

1. 슈퍼 클린룸의 必要性

1.1 반도체 산업의 성장

최근 몇년 사이에 반도체는 높은 集積度, 小型化 및 信賴性의 향상에 의해서 그 이용분야가 급속하게 넓어졌고 이에 따라서 需要도 급속하게 신장되었다고 하는것은 새삼스럽게 말할것까지도 없을 것이다.

반도체는 그림1에 나타내는것과 같이 여러가지 종류가 있는데, 최근 반도체 수요의 主流는 그중에서도 集積回路(Integrated Circuit, IC)중의 반도체 IC이며, 반도체라고 하면 대부분 이 반도체 IC를 의미할 정도로 되어있어서 바야흐로 이것이 「산업의 쌀」이라고 불릴 정도로 모든 기술분야에서 불가결한 부품으로 되어있다.

이와같은 반도체의 중요한 용도는 표

1¹⁾에 나타내는것과 같이 완구, 오디오제품, 전화, 룸 에어컨 등의 가전제품으로부터 각종 산업기계, 사무 자동화 기기, 소형 계산기로부터 초대형 전자계산기, 그리고 자동차 정보·통신시스템 등에 이르기까지 우리들 사회생활의 거의 모든 제품이나 기기류에 그 이용분야가 걸쳐있다고 해도 過言이 아니다.

이와같이 급속하게 확대되고 있는 IC의 出荷額은 1982년에 전 세계의 합계가 약 100億\$ (약 2조5000억₩)에 도달하였는데 그중 60%를 미국계, 30%를 일본계, 나머지 10%를 기타 여러나라의 제조업자가 공급하고 있다. 일본의 IC생산액은 표2에 나타내는것과 같이²⁾ 해가 거듭함에 따라 급상승하고 또한 제품은 국내수요뿐만이 아니고 미국을 중심으로 세계 모든나라로 수출되는데 수출의 비율은 전체 생산액의 40%정도에 도달하고 있고 특히 미국이 커다란 수입국으로 되어있기 때문에 최근 미일간의 무역마

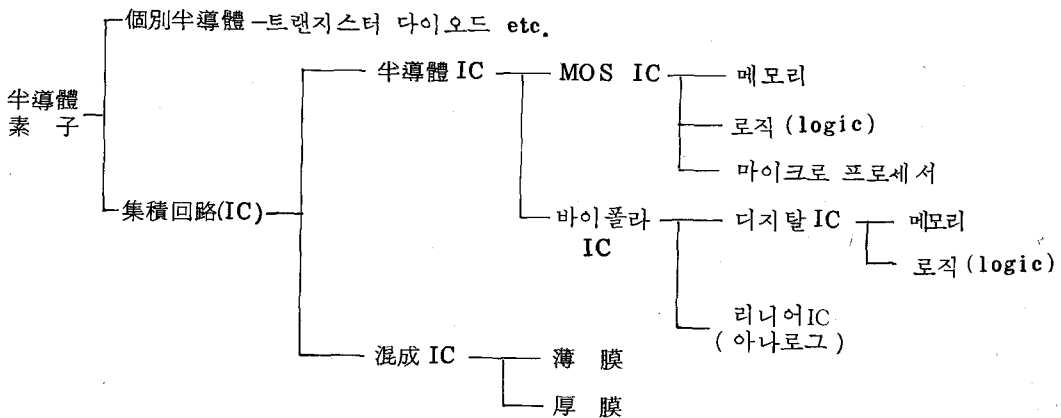


그림1 半導體素子の 分類

表 1 IC의 주요한 용도와 특징

分 類		주요한 용도	設備 投資	開發 費	集積 度	量產 性	其他의 特徵	
							長 點	短 點
半 導 體 I C	바이폴라 리니어	비디오·오디오機器. 통신機	大	大	中	良	低雜音, 低drift	消費電 力이
		電算機, 計測機器					高 速	많다.
	MOS	電卓, 時計, 마이콤 電算機의 메모리			大	優	消費電力력이 적다. 값이 싸다.	低 速
混 成 I C	薄 膜	통신機	中	小	小	可	induc- tance 도	高周波, 약간 高精度 大形
	厚 膜	비디오·오디오機器. 自動車	小				조립할 수 있다.	高電力, 비싸다. 高電流

찰 대상품목의 하나로 되었다.

IC는 앞으로도 그 이용분야가 더욱 확대일로를 걸을것으로 예상되고 있는데 그 기술혁신은 극히 심해서 라이프사이클(life cycle)은 그림2에 나타내는것과

같이³⁾ 集積도가 4배로 된 새로운 제품(device)이 거의 4년마다 시장에 出荷되고 또한 신제품일수록 尖頭(peak) 需要가 많아지고 있으나 한편 가격은 그림3에 나타내는것과⁴⁾같이 수요의 증대후 2

表 2 日本의 IC賣上高의 研究開發·設備投資

年 度	IC 賣上高 (A)		研究開發支出高 (B)		B / A (%)	設備投資支出高 (C)		C / A (%)
	(百萬圓)	前年比	(百萬圓)	前年比		(百萬圓)	前年比	
73年度	86,223	-	17,209	-	19.7	18,874	-	21.9
74	83,405	96.7	18,532	108.8	22.2	17,595	93.2	21.2
75	108,158	129.7	21,524	116.1	19.9	11,379	64.7	10.5
76	164,924	152.5	24,297	112.9	14.7	35,191	309.3	21.3
77	155,474	94.3	24,456	100.7	15.7	21,958	62.4	14.1
78	251,881	162.0	37,997	155.4	15.1	45,932	209.2	18.2
79	374,910	148.8	54,774	144.2	14.6	84,103	183.1	22.4
80	547,708	146.1	69,037	126.0	12.6	136,875	162.7	24.9
81	618,139	112.9	92,179	133.5	14.9	155,449	113.6	25.1
82	766,282	124.0	174,243	189.0	22.7	203,506	130.9	26.6
83 (예상)	1,070,619	139.7	158,226	90.8	14.8	321,238	157.9	30.0

資料 : 通産省調査

년정도의 사이에 $\frac{1}{10}$ 정도로 크게 낮아져서 최종적으로는 집적도가 4배로 되었음에도 불구하고 가격은 거의 같은 수준으로 되어있는 상태로 경쟁이 매우 심한 상품으로 되어있다.

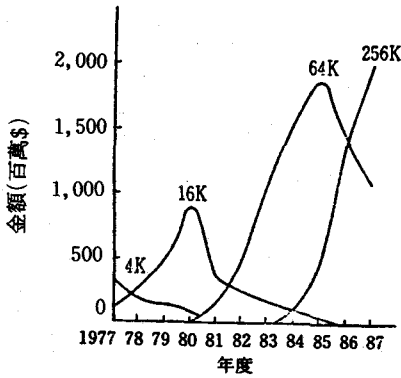


그림2 IC life cycle
(世界需要의 推移)

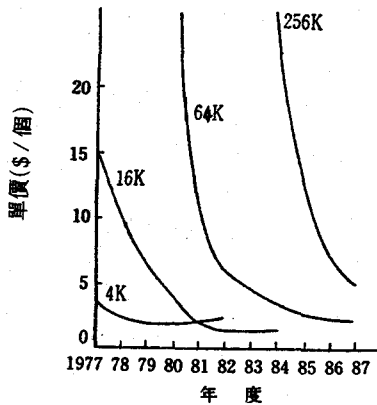


그림3 IC의 價格의 推移

이와같은 IC에 대한 수요의 급격한 성장과 급격한 기술혁신에 대해서 일본의 IC산업계는 적극적인 연구개발과 설비투자를 추진하여 온것을 표2로부터도 알 수 있다. 이와 같은 IC 産業界의 設備投資의 急増은 IC 제조공장의 生死를 결정한다고 하는 클린룸설비에 대한 수요도

급증시키고 있어서 어떤 조사에 의하면 그림4에 나타내는것과⁵⁾ 같은 거대한 시장으로 신장되어 나가고 있다고 한다(다만 클린룸시장은 그림5에 나타내는것과 같이⁶⁾차츰 바이오 클린룸에 대한 수요의 확대에 의해서 밀려날 것으로도 예상되고 있다).

반도체기술의 혁신과정에서 클린룸기술도 종래의 공기중의 먼지입자의 제거 대상 粒徑을 0.5~0.3 μ m 정도로부터 0.1 μ m 이하 정도로 할것이 요구되게 되었

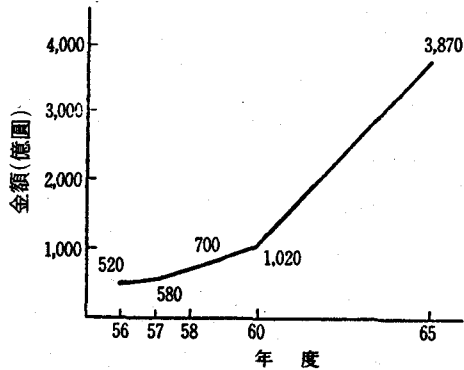


그림4 클린룸의 市場規模 推移
(山一證券經濟研究所 調査)

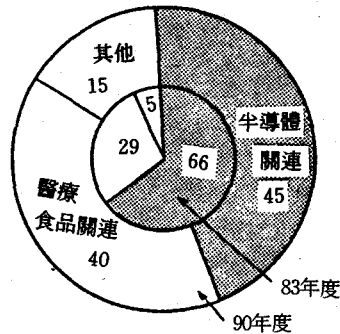


그림5 클린룸시장의 市場구성
(山一證券經濟研究所 調査)

고, 따라서 종래의 클린룸보다도 더욱 깨끗한 슈퍼 클린룸이 요구되게 되었다.

1.2 집적회로 기술의 발전

1940년경부터 항공기, 미사일, 우주개발 등에 이용되는 전자기기의 소형화, 輕量化를 목표로해서 전자부품의 치수를 작게해서 高密度로 實裝할것이 기도되었고, 다음에 이들 전자부품을 회로단위로 표준화한 모듈(module)이 생산되었고 다시 이들 회로를 一體化한 집적회로(IC)가 생산되었다. IC의 기초적인 기술이 생겨난것은 1950년대 후반의 일이다. IC는 “많은 回路素子が 하나의 基板上 또는 基板內에서 분리할 수 없는 상태로 결합되어 있는 초소형 회로”라고 정의되어 있다.

이 초소형 회로에는 蒸着이나 스퍼터링(spattering)에 의한 薄膜이나 또는 인쇄기술을 이용한 厚膜에 의해서 저항이나 콘덴서를 형성하는 受動素子로부터 출발한 膜IC와 트랜지스터, 다이오드 등의 能動素子로부터 출발한 반도체IC 및 이들을 組合한 混成IC(Hybrid IC)가 있는것은 그림1에 나타낸것과 같다.

현재 반도체IC는 실리콘을 주재료로 하는 반도체 재료중에 능동소자와 수동소자를 一體로해서 만든것인데, 실리콘이 널리 채용되고 있는것은 비교적 쉽게 그리고 값싸게 입수할 수 있는데다가 그의 트랜지스터가 200°C정도까지 충분하

게 작동한다고 하는 장점이 있기 때문이다. 또한 미래의 반도체로서 결정중에서의 전자 속도가 실리콘에 비해서 6배정도 빠른 갈륨비소(GaAs), HEMT, 光電子 集積回路, Josephson素子 등의 高速, 低電力消費型 素子の 이용도 연구되고 있다.

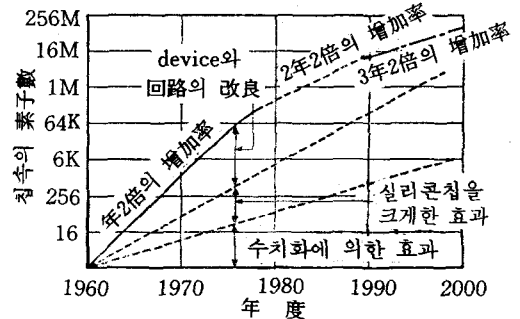


그림6 칩속의 素子數의 年次增加와 그의 要因

表 3 集積度에 의한 IC의 分類

IC의 分類	集積度	
	게이트數/칩	素子數/칩
SSI 1. (Small-Scale Integration)	< 10	< 10 ²
MSI 2. (Medium-Scale Integration)	10 ~ 10 ²	10 ² ~ 10 ³
LSI 3. (Large-Scale Integration)	10 ² ~ 10 ⁴	10 ³ ~ 10 ⁵
VLSI 4. (Very Large Scale Int.)	> 10 ⁴	> 10 ⁵

IC는 전술한 정의에도 나타낸것과 같이 여러개의 소자와 이들 소자 사이를 연결하는 회로를 내부에 갖고있다. 한개의 실리콘 칩위에 집적되어 있는 소자수

를 집적도라고 하는데, 이 집적도가 해마다 상승하고 있는것이 IC기술이 다른 기술과 다른 특징이며, 그림6⁷⁾에 나타내는것과 같이 IC는 대개 1년간에 2배의 속도로 집적도가 향상되고 있다. 이와같이 집적도의 향상은 그림속에도 나타나 있는것과 같이

1. 기기(device) 및 회로기술의 향상
2. 실리콘 칩의 대형화
3. 미세화기술의 향상

에 의한것이다.

IC는 소자의 집적도에 따라 표3에 나타내는것과 같이 Small Scale Integration (SSI), Medium Scale Integration(MSI), Large Scale Integration(LSI), Very Large Scale Integration(VLSI)로 분류되는데, 그위에 Ultra Large

表 4 MOS의 스케일링(scaling) 법칙

素子の 項目	κ	(例) $\kappa=2$
素子の 寸 수	$1/\kappa$	1/2
電 壓	$1/\kappa$	1/2
電 流	$1/\kappa$	1/2
傳 達 遲 延	$1/\kappa$	1/2
消 費 電 力	$1/\kappa^2$	1/4
速 度 · 電 力 債	$1/\kappa^3$	1/8
集 積 度	κ^2	4
칩의 電 力 密 度	1	1
카파시턴스(capacitance)	$1/\kappa$	1/2
配 線 抵 抗 R	κ	2
RC	1	1
電 流 密 度	κ	2
conduct 抵抗	κ^2	4

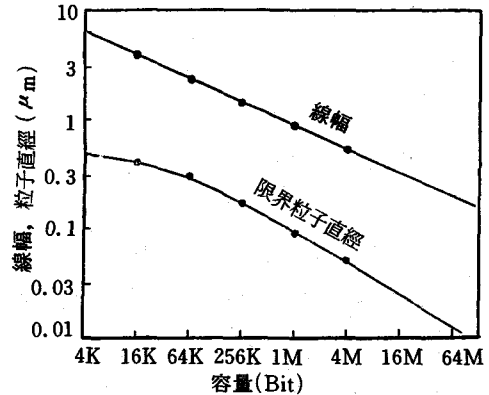


그림7 DRAM의 記憶容量과 그의 線幅 및 微粒子 臨界直徑의 關係

Scale Integration(ULSI, 超超LSI)으로 발전할 것이라고 한다. 또한 집적도는 論理回路의 경우에는 게이트(gate)수로, 記憶回路의 경우에는 소자수로 나타내는데, 논리회로는 기억회로보다도 복잡하기 때문에 논리회로의 게이트수는 기억회로의 소자의 수에 비해서 약 한자리(桁) 만큼 작아도 집적도는 거의 같게 된다.

이와같은 집적도의 향상은 특히 微細加工에 의한 機器크기(device size)의 微小化의 효과가 커서 예를들면 MOS기기에서 縮小係數를 k 로 하면 다른 성능은 표4의 比例縮小法則⁸⁾(scaling rule)으로 나타내는 것과 같이 縮小되어 高速化와 低消費電力化가 가능하게 된다. 이와같은 기기크기의 미소화에 따라서 집적회로 제품의 커다란 결함요인으로 되고있는 먼지입자의 제거해야 할 粒徑의 범위도 차츰 작아지고 있다. 그림7⁹⁾은 MOS形 DRAM의 최소 가공치수와 제거해야

表 5 MOS DRAM의 試作發表, 시제품의 出荷時期的 推移와 豫想

DRAM의 種類(bit)	1 K	4 K	16 K	64 K	256 K	1 M	4 M
試作發表 時期	1970	1972	1974	1977	1980	1983~84	1987~?
發表와 發表의 間隔(年)	2	2	3	3	3	4	
發表로부터 試作品 出荷까지의 間隔	0	1	2	2	2	3	4
試作品 出荷의 時期	1970	1973	1976	1979	1982	1986~87	1991~?
試作品 出荷의 間隔	3	3	3	3	4	5	

할 최소 먼지 粒子直徑과의 관계를 나타낸 것인데 경험적으로 제거대상 먼지입자의 최소직경은 가공치수의 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{10}$ 程度로 되어있다. 이 그림으로부터도 알 수 있는것 같이 종래의 클린룸規格에서 對象으로 하고있는 最小 먼지 粒子直徑 0.5 μ m은 대개 16K DRAM에 대한것으로서 現在 市販되고 있는 256K DRAM에서는 0.2 μ m, 그리고 샘플 出荷가 시작되고 있는 1M DRAM級으로 되면 粒子直徑 約 0.1 μ m以上の 먼지가 除去對象으로 된다.

이와같은 集積回路의 高密度化의 발걸음은 표5¹⁰⁾에 나타내는것과 같이 1970년에 1K의 試作이 發表되고부터 4K, 16K는 모두 2년마다, 64K, 256K는 3년마다 發表되고 있어서 高密度로 되는데 따라서 차츰 그 期間이 길어지기는 하지만 다른 産業技術에 比해서 그 進歩가 急激한 것 을 잘 理解할 수 있다. 1985년경이 되어서 日本의 대규모 반도체 메이커는 표6에 나타내는 것과 같이 1M級의 超LSI의 試驗出荷를 始作하였다. 이와같은 激

表 6 日本메이커가 開發한 1Mbit DRAM

項 目	메이커					
	日本電氣	東 芝	東 芝	日 立	富士通	三菱電機
메 모 리 構 成 bit	1M×1	1M×1	1M×1	1M×1	1M×1	1M×1
프 로 세 스 技 術	NMOS	CMOS	NMOS	CMOS	NMOS	NMOS
design rule (μ m)	1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.2
memory cell size(μ m ²)	20.4	34.2	32.0	24.1	26.5	35.7
chip-size (mm ²)	43.24	62.5	63.24	47.3	54.7	65
access 時 間 (ns)	85	60	70	74	90	90
cycle 時 間 (ns)	200	190	190	-	200	-
消費電力作動時(mW)	345	150	270	230	350	350
消費電力待機時(mW)	14	1.5	15	1.5	15	15
電 荷 量 (fF)	50	40	70	70	55	-
capacitor	溝摺型	從來型	從來型	溝摺型	3次元型	從來型

렬한 技術競爭이 半導體產業界의 現狀이 기도 하다.

1.3. 集積回路 製造技術의 概要

1.3.1 半導體와 半導體 IC

반도체(semi conductor)란 金屬과 같은 電氣 良導體(比抵抗 $10^{-3}\Omega\text{cm}$ 以下)와 고무와 같은 絶緣體(比抵抗 $10^{10}\Omega\text{cm}$ 以上)의 中間에 들어가는 比抵抗(物體가 四方 1cm 인 立方體의 抵抗)이 $10^{-3}\sim 10^{10}\Omega\text{cm}$ 程度의 範圍內인 物質을 말한다. 半導體에는 그 溫度를 上昇시키면 物質內에서 自由롭게 移動할 수 있는 自由電子가 發生해서 電氣의 導體로 되는 眞性半導體와 이와 같은 순수한 반도체에 微量의 3價 또는 5價의 原子價를 갖는 不純物을 混合해서 만들어지는 不純物 半導體가 있다. 眞性半導體로서는 그 純도가 텐·나인(99.9999999%)과 같이 아주 높은 실리콘(Si)이나 게르마늄(Ge)이 있는데 이들은 前述한것 같이 溫度의 上昇과 함께 그 抵抗値가 減少한다. 不純物 半導體에는 브롬(B), 알루미늄(Al),

갈리움(Ga), 인듐(In) 등의 3價의 原子를 混入한 P型半導體와 磷(P) 砒素(As), 안티몬(Sb), 비스무트(Bi) 등의 5價의 原子를 混入한 N型半導體가 있는데, 이들 不純物 半導體는 常溫 附近에서는 溫度의 上昇과 함께 抵抗이 增加하는 性質을 갖는다. 不純物 半導體에 混入된 3價原子를 受體(acceptor), 5價原子를 도너(donor)라고 한다.

1개의 結晶中에 일부분을 P型半導體, 다른 일부분을 N型半導體로 形成한것을 PN接合이라고 하고 그림 8(a)에 나타내는 것과 같은 단순한 PN接合이 다이오드이고, P型和 N형을 같은 그림의 (b) 또는 (c)와 같이 샌드위치狀으로 接合한것을 트랜지스터라고 한다. 트랜지스터 中央部의 半導體를 베이스(base), 양단의 반도체를 이미터(emitter) 및 콜렉터(collector)라고 한다. 이와같은 PN接合型의 半導體 素子を 半導體 디바이스(device, 機器)라하고, 다이오드를 單一接合 디바이스, 트랜지스터를 複合接合 디바이스라고 한다.

半導體 IC는 半導體中에 트랜지스터나

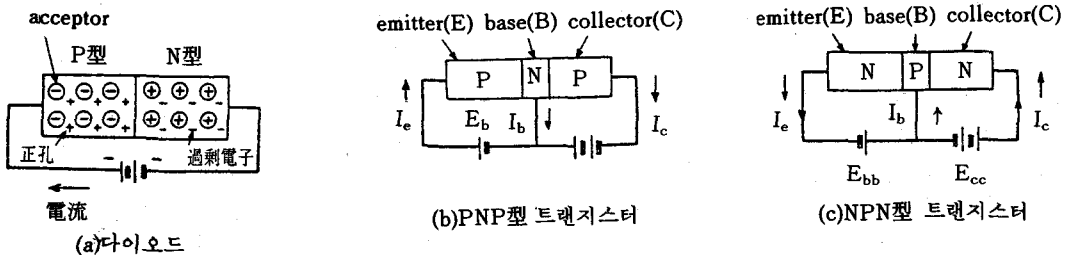


그림8 P N 接合

다이오드의 能動素子와 抵抗이나 容量 등의 受動素子를 一體로 해서 만든것인데 모놀리식(monolithic) IC라고도 한다. 모놀리식 IC는 거기에 集積되는 트랜지스터가 바이폴라(bipolar)인지 MOS(Metal Oxide Semiconductor)인지에 따라서 바이폴라 IC와 MOS IC로 區分된다. 바이폴라 IC에는 디지털 IC와 리니어 IC가 있는데, 動作速度가 빠르므로 超大型 電子計算機 등에 利用되고 있으나 大規模集積(LSI)化, 低電力化에 대해서는 MOS形보다 不利하다. MOS IC는 대부분이 디지털 IC인데 素子分離를 위한 領域이 필요하지 않고, 프로세스가 비교적 간단해서 回路構造의으로 相互配線을 하기쉬운것 등의 特徵에 따라서 LSI에 적당한데 P 채널 MOS, N 채널 MOS 및 이들을 組合한 CMOS-(Complementary MOS) 등 變化가 많은

回路構成을 할 수 있지만 動作速度가 바이폴라 IC에 비해서 떨어진다. 최근에는 양자의 性能上的 缺陷이 차츰 改良되어 가는 하지만 平面構造이기 때문에 微細加工에 의한 高集積化, 高密度化가 容易해서 超LSI化한 경우에도 量産化에 適當하고 汎用性이 높은 MOS IC가 主流를 이루고 있고, 또한 特히 低消費電力化라고 하는 觀點에서 CMOS가 主流를 이루어 가고 있다.

1,3,2 LSI의 製造프로세스

LSI의 製造프로세스는 그림9¹¹⁾에 나타내는것 같이 크게 나누어서

單結晶 製造, 回路設計, 마스크製造, 웨이퍼處理, 組立, 檢査.

의 6工程으로 構成된다.

1) 실리콘 웨이퍼 : LSI 에 사용되는 실리콘은 高純度の 單結晶의 棒狀材料를 다이아몬드 컷터(diamond cutter)로 두

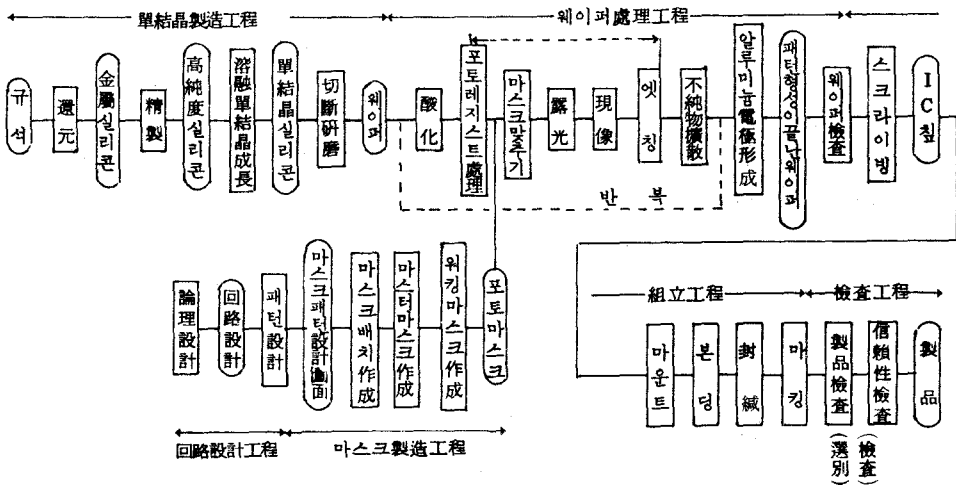


그림9 LSI의 製造 프로세스

계 0.5~0.6mm程度로 切斷해서 웨이퍼로 하고, 鏡面研磨 하고 洗淨한후 마감처리 한것을 利用한다.

이 웨이퍼는 最終적으로 4방數mm로 切斷해서 칩(chip)으로 하는데 웨이퍼의 直徑이 커질수록 表7¹²⁾에 나타내는 것같이 얻을 수 있는 칩의 數가 많아져서 값이 싸게 되므로 웨이퍼의 口徑은 차츰 大型化되어 現在는 口徑 125mm의 웨이퍼가 主流를 이루고 있다.

表 7 웨이퍼의 口徑과 칩의 數

웨이퍼의口徑(mm)		50	75	100	125	150	
面 積 比		1	2.25	4	6.25	9	
칩의사이즈 (mm)	3	칩수의 比	164 1	392 2.4	732 4.5	1,200 7.3	1,808 11
	5	칩수의 比	52 1	140 2.7	256 4.9	428 8.2	624 12
	7	칩수의 比	24 1	6 2.8	120 5.0	20,8 8.7	312 13

2) 回路設計 : LSI의 設計는 먼저 最終的인 組立機能을 생각하면서 LSI의 機能, 仕様을 決定하고 그 內容을 만족하는 理論回路나 方法을 設計하고, 이어서 이것을 트랜지스터나 抵抗 등의 素子를 사용하는 電氣回路로 바꾸어서 回路設計를 마친다. 이 回路에 따라서 各 素子나 配線을 各各의 製造工程에 따라 最小의 面積이 되도록 配置한다. 이것을 패턴(pattern)設計라고 한다.

3) 마스크製造 : 패턴設計에 의해서 만들어진 配置에 따라서 各各의 製造工程으

로 分解해서 패턴의 寸法(寸法)를 읽어서 工程別의 패턴圖를 만든다. 이것을 마스크原圖라고 한다. 이 마스크原圖는 LSI 1個分の 最終마스크와 相以하고, 크기가 100~400倍인 것으로서 이것을 사진技法에 의해서 LSI의 原寸수까지 縮小하는 동시에 같은 패턴의 어레이(array)를 만든다. 종래는 原寸수의 마스크를 만드는데 사람의 손으로 하였으나 最近에는 컴퓨터制御하는 電子빔(beam)에 의한 마스크製造方法도 사용되고 있다.

4) 웨이퍼의 處理 : 웨이퍼의 處理工程은 그림10¹³⁾에 MOS IC의 예를 나타내는 것과 같이 酸化, 擴散, 리소그라피(lithography)工程의 반복으로 이루어진다. 먼저 실리콘 웨이퍼에 硼素 등의 受體(acceptor)原子를 添加해서(이것을 도핑(doping)이라고 한다) P型基板을 만들고 이것을 酸化爐에서 酸化시켜서 表面에 酸化膜(SiO₂)를 만든다. 이 酸化膜에 포토레지스트(photo resist)를 塗布하고 마스크를 사용해서 포토레지스트위에 露光하고 이어서 現像시킨 후에 藥品이나 플라즈마 등으로 蝕刻(etching)해서 레지스트(regist)를 除去한 다음에 擴散爐法이나 이온 打込法으로 不純物을 基板內에 擴散시킨다. 最近에는 포토레지스트上으로 露光시키는 技術에 電子線이나 X線, 이온빔(ion beam) 등도 利用되고 있다. 또한 蝕刻技術로서는 弗(素)酸 등의 溶液을 사용하는 濕式(wet)蝕刻

以外에 反應가스를 플라즈마化한 건식 (dry)엡칭이나 이온빔엡칭 등의 技術도 사용되고 있다. 濕式엡칭의 경우에는 엡칭後에 洗淨이 필요하게 된다.

이온의 注入에 의해서 半導體를 形成하면 그위에 실리콘被覆을 만들고 리소그라피(litho graphy, 석판인쇄)工程으로 다음의 半導體 등의 形成을 위한 工程으로 들어간다. 이 실리콘의 被膜은 CVD法이라고 하는 加熱爐內에 실리콘化合物을 보내서 이것을 還元시켜서 웨이퍼위에 실리콘膜을 만드는 方法이 널리 採用되고 있다. 半導體의 表面에 絶緣膜이나

導電體의 膜을 만드는 工程도 같은 方法을 사용하고 있다. 다만 導電體 膜의 形成法으로서 CVD법 以外에 眞空蒸着法이나 마그네트론 스패터(magnetron spatter)法 등도 사용되고 있다.

5) 組立, 檢査: 패턴의 形成이 끝난 웨이퍼는 절단해서 칩(chip)으로 하고 여기에 電極板 등을 所定の 位置에 固定(이것을 마운팅(mounting)이라고 한다)하고 리드프레임(lead frame)에 接着된 알루미늄電極으로부터 金 또는 알루미늄線을 사용해서 外部引出 端子로의 配線(이것을 본딩(bonding)이라고 한다)을 하고 본딩이 끝난 IC칩은 金屬케이스, 樹脂모ULD(mould)등에 의해서 保護카바를 씌운후(이것을 패키징(packaging)이라고 한다) 抜取(sampling)에 의해서 제품의 各種 特性·機能 등을 檢査한 다음에 出荷한다.

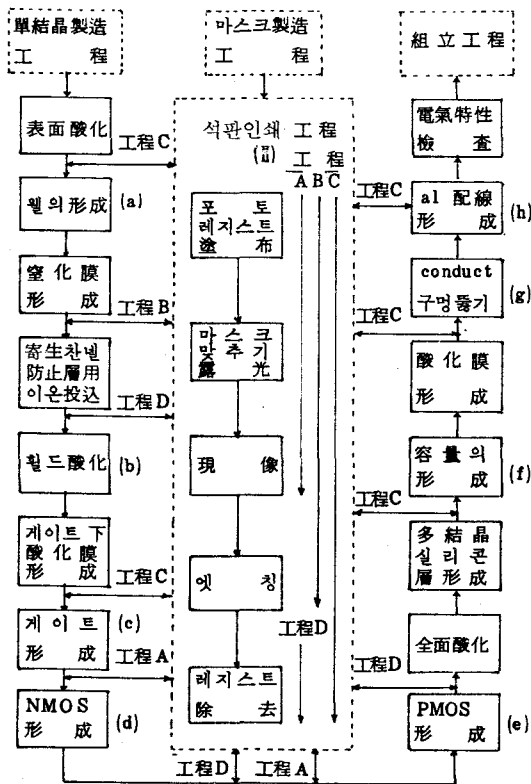
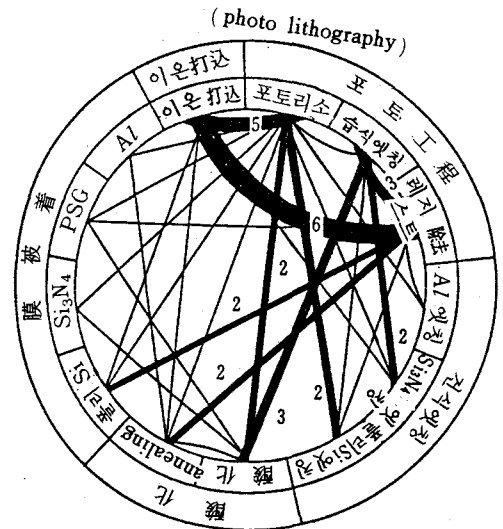


그림10 MOS IC의 웨이퍼處理의 flow diagram



(그림중의 數字는 往來回數)

그림11 MOS 64K DRAM 工程往來圖

그림11은 MOS 64K DRAM에서의 공
 程이 반복되는 모습을 나타낸 것이다.
 그림10과 같이 이 그림으로부터도 각종
 의 공程을 몇번씩이나 往復하고 있는것
 을 理解할 수 있다.

그림12는 IC工場内の 配置의 例를 나
 타낸 것이다.

또한 半導體 IC 製造公程의 全自動
 화도 試圖되고 있는데 그림13은 空氣의 浮
 力과 推進力을 이용해서 웨이퍼를 搬送
 해서 各各의 프로세스를 連結하도록 한
 IBM社의 QTAT(Quick Turn Around

Time) 라인인데 空氣搬送 시스템의 한
 쪽에 製造裝置를 설치해서 웨이퍼는 基
 本的으로는 枚葉(1個씩) 處理하고, 일부
 는 批次(batch)處理로 하며 空氣搬送 시
 스템을 깨끗한 터널로 하므로써 裝置는
 특별한 클린룸內에 설치하지 않아도 좋
 도록 한 構造로 되어있다.

그림14는 陸上競技場의 트랙과 같은
 空氣搬送 시스템을 설치하고 그의 양쪽
 에 製造裝置를 設置해서 全體를 淸淨度
 class 100으로 하고 淸淨部에는 사람이
 들어가지 않도록 한 構成으로서 作業者
 로부터의 發塵이 웨이퍼에 영향을 주지
 않도록 되어있다.

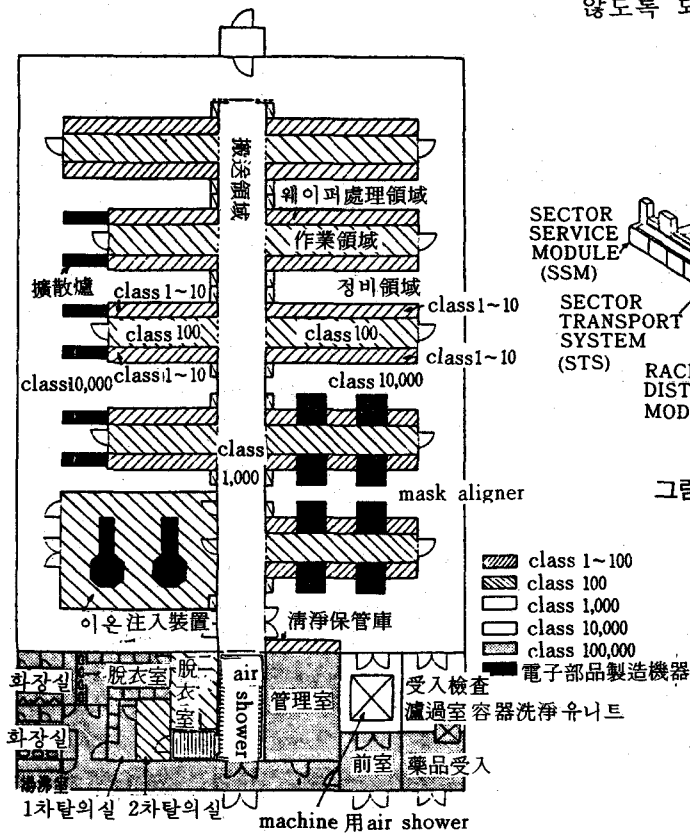


그림12 IC工場의 배치의 例

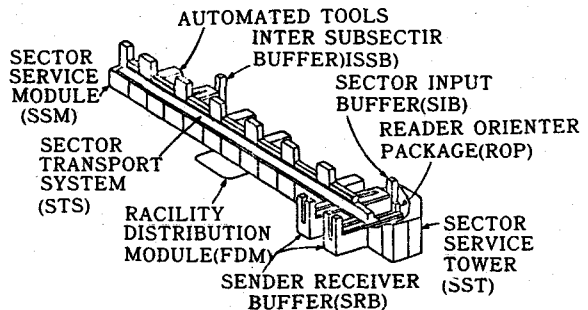
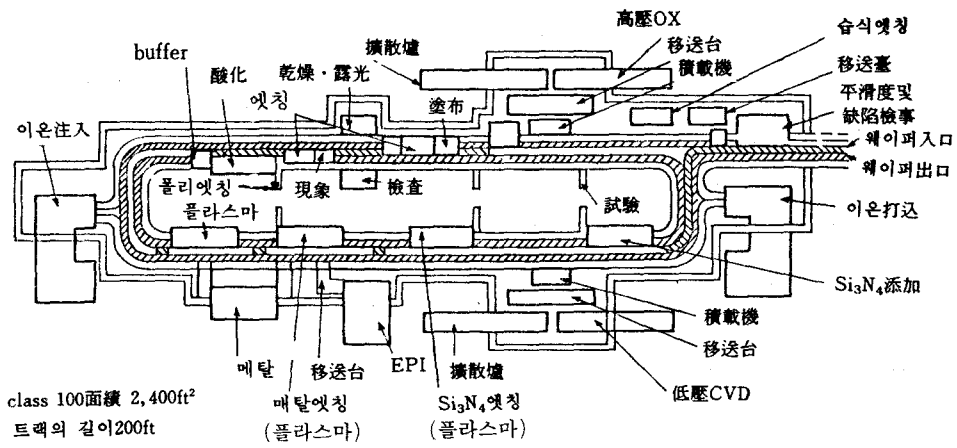


그림13 IBM社의 QTAT概略圖



class 100面積 2,400ft²
트랙의 길이 200ft

그림 14

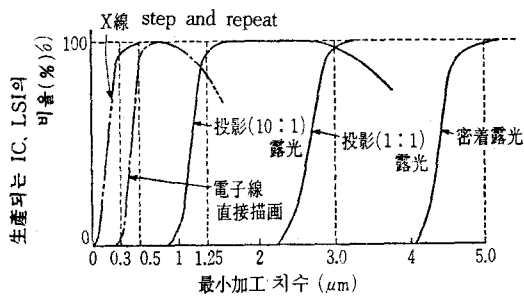


그림 15 最小 加工치수와 사용되는 석판인쇄 技術의 種類

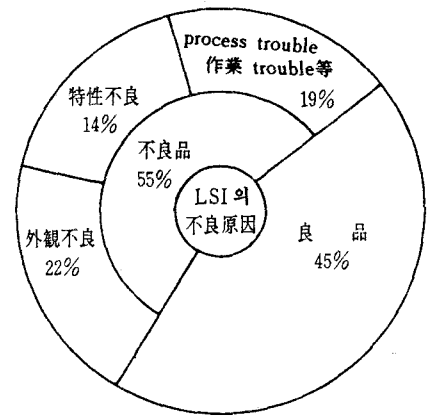


그림 16 MOS 메모리 LSI의 不良原因 分析의 例

2. 슈퍼 클린룸의 形成

2.1 超LSI 製造를 위한 環境條件

半導體 IC의 微細化, 高集積度化에 따라서 IC의 패턴치수는 數 μm 정도로부터 차츰 $1\mu\text{m}$ 정도로 急速하게 微細化되어 가고있다. 또한 이와같은 高集積度화와 함께 웨이퍼의 大口徑化, 製品 收率의 向上을 위해서 새로운 製造技術도 導入 되어 가고있다. 그림 15¹⁷⁾ 는 석판인쇄 技術과 裝置의 變遷을 나타낸것인데 가로軸에 가공치수, 세로軸에 그 석판인쇄 技術이 生産에 이용되는 비율을 나타내

고 있다. 現在는 10:1의 縮小投影 靈光으로의 移行期로 되어있다.

이와같은 微細化 技術의 進歩에 대해서 生産이나 研究의 現場인 室內環境을 될 수 있는한 均質한 狀態로 유지하는 것이 不可避하게 되어가고 있다. 製造프로세스 등에 영향을 미치는 室內環境條件으로는

空氣, 물, 藥品, 生産가스, 熱, 振動, 靜電氣 등이 특히 중요한 項目으로서 취급되게 되어가고 있다. 이들 項目에 대해서 最近의 LSI, 超LSI製造工程에서

는 表8에 나타나는것 같은 條件이 目標로서 揭記되어 있다. 超LSI 製造工程에서 특히 精密한 環境條件의 維持를 필요로 하는것은 석판인쇄 工程에 있어서의 레지스트塗布, 마스크 맞추기, 露光, etching의 各 工程이다.

2.2 超LSI의 缺陷과 微粒子의 影響

超LSI의 製造는 收率과의 싸움이라고도 한다. 그림16은 MOS 메모리의 不良原因 分析의 例를 나타낸것인데 收率은 45%로 되어있다. 現在 超 LSI 製造工場의 建設費는 200~300億 圓에 도달하는 것이 적지않다. 이와같은 거액의 資金으로 建設된 工場에서의 收率의 美日間の 比較는 1:2라고도 한다. 실리콘 웨이퍼의 原材料를 같은 量만큼 投入하고 같은 規模의 製造設備를 運轉하는것으로 생각하면 같은 投入費用으로 美國에서는 日

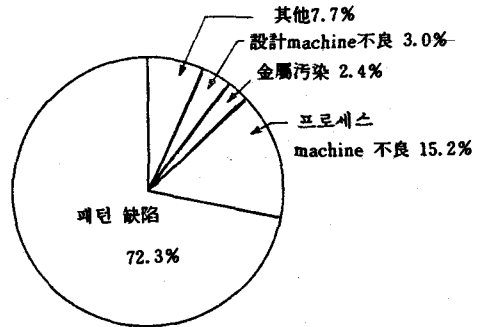


그림17 最近의 高集積LSI device의 웨이퍼 프로세스 完了後의 不良分類

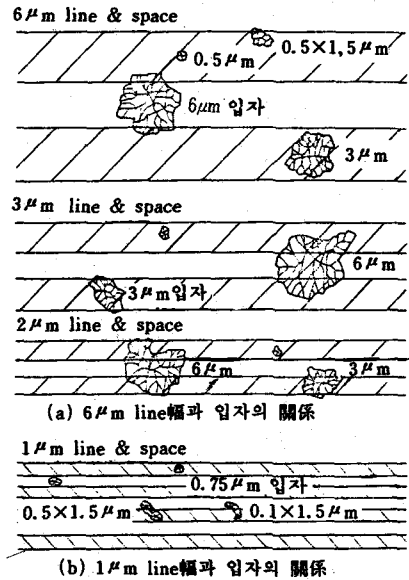


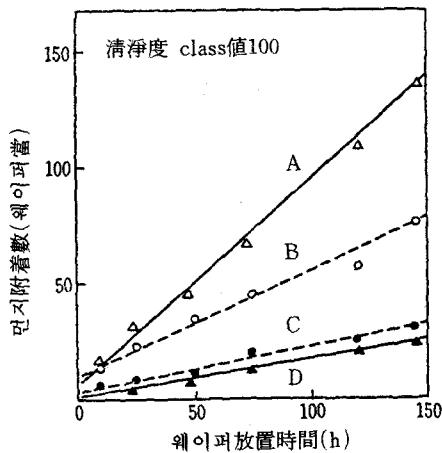
그림18 먼지입자와 패턴幅 間隔과의 모델그림

表 8 性 能 의 目 標 水 準

環境技術 LSI集積度	高 清 淨 度	恒 溫 恒 濕	低 振 動	靜 電 氣 除 去	備 考 (最小 pattern 線幅)
16 K bit	0.3~0.5 μ m 100個/ft ³ 以內	21-25 C \pm 0.5C 35-60 % R.H.	全周波數帶에서 5~6 μ m	-	5 μ m
64 K bit	0.2~0.3 μ m 10個/ft ³ 以內	21-25C \pm 0.2C 45 \pm 5% R.H.	低周波數帶 (30Hz 以 下)에서 2 μ m 以下	被清淨物體의 帶電 (靜電氣) 을 中和	2 \pm 0.2 μ m
256 K bit	0.1~0.2 μ m 50~100個/ft ³	21-25 C \pm 0.1 C 45 \pm 5% R.H.	低周波數帶 (30Hz 以 下)에서 1 μ m 以下	위와 같다.	1.5 \pm 0.15 μ m
1 M bit	0.05~0.1 μ m 10個/ft ³ 以內	21-25 C \pm 0.05- \pm 0.1 C 43 \pm 3% R.H.	低周波數帶 (30Hz 以 下)에서 1 μ m 以下	위와 같다.	0.8 \pm 0.08 μ m

본의 半數의 超 LSI 칩밖에 생산하지 못하는 것으로 되고, 따라서 칩의 原價는 그것만으로 2倍로 되어버린다. 이와 같은 것으로부터 超 LSI 工場에서는 收率이 가장 重要視되고 있다.

그림17²⁰⁾은 最近의 高集積LSI 디바이스의 웨이퍼 프로세스의 完了後의 不良의 分類를 나타낸것의 한가지 例인데 패턴결합의 비율이 아주 크다. 또한 이 결함의 대부분은 여러가지 크기의 에어로졸粒子에 의한 것으로 되어있다. 이들 에어로졸이 패턴상으로 附着되는 模型을 나타내면 그림18²¹⁾과 같이 상당히 작은 粒子라도 결함의 原因으로 되는것을 알 수 있다. 이들 결함의 대부분은 석판인쇄 工程에서 發生되고 있는데 포토마스 크(photo mask)나 패턴의 결함에 의해서 配線사이의 短落이나 斷線 또는 配線의 가늘어짐에 의한 抵抗增加가 일어나



A,B : 키보드의 近邊이나 現像檢事箇所
C,D : 웨이퍼가 自動處理되고 있는곳
그림19 클린룸 내에서의 입자의 附着量의 變化

는데 成膜工程에서 基板에 微粒子가 附着된채로 處理하면 膜을 形成하지 않는 部分이 생겨서 特性이 劣化된다. 또한 에피탁설(epitaxial) 成長에서의 積層缺陷, 異常突起, 金屬이나 폴리실리콘配線의 斷線이나 異常, CVD膜 形成에서의 異常突起, 酸化膜上的 핀홀 등이 發生의 原因으로도 된다.

이들 微粒子 附着의 發生源과 內容은 表9²²⁾에 나타내는것 같이 多種多様해서 클린룸內와 製造裝置內의 양쪽에서 볼

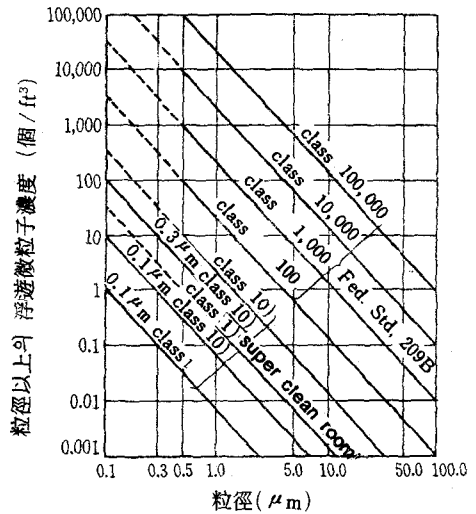


그림20 從來의 클린룸의 規格과 super clean room

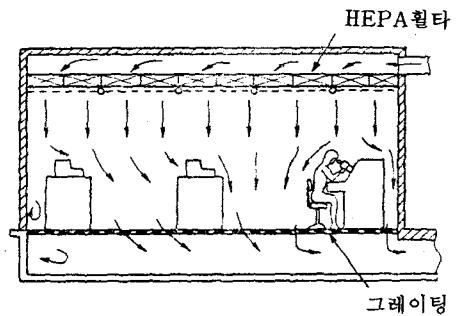


그림21 全面 down flow型 clean room

수 있으나, 웨이퍼表面에 부착하는 것을 分類하면 表10²³⁾과 같은 값으로 되어있어서 作業者로부터의 發塵에 의한것으로 想定되는 것이 상당히 많은 것을 알 수 있다. 이와같은 것으로부터 半導體 클린룸內에서의 發塵源은 經驗적으로 보면 대략

대기 : 5~10%, 工程 : 20~30%

가스·液體 : 5~10%,
裝置 : 20~30%

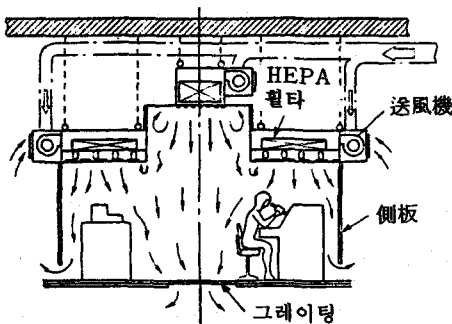
人體 : 30~40%

로 되어있는 것이다. ²⁴⁾ 그림19²⁵⁾는 포토 레지스트 工程에서의 製品에 부착하는 먼지의 經時變化를 나타낸 것인데 作業者가 介在하는 경우가 自動處理의 경우에 比해서 상당히 많은것을 알 수 있다.

2.3 클린룸의 여러가지 型式

클린룸의 型式은 일반적으로 다음과 같이 分類된다.

1) 亂流形



- 2) 層流形
 - 水平層流形
 - 垂直層流形
- 3) 클린벤치(Clean bench, 清淨作業臺)

이와같은 클린룸에 대해서 가장 일반적인 規格으로서 日本에서는 表11에 나타내는 것과 같은 規定을 提示하고 있는 美國規格이 採用되어 왔다.

종래의 半導體 IC 製造工場에서는 除去對象이 되는 浮遊微粒子의 直徑이 0.5 μm 以上이었든것이 차츰 HEPA필타의 性能規定에 사용되고 있는 0.3 μm 以上을 對象으로 하도록 되었고 그위에 超 LSI의 製造時代에 들어와서 0.1 μm 以上の 粒子直徑의 浮遊微粒子가 除去對象으로 되게되었다. 또한 室內 浮遊微粒子의 濃度에 대해서도 웨이퍼 處理工程內는 上述한 먼지粒子 直徑에서 0.5 μm Class 100, 0.3 μm , Class 10, 그리고 現在는 超 LSI에 對해서 0.1 μm Class 10이라는 性能이 要求되게 되었다. 이와 같이 종래의 美國規格을 넘는 清淨度를

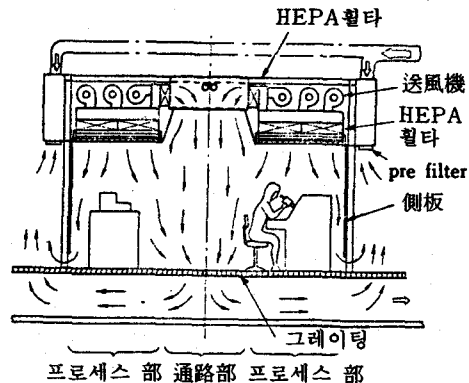


그림22 클린벤치 方式의 例

表 9 汚 染 の 内 容

	微 粒 子 の 付 着	膜 の 形 成
① 웨 이 퍼 自 體	研磨로부터의 殘存 실리콘먼지, 破損· 긁힘에 의한 실리콘 먼지	
② 清 淨 裝 置 漏 洩	大氣中の 먼지	
③ 作 業 者	비듬, 皮膚離脫物, 칫 (타액), 화장 품, 絲屑, 종이, 大氣中 먼지의 持込	
④ 裝 置 · 接 觸 器 具	機械摩耗部로부터의 金屬粉, 金屬等 과의 接觸, 塗裝의 벗겨짐, 드레인의 逆流, 霧圈氣中の 먼지, mist, 포토레지 스트飛沫	
⑤ 處 理 가 스	가스중의 微粒子 配管内·밸브에서의 發生 먼지	RIE 등에서의 器材源의 spatter 膜, 가스의 表面吸着
⑥ 高 溫 領 域	프로세스管, 포토의 持込먼지, 포토의 移動에서의 摩耗먼지, 포토레지스트燒却 灰分	
⑦ 處 理 用 藥 品	藥品중에 浮遊하는 微粒子, 蒸發殘渣 (藥品中の 溶存不純物 · 反應生成物)	이온 · 分子의 表面吸着, 析出金屬膜 (Cu, Au 等), Native Oxide 膜, 녹의 膜, 포토레지스트 分解殘膜
⑧ Rinse 用 純 水	박테리아등 微生物, 콜로이드類	Native Oxide 膜, 制御不良한 純水系로부터의 油膜
⑨ 液 處 理 用 器 具	器壁附着 微粒子	(器壁에 吸着된 藥品의 溶出에 따라 藥品純水の 純度低下로 생기는 膜)
⑩ 空 氣		Native Oxide 膜, 汚染가스에 의한 녹의 膜

②③④⑩ : 클린룸內

⑤⑥ : 處理爐內

⑦⑧⑨ : 處理槽內

갖는 클린룸을 일반적으로 슈퍼 클린
룸이라 부르고 있는데, 現在 이 슈퍼 클
린룸에 있어서의 明確한 定義 또는 規定
은 없고 일반적으로는 그림 20에 나타내
는 것과 같은 浮遊微粒子를 空氣中에 包
含하는 방이라고 생각하고 있다.

이와같은 클린룸을 形成하기 위해서

半導體 IC 工場에서는 그림 21에 나타내
는 것 같이 室內 천정면 全面에 HEPA
·필타를 配置하고 이로부터 0.3~0.5m/s
程度로 수직으로 室內로 空氣를 吹出하
고 바닥面 全面에서 이 空氣를 吸入하는
全面 下向流(down flow)形이 採用되고,
일부의 特殊 溫濕度條件이나 보다 清淨

表 10 웨이퍼 表面의 附着物의 分類例

附着物의 種類	個數	比率 (%)
人體分泌物 (비듬, 때 등)	23	46
纖維物 (無塵衣, 內衣 등)	4	8
spray 材 (治工具, 清掃用)	2	4
殘存 레지스트 片	6	12
Si 破片, 石英粉沫	11	22
其他 (膜의 異常成長 등)	4	8

(註) 表面附着物의 分類는 螢光顯微鏡法으로 하였다.

한 空間을 필요로 하는 프로세스에서는 그 위에 室內에 클린벤치를 設置하고 그 속에서 웨이퍼를 處理하여 왔다.

그러나 超 LSI技術의 確立과 그 量產으로의 移行에 대해서 필요하게 되는 슈퍼 클린룸에서는 이와같은 全面 下向流 (down flow)形으로부터 다시 局所的

욱 새로운 클린룸 形式이 考案되어 일부에서 採用되기 始作하고 있다.

클린턴넬方式은 그림 22에 나타내는 것 같이 超 LSI 製造프로세스 部分의 塵정을 製造라인의 作業에 許容되는 範圍內에서 그 높이를 낮추어서 다른곳에서 發生한 汚染源이 될수 있는 浮遊微粒子를 包含하지 않는 超清淨한 空氣를 直接 HEPA필터로부터 吹出해서 作業區域에 到達시키는 것을 目的으로 한 것이다. 表 12²⁶⁾에 全面下向流(down flow)形과 클린턴넬形과의 性能 등의 比較를 나타낸다. 이 클린턴넬 方式은 現在 開發中인 技術과 함께해도 좋은 것으로서 그 氣流性狀 등에 대해서 研究가 進行되고 있는데 性能評價는 반드시 일정한것은 아니라고 한다. 클린턴넬 方式에서 現在

表 11 클린룸(CR)의 清淨度 (美國 聯邦規格 要旨)

class	微 粒 子 (CR)			壓力 (mmAq)	溫度 (℃)	濕度 (%)	氣 流 換 氣 回 數	照 度 (lx)
	크기 (μm)	(個 / ft ³)	(個 / ℓ)					
100	0.5 以上	100 以下	3.5 以下	1.3 以上	指定值	45-40	層流方式 0.45 m / s ± 0.1 m / s 亂流方式 28 回以上 / h	1,080 ~ 1,620
10,000	0.5 以上 5.0 以上	10,000 以下 65 以下	350 以下 2.0 以下					
100,000	0.5 以上 5.0 以上	100,000 以下 700 以下	3,500 以下 700 以下					

로 清淨度を 높이고 그 內부에서 웨이퍼를 處理하는 方向으로 나가고 있는데 이와같은 要求에 對應해서 클린턴넬 방식이나 또는 클린튜브 방식이라고 하는 더

문제점으로 되어 있는 것을 두세가지 들 어보면

1. 作業區域의 清淨度 class와 氣流方式
2. 作業區域과 클린턴넬部와의 境界面

表 12 全面垂直 層流方式과 터널유니트方式의 比較*

比較項目	全面垂直層流方式	터널유니트方式
清淨度	<ul style="list-style-type: none"> ○非操業時에는 室内 全域에서 最高清淨度 ○操業時의 清淨度는 裝置의 配置와 混在 程度나 在室人員數에 따른다. (특히 裝置類에 의한 氣流의 散亂에 要注意) 	<ul style="list-style-type: none"> ○터널 바로 밑에서 最高 清淨度 ○操業時의 作業區域으로부터의 氣流의 卷込에 따른 터널부분의 汚染에 對해서는 各各의 裝置에 맞는 對策(前面의 내림壁, 後部판넬의 吸入口등)을 세우기 쉬우므로 有利 ○作業區域의 清淨度는 亂流方式으로 하면 Class 1,000 程度(터널부분의 氣流를 散亂시키지 않도록 要注意)
融通性 (flexibility)	<ul style="list-style-type: none"> ○裝置의 交換이나 配置의 變更, 配管, 덕트의 接續이 쉽다. (특히 바닥밑 接近部(free access)의 높이가 충분하면 變更을 고려해서 유틸리티 配管을 미리 設置할 수 있고 作業空間도 取할 수 있다) ○小規模의 變更은 作業中에도 可能 	<ul style="list-style-type: none"> ○交換이나 變更하는 裝置의 크기나 모양에 따라서 制約이 있다. ○치수(寸數), 後部 판넬이나 支持區域의 配管과의 關係등에 따라서 變更工 事は 쉽지않다.
作業性, 保守性	<ul style="list-style-type: none"> ○간막이가 없으므로 作業·移動이 自由롭다. ○큰 空間이므로 心理的인 스트레스라 는 點에서도 좋다. ○保守性은 問題없다.(free access 의 높이가 充分할 것) ○自動搬送시스템의 適用도 쉽다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○사람과 物件의 動線計劃이 좋고 空間이 있으면 作業性에 問題가 없다. ○保守性은 問題없다(支持區域의 空間이 充分할 것). ○自動搬送시스템도 適用할 수 있다.
化學藥品の 냄새, 腐蝕	<ul style="list-style-type: none"> ○洗淨, etching등의 工程이 隔壁없 이 있으므로 化學藥品の 냄새나 이 에 의한 부식의 영향이 擴大되어 生産裝置에도 미칠 可能性이 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○工程마다 別室로해서 確實하게 區分(zoning)할 수 있다.

比較項目	全面垂直層流方式	터널유니트方式
振動, 耐荷重	○ 2重바닥 (raised floor) 을 充分히 緊固한 것으로 하지 않으면 振動, 耐荷重 모두 問題가 있다.	○ 일반적으로 RC 構造를 採用할 수 있으므로 對處하기 쉽다. ○ 建物과 관련이 없는 獨立構造를 만들기 쉽다.
運轉費	○ 層流部分의 面積이 크기 때문에 循環風量이 많게 되고 送風動力費가 極히 많이 든다. ○ 일반적으로 層流部分은 24時間 運轉이고 그위에 動力費가 많이 든다.	○ 層流部分은 터널뿐이고 循環風量이 相對的으로 적은 것만큼 送風動力費도 적게 든다. ○ 터널유니트마다에 微細한 發停과 送風の 調節이 가능하므로 動力費도 적게 든다.
設備費	○ 極히 많이 든다.	○ 상당히 많이 든다 (全面垂直層流方式에 比해서는 적게 든다)

註) 橋本孝禧 : 슈퍼클린룸의 시스템과 제어, '83 클린테크놀로지 심포지움 (教材) (社) 日本能率協會 . pp.1-19, 20, 1983.9 로부터 作成

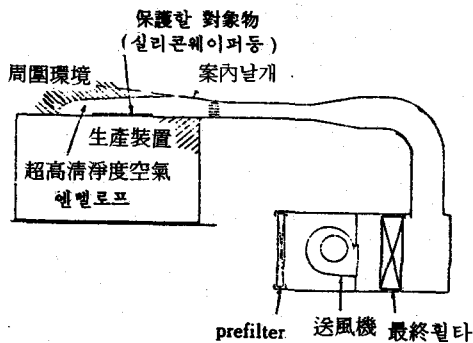


그림23 局所의 空氣清淨裝置의 例

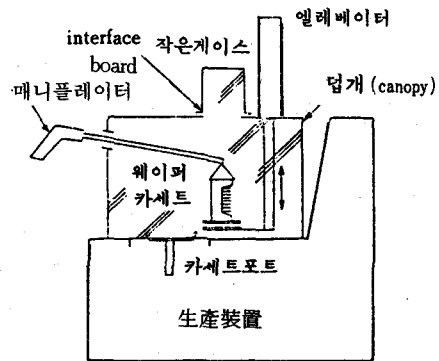


그림24 SMIF시스템의 構成

에서의 浮遊微粒子의 擴散.

3. 吸入口의 位置에 의한 클린터널內的 氣流性狀의 變化
4. 排氣系統을 갖는 製造라인에서의 氣流性狀

그러나 設備費, 運轉費 모두 全面下向

流形보다 터널方式 쪽이 싸게 드는것으로 생각되고 있어서 더욱 經濟的인 超 LSI 工場이 建設될수 있는 것으로 되어 있다.

超 LSI 製造工程中에서의 人體의 發塵에 의한 汚染의 영향이 큰것 때문에

表 13 super clean room의 室內環境 條件(半導體素子 製造프로세스)

環境項目	室의 環境	最高精度部分	適用場所의 例
溫 度	22±1.5℃	±0.1℃	mask aligner, 測定器周邊
相 對 濕 度	40±5%	±3%	mask aligner, CVD裝置周邊
清 淨 度	JIS 3~4	0.1μm級, 10個/ft ³ 以下	photo lithography, CVD 등
氣 流 速 度	0.25~0.5 m/s	同 左	層流區域
化學藥品 가스	檢出되지 않을것	同 左	웨이퍼 프로세스 전체
電 磁 波 的 強 度	80dB 以下	30 dB 以下	電子beam裝置, 測定器周邊
靜 電 氣	-	除去對策을 實施	-
建築物바닥의 振動	振幅 5μm 以下	1μm, 1gal	스태퍼·mask aligner, 測定器, 臺部分.
藥液 純水中의 粒子濃度	空中浮遊粉塵과 같은 程度	同 左	-
박 테 리 아	-	0	-

앞으로는 製造라인과 作業者를 隔離하는 方向이 더욱 強化되는 것은 틀림이 없고, 그림 23²⁷⁾에 나타내는것 같이 溫濕度를 調節한 超清淨 空氣로 製造裝置를 덮어버리는 것과 같은 局所 空氣清淨裝置나 製造裝置를 완전히 케이싱속에 넣고 完全自動化에 의해서 웨이퍼를 處理해서 作業者와 웨이퍼를 완전히 隔離해 버리는 클린튜브方式 등도 提案되어 있다. 그림 24²⁸⁾는 이와같은 方式의 하나로 提案되어 있는것의 例로서 SMIF (Standard Mechanical Interface)方式 이라고 하는데 製造裝置를 덮는 케이싱 (canopy)과의 사이에서 웨이퍼 카세트 를 出入시키는 專用的 슬라이드간막이 (Interface Port)가 있는 密閉式的 작은 케이스를 利用해서 웨이퍼의 保管, 移送, 製造裝置로의 싣고(load) 내리기 (unload) 등에 있어서도 作業者는 웨이퍼에 接觸하는 일이 없고 그위에 超清淨

空間內에서 取扱할수가 있도록 되어있다. 이와같은 方式은 웨이퍼 處理工程만을 超清淨化 하는 것을 目的으로 하고 있는데 超清淨 空間의 形成을 위한 費用도 적지 않을 것으로 豫想되고 있으나 製造裝置內에서의 發塵에 대한 對策 등 앞으로의 研究에 期待해야 할 技術的인 問題도 있을 것으로 생각된다.

表 13²⁹⁾에 超 LSI 製造를 위한 슈퍼 클린룸의 室內環境 條件의 例를 나타낸다.

3. 에어로졸과 에어휠타

3.1 에어로졸(aerosol)

大氣中에는 固體, 液體, 氣體의 各種의 不純物이 包含되어 있는데 그중에서 固體 및 液體의 粒子狀物質로서 空氣中에 浮遊하고 있는 것을 에어로졸이라고 하는데 그 粒子直徑은 0.001 μ m으로 부터 100 μ m程度까지 대개 10⁵의 廣範圍한 것을 包含하고 있는데 그 形態나 性質에 따라서 粉塵(dust), 흄(fume), 煙氣(smoke), 미스트(mist) 등의 名稱이 일반적으로 사용되고 있다. 또한 氣象學的인 面에서는 안개(fog, 霧), 미스트

(mist, 靄), 煙霧(haze), 그리고 大氣汚染關係에서는 스모그(smog)라고 하는 것같은 分類도 있다.

그림 25는 에어로졸의 代表的 粒子나 粒子의 落下法則 등 以外에 比較를 위해서 可視光線을 包含하는 電磁波의 波長등을 나타낸것이다. 그림의 下部에 나타내는 것 같이 이들 微粒子는 粒徑이 커지면 비교적 빠른 速度로 自然沈降되지만, 小徑의 粒子는 空氣中에 浮遊해서 沈降되는 일은 거의 없다.

大氣中の 에어로졸粒子의 粒度分布의 代表的인 例로서 그림 26³⁰⁾에 나타내는 것과 같은 것이 있다. 이 그림에서는 0.1 μ m까지 나타내고 있는데, 다시 이 粒

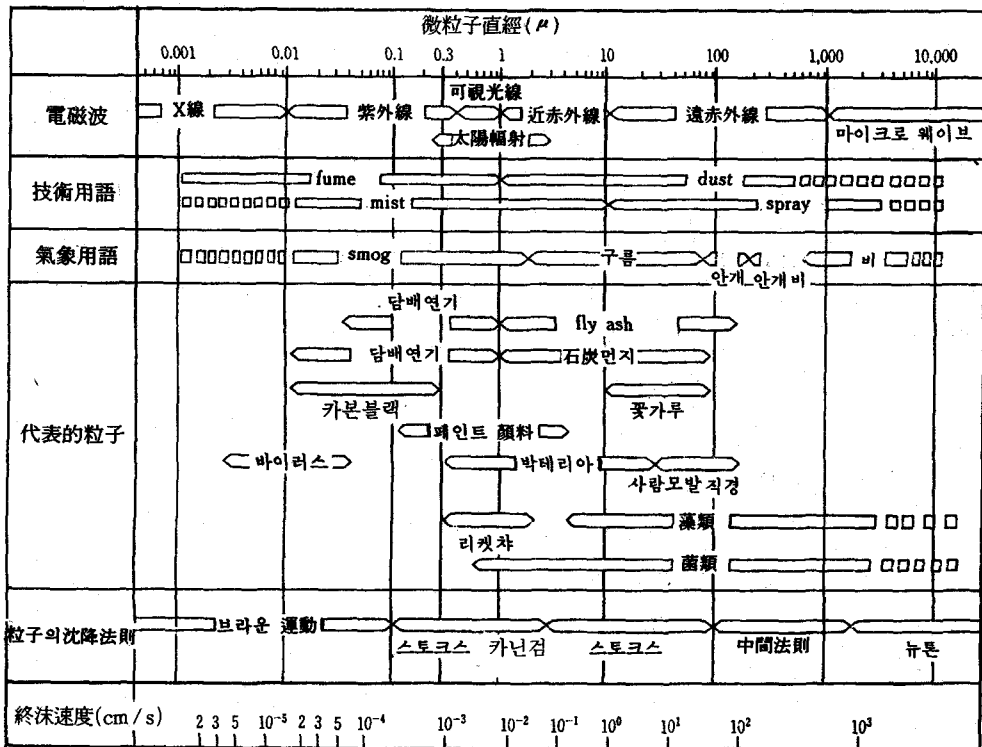


그림25 微粒子의 粒徑分布와 여러가지 性質

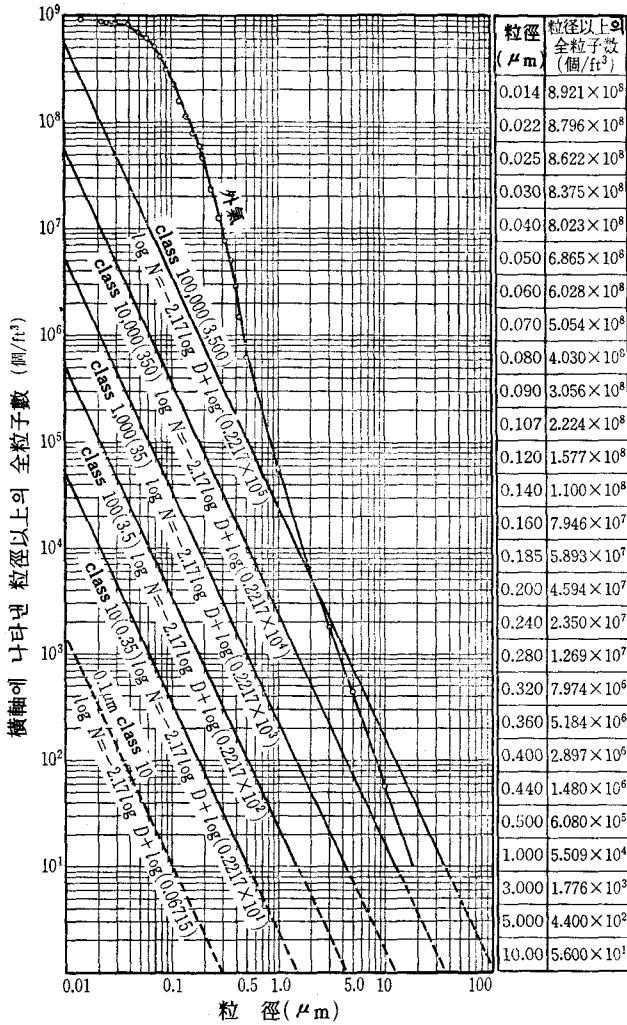


그림26 外氣와 클린룸內 에어로졸 粒子의 粒徑分布 曲線

徑 以下에 대해서는 그림 27³¹⁾에 나타내는 것과 같은 粒徑分布의 測定例가 있다. 이 그림의 세로軸의 $dN/d(\log dp)$ 이란 어떤 粒徑 dp_1 과 dp_2 와의 사이의 區間의 粒子數 ΔN 을 dp_1 과 dp_2 와의 對數의 差 $\Delta(\log dp) = \log dp_2 - \log dp_1$ 으로 나눈값이다. 또한 이 경우의 平均

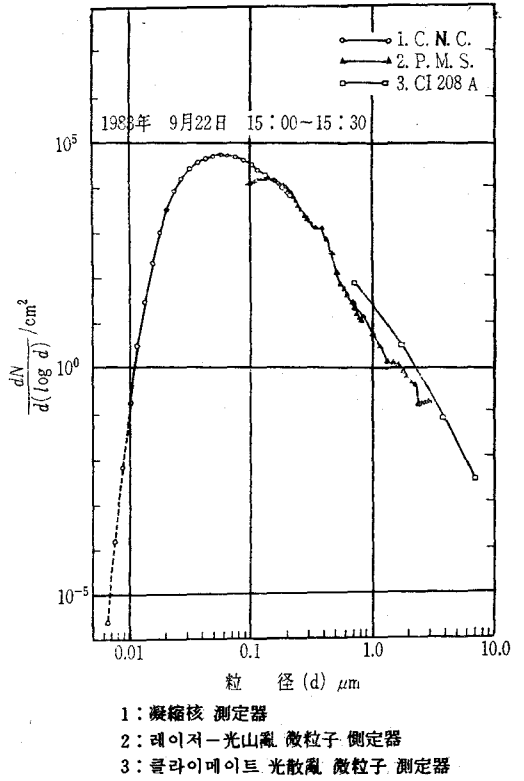


그림27 大氣中의 浮遊微粒子의 粒徑分布

表14 클린룸의 設計用 外氣먼지濃度 (0.5 μm以上)

場 所	濃度 個 / ft ³
汚 染 地 區	10 ⁸
平 均 地 區	3 × 10 ⁶
清 淨 地 區	5 × 10 ⁵

粒徑 dp 는 dp_1 과 dp_2 와의 幾何平均 $dp = \sqrt{dp_1 \times dp_2}$ 로 한다.

종래의 粒徑 0.5 μm基準의 클린룸의 設計에 사용해 온 外氣中의 에어로졸粒

子數의 例를 表 14에 나타내는데 그림 26으로부터도 알수 있는 것 같이 粒徑 $0.1\mu\text{m}$ 의 에어로졸을 除去對象으로 하는 슈퍼 클린룸에서는 粒子數는 $0.5\mu\text{m}$ 의 경우에 비해서 10^3 程度 많아지고 있다. 이것은 $0.1\mu\text{m}$ 의 에어로졸을 除去하는 에어필타의 除塵效率는 現在 利用되고 있는 HEPA필타의 標準效率 99.97%에 비해서 99.99997程度 以上이어야 하는것을 나타낸다.

3.2 에어필타

클린룸設備에 利用되는 에어필타는 不織布, 유리纖維, 石綿纖維 등의 纖維材를 主體로 한 여과재료를 긴밀하게 積層한 여과식 에어필타로서 그 捕集原理는 濾過材에 의한 遮斷, 慣性, 擴散의 3要素에 의해서 이루어진다고 한다.

여과식 에어필타에는 自動更新形, 定期洗淨形, 自動再生形과 같은 自動形의 것과 유니트形의 것이 있는데, 自動形은 일반적으로 粗塵用, 유니트形은 粗塵用으로부터 超高性能用까지 있다. 表 15에

유니트形 필타의 대략의 性能을 나타낸다. 에어필타의 性能은 定格風量에 있어서의 다음 3가지 項目을 사용하고 있다.

1) 壓力損失: 일반적으로 mmAq로 表示하는데 壓力損失 $\Delta p(\text{mmAq})$ 와 通過風速 $v(\text{m/s})$ 와의 사이에는 $\Delta p = av^n$ 의 관계가 있는데 n은 1~2의 範圍內에 있다. 또한 에어필타는 捕集면지량이 증가하는데 따라서 壓力損失이 增加하므로 最終 壓力損失이 결정되어 있는것이 많은데 이것을 에어필타의 壽命으로 하고 있다.

2) 汚染除去量: 먼지의 維持容量이라고도 하는데 壓力損失이 初期値의 2배 또는 最終 使用 壓力損失로 될때까지 또는 먼지捕集率이 最高値의 85%로 低下될때까지 에어필타가 捕集한 양으로 구하고 單位面積에 대한 重量 mg/m^2 또는 g/個 로 表示한다.

3) 汚染除去率: 除塵效率이라고도 하는데 定格 處理風量이 흐르고 있는 供試(sample) 필타의 上流側에 規定된 粉塵을 供給하고 供試필타의 上流側의 粉塵濃度 C_0 와 下流側의 粉塵濃度 C_i 로 부

表15 에어필타의 性能別 分類

分 類	適應 粉塵 粒徑 (μm)	適應 粉塵 濃度 (mg/m^3)	壓力損失 (mmAq)	捕 集 效 率 (%)	適 用
粗塵用에어필타	5 以上	0.1 ~ 7	3 ~ 20	重量法 70 ~ 90	prefilter
中性能에어필타	1 以上	0.1 ~ 0.6	8 ~ 25	比色法 40 ~ 95	中間필타
高性能에어필타	1 以下	0.3 以下	15 ~ 35	D.O.P.法, 80 以上	低級 클린룸用
超高性能에어필타	1 以下	0.3 以下	25 ~ 50	D.O.P.法, 99.97 以上	클린룸用

表 16 에어필타의 主要한 性能試驗法의 一覽表

試驗方法	試驗하려는 먼지의 特性 및 發生方法					dust 檢 出 法		關 連 規 格
	組 成	粒徑의 分 布	粒 徑 (μm)	發 生 方法	濃 度 (mg / m^3)	檢 出 器	主된 適用	
DOP 試驗	프탈酸 디옥틸 (DOP)	單分散	0.3	蒸發·凝縮	100	光散亂 포토메타	HEPA 필타	미국 MIL STD-282 (1956)
소디움·후레임 테스트	鹽化나트륨	多分散	0.6 (0.01-1.7)	噴霧·乾燥 (水溶液)	—	불꽃 포토메타 (Flame)	HEPA 필타	영국 BS2831 (1965)
메틸렌 블루試驗	메틸렌블루	多分散	(0.01-1.5)	噴霧·乾燥 (水溶液)	—	比 色 計 (Stain Density)	中高性能 필 타	영국 BS2831 (1967)
유라닌試驗	유라닌 螢光物質	多分散	0.3	噴霧·乾燥 (水溶液)	10	螢 光 메 타 (Fluorometer)	HEPA 필타	불란서 Pradela and Brion (1968)
ASHRAE 試驗 1) 重量法 2) 먼지埃 維持容量 3) 比色法	아리조나街路먼지 : 72% (0-80 μm) 카본블랙 : 23% (0.08 μm) 코튼런드 : 5% (0.15 $mm \phi \times 1 mm$)			dust feeder	70	重量測定	粗塵필타	미국 ASHRAE STD 52-76 (1976)
					70	重量測定	粗塵 中高性能	
	大氣 먼지	多分散	平均 0.3-0.4		約 0.1	比 色 計	中高性能 필타	
레이저試驗	프탈酸 디옥틸	多分散	0.1-0.2	라스킨노즐	1-2	레이저스펙트로메타	ULPA 필타	미국 IES에서 規格化를 檢討中

各 메이커마다 방법이 다르다.

터 다음 式에 의해서 구한다.

$$\eta = \frac{C_i}{C_o} \times 100(\%) \dots \dots \dots (1)$$

여기서 η 가 汚染除去率이다. 汚染除去率의 表示方法에는 重量法, 比色法, 計數法의 3種類가 있는데 에어필타의 種類나 利用目的 등에 따라서 表示方法을 區分해서 사용한다. 에어필타의 汚染除去率의 測定方法에는 여러가지의 規格이 있으나 그중 중요한것을 표 16³²⁾에 나타낸다.

에어필타의 汚染除去 性能을 透過率로 나타내는데 透過率 P는 다음式

$$P = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100(\%) \dots \dots \dots (2)$$

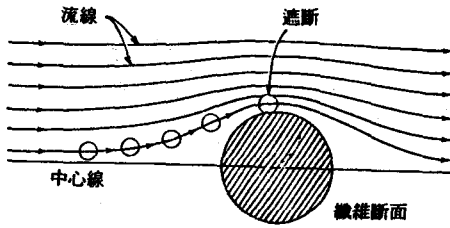
로 表示되는데 高效率의 에어필타에서는 汚染除去率이 조금만 變化하여도 透過率

은 크게 變化한다. 예를들면 除塵效率이 99%로부터 98.9%로 1%以下로 變化하여도 透過率의 變化는 10배나 된다.

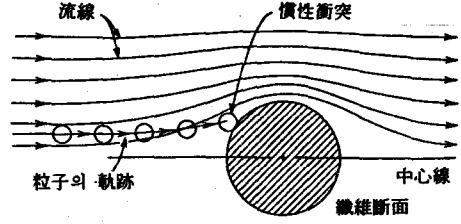
3.3 纖維層 에어필타의 捕集機構

클린룸의 最終段에 사용되는 에어필타는 서브미크론(sub micron)으로부터 數 미크론 程度의 微細한 纖維를 氣流에 垂直으로 되도록 密集시켜서 만든 것으로서 그 空隙率은 70%로부터 99% 程度로 되어있어서 상당히 치밀하게 充塡되어 있는 것 같이 보이지만 필터內部에는 空隙이 매우 크다.

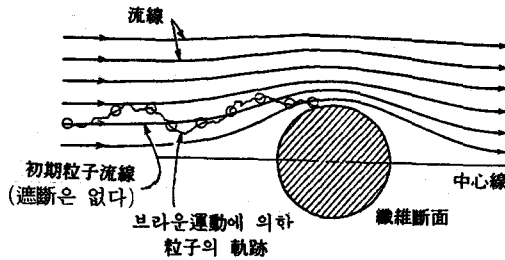
纖維層 에어필타는 그의 두께를 두겹



(a)遮斷에 의한 捕集



(b)慣性衝突에 의한 捕集



(c)擴散에 의한 捕集

그림 28 單一 纖維粒子 捕集機構

게하면 에어로졸의 透過率은 指數的으로 減少되지만 透過率이 最大로 되는 粒徑이 存在하며 그 粒徑은 $0.05 \sim 0.5 \mu m$ 이 라고 하는데 이 粒徑보다도 큰 粒子나 작은 粒子는 더욱 높은 效率로 捕集된다고 한다.

에어로졸이 濾타의 纖維上에 沈着되는 機構는 基本的으로는

1. 遮斷(interception)
 2. 慣性衝突(inertial impaction)
 3. 擴散(diffusion)
 4. 重力 沈降(gravitational settling)
 5. 靜電引力(electrostatic attraction)
- 의 5가지로 이루어진다.

遮斷에 의한 捕集은 그림 28 (a)에 나타내는 것 같이 粒子가 氣體의 流線에 따라서 運動하고 있으며, 纖維表面으로

부터 1粒子半徑 以內에 到達할 때 粒子가 纖維에 衝突해서 捕集된다.

慣性衝突은 粒子가 그 慣性때문에 그림 28 (b)에 나타내는것 같이 纖維의 근방에서 急히 變化하는 流線에 速히 對應하지 못하고 纖維에 衝突해서 捕集된다. 慣性衝突은 dp 또는 ρp 가 커질수록(慣성이 커질수록) 粒子速度가 빨라질수록 더욱 작은 纖維直徑에 의해서 流線의 屈曲이 더욱 急激하게 될수록 크게된다.

擴散에 의한 捕集은 그림 28 (c)에 나타내는것 같이 纖維근방을 작은 粒子가 通過할 때 브라운運動에 의해서 섬유에 衝突해서 捕集되는 것이다.

重力沈降은 重力에 의해서 粒子가 沈降해서 섬유에 附着하는 것으로서 粒子의 終末 沈降速度와 通過速度에 關係되

지만 일반적으로 粒徑이 크고 通過速度가 적을때 以外에는 다른 機構에 比較해서 그 效果는 적어서 通過速度가 約 10cm/s 以上에서는 慣性衝突쪽이 重力沈降보다 支配的이다. 흐름이 上向일때에 效果가 있고 흐름이 水平으로부터 下向으로 되는데 따라서 效果는 낮아져서 上向흐름에서는 오히려 除塵效率를 低下시킨다. 靜電沈着은 粒子와 纖維를 어떤 方法에 의해서 帶電시킬때에 일어나고 帶電量이 增加하면 效率는 增加하는데 보통의 섬유층 에어필터에서는 일반적으로는 無視되고 있다. 다만 最近 纖維 그 자체를 半永久的으로 荷電狀態가 繼續될 수 있도록해서 靜電氣力을 利用하는 일렉트릭 필터가 考案되고 있다.

에어필터의 綜合 捕集效率는 이들 捕集機構의 綜合效果로서 나타내는데 그림 29³³⁾에 나타내는것 같이 粒徑 0.5 μ m 以上の 粒子에 대해서는 慣性衝突과 遮斷이 支配的이고 0.2 μ m 以下の 粒子에 대해서는 擴散이 唯一한 支配的 機構로 되어있다.

3.4 HEPA 필터와 ULPA 필터

종래의 클린룸에서는 클린룸內로의 供給空氣의 最終段 에어필터(Air Filter)로서 HEPA 에어필터(High efficiency particulate air filter)가 사용되어 왔다. HEPA 필터는 熱發生 DOP 單分散 에어로졸(粒徑 0.3 μ m)에 대해서 99.97%

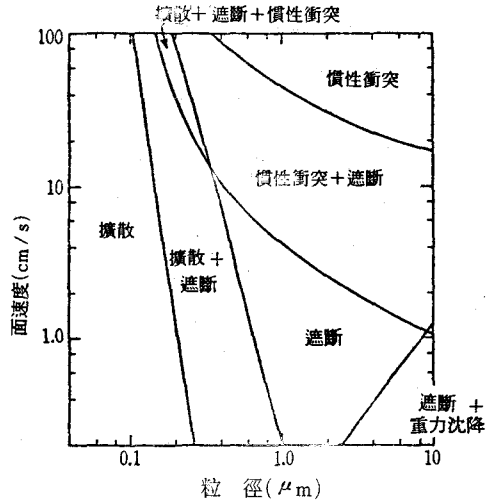


그림29 纖維 필터의 濾過特性 (두께 1mm, 充填率 0.05, 纖維直徑 2 μ m)

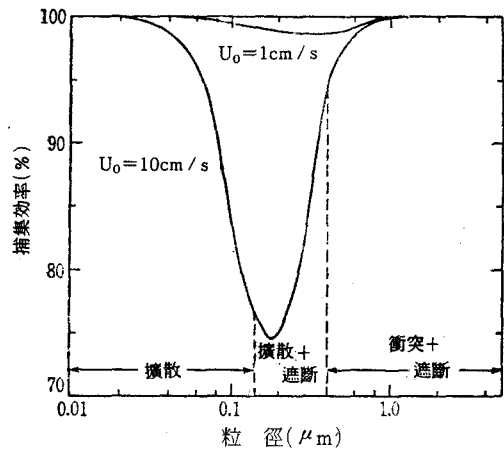


그림30 面速度의 1cm/s와 10cm/s인 경우의 粒徑과 效率의 關係 (두께 1mm, 充填率 0.05, 纖維直徑 2 μ m)

以上の 捕集率을 갖고 또한 定格風量에 있어서 水柱 1인치(25.4mmAq) 以下の 壓力損失을 갖는 것으로 定義되어 있다. 또한 클린룸의 規格도 粒徑 0.5 μ m의 에어로졸에 대해서 規定되어 있다.

이것은 單一纖維 捕集理論에 의하면, 예를들면 그림 30³⁴⁾에 나타내는것 같이 0.3 μ m程度인 粒徑의 에어로졸의 捕集

効率が 가장 낮은 것과 그리고 實用的인 測定技術에서는 粒徑 $0.3\mu\text{m}$ 程度 以下の 粒子의 數와 粒徑을 測定할 수 없었던 것에 의한 것이다.

그러나 종래 粒徑 $0.3\mu\text{m}$ 程度의 粒子가 가장 捕集하기 어렵다고 하였으나 粒子 測定技術의 進歩에 따라서 HEPA 濾塔의 最低 捕集率이 粒徑 $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 程度인 粒子의 範圍에 있는 것이 實證되게 되었다.

또한 그 후 半導體 IC 製造技術의 進展과 함께 $0.3\mu\text{m}$ 의 粒子에 대해서 99.99% 또는 99.999% 程度의 捕集率의 HEPA 濾塔도 市販되게 되었고, 그 위에 256Kbit, 1Mbit 라고 하는 超 LSI 의 開發, 製造가 開始되기에 이르러서 粒徑 $0.1\mu\text{m}$ 의 에어로졸의 除去를 目的으로 한 에어필터의 開發이 要望되게 되었다. 이와같은 要求에 따르기 위해서는 單一纖維 捕集理論에 의하면 여과재의 構造를

1. 纖維直徑을 可能한한 작게해서 纖維直徑의 分布를 없앨것.
 2. 纖維를 가스흐름에 直角으로 配列할것.
 3. 均一하게 充填할것
- 이 필요하다.

이와같은 半導體 IC 製造技術의 要求에 대해서 에어필터에 사용되는 유리 纖維의 直徑을 더욱 가늘게 하므로써 그 要求를 만족하게 할수있게 되었다. 이와같은 直徑 $0.1\mu\text{m}$ 的 粒子를 除去對象으

로 한 高性能 에어필터를 HEPA 濾塔에 대해서 ULPA 濾塔(ultra low penetration air filter)라고 부르게 되었다.

HEPA 濾塔과 ULPA 濾塔에서 사용하고 있는 유리纖維의 纖維直徑 分布의 한 예를 그림 31³⁵⁾에 나타내는데 算術平均 直徑으로 HEPA 濾塔은 $0.63\mu\text{m}$, ULPA 濾塔은 $0.37\mu\text{m}$ 이라고 하는 보고도 있다. 이들 에어필터의 여과재의 重量의 93% 以上이 유리섬유이고 나머지는 바인더(binder)나 補強用의 有機纖維로 되어있는데 유리섬유 사이에는 구멍의 直徑 $10\mu\text{m}$ 前後의 空隙이 있는데

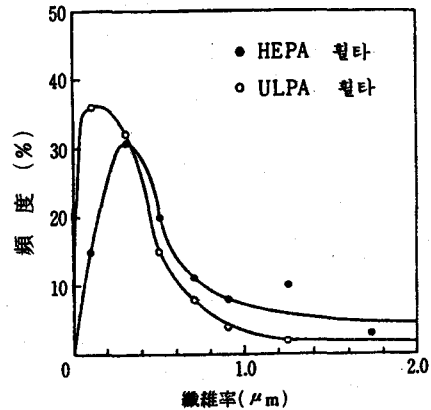


그림31 濾過의 유리纖維의 直徑分布

空隙率이 95% 程度나 된다. 이 空隙때문에 이들 에어필터의 壓力損失이 적고 또한 捕集된 粒子에 의한 막힘이 일어나기 어렵고 壽命이 길다는 特性을 갖는다. 濾塔내에 流入된 에어로졸은 브라운 擴散效果에 의해서 捕集되는데 纖維直徑이 空氣分子의 平均 自由行程(常溫常壓

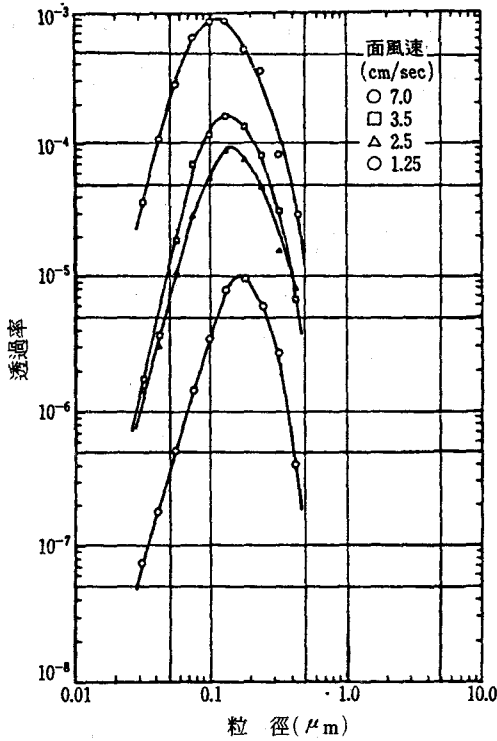


그림32 HEPA필타의 透過率

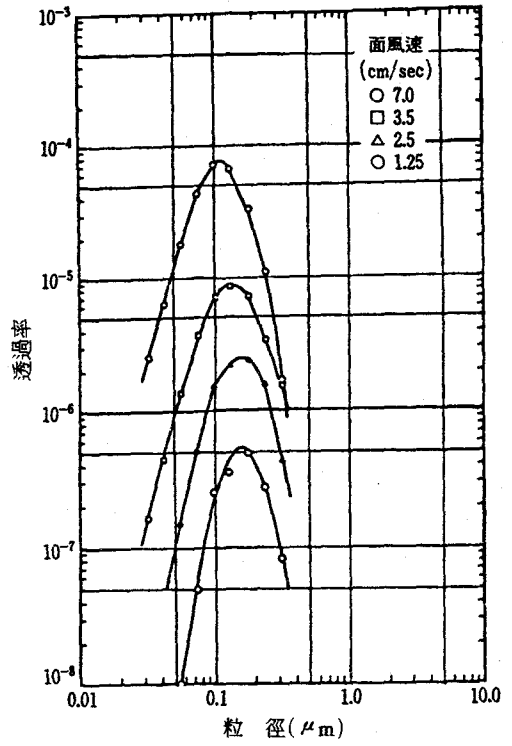


그림33 ULPA필타의 透過率

에서 0.07 μm)에 가깝기 때문에 纖維表面에서 空氣흐름은 미끄럼을 일으키고

粒子는 効果的으로 섬유에 捕集된다.

그림 32, 그림 33³⁶⁾은 HEPA 및

表 17 捕 集 効 率

粒 徑 (μm)	捕 集 効 率 (%)				
	A	B	C	D	E
0.12 ~ 0.17	99,999934	99,99989	99,99986	99,999947	99,99972
0.17 ~ 0.27	99,999986	99,999986	99,99985	99,999963	99,99969
0.27 ~ 0.42	99,999953	(100)	99,999953	(100)	99,99981
0.42 ~ 0.62	(100)	(100)	(100)	(100)	99,99957

필타의 種類	仕 樣
A	0.1 μm用 ULPA 필타 0.1 ULPA - 1
B	0.1 μm用 ULPA 필타 0.1 ULPA - 2
C	0.1 μm用 ULPA 필타 0.1 ULPA - 3
D	0.1 μm用 ULPA 필타 0.1 ULPA - 4
E	0.3 μm用 HEPA 필타 0.3 HEPA - 1

ULPA 필터용 여과재에 대한 에어로졸의 투과율의測定例를 나타낸것으로서 通過風速이 작을수록 투과율이 작고 또한 最大 투과율(最低捕集率)이 粒徑 0.1~0.2 μm 의 사이에 있는것을 알수있다. 또한 HEPA 필터에 比해서 ULPA 필터의 투과율이 $\frac{1}{10}$ 이상 작게 되어 있는것도 알수있다.

表 17³⁷⁾은 市販되는 ULPA 필터의 粒徑과 捕集效率의 關係를 나타낸것인데 0.1 μm 程度의 粒子에 대해서 99.9999% 以上の 性能을 나타낸다.

앞으로 IC 集積度의 上昇과 함께 다시

表 18 清淨度 Class와 換氣回數

清淨度	class	換氣回數(回/h)
100,000		20
10,000		75
1,000		150
100		250
100*		460

* 全面層流天井높이 3m

粒徑 0.05 μm 以下の 微粒子도 除去對象으로 될것이라고 한다. 이와같은 傾向에 대해서 이미 粒徑 0.05 μm 의 粒子를 除去對象으로 한 ULPA 필터도 出現되고 있는데 만일 現在의 研究結果가 나타내는것 같이 粒徑 0.1 μm 程度의 粒子가 가장 捕捉하기 어려운데 現在의 ULPA 필터에서 0.05 μm 의 粒子에 대한 透過率이 0.1 μm 의 粒子에 比해서 1자리(桁) 또는 2자리 작은 것으로 되면 반드

시 0.1 μm 以下の 粒徑의 微粒子를 對象으로 하는 에어 필터의 開發은 필요하지 않게 된다.

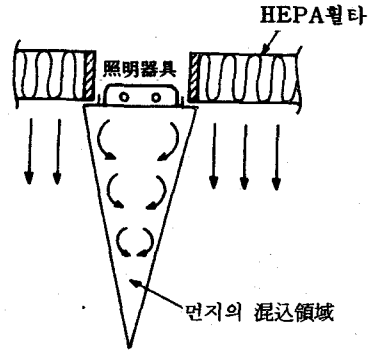


그림34 照明器具下의 汚染領域

4. 슈퍼 클린룸內的 氣流와 먼지粒子의 舉動

4.1 氣流分布

일반적으로 클린룸內的 清淨度는 換氣回數와 함께 上昇하며, 經驗的으로 表 18³⁸⁾에 나타내는 것과 같은 清淨度 class (等級)와 換氣回數와의 關係가 나타난다.

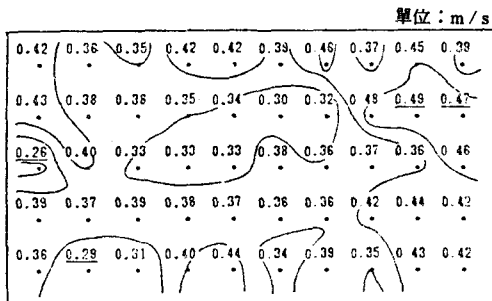
반도체 IC 제조공장의 슈퍼 클린룸에서는 천정면 全面에 HEPA 또는 ULPA 필터를 設置하고 吹出해서 氣流速度의 平均値를 필터 直下 100~150mm의 位置에서 0.3~0.55m/s程度로 한 全面 垂直層流方式에 採用되고 있다.

IES-RP-CC-006-84T Recommended Practice For TESTING CLEAN

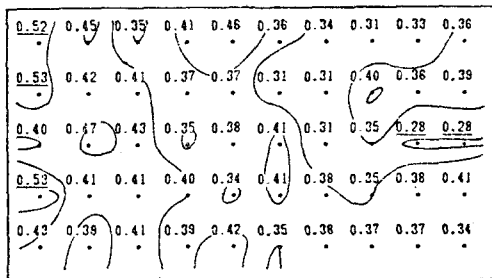
ROOMS(Final Draft)에서는 層流形 클린룸은 여과공기가 平行流로 作業區域을 一過하는 클린룸으로서 層流式의 방은 均一平行流를 만들기 위해서 천정(垂直流) 및 壁(水行流)의 80%以上이 HEPA 필터로 덮여있는 것으로 하고있다.

그러나 實際의 工場에서는 천정면에 照明器具, 防災設備, 放送設備 등의 여러가지 設備가 설치되고 또한 HEPA 필터 設置틀도 있기 때문에 천정면의 80%를 필터面으로 덮는것은 棼체로 困難하다.

또한 上述한 IES의 規格에서는 氣流의 平行性이란 周圍氣流와 等速의 煙氣를 發生시켜서 氣流의 性狀을 觀察하여



HEPA 面下 50cm 風速分布.....實測平均風速 0.384m / s



바닥 50cm 風速分布 :實測平均風速 0.386m / s 單位 : m / s

그림 35 全面 垂直層流 클린룸內的 風速分布의 例

煙氣의 分散이 14° 以內에 들어가는것

그리고 氣流의 均一性이란 層流 作業區域에 있어서 作業空間을 最大 4ft² 以下의 같은 面積의 空間으로 分割해서 각각의 格子에서의 風速을 測定해서 各點의 風速이 平均風速의 ±20% 以內에 있는 單一方向의 氣流라고 定義되어 있다. 이들 規定은 室內에서 氣流에 대한 障害物이 없는것을 前提로 하고 있으나 上述한 것 같이 實際의 工場에서는 천정面에 필터面 以外的 各種 設置物이 있고 이 부분에서의 吹出氣流는 전혀 없기 때문에 그림 34에 나타내는것 같이 이 부분에서는 氣流의 擴散流入이 일어나서 作業區域에서의 氣流의 平行性이나 均一性을 棼체로 實現하기 어려운것이 實狀이다. 다만 클린벤치內에서는 風速의 分布가 平均值에 대해서 ±15% 以下로 하는것은 棼분히 가능하다. 또한 클린벤치內에서는 發生하는 먼지粒子를 作業區域外로 排出시키는데 필요한 空氣의 慣性力을 얻기위해서 最小 氣流速度는 0.25m/s, 그리고 먼지粒子의 바닥面에서의 反발現象 방지를 위해서 0.5m/s 以下로 하도록 권장되고 있다.³⁹⁾

그림 35⁴⁰⁾는 3.42m×6.12m×3.00m (높이)의 實驗用 클린룸內的 全面 垂直層流일때의 室內風速 分布의 測定例를 나타낸것으로서 換氣回數 447.7回/h, 實測 平均風速이 HEPA 필터 直下 50cm의 位置에서 0.384m/s 그레이팅 바닥위 50cm의 위치에서 0.380m/s로 되어있다. 이 예에서도 HEPA 필터 直下에서는

表 19 風 速 의 偏 差

換氣回數	許容條件	實測 平均風速의 ±22.2 %	實測 平均風速의 ±33.3 %	實測 平均風速
		以內에 있는 全部의 比率	以內에 있는 全部의 比率	(m / s)
447.7回 / h	吹出	92 (%)	100 (%)	0.384
	吸込	90 (%)	94 (%)	0.386
281.6回 / h	吹出	90 (%)	100 (%)	0.253
	吸込	90 (%)	100 (%)	0.249
101.2回 / h	吹出	92 (%)	100 (%)	0.080
	吸込	58 (%)	90 (%)	0.051

最大風速 0.49m/s, 最小風速 0.26m/s
로서 平均流速에 대해서 +27.6%, -
32.3%로 되어있으며, 그밖의 換氣回數
일때에도 氣流速度의 均一性을 얻기 어
려운것이 表 19⁴¹⁾로부터도 判斷된다. 또
한 이 實驗室의 天井面積에 대한 HEPA
필타의 面積比는 82%이다.

4.2 室內氣流의 攪亂과 먼지의 擴散

全面 垂直層流形 클린룸의 特徵의 하
나는 室外로부터 HEPA필타를 通過해서
室內에 流入한 에어로졸이나 室內에서
發生한 먼지粒子 등이 氣流에 따라서 다
른곳으로 擴散되지 않고 垂直으로 氣流
와 함께 流下해서 그레이팅 등의 바닥面

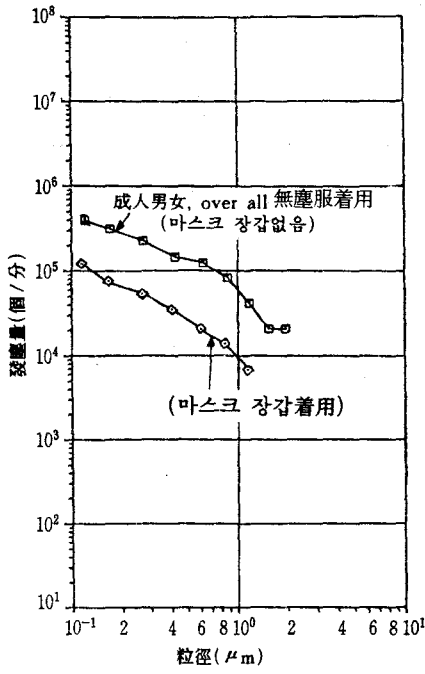
吸入口로 吸入되어 버리는데에 있다.

그러나 클린룸은 生産 또는 作業에 利
용하기 위해서 築造되는 것이므로 室內
에는 製造프로세스用的 各種 製造機器
유틸리티設備, 測定用 計器, 作業者 등
이 있어서 天井面에서 均一성과 平行性
을 確保해서 吹出되는 氣流를 攪亂시키
는 원인이 많이 있다. 이와같은 攪亂기
류에 휩쓸린 먼지粒子 등이 製造中の 半
製品上에 부착해서 결함제품을 만들어
내는 원인으로 되어있다. 半導體 製造工
場內에서의 IC의 汚染源은 表 9에 나타
내는 것 같이 여러가지의 것이 있는데,
이중에서 클린룸技術에 의해서 處理해야
하는것과 處理가스, 藥品, 純水 등과 같

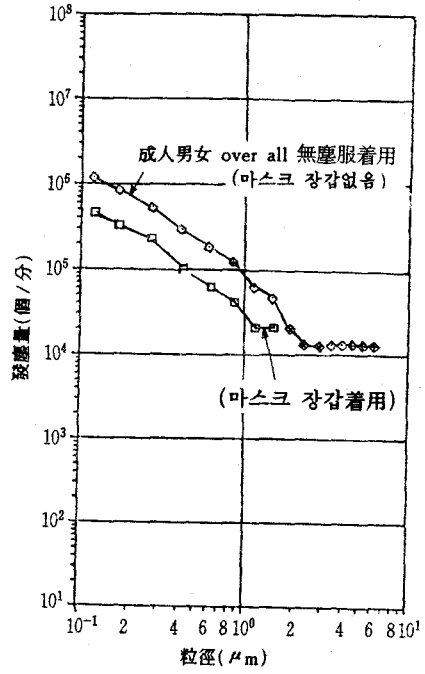
表 20 作業者の 發塵量(0.12 μm 以上×10⁴個/分)

作業者的 性 別	無塵衣 의 種類	마스크 장 갑	씻어 낸다	着席 (靜止)	着席 (웨이퍼 의 移動)	着席 席顯 微鏡 觀察	着席無 塵紙에 써넣기	起立着席 2回/分	直立 (靜止)	步 行 24 m/分	體 操 팔늘림 屈伸등
成人女子	新 品	不着用	-	ND	3.4	8.0	1.5	3.4	2.7	7.5	31.2
成人男子	新 品	不着用	-	16.3	14.1	19.0	6.8	30.4	6.1	12.1	118.3
成人男子	新 品	着 用	24.8	6.2	4.1	3.1	ND	4.1	-	8.3	18.6
成人男子	使用品	着 用	78.5	-	-	-	-	-	-	41.3	43.4

註)ND는 10⁴ 個/分 以下를 나타낸다.

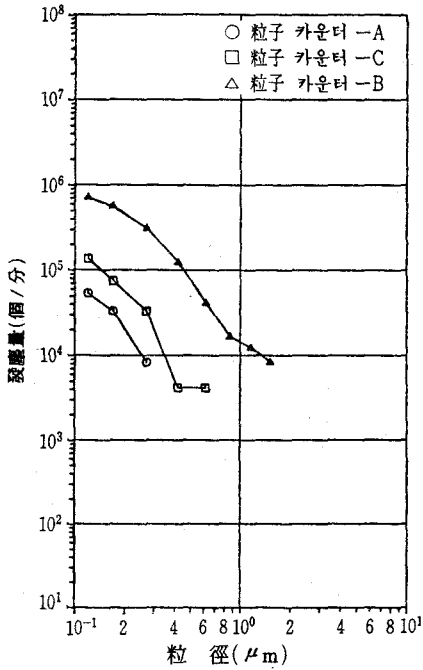


(a) 步行時

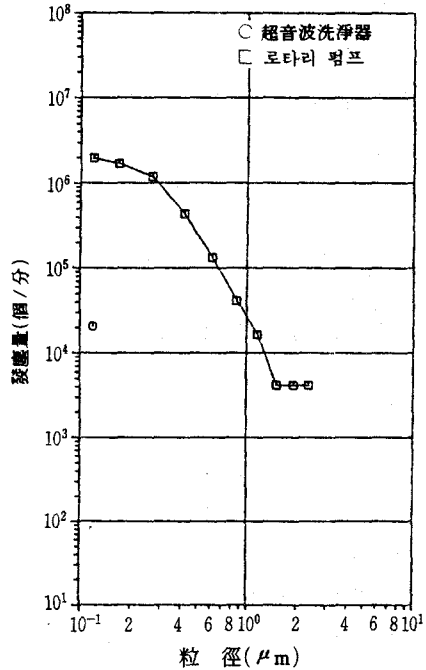


(b) 體操時

그림36 作業者 發塵의 累積濃度 曲線



(a) 測定計器



(b) 生産機器

그림37 機器類 發塵의 累積濃度 曲線의 例

이 다른 技術에 의해야만 하는것이 있다. 또한 後述하는 것과 같이 發塵源으로는 工程 및 裝置가 각각 20~30%, 人體가 30~40%로 되어있다. 이들 發塵源으로부터 發生한 먼지粒子는 클린룸內의 氣流에 의해서 搬送되어 製品에 附着되는 것과 附着되지 않고 吸込口까지 보내지는 것으로 나누어진다.

現在 클린룸을 設計하고 있는 空調技術者에 있어서 IC 製造工程이나 製造機器로부터의 發塵量은 不明한 것이 많아서 오히려 作業 區域內에서의 人體로부터의 發塵의 抑制과 早期除去가 最大의 課題로 되어있다. 表 20⁴²⁾은 오버올

(over all)形의 無塵服을 着用한 作業者에게 各種의 動作을 하게할 때의 粒徑 0.12 μ m以上の 먼지粒子의 發塵量의 測定結果를 나타낸 것으로서 無塵服이 새 것이고 마스크나 장갑을 着用하고 動作이 조용할때 일수록 發塵量이 적어지고 있는것을 알수있다. 또한 步行時의 發塵의 累積濃度 曲線을 그림 36⁴³⁾에 나타낸다. 步行보다도 動作이 심한 體操를 할 때라도 發塵量은 1자리(桁)까지 높아지지 않는것을 알수있다. 또한 機器類의 發塵量의 計測例를 그림 37⁴⁴⁾에 나타낸다. 이와같은 發塵이 垂直層流의 氣流에

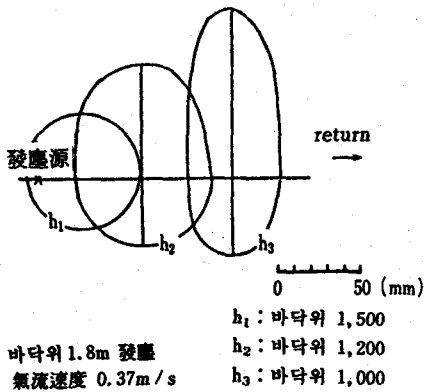


그림38 點發塵의 擴散

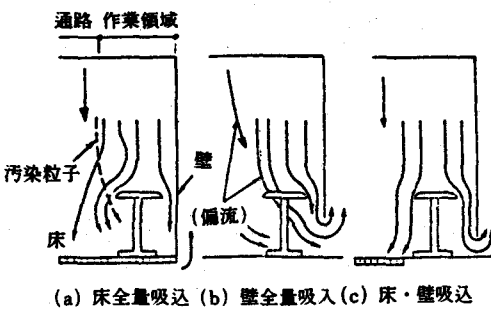


그림40 垂直氣流의 分類

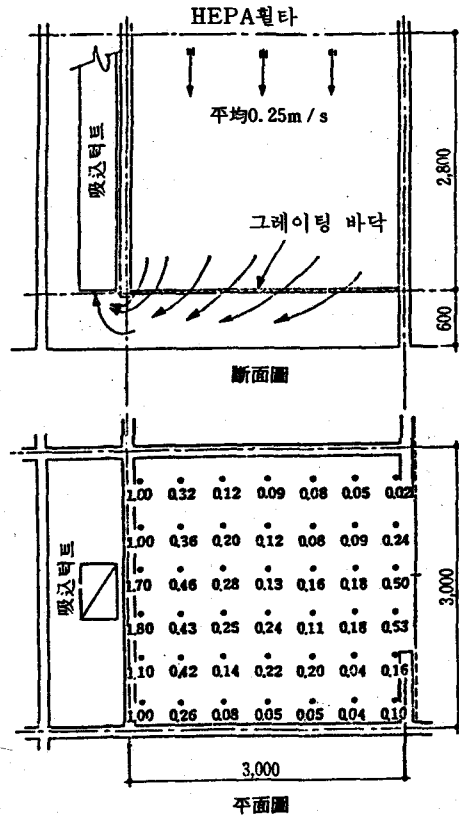


그림39 吸込口 發口位置에 의한 垂直 吹出氣流의 偏流

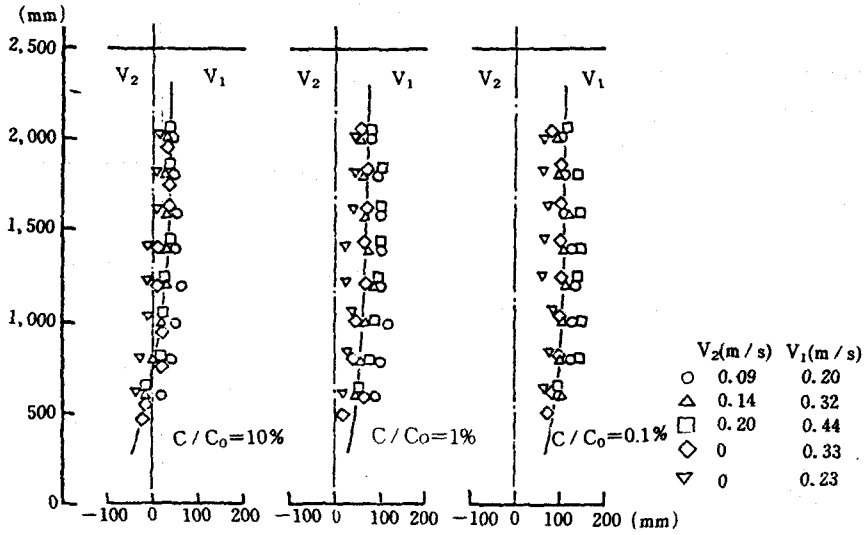


그림 41 氣流境界面에서의 먼지의 侵入

휩쓸려서 發塵源으로부터 바닥면 吸込口로 流下하지만 그 狀態는 반드시 流線에 따라서 흐르는 것이 아니고 그림 38⁴⁵⁾에 나타내는것 같이 流下하는데 따라서 차츰 擴散되고 있다. 이것은 그레이팅 바닥위 1.8m의 位置로부터 DOP 粒子를 放出해서 각각의 位置에서 먼지濃도가 急激하게 變化하는 位置를 구하고 먼지計測值의 有無를 갖고 擴散境界로 한 것이다.

그림 38에서 室內 上部에서 放出된 먼지는 아래쪽을 向하는데 따라서 차츰 左側으로 기울고 있으나 이것은 그레이팅 밑의 吸込덕트가 實驗室 右端에서 開口되어 있는것의 영향이고 그림 39에 나타내는것 같은 實驗結果의 報告도 있다. 클린룸내에 設置된 機器 또는 作業台上에 到達한 垂直氣流는 概念的으로는 그림 40에 나타내는 것 같이 台上에서 分

流되고 이 分流에 따라서 氣流中の 먼지 粒子도 流下하는 것으로 豫想되는데 機器類와 背後의 壁面과의 사이의 間隙의 有無, 發生하는 먼지의 飛散速度, 台上的 發塵體의 有無 등에 따라서 製品으로의 먼지 粒子의 附着狀況은 크게 달라진다. 또한 吸込口의 位置에 따라서도 氣流의 性狀이 크게 달라진다.

最近 클린턴넬方式이 注目을 받고있는데 클린턴넬과 通路部分과의 境界面에서의 먼지의 擴散問題가 淸급되는 일이 많다. 그림 41⁴⁷⁾은 同一面에 설치된 HEPA 濾타에 部分的으로 抵抗을 설치해서 吹出氣流 速度를 바꾸어 低速側에서 DOP 粒子를 發生시켜서 먼지 粒子의 高速側으로의 流入狀況을 調査한 것으로서 汚染區域의 濃度の 0.1%를 갖고 汚染區域과 淸淨區域과의 境界로 하고 있다. 이 그림으로부터 먼지가 高速區域側으로

상당히誘引되고 있는 것을 알수있다. 그림 중實線은 低速側과 高速側과의 氣流速度 差의 10%만큼 變化하는 淸淨區域側의 點을 연결한것으로서 氣流의 境界로 생각할 수 있다.

그림 42⁴⁸⁾는 클린턴넬과 通路部分과의 사이에서 HEPA필타의 設置높이가 다른 경우의 구석부분의 汚染部分을 구한것으로서 양쪽의 氣流速度에 關係없이 내림(垂)壁과 上部 HEPA필타와의 거리의 3 倍程度의 位置까지 汚染部分이 남는다.

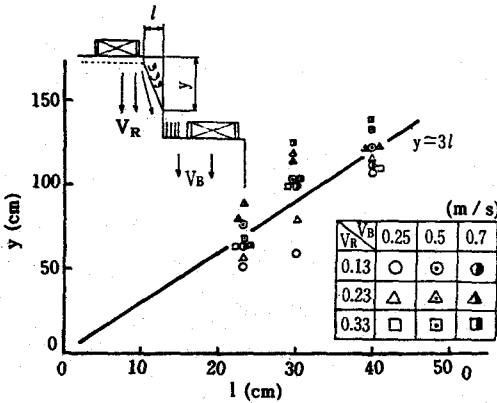


그림42 HEPA距離와 dead space의 길이

또한 클린룸內的 層流區域과 亂流區域과의 境界面에 에어커텐을 設置해서 層流區域側으로의 먼지의 擴散을 방지하려는 研究도 있는데 예를들면 같은 높이의 천정面에서 空氣를 吹出하고 그 境界面에 에어커텐을 設置한 경우의 예를 그림 43⁴⁹⁾에 나타낸다. 또한 클린턴넬의 境界面(낮은 位置)에 에어커텐을 設置한 경우의 예를 그림 44⁵⁰⁾에 나타내는데 어느 것이나 氣流의 誘引作用에 의해서 淸淨

區域으로 먼지粒子가 流入되는 것을 알 수 있다.

4.3 氣流의 數值 시뮬레이션과 可視化

最近 空調工學의 研究者들 사이에서 室內氣流의 모습을 컴퓨터를 사용해서 數值시뮬레이션(simulation)에 의해서 구하려는 研究가 왕성하게 이루어지고 있다.

非壓縮性 粘性流體에 대한 흐름의 基礎方程式 Navier-Stokes의 運動方程式이라고 하는데 等溫 室內氣流와 같은 경우에는 다음式으로 표시된다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 w$$

여기서 u, v, w는 각각 x, y, z方向의 速度成分, p는 壓力 ρ는 流體密度, ν는 動粘性係數이고

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \dots\dots\dots(4)$$

이다.

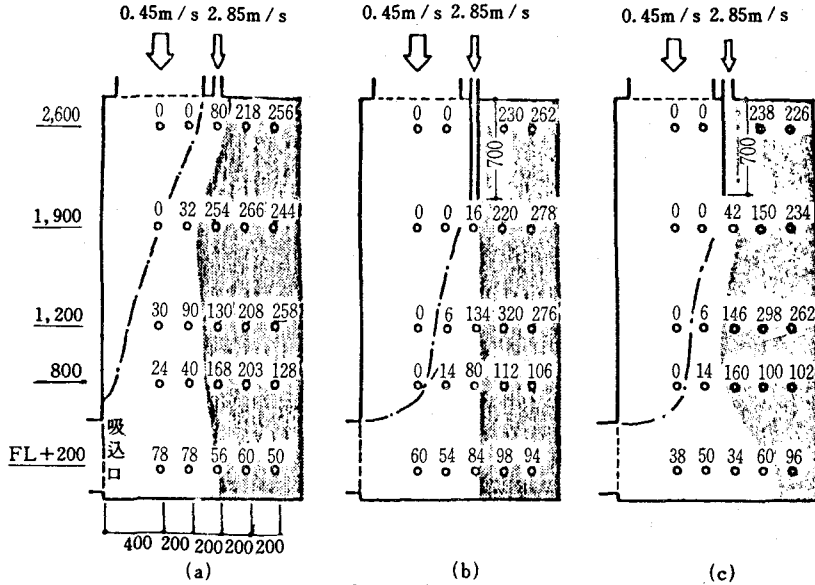


그림43 에어커텐의 効果

(0.5 μm 以上 個 / ft³) (亂流區域換氣回數 30回 / h)

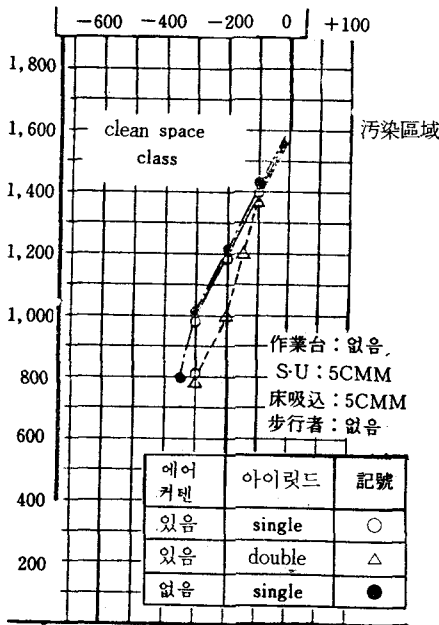


그림44 클린스페이스와 에어커텐의 効果
(0.03 μm 以上 個 / ft³)

또한 흐름의 連續의 式으로서 다음 式이 成立된다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots \dots \dots (5)$$

이들 式은 u, v, w, ρ의 4個의 未知量을 包含하는 非線形 偏微分 方程式으로서 특수한 경우 以外에는 解析을 얻을 수는 없으나 이것을 單純化해서 大型 컴퓨터를 사용해서 差分法이나 有限要素法 등을 사용해서 數值的으로 푸는 方法이 이용되고 있다.

또한 클린룸內의 發塵의 擴散에 대해서도 다음의 擴散 方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D \nabla^2 C \dots \dots \dots (6)$$

를 適用해서 컴퓨터를 이용해서 數值的으로 풀수있다. 여기서 C는 먼지濃度,

D는 먼지의 擴散係數라고 하는것이다.

이와같은 컴퓨터 시뮬레이션에 의해서 얻어진 結果의 예를 그림 45⁵¹⁾, 그림 46⁵²⁾, 그림 47⁵³⁾에 나타낸다.

이와같은 컴퓨터에 의한 數値시뮬레이션은 대부분 2次元의 경우에 限하고 3次元의 문제를 푸는데는 大型컴퓨터 또는 슈퍼컴퓨터가 필요하게 되므로 現時點에서는 汎用性은 없다.

또한 最近 클린룸內의 氣流를 肉眼으

로 관찰하기 위한 可視化의 實驗도 많이 이루어지고 있다.

可視化의 方法으로는 適當한 길이의 가벼운 실(이것을 타후트라고 한다)등을 室內氣流 斷面에 格子모양으로 둘러친 金屬網 등에 설치하고 덕트의 方向 및 움직임에 따라서 氣流의 흐름의 方向등을 살펴보는 덕트法, 線香이나 담배연기를 작은 구멍에서 氣流중에 연속적으로 注入해서 연기의 기류에 따른 흐름을 調

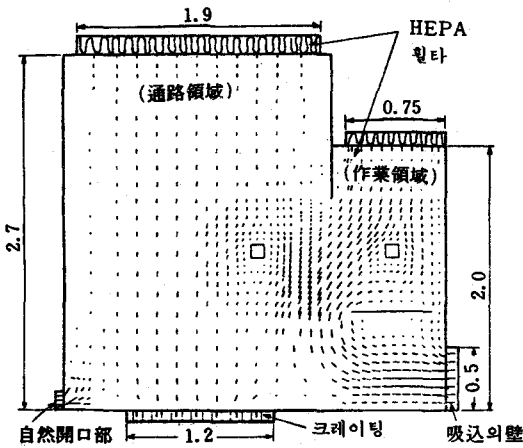


그림45 클린터널에 있어서의 2相層流의 氣流 simulation의 例

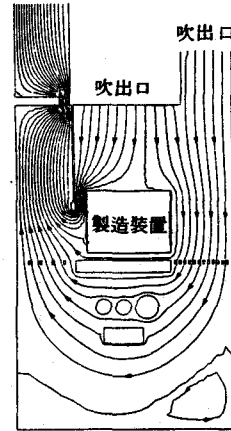


그림46 클린룸내의 흐름의 해석결과

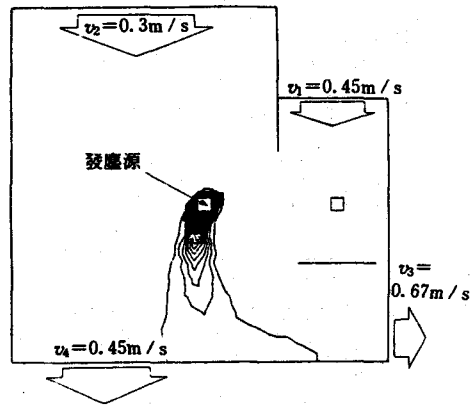
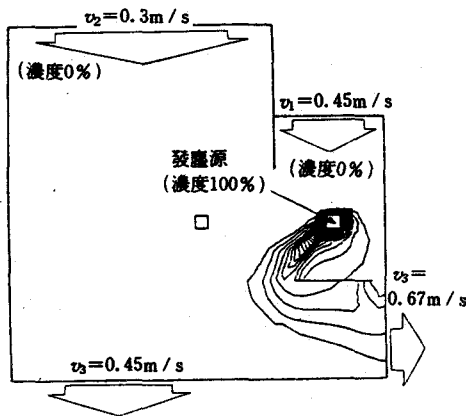


그림47 먼지擴散의 simulation

査하는 注入流脈法, 針狀의 結晶이나 비누거품등을 氣流中에 注入해서 흐름을 살펴보는 浮游法등 여러가지의 可視化하는 방법이 사용되는데 클린룸내에서의 먼지의 擴散狀況이나 室內의 機器作業臺 등의 주변 氣流의 움직임이나 散亂의 狀況등을 관찰하고 있다.

5. 클린룸내의 環境測定

5.1 環境測定 項目

모든 클린룸의 목적은 規定된 清淨度下에서 그밖의 各種 環境條件, 예를들면 溫濕度, 氣流등도 規定된 狀態로 維持하는데에 있다. 그중에서도 특히 清淨度の 維持를 위해서는 다음과 같은 것이 基本方針으로 되어있다.

1. 外部로부터의 먼지粒子的 侵入防止 (갓고 들어가지 않는다).
2. 室內에서의 發塵防止(發生시키지 않는다).
3. 發生하는 먼지粒子的 신속한 除去 (남겨두지 않는다).

클린룸내의 各種의 環境條件을 항상 規定된 값 以內로 維持하기 위해선 항상 그들의 狀態를 監視하고 檢査해서 基準値 以內인 것을 確認하는 동시에 基準値를 넘는것이 있으면 그 원인을 찾아내어 除去해야 한다.

IES(Institute of Environmental Sciences)의 IES-RP-cc-006-84-T

Recommended Practice For Testing Clean Rooms(Draft)에 의하면 클린룸의 狀態로는 建設完了時(生産機械 未設置), 運轉停止時(生産機械 設置, 無人일때), 運轉中の 3種類가 있는데 各各의 段階에서 室內狀態도 다르므로 環境條件의 檢査方法 등도 달라지는 것으로 하고 있으나 各各의 단계에 대해서 表 21에 나타내는것과 같은 項目에 대해서 測定하도록 되어있다.

表 21 클린룸내의 環境測定項目

試驗 方法	層 流 形	亂 流 形
氣 流 / 均 一 性	1	—
필 터 의 漏 洩	1	1
平 行 性	1,2	—
回 復 性	1,2	1,2,3
浮遊粒子數計測	1,2,3	1,2,3
粒 子 落 下	0	0
誘 引	1,2	1,2
室 內 壓 力	1,2,3	1,2,3
給 氣 量	1	1
照 度	1	1
騒 音	1,2	1,2
溫 度	1,2,3	1,2,3
濕 度	0	0
振 動	0	0

* 0 : 要求가 있을때 실시하는 試驗

- 1 : 建設完了時 실시하는 試驗 (生産機械未 設置)
- 2 : 運轉停止時 실시하는 試驗 (生産機械設置, 無人時)
- 3 : 運轉中 실시하는 試驗.

1) 氣流의 均一性 : 전체 눈금 (full scale)에 대해서 3%以內의 精밀도를 갖는 熱線式 또는 風車式 風速計를 使用해서 層流空氣 吹出口로부터 12인치 (305mm) 以內의 장소에서 作業空間으로의 流入面을 1區劃의 面積이 4ft²以下가 되도록 分割해서 各各의 格子에서의 風速을 最低 5秒 동안 測定해서 全體 測定值의 平均値에 대해서 ±20%의 範圍內에 있는 風速이 均一한 範圍를 구한다. 그 結果의 良否判定에 대해서는 販賣者와 購入者사이의 合意事項으로 한다.

2) HEPA필터의 漏洩 : 이것은 HEPA 필터의 損傷, 噴霧의 有無, 設置用 틀, 密封部分등으로부터의 漏洩의 有無를 檢査하는 것으로서 클린룸의 種類에 따라서 試驗方法이 多少 달라진다.

基本的으로는 필터 上流側에 DOP粒子 또는 이와 同等한 粒子를 流入시키고 필터 下流側에서 入口面積이 1.2~1.4in² (7.8~9.2cm²)인 探觸子(probe)를 使用해서 필터의 表面으로부터 約 1인치의

장소를 10ft/min 以下의 速度로 移動시켜 가면서 走査시키는데 吸引空氣量은 1.0±(0.1)ft³/min으로 한다. 이 試驗의 結果 漏洩하는 곳의 修理面積이 全體 表面積의 5%以內, 修理하는 곳은 한방향에 대해서 最長 1.5인치 以內로 한다. (具體적으로는 좀더 詳細하게 規定되어 있다)

3) 氣流의 平行性 : 層流形 클린룸에서 氣流의 均一性에 대한 試驗이 完了된것에 대해서 作業區域의 上流側 및 下流側 平面을 10ft×10ft로 分割해서 그 格子의 中央에서 바깥쪽으로 1/4인치(6.4mm) 以下의 口徑의 튜브로부터 周圍氣流의 ±5ft/min以內의 速度로 연기를 放出해서 上流側과 下流側에서 연기의 흐름의 어긋나는 角度가 14° 以內인 것을 確認한다. 그런데 上流側과 下流側의 測定面의 間隔은 3ft以上으로 한다.

4) 回復性 : 層流形의 경우 上述한 發煙裝置를 使用해서 上流側 平面에서 1~2分 發煙시킨후 停止하고 下流側 平面에

表 22 클린룸용 에어로졸의 濃度 및 粒度分布의 實用的인 測定方法

測定方法	測定粒徑範圍 (μm)		分級最大數	測定下限濃度	測定原理
	下 限	上 限			
(濃度測定法)					
光 散 亂 法	~0.1	~2	-	{ 空氣散亂 }	散亂光量
凝 縮 核 測定法	0.0025 ~ 0.006	~0.5	-	1 個 / cm ³	過飽和凝縮 - 光散亂
(粒度分布測定法)					
光 散 亂 計數器	< 0.1 ~ 0.3	3 ~ 100	20 ~ >100	1 個 / cm ³	光散亂 필즈
電 氣 移動度 法	~0.006	1	~15	1 μm / cm ³	荷電 - 移動度分離
擴 散 밧 테 리	0.001	0.2	1	center 에 의함	擴散沈着

서 1分後에 試料採取管으로 發煙口 바로 밑에서의 $0.5\mu\text{m}$ 以上の 粒子數를 測定해서 그 값이 $100\text{個}/\text{ft}^2$ 以下로 될때까지 30초 간격으로 측정해서 $100/\text{ft}^3$ 으로 된 時間을 測定한다. 亂流形의 경우에는 吹出口에서 發煙시켜서 室內 먼지濃도가 충분히 높아진후 發煙을 정지하고 還氣口에서 1分間에 10秒만 粒子數를 計測해서 淸淨度の 水準이 建設完了時의 狀態에 到達할때까지 繼續하고 그 時間을 測定한다.

5) 浮遊粒子數의 計測: $0.5\mu\text{m}$ 以上の 粒子를 測定할수 있는 計測器를 使用해서 販賣者와 購入者 사이에 決定된 測定位置數와 格子(grid)치수에 따라서 測定한다. 測定點의 最大面積(ft^2)은 淸淨度等級(class)의 平方根 程度, 즉 等級 10, 000에서는 100ft^2 , 等級 100에서는 10ft^2 로 하는데 稼動設備나 人體로부터 發生하는 먼지를 直接 採取해서는 안된다. 그 結果는 各各의 格子에서의 測定粒子數의 平均値를 구하는데 모든 값이 美國 연방 규격 209B의 淸淨度 等級을 滿足시켜야 한다.

기타의 測定項目에 대해서 詳細한 것은 省略하기로 한다.

5.2 浮遊微粒子의 計測方法

(1) 測定法の 種類

에어로졸의 測定은 粒子의 크기, 모양, 化學組成, 放射能, 濃度등의 粒子의

性狀에 관한것과 그 速度와 같은 粒子의 움직임에 관한것이 있는데 클린룸에 관한 것으로는 粒子數와 粒徑이 重要한 測定項目이 되고 또한 그 組成도 粒子發生源의 確認을 위해서 필요하다. 따라서 그 測定方法에는 大別하면 捕集測定法과 浮遊測定法이 있는데 에어로졸의 組成등을 알기 위해서는 前者가, 浮遊粒子의 粒徑, 粒子數, 濃度등의 測定에는 後者가 利用되고 있다. 後者의 實用的인 測定法을 表 22에 나타낸다.

클린룸內에서의 淸淨度を 測定하기 위해서는

- 1) 結果의 即時性이 높을것.
- 2) 連續測定이 可能할 것.
- 3) 粒子濃도에 대해서 高感度일것.
- 4) 粒徑分布의 測定이 可能할 것.
- 5) 操作이 간단하고 自動的, 連續的으로 記錄할수 있을 것.

등의 條件을 구비한 方法이 좋다.

(2) 光散亂式 粒子計數器(光散亂 粒子 counter)

均一하게 分散된 球形粒子로부터의 散亂光의 強度는 理論的으로 說明할 수 있다. 粒徑이 대개 $0.3\mu\text{m}$ 보다 큰 경우에는 그 散亂光 強度는 대개 粒徑의 2乘에 比例하고 $0.3\mu\text{m}$ 보다 작을때는 粒徑의 6乘에 比例하고 波長의 4乘에 反比例하며 또한 粒子의 屈折率에도 依存한다. 따라서 대개 $0.3\mu\text{m}$ 를 境界로해서 散亂光의 強度는 急激하게 낮아지므로 粒子直徑 $0.3\mu\text{m}$ 以上에서는 보통의 可視光線을

사용하고 그 以下에서는 레이저와 같은 強力한 光源을 사용해서 될수 있는한 많이 集光하도록 하고있다.

光散亂式 粒子計數器는 光源으로부터의 光을 렌즈系統으로 集光하고 좁은 관찰공간을 만들어서 여기에 에어로졸의 흐름을 sheath air flow로 둘러싸고 흘러 보내서 에어로졸이 光을 遮斷하게 한다. 이때 光을 粒子가 차단할 때마다 생기는 펄스(pulse)狀의 散亂光을 光電管에 받아서 電氣的인 펄스로 바꾸어서 펄스의 波高值로부터 粒徑을 펄스數로부터 粒子數 濃度를 구한다. 入射光의 光軸과 集光光軸의 角度的 차이에 따라서 그것이 同軸上에 位置하는 前方散亂型과 그것이 特定한 角度를 이루는 側方光散亂型으로 大別된다.

이 計數器는 光電管의 噪音레벨(noise level)以下의 펄스는 檢出할 수 없으므로 測定할 수 있는 粒徑의 下限은 0.2~0.3 μ m程度이다. 또한 粒子濃度가 높으면 몇개의 粒子를 동시에 檢出하는 同時計數 損失이 발생할 수 있으므로 적당하게 粒子濃度를 희석해야 한다. 이 計器의 校正에는 $m=1.595$ (媒質에 대한 粒子의 屈折率)인 폴리스티렌 라텍스 粒子가 사용된다.

그림 48에 光散亂式 粒子計數器의 原理圖를 나타낸다.

(3) 레이저光散亂式 粒子計數器

粒子直徑 0.3 μ m以下 0.1 μ m程度까지의 먼지 粒子를 除去對象으로 하는 슈퍼

클린룸(Super Clean Room)내에서의 微粒子의 計測에는 測定下限이 0.3 μ m程度인 光散亂粒子計數器는 이용할 수 없으므로 光源으로 레이저光을 사용한다.

레이저의 光線으로서의 특징은

- 1) 單色性이 좋은것.
 - 2) 可干涉性인것
 - 3) 指向性이 銳敏하고 集束度가 높은것
 - 4) 光束의 에너지密度가 높은것
- 등이 있는데 이것을 光散亂 粒子計數器의 光源으로서 사용하던

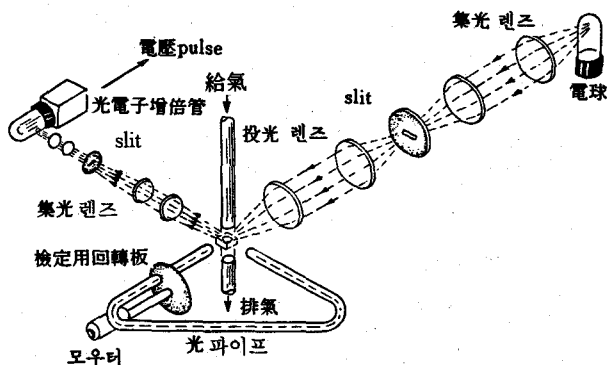


그림 48 光散亂를 利用한 空中浮遊 먼지數 則定原理

- 1) 光速을 極端으로 가늘게 줄일수 있어서 극히 작은 체적의 感光區域을 形成할 수 있는것.
- 2) 에너지 密度가 똑같이 높은 感光區域을 얻을 수 있는것.
- 3) 트랩 性能이 좋아서 넓은 立體角度에서 散亂光을 比較的 容易하게 集광할 수 있는것.
- 4) 應答特性이 Rayleigh 散亂領域(粒子의 크기가 光의 波長보다 상당히 작은

것)에서 比較的 直線性이 좋은 比例性을 유지할 수 있는것.

등의 特徵이 얻어진다.

Rayleigh散亂領域에서는 前述한것 같이 粒子에 의한 散亂光 強度는 d^2 / λ^4 에 比例하므로 예를들면 粒子直徑이 $0.3 \mu\text{m}$ 으로부터 $0.1 \mu\text{m}$ 으로 $1/3$ 이 되면 散亂光 強度는 0.0014배가 되므로 그만큼 感光區域의 體積을 작게해야 한다. 레이저를 利用하는 長點은 이와같은 難點을 解決할 수 있다는 점에 있다. 市販되는 카운터(counter)의 레이저光源으로는 波長 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ 인 He-Ne레이저가 일반적으로 사용된다.

보통의 레이저는 反射率 99.9%의 reflector mirror와 反射率 99%의 output coupling mirror로 構成되는데 레이저의 에너지는 겨우 1%밖에 利用할 수 없으나 粒子를 레이저의 共振器內로 誘導하고 그속의 레이저 파워로 粒子를 照射하는 方式(open cavity type이라고 한다)을 사용하면 보통 레이저의 100~1000배의 出力(intercavity resonant power)이 얻어지므로 市販하는 레이저 粒子計數器는 이 resonate laser cavity 方式을 採用해서 $0.09 \mu\text{m}$ 粒子의 測定, $0.1 \mu\text{m}$ 粒子의 0.1cfm 샘플링 測定 또는 $0.3 \mu\text{m}$ 粒子의 1cfm測定이 可能하게 되었다.

그림 49는 $0.1 \mu\text{m}$ 粒子用, 그림 50은 $0.3 \mu\text{m}$ 粒子用的 計數器의 光學系를 나타낸것이다. 또한 그 仕樣을 表 23에 나타낸다.

(4) 凝縮核 測定器(condensation nucleus counter, CNC)

粒徑 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の 微粒子에는 光散亂式 카운터를 사용할수 없기 때문에 粒子를 成長시켜서 관찰하기 쉽게 하고나서 粒子濃度를 光散亂法 등으로 檢出하

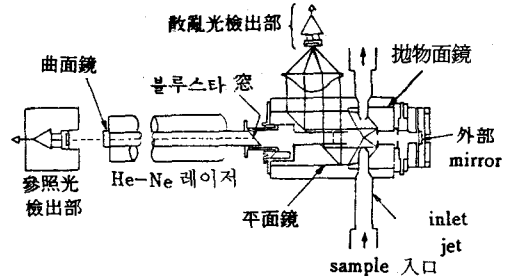


그림49 LPC-101의 光學系

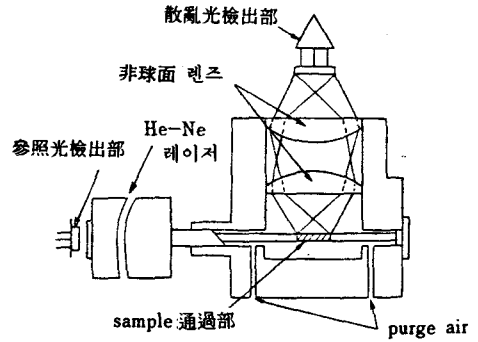


그림50 LPC-555의 光學系

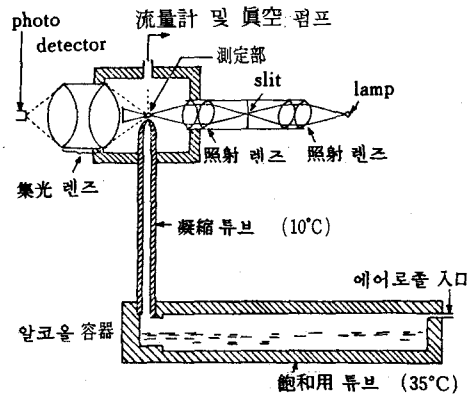


그림51 凝縮核 計數器

表 23 LPC-101 및 LPC-555의仕様

	LPC - 101	LPC - 555
計測粒徑의 範圍	3 채널 over size channel	
	0.1 ~ 0.3, 0.3 ~ 0.5, 0.5 ~ 1.0 및 1.0 μm 以上	0.3 ~ 0.5, 0.5 ~ 1.0, 1.0 ~ 5.0 및 5.0 μm 以上
Sample 流量	0.1 ft ³ /min(0.1 com)	1 ft ³ /min(1 com)
메모리 容量	2,000 萬個 / ch	
printer output	7 桁感熱式 printer (2"), 日付, 時刻, CF, 各 channel 의 計數值	
Serial output	RS-232 C	
digital display	8 桁 (가) 年月日, (나) 曜日, 時分秒, (다) 吸引量, (라) 어느 channel 의 計數值	
CF selector	0.01, 0.1, 1, 10, 100 CF에서 選擇	1, 10, 100, 1K 또는 10 K CF에서 選擇
最小計數 selector	1, 10, 100, 1 K, 10 K, 100 K 또는 1M 혹은 10M에서 選擇	1, 10, 100, 1 K, 10 K, 100 K, 1M 또는 10M에서 選擇
alarm class selector	1, 10, 100, 1 K, 10 K, 100 K 또는 1M個 / CF에서 選擇	1, 10, 100, 1 K, 10 K, 100 K 또는 1M個 / CF에서 선택
	計數值의 activity rate를 넘으면 정보가 울린다.	
積算值 / 區分値 selector	모우드 전환스위치에 의해서 積算值 (ACC) 또는 區分値 (DIF)에서 선택	
電 流	100VA C 50/60 Hz 3A	100VA C 50/60 Hz 5A
크 기	18 H × 41 W × 48 D (cm)	
重 量	21 kg	

는 方法이 사용된다.

粒자를 成長시키는 方法으로서 일정한 過飽和蒸氣 霧圍氣를 粒자의 주위에 만들어서 浮遊粒자를 核으로 한 液滴을 만든다. 過飽和蒸氣를 만들어내는 方法에는 3種類가 있는데 그림 51에 나타내는 方法이 가장 많이 보급되어 있고 알코올 蒸氣를 가는 冷却된 管에 誘導해서 管壁의 冷却効果에 의해서 蒸氣가 過飽和로 되어 알코올 分子가 차츰 粒자에 附着해

서 液滴으로 成長한다. 成長後의 粒子直徑은 1 μm 程度가 된다. 이 成長된 粒자를 光學系에 보내서 粒子數 濃度를 計測한다.

CNC는 粒子直徑에 無關係하게 粒子數濃度를 測定하기 때문에 粒徑分布를 測定하려면 다시 分級法이 필요하게 된다. 分級方式으로는 微分型 靜電分極法과 브라운 擴散分級法이 있는데 前者는 多分散 에어로졸을 극히 높은 單分散粒

子로 分級하는 것으로서 粒徑測定器의 較正 등에 사용되고 後者는 連續的으로 에어로졸을 分級하는 것으로서 그 原理를 利用한 것에 擴散뱃데리가 있다.

擴散뱃데리의 블럭다이아그램(block diagram)을 그림 52에 나타낸다. 이 예에서는 11個의 배출구(port)가 붙어있는데 스텐레스鋼製의 그물눈(mesh)이 배출구 1~11 사이에 0枚, 1枚, 2枚, 10枚가 들어있고 여기에 에어로졸을 層流狀態로 흘리면 粒子는 브라운運動에 의해서 작은 粒子로부터 上流側에서 捕捉되고 큰 粒子는 下流側으로 흘러간다. 이와같이 해서 分級된 粒子를 각각의 샘플링포트(sampling port)로부터 取出하고 CNC에서 그 個數를 計測해서 粒徑 및 粒度分布가 구해진다. 따라서 凝縮核計數法에서는 그림 53에 나타내는것 같이 擴散뱃데리, 스위칭밸브(switching valve), 凝縮核測定器의 組合으로 구성된다. 이 測定法에 의해서 粒徑 0.005~1.0 μ m까지의 粒子를 計測할수 있다.

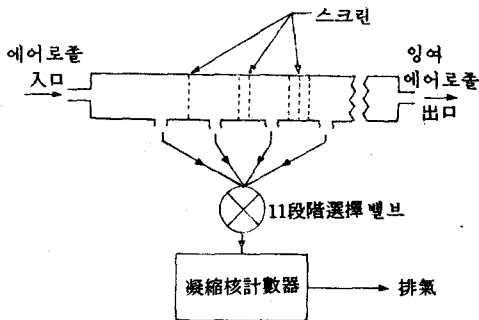


그림52 擴散 뱃데리

6. 맺는말

반도체 IC의 技術的인 發展은 끝나는 곳을 알수없을 정도로 계속되고 있어서 2~3년 간격으로 集積度가 4倍로 증가하고 있다. 이와같은 發展에 따라서 IC의 design rule도 점점 微細化되고 있다. 이와같은 微細構造에 대한 微粒子의 附着에 의한 영향은 매우 크고 따라서 除去할 微粒子의 粒徑도 차츰 보다 작은것으로 옮겨가고 있다. 現在의 에어필타 技術에서는 가장 捕捉하기 어려운 粒徑이 0.1 μ m程度인 것으로 되어있고 따라서 design rule의 微細化에 대해서 현재의

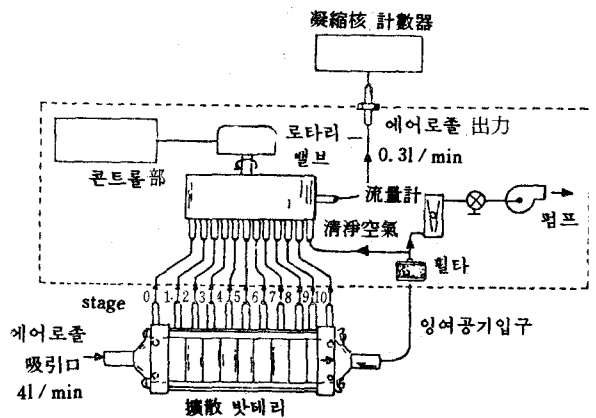


그림53 凝縮核測定器 flow diagram

에어필타로 충분히 對應할수 있는 것으로 되어있다. 그러나 微粒子의 測定技術의 進歩에 따라서 現在의 觀點과는 다른 견해가 생겨나지 않는다고는 할수 없다.

또한 슈퍼 클린룸화와 함께 IC製造 프로세스內로 가장 큰 發塵源으로 되어있는 作業者가 出入할 필요가 없는 全密閉型 生産프로세스가 구체화되는 것도 꿈

만은 아니다. 이와같은 時代에 들어가면 당연히 작업자의 發塵은 문제가 되지 않게 되지만 製造라인 自體가 내는 먼지 其他의 微粒子의 除去對策이 重要한 課題로 될것이다. 클린룸의 設計, 運轉의 基本的인 개념으로서 微粒子를 外部로부터 클린룸內로 갖고 들어가지 않을것과 内部에서 微粒子를 發生시키지 말것, 그리고 室内에 存在하는 微粒子는 될수 있는한 속히 除去한다고 하는 3가지의 要件을 만족시키도록 要求되고 있는데 앞으로는 이 3가지 要件중의 뒤의 2가지의 要件이 重要한 技術的인 課題로 될것으로 豫想된다.

이와같은 課題는 IC製造者뿐만 아니라 IC製造裝置 메이커 및 空調技術者의 3者가 일체가 되어서 밀고나가지 않으면 해결할 수 없는것이 아닐까? 슈퍼 클린룸 時代에 들어가서 점점 空調技術의 重要性이 증가될것으로 생각된다.

이 글은 일반기술자에 대한 技術講習을 目的으로 해서 作成된 것으로서 内外의 많은 研究者의 研究成果를 利用하였다. 그들 연구자 여러분들의 이름과 文獻의 명칭을 다음의 文獻에 記載해서 깊은 感謝의 뜻을 나타내는 바이다.

文 獻

- 1) 石坂誠一監修: 半導体, p. 18, 通商産業調査會, 東京 (1984).
- 2) 石坂誠一監修: 半導体, p. 42
- 3) 石坂誠一監修: 半導体, p. 41
- 4) 石坂誠一監修: 半導体, p. 41

- 5) 野口恒他: クリーンエンジニアリング, p. 17, トリガー, 日刊工業新聞社 (1985/6).
- 6) 野口恒他: クリーンエンジニアリング, p. 17
- 7) G. E. Moore: Progress in Digital Integrated Electronics, Int. Electron Devices Meeting 1975. Washington D. C., p. 11. (1975).
- 8) 右高正俊編著: L S I 프로세스工学, p. 152, 오ーム社, 東京 (1982).
- 9) 高須新一郎: 「半導体製造裝置實用便覽」(飯田進也, 中村正克編) p. 18, 사이언스フォーラム (1984).
- 10) 文獻 8) p. 201.
- 11) 文獻 8) p. 13, 圖 2.6 一部加筆
- 12) 志村幸雄著: I C産業の新展開, p. 127, 다이ヤモンド社 (1984).
- 13) 文獻 8) , p. 21.
- 14) 金会不二夫: 超 L S I 프로세스環境制御・防災安全對策綜合技術資料集, p. 119, 사이언스フォーラム社發行 (1982).
- 15) Paivans, J. A., Hassan, J. K.: Air Film System for Handling Jemiconductor waters, IBM. J. Res. Develop., 23, No. 4, p. 361, (1979).
- 16) Brunner, R. H. et al.: Automated Semiconductor Line Speeds Custom Chip. Production, Electronics, Jan., p. 27, 121 (1981).
- 17) 文獻 8) , p. 204.
- 18) 金井莊一: クリーンルーム (早川一也編) p. 134, 井上書院, 東京 (1985).
- 19) 吉見武夫: クリーンルームのシステム設計, p. 3, 日本空氣清淨協會 (1984).
- 20) 橋本學明, 浜正治: 半導体製造工程におけるダスト (パーティクル) のセンシングについて, センシング技術応用研究会第36回研究例会資料.
- 21) Dahlstrom, M. S.: Semiconductor Intl., 6, p. 110, April, (1983).
- 22) ソフト技術編: 精密洗浄・超清淨化技術綜合資料, p. 93, ソフト技術, (1982).
- 23) 文獻 20)
- 24) Harper, J. G. and L. G. Bailey: Solid State Technl., 27(7), p. 89, (1984).

- 25) 福本・若宮・折返・中田：電子材料別冊，
p. 95 (1981/11).
- 26) 文献 18)，p. 56 (岡崎俊春著)
- 27) 文献 18)，p. 59.
- 28) Gunawardena, S. et al. : The Challenge to
Control Contamination. : A Novel Technique
for the IC Process, the J. of Environmental
Sciences, IEP., p. 26, May/June, (1984).
- 29) 文献 18)，p. 80 (内田円著).
- 30) 文献 18)，p. 29 (早川一也著).
- 31) 文献 18)，p. 28 (早川一也著).
- 32) 文献 18)，p. 153 (大塚一彦著).
- 33) ウィリアム C. ハインズ著，早川一也監訳：エ
アロゾルテクノロジー，p. 176. 井上書院，東京
(1985).
- 34) ウィリアム C. ハインズ著，早川一也監訳：エ
アロゾルテクノロジー，p. 174.
- 35) 文献 18)，p. 152. (大塚一彦著).
- 36) Liu, Benjamin Y.H. et al. : Performance of
HEPA and ULPA Filters, p. 27 IES. Proceed-
ings p. 25. IES (1985).
- 37) 日本建築学会編：建築設計資料集成 I. p. 164,
丸善，(1978).
- 38) Schneider R. K. : IES Proc. 30 th. Ann.
Tech. Meet. Environmental Intergration
Technology/Today for a Quality Tomorrow,
p. 112, (1984).
- 39) 文献 18)，p. 136.
- 40) 竹中ほか：クリーンルームに関する研究—その
1，日本建築学会大会学術講演梗概集，(北陸)
p. 387 (1983/9).
- 41) 竹中ほか：クリーンルームに関する研究—その
1，日本建築学会大会学術講演梗概集，(北陸)
p. 388.
- 42) 呂俊民，大友哲明：クリーンルームに関する研
究—その 4，日本建築学会大会学術講演梗概集
(東京) p. 226, (1984/10).
- 43) 呂俊民，大友哲明：クリーンルームに関する研
究—その 4，日本建築学会大会学術講演梗概集
(東京) p. 226, (1984/10).
- 44) 呂俊民，大友哲明：クリーンルームに関する研
究—その 4，日本建築学会大会学術講演梗概集
(東京) p. 226, (1984/10).
- 45) 西岡ほか：クリーンルームに関する研究—その
2，第 3 回空気清浄とコンタミネーションコント
ロールに関する技術研究大会予稿集，p. 30, 日本
空気清浄協会 (1984).
- 46) 小林ほか：クリーンルームの空気清浄方式とそ
の維持管理，空気調和と冷凍，p. 65, (1984/2).
- 47) 笠原ほか：クリーンルームにおける気流と塵埃
の分布その 2，第 4 回空気清浄とコンタミネーシ
ョンコントロールに関する技術研究大会予稿集，
p. 12, 日本空気清浄協会 (1985).
- 48) 高橋ほか：クリーントンネルの気流分布シミュ
レーション実験その 1，第 1 回空気清浄技術研究
大会予稿集，p. 108, 日本空気清浄協会 (1982).
- 49) 深尾ほか：クリーンルームの性能評価に関する
研究その 3，文献 45) と同一資料，p. 2.
- 50) 吉田ほか：クリーントンネル方式におけるエア
カーテン効果について，文献 45) と同じ資料，
p. 74.
- 51) 八島ほか：二相層流空間における気流分布，塵
埃拡散のシミュレーションについて，その 1，文
献 47) と同一資料，p. 17.
- 52) 池川昌弘：気流シミュレーション技術の応用
例，冷凍 60 (688)，p. 198, 日本冷凍協会
(1985/2).
- 53) 文献 51)，p. 18.