

반도체 습식 HF 최종 공정 중 실리콘 표면의 소수성이 Water Mark 형성에 미치는 영향

한정훈 · 김승환 · 박진구 · 박종진

한양대학교 금속재료공학과

The Effect of the Hydrophobicity of Silicon Surface on the Formation of the Water Marks during HF-last Wet Chemical Processing

Jeung-Hoon Han, Seung-Hwan Kim, Jin-Goo Park and Jong-Jin Park

Department of Metallurgy and Materials Engineering, Hanyang University, Ansan 425-791

(1997년 6월 9일 받음, 1997년 8월 6일 최종수정본 받음)

초 록 본 연구에서는 반도체 소자의 수율을 현저히 저하시키는 반도체 습식 세정 시 건조 후 웨이퍼 표면에 형성된 water mark의 생성 원인을 고찰하였다. 이를 위해 초순수의 물방울을 다른 접촉각의 시편 위에 고의로 잔류시킨 후 질소 및 산소 분위기에서 건조시켰다. 건조 분위기와 상관 없이 HF 처리된 소수성의 시편 뿐 아니라 친수성의 시편에서도 water mark가 관찰되었다. 생성된 water mark의 크기는 분위기에 무관하게 접촉각이 증가함에 따라 감소하였다. 그러나 산소 분위기에서 HF 처리된 시편은 건조 후 질소 분위기에서 생성된 water mark의 크기보다 2배 이상 크게 형성되었다. 이들 산소 및 질소 분위기에서 HF 처리된 실리콘 시편 위에 생성된 water mark의 성분을 AES(Auger Electron Spectroscopy)로 분석한 결과 water mark는 실리콘과 산소의 화합물 형태로 존재함을 확인하였다. AAS(Atomic Absorption Spectroscopy) 분석 결과 건조 분위기에 상관 없이 HF 처리된 실리콘 시편 위에 물방울을 30분 잔류시 물방울 내의 실리콘 농도가 증가하였다. 또한 물방울내 ozone을 첨가하여 실리콘 표면을 산화 시켰을 때 물방울과 표면의 접촉각 감소와 water mark의 크기의 증가를 초래하였다.

Abstract The purpose of this research was to investigate the causes of the creation of water marks during the semiconductor wet cleaning. DI water droplets were intentionally placed on the surface of various wettabilities and then left to dry in both O₂ and N₂ atmospheres. The water mark was created on surface regardless of the wettability of surfaces and drying atmospheres. The size of water marks was dependent on the wettability of substrates. The higher the contact angles, the smaller the water marks formed on surface. It was found that the largest water mark was created on HF-last-cleaned silicon surfaces in O₂ atmosphere. Auger analysis on them showed the existence of oxygen and silicon which might indicate that water marks were the form of oxides. Atomic absorption spectroscopy (AAS-GF) analysis showed that the concentration of silicon in DI water increased when water droplets were left on HF-treated silicon surface in both N₂ and O₂ atmospheres. The dissolution of silicon in D.I. water might be one of the causes on the creation of water marks. The addition of ozone in water droplets caused the oxidation of HF etched surfaces and increased the size of the water marks.

1. 서 론

반도체 소자를 만드는 실제 공정은 소자의 고집적화 추세에 따라 더욱 더 복잡해지고 있고 소자의 수율에 영향을 주는 요소들은 상대적으로 증가되고 있다. 공정상의 많은 난점들 중에 직접적으로 수율에 영향을 미치는 웨이퍼 위의 미세 오염은 그 농도나 크기가 측정 한계 이하의 제어를 요구하기 때문에 그 중요성이 점점 더 부각되고 있다^{1, 2)}. 반도체 제조 공정 상의 파티클과 같은 미세 오염원들은 현재 주로 습식 공정을 통해 제거되고 있다. 실리콘 표면의 소수성과 친수성은 습식 세정에서 미세 오염의 원인을 이해하는데 가장 중요한 요소 중에 하나이다. 산화막으로 입혀진 표면이나 RCA 세정이 된 웨이퍼는 친수성이고 HF로 산화막을 제거한 실리콘 표면은 Hydrogen-termination에 의해

passivation된 소수성 표면이다³⁾. HF를 최종 세정 공정으로 하는 세정 방법은 산화막 형성 후 산화막의 신뢰도(Gate Oxide Integrity) 및 MCLT(Minority Carrier Life Time) 측정과 같은 방법에 의해 가장 효과적인 세정으로 알려져 있다⁴⁾. 자연 산화막 제거가 필수적인 metal이나 silicide contact 전 세정에서 HF 최종 세정은 필수적이며, 또한 이 공정이 갖고 있는 세정도와 단순성 측면에서 가장 바람직한 공정중의 하나로 여기어지고 있다. 그러나 HF 최종공정은 웨이퍼 위의 산화막을 에칭하므로 소수성과 높은 반응성을 지닌 표면이 되고 이들 표면은 특히 친수성의 표면에 비해 오염원과 쉽게 반응하여 건조 공정 조건에 매우 민감한 것으로 알려져 있다^{5, 6)}.

세정 후 웨이퍼 표면의 건조는 건조중 습식 세정에서 오염원의 제거 만큼이나 세정의 최종목표를 달성케 하는 매우

중요한 공정으로 만약 이 공정 중 오염물이 생성된다면 세정의 효율은 크게 저하될 것이다. HF 최종 세정공정에 의해 형성된 웨이퍼 표면 위에 잔류물과 같은 water mark가 쉽게 생성될 수 있다. 다양한 크기의 water mark는 건조 조건에 따라 주로 pattern이 있는 wafer의 field oxide와 같은 친수성 표면 근처의 소수성 표면에서 생성되고 있는데 이들은 pattern이 없는 소수성 및 친수성 시편에서는 발견되지 않고 있다⁷⁾. Water mark형성은 건조 분위기와 건조 방법에 따라 영향을 받으며 특히 원심력을 이용한 건조 방식보다는 IPA 증기 등을 이용한 건조 방식에서 더 용이하게 제어될 수 있다. 세정후 이들 결합의 웨이퍼상의 존재는 이온 주입, 화학 증착, 산화막 형성 또는 플라즈마 etch와 같은 세정 후 공정의 균일성을 저해하여 소자의 전기적 특성은 물론 수율에 크게 영향을 미칠 수도 있다. Water mark는 최종 수세(D.I. water rinse)후 건조기로 옮기는 중에 생성될 수 있고 건조 중에 생성될 수 있다. 이들이 습식세정후 생성되는 원인은 아직 확실치 않으나 Watanabe⁸⁾ 등은 water mark는 공기 중의 산소가 실리콘 표면의 물방울에 용해되어 실리콘 표면을 H_2SiO_3 형태로 산화시킨 후 이들이 물과 함께 $HSiO_3^-$ 의 형태로 남아있다가, 물방울 건조 후 잔류하여 water mark이 형성되는 것이라고 보고하였다.

본 연구의 목적은 습식 세정 시 건조 후 시편 표면에 형성된 water mark의 생성 원인을 규명하고자 하였으며 특히 HF 최종 세정 후 형성되는 소수성의 실리콘 표면이 water mark 생성에 어떠한 영향을 미치는지를 고찰하여 그 생성 mechanism을 알아내려 하였다.

2. 실험 재료 및 방법

소수성과 친수성의 표면을 준비하기 위하여 4 inch와 6 inch의 p형 (100)의 bare 실리콘 웨이퍼와 산화막을 6000 Å 성장시킨 웨이퍼를 사용하였다. 실리콘과 다른 소수성의 시편을 얻기 위해 Teflon과 유기 박막이 증착된 시편을 사용하였다. 유기 박막 증착을 위해서 Perfluoro decanoic Acid를 이용하였다. 시편의 세정에 사용된 모든 화학액은 반도체 제조용으로서 98%의 H_2SO_4 , 49%의 HF와 32%의 H_2O_2 등이 사용되었다. 실험에 사용된 물은 MILLIPORE사의 Milli-Q Plus system에 의해 제조된 resistivity가 $18.2M\Omega \cdot cm$ 인 초순수를 사용하였다. 한편, 각 시편의 건조 과정에서 건조 분위기로 사용된 gas는 건조 공정 중 water mark의 생성에 다른 불순물의 영향을 최소화하기 위하여 순도가 각각 99.995%, 99.999%인 고순도의 산소와 질소 gas를 사용하였다. 초순수 내의 불순물이 water mark 크기에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 Duke Scientific Co.에서 구입한 지름이 $0.026\mu m$ 와 $0.104\mu m$ 의 구형 Polystyrene Latex (PSL) particle를 사용하였다.

소수성의 표면은 Teflon과 bare silicon을 piranha ($H_2SO_4 : H_2O_2 = 4 : 1$)로 10분간 세정 후 0.5 vol. % HF로 3분간 세정, 준비하였다. 친수성 표면은 두 가지 방법으로

준비되었는데 bare silicon을 piranha만으로 10분간 세정하여 화학적 산화막에 의한 표면과 6000 Å의 산화막이 성장된 실리콘 시편을 piranha 용액으로 10분 세정 후 30초간 0.5 vol. % HF 세정액으로 etching하여 준비하였다. 한편, HF 처리된 실리콘 시편과 같은 접촉각의 유기 박막을 산화막이 성장된 실리콘 위에 thermal evaporation에 의해 증착하였다. 시편의 접촉각은 KRUSS사의 정적 접촉각 측정기(Static Contact Angle Analyzer, G10)로 측정하였다.

Water Mark형성 실험을 위해 각 시편 위에 $10\mu l$ 의 초순수를 고의로 잔류시킨 후 30°C에서 이들을 진공 건조 oven내에서 분위기를 질소 및 산소로 바꾸어 주면서 건조시켰다. 물방울이 완전히 건조된 후 각 표면 위에 형성된 water mark의 크기 측정 및 모양 관찰은 광학 현미경을 사용하여 분석하였다. 질소 분위기 및 산소 분위기에서 생성된 water mark의 화학적 분석은 PERKIN-ELMER사의 Auger Electron Spectroscopy (AES, $\phi - 670$)를 사용하였다. 사용된 초순수 및 시편 표면 위에 잔류되어 있는 물 내의 실리콘 양을 PERKIN-ELMER사의 Atomic Absorption Spectroscopy (AAS-GF 5100ZL)를 사용하여 측정하였다. 초순수내의 오존 주입을 위해 독일 Fischer사의 오존 발생기와 농도 측정기를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

표면 접촉성이 다른 시편들을 준비 후 이들의 접촉각을 정적 접촉각 측정기를 이용하여 측정하였다. Table 1에 보인 바와 같이 Teflon, 유기 박막이 입혀진 SiO_2 및 HF 처리된 실리콘 시편은 소수성을 나타내었고 산화막이 6000 Å 성장된 실리콘과 Piranha만으로 세정된 실리콘 시편은 친수성을 나타내었다.

접촉각이 각각 다른 시편들 위에 $10\mu l$ 의 초순수를 고의로 잔류시킨 후 이들 sample을 산소와 질소 분위기로 조절된 진공 oven 내에 넣어 물방울의 모양 변화 및 건조 시간을 관찰하였다. 이때 접촉각이 각각 다른 시편 위에 잔류된 초기 물방울의 크기 및 이들 물방울이 완전히 건조되는 데 걸리는 시간을 Fig. 1에 나타내었다. 접촉각이 증가함에 따라 각 시편 위에 형성된 초기 물방울의 크기는 감소하였고 이들 물방울이 질소 및 산소 분위기에서 완전히 건조되는데 걸리는 시간은 접촉각이 증가할수록 증가하였고 건조 분위기가 산소일 경우 질소 분위기에 비해 물방울이 완전히 건조하는데 더 긴 시간이 걸렸다.

Table 1. The static contact angles of samples used in experiment.

Sample Name	Static Contact Angle
Teflon	115°
Organic Film	70°
Si(HF treated)	66°
Si treated in Piranha only	36°
SiO_2	10°

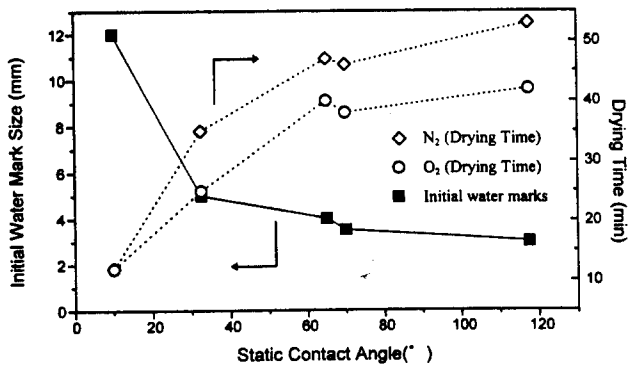


Fig. 1. The change of initial water droplets size and drying time as a function of wettability of substrates.

질소 및 산소 분위기에서 물방울을 완전히 건조시킨 후 광학 현미경을 이용하여 각 표면 위를 관찰한 결과 친수성의 표면에서는 water mark이 형성되지 않았다는 Watanabe⁸⁾의 결과와는 상반되게 소수성의 시편 뿐만 아니라 친수성의 시편에서도 water mark이 관찰되었다. 여러 접촉각의 시편들 위에 형성된 water mark의 광학 현미경 사진을 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 2는 친수성의 시편인 산화막이 성장된 시편과 bare 실리콘을 piranha만으로 세정한 시편 위에 형성된 water mark로 산화막이 성장된 시편의 경우 산소 및 질소 분위기에서 건조되었을 때 형성된 water mark의 크기의 차이가 없었으며 형성된 모양도 모두 원형으로서 차이가 없었다. Fig. 3은 소수성의 시편 위에 형성된 water mark로 Teflon과 유기 박막이 입혀진 시편의 경우 질소 및 산소 분위기에서 형성된 water mark의 크기와 모양의 변화가 없었다. 반면 HF 처리된 실리콘 시편의 경우 산소 분위기에서 생성된 water mark의 크기는 질소 분위기에서 생성된 water mark 크기와 비교할 때 급

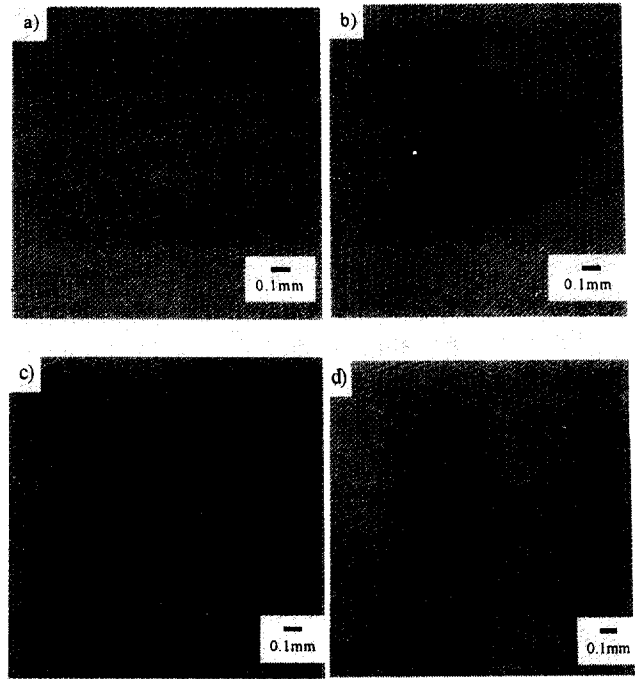


Fig. 2. The optical micrographs of water marks, which were formed on hydrophilic surfaces ; a) SiO₂ dried in N₂, b) SiO₂ dried in O₂, c) piranha treated silicon dried in N₂, and d) piranha treated silicon dried in O₂.

격히 증가함을 관찰할 수 있었다. 따라서 HF 처리된 실리콘 시편과 건조 분위기가 water mark의 생성 및 크기에 매우 중요한 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 위에서 설명된 물방울을 N₂와 O₂에서 건조시킨 후 형성된 water mark의 크기 변화를 시편의 접촉각의 함수로 보여주고 있다. HF 처리된 실리콘 시편을 제외한 다른 모든 시편의 경우 건조 분위기와 상관 없이 표면의 초기

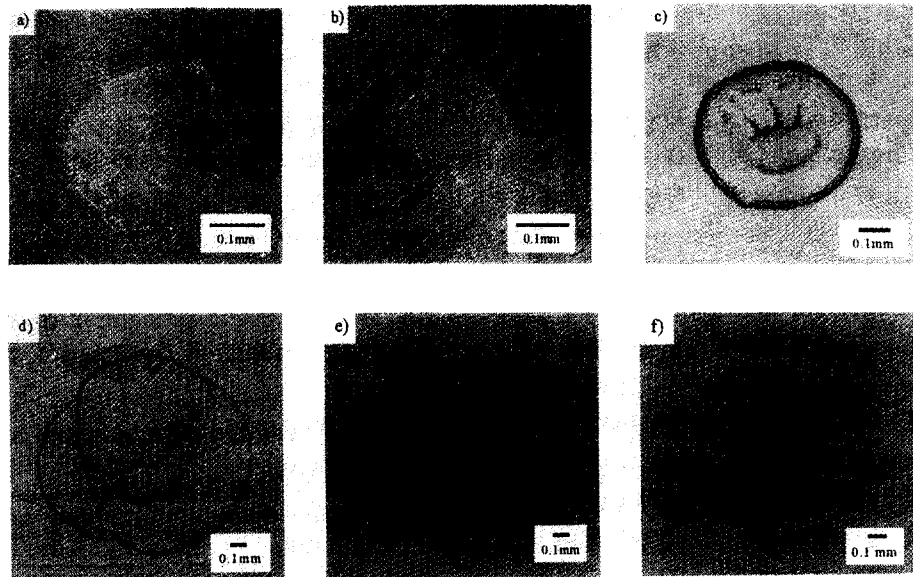


Fig. 3. The optical micrographs of water marks, which were formed on hydrophobic surfaces ; a) Teflon surface dried in N₂, b) Teflon surface dried in O₂, c) HF treated silicon dried in N₂, d) HF treated silicon dried in O₂, e) organic film deposited surface dried in N₂ and f) organic film deposited surface dried in O₂

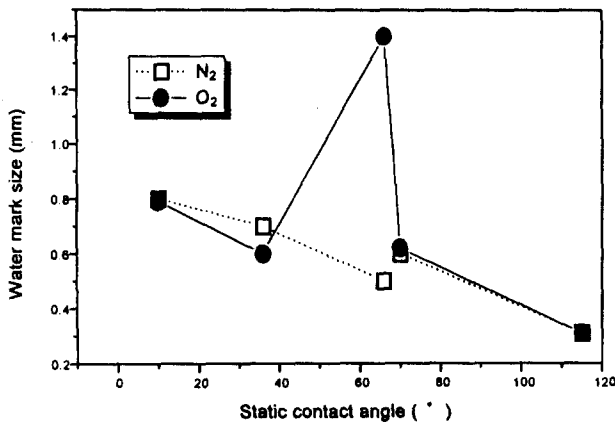


Fig. 4. The size of water marks formed on substrates with various wettabilities at 30°C and in N₂ and O₂ atmospheres.

접촉각이 증가함에 따라 형성된 water mark의 크기가 비례적으로 감소함을 측정하였다. 그러나 HF 처리된 실리콘 시편이 산소 분위기에서 건조될 경우 이러한 경향에서 벗어나 크기가 큰 water mark가 형성되었다. 접촉각이 HF 처리된 실리콘과 거의 유사한 유기 박막은 건조 분위기에 상관없이 최종 건조된 water mark의 크기는 동일하게 관측되었다. 또한 소수성의 실리콘 표면이 질소 분위기에서 건조되었을 때에도 생성된 water mark의 크기에는 변화가 없었다. 이는 HF 처리된 소수성의 표면이 질소 분위기보다는 산소 분위기에서 보다 쉽게 산화와 같은 반응을 일으켜 접촉각이 감소되고 이러한 표면의 친수성화에 기인하여 크기가 큰 water mark가 생성되는 것으로 사료될 수 있다.

HF 처리된 소수성의 실리콘 표면 위에서 water mark의 생성 원인을 알아내기 위하여 AES를 이용, 이들의 화학적 분석을 행하였다. Fig. 5는 분위기에 상관없이 일반적으로 관측된 water mark의 전형적인 Auger peak들을 보여주고 있다. Si와 O가 모든 시편에서 측정되었고 water mark를 sputtering에 의해 완전히 제거한 후에는 O-peak가 제거됨을 발견하였다. Fig. 6은 이들 water mark의

Auger depth profile 분석 결과를 보여주고 있다. 여기서 Si(E)는 실리콘 기판으로부터 기인 하는 peak이고 Si(O)는 산소와 결합된 그리고 O(Si)는 실리콘과 결합된 산소의 peak를 나타내고 있다. Fig. 6의 a)와 b)에서 Si(O)와 O(Si)로 표시된 선들이 표면부에서 부터 sputter time이 증가함에 따라 점점 감소하고 반대로 Si(E)선은 증가하는데 이러한 선들이 서로 교차되는 부분이 Si substrate와 water mark의 경계 부분임을 알 수 있다. Water mark는 산소와 실리콘이 상호 결합된 형태인 Si(O)와 O(Si)로 구성되어 있으며 산소 분위기에서 생성된 water mark의 경우 Si(O)와 O(Si)의 조성 비가 4 : 6으로서 화학 양론이 SiO₂에 가까운 형태로 존재하는 반면 질소 분위기의 경우 그 조성 비가 5 : 5로서 SiO의 형태로 존재하는 것으로 생각할 수 있다. AES 분석 결과 HF 처리된 실리콘 표면은 건조 중 물과 반응하여 산화되고 이들 산화물이 물속으로 용해되어 존재하다가 건조 후 잔류물로 남아 water mark를 생성시키는 것이라 가정할 수 있다. Depth profile 분석 결과에서 Si(E)가 나타나기 시작하는 sputter time과 sputter rate이 산화막을 기준으로 하여 200 Å/min임을 이용하여 산소 및 질소 분위기에서 생성된 water mark의 상대적인 두께를 계산한 결과 산소 분위기에서 생성된 water mark의 두께는 800 Å이며 질소 분위기에서 생성된 water mark의 두께는 1600 Å으로 질소 분위기에서 생성된 water mark의 두께가 상대적으로 2배 정도 두꺼움을 확인하였다. 이는 실리콘 표면 위에 잔류한 물방울이 표면과의 경계 부분에 형성하는 water film의 두께가 표면의 접촉성에 의존하기^{9,10} 때문에 건조 과정 중 접촉각의 감소가 일어나는 산소 분위기에서 water film의 두께가 더 얇게 형성됨으로써 일어나는 현상으로 분석된다. Water mark와 Si 경계면에서 발견된 탄소는 건조 시편을 진공 oven에 넣고 분위기를 조절하는 동안 공기 중으로부터 유입된 것으로 사료된다.

실제 HF 처리된 bare 실리콘 표면과 물과의 반응을 알

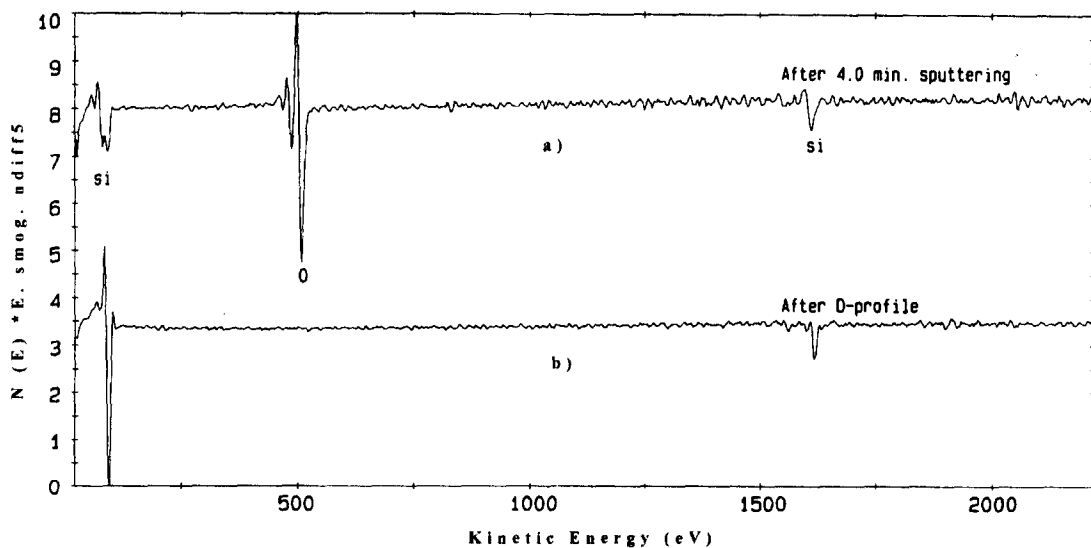


Fig. 5. Typical Auger spectrum of (a) water mark and (b) silicon

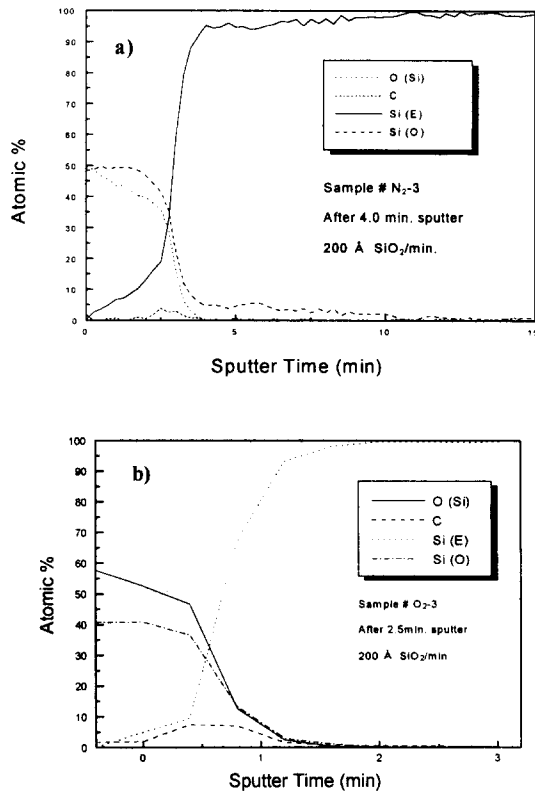


Fig. 6. The auger depth profile of water mark formed on HF etched silicon surface in a) N₂ and b) O₂ atmosphere.

아보기 위해 시편 위의 500 μℓ의 물방울을 N₂ 및 O₂ 분위기에서 30분 후에 채취하여 이들 채취된 시료와 실리콘과 접촉하지 않은 초순수수 내의 실리콘 농도를 AAS-GF를 사용하여 분석하였다. 분석 결과 물방울 500 μℓ당 존재하는 실리콘의 양은 초순수수가 5 × 10⁻¹⁰g(1ppb), HF 처리된 실리콘 표면 위 물방울이 O₂와 N₂에서 건조되어 준비된 경우가 각각 4.6 × 10⁻⁷g(910 ppb)과 3.9 × 10⁻⁷g(780 ppb)으로 물방울 내 실리콘의 농도가 건조 중 급격히 증가함을 확인하였다. 위의 결과는 건조 분위기와 상관 없이 HF 처리된 실리콘 표면 위에 물방울이 일정 시간 잔류할 경우 물방울 내 산소 농도에 따라 각각 다른 양의 용해된 산화물을 형성하고 이들은 물방울이 완전히 건조된 후 잔류하여 water mark로 생성된다고 생각할 수 있다.

실제 초순수수 제조 공정이나 습식 세정 공정에서 사용되는 최종 filter의 기공 크기는 0.05 μm 이상인 것을 고려할 때 초순수수나 세정액 내에는 0.05 μm 이하의 파티클 혹은 기타 불순물이 상당량 존재하고 있는 것은 사실이다. 이들 초순수수 내에 잔류하고 있는 아주 미세한 입자나 불순물들이 water mark의 크기에 미치는 영향을 고찰하기 위해 지름의 크기가 0.026 μm와 0.104 μm인 PSL 파티클을 초순수수에 고의로 집어넣어 질소 분위기에서 파티클 농도에 따른 water mark 크기의 변화를 관찰하였다. Fig. 7에 나타낸 것과 같이 지름이 0.026 μm인 파티클의 경우 물방울에 첨가된 파티클의 농도가 10¹²개/ml 이상일 때부터 water mark의 크기가 증가하는 반면 지름이 0.104 μm인 파티클의 경우

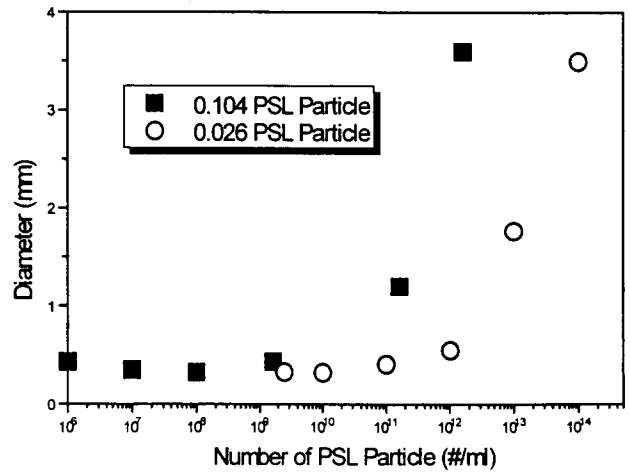


Fig. 7. The effect of PSL particle concentrations in DI water on the size of water mark on HF etched silicon in N₂.

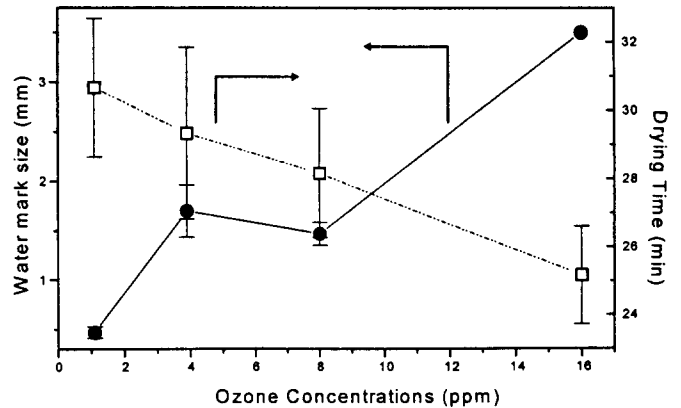


Fig. 8. The effect of ozone concentrations in DI water on the size and formation time of water mark on HF etched silicon in N₂.

그 농도가 1.6 × 10¹⁰개/ml 이상일 때부터 water mark의 크기가 증가하였다. 즉 파티클의 크기와 상관 없이 어느 농도까지는 첨가된 파티클의 농도가 water mark의 크기에 영향을 미치지 않으나 그 이상의 농도에서는 water mark 크기가 급격히 증가하였다. 한편 water mark의 크기에 영향을 미치기 시작하는 임계 농도는 파티클의 크기가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 반면, 산화막이 성장된 친수성의 시편 위에 0.026 μm의 PSL 파티클을 10⁷개/ml부터 10¹²개/ml까지 첨가된 물방울을 잔류시켜 질소 분위기에서 건조시킨 결과 모든 농도에서 형성된 water mark의 크기가 3.5mm로서 같았다.

물방울 내 산소에 의한 표면 산화에 기인한 접촉성의 변화가 water mark 크기에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 물방울 내 강력한 산화제인 오존의 농도를 16ppm까지 변화시켜 이들 물방울을 HF 처리된 실리콘 표면 위에 떨어뜨린 후 질소 분위기에서 이들 물방울의 건조 과정 및 건조 시간, 그리고 생성된 water mark의 크기를 비교하였다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 물방울 내 오존의 농도가 1 ppm에서 16 ppm으로 증가할 때 표면의 접촉각은 더 빨리 감

소하여 건조 시간이 약 30분에서 25분으로 감소하였고 생성된 water mark의 크기는 약 0.5mm에서 3.5mm로 증가하였다. 따라서 표면의 산화에 의한 접촉성 변화가 water mark의 크기 증가에 중요한 역할을 함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

소수성의 시편뿐 아니라 친수성의 시편에서도 water mark가 생성되었으며 이때 형성된 water mark의 크기는 분위기에 상관없이 시편 표면의 접촉성이 증가함에 따라 감소함을 보였다. 그러나 산소 분위기에서 HF 처리된 실리콘 시편이 건조될 경우 이러한 경향을 벗어나 가장 큰 water mark를 형성하였다. 산소 및 질소 분위기에서 생성된 water mark의 AES 성분 분석 결과 분위기에 상관 없이 water mark는 실리콘과 산소의 화합물로 이루어져 있음을 확인하였다. 이러한 water mark의 형성 원인인 실리콘과 산소의 화합물은 AAS 분석 결과 HF 처리된 실리콘 시편으로부터 건조 분위기와 상관 없이 시편 위의 물방울 속으로 용해된 실리콘과 산소의 화합물로부터 기인하는 것으로 사료되었다. HF 처리된 실리콘 시편 위의 물방울이 산소 분위기에서 건조될 때 건조 과정 중 물방울의 접촉각 감소는 AES 분석 결과 실리콘 표면의 산화가 원인인 것으로 확인되었으며 이러한 표면 산화에 의한 접촉각 감소는 건조 후 남는 water mark의 크기를 증가시키는 중요한 원인임을 관찰하였다. 실리콘 표면의 접촉각 변화 없이 물방울 내 불순물의 농도가 증가할 때 임계 농도 이상에서 water mark의 크기가 지수적으로 증가하였다. 따라서 산소에 의한 표면의 산화로부터 기인한 접촉성 감소와 표면으로부터 용해해 들어간 실리콘에 의한 물방울 내 불순물 농도 증가

가 water mark의 생성과 크기를 결정하는 요소라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비(반도체 분야, ISRC-95-E-5004)의 도움으로 수행되었기에 감사드립니다. 또한 실험에 필요한 화학액과 AAS-GF분석에 도움을 주신 동우반도체의 송형수 박사님께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. W. Kern, *Handbook of Semiconductor Wafer Cleaning Technology*, Noyes Publications (1993)
2. W. Kern, *J. Electrochem. Soc.*, **137**, 6 (1990)
3. J. G. Park and S. Raghavan, *J. Adhesion Sci. Tech.*, **7**, 179 (1993)
4. G. Gould and E. I. Irene, *J. Electrochem. Soc.*, **135**, 1535 (1988)
5. A. Philipossian, *J. Electrochem. Soc.*, **139**, 10 (1992)
6. V. B. Menon, L. D. Michaels, A. C. Clayton, and R. P. Donovan, *Solid State Technology*, **32**, S9 (1989)
7. J. G. Park and M. F. Pas, *J. Electrochem. Soc.*, **142**, 6 (1995)
8. M. Watanabe, M. Hamano and M. Harazono, *Mats. Sci. Eng. B*, **4**, 401 (1989)
9. S. Dimitrov, C. D. Dushkin, H. Yoshimura and K. Nagagama, *Langmuir*, **10**, 432 (1994)
10. A. Adachi, S. Dimitrov and K. Nagayama, *Langmuir*, **11**, 1057 (1995)