

리모트 수소 플라즈마를 이용한 Si 표면 위의 Fe 불순물 제거

이종무 · 박웅 · 전부용 · 전형탁* · 안태항* · 백종태** · 신광수*** · 이도형***

인하대학교, 금속공학과
*한양대학교 금속공학과
**한국 전자통신 연구소
***RIST

Removal of Fe Impurities on Silicon Surfaces using Remote Hydrogen Plasma

C. Lee, W. Park, B.Y. Jeon, H.T. Jeon*, T.H. Ahn*, J.T. Back**, K.S. Shin*** and D.H. Lee***

Dept. of Metallurgical Eng. of Inha Univ., Incheon, Korea 402-751

*Dept. of Metallurgical Eng. of Hanyang Univ., Seoul, Korea 133-791

**Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI) of Korea.

***RIST

(1998년 4월 8일 받음, 1998년 6월 20일 최종수정본 받음)

초 록 리모트 수소 플라즈마에 의한 Si 웨이퍼 표면 위의 Fe 불순물의 제거효과를 조사하였다. 세정시간 10분 이하와 rf-power 100W 이하의 범위에서 최적 공정조건은 각각 1분과 100W 이었으며, 플라즈마 노출시간이 짧을수록, rf-power가 증가할수록 Fe 제거효과가 더 향상되는 것으로 나타났다. 또한, 고압보다는 저압 하에서 Fe 제거효과가 더 우수하였는데, 저압 하에서는 H₂ 유량이 20sccm, 고압 하에서는 60sccm일 때 Fe 제거 효과가 가장 우수하였다. 플라즈마 세정 직후의 열처리하는 금속오염의 제거효과를 향상시켰으며, 600°C에서 최상의 효과를 얻을 수 있었다. AFM 분석결과에 의하여 표면 거칠기는 플라즈마 세정에 의하여 30~50% 향상되었는데, 이것은 Fe 오염물과 더불어 Si 표면의 particle이 제거된 데 기인하는 것으로 생각된다. 또한 본 논문에서는 수소 플라즈마에 의한 Si 웨이퍼 표면의 Fe 제거기구에 관해서도 자세히 고찰하였다.

Abstract Effects of remote hydrogen plasma cleaning process parameters on the removal of Fe impurities on Si surfaces and the Fe removal mechanism were investigated. Fe removal efficiency is enhanced with decreasing the plasma exposure time and increasing the rf-power. The optimum plasma exposure time and rf-power are 1 min and 100W, respectively, in the range below 10 min and 100W. Fe removal efficiency is better under lower pressures than higher pressures, and the optimum H₂ flow rate was found to be 20 and 60sccm, respectively, under a low and a high pressure. The post-RHP(remote hydrogen plasma) annealing enhanced metallic contaminants removal efficiency, and the highest efficiency was achieved at 600°C. According to the AFM analysis results Si surface roughness was improved by 30~50%, which seems to be due to the removal of particles by the plasma cleaning. Also, Fe impurities removal mechanisms by remote hydrogen plasma are discussed.

1. 서 론

집적회로의 제조기술은 눈부신 발전을 거듭하여 메모리 소자의 경우 이미 1 G DRAM이 개발되었으며, 머지않아가 (giga)급 소자의 양산이 실현될 것으로 전망된다. 이처럼 반도체 소자의 집적도가 증가하여 패턴이 미세화 됨에 따라 웨이퍼 세정의 중요성도 더욱 강조되고 있는데, 이는 집적 회로의 소자성능, 신뢰성 및 생산수율이 웨이퍼 표면의 오염물질, 먼지 등과 같은 불순물의 존재에 의해 크게 좌우되기 때문이다.^{1,2)}

현재까지의 미세 오염의 세정은 주로 W. Kern³⁾이 고안한 RCA 법을 기초로 한 습식세정법에 의존해 왔으나, 반도체 회로의 집적도가 증가할수록 습식세정의 한계성이 드러나고 습식세정 단독으로는 충분한 수준의 오염물질 제거가 어려워지고 있다. 게다가 앞으로의 ULSI 제조는 낮은

공정온도를 요구하며⁴⁾, integrated cluster tool 환경 하에서 이루어질 전망이므로⁵⁾, 습식세정 방식이 주가 되던 지금까지의 세정기술이 건식세정 방식으로 바뀔 것이 확실시되고 있다. 또한 지금까지의 연구는 자연 산화막이나 유기 오염물의 제거를 위한 기술개발 위주로 수행되어 왔으나 앞으로는 금속 오염물 제거를 위한 기술개발 위주로 바뀌어 갈 것으로 전망된다.

금속 오염물은 반도체 공정에 사용되는 각종 화학용액, 감광막, 순수(DI water)나 웨이퍼 캐리어 등으로부터 오염될 수 있으며, 만일 이러한 금속 불순물이 제거되지 않는다면, 금속 불순물은 Si 벌크 내로 확산해 들어가서 금지대 내에 새로운 에너지 준위를 형성하고, 이것은 트랩, 다시 말하면 generation/recombination center로 작용하여 소수 캐리어의 수명을 감소시키고, 반도체 표면전위의 불안정을 유발하게 된다. 또한 과도한 누설전류를 발생시키고, PN

접합의 누설전류를 증가시키는 등 소자의 성능과 신뢰성, 제품수율 등에 나쁜 영향을 주게 된다. 이 외에도 에피성장시 핀홀(pin hole), void등의 결함의 seed로 작용하고, 게이트 산화막의 항복전압(breakdown voltage)을 감소시키며, 사진식각, 에칭, 증착과 린싱 등의 공정을 방해하는 작용을 하는 것으로 알려지고 있다.⁶⁾

이러한 금속 오염의 제거를 위해 일반적으로 사용되는 건식세정 방법에는 열적인 방법, 기상 세정법, UV/Cl₂ 세정법, 리모트 HCl 플라즈마 세정법 등으로 연구되고 있으나 대부분 HCl, HF, Cl₂ 등을 사용하므로 과에칭, 불균일 에칭, 장비의 부식 등의 문제가 심각하다. 따라서 양산기술로는 금속오염의 제거효과는 다소 떨어지더라도 이러한 부작용이 적은 건식세정 기술의 개발이 바람직하다.

본 연구에서는 이러한 배경에서 다양한 건식세정 기술 가운데 integrated system화에 적합하고 Si 표면의 손상이 적으며, 장비의 금속 부분을 부식시킬 우려가 거의 없는 리모트 수소 플라즈마 세정에 의한 Fe 오염의 제거 효과 및 제거 기구를 연구하였다.

2. 실험 방법

실험방법은 그림 1에 나타낸 바와 같으며 실험 전면에 걸쳐서 p-type (100), 직경 4inch, 저항 5-10 Ω cm인 Si 웨이퍼를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 PECVD(plasma enhanced CVD) 시스템은 그림 2와 같이 구성되어 있으며, Diffusion 펌프가 장착되어 있다.

실험 I 에선 먼저 피라나 세정(H₂SO₄ : H₂O₂ = 4 : 1)을 10분 동안 실시하여 기판 표면에 있는 유기 오염을 제거하였다. 만약 유기오염이 Si 웨이퍼 표면에 존재하면 Fe과 같은 금속 불순물이 균질하지 못하고, 표면을 수소성으로 만들어 다른 세정용액이 표면에 도달하지 못하게 하며, 플라즈마에 의한 금속 불순물의 제거도 여의치 않으므로 유기오염의 제거는 필수적이라고 할 수 있다.^{7,8)} 다음으로 웨이퍼를 불산 용액(HF : DI water = 1 : 10)에 10분 동안 침잠시켰으며, 불산 용액은 산화막을 분해하여 산화막 내에 포함되어 있는 금속 불순물을 제거하게 된다.

이렇게 준비된 Si 웨이퍼를 10ppm FeCl₃ 표준 화학 용액에 5분 동안 침잠시켜 인위적으로 Fe을 오염시킨 다음 PECVD 장비의 챔버에 넣고, 수소 플라즈마의 중심부에서 20cm아래에 위치시켰다. 표준 세정 공정 조건을 rf-power: 20W, H₂ 유량: 100sccm, 기판 온도: 26 $^{\circ}$ C, 세정시간: 5min 기본 진공도: 8 $\times 10^{-8}$ Torr, 공정 압력: 610mTorr로 고정시키고, rf-power, 세정시간, 기판 온도, 그리고 수소 가스 유량 등의 공정변수들을 각각 변화시키며 리모트 수소 플라즈마 세정을 실시하여, 특정한 공정 매개변수가 Fe 오염 제거에 미치는 효과 및 Fe 오염의 제거 기구를 각각 조사하였다.

Si 웨이퍼의 표면분석 방법으로 TXRF(Total Reflection X-Ray Fluorescence)와 AFM(Atomic Force Microscope)을 사용하였다. TXRF는 세정 후 Si 웨이퍼 표면에 잔류하는 금속 불순물 농도를 정량적으로 알아내는 데

에 사용되었고, AFM은 세정 전후의 표면 거칠기의 변화를 관찰하는 데에 사용되었다.

한편, 실험 II 에서는 리모트 수소 플라즈마 세정에 이은 400~700 $^{\circ}$ C 온도 범위의 열처리가 Fe 오염의 제거에 미치는 효과를 알아보았다. 시편은 실험 I 과 동일한 방법으로 준비한 다음 20W, 1min, 100sccm의 공정 조건으로 리모트 수소 플라즈마 세정을 실시하였으며, 그 후에 기본 진공 4 $\times 10^{-5}$ Torr에서 3분 동안 급속 열처리(Rapid Thermal Annealing)를 400 $^{\circ}$ C, 500 $^{\circ}$ C, 600 $^{\circ}$ C, 700 $^{\circ}$ C로 각각 실시하였다.

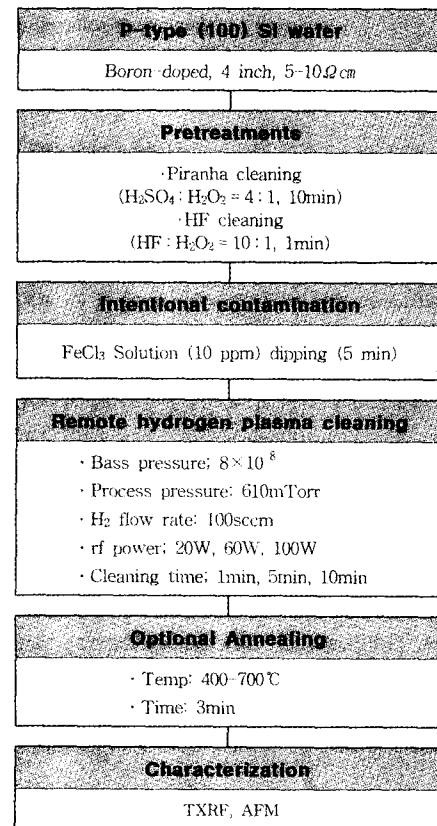


Fig. 1. Experimental procedures.

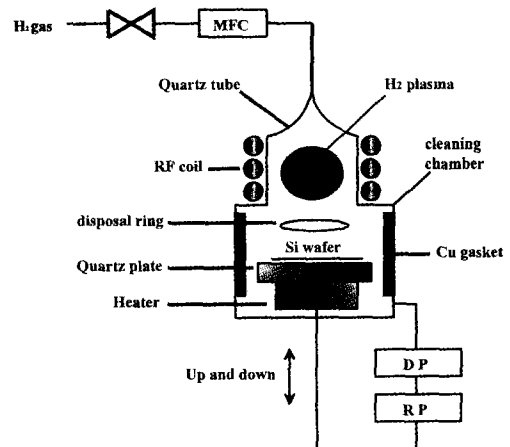


Fig. 2. The remote plasma cleaning system.

3. 결과 및 고찰

실험 1 그림 3은 리모트 수소 플라즈마 세정시 rf-power 및 다른 공정 조건을 표준 공정 조건으로 고정시키고, 세정 시간을 변화시켰을 때의 Fe 불순물의 농도와 표면 거칠기의 변화를 나타낸 TXRF와 AFM 분석결과이다. 여기서 'contam.' 시편은 예비처리를 거친 다음 FeCl₃ 표준 화학 용액으로 Fe를 오염시킨 후 세정처리 하지 않은 Si 웨이퍼를 의미한다. TXRF 분석결과에 나타난 것과 같이 세정 처리 시간이 1분 이였을 때 Fe 불순물의 농도는 1.6×10^{11} atoms/cm²로 감소하였으며, 이 경우의 세정효과가 가장 우수하였다. 또한 세정시간이 5분, 10분으로 증가할 수록 Si 표면에서의 Fe 불순물의 농도가 증가함을 알 수 있는데, 이는 Fe 오염의 재흡착 속도 (redeposition rate) 가 증가되었기 때문으로 생각된다.⁹⁾

타 연구자들의 보고에 따르면, 일반적으로 세정장비를 비롯한 각종 진공 장비 챔버 내에 존재하는 가장 일반적인 불순물은 수증기 (water vapor) 이며, 수증기는 챔버 문을 여닫을 때 챔버 벽에 흡착되거나, 챔버 내로 들어오는 시편의 표면에 흡착되었다가 탈착된다고 한다. 수증기가 탈착되는 속도 (desorption rate) 는 수소 플라즈마의 down-stream이나 이온 충돌 (ion bombardment) 에 의해 증가된다. 수증기는 수소 플라즈마에 의해 O, OH, H 등의 라디칼로 분해된다. 그러면 O와 OH는 수소 플라즈마에 의해 제거되는 Fe와 화학적으로 반응하여 산화물 (oxide) 을 형성하여 Si 표면을 재오염시킨다. 이러한 이유 때문에 플라즈마 세정시간이 증가할수록 Fe 오염도가 오히려 증가된 것으로 사료된다. 한편, 이때 잔류하던 H는 수소 플라즈마의 흐름과 함께 진공펌프에 의해 배출된다.

AFM 분석결과는 1분 동안 리모트 수소 플라즈마 처리

를 한 경우에 가장 낮은 표면 거칠기 (roughness) 값을 보여주고 있으며, 세정시간의 증가에 따라 표면 거칠기가 더 증가하는 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 표면 거칠기가 증가하는 주원인은 플라즈마 방사선 (radiation) 에 의한 표면의 손상이나 입자 (particle) 형태의 오염물 증가인데, 여기서는 재흡착에 의한 입자 형태의 오염물에 의한 거칠기 증가가 원인인 것으로 생각된다. 그림 4의 AFM 사진들을 보면 Si 표면에 입자들로 추정되는 흰 반점들이 많이 나타나 있으며, 이들이 바로 표면 거칠기의 원인이다. 이 입자들에 Fe 오염물질들이 섞여 있는 것으로 판단되므로 이러한 AFM 분석결과는 세정시간의 증가에 따라 Fe 불순물이 증가하는 경향을 나타내는 TXRF 분석결과와 일치하는 것이다.

그림 5는 리모트 수소 플라즈마 세정시 세정 시간 및 다른 공정조건을 표준 공정 조건으로 고정시키고, 100W 이하의 범위에서 rf-power를 변화시켰을 때 Fe 불순물의 농도와 표면 거칠기의 변화를 나타낸 TXRF와 AFM 분석결

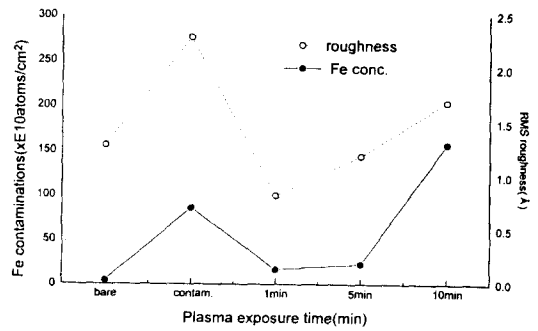


Fig. 3. Effects of the plasma exposure time of the remote hydrogen plasma cleaning process on the Fe impurity removal on Si (TXRF and AFM analysis results)

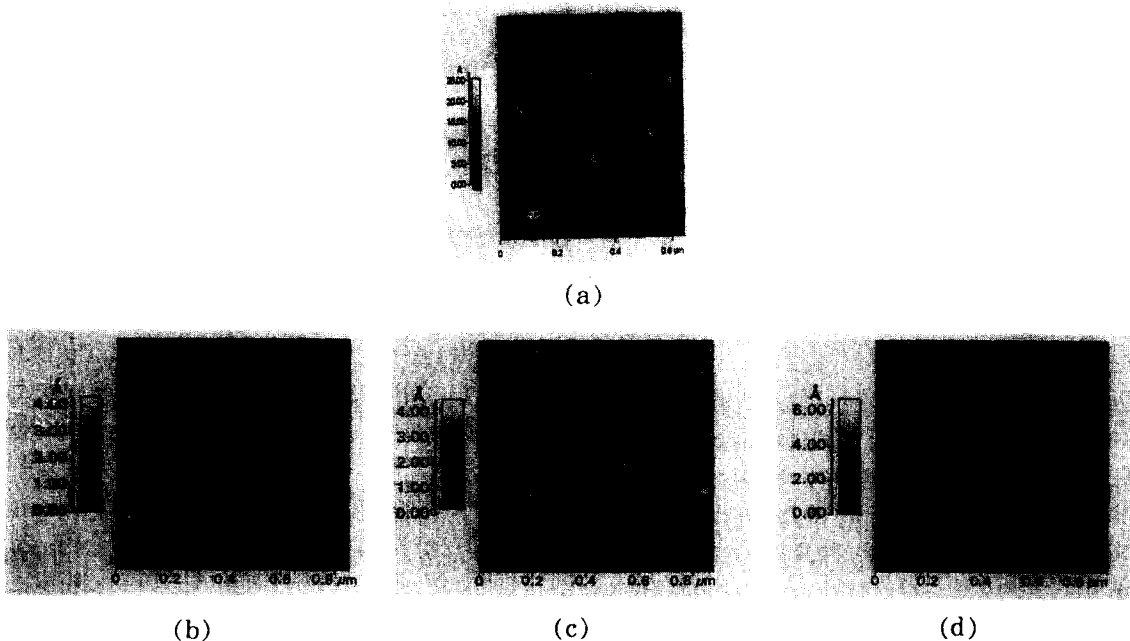


Fig. 4. 2-dimensional AFM images of the samples remote plasma-treated with the various plasma exposure times: (a) initial (b) 1min (c) 5min (d) 10min.

과이다. TXRF 결과에 의하면, rf-power가 증가됨에 따라 Fe 오염의 제거효과가 향상되는 경향을 볼 수 있다. AFM 분석결과는 rf-power가 커짐에 따라 거칠기가 증가함을 알 수 있는데, 이는 rf-power가 증가함에 따라서 실리콘 웨이퍼 표면에 손상이 커짐을 의미한다.

100W 이상의 범위에서 rf-power의 변화가 Fe 오염제거에 미치는 효과를 나타낸 그림 6에선 rf-power < 100W 범위와는 달리 rf-power의 증가에 따라 Fe 불순물의 농도가 증가함으로써 Fe 오염제거 효과가 감소하는 경향을 볼 수 있으며, 그림 5와 그림 6의 결과를 종합하면 Fe 오염제거를 위한 최적 rf-power가 100W임을 알 수 있다.

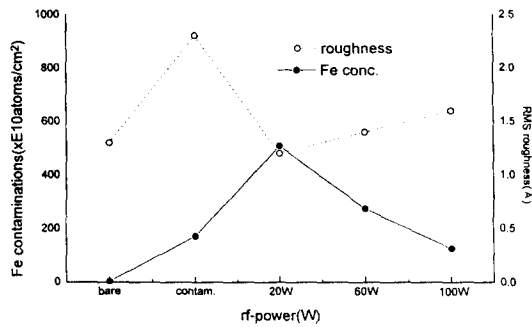


Fig. 5. Effects of the rf-power of the remote hydrogen plasma cleaning process on the Fe impurity removal on Si (TXRF and AFM analysis results).

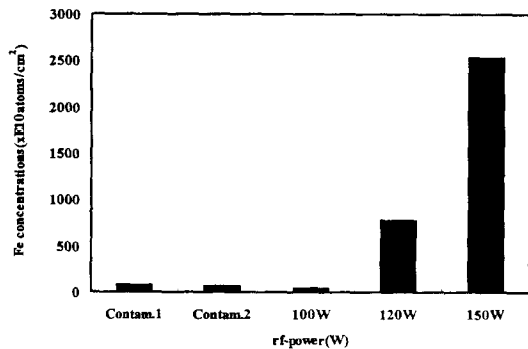


Fig. 6. Effects of the rf-power of the remote hydrogen plasma cleaning process on the Fe impurity removal on Si.

그림 7의 TXRF 결과를 보면 그림 6과 마찬가지로 rf-power가 100W로부터 120W 및 150W로 증가함에 따라 Fe 뿐만 아니라, Cr 및 Ni 불순물의 수준도 급격히 증가하는 경향을 볼 수 있는데, 이와 같이 100W 이상의 범위에서 rf-power의 증가에 따라 불순물의 농도가 증가되는 이유는 스테인레스 스틸로 된 챔버 벽이 수소 이온에 의하여 '스퍼터-오프 (sputter off)'되어 스테인레스 스틸의 주성분인 Fe, Cr, 및 Ni의 오염이 급증하기 때문이다.

그림 8은 리모트 플라즈마 세정시 Fe 오염의 제거에 미치는 기판온도의 효과를 나타내는 TXRF와 AFM 분석결과들이다. TXRF 결과에 나타난 것과 같이 리모트 수소 플라즈마 세정을 실시한 시편들의 Fe 농도가 'contam.' 시편들과 비교해 볼 때, 기판 온도가 높아질수록 더 저하되었다. AFM 분석결과를 보면 200 °C까지는 표면의 거칠기가

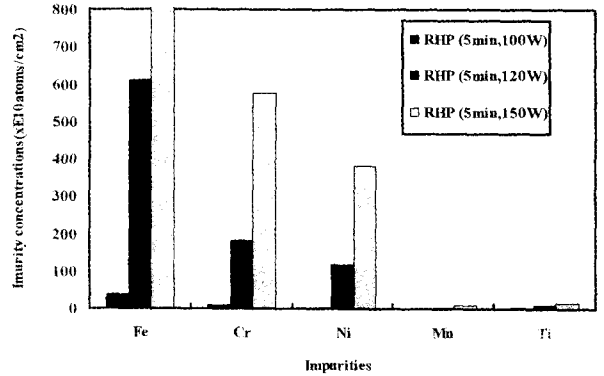


Fig. 7. Effects of the rf-power of the remote hydrogen plasma cleaning process on the metal impurities removal on Si

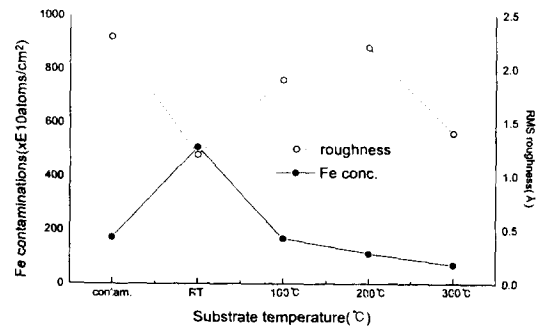


Fig. 8. Effects of the substrate temperature of the remote hydrogen plasma cleaning process of the Fe impurity removal on Si (TXRF and AFM analysis results).

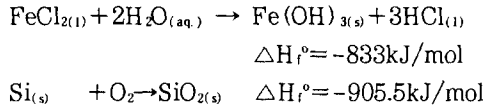
증가하다가 300 °C에서 감소하는 경향을 나타내었는데, 이와 같은 AFM 분석결과는 다음과 같이 설명될 수 있다.

Montgomery¹⁰⁾ 등의 실험에 의하면 기판온도를 100-250 °C 정도로 하여서 RHP (remote hydrogen plasma) 세정을 했을 때 표면 근처에 {111} 판상 결함을 형성하여 표면이 거칠어지지만 기판온도가 300 °C 이상일 때는 표면 근처에 결함들이 발생되지 않고 표면이 거칠지 않고 오히려 거칠기가 감소하였다. 이러한 현상이 일어나는 이유는 표면 근처에서 수소 농도가 {111} 판상 결함 형성의 정도를 결정하는데 RHP 세정시 기판온도에 따라서 표면 근처에 수소 농도가 다르기 때문이다. 따라서 기판온도를 올려서 세정 실험을 하는 경우 표면의 거칠기는 표면 근처의 {111} 판상 결함에 의하여 좌우된다.

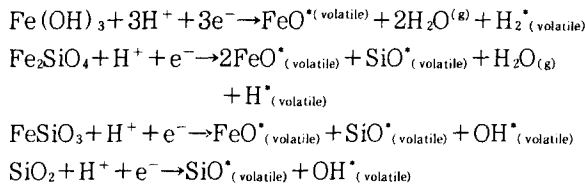
그림 9는 저압과 고압 하에서 리모트 수소 플라즈마 세정시 수소 가스의 유량에 따른 Si 표면에서의 Fe 불순물 농도 변화를 나타낸 TXRF 분석결과이다. 그림 9의 (a)와 (b)를 비교하면 전반적으로 고압보다 저압 하에서 Fe 오염의 제거효과가 더 우수한 것을 알 수 있다. 일반적으로 산화막과 유기오염의 경우엔 낮은 압력 하에서의 세정효과가 더 우수한 것으로 알려져 있는데, 금속 오염에서도 같은 경향을 나타내는 것으로 보인다. 저압의 경우 20sccm, 0.23Torr에서 세정효과가 최대이며, 고압의 경우에는 H₂ 유량이 60sccm일 때 최대 세정효과가 얻어짐을 알 수 있다.

Fe 불순물의 흡착 기구 및 리모트 수소 플라즈마 세정에 의한 제거 기구는 다음과 같다. FeCl₃ 용액 내에는 Fe³⁺,

Cl⁻, H⁺, OH⁻ 등의 이온과 라디칼(Radical) 등이 존재하는데, 만약 Si 표면에 산화막이 형성된다고 가정하면, Fe 불순물은 Fe(OH)₃의 형태로 석출된 다음, 산화막에 의해 물리적으로 흡착된다.



또한, Fe 불순물이 Fe₂SiO₄ (ΔH_f[°] = -1497.9kJ/mol) 와 FeSiO₃ (ΔH_f[°] = -1153kJ/mol) 의 형태로 산화막에 흡착될 가능성도 있다.¹¹⁾



리모트 수소 플라즈마에서 생성된 반응성을 가진 수소원자는 비교적 작은 질량과 낮은 에너지를 갖기 때문에 리모트 수소 플라즈마를 이용한 금속 오염의 세정기구는 스퍼터링(sputtering)에 기인하기보다는 화학적 반응(chemical reaction)에 의하여 이루어진다. M. Delfino¹²⁾ 등은 수소이온 충돌에 의한 산화막의 에칭 효과를 알아보기 위해 마이크로웨이브 수소 플라즈마를 사용하여 조사한 결과를 발표했는데, Si 기판에 bias를 변화시킴으로써 이온충돌(ion bombardment) 효과를 높여도, 수소이온 충돌, 즉 물리적인 스퍼터링은 SiO₂의 제거 효율에 거의 영향을 주지 않았다고 한다. 그러므로 수소 플라즈마를 이용한 세정기구를 규명하기 위해서는 수소 원자, 산화막, Si 웨이퍼

표면, 그리고 Si 표면 위의 오염물질 사이의 화학반응을 고려해야 한다. 이에 준하여 리모트 수소 플라즈마 세정에 의한 Fe 오염의 제거 기구는 다음과 같은 것으로 생각된다.

H⁺과 전자 및 수소 플라즈마의 성분들은 Fe 화합물과 산화막의 제거에 중요한 역할을 한다.¹³⁾ 즉, Fe 화합물과 SiO₂는 수소 플라즈마 내의 수소이온(H⁺), 전자들의 분해와 여기(excitation) 반응에 의하여 휘발성의 FeO*, SiO* 등이 생성됨으로써 제거되며, Fe 불순물들은 SiO₂가 수소 플라즈마에 의하여 제거될 때 SiO₂에 붙어서 함께 떨어져 나가는 '리프트-오프(lift-off)' 기구에 의해 제거되기도 하는 것으로 생각된다.

실험 II 일반적으로 리모트 수소 플라즈마 세정에 이어 실시하는 열처리 는 자연 산화막이나 유기 오염물질의 제거 효과를 향상시키는 것으로 알려져 있으나, 금속 오염의 제거 효과에 관한 실험결과는 아직 보고된 바 없다. 리모트 수소 플라즈마 세정은 수소 이온이 산화막과 유기 오염물을 화학반응에 의하여 분해시키는 방식으로 제거한다. 따라서 리모트 수소 플라즈마 세정에 이어서 실시하는 열처리는 화학반응을 활성화시켜 분해 속도를 증가시키기 때문에, 오염 제거 효과는 당연히 향상될 것이다. 그러나 금속오염의 경우에는 산화물이나 유기 오염물과는 달리 열처리시에 Si 내부로 확산하는 것으로 생각되는데, 이는 Si 내에서 금속원자의 확산속도가 분자상태의 산화물이나 유기오염물보다 훨씬 더 높기 때문이다. 또한 Fe는 실험 I 에서 논의한 바와 같이 FeO 상태로 직접 제거되거나 SiO₂가 분해되어 제거될 때 '리프트-오프(lift-off)'되는 간접적인 방식으로 제거되는데, 두 가지 방식 모두에서 온도의 증가에 따라 Fe 제거 반응이 더욱 활성화될 것이다. 그런데, 리모트 수소 플라즈마 세정 중에 기판온도가 높아지면 이러한 Fe 제거 반응이 분명 더욱 활발해 지겠지만, 세정 후의 열처리시에도 열처리 온도가 증가됨에 따라 Fe 제거반응이 더욱 활발해지겠는가에 대해서는 불분명하다. 따라서, 실험 II에서는 리모트 수소 플라즈마 세정에 이어 실시한 400~700℃ 온도 범위의 열처리가 Fe 오염의 제거에 미치는 효과를 알아보았다.

그림 10의 어닐링 온도에 따른 Fe 농도의 변화를 나타내는 TXRF 분석결과를 보면, 리모트 수소 플라즈마 세정 후의 열처리가 Fe 제거에 긍정적인 효과를 나타냄을 알 수 있다. 그러나 열처리 온도의 증가에 따라 Fe 오염물이 Si 내부로 확산함으로써 Si를 더욱 오염시키는 부정적인 효과도 동시에 나타나기 때문에 최대 세정효과는 이 두 효과가 절충되는 온도에서 얻어지는 것으로 판단되며, 여기서는 600℃가 바로 그 최적 열처리 공정온도이다.

그림 10의 점선으로 이어진 open circle의 data는 리모트 수소 플라즈마 세정 후의 열처리 온도 증가에 따른 Si 표면의 거칠기를 보여주는 AFM 분석결과이다. 열처리 온도의 증가에 따라 Si 표면이 점점 더 거칠어지는데, 700℃에서 특히 거친 정도가 매우 심하다. 따라서, Fe 오염제거 효과를 함께 고려할 때 열처리 온도로는 600℃가 적절하며, 그 이상의 온도에서 열처리를 실시하면 역효과가 훨씬

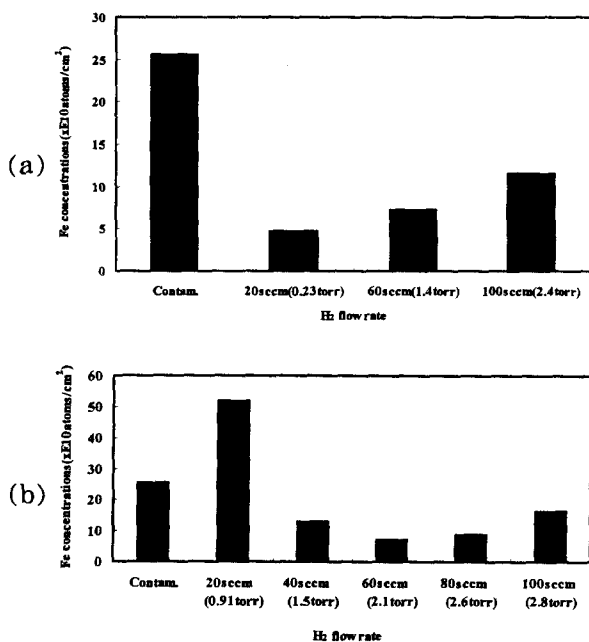


Fig. 9. Effects of the H₂ flow rate of the remote hydrogen plasma cleaning process on the Fe impurity removal: (a) at a low pressure (b) at a high pressure

더 크다는 결론을 얻을 수 있다.

일반적으로 표면의 금속 불순물이 제거되면 표면의 거칠기가 향상되지만 그림 10을 보면 열처리 온도가 600°C까지 증가하면 Fe양이 감소함에도 불구하고 표면이 더 거칠어짐을 알 수 있다. 이는 열처리 온도가 증가함에 따라서 표면 근처에서 발생하는 결함들이 증가하여 일어난 결과라고 볼 수 있고, 700°C에서 급격한 표면 거칠기의 증가는 이러한 표면 근처의 결함들의 급격한 증가와 연관 지을 수 있을 것이다. 700°C에서의 수 nm정도의 표면 거칠기는 TXRF 분석시에 영향을 줄 수 있다. 따라서 TXRF 분석결과에 나타난 700°C에서 Fe양의 급격한 증가는 실제 Fe양의 증가보다는 표면 근처의 결함들에 의하여 유발되는 표면 거칠기의 증가가 표면 상태에 민감한 TXRF 분석시에 영향을 주어서 나타난 결과로 생각된다.

이것은 1×10^{12} atoms/cm² 정도의 Fe 불순물 양이 23 Å 정도의 너무 큰 RMS값이 나타난 것으로부터도 유추해 볼 수 있다.

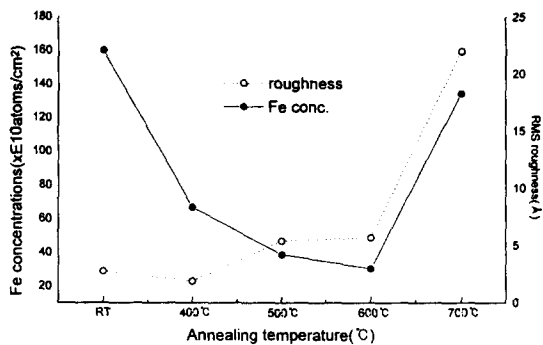


Fig. 10. The effects of the post-RHP annealing on the Fe contaminants removal on Si (TXRF and AFM analysis results).

4. 결 론

리모트 수소 플라즈마 세정법의 Fe 불순물 제거 효과에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

시편을 10ppm FeCl₃ 표준 화학 용액에 오염시켜 리모트 수소 플라즈마 세정을 실시하였을 때 세정시간이 짧을 수록, rf-power가 증가할수록 세정 효과가 우수한 것으로 나타났다. Fe 오염 제거를 위한 최적 공정 조건은 세정시간이 1분, rf-power가 100W인 것으로 나타났다. 또한 고압에서보다 저압에서 Fe 오염 제거 효과가 우수하였으며, 저압의 경우엔 H₂ 유량이 20sccm, 고압에선 60sccm일 때 최대 세정효과가 나타났다. AFM 분석 결과에 의하면 거칠기는 30~50% 정도 향상되었다. 한편, 리모트 수소 플라즈마 세정에 이어서 실시하는 열처리는 금속오염의 제거효과를 향상시킬 수 있으며, Fe 오염의 효과적인 제거를 위한 열처리 온도로는 600°C가 적당하다.

리모트 수소 플라즈마 법에 의한 Si 웨이퍼 표면의 Fe 불순물의 제거는 다음과 같은 두가지 기구에 의하여 이루어지는 것으로 사료된다.

1) FeCl₃가 H₂O와 반응하여 Fe(OH)₃를 생성하고 Fe

(OH)₃가 H⁺ 및 e⁻와 반응하여 휘발성 물질인 FeO*를 생성함으로써 Fe 불순물이 제거된다.

2) SiO₂가 H⁺ 및 e⁻와 반응하여 SiO*상태로 휘발될 때 Fe가 SiO*에 묻어서 함께 제거된다.

감사의 글

본연구는 1997년도 인하대학교 교내 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 서울대학교 반도체 공동 연구소, Plasma Technology For ULSI Process, p.5, (1995)
2. W.R. Runyan & K.E. Bean, Semiconductor Integrated Circuit Processing Technology, pp.12-19, Addison-Wesley Publishing company, USA. (1990)
3. Wener Kern, Handbook of Semiconductor wafer cleaning technology, p.3-9, NOYES Publishing company, New Jersey, USA. (1993)
4. Wener Kern, Handbook of Semiconductor wafer cleaning technology, p.344, NOYES Publishing company, New Jersey, USA. (1993)
5. Mehrdad M. Moslehi, Richard A. Chapman, Man Wong, Ajit Paranjpe, Habib N.Najm, John Kuehne, Richard L. Yeakly, and Cecil J. Davis, Single-Wafer Integrated Semiconductor Device Processing, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, vol.39, No. 1, p.16, January (1992).
6. Jennifer A. Sees and Lindsey H. Hall, J. electrochem. Soc., **142**(4), 1238-1239, April (1995)
7. C.W. Nam, and S. Ashok, J. Vac. Sci. Technol, B **12**(5), 3010 (1994)
8. H.F. Schmit, M. Meuris, P.W. Mertens, S. Verharerbeke, M.M. Heyns, IMEC and K. Dellenbeck, formerly of Ashland Chemical, Microcontamination September/October, **27** (1993)
9. S.M. Rosnagel, J.J. Coumo, and W.D. Westwood, Handbook of plasma processing technology, pp.1~12. NOYES publication, Park Ridge, New Jersey, USA.
10. Ki-Hyun Hwang and EuiJoon Yoon., ECS., vol. **144**, No.1.(1996)
11. John. A. Dean, Lange's Handbook of Chemistry, McGraw-Hill, New York, 14th ed. (1985)
12. M. Delfino, S. Salimian, D. Hodul, A. Ellingboe and W. Tsai, J. Appl. Phys., **71**(2), 1006 (1992)
13. K. Nakashima, M. Ishii, I. Tajima, and M. Yamamoto, Appl. Phys. Lett., **58**, 2664 (1991)