

300mm 클린룸의 분자오염 제어 기술

Hiroyuki Nakajima* | 아사히공업사, 연구소 연구원
E-Mail : hiro-nakajima@asahikogyosha.co.jp

조 상 준 | (주)신성이엔지 기술연구소, 소장
E-Mail : chosi@shinsung.co.kr

1. 서론

일본에서는 1970년대부터 생활·산업분야에 있어서 Electronics 화가 급속히 발전되기 시작하여, 전자·정밀공업의 급속한 성장을 가져왔다. 현재에는 IT화, Nano Technology에 의해 더욱 더 고정도인 가공·계측기술이 요구되고 있다. 전자·정밀공업의 대표격으로 반도체 산업을 들수 있으며, 반도체 제조공정은 미세가공의 연속이다. 그 제조환경인 클린룸에 대해서 고정도의 온도·습도제어나 입자 등 Contamination Control기술이 요구되고 있다. 이런 제어기술이 반도체 산업의 발전을 근본적으로 지지하여 왔다고 해도 과언이 아니다.

최근 반도체나 Flat Panel Display 제조에 대해서는, 디바이스(device) 집적도 향상과 미세화에 따라 지금까지의 파티클에 추가해서 클린룸 순환공기 중에 존재하는 분자상 오염물질(AMCs: Airborne molecular contaminants)에 의한 디바이스 악영향이 문제로 제시되고 있다. 예를 들면, 디바이스가 유기물에 오염된다면, 산화막의 내압불량이나 열산

화막의 이상 성장, 레지스트 밀착불량 등을 유발시키는 것이 밝혀져 있다. 그 때문에 클린룸 순환공기 중 분자상 물질농도를 억제하는 등 공기질 관리가 중요시되고 있다. 종래까지 입자에 대한 청정도를 유지하기 위한 기본적인 생각 방식으로서 「클린룸 4원칙」이 있다. 그림 1에 나타난 「분자오염을 방지하기 위한 클린룸 5원칙」¹⁾은 이 4원칙을 응용한 것으로 클린룸 내의 분자상 물질농도를 저감하여 분자오염을 방지하기 위한 생각 방식이다. 본 논문에서는 이 5원칙을 기초로 클린룸 순환공기의 대표적인 분자 오염대책기술에 대해서 서술한다.

2. 분자상오염물질의 발생원

그림 2에 나타난 것과 같이 분자상 물질의 주된 오염의 요인은 도입외기, 클린룸에서 작업하는 오피레이터로부터 기인하는 것, 클린룸이나 제조장치의 구성 재료로부터 기인하는 것, 제조 프로세스(장치로부터 약품증기의 누설이나 메인터넌스 시에 발생하는 가스 등)에서 기인하는 것 등으로 크게 나눌 수 있다.

* Research & Development Center, Asahi Kogyosha co., ltd.
6-17-16, Higashi-narashino, Narashino, Chiba, 275-0001, JAPAN
hiro-nakajima@asahikogyosha.co.jp
http://www.asahikogyosha.co.jp

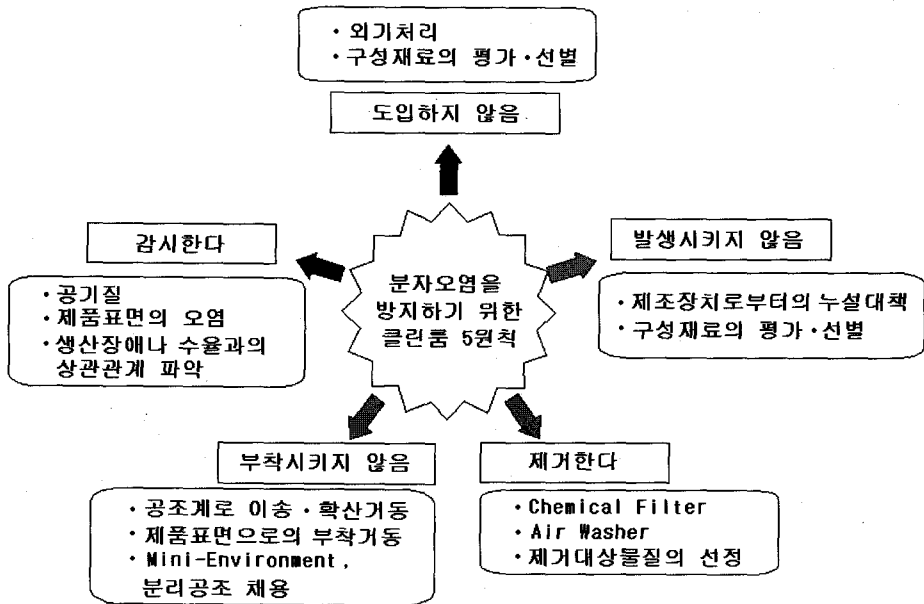


그림 1. 분자오염을 방지하기 위한 클린룸 5원칙

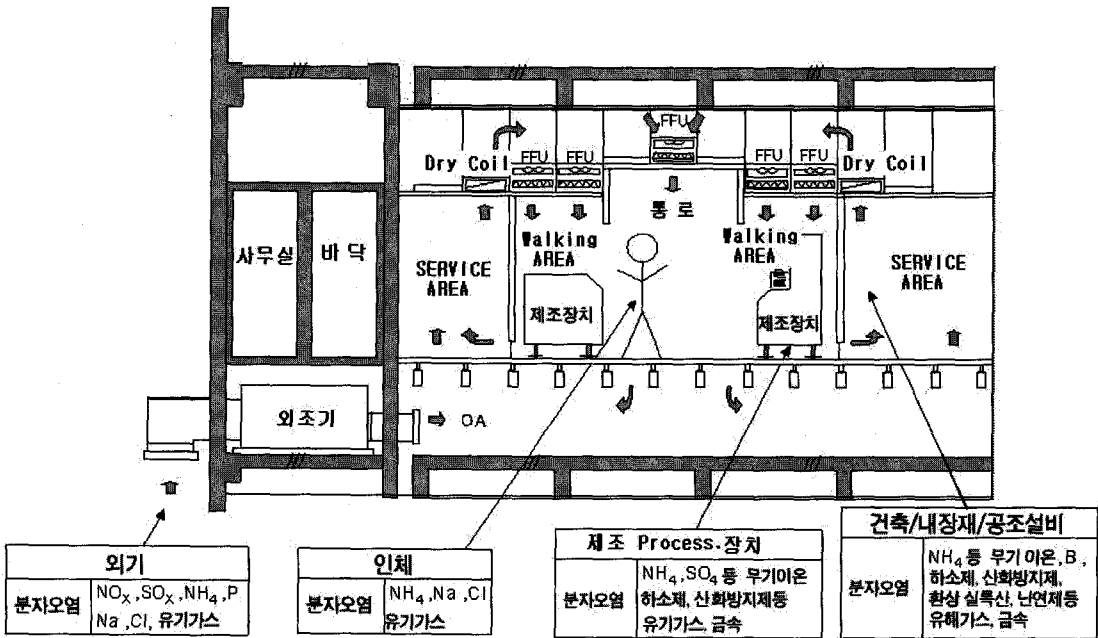


그림 2. 클린룸에 대한 주된 오염원인

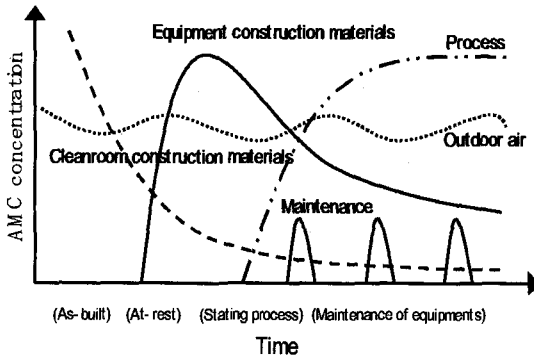


그림 3. 분자상 오염물질 발생원의 변화

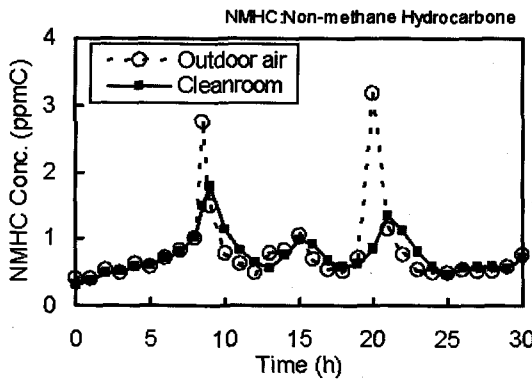


그림 4. 외기와 클린룸의 유기물 농도

그림 3은 오염물질발생상황의 변화를 도식적으로 나타낸 것이다. 클린룸의 가동상태에 따라 각각 발생원의 영향정도는 다르게 나타난다.

3. 외기와 순환공기의 처리: 「도입하지 않음」 「제거한다」

클린룸에서 분자상 물질이 유입되는 요인의 하나로서, 도입외기를 고려해 볼 수 있다. 외기도입에 대한 기본적인 오염방지대책은 건물주변규모의 외

기오염에 주목하여 근접건물의 연기 등으로부터 직접적인 오염의 영향을 받지 않게 외기 도입구 위치를 선택하는 것이다. 외기에는 산성 가스상 물질(HCl, SO₂, NO₂, HF), 알칼리성 가스상 물질(NH₃), 탄화수소, 금속이온 등이 포함되어져 있다. 이들의 가스 전부가 클린룸 내에서 문제가 된다고는 말할 수 없지만, 디바이스나 프로세스에 따라서는 오염물질로서 다루지 않으면 안되는 것도 있다. 일반적으로 외조기에는 온도도 조절을 위해 코일이나 가습기 외에 입자 제거용 필터가 몇 단인가가 조합되어 설치되어 있지만, 분자상 물질은 그대로 클린룸에 도입되고 있다. 그림 4는 도입외기에 대하여 흡착제 필터 등으로 처리를 하지 않은 클린룸에 대해서 공기 중 유기물(NMHC: 비메탄탄화수소) 농도를 연속 측정 한 예이다. 외기 중의 농도변동이 클린룸에 크게 영향이 있다는 것을 알 수 있으며, 도입외기나 순환공기의 가스제거기술에는 크게 흡착법, 습식법, 건식법 등 3가지 방법이 있다.

3.1 흡착법

흡착법은 가스 제거방법으로서 가장 일반적인 기술이고, 흡착제나 활성탄소섬유 등을 기본재료로 한 Chemical Air Filter를 이용한 방법이다. 단, 외기나 클린룸 순환공기 중에 존재하는 성분은 다양한 종류가 있기 때문에, Chemical Air Filter로 산·염기·유기성분 전부를 제거하려는 경우, 3종류 필터를 설치할 필요가 있지만, 비용적으로 아직 문제가 있다. 또, 필터의 수명시기의 정확한 추정이 어렵다는 점 등 문제도 남아있다. 대상물질에 따른 필터의 종류를 선정하는 때에는, 각 업체의 자료를 비교할 필요가 있지만, 성능시험방법 등도 업체마다 다르기 때문에 사용자 측으로는 단순한 성능비교가 곤란하여 독자적으로 성능비교시험을 하는 경우가 많다. 그 때문에 (사)일본공기청정협회에서는 「클

표 1. Chemical Filter 사용상의 과제

과 제	주 의 점
가스 선택성	특정가스를 선택적으로 제외 올마이티는 없음, 제거한 가스의 선정이 필요
대상가스농도	저농도일수록 제거효율이 저하하는 성질
자기발전	분체상인 경우도 있어, 분진제거 Filter의 병용이 필요
자체로부터 휘발가스	구성재료, 접착재료로부터 역으로 오염될 가능성 있음
재비산, 역오염	활성탄은 흡착, 탈착을 반복하는 성질이 있어 감시가 필요
수명, 비용	대상가스 이외의 성능을 제외한 가스의 영향 등에 대해서 사전에 Fild Test가 필요 수명은 비용에 크게 영향
농도측정, 평가기술	도입과 병행해서 환경측정, 평가기술의 확립이 중요
디바이스 특성의 평가	제거성능은 ppt 수준이기 때문에 성능의 좋고 나쁨을 판단하기 어려움 LSI 특성이 더 민감

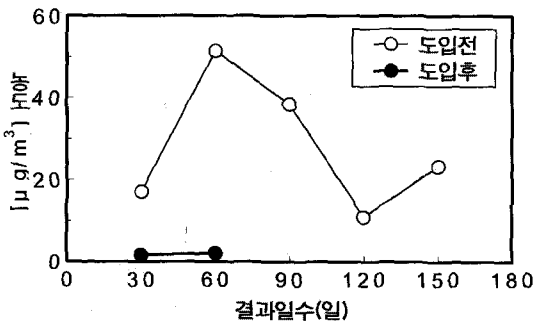


그림 5. Chemical Filter 설치 후 클린룸의 암모니아 농도

린룸용 Chemical Air Filter 성능평가시험방법 작성위원회」를 발족시켜 시험방법 표준화를 진행하고 있고, 머지않아 지침으로서 발행된다.

그림 5는 암모니아용 Chemical Air Filter를 순환계에 설치한 클린룸의 암모니아 농도를 측정하는 것이다²⁾. Chemical Air Filter의 설치에 의해 암모니아 농도는 1/10 이하로 되었고, Chemical Air

Filter가 효과적인 기능을 하고 있다. 오히려, Chemical Air Filter를 도입한 때에는 표 1에 나타난 점에 대해서 충분히 검토할 필요가 있다²⁾.

3.2 습식법

Air Washer는 1960년대 이전부터 외기의 가습기 용으로 이용되어져 왔다. 물과 공기를 직접 접촉시켜서 가습하는 방식이기 때문에, 수년전부터 외기 중의 암모니아나 이산화 유황과 이런 수용성 분자상 물질의 제거수단으로서도 이용되고 있다. 그림 6은 반도체 양산공장에 설치된 외조기 내의 Air Washer에 의한 암모니아의 제거성능 조사 결과이다. 외기 중의 암모니아는 Air Washer를 통과한다면, 농도가 감소하고 있는 것을 알았다. 또한 냉수 코일을 통과하면, 코일 표면으로 냉각응축이나 응축수에 흡수되는 효과 등에 의해 농도는 감소한다.

최근에는 클린룸 순환공기 중의 유기물에 적용하고 있는 예도 보고 되고 있다^{4,5)}. 표 2는 LCD 공

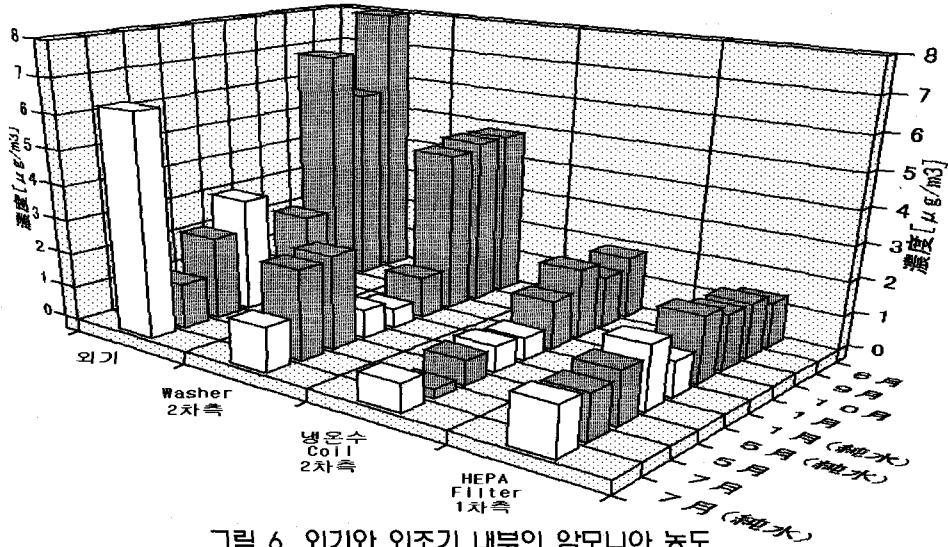


그림 6. 외기와 외조기 내부의 암모니아 농도

표 2. Air Washer에 의한 유기물 제거 성능시험결과와 일례

측정 포인트	농도(ug/m ³) (제거율(%))		
	MEA	초산	DMSO
Washer 1차측	540	420	820
Washer 2차측	71(87%)	39(91%)	150(82%)
냉온수 코일 2차측	25(95%)	13(97%)	65(92%)
정량하한	0.05	0.1	20

장의 클린룸 순환공기에서 검출된 유기물(모노에타놀아민(MEA)·초산·디메틸 옥사이드(DMSO: demethyl sulf oxide)) 에 대해서, Air Washer에 의한 제거효과를 시험한 것이다. 어떤 물질이라도 Air Washer와 냉수코일 효과에 따라서 공기전체에서의 제거효율은 90% 이상으로 상당히 높다. 표 3은, 이 Air Washer를 순환계에 이용한 경우의 클린룸 정상농도를 계산한 예이다. 각 물질의 정상농도는, Air Washer 채용 전의 1/2~1/10이하로

저감된 것을 알았다.

3.3 건식법

건식법 중에서 클린룸 순환공기의 가스제거를 목적으로 한 것에는 비평형 플라즈마, UV/광전자나 광촉매, 광화학반응에 의한 가스의 미립자화 등을 이용한 기술이 연구되고 있다. 이런 기술은 단독으로 연구하는 것만이 아니고, Chemical Air Filter나 Air Washer를 조합하는 것도 검토되고 있다^{6,7)}. 또, 클린룸 만이 아니고, 웨이퍼 보관 박스에의 적용도 검토되고 있다⁸⁾.

4. 구성재료의 평가·선별 :

「도입하지 않음」 「발생시키지 않음」

분자상 물질의 발생원 중에 클린룸이나 제조장치의 구성 재료로부터 아웃가스의 영향이 크다고 생각되기 때문에, 발생가스가 적은 재료를 사용하는 것이 중요하다. 1999년에 (사)일본공기청정협회로부터 「클린룸 구성재료로부터 발생하는 분자상

표 3. Air Washer를 채용한 경우의 CR 정상농도의 계산치

물 질 명	클린룸 정상농도 (미채용시 농도를 100으로 할때의 상대농도)		
	Air Washer 미채용	Air Washer 채용	
		실내 발생량이 현재의 경우	실내 발생량이 현재의 1/5로 가정한 경우
MEA	100	9	2
초 산	100	56	11
DMSO	100	8	2

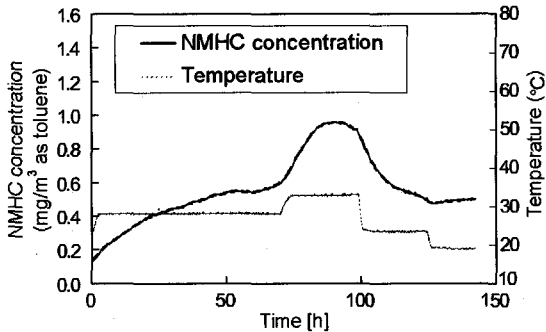


그림 7. 클린룸 공조온도와 NMHC 농도의 변화

오염물질의 측정지침⁹⁾이 발행되어 있다. 이 지침에는 재료로부터의 아웃가스 측정방법으로서 스타틱·헤드스페이스법, 다이내믹·헤드스페이스법(스크리닝법·엔지니어링법), 기관표면흡착-가열탈착법, 현장측정법 등 5가지 종류가 정해져 있다. 발생가스가 적은 재료를 선별하여 건설된 클린룸은 건설직후의 유기물농도가 큰 폭으로 저감되어¹⁰⁾, Chemical Air Filter를 사용하지 않고서도 농도가 상당히 낮은¹¹⁾ 효과가 있음이 확인되었다.

또, 그림 7에 나타낸 것과 같이 클린룸의 공조온도에 따라서도 분위기 중의 유기성분농도가 변화한다¹²⁾. 시험용 클린룸의 유기물(NMHC : 비메탄탄화수소) 농도는 공조온도의 상승에 따라서 점차 증

가하여, 33°C에서는 초기농도의 7배에 달한다.

5. 제조장치로부터의 누설대책 : 「발생시키지 않음」

프로세스장치로 사용된 가스나 약액증기성분은, 클린룸 특정공정에 한정되지 않고 넓은 범위에서 검출된다. 그 때문에 일단 클린룸 순환공기로 혼입되면, 광범위하게 이송·확산된다고 생각된다. 결국, 어떤 프로세스에서 발생한 분자상 물질은, 그 프로세스에의 직접적인 영향 외에, 다른 프로세스에 영향을 미칠 가능성이 있다. 클린룸 전체의 발생원 중에는 장치로부터 발생량의 비율이 매우 크다고 생각된다. 그림 8에 클린룸과 장치 내의 유기물 농도를 비교하여 나타냈다²⁾. 제품에 가장 가까운 제조장치 내의 분자상 물질농도가 주위보다도 고농도인 것으로 나타나 있다. 이 고농도 공기가 장치 외에 누설되면, 분자오염의 큰 인자가 될 수밖에 없다는 것을 알 수 있다.

3.2항의 Air Washer 채용시의 정상 농도계산 결과(표 3)에, 프로세스 장치의 배기대책 등을 실시하여 실내 발생량이 1/5로 저감된 경우의 계산 예가 나타나져 있다. 발생량이 감소한다면 클린룸의 정상농도도 크게 저감가능 함을 알 수 있다.

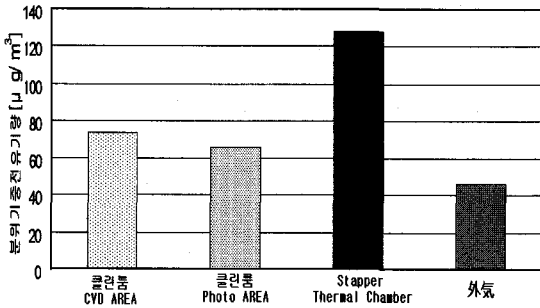


그림 8. 클린룸과 장치 내부의 유기물량

6. 공조계에서의 이송·확산거동, 제품표면으로의 부착거동: 「부착시키지 않음」

반도체 제조에 있어서 웨이퍼 표면에 부착되면 디바이스 불량을 일으키는 대표적인 물질로서, 푸탈산에스테르류나 인산에스테르류, 실록산류가 거론되고 있다. 이들 물질은, 클린룸 공기 중에 미량밖

에 존재하지 않는 경우에도, 웨이퍼 위에 선택적으로 부착하기 쉽다. 또한 웨이퍼 위에 저비등점 물질이 부착되어 있어도 시간에 따라 치환된다. (「의자 빼앗기 게임 현상」)³⁾.

오염대책의 최종적인 목적은 제품불량을 일으켜 수율을 저하시키는 오염물질을 유리기판이나 웨이퍼 등의 디바이스 표면에 부착시키지 않게 하는 것이다. 이를 위해서 클린룸 공조계에 대한 오염물질의 거동을 밝히고, 나아가 순환공기로부터 제품표면에 부착하는 거동을 명백히 하는 것이 중요하다.

그림 9는 클린룸 분위기에 있어서 유기 화합물의 거동을 정리한 것이다⁴⁾. 발생한 유기 화합물은, 외기에 의해서 희석됨과 동시에 공조 순환계로 이송·확산된다. 또, 프로세스 가스가 공조공기 중에 반응하거나, 가스-입자 변환을 일으키는 경우가 있다. 예를들면, 포토공정에서 사용하는 HMDS는 기상으로 가수분해반응에 의해 트리메틸실라놀·

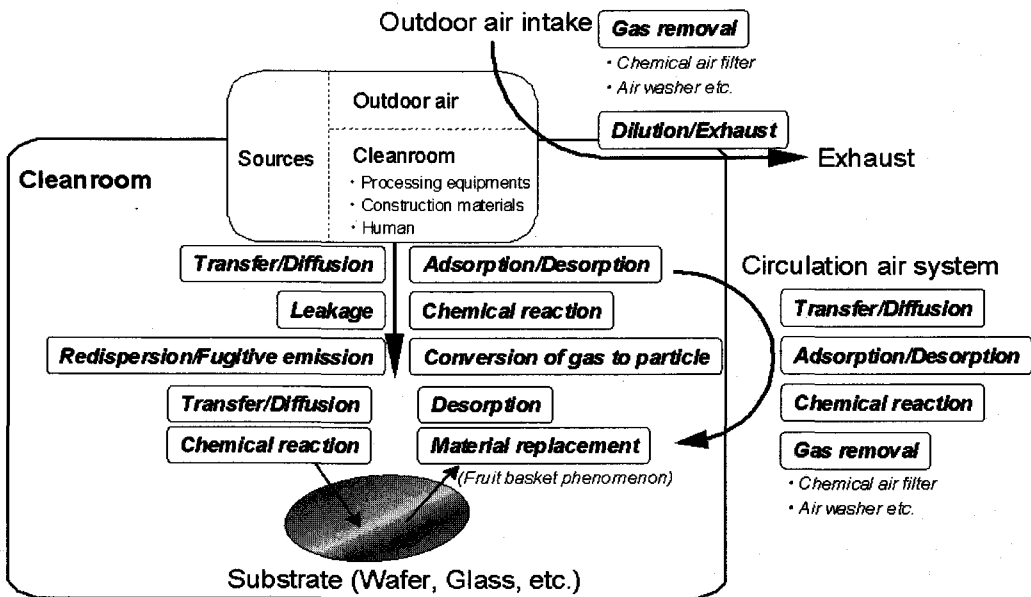


그림 9. 클린룸 분위기의 유기물 거동

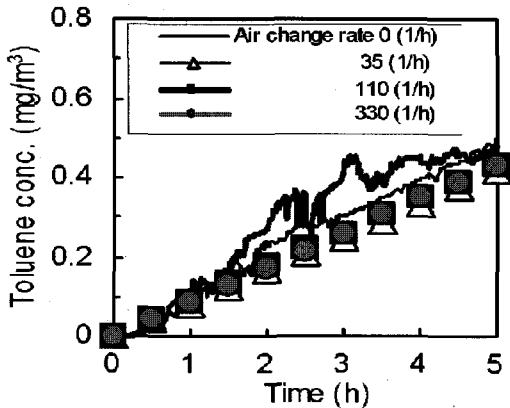


그림 10. 클린룸 톨루엔 농도의 경시변화

헥사메칠실록산·암모니아를 생성한다¹⁵⁾. 더욱이 유리 기관 등의 제품 표면에서는 분위기와 의 사이에서 흡착이나 탈착 등이 생기고 있다고 생각되며, 이론적인 검토도 하고 있다^{16,17)}.

7. Mini-Environment · 분리공조의 채용: 「부착시키지 않음」

공조방식로부터 본 오염방지대책으로서 각 공정을 완전히 독립시킨 「분리공조」 방식이나 청정공간을 국소화시킨 「Mini-Environment」 방식이 고려되고 있다.

분리공조방식은 제조 프로세스에서 발생한 가스나 먼지의 확산, 또는 공정간의 Cross Contamination을 방지하기 위해서 채용되고 있다. 단, 현재는 반송로 등이 다른 공정과 함께 공동으로 된 것이 많아, 분자오염대책 상의 완전한 분리는 되고 있지 않다. 그림 10는 시험용 클린룸에 대해서 하루 플레넘에 톨루엔 가스를 5시간 연속으로 발생시킨 경우의 클린룸의 톨루엔 농도에 대한 경시변화이다¹²⁾. 클린룸의 순환풍량을 변화

시켜 환기회수를 바꾼 경우, 환기회수가 35~330 회/h 범위에서는 톨루엔 농도가 증가하는 경향은 같았다. 환기회수 35회/h 정도의 경우는 강제대류가 있으면, 톨루엔 가스는 일정하게 분포하는 것을 알았다. 따라서 분리공조방식을 채용해도 장치와 벽 판넬과의 간격이나 문 등이 있고 완전한 분리가 되지 않으면, 프로세스에서 발생한 가스는 다른 공정까지 확산되고 있다고 생각할 수 있다.

또, Mini-Environment 방식은 제품이 클린룸 공기에 직접 접촉하지 않게 Encloser 또는 Box 등으로 분리한다. 박스 등에 보관한 경우, 박스 내부는 강제적인 기류가 생기지 않기 때문에 디바이스 표면에 분자상 오염물질이 접촉할 기회가 감소되어, 오염을 방지할 수 있다고 생각되고 있다. 단, 박스의 구성재료에서 발생하는 가스에 의해 박스 자체가 오염원이 되기 때문에 재질 등에 대해서 충분한 주의가 필요하게 되는 등 과제는 남아있다.

8. 공기질 Monitor : 「감시한다」

다양한 대책을 실시하여도 일상적 관리가 충분하지 않으면, 클린룸 환경의 공기질 수준은 저하되어 버려, 제품 수율에 영향을 미친다.

입자의 경우, 입자계수기에 의해서 정기적인 측정이나 다점연속측정 등이 실시되고 있는 곳이 많다. 분자상 물질에 대해서도 같은 양상이며, 정기적, 원하는 대로 실시간으로 연속적인 측정을 해야만 한다. 분자상 물질의 경우에는 장시간의 샘플링이나 손이 많이 가는 분석이 필요하기 때문에 연속적인 측정은 어렵지만, 최근에는 이온크로마토그래피나 화학발광법, 광음향법, IMS(Ion Mobility Spectrometry)를 이용한 가스 모니터 등이 개발되어 있다. 저자 등은 기존의 대기환경측정용 자동계측기

를 클린룸의 모니터로 이용하여 암모니아나 탄화수소 농도 등을 측정 하고 있다. 그림 11은 가동 중인 클린룸의 포도 존에 대해서 암모니아 농도를 연속 측정 한 것이다²⁾. 분위기의 암모니아 농도는 비교적 안정되어 있지만, 시약병 교환 등의 장치 메인テナンス가 시행되어지면 농도는 급격히 변동하며, 분자상 물질의 발생이 있었다는 것이 감지 가능하다. 이 같은 공기질감시 자료와 제품 트러블 자료를 추적하여, 공기질과 수율의 상관관계를 파악하는 것이 중요하다.

위에서 말한 방법은 클린룸 순환공기의 모니터이지만, 엄밀한 의미에서의 「감시」는 웨이퍼나 유리기관 등의 표면에 부착한 오염물질을 실시간으로 모니터할 수 있는 것이 가장 이상적이다. 그림12는 시마다(島田)에서 개발된 수정진동자를 이용한 표면오염 모니터로 시험 챔버 내의 표면 오염량을 연속 측정 한 것이다¹⁸⁾. 톨루엔, DBP 가스 각 각에 대해서 시간 경과에 따른 부착량의 증가가 보여 진다. 단, 톨루엔은 기상농도가 상당히 높음에도 불구하고

고, 부착량은 적은 것을 알았다. 이 경향은 실리콘 웨이퍼 표면의 유기물 흡착거동¹⁹⁾과 일치하고 있다. 이 장치를 이용하면 제조장치의 가동상황과 연동해서 분자상 물질의 비산상황을 즉석에서 파악할 수 있는 가능성이 있다.

이와 같은 방법으로 클린룸 순환공기의 분자상 물질 농도를 모니터하여, 제품 품질유지와외 상관관계를 파악하고 있으면, 트러블 발생시에도 신속히 대응할 수 있다고 생각된다.

9. 결론

본 논문에서는 「분자오염을 방지하기 위한 클린룸 5원칙」에 기초하여, 클린룸 순환공기의 분자오염대책에 대해서 서술하였다. 이들 대책을 유효하고 더욱 효과적으로 실시하기 위해서는 클린룸 순환공기나 디바이스 표면에 부착한 오염물질농도와 생산장해나 수율과의 상관관계를 파악한 후에 대책대상물질을 특정하는 것이 중요하다고 생각된다. 또한, 디바이스 제조업체와 클린룸 업체, 장치업체

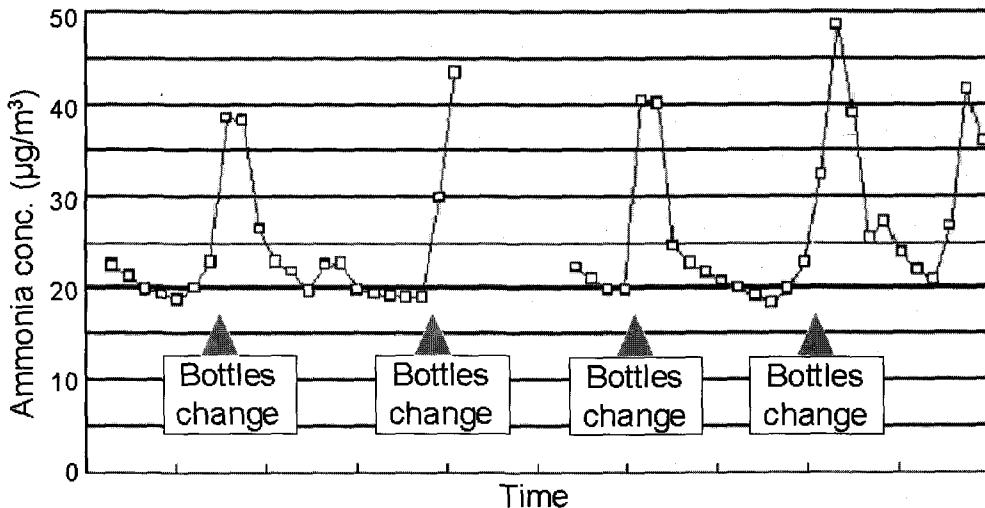


그림 11. Photo Area 암모니아 농도 연속측정 자료

가 각각 개별적으로 대책을 마련하는 하는 것만이 아니고, 상호 공동으로 제휴하여 대책을 수립하는 것이 중요하다고 생각된다.

-참고문헌-

- 1) 中島, 本田: 月刊ディスプレイ, 5, 10, (1999) 64.
- 2) 西山: 반도체 프로세스 세미나 「클린룸용 Chemical Filter의 성능과 평가」 텍스트, 리아라이즈社, (1999.4.27) 3.2.1
- 3) 藤井: 第19회 공기청정과 Contamination Control 연구대회초록집, (2001) 59.
- 4) 岡田, 梶間, 田中, 八柳, 鈴木: 第19회 공기청정과 Contamination Control 연구대회초록집, (2001) 155.
- 5) 中島, 本田: 공기조화·위생공학회 학술강연회 강연논문집, (2001)1685.
- 6) 關口, 福澤, 高橋, 乾, 石谷, 坂本: 第18회 에어로졸 과학·기술연구토론회, (2001) 176.
- 7) 井上, 藤井, 若松, 寺本: 第16회 공기청정과 Contamination Control 연구대회초록집, (1998) 13.
- 8) 橫山, 原, 廣瀬, 鈴木, 藤井, 大山: 第17회 공기청정과 Contamination Control 연구대회초록집, (1999) 268.
- 9) 일본공기청정협회: 클린룸 구성재료에서 발생한 분자상 오염물질의 측정방법 지침, JACA No.34-1999(1999).
- 10) 本田, 中島: 第15회 공기청정과 Contamination Control 연구대회초록집, (1997) 21.
- 11) 小林, 小林, 嶋原, 若山, 松尾, 林, 末永, 齋藤: 공기조화·위생공학, 74, 11, (2000) 57.
- 12) 本田, 中島: 第19회 공기청정과 Contamination Control 연구대회초록집, (2001) 172.
- 13) 坂本, 竹田, 平, 野中, 廣野, 藤本, 諏訪, 大塚: 第16회 공기청정과 Contamination Control 연구대회초록집, (1998) 215.
- 14) 本田, 中島: 월간 디스플레이, 6, 11, (2000) 12.
- 15) 齊木他編: 반도체 프로세스 환경에 대한 화학오염과 그 대책, 리아라이즈社, (1997).
- 16) S.B.Zu: Proceeding of 14th ISCC, ICCCS/ IEST, (1998) 391.
- 17) 鍵, 藤井, 湯淺, 竝木: 第17회 공기청정과 Contamination Control 연구대회초록집, (1999) 223.
- 18) 島田, 奥山, 武田, 本田, 井上, 岡村, 羽深: 第19회 공기청정과 Contamination Control 연구대회초록집, (2001) 197.