

Cleaning Technology의 최근 동향

沈 泰 彦

三星電子 半導體研究所

I. 서 론

1950년대 초반부터 반도체 소자의 제조에 있어 기관 표면의 청정화가 중요한 것으로 인식되어 왔고 반도체 초집적회로의 고 집적화 및 고 성능화에 따라, 세정기술(wafer cleaning technology)이 ULSI나 VLSI의 생산 수율 및 신뢰성에 크게 영향을 주는 요인이라는 점에서, 세정기술에 대한 요구 조건도 점점 엄격해지고 있다. 그러나, 1970년 소위 "RCA Standard Clean"¹⁾이라는 알칼리 및 산과 과산화수소(H₂O₂)를 기본으로 하는 웨이퍼 세정액이 제안된 이래 과거 30년간 이들 기본 구성의 약품은 거의 변하지 않았으며 현재도 널리 사용되고 있다. 그 이유는 RCA 세정법에 대체될 만한 혁명적인 방법이 없었다는 점이라 할 수 있으나, 초기에 비하여 세정 메카니즘의 이해, 약품 순도의 고도화, 설비의 개선 등에서 많은 변화를 가져왔고 최근에는 습식이 아닌 표면 세정법에 대한 시도도 활발히 전개되고 있다. 또한 숙명적으로 디바이스의 발전과 함께 요구되는 청정도가 계속 고도화하여 각 세대에 있어 최고 기술 수준의 청정도 요구를 만족시켜야 했고 앞으로도 만족시켜야 하는 기술이기도 하다.

세정 기술을 오염 제어(contamination control)기술이라고도 하는데 이는 세정기술이 웨이퍼 표면의 오염을 예방하고, CVD 에칭, 이온 주입등의 공정에서의 오염의 재 부착을 방지하는 것을 기본으로 하고 있기 때문이다. 따라서, 세정기술은 오염 제거공정 그 자체도 매우 중요하지만 클린룸 등의 환경과 세정 공정 전 또는 후의 CVD, 에칭, 불순물 이온주입 공정에서의 청정도도 매우 중요한 관제를 가진다. 최근 Ohmi²⁾등은 90년대 이후의 디바이스에 적합한 웨이퍼 세정을 위하여 1) 파티클(particle)의 부착, 2) 금속 오염, 3) 유기물 오

염, 4) 자연 산화막 형성, 5) 표면의 마이크로 라프네스(micro roughness), 6) 면내 균일성 등의 문제 해결이 필요하다고 주장하고 있다.

본고에서는 이러한 배경하에 환경 측면보다는 공정 그 자체에 대한 내용을 중심으로, 오염의 종류와 영향, 세정기술 및 건조기술 등을 소개하고자 한다.

II. 웨이퍼 표면 오염의 분류와 영향

1. 파티클

파티클은 환경 또는 공정중에 발생하는 먼지등의 이물질을 의미하며, 파티클의 웨이퍼 표면 부착은 특히 LSI 제조에서의 패터닝(patterning)에 가장 큰 영향을 미친다. 웨이퍼 상의 결함 밀도를 D, 패칭 면적을 A라 할 때 LSI의 수율은 잘 알려진 바와 같이 Poisson 식에 의하여,

$$Y = \exp(-DA) \quad (1)$$

로 주어지며 웨이퍼상 파티클이 결함을 유발하기때문에 LSI 수율은 부착입자수에 대하여 지수 함수적으로 저하함을 나타낸다. 일반적으로 LSI 수율에 영향을 주지 않는 파티클의 크기(최대 허용 particle size)는 디자인 룰의 1/10인 것으로 알려져 있다. 따라서 16M DRAM의 디자인 룰이 0.6 μ m라 하면 생산수율을 고려할 때 0.06 μ m 이상의 크기를 가진 파티클이 제어되어야 하는 것이다. 파티클의 수는 크기가 작아질수록 급격히 밀도가 높아지기 때문에 패턴의 미세화는 (1) 식에서의 D값을 증대시키게 되고 그 결과 LSI의 수율은 크게 감소하게 된다. 실제로 파티클이 패턴 결함 발생에 미치는 영향은 64K, 256K, 1M DRAM에서 각각 50%, 70%, 80%로서

패턴의 미세화에 의해 결함에 기여하는 비중이 증가하는 것으로 알려져 있다.^[5] 부착 입자는 사진 식각공정에서 뿐만 아니라 게이트 산화막의 절연 파괴 전제 열화에도 영향을 준다.^[4,5]

2. 금속오염

금속 오염원으로는 크게 알칼리 금속(Na, K등)과 전이금속(Fe, Cu, Ni, Cr 등)으로 나눌 수 있다. Na, K는 산화막중 정전하를 가지는 가동이온(mobile ion)으로 존재하며 MOS 디바이스의 불안정 요소일뿐 아니라 산화막 신뢰성 저하의 원인이 된다. 그림 1에 고의오염에 의한 표면오염농도와 절연막 파괴 불량율을 보였다.^[6] 동시 산화의 결과를 보면 오염 농도와 함께 불량율이 증가하는데 이는 Na, K가 가지는 산화 증속작용에 의하여 막두께가 변화하는 것이 원인인 것으로 추정하고 있다. 이 점을 고려하여 산화시간을 각 농도별로 조정함으로써 막두께를 25nm로 일정하게 하면 Na, K 오염의 영향이 거의 없어짐을 알 수 있다.

전이 금속은 금지대(forbidden band) 내에 깊은 캐리어 트랩 레벨(carrier trap level)을 형성하여 캐리어의 라이프 타임(life time)을 짧게 하고 pn접합의 리이크 전류를 증가시킨다. 그림 2는 n-p 접합 근방(1μm 이내)의 캐리어 트랩 밀도와 역 바이어스 리이크 전류의 관계를 보인 것이다. 트랩준위는 가전자대로부터 0.41eV의 위치에 존재하며 이 에너지 레벨에 해당하는 불순물은 Fe^[6]인 것으로 추정되는데 트랩 밀도와 접합 리이크 전류의 상관관을 잘 알 수 있다.

Si 결정내의 금속 오염은 캐리어 라이프 타임의 감소

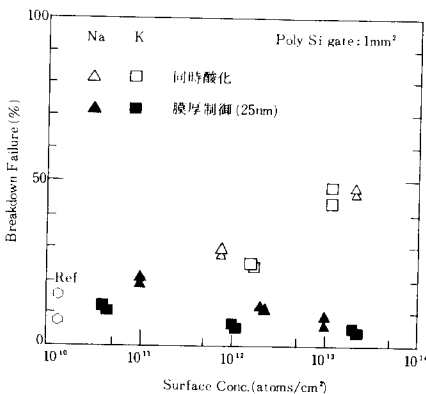


그림 1. 알칼리 금속이 절연파괴 (< 8MV/cm)에 미치는 영향

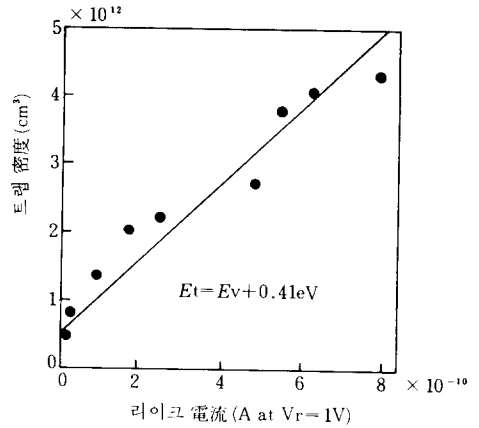


그림 2. n-p 접합의 리이크 전류와 트랩 밀도의 관계

를 가져오는 성질을 이용하여, 웨이퍼를 세정 처리후 산화하고 라이프 타임을 측정함으로써, 세정효과를 평가할 수 있다. 가장 많이 쓰이는 방법에는, C-t 측정 곡선을 Zerst plot^[7]하는 방법과 레이저 펄스광 조사에 의하여 발생된 캐리어가 감쇄되는 현상을 마이크로파의 반사파 강도로서 측정하는 μPCD(microwave photoconductivity decay) 법^[8]등을 들 수 있다. 전자가 측정하는 것은 발생(generation) 라이프 타임이고 후자가 측정하는 것은 재결합(recombination) 라이프 타임으로 후자는 비파괴 비접촉이라는 측면에서 편리한 방법이다. 그림 3^[9]은 각 금속을 고의로 표면 오염 시킨후 측정된 재결합 라이프 타임인데 Al, Ni, Fe, Cu의 순으로 라이프 타임이 감소되는 것을 알 수 있다.

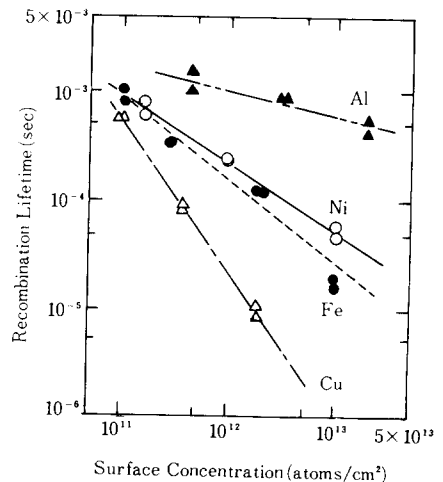


그림 3. 재결합 라이프 타임과 표면 오염과의 관계

전이금속은 열산화에 의하여 결정 결함을 형성시킨다. 기판을 산화 열처리한 후 OSF(oxidation induced stacking fault) 밀도를 측정하고 대응하는 영역에서의 오염 농도를 TXRF(total reflection x-ray fluorescence)로 측정한 결과^[10]를 그림4에 보였다. Fe, Ni은 OSF 발생에 강하게 영향을 미치며^[11] Cr, Ni은 부분 산화인 LOCOS(local oxidation of silicon)에서 발생하는 전위(dislocation)와 관계가 있다.^[12] 결과로 부터 Fe이 OSF 발생에 큰 영향을 주며 이온 주입에 의한 손상(damage)을 받은 기판은 이온 주입하지 않은 것에 비하여 OSF 발생 임계오염량이 1-2자리 낮음을 알 수 있다. 또한 세정 기술에 있어서 표면 오염을 10^0 atoms/cm²이하로 하여야 디바이스의 신뢰성을 확보할 수 있음도 알 수 있다.

금속 오염이 가장 심한 공정은, 레지스트 애싱, 드라이 에칭, 이온주입등으로, Fe의 경우 10^{12} - 10^{13} atoms/cm² 정도의 표면오염을 일으키며 Ni, Cu등도 10^{11} - 10^{12} 의 수준인 것으로 알려져 있다.^[13] 또한 슬라이드나 벨트형식의 웨이퍼 반송시스템도 암형식의 시스템에 비하여 오염도가 높다.

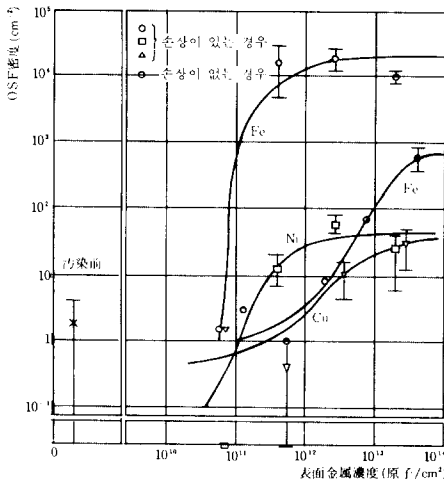


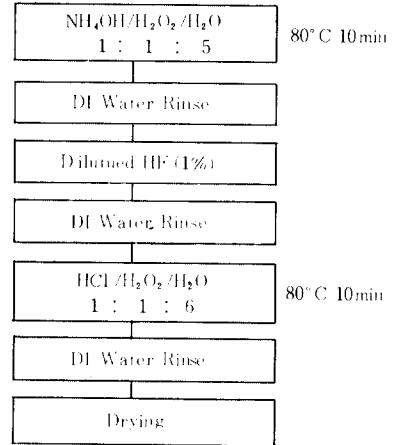
그림 4. 표면 오염 농도(손상이 있는 경우와 없는 경우)와 OSF 밀도의 관계

III. 세정기술의 동향

1. RCA 세정

Kern들이^[14]이 최초로 제안한 세정공정은 표1에 보인 바와 같이 알칼리 세정(NH₄OH+H₂O₂+H₂O)에 이어 산세

표 1. RCA 세정의 순서



정(HCl+H₂O₂+H₂O)을 하는 것으로 과산화수소는 기판의 산화제로서의 역할을 하게 된다. 전자를 SC-1, 후자를 SC-2 세정액이라고도 한다. SC-1은 과산화수소의 산화 및 분해 작용을 이용하여 연속적인 약한 에칭 작용으로 유기 오염막을 제거하는 한편, 금속(Au, Ag, Cu, Ni, Cd, Zn, Co, Cr등)은 암모니아의 착체(complex)로 만들어 분해 제거하는 역할을 한다. SC-2는 주로 알칼리 이온과 음이온(Al, Fe, Mg)을 제거하며 SC-1에서 완전히 제거되지 않은 금속을 녹기 쉬운 물질로 변환한다. 이들 세정액은 75-80°C에서 사용하게 되는데 그 이유는 적당히 높은 온도로서 충분히 세정액을 활성화 함과 동시에 적당히 낮은 온도로서 과산화수소의 분해가 급속히 진행되지 않는 선에서 설정된 것이다. 일반적으로 과산화수소는 분해를 방지하기 위하여 안정제가 첨가되어 있으며 pH가 높을수록 분해도 빨라 알칼리 세정액에서의 분해가 산세정액보다 빠르다.

상기 세정액 이외에도 초기 세정 또는 포토레지스트 제거후 세정 방법으로 황산보일(H₂SO₄ / H₂O₂ 2:1)이 널리 사용되고 있으며 표1에서 보인 희석 HF(1% HF·H₂O)도 빼어 놓을 수 없는 중요한 세정액의 하나이다. 표1의 경우, SC-1에서 생성되는 자연산화막은 Al이나 Fe과 같이 산화물 생성 엔탈피가 큰 원소를 끌어들이는 효과가 있는데, 이 산화막을 HF로 제거해 줌으로써 후속의 SC-2 세정효과를 높일 수 있다. 그림 5는 SC-1 액에서의 Al과 Fe 오염을 보인 것인데 Al과 Fe의 양쪽이 액 중 불순물농도의 증가에 비례하여 표면 불순물 농도가 증가함을 알 수 있다. 희석 HF 린스 사용시 주의할 점은 SC-1이나 SC-2에 의하여 생성된 산화막으로 친수성 표면이

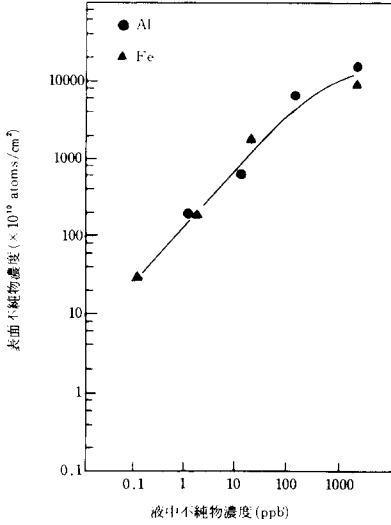


그림 5. SC-1 세정액중 Al 및 Fe 농도에 대한 표면 오염 농도

된 실리콘 웨이퍼가 HF 린스로 산화막이 세겨됨에 따라 소수성으로 변한다는 점이다. 소수성 표면은 환성화되어 있기 때문에 용액 및 환경으로부터의 파티클이나 유기물등에 오염되기 쉽다. 따라서 환경과약품등에 의한 오염을 막기 위해서는 표면을 어떤상태(친수성 또는 소수성)로 유지하느냐 하는 것은 매우 중요하며, 특히 게이트산화막 생성전 세정에서 어떤 표면 상태로 할 것인가 하는 점은 아직도 의논의 대상이 되고 있다. 또한 회석 HF 처리시는 Cu와 같이 Si보다도 이산화 경향이 작은 금속이 석출되기도 한다.^[14] 그림 6에 회석 HF 세정액으로부터의 금속 오염을 라이프 타임으로 평가한 결과를 보였다. Cu만이 세정액중 불순물 농도가 증가함에 따라 라이프 타임이 감소하는데 반하여 Al, Cr, Fe, Ni의 경우는 변하지 않았다는 점에서 Cu로 오염됨을 알 수 있다.

2. 습식 세정(wet cleaning)의 최근 연구

표 2는 SIMS, VPD-AAS, μ -PCD, TXRF 등의 특징과 문제점을 보인 것이다. μ -PCD 법은 10^{10} atoms/cm² 이하의 고감도 측정이 비접촉으로 가능하고 시료준비가 간편하다는 점에서 생산 라인의오염 모니터로 유용한 수단이다. TXRF는 바과과 검사라는 점에서 주목을 받고 있으며 비교적 낮은 감도(10^{10} atoms/cm²)에서 측정이 가능한 장치도 개발되고 있다. SIMS는 고감도이기는 하나 정량평가가 어렵고 Fe에 대한 감도가 매우 나쁘다는 문제점을 알고 있다. VPD-AAS(vapor phase dissociation-atomic

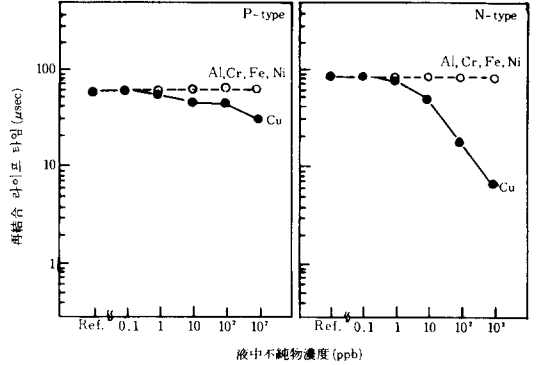


그림 6. 회석 HF 세정액중 금속 농도에 대한 재결합 라이프 타임

표 2. 금속 오염 분석 수단의 비교

방 법	특 징	문 제 점
SIMS	10^9 atoms / cm ² micro analysis depth profile	정량화가 어려움 Fe의 감도가 낮음
VPD-AAS	10^8 - 10^9 atoms / cm ²	웨이퍼 전면 분석 (파괴 분석)
μ -PCD	$\leq 10^{10}$ atoms / cm ² 비 접 촉	원소의 식별 불가능
TXRF	10^{10} atoms / cm ² 비 과 과	좀 더 고감도 필요

absorption spectroscopy)는 매우 고감도의 정량적인 분석 평가가 가능하다.^[15] 이 방법은 HF를 증발시켜 웨이퍼 표면의 자연 산화막을 분해한 후 초순수방울을 기판상에 떨어뜨리고 표면위에서 굴림으로써 분해된오염 원소를 회수하고 그 회수액을 AAS로 습식 분석하는 방법이다. 시료의 전처리가 매우 어려운 점과 파괴 검사라는 약점이 있으나, 10^8 - 10^9 atoms / cm²의 정량분석이 가능한 점에서 세정의 오염분석에 가장 유력한 수단으로 활용되고 있다. 그림 7은 VPD-AAS를 이용하여 평가한 각종 세정액의 금속오염 제거효과를 보인 것으로^[2] DHF / H₂O₂ 를 새로운 세정액으로 제안하고 있다. APM 세정액의 경우는 Al, Fe에 대한 제거효과가 낮고, HPM(SPM) 세정액에서는 Al이 잔류하며, 회석 HF 세정액에서는 Cu가 제거되지 않는다. 이에 대하여 DHF / H₂O₂ 세정액으로는 Cu를 포함하여 모든 금속이 검출하한 이하임을 알 수 있다. 이때의 H₂O₂ 농도는 0.1%를 넘으면 제거 효과를 기대할 수 있으며, H₂O₂의 첨가에도 불구하

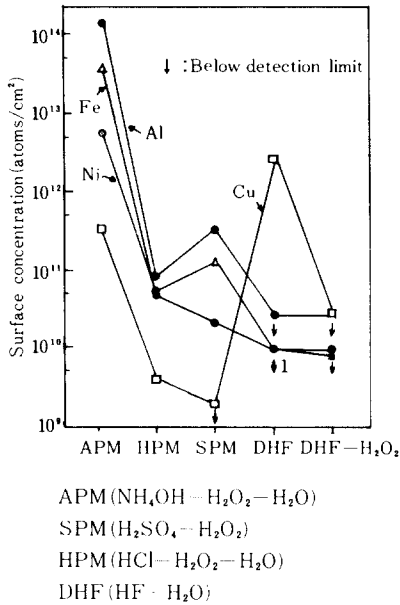


그림 7. 각종 세정액중 금속 농도에 대한 표면 오염농도(1ppm으로 오염시킴)

고 XPS에 의한 자연산화막 평가 결과, H₂O₂의 농도와 무관하게 DHF만으로 세정한 시료와 같은 산화막 두께였음이 보고되고 있다.

세정 기술에 있어 약품의 순도는 가장 중요한 요소이다. 세정액의 구성약품중 가장 순도가 높은 초순수로 희석함으로써 약품 소비량 절약과 오염 감소를 동시에 실현할 수 있다. 그림 8은 SC-1계 및 SC-2계의 희석비에 따른 금속오염 제거능력을 보인 것이다.^[2] NH₄OH의 경우는 5%까지 희석이 가능하며 HCl의 경우, 희석하여도 오염제거 능력은 유지됨을 알 수 있다. 파티클 측면에서는 SC-1의 경우 NH₄OH가 5%인 경우 가장 파티클 제거 능력이 뛰어난 것으로 알려져 있다. SC-1은 NH₄OH를 기본으로 하고 있기 때문에 웨이퍼 표면의 에칭이 심한 편인데 그림 9에 보인 바와 같이 NH₄OH의 조합비를 낮춤으로써 표면의 마이크로 라프네스(microroughness)를 줄일 수 있다. 마이크로 라프네스는 게이트 산화막의 절연 파괴특성과 깊은 관계가 있으며 기관 표면이 거칠수록 산화막의 특성은 나빠진다.

습식 세정에 있어 앞으로 가장 중요한 과제는 약품의 순도와 약품중 파티클의 최소화인데 특히 후자는 매우 심각하여 현재 리터당 만개의 수준이므로 이에 대한 생산, 수송용기등의 개선대책이 요구되고 있다.

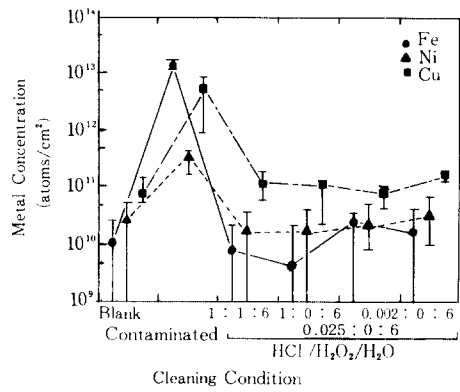
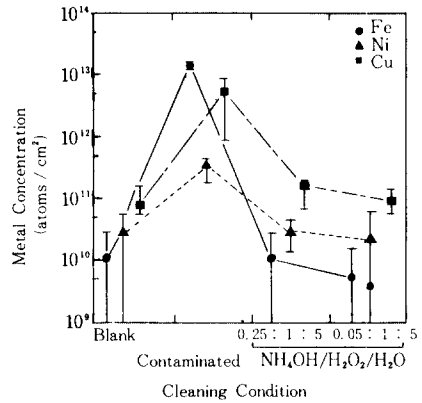


그림 8. NH₄OH 및 HCl 희석비에 따른 SC-1 및 SC-2의 금속오염 제거효과

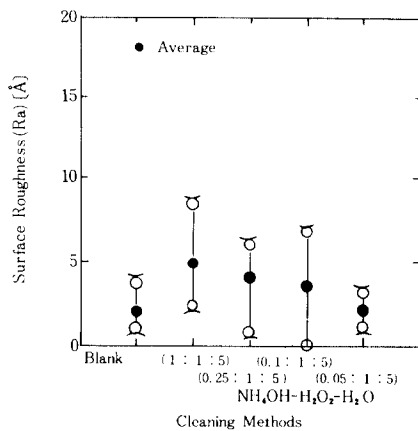


그림 9. SC-1의 NH₄OH 희석비에 따른 표면의 마이크로 라프네스(micro roughness)의 변화

3. 건식 세정(dry cleaning)과 건조(drying)

자외선(ultraviolet light)이 유기 분자를 분해 시킬 수 있다는 것은 오래 전부터 알려져 있었으나 자외선을 이용한 세정 연구가 시작된 것은 70년대 중반 이후부터였다.^[16-18] 1976년 이후부터 UV오존을 이용한 세정방법이 본격적으로 연구되기 시작하였으며 현재는 상업적인 제품도 시판되고 있다.

자외선은 저압 수은등을 이용하여 발생시키는데 184.9 nm의 파장을 가진 자외선은 O_2 에 흡수되어 O_3 를 발생시키는 역할을 하며, 253.7nm의 파장을 가진 자외선은 대부분의 유기물에 의하여 흡수되는 한편, O_3 에 의하여서도 흡수되어 오존을 산소로 재분해하기도 한다. 이러한 자외선의 흡수과정을 통해 유기 오염분자들과 발생기 산소가 반응하여 더 작고 휘발성 있는 분자(주로 탄산개스와 물)들로 분해된다. 이 방법은 표면에 흡착된 유기물들을 산화시켜 제거하는 데에는 상당히 유효하나 무기물이나 금속 오염을 제거하는 데에는 부적합한 면이 있다. 그 응용으로서 산화전 세정시 SC-1/SC-2/HF-H₂O 세정을 한 후 UV오존을 적용하여 산화막질이 개선되었다는 보고가 있으며,^[19] 유기물 제거용으로 현재 사용하고 있는 SC-1을 UV오존으로 대체할 수 있는 가능성도 제시되었고,²⁰ 포토레지스트 앓싱후 처리로서 UV오존의 사용을 검토하는 등²¹ 연구가 활발히 진행되고 있다.

산화막이나 또는 자연 산화막의 제거하는 새로운 방법으로, 일반적으로 사용되는 HF 용액대신 무수 HF가스를 이용하여, 실온에서 산화막을 식각하는 장비가 개발되었다.^[22] 공급개스로는 질소, 초순수증기 그리고 순수 HF 개스가 사용되며, 질소는 캐리어 개스로, 수증기는 HF와 산화막과의 반응과 식각의 진행을 돕기 위하여 사용된다. 또한 최근에는 HF와 H₂O를 등비점(azetropic point)에서 베이퍼(vapor)화 하는 세정장비가 개발되었으며 이 장비의 구조는 그림 10에 보였다. 각각의 베이퍼라이저를 통과한 HF 증기와 수증기가 감압상태의 프로세스 챔버에 주입되고 챔버내에서 혼합되어 기판표면에서 산화막식각이 진행된다. 최근, 이 방법에 의한 HF 베이퍼 세정의 기본 메카니즘 및 응용에 대한 연구결과가 보고 되고 있고^[23] 지금까지 설명한 UV오존 세정과 HF 베이퍼 세정을 조합하여 사용함으로써 현재 널리 쓰이는 습식세정과 대체하기 위한 연구도 활발히 진행되고 있다.

세정 공정중에서의 마지막 과정은 초순수린스와 건조의 연속공정이다. 린스는 초순수를 가득 채운 배스에 웨이퍼를 잠기게 하고 초순수를 계속 공급하여 물이 넘치

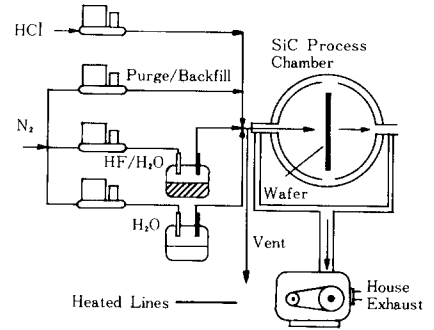


그림 10. HF 베이퍼 세정 장비


는 상태에서 진행된다. 이에 이어지는 건조는 크게 스피ن(spin)건조와 IPA(iso propyl alcohol)^[24] 건조로 나뉜다. Spin 건조는 회전에 의한 원심력에 의하여 물리적으로 물을 날려 보내는 방법으로 가장 널리 사용되고 있으나 Si 기판이 노출되는 부위에서 물반점이 생기는 것이 문제점이다. IPA 건조는 고순도의 IPA 증기로 웨이퍼상의 수분을 치환하여 증발시키는 방법으로써 물반점 문제를 해결할 수 있으나 고순도의 용매를 사용해야 할 뿐 아니라 용매속의 수분량을 정확하게 조절해야 하는 단점이 있다.

IV. 결 언

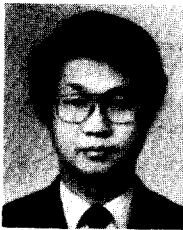
위에서 우리는 오염의 종류와 그들이 디바이스에 미치는 영향, RCA 세정의 문제점 및 최근의 습식 세정 기술, 건식 세정 기술과 건조기술 등을 주로 프로세스 측면에서 살펴보았다.

세정 기술이 고전적이면서도 새로운 기술일 수 있는 것은 항상 더 높은 수준이 끊임없이 요구되는데 있다. 앞으로 공정 측면 이외에도 클린룸이나 기타 공정의 고청정화가 요구될 것이며 특히 화학 약품의 고순도화는 점점 엄격한 사양이 요구될 것이다. 또한 디바이스의 구조가 매우 복잡하고 틈이 좁고 깊어지는데 대한 대응도 필수적으로 이루어져야 할 것이다. 이러한 관점에서, 세정기술은 초집적회로의 발전이 계속되는 한 끊임없이 연구개발이 되어야 하는 기초기술이므로, 금후의 발전을 기대하는 바이다.

參 考 文 獻

- [1] W. Kern and D. Puotinen, RCA Rev., vol. 31, p. 187, 1970.
- [2] Advanced Wet Chemical Process I. 8th Workshop on ULSI Ultra Clean Technology, Dec. 1990.
- [3] Tanabe and Hosoe, Semiconductor World, p. 125, June 1988.
- [4] M. Duffalo, J. R. Monkowski, Solid State Technology, p. 109, Mar. 1984.
- [5] E. Nishikawa, Y. Komatsu, T. Kusaba, M. Sano, and N. Fujono, 1990년 추계 일본 응용 물리학회 예고 26a-F-4.
- [6] K. Graft and H. Pieper, J. Electrochem. Soc., vol. 128, p. 669, 1981.
- [7] M. Zerbst, Z. Argew. Phys., vol. 22, p. 30, 1966.
- [8] A. Usami, OYO BUTSURI, vol. 55, p. 542, 1986.
- [9] N. Fujino, S. Sumita, K. Murakami, K. Kitagawa, M. Sano and R. Johnston, Proceeding of Electrochemical Society Fall Meeting, Seattle, 14-19 Oct. 1990.
- [10] N. Tsuchiya, M. Tanaka, M. Kageyama, A. Kubota, and Y. Matsushita, Extended Abstract of the 22nd Conference on Solid State Device and Materials, S-F-18, p. 1131, Aug. 1990.
- [11] A. S. Maeda and M. Ogino, Extended Abstracts, 169th Electrochemical Society Spring Meeting, vol. 86-1, p. 372, May 1986.
- [12] Y. Matsushita, 1989 Symposium on VLSI Technology, Digest of Technical Papers, p. 5, May 1989.
- [13] 1st Workshop on ULSI Ultra Clean Technology, Nov. 1989.
- [14] R. Takizawa, T. Naramishi, and A. Ohsawa, J. Appl. Phys., vol. 62, p. 4933, 1987.
- [15] A. Simazaki, H. Hiratsuka, Y. Matsushita, and S. Yoshii, Extended Abstraction of 16th International Conference on Solid State Device and Materials. Kobe, p. 281, 1984.
- [16] D. M. Bolon, C. D. Kunz, J. Poly. Eng. Sci., vol. 12, p. 109, 1972.
- [17] R. R. Sowell, R. E. Cuthrell, D. M. Mattox, and R. D. Bland, J. Vac. Sci. Tech., vol. 11, p. 474, 1974.
- [18] J. R. Vig, and J. W. Lebus, IEEE Trans. Parts, Hybrids, and Packaging, vol. PHP-12, p. 365, 1976.
- [19] J. Ruzyllo, G. T. Duranko, and A. M. Hoff, J. Electrochem. Soc., vol. 134, p. 2052, 1987.
- [20] J. Ruzyllo, A. M. Hoff, D. C. Frystak, and S. D. Hossain, J. Electrochem. Soc., vol. 136, p. 1474, 1989.
- [21] S. Onishi, K. Matsuda, K. Tanaka, and K. Sakiyama, The Electrochemical Society, Proceedings, vol. 90-9, p. 141, Pennington, 1989.
- [22] R. Cleaven, G. T. Duranko, Semicond. Int., vol. 10, p. 94, 1987.
- [23] M. Wong, M. M. Moslehi, and D. W. Reed, J. Electrochem. Soc., vol. 138, p. 1799, 1991.
- [24] T. Ohmi, H. Mishima, T. Mizuniwa, and M. Abe, Microcontam., vol. 7, p. 108, 1988. 

筆 者 紹 介



沈 泰 彦

1950年 1月 25日生

1974年 3月 일본 와세다 대학 이공학부 전자통신학과 졸업

1977年 3月 일본 와세다 대학 대학원(공학석사)

1989年 3月 일본 와세다 대학 대학원(공학박사)

1977年 7月~1978年 6月 한국과학기술연구소

1979年 8月~1983年 3月 공군사관학교 교관(조교수)

1987年 4月~1989年 3月 NEC Microelectronics 연구소

1989年 4月~현재 삼성전자 반도체 기흥연구소 연구4실장