

반도체 제조공정에서 오염분석 기술과 응용

박현열 | 하이닉스반도체 품질관리3팀
부장

E-Mail : hyunyul.park@hynix.com

1980년대 초 필자가 반도체업종에 종사하기 시작할 시기에는 모든 종사자들이 클린룸 환경, 장비, 유틸리티 등에서 미립자(Particle)와의 전쟁을 할 정도로 미립자 억제만 잘하면 수율 및 신뢰성 확보에 큰 문제가 없었던 시절이었다, 그 때가 64K DRAM 양산시점 이었으며, 1M DRAM 이전까지 대부분 미립자 제어만 잘해도 수율 및 신뢰성 있는 제품을 확보하는 데는 큰 문제가 없었으나 이후 회로 선폭이 미세화 되고, 게이트 산화막 두께가 얇아지면서 클린화 기술은 어려움에 봉착하게 된다. 물론 미립자는 미세 가공기술에서 반드시 제어해야 할 대상이지만, 미립자보다도 더 작은 화학적 이온성분과 분자상 불순물(중금속, 비금속 이온 등 이하 화학적 불순물로 칭한다)의 영향이 소자의 전기적 특성, 드라이 에칭, 화학 증착(CVD, Chemical Vapor Deposition)의 선택성 및 다층막의 접착성 등에 문제를 야기 시키면서 중요성이 높아지게 된다. 이러한 미세 가공기술 적용에는 반드시 갖추어야 할 조건이 돈, 사람, 클린룸, 장비, 재료 등 여러 가지가 있으나, 본 논고에서는 미세 가공기술을 이용하여 반도체 디바이스를 제조하는데 반드시 필요한 클린화 기술 중에서도 오염분석 기술 및 응용에 한정하여 소개하고자 한다.

지난 80년대 초반 4~6 μ m(1 μ m=100만분의 1m) 미세 가공기술로 우리나라는 64K DRAM을 개발하게 되었으며, 그 후 약20년간 비약적인 발전을 거듭, 90년대 초까지는 1.0 μ m이 대세였으나 '93년에 인텔이 0.8 μ m기반의 펜티엄 프로세서를 대량 생산하면서 소수점 μ m시대를 열었다. 이후 2년여의 간격을 두고 0.5 μ m(16M), 0.35 μ m, 0.25 μ m(64M), 0.13 μ m(256M) 미세 가공기술이 세대를 바뀌었다.

현재 고집적 반도체소자는 DRAM 기준으로 512M가 대표를 하고 있으며, 회로 선폭은 대략 0.09 μ m, 0.08 μ m를 적용한 제품이 주류가 될 정도로 반도체 미세 가공기술은 하루가 다르게 발전을 하고 있는 것이 현실이다.

이러한 미세 가공기술을 확보하기 위해서는 클린화 기술도 새로운 개념으로 발전을 하지 않으면 안 되는 현실이 되었으며, 그에 대한 평가 방법으로 물리, 화학적인 방법을 총 동원한 종합 분석기술이 더욱더 요구되고 있다.

지금부터 글은 필자가 회사 내부가 아닌 외부에서 강의 요청시 사용한 장표를 중심으로 정리하였으며, 내용은 반도체 가공 공정에서 오염원 평가 항목, 불순물이 반도체 개발 / 양산에 미치는 영향, 오염분석에 이용되는 화학분석장비의 간략한 소개, 웨이퍼 / 클린룸 공기(Atmosphere) / 기타

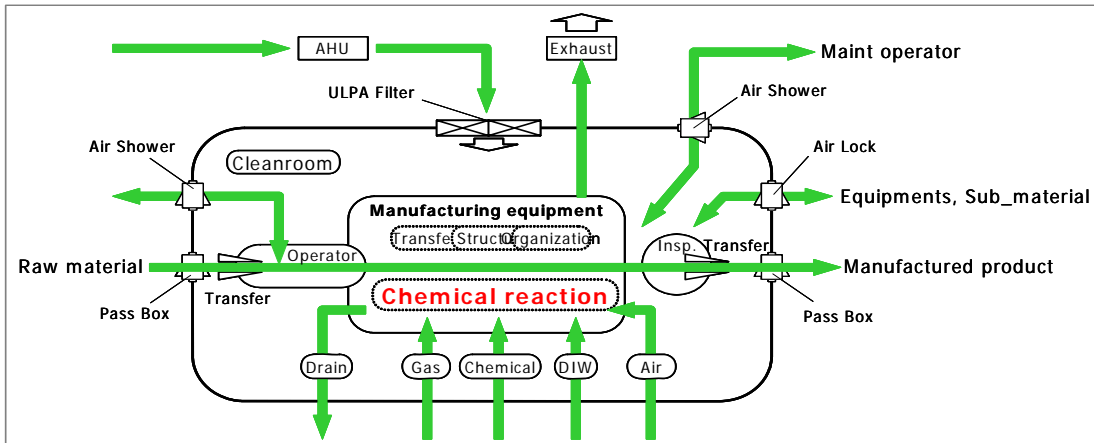


Fig.1 Semiconductor fabrication line

분석기술, 화학분석을 위한 전처리 기술의 종합, 오염 관련 로드맵(Roadmap) 및 결론으로 소개하고자 한다.

1. 반도체 클린룸 오염원 평가항목

반도체 웨이퍼(wafer) 가공라인(Fabrication Line)은 고 집적도 디바이스의 회로를 구성하기 위하여 제반 환경조건을 만족시키기 위한 클린룸과 최첨단장비, 그 것들을 운용하기 위한 각종 유틸리티 및 재료, 사람 등 수 많은 것들이 필요하게 된다. 또한 반도체라면, 단순 전자산업이라고 생각할 수 있으나 반도체를 만들기 위한 모든 작업은 화학적인 처리방법이 70~80% 이상을 차지한다고 해도 과언이 아니다. 다시 말하면, 반도체 가공라인은 거대한 화학 공장인 셈이다(Fig.1).

디바이스의 회로 가공에는 다수/다량의 화학약품과 유독성 가스(Toxic gas) 등이 사용되는데 필요치 않는 공정에서는 극미량이지만 불량을 일으키는 원인으로 작용하기도 한다. 반도체 디바이스를 만들기 위해서 이들 재료뿐만 아니라 미립자

를 제거하기 위한 각종 건축물로 FFU(Fan Filter Unit), 공조설비, 건축물 구성 부재료 등과 제조 장비들도 제품에 악 영향을 미치는 요소들을 많이 내포하고 있다. 따라서 오염원 평가 항목으로는 이들을 모두 포함하고 있으며, 원인파악을 위하여 제품을 직접 평가하는 일도 많다. 여기서 제조장비의 예를 들어 설명하면 평가대상은 반송 시스템, 세정, 노광, 성막, 에칭, CMP, 검사, 계측 장비 등 무수히 많다. 그 중에서도 세정장비를 예를 든다면, 장비의 재질, 배관, 클린부스(Clean Booth), 수조(Bath) 내 불순물 용출, POU(point of use)에서 각종 유틸리티의 검증, 공정진행 후 웨이퍼에 부착된 화학성분의 잔존량 등 수 많은 항목들이 오염제어 측면에서 평가 대상이 된다.

2. 불순물이 디바이스에 미치는 영향

화학적 불순물이 반도체 디바이스에 미치는 영향을 미리 간략하게 알아보고, 각 장에서 좀 더 상세히 설명하기로 한다.

● 미립자는 패턴결함으로 배선단선과 저항증

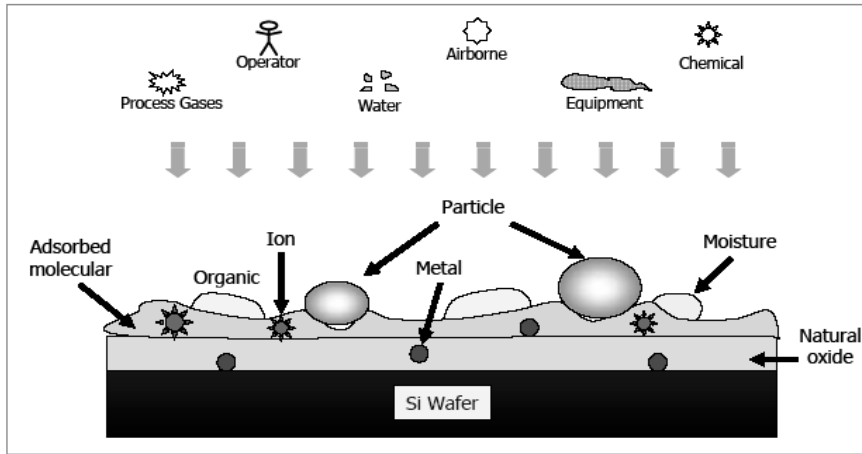


Fig.2 Contaminants on the surface of Si wafer

대 및 막 내압불량을 일으킨다. 따라서 70 nm 회로 선폭 가공라인에서는 웨이퍼 기준으로 입자크기 35 nm를 0.019 ea/cm² 정도로 관리하고 있다.

● **알칼리금속, 중금속** 등은 산화막 내압불량, PN 접합불량, 라이프타임(Life Time)감소, 문턱전압(Threshold Voltage, Vth)변동, 결정결함 등 수 많은 불량형태를 일으킨다.

● **3, 5족 원소**는 반도체 기능을 내기 위한 화학적 불순물(Dopant)로 이용되는 성분으로서 MOS(Metal Oxide Semiconductor) 트랜지스터의 채널 영역이 오염되면 문턱전압(Vth) 변동과 PN 반전 불량을 일으키게 된다.

● **방사선원소**는 알파-파티클(알파-방사선)을 방출하여 소프트에러(Soft Error)를 일으키며,

● **음·양이온**들은 주로 이물생성 및 부식, 현상(Develop)불량의 원인이 되고 있으며,

● **유기화합물**은 종류가 많아 각 성분에 따라서 각기 다른 문제를 야기 시키고 있으나, 주로 결정결함, 막 성장불량, 물 반점(Water Mark)등으로 영향을 행사하고 있다.

미립자와 화학적 불순물의 차이점을 알아보면 미립자는 크기가 대략 10~0.05 μ m 정도이며, 화학적 불순물은 0.001~0.0001 μ m 크기를 말한다. 외관 검사 방법으로 입자는 광학현미경, SEM, TEM 등을 이용할 수 있으나 화학적 불순물은 거의 불가능하다는 것이다. 디바이스의 영향을 보면 입자는 핀홀(Pinhole), 패턴접합, 단선 등이며, 화학적 불순물은 전류누설(Leakage Current), 접착불량 등을 대표로 들 수 있다. 불량형태는 입자는 주로 점(Point) 결함이지만, 화학적 불순물은 웨이퍼 표면 전체에 결함으로 작용한다는 것이 가장 큰 차이점이라고 할 수 있다. 오염종류의 특이성에서도 원소 및 분자의 종류에 따라 다르고, 큰 차이를 나타낸다. 평가방법을 비교해 보면 입자의 경우는 상태에 따라 기체, 액체, 표면측정기로 수 분 내에 쉽게 평가가 가능하지만, 화학적 불순물은 다수의 분석장비가 필요하게 된다. 상세한 것은 뒤에서 알아보기로 하고 공기(Air), 작업자, 공정가스, 약품, 수분, 장비 등의 원인 제공으로 발생하는 이물 등 여러 가지 오염원(Fig.2)들은 웨이

퍼 표면에 부착하여 미립자, 이온, 중금속, 유기화합물, 자연산화막, 거칠기(micro-roughness) 등의 형태로 불량 원인이 된다. 반도체 하나를 탄생시키기 위해서는 수백 공정을 거쳐야 하는데 크게 나누면 사진(Photo Lithography), 식각(Etching), 확산(Diffusion), 에피택셜(Epitaxial), 산화(Oxidation), 이온주입(Ion-Implanter), 금속증착(Metallization), 화학기상침적(CVD : Chemical Vapor Deposition) 등 단위공정의 반복으로 이루어진다. 이 중에서 중요 공정 몇 가지만 소개하고 해당 공정에서 대표적인 오염원의 예를 한두 가지씩 들어 보기로 하자.

3. 사진(Photo Lithography) 공정

층(Layer)별로 필요한 패턴 형성 시 그려둔 원판 마스크(Mask , 1:1) 또는 레티클(Reticle, n:1)을 이용하여 반도체 칩을 만드는 웨이퍼 위에 도포, 노광, 현상 공정(Fig.3)을 통하여 모양을 만드는 공정으로 화학적 불순물이 사진 공정에서도 상당한 영향력을 행사하고 있는데, 가장 큰 문제점은 광학계의 이물부착에 따른 마진(Margin) 불량이다. 이의 원인으로는 주로

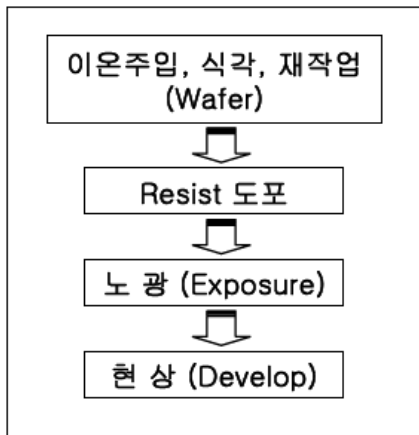


Fig.3 Photo process

NH₃와 유기계 물질인데 그의 원인제공은 사진공정에서 사용되고 있는 HMDS(Hexa Methyl Disilazane)와 클린룸 환경으로부터 오는 화학오염 물질로 나뉜다.

이들의 화학 성분들이 광학계에 부착하여 상(Image)의 불균일화를 일으켜 해상도 저하, 에너지 전달도 감소에 따른 노광 시간의 증가로 생산성 감소 등의 문제를 야기 시킨다. 대응 방안으로는 우선적으로 HMDS가 누출이 되지 않도록 철저한 배기 시스템의 구축이다. 또한 노광 장비(Stepper)에는 별도 시스템을 구축(Unit)하여 NH₃ 및 유기계 제거용 케미컬 필터의 설치를 통한 클린에어(Clean Air) 공급 또는 질소(N₂)가스를 이용한 광학계 주변의 클린화가 필요하다. 한 가지 더 오염원의 영향에 대해서 열거하면 미세 회로구성을 위하여 화학증폭형 감광제 (CAR=Chemically Amplified Resist) 사용으로 아민 성분에 의하여 양성감광제(Positive Resist)의 경우, 산(Acid)의 중성화에 따른 T-TOP 현상불량 등 감광제(Photoresist) 현상시 균일도 저하를 일으킨다. 따라서 공정진행 부분의 분위기에서 아민의 농도는 극미량의 ppb(part per billion, 1/10억) 수준의 농도로 유지할 필요가 있다. 이들의 대응 방안으로는 아민과 유기화합물 제어용 케미컬 필터 설치로 문제를 해결하고 있으나 필터의 수명 등 원가절감 측면에서 약품 등의 누출방지에 더 많은 관심이 필요하다.

4. 식각(Etching) 공정

사진공정에서 패턴을 형성한대로 필요한 부분만 남기고 필요 없는 부분의 박막을 화학 또는 물리적 반응으로 제거하는 공정으로 에칭(Fig.4) 및 세정공정에는 수많은 산(Acid) 및 공정가스

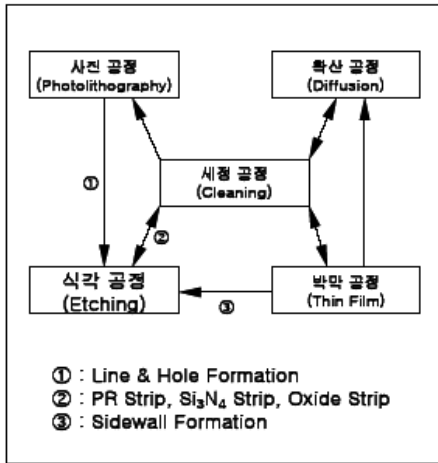
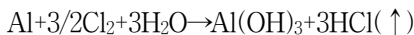


Fig.4 Etching process

(Toxic Gases)가 사용되기 때문에 이들의 누출 시에는 웨이퍼 표면, ULPA(Ultra Low Penetration Air) 필터, 클린룸 구조물 등과 반응하여 강한 부식성을 나타낸다. 예로 금속라인(Metal Line)의 부식을 화학반응식으로 나타내면,

e.g.) Al배선 공정



로 반응하여 금속라인(Metal Line) 단선이 발생하게 된다. 대응방안으로 사용되는 산 및 공정가스의 누출방지가 최우선이며, 특히 챔버 세정 주변부(Chamber Cleaning Area)의 철저한 배기시스템 구축도 필수적이다. 한 가지 더 얘기하면 반응 후 잔존하는 각종 부산물(By product)의 철저한 제거도 반드시 제반 조건이 구축된 지역에서 해야 한다.

5. 확산(Diffusion) 공정

확산(Diffusion)공정은 크게 두 가지로 나누어지는데 하나는 산화(Oxidation) 공정으로 소자간

의 절연체 분리막, 전극 또는 배선의 층간 분리막, MOSFET의 게이트 절연막, 셀캐퍼시터(Cell Capacitor) 유전막 등에 널리 이용되고 있으며, 열 산화법, CVD 법, 스퍼터(sputter) 등이 있다 (산화 공정은 엄격한 의미에서는 확산과는 다르나 대부분 같이 취급하는 경향이 있다) 또 한 가지는 말 그대로 확산(Diffusion) 공정으로 필요한 부분에 불순물을 주입시키는 것에 확산기술을 이용하는데 크게 2가지로 적재된 웨이퍼에 고온의 전기로를 이용하여 가스 상태의 불순물을 흘려 확산시키는 것과, 이온주입(Implanter)을 이용하여 고에너지 이온빔(High Energy Ion Beam)으로 가속시켜 불순물을 주입하는 방법이 이용되고 있다. 이 중에서도 산화공정에서는 금속불순물이 가장 큰 영향을 행사하는 곳이다. 본 공정 및 특히 앞 공정에서 금속오염을 가지고 왔다면 산화막 열화 및 문턱전압(Threshold Voltage)변동, 전류 등의 불량 발생하게 된다. 또한 클린룸 공기 중 붕소(Boron) 및 인(Phosphorus) 등이 일정 수준 이상 존재 시에는 PN 반전 및 게이트 문턱전압에 변화를 일으켜 전기적인 특성 열화에 직접적인 원인이 된다.

6. 금속증착(Metallization) 공정

금속증착(Metallization) 공정도 크게 두 가지로 나누어지는데 한 가지가 CVD(Chemical Vapor Deposition) 공정(Fig.5)으로 외부와 차단된 반응실 안에 웨이퍼를 넣고 가스를 공급하여 가열에 의한 열분해로 기판의 성질변화는 없게 하고, 막막을 형성하는 방법이며, 또 한 가지는 PVD (Physical Vapor Deposition) 공정으로 박막과 동일한 재료의 입자를 진공 중에서 물리적인 방법에 의하여 기판 위에 증착시키는 방법으로 스퍼터링(Sputtering), 증발(Evaporation), 스프인코

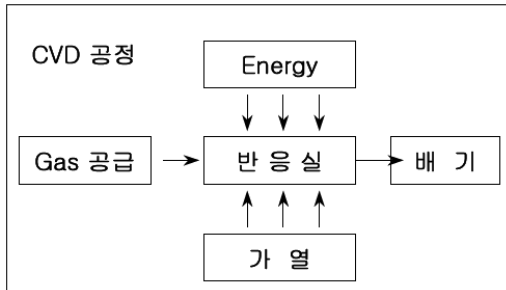


Fig.5 CVD process

팅(Spin Coating)법 등이 있다. 불순물의 영향은 응축성 유기화합물(Condensable Organics)과 무기물(Inorganics)에 의하여 접촉저항과 층간의 접합(Adhesion)에 영향을 미친다. 또한 산 등은 금속성 물질의 부식에 따른 금속라인의 전도도 특성에 영향을 미친다. 대응방안으로는 사용되는 재료 등의 누출 방지와 배기라인의 철저한 관리가 필요하다고 볼 수 있다.

지금까지 불순물이 각 공정에 미치는 영향에 대해서 기술하였으며, 이제는 이들 성분과 양을 알아내는 분석장비에 대해서 알아보기로 하자.

7. 분석 장비

분석장비는 여러 종류가 있으나, 그 중에서도 화학적 분석방법으로 이용되고 있는 대표적인 장비 6종에 대해 원리 및 특징을 알아보기로 하자.

7.1 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)

Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer 라는 장비는 현재 최첨단 재료 및 그를 사용하는 업종에서는 대부분 보유하고 있을 정도로 보편화된 장비이며, 금속성분 분석 시 탁월한 성능을 가지고 있다. 이 장비의 원리는 ICP 원

(Source)에 액체 시료를 도입하여 이온화 된 원자들을 질량 대 하전비(m/z)를 이용하여 정성·정량 하는 장비이며, 검출한계가 좋고(ppb level), 동위원소 비도 평가 가능하다는 것이 특징으로서 액상시료 및 액상 추출가능 물질의 금속원소에 대하여 정성·정량분석(Fe, Cu, Na, K 등 70 여 가지 원소)이 가능하다. 반도체에서는 웨이퍼, 분자상 오염물(AMCs, Airborne Molecular Contaminants), 초순수(DI Water, De Ionized Water), 약품(Chemical) 등 응용범위가 넓다.

7.2 유도결합 플라즈마 발광분석기(ICP-AES)

Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometer는 다음에 소개되는 AAS 후에 나온 장비로 다 원소를 동시에 분석할 수 있다는 것이 가장 큰 장점으로 ICP 원(Source)에 액체시료를 도입하여 발생하는 빛을 단색화 장비를 이용하여 정성·정량하는 장비이며, 화학적 매트릭스(matrix) 간섭효과가 적고, ppb~ppm 수준의 분석이 가능하다는 것이 특징으로서 수 종의 금속원소 분석(Fe, Cu, Na, K 등 60~70여 가지 원소)이 가능하다. 반도체에서는 박막 조성비 분석에 주로 사용되며, 장비의 오염 문제가 거의 없기 때문에 1차 분석용으로 많이 이용된다.

7.3 원자흡광분광 분석기(AAS)

Atomic Absorption Spectrometer는 2가지 형식으로 불꽃(Flame)과 탄소튜브(Graphite tube)를 이용하는 전기로(Flameless)방법이 있다. 주로 반도체 부문에서는 전기로 방법을 채택하고 있으며,(여기에서는 전기로 방법만 열거한다) 이 장비의 원리는 액체시료를 전기로에 도입시켜 원자화시킨 후 평가하고자 하는 원소의 고유파장의 빛을 흡수 정도로 정량 분석한다. 소량(5~100 μ l)의

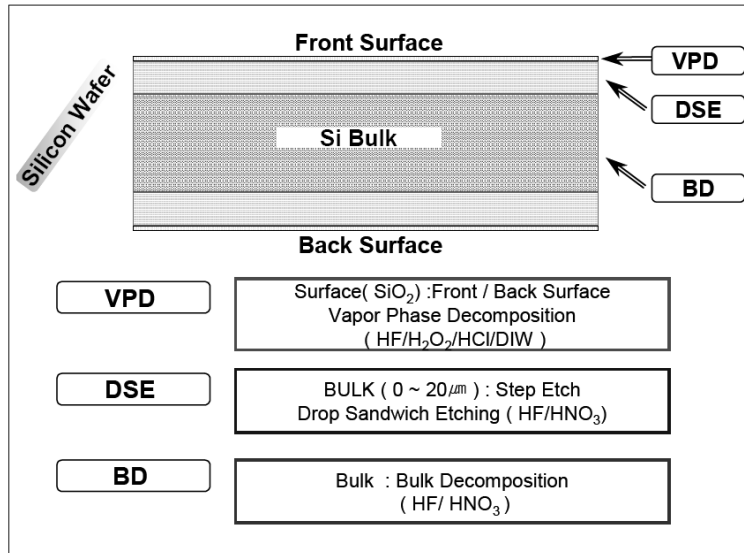


Fig.7 Pretreatment method of layers on Si wafter

시료만으로 분석이 가능하다는 것이 장점이나 장시간의 분석시간 소요와 각 원소마다 별도의 램프가 필요하다는 것이 단점이다 (분석 장비 제조 Maker에 따라서는 몇 개의 원소를 동시에 분석 가능한 램프도 있다). 금속성분에 대하여 ppt~ppb 농도 수준으로 분석이 가능하며, 일부 특정 원소 및 시료의 성질에 따라서는 ICP-MS로 분석이 불가능한 것도 가능하다는 장점이 있다.

7.4 승온 탈리 분석기 (TDS)

Thermal Desorption Spectrometer는 분석대상을 승온(약1000℃까지) 시키면서 탈리되는 가스 (Out gassing) 물질을 이온화 시킨 후 질량 대하전비(m/z)로 측정하는 장비로 온도 단계별 웨이퍼로부터 탈리되는 수분, 탄소계열 물질, F, Cl 등의 분석이 가능하다. 반도체에서는 웨이퍼 한 장 또는 작게 시편을 만들어 박막과 표면에서 탈리되는 각종 화학성분의 분석에 이용되고 있다.

7.5 이온크로마토그래피(IC)

Ion Chromatography는 반도체 부문에서 아니 필자의 분석실에서 40% 정도의 분석량을 처리하는 장비로써 사용자에게 따라 응용범위가 넓다는 것이 큰 장점이다. 이 장비는 액체시료를 분리관 (Column)에 도입시켜 이온결합 세기에 따라 순차적으로 분리되는 성분을 전도도(Conductivity) 검출기를 이용하여 음·양이온과 적·자외선 (UV/Vis) 검출기를 이용하여 금속성분, 실리카 등을 정성·정량분석에 이용하나 분석 성분이 한정적이고 시료 중에 산, 알칼리성분이 %단위로 존재 시에는 분리관에 영향을 미치기 때문에 분석

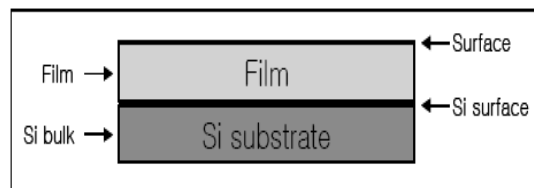


Fig.6 Evaluation Layer for Si wafer

이 불가능하다는 것이 단점이다. 반도체에서는 웨이퍼, AMCs, 초순수, 약품 등 사용자에 따라 응용 범위가 넓다.

7.6 가스크로마토그래피 질량분석기(GC-MS)

Gas Chromatography - Mass Spectrometer는 '90년대 전까지만 해도 반도체 부문에서는 유기용제(Solvent)의 순도 분석에 주로 이용되어져 왔으나, 90년 이후부터는 그의 활용범위가 매우 넓어지고 있다. GC에서 분리된 각 성분에 대해 질량분석기로 이온화 시키고 상대세기를 질량대하전비(m/z)로 질량스펙트럼을 해석 분석하는 장비로서 끓는 점(Boiling Point)이 350°C이하 성분만 분석 가능하다는 것과 표준시료 준비 등이 어렵다는 것이 단점이나 유기성분의 정성·정량분석에는 탁월한 능력을 가지고 있다. 주로 웨이퍼, 공기 중 휘발성 유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds) 과 유기용제 분석에 이용되고 있다. 지금까지 반도체에서 가장 많이 이용되는 분석장비에 대하여 알아보았다.

다음은 본 논고에서 가장 중요한 항목으로서 오염분석 기술에 대하여 알아보기로 하자. 여기에서는 지면 관계상 반도체부문에서 여러 가지 분석기술 중 웨이퍼 및 클린룸 공기(Atmosphere) 평가법에 대해서 중점적으로 기술하고 기타 일부 평가법에 대해서는 간략하게 논하겠다.

8. 웨이퍼 평가

반도체공정을 산업의 종합예술 이라고 들 한다. 요즘은 3D업종이라고 들 하지만, 그 정도로 섬세하고, 고난도의 기술과 정열 등이 종합 되어야 하나의 반도체가 탄생을 할 정도로 힘이 든다는 뜻이다. 그에 못지않게 분석기술도 전 산업에서 요

구하는 수준을 모두 만족시킬 수 있도록 해야만 목적으로 하는 반도체 디바이스 불량개선에 일익을 담당할 수 있을 정도로 어려운 분야이다. 반도체 부문에서 화학분석 기법을 이용한 분석기술은 필자가 지금까지의 경험으로 볼 때 사람의 손끝에서 나오는 기술이 90%이상 차지하고 분석장비는 나머지 10%에 불과하다고 느끼고 있다. 따라서 오염분석 기술은 대부분 사람에 의해서 좌우된다고 해도 과언은 아니다. 자 지금부터 웨이퍼 분석 방법은 어떤 것들이 있는지 들어가 보자. 실리콘 웨이퍼(Fig.6)에 대한 화학적 불순물의 평가항목으로는

- **표면**에서는 금속불순물, 음·양이온, 유기물 등이 평가대상이며,

- **기판 및 벌크(Bulk)**에서는 금속불순물, Dopant 농도 등이 주이나, 분석기술에 따라서는 음·양이온 분석도 가능하다.

- **막질 조성비**로서는 BPSG, PSG, Al-Si-Cu, 등 다수가 있으며,

- **막질 불순물**은 주로 금속불순물 및 탈리되는 가스에 대한 유기물, 수분 등을 들 수가 있다.

웨이퍼 분석방법 중 금속불순물 평가 법은 주로 3가지 방법(Fig.7)을 이용하게 된다.

8.1 첫 번째가 VPD (Vapor Phase Decomposition) 방법(Fig.8)으로 대부분 웨이퍼 제조 및 가공업체에서 금속불순물 평가 법으로 많이 이용하는 방법이다. 이 방법은 일정 크기의 박스에 분석하고자 하는 웨이퍼를 넣고 불산 증기(HF Fume)를 이용하여 실리콘 웨이퍼 표면에 존재하는 자연산화막(Native Oxide) 및 금속성분을 녹인 다음에 HF/H₂O₂/DIW를 일정비율로 혼합한 용액으로 회수(gathering)하여 분석장비(ICP-MS or AAS)를 이용, 금속불순물의 함량을 분석하는 방법이다. 이

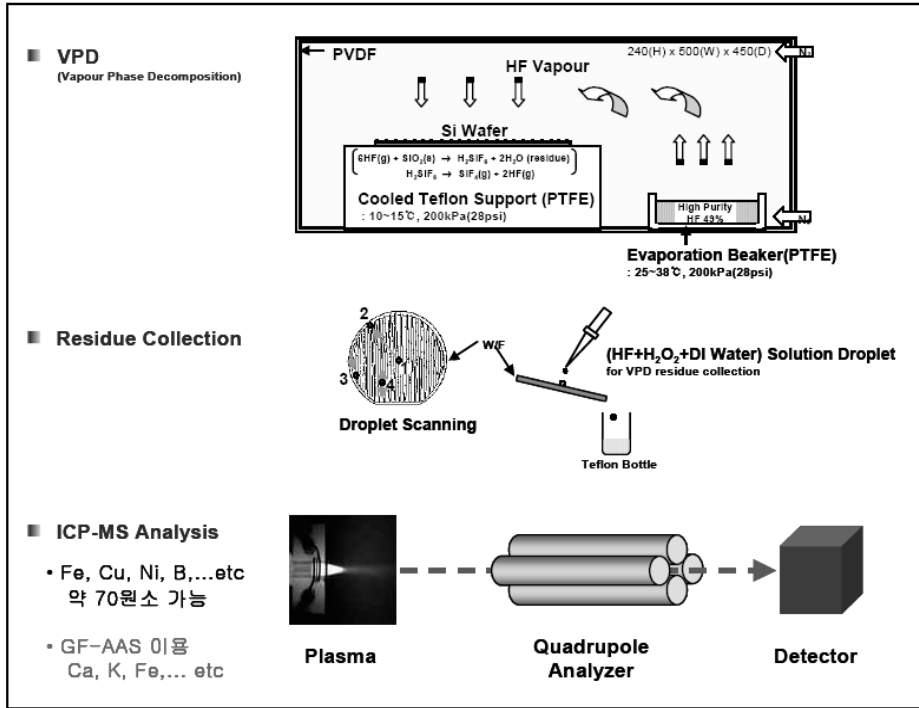
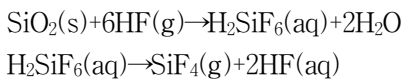
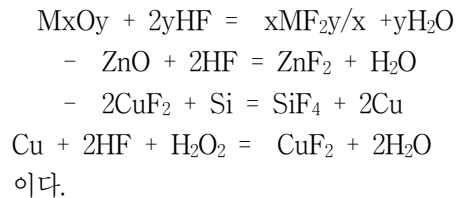


Fig.8 Analytical method of metal impurities on the surface (VPD)

때 대부분의 금속불순물은 회수 시 문제가 되지 않으나 필자의 경험에서 회수율(Recovery) 평가결과 Cu의 경우 회수율이 50~70% 수준 정도로 매우 좋지 않음을 확인하였다. 이유는 Cu의 경우 Si보다 강한 산화환원전위로 인하여 Si의 전자를 빼앗아 자신은 환원하여 실리콘 기판에 부착되기 때문이다. 좀 더 설명을 하면 Cu, Ag, Au와 같은 귀금속은 전기음성도(Electronegativity)가 높고 산화환원전위(Redox potential)가 H⁺ 보다 높기 때문에 실리콘 표면에 흡착되어진다. 화학반응식으로 VPD 방법을 나타내면,



With trace metals



8.2 두 번째 DSE (Drop Sandwich Etching) 방법(Fig.9)은 화학적인 방법으로 웨이퍼 깊이 방향(Depth profile) 금속불순물을 분다고 생각하면 쉽게 이해가 될 수 있으리라 판단한다. 그러나 이 방법은 분석자의 숙련도가 상당히 요구되는 물론이고, 시료 전처리 과정 역시 분석자가 완벽한 방법을 구사하여야만 원하는 분석결과를 얻을 수 있다.

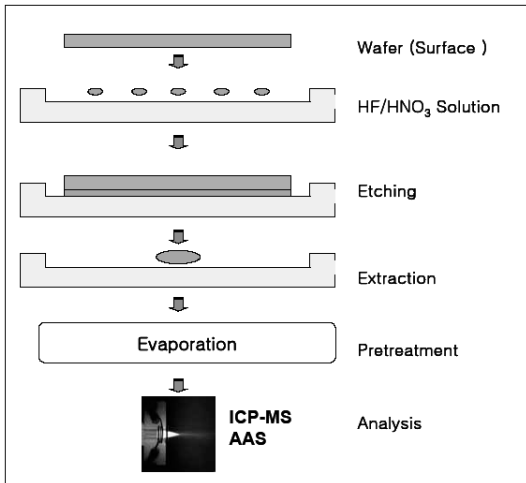
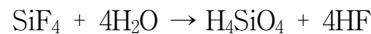
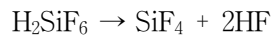
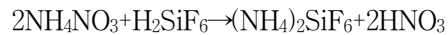
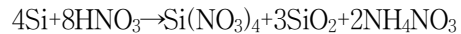
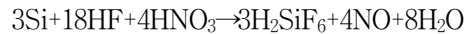
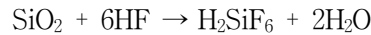


Fig.9 Drop Sandwich Etching method

DSE에 이용되는 치구는 필자가 현재까지 제품화된 것은 파악하지 못하였으며, 자체적으로 도안 제작을 하는 것도 상당한 노하우(Know-how)가 필요하다. 사용되는 약품은 HF/HNO₃/DIW를 일정 비율로 혼합한 다음 필요로 하는 만큼 웨이퍼 표면부터 녹여낸다. 이때 가장 중요한 것은 혼합약품의 조성과 사용량이다. 위와 유사한 방법으로는 BD법이 있다.

8.3 세 번째로 BD(Bulk Decomposition) 방법이 있으며, 이는 웨이퍼 전체를 녹여서 실리콘 웨이퍼 내에 존재하는 금속불순물을 분석하는데 이용된다. 이 방법은 웨이퍼 전체를 녹이기 때문에 DSE방법에 비해서 간단한 방법이라 할 수 있겠다. BD법도 마찬가지로 실리콘을 녹이기 위한 혼합용액은 HF/HNO₃/DIW를 일정 비율로 섞어 녹인 다음에 재 증발 건조 처리를 거쳐 분석장비에 도입하는데 증발 건조 처리 시 잔류물(Residue)이 남는다(DSE도 동일). 이로 인하여 ICP-MS 분석 시에는 이물(Cone에 부착) 또는 매트릭스 영향으로 정확한 정

량을 하지 못하는 결과를 가져올 수도 있다. 화학반응식으로 DSE, BD 방법을 나타내면,



여기서 발생하는 잔류물은 통상 (NH₄)₂SiF₆라고 말하고 있지만, 필자의 경험으로 평가한 결과로는 NH₄NO₃가 주성분으로 나타났다. 이것을 제거하기 위한 방법으로는 비커에 보호막을 씌워서 전열기(Hot Plate)로 전처리를 하면 남은 잔류물 없이 처리할 수 있다. 지금까지는 주로 금속불순물분석에 대해서 열거하였다.

8.4 휘발성유기화합물 (이하 VOCs, Volatile Organic Compounds)에 대해서 알아보기로 하자. VOC가 반도체 가공에 영향을 미친다는 것에 대해서 수많은 논문들이 속속 발표되고 있지만, 명확하게 답을 해주는 전문가들은 아직도 그리 많지 않다. 따라서 분석을 하는 필자로서도 많은 부담을 가지고 있는 것이 사실이다. VOC는 금속불순물과 달리 주로 표면 또는 박막에서 방출되는 가스성분에 한하여 분석이 가능하다는 것이 단점이라고 할 수 있겠다. 따라서 분석하는 데는 큰 어려움은 없으나 세상에 존재하는 유기화합물이 수백만 종이래 해석 시 많은 어려움에 봉착하곤 한다. 이를 좀 더 쉽게 판단할 수 있는 방법은 분석자들이 반도체 개발/양산라인에서 주로 사용되는 약품은 물론이고, 건축물 등 평

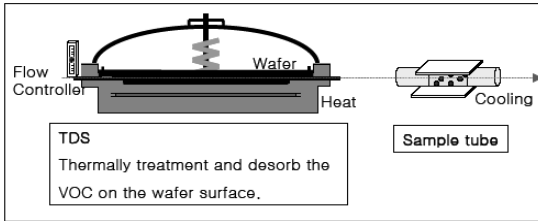


Fig.10 Analytical method of organic impurities on the surface(TDS)

가대상에 대해서는 분석장비 회사에서 주어진 라이브러리(Library)를 활용하는 것도 좋지만 나름대로의 라이브러리를 구축, 사용하는 것이 데이터해석 측면에서 매우 편리하다. 웨이퍼 중 VOC분석법(Fig.10)은 웨이퍼를 열 탈리 시킬 수 있는 박스에 넣고 열을 가하여 탈리되는 성분을 재 흡착관을 이용하여 포집 후 GC-MS로 분석한다. 열 탈리 시 온도는 약 350℃ 정도로 하고 Tenax-GR 물질을 이용한 흡착관의 온도는 -30℃가 적당하다. 탈리 온도를 350℃ 정도로 하는 이유는 GC-MS의 분리관 챔버(Column Chamber)의 온도가 350℃를 넘어서면 안

되기 때문이다. 바꿔 말하면, VOC분석은 끓는 점(Boiling Point)이 350℃를 넘어서면 분석이 불가능하다는 뜻이다. 현재 열 탈리 부분과 GC-MS를 부착하여 웨이퍼 중 VOC를 분석할 수 있는 장비가 상품화 되어 나오고 있으나 가격이 4~5억원 대로 비싸다는 것이 흠이다.

8.5 웨이퍼 표면분석에서 음·양이온 분석법에 대해서 간략하게 소개하면, 일정 크기의 비닐봉지(Poly propylene 재질)를 이용하여 웨이퍼와 일정량의 초순수를 넣고 열 증탕에 의하여 추출 후 추출액을 이온크로마토그래피를 이용하여 분석하면 만족할 만한 수준으로 분석결과를 얻을 수 있다. 지금까지 웨이퍼 분석방법에 대해서 논하였으며, 이후부터는 클린룸 환경 다시 말하면 공기 중에 존재하는 각종 화학물질에 대한 분석방법을 알아보기로 하자.

9. 클린룸 공기(Atmosphere) 평가

공기 중 불순물(Atmosphere, 이후 AMCs로 표

Table 1 Classification of AMCs (Airborne Molecular Contaminants)

Category		Example	Effects	Step
MA	Acids	HF, H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , HCl	Wafer hazing Etch rate shifts and corrosion Uncontrolled boron doping HEPA filter degradation	Pre-gate oxidation Salicidation Contact formation
MB	Bases	NH ₃ , HMDS, Amine, NMP	DUV T-Top Stepper optics and wafer Hazing High contact resistance due to TiN formation	Deep Ultraviolet lithography
MC	Condensables	Phthalates : DOP, DBP Phosphates : TBP Siloxanes : D3, D4,...	High contact resistance Threshold voltage shift Oxide reliability (QBD,TDDb) degradation SiC formation following pre-oxidation clean	Pre-gate oxidation
MD	Dopants	B, BF ₃ , PH ₃ , Arsenates	Threshold voltage shift due to uncontrolled boron and phosphorus doping Nucleation irregularities	Pre-gate oxidation

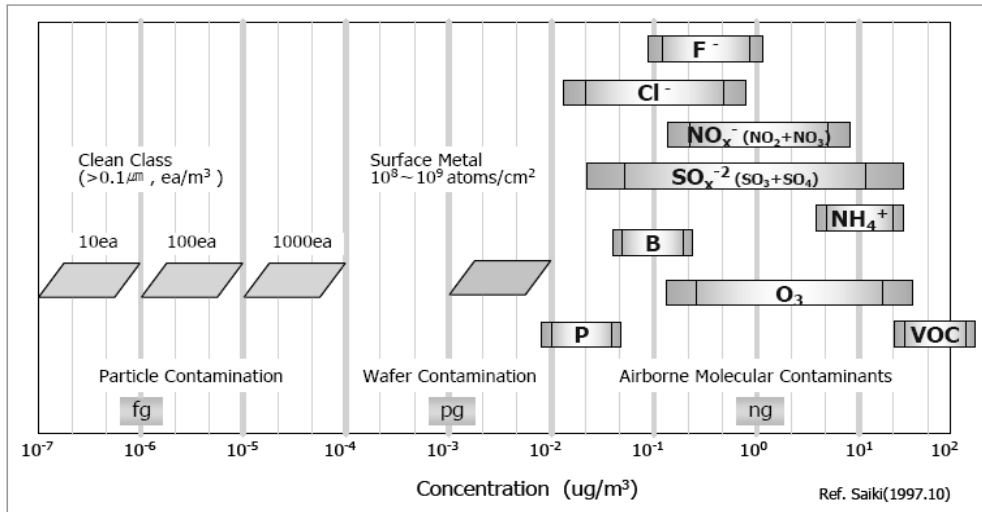


Fig.11 Concentration status of contaminants in cleanroom

기)은 크게 나누어 무기물(Inorganic)과 유기화합물(Organic, VOC)로 나눌 수가 있으며, 세미(Semi)에서는 화학오염물질(Airborne Molecular Contaminants)의 분류를 산성물질(Acids=A), 염기성물질(Base=B), 응축성 유기물질(Condensable=C) 및 도판트(Dopant=D)등 4가지로 분류하고 있다. (Table 1)

그 중에서 무기이온 계통의 화학오염 물질로서는 HF, HCl, NO_x, SO_x, NH₃, B(Boron), P(Phosphorus) 등을 대표적(Fig.11)으로 말할 수 있다. 농도의 단위는 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (or ng/Liter)로 나타내며, HF, HCl, NO_x, SO_x은 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 중심으로 2 Order 폭으로 NH₃는 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 중심에서 1 Order 폭으로 존재한다. Boron은 $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 존재하고 있으나 클린룸 건설 초기에는 $0.3\sim 0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준까지 높게 검출된다. 이들은 현재 관리하고 있는 512M DRAM 기준의 미립자 관리수준으로 볼 때 7 Order 정도 많은 양에 해당하는 농도로 심각하다고 볼 수가 있다. 발생원으

로써는

● **F, HCl**의 경우는 수세정(Wet Cleaning) 과정이나 드라이에칭(Dry Etching)에 사용되는 공정가스(Toxic Gas) 등의 누출에 의해서 발생한다.

● **NO_x, SO_x** 는 외기에 의한 것들이 주원인이지만 세정공정에서 H₂SO₄을 사용시 SO_x의 발생원이 될 수도 있다.

● **NH₃**의 경우는 NH₄OH + H₂O₂를 이용한 세정공정에서 발생하며, 작업자의 호흡기, 건축물의 콘크리트 또한 외기에서 많은 양이 유입되고 있으며, 사진공정에서 HMDS에 의한 원인과 CMP (Chemical Mechanical Polishing) 공정에서 상당량이 발생하고 있다.

● **B(Boron)**의 경우는 대부분 HEPA(High Efficiency Particulate Air), ULPA(Ultra Low Penetration Air) 필터에서 발생을 하고 있으며, 그 외 보온 재료인 유리섬유(Glass Wool)등에서도 적은 양 이지만 발생을 하고 있다.

● **P(Phosphorus)**의 경우는 건축물에서 주로 발생을 하고 있으며, 외기의 유입은 거의 없다.

이들 중 각각의 성분에 대해서 좀 더 상세하게 들어가 보자.

● **HF** 경우 누출 시 ULPA Filter에 함유되어 있는 B_2O_3 가 다음과 같은 반응에 의하여 다량으로 BF_3 를 방출하게 된다.



이 BF_3 은 비점이 $-101^\circ C$ 로 실온에서는 모두가 기체 상태로 존재하며, HF $1 \mu g/m^3$ 존재 시 B는 $0.1 \mu g/m^3$ 가 된다는 보고가 있다.

● **SOx**의 경우는 NH_3 와 결합하여 $(NH_4)_2SO_4$ 로 이는 미스트(mist)로서 미립자로 문제를 야기시킬 수 있으며, 열 산화막 공정에서는 기관 내의 적층 결합을 일으킨다.

● **HCl, NOx**도 SOx 와 동일한 문제를 야기시키며, 금속증착 공정에서는 부식을 일으키는 것으로 알려져 있다.

● **염기성 가스**의 대표적인 것은 NH_3 로서 앞 사진공정의 오염원 설명에서 열거를 하였기 때문에 간략하게 설명하면, 공기 중 산성가스와 결합하여 미스트(Mist)로 웨이퍼에 부착, 문제를 야기시키는데 이는 위에서도 설명한 것과 같이 $(NH_4)_2SO_4$ 의 것과 같다.

따라서 클린룸 공기 중에 존재하는 각종 불순물은 여러 가지 형태로 개발 및 공정 엔지니어들을 괴롭히고 있다.

9.1 무기이온 평가 법으로는 임핀저(Impinger), 비이커(Beaker) 방치법, 웨이퍼방치, 필터포집법 등이 있으나 이는 목적에 따라 달리 적용된다. 여기

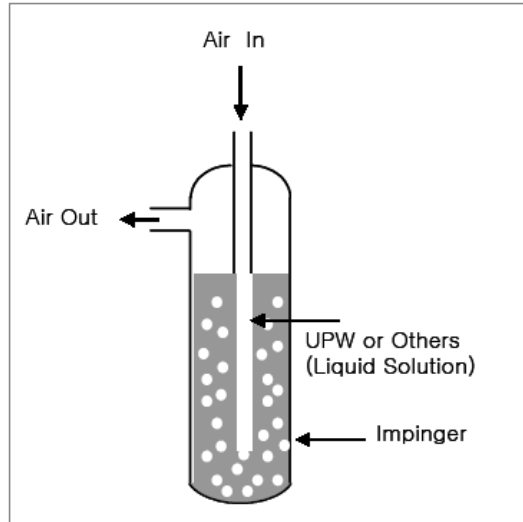


Fig.12 AMCs sampling method (Inorganic)

에서는 주로 사용되고 있는 임핀저법(Fig.12)에 대해서 논하기로 한다. 임핀저법은 워터트랩(Water Trap)방법을 이용하는데 일정 크기의 임핀저에 목적성분에 따라 용매를 넣고 진공 펌프를 이용, 흡입하여 공기 중에 존재하는 성분을 용매에 포집한다. 주로 임핀저는 직렬로 2개를 연결하여 포집 효율을 높여주며, 분석장비는 이온크로마토그래피로 음. 양이온 성분을, ICP-MS로 B, P 등 금속 성분을 분석하게 된다. 이 임핀저법은 분석결과의 값에 대한 신뢰도는 매우 좋으나 시료처리능력 측면에서는 비이커 방치 법이 더 좋다. 다음은 휘발성 유기화합물(VOC)에 대해서 알아보기로 한다.

9.2 휘발성 유기화합물(VOC)

앞 웨이퍼 평가법에서 VOC 영향에 대해서 열거하지 않아 아래에서 좀 더 상세히 알아보기로 하자, 아래의 내용은 주로 문헌에서 발췌한 내용

에 필자의 경험을 토대로 작성 하였다. 유기오염은 크게 공기 중 오염과 웨이퍼 표면오염으로 나눌 수가 있다. 이렇게 나누는 이유는 공기 중에 존재하는 유기물은 웨이퍼 흡착정도가 성분에 따라 많은 차이를 보이기 때문이다. 다음은 반도체 공정의 환경으로부터 웨이퍼 표면에 부착하는 유기오염에 대하여 알아보자. 먼저

● **클린룸 환경**으로부터 웨이퍼에 부착하기 쉬운 유기오염 성분은 유기실리콘과 각종 첨가제 물질(프탈산 에스테르, 아디핀산 에스테르, 인산 에스테르, 기타 지방족 에스테르 등)이 많다. VOC는 클린룸 내에 어떤 성분이 많이 있는냐가 문제가 아니라 어떠한 성분이 웨이퍼에 잘 부착하여 문제를 야기 시킬 수 있는냐에 관점을 두고 제어 대책을 강구해야 한다고 판단된다.

● **공정장비** 내에서 웨이퍼 표면의 유기오염으로서 클린룸 환경에서 오는 물질이 대부분이며, 특히 저분자 환상 실록산(Siloxane)의 경우는 웨이퍼에 부착하면 디바이스특성에 악 영향을 미치기 때문에 특별관리가 필요하다. 대응방안으로는 보통 유기계 케미컬 필터를 장비에 부착한다든지 또는 질소 분위기로 대응하는 경우가 많다. 그러나 주의 할 점은 케미컬 필터의 경우는 필터 자체에서 2차 오염이 없는가에 대하여 반드시 조사할 필요가 있다.

● **반송, 보관박스** 내에서 웨이퍼 표면의 유기오염은 PVC 재질의 보관박스로부터 DOP, BHT, THF, 탄화수소가,

● **PE, PP, PC 재질의 박스**에서는 DBQ (첨가제 산화 생성물), DBP, 지방족 에스테르 등이

● **패킹(Packing) 재질**로부터는 실록산, 인산 에스테르 등이 웨이퍼 표면을 오염시킨다.

특정 오염물질과 양에 따른 예로써 암모니아와 유기 아민류(도료, Seal 재료, 접착제 등 건축 재료로부터 탈 가스 물질)에 의한 화학증폭형 감광

체의 현상불량을 들 수가 있다. 웨이퍼 표면에 흡착한 유기 실리콘은 LP-CVD 질화막 공정에서 헤이즈(Haze)를 발생한다. 특히 장비 내에서는 저분자 실록산이 많기 때문에 헤이즈 발생량이 훨씬 많다. 인산에스테르는 n-채널에 있어서 문턱전압의 변동원인이 되고 있으며, 유황, 인, 할로겐 및 기타 금속을 함유한 유기화합물은 디바이스의 전기적 특성불량을 일으킨다. DOP, DBP 등의 프탈산에스테르계 가소제와 BHT 등의 산화방지제, 지방족 에스테르류는 LP-CVD의 인큐베이션 타임(Incubation Time) 및 게이트 산화막 내압열화 등에 영향을 미치며, 특히 DOP는 빠른 속도로 부착이 되기 때문에 특별 관리가 필요하다. 위와 같이 VOC에 대해서 몇 가지를 열거 하였지만 그의 영향력이 상당하다는 것을 알 수 있을 것이다. 이처럼 VOC계열 평가는 앞으로 분석자 입장에서 해야 할 일이 많다는 것이다. 이제 본론으로 들어가 VOC 분석방법에 대해서 논하고자 한다. VOC의 시료 채취방법은 주로 2가지가 이용되는데 하

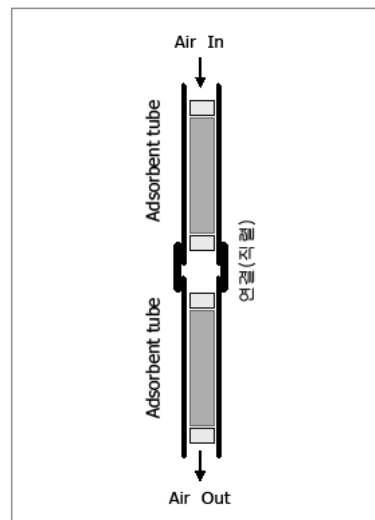


Fig.13 AMCs sampling method (Organic)

나는 캐니스터(Canister) 방법과 또 한 가지는 흡착제를 충전한 흡착튜브 방법(Fig.13)을 이용한다. 캐니스터 방법은 진공을 걸어 평가지역에서 밸브를 열고 공기를 채취 후 GC-MS를 이용하여 분석한다. 이의 장점은 한 시료에서 연속 몇 번의 분석이 가능하다는 것이 큰 장점이나, 오염, 높은 가격, 세정 등의 어려움이 단점이다. 필자의 분석실에서는 주로 흡착튜브를 이용하는데 흡착제로는 Tenax-GR를 사용한다. 시료 채취방법은 흡착제를 넣은 튜브를 진공펌프를 이용하여 일정시간 흡입 흡착시켜 시료를 채취 후 자동으로 탈리, 흡착 농축, 탈리 과정처리를 하는 시스템을 거쳐 GC-MS에 도입 분석한다. 지금까지 AMCs 분석 방법에 대해서 논하였으며, 이후부터는 기타 시료에 대한 분석방법과 응용에 대해서 간략하게 기술 하겠다.

10. 기타 시료 분석방법

10.1 약품 분석방법은 약품에 따라 수많은 방법이 있으나 보편적으로 금속불순물 분석방법은 석영 비이커를 이용한다든가 반도체의 경우 HF 계열 약품이 많기 때문에 주로 PFA, 테프론 재질을 사용하여 일정량 정량 후 전열기(Hot Plate)를 이용하여 매트릭스(Matrix)를 완전 제거 한 다음 혼합용액(HNO₃:HCl:DIW)으로 회수 후 AAS 또는 ICP-MS를 이용하여 분석한다. 이때 회수(Gathering) 용액은 분석자에 따라 달리 사용할 수 있다.

10.2 세라믹(Al₂O₃) 중 금속불순물 분석방법은 먼저 알아 두어야 할 것이 세라믹(Fine Ceramics) 종류는 화학적인 방법으로 분석시 많은 노하우(Know-How)를 필요로 한다. 먼저 잘게 부순 다음,

가압 산 분해 용기와 황산을 사용하여 용해 후 AAS, ICP-MS로 목적성분을 분석한다. 노하우는 부수는 방법, 부셔진 시료의 세정방법, 가압용기의 온도는 얼마정도 해야 할까?, 황산의 양 결정 등 많은 시행착오를 거쳐야 명확한 결과를 얻을 수 있는 방법이 탄생된다.

10.3 BPSG필름의 B₂O₃, P₂O₅, SiO₂조성비 분석 방법은 주로 반도체 가공라인 내에서는 FT-IR, XRF 등을 이용하여 분석을 하고 있으나 이들의 표준 웨이퍼를 제작 시에는 BPSG가 증착 된 웨이퍼를 비닐봉지(테프론 재질)에 넣고 HF로 완전히 녹인 다음, ICP-AES를 이용하여 정량분석을 한다.

10.4 캐리어박스의 원재료 중 VOC 분석방법은 원재료 또는 이미 제작된 박스를 스테인레스튜브(Stainless Sample Tube)에 충전 시킨 후 가열하여 방출되는 VOC성분을 흡착튜브를 사용하여 시료를 채취 한 후 GC-MS로 정성·정량분석 한다.

11. 전처리 방법의 종합

화학분석 장비를 이용하여 분석을 하기 위한 전처리 방법의 모음을 Table 2와 같이 정리하였으며, 반도체 부문에서 화학분석을 하는 사람에게는 도움이 되리라 판단된다. 그러나 이러한 분석방법은 나름대로 소속 되어있는 회사 및 분석실에 맞도록 새로이 기법을 만들어야 정확한 분석 결과물을 얻을 수 있다.

12. 반도체 클린기술의 로드맵

Fig.14는 반도체 역사와 반도체를 만들기 위한 제반 환경조건 중 클린 기술의 발전사에 대해 나

Table 2 Summary of analytical pretreatment

측정 항목	Sampling & 전처리		측정 원소	평가 대상
Wafer Fab. AMCs	Impinger 법		Cl, NO ₂ , NO ₃ , SO ₄ , PO ₄ , F Organic Acids, Na, NH ₄ , K, Fe, Cu, Al, VOC	높은 재현성
	Beaker 방치 법			여러 Point 측정가능
	Wafer 방치 법			오염 정도의 실 Data 산출
	흡착 Tube 법			Fab. 내 VOC
Gas 재료	Impinger 법			Gas Line
	Cylinder Sampling 법 (GC-MS)		THC, O ₂ , N ₂ etc	Bulk 및 Toxic Gas
Wafer 표면	Bag 추출 방법 (IC)	Hot Water 추출	Cl, NO ₂ , SO ₄ , PO ₄ , F, NH ₄ , ...	여러 이온이 용해 되는 물
		Hot HCl 추출	Metal 류(Fe, Cu, Ni, Zn, Co, Al, W,.....)	표면에 접촉된 금속
		Hot HF 추출		SiO ₂ 막의 금속이온
		Hot HF, HNO ₃		Si-SiO ₂ 막 사이 금속
	VPD 방법 (AAS, ICP-MS)			SiO ₂ 막의 금속이온
TDS 열 탈리를 이용한 방법(GC-MS)		Organic Compound, H ₂ O	Wafer 표면 및 막막 Out Gassing	
IC Product, Cassette, Photo mask etc..	Bag 추출 방법	Hot Water 추출	Cl, SO ₄ , PO ₄ , F Organic Acids, Na, NH ₄ , K.	여러 이온이 용해된 물
		Hot HCl 추출	중금속류 (Fe, Cu, Ni, Zn,.....)	표면에 접촉된 금속
DI Water	안축 가스에 의한 농축 방법 (IC)		Cl, NO ₂ , NO ₃ , SO ₄ , PO ₄ , F, Organic Ion,	- Ion 류는 IC 이용
	직접 평가 방법 (ICP-MS)		Na, NH ₄ , K, Fe, Cu, Al,	- Metal 류는 IC or ICP-MS 이용 - ppt 수준의 불순물을 평가

타낸 것으로서 이를 설명하면, 1970년대에는 금속 및 공기 중 미립자가 주 오염원으로 작용을 하였으며, 이는 수세정(wet Cleaning) 및 클린룸 기술(HEPA Filter)의 발전으로 제어를 하였다. 1980년에 들어서는 개발/양산 장비에서 발생하는 미립자가 등장을 하게 된다. 이 또한 장비의 개선을 통하여 많은 부분이 보완 되고 있으나 아직도 해야 할 일 들이 무수히 많다. 이의 개선은 반도체 가공자 측에서도 장비 제작회사에 충분한 정보를 제공하여 오염제어 개선에 같이 동참해야 한다고 본다. 1990년대에 들어서는 본 논고에서 열거한 클린룸 공기(Atmosphere) 부분으로 가스로 존재하는 화학물질(Cheical Gases)이 문제로 등장하게 된다. 이는 아직도 많은 부분에서 연구 대상이 되고 있으며 제어방법도 여러 가지가 있으나 보편적으로 케미컬 필터로 억제하고 있다.

2000년대에 들어와 지금의 숙제이며, 향후 연구 대상인 것으로 유기화합물 및 수분이 문제화되고 있다. 이의 제어방법으로는 밀폐 제조시스템 도입으로 제어방안을 내 놓고 있으나 아직은 숙제가 더 많은 부분이라 할 수 있겠다.

지금까지 기술한 내용 중 분석방법을 제외하고 종합하면

12.1 환경에서 오는 화학오염원

● 외기 오염원 : SO_x, NO_x, NH₃가 주종이며, 일부 유기화합물이 있음

● 클린룸 : NH₃, B, P, 실록산 등 유기화합물 (외기보다 약 10배 이상 검출)

● 공정 오염원 : NH₃, HF, HCl, B, P, 실라놀 등 각종 유기화합물

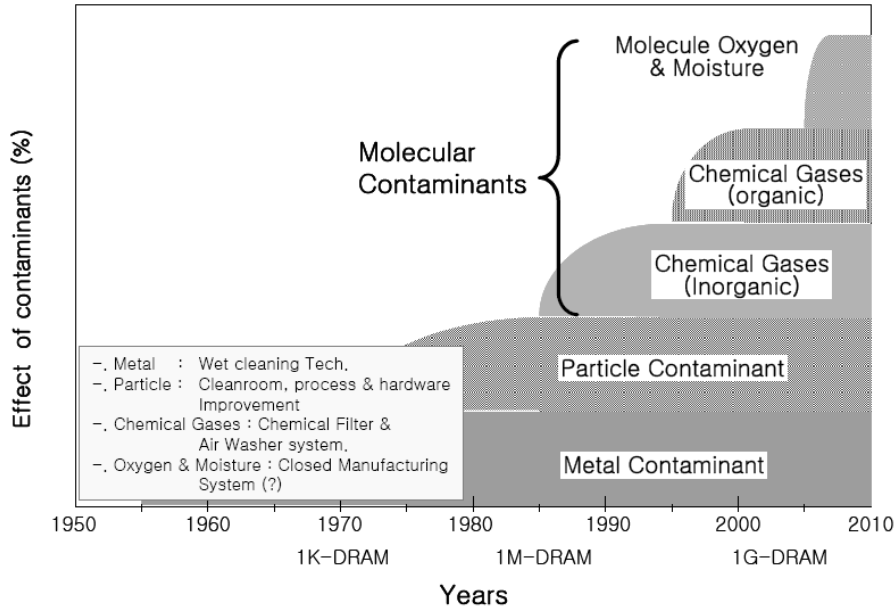


Fig.14 Roadmap of contamination control in semiconductor

12.2 Device 제조에 미치는 영향

- 산성 가스 : 이물생성, 금속선(Metal Line) 부식, B 발생, 산화막 식각 및 적층결함 등을 발생.
- 염기성 가스 : 이물생성, 사진공정의 현상불량, 광학계 이물부착으로 마진불량 등을 발생
- 유기 화합물 : 광학계 이물부착, 내압불량, 질화막 이물발생, Vth변동, 물 반점, 콘택(contact)도통 불량 등
- B, P : Vth변동에 큰 영향을 미침
- 금속 불순물 : PN 접합리크 전류불량, 라이프타임 감소, Vth 변동, 결정결함 등

12.3 오염 대책

- 산성, 염기성 외기 : 외조기에 케미컬 필터

또는 에어워셔(Air Washer) 설치에 의한 제거

- 산성, 염기성 내부 : 순환 공조기에 케미컬 필터 또는 특정지역/장비에 케미컬 필터 설치
- 유기계 : 클린룸 건설재료의 탈리가스(Out Gassing) 평가 후 적용 및 케미컬 필터부착 또는 국소지역의 클린화, 사용약품의 누출 방지 및 국소배기철저.
- B, P : B는 ULPA 필터의 여재 변경(PTFE or Boronless Glass 사용), P는 건설재료의 신중한 선택 및 공정가스(PH₃ 등)의 누출방지시스템 완벽추구.
- 금속불순물 : 지속적인 분석평가에 의한 원인제거가 가장 적절하나 개발/양산 장비제작부터 오염원 제어에 대한 철저한 검토가 필요하다.

13. 결론

본 논고에서 주로 열거한 내용은 웨이퍼 표면오염, 클린룸 공기(Air) 평가 등 2가지를 주로 다루었으나 오염제어는 위 2가지 외에 각종 유틸리티, 웨이퍼 막질, 원재료, 장비부품, 청정소모품 등 수많은 종류가 있다고 할 수 있겠다. 이들 모두에 대해서 평가하여 개선한다면 필자가 자주 사용하는 CFM (Contamination Free Manufacturing) 라인이 구축되어 양질의 웨이퍼 가공으로 신뢰성 있는 제품을 만들 수 있을 것이라 감히 말할 수 있겠다.

14. 맺음말

여기에 정리한 반도체부문의 화학오염에 대한 내용은 일부분으로 현재 걸으로 나타난, 문제시 되고 있는 것들에 한하여 정리하였음을 알린다. 또한 필자회사만 가지고 있는 분석기술에 대해서는 대외비로 제외 된 점은 미안하게 생각한다. 화학오염의 대응방안은 대상이 무수히 많고 또한 영향의 변수도 많기 때문에 우리가 반도체를 지속하는 한 끝이 없으리라고 본다. 본 논고에서 많은 부분을 차지하고 있는 유기화학오염물질의 제어가 향후 아니 현재도 우리들에게 많은 어려움과 시간을 요구하고 있는 것이 사실이다. 여기서 말하고

싶은 것은 평가능력도 중요하지만 평가된 결과를 가지고 개선을 어떻게 진행하여 제품의 품질 및 수율에 기여할 것인가가 궁극적인 목표 일 것이다. 따라서 분석자는 분석입장에서만 보지 말고, 분석데이터가 제조라인에 직접적용이 될 수 있도록 해야 한다, 왜냐하면 통상적으로 공정 엔지니어는 화학오염에 대한 중요성을 느끼면서도 소홀히 하고 있는 것은 전문적인 지식, 아니 가깝게 접근하기에는 어려운 것 같은 느낌을 가지고 있다는 것이다.

- 참고 문헌 -

1. Syuichi Ishiwari , Chemical Evaluation and its application in Semiconductor process
2. Hiroyuki Nakajima, Airborne Molecular Contamination control technology for 300mm cleanroom
3. 김진호, 반도체와 돼지머리, 양서원 출판 (1992)
4. 半導体プロセス環境における化學汚染とその對策 , Realize INC (1997)
5. The International Technology Roadmap for Semiconductors (2005)
6. Technology Transfer Report #95052812A-TR, SEMATECH (1995)
7. BALAZS ANALYTICAL SERVICE_http://www.balazs.com