

헬리콘 플라즈마를 이용한 고선택비 산화막 식각에 관한 연구

김정훈 · 김진성 · 김윤택 · 황기웅 · 주정훈*

서울대학교 공과대학 전기공학부 플라즈마 실험실

*군산대학교 공과대학 재료공학과

(1998년 4월 6일 접수)

A study on the highly selective SiO₂ etching using a helicon plasma

J. H. Kim, J. S. Kim, Y. T. Kim, K. W. Whang, J. H. Joo*

School of Electrical Engineering, Seoul National University

**Department of Materials Science and Engineering, Kunsan National University*

(Received April 6, 1998)

요 약 - 헬리콘 플라즈마 장치에서 주 입력 전력, 공정 압력을 변수로 산화막 식각 특성을 조사하였다. 산화막 식각 특성은 주 입력 전력이 높을수록, 그리고 공정 압력이 낮을수록 좋아졌다. C₄F₈ 플라즈마에서 주 입력 전력 300W에서 2000W로 증가함에 따라 실리콘에 대한 선택비는 2.9에서 25.33로 증가하였으며, 공정 압력이 10 mTorr에서 1.5 mTorr로 감소함에 따라 2.3에서 16.21로 증가하였다. 4극 질량 분석기를 사용하여 플라즈마 내의 라디칼 종 및 이온 종의 상대적 변화 추이를 살펴본 결과, 공정 압력이 낮아지고 입력 전력이 높아질수록 이온 종의 밀도가 라디칼 종의 밀도에 비해서 상대적으로 높아지면서 고선택비 식각이 얻어지는 것으로 밝혀졌다.

Abstract - SiO₂ etch characteristics were studied as a function of the basic parameters, such as the main RF power and the operating pressure in a helicon plasma. SiO₂ etch characteristics were improved as the main RF power was increased and the operating pressure was decreased. SiO₂ etch selectivity over silicon increased from 2.9 to 25.33 when the RF input power increased from 300 W to 2 kW and from 2.3 to 16.21 when the operating pressure decreased from 10 mTorr to 1.5 mTorr with C₄F₈ plasma. We used a quadrupole mass spectrometer to measure the relative abundancies of various ionic and radical species to explain the experimental results and found that when the operating pressure is low and the RF input power is high, the highly selective SiO₂ etch is achieved as a result of density increment of the densities of various ionic species.

1. 서 론

반도체 소자의 집적도가 높아짐에 따라 소자의 제작에 요구되는 선폭이나 컨택홀의 크기가 sub-micron의 영역으로 감소하였다. 그러나 기존의 플라즈마 장비로는 높은 동작 압력과 낮은 이온화율로 인하여 초고집적 소자의 제작에 필요한 미세 패턴을 식각하는데 어려움을 겪고 있다. 이러한 이유로 동작 압력이 기존의 식각 플라즈마보다 낮으며 이온화율도 높은 고밀도 플라즈마를 사용하여 고집적화된 반도체 공정의 요구 사항

에 부합하고자 하는 연구가 진행되고 있다[1-3].

이러한 고밀도 플라즈마를 사용한 식각중에서 컨택홀 식각은 아직 많은 문제점을 안고 있는데, 그 중 하나는 기존에 주로 사용되는 CF₄나 CHF₃가스를 사용하였을 때, 높은 해리율로 인하여 플라즈마 내에 너무 많은 플루오린 종이 존재하고, 이로 인해 실리콘의 식각 속도가 너무 크게 되어 실리콘에 대한 식각 선택비를 충분히 얻을 수 없다는 문제점이다. 이러한 문제점을 해결하고자 C₄F₈과 같은 탄소를 많이 함유한 가스를 사용하여 플루오린에 대한 탄소의 양을 늘려주고, 수소를 첨가하여 플루오린

의 양을 줄이고, 폴리머의 형성을 촉진시켜 SiO₂의 Si에 대한 식각 선택비를 높이는 방법 등을 쓰고 있다. 하지만, 이러한 접근 방법은 컨택홀 측면 및 바닥에 과도한 폴리머 형성을 촉진시켜 비등방도를 나쁘게 하거나 식각 잔류물에 의한 오염 문제 등을 야기시킨다[4-6].

본 연구에서는 헬리콘 플라즈마를 산화막 식각에 적용하였으며, 적절한 변수 선택을 통해 그 결과로 실리콘에 대한 고선택비 산화막 식각을 얻었으며, 이를 미세 컨택홀 식각에 적용하였을 때, 폴리머 없고 비등방도가 높은 컨택홀이 얻어졌다.

2. 실험 장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 헬리콘 플라즈마를 이용한 건식 식각 장치의 개략도이다. 챔버(지름 30 cm, 높이 30 cm)에 연결된 석영관(지름 12.5 cm, 높이 15 cm)의 주위에 나고야 III 형태의 안테나가 설치되었으며, 이 안테나에 13.56 MHz의 RF가 인가되어 플라즈마가 형성되었다. 안테나 주위에는 100 Gauss의 균일한 자장을 형성시키기 위한 솔레노이드 형태의 보빈이 감겨져 있다. 또한 높이 15 cm에 위치한 기관에 13.56 MHz의 바이어스가 인가되어 식각시 항상 -80V로 유지하였다. 기관 내부에 0°C의 냉매를 순환시켜 낮은 온도를 유지하고, 기관과 웨이퍼 사이에는 헬륨 가스를 주입하여 식각 중의 웨이퍼의 온도를 100°C 이하로 유지되게 하였으며, 이는 fluoro-optic 온도계로 monitoring하였다. 동작 압력은 터보 펌프와 throttle 밸브에 의해서 공정 중에 1.5~10 mTorr로 유지되었으며, 챔버의 측면 인입구로 30 sccm의 C₄F₈ 주 식각 가스가 유입되었다.

실험시 형상이 없는 SiO₂막이 입혀진 시편으로 식각

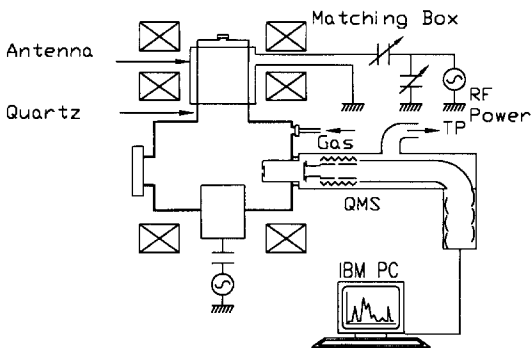


Fig. 1. 시스템 개략도.

속도 및 폴리 실리콘에 대한 선택비를 구한 뒤에 식각 단면을 관측하기 위해 0.4 μm 직경의 컨택홀 형상이 길러진 시편을 사용하였다. 사용한 산화막은 두께 10,000 Å로 길러진 7wt%의 PSG이며, 폴리 실리콘은 열 산화막 1,000 Å위에 APCVD법에 의해 길러진 막을 사용하였다. 식각 속도는 spectroscopic ellipsometer(SE)로 식각 전 후의 막의 두께를 측정함으로써 얻어졌다.

챔버의 측면에 4극 질량 분석기를 설치하여 CF(m/e=31), CF₂(m/e=50), CF₃(m/e=69)의 라디칼 종과 C⁺(m/e=12), F⁺(m/e=19), CF⁺(m/e=31), CF₂⁺(m/e=50), CF₃⁺(m/e=69)의 이온 종을 관측하였다. 라디칼 종을 관측할 때는 Appearance mass spectrometer(AMS) 기술을 이용하여, 각 종의 신호가 합쳐지는 것을 방지하였다[7]. 이 때 사용한 CF, CF₂, CF₃의 라디칼 종의 전자 충돌 에너지는 각각 11 eV, 13 eV, 15 eV이었다.

3. 실험 결과 및 토의

Fig. 2는 입력 전력을 300W에서 2000W로 변화시킬 때 C₄F₈ 가스에 의한 산화막 식각 특성의 변화를 관측한 것이다. 사용한 조건은 압력 1.5 mTorr, 유량 30 sccm, 자장 100 Gauss, 바이어스 전압 -80V이었다. 입력 전력이 증가함에 따라 산화막 식각 속도는 증가한다. 그러나 입력 전력 1500W에서 산화막 식각 속도 7000Å/min으로 정점을 이룬 뒤에 다시 감소하는 경향을 보인다. 폴

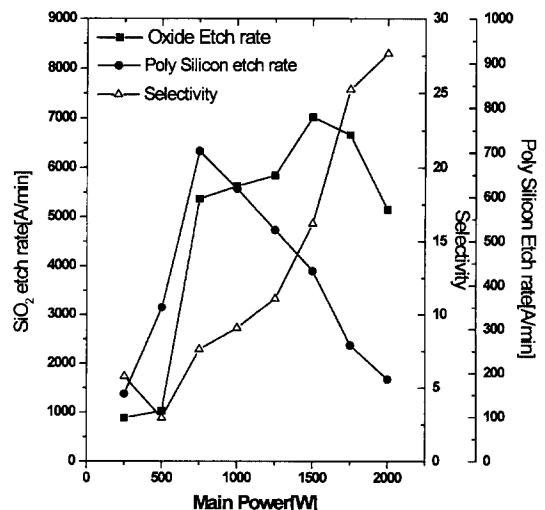


Fig. 2. 입력 전력에 따른 산화막 식각 속도, 폴리 실리콘 식각 속도, 선택도 (공정 조건; 1.5 mTorr, C₄F₈ 30 sccm, 100 Gauss, -80V bias).

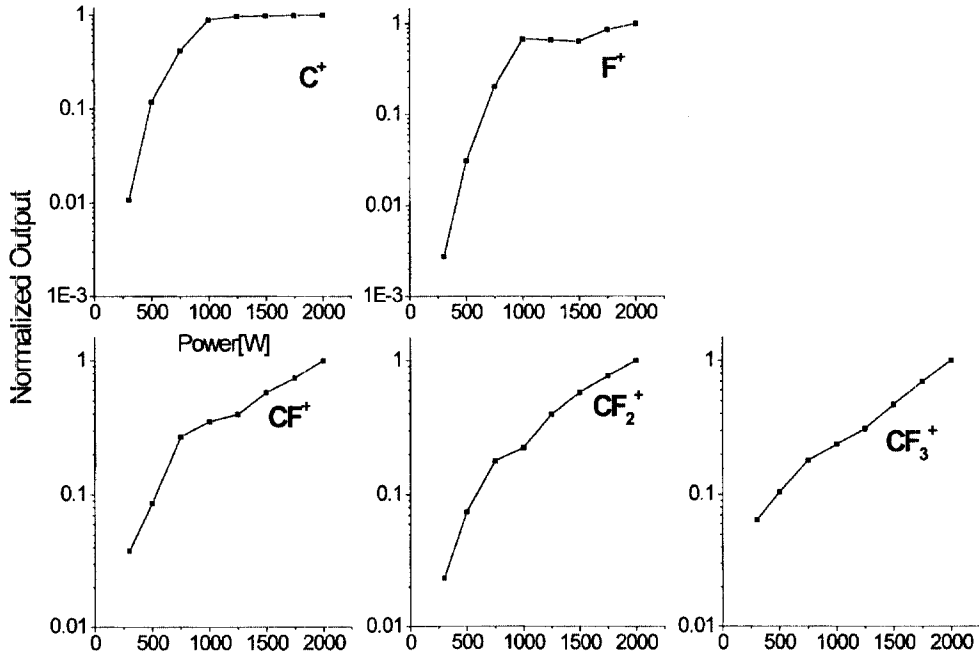


Fig. 3. 4극 질량 분석기로 관측된 입력 전력에 따른 이온 종의 변화 추이(공정 조건; 1.5 mTorr, C₂F₆, 30 sccm, 100 Gauss, -80V bias).

리 실리콘의 식각 속도는 입력 전력 750W에서 700Å/min로 정점을 이룬다. 이러한 결과로 인해 입력 전력이 증가함에 따라 폴리 실리콘에 대한 산화막 식각의 선택 비는 단조 증가하는 경향을 보인다. 일반적으로 입력 전력이 증가하면, 플라즈마 내의 밀도 및 라디칼의 증가로 인해 식각 속도가 증가한다. 그러나 본 실험에서는 어느 정도 증가하다가 감소하는 경향을 띄었는데, 이는 다음과 같은 이유로 사료된다. 공정 압력이 매우 낮고 입력 전력이 높은 경우, 충분한 해리가 되어 있는 상태이므로 입력 전력이 증가함에 따라 플라즈마 내의 이온 종은 증가하지만, 라디칼 종은 오히려 감소한다. 이는 입력 전력이 증가함에 따라 라디칼 종이 이온 종으로 변환되는 것이라 할 수 있으며, Fig. 3과 4의 결과가 이를 뒷받침한다. Fig. 3은 4극 질량 분석기로 플라즈마 내에 존재하는 주요 이온 종을 관측한 것으로 입력 전력이 증가함에 따라 이온 종에 의한 신호는 급격히 증가함을 관측할 수 있다. Fig. 4는 AMS(appearance mass spectrometer) 방법으로 플라즈마 내에 존재하는 주요 라디칼 종인 CF, CF₂, CF₃ 종을 관측한 것이다. Fig. 4에서 라디칼 종은 입력 전력이 증가함에 따라 오히려 감소하는 경향을 띄고 있다. 따라서 본 실험이 수행된 영역에서는 입력 전

력이 증가함에 따라 플라즈마 내의 이온 종은 증가하고, 라디칼 종은 감소하는 특성을 갖는다고 할 수 있다. 즉, 식각 속도가 초기 증가하는 주된 이유는 이온 종의 증가로 인한 것이며, 다시 감소하는 이유는 표면에서 식각을 활성화하는 라디칼의 감소로 인한 것으로 사료된다. 더욱이 산화막 식각의 경우가 폴리 실리콘 식각에 비해 상대적으로 이온의 충격이 중요하기 때문에 식각 속도가

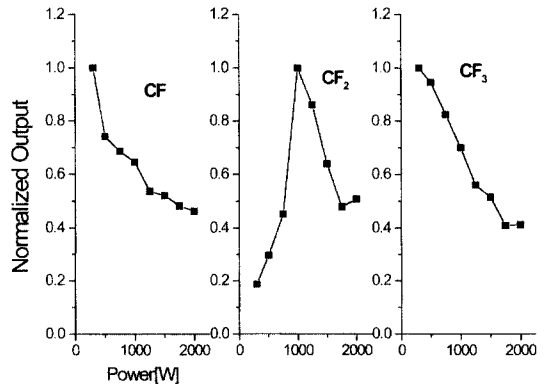


Fig. 4. 4극 질량 분석기로 관측된 입력 전력에 따른 라디칼 종의 변화 추이(공정 조건; 1.5 mTorr, C₂F₆, 30 sccm, 100 Gauss, -80V bias).

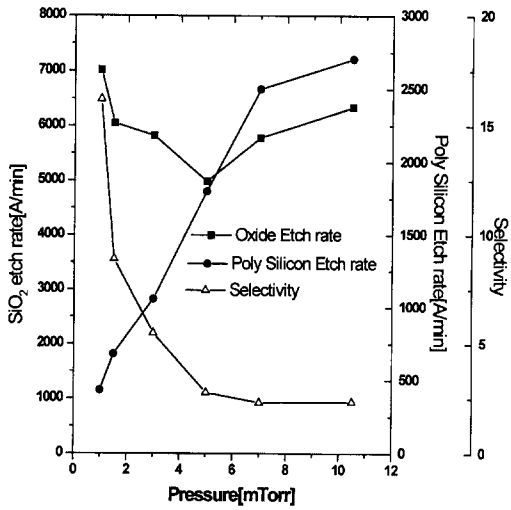


Fig. 5. 공정 압력에 따른 산화막 식각 속도, 폴리 실리콘 식각 속도, 선택도(공정 조건; 1.5 kW, C.F, 30 sccm, 100 Gauss, -80 V bias)

최대가 입력 전력 값이 폴리 실리콘의 경우보다 큰 것으로 사료된다.

Fig. 5는 공정 압력을 1.5 mTorr에서 10 mTorr로 변화

시킬 때 산화막 식각 특성의 변화를 관측한 것이다. 사용한 조건은 입력 전력 1.5 kW, 유량 30 sccm, 자장 100 Gauss, 바이어스 전압 -80V이었다. 공정 압력이 증가함에 따라 산화막의 식각 속도는 거의 변화가 없으나 폴리 실리콘의 식각 속도는 급격히 증가하였다. 이러한 결과로 공정 압력 1.5 mTorr에서 15이던 식각 선택비가 10 mTorr에서 3으로 감소하였다. 이러한 현상은 앞에서 서술한 원인과 동일한 것으로 사료된다. 즉, 공정 압력이 증가함에 따라 궁핍하던 라디칼이 증가함에 따라 폴리 실리콘의 식각 속도가 증가한 것으로 사료된다. Fig. 6과 7에서 보여진 공정 압력 변화에 따른 라디칼과 이온 밀도 변화를 보면 이러한 사실을 관측할 수 있다. 우선 라디칼 중은 공정 압력이 증가함에 따라 급격히 증가를 하는데 비해, 이온 중의 경우는 대부분의 중은 감소를 하고 CF_3^+ 이온만이 증가를 하는 것을 알 수 있다. 이는 모 가스의 분자 형태상 CF_3^+ 종이 생성되기 위해서는 재결합이라는 과정을 겪어야 하기 때문인 것으로 사료된다. 즉, CF_3^+ 가 생성되기 위해서는 해리 및 이온화 과정으로만은 이루어질 수 없고, 반드시 충돌로 인한 재결합 과정이 포함되어야 하기 때문에, 압력이 증가함에 따라

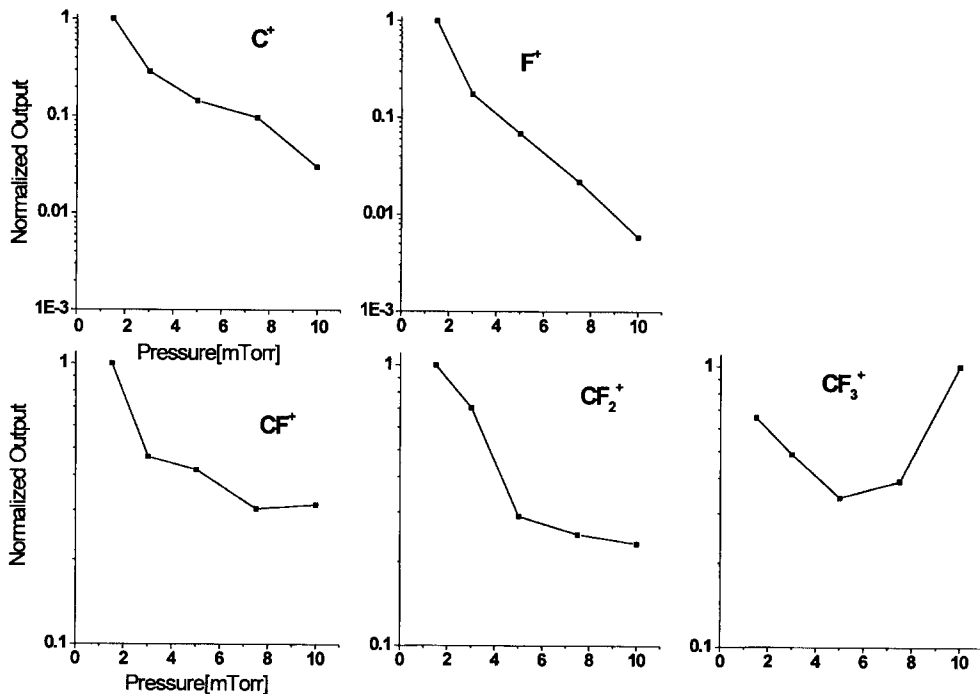


Fig. 6. 4극 질량 분석기로 관측된 공정 압력에 따른 이온 종의 변화 추이(공정 조건; 1.5 kW, C.F, 30 sccm, 100 Gauss, -80 V bias).

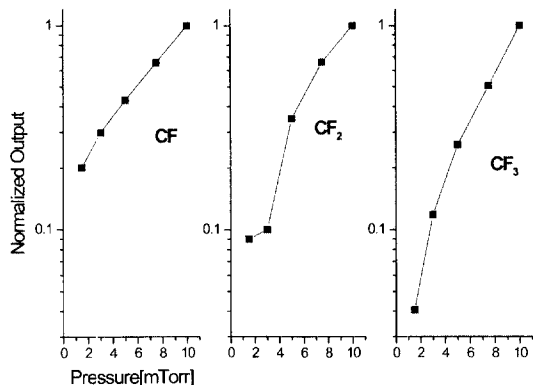


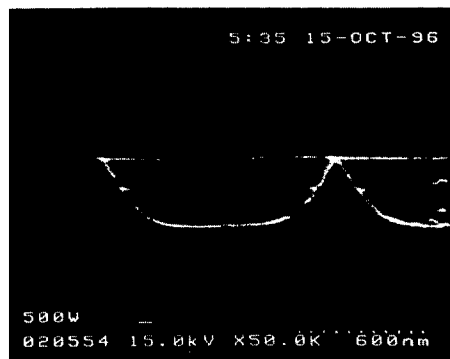
Fig. 7. 4극 질량 분석기로 관측된 공정 압력에 따른 라디칼 종의 변화 추이(공정 조건; 1.5 kW, C₂F₈ 30 sccm, 100 Gauss, -80V bias).

플라즈마 내의 양이 증가하게 된다. 이온의 충격이 중요한 역할을 하는 산화막 식각의 경우는 공정 압력 증가에 따른 라디칼의 증가가 식각 속도에는 그리 큰 영향을 미치지 못한 것으로 관측되는데, 이는 라디칼의 증가에 수반되는 이온종의 감소로 인한 것으로 사료된다.

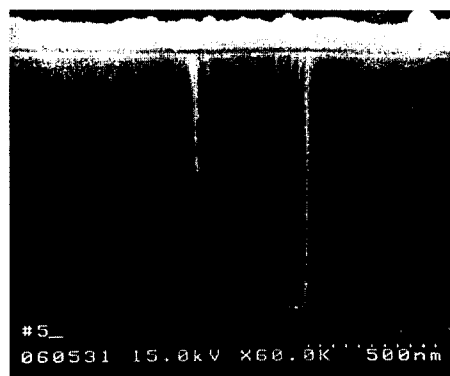
Fig. 8은 패터된 웨이퍼를 50% 과도 식각한 단면도이다. Fig. 8(a)와 (b)는 입력 전력이 각각 500W와 1500W 인 경우이며 식각 전 마스크상 컨택 홀 크기는 0.4 μm 이었다. 입력 전력이 500W인 경우 식각된 형상을 보면 바닥까지 충분히 식각이 안 되었을 뿐만 아니라, 개구가 벌어진 것을 관측할 수 있다. 이에 비해 입력 전력이 1500W인 경우는 수직 형상이 잘 형성되었을 뿐만 아니라 50% 과도 식각을 하였음에도 불구하고 바닥인 실리콘의 손상이 육안으로는 관측되지 않았다. Fig. 8(c)는 Fig. 8(b)를 얻은 식각 조건에서 공정 압력을 10 mTorr로 증가시켰을 때 얻어진 결과이다. 공정 압력이 10 mTorr인 경우 식각 전 컨택 홀의 크기는 0.7 μm임에도 불구하고 폴리머의 생성이 너무 활발하여 식각되는 측면 및 바닥에 형성되는 폴리머에 의해 깨끗한 컨택홀이 제대로 형성되지 않음을 관측할 수 있다.

4. 결 론

헬리콘 플라즈마를 산화막 식각에 응용한 결과 공정 압력이 낮고 입력 전력이 높은 조건에서 C₂F₈ 가스의 사용에 의해 산화막의 식각 속도가 7000Å/min, 폴리 실리콘에 대한 선택비가 15이상 되는 식각 결과를 얻을 수 있었다. 또한 4극 질량 분석기를 통하여 고선택비 산



(a)



(b)



(c)

Fig. 8. 식각된 컨택홀 단면 (a) (공정 조건; 입력 전력 500 W, 공정 압력 1.5 mTorr, 유량 C₂F₈ 30 sccm, 자장 100 Gauss, -80V bias, hole size 0.4 μm) (b) (공정 조건; 입력 전력 1.5 kW, 공정 압력 1.5 mTorr, 유량 C₂F₈ 30 sccm, 자장 100 Gauss, -80V bias, hole size 0.4 μm) (c) (공정 조건; 입력 전력 1.5 kW, 공정 압력 10 mTorr, 유량 C₂F₈ 30 sccm, 자장 100 Gauss, -80V bias, hole size 0.7 μm).

화막 식각이 가능한 것이 입력 전력이 높아지고, 공정 압력이 낮아짐에 따라 라디칼의 감소 및 이온 종 밀도의

증가와 상관관계가 있는 사실을 밝혔다. 그리고 형상 식각에 적용한 결과 낮은 압력에서 높은 전력이 사용된 경우 비등방도가 좋고 식각 잔류물이 없이 깨끗이 잘 형성된 식각 단면이 얻어짐을 확인하였다.

참고문헌

1. G. S. Oehrlein, Y. Zhang, D. Vender and M. Haverlag, *J. Vac. Sci. Technol.* **A12**, 323 (1994).
2. M. Tuda and K. Ono, *Jpn. J. Appl. Phys.* **36**, 2482 (1997).
3. P. Singer, *Semiconductor International*, July, 152 (1996).
4. T. Akimoto, H. Nanbu and E. Ikawa, *J. Vac. Sci. Technol.* **B13**, 2390 (1995).
5. A. K. Dutta, *Jpn. J. Appl. Phys.* **34**, 365 (1995).
6. H. Sakaue, A. Kojima, N. Osada, S. Singubara and T. Takahagi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **36**, 2477 (1997).
7. H. Sugai and H. Toyoda, *J. Vac. Sci. Technol.* **A10**, 1193 (1992).