

표면 부착입자 계수기

1. 머리말

현재 반도체 디바이스는 4 MDRAM이 본격적으로 양산되고 있으며, 한편으로는 16 MDRAM/64 DMRAM의 개발이 점점 가속화되어 가고 있다. 이러한 상황에서 실리콘 웨이퍼 표면에 부착한 이물질이나 결함의 유무는 디바이스의 특성을 열화시켜 불량률의 큰 원인으로 된다. 따라서, 웨이퍼 표면은 청정한 상태를 유지해야 되며, 이것을 실현하기 위해서 제조 프로세스의 청정 환경도 개선되고 있다. 또한, 프로세스에서의 청정화 기술의 진보와 병행해서, 웨이퍼 표면에 부착한 이물질을 평가하는 검사장치의 검출 정확도도 향상되어 가고 있다.

웨이퍼 표면에 부착한 이물 미립자의 관찰, 계측법으로는 투광기를 사용한 경사광 검사나 광학 현미경 및 주사형 전자 현미경에 의한 목적검사가 종래부터 사용되어 왔으며, 성분분석에서는 특성 X선, 이차 전자 등을 검지하는 물리분석장치가 사용되어 왔다. 그러나 이들 방법은 작업자의 주관에 개입되기 때문에 정확도가 낮고, 작업능력도 나쁘며 정량적 데이터를 얻기 어렵다. 또한, 이들 장치는 사고 대책, 원인 규명을 위한 평가 장치로, 생산 프로세스중에 있어서 온라인에 가까운 형태로 부착입자의 계측을 행할 목적을 가지고 만들어진 것이 아니다. 이에 반해, 웨이퍼상의 입자 검출장치

한국과학기술연구원
공조·환경제어연구실
선임연구원 명현국
연구원 배귀남

에 요구되는 보다 미소한 입자의 검출, 검출 신뢰성의 향상, 측정시간의 단축, 장치의 소형화 등의 조건을 모두 만족시키면서 생산현장에 적용할 수 있는 온라인 계측이 가능한 장치로, 공기중 부유입자 계수기와 같은 원리에 근거한 광산란식 표면 검사법을 사용하는 표면부착 입자 계수기(Surface Particle Counter)가 1980년대 들어와 실제 반도체 회사를 중심으로 웨이퍼 검사에 매우 효과적으로 널리 사용되기 시작하였다. 이 장치는 입자의 관찰, 또는 분석을 행하는 기능은 가지고 있지 않으나, 부착입자의 크기와 갯수를 측정할 수 있는 기능을 가지고 있다. 또한, 초기에는 경면(unpatterned)

웨이퍼상의 미립자만 검출가능하였지만, 최근에는 조면(patterned) 웨이퍼상의 미립자도 측정가능한 기종도 상품화되고 있다. 참고로 표 1에 표면 부착입자 계측 및 평가기술을 나타낸다.¹⁾

본 고에서는 경면 웨이퍼에 부착한 입자 상태의 오염물질의 입경 및 갯수를 광학적으로 측정하는 기기를 통칭하여 표면 부착입자 계수기(Surface Particle Counter)라 부르고, 현재 반도체 회사에서 많이 사용하고 있는 표면 부착입자 계수기에 대해서 검출 원리 및 장치의 개요 등 특성을 주로 기술하고, 조면 웨이퍼상의 미립자 계측에 대해서는 끝에서 간략히 언급하기로 한다.

표 1. 표면 부착입자 계측 및 평가기술

대상 \ 계측기술	측정수단	최소가측입경	검사속도 (웨이퍼 1매당)
경면상의 청정도 (경면 웨이퍼)	목측검사	0.5 μ m 이상 (숙련자 0.3 μ m 이상)	수십초~수분
	광학 현미경	0.3 μ m 이상	수십분~수시간
	레이저 빔 주사	0.1 μ m 이상	수십초~수분
	카메라 촬영	0.3 μ m 이상	수십초
조면상의 청정도 (패턴된 웨이퍼, 웨이퍼 뒷면)	광학 현미경	0.3 μ m 이상	수분~수시간
	레이저 빔 주사	0.7 μ m 이상(SiO ₂ 면) 2 μ m 이상(Al 면)	수십초~수십분
	촬영·신호처리	0.6 μ m 이상	수십분~수시간

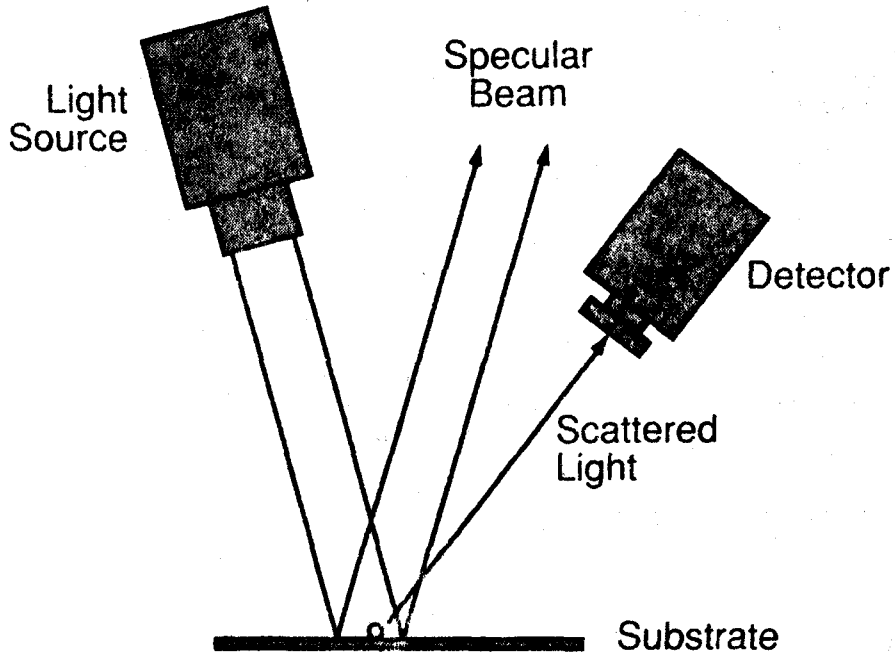


그림 1. 표면 부착입자 계수기의 개념도

2. 측정원리

표면 부착입자 계수기는 그림 1에 타나 났듯이 대부분의 입자 계수기와 마찬가지로 광산란 이론에 근거하여 입자의 크기와 갯수를 측정한다. 광산란 이론에 대해서는 공기중의 입자 계수기에 관한 문헌에 많이 쓰여 있고,²⁾ 본 특집의 입자 계수기란에서도 언급되어 있으므로, 여기서는 공기중의 입자 계수기에 적용되는 광산란 이론과 표면 부착입자 계수기에 적용되는 광산란 이론의 차이점에 대해 주로 기술한다.

광산란 이론에 의하면 공간에 부유하는 미소한 단일 구입자(굴절율 n)에 평면파가

조사되면, 구입자에 의한 산란광 분포는 구의 입경과 조사하는 빛(레이저)의 파장에 따라 표 2에서 보듯이 크게 3가지 영역으로 구분되며, 일반적으로 장치내에서 웨이퍼에 부착하는 이물질의 입경이 수 μm 이하 정도로 조사파장과 비슷한 정도이므로, 웨이퍼상의 미립자에 의한 산란광은 Mie 산란 영역에 속한다고 할 수 있다.³⁾ 그러므로 광산란식 입자 계수기는 Mie 이론을 근거로 광학계를 구성하여 공기중, 표면상, 액체중, 고압가스중의 미립자를 측정한다.

Mie 산란에 있어서 산란광 분포 모델을 그림 2에 나타낸다. 이것은 공간에 부유하고 있는 단일 입자의 특성으로 산란장도

표 2. 광산란 영역의 특성

입경(d)과 파장(λ)의 비 교	통 칭	가 시 광 선		
		대표적인 입자	대표적인 크기(μm)	전체 산란량의 의존성
$d \ll \lambda$	Rayleigh	공기분자	2×10^{-4}	d^6/λ^4
$0.1\lambda < d < 30\lambda$	Mie	담배연기	0.3	$\sim d^5/\lambda^3$
		안개방울	3	$\sim d^3/\lambda$
$d \gg \lambda$	Geometric	물 방울 소 흑 성	10^3 10^9	d^2

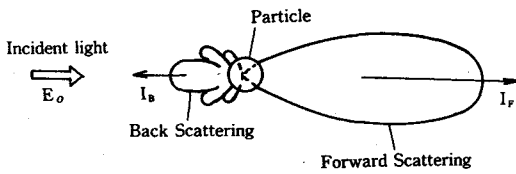


그림 2. Mie 산란광 분포 모델

(I), 입사광의 강도 (E_0) 및 산란단면적 (S) 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$I = E_0 S = I_f + I_b$$

여기서 I_f 는 전방 산란강도, I_b 는 후방 산란강도이다.

또, 이들 산란광 분포 특성은 입경과 파장에 크게 의존해 입경이 큰 경우에는 전방 산란강도가 크게 되고, 입경이 작은 경우에는 전방 및 후방산란강도가 비슷한 정도인 것으로 알려져 있다.

그림 3에 웨이퍼상의 입자에 의한 산란

광 분포 모델을 나타낸다. 이 경우에는 웨이퍼의 반사율(R)이 추가로 고려되어 입자에 의한 산란강도 (I)는 다음 식으로 표현된다.

$$I = I_b + R I_f$$

즉, 입자에 의한 산란강도는 후방 산란강도와 전방 산란강도에 반사율을 곱한 값의 합으로 된다. 그런데 입경이 $0.2\mu\text{m}$ 이상인 입자의 경우 $I_b/I_f < 0.06$ 이라는 결과가 있으며, 또한 R이 1보다 작으므로 후방 산란 성분은 무시할 수 있다. 따라서 웨이퍼상의 입자에 의한 산란강도는 웨이퍼 면의 반사율에 비례하고, 앞에서 설명한 바와 같이 입사광의 파장과 입자의 크기에도 의존한다.³⁾

이러한 Mie 산란 이론에 근거하여 만든 표면 부착입자 계수기의 전체적인 측정원리

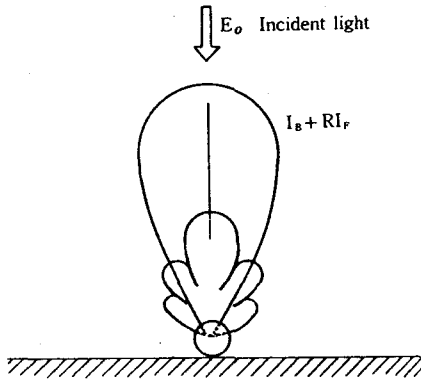


그림 3. 웨이퍼상의 입자에 의한 산란광 분포모델

를 설명하면 다음과 같다. 먼저 웨이퍼 위에 레이저 광이나 램프 광을 조사한다. 이때 웨이퍼 위에 부착한 입자에 의해 생기는 산란광, 회절광, 편광, 형광 등을 광전변환기로 집광하여 펄스 형태의 전기신호로 변환한다. Mie 산란 이론에 따라 펄스 신호의 파고값과 웨이퍼 위에 부착한 입자의 직경 간에 일정한 관계가 있는 것을 이용하여 펄스 파고값(펄스 면적값을 포함함)으로부터 입경을 구하고, 펄스 수로부터 부착 입자수를 계측한다. 이 방법에 있어서 입경은 절대값을 나타내는 것이 아니라 등가의 산란광을 갖는 PSL 입자의 직경에 상당하는 상대값을 나타낸다.⁴⁾

3. 구성

표면 부착입자 계수기는 그림 4에 나타난 것처럼 일반적으로 광원, 조사광학계, 주

사계(광 빔, 시료대 및 수상부의 기계적 또는 전기적 주사), 수광광학계, 광전변환기, 신호처리부(파고 분석부를 포함) 및 표시부를 갖추고 있다.

현재의 표면 부착입자 계수기는 일반적으로 웨이퍼에 He-Ne 레이저를 조사하여 미립자로부터의 산란광을 후방의 넓은 각도에서 포토멀티플라이어로 수광하는 방식이다. He-Ne 레이저 보다 파장이 짧은 레이저는 출력, 안정성, 수명 등에 문제가 있어서 사용되지 않았으나, 최근에 Ar 레이저의 수명이 5년전에 비해 10배 이상의 수명(출력 10mW 일때의 비교)인 10,000시간 정도로 되었다.⁵⁾ 그러므로 광원으로는 검출강도를 높이기 위해 He-Ne 보다 파장이 짧은 Ar 레이저를 사용하거나, 소형이고 수명이 긴 반도체 레이저를 사용하는 경우도 있다.

일반적으로 공기중의 입자 계수기의 경우는 작은 입자를 계측할 때 큰 산란광을 얻기 위하여 높은 출력의 레이저(high power laser)를 사용하는데 비해, 웨이퍼 표면상의 미립자 측정기의 경우는 반드시 그렇지 않다. 이것은 높은 출력의 레이저를 사용함에 따라 웨이퍼 표면의 산란광이나 공기분자의 산란광 등의 배경 빛(background light)도 크게 되어 그 만큼 산란광 신호(signal)에 대한 잡음(noise)도 크게 되기 때문이다.

한편, 보통의 표면 부착입자 계수기는 광

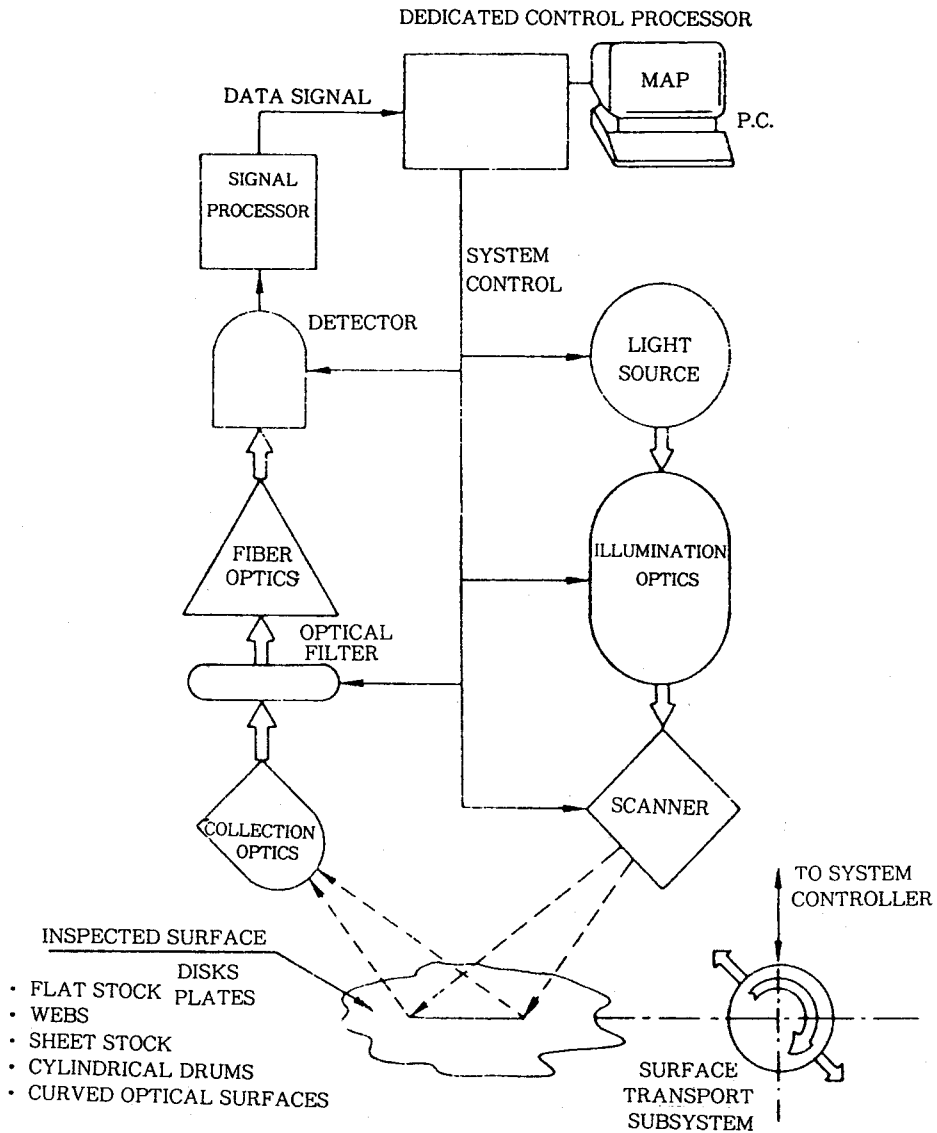


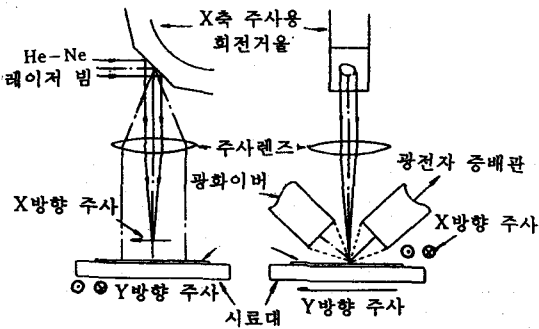
그림 4. 일반적인 표면 부착입자 계수기의 블록선도

원으로 한 종류의 레이저를 사용함으로써 인
해 선형성의 문제로 넓은 입경범위를 측정
할 수 없는 것이 지적되고 있는데, 2종류의
레이저를 사용함으로써 이 문제를 해결하고
있는 기종도 개발되었다. 즉, 작은 미립자에

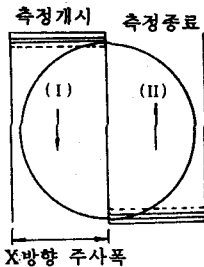
대하여 S편광 레이저는 P편광 레이저보다
1 order 이상 큰 신호를 발생시키고, 큰 입
자에 대해서는 역으로 P편광 레이저 쪽이
S편광 레이저를 상회하는 신호를 발생시킨
다. 이러한 특성으로 인해 0.1 μ m 이상의 넓

은 입경범위에서 선형반응(linear response)을 얻는 것이 가능하다.⁶⁾

다음으로, 레이저 스폿의 주사방식으로는 일반적으로 X-Y 주사방식과 나선회전방식의 2가지가 있으며, 이들 모두 웨이퍼 위를 전면주사하여 미립자의 측정결과를 얻는다. 먼저 X-Y형에서는 그림 5 (a)에서 보듯이 X축 방향은 꺾버나이즈드 거울이나 회전 거울에 의해 레이저 스폿을 주사하고, 이것에 동기해서 웨이퍼를 Y축 방향으로

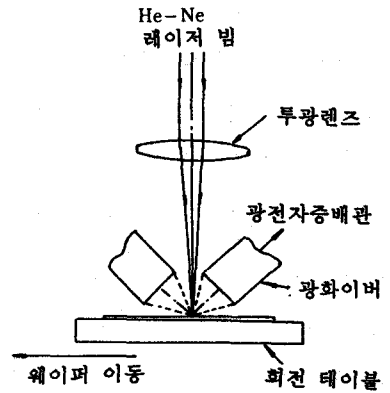


(a) XY형 광학계

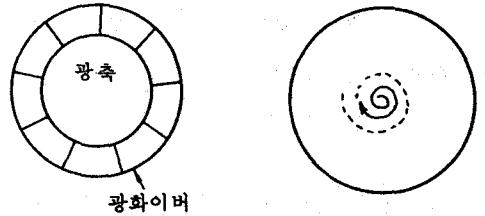


(b) XY형 주사

그림 5. XY형 광학계



(a) 회전형 광학계



(b) 회전형 주사

그림 6. 회전형 광학계

스텝 이송하는 것이다. 이 X-Y형의 경우, 주사 빔의 스폿 직경과 주사 렌즈의 수차 관계로부터 X축 방향의 주사폭에 제약을 받아, 그림 5 (b)에 보여주는 바와 같이 분할 주사를 행하는 경우도 있다.

한편, 회전형은 그림 6 (a)에 보이는 바와같이 레이저 스폿을 고정하고 웨이퍼를 회전시키면서 이동시켜 중심부로부터 외주부를 향해 이동하며 연속 주사를 행한다. 레이저 빔은 상방으로부터 직각으로 웨이퍼에 조사되며, 입자로부터의 산란광은 레이

저 광축의 주위에 원형으로 배치된 수광기에서 집광되며 전자 증배관에서 검출된다. 이 경우의 주사는 그림 6 (b)와 같이 중복됨이 없는 나선형이 된다. 이 방식에서는 레이저 빔을 고정하고 있기 때문에 렌즈의 수차 문제가 없고 수광기의 감도도 원주상의 각도방향에 배치되어 있기 때문에 편차가 적다. 그러나 이 방식은 중심으로부터 외주부를 향해 연속 주사할 경우 레이저 스폿의 선속도가 크게 변화하기 때문에 회로계의 밴드폭이 상당히 넓게 된다. 이 때문에 웨이퍼의 회전 속도를 제어할 필요가 생

기는 경우도 있다.

수광방식에는 광 화이버, 적분구, 타원거울, 광각렌즈 중의 하나 또는 이것들의 조합에 의하며, 각사 마다 넓은 입체각에서의 산란광을 집광하는 데에 연구노력하여 각사의 독특한 특징을 만들어 내고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 표면 부착입자 계수기는 공기중 입자 계수기와 달리 제품이 표준화되어 있지 않고 고가이므로, 구입시에는 광학계, 웨이퍼 이송장치, 결과 해석용 소프트웨어 등의 특성을 충분히 검토한 후 용도에 맞는 기종을 선정하여야 한

표 3. 대표적인 표면 부착입자 계수기

제작회사	모 델	광 원	검출감도*	검사속도
Tencor	Surfscan 4500	He-Ne 레이저	0.2 μ m(90%)	40초/6"
	Surfscan 5500	He-Ne 레이저	0.2 μ m(90%)	60초/8"
PMS	SAS 3600	He-Ne 레이저 (편광)	0.1 μ m	-
Estek	WIS 8000	He-Ne 레이저	0.22 μ m(95%)	60초/8"
	WIS 8500	Ar 레이저	0.17 μ m(95%)	60초/8"
日立 Deco	HLD-300B	He-Ne 레이저	0.17 μ m(50%)	45초/6"
	LS-5000	He-Ne 레이저	0.16 μ m(50%)	46초/6"
Topcon	WM-3	반도체 레이저	0.2 μ m	50초/6"
	WM-1000	Ar 레이저	0.1 μ m	75초/6"

(* PSL 표준입자의 최소 가측입경 정의가 각사마다 다르므로 여기에 적힌 값은 참고 정도에 지나지 않음)

다. 현재, 표면 부착입자 계수기의 제작업체로는 미국의 Tencor Instruments, Particle Measuring Systems Inc., Kodak Estek, 일본의 Hitachi Electronics Engineering Co. Ltd., Topcon Co., Ltd. 등이 있으며, 국내 반도체 회사에는 약 40개의 표면 부착입자 계수기가 도입되어 웨이퍼 표면오염 검사에 사용되고 있다.

현재 시판되고 있는 대표적인 기종을 표 3에 나타낸다. 검출감도(최소 가측입경)에 대해서는 아직 공식적으로 설정된 평가 기준이나 규격이 없기 때문에(최근에 JIS B9924에 규정되어 있음), 각사 마다 결정하는 방법이 다르므로 소개책자(catalog)에 쓰여 있는 값만으로는 우열을 판단하기 어렵다. 그림 7에 검출감도의 최근의 경향을 나타낸다.

표면 부착 입자 계수기의 구성에 관한 이해를 돕기 위해 참고로 본 연구실에서 보유

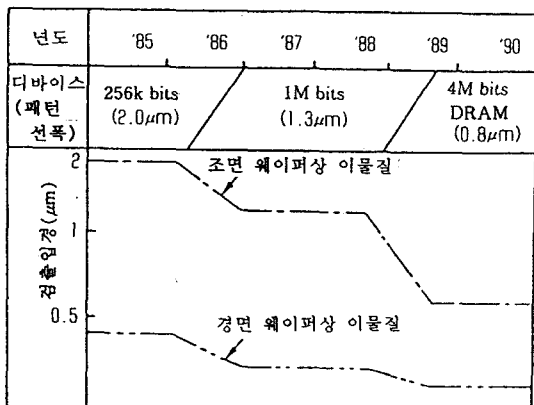


그림 7. 패턴 선폭과 검출물 입경의 변화

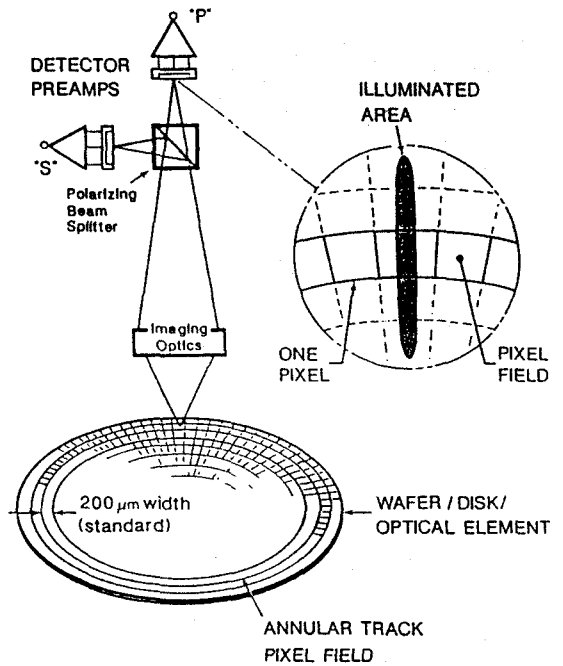


그림 8. SAS 3600의 Pixel과 광학계

하고 있는 SAS(Surface Analysis System) 3600(미국 Particle Measuring Systems Inc.에서 개발)에 대해 이하에 간략히 소개한다.⁷⁾ SAS 3600은 광원으로 He-Ne 레이저를 사용한 광산란식 표면 부착 입자 계수기로 내부 거울형의 He-Ne 레이저를 사용함으로써 안정되고 수명이 긴 광원을 얻고 있다. 또한 SAS 3600은 타사의 계수기와는 달리 P편광 및 S편광 두 종류의 레이저를 사용하고 있는 것이 특징이다. 웨이퍼는 그림 8에 나타난 것처럼 광학 stage가 200 μ m 동심원을 그려가면서 웨이퍼 중심으로부터 외주부를 향하여 이동하며 전면을 주사하여 측정한다. S신호와 P신호는 2개의 독립된

광 다이오드 감지기에 상을 맺어 파고 분석기를 지나 15채널로 분류되어 표시된다. 측정 결과는 7가지 색깔에 의해 지도(map)와 막대그래프(histogram)로 표시되고, 칼라 프린터나 RS-232C에 의해 외부로 출력된다.

다음으로 SAS 3600의 기본적인 기계적 시스템을 그림 9에 나타냈다. 웨이퍼는 로

보트나 사람(수동)에 의해 카세트에서 측정 시스템으로 반송되고 진공에 의해 고정된다. 광학 시스템은 측정이 시작되면 home position(웨이퍼 중심)으로 돌아가서 웨이퍼의 회전과 동시에 웨이퍼의 가장자리를 향하여 이동한다. 웨이퍼의 회전속도는 표면속도를 일정하게 유지하도록 중심 부근에서는 빠르고, 가장자리로 진행함에 따라 늦어

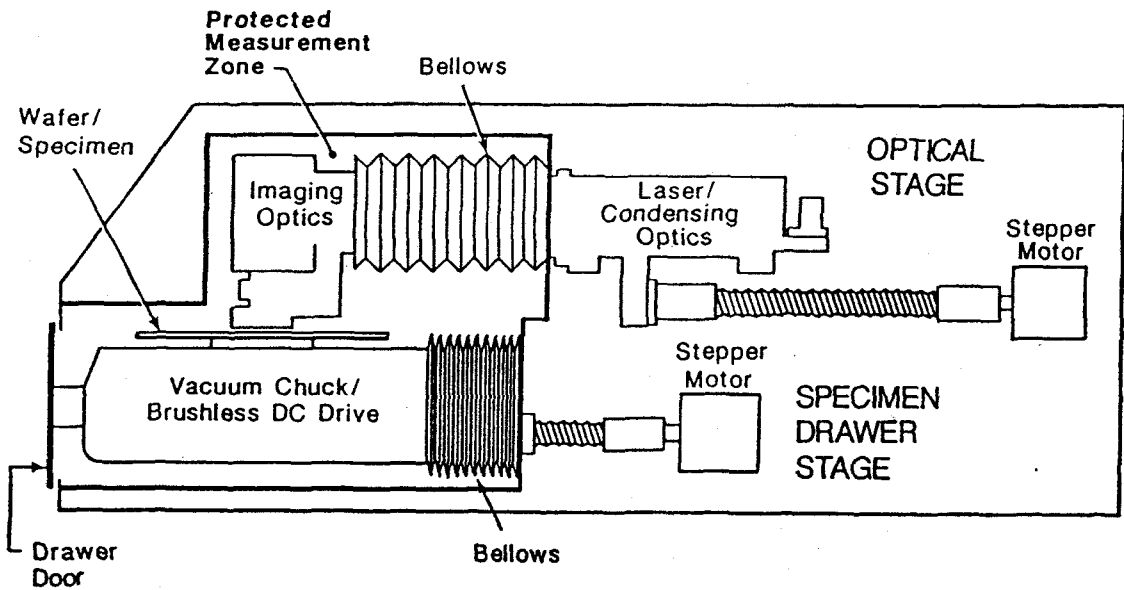


그림 9. SAS 3600의 기계적 시스템

지도록 제어된다.

그림 10에는 SAS 3600의 광학시스템을 보인다. 2개의 He-Ne 레이저(S편광과 P편광)는 60°의 입사각에서 웨이퍼 표면을 조사한다. 미립자 등에 의한 산란광은 대물렌즈로 집광되어 pixel field를 재결합하며, 대물렌즈는 개구수(numerical aperture) 0.7에

서 입체각 90° 이상의 빛을 포집할 수 있다. 영상 field는 편광 빔 분류기(beam splitter)로 분할되고, 회수된 S와 P 산란광 신호는 독립되어 분석된다. 양 빔으로부터의 산란광은 S편광 레이저를 적색, P편광 레이저를 황색으로 하여 필터를 사용해서 거의 완전히 분리된다. 마지막으로 웨이퍼

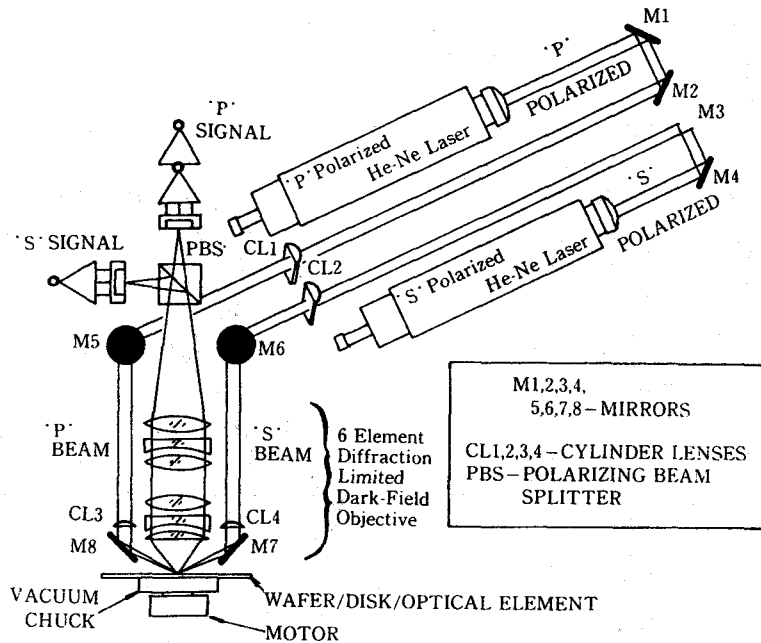


그림 10. SAS 3600의 광학 시스템

표면에 0.482 μ m인 PSL 입자를 부착시켜 측정된 결과를 출력 데이터의 예로 그림 11에 나타냈다.

4. 주요 성능

표면 부착입자 계수기의 중요한 성능은 최소 가측입경(sensitivity), 계수효율(counting efficiency), 반복적 계수성능(count repeatability)이며, 이 외에 균일성(uniformity), dynamic range, 공간 분해능(spatial resolution), 안정성(stability) 등도 중요하다.⁸⁾

4.1 계수효율

광산란, 회절 등을 이용하는 표면 부착입자 계수기는 광산란식 입자 계수기와 마찬가지로 광학계의 구성, 신호처리 방식, 표시 방법의 차이로 인해 특성, 성능 등이 약간 다르며, 동일 기종의 장치에서도 어느 정도의 기기 오차는 피할 수 없는 현상이다. 그러므로 이와 같은 표면 부착입자 계수기에 대해서는 기준이 되는 시료 또는 원리가 다른 기준 계수기를 사용하여 성능을 엄밀히 평가할 필요가 있다. 그러나 현재 기술수준으로는 표준시료로서 광산란 강도가 0.1-0.3 μ m인 PSL 입자에 상당하는 패턴을 웨

Particle Measuring Systems
Surface Analysis System

Auto Save

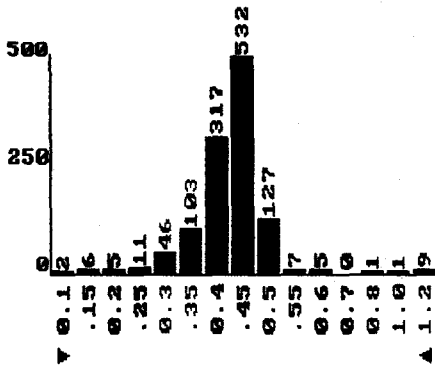
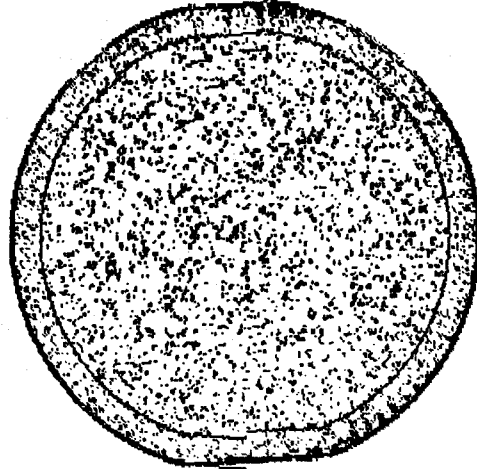
Sort ON

Monday 08/26/1991 20:50:25 Test ID: PSL

Cassette: A Wafer: 5

Defects:

Total = 1409 (3551)
Point = 1172
Area = 237 (2379)
Line = 0 (0)
TIS = 28.6 ppm
STS = 28.6 ppm
TRH = 2.3 Ang.
N/sq-cm = 57.3



Points Lines Areas

Point Summary: Analysis Parameters:

Wafer tested at: 08/19/1991 21:46:20

Size	Number	Max Number of Sorted Defects	10000
0.1	2	Diameter of Wafer (in mm.)	100B
0.15	6	Edge Reject (in mm.)	6.0
0.2	5	Minimum Size of Interest	0.1 micron
0.25	11	Maximum Size of Interest	1.2 micron
0.3	46	Vertical Histogram Scale	Linear: 0 to 500
0.35	103	Histogram	Differential
0.4	317	Number of Tests per Wafer	1
0.45	532	Line Aspect Ratio (X:1)	10.0
0.5	127	Max Line Width	5
0.55	7	Min Number of Pixels for a Line	10
0.6	5		
0.7	0		
0.8	1		
1.0	1		
1.2	9		

그림 11. SAS 3600의 출력 데이터 예

이퍼 위에 엄밀히 작성하여 얻는 리소그래피 기술은 아직 확립되어 있지 않다.

한편, $0.1-0.3\mu\text{m}$ 입경범위에 대하여 물리적으로 측정원리가 다른 신뢰성 있는 기준 계수기도 현시점에서는 존재하지 않는다. 예를 들면, 광학 현미경으로는 $0.1-0.3\mu\text{m}$ 는 계수한계를 넘고, 주사형 전자현미경으로는 진공배기시에 오염되고, 또한 부착 입자가 박리되는 위험이 있으며, 더우기 관측시간이 길어서 실제적인 기준 계수기로 될 수 없다.

이러한 상황에서 어떻든간에 계수방법을 엄격히 선정하려면, PSL 입경 약 $0.5\mu\text{m}$ 이상의 범위에서 광학현미경에 의한 목적검사가 남아 있을 뿐이다. 이점에 있어서 공기중 광산란식 입자계수기 경우 응축핵 계수기 등의 병용에 의하여 입자수의 절대값이 측정가능한 것과는 본질적으로 다르다.

참고로 JIS B 9924에 규정되어 있는 계수효율 측정방법을 아래에 소개한다.

계수효율은 입경이 약 $0.5\mu\text{m}$ 이상의 입의의 PSL 입자를 웨이퍼에 부착시켜 아래와 같은 시험방법으로 구할때 그 값이 사양에 표시되어 있는 값 이상이어야 한다.

① 입경이 약 $0.5\mu\text{m}$ 이상인 입의의 PSL 입자를 웨이퍼 위에 전면 부착시킨다. 이때 부착농도는 $0.1-50\text{개}/\text{cm}^2$ 의 범위로 광학현미경에 의한 목적검사에 적합한 값을 선정한다.

② 부착한 입자수는 광학현미경을 사용하여 눈으로 계수한다. 편의상 웨이퍼 전면을 작은 영역으로 분할하여 계수하여 이것을 전체 면적(주변부분을 제외함)으로 환산하여 전체 부착 입자수를 구하여도 좋다.

③ 부착 입자수에 대응하는 입경구분에서의 장치의 계수값을 구하면, 계수효율은 다음식으로부터 얻는다.

$$\text{계수효율} = \frac{\text{계수기의 특정입경 구분에 있어서의 계수값}(N)}{\text{광학현미경에 의한 목적 계수값}(N_0)} \times 100(\%)$$

4.2 최소 가측입경

계수기의 성능을 정의할때 최소 검출가능 입경으로 나타내는 것이 과거의 관습이었다. 이와 관련하여 광산란식 입자계수기(JIS B 9921-1990)에서는 $0.2\mu\text{m}$ 미만의 입경범위일때 최소 검출가능 입경(최소 가측입경)의 PSL 입자에 대한 계수효율은 응축핵 계수기 또는 이것과 동등 이상의 성능을 갖는 계수기를 기준으로 하여 30-70% 범위내에 있어야 한다고 규정하고 있다. 다시 말하면, 계수효율이 $50\pm 20\%$ 가 되는 PSL 입자의 직경을 최소 가측입경이라 할 수 있다. 그런데도 계수기에서는 $0.2\mu\text{m}$ 미만의 입경범위에서는 현재 신뢰성이 있는 기준 계수장치는 존재하지 않는다. 앞에서 설명한 바와 같이 광학현미경으로는 계측한계를 넘고, 주사형 전자현미경은 진공배기

시에 오염될 수도 있거니와 부착입자가 박리되는 위험이 있으며 더우기 관측시간이 길므로 실제적인 기준 계수기로는 부적합하다.

한편, 표면 부착입자 계수기의 감도를 높이는 것이 입자 계수기의 감도를 높이는 것에 비해 곤란한 이유는 입자 계수기가 균질한 매체 중의 미립자를 측정하는 것에 비하여 표면 부착입자 계수기의 경우 뒤(back)에 큰 산란광을 발하는 웨이퍼 표면에 부착한 미립자를 측정하지 않으면 안되기 때문이다. $0.1\mu\text{m}$ 감도를 갖는 표면 부착입자 계수기에는 ① 변동이 적은 광원을 사용할 것 ② 배경 빛이 가능한 한 들어오지 않는 광학계일 것 ③ 표면 위를 빛의 손실없이 균일하게 주사 가능한 장치일 것 등이 요구된다.⁶⁾

본 고에서는 최소 가측입경을 평가하는 방법으로 JIS B 9924에 규정된 잡음 등가입경, 펄스 실용 가측입경, 히스토그램 실용 가측입경에 대해서 소개한다.

4.2.1 잡음 등가입경(D_n)

JIS B 9924에서는 표면 부착입자 계수기의 최소 가측입경을 평가하기 위하여 기준 계측기 대신에 계수기의 잡음전압을 취하였다. 이 경우 잡음으로는 용이성, 실용성을 중시하여 편의상 백색잡음의 피크 대 피크 값을 선택하였다.

따라서 잡음 등가입경은 순간값으로서

SN비가 1이 되는 PSL 입자의 직경을 선정하는데, 이 값이 궁극적인 검출한계에 상당하다. 그러나 잡음 파고값을 읽을 때 생긴 오차나 웨이퍼의 표면막, 초기 부착미립자의 존재 등으로 잡음전압(펄스성 잡음을 포함)의 절대값 측정은 정확하다고 할 수 없으며, 잡음 등가입경은 계수기의 잠재능력의 개략값을 나타내는 것이라고 이해하여야 한다.

4.2.2 펄스 실용 가측입경(D_p)

펄스 실용 가측입경은 실용적으로 확실히 검출가능한 PSL 입자의 하한입경을 알기 위하여 특히 현실성을 중요시한 변수이다. SN비가 3이 되는 PSL 입자로 정의한 이유는 ① SN비 2 정도에서는 브라운과 오실로스코프의 파형을 눈으로 읽을 때 사람에 따른 오차가 생기기 쉽다. ② 4-5 이상에서는 기준으로 채택한 잡음의 파고값이 작아 오차를 유발하기 쉽다. ③ 3정도이면 신호 펄스와 백색잡음의 파고값이 모두 눈으로 읽기에 적당한 값이 되어 개인에 따른 오차를 줄일 수 있다.

4.2.3 히스토그램 실용 가측입경(D_h)

표면 부착입자 계수기 중에는 히스토그램 표시기능을 갖는 것이 있다. 단 채널 파고 분석형 및 다 채널 파고분석형이 이것에 해당한다. 히스토그램 실용 가측입경의 시험은 아래와 같은 순서로 행한다.

(1) 단 채널 파괴분석형 표면 부착 입자 계수기

표면 부착입자 계수기로부터 전체의 히스토그램 분포 특성곡선을 구하기 위해서는 읽은 값을 큰 쪽으로부터 작은 쪽으로 세밀하게 각 읽은 값간의 계수값을 찾아낸다. k 번째 읽은 값 이상의 계수값을 T_k 로 하면 각 읽은 값간의 계수값(N_k)은 다음 식으로 구할 수 있다(그림 12 참조).

$$N_k = T_k - T_{k-1}$$

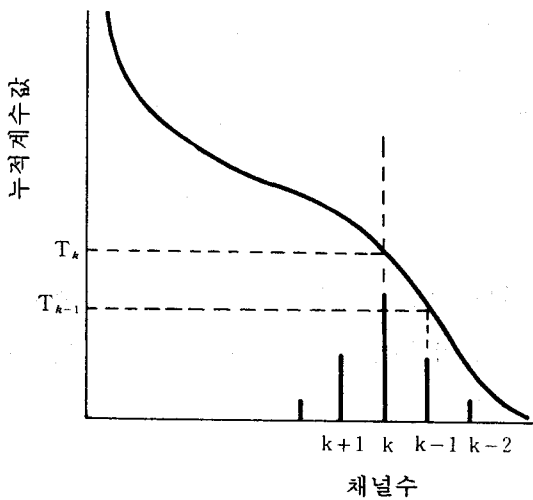


그림 12. N_k 구하는 방법

(2) 다 채널 파괴분석형 표면 부착 입자 계수기

웨이퍼의 1회 측정으로 그림 13과 같은 히스토그램을 얻는다. 히스토그램의 h_L 과 h_P 와의 비(h_L/h_P)가 0.7이 되는 PSL 입경을 구하여 다음과 같은 이유로 히스토그램 실

용가측입경(D_b)으로 정의한다. ① 0.9-0.95로 하면 통계적으로 현실에 맞지 않는 이상 한 입경이 될 가능성도 있다. ② 0.5로 하면 경면 웨이퍼의 표면흡집(표면요철)이나 초기 부착입자수의 존재 등으로 현실성이 없는 가혹한 조건이 될 경우가 있다. ③ 현실적으로 문제가 적은 값을 선택하면 0.7 정도가 타당하다.

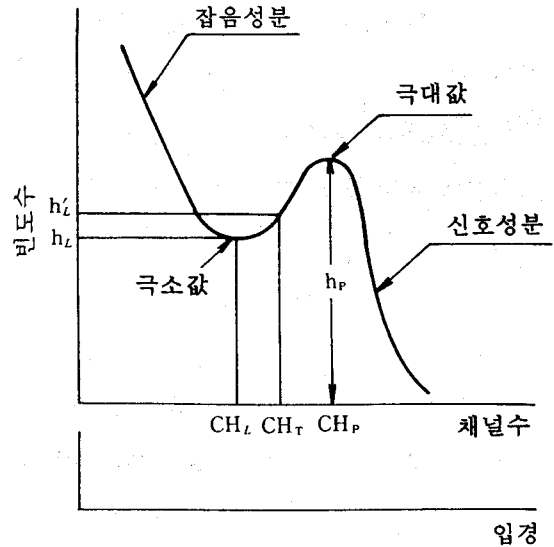


그림 13. 입경-히스토그램(PHA) 특성곡선

4.3 반복적 계수성능(반복성)

일반 측정기에서는 반복성 시험과 재현성 시험(일종의 기기 오차)에 대하여 규정되어 있는 것이 보통이다. 그런데 광산란, 회절 등을 이용하는 표면 부착입자 계수기에서는 광학계 구성의 차이로 인해 특성, 성능이 어느 정도 변하는 것은 피할 수 없는 문제

이며, 재현성에 대해 규정하는 것은 한 단계에서는 시기상조라고 생각된다.

표면 부착입자 계수기의 반복성의 정확도는 PSL 입자의 입경과 부착입자수의 밀도에 영향을 받는다. 이로 인해 반복성의 정확도 시험은 가장 엄격한 조건인 펄스 실용 가측입경 또는 히스토그램 실용 가측입경에 의하여 행하도록 한다.

한편, 반복성의 정확도는 통계적 관점에서 보면 부착입자수 밀도가 작을수록 떨어지는 것이 보통이다. 그러므로 부착입자수 밀도를 특정의 작은 값으로 규정하든가, 검출한계에 가까운 미소입경 근방에서는 웨이퍼 표면흡집(표면요철), 초기 부착미립자의 존재가 무시될 수 있고, 부착입자수 밀도는 무제한으로 작게 선정하지 않는 것이 보통이다. 이렇기 때문에 현재 기술수준으로 판단하면 실용적으로 타당한 값은 0.1-10개/cm²이다. 또 시험조건으로 웨이퍼는 카세트로부터 반출 및 반입을 포함하여 시험하도록 한다. 이것은 장치내에서의 웨이퍼 반송시에 표면이 오염되어 경우가 많기 때문이다.

펄스 실용 가측입경 또는 히스토그램 실용 가측입경에 상당하는 PSL 입자를 웨이퍼 위에 부착시켜 시험하였을때 반복성(표준편차/평균값)은 사양에 표시되어 있는 값 이하이어야 한다.

반복성 시험은 펄스 실용 가측입경(D_p) 또는 히스토그램 실용 가측입경(D_h)에 상당하는 PSL 입자에 대하여 부착입자농도 0.1-10개/cm²의 조건에서 카세트에서의 반출 및 반입을 포함하여 30회의 반복시험을 행하여 계수값의 평균값 및 표준편차를 구하여 반복성(표준편차/평균값)을 계산한다.

5. 사용 분야

5.1 LSI 라인에서의 일상적 검사

LSI 제조라인에서는 본 장치를 사용하여 각 프로세스 장치의 발진상황(주로 반송 주체의 발진)을 정기적으로 측정하여 이상 발생을 감시함으로써 수율 저하를 방지하고 있다. 제조장치의 발진검사로는 부착미립자수(초기값)를 측정한 모니터 웨이퍼를 각 장치에 투입하여 내부를 반송시켜 거기서의 증가량 다시말하면 PWP(particles per wafer per pass)를 구하는 방법이 널리 사용되고 있다. 이 값이 관리한계 이내인 경우만 작업을 하고, 넘는 경우에는 클리닝 등의 대책을 시행함으로써 대량의 불량발생을 미연에 방지하고 있다.

이상 발생을 정량적으로 파악하여 클리닝 빈도를 정하거나 프로세스를 변경하는 등의 적절한 대책을 세우는데도 표면검사장치의

역할은 중요하다.

5.2 기타 활용법

본 장치는 일상적 검사 이외에 장치나 프로세스를 개량, 개발할 때 발전평가 수단으로 활용된다. 예를 들면, 종래 벨트 반송이나 진공 척(chuck) 방식의 평가와 개량, 새로운 세정기술의 개발 등이다. 또, 실내환경, 핸들링, 치공구, 클린룸 용품(장갑, 와이퍼, 방진의 등)의 발전평가에도 공기중의 입자계수기를 보완하는 방식으로 사용되고 있다. 더우기 입자계수기를 사용하기 곤란한 진공기내부나 고온로내에서의 미립자 거동을 측정하고, 표면부착 메카니즘을 규명하는데도 사용하고 있다.

현재 클린룸의 청정도 평가에는 주로 레이저 입자 계수기나 응축핵 계수기가 사용되어 공간상의 미립자를 측정하고 있는데, 최근 일본 등에서는 반도체 수율과 직접 관련지을 수 있는 웨이퍼를 이용하여 청정도를 평가하는 방법이 시도되고 있다.^{9) 10)}

이와 같이 표면 부착입자 계수기는 웨이퍼 표면오염 분석, 반도체 장비내의 오염제어, 웨이퍼 세정효과 분석, 초청정 클린룸의 성능평가 등에 관한 연구에 활용된다.

6. 문제점 및 사용시 유의사항

본 장치에 채용되고 있는 광산란방식은

원리적으로 입경에 대한 직접측정이 아니고, 산란광의 강도로부터 “표준입자 등가입경”(실제의 입경이 아님)을 구하고 있다. 따라서, 입자의 재질이나 형상의 영향을 많이 받는 점은 공기중 입자계수기 등 다른 광산란식 계기의 경우와 같다. 산란광 수광 강도는 PSL 입자경에 대하여 일치하는 상관성은 있지만 어떤 특정의 입경영역에서 응답성의 이상이 있을 수 있다. 이것의 근본적 해결은 어렵지만, 최근 2종류의 편광을 사용하여 응답성을 개선하는 시도도 행해지고 있다(SAS 3600 경우). 입경분류도 극히 부정확한 점이 적지 않다.

한편, 입자의 재질에 따른 표면 부착입자 계수기의 특성에 관한 연구가 현재 미국 미네소타 대학교 Particle Technology Laboratory와 한국과학기술연구원에서 수행되고 있다. 이러한 연구결과는 실제 반도체 회사에서 웨이퍼 검사용으로 많이 사용하는 표면 부착입자 계수기의 측정결과를 해석하는데 도움을 줄 수 있다. 즉, 반도체 공정 중에서는 PSL 입자가 발생하는 것이 아니라 SiO_2 , Si_3N_4 , Zn, Si, Al_2O_3 , Al과 같은 입자들이 발생되는데 표면 부착입자 계수기는 PSL 입자로 교정되어 있기 때문에 측정되는 입자크기는 PSL 입자에 상당하는 입자크기를 나타낼 뿐이다. 따라서 반도체 웨이퍼상의 오염원 분석 및 제어를 확실하게 하기 위해서는 이러한 문제점을 감안하여 표면

부착입자 계수기가 제공하는 측정 데이터를 정확히 해석할 필요가 있는데, 여러가지 입자크기에 대한 반응특성 연구는 표준입자와 실제입자의 상관성을 검토하는데 크게 기여할 수 있는 실험결과를 제공한다.

웨이퍼상의 이물질에 의한 산란강도는 표면막의 반사율에 의존하므로 표면막의 종류, 막두께, 표면의 조도 등에 의해 입경에 오차가 생긴다. 특히, 폴리 실리콘막이나 알루미늄막의 표면조도는 이물질로 계수되는 것이 많다. 그러므로 순수한 경면 웨이퍼가 아니고 표면막이 입혀진 웨이퍼상의 미립자 측정에는 검출감도 보정이 필요하다. 최신 기종에는 감도보정 기능이 부가되어 있는 것도 있다.

프로세스 장치에서의 웨이퍼로의 미립자 부착은 막성장, 에칭 등의 패턴 형성시에 생기는 경우가 많고, 패턴 유무에 따라 부착상황이 다른 경우도 있으므로 경면 웨이퍼를 사용한 평가만으로는 충분하다고 말할 수 없다.

7. 조면(patterned) 웨이퍼상의 미립자 계측

조면 웨이퍼상의 이물질을 검출하기 위해서는 패턴 모서리(edge)로부터의 산란광을 이물질로부터의 산란광과 분별이 가능하도록 장치를 개량하지 않으면 안된다. 실제로

는 레이저의 직접 편광성분의 해소현상을 이용한 조면 웨이퍼 표면검사 장치가 시판되고 있다. 더우기 반복된 패턴 모서리에 의한 주기신호 펄스를 제거하는 기능을 부가한 것이나 편광판을 사용하지 않고 레이저 입사각 및 웨이퍼 회전각의 조정에 의해 이물질과 배경으로부터의 신호비를 높이고 있는 기종도 있다. 검출감도는 패턴에 따라 크게 다르므로 일괄적으로 말할 수 없는데, 예를 들면 bare 실리콘 상에는 $0.3-0.5\mu\text{m}$, 제1산화막 상에서 $0.8-1.0\mu\text{m}$, 제1알루미늄층 상에서 $2-3\mu\text{m}$ 정도로 프로세스가 진행됨에 따라 감도가 떨어진다.

광산란 이외의 방식을 사용하는 것으로는 컴퓨터에 의한 die-to-die 패턴 이미지 비교를 행하는 자동 패턴 결함검사장치가 있는데 웨이퍼 전면을 검사하는데 수십 시간이 걸리므로 오히려 발체 외관검사용이다. 이물미립자는 웨이퍼상에서 편재하고 있는 경우가 많으므로 웨이퍼의 전면검사가 불가피하다. 최근에는 홀로그래피를 이용하여 3차원적으로 패턴결함을 찾아내는 장치도 등장하고 있는데 홀로그래피 성질상 반복한 패턴 부분밖에 검사할 수 없고 검사시간도 광산란식에 비해서 매우 오래 걸린다.

조면 웨이퍼상의 이물미립자를 검출할 수 있는 대표적인 장치를 표 4에 나타낸다. 이들 장치의 검출감도와 검사속도는 일반적으

로 양립하지 않으므로, 각 장치의 특징을 잘 검토하여 적절하게 사용하여야 한다.

조면 웨이퍼 검사장치를 사용하는 것에 의해 프로세스 진행과정에서의 미립자 관리가 가능하게 된다. 반송 및 반응에 기인된 것을 포함하여 각 프로세스에서의 발진을 전체적으로 평가할 수 있다. 또, 도층 공정

에서 제품 웨이퍼에 부착한 이물질이 다음 공정에 어떻게 영향을 미치어 최종 공정에서 어느 정도 LSI의 동작불량으로 연결되는가를 정량적으로 파악할 수 있게 된다. 제품 웨이퍼를 통하여 각 공정의 이물부착수의 추이를 관리하여 문제점을 없애는 것도 가능하게 된다.

표 4. 대표적인 조면 웨이퍼 표면 검사 장치

제작회사	모 델	방 식	검사속도
Tencor	Surfscan 7000	광산란	수분
Estek	WIS-98000	광산란	
日立 Deco	HILIS-200	광산란	
	IS-1010, 2000	광산란	
INSPEX	EX 3000	광산란	
INSYSTEMS	8600	홀로그래피	수십분
KLA	2020, 2030	패턴비교	수십시간

양산라인에서는 경면 웨이퍼 검사장치로 장치발진을 점검하고 조면 웨이퍼 검사장치로 전체 프로세스로서의 발진을 검사하도록 하여 양자를 상호보완적으로 사용하여 수율 향상을 도모하고 있다. 연구개발부분에서 양산공장에 이르는 전 웨이퍼 라인(GaAs 라인을 포함)에 걸치는 미립자 관리체제를 수립하여 데이터의 수집, 해석, feed back을 행하여 성과를 올리는 경우도 있다. 또, 이들 데이터는 제조장치 선정 및 개량시에 중

요한 참고자료가 된다.

8. 향후 전망 및 과제

초 LSI의 미세화, 집적화와 함께 문제로 되는 미립자의 직경도 점점 작아지고 있다. 웨이퍼 표면검사장치는 이것이 부합한 검출 감도의 향상이 급선무이다. 그런데 광산란 방식은 웨이퍼 표면의 요철, 표면잔류오염, 자연산화막 등의 영향도 받거니와 감도도

한계에 가까워지고 있으므로 새로운 방법에 의한 도약이 필요하다. 그리고 계측의 표준화도 앞으로의 과제이다.

한편 종래의 마이크로 해석 수법은 웨이퍼상의 서브 마이크론 수준의 미립자까지를 분석하는 관점에서 보면 사용하기에 매우 불편하다. 따라서 앞으로 패턴된 웨이퍼 이물검사장치를 조합한 “웨이퍼 부착미립자 분석전용장치”의 개발이 필요하다.

또한 종래에는 실리콘 웨이퍼에 부착한 입자의 평가라고 하면 거의 입경별 입자수 측정이 전부이었지만 오염원을 찾아서 효율적인 오염방지 대책을 강구하기 위해서는 입자의 조성 및 상태분석이 필요불가결하게 되었다. 이 분석을 신속하고도 효율 좋게 행하기 위해서 웨이퍼 표면 이물검사장치, SEM(Scanning Electron Microscopy)/EDX(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)장치, 형광현미경/현미형광분광 분석장치를 조합한 웨이퍼 부착입자 분석 시스템이 일본에서 개발되어 초 LSI 양산 라인에 도입되어 수율향상에 크게 기여하고 있다.¹¹⁾

클린룸내는 제조장치나 인간 등의 발진원이 있으며 제품의 수율을 향상시키기 위하여 그 발진을 억제함과 동시에 청정도도 항상 감시하여야 한다. 현재 24시간 연속으로 청정도 측정을 행하는 시스템(다점 모니터링 시스템)이 몇 개의 소자 제작업체에서

채용되고 있는데 청정도 데이터에 한정되지 않고 클린룸내의 온습도나 N₂ 등의 고압가스 중의 입자 등과 함께 웨이퍼 표면의 입자계수 데이터도 하나의 시스템으로 감시하여 종합적인 오염제어가 요구되는 방향으로 가고 있다. 이것은 웨이퍼를 취급하는 환경이 어떤 상태인가를 아는 것에 따라 결과로서 웨이퍼가 오염되는 원인 추구나 개선의 중요한 정보가 되기 때문이다. IC의 집적도가 높아지는 가운데 표면 부착입자 계수기의 성능향상을 도모하는 것은 당연한 것이지만 보다 미세한 먼지가 보다 적은 양에서도 존재하여 IC의 수율에 영향을 미친다고 하면 얻은 데이터로부터 보다 좋은 환경으로 개선될 수 있는 감시 시스템의 구축이 필요할 것이다.

— 참고 문헌 —

1. Kazuhide Kiuchi et al., “Report of the Surface Contamination Control Technology Survey Committee”, 제10회 공기청정과 오염제어 연구대회 예고집, 일본 공기청정협회, pp. 331-339, 1991.
2. 이춘식 등, “클린룸 및 공장환기에 관한 연구”, 과학기술처 KIST N102-2370-2, pp. 127-139, 1985.
3. Masamichi Kobayashi, “웨이퍼 먼지 검

- 출장치”, Journal of Japan Air Cleaning Association, Vol. 28, No. 1, pp. 23-28, 1990.
4. Yasuo Kousaka, “JIS Surface Particle Counters(Wafer Surface)”, Journal of Japan Air Cleaning Association, Vol. 28 No. 1, pp. 1-15, 1990.
 5. Hideo Takano, “WIS-850”, Journal of Japan Air Cleaning Association, Vol. 28 No. 1, pp. 29-32, 1990.
 6. Teruhisa Nitta, Fumio Yoshida, “Counter for Deposited Particles on Surfaces by PMS”, Journal of Japan Air Cleaning Association, Vol. 28, No. 1, pp. 43-48, 1990.
 7. 이춘식 등, “Class 1 초청정 클린룸 개발에 관한 연구”, 과학기술처, KIST UCN 772.-4297-2, pp. 84-121, 1991.
 8. J. Berger and B. J. Tullis, “Calibration of Surface-Particle Detectors”, Microcontamination, Vol. 5, No. 7, pp. 24-29, 1987.
 9. Toshitami Ro et al., “Evaluation of Cleanliness by Particles on Wafer Surface”, 제10회 공기청정과 오염제어 연구대회 예고집, 일본공기청정협회, pp. 35-38, 1991.
 10. Yoshinobu Suzuki et al., “Evaluation Method of Particle Deposition on Wafer Surface”, 제10회 공기청정과 오염제어 연구대회 예고집, 일본공기청정협회, pp. 39-42, 1991.
 11. Takesi Hattori, “반도체 웨이퍼에 부착한 입자의 분석기술”, Clean Technology, pp. 18-22, 1991. 8.

뉴스

■ 대만 4MD램 시제품 생산돌입

미국 텍사스 인스트루먼트(TI)와 대만 컴퓨터 메이커 에이서가 합작으로 대만에 설립한 TI/에이서가 최근 4MD램 시제품 생산을 시작했다. 내년 초라도 본격 생산을 시작, 16M 생산도 내년 중반기엔 시작할 계획이다. TI로서는 일본 미우라 공장과 나란히 아시아의 메모리 생산 거점이 된다.

TI/에이서의 메모리 전처리 공장은 대북 근교의 新竹 공업단지에 있으며, 클래스 1의 클린 룸을 갖고 있다. 공장·생산 설비 투자액은 2억5천만 달러. 회로 최소 선폭

0.8미크론의 CMOS프로세스를 채용했으며, 앞으로 16M 생산에 대응 0.5미크론 프로세스의 제조 라인도 도입키로 했다.

4M은 월산 100만개 규모로 개시, 일단 TI가 전량 인수한 후 50% 정도를 에이서가 자사 컴퓨터 생산용으로, 나머지는 TI가 주로 동남 아시아 시장에 판매한다.

T/I에이서의 출자 비율은 에이서 58%, TI 26%, 중국개발공사 16% 종업원은 400명으로, 대부분 미국·일본·이탈리아의 TI공장에서 연수를 받았다.