

◆특집◆ 초정밀 생산공정에서의 청정환경제어기술

UV를 이용한 Giga급 반도체 제조공정상의 오염제어기술

유경훈\*, 김용진\*\*

Contamination Control by UV in Giga-Grade Semiconductor Processes

Kyung-Hoon Yoo\*, Yong-Jin Kim\*\*

**Key Words** : Contamination control (오염제어), UV (자외선), Photoelectron (광전자), Photocatalyst (광촉매), Semiconductor manufacturing process (반도체 제조공정)

1. 서론

최근의 반도체, 액정, 정밀기계 등과 같은 첨단 산업의 발달에 따라 초정밀화, 초미세화, 고품질화 및 고신뢰성에 대한 요구가 해를 거듭함과 동시에 엄격해지고 있고, 특히, 우리나라의 수출주력품목인 메모리 반도체는 소자의 고집적도에 따라 회로 선폭의 초미세화의 일로를 달리고 있다. 현재, 256M DRAM이 양산되고 있으며 2~3년후에는 GIGA급 반도체인 1G DRAM의 양산체제가 예상되고 2010년에는 16G DRAM까지 발전될 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 제조과정에서 요구되는 제어대상 미립자에 대한 Table 1의 변화추이를 살펴보면, 향후 4 GIGA DRAM의 예상 회로선폭(feature size) 0.13 $\mu$ m를 위해서는 선폭의 1/10인 0.013 $\mu$ m (13nm)에 이르는 나노미터(1nm=10<sup>-9</sup>m) 수준의 초미세 입자들을 제어해야만 하는 단계에 이르게 될 것이다. 즉, 반도체 제조는 그 집적도가 높아짐에 따라 회로선폭이 좁아져 생산공정라인에서 제어대상 오염물질의 크기도 점점 미세화되고 있다.

반도체 제조공정에 있어 웨이퍼(wafer)에 어떠한 형태이든 간에 오염원이 부착된다면 여러 형태

로 디바이스 불량 발생하여 제품의 수율과 신뢰성을 저하시킨다. 이러한 상황에 대처하기 위해 효과적인 초정정공간의 창출기술이 절실하게 되었다.

Table 1 Roadmap for cleanroom technology

년도	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
최소회로 선폭( $\mu$ m)	0.35	0.25	0.2~0.18		0.13	0.10										
DRAM 추이	16M	64M	256M~1G		4G	16G										
웨이퍼 크기	직경 200mm				직경 300mm				직경 400mm							
제어대상 입자크기( $\mu$ m)	0.1	0.07	0.05	0.02	0.01											
미세진동 변이( $\mu$ m)	0.45	0.35	0.25	0.15												
웨이퍼 금속오염	1 $\times$ 10 <sup>10</sup> 원자/cm <sup>2</sup>		1 $\times$ 10 <sup>9</sup> 원자/cm <sup>2</sup>													
초순수내 입자농도	17#/ml (0.1 $\mu$ m)	17#/ml (0.05 $\mu$ m)	17#/ml (0.02 $\mu$ m)													
클린룸 방식	- Open Cassette 방식 - Process Area 전체 Clean화				- Mini-Environment 방식 / Ultra Modular 방식 (기능분산형), Clean Tube System - Wafer 주변 국소 Clean화 - Particle 수준의 제거											
클린룸 연직	1		2~2.5배				-									
투사공액	1		2배				-									

\* 한국생산기술연구원 에어로졸필터연구소

Tel. 041-5898-354, Fax. 041-5898-330

Email khyoo@kitech.re.kr

초정정 클린룸기술, 반도체 제조공정상의 웨이퍼 오염제어분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

\*\* 한국기계연구원 열유체시스템 연구부

반도체 제조공정에 있어 웨이퍼(wafer)에 어떠한 형태이든 간에 오염원이 부착된다면 여러 형태로 디바이스 불량률이 발생하여 제품의 수율과 신뢰성을 저하시킨다. 이러한 상황에 대처하기 위해 효과적인 초청정공간의 창출기술이 절실하게 되었다. 클린룸 공간의 청정화에 있어 지금까지는 주로 클린룸 전체의 대공간을 대상으로 하여 여재필터를 사용하는 방법에 의해 행해졌지만, 최근에 Boron 등과 같은 가스상 오염물질의 발생원이 되는 것과 입자가 극미세해지면 포집이 곤란하게 되는 것 등의 지적이 있어, 여재필터를 사용하는 방법은 반드시 이상적인 형태로 청정공간을 만들지는 않는다고 판단되고 있다.

한편, 에너지 절약 및 비용 절감이 중요한 과제로 지적되고 있어 차세대 반도체공장은 생산비용을 절감하지 않으면 현실적인 GIGA급 DRAM의 양산이 거의 불가능하다고 말할 수 있다. 특히, 청정화에 대한 비용은 향후 이러한 초집적회로의 양산공장에서는 대폭적으로 증가하기 때문에 더욱더 중요하다. 이와 같은 새로운 국면에 대해 향후의 제조프로세서에서는 국소청정화 (미니환경, Mini-environment)가 효율적인 것으로 제시되고 있다. 이는 제품을 취급하는 소공간(국소공간)만을 초청정화한다는 것으로 실용상 효과적이라고 주목받고 있다.

따라서, 반도체산업에서 해마다 요구되는 높은 초청정도, 또 제거대상 미립자의 초미세화에 대해 자원·에너지 절약 및 저 방출화의 관점에서 바람직한 건식세정법중의 하나인 자외선(UV)을 이용한 광전자(photoelectron) 및 광촉매(photocatalyst) 방법에 의한 초청정화 기술이 주목받고 있다. 본 고에서는 이 UV 광전자/광촉매법을 이용한 초청정화기술의 원리, 장치의 유형을 살펴보고 차세대 반도체 산업으로의 적용가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 오염물과 영향

향후 반도체의 집적도가 진행되는 것에 따라서 나노수준의 초미세 입자상물질에 의한 영향이 높아진다는 것은 명약관화하다. 이 때문에 제조 프로세서에서의 오염물질의 제어는 엄격하고 다양화하는 방향으로 진행되고 있다. 한편, GIGA급 반도체 웨이퍼의 기관의 표면이나 계면에서의 초미립자, 클러스터 등의 나노입자들이 제품의 표면에 부착되면

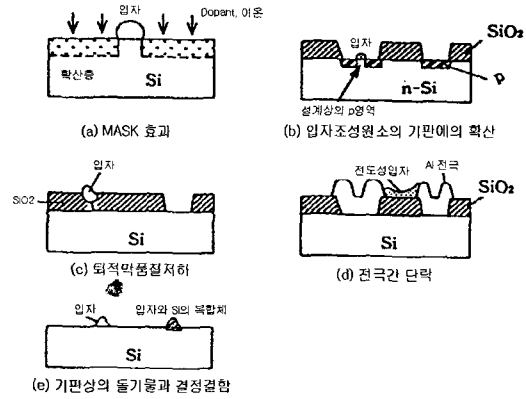


Fig. 1 Pattern Defects by particles in semiconductor process

Fig. 1과 같이 제품의 품질이나 신뢰성에 악영향을 미칠 것으로 추정된다.

반도체 제조과정에서는 미세입자 이외에도 여러가지의 화학적인 가스상 오염물질이 존재하는데, 이러한 가스상 오염물질은 입자제거용 HEPA 필터 등에 의하여 제거할 수 없는 물질로서, 분자, 원자 및 이온상과 같은 상태로 존재하여 반도체 소자에 영향을 준다. 이러한 가스상 화학오염은 Table 2에 나타낸 바와 같이 외기로부터의 NO<sub>x</sub> 및 SO<sub>x</sub> 등의 공해물질 및 대기 본래 상태에서 존재하는 것과 반도체 제조공정상의 에칭 및 세정 공정에서 사용되는 산, 염기성 무기화물 또는 드라이 에칭 공정에서의 플라즈마화에 의하여 변화된 수소, 염소계 이온, 그리고 인간 활동에서 발생하는 암모니아와 제조라인의 자재로부터 휘발되는 물질 등이 있다. 현재 입자상 오염물질의 경우 HEPA 필터의 제어 입경은 0.05 μm(50nm) 정도인데 반하여, 이러한 화학오염 물질은 50 nm 이하에서부터 원자크기인 0.1 nm 정도이다. 그리고 입자상 오염과 비교 할 때 이들의 특징은 물리적인 흡착, 탈착과 계면 현상 등의 화학반응적인 특성을 가지고 있다. 그리고 클린룸에서의 오염물의 농도는 단위 체적당 무게로 표시하는데, 일반적으로 초청정 클린룸의 경우 입자농도가 pg/l의 범위에 반하여 가스농도는 ng/l의 차원으로 매우 높게 존재한다. 점차적인 고집적화에 따라 클린룸에서의 미세입자상 오염에 대하여 뿐만아니라, 가스상 오염이 반도체 공정에 미치는 유해성에 대한 관심이 한층 고조되고 있다.

Table 2 Chemical contaminants and sources in semiconductor process

발생원	주된 화학오염물질
대기오염	공장배가스, 자동차배가스, 해염입자, 농업 비료, 스크리버배기가스 SOx, NOx, 탄화수소, NaCl, 탄화수소, NH <sub>3</sub> , 산, 알칼리
클린룸 구성재료	콘크리트, 도료, 접착제, 기밀제, 난연제 등 탄화수소, 인산에스테르, 시로키산
작업자	땀, 호흡 탄화수소, NH <sub>3</sub>
제조 Process	세정장치 노광장치 CMP장치 산, 알칼리 HMDS, 유기화합물 NH <sub>3</sub>

예를 들면, 무기성 오염인 암모니아는 화학증폭형 레지스트의 패턴결합의 원인이 되며, 이산화황은 실리콘 웨이트의 결함을 일으킨다고 알려져 있다. 그리고 유기계의 오염물도 여러 수십 종이 검출되는데 DOP 등과 같은 대부분의 유기성 물질들도 실리콘 웨이퍼(wafer)에 흡착하여 소자를 노화시키는 원인이 된다고 알려져 있다. Table 3에 클린룸에서의 가스상 오염물질과 그들의 영향에 대하여 요약하였다. 이러한 가스상 오염물질은 종류에 따라 불량률의 영향도가 달라지게 되므로, 제거대상 가스 오염물의 허용농도는 각 적용에 따라 다를 수 있는데 ppt(part per trillion) 급의 농도 제어가 필요하다.

### 3. 기술의 원리

#### 3.1 UV 광전자법

##### 3.1.1 개요

광전자에 의한 공간중의 미립자의 제거 원리를 Fig. 2에 나타내었다. 미립자의 하전과 포집은 광전자방출부, UV 램프, 집진전극(주로 양전극)로 구성되는 장치에서 그림과 같이 실시된다. 광전자 방출부에 광전압보다 높은 에너지의 자외선을 전기장하에 조사하면 광전효과에 의해 광전자가 광전자방출부부터 방출된다. 비교적 약한 전기장을 광전자방출부와 집진전극간에 형성하면 생성된 광전자/음이온들은 양전극으로 이동하다가 공기 중의 미립자에 부착하여 미립자를 음으로 하전시키고 하전미립자는 양전극상에 부착한다. 청정대상공간중의 미

Table 3 Chemical contaminants and effect in semiconductor process

가스상 오염물	장 해
산성가스오염물질 염화수소, 황화수소, SOx, NOx	- IC의 금속부식 - 암모니아와 반응하여 표면오염물 생성
알칼리성가스오염물질 암모니아, 아연	- 노광 프로세스에서 렌즈 또는 거울오염 - 화학증폭형 레지스트의 변질
Dopants 보론, 인	- IC 디바이스의 전기특성 이상
유기성가스상오염물질 시로키산, 후타리토류, BHT, HMDS	- 노광프로세스의 렌즈 또는 거울 오염 - 게이트 산화막의 절연불량 - 기판표면의 박막밀착불량

립자는 순차적으로 하전되어 포집되고, 공간은 청정화가 진행된다. 한편, 그림에 도시된 바와 같이 가스상 오염물들도 가스-입자변환과정 (Gas-to-particle conversion)을 통해 초미세입자로 전환되어 하전된 후 포집된다.

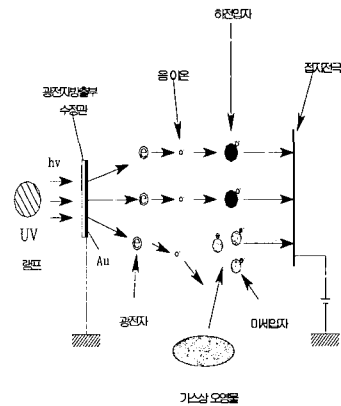
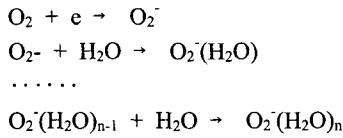


Fig. 2 Model for particle and gaseous contaminant removing by UV/photoelectron and photocatalyst method

### 3.1.2 음이온의 생성

일반적으로 전자는 대단히 활성적이기 때문에 매체가스중의 전자친화력이 높은 산소분자와 결합하고 또 물분자와의 클러스터링(clustering)에 의해,  $O_2(H_2O)_n$ 을 주성분으로 하는 음이온 클러스터(cluster)를 만든다고 알려져 있다.



실내공기를 사용할 경우 공기중의 산소나 수분에 의해 전자는 용이하게 음이온 클러스터로 된다. 따라서 이러한 장치내의 광전자방출부부터 방출된 광전자는 주로 음이온 클러스터의 생성에 관여하고, 미립자의 하전은 광전자에 의해 생성된 음이온에 의해 주로 행해진다.

### 3.1.3 미립자의 하전

이러한 장치에서의 미립자의 하전메카니즘은 제어대상 미립자의 입경과 하전부의 전기장강도에 의해 결정될 수 있다. 대상 미립자는 직경이 보통  $0.1\mu m$  이하이고, 또한 인가 전기장강도는 비교적 약한  $10kV/m$  정도이기 때문에 하전메카니즘으로는 전기장하전(field charging)보다도 확산하전(diffusion charging)이 지배적이 된다. 이 확산하전은 이온이 전기적으로 중성인 가스분자의 확산현상과 동일한 기작에 의해 미립자 근방까지 수송되고, 이온의 정전기 전위에 의해 미립자 표면에 침착하는 현상이다. 이 때문에 확산하전 기작에 의해 미립자가 받는 하전량은 전기장의 영향을 받지 않고 이온농도  $N$ , 하전시간  $t$ , 이온과 미립자의 결합계수  $\beta$ 에 의해 좌우된다. 본 장치와 같이 단극성 이온의 경우, 확산하전에 의한 미립자하전량의 시간에 따른 변화는 단분산의 입경분포 및 0의 초기 전하량을 가진 에어로졸에 대해 이온농도가 미립자농도에 비해 충분히 높다고 가정하면 아래 식으로 표현될 수 있다.

$$n_0/n_t = \exp(-\beta_0 N t) \quad (1)$$

여기서,  $n_0$ 는 하전되지 않은 미립자의 수농도,  $n_t$ 는 전체 미립자의 수농도,  $\beta_0$ 는 하전되지 않은 미립자와 음이온의 결합 계수,  $N$ 은 음이온농도,  $t$ 는 하전 시간이다. 식 (1)에 의해 미립자의 하전 상태는 음

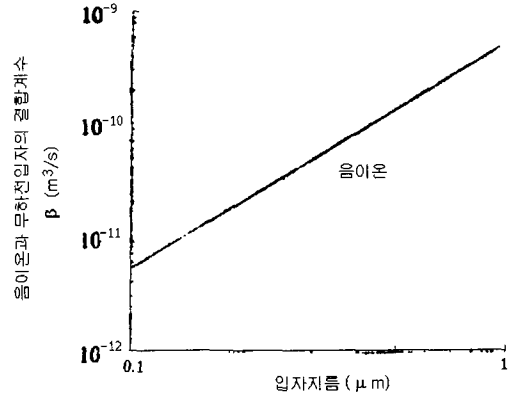


Fig. 3 Combination coefficient for negative ions and neutral particles

이온과 미립자간의 결합계수  $\beta_0$ , 음이온 농도  $N$ , 하전 시간  $t$ 에 좌우되는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 현재 가장 정확한 하전모델로 알려져 있는 Fuchs(1963)의 확산하전 이론식을 사용하여 구한 음이온과 중성 미립자간의 결합 계수  $\beta_0$ 의 값을 여러가지의 입자지름에 대해서 나타내었다.  $\beta_0$ 의 값은 입자지름에 대해 비례적으로 증가하고 큰 미립자일수록 하전되기 쉽다는 것을 알 수 있다. 한편, 장치내의 이온농도  $N$ 은 이온전류치  $I$ 에 의해 아래와 같이 표시될 수 있다.

$$N = \frac{I}{K_i q_e S E} \quad (2)$$

여기서  $S$ 는 이온을 포집하는 양전극의 면적,  $E$ 는 전기장 강도,  $q_e$ 는 전자의 전하량( $1.6 \times 10^{-19}C$ ),  $K_i$ 는 이온의 전기이동율이다.

### 3.1.4 하전미립자의 정전포집

전기장내에서의 하전미립자의 이동속도는 다음의 식으로 표현된다.

$$V_e = \frac{p q_e E C_s}{3\pi \mu d_p} \quad (3)$$

여기서  $p$ 는 하전미립자의 기본전하수,  $q_e$ 는 전자전하량,  $E$ 는 전기장강도,  $C_s$ 는 미끄럼보정계수(slip correction factor),  $\mu$ 는 유체의 점성계수,  $d_p$ 는 입경이다. 식 (3)으로부터 구한 하전입자의 이동속도의 한

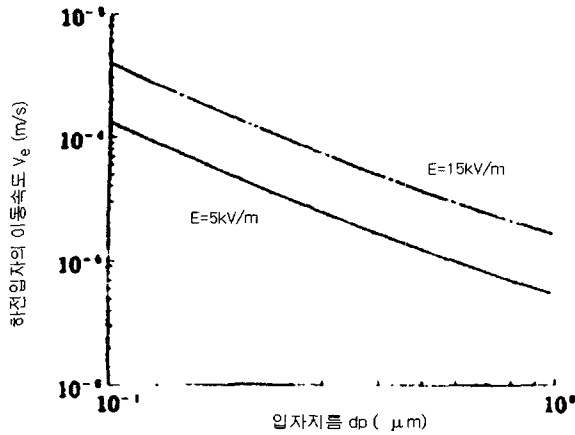


Fig. 4 Migration velocity of charged particle with one elementary charge

예를 Fig. 4에 도시하였는데, 그림에서 0.1 $\mu$ m의 미립자는 E=5kV/m에서 1.33 $\times 10^{-4}$ m/s, 15kV/m에서 4.0 $\times 10^{-4}$ m/s의 이동속도를 가진다는 것을 알 수 있다. 이 이동속도와 하전미립자의 체류시간으로부터 하전미립자의 전기장방향으로의 이동거리와 전극간 거리와의 비교로부터 하전미립자가 포집부에서 포집되는가를 평가할 수 있다.

**3.2 UV 광촉매법**

이산화티타늄은 그 구조에 따라 아나타제(anatase)형과 루타일(rutile)형으로 크게 나뉘어지며 일반적으로 아나타제형이 광촉매로서의 활성이 더 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 이산화티타늄과 UV와의 반응에 의한 휘발성유기화합물(VOCs)의 제거원리를 보면 다음과 같다. 먼저, 반도체인 이산화티타늄은 전자가 채워져있는 가전자대(valence band)와 비어있는 전도대(conduction band)의 특징을 갖는 전자적인 구조를 갖는다. Fig. 5에서 보이는 바와 같이 두 밴드 사이의 밴드갭(bandgap)에너지와 같거나 또는 그 이상의 에너지를 갖는 빛을 조사하면 가전자대에서 전도대로 전자가 여기되고 가전자대에는 정공(h<sup>+</sup>)가 남게 된다. 이 때 가전자대에 생긴 정공은 유기물 등을 산화시키는 산화력을 갖게 되고, 전도대로 옮겨간 전자(e<sup>-</sup>)는 유기물 등을 환원시키는 환원력을 갖게 된다. 그러나 정공(h<sup>+</sup>)와 여

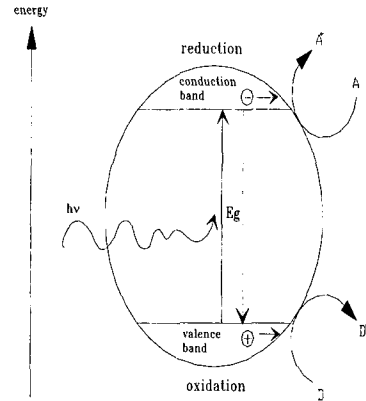
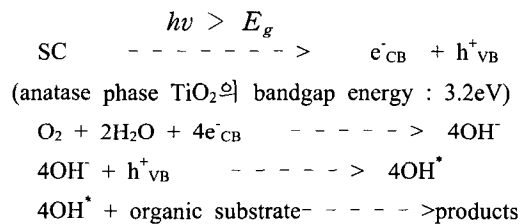


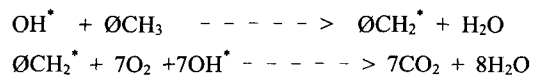
Fig. 5 Interaction between hole and electron on TiO<sub>2</sub> surface with UV irradiation

기전자(e<sup>-</sup>)는 유기화합물과 산화/환원반응을 하기 전에 재결합하여 소멸되기도 한다. 이 때 정공은 유기물과 반응을, 전도대로 올라간 전자는 산소와 반응하여 산화력이 높은 과산화소라디칼(peroxy radical)을 생성하여 유기물과의 반응에 기여한다. 대부분의 유기물의 광분해반응에 있어서 유기물이 직접 정공과 반응하는 것뿐만 아니라 정공의 산화반응에 의해서 생성된 표면에 붙어있는 OH 라디칼에 의하여 유기물들이 산화되는 것도 학술적으로 보고되고 있다.

이러한 유기화합물의 광촉매 산화반응의 양론적인 식은 다음과 같다.



위에서 언급되어진 바와 같이 톨루엔(toluene, C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>)의 UV 광촉매에 의해 제거되는 메커니즘을 Fig. 6와 함께 살펴보면 다음과 같다.



그리고 황산화물 SO<sub>2</sub> 및 질소산화물 NO<sub>x</sub> 오염 가스 분해 및 입자생성 반응도 플라즈마 반응에서와 같이 아래의 3가지 반응에 의하여 액체상의 미스트 또는 고체상의 입자화 반응을 통하여 분해된다.

- (1) N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O + e<sup>-</sup> → OH, O, HO<sub>2</sub> (활성화 래디칼 생성)
- (2) SO<sub>2</sub> + OH, O, H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (황산가스화 반응)  
NO<sub>x</sub> + OH, O, H<sub>2</sub>O → NHO<sub>3</sub> (질산가스화 반응)
- (3) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + NHO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O → (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (황산암모늄 미스트화 반응)

그리고 이상의 래디칼 반응에서 TiO<sub>2</sub> 가 광화학반응을 일으키기 위하여 필요한 에너지를 산정해보면,

$$E_g = \lambda \nu = \frac{hc}{\lambda}$$

여기서, 1 eV = 8×10<sup>5</sup>/m hc 이고, TiO<sub>2</sub>의 경우 Energy gap 이 3.2eV이므로 흡수파장(absorption wave length)은

$$3.2 \times 8 \times 10^5 / m hc = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{1}{3.2 \times 8 \times 10^5} m \approx 390 \text{ nm}$$

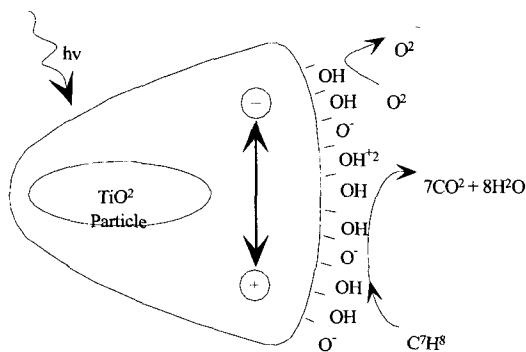


Fig. 6 Removal mechanism for toluene with UV irradiation

즉, 파장이 390 nm인 UV 영역에서 반도체인 TiO<sub>2</sub>는 여기되기 시작하고 더 짧은 파장인 254 nm인 UV 영역에서 광촉매 반응을 일으키는 것으로 알려져 있다.

#### 4. 장치

##### 4.1 유형 및 특성

일반적으로 UV 광전자 및 광촉매법에 의한 초정화 장치는 UV 광전자에 의한 초미립자의 제거 장치와 UV 광촉매법에 의한 가스상 오염물의 제거 장치가 서로 병행하여 사용되는데, 이에 대한 제거 모델은 전술한 Fig. 2에 도시되어 있다. 즉, Au와 TiO<sub>2</sub>로 코팅된 유리표면에 UV광이 주사될 경우, 방출되는 광전자에 의하여 입자가 하전되며, TiO<sub>2</sub> 광촉매에 의한 OH 래디칼의 발생으로 가스들은 이산화탄소와 물분자로 변화하거나 미스트로 변화되어 광전자에 의하여 하전되어 후단의 접지전극인 집진판에 부착, 제거된다.

UV광을 이용한 초정화장치는 구성재(UV램프, 광전자방출재, 양전극)의 청정공간으로의 설치 방법이나 형상에 따라 Fig. 7~9에 나타낸 바와 같은 3개의 유형, 즉 반사형, 투과형, 유니트형으로 크게 나눌 수 있다. Table 4에 각각의 장치의 특징을 수록하였다. 이러한 장치들의 자외선 램프는 주로 254nm 파장의 살균램프를 사용하고 적절하게 선정해서 사용할 수 있다.

Fig. 7에 도시된 반사형 장치는 Table 4에 기술한 바와 같이 전기장과 UV 조사의 영향을 직접적으로 받아 웨이퍼 등의 수납물이 변형될 가능성이 있기 때문에 이에 대한 개선모델로 Fig. 8의 투과형 장치가 개발되었다. 이 투과형 장치는 ① 석영 유리창에 박막 Au와 TiO<sub>2</sub>를 피막한 투과형 광전자/광촉매 방출재(emitter), ② 그 근방에 설치한 판형상의 양전극(positive electrode), ③ 유출 하전미립자의 포집을 위한 하전·포집부 출구의 포집전극(collecting electrode)을 가지고 있다.

미립자의 하전·포집부에서는 광전효과로부터 생긴 광전자에 의해 미립자가 하전·포집된다. 하전미립자의 일부가 포집되지 않는 경우에는 그 유출 미립자의 포집을 위하여 하전·포집부 출구의 독립적인 전극이 작용한다. 청정공간(cleaning space)에서 하전·포집부로의 미립자의 이동은 하전·포집부내의 UV 조사에 의해 생긴 온도차에 의한 자연대류에

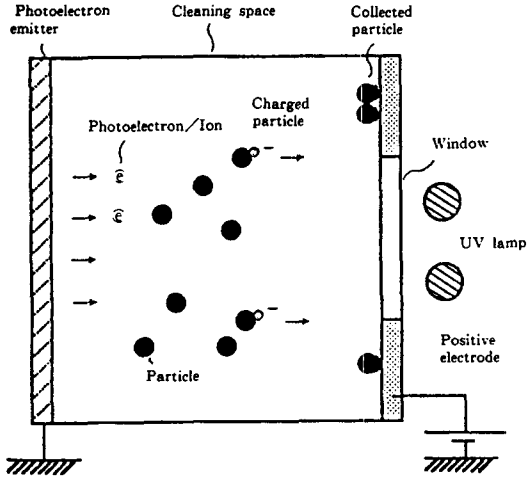


Fig. 7 UV cleaning device (Reflective type)

의한다. 이와 같이 해서 청정공간 중의 미립자는 하전·포집부로 흘러가서 제거되고 포집되지 않은 미립자는 청정공간으로 다시 돌아가서 에어로졸을 희석시킨다. 이 사이클을 반복함으로써 초청정공간이 얻어진다.

#### 4.2 성능

Fig. 8의 반사형 장치를 Fig. 10과 같이 Si 웨이퍼 저장 클린 스토커(stoker)에 적용시켜 입자상 및 가스상 오염물질에 대하여 청정공간에서의 제거효과를 평가하였다. 본 스토커의 청정 대상 공간부에 있어서 가스들은 아래쪽의 공간을 통하여 처리 공간부에 유입하며 여기서 가스상 오염물질과 미립자가 처리되어 윗쪽 공간으로 유출된다. 이러한 가스

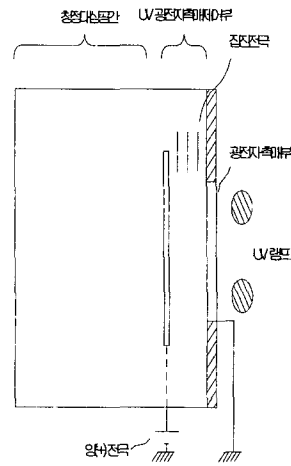


Fig. 8 UV cleaning device (Transparent type)

및 미립자의 거동은 UV 조사에 의한 처리공간부 상하의 온도차에 의한 자연대류에 의하여 이동된다. 이와 같은 방법으로 청정대상 공간부의 오염물질들은 순차적으로 처리되어 장치내부 전체에 대하여 초청정 공간을 형성시킨다.

광전자법에 의한 미립자에 대한 제거성능은 보유시간에 대한 도달가능 청정도를 통해 평가할 수 있고 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11은 용적·80%의 투과형 장치를 이용한 0.1  $\mu\text{m}$  기준 class 400의 시료공기에 대한 결과이다. 그림으로부터 약 20분간의 유지시간 경과후에 class 1보다도 맑고 깨끗한 초청정공간이 용이하게 얻어진다는 것을 알 수 있다. 또, 그림에는 나노입자의 제거성능으로서 3 nm 이상의 초미립자에 대한 측정 결과도 나타나 있는데, 그 결과로부터 3 nm 기준 class 100의 달성도 가능함을 알 수 있다.

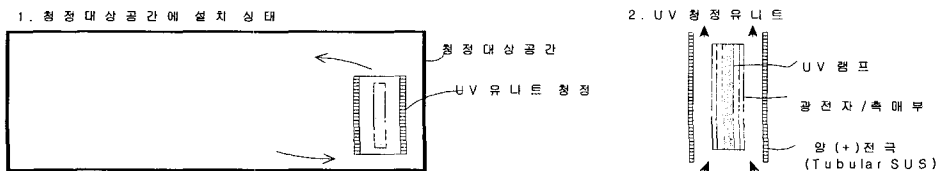


Fig. 9 UV cleaning device (Unit type)

Table 4 Features of various UV cleaning devices

장치의 유형	특징
반사형	1. 제진속도가 빠르다. 2. 청정공간 전체에 전기장과 UV조사가 있기 때문에 공간에 수납물이 있으면 영향을 받을 가능성이 있다.
투과형	1. 창 재료(유리)를 광전자방출재로서 사용하고 그 근방에서 제진하기 때문에 수납물로의 전기장과 UV조사의 영향을 피할 수 있다. (수납물이 있어도 지장없이 제진이 가능하다.) 2. 입자상물질의 하전·포집부가 콤팩트화되기 때문에 인가전압이 낮고 UV가 효율적으로 이용될 수 있다. 3. 창재료(유리)를 이용하기 때문에, 대형화에는 한계가 있다.
유니트형	1. 청정공간의 임의의 장소에 설치할 수 있기 때문에 설계상의 자유도가 크고 적용도가 넓다. 2. UV, 광전자방출재, 전극이 일체화되기 때문에 인가전압이 낮고 UV의 효율적 이용이 가능하다. 3. 대형화에 유리하다.

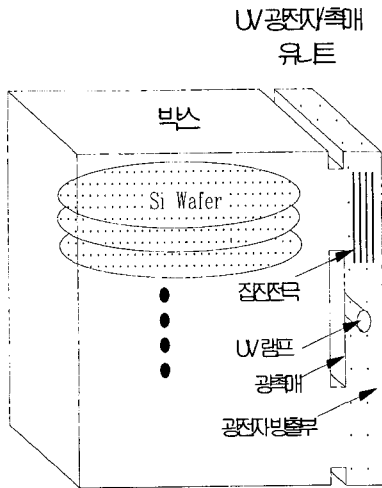


Fig. 10 UV photoelectron/photocatalyst stocker

Fig. 12는 본 광촉매 시스템의 유기성가스(탄화수소)에 대한 제거 성능을 나타내고 있다. Fig. 12(a)는 0.1 $\mu\text{m}$  기준 Class 400의 시료공기의 TIC (Total Ion Chromatography)를 나타내고 Fig. 12(b)는

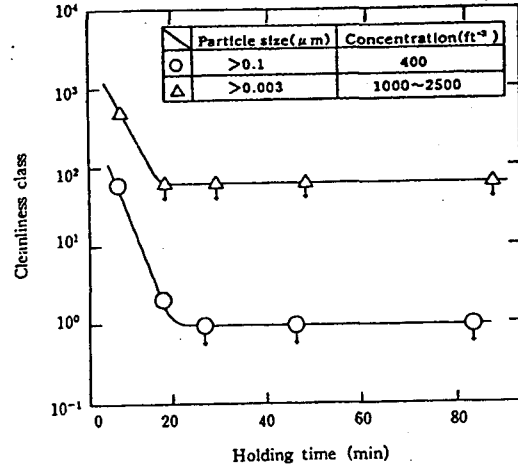


Fig. 11 Changes in cleanliness of cleaning space with respect to holding time

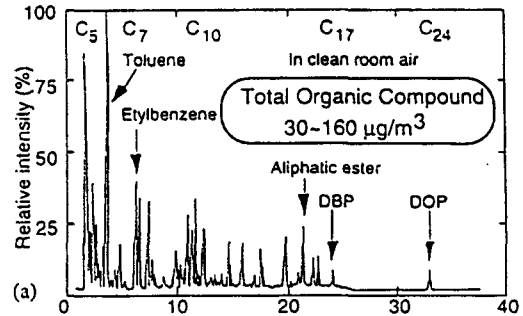


Fig. 12(a) Total ion chromatography for gaseous contaminants in cleanroom air (0.1 $\mu\text{m}$ , class 400)

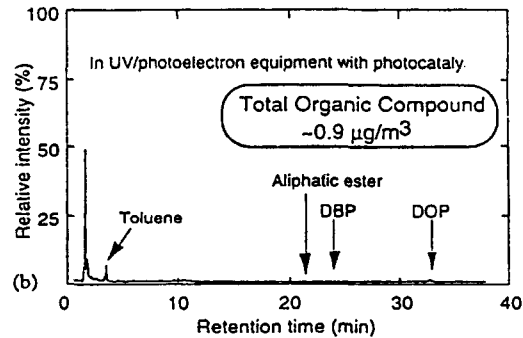


Fig. 12(b) Total ion chromatography for gaseous contaminants in UV stocker



144시간 저장후의 UV 스토커내의 것을 나타내고 있다. 그림에는 GC-MS방법으로 측정된 TOC(Total Organic Compound)도 도시되어 있다. 클린룸 공기 중의 유기성가스 농도인 TOC는 최대 Peak를 보여준 톨루엔과 같은 응답을 나타내는 것으로 가정할 때, 본 장치에 의해 유기성 가스는 95% 이상 제거되었으며, Aliphatic ester는 본 장치에 의하여 불 검출(검출한계:  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 한계까지 도달, 제거되는 것을 보여준다. 따라서 클린룸 공기 중에 웨이퍼 등의 기판에 부착하여 악영향을 미치는 DOP 및 DBP등의 Aliphatic ester로 대표되는 유기성가스가 존재하더라도, 본 UV 광촉매 시스템에 의한 방법으로 이러한 유기성가스는 효과적으로 제거될 수 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 13은 UV 광전자/광촉매 스토커에 약 40시간 동안 저장한 Si 웨이퍼 표면에 대한 C1s XPS 스펙트럼을 보여주고 있다. 먼저, UV/광촉매 스토커에 저장하지 않은 샘플(UV/photoelectron stocker)에서는 285, 287 및 289.5 eV의 3개 피크치를 보여주는데, 이는 C 또는  $\text{CH}_x$ , 1개의 산소원자와 결합된 C, 그리고 두 개의 산소원자와 결합된 C를 각각 나타낸다. 광촉매 스토커에 저장했을 경우(photocatalyst stocker)는 285 eV의 피크만을 보여주고 있다. 이로부터 알 수 있는 것은 대부분의 탄소원자 C는 산소와 결합되어 있지 않다는 것을 의미하는

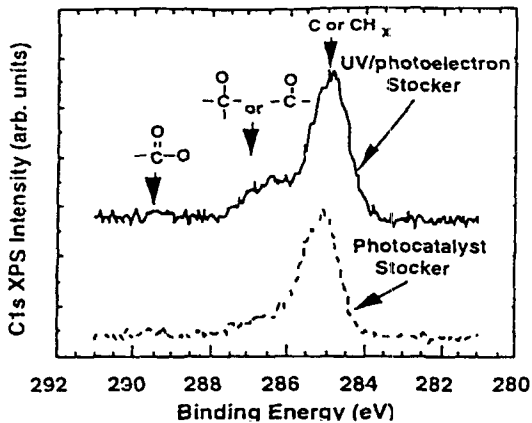


Fig. 13 XPS spectra of C1s adsorbed on Si surfaces stored in UV/photoelectron and photocatalyst stockers

것으로 앞에서의 실험 결과에서와 같이 UV 광촉매 반응에 의하여 공기중의 고분자 유기화물들이 효과적으로 제거된 것을 보여주는 것이다.

### 5. 결론

반도체산업에서의 기술혁신은 눈부실 정도로 이루어지고 있고, 고집적화가 급속하게 진행되고 있다. 이와 더불어 청정도에 대한 요구가 높아지기 때문에 제어해야 하는 대상 오염물질의 확대, 비용의 증가 등의 문제가 발생한다. 지금까지의 여재필터에 의한 청정화는 어떤 의미에서는 성숙된 공기 청정기술이어서 GIGA 시대에 요구되는 고정정도나 광범위의 오염물질의 제거에는 한계가 있는 것 같다. 향후 요구되는 청정공간에서 중요한 점은 제품을 다루는 국소공간에서의 오염원인이 되는 오염원을 간편하면서 합리적으로 제어하는 기술, 즉 효과적인 신규 오염방지기술들을 균형있게 복합시킨 토탈시스템으로 개발하는 것이다.

차세대 반도체 제조산업에서는 입자오염이나 케미칼오염을 막는 미니환경은 확실히 필요하게 되지만 이를 저비용 및 고효율로 사용하기 쉽고 신뢰할 수 있는 것으로 실현하기 위한 아이디어가 확실히 요구되고 있다. 한편, UV/광전자/광촉매법을 이용한 미세입자 및 가스상 오염물의 제어기술에 관한 본 지면에서의 검토결과를 고려하면 이 기술이 차세대반도체 제조프로세서에서의 청정화에 기여할 수 있는 요소기술로서의 가능성은 충분하다고 여겨진다. 그리고, 적용가능한 경우로서 본 고에서는 웨이퍼 스토커의 경우만을 검토하였으나 그 이외에도 ① 300mm 웨이퍼반송용 박스, ② 300mm 웨이퍼보관용 박스, ③ 디바이스 스토커, ④ 반송라인, ⑤ 적재장치의 인터페이스, ⑥ Load-lock 실, ⑦ 반응장치 등을 생각할 수가 있다. 즉, 재료의 반송, 보관, 처리의 흐름중에서 클린터널이나 스토커, 각종 상압·감압실이 있는 제조장치 등과 같이 시스템의 주요한 위치에 유니트화된 이러한 UV 초청정장치를 설치함으로써 저비용의 청정화가 가능하다고 판단된다.

### 참고문헌

1. 藤井 敏昭 et al., "クリーンルーム環境における

- 汚染物の制御," クリーンテクノロジー, 9月号, pp. 38-44, 1997.
2. 藤井 敏昭 et al., "UV/光電子法による局所空間の超清浄化," クリーンテクノロジー, 7月号, pp. 63-67, 1995.
  3. Suzuki, M. and Saiki, A., "エアロゾルと表面汚染物の分析技術," 空気清浄, 第32巻, 第3号, 日本空気清浄協會, pp. 1-6, 1994.
  4. Fujii, T., Suzuki, T. and Sakamoto, K., "光觸媒とUV/光電子法によるガスと微粒子の同時除去," 空気清浄, 第35권, 제3호, 日本空気清浄協會, pp. 51-58, 1997.
  5. Adachi, M. and Fujii, T., "UV/光電子荷電-粒子捕集ユニットによる大容量ウェハストッカーの粒子除去過程," 第17回 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大會, pp. 259-260, 1999.
  6. 藤井 敏昭 et al., "クリーンルーム環境における汚染物の制御-UV/光電子法によるガスと粒子の同時除去," クリーンテクノロジー, Vol. 9, pp. 38-44, 1997
  7. 板本和彦, 井上淳, 石谷治, 河野仁志, "UV/光觸媒を用いた揮発性有機物の分解," 第15回 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大會, pp. 305-308, 1998.
  8. 河野仁志, 田村穂, 板本和彦, "光化學反応と觸媒を利用したガス汚染物質の除去に関する研究," 第15回 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大會, pp. 325-328, 1998.
  9. 한국공기청정연구조합, GIGA급 Ultra 클린룸 시스템 개발, 산업자원부 중기거점기술개발 연구 기획 보고서, 1999.
  10. Yokoyama, S., et al., "Effect of UV/Photoelectron and Photocatalyst Cleaning on the Reliability of Thin Gate Oxides," Proc. of the 14th International Symposium on Contamination Control, pp. 210-214, 1998.