

UV/광전자법을 이용한 클린룸 미세입자 제어기술

유 경 혼
한국생산기술연구원
청정생산기술개발센터/선임연구원

1. 머리말

최근의 반도체, 액정, 정밀기계 등과 같은 첨단산업의 발달에 의해 초정밀화, 초미세화, 고품질화 및 고신뢰성에 대한 요구가 해를 거듭함과 동시에 엄격해지고 있고, 특히, 우

리나라의 수출주력품목인 반도체는 소자의 고집적도에 따라 회로선폭의 초미세화의 일로를 달리고 있다. 이에 따라 제조과정에서 요구되는 제어대상 미립자에 대한 표 1의 변화추이를 살펴보면, 향후 4 GIGA DRAM의

표 1. 반도체회로의 특성크기와 제어대상 미립자의 크기

청정도(Class) 제품세대 (DRAM) (패턴크기, μm)	<0.1	1	10	100	1000	제어대상 입자임계 크기(μm)
UISI(256M~1G) (0.18~0.25)	●					0.02~0.05
ULSI(4M~64M) (0.35~0.8)		●				0.05~0.1
VLSI(256K~1M) (1~1.5)		●	●			0.1~0.15
LSI(16K~64K) (2~5)				●		0.2~0.5
IC(1K~4K) (5~8)					●	0.5~0.8

예상회로선폭 $0.13\mu\text{m}$ 를 위해서는 선폭의 1/10인 $0.013\mu\text{m}(13\text{nm})$ 에 이르는 나노미터($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) 수준의 서브마이크론 입자들을 제어해야만 하는 단계에 이르게 될 것이다. 이러한 상황에 대처하기 위해 효과적인 초청정공간의 창출기술이 절실하게 되었다.

클린룸 공간의 청정화에 있어 지금까지는 주로 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 이용 분야에 따라서는 반드시 이상적인 형태로 청정공간을 만들지는 않는다고 판단되고 있다.

한편, 에너지 절약 및 비용 절감이 중요한 과제로 지적되고 있어 2000년대의 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 제조 프로세서에서는 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 초미

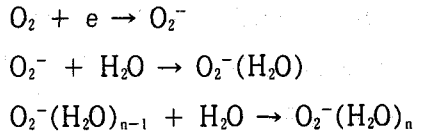
세화에 대해 자원·에너지 절약 및 저 Emission화의 관점에서 매우 바람직한 건식세정법중의 하나인 UV/광전자법을 이용한 초청정화기술이 주목받고 있다. 본 고에서는 이 UV/광전자법을 이용한 초청정화기술의 원리, 장치의 유형을 살펴보고 차세대 반도체산업으로의 적용가능성을 검토하고자 한다.

2. 기술의 원리

2.1 개요

광전자에 의한 공간중의 미립자의 제거 원리를 그림 1에 나타내었다. 미립자의 하전과 포집은 광 전자방출재(Photoelectron Emitter), UV 램프(UV lamp), 전극(Particle Collection Electrode, 주로 양전극)로 구성되는 장치에서 그림과 같이 실시된다. 광전자 방출재에 광전값보다 높은 에너지의 자외선을 전기장하에 조사하면 광전효과에 의해 광전자가 광전자 방출재부터 방출된다. 비교적 약한 전기장을 광전자방출재와 전극간에 형성하면 생성된 광전자/음이온들은 양전극으로 이동하다가 공기 중의 미립자에 부착하여 미립자를 음으로 하전시키고 하전미립자는 양전극상에 부착한다. 피청정공간(Cleaning Space)중의 미립자는 순차적으로 하전되어 포집되고, 공간은 초청정화가 진행된다. 한편, 그림에 도시된 바와 같이 가스상오염물(Gaseous Contaminant)들도 가스-입자 변환작용(Gas-to-Particle Conversion)을 통

해 초미세입자(Ultrafine Particle)로 전환되어 하전된 후 포집될 수 있다.



2.2 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 광전자 방출재부터 방출된 광전자는 주로 음이온 클러스터의 생성에 관여하고, 미립자의 하전은 광전자에 의해 생성된 음이온에 의해 주로 행해진다고 보고되고 있다.

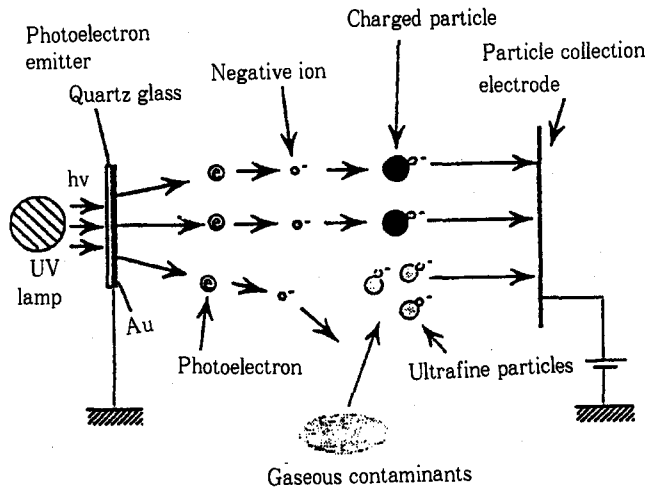


그림 1 UV/광전자를 이용한 미세입자의 제거원리 개념도

2.3 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 표면

에 침착하는 현상이다. 이 때문에 확산하전 기작에 의해 미립자가 받는 하전량은 전기장의 영향을 받지 않고 이온농도 N , 하전시간 t , 이온과 미립자의 결합계수 β 에 의해 좌우된다. 본 장치와 같이 단극성 이온의 경우, 확산하전에 의한 미립자 하전량의 시간에 따른 변화는 단분산의 입경분포 및 0의 초기전하량을 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, β_0 는 하전되지 않은 미립자와 음이온의 결합 계수, N 은 음이온농도, t 는 하전 시간이다. 식 (1)에 의해 미립자의 하전 상태는 음이온과 미립자간의 결합계수 β_0 , 음이온 농도 N , 하전 시간 t 에 좌우되는 것을 알 수 있다.

그림 2는 현재 가장 정확한 하전모델로 알려져 있는 Fuchs(1963)의 확산하전 이론식을 사용하여 구한 음이온과 중성 미립자간의 결합 계수 β 의 값을 여러가지의 입자지름에 대해서 나타내었다. β 의 값은 입자지름에 대해 비례적으로 증가하고 큰 미립자일수록 하전되기 쉽다는 것을 알 수 있다. 한편, 장치 내의 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 전자전하량($1.6 \times 10^{-19}C$), K_i 는 이온의 전기이동율이다.

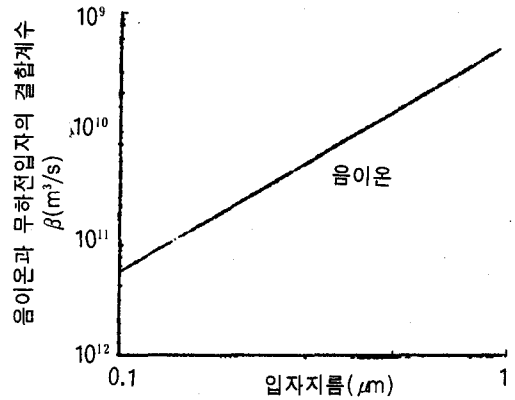


그림 2 Fuchs의 확산하전이론에 의한 음이온과 중성입자간의 결합계수

2.4 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), μ 는 유체의 점성계수, d_p 는 입경이다. 식 (3)으로부터 구한 이동속도의 한 예를 그림 3에 도시하였는데, 그림에서 $0.1\mu m$ 의 미립자는 $E=5kV/m$ 에서 $1.33 \times 10^{-4}m/s$, $15kV/m$ 에서 $4.0 \times 10^{-4}m/s$ 의 이동속도를 가진다는 것을 알 수 있다. 이 이동속도와 하전미립자의 체류시간으로부터 하전미립자의 전기장방향으로의 이동

거리와 전극간 거리와의 비교로부터 하전미립자가 포집부에서 포집되는가를 평가할 수 있다.

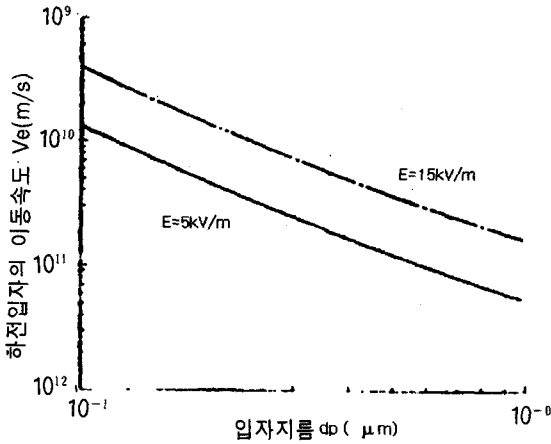


그림 3 전기장에서의 1개의 기본전하수를 가진 하전입자의 이동속도

3. 장치의 유형 및 특성

3.1 유형

UV/광전자법을 이용한 초청정화장치는 구성재(자외선램프, 광전자방출재, 양전극)의 청정공간으로의 설치방법이나 형상에 따라 그림 4~6에 나타낸 바와 같은 3개의 유형, 즉 반사형, 투과형, 유니트형으로 크게 나눌 수 있다. 표 2에 각각의 장치의 특징을 수록하였다. 이러한 장치들의 자외선 램프는 주로 254nm 파장의 살균램프를 사용하고 있고 용도나 적용장치의 특성에 따라 적절하게 선정해서 사용할 수 있다.

표 2. 유형에 따른 장치의 특징

장치의 유형	특 징
반 사 형	<ol style="list-style-type: none"> 1. 제진속도가 빠르다. 2. 청정공간 전체에 전기장과 UV조사가 있기 때문에 공간에 수납물이 있으면 영향을 받을 가능성이 있다.
투 과 형	<ol style="list-style-type: none"> 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.
유 니 트 형	<ol style="list-style-type: none"> 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.

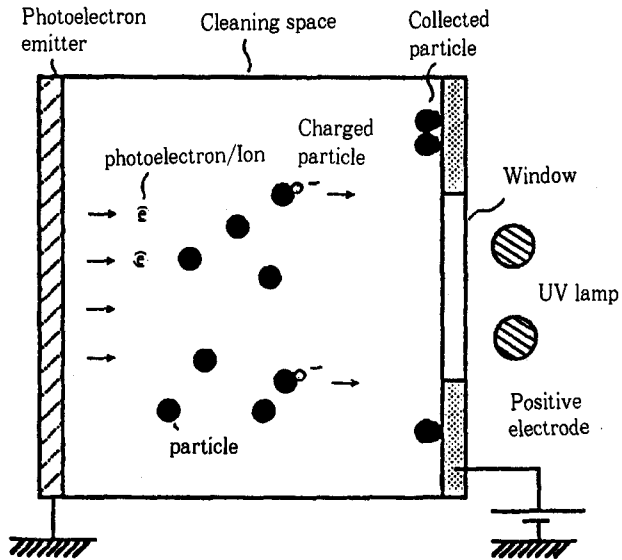


그림 4 UV/광전자법을 이용한 초청정화장치-반사형

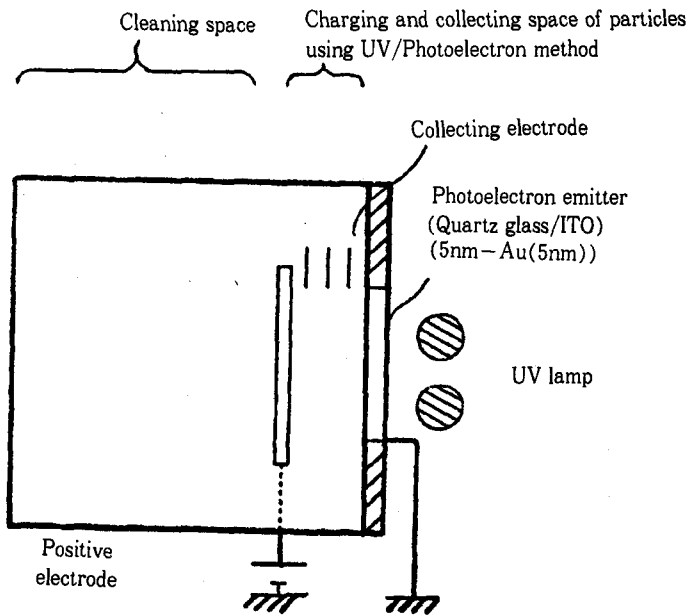


그림 5 UV/광전자법을 이용한 초청정화장치-투과형

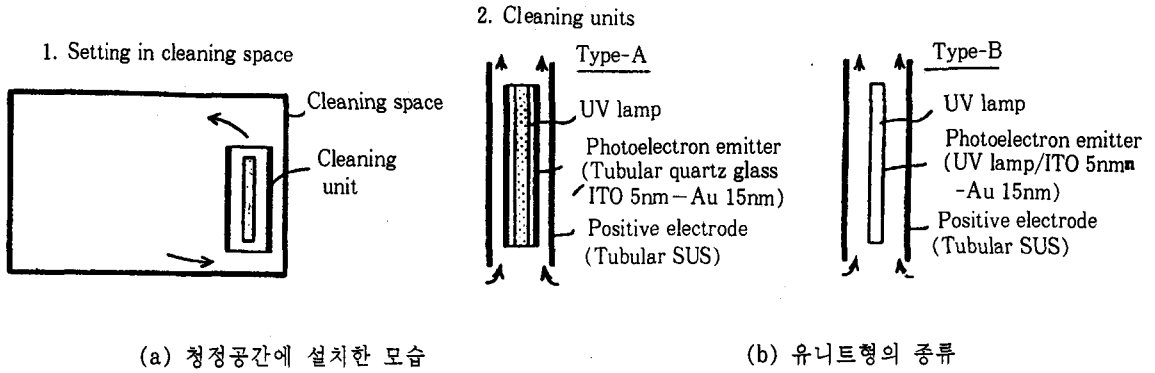


그림 6 UV/광전자법을 이용한 초청정화장치-유니트형

3.2 특성

그림 4에 도시된 반사형 장치는 표 2에 기술한 바와 같이 전기장과 UV조사의 영향을 직접적으로 받아 웨이퍼 등의 수납물이 변형될 가능성이 있기 때문에 이에 대한 개선모델로 그림 5의 투과형 장치가 개발되었다. 이 투과형 장치는 ①석영 유리창에 박막 Au를 피막한 투과형 광전자방출재(Photoelectron 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 작용

한다. 청정공간(Cleaning Space)에서 하전·포집부로의 미립자의 이동은 하전·포집부내의 UV 조사에 의해 생긴 온도차에 의한 자연대류에 의한 것이다. 이와 같이 해서 청정공간 중의 미립자는 하전·포집부로 흘러가서 제거되고 포집되지 않은 미립자는 청정공간으로 다시 돌아가서 에어로졸을 희석시킨다. 이 사이클을 반복함으로써 초청정공간이 얻어진다.

이 투과형 장치의 미립자에 대한 제거 성능은 보유시간에 대한 도달가능 청정도를 통해 평가할 수 있고 그 예를 그림 7에 나타내었다. 그림 7은 용적 80%의 투과형 장치를 이용한 0.1 μ 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 제거성능으로

서 0.003 μm 이상의 초미립자에 대한 측정 결과도 나타나 있는데, 그 결과로부터 0.003 μm 기준 class 100의 달성도 가능함을 알 수 있다.

따라서 미립자의 제거 성능으로부터 추정해서 구해지는 βNi 를 식 (1)에 대입하여 대략 $n_0/n_1=0.24$ 가 얻어졌다. 이로부터 하전부에 유입된 미세입자의 약 80%가 하전되는 것으로 추정할 수 있다.

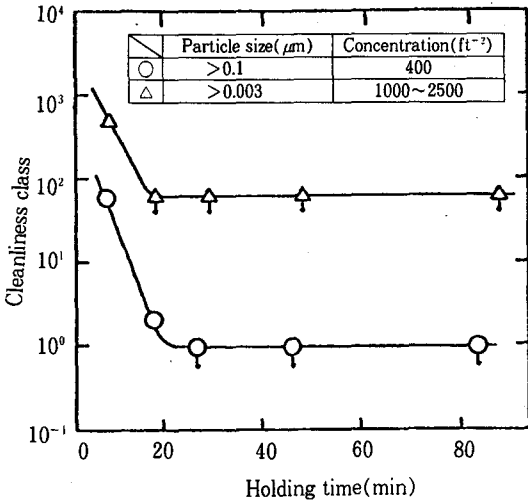


그림 7 보유시간에 따른 청정공간내 청정도의 변화(투과형의 경우)

그림 7의 경우, UV조사 강도가 28W/m², 전기장강도 6kV/m, 양전극의 면적 18cm²에 대해서 하전부의 이온전류 I가 12pA로 측정되었다. 식 (2)에 의해 음이온농도 N은 3.3 × 10¹⁴ions/m³이 되고, 이 장치에서의 처리 대상 입자농도가 0.1 μm 기준 class 400인 1.43 × 10⁴개/m³(=400개/ft³)라면 6개의 order만큼 높은 개수의 이온이 발생하고 있는 것이다. 하전시간 t는 청정공간부로부터 하전·포집부로의 흐름이 자연 대류에 의한 것이기 때문에 정확히 측정하는 것은 매우 어렵다.

4. 차세대 반도체산업으로의 응용

향후 ULSI의 집적도가 진행되는 것에 따라서 나노수준의 초미세 입자상물질에 의한 영향이 높아진다는 것은 명약관화하다. 이때문에 제조 프로세서에서의 오염물질의 제어는 엄격하고 다양화하는 방향으로 진행되고 있다. 한편, GIGA급 반도체 웨이퍼의 기관의 표면이나 계면에서의 초미립자, 클러스터(입자상물질) 등의 나노입자들이 제품의 표면에 부착되면 그림 8과 같이 제품의 품질이나 유지, 신뢰성에 악영향을 미칠 것으로 추정된다.

현재 미니환경 시스템으로서 SMIF방식이 제안되고 있는데 이와 더불어 기대되는 기술은 자동화, 국소청정화, 셀프클리닝, 유지관리 비요구라는 개념이 중요하게 될 것이다. 본 고에서 논의되고 있는 UV/광전자법에 의한 공간의 청정화기술은 셀프클리닝적으로 공간을 초청정화하고, 에너지절약적인 유형에서부터 향후 요구가 높아질 것으로 예상되는 미니환경, 나아가 마이크로환경의 청정화에 유효하게 대응할 수 있다고 여겨진다. 따라서 차세대 반도체분야로의 적용이 고려되어야 한다.

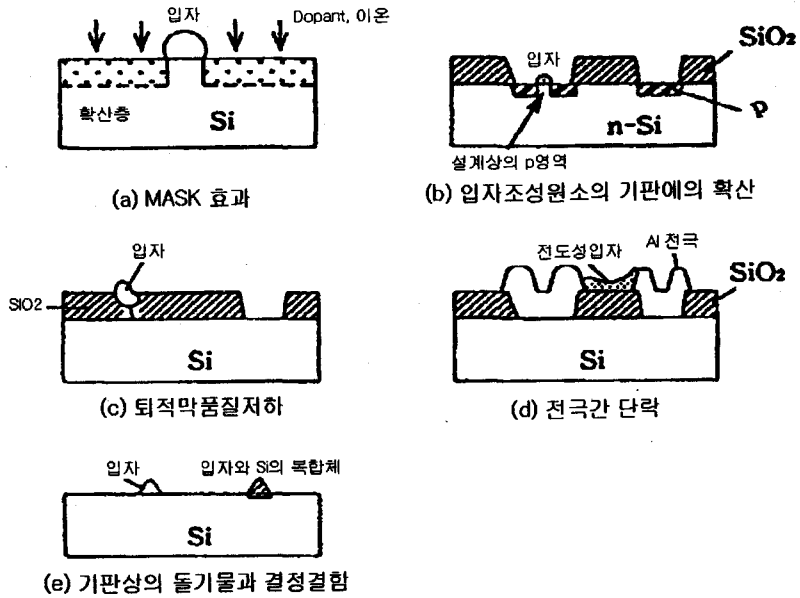


그림 8 ULSI 제조프로세서에서의 입자에 의한 불량모우드

4.1 미니환경으로의 적용

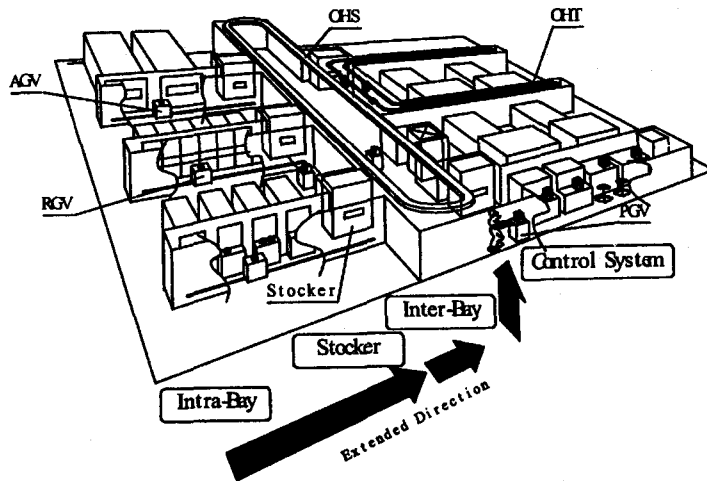
반도체의 생산라인상에서는 각 제조공정장비의 처리량의 차이 등으로 인하여 라인의 생산 조정이 요구된다. 이 때문에 일찍부터 제조장비, 자동운송장비 등에는 부속 Clean Stocker, 또는 Clean Booth를 개량한 Open Stocker가 도입되어, 라인 정비용 보관프로세서로서 활용되어 왔다. 한편, 그림 9와 같이 I300I와 J300(1998)에서 GIGA급 반도체용 300mm, 400mm 웨이퍼 시대를 맞이하여 제시하고 있는 반도체 제조환경은 자동화와 국소청정화 기술에 집약될 것이라고 판단되고 공정중의 웨이퍼의 보관은 피할 수 없는 프로세서중의 하나라고 생각된다. 또한 TEG (Test Element Group), Dummy 웨이퍼 등의

라인에서 떨어져 나온 웨이퍼의 보관도 중요하다.

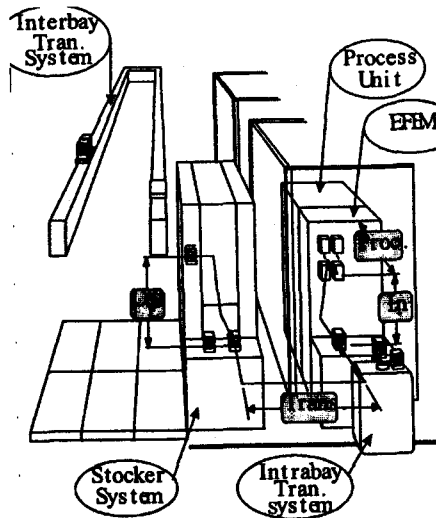
이러한 예측을 근거로 GIGA급 클린룸 시대에 대비하여서는 그림 9에서 보이는 바와 같이 Bay와 Bay간(Interbay)의 인터페이스인 웨이퍼의 보관을 위한, 기존 100ℓ보다 더 큰 1m³ 이상의 대용량 웨이퍼 스토커 (Wafer Stocker)가 특히 필요하게 된다. 또, Bay내에서(Intrabay)의 웨이퍼 수송수단인 RGV(Rail Guided Vehicle), OHT(Overhead Guided Vehicle)와 공정장비간의 인터페이스, 300mm 웨이퍼용 웨이퍼캐리어로서 주목받는 OC(Open Cassette), FOUP(Front Opening Unified Pod) 등이 수반된다. 따라서, 이러한 밀폐된 보관장비, 수송장비, 인터페이스

장비로의 UV/광전자법에 의한 입자하진포집 장치의 결합이 매우 중요하다. 이는 이 방법의 특징이 ① 매체기체를 강제순환할 필요없이 초청정한 밀폐공간을 얻을 수 있는 것,

② 압력손실이 없는 것, ③ 오존발생이 없는 것, ④ 미소한 변경으로 입자 및 가스의 동시처리가 가능한 것 등에 있기 때문이다.



(a) Integrated AMHS 시스템



(b) AMHS 유닛

그림 9 I300I와 J300I 제시한 300mm 웨이퍼 제조용 Integrated AMHS(Automated Material Handling System) 유닛

최근, Adachi와 Fujii(1999)는 300mm 웨이퍼로의 이행에 동반되는 웨이퍼스토커의 대형화를 위한 UV/광전자 입자하전포집유니트를 장착한 대용량 스토커의 실용화 연구를 개시하였다. 대용량 스토커의 개발에는 스토커 본체의 개발과 동시에, 성능평가 시스템의 개발도 수행되었다. 이는 스토커가 대형화되면 종래의 100% 이하의 소용량 스토커의 평가법으로는 측정에 시간이 걸리므로, 그 시간동안 일어나는 입자침착의 영향이 무시할 수 없게 되기 때문이다.

그림 10은 그들이 대용량 스토커에 대응하기 위해 개발한 UV/광전자 하전·입자포집유니트를 보여주고 있다. UV램프의 발열에 의해 자연대류적으로 10~20l/min의 상승류가 유니트내에 발생하고, 에어로졸의 유니트로의 흡인, 청정공기의 배출이 행해진다. 이때의 100nm 크기의 입자에 대한 포집효율은 90~100%였다.

종래의 평가법을 그림 11에 나타낸다. 우선, 스토커내를 임의의 농도의 PSL입자로 채우고 UV/광전자 포집유니트를 가동한다. 임의의 시간동안 유니트를 가동한 다음, 유니트의 운전을 멈추고 곧바로 광산란카운터에 의한 흡인을 행하고 스토커의 공간에 부유하는 모든 입자를 측정한다. 이 방법을 1m³ 스토커에 적용하면 1회의 측정시간이 10~20시간이 되고 측정중의 입자침착이 무시될 수 없게 된다. 따라서, 1m³ 스토커의 성능평가는 UV/광전자 포집유니트 가동과 동시에 입자샘플링을 행하고 입자농도의 시간변화를 실

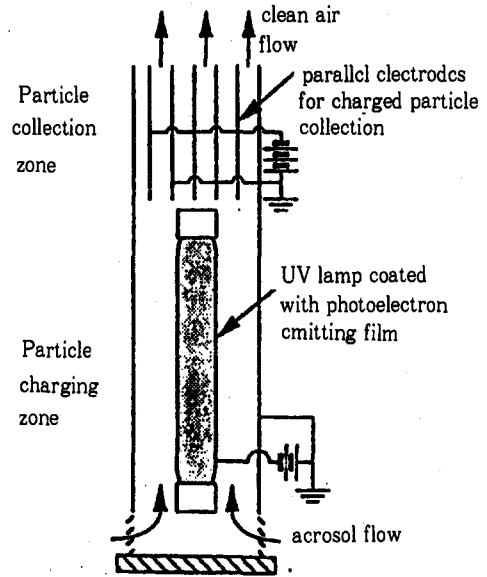


그림 10 UV/광전자 입자하전포집 유니트

시간으로 측정하는 방법이 타당하다. 그러나 입자샘플링 위치의 결정은 대단히 어렵게 된다. 그래서 스토커내의 입자농도의 변화를 사전에 알아두는 것은 새로운 평가시스템을 효율적으로 개발하기 위해서 큰 의미가 있다고 보고하였다. 그리하여, 우선 UV/광전자 포집유니트에 의한 대용량 스토커 내부의 기류에 대해 저레이놀즈수 난류모델을 사용한 수치시뮬레이션을 실시해서 얻어진 유속 분포를 사용해 확산방정식을 계산하였다. 그림 12에는 스토커내부의 평균입자농도의 시간에 따른 변화를 나타내었다. 유량을 10, 20, 40 l/min으로 변화시키고 천정부분에 수평하게 가로로 놓았을 때와 2대의 유니트를 사용한 경우 등의 결과이다. 유니트의 설치방향과 설치대수에 의해 입자 농도의 감소 속도가 다르게 됨을 알 수 있다.

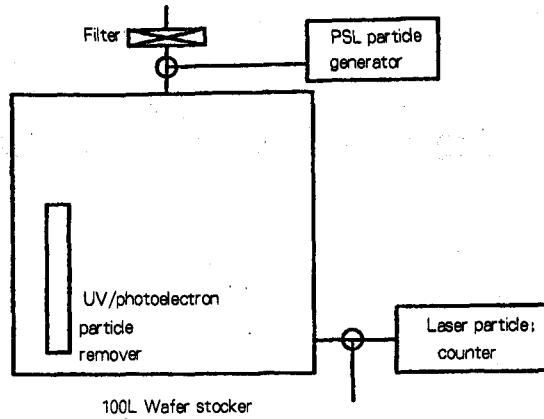


그림 11 종래의 소형 스토커의 평가시스템

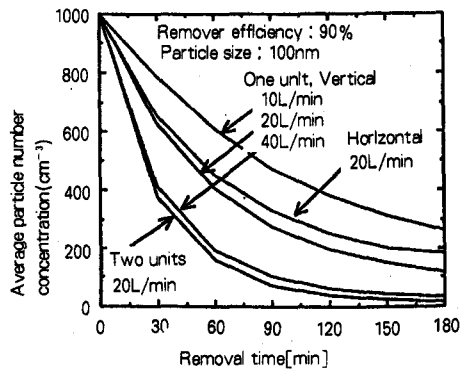


그림 12 UV/광전자장치가 있는 대용량 스토커내의 평균입자농도의 시간변화

4.2 제조공정으로의 적용

반도체 디바이스는 청정한 제조 환경이 요구되는 웨이퍼 처리공정만도 100 개가 넘는 공정을 거쳐 그림 13과 같이 생산된다. 또 ULSI의 양산화 기술이 진행되고 GIGA급 웨이퍼의 기판크기가 200mm에서 300mm, 400mm로의 대구경화가 진행되면서 이와 더불어 제조공정의 자동화가 점점 요구되고 있다. 하나의 공정을 완수하고, 다음 공정으로

건전한 웨이퍼를 넘겨 주기 위해서는 각 제조공정에 있어서 공정관리를 위한 미세입자 제어기술을 확보해야 한다. 이는 반도체 제조공정에 사용되는 여러가지의 제조장치와 같이 상온·상압이 아닌 가스상태에서의 청정화에 대한 요구로 이어진다. 또, 공간의 청정화뿐만 아니라, 장치나 재료의 벽면에 부착한 먼지의 제거도 제조공정에서는 중요하

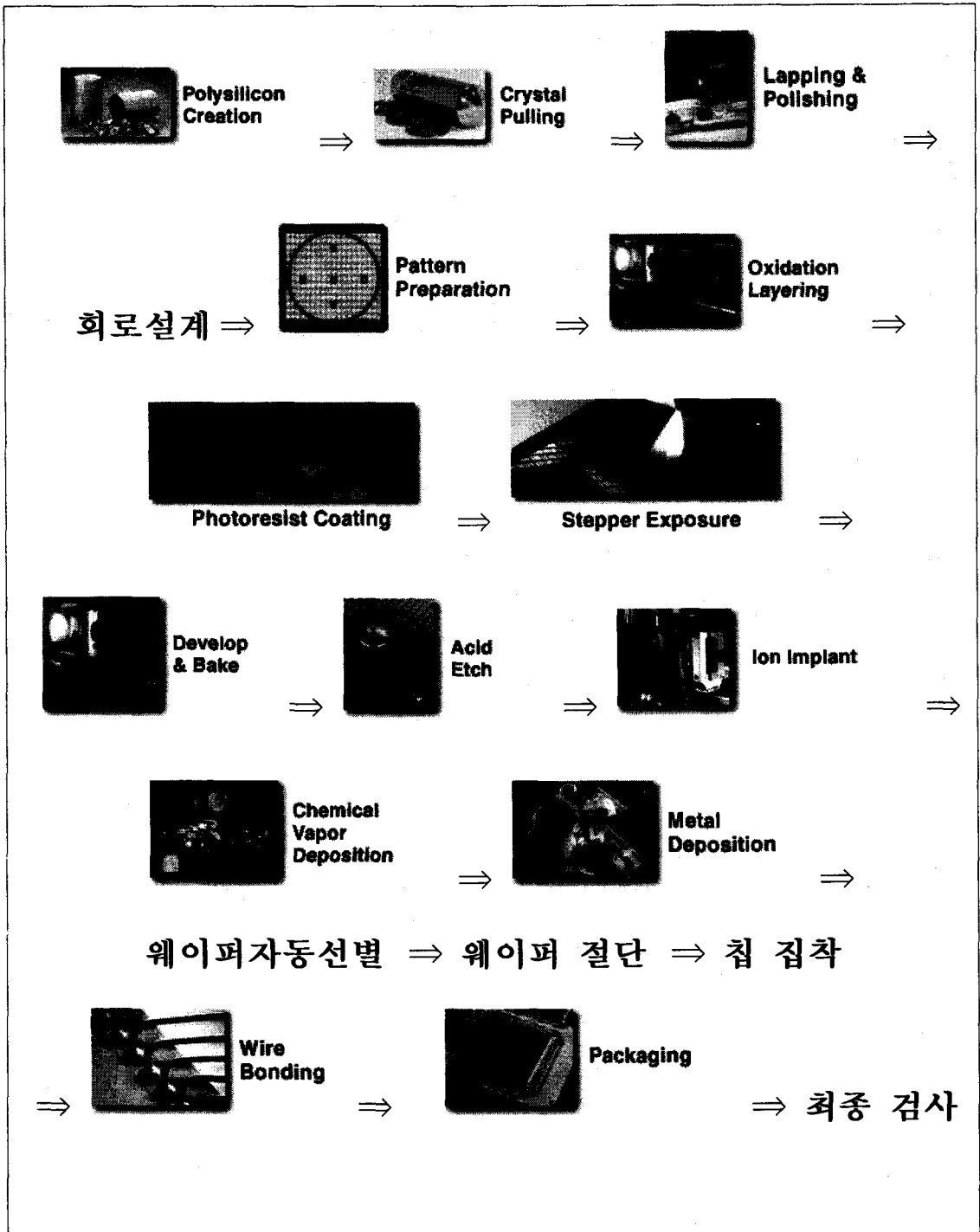


그림 13 반도체 제조공정 FLOW의 개략도

다. 따라서, 자동화가 요구되는 이러한 반도체 제조공정 자체로의 UV/광전자법에 의한 입자하전포집장치의 직접적인 적용이 검토될 필요가 있다.

Shimada 등(1998)은 UV/광전자법에 의한 청정화기술을 반도체 제조공정에서의 감압

및 고온의 공간중에 부유하는 미립자 제거기술로의 적용과 고속기류에 의한 벽면부착 입자의 제거를 UV/광전자법에서 얻어지는 음이온 입자하전을 이용한 촉진기술로의 적용을 실험적으로 검토하였고 이를 본 지면에 소개하고자 한다.

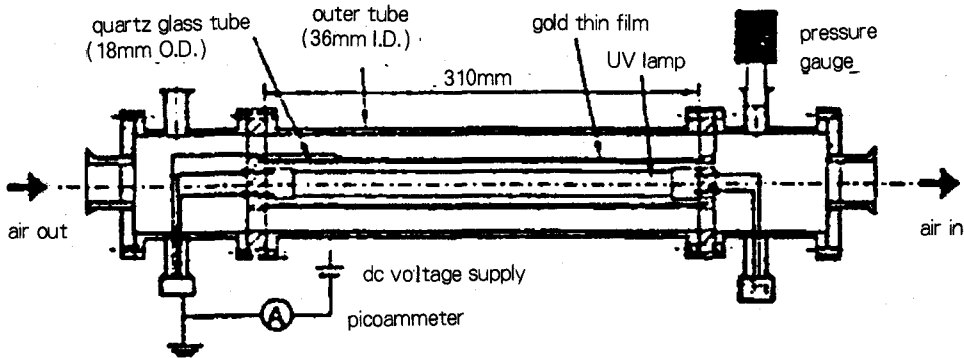


그림 14 원관형 UV/광전자 입자제거장치의 단면도

4.2.1 감압장에서의 부유입자의 제거

그림 14는 감압의 입자부유 가스용으로 개발된 UV/광전자법에 기초한 관형미립자 제거장치를 보여준다. 이 장치내에서의 미립자의 이동과 하전현상은 아래식에 표현된다.

$$\nabla \cdot [\bar{u} + \bar{v}n_p - D\nabla n_p] = \beta_{r-1}n_{r-1} - \beta_p n_p \quad (4)$$

여기서, \bar{u} 와 \bar{v} 는 각각 가스의 흐름과 정전영동에서 생기는 입자 속도, D 는 입자의 확산계수, n 은 갯수 농도, β 는 이온과 입자의 결합 계수이고, 하첨자 p 는 p 개의 단위전하를 가진 입자, i 는 이온을 표현한다. 공간의 청정화를 위해서는 여러가지의 크기의 입자

의 제거가 필요하기 때문에 그들의 연구는 입자직경에 의한 제거효율의 변화를 계산으로 예측했다. 그 결과의 예를 그림 15에 나타낸다. 미세입자에서는 입자의 하전량이 작아지고, 또 대형입자에서는 정전영동속도가 적어지기 때문에, 장치 단독으로의 제거율은 입경의존성이 생긴다. 그러나, 장치내부에서의 하전율은 거의 100%가 되기 때문에 본 장치의 하류에 보조집진전극을 설치하면 입자제거는 가능한 것으로 나타났다. 또 입자농도에 의한 제거효율의 변화도 계산에 검토했지만 농도가 10^7 개/cm³까지는 제거효율의 농도의존성을 관찰할 수 없었다.

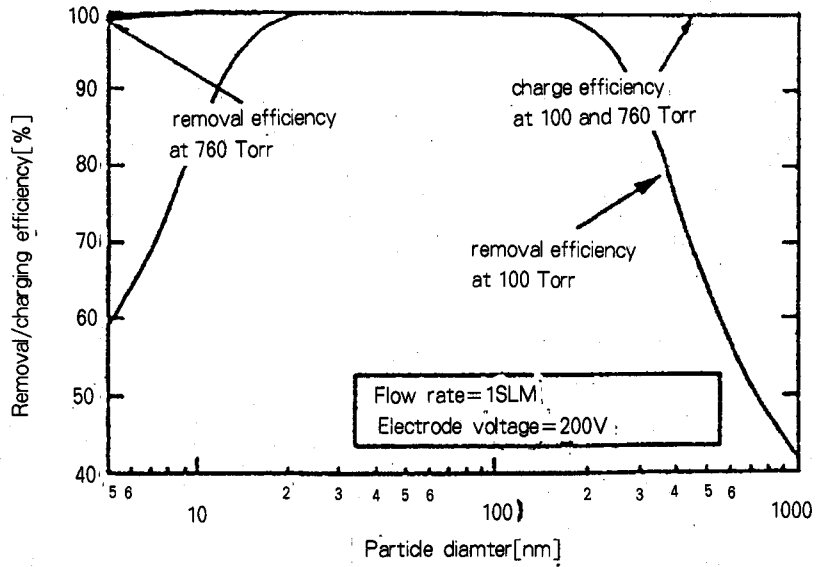


그림 15 입자크기에 따른 제거 및 하전효율들의 변화

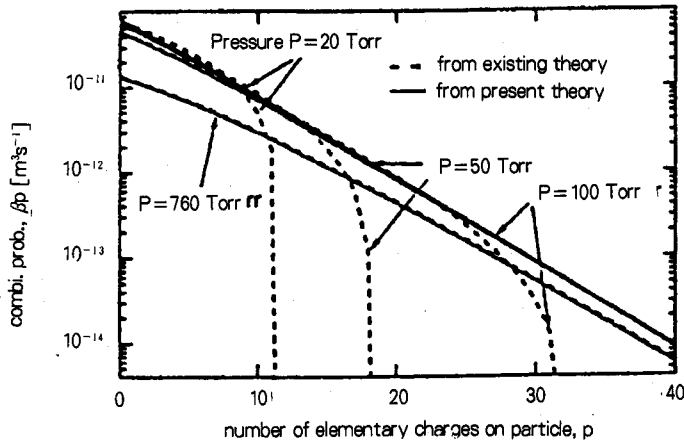


그림 16 입자상의 기본전하수에 따른 결합계수의 변화

또한, 감압장에서의 입자의 하전현상에 관해서도 검토를 수행하였다. 그 결과, 감압장에서는 특히, 하전량이 큰 입자의 단극하전 현상에 있어서는 식(4)의 결합계수 β 의 값을

기존의 입자하전이론(Fuchs, 1963)에 의해서 올바르게 평가할 수 없다는 것을 알았다. 입자가 가진 단위전하의 수 p 에 대한 β 의 값의 변화를 그림 16에 나타낸다. 기존의 이론에

의하면, β 의 값은 어느 p의 값에서 갑자기 0이 된다는 비현실적인 거동을 보였다. 그림 속의 실선은 이온의 열운동속도의 분포를 고려해서 재평가한 β 의 값이다. 실험치와 비교하면 이 β 의 값을 사용한 계산을 했을 때에 제거효율이 적절하게 예측될 수 있다고 보고하였다.

4.2.2 고온에서의 부유입자의 제거

고온장에 대한 실험장치를 그림 17에 나타내었다. 시험용 미립자로는 고온에서도 용융·변형하지 않는 Silica 입자(평균직경 0.45 μ m)를 사용하였다. 입자의 하전장치는 내부용적 약 2 ℓ 의 금속제 상자형용기에 축벽과 바닥면의 바깥쪽은 표면에 히터와 단열재로 덮였다. 상부면의 석영 글래스창의 표면에는 금과 ITO 박막이 증착되어 있고, 상부의 램프

에서 자외선이 조사되는 것에 의해 장치내부에 흐르는 공기가 이온화되고 이온이 공기중의 시험입자를 하전시킨다. 하전장치내의 바닥면의 극판에 정직류 전압을 인가하여 전기장을 형성하고 정전영동하는 하전입자중에서 극판에 도착한 입자가 포집된다. 또, 하전장치의 하류에는 장치로부터 유출되는 모든 하전입자를 제거할 수 있는 전압을 인가한 평행판형 전극을 설치하였다. 이 실험시스템에 있어서 하전장치내 공기의 온도와 공급유량, 또 시험입자농도를 일정하게 하면서 시험입자를 도입하여 자외선 조사와 전압인가의 유무에 의한 출구에서의 입자농도의 차이에 의해 UV/광전자법에 의한 제거율을 구하였다. 또 광전자방출체와 전극판간에 흐르는 전류치도 측정하여 이온농도를 구하였다.

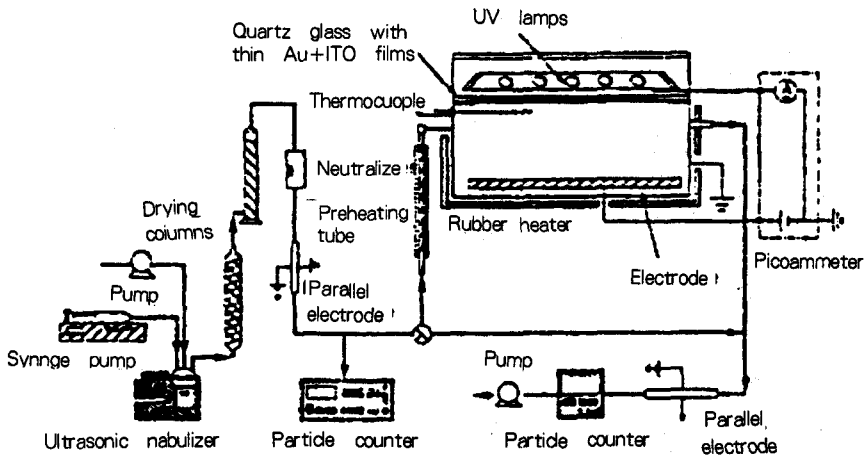


그림 17 고온에서의 UV/광전자장치의 입자제거효율을 측정하기 위한 실험장치

실험결과와 검토를 위해 장치로의 공급유량 일정조건에서의 온도에 대한 제거율의 변화를 그림 18에 나타내었다. ●는 하전 장치의 입구와 출구의 농도에 기초해 얻어진 제거율이다. 한편, ○은 하전장치와 평행평판형 전극을 병용했을 때 총 제거율이고, 이 값은 하전장치에 의한 입자의 하전율을 의미한다. 그림에서 제거율과 하전율은 온도가 상승하는 것에 동반하여 약간 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 하전장치 하부의 극판에 유입되는 전류값으로부터 이온농도를 구하여 온도에 대해 도시한 결과를 그림 19에 나타내었다. 역시 온도의 증가에 대해 이온농도가 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로 온도의 상승에 따른 제거율, 하전율의 변화는 이온농도의 저하에 의한 입자하전의 감소에 의한 것으로 판단된다. 또 매체공기의 물성의 온도의존성으로 생기는 입자의 하전량과 전기이동도의 온도에 의한 변화나 장치내

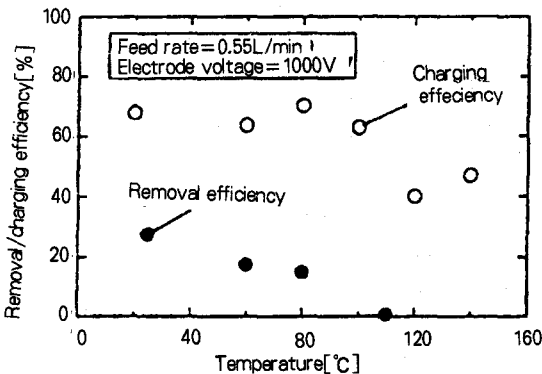


그림 18 온도에 따른 제거 및 하전효율들의 변화

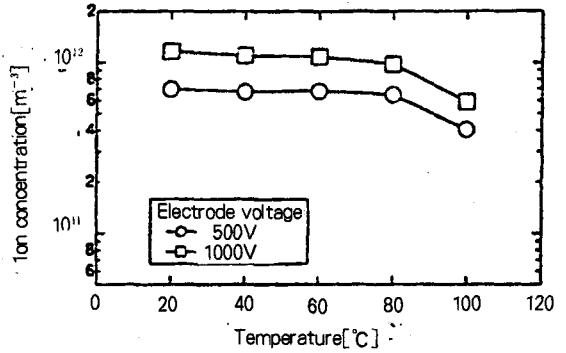


그림 19 온도에 따른 하전장치내의 이온농도의 변화

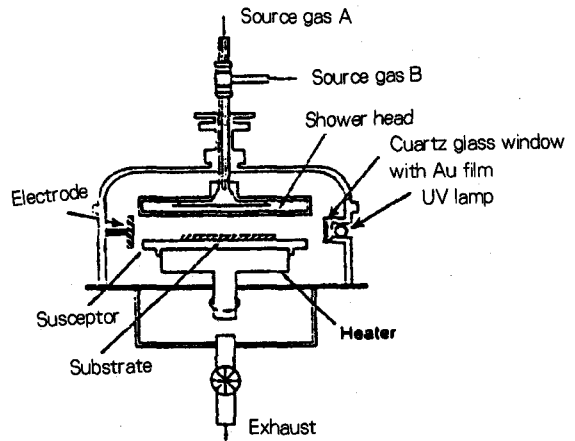


그림 20 UV/광전자법에 기초한 입자제거 유닛을 장착한 열 CVD 반응기

체류시간의 온도에 의한 변화도 제거율에 영향을 준다고 생각된다.

이러한 고온에 대한 연구결과를 반응장치에 적용한 예를 그림 20에 도시하였다. 이는 성막공정중에 발생하는 미립자를 제거하기 위하여 UV/광전자 유닛을 설계, 제작하여

열(thermal) CVD 성막장치에 결합한 경우이다. 현재 제거성능평가를 행하고 있다고 한다.

4.2.3 벽면 부착입자의 제거

시험입자로 PSL 표준입자를, 부착벽면으로 석영유리를 각각 사용하여 고속기류에 의한 입자의 제거효율을 실험적으로 검토하였다. 에어로졸화한 시험입자를 유리시험판에 붙여서 부착시키고 이를 건조기내 소정의 시간동안 방치하였다. 그 후 그림 21에 나타난 UV/광전자법을 이용한 이온발생장치에 의해 생성된 음이온을 건조공기와 함께 시험판 표면에 20분간 불어서 부착입자를 하전시켰다. 이 이온발생장치의 내부에는 금의 박막을 표

면에 증착한 자외선램프가 작동한다. 그림 22는 입자제거실험으로 사용한 장치를 나타낸다. 금속제의 직사각형 노즐에서 입자를 부착시킨 시험판에 대해 45도의 각도로 압축공기를 분사하여 부착입자를 제거하였다. 분사노즐에는 시험판에 대해 평행으로 철망을 설치, 이들을 접지시켰다. 따라서 시험판의 배면에 음의 직류전압(9kV)을 인가함으로써 음으로 하전된 입자가 벽면으로부터 멀어지는 방향의 힘을 받는 전기장이 형성된다. 시험판 부착입자의 개수는 비디오 카메라를 장치한 금속 현미경을 사용해 측정하고 제거전과 제거 후의 입자수의 비교로부터 제거효율을 구하였다.

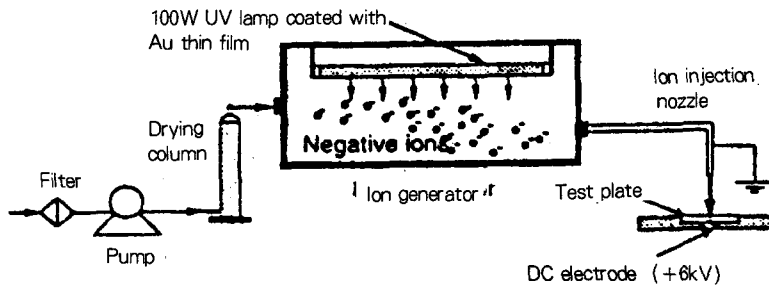


그림 21 시험판상의 입자들을 하전시키기 위한 실험장치

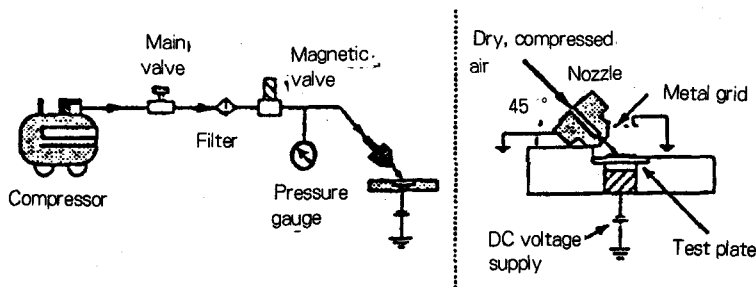


그림 22 공기제트 및 정전력에 의해 입자들을 제거하기 위한 실험장치

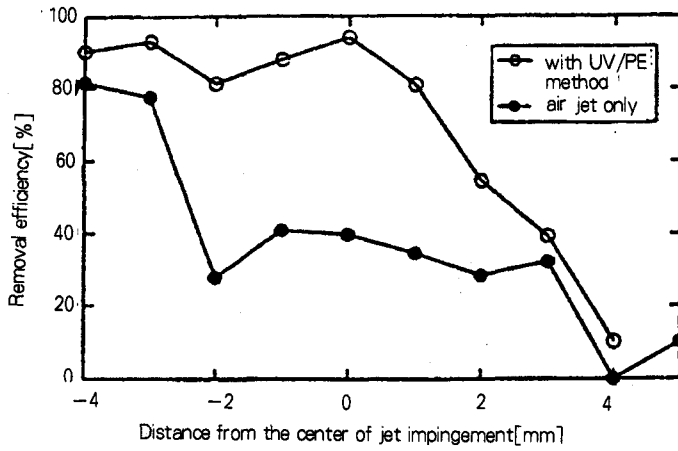


그림 23 시험관상의 위치에 따른 입자제거효율의 변화

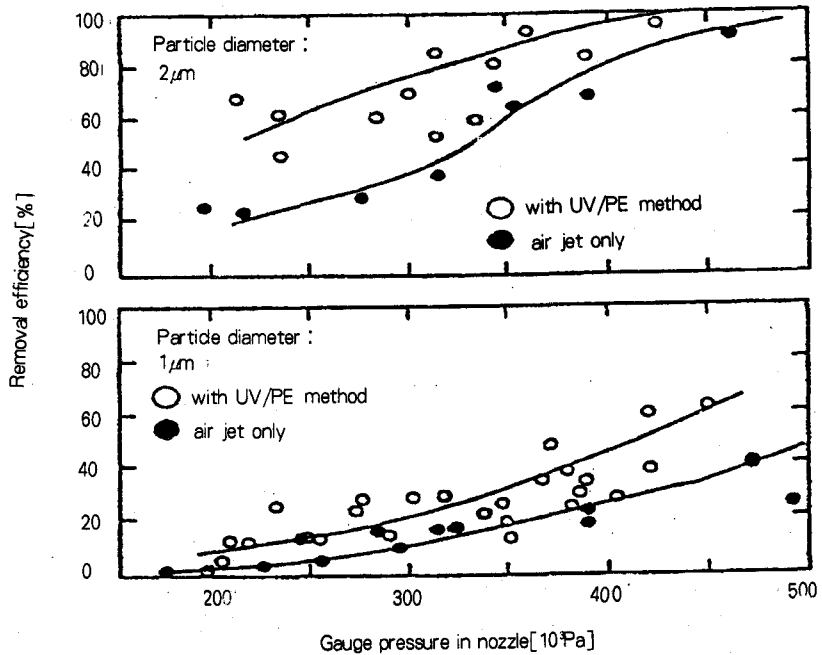


그림 24 노즐내의 게이지압력에 따른 입자제거효율의 변화

시험관상의 제거효율의 기류충돌점으로부터의 거리에 따른 변화를 그림 23에 나타내었다. 그림에서 "air jet only"로 도시된 제거효율은 이온에 의한 하전 및 제거시의 전압인가를 행하지 않았을 때의 값이다. 그림에서 기류충돌점 전후 약 6mm의 범위에서 UV/광전자법의 효과가 있다는 것을 알 수 있다. 입자직경 $1\mu\text{m}$ 와 $2\mu\text{m}$ 의 경우에 노출내압력에 대한 입자의 제거효율의 변화를 그림 24에 나타내었다. 그림에서는 제거효율의 위치에 따른 변화가 작은 기류충돌점을 중심으로 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 의 표면기준으로한 평균제거효율을 표현하고 있다. 그림에서 UV/광전자법을 사용한 경우에는 약 10%~40%의 제거효율향상이 확인되었다. 또 $3\mu\text{m}$, $0.8\mu\text{m}$ 의 입자에서도 동일한 제거촉진 효과가 확인되었다.

5. 맺음말

반도체산업에서의 기술혁신은 눈부실 정도로 이루어지고 있고, 고집적화가 급속하게 진행되고 있다. 이와 함께 ULSI의 집적도가 증가함에 따라 청정도에 대한 요구가 높아지기 때문에 제어해야 하는 대상 오염물질의 확대, 비용의 증가 등의 문제가 발생한다. 지금까지의 여재필터에 의한 청정화는 어떤 의미에서는 성숙된 공기청정기술이어서 GIGA 시대에 요구되는 고청정도나 광범위의 오염물질의 제거에는 한계가 있는 것 같다. 향후 요구되는 청정공간에서 중요한 점은 제품을 다루는 국소공간에 있어서의 오염원인이 되

는 오염원을 간편하면서 합리적으로 제어하는 기술, 즉 효과적인 신규 오염방지기술들을 균형있게 복합시킨 토탈시스템으로 개발하는 것이다.

차세대반도체 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/광전자법을 이용한 미세입자의 제어기술에 관한 본 지면에서의 검토결과를 고려하면 이 기술이 차세대반도체 제조프로세스에서의 청정화에 기여할 수 있는 요소기술로서의 가능성은 충분하다고 여겨진다. 그리고, 적용가능의 경우로서 예를 든다면 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 장치 등과 같이 시스템의 주요한 위치에 유니트화된 이러한 UV/광전자 입자제거장치를 설치함으로써 저비용의 청정화가 가능하다고 판단된다.

불행히도, 가까운 나라 일본에서는 현재 이 UV/광전자 제거장치의 스케일업이나 좀더 고온의 환경으로의 개선 등과 같은 고도화된 연구를 통하여 이 신기술이 가진 잠재능력을 가속적으로 창출하고 있으나, 우리의 경우는 본 저자가 단 한편의 논문도 발견하

지 못했을 정도로 전무한 것 같다. 메모리 반도체의 세계 제1위의 생산국답게 본 신기술에 대한 독자적인 우리의 연구가 시급히 요구된다고 관·산·학·연에 지금 권고하고 싶다. 그리고, 구체적인 답변은 향후의 과제로 남긴다.

— 참 고 문 헌 —

- (1) 藤井 敏昭 et al., 1997, “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, pp.38-44.
- (2) 藤井 敏昭 et al., 1995, “UV/光電子法による局所空筒の超清浄化”, クリーンテクノロジー, 7月, pp.63-67.
- (3) Suzuki, M. and Saiki, A., 1994, “エアロゾルと表面汚染物の分析技術”, 空気清浄, 第32卷, 第3, 日本空気清浄協會, pp.1-6.
- (4) Fujii, T., Suzuki, T. and Sakamoto, K., 1997, “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, 제35권, 제3호, 日本空気清浄協會, pp.51-58.
- (5) Shimada, M., Okuyama, K., Adachi, M. and Fujii, T., 1996, “Electrostatic Removal of Fine Gasborne Particles by a Device Using UV/Photoelectron Method”, Proc. of the 13th International Symposium on Contamination Control, The Hague, Nethelands, pp.143-149.
- (6) Shimada, S., Okuyama, K. and Fujii, T., 1998, “UV/光電子法による半導體製造プロセスのクリーン化”, 第16回空氣清浄とコンタミネーションコントロール研究大會, pp.91-94.
- (7) Adachi, M. and Fujii, T., 1999, “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クカーの粒子除去過程”, 第17回空氣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.
- (8) I300I and J300, 1998, “300mm Integrated Vision for Semiconductor Factories”, SEMATECH.
- (9) Fuchs, N.A., 1963, “On the Stationary Charge Distribution on Aerosol Particles in a Bipolar Ionic Atmosphere”, Geofis. Pura Appl., Vol.56, pp.185-193.