

높은 A/R의 콘택 산화막 에칭에서 바닥모양 변형 개선에 관한 연구

A Study on The Improvement of Profile Tilting or Bottom Distortion in HARC

황원태^{1,a}, 김길호²
(Won-Tae Hwang^{1,a} and Gil-Ho Kim²)

Abstract

The etching technology of the high aspect ratio contact(HARC) is necessary at the critical contact processes of semiconductor devices. Etching the SiO₂ contact hole with the sub-micron design rule in manufacturing VLSI devices, the unexpected phenomenon of 'profile tilting' or 'bottom distortion' is often observed. This makes a short circuit between neighboring contact holes, which causes to drop seriously the device yield. As the aspect ratio of contact holes increases, the high C/F ratio gases, C₄F₆, C₄F₈ and C₅F₈, become widely used in order to minimize the mask layer loss during the etching process. These gases provide abundant fluorocarbon polymer as well as high selectivity to the mask layer, and the polymer with high sticking yield accumulates at the top-wall of the contact hole. During the etch process, many electrons are accumulated around the asymmetric hole mouth to distort the electric field, and this distorts the ion trajectory arriving at the hole bottom. These ions with the distorted trajectory induce the deformation of the hole bottom, which is called 'profile tilting' or 'bottom distortion'. To prevent this phenomenon, three methods are suggested here. 1) Using lower C/F ratio gases, CF₄ or C₃F₈, the amount of the polymer at the hole mouth is reduced to minimize the asymmetry of the hole top. 2) The number of the neighboring holes with equal distance is maximized to get the more symmetry of the oxygen distribution around the hole. 3) The dual frequency plasma source is used to release the excessive charge build-up at the hole mouth. From the suggested methods, we have obtained the nearly circular hole bottom, which implies that the ion trajectory incident on the hole bottom is symmetry.

Key Words : Bottom distortion, Profile tilting, Dual frequency, Deformation, Fluorocarbon

1. 서론

오늘날 반도체의 최소 선폭은 0.1 μm 이하로 줄어들고 있고 있으며, 그에 따른 반도체 단위 공정의 기술적 정확성과 재현성이 요구되고 있다. 본

논문은 반도체를 구성하고 있는 단위 구조의 제작 공정 중에서 콘택 (Contact) 산화막 (SiO₂) 건식식 (Dry Etching) 공정의 바닥모양 변화 (Profile Tilting or Bottom Distortion)의 원인을 분석한 실험 및 결과에 따른 개선을 다루고자 한다. 보통 반도체에서 콘택 공정이라 함은 집적 회로의 다층 배선의 위, 아래를 연결하기 위해 절연막에 구멍을 뚫고 그 구멍에 전도성 물질을 채워 넣는 반도체 제조 공정 중 하나이다. 따라서, 콘택 건식식각은 절연막을 대상으로 플라즈마를 이용해 구멍을 뚫는 과정인데, 이때 콘택은 대개가 둥근 형태를 가

1. 삼성전자 반도체연구소
(경기도 화성시 태안읍 반월리 산 16)
2. 성균관대학교 나노소자 연구실
a. Corresponding Author : hwangwt@samsung.com
접수일자 : 2005. 1. 12
1차 심사 : 2005. 2. 22
심사완료 : 2005. 3. 28

지는 것이 보편적이다. 콘택의 식각해야할 깊이에 대한 지름의 비율을 A/R(Aspect Ratio)라 부르는데, 콘택의 크기가 줄어들고 깊이가 깊어질 수록 A/R가 높다고 표현한다. 이 A/R가 커지게 되면 바닥모양 변형이라 하여 콘택의 처음 둥근 모양이 식각시간이 경과됨에 따라 점점 찌그러지고 바닥에서의 모양은 더욱더 기형화되어 예기치 않게 옆 패턴과 붙어 전기적으로 합선이 되거나 면적이 감소하여 전도성 물질을 채운 후의 콘택 저항이 높아지는 등 반도체 개발, 생산에 있어 심각한 불량을 야기시키고 있다.

2. 실험

2.1 실험 시료

실험에 사용할 시료는 실리콘(Si) 웨이퍼 위에 질화막(Si_3N_4)을 $0.05 \mu\text{m}$ 를 덮고, 산화막을 약 $3 \mu\text{m}$ 를 덮은 후 콘택 패턴의 지름을 약 $0.2 \mu\text{m}$ 가 되도록 만들었다. 실리콘 위에 질화막을 덮는 이유는 콘택 산화막 식각 후 산화막을 선택적으로 없앤 후 질화막 위에 남아있는 자국을 통해 바닥변형이 일어난 정도를 관찰하기 위해서이고, 산화막의 두께나 콘택의 지름을 작게 한 것은 A/R를 높일 수록 바닥 모양 변형이 잘 나타나기 때문이다. 콘택 패터닝은 PR을 이용하였으며, 그 두께는 $0.4 \mu\text{m}$ 이다. 이때, 콘택간 최단 거리에 위치한 또 다른 콘택의 개수를 4, 6개를 가질 수 있도록 tetragonal, hexagonal 타입의 두 가지 패턴을 만들어 패턴의 존성도 평가하였다.

2.2 실험 장치

본 실험에서의 건식식각 장치는 그림 1과 같이 두 가지의 플라즈마 생성 장치를 사용하였다. 두 장치가 모두 기존의 CCP(Capacitively Coupled Plasma) 방식의 낮은 플라즈마 전자밀도인 약 10^7 개/ cm^3 인데 비해 약 $10^9 \sim 10^{10}$ 개/ cm^3 정도의 전자밀도를 가져 한단계 진보한 플라즈마 생성 장치로서 많은 반도체 제조 회사들이 건식 식각 장치로 사용하고 있다. 본 실험에서는 대부분 그림 1의 (a) 장치를 이용하였으며, 마지막으로 검증용 위해 그림 1(b) 장치로 실험을 진행하였다. HF란 high frequency의 약자로서 수십 MHz 대역을 의미하고, LF란 low frequency의 줄임말로 수 MHz 대역의 교류 전원을 의미한다.

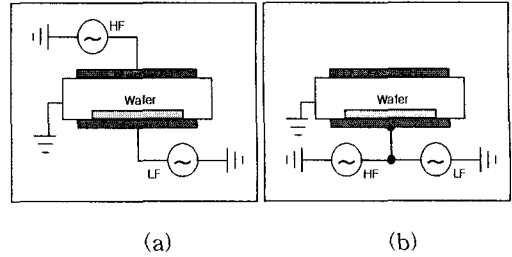


그림 1. 실험에 사용된 플라즈마 생성 장치, (a) Dual Frequency CCP(DFCCP), (b) Dual Frequency Feeding CCP (DFFCPP : 임시명칭).

Fig. 1. Plasma applications.

더불어 식각 후에 바닥모양 변화가 어느 정도 일어났는지를 확인할 수 있도록 산화막만 선택적으로 제거할 수 있는 BOE(Buffered Oxide Etchant) 공정을 이용하였으며, 변형정도를 위에서 관찰하기 위한 SEM(Scanning Electron Microscope)을 사용하였다.

2.3 실험 방법

실험은 위에서 준비한 시료로 산화막 두께에 대해 바닥면까지 콘택 식각할 수 있도록 그림 1(a)와 같은 플라즈마 형성 장치에서 충분한 시간동안 진행하였으며, 식각 조건은 오늘날 콘택 산화막 식각에 널리 사용되고 있는 $20 \sim 50 \text{ sccm C}_4\text{F}_6 / 30 \sim 40 \text{ sccm O}_2 / 500 \sim 1000 \text{ sccm Ar}$ 을 기본으로 식각하였다. 이때 식각 조건을 변경하는 경우에는 변경 조건에 대한 산화막 식각율을 알아내어 변경된 조건에서도 콘택면 바닥 식각이 가능하도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

먼저 준비한 tetragonal 타입의 실험 시료에서 바닥 변형이 어느 정도 일어나는지를 관찰하기 위해 그림 1(a)의 장치에서 기본 산화막 식각 조건인 $\text{C}_4\text{F}_6/\text{O}_2/\text{Ar}$ 으로 산화막 식각을 진행한 후 산화막을 제거한 상태의 실리콘 웨이퍼 위에 덮인 질화막 자국을 관찰한 결과 그림 2와 같다.

그림 2(a)는 기본 산화막 조건을 건식식각을 진행한 후에 BOE를 이용해 산화막만을 선택적으로 제거하여 질화막-산화막이 맞는 부분을 관찰한 모습이다. 산화막 콘택을 식각하다가 질화막과 같

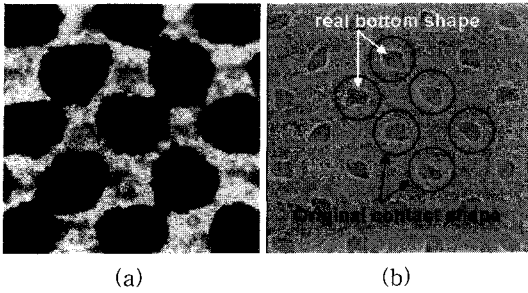


그림 2. 바닥모양 변형 자국, (a) 질화막-산화막 경계 부위(200K 배율), (b) 산화막을 완전히 제거한 상태 (150K 배율).

Fig. 2. The trace of bottom distortion, (a) boundary of Si_3N_4 to SiO_2 (magnitude 200K), (b)the image after SiO_2 full removal(magnitude 150K).

이 기본 식각 조건의 식각율이 떨어지는 막질을 만나게 되면, 턱이 생기게 되므로 그림 2(a)와 같이 각 타원형의 모양 중 안쪽의 선명한 타원 모양은 실제 질화막에 생긴 자국이 되고, 바깥쪽의 타원 모양은 질화막-산화막 경계 부위에 생기는 실제 산화막만의 바닥 모양이 된다. 그림 2(b)는 콘택 산화막을 완전히 제거한 후이기 때문에 질화막-산화막 경계의 바닥 모양은 보이지 않고, 질화막에 남은 자국만 보이는 사진이다. 그림 2(b)의 검은색 실선으로 표시한 것이 원래 PR로 패터닝한 콘택의 모습이다. 앞서 언급한 바와 같은 처음 시작 모양은 원형이었는데, 바닥면에서는 모양이 찌그러져 바닥 모양간 거리가 불균일해질 뿐만 아니라, 그 크기가 제 멋대로여서 콘택들간 바닥에서 붙어 있는 것을 쉽게 확인할 수 있었다. 그렇다면, 왜 식각이 진행될수록 바닥 모양이 변형되는지 몇 가지 모델링을 통해 각각의 대한 실험을 진행하고, 그 결과를 토대로 바닥 모양 변형을 개선할 수 있는지 알아보았다.

3.1 산화막 식각 가스에 대한 영향성 평가

콘택의 지름이 약 $0.2 \mu m$ 이하로 작아지면 포토 레지스트(PR) 두께 역시 $0.2 \sim 0.6 \mu m$ 정도로 낮아지기 때문에 $3 \mu m$ 의 산화막을 식각하기 위해서는 건식 식각 시 폴리머 생성 가스를 이용하여 마스크(여기에선 'PR')를 보호하며 시작하게 된다. 왜냐하면, 식각해야 하는 산화막이 두꺼운 반면 마스크 두께가 얇아 콘택 입구가 식각이 끝나기 전에

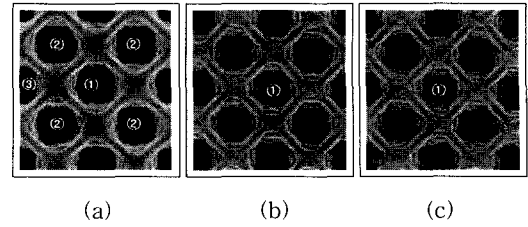


그림 3. $C_4F_6/O_2/Ar$ 의 식각 조건에서 시간에 따른 마스크 모양 변화, (a) 식각 1분 후, (b) 2분 후, (c) 3분 후의 모습.

Fig. 3. The change of mask feature as time goes by $C_4F_6/O_2/Ar$ etching condition, (a) after 1 minute, (b) after 2 minutes, (c) after 3 minutes.

드러난 채로 식각이 되어 입구가 벌어짐을 방지하기 위해서이다[1]. 본 실험에 기본 산화막 식각 조건 중 C_4F_6 는 산화막 식각도 하지만, 마스크를 보호하는 역할도 하게 되는데, 마스크에 이러한 폴리머가 흡착되면 원형의 모습이 변형되므로 바닥 모양 변형에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 다음의 그림 3은 tetragonal 패턴, 즉 그림 3(a)의 1번 콘택을 중심으로 최단 거리의 2번 콘택의 개수가 4개인 패턴에서 $C_4F_6/O_2/Ar$ 식각 조건의 산화막을 에칭한 후 PR과 산화막을 제거하지 않은 상태를 SEM을 통해 패턴 위에서 관찰한 모습이다.

위 사진에서도 알 수 있듯이 $C_4F_6/O_2/Ar$ 의 식각 과정에서 발생하는 폴리머들이 패턴 주변에 쌓이고 불규칙하게 깎이면서 처음 원형의 모양을 기형화 시키고 있음을 알 수 있다. 바닥의 모양은 패턴닝 모양을 따라갈 수밖에 없으므로 마스크 주변에 흡착되는 폴리머가 기형으로 흡착되면 바닥모양이 변형될 수 밖에 없음을 짐작할 수 있다. 이번에는 산화막을 식각하기 위한 가스 중에서 C_4F_6 외 다른 식각 가스인 C_4F_8 , C_3F_8 , CF_4 등을 이용하였다. 평가를 진행하기에 앞서 탄소(C)와 불소(F)의 조성비(C/F ratio)와 폴리머 흡착, 식각 관계를 알아보기 위해 각 가스에 대한 산화막 식각율, 마스크인 PR 식각율, 그리고 마스크위에 쌓이는 폴리머의 양을 각각 측정된 것으로 그림 4와 같다. 그림 4에서의 가스별 특징을 보면, C_4F_6 , C_4F_8 의 경우엔 주로 마스크위에서 폴리머로 쌓이는 양이 C_3F_8 과 CF_4 에 비해 많으나, 산화막 식각율은 떨어지는 상관관계를 볼 수 있다. 이것은 C_4F_6 , C_4F_8 가스가 나머지 C_3F_8 과 CF_4 가스에 비해 플라즈마 내에서

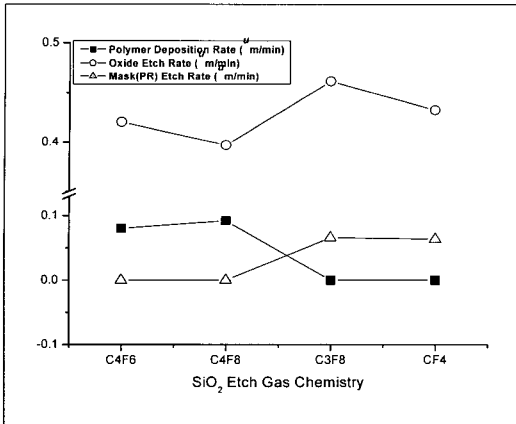


그림 4. 산화막 식각 가스와 막질별 식각율.

Fig. 4. Etch rate of SiO₂, PR and deposition rate of polymer vs. etch gas chemistries.

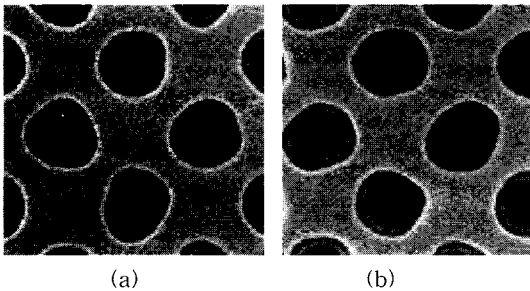


그림 5. 식각 가스별 바닥모양 변형 관찰, (a)C₄F₆/C₄F₈, (b)C₃F₈/CF₄의 경우.

Fig. 5. The pictures of bottom distortion (a)under C₄F₆/C₄F₈ gas chemistry etching (b)under C₃F₈/CF₄ gas chemistry etching.

폴리머로 용이하게 해리됨을 예측할 수 있다[2]. 이는 C₄F₆, C₄F₈ 가스 등이 플라즈마에서 CF₂ 라디칼로 쉽게 해리되어 마스크인 PR위나 콘택 입구 주변에 쉽게 붙게 된다[3]. 반면에, C₃F₈이나 CF₄의 경우에는 CF₂ 라디칼 생성이 잘 안되기 때문에 테포 보다는 마스크의 식각이 용이하다고 볼 수 있다. 이는 C/F ratio가 0.5보다 큰 경우의 fluorocarbon 가스들이 CF₂ 라디칼 생성에 유리하며, 0.5보다 작은 경우 CF₂ 생성이 낮아지게 되는 것으로 볼 수 있다[4]. 그림 5는 산화막 식각 가스들 중 C₄F₆와 C₃F₈에 대한 산화막 식각 후 바닥 모양 변형을 관찰한 것이다.

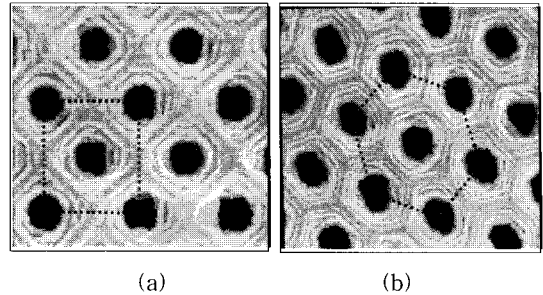


그림 6. 패턴 영향성 평가, (a) Tetragonal 형, (b) Hexagonal 형.

Fig. 6. The influence of the pattern shape, (a) tetragonal type, (b) hexagonal type.

그림 5(a)는 예상과 같이 바닥변형 모습을 뚜렷이 알 수 있었고, 그림 5(b)는 C₃F₈/CF₄의 경우로 바닥모양 변형은 양호해 지지만 적은 CF₂ 라디칼 생성으로 마스크에 대한 보호가 취약해져 콘택 입구가 벌어지기 때문에 C₃F₈/CF₄ 처럼 C/F ratio가 0.5 미만의 가스들만으로는 산화막 식각이 불가능하였다. 따라서, C₄F₆/C₄F₈ 가스의 1/3 정도 비율로 C₃F₈/CF₄를 첨가하여 기존의 C/F ratio 0.5 이상의 산화막 식각 가스보다 약간의 개선 정도만 확인할 수 있었다.

3.2 패턴의 영향성

가스만 가지고는 높은 A/R의 콘택 산화막 식각에서 바닥모양 변형을 개선이 어렵기 때문에 패턴의 영향성을 평가하였다. 본 실험에서는 하나의 콘택 패턴과 최단 거리에 있는 콘택 패턴의 개수를 각각 4개와 6개로 만들어 콘택간 발생하는 식각 반응물(byproduct) 혹은 폴리머들이 미치는 영향을 평가하였다. 식각조건은 C₄F₆/O₂/Ar의 동일한 조건으로 식각하여 상부 마스크인 PR과 산화막을 제거하지 않은 상태에서 SEM을 통해 위에서 차이를 관찰한 것이 그림 6이다. 육안으로도 임의의 한 콘택을 중심으로 최단 거리의 패턴이 4개인 tetragonal 타입보다는 그보다 많은 6개를 가진 hexagonal 타입의 콘택 입구 모습이 좀 더 균일하게 타원형을 유지함을 알 수 있다. 다시 말해, 바닥모양은 마스크의 모양을 따라 변형되기 때문에 hexagonal 타입의 바닥 모양 변형이 그나마 균일해 짐을 짐작할 수 있다. Tetragonal 타입의 패턴의 마스크 모양이 왜 사각으로 변하는지를 알아보기 위해 그림 6(a)의 상태에서 단면 SEM을 확인한 것이 그림 7이다.

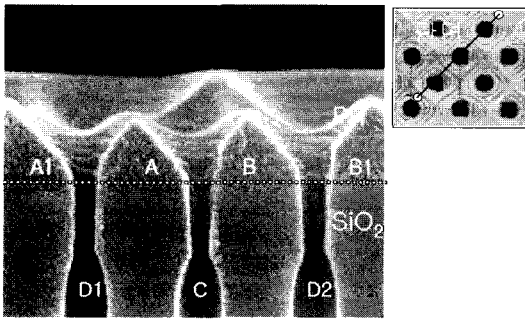


그림 7. Tetragonal 型 콘택패턴의 산화막 식각 후의 단면 SEM.

Fig. 7. The cross sectional images post tetragonal type pattern etching.

그림 7에서 보면 A, A1, B, B1이 완전 대칭이 아닌 비대칭임을 알 수 있고, 또한 C, D1, D2가 비대칭임을 볼 수 있는데, 이것은 다음에 다룰 비대칭 전하 축적과 관련이 있다. 다시 A, B의 비대칭 마스크 생성의 원인으로 돌아가서, 그림 3의 1번과 최단 거리인 2번 콘택은 서로 가까이 마스크 깎임 현상이 많아 폴리머가 덜 쌓이나, 1번과 두 번째로 가까운 3번 콘택의 마스크 깎임이 상대적으로 적어 서로의 반응 부산물들이 많기 쌓이기 때문에 비대칭이 심해져 tetragonal 타입의 패턴은 식각시간이 흐를수록 처음 원형이 아닌 사각모양을 갖게 된다. 반면에 hexagonal 타입의 패턴들은 최단 거리의 마스크 깎임이 비교적 균일하여 사각보다는 육각 모양의 패턴을 형성하게 되므로 원형에 가까워져 최단 거리의 패턴들이 많아질수록 마스크의 변형을 최소화할 수 있기 때문에 바닥모양 변형을 방지할 수 있었다.

3.3 비대칭 전하 축적에 대한 개선

일반적인 건식식각은 식각을 하기 위해 식각하려는 막질보다 식각량이 작은 PR과 같은 마스크를 사용하는데, 플라즈마 하에서 웨이퍼 주변에 형성되는 이온의 가속구간(sheath)에 질량이 가벼운 전자들이 돌아다니다가 마스크에 축적이 된다[5]. 마스크에 축적된 전자들은 sheath 구간 내에서 가속되어 입사하는 이온들의 방향을 변형시킨다. 더구나 tetragonal 타입의 패턴에서는 마스크 자체가 비대칭이므로 콘택 안으로 입사하는 이온들이 마스크 모양에 따라 유입량(flux)이 달라진다[6]. 그림 8은 이온 방향 변화에 영향을 주는 두 가지 원인을 그림으로 표현한 것이다.

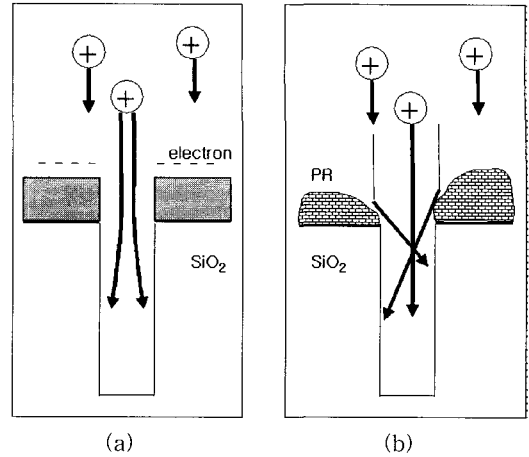


그림 8. 콘택내에 입사하는 이온의 운동방향 변경 모델, (a) 마스크에 전자 축적, (b) 비대칭 마스크에서의 이온 경로 변경.

Fig. 8. The model of ion trajectory changing, (a) accumulation of electrons on the mask, (b) asymmetric mask.

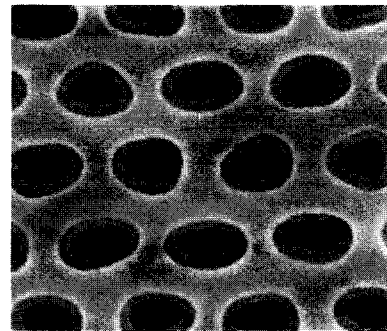


그림 9. Hexagonal 型에서의 바닥모양 변경 모습.

Fig. 9. Bottom distortion under the hexagonal type pattern.

콘택내로 입사하는 이온은 운동 에너지를 가지고 있다. 이러한 운동 에너지는 식각하려는 막질인 산화막(SiO₂)과 결합하려는 fluorocarbon에 충돌하여 화학 에너지로 변환되고, SiF₄, CO 등의 반응 부산물들이 빠져나오는 과정을 반복하게 한다[7]. 만약 그림 8의 이온의 운동방향 변경 모델에서 전자의 마스크 축적과 비대칭 마스크로 인한 이온의 스캐터링에 의해 콘택내 축적 좌, 우간 이온 flux 양은 더욱더 비대칭이 된다면, 콘택 바닥에서의 모

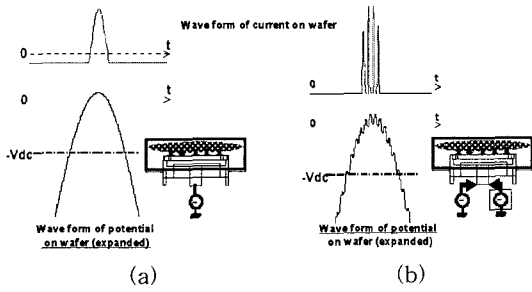


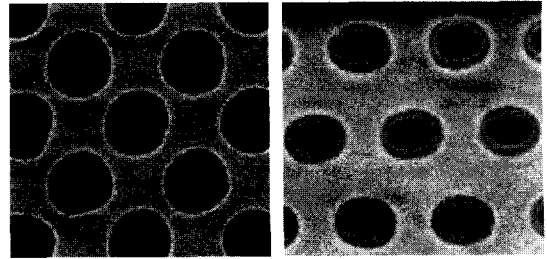
그림 10. 플라즈마 전력 인가 방식에 따른 웨이퍼 위에서의 전류 변화, (a)단일 주파수 인가방식, (b)LF와 HF를 동시에 인가하는 방식.

Fig. 10. The simulation of the current followed by plasma power method, (a)applied single frequency power, (b)applied dual(low & high) frequency power.

양 변형은 가속될 것이다. 그것을 뒷받침하는 것이 그림 9이다.

Hexagonal 타입에서는 마스크의 변형정도가 비교적 타원형이기 때문에 바닥 변형이 크게 개선될 것으로 생각되었으나, 실제 바닥변형을 관찰한 결과 tetragonal에 비해 상당히 타원형에 가까워지는 하였지만 여전히 모양들이 불균일하다. 이것은 마스크 모양이 완전히 대칭일 수 없고, 마스크에서의 전자들의 축적으로 인해 콘택 내부의 전하축적이 비대칭이 되어 콘택 내부에 전기장을 형성하여 후속 이온의 운동 방향에 영향을 주는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 가설을 입증하기 위해 플라즈마 생성 장치 중 그림 1(b)의 dual frequency feeding CCP(DFCCP)를 이용하였다. DFCCP는 LF에 플라즈마 해리를 시켜주는 HF 시그널이 올라가고 이론적으로 웨이퍼 위에서의 시간에 따른 전류 변화를 빠르게 함으로써, 전자들이 마스크에 축적되는 것을 줄여주는 역할을 한다는 것이다. 그림 10은 DFCCP의 시뮬레이션 결과이다[8,9].

그림 10(a)는 보편적인 CCP이고, 지금까지의 실험에서 사용한 그림 1(a)의 장치와 유사하여 마스크에서의 전자 축적이 용이한 반면 그림 10(b)는 앞선 설명에서와 같이 웨이퍼 표면, 즉 마스크 주변의 전자 축적이 불리하다. 또한, sheath에서 얻어지는 이온의 에너지가 플라즈마에 인가한 교류전원의 주파수에 반비례한다는 것을 이용하여 콘택에 입사하는 이온의 에너지를 크게 할 수 있다.



(a) (b)

그림 11. DFCCP에서의 C₄F₆/C₃F₈의 혼합 식각 가스로 산화막 콘택 식각 후 바닥모양 변형 개선결과, (a) Tetragonal 型, (b) Hexagonal 型.

Fig. 11. The results under C₄F₆/C₃F₈ mixing gas chemistry etching in the DFCCP, (a)tetragonal type, (b)hexagonal type.

아래 식은 이온의 에너지와 주어진 주파수의 관계를 간접적으로 증명한 것이다. 식 (1)의 'ω'는 플라즈마에 가한 전원의 주파수이고, 플라즈마 생성 챔버(chamber) 단면에서 전극 간 디멘존(dimension)을 z 방향으로 보고 플라즈마에 전달되는 에너지를 전기장에 의한 것으로만 간주한다면,

$$\vec{E} = E_0 \sin \omega z \quad (1)$$

$$\vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a} \rightarrow |a| = \frac{q}{m} E_0 \sin \omega t \quad (2)$$

$$v = \int a \cdot dt = \int \frac{q}{m} E_0 \sin \omega t \approx \frac{1}{\omega} \frac{q}{m} E_0 \cos \omega t \quad (3)$$

$$\begin{aligned} E_{Kinetic-Energy \text{ of ion}} &= \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{m \omega^2} E_0^2 \cos^2 \omega t \\ &= \frac{1}{2m} \frac{q^2}{\omega^2} E_0^2 (\cos \omega t)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$E_{KE \text{ of ion}} < \frac{1}{2m} \frac{q^2}{\omega^2} E_0^2 \propto \frac{1}{\omega^2} \quad (5)$$

결과식 (5)처럼 이온의 에너지는 플라즈마에 인가한 교류전원의 주파수에 의존함을 알 수 있다. 따라서 콘택 마스크에서의 비대칭 전하축적을 최소화하고, 콘택 내에 입사하는 이온의 에너지를 극대

화하여 tetragonal과 hexagonal 각각의 패턴에서의 바닥모양 변형을 최소화 시킨 것이 그림 11이다.

4. 결 론

산화막 콘택 식각 시 가스의 종류에 따른 플라즈마 내 해리 된 물질이 콘택의 상부와 내면에 증착이 되는데, 가스의 종류에 따라 포토 레지스트 주위에 폴리머의 테포 혹은 식각된다. 이는 C/F ratio와 이중결합 여부가 이를 좌우하게 된다. 이중결합이 있는 C₄F₆의 경우는 C/F ratio가 0.667로서, CF₂ radical 생성이 많아 포토 레지스트 주위에 폴리머로 테포되는 양이 많지만, C/F ratio가 0.5보다 작은 CF₄, C₃F₈의 경우 단일 결합으로 이루어져 있어 CF₂ 생성이 적어 포토 레지스트가 식각되는 가스이다. C/F ratio가 낮은 가스들은 폴리머의 테포되는 양이 이중결합의 가스들보다 상대적으로 적어 바닥모양 변형은 개선되지만, 높은 aspect ratio(A/R)에서는 에칭을 위한 마스크 선택비가 떨어지게 되어 무조건 라디칼이 적은 가스로만으로는 식각이 불가능하다. A/R가 높아짐에 따라 포토 레지스트의 식각은 최소화하면서 산화막을 식각해야 하므로 주로 C₄F₆나 C₄F₈의 사용을 하는데, 폴리머의 테포 정도는 최단거리의 콘택 개수가 적은 경우 불균일한 폴리머 증착이 되며, 플라즈마 sheath내 유입되는 이온의 불균일한 입사각이 랜덤해져 에칭된 산화막의 내면에 비대칭 전하축적(charge buildup)을 유발시키게 되므로 A/R가 높은 패턴의 식각 시 바닥변형을 일으키는 것으로 확인되었다.

바닥 변형을 개선하기 위해서는 입사하는 이온의 궤적변화를 최소화하면 되므로 콘택 입구에 적당한 폴리머 테포를 위해 에칭 가스 조건에 C₄F₆와 C₃F₈(혹은 CF₄)를 C₄F₆나 C₄F₈의 1/3 비율로 조합하고, 콘택들간 동일한 거리를 가지는 패턴들을 최대한 많도록 하며, 전자들의 마스크 표면의 전하 축적을 방해하면서 이온의 가속도를 증가시킬 수 있도록 높은 주파수와 낮은 주파수를 동시에 인가하는 플라즈마 하드웨어를 개선하는 방법으로 균일하고, 원형에 가까운 바닥 모양을 얻을 수 있었다.

감사의 글

실험 결과와 논문에 많은 도움을 주신 성균관대학교 전자전기공학과 대학원생과 삼성전자 반도체 연구소 선·후배님들께 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] Gray S. May, J. Huang, and Costas J. Spanos, "Statistical experimental design in plasma etch modeling", IEEE transactions on semiconductor manufacturing, Vol. 4, No. 2, p. 83, 1991.
- [2] M. Inayoshi, M. Ito, M. Hori, T. Goto, and M. Hiramatsu, "Surface reaction of CF₂ radicals for fluorocarbon film formation in SiO₂/Si selective etching process", J. Vacuum Science Technology A, Vacuum Surface Films, Vol. 16, p. 233, 1998.
- [3] Thomas S. Rupp, D. Dobuzinsky, Z. Lu, and J. Gambino, "High yielding self-aligned contact process for a 0.150 μm DRAM technology", IEEE transactions on semiconductor manufacturing, Vol. 15, No. 2, p. 223, 2002.
- [4] W. Graf, D. Basso, F. Gaurier, J. M. Martin, and G. Skinner, "Highly selective oxide to nitride etch processes on BPSG/Nitride/Oxide structures in a MERIE etcher", IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, p. 314, 1998.
- [5] C. Liu and B. Abraham-shrauner, "Plasma-etching profile model for SiO₂ contact holes", IEEE transactions on Plasma Science, Vol. 30, No. 4, p. 1579, 2002.
- [6] H. Ohtake, S. Samukawa, and K. Noguchi, "Pulse-time-modulated plasma etching for high performance polysilicon patterning on thin gate oxide", 4th International Symposium on Plasma Process-induced Damage, p. 37, 1999.
- [7] J. Bariya, C. W. Frank, and J. P. McVittie, "A surface kinetic model for plasma polymerization with application to plasma etching", J. Electrochemical Society, Vol. 137, p. 2575, 1990.
- [8] T. Tatsumi, Y. Hikosaka, S. morishita, and M. Seckine, "Etch rate control in a 27 MHz reactive ion etching system for ultralarge scale integrated circuit processing", J. Vacuum Science Technology, A. Vacuum Surface Films, Vol. 17, p. 1562, 1999.
- [9] Technical Conference SAMSUNG-TEL (Tokyo Electric Ltd.) "Mechanism of Dual Frequency CCP in VESTA", p. 5, 2003.