

클린룸 AMCs 측정 분석 기술

○ 황태진 · 김소정 |

(주)위드텍 미래창조사업부
상무이사 · 주임
E-mail : tjhwang@withtech.co.kr
sjkim@withtech.co.kr

1. 서론

반도체 및 디스플레이 패널 제조에 있어 가장 중요한 요소 중 하나는 바로 제조 환경의 오염 관리이다. 제품의 특성상 반도체와 디스플레이 패널은 극미량의 오염에도 생산 수율이 크게 영향을 받는다. 이뿐만 아니라 제조 공정에서 쓰이는 수많은 화학물질이 누출되어 인명사고로 이어질 가능성도 있기 때문에, 클린룸 내 오염의 모니터링은 반도체 및 디스플레이 패널 제조 공정에서 필수불가결한 부분이라 할 수 있다.

특히 클린룸에서 관리되어야 하는 오염물질 중, 공정 상 사용되는 화학물질에서 비롯된 공기 중 분자성 오염물질, 즉 AMCs(Airborne Molecular Contaminant)는 웨이퍼(Wafer)에 직·간접적인 오염을 유발해 결함(Defect)을 발생시키는 것으로 알려져 있다. 이러한 분자성 오염물질은 에어 필터에서 여과되지 않고 클린룸 내로 확산되는 특성을 가지고 있어, 관리를 위해서는 발생 지역과 클린룸 내 농도 수준을 모니터링 하는 것이 무엇보다 중요하다.

최근 공정 기술의 발전에 힘입어 반도체는 더 작은 크기에 더 빠른 속도와 더 큰 용량을 보유하게 되었다. 그러나 이러한 공정 기술의 변화는 공기 중 분자성 오염물질 크기를 축소시키고 신규 오염물질

을 규명해야 하는 등, 제조 공정 관리에 새로운 과제를 남기기도 했다. 본 글에서는 이러한 트렌드를 반영하여 반도체 및 디스플레이 패널 제조 공정에서 모니터링 되어야 하는 공기 중 분자성 오염물질과 그 분석 기술에 대해 설명하고자 한다.

2. 클린룸 AMCs 측정 분석 대상 물질

2.1 공기 중 분자성 오염물질의 분류

클린룸에 존재할 수 있는 AMCs는 그 종류가 매우 다양하며 분자성 오염원의 화학적 특성 및 주위 환경 조건에 따라 발생 위치와 가능성이 달라진다. 이러한 이유로 반도체 및 디스플레이 패널 제조 현장에서는 오염원의 특성과 공정 환경을 고려한 여러 기준을 세워 클린룸 AMCs를 분류하고 있다.

반도체의 경우, 국제반도체장비재료협회(SEMI)에서 반도체 산업 전반에 대해 각종 규격과 기준을 제공하고 있다. 이 기준을 SEMI Standard(국제반도체장비재료협회 표준)라 하며 F21-95 항목에서는 화학적 특성에 따라 공기 중 분자성 오염물질을 다음과 같이 분류한다.

- ① MA(Molecular Acids) : 부식성을 가진 물질로써, 화학반응 특성이 전자(Electron)를 받음

- (산화성)
(A corrosive material whose chemical reaction characteristics is that of an electron acceptor)
- ② MB(Molecular Bases) : 부식성을 가진 물질로써, 화학반응 특성이 전자(Electron)를 줌(환원성)
(A corrosive material whose chemical reaction characteristics is that of an electron donor)
- ③ MC(Molecular Condensables) : 전형적으로 끓는점이 상압(대기압)하에 150℃ 이상이며, 깨끗한 표면(물 제외)에 응축 가능한 물질
(A substance, typically having a boiling point above room temperature(>150℃) at atmospheric pressure, capable of condensation on a clean surface(excluding water))
- ④ MD(Molecular Dopants) : 반도체 물질의 전기적 특성을 바꿀 수 있는 화학물질
(A chemical element that modifies the elec-

trical properties of a semiconducting material)
위의 기준에 따라 분류된 AMCs의 예시는 다음과 같다.

- ① MA: HF, HCl, HBr, H₂S, H₂SO₄, BF₃, SO_x, NO_x, ...
- ② MB: TMA, TMAH, NMP, Amines, NH₃, AsH₃, ...
- ③ MC: TMB, BHT, DOP, DBP, Siloxanes, ...
- ④ MD: TEP, PH₃, BF₃, B₂H₆, AsH₃

위에 예시된 AMCs는 반도체 및 디스플레이 패널 제조 공정에서 발생할 수 있는 오염물질이며 실제 제조 환경 관리를 위한 측정 분석의 대상이 된다. 또한 공정별로 다양한 화학물질을 사용하기 때문에, 공정별로 다양한 AMCs가 발생할 수 있다. 아래 내용은 각 공정에서 화학물질에 의한 노출 특성과 이에 따라 발생 가능한 AMCs를 정리한 것이다. 이처럼 클린룸 내의 AMCs를 분류하는 것은 제조 환경에서 발생할 수 있는 오염에 대한 이해도를

표 1. 공정별 화학물질 노출 특성 및 발생 가능 AMCs

| 공정 | 화학물질 노출 특성 | 발생 가능 AMCs |
|----------------------------|--|--|
| 확산 (DIFF) ¹⁾ | 불순물(Dopant) 확산을 위한 각종 가스상 물질 사용 웨이퍼 세척을 위한 무기산 사용 산화막 형성 중 수소, 염화수소 등 부산물 발생 | SiH ₄ , HF, NF ₃ , DCS, PH ₃ , HCl |
| 포토 (Photo) | 포토리지스트, 현상액 등 다양한 유기화합물 사용 회전 도포, 가열(열분해)로 인한 휘발성 유기화합물 발생 | Thinner, IPA, PR |
| 식각 (ETCH) ²⁾ | 무기산, 염기성 물질 반응성 가스 사용 상호 반응에 의한 수소, 염화수소, 불화수소 등 발생 | Cl ₂ , BCl ₃ , HBr SiH ₄ , NF ₃ , CxFy |
| 증착 (CVD) ³⁾ | 각종 가스상 물질 사용 사용 물질의 화학 반응과정에서 부산물 발생 | SiH ₄ , NF ₃ , NH ₃ WF ₆ , DCS |
| 주입 (IMP) ⁴⁾ | 아르신, 삼불화붕소, 포스핀 등 사용 이온화 과정에서 부산물 발생 | BF ₃ , PH ₃ , AsH ₃ , SF ₆ |
| 연마 (CMP) ⁵⁾ | 무기성 연마액, 불산, 염산, 질산 등 사용 사용물질 비산으로 인한 무기산 노출 | NH ₃ , SiH ₄ , NF ₃ , WF ₃ , Cl ₂ , TiCl ₄ , ClF ₃ |

1) Diffusion
2) Etching
3) Chemical Vapor Deposition
4) Implanting
5) Chemical Mechanical Polishing

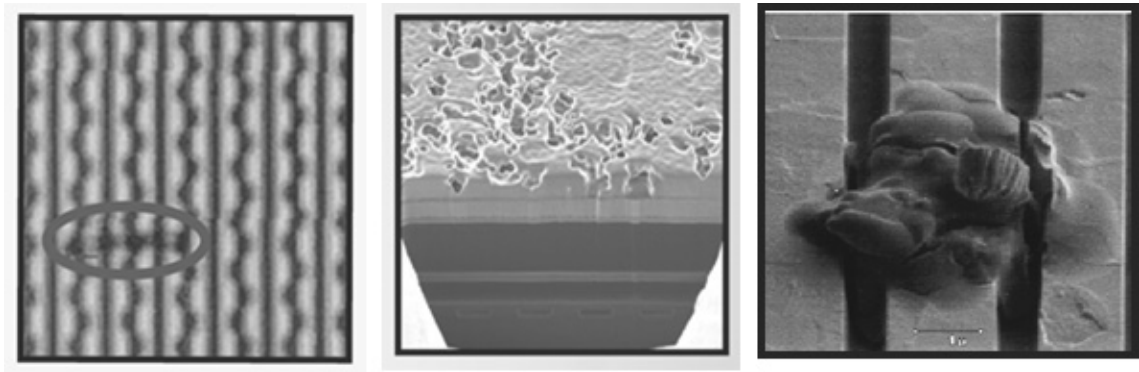


그림 1. AMCs에 의해 발생한 웨이퍼 결함

높여주며 후에 살퍼볼 클린룸 AMCs 측정 분석 기술을 도입할 때 적절한 기준점이 된다. 또한 이렇게 분류된 AMCs는 그 자체로 제조 환경 안전을 관리함에 있어 주요한 관리 항목이라고 볼 수 있다.

2.2 AMCs로 인한 실제 오염 사례

공정 중 사용된 화학물질이나 부산물, 혹은 공기 중 비산된 오염물질로 인해 발생한 오염은 실제 생산 수율에 영향을 미치기도 한다. 여기에서는 실제로 AMCs에 의해 발생한 웨이퍼 결함에 대해 살펴보고자 한다.

그림 1의 첫 번째 사진은 NH3에 의해 헤이징(Hazing)이 발생한 것을 확대한 것이다. 웨이퍼 표면에 NH3의 영향으로 결함이 발생해 패턴이 흐려지는 현상이 발생했다. 이는 주로 포토 공정에서 설비 렌즈가 NH3에 오염되어 발생하며 다른 공정에서는 사용되는 화학물질이나 화학물질 간 반응에 의한 부산물에 의해 발생할 가능성이 있다.

그림 1의 두 번째 사진은 HF 오염에 의해 결함이 발생한 웨이퍼 표면을 확대한 것이다. HF의 경우 MA에 속하며 산화성을 가지고 있기 때문에 웨이퍼 표면의 금속을 부식(Corrosion)시키는 결함을 발생시킨다.

그림 1의 마지막 사진은 HCl에 의한 오염으로 그림 2와 같은 금속 부식 결함이 나타난 웨이퍼 표면을 확대한 사진이다. HCl 역시 HF와 같은 MA, 즉 산화성 오염물질이기 때문에 금속성의 웨이퍼 표면에 닿았을 때 결함을 발생시킨다.

2.3 신규 오염물질의 발생

서론에서 언급했듯, 최근 반도체 공정의 기술이 진화하며 새로운 오염원 역시 발생하고 있다. 반도체 산업에 10nm 이하의 크기(Design rule)를 달성하기 위한 새로운 공정 기술이 도입됨에 따라 클린룸 내에서 사용되는 화학물질은 물론 제조 환경 자체가 함께 변화하고 있는 것이다.

이러한 변화의 흐름에서 금속성 오염물질(Metal impurity)이나 유기오염물질(Organic contaminant)처럼 새로 발견된 오염물질은 아직 그 특성이나 영향성이 기존의 AMCs만큼 규명되지 않았다. 다만 금속성 오염물질의 경우 SEMI에서 초순수(UPW, Ultra Pure Water)와 공정 화학물질에 대하여 오염 관리 표준을 표 2와 같이 제시하고 있다.

유기오염물질에 대해서는 아직까지 SEMI에 별도로 마련된 관리 표준이 없는 상태이다. 그러나 유기오염의 경우 웨이퍼와 설비에 결함을 발생시키는

표 2. 금속성 오염물질 관리 표준

| 대 상 | 금속성 오염물질 | 표 준 |
|---------|---|-----------|
| UPW | Ag, Al, Au, Ba, Ca, Cu, Fe, Hf, K, Li, Mg, Na, Ni, Pt, Zn | < 1 ppt |
| | Co, Cr, Ga, Ge, Mn, Mo, Sr, Ti | < 10 ppt |
| 공정 화학물질 | Al, Na, K, Fe, Ni, Cu, Cr, Co, Ca | < 150 ppt |
| | Ag, Au, Ba, Mg, Mn, Mo, Pb, Pd, Pt, Ru, Sn, Ti, V, W, Zn | |

것은 물론 환경 안전 관점에서 볼 때 직접적인 인명 피해로 이어질 가능성이 있기 때문에 반드시 오염 물질에 대한 규명이 필요하다.

3. 클린룸 AMCs 측정 분석 기술

클린룸 AMCs는 각 분자의 다양한 물리·화학적 특성을 이용해 측정 분석할 수 있다. 앞으로 소개할 측정 분석 기술들은 이러한 특성에 대한 연구를 토대로 목적에 맞게 AMCs를 측정 분석할 수 있도록 설계되어 있다.

3.1 이온크로마토그래피 (IC, Ion Chromatography)

크로마토그래피란 혼합물을 분리하기 위해 이동

상과 고정상에 대한 혼합 성분 각각의 인력 차를 이용하는 기법이다. 크로마토그래피 기법 중 이온 크로마토그래피는 이온의 물리적 성질에 따라 교환 수지 내에서 이온의 이동 속도가 다른 점을 이용해 용액에 포함된 샘플을 음이온 또는 양이온으로 분리해 검출하는 기술이다. 샘플이 이동상인 용리액 (Eluent)에 의해 고정상인 칼럼(Column)을 통과할 때, 칼럼 내부에서 이온 친화도(Affinity) 차이로 인한 결합과 분해가 반복적으로 일어나게 된다. 이렇게 칼럼을 통과한 샘플은 이온 친화도 순서대로 분리되어 전도도(Conductivity) 측정기 또는 가시광선-자외선 측정기로 정량된 후 크로마토그램 상에 표현된다.

이온크로마토그래피의 장점은 높은 정확성과 감도이다. 낮은 농도 대역에서도 매우 정확하고 민감한 측정이 가능하기 때문에 미세한 오염을 모니터

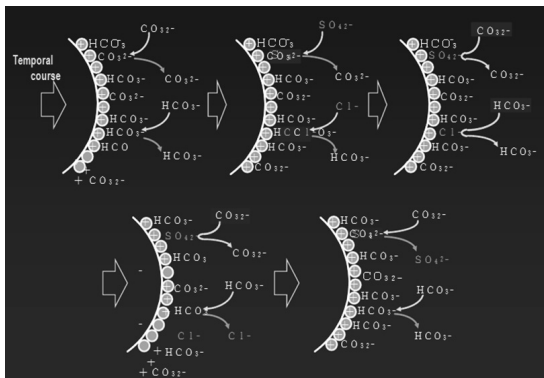


그림 2. 음이온 분리 칼럼 내부에서 이온 분리가 이루어지는 과정

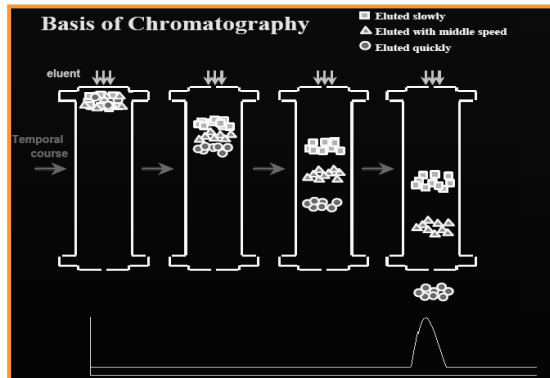
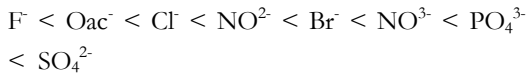


그림 3. 샘플이 칼럼을 통과하며 이온 분리되어 검출되는 과정

링 하기에 적합한 기술이다. 또한 이온 친화도 차이에 따라 머무름 시간(RT, Retention Time)이 달라 크로마토그램 상에서 구분되어 나타나므로, 무기 음이온을 동시에 측정하는 것이 가능한 것 역시 이온크로마토그래피의 특징이다. 아래는 무기 음이온 검출의 예시이다.



이온크로마토그래피에서 RT에 영향을 미치는 것은 용리액과 칼럼의 특성이므로, 이온크로마토그래피를 활용하고자 할 때는 분석 목적과 환경에 맞는 용리액과 칼럼을 선택하면 더 효율적인 측정 분석을 진행할 수 있다.

3.2 CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy)

CRDS는 비교적 최신 기술로, 레이저를 광원으로 활용하는 분광학(Spectroscopy)적 측정 분석 기술이다. CRDS를 포함해 분광학을 기반으로 한 측정 분석 기술은 각 분자마다 광원에 감응(Resonant)하여 흡수하는 주파수(Frequency)가 다른 물리적 특성을 이용해 광학 스펙트럼(Optical spectrum) 상에서 분자를 구분하여 농도를 분석하는 기본 원리를 응용한다. 아래 그림은 광원(레이저)을 송출했을 때 분자별로 다른 주파수 대역에 감응하여 광원을 흡수해 스펙트럼 상에 나타난 것을 표현한 간단한 예시이다.

CRDS 역시 분광학 측정 기술의 기본 원리를 응용하여 측정 대상 물질에 맞는 주파수 대역의 레이저를 송출함으로써 흡광이 일어나도록 유도한다. CRDS의 캐비티는 작은 원통형이며 내부에는 거울 세 개가 있어 레이저 광원이 꺼진 후에 계속 반사된다. 거울의 반사율은 99.999%로, 광 검출기(Photo detector)에서는 거울에서 유출되는 광원의 세기가

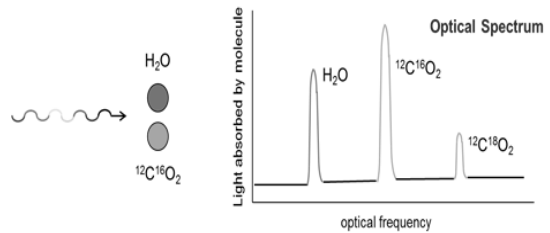


그림 4. 레이저 송출 시 감응하여 생성되는 광학 스펙트럼 예시

제로(zero)에 도달할 때까지 측정한다. 아래 그림은 샘플의 측정 분석이 이루어질 때 캐비티 내부부를 표현한 것이다.

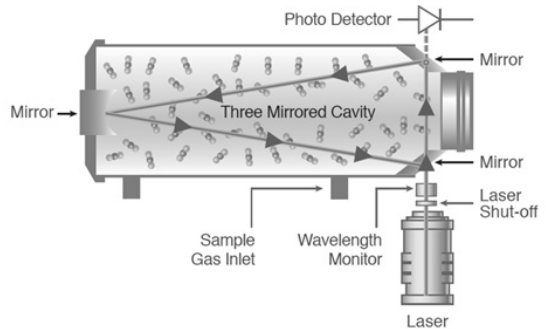


그림 5. CRDS 캐비티 내부 샘플 측정 분석

그러나 농도를 분석함에 있어 CRDS는 기존의 기술과 달리 측정 분석 대상 물질이 흡수한 광원의 절대량을 측정 분석하지 않는다. 대신 두 개의 주파수, 즉, 대상 물질이 감응하는 주파수와 감응하지 않는 주파수 대역에서의 흡광이 지속되는 시간(Ring down time)을 각각 측정하여 비교 분석하는 것으로 농도를 분석한다. 이는 해당 주파수 대역에 감응하는 물질 농도가 높을수록 광원을 많이 흡수하여 흡광이 지속되는 시간이 짧아지는 것을 이용한 분석 기법이다.

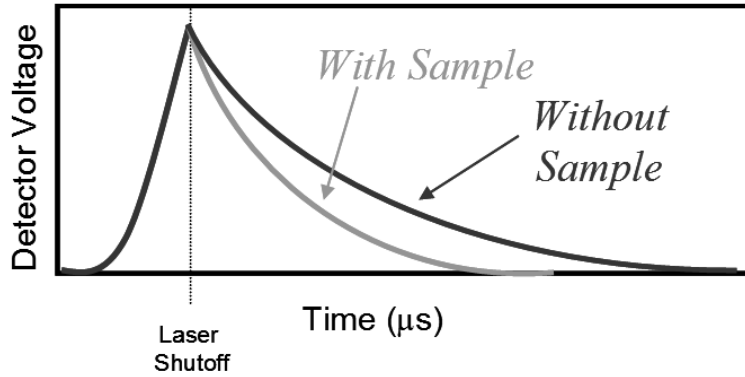


그림 6. 샘플이 감응할 때와 감응하지 않을 때 흡광 지속 시간 비교

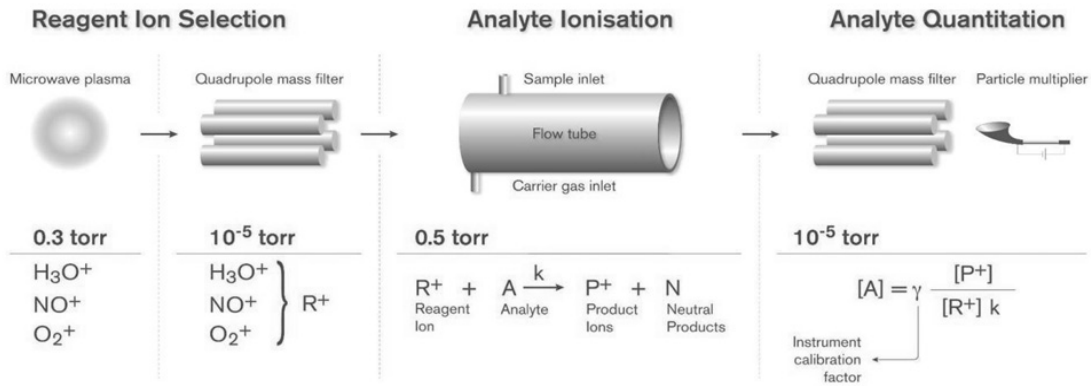


그림 7. SIFT-MS 측정 분석 과정

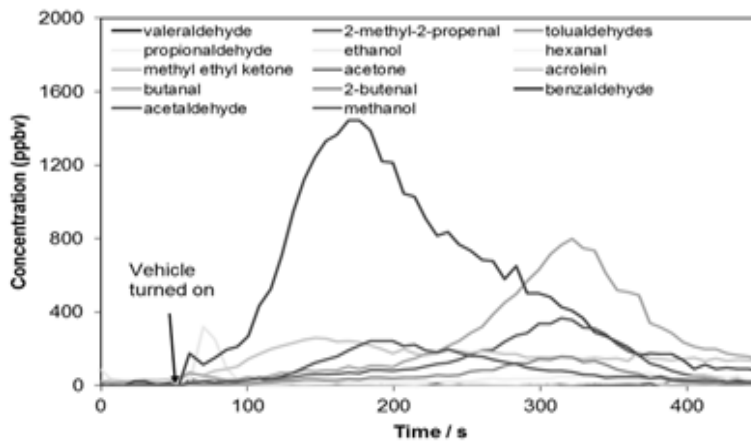


그림 8. SIFT-MS 실시간 정량 분석 예시

CRDS는 AMCs 측정 분석 기술 중에서도 비교적 빠르고 정확한 측정 분석이 가능한 기술이다. 분광학의 정교하고 검증된 기술로 설계된 CRDS 설비는 다른 측정 분석 설비와 비교했을 때 크기가 작고 사용법이 용이한 편이기도 하다. 특정 물질을 빠르게 측정 분석하고자 할 때 적합한 기술이다.

3.3 시프트매스(SIFT-MS, Selected Ion Flow Tube-Mass Spectrometry)

SIFT-MS는 샘플을 이온화 하여 각 이온의 질량수를 분리해 측정 분석하는 기법인 질량분석법(Mass spectrometry)의 일종으로, 8가지의 이온화원(Reagent ion)을 이용한 화학적 이온화(Chemical Ionization)를 통해 실시간 정성, 정량 측정 분석한다. 측정 분석을 위해 SIFT-MS에서는 먼저 마이크로웨이브 플라즈마(Plasma)에서 생성한 이온화원을 사중극자(Quadrupole)에서 플로우 튜브(Flow tube)로 보내 샘플과 만나게 한다. 그 후 이온화원과 샘플이 반응하여 생성된 이온(Product ion)을 두 번째 사중극자에서 선택적으로 검출기에 송부해 측정한다. 아래는 이 과정을 나타낸 그림이다.

앞서 언급했듯 SIFT-MS는 8개의 이온화원을 이용하기 때문에 분자량이 같은 물질이라도 여러 개의 이온화원을 통해 이온화를 거치고 나면 정성적으로 검출이 가능한 생성 이온을 형성할 수 있다. 이렇게 생성된 이온은 검출기로 반복 측정해 측정 질량 값을 도출한 후에는 라이브러리에 등록된 상수와 비교해 실시간으로 정량 분석을 수행한다.

SIFT-MS는 기존의 질량분석법과 달리 전(前)처리 과정 없이 샘플을 바로 측정 분석할 수 있는 것이 특징이다. 저농도 측정의 경우 다른 질량분석법을 활용하기 위해서는 샘플 전처리를 위해 TD(Thermal Desorption, 열 탈착) 장치와 같은 농축 장치가 필요하나 SIFT-MS는 이러한 별도의 장치 없이 실시간으로 측정할 수 있다.

3.4 가스 센서

측정 대상 물질을 바로 감지해서 측정 분석하는 센서 타입의 기술 역시 최근 도입되고 있는 기술 중 하나이다. 센서는 측정 대상 물질을 감지하는 방식에 따라 다양하게 나누어질 수 있다. 여기에서는 전기화학(Electrochemical) 센서와 광이온화(Photo ionization) 센서를 살펴보려 한다.

① 전기화학 센서

전기화학 센서는 측정 대상 물질에 전해질을 접촉시켜 용해하고 이온을 분리하여 감지한다. 전극 표면에 화학물질이 닿으면 산화 혹은 환원 반응이 일어나 해당 물질의 농도에 따라 평형상태의 포텐셜(Potential)이 생성된다. 이 포텐셜이 그대로 고정되거나 변화할 때 전기화학적인 반응 전류가 발생하는데, 이를 측정 분석하게 된다.

② 광이온화 센서

광이온화 센서는 광 에너지를 이용해 샘플을 분해하고 형성되는 전류로 측정 분석하는 기술이다. 기체상의 샘플이 자외선(UV) 램프를 통과하며 흡수한 광 에너지가 샘플을 이온화 시키게 된다. 이때, 분해된 이온이 전극에서 대전되어 전류를 형성하는데, 이것을 검출기가 측정 분석한다.

가스 센서는 빠르게 측정 분석을 할 수 있으면서 대부분 소형 설비로 제작되어 이동성과 활용도가 높은 것이 큰 장점이다. 장소의 제약을 가장 적게 받으면서 특정 물질을 빠른 속도로 측정 분석할 수 있는 기술이다.

3.5 기타 기술

앞서 네 가지 기술은 가장 기본적인거나 최근의 산업 트렌드가 반영된 기술이라 할 수 있다. 그러나 이밖에도 클린룸 AMCs 기술은 무척 다양하다. 아래에서 간략하게나마 다른 기술 역시 살펴보고자 한다.

① GC-MS(Gas Chromatography Mass Spectrometry)

GC-MS는 기체 크로마토그래피 측정법과 질량 분석법을 이용하는 기술이다. 감도가 높고 정성 분석이 가능한 기술로, 주로 휘발성 유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds) 측정 분석에 활용된다.

② ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)

유도 결합 플라즈마 질량분석법이라고도 한다. 측정 분석 대상 물질은 고온의 플라즈마를 통해 원자화 된 후 사중극자를 통과해 검출기에 도달하게 되고, 검출기에서는 원자의 질량을 측정 분석한다. 이 기술은 시약, 소재 등의 고순도 정밀 분석에 적합하므로 제조 공정에 사용되는 유틸리티(UPW, 가스, 화학물질 등) 측정 분석이 가능하다.

③ 이온 이동 분광법(IMS, Ion Mobility Spectrometry)

IC와 비슷하게 이온의 친화도를 분석하는 기술이다. 그러나 이동상과 고정상 간의 이온 친화도 차이를 측정 분석하는 IC와 달리 IMS는 방사선원(Radiation source)를 이용해 분해되는 이온의 양자와 전자 친화도 차이를 측정 분석하는 기술이라는 점에서 큰 차이를 보인다. 구현했을 때 설비의 크기가 크지 않고 응답 속도가 빠른 기술 중 하나이다. 단, 방사선원을 사용하므로 환경 안전 관점에서 주의해야 한다.

4. 클린룸 AMCs 측정 분석 기술의 활용

앞서 ‘왜’ 클린룸 AMCs 측정 분석 기술이 필요한 지부터 시작해 ‘무엇을’, ‘어떻게’ 측정 분석하는지

살펴보았다. 이제 클린룸 AMCs 측정 분석 기술을 ‘언제’, ‘어디에’, 그리고 ‘누가’ 활용해야 하는지 알아보고자 한다.

4.1 AMCs 측정 분석 기술 적용

이전부터 클린룸 AMCs의 측정 분석 기술에 요구되어온 것은 바로 실시간 측정 분석이다. 실시간 모니터링은 오염이 발생하지 않은 상황에서의 AMCs 관리 기준을 지정할 수 있게 해주는 것은 물론이고, 실시간 데이터 송출을 통해 이벤트(Event)⁶⁾ 발생 시에 긴급한 대응으로 손실을 최소화 해주기 때문이다. 실시간 측정 분석을 기반으로 한 연속적인 모니터링과 즉각적인 모니터링의 적용이 동시에 필요한 것이다.

한편, 공간적 개념에서 봤을 때 반도체 및 디스플레이 패널 제조 현장에서 클린룸 AMCs 측정 분석 기술이 적용될 수 있는 곳은 클린룸 내부에 국한되지 않는다. 기존에 반도체 및 디스플레이 패널 제조 현장에서는 클린룸 대기 환경을 중심으로 AMCs를 측정 분석하여 관리해왔으나 공정 중 발생하는 AMCs는 그 종류가 무척 다양하며 대기 환경에 국한되지 않고 특성에 따라 각 위치에서 노출될 수 있기 때문이다. 설비, FOUP(Front Opening Unified Pod)⁷⁾ 등 웨이퍼가 오염에 노출될 수 있는 내부, 공정이나 유틸리티 공급이 이루어지며 화학물질이 직접적으로 노출되는 환경은 모두 클린룸에서 AMCs 오염이 발생할 수 있는 환경이며 환경별로 오염에 대해 요구되는 응답 속도, 이동성, 농도 범위 등의 조건은 모두 상이하다.

최근 클린룸 AMCs 측정 분석 기술은 변화와 요구를 반영하여 다양한 모니터링을 구현할 수 있도록 지속적으로 발전하고 있다. 측정 분석 기술을 활용하고자 하는 주체는 측정 분석 조건과 기술의 특

6) 갑작스러운 오염 상황
7) 공정 중 웨이퍼를 담아 이동하는 인클로저(Enclosure)

성을 복합적으로 고려할 때 목적에 맞는 AMCs 측정 분석을 수행할 수 있다.

4.2 AMCs 측정 분석 기술 활용 주체

AMCs 측정 분석 기술을 활용하고자 하는 주체는 측정 분석 기술을 적용하기 전 앞에서 서술한 측정 분석 목적, 대상, 환경 등을 이해하고 있어야 한다. AMCs 측정 분석 기술 활용 주체는 꾸준히 언급되었듯 단연 반도체 및 디스플레이 패널 산업 일 것이다.

디스플레이 패널 제조 공정의 경우 반도체 제조 공정과 비교했을 때 사용되는 용액(Solvent)의 양이 더 많고 이로 인해 비교적 고농도 측정 분석을 필요로 하는 반면, 반도체 제조 공정의 경우 보다 더 세밀한 제어가 필요한 제조 환경이기 때문에 저농도 대역에 대한 고감도 측정 분석이 요구된다. 이처럼 주체가 가지고 있는 AMCs 측정 분석에 대한 이해에 따라 측정 분석 기술의 적용도 달라진다.

5. 결론

이상에서 살펴본 바와 같이, 반도체 및 디스플레이 패널 공정에 있어 클린룸 내 존재하는 공기 중 분자성 오염물질은 적절한 AMCs 측정 분석 기술을 통해 제어될 수 있다.

이를 위해서는 각 공정, 설비 등에서 발생할 수 있는 오염에 대한 이해가 선제되어야 하며, AMCs 측정 분석 기술을 도입하고자 하는 주체는 이러한 이해를 바탕으로 알맞은 AMCs 측정 분석 기술에 대한 자문을 구하고 기술을 선택하여 제조 공정에 도입해야 할 것이다.

- 참고문헌 -

1. 박승현 등, 2012, “반도체 제조 공정에서 발생 가능한 부산물”
2. 박승현 & 정은교, 2012, “반도체 제조업 작업환경관리 매뉴얼 개발 연구”
3. ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductors) 2.0, 2015
4. SEMI Standards