

실리콘 트렌치 식각 특성에 미치는 He-O₂, SiF₄ 첨가 가스의 영향

김상기 · 이주욱 · 김종대 · 구진근 · 남기수

한국전자통신연구원 반도체연구단
(1997년 7월 21일 접수)

Characteristics of silicon etching related to He-O₂, SiF₄ for trench formation

Sang-Gi Kim, Ju-Wook Lee, Jongdae Kim, Jin-Gun Koo and Kee-Soo Nam

Semiconductor Technology Division, ETRI, Yusong P.O.Box 106, Taejeon 305-600, Korea

(Received July 21, 1997)

요 약 - MERIE 플라즈마 장비를 사용하여 실리콘의 트렌치 식각을 HBr, He-O₂, SiF₄, CF₄ 등의 가스를 주입하여 수행하였으며 식각 속도, 식각 프로파일 변화, 잔류물 생성 및 표면 상태 등을 관찰하였다. HBr만을 이용한 플라즈마 식각시에는 트렌치 하부 영역에 상당한 횡방향 식각이 일어나 항아리 모양의 식각 프로파일이 관찰되었으며, HBr에 He-O₂ 가스와 SiF₄나 CF₄ 등의 주입량을 변화시켜 벽면 기울기와 횡방향 식각의 정도를 제어할 수 있었다. 표면 잔류물 특성 및 표면 거칠기(roughness) 등은 HBr/He-O₂/SiF₄ 가스를 동시에 주입하여 식각하였을 때 가장 양호한 식각 특성을 나타내었으며, 첨가 가스로 SiF₄를 이용함으로써 기존의 C-F계 플라즈마를 이용한 트렌치 식각 특성들보다 우수한 공정 결과를 얻었다. 또한 SiF₄를 이용함으로써 CF₄ 첨가시보나 C의 잔류물을 크게 줄이고 표면 손상을 개선할 수 있음을 X-선 광전자 분석과 주사전자현미경(scanning electron microscopy) 및 AFM(atomic force microscopy)의 결과로써 확인하였다.

Abstract - Silicon trench etching has been carried out using a magnetically enhanced reactive ion etching system in HBr plasma containing He-O₂, SiF₄ and CF₄. The changes of etch rate and etch profile, the degree of residue formation, and the change of surface chemical state were investigated as a function of additive gas flow rate. A severe lateral etching was observed when pure HBr plasma was used to etch the silicon, resulted in a pot shaped trench. When He-O₂, SiF₄ additives were added to HBr plasma, the lateral etching was almost eliminated and a better trench etch profile was obtained. The surface etched in HBr/He-O₂/SiF₄ plasma showed relatively low contamination and residue elements compared to the surface etched in HBr/He-O₂/CF₄ plasma. In addition, the etching characteristics including low residue formation and chemically clean etched surface were obtained by using HBr containing He-O₂ or SiF₄ additive gases instead of CF₄ gas, which were confirmed by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM).

1. 서 론

반도체 집적 소자 제조의 디자인 룰 감소에 따라 미세 패턴 형성을 위한 식각 방법으로는 플라즈마가 자체 내에 포획되는 성질을 이용하여 플라즈마 밀도를 증가시키고 높은 식각 속도와 이방성 식각을 얻을 수 있는 magnetically enhanced reactive ion etching(MERIE) 방법

이 널리 사용되고 있다. 또한 식각 장치 특성의 개선뿐만 아니라 이차적으로는 식각 가스의 변화로 반응성이 온 식각시의 표면 오염, 불순물 및 식각 종의 기관으로의 확산, 격자 결함 발생 등의 문제들을 해결하려 하고 있다. 특히 소자 분리 공정에서는 좁고 깊은 트렌치 형성의 필요성이 커짐에 따라 화학 반응에 의한 식각보다는 이온의 충돌 에너지를 이용하는 물리적인 식각이 필

요하다. 그러나 단일 식각 가스종만으로는 횡방향 식각이 없는 트렌치 벽면 모양을 얻기가 힘들어 첨가 가스를 이용하여 트렌치 벽면의 기울기를 제어하고, rounding oxidation 기술을 이용하여 트렌치 식각후 표면으로부터 성장시키는 산화막의 집적도를 높이고 산화막 성장시의 응력으로 인해 생기는 결함들을 억제하는 트렌치 형성 공정이 이용되고 있다.

최근 브롬화수소(hydrogen bromide; HBr)가 이러한 미소 제조 기술에 필요한 식각 요구 사항을 만족할 수 있는 식각 가스로서 주목받고 있다[1-7]. 기존의 탄소를 포함하는 할로겐족 플라즈마를 이용한 식각시에는 표면에 C-F계 잔류물들이 형성되어 소자 특성의 열화를 가져왔으며 식각 프로파일을 개선하기 위해 들어가는 O₂, H₂, Ar, He 등의 첨가 가스들은 식각 속도를 감소시키는 문제점이 있다[8-11]. 탄소를 포함하지 않고 할로겐 원소와 수소 원자로 이루어진 브롬화 수소는 실리콘 표면에 흡착된 후 자발적으로 개개 원자로 분해된다고 알려져 있다[12]. 따라서 HBr 플라즈마로부터 여러가지 수소 종들, 예를 들면 H, H₂, H⁺, H⁻, H₂⁺ 등이 실리콘 내로 침투하여 시편에 혼입될 것이다[13]. 결정질 실리콘 내에서 수소 분자들은 전기적으로 비활성화된 상태로 남아 있지만 이온 주입이나 위와 같이 반응성 이온 식각으로 인해 실리콘 내에 유도된 수소 원자나 활성화된 종들은 결함 중심(defect center)의 패시베이션(passivation) 역할을 하여 전기적 특성을 개선하는 역할을 한다[14-16]. 이온이나 중성 원자들의 충돌에 의해 표면에 유도되는 격자 결함은 band gap내에서 국부적으로 donor-like defect center를 형성하며 p형 실리콘에서는 쇼트키 장벽(Schottky barrier) 증가를, n형 실리콘에서는 감소를 일으킨다. 또한 산화막에 대한 선택비를 증가시키기 위해 수소 가스를 따로 첨가하지 않고도 HBr 플라즈마 자체에 포함되어 있는 수소로 인해 산화막에 대한 선택적 식각 특성이 아주 양호한 장점이 있다[17]. 일반적으로 할로겐 원소는 원자 번호가 커질수록, 즉 F, Cl, Br순으로 화학적인 반응성과 자발 반응성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 따라서 Cl이나 Br을 이용한 플라즈마 식각이 F를 이용한 식각보다 이방성 식각에 더 유리한 장점이 있어[18] 앞으로 실리콘이나 다결정질 실리콘 등의 식각에 다양하게 사용될 전망이다.

본 연구에서는 MERIE 장치에서 장차 C-F계 식각 가스를 대체하여 다양하게 사용될 것으로 생각되는 HBr 가스를 이용한 실리콘의 트렌치 식각 실험을 수행하였

으며, He-O₂, SiF₄, CF₄ 등의 첨가 가스를 넣어 식각 chemistry 변화에 따른 식각 속도 및 식각 프로파일 개선, 잔류물 감소 동향을 관찰하였다.

2. 실험방법

트렌치 식각을 위한 식각 방지막 제작을 위해 5인치 웨이퍼 위에 식각 방지막으로서 triethylorthosilicate (TEOS) 산화막을 5000 Å정도 증착시키고 이 층 위에 PR을 입힌 후 트렌치 식각의 opening으로 이용하기 위해 1 μm의 산화막 식각을 약 30%의 over etching 공정으로 수행하였다. 실리콘 식각을 통한 낮은 트렌치 형성을 위해 위와 같이 패터닝된 실리콘 웨이퍼를 Applied Materials사의 P-5000 Dry etcher에서 HBr, SiF₄, CF₄, He-O₂ 등의 가스를 유입하여 플라즈마 식각하였다.

식각 압력은 125 mTorr, 플라즈마의 RF power는 600 Watts, 자계는 30 Gauss로 고정하고 식각 가스의 유량비를 각각 변화시키면서 2~10분 정도 식각 공정을 시행한 후 플라즈마 식각된 시편을 주사전자현미경으로 관찰하였다. 식각 챔버의 전극 온도는 20°C로 유지하고 산화막에 대한 선택비는 20 이상을 목표로 실험하였다. 표면 형상의 관찰 및 표면 성분, 잔류물 분석을 위해서는 식각 방지막이 없는 실리콘 웨이퍼를 똑같은 조건으로 30초 동안 플라즈마 식각한 후 곧바로 X-선 광전자 분석을 수행하였으며 AFM을 이용하여 표면 형상을 관찰하였다.

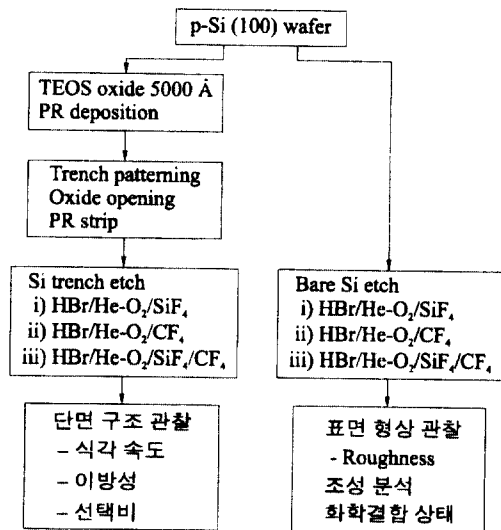


Fig. 1. Experimental procedure of trench etch and analysis.

이들 실험 과정을 간략히 나타내면 Fig. 1과 같다.

시료의 표면 성분 분석을 위한 X-선 광전자 분석 장비로는 V.G. Scientific 사의 ESCALAB 200-R System을 이용하였으며, X-선 광원으로는 250 Watts Mg K_{α} (1253.6 eV)를 이용하였다. 표면의 survey spectra는 100 eV의 pass energy를 사용하여 얻었으며 검출되는 원소에 대한 narrow scan시의 pass energy는 20 eV이었다. 깊이에 따른 표면 성분의 상대적인 분포를 알아보기 위해서는 X-선의 입사각을 0~90°까지 5° 간격으로 기울이는 angle resolved 분석을 수행하였으며, 표면층에 잔류하는 원소의 화학적 결합 상태를 자세히 알아보기 위해서 Gaussian과 Lorentzian 함수를 이용한 성분 분해(decomposition) 분석을 수행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 가스 첨가에 따른 트렌치 식각 특성 변화

MERIE장치에서 식각 가스의 압력 및 power를 고정하고 120초 동안 각각 HBr과 HBr/He-O₂를 이용하여 트렌치 식각한 단면 주사전자현미경 사진을 Fig. 2에 나타내었다. 식각 방지막으로는 TEOS 산화막을 사용하였으며 트렌치 열개(opening)의 폭은 1 μm 로 하였다.

식각후의 실리콘 트렌치 영역의 깊이는 HBr 플라즈마만을 사용하였을 때는 1.85 μm , He-O₂가 첨가되었을 때는 1.6 μm 정도였으며, 식각 속도로 환산하면 각각 0.93 $\mu\text{m}/\text{min}$, 0.80 $\mu\text{m}/\text{min}$ 으로써 He-O₂의 첨가에 의해 식각 속도가 약 15% 정도 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 O₂ 첨가로 인해 식각이 진행될 표면에서 얇은 산화막으로 이루어진 잔류막의 생성이 용이해져 이들이 식각 진행 방향으로의 이온 충돌을 방해하면서 식각 속도 저하를 가져오는 것으로 생각된다[19]. Fig. 2를 보면 100% HBr을 사용한 실리콘의 식각시에는 트렌치 벽면층으로의 횡방향 식각이 트렌치 하부 영역에서 심각한 것을 알 수 있다. 따라서 마스크로 정의했던 트렌치 폭과 이방성 식각으로 기대되었던 트렌치 모양에 비해 폭과 깊이가 상당히 큰 트렌치가 형성되었다. 이러한 트렌치를 소자 분리 공정에 응용했을 때에는 소자 구동 영역의 손실을 초래한다. HBr 플라즈마만을 사용한 식각시의 이러한 횡방향 식각은 트렌치 벽면상에 잔류 산화막의 존재로 인한 식각 방지 효과가 없는 영역에서 일어난 것으로 생각된다. 트렌치 하부 영역에서는 식각 가스로부터 O₂의 공급이 없는 한, TEOS 산화막의 erosion

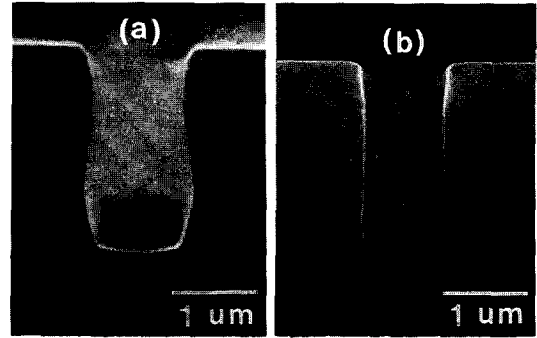


Fig. 2. SEM photographs of trench etch profile before oxide mask strip. (a) 100% HBr, (b) HBr/He-O₂.

에 의한 잔류 산화막의 형성이 없으므로 횡방향으로의 식각이 진행된다. 즉 마스크 산화막의 식각에 의한 산화막의 벽면층 증착이 트렌치 식각이 깊어질수록 어려워지며 따라서 트렌치 하부 영역에서는 벽면에서의 보호막 증착에 의한 횡방향 식각 방지가 어려워져 항아리 모양의 트렌치 식각 특성이 나타난다. 트렌치 벽면에서의 횡방향 식각이 최고로 나타난 지점은 트렌치 수직 방향으로 약 65% 깊이 지점이다. 횡방향 식각이 크고 횡방향 식각의 최대 지점이 트렌치의 더 깊은 영역에서 나타날수록 이후의 산화막과 다결정질 실리콘의 채움 과정에서 void 형성으로 인해 완전한 채움이 어려워진다. 횡방향 식각 특성을 개선하고 He 가스의 플라즈마 안정화 효과를 위해 HBr 식각 가스에 He-O₂를 첨가하였으며, 이 때에는 Fig. 2(b)에서 알 수 있듯이 O₂에 의한 트렌치 벽면층의 식각 제어 효과를 관찰하였다. 또한 He-O₂ 첨가에 의해 트렌치 벽면이 바닥면에 대해 수직 모양으로 변하는 것을 알 수 있다. 이는 첨가된 O₂에 의해 산화막으로 이루어진 얇은 보호막이 트렌치 하부 영역에서도 형성됨으로써 횡방향 식각이 방지된 결과이다. 그러나 트렌치 상부 영역에서는 산화막 erosion에 의한 벽면층의 잔류 산화막 형성이 커서 식각 도중에는 트렌치 열개의 폭이 약간 좁아진다.

He-O₂이외에 식각 속도와 트렌치 모양에 미치는 다른 첨가 가스의 영향을 관찰하기 위해 CF₄ 가스와 SiF₄ 가스를 HBr/He-O₂ 계에 첨가비를 변화시키면서 주입하여 식각하였다. Fig. 3은 He-O₂의 첨가량을 줄이는 대신 CF₄와 SiF₄ 가스를 첨가하였을 때의 식각 단면 사진이다. SiF₄/CF₄의 비를 3:1로 첨가하여 HBr/SiF₄/CF₄의 비가 6:3:1이 되었을 때의 트렌치 형성 구조가 SiF₄/CF₄의 비를 1:3으로 첨가하여 HBr/SiF₄/CF₄의 비가 6:1:3이 되

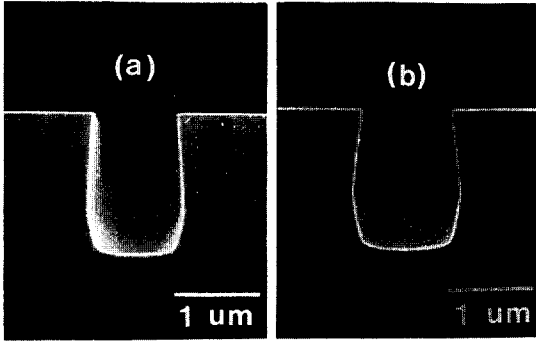
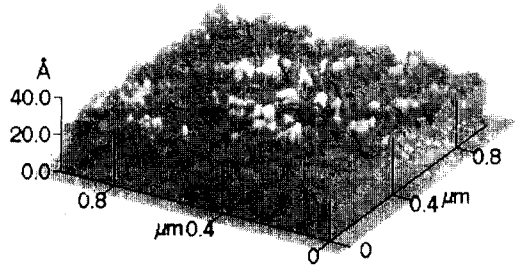


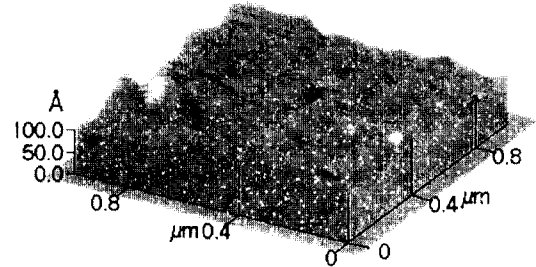
Fig. 3. Variation of trench etch profile due to the additional gas ratio. (a) HBr/SiF₄/CF₄ 6:3:1, (b) HBr/SiF₄/CF₄ 6:1:3.

었을 때보다 횡방향 식각이 적음을 알 수 있다. 즉 CF₄에 비해 SiF₄의 첨가량이 많을수록 He-O₂ 첨가시와 유사한 식각 특성이 나타나며, 이는 SiF₄가 F계 식각 가스를 이용한 실리콘의 식각에서 반응 생성물이라는 사실을 고려하면 트렌치 벽면층에서는 SiF₄의 유입에 따른 화학적인 식각 속도의 저하로 인해 횡방향 식각율이 떨어진 것으로 생각할 수 있다. 그러나 플라즈마 내에서 F의 분해율이 가장 큰 CF₄ 가스의 첨가에 의해서는[20] 화학적인 반응성이 반대로 증가하므로 트렌치 벽면에서 횡방향 식각은 오히려 증가할 것이며 Fig. 3(b)에서 이를 확인할 수 있다. 또한 CF₄ 첨가시에는 트렌치 벽면이나 바닥 영역에 플라즈마 내에서 분해된 C에 의해 C-F계 폴리머가 형성될 가능성이 있어 후속 공정에서 문제가 될 것이다. 대체로 SiF₄나 CF₄의 첨가로 인한 트렌치 벽면의 제어 효과는 He-O₂ 첨가시보다 떨어지는 것으로 관찰되었다.

Fig. 4는 HBr/He-O₂에 SiF₄와 CF₄의 첨가시 표면 상태의 변화를 AFM으로 관찰한 결과이다. (a)는 SiF₄의 첨가시 기판의 표면 사진이며 (b)는 CF₄의 첨가시의 표면 사진으로서 식각후 표면 거칠기는 CF₄의 첨가시에 더 크게 나타났다. Peak to valley 값은 SiF₄의 첨가시에는 약 20 Å, CF₄의 첨가시에는 약 60 Å 정도로 3배 이상의 차이가 났으며 root mean square(RMS) 표면 거칠기는 CF₄의 첨가시가 4~5배 정도 크게 관찰되었다. CF₄의 첨가시에는 표면에서 C-F계 폴리머의 형성 가능성이 높아 이들이 표면 거칠기를 크게 하는 것으로 생각되며 표면 형상도 C-F계 폴리머의 존재로 인해 (b)에서 볼 수 있듯이 부드러운 형상으로 나타난다고 생각된다. 또한 주요 식각 가스인 HBr 이외에도 CF₄로 인한 식각 반응



(a) HBr/He-O₂/SiF₄



(b) HBr/He-O₂/CF₄

Fig. 4. Roughness of as-etched silicon surface shown by AFM image. (a) HBr/ He-O₂/SiF₄, (b) HBr/He-O₂/CF₄.

도 일어남으로써 SiF₄의 첨가시보다는 화학적인 반응에 의한 식각 속도 증가가 커져서 Fig. 4(b)와 같은 표면 거칠기 특성이 나타난 것으로 생각된다.

3.2 식각후 실리콘 표면 성분 분석

HBr 플라즈마에 He-O₂/SiF₄, He-O₂/CF₄의 첨가 가스가 들어간 경우, 식각된 실리콘의 표면 성분에 대한 wide scan 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Si, O에 대한 피크들이 주로 관찰되었고 C, F, Br 피크는 약한 강도로 관찰되었다. 약한 강도로 검출된 Br 피크는 표면층에서만 한 원자층 정도로 존재하는 것을 50 Å/step의 깊이 분석을 수행한 결과에서 확인할 수 있었다. Br은 비교적 원자가 크고 Si와의 결합력이 F, Cl 등의 다른 할로젠 원소들에 비해 떨어진다. 따라서 식각 가스중에 들어있는 Br은 Si 격자들과의 충돌로 인해 기판으로 깊이 침투하지 못하고 수 원자층 정도의 Si 영역내에 존재할 것으로 생각된다. Br이나 F 피크 등은 X-선의 입사각을 기울임으로써 검출되는 성분중 표면 성분의 기여를 크게 하는 angle resolved 분석 결과에서 이들이 크게 나타나는 것으로부터 확인할 수 있다. 표면의 XPS wide scan시 관찰되는 Br 피크는 표면으로부터 한두 원자층

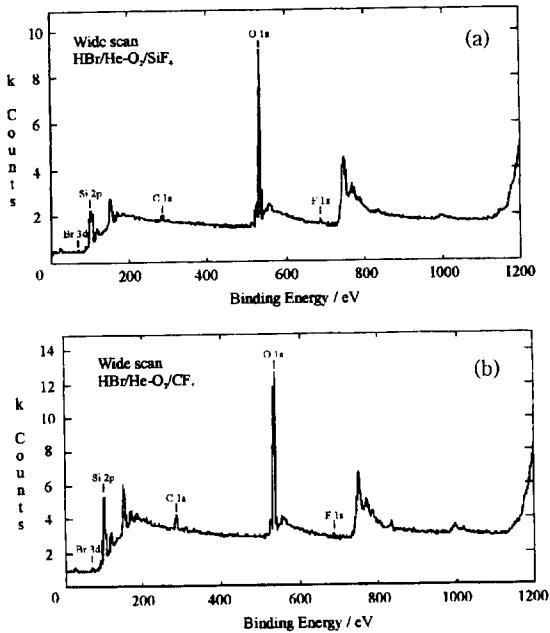


Fig. 5. XPS wide scan spectra for (a) HBr/He-O₂/SiF₄, (b) HBr/He-O₂/CF₄ etching.

내에 침투한 Br이나 식각후 표면에 잔류하는 etch product인 SiBr₃로 인해 기인한 것으로 생각된다. (a)는 첨가 가스로 He-O₂ 및 SiF₄가 들어간 경우로 약 290 eV의 결합 에너지 정도에서 C 피크가 아주 약하게 나타남을 알 수 있다. 대체로 HBr/He-O₂/SiF₄ 가스를 이용한 실리콘의 식각시에는 C, F, Br 등의 피크가 거의 관찰되지 않으므로 이들 원소들로 이루어진 잔류물의 형성 가능성이 적고 표면이 비교적 잔류 산화막을 제외하고는 깨끗할 것으로 생각된다. He-O₂ 및 SiF₄가 첨가되었을 때의 C 피크의 발생 원인으로는 챔버 벽의 이전 오염에 의한 것으로 생각되며 이는 공정 청결도를 높임으로써 해결할 수 있다. 반면에 He-O₂와 함께 CF₄ 가스가 첨가된 경우에는 챔버 오염 이외에도 CF₄에서 분해된 C로 인해 표면에서 C 피크가 크게 관찰되며 따라서 C-F, C-F-O계의 폴리머 형성 가능성이 클 것으로 생각된다.

다른 원소들보다 가벼운 수소 원자의 기관 아래로의 침투는 아래와 같이 유추할 수 있다. 한 예로 HBr 플라즈마에 의한 식각에서는 식각 가스에 포함된 H로 인해 수소화된 식각 중들이 표면이나 그 아래층으로 존재하는데 이들 중에 대한 X-선 광전자 분석 결과는 Si 피크의 이동과 피크의 비대칭성으로 나타난다고 보고되고 있다[17]. Fig. 6은 HBr/He-O₂/SiF₄ 가스를 이용하여 실

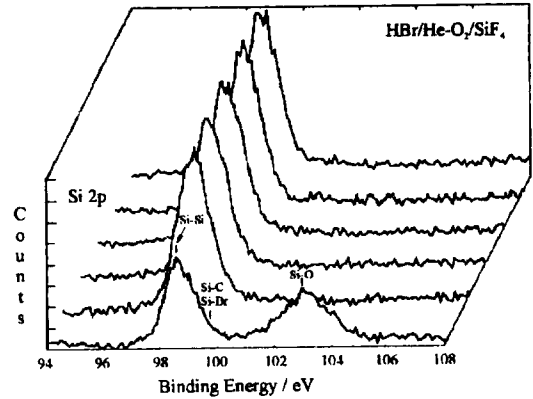


Fig. 6. XPS narrow scan spectra of Si 2p depth profiling.

리온을 식각하였을 때 Si 2p 피크에 대한 narrow scan의 깊이 방향으로의 피크 강도 변화를 나타낸 것이다. 한 step당 약 50 Å의 Si 기판을 스퍼터링하면서 250 Å까지 X-선 광전자 분석을 하였다. 그림에서 Si-O 결합은 표면에서만 관찰되는데 이는 산화막 마스크의 식각이 원인이 되어 세정후에도 표면에 남아 있는 잔류 산화막이나 X-선 광전자 분석을 위해 챔버로 이동하는 동안 형성되는 자연 산화막에 기인한 것으로 생각된다. 이들 산화막으로 인해 나타나는 Si-O 결합은 표면 아래 영역에서는 바로 사라지는 것을 확인할 수 있다. 98.5 eV 정도에서 관찰되는 Si-Si 결합 피크의 비대칭성은 일반적으로 F나 Br 등의 할로젠 원소가 식각 가스에 포함되어 있어서 이들이 Si와 결합할 때 나타나는 현상으로 알려져 있다[17]. Si-Si 결합의 모양을 관찰해 보면 표면에서는 깊이 방향에 비해 비대칭성이 큰 것을 알 수 있는데 이는 Si-Si 결합의 우측에서 Si-C나 Si-Br 결합에 의해 피크의 강도가 커진 결과로 생각된다. 이러한 Si-C나 Si-Br 결합은 피크의 비대칭성을 크게 할 뿐만 아니라, 피크의 최대 강도 위치에도 영향을 미쳐 최대 피크의 위치를 오른쪽으로 이동시키는 역할을 한다[17]. 깊이 방향으로 들어갈수록 이러한 Si-Si 피크의 비대칭성이 사라지므로 Si-C나 Si-Br 결합은 표면층에서만 아주 얇게 존재함을 확인할 수 있다.

각 원소 성분들의 표면으로부터 깊이 방향으로의 분포를 자세히 알아보기 위하여 angle resolved XPS 기술을 이용하여 이륙각(take-off angle)에 따른 원자 % 변화를 관찰한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이륙각이 커짐에 따라 표면으로부터 더 깊은 영역에서 나온 X-선 광

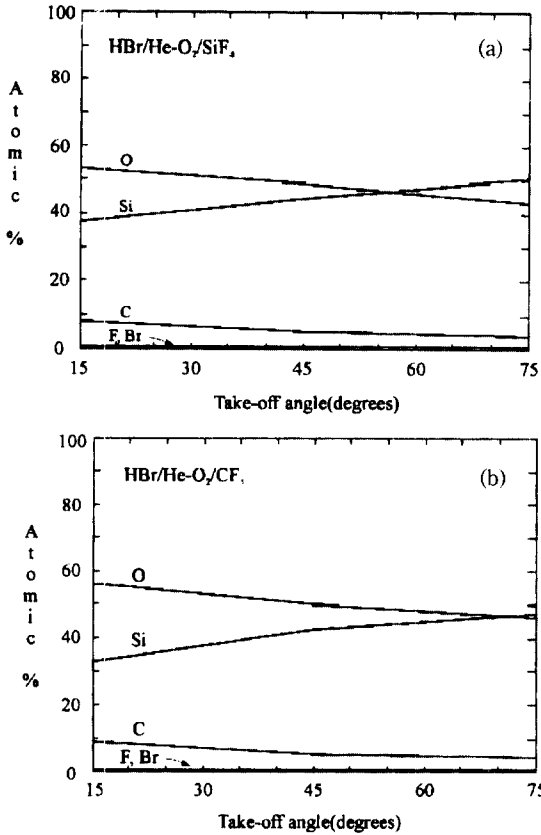


Fig. 7. Atomic % change of elements by angle resolved XPS. (a) HBr/He-O₂/SiF₄, (b) HBr/He-O₂/CF₄.

전자들이 많이 검출되므로 표면 아래 영역의 원소 성분이 나타나게 될 것이다. 표면에서 잔류 산화막으로 인해 O 성분이 두 경우 모두 가장 많이 검출되지만 표면 아래로 들어갈수록 이 성분은 줄어들고 Si 성분이 bulk 성분의 영향으로 커진다. C 원소 성분도 표면에서 아래로 내려갈수록 완만히 감소하며 표면층에서도 큰 차이는 없는 것을 알 수 있다. F나 Br은 표면에서도 거의 검출되지 않으며 따라서 이들은 표면에 거의 남아 있지 않은 것으로 생각된다. 실리콘의 식각시에는 C-F 계의 잔류막 형성보다는 표면에 잔류하는 산화막이나 자연 산화막이 표면을 덮고 있는 것으로 생각된다. 또한 HBr/He-O₂에 CF₄가 첨가된 경우보다 SiF₄가 첨가된 경우에 Si의 bulk 특성으로의 회복이 더 빠른 것을 알 수 있다.

각 원소 성분에 대한 결합 상태 및 피크 이동 등을 자세히 알아보기 위해 X-선의 입사각을 15°로 하여 특정 결합 에너지 영역을 narrow scan한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 식각 방지막으로서 산화막을 사용하였으므로

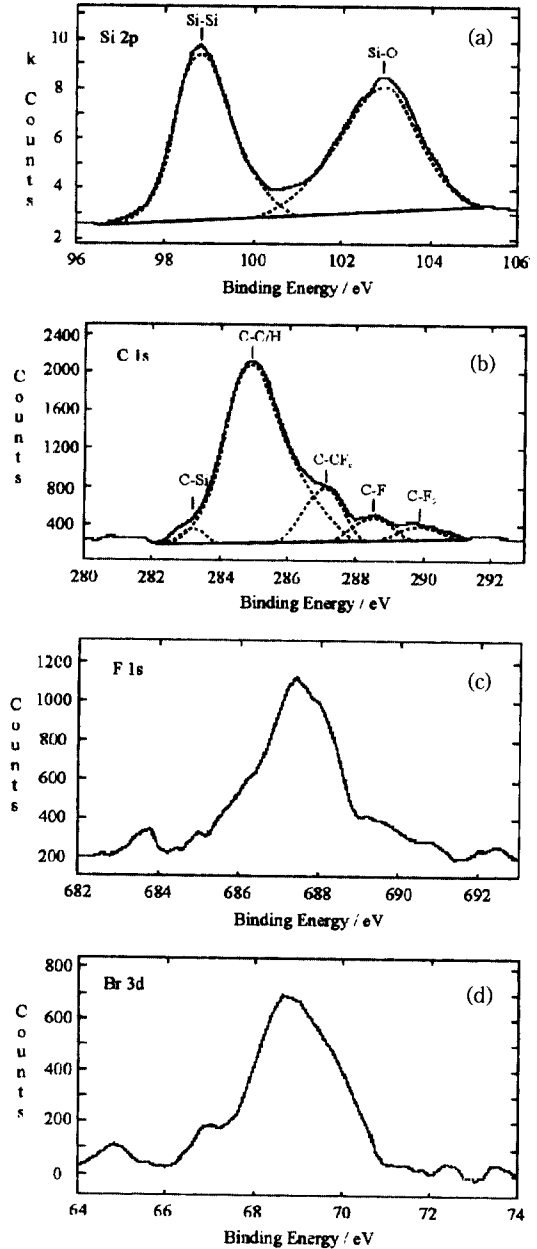


Fig. 8. XPS narrow scan spectra of elements detected on a magnetically enhanced reactive ion etched Si surface using HBr/He-O₂/SiF₄ gas (take off angle=15°) (a) Si 2p, (b) C 1s, (c) F 1s, (d) Br 3d.

식각후 in-situ XPS 결과에서는 Si 피크에 대해서 Si-Si, Si-O 결합 성분이 나타나며 이중 Si-O 결합 피크의 상대적인 강도는 표면에서 가장 강하게 나타난다. 즉 산화막 마스크의 미소량 식각과 식각후 산화막 형성 등이 원인

이 되어 실리콘의 표면 영역에는 Si-O 결합으로 이루어진 층이 존재한다. 이는 Fig. 7의 angle resolved XPS 분석에서 이륙각에 따라 Si-O 피크의 상대 강도 및 면적 %가 줄어드는 결과로도 확인할 수 있다.

Br 및 F와 같은 할로겐 원소와 C와의 결합에 의한 표면 잔류막의 성분 분석은 (b), (c)의 C 및 F의 narrow scan 결과에서 확인할 수 있다. C에 대한 narrow scan 결과에서는 C 피크에 기여하는 결합들로 C-C/H 성분이 가장 크게 나타나며 C-CF_x, C-F, C-F₂, C-Si 결합들이 작게 존재함을 알 수 있다[21]. 지금까지 식각 가스로 흔히 사용된 CF₄를 이용한 식각시 C-CF_x 결합이 가장 크게 나타난다고 보고되었는데 HBr을 이용한 식각시에는 식각 가스에 포함된 수소로 인해 C-C/H 결합이 크게 나타난 것으로 생각된다. (c)는 F 1s 피크에 대한 narrow scan의 분석 결과로써, 687.5 eV의 결합에너지에서 피크가 관찰되었으며 F-Si와 F-C 결합 등이 F 1s 피크에 기여한 것으로 생각된다. (c), (d)의 F, Br 피크는 angle resolved 분석 수행시에 검출되는 것으로 보아 이들 결합은 거의 표면에만 존재한다고 생각된다.

4. 결 론

소자 분리나 커패시터 응용을 위한 실리콘의 트렌치 식각을 MERIE 장치에서 HBr 가스를 기본 식각 가스로 이용하여 실험하였다. 기존의 F계 식각 가스나 Cl계 식각 가스에 비해 HBr을 이용한 실리콘의 트렌치 식각시 이방성 식각율이 크게 증가함을 확인하였다. 또한 F나 Cl에 비해 화학적 반응성이 떨어지는 Br계의 식각 가스를 사용함으로써 등방성 식각에 대한 효율적인 제어가 가능하였다. 먼저 트렌치 벽면으로의 횡방향 식각은 He-O₂를 첨가하여 벽면층에 얇은 산화막을 형성시키고 이 산화막으로 인해 횡방향으로의 화학 반응을 억제함으로써 방지할 수 있었다. 또한 F계 식각 가스를 이용한 실리콘의 트렌치 식각시의 반응 생성물인 휘발성의 SiF₄를 기본 식각 가스와 함께 첨가함으로써 벽면층에서 식각 보호막의 형성이 필요없이 횡방향 식각율을 줄일 수 있었다. 이는 실리콘의 식각 반응에서 식각 생성물인 SiF₄ 첨가에 의해 역반응 속도가 증가하여 실리콘 표면에서의 화학 반응성이 감소하기 때문이다. 그러나 SiF₄의 첨가량이 너무 늘어나면 식각 속도가 떨어지는 문제점이 있어 식각 속도를 크게 떨어뜨리지 않고 이방성의 식각 프로파일을 얻기 위해서는 SiF₄ 가스의 첨가량을

적정 수준에서 조절해야 한다. 표면 잔류물 특성 및 거칠기(roughness) 등은 HBr/He-O₂/SiF₄ 가스를 동시에 주입하여 식각하였을 때 가장 양호한 식각 특성을 나타내었으며, SiF₄를 이용함으로써 기존의 C-F계 플라즈마를 이용한 트렌치 식각 특성들보다 우수한 공정 결과를 얻었다. 또한 SiF₄를 이용함으로써 CF₄ 첨가시보다 C의 잔류물을 크게 줄이고 표면 손상을 개선할 수 있음을 X선 광전자 분석과 SEM의 결과로써 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 출연금으로 수행한 정보통신 연구개발사업 연구결과의 일부입니다.

참고문헌

1. J. H. Lee, G. Y. Yeom, J. W. Lee and J. Y. Lee, J. Vac. Sci. Technol. A **15**(3), 513 (1997).
2. F. H. Bell and O. Joubert, J. Vac. Sci. Technol. B **15**(1), 88 (1997).
3. C. C. Cheng, K. V. Guinn, I. P. Herman and V. M. Donnelly, J. Vac. Sci. Technol. A **13**(4), 1970 (1995).
4. G. D. Tipton, M. G. Blain, P. L. Westerfield, L. S. Trutna and K. L. Maxwell, J. Vac. Sci. Technol. B **12**(1), 416 (1994).
5. M. Haverlag, G. S. Oehrlein and D. Vender, J. Vac. Sci. Technol. B **12**(1), 96 (1994).
6. M. Nakamura, K. Iizuka and H. Yano, Jpn. J. Appl. Phys., **28**, 2142 (1989).
7. L. Y. Tsou, J. Electrochem. Soc., **136**, 3003 (1989).
8. J. P. Simco and G. S. Oehrlein, J. Electrochem. Soc. **138**, 2748 (1991).
9. M. Konuma, F. Banhart, F. Philipp and E. Bauser, Mater. Sci. Eng., **B4**, 265 (1989).
10. N. J. Ianno, K. E. Greenberg and J. T. Verdeyen, J. Electrochem. Soc., **128**, 2174 (1981).
11. J. W. Coburn and H. F. Winters, J. Appl. Phys., **50**, 3189 (1979).
12. M. Miyamura, Y. Sakisaka and M. Nishijima, Surf. Sci., **72**, 243 (1978).
13. O. S. Nakagawa, S. Ashok and J. K. Kruger, J. Appl. Phys., **69**(4), 2057 (1991).
14. J. S. Wang, S. J. Fonash and S. Ashok, IEEE Electron Dev. Lett. **EDL-4**, 432 (1983).
15. S. Ashok and K. Giewont, Jpn. J. Appl. Phys., **24**, L 533 (1985).
16. H. C. Chien, S. Ashok and M. C. Chen, Jpn. J.

- Appl. Phys., **27**, L1317 (1988).
17. T. D. Bestwick and G. S. Oehrein. *J. Vac. Sci. Technol.*, **A8**, 1695 (1990).
18. D. L. Flamm and V. M. Donnelly, *Plasma Chem. Plasma Proc.*, **1**, 317 (1981).
19. Z. H. Walker and E. A. Ogryzlo, *J. App. Phys.*, **69**(4), 2635 (1991).
20. J. W. Coburn, "plasma Etching and Reactive Ion Etching", AVS Monograph series, 52 (1982).
21. C. Cardinaud, A. Rhounna, G. Turban and B. Grolleau, *J. Electrochem. Soc.* **135**, 1472 (1988).