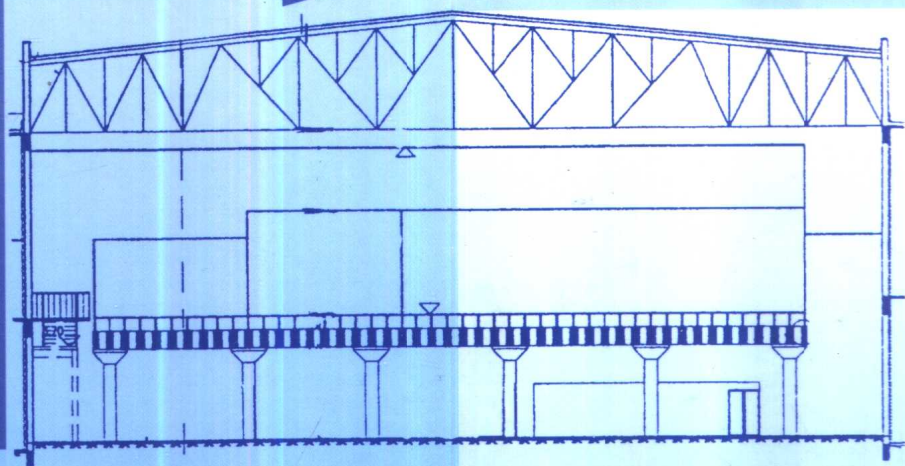


洁净厂房的设计与施工

陈霖新 等编著



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

洁净厂房的设计与施工

陈霖新 等编著

化学工业出版社
现代生物技术与医药科技出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

洁净厂房的设计与施工/陈霖新等编著. —北京: 化学工业出版社, 2002.12

ISBN 7-5025-4121-7

I. 洁… II. 陈… III. ①洁净室-设计②洁净室-工程施工 IV. TU834.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 086584 号

洁净厂房的设计与施工

陈霖新 等编著

责任编辑: 麻雪丽

责任校对: 陶燕华

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
现代生物技术与医药科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 28½ 字数 712 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4121-7/TU·18

定 价: 62.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

京工商广临字 2002—05 号

内 容 提 要

本书共分10章,分别叙述了洁净室的发展现状、洁净室标准、洁净厂房的布置、洁净室建筑、空气净化和净化空调系统、洁净厂房的公用动力设施设计、洁净厂房的微振和噪声控制、洁净室的静电和电磁干扰防护、洁净厂房的施工安装、洁净室的检测认证、洁净厂房的运行管理等。为满足从事或即将从事洁净厂房设计、施工和管理人员的需要,在书中编入了大量的、实用的有关洁净室的设计、施工、运行管理方面的经验、实例、资料和数据。

本书可供从事或即将从事洁净室设计、施工、运行管理的技术人员使用,亦可供大专院校的相关专业师生使用。

前 言

洁净厂房设计（洁净室设计）是洁净技术的重要组成部分，随着科学技术日新月异的发展，各类工业产品加工生产过程趋向精密化、微型化，特别是微电子技术、生物技术、药品生产技术、精密机械加工技术、精细化工生产技术、食品加工技术等的高速发展，使洁净技术得到日益广泛的应用。洁净室的空气洁净度等级已从过去的几个等级扩展到现在的数十个等级，受控环境中控制微粒的粒径已从 $0.5\mu\text{m}$ 缩小到 $0.025\mu\text{m}$ ，甚至更为严格的要求；洁净生产环境的控制技术也从控制洁净室的空气洁净度扩展到相关工业生产过程所涉及各类工艺介质、化学品、微振动、静电的严格控制。为适应这些要求，洁净室已从一般洁净室形式逐步发展到隧道式洁净室、开放式洁净室+隔离装置、微环境等多种形式；国际标准化组织制定的 ISO 14644 和 ISO 14698 系列洁净室标准从 1999 年开始相继颁布实施，为各国洁净技术的发展提供了重要依据和统一的技术标准。我国的国家标准《洁净厂房设计规范》GB 50073—2001 已发布实施，其中洁净室的空气洁净度等级采用了 ISO 14644—1 中的相关部分，这是我国的洁净厂房设计、建造逐步融入国际洁净技术标准迈出的重要步伐。为适应各行各业洁净厂房设计、建造的需要，我们编写了《洁净厂房的设计与施工》一书。本书的编写是依据我院（中国电子工程设计院）多年从事洁净厂房设计工作积累的实践经验、技术资料 and 近年修订《洁净厂房设计规范》过程中所得到的各种技术资料，组织设计人员进行整理、编著，并特邀具有丰富洁净室施工经验的中国电子系统工程第二建设公司组织编写洁净室施工部分。本书编写的内容力求实用、简练，以满足从事洁净室设计、施工的技术人员的需要。

本书的编写人员有中国电子工程设计院的陈霖新、晁阳、秦学礼、肖红梅、吴晓明、樊勛昌、黄德明、俞渭雄、陈馏、张振禄等，以及中国电子系统工程第二建设公司的侯忆。本书中的一些内容采用了同行专家学者发表或未发表的专著、论文的相关内容，有的同行还提供了他们掌握的资料和数据，在此特向他们致以诚挚的谢意。

本书由中国电子工程设计院原院长、中国电子学会洁净分会前主任委员、《洁净与空调技术》主编严德隆最后审查定稿。

由于编写人员的水平所限，难免存在缺点和错误，望同行、读者批评指正。

编者

2002.10

目 录

第1章 概论	1
1.1 洁净技术的由来与发展	1
1.1.1 洁净技术的由来	1
1.1.2 洁净技术的发展与应用	2
1.2 洁净室标准	5
1.2.1 空气洁净度等级	5
1.2.2 国际洁净室标准	7
1.2.3 我国的洁净室标准	13
参考文献	20
第2章 洁净厂房的总体设计	21
2.1 洁净厂房的设计特点	21
2.2 各行业要求的空气洁净度	22
2.2.1 产品质量与空气洁净环境	22
2.2.2 各行业要求的空气洁净度等级	26
2.3 总体布置与厂址选择	34
2.3.1 厂址选择	34
2.3.2 总平面布置	35
2.4 洁净室的布置	36
2.4.1 平面布置	36
2.4.2 空间布置	39
2.4.3 人员净化和生活用室	41
2.4.4 物料净化与物流	48
参考文献	50
第3章 洁净室建筑	52
3.1 洁净室与建筑设计	52
3.1.1 洁净室建筑设计的特点	52
3.1.2 洁净厂房的组成	52
3.1.3 洁净室建筑设计要点	53
3.2 建筑平面和空间布置	54
3.2.1 布置要求	54
3.2.2 人净与生活用室的布置	57
3.2.3 物料净化	58
3.2.4 管线组织	59
3.2.5 技术夹层、技术夹道	62
3.2.6 发展的灵活性	64
3.2.7 建筑造型	65
3.3 防火与疏散	66
3.3.1 特点及防火等级	66

3.3.2	防火分区	68
3.3.3	安全疏散	69
3.3.4	防火与建筑材料	71
3.4	洁净室构造和装配化	72
3.4.1	洁净室的气密构造的意义	72
3.4.2	洁净室的外围护结构	72
3.4.3	门窗的气密构造	73
3.4.4	墙板、吊顶板的气密构造	75
3.4.5	高效过滤器、灯孔等的安装及密封构造	76
3.4.6	洁净室装配化	77
3.5	建筑装饰	82
3.5.1	洁净室建筑装饰特点	82
3.5.2	地面装饰	83
3.5.3	墙板、顶棚的装饰	86
	参考文献	87
第4章	空气净化	88
4.1	污染源及污染物质	88
4.1.1	气溶胶与粒状污染物	88
4.1.2	微生物及其他生物粒子	93
4.1.3	外部污染源	96
4.1.4	室内污染源	99
4.1.5	空气含尘浓度与含菌浓度	102
4.2	空气净化方法	107
4.2.1	空气净化处理	107
4.2.2	空气过滤机理	108
4.2.3	空气过滤器的特性	113
4.2.4	空气过滤器	117
	参考文献	132
第5章	净化空调系统设计	133
5.1	净化空调系统的分类	133
5.1.1	净化空调系统的特征	133
5.1.2	净化空调系统的分类	133
5.1.3	集中式净化空调系统	134
5.1.4	分散式净化空调系统	135
5.1.5	洁净厂房空气循环系统	135
5.1.6	新风处理系统	139
5.2	气流流型	140
5.2.1	气流流型及分类	140
5.2.2	单向流流型及单向流洁净室	140
5.2.3	非单向流流型及其洁净室	143
5.2.4	混合流及其洁净室	145
5.3	压差控制及送风量	146
5.3.1	洁净室压差的作用	146
5.3.2	压差控制	146

5.3.3	洁净送风量计算	148
5.3.4	洁净室新风量	151
5.4	空调处理方案	152
5.4.1	计算参数的选择	152
5.4.2	空调处理方案	155
5.4.3	特殊空调系统的空气处理	159
5.5	空气洁净设备	161
5.5.1	空气吹淋室和气闸室	161
5.5.2	洁净工作台、生物学安全柜	163
5.5.3	层流罩	166
5.5.4	余压阀	166
5.6	洁净室的排风装置与防排烟设计	167
5.6.1	洁净室的局部排风	167
5.6.2	排风装置的分类及处理设备	168
5.6.3	排风系统用材料	170
5.6.4	洁净室的防排烟设计	170
	参考文献	171
第6章	洁净厂房的公用动力设施	172
6.1	给水排水设施	172
6.1.1	给水	172
6.1.2	排水及废水处理	174
6.2	纯水设备	176
6.2.1	纯水水质	176
6.2.2	去除溶解离子	178
6.2.3	去除有机物	185
6.2.4	去除微粒	185
6.2.5	去除细菌	187
6.2.6	去除溶解气体	187
6.2.7	去除硅	188
6.2.8	纯水制备系统	188
6.2.9	纯水在线测量	191
6.3	高纯气体设施	193
6.3.1	气体品质	193
6.3.2	高纯气体供应系统	200
6.3.3	高纯气主要设备简介	206
6.3.4	高纯气配管及材质	217
6.3.5	供气系统的安全技术	222
6.3.6	高纯气体的检测	225
6.4	电气设备与照明	229
6.4.1	洁净室的电气设备	229
6.4.2	洁净室安全防护设备	235
6.4.3	洁净厂房的配电设计和安装	236
6.4.4	照明设计	241
	参考文献	259

第7章 洁净室的环境控制	260
7.1 微振动控制	260
7.1.1 概述	260
7.1.2 精密设备(仪器、仪表)微振动控制值的确定	261
7.1.3 场地环境振动	262
7.1.4 防微振工程设计程序	271
7.1.5 防微振工程设计	272
7.2 静电防护	295
7.2.1 静电的产生、积累与消散	295
7.2.2 静电效应与危害	299
7.2.3 静电的消除	303
7.2.4 静电测量	311
7.3 电磁干扰的防止	314
7.3.1 电磁干扰及危害	314
7.3.2 洁净厂房内的电磁干扰	316
7.3.3 电磁干扰的控制	317
7.3.4 电磁屏蔽的设计	319
7.3.5 屏蔽室的设置与安装施工	321
7.4 噪声控制	324
7.4.1 噪声控制的意义和基本程序	324
7.4.2 噪声控制的基本物理量	324
7.4.3 噪声控制标准和噪声测量	330
7.4.4 洁净厂房的噪声控制	333
7.4.5 隔声	336
7.4.6 吸声	340
7.4.7 消声	344
参考文献	348
第8章 洁净厂房施工安装	350
8.1 简述	350
8.1.1 洁净室的主要施工程序	350
8.1.2 洁净室施工内容	350
8.2 洁净室建筑装饰施工	351
8.2.1 建筑装饰施工	351
8.2.2 装配式洁净室的施工	352
8.3 净化空调系统的施工安装	356
8.3.1 施工安装要求	356
8.3.2 金属风管和制作	357
8.3.3 风管及附件的清洗	361
8.3.4 风管及附件安装	363
8.3.5 空调机组的安装	364
8.3.6 高效空气过滤器的安装	364
8.3.7 通风机安装	366
8.3.8 净化设备的安装	367
8.4 配管安装施工	367

8.4.1	配管种类和附件管材选择	367
8.4.2	PVDF 管施工安装	368
8.4.3	PFA 管道安装施工	374
8.4.4	EP 管的安装施工	378
8.5	改造洁净室设计施工	384
8.5.1	特点	384
8.5.2	改造洁净室的设计原则	385
8.5.3	洁净室的升级改造	388
8.5.4	设计施工注意事项	389
8.6	工程验收	391
8.6.1	洁净室验收要求	391
8.6.2	工程竣工验收内容	392
8.6.3	洁净室的综合性能验收	393
	参考文献	394
第 9 章	洁净室的检测与认证	395
9.1	检测程序及要求	395
9.1.1	检测程序	395
9.1.2	检测内容	395
9.2	检测方法及其评定标准	397
9.2.1	高效过滤器检漏	397
9.2.2	静压差	399
9.2.3	风速、风量的测定	399
9.2.4	洁净度的测定	403
9.2.5	微生物测定	405
9.2.6	温湿度检测	409
9.2.7	照度测定	410
9.2.8	噪声检测	410
9.2.9	表面导静电性能测定	410
9.2.10	气流流型	411
9.2.11	自净时间	411
9.3	洁净室的认证	411
9.3.1	认证的目的和程序	411
9.3.2	认证内容及测试方法	412
9.3.3	认证报告及内容	413
	参考文献	413
第 10 章	洁净室的运行管理	415
10.1	洁净室的管理及定期检查	415
10.1.1	管理的意义	415
10.1.2	管理的原则、内容	417
10.2	人员管理	418
10.2.1	人员与室内空气污染	418
10.2.2	洁净室专职管理人员及职责	421
10.2.3	洁净室人员数量和出入管理	421
10.2.4	洁净室的卫生管理	423

10.2.5 对进入洁净室人员的培训教育	424
10.2.6 洁净工作服	424
10.3 洁净室的清扫、灭菌	429
10.3.1 洁净室的清扫	429
10.3.2 洁净室灭菌	430
10.4 设备管理	432
10.4.1 洁净室设备管理内容	432
10.4.2 生产工艺设备和工器具的防污染管理措施	435
10.5 洁净室的节能	435
10.5.1 洁净室的节能潜力	435
10.5.2 节能技术措施	436
10.5.3 洁净室节能措施实例	440
参考文献	445

第 1 章 概 论

1.1 洁净技术的由来与发展

1.1.1 洁净技术的由来

洁净技术是一门新兴的技术。在科学实验和工业生产活动中，产品加工的精密化、微型化、高纯度、高质量和高可靠性要求具有一个受控尘埃粒子污染的生产环境。早在 20 世纪 20 年代美国航空业的陀螺仪制造过程最先提出了生产环境的净化要求，为消除空气中的尘埃粒子对航空仪器的齿轮、轴承的污染，他们在制造车间、实验室建立了“控制装配区”，即将轴承的装配工序等与其他生产、操作区分隔开，供给一定数量的过滤后的空气，再加上良好的管理。飞速发展的军事工业，要求防止放射性扩散，提高原材料纯度、零件加工与装配精度，提高元器件和整机的可靠性与延长寿命等，这些都要求有一个“干净的生产环境”。美国一家导弹公司曾经发现，在普通的车间内装配惯性制导用陀螺仪时平均每生产 10 个产品就要返工 120 次，当在控制空气中的尘粒污染的环境中装配后，返工率可降低至 2 次；在无尘与将空气有尘粒达 $1\ 000\text{pc}/\text{m}^3$ （平均直径为 $3\mu\text{m}$ ，pc 为粒子个数的缩写）的环境中装配转速为 $12\ 000\text{r}/\text{min}$ 的陀螺仪轴承进行对比，产品使用寿命竟相差 100 倍。从这些实践，人们认识到空气净化在军工产品生产中的迫切性，这就构成了当时发展洁净技术的推动力。20 世纪 50 年代初高效空气粒子过滤器（High Efficiency Particulate Air filter——简称 HEPA）在美国问世，取得了洁净技术的第一次飞跃，这一成就的取得，使美国在军事工业和人造卫星制造领域建立了一批以“HEPA”装备起来的工业洁净室，相继应用于航空、航海的导航装置、加速器、陀螺仪、电子仪器等制造工厂。英国也在 20 世纪 50 年代在陀螺仪生产等工厂中建立了一些洁净室；日本从 20 世纪 50 年代开始便在半导体制造工厂中应用洁净技术；前苏联也在同时期编制了所谓“密闭厂房”的典型设计。洁净室技术在人们的尝试、实践中得到日益广泛的应用，工业生产技术、科学实验在应用洁净技术中获得了丰厚的回报，人们便以巨大的兴趣和精力发展洁净技术，洁净技术随着科学技术的发展和工业产品的日新月异而健康、快速地发展。

20 世纪 60 年代初，在美国工业洁净室进入了广泛应用时期，人们通过测试发现，在工业洁净室空气中的微生物浓度同尘埃粒子浓度一样远低于洁净室外空气中的含量，于是人们便开始尝试利用工业洁净室进行那些要求无菌环境的实验，较早的例子是美国的一位外科医生所进行的狗的手术实验。与此同时，人们对尘菌共存的机理进行研究后确认，空气中的细菌一般以群体存在，而且是附着在尘埃粒子上，这不仅因为空气中的细菌主要来自土壤或人和动物的机体，并随着尘粒、水滴及皮屑、毛发等传播。空气中尘埃粒子越多，细菌与尘粒接触并附着的机会越多，传播的机会也增加。通过研究还确认病毒也同样附着于尘粒并借助于尘粒作为生存和传播的媒介。因此，在对空气中的尘粒进行控制的同时，必将使附着于尘粒上的微生物也得到控制。有了这些研究和实测依据，从 20 世纪 70 年代初开始，美国等技术先进的国家大规模地把以控制空气中尘粒为目的的工业洁净室技术引入到防止以空气为媒介的微生物污染的领域，诞生了现代的生物洁净室，以控制空气中的尘粒、微生物污染为目

的生物洁净室技术在研究、实践中得到日益广泛的应用，如在制药工业、化妆品工业、食品工业和医疗部门的手术室、特殊病室以及生物安全等方面的推广应用，使同人们健康密切相关的药品、生物制品、食品、化妆品等产品质量大为提高，确保人们的治疗、手术和抗感染控制。

1.1.2 洁净技术的发展与应用^[1-4]

国内外的洁净技术的发展都是随着科学技术的发展、工业产品的日新月异，特别是军事工业、航天、电子和生物医药等工业的发展而不断发展。现代工业产品生产和现代化科学实验活动要求微型化、精密化、高纯度、高质量和高可靠性。微型化的产品如电子计算机，从当初的要在数间房间内配置数台设备组合发展到现在的笔记本电脑，它所使用的电子元器件从电子管到半导体分离器件到集成电路再到超大规模集成电路，仅集成电路的线宽已从几微米发展到现今的 $0.1\mu\text{m}$ 左右。以集成电路的微型化为例，它对空气中受控粒子粒径从 $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$ 的要求发展到空气中受控粒子的粒子尺寸要求控制在 $0.05\mu\text{m}$ 甚至更小，可见各类工业产品的微型化正不断对洁净技术提出更严格的要求。高纯度的产品，如生产集成电路所需单晶硅材料，生产光纤所需四氯化硅、四氯化锗材料等已由过去的所谓高纯进入“电子纯”、“超纯”，只有达到如此高的纯度才能达到现代集成电路、电子元器件、光纤产品所需的技术特性。要生产如此高纯度的产品，就必须达到相应的受控生产环境的空气洁净度等级和具有相应高纯度的与产品直接接触的超纯水、超纯气体、超纯试剂等。对于现今以“微型电脑”为手段的电子信息时代，产品的高质量、高可靠性的重要意义是不言而喻的；对于确保人身安全的灭菌操作以及对于现代基因工程和基因芯片的制作也具有特殊的意义。基于这种趋势，洁净技术的发展已成为现代工业生产和科学实验活动不可缺少的重要标志之一。

20世纪60年代的洁净技术在美国、欧洲等发达国家顺应各行各业产品生产和科学实验活动的需要得到了广泛应用，可以认为是洁净技术的大发展时期。美国在1961年诞生了国际上最早的洁净室标准即美国空军技术条令203，并把编制联邦政府标准的任务交给了原子能委员会的出版机构；1963年底颁布了第一个军用部分的联邦标准即FS-209，从此联邦标准“209”就成为国际通行的、著名的洁净室标准；1966年颁布了修订后的FS-209A。1957年前苏联第一颗人造卫星上天，美国政府加速发展宇航事业、精密机械加工和电子工业，这些都要求具有受控空气洁净的生产环境，从而带动洁净技术及其设备制造的大发展，1961年单向流洁净技术和100级洁净室的建立，更促进了洁净技术的进一步发展。我国的洁净室技术开始于20世纪60年代初，在70年代电子工业洁净室特别是半导体集成电路用洁净室的设计、建造发展很快，相继建成一批洁净厂房，并研制成功100级单向流洁净室；与此同时，洁净厂房用设备和材料，如高效过滤器、洁净工作台、层流罩、洁净烘箱、空气吹淋室、净化型传递窗等相继研制成功，并投入生产，虽然制造质量和某些技术指标与国际水平尚有差距，但已能满足国内部分需求。由高效过滤器、净化设备和围护结构（墙板、顶棚、地面）组装而成的装配式洁净室研制成功。到20世纪70年代末我国洁净室设计、建造和洁净技术的发展走向成熟阶段。

20世纪80年代大规模集成电路和超大规模集成电路的迅速发展，大大促进了洁净技术的发展，集成电路生产技术从64K位到4M位，特征尺寸从 $2.0\mu\text{m}$ 到 $0.8\mu\text{m}$ 。当时根据实践经验，通常空气洁净受控环境的控制尘粒粒径与线宽的关系为1:10，因此洁净技术工作者研制了超高效空气过滤器，可将粒径 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 的微粒去除到规定范围。根据大规模、超大规模集成电路生产的需要，高纯气体、高纯水和高纯试剂的生产技术也得到很快的发展，

从而使服务于集成电路等高新技术产品所需的洁净技术都得以高速发展，据了解，1986年美国、日本和西欧的净化产品的产值约为29亿美元，1988年达到73亿美元。20世纪90年代以来，超大规模集成电路的加工技术发展迅猛，每隔两年其关键技术就会有一次飞跃，集成度每三年翻四倍，表1-1是大规模集成电路发展状况。集成电路将不断随集成度的加大而缩小其特征尺寸，增加掩膜的层数和容量，对动态随机存取存储器（Dynamic Random Access Memory，简称DRAM）的特征尺寸为 $0.09\mu\text{m}$ 已研制成功，随之对洁净室设计中控制粒子的粒径也将日益缩小，表1-2是超大规模集成电路（VLSI）的发展及相应控制粒子的粒径。集成电路芯片的成品率与芯片的缺陷密度有关，据分析，芯片缺陷密度与空气中粒子个数有关，若假设芯片缺陷密度中10%为空气中粒子沉降到硅片上引起的，则可推算出每平方米芯片上的空气粒子的最大允许值见表1-3。因此，集成电路的高速发展，不仅对空气中控制粒子的尺寸有更高的要求，而且对粒子数也需进一步控制，即对洁净环境的空气洁净度等级有更高的要求，不仅如此，目前研究和生产实践表明，对于超大规模集成电路生产环境的化学污染控制的要求也十分严格。对于重金属的污染控制指标，当生产4G DRAM时要求小于 5×10^9 原子/ cm^2 ；对于有机物污染的控制指标要从 1×10^{14} 原子/ cm^2 逐渐减少到 3×10^{12} 原子/ cm^2 。集成电路对化学污染的控制指标见表1-4。引起超大规模集成电路生产环境化学污染的污染源很多，现列举一些主要的化学污染源见表1-5。

表 1-1 大规模集成电路的工艺发展趋向^[5]

年份 工艺特征	1980	1984	1987	1990	1993	1996	1999	2004
硅片直径/mm	75	100	125	150	200	200	200	300
DRAM 技术	64K	256K	1M	4M	16M	64M	256M	1G
特征尺寸/ μm	2	1.5	1	0.8	0.5	0.35	0.25	0.2~0.1
工艺步数	100	150	200	300	400	500	600	700~800
洁净度等级	1 000~100	100	10	1	0.1	0.1	0.1	0.1 (0.1 μm)
纯气、纯水中杂质	$10^3 \times 10^{-9}$	500×10^{-9}	100×10^{-9}	50×10^{-9}	5×10^{-9}	1×10^{-9}	0.1×10^{-9}	0.01×10^{-9}

表 1-2 VLSI 发展规划及相应控制粒子的粒径^[6]

投产年份 项目	1997	1999	2001	2003	2006	2009	2012
集成度 (DRAM)	256M	1G	1G	4G	16G	64G	256G
线宽/ μm	0.25	0.18	0.15	0.13	0.10	0.07	0.05
控制粒子直径/ μm	0.125	0.09	0.075	0.065	0.05	0.035	0.025

表 1-3 每平方米芯片上的空气粒子的最大允许值

集成度 成品率 Y/%	64M	256M	1G	4G	16G	64G
90	55	38	25	16	11	8
80	124	84	56	37	24	7
70	195	132	—	—	—	—
控制粒子尺寸/ μm	0.035	0.025	0.018	0.013	0.01	0.007

表 1-4 化学污染控制指标^[7]

项 目	年 份					
	1995	1997~1998	1999~2001	2003~2004	2006~2007	2009~2010
DRAM 集成度	64M	256M	1G	4G	16G	64G
线宽/ μm	0.35	0.25	0.18~0.15	0.13	0.10	0.07
硅片直径/mm	200	200	300	300	400~450	400~450
受控粒子尺寸/ μm	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02
粒子数(栅清洗)/个 $\cdot\text{m}^{-2}$	1 400	950	500	250	200	150
重金属(Fe)/原子 $\cdot\text{cm}^{-2}$	5×10^{10}	2.5×10^{10}	1×10^{10}	5×10^9	2.5×10^9	$< 2.5 \times 10^9$
有机物(C)/原子 $\cdot\text{cm}^{-2}$	1×10^{14}	5×10^{13}	3×10^{13}	1×10^{13}	5×10^{12}	3×10^{12}

表 1-5 主要化学污染源^[7]

化学污染源	污染物质	化学污染源	污染物质
室外空气	NO_x 、 SO_x 、 Na^+ 、 Cl^-	油漆	金属离子、甲苯、二甲苯
HEPA、ULPA (玻璃丝滤料)	B	混凝土	NH_3 、 Ca^{2+}
人	NH_3 、丙酮、Na、Cl	密封胶	硅氧烷
洁净服、化妆品	有机物	防静电材料(墙、地板、设备)	PH_3 、 PF_3 、 PF_6 、 R_3P 、 Na^+ 、 NO_2 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 K^+ 、CO
软塑料、HEPA、ULPA	DOP	工艺用溶剂	NH_4^+ 、三甲基硅醇

生物洁净室是在工业洁净室的技术基础上发展起来的。美国宇航局最早开始对生物洁净室进行探索,为了防止地球上的微生物传播到外层空间,以及防止从外层空间采集到的样品中未知物扩散到地球或被地球上的微生物所污染,开展了一系列的研究工作,1962年在一个生物洁净室中对被火箭送上太空的狗施行手术。1966年1月在美国新墨西哥州世界上第一个无菌手术室建成;英国的一名整形外科医生也在进行多次防止空气中微生物引起感染的净化空调送风系统改进后,于1966年6月建成类似于垂直单向流的洁净室。“单向流手术室的设计与建造”、“生物洁净手术室使用指南”等技术资料的制订、发表,对发展、指导生物洁净室的发展起了积极作用。

药品是用于预防、治疗疾病和恢复、调整机体功能的特殊商品,它的质量直接关系到人的健康和安危。药品质量除直接反映在药效和安全性外,还表现在药品质量的稳定性和一致性上,一些药品在制造过程中由于受到微生物、尘粒等污染或交叉污染,可能会引起预料不到的疾病或危害。1965~1966年间瑞典曾发生甲状腺药片沙门杆菌污染事故,突发性沙门杆菌患者多达206人。混药与交叉污染对药品质量的危害和严重后果是十分明显的,这种危害随药品品种和污染类型的不同而有所不同,对青霉素类等高致敏性药、某些激素类甾体药物等所引起的污染最危险,据报道1965~1966年美国曾发生过非青霉素药品中混有青霉素而被迫回收的事件,为杜绝此类事件以及因混药或交叉污染而引起的质量事故的发生,在各国的“药品生产质量管理规范”(GMP)中对药品生产的空气洁净度都作了严格的规定。

空气中细菌的大小多为 $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$,利用高效过滤器基本上可以去除;病毒的大小为 $0.01 \sim 0.3 \mu\text{m}$,其中大部分附着于悬浮尘粒上,也可利用高效过滤器去除。生物洁净室的空气洁净度等级通常为5级(100级)、7级(10 000级)、8级(100 000级)和大于8级(100 000级),由使用情况或产品及其采用的生产工艺的不同而确定。虽然生物洁净室的空气洁净度级别没有以集成电路为代表的工业洁净室严格,但由于生物洁净室对空气中污染物

控制的对象是尘粒和微生物，所以它具有与工业洁净室不同的要求和特点，表 1-6 是生物洁净室与工业洁净室的差异。

表 1-6 生物洁净室和工业洁净室的差异

生物洁净室	工业洁净室
需控制微粒、微生物的污染，室内需定期消毒灭菌，内装修材料及设备应能承受药物腐蚀	控制微粒污染，内装修及设备以不产生为原则，仅需经常擦拭以免积尘
人员和设备需经吹淋、清洗、消毒、灭菌方可进入	人员和设备经吹淋或纯水清洗后进入
不可能当时测定空气的含菌浓度，需经 48h 培养，不能得到瞬时值	室内空气含尘浓度可连续检测、自动记录
需除去的微生物粒径较大，可采用 HEPA 过滤器	需除去的是 $\geq 0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 的尘埃粒子，高洁净度洁净室需用 ULAP 过滤器
室内污染源主要是人体发菌	室内污染源主要是人体发生

我国的洁净室技术的研究和应用开始于 20 世纪 50 年代末，第一个洁净室于 1965 年在电子工厂建成投入使用，同一时期我国的高效空气过滤器（HEPA）研制成功投入生产。20 世纪 60 年代是我国洁净技术发展的起步时期，在高效过滤器研制成功后，相继以 HEPA 为终端过滤的几家半导体集成电路工厂、航空陀螺仪仪器厂、单晶硅厂和精密机械加工企业的洁净室建成。在此期间还研制生产了光电式气溶胶浊度计，用以检测空气中尘埃粒子浓度；建成了高效过滤器钠焰试验台，这样便为发展洁净技术建立了基本的手段。

从 20 世纪 70 年代末开始我国洁净技术随着各行业引进技术和设备的兴起得到了长足进步。1981 年无隔板高效过滤器和液槽密封装置通过鉴定并投入生产，随后 $0.1 \mu\text{m}$ 高效空气过滤器研制成功，为满足超大规模集成电路的研制和生产创造了有利条件。80 年代我国洁净技术和洁净厂房建设取得了明显的成果，在建设大规模集成电路工厂、研究所、彩色显像管工厂以及制药工厂的洁净室工程、洁净手术室的同时，建成了一批 5 级（100 级）、6 级（1 000 级）的洁净室，如 500m^2 的 5 级（100 级）垂直单向流洁净室、 $1\ 080\text{m}^2$ 的 5 级（100 级）垂直单向流洁净室、5 级（100 级）水平单向流手术室等洁净工程的相继建成并投入使用，这些洁净室的投入使用标志着我国的洁净技术发展进入了一个新的阶段。为了适应洁净技术发展的需要，同时也为了使洁净技术健康地发展，为各行各业在建设洁净室工程时有法可依、有章可循，在总结我国发展洁净室技术的经验基础上，吸取国际有关洁净室建设的标准、规范的规定，于 1984 年编制完成了我国首部《洁净厂房设计规范》（GBJ 73—84）。

随着超大规模集成电路生产技术持续飞速地发展，20 世纪 90 年代我国与国际知名公司合作或合资，建成一些集成电路工厂的高级别（ $0.1 \mu\text{m}$ 、1 级、10 级）的洁净制造车间，这些洁净室的投入使用，对促进我国洁净技术发展起到示范作用，但是集成电路产品加工技术更新速度十分迅速，对洁净生产环境提出更新、更高的要求，不但温度、相对湿度、防静电、防微振等要求控制在非常严格的范围内，而且对空气净化器的控制范围已从尘粒发展到分子污染、化学污染，还要求提供对纯度、杂质含量的要求非常严格的超纯气体、超纯水等，为了面对这些要求，我国洁净技术工作者正在不断探索、研究，以求适应各行各业的需要。

1.2 洁净室标准

1.2.1 空气洁净度等级

空气洁净度是洁净环境中空气含悬浮粒子量的多少的程度，通常空气中含尘浓度高则空

气洁净度低，含尘浓度低则空气洁净度高。按空气中悬浮粒子浓度来划分洁净室及相关受控环境中空气洁净度等级，就是以每立方米空气中的最大允许粒子数来确定其空气洁净度等级。

空气中悬浮粒子洁净度等级，过去有关国家都各自制定自己的标准，但基本上都是参照美国标准 FS-209 的各版进行，仅单位制及命名方法有所变换或改变。在命名上基本可分为两类，一是以单位体积空气中大于等于规定粒径的粒子个数直接命名或以符合命名，这种命名方法以美国标准 FS-209 A 版~D 版为代表，其规定粒径为 $0.5\mu\text{m}$ ，以空气中大于等于 $0.5\mu\text{m}$ 粒径的粒子浓度采用英制 pc/ft^3 直接命名，如该标准中的 100 级，即空气中 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 粒径的粒子浓度为 $100\text{pc}/\text{ft}^3$ 直接命名。虽然该标准是英制单位，但在各国得到较普遍的使用。另一类是以单位体积空气中大于等于规定粒径的粒子个数以 10^n 表示，按指数 n 命名空气洁净度等级，这种命名方法以日本标准 JIS B 9920 为代表，其规定粒径为 $0.1\mu\text{m}$ ，以 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 粒径的空气中粒子浓度（国际单位制） $10^n\text{pc}/\text{m}^3$ 命名为 n 级，如该标准的 2 级，其 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 粒径的空气中粒子浓度为 $100\text{pc}/\text{m}^3$ ，即 $10^2\text{pc}/\text{m}^3$ ；俄罗斯的标准亦基本上采用此种命名方法。

实际上过去各国制定的洁净标准的洁净度等级仅是命名方法，仅有形式的不同，并无实质上的差别，它们在各自的某一等级下的定义粒径（ D ）的粒子浓度（ N_D ）相应于被考虑粒径，即要求控制的粒径（ d ），其关系式均为 $\frac{N_D}{N_d} = \left(\frac{D}{d}\right)^X$ ，式中指数 X ，在各个标准中都在 $2\sim 2.2$ 范围，计算结果与被考虑粒径（ d ）的粒子/浓度（ N_d ）相差很小，即在某一被考虑粒径（ d ）下的空气洁净度等级的粒子浓度为 $100\text{pc}/\text{m}^3$ ，亦就是说粒径 $\geq d$ 的粒子浓度为 $100\text{pc}/\text{m}^3$ 。对各国的标准其等级称谓是不同的，但按其各自标准的换算，在同一被考虑粒径（ d ）时，其粒子浓度限值都基本相同（ $100\text{pc}/\text{m}^3$ ）。

现在国际标准 ISO 14644-1 已发布实施，美国标准 FS-209E 亦于 2001 年 11 月宣布停止使用。

按国际标准，空气中悬浮粒子洁净度等级以序数 N 命名，各种被考虑粒径 D 的最大允许浓度 C_n 可用公式 (1-1) 确定^[8]。

$$C_n = 10^N \times \left(\frac{0.1}{D}\right)^{2.08} \quad (1-1)$$

式中 C_n ——被考虑粒径的空气悬浮粒子最大允许浓度， pc/m^3 。 C_n 是以四舍五入至相近的整数，通常有效位数不超过三位数；

N ——分级序数，数字不超过 9，分级序数整数之间的中间数可以作规定， N 的最小允许增量为 0.1；

D ——被考虑的粒径， μm ；

0.1 ——常数，其量纲为 μm 。

洁净室（区）的空气洁净度占用状态有三种：空态、静态和动态。它们的定义分别如下。

空态 (as-built)：设施已经建成，所有动力接通并运行，但无生产设备、材料及人员。

静态 (at-rest)：设施已经建成，生产设备已经安装，并按业主及供应商同意的状态运行，但无人员。

动态 (operational)：设施以规定的状态运行，有规定的人员在场，并在商定的状况下进行工作。

这里所谓的洁净室（区）是指空气悬浮粒子浓度、含菌浓度受控的房间（限定的空间），