

Study of silicon deep via etching mechanism using in-situ temperature monitoring of silicon exposed to SF₆/O₂ plasma discharge

임영대^a, 이승환^a, 유원중^a, 정오진^b, 이한준^b

^a성균관대학교 나노과학기술협동학부 (E-mail: yoojw@skku.edu)

^b동부하이텍 공정개발팀

초 록: 식각 공정변화 즉 상부 ICP 파워, 반응기 압력, 실리콘 기판 온도변화에 따른 실리콘 딥 비어 (deep via) 의 형상 변화 메커니즘을 연구하였다. 메커니즘을 연구하기 위해 SF₆/O₂ 플라즈마에 노출된 실리콘 기판의 공정변화에 따른 표면 온도변화를 실시간으로 측정하여 플라즈마 내 positive ions의 거동을 분석하였다. 실리콘 기판의 표면온도를 상승시키는 주된 요인은 positive ions임을 확인할 수 있었으며 이는 기판에 적용된 negative voltage로 인하여 나타난 이온포격이 그 원인임을 알 수 있었다. 상대적으로 radical은 실리콘 표면온도 상승에 큰 역할을 하지 못하였다. 기판 표면온도가 상승할수록 실리콘 딥 비어 구조에 undercut, local bowing 과 같은 측벽 식각이 활성화됨을 확인할 수 있었으며 이는 기판에 들어오는 positive ions가 측벽식각을 유도하는 것으로 해석할 수 있었다.

1. 서론

유도결합형 플라즈마(ICP) 식각장비를 이용하여 기저 상태의 다수 중성입자를 이온(ions)과 라디칼(radical)로 활성화시켜 다양한 물질을 빠른 속도로 반응 및 식각시키는 기술이 실리콘 deep via etching에 보편적으로 사용되고 있다. 이러한 식각 장비 안에서 플라즈마에 노출된 실리콘은 다양한 공정변수에 의해 deep via의 형상이 달라지는데 대표적인 공정변수로는 상부 ICP power, 하부 bias power, 반응기 압력, 실리콘 기판온도 등이 있다. 이러한 상황에서 플라즈마에 노출된 실리콘 기판의 표면 온도는 실리콘 딥 비어 형상과 밀접한 관계를 가지며, 또한 식각 공정변수에 따라 표면온도도 민감하게 영향을 받는다. 본 연구에서는 플라즈마에 노출된 실리콘 기판 표면의 온도변화를 공정변화 (상부 ICP 파워, 반응기 압력, 기판온도) 에 따라 실시간 측정, 분석함으로써 실리콘 딥 비어 식각에 대한 플라즈마 내 이온 및 라디칼 등 활성종들의 역할 및 메커니즘을 연구하였다.

2. 본론

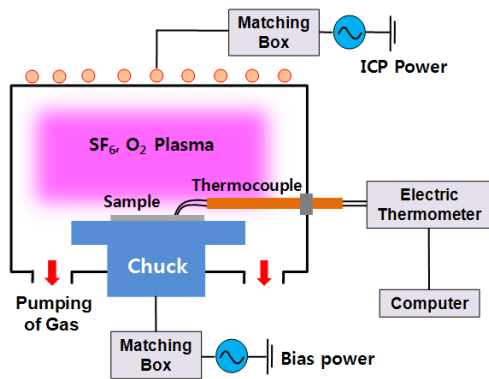


Fig. 1. Experimental setup

다음 그림 1은 본 연구의 개략적인 실험 장치를 보여 준다. photoresist를 이용한 10um 직경크기의 hole 패턴을 lithography 공정을 이용하여 silicon 기판 표면에 형성하였다. SF₆, O₂ 가스가 장착된 유도결합 플라즈마 (Inductively coupled plasma) 식각장비를 이용하여 실리콘 딥 비어 식각을 진행하였다. 동시에 플라즈마에 노출되어 식각되는 실리콘 기판의 표면온도 변화를 측정하였다. 진공장비 안에서 식각되는 실리콘 기판 표면온도를 측정하기 위해 thermocouple에 air-vacuum feed-through 장치를 적용하여 진공을 유지할 수 있도록 하였다. 또한 plasma 내 전자로 인하여 thermocouple 내 누설전류가 생겨 온도측정에 오류가 나지 않도록 하기 위해 플라즈마에 노출된 thermocouple sensor 부분을 절연체 (세라믹) 코팅 하였다. 여기서 sensor의 두께는 300um이며 코팅된 절연체의 두께는 약 100um 이다. 실리콘의 온도를 상온에서 -100°C 까지 조절하기 위해 chuck의 냉각라인에 -196°C 의 액화질소 및 상온의 기체질소 라인을 설치하였다. 액화질소 및 기체질소의 비율을 조절하여 척을 냉각시킴으로써 식각동안 일정한 온도를 유지할 수 있도록 하였다.

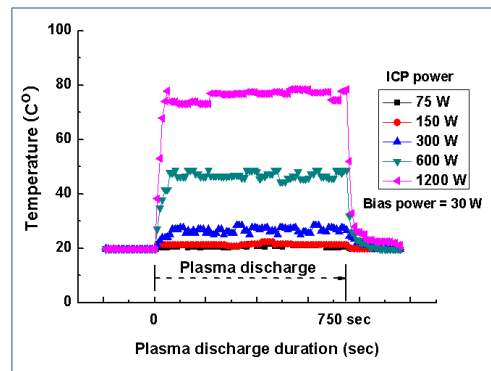


Fig. 2. Silicon surface temperature as a function of ICP power



Fig. 3. Silicon deep via formation as a function of ICP power

다음 그림 2와 3은 상부 ICP power 변화에 따른 실리콘

표면 온도변화 및 실리콘 딥 비어 형성 결과다. 그림 2를 통해 볼 때 ICP power가 증가할수록 실리콘 표면 온도가 증가함을 확인할 수 있다. 이는 ICP power 증가에 따라 플라즈마 내부에 다양한 종류의 활성종 형성이 더욱 촉진되고 이로 인해 기판에 충돌하는 positive ion의 양이 증가하여 기판 온도가 상승하는 것으로 해석할 수 있다. 다음 그림 3과 4는 반응기 압력 변화에 따른 실리콘 기판의 표면 온도변화 및 실리콘 딥 비어 형성 결과다. 압력이 증가할수록 기판표면 온도가 상승하다가 125 mTorr에서 급격하게 감소되는 것을 확인할 수 있다.

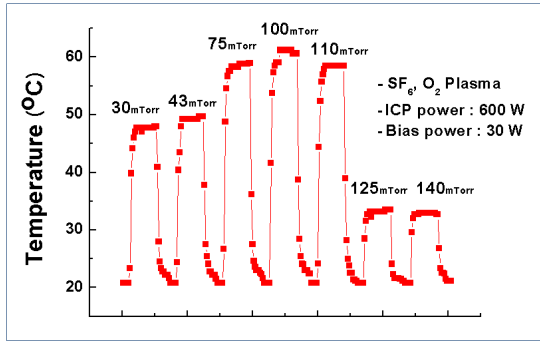


Fig.3. Silicon surface temperature as a function of reactor pressure

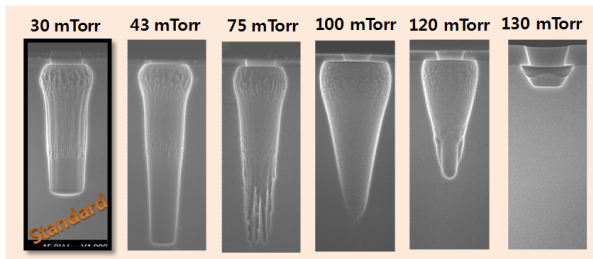


Fig. 4. Silicon deep via formation as a function of pressure

이는 압력 증가 (125 mTorr 이상) 에 따라 플라즈마 내 입자의 '평균자유행로'가 급격히 줄어들면서 플라즈마 형성이 약해지며 나타나는 것으로 해석된다. 그림 4를 통해 볼 때 100 mTorr 이하에서 실리콘 표면 온도가 증가할수록 비어의 측벽식각이 활성화되는 것을 볼 수 있다. 이는 실리콘 표면온도를 상승시키는 주된 요인, positive ion이 측벽식각에 영향을 주고 있는 것으로 해석할 수 있다.

3. 결론

공정조건 변화에 따른 실리콘 딥 비어 형상을 관찰하였고 비어 형성 메커니즘을 실리콘 표면 온도를 통해 분석하였다. 실리콘 표면 온도는 비어 형성과 같이 공정변수에 따라 변하는 것을 확인할 수 있었으며 비어 형성과 밀접한 연관이 있음을 확인할 수 있었다. 실리콘 표면온도를 상승시키는 주된 요인은 positive ion이며 이것이 증가할수록 실리콘 비어의 측벽식각이 활성화됨을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. M. Kawano, N. Takahashi, Y. Kurita, K. Soejima, M. Komuro, and S. Matsui, IEEE Trans. Electron Devices. 55, 1614 (2008).
2. Y. D. Lim, S. H. Lee, and W. J. Yoo, J. Korean Phys. Soc. 52, 616 (2009).
3. M. Boufnichel, S. Aachboun, F. Grangeon, P. Lefauchaux, and P. Ranson, J. Vac. Sci. Technol. B 20, 1508 (2002).
4. S. Tachi, K. Tsujimoto, and S. Okudaira, Appl. Phys. Lett. 52, 616 (1988).