

◆특집◆ 초정밀 생산공정에서의 청정환경제어기술

반도체 클린룸의 오염원 정보

김광영*, 이응선*

Information of Contamination in Semiconductor Cleanroom

Kwangyoung Kim*, Eungsun Lee*

Key Words : Airborne Molecular Contaminants(분자상 오염물질, AMCs), Particulate Contaminants(입자상 오염물질), Acidic Contaminants(산성 오염물질), Basic Contaminants(염기성 오염물질), Organic Contaminants(유기성 오염물질), Dopant(도펀트)

1. 서론

메모리의 집적화, 회로 패턴의 미세화에 따라 클린룸 공기중에 존재하는 입자상 오염물질과 분자상 오염물질(Airborne Molecular Contaminants, AMCs)이 제조공정에 미치는 영향은 점점 확대되면서 클린룸 내에서의 오염물질의 관리는 매우 중요하게 되었다 (Fig. 1 참조). 입자상 오염물질의 경우는 10~0.05 μm 크기로 광학 현미경이나 SEM을 이용하여 관찰 할

수 있고 주로 패턴의 이상과 절연막의 핀홀(Pinhole)에 기인한 배선의 단선, 배선간의 단락 등으로 오염 종류의 특이성이 적으며, 현재 ULPA, HEPA 필터를 이용하여 99.9999% 이상 제거할 수 있다. 이에 반하여 분자상오염물질은 클린룸 공기중의 미량조차도 디바이스 제조공정에서 실리콘 웨이퍼 표면에 부착하여 게이트 산화막 절연 파괴, 패턴의 불량 등과 같은 장애를 일으킨다. 또한 크기가 0.001~0.0001 μm 로 매우 작아 외관상 관찰이 어려우며, 화학 흡착, 이온

| 년대 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 |
|--|---|----|-------------------------------|----|----|---------------------------------------|----|----|------|----|--------------|----|----|----|----|----|
| Design Rule (최소선폭 : μm) | 0.35 | | 0.25 | | | 0.2 ~ 0.18 | | | 0.13 | | 0.10 | | | | | |
| DRAM 주이 (양산화 세대) | (16M) | | (64M) | | | (256M) ~ (1G) | | | (4G) | | (16G) | | | | | |
| Wafer Size | ϕ 200mm | | | | | ϕ 300mm | | | | | ϕ 400mm | | | | | |
| 관리 Particle Size (μm) | 0.1 | | 0.07 | | | 0.05 | | | 0.02 | | 0.01 | | | | | |
| Wafer 허용 밀도 | 0.01 EA/cm ² | | | | | 0.005 EA/cm ² | | | | | | | | | | |
| Wafer Metal 오염 | 1 × 10E10 원자/cm ² | | | | | 5 × 10E9 원자/cm ² | | | | | | | | | | |
| 초순수 Particle | 1 EA/ml (0.1 μm) | | 1 EA/ml (0.05 μm) | | | 1 EA/ml (0.02 μm) | | | | | | | | | | |
| Clean Room 방식 | - Process Area 전체 Clean 화 - Particle 수준 제거 | | | | | - Wafer 주변 국소 Clean 화 - 분자 오염물질 제거 | | | | | | | | | | |

Fig. 1 The clean class of cleanroom according to the development of memory device

* (주) 에이스 랩

Tel. 042-870-0123, Fax. 042-864-2587

Email eslee@acelab.co.kr

반응, 산화, 환원반응을 통해 웨이퍼에 부착된다 부착된 오염물질은 오염불량, 전기 리크, 접착 불량 등을 일으키며, 오염 종류와 형태가 원소의 종류에 따라 매우 다양하게 나타나기 때문에 분자상 오염물질의 관리는 매우 중요하다. 그럼에도 불구하고 반도체 제조환경에서 분자상 오염물질의 오염 문제는 1990년경부터 검사되기 시작했으며 아직도 연구가 미진한 상태에 있다. 본고에서는 분자상 오염원의 실태와 제거 기술 및 측정 기술 사례를 중심으로 서술하였다. 제어기술로는 일반적으로 HEPA, ULPA 필터와 특정 화학오염원에 대한 제거용 필터가 주로 사용되고 있으며, 최근 자외선 광촉매 방식에 의한 제어 기술과 전기수력학적분사(Elect-ro spray) 법을 이용하는 최신 기술에 대한 검토가 신중히 고려되고 있어 소개한다. 또한 측정 기술 사례로는 실시간 자동화 모니터링 시스템을 이용하여 반도체 공정별 오염원 모니터링 사례를 소개한다.

2. 클린룸의 오염원

반도체 클린룸의 오염물질은 크게 입자상 오염물질과 분자상 오염물질로 구분된다. 이러한 오염물질이 웨이퍼에 어떠한 형태로든 부착된다면 여러 가지 형태로 디바이스 불량률이 발생되어 수율과 신뢰성이 저하되게 된다. Fig. 2는 반도체 클린룸에서의 오염물질 농도를 나타내며 일반적으로 분자상 오염물

질의 농도는 입자상 오염물질(Particle)에 비하여 높음을 알 수 있다.

2.1 입자상 오염원

입자상 오염원은 거시적인 크기를 갖는 입자상 물질이다. 입자상 오염원은 제조 프로세스에 의하여 웨이퍼 및 제조장치에 축적된 화학반응 생성물의 박리, 웨이퍼와 제조 장치 사이의 습동, 사람 및 제조장치 등으로부터 클린룸 환경에 방출되며, 발생된 입자상 물질은 웨이퍼에 부착하여 불량을 일으키게 된다. 입자상 오염원은 크기가 0.05~10 μm 로 비교적 크기 때문에 현미경을 이용하여 육안으로 관찰이 가능하며, 불량의 상황 및 발생기구를 직감적으로 알기 쉬운 경우가 많기 때문에 오염원의 유지 관리가 분자상 오염원에 비하여 쉽다.

2.2 분자상 오염원

클린룸내 분자상 오염물질은 패턴 이상과 같은 물리적 디바이스 불량을 발생시키는 것이 아니고 어떠한 화학반응을 거친 작용에 의하여 디바이스 불량을 일으키는 오염을 의미한다. 따라서 분자상 오염원은 입자형태도 있지만, 원자, 분자, 이온과 같은 것으로 크기가 0.001~0.0001 μm 로 매우 작아 외관상 관찰이 어려운 것도 매우 많이 존재한다. 분자상 오염원은 산성, 염기성, 응축성 유기 물질 및 도펀트(Dopants) 4가지로 크게 구분되며, 이들

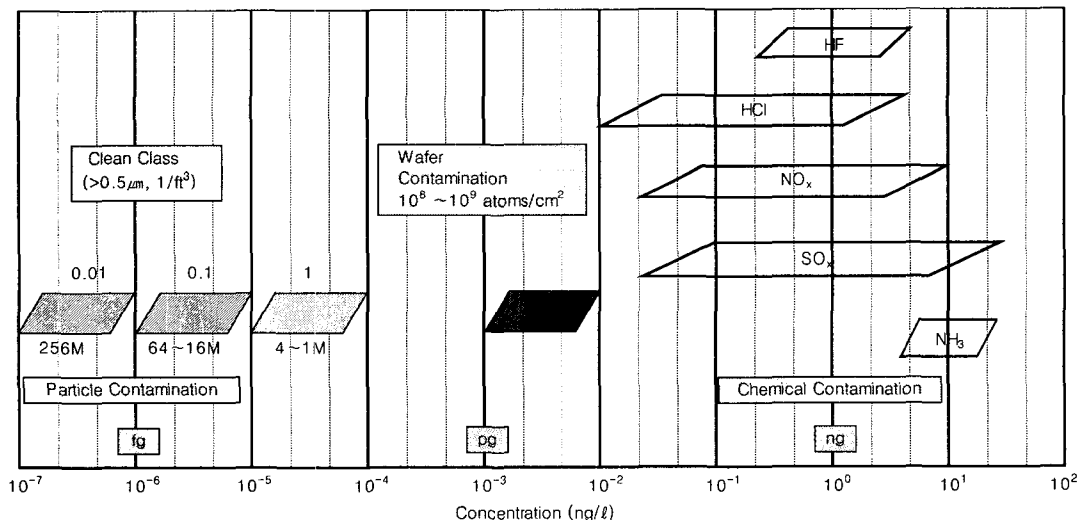


Fig. 2 Concentration of Particle & Chemical Contaminants in Cleanroom

반도체 클린룸에서 각각 0.01~10, 1~100, 10~1000, ~1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 농도를 가진다(Table 1 참조).

Table 1 Concentration and source of molecular contaminants in cleanroom

| 분류 | 오염 물질 | 공기중 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | 주 오염원 |
|---------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|---------------------------|
| | | 외기 | 클린룸 | |
| 산 | F ⁻ | <0.1 | <0.05 | 외기, 세정공정 |
| | Cl ⁻ | 1.6 | 0.09 | |
| | NO ₃ ⁻ | 8.6 | 1.9 | |
| | SO ₄ ²⁻ | 21 | 0.1 | |
| | PO ₄ ³⁻ | <0.1 | 0.05 | |
| 염기 | NH ₄ ⁺ | 3.7 | 9.4 | 외기,사람, 콘크리트 페이트,세정 및 포토공정 |
| 응축성 유기물 | 유기물 | 약 100 | 약 800 | 클린룸 구성재료, 생산 공정 |
| 도펀트 | Boron | 10 | 100 | 유리섬유필터, 외기 |

2.2.1 산성 물질

클린룸내 산성 물질 성분으로는 불화수소(HF), 염화수소(HCl), 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x), 인산(H₃PO₄)이 대부분 차지하고 있다. 일반적으로 염화수소, 질소화합물, 황화합물은 클린룸보다 외기에서 많이 검출되며, 불화수소는 내기, 외기 모두 비교적 낮은 농도로 검출된다(Table 1). 염소(Cl)는 알루미늄 배선을 건식 식각(Dry Etching)에 의하여 가공할 때 사용되는 염소계 화합물 사염화 보론(BCl₃), 염소가스(Cl₂) 등이 분해하여 잔류된 것이다. 불소(F)는 습식 세정시 발생하는 불산(HF)이 주요 원인이며, 이들이 웨이퍼 면에 다량으로 잔류하면 알루미늄 배선이 부식되고, 염소의 경우에는 이물이 형성되고, 불소의 경우에는 배선이 없어지는 현상이 발생한다. 질소산화물의 경우는 웨이퍼 상에서 나타나는 물반점에 의한 세정불량과 포토 공정시 수율을 저하시키는 문제와 포토 장비인 스테퍼(Stepper)의 렌즈 표면에 암모늄염을 증착시켜 인텐시티 드롭(Intensity Drop)으로 인한 조도 저하 등의 문제를 야기시킨다. 이산화황(SO₂)은 외기로부터 클린룸내로 유입되는 것과 클린룸 내에서 암모니아 과산화 수소

혼합수용액이 누설되어 전자재의 고분자 수지와 반응에 의하여 발생하며 게이트 산화막의 절연 파괴를 일으킨다. 인산의 경우는 웨이퍼상의 패턴의 부식(Corrosion)으로 인한 접촉불량을 일으키며 전체적인 수율을 저하시키는 원인으로 작용한다.

2.2.2 염기성 물질

염기성 물질로는 암모니아(NH₃), 아민 등이 있으며, 일반적으로 클린룸내의 농도가 외기의 농도에 비하여 높다. 암모니아는 암모니아 과산화 수소 혼합수용액(AMP)을 이용하는 세정 장치, 레지스트 도포 현상장치, 포토 공정, 내장제, 콘크리트, 외기 및 인체로부터 공기 중으로 방출되며 건설 초기에는 콘크리트와 에폭시계의 도료로부터 방출되는 영향이 크다. 포토 공정에서 사용되는 엑시머 레이저(Excimer Laser) 광원용 레지스트는 광 조사에 의해 생성되는 수소 이온을 이용하여 해상을 하기 때문에 클린룸 환경 중에 암모니아 오염이 존재하면 중화반응에 의하여 수소 이온이 소실되어 패턴 불량이 발생된다. 아민은 주로 사람으로부터 발생하는데 화학적 저항을 교란시키기도 한다. 이와 같은 염기성 가스는 산성가스와 중화반응이 일어나며, 이렇게 생성된 초미세 중성염은 웨이퍼 표면상에 침착되어 패턴 불량, 접촉저항 증대, 전기적 특성 변화 등의 영향을 미친다.

2.2.3 유기 오염물질

클린룸 공기중의 유기물은 다른 가스상 오염물질에 비해 고농도로 존재하나 충분한 현상파악과 대책이 강구되지 않고 있으며, 실리콘웨이퍼 표면에 있어 유기물 오염현황과 화학적 성질이 다름에도 불구하고 부착 특성에 대한 연구가 매우 미흡한 상태이다. 유기 오염물의 오염원은 벽체, 공정시 발생하는 가스, 외기 등의 시설물 오염원과 제조 공정에 사용되는 화학약품, 작업원으로부터 주로 발생된다. 클린룸 공기중의 유기오염 물질 농도는 건설직후부터 약 3년간 조사한 결과 건설 직후 약 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 6개월까지 감소하고 그후 3년경과 후에도 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도가 일정하게 유지되어 건축자재로부터 발생하는 유기물에 대해 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 떨어뜨리는 것은 기대하기 어렵다(Fig. 3). 클린룸 공기중의 유기물은 방향족 탄화수소, 지방족 탄화수소, 에스테르 류가 주성분이나 웨이퍼에 부착되고 있는 유기화합물은 클린룸의 주성분 오염원은 거의 없고, 생산공정

에서도 사용되지 않는 것들이 대부분을 이루었다. 주로 프탈산 에스테르, 인산 에스테르, 및 실록산 등이 주성분으로 검출되는 선택적 흡착현상이 일어난다. 이들은 건자재, 실링 재료, 페인트, 기타 플라스틱 재료로부터 방출되며 프탈산디부틸(DBP), 프탈산디옥틸(DOP), 아디핀산디옥틸(DOA) 등의 가소제, 디부틸히드록시톨루엔(BHI) 등의 산화 방지제, 인산트리부틸(IEP), 인산트리클로로에틸(ICEP) 등의 난연제 등의 고비점, 고분자의 유기 화합물이다(Table 2 참조).

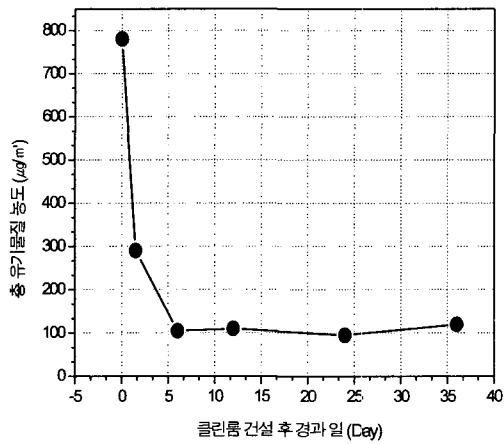


Fig. 3 Time-dependent changes in concentration of total organic contaminants in cleanroom air after construction of cleanroom

2.2.4 도펀트(Dopants)

도펀트(Dopants)는 반도체 물질의 전기적 특성을 변화시키는 화학 원소를 가르킨다. 도펀트 원소는 보론(B), 안티모니(Sb) (P-type), 인(P) (N-type)이 주로 사용된다. ULSI(Ultra-Large Scale Integration) 제조에 있어서 이들 원소를 함유하는 기체로서 B₂H₆, PH₃가 있으며, MOS(Metal Oxide Semiconductor) 트랜지스터의 채널 영역이 오염되면 문턱 전압(Threshold Voltage)이 변동하여 불량 발생된다. 도펀트의 발생원이 되는 클린룸 구조물로서는 HEPA 필터와 각종 건자재, 외기에서 생성되는 수증기들이 있다. HEPA 필터의 주성분인 유리 섬유는 웨이퍼 세정에 이용되는 불산 수용액으로부터 배출되는

Table 2 Source and effect of organic contaminants in cleanroom

| 오염물질 배출원 | 유기 화합물 | 영향 |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| HEPA/ULPA 필터 | Organo-phosphates | Counter doping, Voltage shifts |
| 타일, 페인트 | Diocetylphthalate | |
| 장갑, 오링, 가스켓, 필름 플라스틱제 패키징 | Phthalates | Gate Oxide degradation |
| 마감재, 접착제 | Silicones | Particle formation |
| 포토 레지스트 케미칼 | Cresol | Corrosion, hydrophobic wafer surface |
| 포토레지스트 스트리퍼 | N-methylpyrrolidone (NMP) | T-topping, photolithography defects |
| 고무 튜브, 플라스틱제 | Hydrocarbons | Hydrophobic wafer surface |

불산(HF)에 의해 식각되기 때문에 보론(B)의 농도를 증가 시킨다. 인(P)은 공기 중에 주로 유기인으로 존재하며, 난연제등에서 인계 유기화합물이 다량 사용되고 있다. 인(P) 성분이 방출되면 IC 디바이스의 전기적 특성을 저하시키고 반도체 웨이퍼에 얼룩이 생겨 결함을 발생시킨다. 이외의 도펀트 물질로는 비소(As)와 알루미늄(Al)이 있지만 생산에서 큰 문제가 없다고 판단된다. 그러나 보론은 이산화 규소(SiO₂)막 중에서 확산 계수가 크고, 특히 열처리 시에 수소 또는 불소 원소가 존재하면 확산이 증가되기 때문에 Si 기판 표면이 산화막으로 피복되어 있어도 관리치를 벗어나는 일이 없도록 매우 주의해야 할 오염원으로 판단된다.

지금까지 설명한 산, 염기, 유기물, 도펀트 이외에도 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu) 등의 중금속이 Si 기판에 확산되면 캐리어 수명 저하, 접합 리크, 전류증가를 일으키며, 원소에 따라 차이가 있지만 약 10¹¹ atoms/cm² 이상의 오염량이 되면 열화가 일어난다. 이외에도 오존의 경우는 HSG 공정에서 엠보싱 캐패시터(Capacitor)의 성장에 장애를 일으키며, 반응성

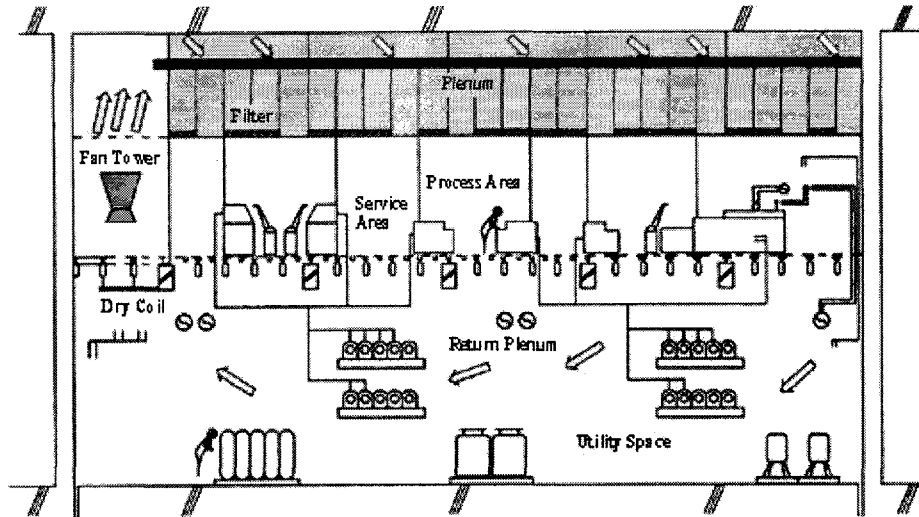


Fig. 4 Schematic diagram of cleanroom (Plenum)

Table 3 Comparison of boron concentration at upstream and downstream of various types of filter with solution absorption method

| | 보론(B) 의 농도 (ng/m ³) | | | |
|------------------------|---------------------------------|--------------------|-----|----------------|
| | 상류 | 필터 종류 | 하류 | 비고 |
| 외기 (고체상 불산이 감소) | 32 | HEPA filter | 1 | |
| | 35 | HEPA filter | 5 | |
| | 136 | HEPA filter | 5 | |
| | 155 | Washer+HEPA filter | 1 | |
| 클린룸 공기 (가스상 보론의 증가) | 5 | HEPA filter | 30 | 불산과 반응 |
| | 5 | HEPA filter | 11 | 불산과 반응 |
| | 10 | HEPA filter | 91 | 알콜과 반응 |
| | 3 | HEPA filter | 15 | 알콜과 반응 |
| | 5 | HEPA filter | 12 | 상대 습도 20% |
| | 110 | HEPA filter | 210 | 상대 습도 60% |
| | 3 | PP HEPA filter | 3 | 폴리프로필렌 HEPA 필터 |
| 클린룸 공기 (가스상 보론 감소) | 5 | Chemical filter | 1 | |
| | 11 | Chemical filter | <1 | |
| | 32 | Chemical filter | <1 | |

가스 내 포함되어 있는 산소와 수증기 역시 부작용을 일으킨다. 이러한 영향은 주요부의 크기(Feature Size)가 작아질 때 더 커진다. 이러한 생산조건을 만족시키기 위해서는 클린룸의 청정도를 높일 수밖에 없으며, 가스상 물질과 나노 크기 초미세 입자를 경제적으로, 효율적으로 제어할 기술이 필요하다.

3. 분자급 오염의 제어 기술

현재까지 클린룸의 오염관리를 위한 가장 대표적인 제어 방법은 입자제어나 특정가스 제어를 위하여 사용한 필터이다. 먼저 입자상의 경우에도 기가급(GIGA) 클린룸에서는 웨이퍼 가공 선폭이 최소 0.18 μm 이므로 이에 1/10인 0.018 μm 이하의 입자에 대한 제어가 가능해야 한다. 최근 이에 대한 대책으로 클린화 기술 동향은 나노 사이즈 입자의 포집이 가능한 고성능 필터의 개발과 국소 청정화로 이어지고 있다. 나노 사이즈 미세 입자의 경우 그것의 존재 형태나, 종류 및 특성 등에 대한 정확한 정보 파악이 우선 되어야 하나 이에 대한 연구가 아직까지 매우 미흡한 상태이며, 분명한 제어 기술 적용을 위해서는 많은 노력이 필요한 부분으로 생각된다.

우선 고성능 필터의 개발에 있어서 중요한 것은 단순히 미세 입자의 제거 효율 향상만이 중요한 문제가 아니라 필터 재질로부터 발생될 수 있는 오염의 최소화를 위한 필터 재질자체의 개발이 매우 중요하며, 또한 미세화에 따른 압력손실과 사용 수명 등에 대한 분명한 결과가 중요하다. 화학적 오염원의 제어를 위해서도 현재는 주로 암모니아 제거용 필터 설치 및 오존 필터의 설치 등으로 대책을 강구하고 있다. 그러나 차세대 클린룸의 환경제어를 위해서는 필터 설치에 의한 단순 제어로는 오염제어에 한계가 있다. 온 가스의 경우 10 ng/m^3 이하, 유기물 농도 7.4 ng/m^3 에서 기가급 반도체 생산이 가능하다. 이를 위해 외기에서 유입되는 유기물은 활성탄 및 화학흡착제 필터를 이용하는 제거기술, 자외선-광촉매를 이용한 유해가스 및 미립자 제어기술과 복합적으로 사용할 수 있는 많은 연구들이 활발히 진행되고 있는 상황이다. Fig. 4는 일반적인 반도체 플렌룸(Plenum)의 구조를 나타내는 도식으로써 HEPA, ULPA 필터와 고효율 암모니아 제거용 필터, 오존 제거 필터등의 유해가스 제거 필터를 설치하여 클린룸에서의 입자성오염물질 및 분자오염물질을 제거한다.

현재 클린룸에 입자상 물질을 제거하기 위하여 사용되는 HEPA 필터와 유해가스 및 유기물을 제거하기 위한 활성탄 흡착 필터를 이용하여 보론을 제거한 결과를 Table 3에 나타내었다. 외기에서 보론의 농도는 20~200 ng/m^3 정도이며, HEPA 필터를 통과한 공기에서는 입자상 보론이 현저히 감소되었으나, 불산이 존재할 경우 불산과 HEPA 필터의 유리성분이 반응하여 많은 양의 보론을 발생시켜 필터가 보론의 오염원 역할을 하였다. 보론을 포함하지 않은 폴리프로필렌(Polypropylene) HEPA 필터 사용시 필터 하류와 상류에서의 농도가 동일하였으며, 가스상 보론은 증가하지 않았다. 또한 활성탄 케미칼 필터를 통과한 가스상 보론은 99% 이상 제거되어 <1 ng/m^3 의 농도를 나타내었으며, 이러한 실험 결과는 아래 Table 3에 나타내었다.

자외선 광촉매를 이용한 유해 가스 제어 기술은 광전효과에 의해 방출된 광전자가 유해가스나 미립자를 하전시키고 집진전극으로 이동하여 포집되게 된다. 대표적 광촉매인 산화 티탄(TiO_2)을 이용한 최근 기술의 내용에 따르면 TiO_2/HAP (Hydroxy-apatite)를 함께 사용함으로써 저농도 질소산화물의 경우 공기 유량이 10 LPM 정도에서도 93%이상의 제거 효율을 나타내는 매우 좋은 결과를 보여주고 있다. 그러나 이 기술 역시 현재로는 몇가지 한계점을 가지고 있으나 지속적인 노력을 통한 성능 향상과 실공정에 사용될 수 있는 시스템 개발 등이 해결되면, 기존 필터의 사용과 함께 많은 시너지 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다(Table 4참조).

Table 4 Removal efficiency of NOx with diffusion denuder coated TiO_2/HAP

| 공기 유량 (ℓ /min) | 질소산화물 농도 (ppm) | | 제거 효율 (%) |
|-------------------------|--------------------|-------------------|--------------|
| | Before Light On | After Light On | |
| 4 | 3.67 | 0.01 | 99.8 |
| 10 | 3.60 | 0.23 | 93.5 |
| 15 | 3.50 | 0.46 | 86.7 |
| 10 | 25.5 | 11.0 | 57.0 |
| 10 | 49.3 | 36.0 | 26.9 |
| 10 | 103.3 | 89.5 | 13.4 |

최근 당사의 연구팀은 전기수력학적분사법 방식에 의한 신기술을 최근 미세입자와 고분자성 유해가스의 제어를 위한 기술로 제안하고 있다. 전기수력학적분사법은 정전기력에 의해 액체를 미세한 하전된 작은 방울(droplet) 또는 이온으로 분해하는 기술이다. 기본적 원리는 액체가 공급된 노즐끝과 접지사이의 전기적 포텐셜 차이에 의해 물의 표면 장력과 정수 압력의 붕괴로 발생되며(Rayleigh break-up), 이러한 과정에 의해 발생된 작은 방울(droplet) 또는 이온들은 매우 높게 하전되어 있으며 쿨롱 반발력에 의해 자기 분해(self-disperse)작용을 하고 이러한 droplet들은 동일한 극성을 가져 서로간의 응집이 발생하지 않는 특징을 가지고 있다. 전기수력학적분사법의 원리를 Fig. 5에 간단히 도시하였다.

이러한 전기수력학적분사법의 원리를 이용하여 정전 집진 기술에 응용하였다. Fig. 6은 집진원리를 나타낸 그림이다. 본 원리를 이용하여 실험한 결과면풍속 2.0 m/s에서 50 nm의 입경에 대해 99.9% 이상의 집진 효율을 보여준다. 이에 대한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

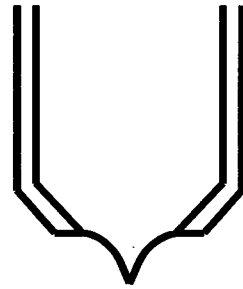
최근 이 기술은 모듈 시스템 개발을 통한 적용이 계속되고 있으며, 차세대 클린룸 환경제어 즉 국소 제어 시스템으로 발전해 나갈 경우 각 부문별 제조 환경에 설치가 가능하여 차세대 클린룸 환경제어에 핵심기술로 기여할 것으로 생각된다.

4. 클린룸의 오염원 농도 관리와 측정

화학적 오염물질은 생산수율과 직접적인 관련이 있기 때문에 각 공정에 맞게 화학적 오염물질의 농도관리가 지속적으로 이루어 져야 한다. 그러나 아직까지 오염으로 인한 불량을 방지하기 위해서 요구되는 청정도에 대해서는 명확하지 않은 부분이 많다. Table5는 0.25 μm 프로세서 공정에서의 화학적 오염물질의 관리한계를 나타낸다.

분자상 오염물질의 대표적인 가스상 오염물질의 분석 및 포집 방법은 Table 6에 나타내었다. 그러나 가스상 오염물질의 분석은 각 공정에 따라 오염성분 및 오염 형태가 매우 다르며 오염물질의 농도가 ppt-ppb 수준의 미량이기 때문에 미량 정밀 분석이 필요하며 여러가지의 분석방법을 복합적으로 사용하여야 하는 어려운 문제를 가지고 있다. 또한 이러한 포집 방법을 이용하여 시료를 포집 후 분석하는 방법은 급변하는 클린룸의 오염 농도를 정확히 측정

Rayleigh Break-Up



Cone-jet

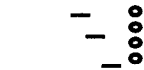


Fig. 5 The principle of electrospray

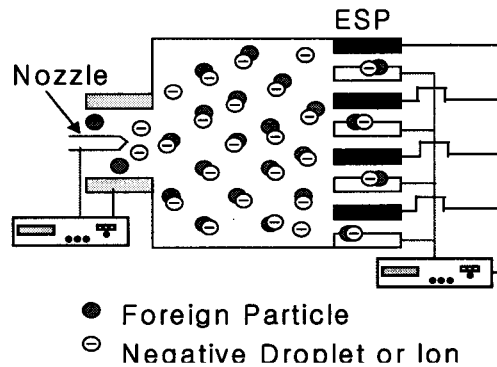


Fig. 6 The principle of collection using electrospray method

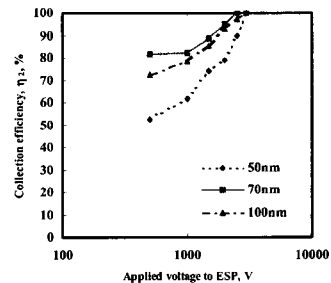


Fig. 7 Collection efficiencies for the reference condition (U=2.0m/s)

Table 5 Required level of AMCs in 0.25 μ m Process

| 공정 | 단위 (pptM) | | | |
|----------------------|-----------|-----------|---------|---------|
| | 산 | 염기 | 응축성 유기물 | 도펀트 |
| Pre-Gate Oxidation | 13,000 | 13,000 | 1,000 | 0.1 |
| Salicidation | 180 | 13,000 | 35,000 | 1,000 |
| Contact Formation | 5 | 13,000 | 2,000 | 100,000 |
| DUV Photolithography | 10,000 | 1,000 | 100,000 | 10,000 |
| Control Limit (USA) | 5 | 1,000 | 1,000 | 0.1 |
| Control Limit Japan) | 5 | 500~1,000 | 0.3 | 0.1 |

할 수 없는 문제점이 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 일부 가스상 오염물질들은 미량 농도까지 분석 가능한 자동화 시스템이 개발되어 반도체 공정 클린룸에 적용되고 있으며 지속적이며, 실시간의 농도 변화를 확인함으로써 클린룸에서의 농도 관리를 효과적으로 할 수 있게 되었다. Fig. 8은 암모니아 자동화 모니터링 장치를 이용하여 공정별 클린룸 공기의 암모니아 농도를 실시간 모니터링 한 결과이다. 각 공정별 암모니아 농도가 각각 다름을 보여준다. 특히 포토 공정의 경우 1 ppbv 이하를 유지하고 있음을 볼 수 있으며, Diffusion 공정의 경우 1~2 ppbv 정도의 범위에서 지속적으로 변화함을 볼 수 있다. Fig. 9는 산성가스 중 HNO₂, SO₂를 모니터링 장치를 이용하여 측정된 결과이다. HNO₂의 경우 새벽 (오전 1~시) 사이에서 최대를 나타내며, 오후 (17:00~9:00)에서 최저 농도를 나타내며 1일 주기로 큰 폭의 농도 변화를 나타내었다. SO₂ 역시 1일 주기로 큰 폭의 농도 변화를 나타내고 있다.

Table 6 Sampling & analysis method of AMCs

| 포집 방법 | 분석 방법 |
|----------------|--|
| 1. 임핀저 포집법 | ICP-AES, ICP-MS IC, HPLC, GC, GC-MS PT ^{*1} -GC-MS HS ^{*2} -GC-MS TDS ^{*3} -GC-MS |
| 2. 필터 포집법 | |
| 3. 사이클론 샘플링법 | |
| 4. 유기물 | |
| 직접 포집법, 용액 흡수법 | |
| 컬럼 흡수법, 트랩 방법 | |

*1: Purge and Trap, *2: Headspace,

*3: Thermal Desorption

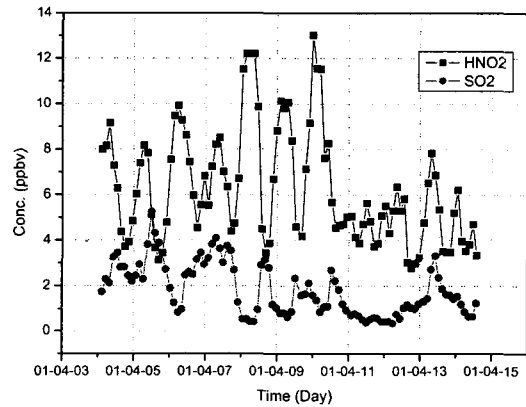


Fig. 8 The monitoring results of HNO₂ & SO₂ in semiconductor manufacturing environments

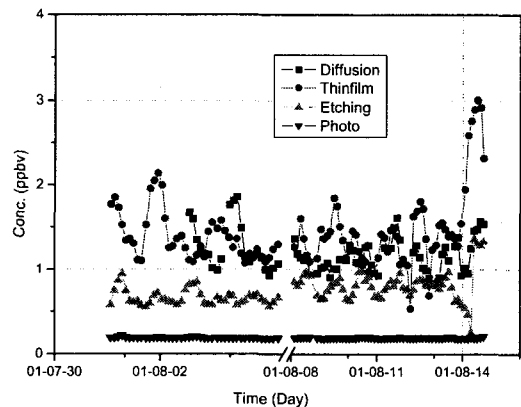


Fig. 9 The monitoring results of NH₃ in semiconductor manufacturing environments

5. 결론

반도체 클린룸 환경 특히, 초미세 패턴 가공이 될 디바이스의 경우 생산 제조 환경에 대한 오염은 절대적으로 제어되어야 한다. 이를 위하여 클린룸 환경에서 오염물질의 원인과 오염물질이 미치는 영향, 오염물질의 특성 및 농도 파악 등을 위한 기초 연구가 매우 중요하다. 또한 오염제어에 대한 기술 개발과 적용시험 등 초청정 환경 유지를 위한 기술 적용이 빠른 시간내 이루어져야 한다. 이러한 새로운 환경 제어 기술과 여러 가지 측정기술들을 적용함으로써 클린룸 환경의 신뢰성 있는 관리가 이루어져야만 고도화되는 반도체 산업에서의 우리의 지위를 확고히 할 수 있기 때문에 반도체 제조 환경 인프라에 대한 중요성을 강조한다.

참고문헌

1. 竹田 菊男외3명, "クリーンルーム空気およびウェーハ表面の有機物汚染挙動," 일본공업출판 Clean Technology, 제9권, 제1호.
2. 藤本武利외 8명, "クリーンルーム空気中およびウェーハ表面上の有機汚染物の分析," 일본 에어로졸 학회, 제15권, 제1호, pp. 155-162, 2000.
3. 藤本武利외 6명, "クリーンルーム空気中ホウ素の超微量正量と存在状態の考察," 일본 에어로졸 학회, 제15권, 제2호, pp. 155-162, 2000.
4. 藤本武利, "半導體製造工程における汚染制御對象物質の動向," 에어로졸研究, 제14권, 제1호, pp. 19-26, 1996.