

洁净室技术资料汇编

(一)

《洁净厂房设计规范》(修订)编制组

一九九四年十一月 北京

前 言

《洁净厂房设计规范》GBJ73-84,自1985年6月1日实施以来,使我国各行各业新建、改扩建洁净厂房设计时有“章”可循,促进了我国洁净厂房的建设和技术进步。但是,八年以来随着我国改革开放政策的深入人心,科学技术、经济建设蓬勃发展,GBJ73-84《洁净厂房设计规范》已不能满足需要,理应进行补充、修改和完善。为此,国家主管部门已在“八五”工程设计标准规范制订修订计划中要求对《洁净厂房设计规范》GBJ73-84进行修订,现已列入国家建设部工程建设标准规范制订年度计划中,仍由电子工业部第十设计研究院为主编单位,要求“在原规范的基础上,修改检测技术、结构设计等内容,增加高级别洁净厂房的设计和检测技术要求”。我们现已按建设部要求组织有关人员进行修订准备工作。为做好规范的修订工作,为使新规范所扩大的范围、增加的内容充分体现和保持《洁净厂房设计规范》的先进性、可靠性和适用性,我们组织人力收集国内有关洁净厂房的研究、设计、建造、运行、检测方面的标准、技术措施和实际经验等方面的文章,现汇编成册,供《洁净厂房设计规范》编写工作时参考。这些材料在国内印发交流,希望对了解当前国内外洁净技术的发展状况有所裨益。

一九九五年三月十六日

洁净室技术资料汇编

(一)

目 录

1. 当前 IC 生产中洁净室技术的要点 严德隆 (1)
2. 洁净级别预测 王唯国 王毅勃 (7)
3. 0.1 μ m10 级洁净室计算方法的讨论 范存养 王青平 薛 莲 (11)
4. 滤函与滤尘效率关系的实验研究 涂光备 张少凡 (18)
5. 高大厂房分层空调气流数值方法 官 庆 汤广发 (22)
6. 改善高效过滤器组件的结构, 提高净化效果 刘先喆 谭新荣 蔡志明 (28)
7. 浅谈洁净室标准及其完善 汪荣荣 (32)
8. 我国和欧洲制定的 G.M.P 标准中空气洁净度分级的对比
..... 施能树 (39)
9. 洁净室洁净度等级鉴定与监控—应用 209E 标准 冯佩明 (42)
10. 关于洁净室最小采样量的探讨 魏学孟 (48)
11. 洁净室检测存在的问题 杨银栋 (52)
12. 层流洁净室采样问题的分析 魏学孟 李 明 (56)
13. 10 级洁净室在工程中的应用研究 罗荣忠 (61)
14. 西昌卫星测试装配厂房的空调洁净 万才大 (67)
15. 超大规模集成电路工业洁净室的设计 范存养 (77)
16. 中国华晶电子集团公司 88# 超净厂房工程简介 杨雅芬 (96)
17. 上海飞利浦半导体公司净化室空调工程简介 杨景安 (96)
18. 上海生物所疫苗净化室空调工程设计 刘崇荣 魏景坤 (103)
19. 生物制品洁净厂房的特点与设计 彭 彤 (108)
20. P3 实验室洁净室空调设计的若干问题 王 军 (116)
21. 对某工程提高洁净空调技术经济综合效益的剖析 胡定玺 (120)
22. 高大空调净化工程设计若干问题 高树德 (125)
23. 人体发菌量的试验研究 涂光备 程秋红 (133)
24. 生物洁净室尘埃浓度与细菌浓度的计算方法 沈 明 许 麟 (137)
25. 实验动物房的微观环境 林鹏久 吴继臣 (145)

26. 无菌室通风空调系统的微生物污染防治	滕 达 (152)
27. 药品生产质量管理规范(1992)版	(156)
28. 药品生产管理规范(G.M.P)实施指南(1992)(节选)	(166)
第一篇 医药工业洁净厂房、设施和设备	
第二篇 医药工业生产管理通则 第十章 洁净室管理	
.....	(190)
附录一 名词解释	(193)
附录二 洁净室空气洁净度的测试方法	(196)
附录三 洁净室主要施工程序	(198)
附录四 国家医药管理局实验动物管理办法及实施细则	(199)
29. 国外电子气技术进展及对发展我国特气行业的建议	梁国仑 (211)
30. 气体中的颗粒与金属杂质探讨	伊恩华 (224)
31. 高纯气体中粒子源的测定	袁华 译 赵毅 校 (228)
32. 超高纯气体管路系统	张洪雁 (236)
33. 高纯气体输送用管线与阀门	俞利群 (246)
34. 瓶装高纯气体粒子污染的测定与控制	张洪雁译 冯庆祥 校 (254)
35. PW B型紫外线淹没式杀菌装置	颜景秀 (266)
36. 华晶公司 120T/h 超纯水装置介绍	宋冬洁 (272)
37. 超滤膜在医药无菌去热原水制备中的应用	宋玉官等 (276)
38. 应用于半导体工业的超纯水	(284)
39. 超纯水制备系统的微孔精密预过滤技术	宋显洪 (287)
40. 低压紫外线灯在水处理技术中的应用	蒋永平 (291)
41. 紫外线杀菌灯及其应用	倪祥英 (297)
42. 中美史克天津制药有限公司	杜振远 (302)
43. 洁净厂房的静电保护	陈德水 (306)

当前 IC 生产中洁净室技术的要点

严 德 隆

摘要 本文分析了洁净区内硅片受污染的情况、当前洁净室技术的主要特点。提出了空态洁净度已经不是影响动态洁净度的主要因素这一认识,并对现行的二种类型洁净区的二个特点进行了介绍。最后用三张插图对三种设计方案进行了比较。

集成电路(IC)生产中,污染硅片的物质主要有悬浮粒子、细菌、金属物、有机物和气体杂质。其中粒子的污染是主要的,它来自洁净区(空间)及工艺介质(超纯水、超纯气体及超纯化学药品等),因此洁净区的粒子控制也是主要矛盾。

IC工艺现在已经进入深亚微米加工,人们已经提出硅片身的自然氧化,因之对硅片表面吸附的分子都要进行控制。

洁净室技术的内容应随加工或处理对象而异。当前IC亚微米加工中,洁净技术的内容主要包括:洁净室空气处理系统、洁净室建筑系统(即吊顶、墙板及地板等)、洁净室管理系统(包括洁净服、洁净室用品、洁净室清扫及有关规定等)以及洁净室的防静电、防电磁和防微振等措施。洁净室技术的应用需要与生产技术(工艺及工艺设备)的开发密切结合。

一、洁净区内硅片受污染情况的分析

对粒子直径的控制,从IC平面图形而言,一般认为取 $1/2 \sim 1/3$ 最小线宽即可,但在垂直方向,薄膜层的厚度比线宽小得多。因此,按经验对粒子的控制直径取 $1/10$ 最小线宽已有共识。

硅片受粒子污染的情况与洁净区的动态洁净度有关,亦与洁净区空态洁净度、采用的工艺和工艺设备、操作情况、硅片传送方式、洁净室的形式以及洁净室管理等因素有关。

1、洁净区悬浮粒子以粒径区分的来源

$\geq 0.5\mu\text{m}$ 的粒子主要来自洁净室内工作人员、洁净服、转动的机械、洁净室用品及物体表面的振动等;

$0.1 \sim 0.5\mu\text{m}$ 的粒子主要是由室外空气中的粒子穿过过滤器漏入洁净室的;

$< 0.1\mu\text{m}$ 的粒子(超细粒子)主要由燃烧或蒸发后的物质相聚集成或冷凝引起的。因此,洁净室内工艺设备的加热元件、线路板上的元件、受热了的轴承、电机、火焰及发热的光都是其来源。而超高效过滤器对这种粒子几乎可以全部过滤掉。

2、硅片上污染粒子以发尘源区分的来源

据报导,在洁净度为1级(FS-209D)的IC亚微米加工生产洁净室内($\geq 0.5\mu\text{m}$ 的粒子不多于1个/立方英尺,相应于 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 的粒子不多于35个/立方英尺)测得硅片上污染粒子的情况:

操作人员(穿工作服)引起的,如晶片盒的传送及操作、走动的交错污染等占30%。

工艺介质带入的占23%。

工艺设备引起的,本身或交错的污染占20%。

工艺加工引起的,工艺加工本身及交错的污染占25%。

穿过超高效过滤器而漏入的占2%。

根据以上的分析,可得出基本的认识是:在IC亚微米加工的洁净区内,空态洁净度已不是影响动态洁净度的主要因素。因为当前的超高效过滤器在对 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 粒子的过滤效率达99.9995~99.9999999%的情况下,合格的洁净室其空态洁净度为 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 粒子,1~10个/立方英尺,且往往检测不到。因此,控制工艺本身、工艺设备、操作人员等散发的粒子污染是个主要矛盾。若在100级的洁净室空态情况下 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 的粒子有3500个/立方英尺之多,当然空态洁净度会是影响动态洁净度的主要因素。

二、洁净室技术的主要特点及趋向

(一) 洁净室洁净度级别的控制

IC亚微米加工,目前已进入到 $0.3 \sim 0.4\mu\text{m}$ (16MDRAM)或更小的尺寸,要求控制的粒子直径已为 $0.03\mu\text{m} \sim 0.04\mu\text{m}$ 。在实际应用中,对洁净区洁净度级别的控制,还相应以 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 或 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 的粒子直径为基础。有关国家对洁净区洁净度级别都各有自己的标准并规定有作为基础的粒径,对应于不同粒径的洁净度有对应的关系式。以美国FS-209E标准为例,它以 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的粒径为基础,对应于不同粒径时的洁净度关系式为:

$$N_d = N_{0.5} \left(\frac{0.5}{d} \right)^{2.2}$$

式中: d —任选的粒径(μm),

N_d — $\geq d$ 粒径的洁净度,即粒子数为个/立方英尺或个/立方米。

$N_{0.5}$ — $\geq 0.5\mu\text{m}$ 粒径的洁净度,即粒子数为个/立方英尺或个/立方米。

日本标准JACA No.24,它以 $0.1\mu\text{m}$ 粒径为基础,其对应于不同粒径时的洁净度关系式为:

$$N_d = N_{0.1} \left(\frac{0.1}{d} \right)^{2.08}$$

无论哪一个标准,已知规定粒径的洁净度换算成任选粒径的洁净度时,其关系式基本上是一致的。

(二) 当前洁净室的设计要求

现在国际上有关 IC 亚微米加工用的洁净室中最关键的洁净区洁净度(空态)的设计要求大致可以归纳为:

1 ~ 4M(DRAM)生产有控制粒径 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 的粒子不多于 1 个/立方英尺或 10 个/立方英尺的,亦有控制在 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的不多于 1 个/立方英尺的;

16M(DRAM)生产有控制粒径 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的粒子不多于 1 个/立方英尺(相当 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 粒子不多于 3.5 个/立方英尺)的,亦有控制粒径 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 的粒子不多于 1 个/立方英尺或 10 个/立方英尺的。

可见各有关厂家对关键洁净区的洁净度(空态)要求并不一致,原因在于空态洁净度已经不是影响动态洁净度的主要因素。各生产厂的工艺、工艺设备、硅片传送方式以及洁净室形式的不同对洁净区的空态洁净度要求也不一样,如在带有微环境系统洁净室内,关键洁净区的空态洁净度要求就较宽一些。

(三) 现行洁净室的二个特点

从当前已运行的 IC 亚微米加工洁净来看,可以归纳为以下二特点:

1、把关键的洁净(加工)区尽量减小,并与洁净走道、洁净维护及修理区等隔开,可避免或减小操作人员、工艺过程、工艺设备所散发的粒子的污染及交叉污染,同时可节省电耗费用。

2、工艺和工艺设备的开发需要密切的与洁净技术相结合,如减小工艺设备散发粒子,采用机器人传送晶片盒或 SMIF 系统等。使硅片与人避免直接接触等。

(四) 洁净室的基本类型

IC 亚微米加工的典型洁净室基本类型有二。

1、隧道式洁净室

洁净室分隔成洁净加工隧道(区),洁净走道及洁净维护修理隧道(区)。加工区的洁净度要求最严,其他可低一些。

2、“微环境”系统洁净室

采用 SMIF 系统(或类似系统),包括存放晶片盒的洁净容器(SMIF POD)、自动接受洁净容器并能打开容器把晶片盒送入(送出)到设备的加工部位的机械手(SMIF ARM)、把 SMIF ARM 及工艺设备的加工部位用适当的材料封闭起来与洁净室环境隔离的空间等。在这较小的空间内送入要求很高的洁净空气。而外边的洁净室的洁净度可以低些,为 100 ~ 1000 级,这样既保证了“微环境”内这个小空间的洁净度,又可降低造价。据台湾 TSMCS 新厂采用 SMIF 后报导,IC 成品率显著提高,

10000 平方米的洁净室与洁净隧道相比,节省投资 1400 美元/平方米,节电 2×10^7 度。

(五) 三种设计方案的比较

1、循环机风采用离心式风机与表冷器,预过滤器等组合在一起,一般设置在第三层。如图 1 所示。

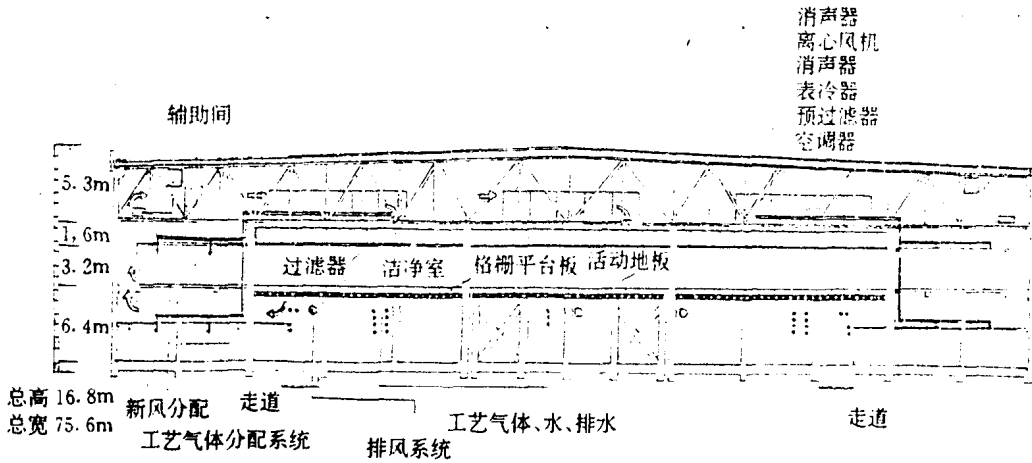


图 1. IC 生产洁净室方案(一)

2、循环风机采用垂直安装的轴流风机,如图 2 所示。

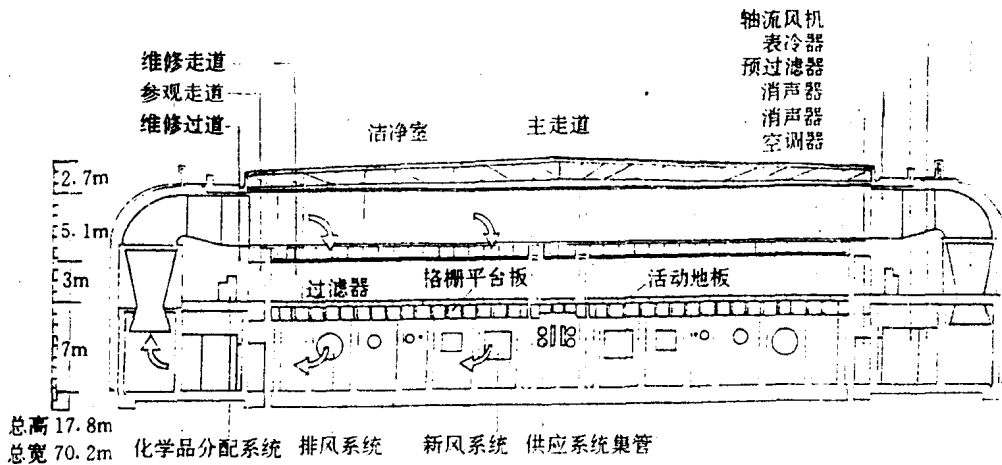


图 2 IC 生产洁净室方案(二)

3、循环风机各在带风机的高效过滤器单元内,如图 3 所示。

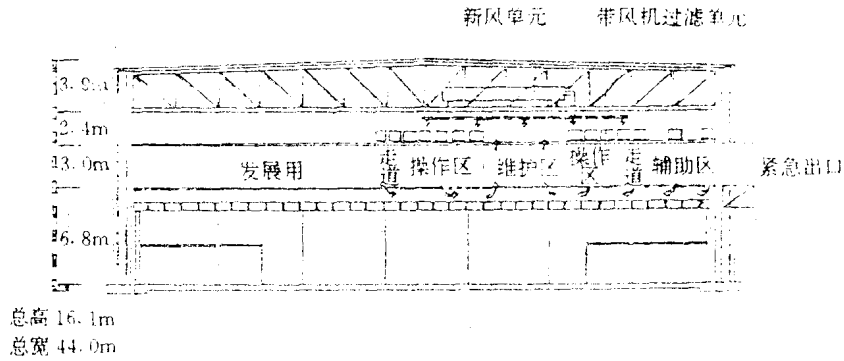


图 3 IC 生产洁净室方案(三)

垂直安装的轴流循环风机方式,投资及运行费较省、振动较小;带风机的高效过滤器单元、灵活性好,便于调整改造,但投资较大,适合用于微环境系统;用离心式循环风机的方式,比较一般。

(六) 要考虑灵活性

这主要是要适应 IC 更新换代快的要求,使原有的洁净室能方便和迅速的按生产要求进行调整及改造。

1、永久性的建筑物一般分为二层或三层。底层为公用系统、辅助系统并兼作回风室;第二层为洁净室,楼板支持在不与建筑物相联系的独立的柱上,以减少因建筑物的振动对楼板平台的影响,楼板平台为格栅式或等距的开有 $\Phi 500 \sim \Phi 600\text{mm}$ 的圆孔,作为回风及穿管线之用。洁净室活动地板支放在平台板的不开孔部分;第三层作为设置空气处理设施等之用。

2、吊顶系统、墙板系统、地板系统都采用工业化生产的标准性组合件,装卸方便,易于调整及车间内的改造(包括高效过滤器数量及布置的变更等)。

参 考 文 献

- 1、R.P. Donovan : Particle Control for Semiconductor Manufacturing 1990
- 2、Donald L. Tolliver : Hand Book of Contamination Control in Microelectronics 1988
- 3、铃道木等著 陈衡等译:大规模集成电路工厂洁净技术 1987
- 4、Gilles Guerre : The SMIF Principle R³-Symposium Ronneby 1989

5. Peter G.Luscuere : The MOS - 3 Wafer FAB Production Facility ICCCS 1990 Proceedings

6. Hans - Christian : Mini Environment System for Advanced World Class Fabs ICCCS 1990 Proceedings

7. Daniel C. Butler, etc. : Development of Contamination Controlled facilities for the 1990's and Beyond ICCCS 1990 Proceedings

8. Tadahiro Ohmi : Total Contamination Control for Semiconductor Manufacturing ICCCS 1990 Proceedings

洁净级别预测

王唯国 王毅勃

(机电部电子第十一设计院 成都 邮编: 610051)

集成电路的生产技术的发展日新月异,迅猛异常。

美国已制定出振兴半导体工业的技术发展计划。2000年的目标是开发成功0.12 μm 技术,生产出1G SRAM样品。

为了适应这种形势飞速发展的需要,如何确定洁净室的洁净级别将是我们所关心的问题之一。

有关集成电路存储器的部分技术数据列如表1。

表1、存储器技术数据

DRAM	256K	1M	4M	16M	64M	256M	1G	4G
SRAM	64K	256K	1M	4M	16M	64M	256M	1G
线宽(μm)	1.8	1.2	0.8	0.5~0.6	0.35~0.4	0.25~0.27	0.18~0.2	0.1~0.15(1)
芯片面积(cm^2)	0.4	0.5	0.9	1.3	2	3	7	10(2)
加工次数(次)	140	160	200	270	340	400	460	530(2)

从集成电路发展趋势来看

1. 线宽越来越小,这就意味着被控制的粒子直径要求越来越小。被控制粒子直径一般按线宽的1/10考虑。

2. 芯片面积越来越大,在成品率相同的情况下,芯片面积与缺陷密度成反比,为使成品率不降低,则芯片面积增大以后缺陷密度应相应地降低。这就意味着沉降在圆片上的粒子数应大幅度地下降。

3. 加工次数增多,圆片在空气中曝露的时间增加了几倍,空气中的粒子在圆片上沉降的机率也相应的增加了几倍。

关于粒子在圆片上沉降问题的研究,国外已有长足的进展。

当圆片平面与送风气流相垂直时,沉降在单位面积圆片上的粒子数 A (个/厘米²)与粒子沉降速度 V_d (厘米/秒)、圆片在空气中放置的时间 t (秒)、空气含尘浓度 C (个/厘米³)成正比。

假定粒子沉降速度、空气含尘浓度是定值不随时间而变化,则 A 可用(1)式表示。

$$A = V_d t c \quad \text{个/厘米}^2 \quad (1)$$

沉降在圆片上的粒子一部分会在清洗工艺过程中被清洗掉。而残存在圆片上的粒子其中一部分使产品形成缺陷而成废品。

假定在单位面积圆片上使产品形成缺陷的粒子数为 αA (个/厘米²)。

单位面积圆片上总缺陷数为 D (个/厘米²)。

D 值通常称之为缺陷密度。

使产品形成缺陷的原因很多, 诸如工艺、设备及工具、化学试剂、纯水、气体、人员、空气等等。

由于空气中所含的粒子沉降在单位面积圆片上使产品形成缺陷的部分假定为 βD (个/厘米²)。

$$\therefore \alpha A = \beta D \quad (2)$$

$$\alpha V_d t c = \beta D \quad (3)$$

空气含尘浓度 C 和洁净级别 C' (对于 $0.5\mu\text{m}$ 及以上粒子) 之间的关系, 如公式 (4) 所示。

$$C = 35.3 \times 10^6 c' \quad (4)$$

当被控制粒子直径不是 $0.5\mu\text{m}$ 时, 需乘以修正系数 l 。 l 值列如表 2。

$$\therefore C = 35.3 \times 10^6 l c' \quad (5)$$

公式 (3) 可化为,

$$35.3 \times 10^{-6} \times \alpha V_d t l c' = \beta D \quad (6)$$

表2. l 值

被控制粒子直径 $d(\mu\text{m})$	0.5	0.3	0.2	0.18	0.12	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	≤ 0.03
l	1	3	7.5	1.0	23	35	49	63	77	91	105	119	133

假定生产状态分别为 1 和 2 时, 则公式 (6) 可分别表示如下。

$$35.3 \times 10^{-6} \alpha_1 V_{d1} t_1 l_1 c_1 = \beta_1 D_1 \quad (7)$$

$$35.3 \times 10^{-6} \alpha_2 V_{d2} t_2 l_2 c_2' = \beta_2 D_2 \quad (8)$$

由 (7)、(8) 式可得,

$$c_2' = \frac{\alpha_1 V_{d1} t_1 c_1 \beta_2 D_2}{\alpha_2 V_{d2} t_2 l_2 \beta_1 D_1} \quad (9)$$

假定 $\alpha_1 = \alpha_2$, $V_{d1} = V_{d2}$, $\beta_1 = \beta_2$,

$$C' = C_1' = \left(\frac{l_1 t_1 D_2}{l_2 t_2 D_1} \right) \quad (10)$$

缺陷密度 D (个/厘米²)、芯片面积 f (厘米²) 和芯片成品率 η 之间的关系, 按 Murphy

(4)公式计算。

$$\eta = \left[\frac{1 - e^{-f \cdot D}}{f \cdot D} \right]^2 \quad (11)$$

为便于计算,列出表 3。

表 3、D 值

η	f		0.4	0.5	0.9	1.3	2	3	7	10
	$f \cdot D$	D								
90%	0.11		0.275	0.22	0.122	0.085	0.055	0.037	0.0157	0.011
80%	0.23		0.575	0.46	0.256	0.177	0.115	0.077	0.033	0.023
70%	0.37		0.925	0.74	0.41	0.285	0.185	0.123	0.053	0.037
60%	0.54		1.35	1.08	0.60	0.451	0.27	0.18	0.077	0.054
50%	0.73		1.83	1.46	0.81	0.562	0.365	0.243	0.104	0.073
40%	0.99		2.48	1.98	1.1	0.762	0.495	0.33	0.141	0.099

一些国外集成电路生产工厂几年前曾介绍他们的生产经验,在 100 级洁净室内生产 256k DRAM 产品,其成品率可达 50% 以上。

根据这一事实我们可以按公式 (10) 进行一些预测性的计算。

有关产品的技术数据取自表 1。

圆片在空气中曝露的时间 t 值比较难确定。

本文近似地认为,

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{(\text{加工次数})_1}{(\text{加工次数})_2} \quad (12)$$

计算结果见表 4。

表 4、洁净级别

DRAM		1M	4M	16M	64M	256M	1G	4G
被控制粒子直径 (μm)		0.12	0.08	0.05	0.035	0.025	0.018	0.01
$\eta = 50\%$	0.5 μm 级别	28.8	4.7					
	0.1 μm 级别			28	21	11	4	2.6
$\eta = 80\%$	0.5 μm 级别	9.1	1.5					
	0.1 μm 级别			16	6.5	3.8	1.4	0.83

注: 级别数字的单位是个/ ft^3

实际上,产品的技术数据与表1中的数据如有出入时,可通过计算机进行调整。

根据计算结果推测

1. $0.5\mu\text{m}$ 级洁净室可以满足1M DRAM ~ 4M DRAM生产需要。
2. $0.1\mu\text{m}$ 级洁净室可以满足16M DRAM生产需要,当成品率要求为50%时尚可满足64M DRAM ~ 256M DRAM生产需要。
3. $0.1\mu\text{m}$ 级洁净室可以满足256M DRAM ~ 1G DRAM生产需要,当成品率要求为50%时尚可满足4G DRAM生产需要。

展望未来,集成电路生产自动化的程度会越来越高。圆片的传送、储存的环境都是非常清洁的。环境空气是直接从超高效过滤器送出来的空气,硅片周围的空气始终没有任何污染,其含尘浓度相当于 $0.1\mu\text{m}$,0.01级,基本上可以说是“无尘空气”。那么,对于洁净室的洁净级别的要求就不应该太高,有1,000级就足够了。

参考资料

1. 2000年的微电子技术
— 美国振兴半导体工业的技术开发计划
2. 集成电路生产中洁净室系统的主要趋向。严德隆
3. 半微米亚微米时代的半导体设备发展趋势。董大为,中国电子报,1993,2,22
4. 半导体器件工艺手册。O·D·图雷蒲等编,王正华、叶小琳、夏和兴译,电子工业出版社,1987年
5. 整流型クリーンルーム内の浮游微粒子沈着のモデル化。藤井修二、谢国平、金光映,日本建筑学会会计画系论文报告集,1993,3,6要

0.1 μm 10级洁净室计算方法的探讨

同济大学 范存养 王青平 薛 莲

随着集成电路工业的高速发展,室内空气环境的洁净度也要求切实地得到保证。70年代成熟的0.5 μm 100级洁净室已不能满足要求,目前在国外0.1 μm 10级洁净室的应用已屡见不鲜了。为了实现这一技术,如何从装置上满足这一要求,首先应该环绕与装置有关的诸参数作出分析,并选定合适的计算方法来估量其可行性,从计算参数来说,诸如室外浓度、过滤器效率、新风比、室内发生量、换气次数等,就计算方法来说,有以不均匀分布理论导出的计算模型;有按照平行流(活塞流)原理导出的计算模型;有粒径浓度折算法;有的全部以0.1 μm 粒径作为计算基准;还有的全部考虑到粒径分布而成为粒谱法。以下对有关主要问题作一探讨。

一、空气中微粒的分布

由于超洁净技术的需要和测尘仪器的进步,80年代以来对大气中 $<0.3\mu\text{m}$ 微粒浓度开始关注。许多实验证明,并不是粒径愈小,粒子数愈多,大致在0.01~0.1 μm 处具有峰值,更小的径粒由于热凝聚作用不复存在。也即对 $<0.1\mu\text{m}$ 的微粒不能在双对数累积分布图上用平行线给予延伸来表示其分布。图1是美国FS209B标准在粒径分布图上的表示(新发布的FS209D中 $<0.1\mu\text{m}$ 尘粒在图上不作表示)。图中粒径D分布可按下式计算: $\text{Lg}N(\text{粒子数}) = -q\text{Lg}D + \text{Lg}K$ 或 $N = KD^{-q}$ 基中k、q为常数。q反映了斜率的大小。图中q为2.17。我国在北京、西安、上海等地对室外大气作过大量测定,其q值在2.46~2.65之间。图1中的另一曲线为典型的室外清洁环境大气分布,包括了 $<0.1\mu\text{m}$ 的尘粒,从图可知 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 的粒子数可视为 $>10^8$ 个每立方英尺(3.53×10^6 个/升)。

为了对空气中 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 及 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 粒子数的关系有所估量,可根据不同q值求出 $N > 0.1$ 与 $N > 0.5$ 的比值E,如图2,可知q=2.17时,E=30。对于图中外气曲线则E=350。此外,从八木克人、B.Y.H.Liu等人的试验来看,E的值约为100。川又亨对普通洁净室的实测,得出q值在2.3~4之间,其E值相应地在400~600之间,这说明E值的变化幅度是很大的,测定场合(大气或洁净室内)与测试仪器的可靠性都对此有很大影响。

二、高效过滤器的效率

实践证明,对于0.1 μm 10级洁净室不能采用传统的HEPA(0.3 μm)过滤器,而必须采用ULPA过滤器(超低穿透率过滤器)或称为0.1 μm 过滤器。现今最高效率的过滤器:对于0.05 μm 粒子效率可达99.999999%。大量测定资料提供了各种ULPA

过滤器的特性,但仅有少量文献提供粒径范围较宽(包括 $0.5\mu\text{m}$)的 η 、 η_0 数据。图3a)、b)及c)给出了ULPA及HEPA二者的比较。从图b)可知效率的最低点是在 $0.08 \sim 0.20\mu\text{m}$ 之间。同时还可以看出:ULPA过滤器与HEPA过滤器相比,对不同粒径的效率至少可以提高一个数量级,而对同一种过滤器,其 $0.5\mu\text{m}$ 的效率比 $0.1\mu\text{m}$ 的也至少大一个数量级。此外,从滤料试验看,减小滤速对提高过滤器的效率也较明显。然而,高效过滤器对 $0.1\mu\text{m}$ 粒子的效率增加毕竟有限,而外气中 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 粒子浓度近百倍地增加,所以在设计计算中,必须注意前两级过滤器效率的提高以及新风量比例的控制,否则就难于达到高级别洁净度的要求。

三、发尘量

为了把握室内的发尘量,国外对工艺操作中 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 尘粒的发生正不断给予关注,甚至对操作用机器人的发尘也专门作测定。过去发表的资料绝大多数是对 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 粒子的测定值,近几年才陆续发表了 $0.1\mu\text{m}$ 洁净室计算用的数据。资料[1]表明,整体型无尘衣穿着、动作轻静时的发尘量并不太大($\geq 0.12\mu\text{m}$ 尘粒为 $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^5$ 个/分)。步行和体操动作发生时的发尘如图4所示。可见发尘量可按 $10^5 \sim 10^6$ 个/分·人计算。

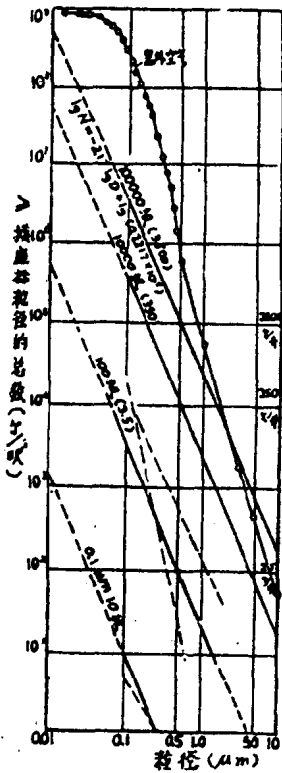


图 1

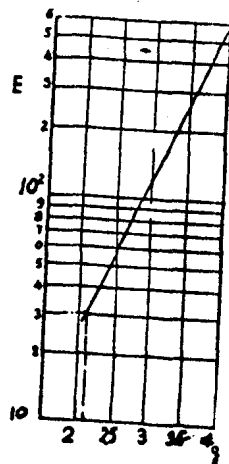


图 2

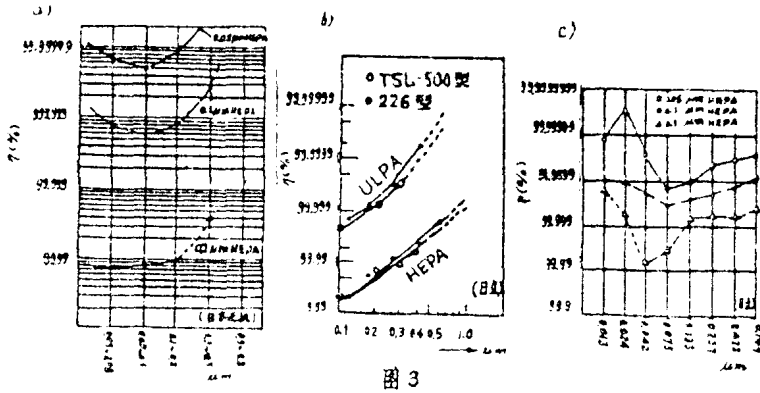


图 3

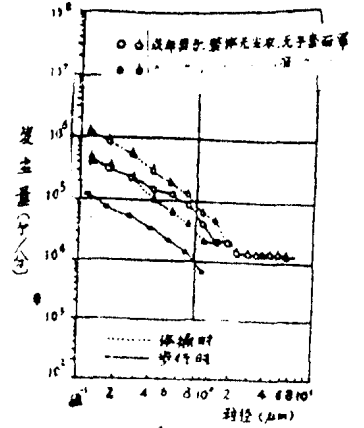


图 4

四、几种计算方法的模拟

(1) 系统模型: 图 5 表示三级过滤系统的平行流洁净室。图中 N 为室内空气浓度, M 为新风浓度, S 为新风比, G 为发尘量, Q 为送风量, n 为换气次数, $\eta_{1,2}$ 为粗、中过滤器的总效率, η_3 为高效过滤器的效率。

(2) 利用粒径折算的不均匀分布计算法

不均匀分布计算法是按微粒在室内不均匀分布的规律进行计算的方法, 是我国洁净厂房设计规范中所建议的。其基本原理是在稀释机理的基础上采用三区模型所导出的[2]。粒径折算的概念是对于图 5 所示的超洁净系统(如采用 $0.1 \mu\text{m}$ 的末级过滤器, 高效率的初、中效过滤器以及大风量、低新风比等), 在没有足够的对应于系统的 $\geq 0.1 \mu\text{m}$ 粒子的计算参数时, 利用惯用的 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 的计算参数作室内尘浓计算 ($\geq 0.5 \mu\text{m}$ 的尘粒浓度), 然后按前面的 E 值折算而得到室内 $\geq 0.1 \mu\text{m}$ 的微粒浓度。文献[3]、[4] 均利用这一概念作过室内尘浓计算。现将本方法的计算式列在表 1(a) 中

为了对该系统的参数在一定范围内进行模拟计算, 参数(对于 $\geq 0.5 \mu\text{m}$) 的选定为: ① 发尘量采用容积发尘量 10m^3 房间内二人操作, 根据空调手册查得 $G = 4.5 \times 10^4$ 个/米³·分, 本计算范围为 $1.5 \times 10^3 \sim 4.5 \times 10^4$ 个/米³·分; ② 室外浓度 M (粒/升) 有两种情况: 一是取自套间的空气(如从安全考虑为 10 万级环境), 另一种可能取自室外大气, 本计算考虑在 $3.5 \times 10^3 \sim 6 \times 10^6$ 粒/升偏大范围内; ③ 新风比