

고밀도 플라즈마를 이용한 contact hole 식각에서 공정 변수에 따른 식각 특성

김관하, 김창일
 중앙대학교 전자전기공학부

Etching properties as the process parameter in high density plasma contact hole etching

Gwan-Ha Kim and Chang-Il Kim
 School of electrical and electronics engineering, Chung-Ang University

Abstract - 본 연구에서는 고밀도 플라즈마 식각 시스템을 이용하여 contact hole 식각을 연구하였다. 실험은 공정 변수에 따른 식각 특성을 변화할 SEM 분석을 이용하여 보였으며 공정 압력 증가에 따른 contact hole 패턴의 하부 및 측면이 vertical 하지 못한 현상을 볼 수 있었으며 이는 과도한 라디칼 생성으로 인하여 식각 반응 부산물과 폴리머가 식각 패턴 밖으로 탈착되지 못하여 나타나는 것으로 생각되며 하부 bias 전력을 증가시킴으로써 식각 반응 부산물과 폴리머의 탈착을 도와 식각 프로파일 개선에 영향을 줌을 확인하였다. 또한, 본 장비의 낮은 전자온도 등의 특성으로 인하여 PR의 degradation 현상 등이 나타나지 않았다.

1. 서 론

반도체 소자의 고집적화가 가속화되면서 패턴형성의 디자인 룰이 크게 감소함에 따라 정밀도에 대한 요구가 한층 엄격해짐으로써 플라즈마 식각을 진행할 때 막질간의 고 선택비와 고이방성이 동시에 요구되고 있다. 일반적으로 이방성 식각을 실현하기 위해서는 RF 전력을 높여 기판 바이어스를 증가시키거나, 공정 압력을 낮춤으로서 입자의 방향성을 증가시키는 방법을 사용하게 되는 데 두 경우 모두 막질간의 선택비를 저하시키는 문제로 trade-off를 요구하게 된다. 또 다른 방법으로는, 측벽 보호막을 형성하기 위하여 첨가 gas를 사용하는 방법도 널리 사용되고 있으나 패턴이 미세화 됨에 따라 CD(Critical Dimension) 제어 margin이 크게 감소함으로써 측벽 보호 폴리머 자체의 두께에 의한 CD 변화가 큰 문제로 대두되고 있다. 또한 패턴 형성을 위한 포토 리소그래프 공정에 있어서도 해상도의 확보를 위하여 PR(photoresist) 두께를 감소하여야 하는 경우가 많이 발생함에 따라 고단차 구조에 있어서 하부 막질의 식각에 필요한 두께의 마스크 확보가 불가능하며 게이트 산화막등의 막박화에 따라 고선택비의 확보가 크게 요구되어지고 있다. 이러한 여러 가지 문제점들을 해결하기 위하여 기판의 바이어스를 증가시키거나 측벽 보호막을 두껍게 형성하지 않는 반면 고이방성과 고선택비를 확보하는 방법으로서 최근 기판 온도를 0°C 이하로 제어하는 저온 식각 공정이 자주 거론되어지고 있다. 그 이점으로 저온효과에 의하여 측벽반응을 저하시킴으로 이방성을 강화시키는 동시에 측벽 폴리머를 억제시킴으로써 CD 변화를 감소시키고 또한 bowing 현상 등을 감소시킴으로써 profile을 향상시키는 것 등이 가능하다. 이는 온도를 낮춤으로써 패턴의 측벽과 반응성 입자들 간의 화학적, 물리적 식각 성분을 적제시켜 막질간의 선택비를 감소시키는 효과를 얻게 되는 것이다. 그러나 이러한 공정은 반응로 내부의 결로 현상을 야기시켜 새로운 오염원으로 작용할 수 있는 부작용이 따를 수 있다.

식각된 패턴의 수직 형상을 위한 고이방성, 고단차 구조를 위하여 폴리머를 이용한 측벽보호를 위하여 PR의 플라즈마 내성 개선과 식각공정 동안 선택비를 증가가 요구된다. 유전막 식각에서 선택비를 증가시키기 위하여 폴리머 기체의 양을 증가시키는 것은 폴리머의 초과량이 식각 깊이 성능을 제한하기 때문에 원하지 않는 방법으로 너무 이른 식각 정지(etch stop)가 일어나고 감광제 선택을 변경시키는 원인이 된다. 또한, 증착된 폴리머의 많은 양은 감광제에 응력을 야기시킨다. 이를 선 왜곡(line distortion) 또는 꼬리꼬불 뒤흔들(wiggle)이라고 부른다. 실질적인 해법은 식각 공정에서 보호막으로써의 폴리머 발생과 사용을 관리 및 조절하는 것이며, 공정기체의 해리와 폴리머 형성 공정을 제어하는 것이다 [1,2].

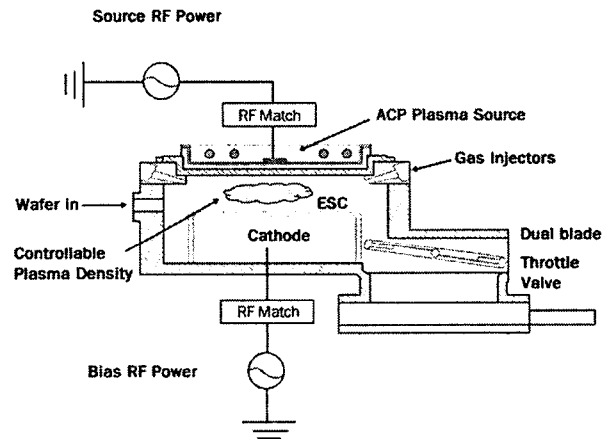
본 연구에서는 반응로 벽에 폴리머가 퍼짐을 최소화하고 웨이퍼 상에 최적의 폴리머 양을 전달하기 위하여 적절한 가스혼합비에서 공정 압력과 RF 전력이 산화막의 식각률 및 PR과의 선택비, 식각 형상에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실 험

고밀도 플라즈마를 이용한 contact hole 식각 특성 및 플라즈마 진단에 사용된 장비는 APTC(주)사의 SELEX 200과 Semisysco(주)사의 Smart EPD™ 장비이다. 그림 1은 실험에 사용된 고밀도 플라즈마 장치의 개략도를 나타낸 그림이다. 반응로는 알루미늄 (Al) 재질로 되어 있으며 플라즈마 식각 반응로의 주된 구성은 챔버, 플라즈마 형성을 위한 고주파 RF 발생기, 가스를 플라즈마로 해리시키기 위한 전기장각 자기장을 발생하는 플라즈마 스톱 코일, 고주파와 코일과 정합을 만들기 위한 RF match, 반응로의 덮개에 해당하는 세라믹 돔, 가스를 반응로에 공급하는 가스 인젝터, 정전력을 이용하여 웨이퍼를 고정시키는 정전척, 음전극을 띄며 식각시킬 양전하

를 잡아 당기기 위한 Cathode, Cathode에 RF 발생시키기 위한 Bias RF 발생기 및 정합을 위한 RF Match, 진공을 유지하며 반응 생성물을 챔버 밖으로 빼내는 Dry Pump 및 Turbo Pump, 가스의 방출속도 및 양을 조절하기 위한 Valve, 웨이퍼의 챔버 내 유입 시 챔버를 열어주는 Slit valve 등으로 구성되어 있다.

산화막 contact 패턴은 P-type Si 기판위에 600nm의 TEOS를 증착시키고 300nm의 PR을 도포한 후 노광작업을 통해 준비 되었다. 이와 같이 증착된 contact 패턴은 고밀도 플라즈마 시스템을 이용하여 식각하였다. Contact 패턴은 BARC (bottom anti reflect coating) step, ME (main etching) step, PET (plasma enhanced treatment) step 순서로 연속적으로 식각되었으며 이때의 substrate의 Back side He 압력은 가운데 부분이 20 Torr, 가장자리는 12 Torr를 공급하여 웨이퍼의 온도를 제어하였으며 substrate의 냉각수의 온도는 15°C, 반응로 벽의 온도는 30°C로 칠러를 통하여 유지시켰다. BARC step의 공정 조건은 65 mTorr의 공정 압력, 140 W의 source 전력, 900 W의 Bias 전력, 40 sccm의 CF₄, 150 sccm의 Ar, 12 sccm의 O₂를 공급하였다. ME step의 가스 공급은 18 sccm의 C₄F₈, 300 sccm의 Ar, 13 sccm의 O₂를 이용하였으며 PET step의 공정 조건은 100 mTorr의 공정 압력, 400 W의 Source 전력, 100 W의 Bias 전력, 20 sccm의 CF₄, 300 sccm의 Ar, 200 sccm의 O₂로 유지하였다. 식각 후 프로파일 분석은 EOL JSM-640 SEM (field emission scanning electron microscopy) 을 이용하여 관찰하였다.



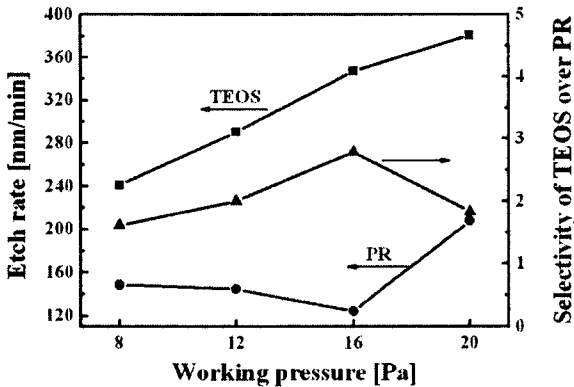
<그림 1> 고밀도 플라즈마 식각 장치의 개략도

3. 결과 및 고찰

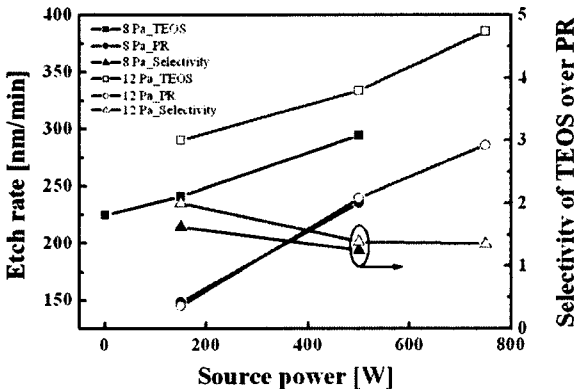
그림 2는 공정 압력 증가에 따른 산화막(TEOS)과 PR의 식각률 및 선택비를 나타낸다. 이때의 공정 조건은 150 W의 Source 전력, 1500 W의 Bias 전력, 18 sccm의 C₄F₈, 300 sccm의 Ar, 13 sccm의 O₂를 공급하였다. 공정 압력이 증가함에 따라 산화막의 식각률은 선형적으로 증가하나 PR의 식각률은 감소하다 증가하는 것을 보였다. 이에 따라 산화막과 PR의 선택비는 증가하다 감소하는 경향을 보인다. 이는 공정 압력이 증가할 때 플라즈마 내에 활성종이 많이 분포하게 되어 산화막의 식각은 선형적으로 증가하게 되는 것이라 생각된다. PR의 식각률이 감소하는 현상은 공정압력의 증가에 따른 활성종의 증가가 폴리머를 발생하게 하여 PR 표면에 흡착되게 되어 식각률이 감소로 이어지는 것이라 생각된다. 그러나 계속적인 공정 압력의 증가는 발생된 폴리머의 PR 표면으로의 흡착보다는 탈착 현상에 관여하게 하여 식각률의 증가로 이어진다. 이로 인하여 산화막과 PR의 선택비는 증가하다 감소하는 것이라 생각된다 [3].

그림 3은 공정 압력이 8 Pa과 12 Pa 이었을 때의 산화막과 PR의 식각률, 산화막과 PR의 선택비를 Source 전력에 따라 나타낸 것이다. 이때의 etchant는 그림 2와 같다. 두가지 모두의 공정 압력에서 Source 전력의 증가에 따라 산화막과 PR의 식각률은 증가하게 되나 산화막 보다 PR의 식각률 증가가 가파르므로 선택비는 감소하는 경향을 보인다. 이는 그림 2의 경

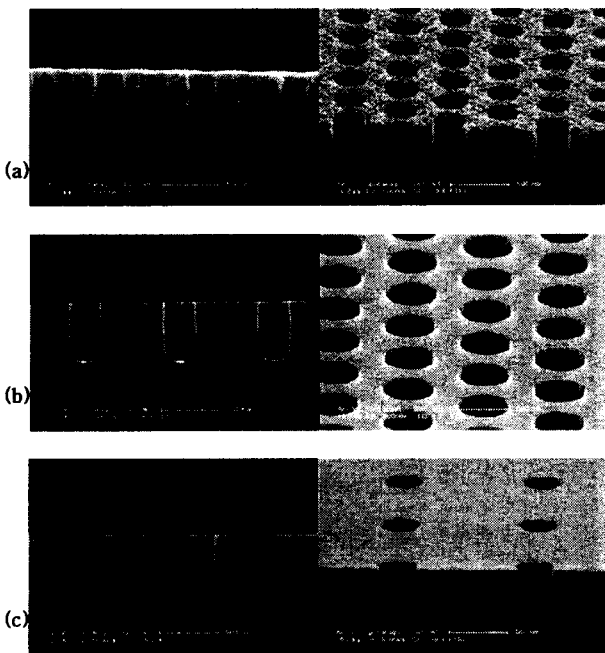
우와 달리 Source 전력 증가에 따라 발생된 활성종들과 시료와 반응물이 시료 표면에 흡착되지 않고 휘발성의 식각 부산물을 형성하여 진공 배기 시스템으로 배기되기 때문이다. 다음의 공정 조건에서도 알수 있듯이 Source 전력은 1 W에서 800 W까지 변화시킴에 따라 산화막과 PR의 식각률은 선형적으로 증가하나 두 물질의 선택비는 감소하는 경향을 보인다. 이는 Source 전력에 비하여 상대적으로 큰 Bias 전력을 인가함으로써 하부 기판으로 향하는 이온들의 Bombardment 에너지를 크게하여 선택적이며 이 방향성의 식각이 이루어지기 때문이다.



〈그림 2〉 공정 압력에 따른 TEOS, PR의 식각률 및 선택비



〈그림 3〉 Source power에 따른 TEOS, PR의 식각률 및 선택비



〈그림 4〉 공정 조건에 따른 contact hole 식각 프로파일
(Etchant: C_4F_8 18 sccm, Ar 300 sccm, O_2 13 sccm)

- (a) 90 mTorr, 150 W의 Source power, 1500 W의 Bias power
(b) 120 mTorr, 150 W의 Source power, 1500 W의 Bias power
(c) 120 mTorr, 100 W의 Source power, 1800 W의 Bias power

그림 4는 공정 압력과 Source 전력, Bias 전력의 변화에 따른 식각 프로파일의 변화를 나타낸 그림이다. 그림 4 (a)와 (b)는 같은 공정 조건에서 각각 90 mTorr, 120 mTorr에서의 식각 단면이다. 공정 압력의 증가에 따라 contact hole 패턴의 측면 및 하부가 vertical 하지 못한 단면을 보여준다. 이는 과도한 활성종의 발생과 폴리머 생성을 제어하지 못하는 결과로 생각된다. 그러나 같은 120 mTorr의 공정 압력에서 Source 전력을 감소하고 Bias 전력을 증가시킴으로써 좀더 수직 한 단면을 얻을 수 있었다. 이는 과도한 폴리머 발생을 줄이고 하부 기판으로 향하는 이온 에너지를 크게 함으로써 방향성이 증가되기 때문이다 [4].

4. 결 론

본 연구에서는 고밀도 플라즈마 식각 시스템을 이용하여 contact hole 식각을 연구하였다. 공정 압력 증가에 따라 산화막의 식각률을 증가하나 PR의 식각률은 감소하다 증가하는 경향을 보인다. 이로 인하여 산화막과 PR의 선택비는 증가하다 감소하는 경향을 보인다. Source 전력 증가에 따라서는 산화막과 PR 모두 식각률이 증가하나 PR의 식각률 증가율이 가파르므로 선택비는 감소하는 경향을 보인다. 이는 공정압력의 증가와 Source 전력의 증가는 시료와 반응하는 활성종의 생성이 많아져 생기는 결과라고 생각된다. 또한, 공정 압력 증가에 따른 contact hole 패턴의 하부가 둥그스런 현상을 볼 수 있었으며 이는 과도한 라디칼 생성으로 인하여 식각 반응 부산물과 폴리머가 식각 패턴 밖으로 탈착되지 못하여 나타나는 것으로 생각되며 하부 bias 전력을 증가시킴으로써 식각 반응 부산물과 폴리머의 탈착을 도와 식각 프로파일 개선에 영향을 줌을 확인하였다. 또한, 본 장비의 낮은 전자온도 등의 특성으로 인하여 PR의 degradation 현상 등이 나타나지 않았다.

[참 고 문 헌]

- [1] H.Y. Song, Y.H. Choi, B.H. O, S.G. Park, J.S. Oh, J.W. Kim, "Effect of time-varying axial magnetic field on high aspect ratio contact hole etching", Thin Solid Films, Vol. 435, p. 247, 2003
- [2] S. Samukawa, T. Mukai, "Effects of low-molecular-weight radicals for reduction of microloading in high-aspect contact-hole etching", Thin Solid Films, Vol. 374, p. 235, 2000
- [3] T. Nakahata, K. Sugihara, T. Furukawa, Y. Nishioka, S. Maruno, Y. Abe, Y. Tokuda, S. Satoh, "Improvement of alignment tolerance against contact hole etching by growing of underlying silicon-selective epitaxial layer", Microelectronic Eng., Vol. 56, p. 281, 2001
- [4] T.F. Yen, K.J. Chang, K.F. Chiu, "Profile control in high aspect ratio contact hole etching by a capacitively coupled plasma source", Vol. 82, p. 129, 2005