

## Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 혼합기체를 이용한 InP 소재의 반응성 이온 에칭에 관한 연구

최익수 · 이병택 · 김동근 · 박종삼

전남대학교 금속공학과  
(1997년 2월 24일 접수)

### Reactive ion etching of InP using Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> discharges

Ik-Soo Choi, Byung-Teak Lee, Dong-Keun Kim and Jong-Sam Park

Department of metallurgical Engineering, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea  
(Received February 24, 1997)

**요 약** - Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 혼합기체를 이용한 InP 소재의 반응성 이온 에칭(RIE; reactive ion etching) 방법에 있어서 기체분율, RF(radio frequency) 전력 및 시료온도를 변화시키며 에칭속도, 측벽 수직도, 표면손상 및 오염 등을 관찰하여 적정 에칭조건을 연구하였다. CH<sub>4</sub> 유량 0-12 sccm, Cl<sub>2</sub> 기체 유량을 3-15 sccm, RF 전력 100-200 W, 시료온도 150-200°C로 각각 변화시켜 실험한 결과 Cl<sub>2</sub> 기체유량 및 RF 전력과 시료온도가 증가함에 따라 에칭속도가 비례하여 증가하였고 RF 전력 150 W, 시료온도 180°C, 10Cl<sub>2</sub>/5CH<sub>4</sub>/85H<sub>2</sub>의 적정 공정조건에서 80° 정도의 측벽수직도를 갖는 메사와 미려한 에칭표면이 얻어졌으며 평균 에칭속도는 0.9±0.1 μm/min 정도였다. 전자현미경 분석 결과 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 혼합기체에 Cl<sub>2</sub>를 첨가함에 따라 표면미려도 및 메사측벽 수직도는 다소간 감소하였으나 에칭공정 중 고분자 물질의 생성이 억제되었다.

**Abstract** - Reactive ion etching (RIE) characteristics of InP in the Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> discharges was investigated, as a function of the rf power, substrate temperature and gas composition. It was observed that the etch rate increased as the rf power, sample temperature and/or Cl<sub>2</sub> gas concentration increased. Etch rate of about 0.9 μm/min was obtained at the optimum condition of 150 W rf power, 180°C substrate temperature and 10Cl<sub>2</sub>/5CH<sub>4</sub>/85H<sub>2</sub> gas ratio. Polymer formation was completely suppressed by adding Cl<sub>2</sub> to the CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> discharges.

## 1. 서 론

InGaAsP/InP 소재를 기반으로 한 광소자는 광섬유 통과 손실이 최소인 1.3 μm 및 1.55 μm 파장 대역의 빛을 수광/발광할 수 있어 장거리 광통신용으로 많은 연구가 진행 중이다. InP 관련 소재의 건식에칭 기법은 제작공정의 조절성 및 균일도를 향상시킴으로써 소자제작의 수율을 높이고 성능을 개선하기 위한 방안으로써 최근 활발히 연구되고 있다[1-3].

Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>를 이용한 InP 관련 소재의 건식에칭법은 통상적으로 사용되고 있는 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 방법에[4,5] 비하여 부식성의 Cl<sub>2</sub> 기체를 사용하므로 장비의 관리가 어려워

진다는 단점은 있으나 실용가능한 에칭결과가 얻어지며, 1 μm/min 정도의 높은 에칭속도가 가능하고, 특히 표면손상 및 오염이 감소된다는 장점이 있다[6-10]. Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>를 이용한 InP 건식에칭법은 지금까지 ECR(electron cyclotron resonance) 고밀도 플라즈마를 이용한 방법[6,7]과 반응성 이온빔 에칭 방법[8,9]이 주로 발표되었으며 보다 일반적으로 사용되는 반응성 이온 에칭(RIE; reactive ion etching) 방법에 대한 결과는[10] 상세 사항이 거의 보고되지 않았다. RIE 방법이 상대적으로 공정의 안정성이 높고, 특히 장비의 가격 등에서 유리하여 보다 일반적으로 사용되고 있다는 측면을 고려할 때 Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 혼합기체를 이용한 RIE 공정에 대한 상세 사

항을 밝히고 적정 조건을 확립하는 것은 매우 의미있다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> RIE 방법을 이용하여 기체분율 및 RF 전력과 시료온도를 변화시키면서 InP 시료를 에칭하여 주사전자현미경(SEM; scanning electron microscopy) 및 투과전자현미경(TEM; transmission electron microscopy)을 이용하여 에칭속도, 측벽 수직도 및 표면손상 등을 분석하여 적정 에칭조건을 도출하였다. 특히 장비의 손상을 저감하기 위한 시도로써 지금까지의 연구보고와는[7-9] 달리 Cl<sub>2</sub> 농도가 15% 이하인 경우를 집중적으로 연구하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서 사용한 장비는 13.56 MHz에서 작동하는 수평 전극형 RIE 장치로써 자체 제작한 것이다. 그림 1은 시료를 가열하기 위해 사용된 장치의 개략도이다. 시료의 가열은 램프를 이용한 간접가열 방식을 택하였으며, 온도조절은 연속변압기를 사용하여 램프에 공급되는 전압을 수동으로 변화시킴으로써 수행하였고, 대략  $\pm 1^\circ\text{C}$  정도의 온도범위 내에서 조절할 수 있었다. 시료온도는 시료와 같은 평면 상에 위치한 열전대를 이용하여 측정하였으며, 13.56 MHz의 RF 전류가 열전대나 램프 쪽으로 유도누출되는 것을 방지하기 위하여 필터를 부착하여 사용하였다.

사용된 시료는(100) n<sup>+</sup>-InP 기판이었고, 모든 시료는 석영관 상에서 에칭되었으며 시료 크기의 영향을 최소

화하기 위하여 에칭 시 플라즈마에 노출되는 InP의 면적은 결시료(dummy)를 사용하여 20×20 mm로 고정하였다. 연구된 에칭조건은 RF 전력 100 W, 150 W, 200 W, 시료온도 150°C, 180°C, 200°C였으며, 기체 혼합비는 총 기체유량을 100 sccm, H<sub>2</sub> 기체유량을 85 sccm으로 고정하고 나머지 15 sccm 중 Cl<sub>2</sub> 기체유량을 3, 8, 10, 12, 15 sccm으로 변화시켰고, 공정압력은 30 mtorr, 에칭 시간 2분으로 고정하여 실험하였다. RIE 마스크로는 플라즈마 화학증착 방법으로 성장된 0.2-0.3 μm 정도 두께의 SiO<sub>2</sub> 또는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 박막을 광시각 방법으로 3-5 μm 폭의 직선으로 제작하여 사용하였다.

기체분율, RF 전력 및 시료온도에 따라 에칭된 InP 매사의 에칭모양, 에칭깊이, 매사 각, 표면 거칠기는 SEM을 사용하여 관찰하였으며 표면 증착층 및 불순물의 존재 유무를 확인하기 위하여 단면 TEM을 이용하였다.

## 3. 결과 및 검토

그림 2는 10Cl<sub>2</sub>/5CH<sub>4</sub>/85H<sub>2</sub>, RF 전력 150 W의 조건 하에서 시료온도를 (a) 150°C, (b) 180°C, (c) 200°C로 각각 변화시키면서 에칭한 InP 매사의 단면 SEM 사진이며 그림 3은 그림 2로부터 측정된 평균 에칭속도를 보여주고 있다. 온도가 150°C, 180°C, 200°C로 증가될 때의 평균 에칭속도 변화는 각각  $0.5 \pm 0.2 \mu\text{m}/\text{min}$ ,  $0.9 \pm 0.1 \mu\text{m}/\text{min}$ ,  $1.0 \pm 0.1 \mu\text{m}/\text{min}$ 로 온도가 150°C에서 180°C로 상승함에 따라 에칭속도가 현저히 증가하나 180°C에서 200°C로 될 때에는 증가 폭이 둔화됨을 알 수 있다.

에칭된 시료의 SEM 관찰 결과 시료온도 150°C의 경우(그림 2a) 상당히 거친 표면이 얻어졌으며 시료의 온도가 200°C인 경우(그림 2c)에는 시료표면의 거칠기는 현저하게 개선되어 높은 에칭속도와 미려한 에칭표면을 얻을 수 있었으나 마스크 언더컷이 심하게 발생해 매사 폭의 좁아짐 현상이 나타나며 매사측벽에 특정 원자면이 나타나는 방향성 에칭 현상이 현저해 짐을 알 수 있다. 시료 온도 180°C에서 에칭한 경우(그림 2b)에는 200°C에서 에칭하여 얻었던 것과 거의 같은 수준의 미려한 에칭표면과 수직한 매사모양을 얻을 수 있었으며 마스크 언더컷도 거의 발생하지 않았다. 이러한 결과는 RF 전력, 기체 혼합비 등 다른 조건을 상당히 변화한 경우에도 대체적으로 일치되었으며 따라서 본 연구에서 사용한 실험조건 범위에서는 시료 온도 180°C가 적당함을 알 수 있었다.

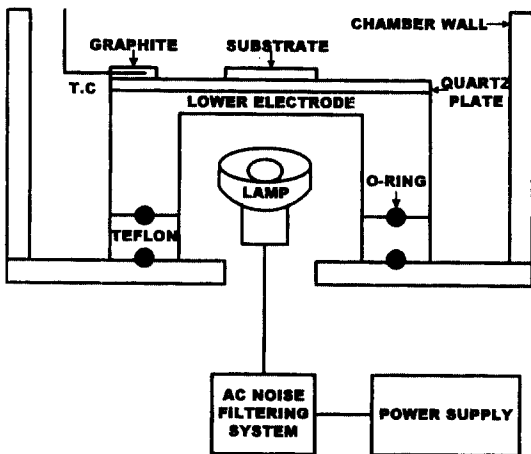


그림 1. 본 연구에서 사용된 RIE 시료 가열장치의 개략도.

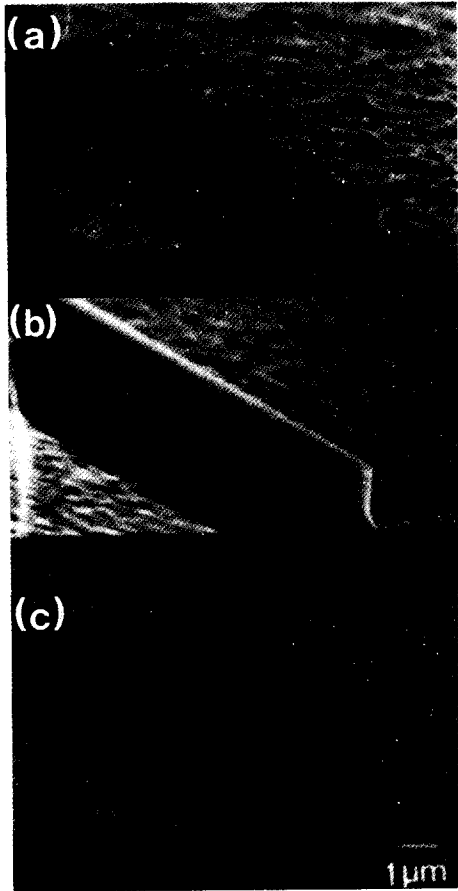


그림 2.  $10\text{Cl}_2/5\text{CH}_4/85\text{H}_2$ , RF 전력 150 W의 조건하에서 RIE 된 InP 메사의 단면 SEM 사진, 시료 온도 (a) 150°C, (b) 180°C, (c) 200°C.

그림 4는 시료온도가 180°C일 때  $\text{Cl}_2/\text{CH}_4/\text{H}_2$  혼합기체를 이용하여 RIE된 InP 메사의 단면 SEM 사진으로  $\text{Cl}_2$  기체유량과 RF 전력에 따른 에칭 양상을 보여주고 있으며 그림 5는 그림 4의 SEM 사진으로부터 측정된  $\text{Cl}_2$  기체유량과 RF 전력의 변화에 따른 평균 에칭속도 변화를 나타낸 것이다. 시료온도가 일정할때  $\text{Cl}_2$  기체유량 및 RF 전력이 커짐에 따라 에칭속도가 증가하는 경향이 분명히 관찰되며 RF 전력보다는  $\text{Cl}_2$  분율의 영향이 더욱 크게 작용함을 알 수 있다.

그림 6은 기체분율 및 RF 전력의 변화에 따른 평균 메사각(측벽 수직도)의 변화를 나타낸 것으로 전체적으로 70-80°정도의 수직도를 보이고 있으며 RF 전력의 증가에 따라서 대체적으로 증가하는 경향은 있으나 그다지 큰 영향은 없음을 알 수 있다. 기체분율의 변화가 평

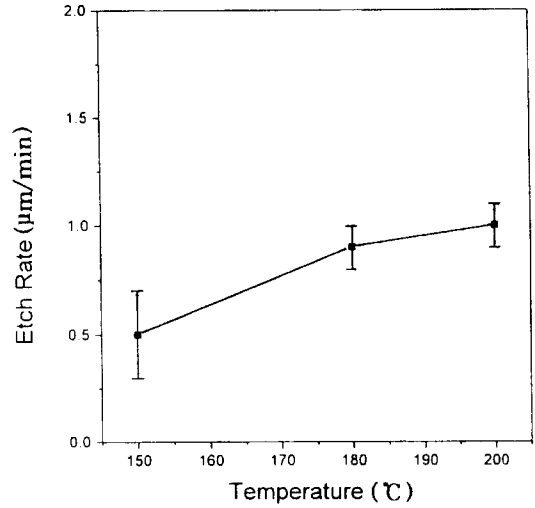


그림 3. 그림 2로부터 측정된 평균 InP 에칭속도.

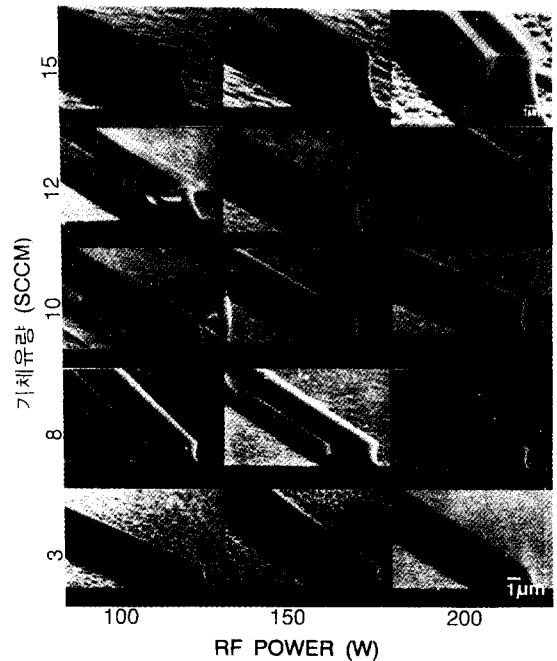


그림 4. 시료온도 180°C 및 여러 가지 기체분율과 RF 전력의 조건에서 RIE된 InP 메사의 단면 SEM 사진.

균 메사각에 미치는 영향은 거의 관찰되지 않았으나  $\text{Cl}_2$  조성이 높아질수록 마스크 언더컷이 심하게 발생하는 것이 관찰된다. 표면 거칠기는  $\text{Cl}_2$  기체유량과 RF 전력이 너무 높거나 너무 낮은 조건들에서 공히 거친 표면이 관찰되었고(그림 4), 중간 값인 RF 전력과  $\text{Cl}_2$  기체

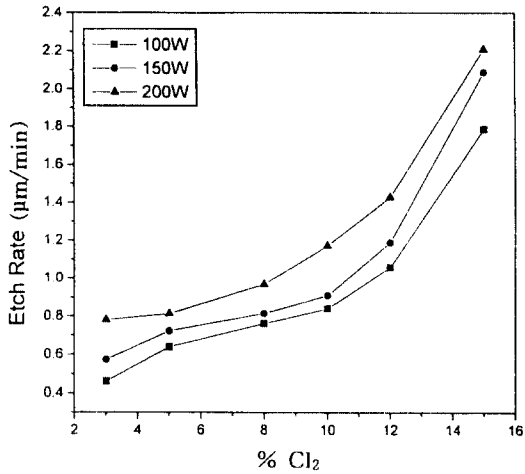


그림 5. 그림 4로부터 측정된 기체분율과 RF 전력에 따른 InP의 평균 에칭속도의 변화.

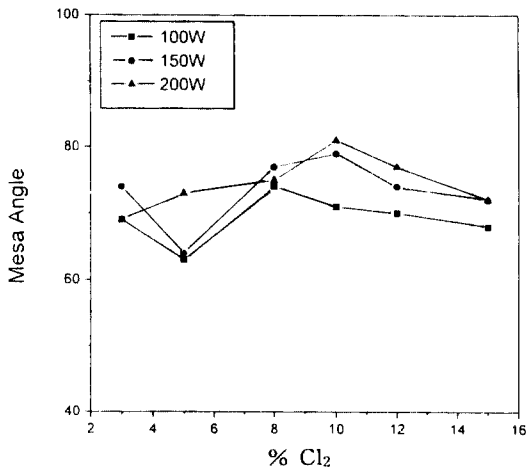


그림 6. 그림 4로부터 측정된 기체분율과 RF 전력에 따른 평균 메사 각의 변화.

유량 8-10 sccm 범위에서 미려한 표면이 얻어짐을 알 수 있다.

이러한 결과를 종합하여 볼 때 본 연구에서 실험한 Cl<sub>2</sub> 조성 범위의 Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 혼합기체를 이용한 InP 소재의 RIE에 있어 적정 조건은 시료온도 180°C, 10Cl<sub>2</sub>/5CH<sub>4</sub>/85H<sub>2</sub>, RF 전력 150 W 정도임을 알 수 있다. 이 조건에서 얻어지는 에칭속도는 0.9±0.1 μm/min 정도로 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 혼합기체를 사용한 InP RIE의 결과 통상적으로 얻어지는 [11] 2 μm/hr에 비하여 30배 정도 증가한 수치이다.

본 연구에서 시료온도가 충분히 높지 않은 경우 낮은 에칭속도 및 거친 표면 형상이 얻어지는 것은(그림 2)

Cl<sub>2</sub> 혼합기체를 이용한 InP 계 소재의 RIE에 있어 일반적으로 관찰되는 현상이며, 반응생성물인 InCl<sub>3</sub>의 증기압이 충분히 높지 않아 시료 표면에 에칭 부산물이 잔류하기 때문으로 보고되었다[6-10].

RF 전력이 커짐에 따라 전반적으로 측벽 수직도가 높아지고 에칭속도가 커지는 양상을 보이는 것은 플라즈마 밀도와 dc-bias의 증가에 의해 고에너지 이온의 충돌 효과가 증대되기 때문으로 사료된다. 또한 10% 이상의 높은 Cl<sub>2</sub> 조성 및 낮은 Cl<sub>2</sub> 조성 영역에서 메사각이 다소 감소하는 경향을 보이는데 이는 높은 Cl<sub>2</sub> 조성 영역에서 반응성 이온들의 농도 증가에 따라 에칭속도는 증가하나 화학적 에칭효과의 증대에 따라 마스크 언더컷이 심각해지기 때문이며, 낮은 Cl<sub>2</sub> 조성 영역에서는 낮은 에칭속도에 기인한 것으로 사료된다.

그림 7(a, c)와 (b, d)는 각각 10Cl<sub>2</sub>/5CH<sub>4</sub>/85H<sub>2</sub> 혼합기체와 시료온도 180°C, RF 전력 150 W의 조건 및 15CH<sub>4</sub>/85H<sub>2</sub> 혼합기체와 150 W의 조건에서 RIE된 InP 메사의 (a, b) SEM 및 (c, d) TEM 사진이다. SEM 사진으로부터 Cl<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> RIE된 경우 에칭된 시료의 표면은 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>의 경우보다 다소간 거친 것이 관찰되며 측벽수직도 또한

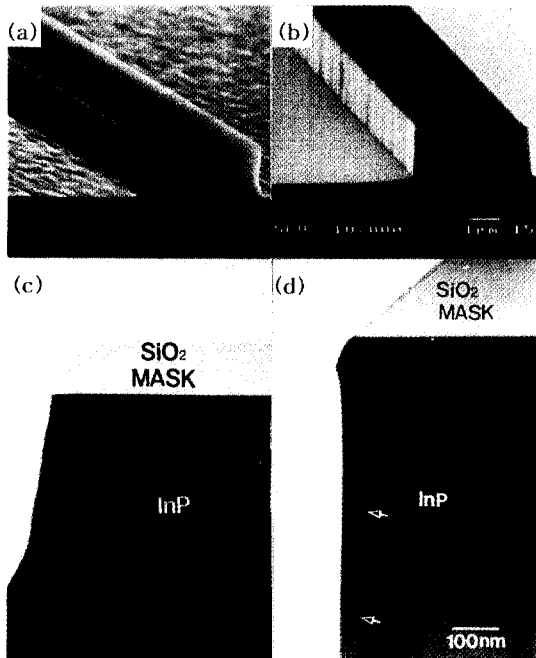


그림 7. (a, c) 10Cl<sub>2</sub>/5CH<sub>4</sub>/85H<sub>2</sub> 혼합기체와 시료온도 180°C, RF 전력 150 W의 조건 및 (b, d) 15CH<sub>4</sub>/85H<sub>2</sub> 혼합기체와 150 W의 조건에서 RIE된 InP 메사의 단면(a, b) SEM 및 (c, d) TEM 사진.

80° 정도로서 85°-87°정도가 얻어지는  $\text{CH}_4/\text{H}_2$ 의 경우 보다는 다소 낮음을 알 수 있다. 이와 같이  $\text{Cl}_2/\text{CH}_4/\text{H}_2$  RIE된 경우에 측벽수직도가 감소하는 이유는  $\text{Cl}_2$ 의 사용에 따라 화학적 에칭효과가 강해지므로 다소 이방성 에칭이 되기 때문으로 사료된다.

TEM 관찰 결과(그림 7c, d)  $\text{CH}_4/\text{H}_2$  RIE된 메사의 측벽에서는 이미 상세히 보고된 바[4,12,13] In-(Si)-P 산화물 박막 및 전위 루프(그림에 표시, [4])가 관찰되는 반면  $\text{Cl}_2/\text{CH}_4/\text{H}_2$  RIE된 시료의 경우에는 측벽오염이 관찰되지 않았다. 특히 공정 중에 고분자 물질이 생성되지 않았고, 이에 따라 통상적으로 사용되는 InP계 소재의  $\text{CH}_4/\text{H}_2$  RIE에 있어 필수적인 산소 플라즈마 고분자 제거 공정이 불필요하였다. 에칭 공정 중 발생하는 측벽오염 및 손상이 재성장, 금속화공정 등 에칭 후 공정에 심각한 장애로 작용하므로  $\text{CH}_4/\text{H}_2$  RIE의 경우 산을 이용한 후후 세척공정이 필수적이라는 점을 고려할 때[1,13] 이는 에칭 후처리 공정이 현저히 단순화될 수 있음을 의미한다.

본 연구에서 시료의 측벽에서 전위 루프가 관찰되지 않는 것은  $\text{Cl}_2$ 의 사용에 따라 화학적 에칭효과가 강해지고, 에칭속도가 높아짐에 따라 시료가 플라즈마에 노출되는 시간이 단축되므로 공정 중에 발생하는 표면 P의 선택적 증발이 감소되어 시료표면의 화학양론적 균형이 유지되었기 때문으로 사료된다. 또한 표면 산화막 오염물이 관찰되지 않는 것은 공정 중의 고분자 생성이 억제됨에 따라 이를 제거하기 위한 산소 플라즈마 공정이 생략되었기 때문으로 사료된다.

#### 4. 요 약

$\text{Cl}_2/\text{CH}_4/\text{H}_2$  혼합기체를 이용한 InP의 반응성 이온 에칭법에 있어  $\text{Cl}_2$  농도, RF 전력 및 시료온도 등의 실험 조건이 에칭속도, 메사 각, 표면거칠기, 표면손상/오염 등의 에칭 양상에 미치는 영향을 SEM 및 TEM으로 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 적정 에칭조건은 총 기체유량 100 sccm, 공정압력 30 mtorr, 시료온도 180°C 조건하에서  $10\text{Cl}_2/5\text{CH}_4/85\text{H}_2$ , RF 전력 150 W임을 알 수 있었다.

(2) 상기 적정조건에서 평균 에칭속도는  $0.9 \pm 0.1 \mu\text{m}/\text{min}$  정도였고, 마스크 언더컷이 거의 발생하지 않으면서 80°정도의 수직한 메사모양을 얻을 수 있었으며 에칭된 표면 또한 미려하였다.

(3) 에칭속도는  $\text{Cl}_2$  기체유량 및 RF 전력과 시료온도가 증가할수록 증가하였다.

(4) 공정 중 고분자 표면오염물은 생성되지 않았으며, 에칭된 시료표면에서 In-(Si) 산화물 박막 또는 전위루프 등의 메사 측벽 오염/손상이 관찰되지 않아 에칭 후처리 공정이 단순화되었다.

#### 후 기

본 연구는 서울대학교 신소재 박막가공 및 결정성장연구센터를 통한 한국과학기술연구원 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. B.-T Lee, R. A. Logan, R. F. Kalicek, Jr., A. M. Sergeant, D. L. Coblenz, K. W. Wecht and T. Tanbun-Ek, IEEE Photo. Tech. Lett., **5**, 3 (1993).
2. J. F. Vinchant *et al*, J. Lightwave Tech. **10**, 63 (1992).
3. T. Higashi, T. Takeuchi, K. Morioto, M. Matsuda and H. Soda, IEEE Photo. Tech. Lett., **7**, 828 (1995).
4. 이병택, 김동근, 박종삼, 안병찬, 안주현, 오대곤 응용물리 **9**, 500 (1996).
5. B.-T. Lee, T. R. Hayes, P. M. Thomas, R. Pawelek and P. F. Sciortino, Jr., Appl. Phys. Lett. **63**, 3170 (1993).
6. C. Constantine, C. Barratt, S. J. Pearton, F. Ren and J. R. Lothian, Appl. Phys. Lett. **61**, 2899 (1992).
7. R. J. Shul, A. J. Howard, C. B. Vartuli, P. A. Barnes and W. Seng, J. Vac. Sci. Technol. **A14**, 1102 (1996).
8. R. van Roijen, M. B. M. Kenp, C. W. T. Bulle-Lieuwma, L. J. van ijzendoom and T. L. G. Thihssen, J. Appl. Phys. **70**, 3983 (1991).
9. T. Yoshikawa, S. Kohmoto, M. Anan, N. Hamao, M. Baba, N. Takado, Y. Sugimoto, M. Sugimoto and K. Asakawa, Jpn. J. Appl. Phys. **31**, 4381 (1992).
10. G. J. Van Gurp and J. M. Jacobs, Philips J. Res. **44**, 211 (1989).
11. T. R. Hayes, M. A. Dreisbach, P. M. Dreisbach, P. M. Thomas, W. C. Dautremont-Smith and L. A. Heimbrook, J. Vac. Sci. Tech. **B7**, 1130 (1989).
12. I. Adesida, E. Andideh, C. Jones and N. Finnegan, Proc. 2nd Int. Conf. InP Related Mat., Denver, CO, USA, April, 405 (1990).
13. B.-T. Lee, D.-K. Kim and J.-H. Ahn, Semiconductor Science and Technology **11**, 1456 (1996).