈마 밀도가 증가하기 때문이며 표면상태가 다소 거칠어지는 경향을 나타내는 것은 식각속도가 증가함에 따라 한번에 제거되는 시료덩어리의 크기가 커지기 때문으로 사료된다. 또한 플라즈마 밀도 증가로 인한 화학적인 식각현상의 증가 때문에 측면수직도가 약간 감소한 것으로 생각된다. 이는 이전의 연구자들에 의해 이미 보고된 일반적인 현상이다 [2,14].

바이어스 전압을 증가시킬 경우에 식각속도와 수직도가 증가하는 것은 바이어스 전압을 상승시키면 시료방향에 대한 이온의 운동에너지가 증가하여 물리적인 충돌효과가 강해지기 때문이며, 식각된 표면이 거칠어지는 것

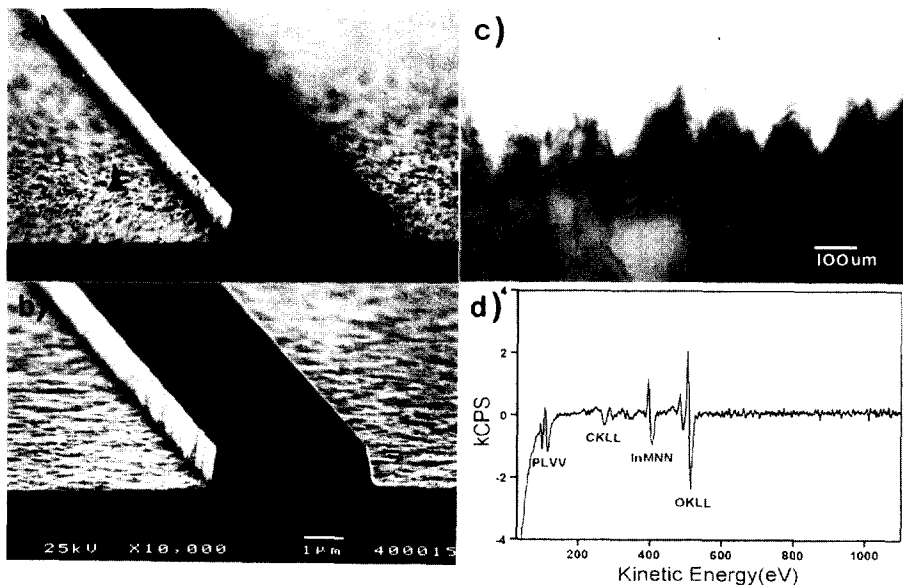


그림 4. (a) 산소를 첨가하지 않은 상태에서 식각한 InP 메사의 단면 SEM 사진, (b) 산소를 15% 첨가하여 식각한 SEM 사진, (c) 산소를 첨가하지 않은 상태에서 식각한 InP 메사의 단면 TEM 사진, (d) 산소를 첨가하지 않은 상태에서 식각한 InP 시료 표면의 AES 분석 결과.

은 표면에 충돌하는 이온의 에너지가 증가하고, 이에 따라 시료의 표면으로부터 이탈되는 시료덩어리가 커지며, 이들의 제거가 불충분하게 되어 표면에 잔류하게 되기 때문으로 보고된 바 있다 [12].

공정압력에 따라 식각속도가 감소하는 것은 주 식각기체인  $\text{BCl}_3$ 가 전기적 음성 가스이므로 공정압력을 증가시키면 이온 밀도가 감소하기 때문으로, 식각속도는 감소하고 측벽의 수직도는 개선된다 [13]. 또한 압력의 증가에 따라 이온들의 충돌회수가 증가하고, 이에 따라 시료 표면에 도착하는 이온들의 운동에너지가 감소하고 충돌방향이 상대적으로 산만해지기 때문이다.

산소를 첨가하지 않고 식각한 메사의 단면 SEM 사진(그림 4a)을 산소 5%를 첨가한 경우(그림 4b)와 비교하면 산소를 첨가하지 않은 경우의 표면이 매우 거칠며 이는 산소 첨가에 의해 현저히 개선되는 것을 알 수 있다. 그림 4c와 4d는 산소 첨가없이 식각된 시편의 단면 TEM 사진과 표면 AES 분석 결과로, 시료 단면에 별도의 층이 관찰되지 않고, 시료 표면에서 In 및 P 성분만 관찰되는 것으로 보아 그림 4a에서 관찰되는 표면거칠기는 시료 표면에 형성된 마이크로 마스크로 인한 것이며, 산소 첨가에 의해 표면 마이크로 마스크의 생성이 억제되는 것을 알 수 있다. 산소 첨가에 의한 식각속도의 증가도 이와 연관된 현상으로 사료되며, 계속된 산소 분율의 증가에 따른 식각속도의 감소는 상대적으로  $\text{BCl}_3$  분율이 감소하기 때문이고, 이에 따라 측벽수직도와 표면미려도는 개선되는 것으로 사료된다.

### 3.3. 적정조건의 도출

강건설계 및 주관적 실험에 의한 분석결과로부터 적정 식각조건을 도출할 수 있다. 먼저 식각속도만을 고려하는 경우 ICP 전력은 800 W, bias 전압은  $-150 \sim -200$  V, 산소분율은 15%, 공정압력은 8 mTorr 이하, 시료온도는  $160^\circ\text{C}$  이상이 되며, 이때 식각속도는  $4 \mu\text{m}/\text{min}$  이상이 된다. 그림 5a는 이 조건에서 3분 동안 식각한 시료의 단면 SEM 사진이다.

그러나 식각속도만을 최대로 하는 경우 그림 5a에 보인 바와 같이 마스크의 침식이 심각하게 발생해서 측벽이 거의  $75^\circ$  이하로 기울어지게 되고 매우 거칠은 표면이 얻어진다. 이에 따라 식각속도가 다소간 감소하더라도 실제 소자 제작에 필수적인 측벽수직도와 표면미려도를 같이 고려하는 경우에는 ICP 전력 600 W 정도, bias 전압은  $-100 \sim -150$  V, 공정압력 4~8 mTorr 정도, 산소 분율은 10% 정도가 적당하다고 사료되며, 시료온도는 측벽도를 고려해서  $160 \sim 180^\circ\text{C}$ 의 조건이 적당하다고 사료된다. 그림 5b는 적정조건인 ICP 전력 600 W, bias 전압  $-100$  V, 10%  $\text{O}_2$ , 공정압력 6 mTorr, 시료온도  $180^\circ\text{C}$ 의 조건에서 5분 동안 식각된 InP 메사의 단면 SEM 사진으로 분 당 약  $0.15 \mu\text{m}$ 의 식각속도가 얻어지며 매우 미려한 표면과 거의 수직에 가까운 측벽이 얻어짐을 알 수 있다.

## 4. 결 론

InP의 ICP-RIE 식각에 있어 Taguchi가 제안한 강건

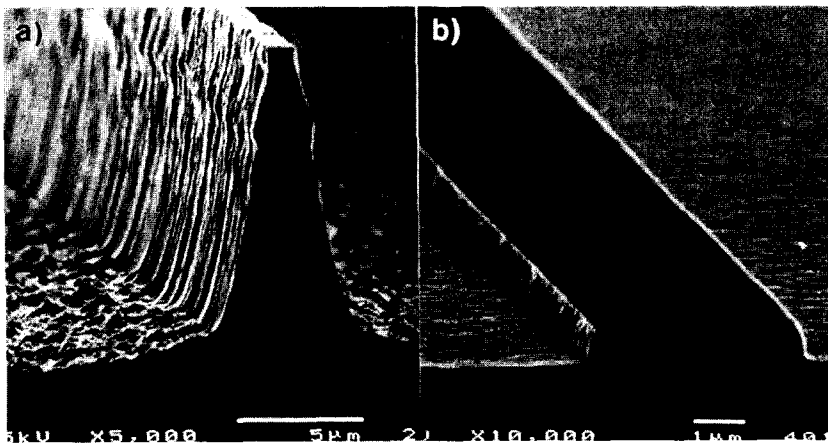


그림 5. (a) ICP 전력 800 W, bias 전압 200 V, 산소분율 5%, 공정압력 4 mTorr, 시료온도  $200^\circ\text{C}$ , (b) ICP 전력 600 W, bias 전압 100 V, 산소분율 10%, 공정압력 6 mTorr, 시료온도  $180^\circ\text{C}$ 의 조건에서 식각된 InP 메사의 단면 SEM 사진들.

설계 및 연구자의 주관에 의존하는 통상적인 실험방법을 병행하여 전체 변수범위에서 실험을 수행하고 변수들의 영향을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 식각특성에 가장 큰 영향을 주는 변수는 공정압력과 ICP 전력임을 알 수 있었다.

2) ICP 전력과 bias 전압의 증가 및 공정압력의 감소에 따라 식각속도는 증가하고 표면미려도는 악화되었으며, 측벽수직도는 ICP 전력의 감소와 bias 전압의 증가에 따라 향상되었다.

3) 공정압력의 증가에 따라 식각속도는 현저히 감소하고 표면미려도는 개선되었다. 시료온도의 증가는 표면 거칠기와 수직도를 감소시켰으나 큰 영향을 미치지 않았다.

4) 산소의 첨가는 시료표면 마이크로 마스크의 형성을 억제하여 식각속도와 표면미려도를 증가시켰으나 추가적인 O<sub>2</sub> 분율의 증가는 식각속도를 감소시켰다.

5) ICP 전력 800 W, bias 전압 -150 V, 산소분율 5%, 공정압력 4 mTorr, 시료온도 200°C의 조건에서 4.5 μm/min 정도의 매우 큰 식각속도를 얻었다.

6) 소자제작에 필요한 측벽수직도와 표면미려도를 같이 고려한 경우 ICP 전력 600 W, bias 전압 -100 V, 10% O<sub>2</sub>, 공정압력 6 mTorr, 시료온도 180°C의 조건에서 분당 약 0.15 μm/min의 식각속도와 매우 평탄한 표면을 얻었다.

## 후 기

본 연구는 1997년도 산학협동재단의 연구지원에 의해서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] P. Singer, *Semiconductor International*, 65 (1995).
- [2] J. A. Diniz, J. W. Swart, K. B. Jung, J. Hong and S. J. Pearton, *Solid-State Electronics* **42**(11), 1947 (1998).
- [3] T. R. Hayes, M. A. Dreinsbach, P. M. Thomas, W. C. Daurtermont-Smith, and L. A. Heimbroom, *J. Vac. Sci. Tech. B*, 7(5), 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] P. Burggraaf, *Semiconductor International*, 56 (1994).
- [7] F. H. Bell, O. Joubert, G. S. Oehrlein, Y. Zhang, and D. Vender, *J. Vac. Sci. Tech.* **A12**, 3095 (1994).
- [8] 박철희, 이병택, 김호성, *한국진공학회지* 7권 2호, 161 (1998).
- [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, ch. 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. A*, **14**(3), 1056 (1996).
- [13] Stephen M. Rossnagel and Jerome J. Cuomo, *Handbook of Plasma Processing Technology*, 16 (1989).
- [14] R. J. Shul, G. A. Vawter, C. G. Willison, M. M. Bridges, J. W. Lee, S. J. Pearton, and C. R. Abernathy, *Solid-State Electronics* **42**(12), 2259 (1998).
- [15] J. W. Lee, J. Hong, E. S. Lambers, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, W. S. Hobson, and F. Ren, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, **17**(2), 169 (1997).