

리모트 수소 플라즈마를 이용한 Si 기판 위의 Cu 불순물 제거

이종무 · 전형탁* · 박명구 · 안태항*

인하대학교 금속공학과

*한양대학교 금속공학과

A Study on the Removal of Cu Impurity on Si Substrate and Mechanism Using Remote Hydrogen Plasma

Chong-Mu Lee, Hyeong-Tag Jeon*, M. G. Park and T. H. Ahn*

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

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

초 록 리모트 수소 플라즈마를 이용하여 Si 기판 위의 구리 오염의 제거 효과에 관하여 조사하였다. 최적의 공정 조건을 찾기 위하여 Si 기판을 1ppm CuCl₂ 표준 화학 용액으로 인위적으로 오염시킨 후 rf power와 세정시간, 거리(수소플라즈마 중심에서 Si 기판표면까지의 거리)등의 공정 변수를 변화시키며 리모트 수소 플라즈마 세정을 실시하였다. 리모트 수소 플라즈마 세정 후 Si 표면의 분석을 위하여 TXRF(total x-ray reflection fluorescence)와 AFM(atomic force microscope)측정을 실시하였다. 리모트 수소 플라즈마 세정 처리 후 Cu 불순물 농도는 2 order 감소하였으며 RMS roughness는 30% 이상 향상되었다. 리모트 수소 플라즈마 세정이 Cu의 제거에 효과적이며 Si 표면의 거칠기에 나쁜 영향을 주지 않음을 TXRF와 AFM 분석결과로부터 알 수 있었다. Cu 불순물의 흡착 메커니즘은 산화 환원 전위 이론으로 설명될 수 있으며, Cu 불순물의 제거 메커니즘은 XPS(x-ray photoelectron spectroscopy) 분석결과를 근거로 하여 다음과 같이 설명할 수 있다: 먼저 Cu 이온이 Si 표면에 흡착되어 화학적 산화막을 생성한다. 그 다음, 수소 플라즈마 중의 반응성이 강한 수소이온이 이 산화막을 분해시켜 제거하며 Cu 불순물은 산화막이 제거될 때 함께 제거된다.

Abstract Removal of Cu impurities on Si substrates using remote H-plasma was investigated. Si substrates were intentionally contaminated by 1ppm CuCl₂ standard chemical solution. To determine the optimal process condition, remote H-plasma cleaning was conducted varying the parameters of rf power, cleaning time and remoteness(the distance between the center of plasma and the surface of Si substrate). After remote H-plasma cleaning was conducted, Si surfaces were analysed by TXRF(total x-ray reflection fluorescence) and AFM(atomic force microscope). The concentration of Cu impurity was reduced by more than a factor of 10 and its RMS roughness was improved by more than 30% after remote H-plasma cleaning. TXRF analysis results show that remote H-plasma cleaning is effective in eliminating Cu impurity on Si surface when it is performed under the optimal process condition. AFM analysis results also verifies that remote H-plasma cleaning makes no damage to the Si surface. The deposition mechanism of Cu impurity may be explained by the redox potential(oxidation-reduction reaction potential) theory. Based on the XPS analysis results we could draw a conclusion that Cu impurities on the Si substrate are removed together with the oxide by a "lift-off" mechanism when the chemical oxide(which forms when Cu ions are adsorbed on the Si surface) is etched off by reactive hydrogen atoms.

1. 서 론

집적 회로의 제조 기술은 지난 40여 년간 눈부신 발전을 거듭하여 메모리 소자의 경우 세계 주요 반도체 제조회사들이 이미 256M DRAM을 개발하였으며, 머지 않아 기가(giga)급 소자 시대가 도래할 것으로 전망된다. 이처럼 반도체 소자의 집적도가 증가하여 패턴이 미세화 됨에 따라 기판 세정의 중요성도 더욱 강조되고 있다. 집적회로의 소자 성능, 신뢰성 및 생산 수율이 기판 표면의 오염 물질, 먼지 등과 같은 불순물의 존재에 의해 크게 좌우되기 때문이다^{1,2)}.

기판 표면에 존재하는 오염 물질은 대체로 유기오염, 금속오염물, 자연 산화막 또는 화학적 산화막 및 먼지(particle) 등으로 분류할 수 있다. 이 중에서도 특히 금속오염물은 반도체 소자의 성능을 크게 저해하는 데도 기존의 습식세정(wet cleaning) 단독으로는 제거하기가 점점 어려워지고 있다³⁾.

금속 불순물 중에서도 특히 Fe, Cu, Ni, Zn, Cr, Au, Hg, Ag 등의 중금속(havy metal)이 실리콘 소자에 가장 유해하며 이 중에서도 기전력 서열(또는 전기음성도)이 Si 보다 높은 금속오염물은 반도체 제조 공정에 사용되는 화학용액(특히 HF를 함유한 에칭액) 내에서 갈바닉(galvanic) 거동에 의하여 Si 기판 표면에 흡착하는 경향을 나타낸다. 또한 금속 불순물(metallic impurity)은 반도체 공정 중에 쓰이는 각종 화학 용액, photoresist, DI water 나 기판 carrier로부터 오염될 수 있으며⁴⁾, 이온 implantation이나 RIE(reactive ion etching), 스퍼터링 등의 공정은 Si 기판 표면에 $10^{11} \sim 10^{12}$ atoms/cm² 수준의 금속오염을 발생시키는 것으로 보고되고 있다⁵⁾.

만일 이러한 금속불순물이 제거되지 않는다면, Si 벌크내로 확산해 들어가서 금지대내에 새로운 에너지 준위를 형성하고 이것은 트랩(trap) 즉 generation/recombination center로 작용하여 minority carrier의 수명을 감소시키고 반도체 표면전위의 불안정을 유발한다. 또한 과도한 누설전류를 발생시키고 PN 접합의 누설전류를 증가시키는 등 소자의 성능과 신뢰성, 제품수율 등에 나쁜 영향을 주고 있다. 그 외에도 에피 성장시에 핀홀(pin hole),

void 등과 같은 결함의 seed로 작용하고, 제이트 산화막의 breakdown voltage의 감소, 사진식각, 에칭, 증착과 린싱(rinsing) 등의 공정을 방해하는 작용을 하는 것으로 알려지고 있다⁶⁾.

본 연구에서 여러 금속 불순물 중에서 Cu를 선택한 이유는 Si 기판을 CuCl₂ 용액에 침잠시킬 때 Cu의 전기음성도가 Si의 그것보다 높아 Si 기판 표면에 Cu가 흡착되기 때문이다. 즉, 전기음성도가 Si보다 더 낮은 금속의 경우에는 그 금속이 Si 표면에 흡착되기보다는 수용액 중에서 이온으로 존재하려는 경향이 강한데 반해, Si 보다 전기음성도가 더 높은 Cu의 경우에는 Si 표면에 흡착되어 오염원으로 작용하려는 경향이 더 강하다. Si보다 전기음성도가 더 높은 금속에는 Cu 외에도 Au, Pt, Ag, Pd, Hg, Ni 등의 중금속 등이 있으며, 이러한 금속불순물들이 일반적으로 Si보다 전기음성도가 낮은 금속불순물보다 더 제거하기가 어렵다. 이러한 중금속들 중에서 Cu가 Si 기판을 오염시키는 대표적인 불순물 중의 하나로 알려져 있으므로 본 연구에서는 Cu를 선택한 것이다⁷⁾.

금속 오염물로서의 Cu의 제거에 관한 본 논문의 결과는 타 금속 불순물의 제거를 위한 공정조건의 결정과, 그 제거 메커니즘의 규명에 도움을 줄 것으로 기대된다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 실험에 사용된 장비의 개략도이다. PECVD(plasma enhanced CVD)로 diffusion 펌프가 장착되어 있다. 실험 전반에 걸쳐 p-type, (100), 4inch, 저항 22-38Ωcm인 Si 기판이 사용되었고, 실험 순서도는 Fig. 2에 보인 바와 같다. Si 기판의 예비 처리를 다음과 같이 실시하였다. 우선 piranha 세정(H₂SO₄ : H₂O₂=4 : 1)을 10분 동안 실시하여 기판 표면에 있는 유기 오염을 제거하였다. 이와 같은 유기 오염이 Si 기판 위에 존재하면 Cu 불순물이 균질하지 못하고 수소 플라즈마에 의한 Cu의 제거도 여의치 않으므로 유기 오염의 제거는 필수적이다^{8,9)}. 다음으로 HF 용액(HF : DI water=1 : 10)에 10초 동안 세정하여 자연 산화막을 제거하였다. HF 세정이 끝난 기판을 DI water rinse(5min)와 spin dry(10min) 처리를 하여 시편의 예비 처리를

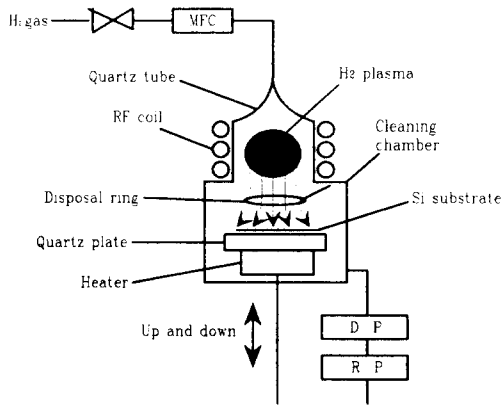


Fig. 1. Schematic of PECVD(plasma enhanced CVD) system.

마쳤다. 이렇게 준비된 Si 기판을 1ppm CuCl₂ 표준 화학 용액에 5분 동안 침잠시켜 인위적으로 Cu의 오염을 가한 후 DI water rinse (5min)와 spin dry(10min)를 실시하여 수소 세정 챔버에 넣어 기판을 플라즈마 중심부에서 20cm 아래에 위치시켰다. 기본진공도는 5×10^{-6} Torr, 공정 압력은 620mTorr, 그리고 H₂ gas의 flow rate는 100sccm로 고정시켰으며, rf power(60W와 100W)와 세정시간(5min, 10min, 15min), 거리(20cm, 16cm, 12cm)-여기서 거리는 수소 플라즈마의 중심에서 Si 기판 표면까지의 거리를 의미한다-의 공정 변수들을 조정하면서 최적의 공정조건을 찾고자 하였다. Si 기판 표면 분석을 위해 TXRF (Rigaku Inc., Model No. : 3726)와 AFM(Park Scientific Instruments Inc., Model No. : AutoProbe cp)을 사용하였으며, Cu 불순물의 제거 메커니즘의 규명을 위해 XPS(SSI Inc., Model No. : 42803-S)분석을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

TXRF 및 AFM 분석결과

Cu는 빠른 속도를 가지고 Si 벌크내로 확산하는 원소들 중의 하나이며, 이론과 실험을 통해서 Cu는 p-type Si 벌크내의 B(boron)와 중성 복합체를 형성하여 boron acceptor를 비활성화 시킴으로써 전기적으로 활성화된 acceptor의 양을 크게 감소시키는 것으로 알려져 있다^(10,11). 아울러 Cu는 Si 내에서 재결합 센터(recombination center)로 작용하여 mi-

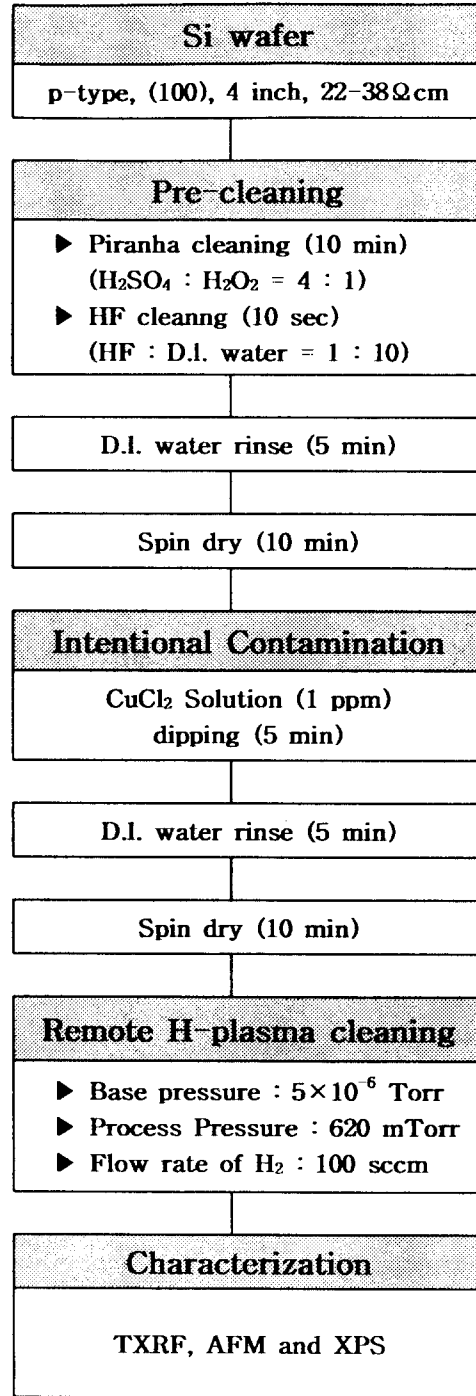


Fig. 2. Experimental procedure.

nority carrier 수명을 감소시키므로 Si 소자의 동작에 나쁜 영향을 미친다⁽¹²⁾. 본 실험에서는 이와 같이 반도체 회로에 나쁜 영향을 주는 금속 중의 대표적인 Cu를 오염원으로

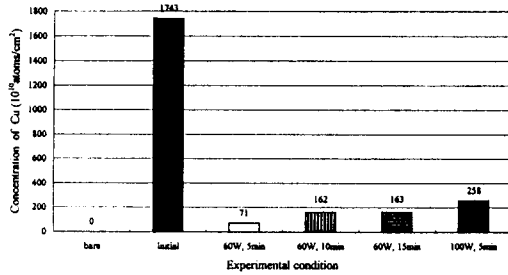


Fig. 3. Effects of cleaning time and rf power on the removal of Cu impurity by remote H-plasma.

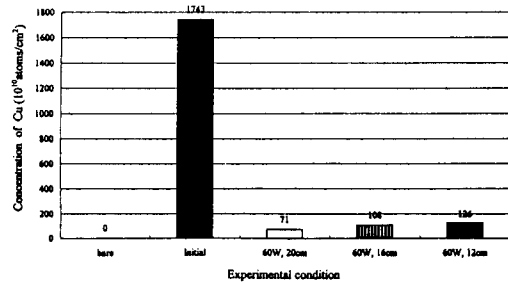


Fig. 4. Effects of remoteness on the removal of Cu impurity by remote H-plasma.

삼아서 수소 플라즈마의 Cu 불순물에 대한 제거 능력을 알아보려고 하였다.

Fig. 3은 세정시간에 따른 Cu 제거 효과를 보여주고 있다. 여기서 “bare” 시편은 Si 기판 상자에서 바로 꺼낸 기판을 의미하며, “initial” 시편은 예비 처리를 거친 다음 CuCl₂ 표준 용액으로 Cu를 오염시킨 기판을 의미한다. “initial” 시편은 그 위에 잔류하는 Cu 불순물의 농도와 리모트 수소 플라즈마 세정을 실시한 Si 표면에 잔류하는 Cu 불순물의 농도를 비교하는 기준으로 삼았다. “initial” 시편의 Cu 불순물 수준은 1.7×10^{13} atoms/cm²이었다. 한편, Fig. 3에 보인 것과 같이 리모트 수소 플라즈마 세정처리를 한 시편들의 Cu 불순물 수준을 비교해 보았을 때 Cu 불순물 농도는 훨씬 더 낮은 수준으로서, 이것으로부터 리모트 수소 플라즈마 세정이 Cu 불순물의 제거에도 효과가 있음을 알 수 있다. 세정 효과는 5분 동안 리모트 수소 플라즈마 처리를 했을 때 오염 수준이 10^{11} atoms/cm²이었으며, 세정시간이 증가할수록 오히려 Cu 불

순물이 약간 증가하는 경향을 보였다. 세정시간이 10, 15분일 때의 Cu 불순물 수준은 약 1.6×10^{12} atoms/cm²이었다.

한편, 세정시간을 5분으로 고정시키고, rf power를 100W로 변화시켰을 때의 Cu 불순물은 2.5×10^{12} atoms/cm²로 나타나 rf power를 증가함에 따라 리모트 수소 플라즈마 세정 효율이 감소함을 알 수 있다.

Fig. 4에서는 거리에 따른 Cu 불순물의 제거 효과를 나타내었다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 거리가 20cm였을 때 Cu 불순물은 1.7×10^{13} atoms/cm²에서 7.1×10^{12} atoms/cm²로 감소하였으며, 이 경우의 세정 효과가 가장 우수하였다. 거리가 16cm, 12cm로 감소할수록 Cu 불순물은 10^{12} atoms/cm² 수준으로 점점 증가하는 경향을 나타내었다.

이와 같이 세정시간이 증가할수록, rf power가 커질수록, 거리가 감소할수록 Cu 오염이 증가된 것은 다음과 같은 이유 때문인 것으로 사려된다. 즉, 본 연구에서 상기의 공정조건에 의하여 Cu 오염이 증가된 것은 제거된 Cu 오염의 재흡착 속도(redeposition rate)가 증가되었기 때문으로 생각된다¹³⁾. 타 연구자들의 보고에 따르면, 일반적으로 세정 장비를 비롯한 각종 진공 장비 챔버내에 존재하는 가장 일반적인 불순물은 수증기(water vapor)이며, 수증기는 챔버문을 여닫을 때 챔버벽에 흡착되거나, 챔버내로 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 Cu와 화학적으로 반응하여 산화물(oxide)을 형성하여 Si 표면을 재오염시킨다. 이러한 이유 때문에 플라즈마 세정 시간이 증가할수록, rf power가 커질수록, 거리가 감소할수록 Cu 오염량이 오히려 증가된 것으로 사려된다. 한편, 이때 잔류하던 H는 수소 플라즈마의 흐름과 함께 진공펌프에 의해 배출된다.

Fig. 5는 리모트 수소 플라즈마 세정 처리 시간에 따른 Si 기판 표면의 RMS(root mean square) 값의 변화를 나타내 주고 있다. 여기

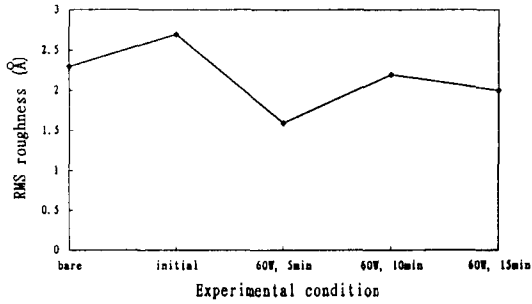


Fig. 5. RMS values under the varied cleaning time.

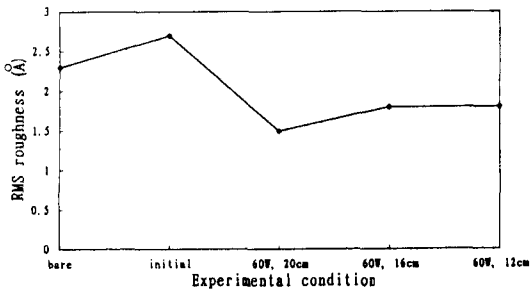


Fig. 6. RMS values under the varied remoteness.

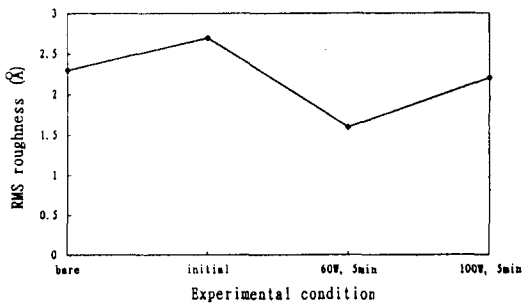


Fig. 7. RMS values under the varied rf power.

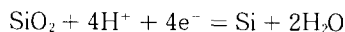
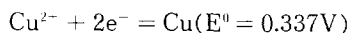
서 RMS(rms roughness)값은 표면의 거칠기를 나타내는 값으로, 절대값이 작을수록 시편의 표면이 평탄함을 의미한다. “initial”의 RMS 값이 2.7 Å인데 비해 5분 동안 리모트 수소 플라즈마 처리한 경우에는 1.6 Å으로 가장 좋은 값을 얻었다. 세정시간이 10분과 15분인 경우에는 각각 2.2 Å와 2.0 Å이었다. 세정 처리 시간이 길어질수록 점차 RMS 값이 증가함으로써 Si 기판 표면이 더 거칠어지는 경향을 나타내었다. 이것은 세정시간이 길수록 Cu 제거 효율이 감소되는 TXRF 결과처

럼 Si 표면에 있는 Cu가 표면 거칠기에 나쁜 영향을 주고 있음을 의미한다. 또한 Fig. 6은 거리에 따른 RMS 값의 변화를 보여준다. 거리가 클수록 표면의 손상이 적어 더 우수한 RMS 값을 얻을 수 있었다. Fig. 7은 rf power의 변화에 따른 RMS 값의 변화를 보인 것이다. rf power가 60W에서 100W로 증가할 때 RMS 값이 1.6 Å에서 2.2 Å로 증가하였으나 “initial”이나 “bare”에 비하면 여전히 낮은 표면 거칠기 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 일련의 AFM 결과로부터 리모트 수소 플라즈마 세정이 Si 기판 표면의 거칠기에 나쁜 영향을 끼치지 않음을 확인할 수 있다.

이상의 실험결과로부터 리모트 수소 플라즈마 세정이 최적의 공정 조건하에서 실시될 경우 Si 기판 표면의 Cu 불순물을 제거하는 데에 효과적임을 알 수 있으며, 본 연구에 사용된 세정 시스템에서의 최적 공정 조건은 rf power : 60W, 세정시간 : 5min 그리고 거리 : 20cm임을 알 수 있다.

Cu 불순물의 흡착 및 제거 메커니즘

본 논문의 저자들¹⁴⁾은 Morinaga 등의 보고¹⁵⁾를 토대로 하여 CuCl₂ 용액 중에서 Si 기판 표면 위로의 Cu 불순물 흡착 메커니즘을 Fig. 8(a)와 같이 제안한 바 있다. 즉, CuCl₂ 용액 내에 Si 기판을 침잠시킨 경우 Si 표면에서 Cu가 흡착되는 반응은 표준 수소 전극(SHE, standard hydrogen electrode) 또는 산화 환원 전위(oxidation-reduction reaction potential) 차이로 일어난다. 여기서 산화 환원 전위는 산화 환원 반응시 반응에 관여하는 물질의 산화 또는 환원 여부를 알 수 있는 기준이 된다. 다시 말하면, 산화환원전위가 크면 환원성이 더 크고 반응이 더 자발적이다. 본 실험의 경우에 있어서 Cu는 Si보다 훨씬 더 큰 산화 환원 전위를 갖고 있기 때문에 Cu²⁺ 이온은 Si으로부터 전자를 얻어 금속 오염원으로서의 Cu로 환원되고 이렇게 환원된 Cu가 Si 기판 표면 위에 흡착되는 것이다. 이 때 Cu의 환원 반응과 Si가 전자를 방출하는 반응은 다음과 같다.



$$(E^0 = -0.84\text{V})$$

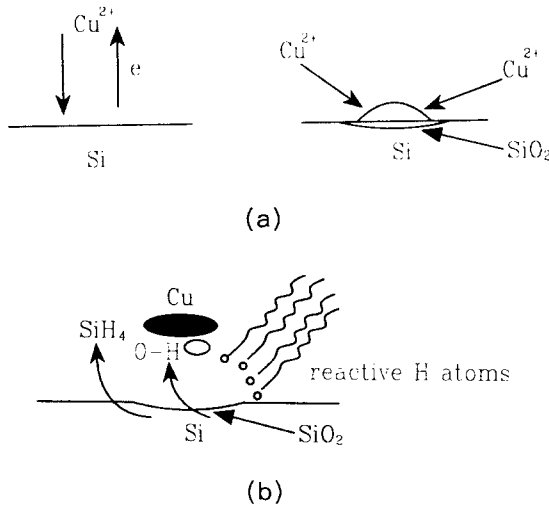


Fig. 8. (a). Mechanism of Cu deposition.
 (b). Mechanism of Cu removal by remote H-plasma.

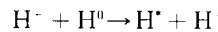
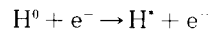
이 반응 중에 Si 기판 표면에서 발생한 전자로 인하여 Cu가 흡착된 바로 하단층에 화학적 산화막(chemical oxide)이 형성된다^{14,15}.

한편, Si 기판 표면에 흡착된 불순물이 건식 세정법에 의하여 제거되는 메커니즘으로는 지금까지 다음의 4가지가 제안된 바 있다³. 첫째, 플라즈마 소스로부터 가속된 이온이 Si 기판 표면위의 불순물을 물리적인 힘의 전달에 의하여 제거하는 “스퍼터-오프(sputter-off)” 메커니즘이다¹⁶. 둘째, 화학적으로 반응성이 강한 기상의 세정물질과 Si 기판 표면의 불순물이 화학적으로 반응하여 휘발성이 강한 화합물을 생성하여 증발, 제거되는 “증발(evaporation)” 메커니즘이다¹⁷. 셋째, 불순물 바로 하단층을 반응성이 강한 화학종이 약하게 에칭할 때 그 위에 존재하던 불순물도 함께 제거되는 “리프트-오프(lift-off)” 메커니즘이다¹⁸. 넷째, 이른바 “온도 상승(elevated temperature)”법으로 진공 챔버내에서 Si 기판의 온도를 상승시키고 화학적으로 반응성이 있는 기체를 유입하여 Si 기판위의 불순물과 화학종이 반응하여 휘발성이 강한 화합물을 생성하여 제거되는 메커니즘¹⁹으로, 두번째 메커니즘의 보완적인 형태이다.

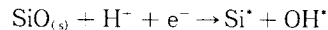
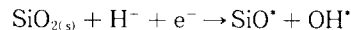
그런데 첫째 메커니즘은 비교적 원자량이 큰 Ar 플라즈마의 경우에는 적용될 수 있으나, 본 실험에서 사용된 수소 플라즈마의 경

우에는 수소의 원자량이 작아 적용되기 어렵다. 둘째 메커니즘은 일반적으로 금속과 수소 간의 화합물의 증기압이 매우 낮아 휘발성이 거의 없으므로 적용되기 어렵고, 넷째 메커니즘은 본 실험이 저온(상온)에서 실시되었으므로 역시 적용되기 어렵다. 본 실험의 리모트 수소 플라즈마에 의한 Cu 불순물의 제거는 두 번째의 “리프트-오프(lift-off)” 메커니즘으로 설명될 수 있으며, Fig. 8(b)에 보인 바와 같다. Fig. 8(b)는 리모트 수소 플라즈마에 의한 Cu 불순물의 제거를 도식적으로 나타내 주고 있다.

우선 수소 플라즈마 내에서 수소 라디칼(H[·]) 들은 전자와 이온의 충돌 과정에 의해서 생성될 것이다.



이러한 반응에서 H⁻, H₂⁻, H₃⁻ 등의 수소 이온들이 발생하게 되며 수소 이온에 의한 화학적 산화막의 에칭 반응이 다음과 같이 일어날 것이다²⁰.



자연 산화막이나 화학적 산화막이 Si 기판 표면에 존재하는 경우, 기판 표면의 산화막이 수소 이온과의 화학적인 반응에 의해 에칭되어 제거된다^{21,22}. 본 실험에서 Si 표면의 화학적 산화막이 리모트 수소 플라즈마에 의하여 에칭된다는 사실은 XPS(x-ray photoelectron spectroscopy) 분석결과로부터 확인할 수 있다. Fig. 9는 Si 기판을 CuCl₂ 1ppm 용액으로 Cu 오염을 가한 “initial” 시편의 XPS 분석결과이며, Fig. 10은 TXRF와 AFM 결과에서 얻은 최적 공정인 60W, 5분의 조건으로 리모트 수소 플라즈마 세정을 실시한 시편의 XPS 분석결과이다. Fig. 9와 Fig. 10의 산소(O)와 탄소(C)의 peak를 비교해 보면, 리모트 수소 플라즈마 세정에 의하여 산소와 탄소의 양이 모두 감소하였음을 알 수 있는데, 이것은 리모트 수소 플라즈마 세정에 의하여 Si 기판표면의 산화막이 에칭되었음을 의미하는 것이다. 따라서 Cu의 제거 메커니즘은 Si 표면 위에 흡착된 Cu의 아래에 형성된 화학적 산화막(chemical oxide)이 반응성이 큰 수소 원자와 반응하여 제거되며, 이 산화층이 제거

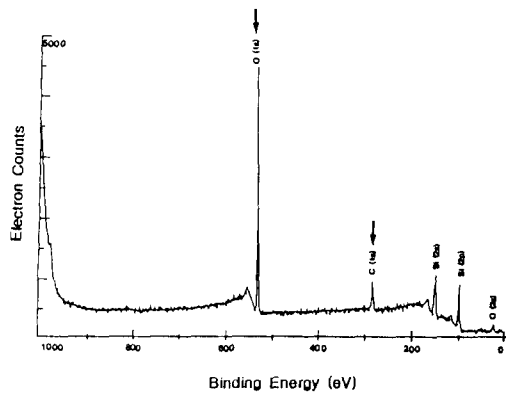


Fig. 9. XPS analysis result of Si substrate("initial" : intentionally Cu-contaminated Si substrate).

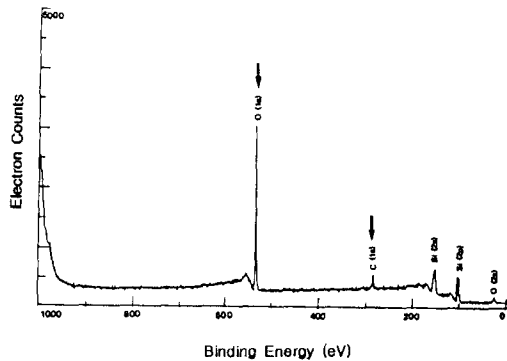


Fig. 10. XPS analysis result of Si substrate after remote H-plasma cleaning(60W, 5min).

될 때 Cu도 함께 제거되는 "리프트-오프(lift-off)" process이라 할 수 있다.

4. 결 론

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

시편을 1ppm CuCl_2 표준 용액에 오염시켜 리모트 수소 플라즈마 세정을 실시하였을 때 Cu 불순물 농도가 세정처리 전에 비하여 현저한 감소를 보였고, 그 범위는 10^{11} atoms/cm² ~ 10^{11} atoms/cm² 수준이었다. 이 결과로부터 리모트 수소 플라즈마 세정이 최적의 공정 조건하에서 이루어진다면, Cu 불순물의 제거에 우수한 효과가 있음을 알 수 있다. 본 실험에서 사용한 PECVD 장비로 얻은 최적의 공정 조건은 rf power가 20W, 세정시간이 5분, 수

소 플라즈마 중심부와 Si 기판 표면간의 거리가 20cm이었다.

리모트 수소 플라즈마법에 의한 Si 기판 표면의 Cu 불순물 제거 메커니즘은 XPS분석결과를 토대로 다음과 같이 설명할 수 있다: 먼저 Cu 이온이 Si 표면에 흡착되어 화학적 산화막을 생성한다. 그 다음 수소 플라즈마 내에서 발생한 반응성이 강한 수소 이온이 이 산화막을 분해시켜 제거한다. Cu 불순물은 산화막이 제거될 때 산화막에 붙어 함께 떨어져 나가게 된다. 또한 AFM 분석 결과 리모트 수소 플라즈마법은 실리콘 기판 표면에 거의 손상을 주지 않음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1995년도 한국전자통신연구소(ETRI)의 연구비 지원으로 수행되었으므로 이에 감사드립니다. 또한 TXRF와 SPV의 측정과 분석에 도움을 주신 RIST의 류근걸 박사님을 비롯하여 서광, 김홍락, 강성건, 김동수씨에게 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 서울대학교 반도체 공동연구소, *Plasma Technology For ULSI Process*, p. 5, (1995)
2. W. R. Runyan and K. E. Bean, *Semiconductor Integrated Circuit Processing Technology*, pp. 12~19, Addison-Wesley Publishing Company, USA, (1990)
3. W. Kern, *Handbook of Semiconductor Wafer Cleaning Technology*, pp. 3~9, NOYES Publishing company, New Jersey, USA, (1993)
4. S. Verhaverbeke, P. W. Mertens, M. Meuris, M. M. Heyns, A. Schnegg and A. Philipossian, Technical Conference SEMICON Europe 92, Zurich, March 10-11, 1992, in Progress im Semiconductor Fabrication (SEMI Europe, Brussels, 1992)
5. T. Ohmi, T. Imaoka, I. Sugiyama and T. Kenzuka, *J. Electrochem. Soc.*, **139**(11), 3317 (1992)
6. J. A. Sees and L. H. Hall, *J. Electrochem.*

- Soc., **142**(4), 1238 (1995)
7. K. Graff, **Metal Impurities in Silicon-Device Fabrication**, pp. 5~24, Springer, Germany, (1995)
 8. H. F. Schmit, M. Meuris, P. W. Mertens, S. Verhaverbeke, M. M. Heyns, IMEC and K. Dellenbeck, formerly of Ashland Chemical, **Microcontamination** September/October, 27(1993)
 9. C. W. Nam and S. Ashok, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B12**(5), 3010 (1994)
 10. J. Lagowski, **Surface Science The First Thirty Years-Volumes 299/300**(Charles B. Duke, Webster N.Y., eds.), p.100, NORTH-HOLLAND, Netherlands, (1994)
 11. 박기철, 김기범, *한국재료학회지*, **5**(2), 169(1995)
 12. G. Gould and E. A. Irene, *J. Electrochem. Soc.*, **134**, 1031 (1987)
 13. S. M. Rossnagel, J. J. Cuomo, and W. D. Westwood, **Handbook of plasma processing technology**, pp 1~12, Noyes publication, Park Ridge, New Jersey, U. S.A.
 14. T. H. Ahn, M. G. Park, K. Ryoo, C. Lee and H. Jeon, **Proc. the Third IUMRS International Conference in Asia**, 2, p. 746, S. W. Kim and S. J. Park, Eds., The MRS-K, Seoul, Korea (1995)
 15. H. Morinaga, M. Suyama and T. Ohmi, *J. Electrochem. Soc.*, **141**(10), 2834 (1994)
 16. J. C. Bean, G. E. Baker, P. M. Petroff and T.E. Seidel, *J. Electrochem. Soc.*, **48**, 907(1977)
 17. G. Ghidini and F. W. Smith, *J. Electrochem. Soc.* **131**, 2924 (1984)
 18. T. Ito, R. Sugino, S. Watanabe, Y. Nara and Y. Sato, in : **Proc. First intern. Symp. on Cleaning Technol. in Semicond. Dev. Manufacruring.**(j. Ruzyllo and R. Novak, eds.), pp. 114-120, The Electrochem. Soc., Pennington, N.J. (1990)
 19. S. Hossain, C. Pantano and J. Ruzyllo, *J. Electrochem. Soc.*, **137**, 10 (1990)
 20. B. Chapman, **Glow Discharge Process**, pp. 21 ~45, John Wiley & Sons, Inc., USA, (1980)
 21. M. Delfino, S. Salimian, D. Hodul, A. Ellingboe and W. Tsai, *J. Appl. Phys.*, **71**(2), 1006 (1992)
 22. W. Tsai, M. Delfino, M. E. Day, T. Sheng, B. C. Chung and S. Salimian, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A11**(5), 2526 (1993)