

GIGA급 반도체 클린룸내 입자관리

배 귀 남
한국과학기술연구원
지구환경연구센터/선임연구원

1. 머리말

국내 반도체 업계가 반도체 사업을 시작한 지 15년만에 처음으로 DRAM 시장 점유율에서 일본 반도체 업체를 앞지르고(표 1 참조), 드디어 삼성전자에서 “21세기 반도체”라고 할 수 있는 256 Mb DRAM을 양산하기 시작하였다. 실리콘 ULSI는 2~3년마다 선풍이 약 70%로 축소되고 새로운 공정을 개발하여 고성능화를 꾀하고 이미 1 Gb DRAM이 개발되었으므로, 수 년 내에 GIGA급 반도체 칩이 생산되리라고 예상된다. 이러한 고집적 반도체 칩은 오염물질이 엄격히 제어된 클린룸 환경에서 생산되고 있다.

표 1. 1998년 DRAM 시장 점유율 순위

순위	업체	시장 점유율(%)
1	삼성전자	20.1
2	현대전자	12.4
3	마이크론 테크놀러지	9.2
4	NEC	9.1
5	LG반도체	8.4
6	도시바	7.9
7	지멘스	7.8

8	미쓰비시	6.9
9	히타치	6.5
10	후지쓰	5.9

그림 1은 향후 반도체 제조와 이에 필요한 클린룸 환경을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 집적도가 향상됨에 따라 고청정도와 대상 입경의 미소화 외에 공기중의 가스상 오염물질인 화학물질이 디바이스의 누설전류나 작동전압 변동 등의 특성 불량의원인이 되므로, 화학물질을 ppt 수준에서 제어하여야 한다.

GIGA급 반도체 칩의 생산에서는 패턴이 0.2 μ m 이하로 보다 미세하게 되고 300mm 이상의 웨이퍼를 사용하게 되므로, 청정도나 온습도와 같은 환경 기능을 보다 높은 수준으로 제어하여야 하는 것은 물론이고, 실전체의 청정화에서 웨이퍼 표면의 청정화 개념이 바뀌어야 한다. 이에 따라 미세오염제어(Microcontamination Control)의 필요성이 증대하고 생산설비가 Cluster로 되며, 생산방식도 바뀌게 되어 새로운 개념의 클린룸 인프라를 구축하여야 한다. 오염이 없는 제조공정에서 높은 수율을 유지함으로써 투자 효율성을 극대화시키기 위해서는 종합적인 오염제어 시스템을 구축하여야 하며, 이러한

요구에 부응하는 클린룸 시스템으로 미니환경(Minienvironment)이 주목받고 있다. 미니 환경에서는 화학오염에 대한 제어도 가스상 오염물질의 제거에 효과적인 케미칼 필터를

필요한 구역에만 설치하여 비용 절감을 도모할 수 있다. 차세대 반도체 공정에서는 불활성 가스로 충전된 튜브 방식의 클린룸도 논의되고 있다.

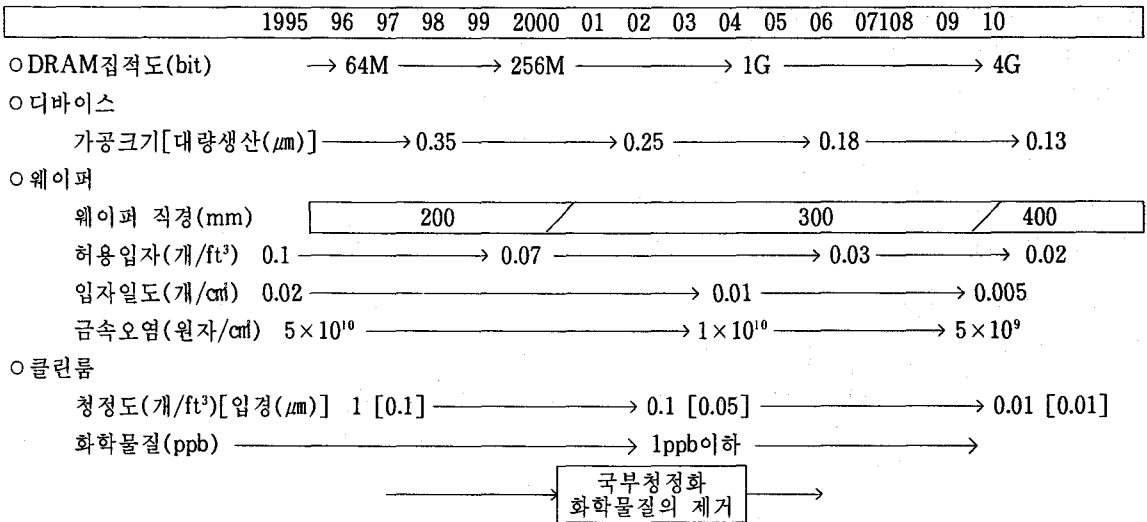


그림 1. 반도체 제조와 클린룸 환경

최근 반도체 공장에서는 디바이스가 급속히 미세화 되어 종래의 청정도 대책 이외에도 화학오염 대책을 비롯하여 미진동 대책, 전자장 대책 등이 중요한 문제로 인식되고 있다. 또한, bit당 가격은 매년 최소 25~30%씩 떨어지므로 반도체 공장의 건설비 및 운전비의 최소화가 절실했다. 직경 200mm 웨이퍼를 사용하고, 선폭이 0.4~0.45μm 수준인 16Mb DRAM의 경우 월 15,000~20,000장 규모의 생산라인을 만들기 위해서는 1,000억엔 이상의 설비를 투자하였다. 이처럼 막대한 투자비를 조기에 회수하기 위해서는 시험가동(Test Run)에서 양산 개시까지의 시간을 단축하여야 하는데, 제조설비의 설치완료(Set Up) 시기를 단축하고 수율을 향상시키는 것이 필수조건이다.

그림 1에서 보는 바와 같이 256 Mb DRAM의 선폭은 0.25μm인데, 양산 단계에서는 선폭

의 1/10~1/3 크기의 입자를 제어하여야 경제적인 생산이 가능하게 된다. 제조장비, 공정, 웨이퍼, 클린룸 내에서 발생된 입자가 웨이퍼 표면에 부착하게 되면 패턴결함을 일으켜 수율이 떨어진다. 이처럼 입자가 수율에 직접적인 영향을 미치므로, 수율을 향상시키기 위해서는 반도체 제조공정에서 입자를 잘 관리하여야 한다. 입자관리 대상으로는 클린룸 환경, 제조장비, 웨이퍼 표면, 초순수 및 액체 화학약품을 들 수 있다. 반도체 제조공정에서 입자오염을 제어하기 위해서는 입자 측정기술이 선행되어야 하는데, 반도체 산업의 급속한 발전으로 입자 측정기술이 반도체 기술을 뒤따라가고 있는 것이 현실이다.

본 고에서는 먼저 클린룸내 입자의 발생원인을 살펴보고, GIGA급 반도체 생산에 대비한 클린룸내 입자관리 현황 및 향후 과제에 대하여 알아보려고 한다.

2. 클린룸내 입자의 발생 원인

표 2는 클린룸내 발진 요인을 대상에 따라 제조장비, 프로세스/웨이퍼, 클린룸으로 분류하여 나타낸 것이다. 0.1 μ m 기준 class 1 클린룸에서 공기의 영향은 거의 없다. 예를 들면, 웨이퍼를 1주일간 방치하여도 측정 가능한 입자는 몇 개 부착하는 정도이고, 관리방법에 따라서는 1개도 부착하지 않는 상태도 실현 가능하다. 문제가 되는 것은 기류의 흐트러짐이나 사람으로부터의 발진이 웨이퍼에 미치는 경우이다.

표 2. 클린룸내 발진 요인

대 상	발진 요인
제조장비	구동부 (반송기구 등) 접촉부 퇴적물 웨이퍼 반입 반응 생성물 진공 배기 오염
프로세스/웨이퍼	반응 생성물 디바이스 구조 막 이탈 이면 입자
클린룸	사람 기류

프로세스/웨이퍼에 기인되는 것으로는 반응 생성물, 디바이스 구조, 막 이탈, 이면 부착 입자 등을 들 수 있다. 막 생성 반응이나 에칭 반응에서 발생하는 입자가 웨이퍼에 부착한다. 웨이퍼 표면에 형성된 막이 부분적으로 이탈하거나 공정에서 이면에 부착한 입자가 다른 장치에 들어오는 경우도 있다. 디바이스 구조에 기인된 것으로 드라이 에칭 공정에서 측면 벽에 퇴적한 입자의 발진을 들 수 있다. 디바이스 구조에 기인하는 발진은 향후 증가할 것으로 예상되며, 프로세스의 개선을 통해 피하는 방법을 강구하여야 한다.

제조장비 공통의 발진 요인으로는 반송 등의 구동부, 웨이퍼와의 접촉부에서의 전달, 반응 생성물의 장비내 축적, 진공배기시 입자가 날아오르는 것 등이 있다. 반도체 제조장비에서의 주된 발진원을 정리하여 표 3에 나타냈고, 각 제조장비별 발진 원인을 공정 요인과 기계 요인으로 분류하여 표 4에 나타냈다. 이러한 제조장비의 발진 문제 중에서 시급히 해결하여야 할 과제를 열거하면 표 5와 같다.

표 3. 반도체 제조장비의 주된 발진원

공 정	<ul style="list-style-type: none"> · 화학적 공정 자체에 의한 발진(Dry Etching, CVD 등의 반응 생성물) · 물리(화학)적 공정 자체에 의한 발진(PVD, CMP 등에 의한 생성물)
챔버 내부	<ul style="list-style-type: none"> · 공정 챔버 내의 잉여 퇴적물의 재비산 · 플라즈마나 이온빔에 의한 공정 챔버 내벽, 부속재료의 이상 방전이나 Sputtering에 의한 발진

반송/구동부	<ul style="list-style-type: none"> 웨이퍼 반송기구 및 웨이퍼 흡착기구로부터의 발진 마찰요동부, 회전부, 기타 구동기구나 구성부품으로부터의 발진
진공배기계	<ul style="list-style-type: none"> 진공배기/vent시 입자가 날아 오르거나 미스트 발생
배관계	<ul style="list-style-type: none"> 배관내벽·계수, 밸브, 접속부 등으로부터의 발진
웨이퍼 자체	<ul style="list-style-type: none"> 실리콘 웨이퍼 자체로부터의 발진(조각이나 파손에 의한 발진, 표면부착입자의 비산)
재료/치구	<ul style="list-style-type: none"> 가스, 약품, Photoresist, 초순수, 석영, 치구, 세라믹스 치구, 웨이퍼 카세트 등으로부터의 유입
보수 작업	<ul style="list-style-type: none"> 챔버 내부나 반송계 등의 세정(Cleaning)시, 장비 보수작업시 발진

표 4. 반도체 제조장비별 발진 원인

제조장비명	발진원인	
	공정 요인	기계 요인
Resist 도포	Resist Mist Gel	웨이퍼 반송계 Resist 송액계
Stepper	Resist 가루	Reticle·웨이퍼 반송계 Stage 이동계
확산로	석영가루 가스	웨이퍼 Loading계 가스 공급계
CVD	기상 반응 생성물 잉여 퇴적물 석영 가루 가스	웨이퍼 반송계 가스 공급계 진공계
Dry Etch	반응 생성물 Resist	웨이퍼 반송계 진공계
이온주입	Resist 가루 Charge up	웨이퍼 반송계 진공계 웨이퍼 Clamp
Wet	반응 생성물 Carrier 약품 순수	웨이퍼 이송 및 교체계 Carrier 이송계 약액 공급계 Spin Dryer
Sputter	잉여 퇴적물 이상 방전	웨이퍼 반송계 진공계

표 5. 제조장비의 발전에 대한 과제(1993)

제조장비	과제
Photolithography 장비	<ul style="list-style-type: none"> · 사용 재료에서의 발진 저감 · 사용 부품에서의 발진 저감 · 유틸리티의 안정화
Dry Etcher	<ul style="list-style-type: none"> · 부식성 가스에 대한 내부식성 향상 · 사용 재료로부터의 생성물 향상
세정기	<ul style="list-style-type: none"> · 약액의 결정화 방지 · 유틸리티의 안정화 · 세정액에 대한 내부식성 향상
CVD 장비	<ul style="list-style-type: none"> · 생성물의 제어 · 막이 입혀진 웨이퍼의 이물질 검사
주입기	<ul style="list-style-type: none"> · 진공차에 대한 이물질의 감아들임 방지 · 구동부의 발진 방지 · Resist의 파손 방지
Sputter	<ul style="list-style-type: none"> · Sputter Etch에 의한 발진 저감 · 막이 입혀진 웨이퍼의 이물질 검사

3. 입자관리

반도체 디바이스의 미세화, 칩 크기의 증대에 따라 웨이퍼 프로세스 중에서 발생하는 이물질이나 패턴결함이 수율에 미치는 영향이 커졌다. 클린룸이나 재료의 고정정화의 결과로 이물질의 90%는 제조장비나 프로세스에 기인하는 것으로 알려져 있다. 최근 미국과 아시아 지역에서 적용되고 있는 SMIF/Minienvironment 기술을 사용하여도 제조장비 내부에서의 발진 문제는 피할 수 없다. 높은 생산성을 유지하여 경쟁력을 확보하기 위해서는 이물질·패턴결함 조사기술을 구사하여 수율 저하 요인을 조기에 찾아내어 라

인 수준을 유지하는 것이 필수 불가결하다.

수율을 향상시키기 위해서는 웨이퍼 표면에서 생기는 현상을 이해하는 것이 중요하다. 1980년대 전반에 웨이퍼 표면의 미립자를 검출할 수 있는 광산란식 입자 검사장치(Wafer Surface Scanner) 및 웨이퍼 표면의 미량 금속 분석방법이 개발되어 재료나 설비의 개선이 진전되었다. 1990년대에 이르러 화상비교나 간섭을 이용한 패턴결함 검사장치가 개발되어 제품 웨이퍼에서 수율 저하 원인을 직접 조사할 수 있게 되었다.

표 6은 양산 라인에서 프로세스 관리방법을 나타낸 것이다. ①, ③은 제조장비의 상태를 모니터링 하여 필요하면 단시간에 개선하

는 방법이다. 결합 검사장치는 패턴이 형성된 제품 웨이퍼를 평가하여 제조설비를 모니터링 하는 것이 주된 목적이고, 단시간에 결과를 분석하기 위한 라인 관리의 핵심적인 장치이다. ②는 결합 검사장치로 제품 웨이퍼를 평가하여 데이터를 축적하여 최종적인 수율 평가 결과를 개개의 제조장비나 프로세스 조건에 반영(Feed Back)시키는 방법이다. ④는 TEG(Test Element Group)의 수율을 개별 제조장비나 프로세스 조건의 개선에 사용하는 방법으로, 특정 공정에서 문제를 발견한 때 집중적으로 사용되고, ②에 비해 짧은 시간에 개선할 수 있다. ①~④의 방법을

병용하여 수율 개선이나 조건변동에 대응하고 있다. 이러한 제조장비/프로세스 모니터링은 양산 초기의 수율을 향상시키는 시기에 빈번하게 실시하고, 수율이 향상되어 안정하게 되면 사용 빈도가 감소한다.

In Situ Monitor는 모니터 웨이퍼를 사용하지 않으므로 비용이나 Feed Back 면에서 유리하고, 제조장비나 웨이퍼의 온도, 진공도, 가스 유량, 압력, 혼합액 조성(세정), 빔 전류, 반응 생성물, 가스 중 불순물, 순수/약품 중의 불순물 측정에 사용되고 있다. 입자와 관련하여 노광기에서 일반적으로 많이 사용되고 있다.

표 6. 양산 단계에서 사용되는 모니터링 방법

	관리대상	직접 대상	장 치	주된 효과	비 고
①	제조장비	모니터 웨이퍼 제조장비	입자 검사장치 In Situ 센서	변동 억제	단시간
②	프로세스	제품 웨이퍼	결합 검사장치	수율 개선	수율과의 대응 (장시간)
③	제조장비	제품 웨이퍼	결합 검사장치	변동 억제	단시간
④	프로세스	TEG	전기적 측정장치	변동 억제	수율과의 대응

수율에 대응한 오염이나 결합의 영향을 상세하게 평가하는 것은 현재의 수율 개선은 물론이고 장래 예측이라는 점에서도 중요하다. 현재 2001~2002년의 300mm 웨이퍼 라인을 실현시키기 위하여 공장이나 설비를 검토하고 있는데, 미국 주도로 각 디바이스 세대에서 관리할 입자크기나 밀도를 명확하게 하고 있는 중이다. 제조장비에서의 입자의

크기분포나 부착 입자와 결합크기의 관계는 중요한 정보이다. 그림 2는 제조장비에서 입경분포의 예로 어떤 제조장비에서 처리된 웨이퍼의 표면과 이면에서의 측정결과를 나타낸 것이다. 누적 입자 수는 (입경)⁻²에 비례하므로 입자 수는 (입경)⁻³에 비례하게 되는데, 많은 수율 예측에서도 이러한 1/X³ 분포가 사용되고 있다.

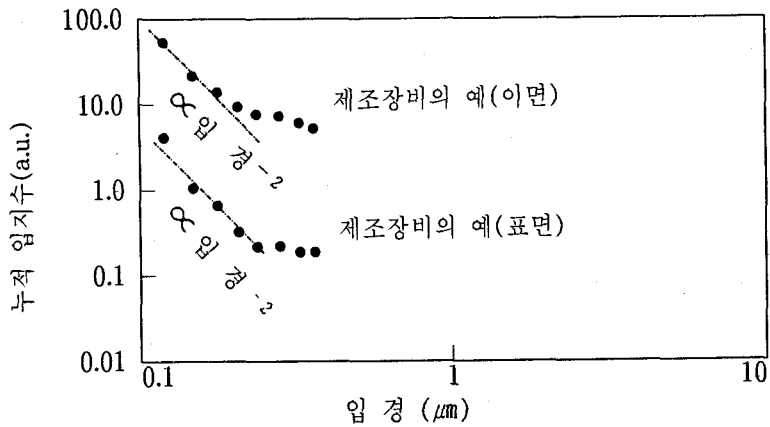


그림 2. 제조장비에서 입경분포의 평가 예

표 7은 주요 공정에서 문제가 되는 입자·결합과 필요한 관리항목을 나타낸 것이다. 각 공정마다 특유한 불량 요인이 있으므로 각 공정에서 검사가 필요하며, ULSI 제조공정에서 검사공정은 적고 검사시간은 짧을수

록 좋다. 그러나, 각종 QC 정보는 필요하므로 각종 검사기술·장치를 얼마만큼 효율적으로 조합하여 필요한 정보를 얻어내는 것이 중요하다.

표 7. 주요 공정에서 문제가 되는 입자·결합

공정	문제가 되는 입자·결합	관리 항목
CVD·Sputter	<ul style="list-style-type: none"> ·막 덮임에 의해 입자크기가 확대 ·발생된 입자가 막으로 덮여 제거가 불가능 	<ul style="list-style-type: none"> ·막 생성 후 제품의 입자검사
Photo-lithography	<ul style="list-style-type: none"> ·노광 조건이 특정 패턴 쇼트·형상 불량 	<ul style="list-style-type: none"> ·SEM에 의한 국소 관찰 ·패턴결합 검사에 의한 형상 불량 점검
Dry Etching	<ul style="list-style-type: none"> ·가스 반응 생성물이 입자로 변환 ·입자부착 시기에 따라 결합 발생률이 변동 ·에칭 조건에 따라 에치 잔류·형상 불량 	<ul style="list-style-type: none"> ·에칭 직후 입자검사 ·SEM에 의한 국소 관찰 ·에칭 후, 세정 후 패턴결합 검사에 의한 형상 불량·복제결합 점검
Cleaning	<ul style="list-style-type: none"> ·극미소 입자가 CVD·Sputter 막 생성 후 문제가 됨 ·세정 건조시 Water Mark 불량 발생 	<ul style="list-style-type: none"> ·제품과 함께 세정한 패턴이 없는 웨이퍼로 고감도 입자검사 ·세정 후 제품의 패턴결합 검사에 의한 Water Mark 점검

표 8은 현재 사용되고 있는 표면검사장치의 특징을 나타낸 것이다. 패턴을 하지 않은 웨이퍼상의 입자검사는 다른 검사방법에 비해 고감도이고 고속으로 입자검사가 가능하다. 그러나, 제품과 함께 처리를 실시한 웨이퍼를 빈번하게 QC하는 것은 곤란하고, 검사 결과로부터 각 제품의 상세한 상황을 파악하는 것이 곤란하므로, 보통 제조장비의 상태 관리에 사용되고 있다. 그러므로, 최근 각 제조공정의 QC는 주로 패턴 웨이퍼 즉, 제품 본체 웨이퍼를 각 프로세스 처리마다 검사하는 것이 주류를 이루고 있다. 패턴 웨이퍼의

표면검사에서는 레이저 산란광 검출방식의 입자검사와 백색광에 의한 화상비교방식의 패턴결함 검사가 있다. 전자는 검사속도가 비교적 빠르고, 기본적으로 맨 윗면의 입자만을 검출한다. 그런데, 패턴의 단 차이가 검출감도에 영향을 미치고 공정이 진전됨에 따라 검출감도가 떨어진다. 후자는 단 차이에 무관하게 비교적 고감도의 검사가 가능하고 산란광 검출방식으로는 검출되지 않는 패턴결함을 찾아낼 수 있는데, 검사시간이 긴 것이 결점이다.

표 8. 입자/패턴결함 검사장치의 특징

항 목	경면 웨이퍼 입자 검사장치	패턴 웨이퍼 입자 검사장치	패턴결함 검사장치
검출성능	0.1 μ m	0.5~1 μ m	0.2~0.3 μ m
검사시간	약 45초/6인치	1~3분/6인치	0.2~1시간/6인치
특 징	<ul style="list-style-type: none"> · 고감도 고속검사 · 표면 요철의 영향 큼 	<ul style="list-style-type: none"> · 고속검사 · 공정에 따라 검출감도가 다름 	<ul style="list-style-type: none"> · 고감도 검사 · 바닥결함도 검사 · 눈으로 확인하고 분류가 필요
용 도	<ul style="list-style-type: none"> · 장비의 입자관리 	<ul style="list-style-type: none"> · 제품의 입자 QC (전수검사) 	<ul style="list-style-type: none"> · 고감도 불량해석 · 수율예측 (발취검사)

한편, 반도체 제조장비내 입자를 실시간으로 연속 계측하는 In Situ Particle Monitor (ISPM)가 300mm 웨이퍼 시대를 맞이하여 일본에서도 본격적으로 사용되고 있다. 이전부터 많이 사용한 미국에서는 '97년 Semiconductor Technology Road Map에 "ISPM이 장비의 이상 및 프로세스 이상의 조기 발견, 조기 해결에 기여하는 유일한 방법이다"라고, "프로세스 엔지니어의 대부분은 300mm

프로세스 도입 시에는 ISPM이 기본이 될 것으로 예측하고 있다"고 보고되어 있다.

모니터 웨이퍼를 사용한 입자오염 평가방법의 단점을 보완하기 위하여 기존의 공기중 입자계수기의 측정원리를 응용하여 진공중 입자를 측정할 수 있는 ISPM이 개발되었다. ISPM은 실제 제조장비내 입자 상태를 실시간으로 계측하여 그 결과를 제조장비로 Feed Back 시킬 수 있는 특징이 있다. 현재 제조

표 9. In Situ Particle Monitor의 적용 예

ISPM application	Sensor mfg/ sensor type ^a	Sensor location ^b	Author affiliation ^c	References	Comments
High current ion implantation					
Eaton NV-20A	HYT 15A/30A/20S	PC	EAT, HYT, NSC, SEM	20, 21	20S correlates to PWP. Used for process control.
Eaton NV 10-80	HYT 20S	PC	INT, NSC	10	
Eaton NV 10-160	HYT 15A	PC	HYT, IIS, TI	18, 19	Detects high particle events such as burning photoresist.
Applied PI9200	AMI	PC	AMI	50	Prototype.
Varian 120-10	HYT 15A	PC	IIS	19	Used to optimize autoclean. Detects broken wafers and burning photoresist.
Medium current ion implantation					
Varian DF-4	HYT 20	LV	HYT, NSC	10, 23, 24, 51	Counts may correlate to PWP and yield.
Varian CF3000	HYT 20	LV		10	
Eaton NV-6200	HYT ^{unk}	LV	HYT	24	
Sputtering					
Anelva 1015(Al/Si, Mo/Si)	HYT ^{unk}	PC	HYT, MIT	26	Sensor indicated wafer scratching during handling.
CPA/general-signal thin film(hard drive disks)	HYT ^{unk}	LC, PC	HYT+	29	Loadlock aerosol and flaking correlates to PWP. Process counts low.
MRC Eclipse(TiN, TiW)	HYT20	LV, PC	MRC, HYT	26, 30	Monitor detected dirty wafers by entrainment during loadlock venting.
Ulvac(Hard drive disks)	HYT ^{unk}	LC, PC	HYT+	29	Loadlock aerosol and flaking. Process counts low.
Varian 3280-3290(TiN)	HYT 25S/20S	LV, PC	CYS, HYT, NSC, TI	26, 27, 28	Low counts. Correlation with system events but not PWP.
Plasma photoresist stripping					
GaSronics Aura	HYT 20/30A	PV	HYT	31	Possible correlation with PWP. Some false counting due to plasma emission.
Plasma etching					
Lam 4400 poly/nitride	HYT 20S	PV	HYT, HP, LAM SEM, TI	52	Low counts. Possible correlation to electrical defects.
Lam AutoEtcher	PMS	PV	PMS	14	Sensor detects particles during pump/purge. Counts appear to reflect chamber cleanliness
Lam 4500/4520 oxide	HYT 20S/20B	LC, PV	HYT, SLI	53	Sensor appeared to indicate clamp cleanliness.
Tegal 903	PMS	PV	PMS	14	High particle events detected during pumpdown and vent.
Plasma CVD					
Applied 5000 TEOS	AMI	PV	AMI, INT	32, 33	Sensor revealed process excursions.
Applied 5000 TEOS	HYT 70	PV	INT	37	No PWP correlation. Noise problems.
Applied 5000 TEOS	unk	PV	IBM	38	PWP correlation established above 5 Torr.
Applied 5000 W	PMS	PV	TI	34	Good correlation to chamber conditions. Some correlation to PWP.
Applied 5000 W	HYT 70	PV	INT	35	No PWP correlation. Detected only large excursions.
Genus W/WSi ₂ LPCVD	PMS, HYT	LV, PC		36, 39	Sensor integrated into tool; used for process control.
SVG 6000 poly	PMS	PV	TI	40	Sensor detected gas line particles and flaking from walls.
ASM America BPSG	HYT ^{unk}	PV	HYT	41	Sensor indicated pumpdown particles. Reasonable correlation to PWP in some circumstances.

^aManufacturers are as follows: ("unk" indicates unknown sensor type) AMI—Applied Materials; HYT—High Yield Technology; PMS—Particle Measuring Systems.

^bCodes for sensor locations: LC—Loadlock chamber, LV—Loadlock vacuum line; PC—Process chamber; PV—Process vacuum line, above throttle valve; PT—Process vacuum line, in throttle valve; PR—Process chamber rough vacuum line.

^cAuthor affiliations (or, data source) (a "+" suffix indicates additional unidentified data sources) AMD—Advanced Micro Devices; AMI—Applied Materials; CYS—Cypress Semiconductor; EAT—Eaton Corporation; HP—Hewlett-Packard; HYT—High Yield Technology; IBM—IBM; IIS—Ion Implant Services; INT—Intel; LAM—Lam Research; LSI—Logic; MIT—Mitsubishi; MRC—Materials Research Corp.; NSC—National Semiconductor, PMS—Particle Measuring System; SEM—Sematech; TI—Texas Instruments.

장비내 입자오염을 제어하기 위하여 ISPM이 광범위하게 사용되고 있다. High Yield Technology사에서 최초로 ISPM을 개발하였고, 현재는 Particle Measuring Systems, Applied Materials 등에서 개발된 ISPM도 널리 사용되고 있으며, 이러한 ISPM의 적용 예를 표 9에 나타냈다. 참고로 HYT에서 판매하고 있는 ISPM 센서의 사양을 표 10에 나타냈다.

실시간의 입자 수준 정보에 대한 요구는 매우 강하다. 표 9에서 보는 바와 같이 ISPM은 거의 모든 진공장비에 사용되어 평가되고 있다. 많은 경우 웨이퍼의 파손이나 오염된 가스의 공급과 같은 높은 입자오염

발생을 감지하는데 성공적으로 사용되었다. 그러나, 측정된 웨이퍼 오염도와 ISPM 데이터간의 상관성이 발견된 경우는 매우 적으며, 단지 대전류 Ion Implanter와 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 장비에서 일상적인 공정제어에 사용되는 Tool Cleanliness에 대체로 충분히 민감한 것이 입증되었을 뿐이다. 이러한 문제점의 원인을 밝혀내고 ISPM의 응용성을 높이기 위해서 진공상태에서의 입자거동과 ISPM의 성능특성에 관한 연구가 최근에 활발하게 수행되고 있다.

표 10. ISPM 센서의 사양

센서 모델	M70XE	M20SXE	M25SXE	M9000
센서 형식	Dark Field	Dark Field	Dark Field	Bright Field
최소 감도(μm)	0.17	0.19	0.2	0.3
대상 프로세스 온도 ($^{\circ}\text{C}$)	약 200	약 50	약 50	약 80
대상 제조장비	각종 Etch, CVD, LPCVD	Etch, CVD의 Loadlock, 이온주입, Sputter의 챔버내	이온주입, Sputter의 챔버, 실험용 장비내	Lam TCP 9600
설치장소	배기라인	배기라인, 챔버내	챔버내	천이 부분

4. 향후 과제

향후 입자관리의 문제는 검출감도와 모니터링 방법이다. 입자 검사장치로는 0.07~0.08 μm 의 입자를 검출할 수 있고, 단파장화에 의해 약 0.04 μm 까지도 가능하다. 그러나 실제로는 실리콘 기판상에 COP(Crystal Originated Particle)가 존재하므로 약 0.16 μm 이상의

값만 신뢰할 수 있다. 패턴결함 평가장치의 검출감도는 0.2~0.3 μm 이고, 현재 양산을 위한 개발 단계에 있는 선평이 0.13~0.18 μm 인 1 Gb DRAM 이상의 ULSI에 대응하기에는 역부족이다.

모니터링 방법의 문제는 검출감도와 밀접한 관련이 있다. 하나는 선평과 비교하여 모니터링 할 필요가 있는 결함의 크기를 결정

하는 것이다. 1997년 판 SIA의 Road Map에서는 선평의 1/2로 되어 있다(1994년 판에서는 1/3). 수율이 안정 단계에 접어든 제품의 모니터링 방법 ①~④ (표 6) 중에서 변동억제를 목적으로 한 모니터링은 필요하지만 엄격한 조건에서 모니터링을 할 필요는 없다. 그러나, 제품의 초기 양산 기간에는 새로운 문제가 나타나는 경우가 많으므로, 선평 (가능하면 1/2) 정도의 감도를 갖는 것이 좋은데, 이 점에서 현재 검출감도는 불충분하다. 또한, 비용 절감을 목적으로 ULSI 제품에서는 90% 정도의 축소가 매년 행해진다.

검출감도는 입자 검사장치에서도 패턴결합 평가장치에서도 정확한 물리적 크기를 나타낼 수는 없다. 노광 시에는 PSL 입경으로 환산한 입경이 의미가 있지만, 다른 공정에서는 실제 입경이 의미가 있다. 패턴결합 평가장치에서도 검출되는 크기와 SEM 등으로 확인한 크기가 다른 것이 문제가 되고 있다.

설비관계에서는 웨이퍼 이면(뒷면)의 입자가 노광 공정에서 초점심도 여유(Margin)에 영향을 미칠 것으로 여겨진다. 0.35 μm 세대에서 사용되는 i선에서는 휨이나 이면의 영향에 관한 여유가 0.5~0.8 μm 이지만, 0.25 μm 세대의 KrF에서는 0.2~0.4 μm , 0.18 μm 세대의 후보인 ArF에서는 약 0.1 μm 로 될 것이다.

마스크 결함도 심각할 것으로 예상되는 문제 중의 하나이다. 현재는 4배 레티클(Reticle)이 사용되고 있으므로, 실제 패턴 0.15 μm 에 대하여 레티클 상에서는 0.6 μm 로 된다. 레티클의 경우 ① 얇고 반투명하여 검출하기 어려운 결함을 검출할 필요가 있고, ② 직접 해상하지 않는 패턴이어도 인접 패턴 형상에 영향을 주는 것, ③ 패턴 수가 3년에 3~4배

증가하므로 시간이 걸리는 것 등이 문제로 여겨진다. 따라서, 문제가 되는 결함이 있어도 발견에 오랜 시간이 걸릴 가능성이 많다.

5. 맺음말

다가오는 21세기에는 GIGA급 반도체가 생산될 것이며, 이에 따라 지금까지와는 다른 개념의 기술적 대응이 필요하다. 국제 경쟁의 가속화로 효율적인 투자가 요구되며, 높은 수율을 확보하기 위한 노력이 더욱 중요하게 된다. 이에 따라 클린룸의 형태도 바뀌게 되므로 클린룸 기술도 질적인 변화가 요구되고, 입자뿐만 아니라 미량의 화학물질, 중금속, 이온 등을 포함하는 종합적인 오염 제어기술이 개발되어야 한다. 입자의 경우 서브마이크론 크기에서 나노 크기로 제어대상이 작아짐에 따라 공기 중 나노 입자를 측정하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있는데, 이와 함께 제조장비나 웨이퍼 표면의 나노 입자를 측정할 수 있는 계측기의 개발이 시급히 요구된다.

입자를 포함한 다양한 오염물질은 수율에 직접적인 영향을 미치므로, 수율과 오염물질 간의 상관성을 규명하고 반도체 칩의 집적도에 따른 선평과 수율 유지를 위한 관리 오염물질의 크기(또는 농도)를 명확히 하는 작업도 중요하다. 클린룸내 오염제어기술은 측정 및 분석기술이 뒷받침되어야만 개발이 가능하며, 오염물질이 다양하므로 다학제간 연구가 절실히 필요한 분야이다. 국내 반도체 업계가 세계적으로 메모리 분야를 선도하고 있으므로, 명실상부한 1위 자리를 고수하기 위해서는 국내 연구역량을 결집하여 오염제어

기술의 국내 자립화를 위한 투자를 아끼지 말아야 할 것이다.

-참고문헌-

1. 채승기, 1995, "반도체 생산공정에서의 미립자 측정 및 분석 기술," 대한기계학회지, 제35권, 제5호, pp.398-404.
2. 배귀남, 1997, "반도체 제조장비내 오염제어 기술," 공기청정 기술세미나, 한국공기청정연구조합, 1997. 6. 13, pp.27-62.
3. 조상준, 1997, "나노입자의 측정과 포집," 공기청정기술, 제10권, 제3호, pp.21-39.
4. 최재홍, 1997, "SMIF System과 Clean Room System," 공기청정기술, 제10권, 제3호, pp.61-74.
5. 동아일보, 1999. 3. 13.
6. 동아일보, 1999. 3. 17.
7. 野副 眞理, 1996, "ウェーハ表面缺陷解析システムのLSIラインへの應用," Clean Technology, Vol. 6, No. 3, pp.23-27.
8. 呂 俊民, 石黒 武, 高橋 幹雄, 1997, "次世代クリーンルームのモデルルーム," Clean Technology, Vol. 7, No. 6, pp.35-41.
9. 北島 洋, 1998, "パーティクルと歩留りの相關," Clean Technology, Vol. 8, No. 9, pp.1-6.
10. 佐藤 浩平, 1998, "眞空プロセス用パーティクルモニタリング," Clean Technology, Vol. 8, No. 9, pp.31-33.

투고 환영

계간 「공기청정기술」지는 클린룸 업계의 발전을 위하여 보다 많은 클린룸 관련 기술자 여러분의 투고를 기다리고 있습니다.

각종 기술자료를 보내주시면 엄선하여 본 연구조합 기술지에 게재하여 드리고 소정의 고료를 보내드리겠습니다. 또한 본 기술지는 95년도부터는 "업계동정"란을 신설하여 업계의 단신을 수시로 접수, 게재코저하오니 우리 모두의 업계를 가꾼다는 마음으로 사소한 소식이라도 송부하여 주시기 바랍니다.