

国外空气洁净技术发展的若干现状

同济大学 范存养[☆] 徐文华

TU83 A

文摘 本文仅以微电子工业的发展对空气洁净技术提出的要求为中心,介绍了国外在分子态化学污染控制、高洁净度微环境控制、新型洁净产品开发以及大型洁净室运行节能等方面,在近几年中的技术进展。

关键词 微电子工业 空气洁净技术 分子态污染物质 微环境控制

Current status of foreign contamination control technology trend

By Fan Cunyang[☆] and Xu Wenhua

Abstract Based on the requirement by microelectronics industry development to the air clean technology, the technological progress is described in molecule chemical contamination control, high clean minienvironment control, new type clean products development and energy saving in large clean-room operation.

Keywords Microelectronics industry Air clean technology Molecule contaminant Minienvironment control

★ Tongji University, China

1 微电子工业促进了洁净技术的发展

在计算机、信息技术的推动下,微电子工业的发展已成为世界技术进步的主要支柱。近二十年来,发达国家以每2~3年为一台阶的速度迅速地提高其技术水平,超大规模集成电路(VLSIC)制造的硅片越做越大,平均每3.5年直径增大25.4mm(1英寸), $\phi 300\text{mm}$ 的硅片已成熟批量生产。硅片上要求集成更多的芯片,每个芯片的集成度(以动态随机存储器DRAM为例)已进入“千兆”(G)级的水平。线宽尺寸也早已进入亚微米。尘埃粒径的控制尺度也越来越小。

所以对洁净室的洁净标准也有了新的要求,原先的FS209E已不敷应用。而国际标准化组织制定的新标准ISO-14644-1中补充了高洁净度的区域。

图1(见下页)即ISO14644-1标准的线示图,纵坐标是大于或等于与横坐标粒径相对应的空气中的粒子数(个/ m^3),为对比起见图中约略地表示出了FS-209E标准的M₁、M₂……等的位置。表1是以0.5 μm 为基准对各国洁净室级别标准所作的比较。

目前国外生产DRAM16M、64M、256M分别采用ISO3、2、1级(N)即 $10^N/\text{m}^3$ ($\geq 0.1\mu\text{m}$)^[1]。

现今我国工业洁净室的标准基本上也沿用该ISO标准,但在实施中尚未对标准严格统一,故在确认设计洁净标准时应明确标出其标准的名称。基于微电子工业急速发展与新洁净度标

表1 以0.5 μm 为基准各国洁净室级别标准

Particles per m^3 ($> 0.5\mu\text{m}$)	ISO 14644-1 1999	US 209E 1992	US 209D 1988	France AFNOR 1981	Germany VDI 2083 1990	Japan JACA 1989
1						
3.5	2				0	2
10.0		M1				
35.3	3	M1.5	1		1	3
100		M2				
353	4	M2.5	10		2	4
1000		M3				
3530	5	M3.5	100	4000	3	5
10000		M4				
35300	6	M4.5	1000		4	6
100000		M5				
353000	7	M5.5	10000	400000	5	7
1000000		M6				
3530000	8	M6.5	100000	4000000	6	8
10000000		M7				

准的制订,各国在洁净室化学污染、微尘控制等方面作出了巨大努力。

2 分子态化学污染物的控制

由于硅片直径的增大,DRAM集成度的大幅度提高,除

☆ 范存养,男,1933年12月生,大学,教授,上海制冷学会空调专业委员会主任委员

200092 上海市四平路同济新村 618-3 室

(021)65134725

收稿日期:2003年1月12日

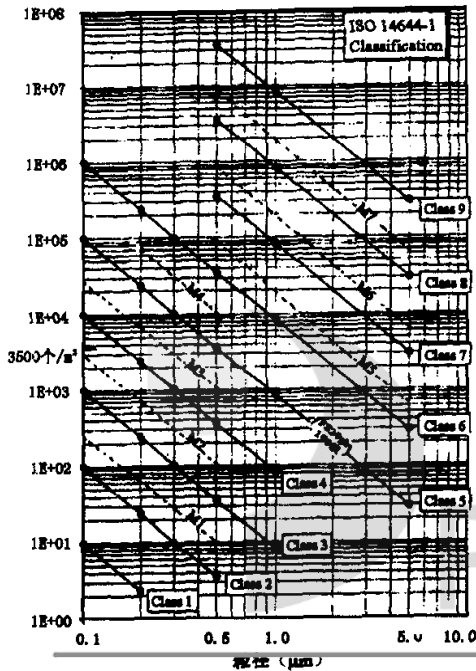


图1 ISO14644-1 标准的线示图

了对尘粒、温湿度、静电、振动等进行严格控制之外,分子态化学污染对硅片生产的影响越来越明显。分子的粒径远小于尘粒(比尘粒小1000~10000倍),其物理与化学性质也与尘粒相异。尽管这种分子态污染的浓度远远低于工业卫生所关注的水平,但对微电子生产过程中造成膜触差、漏电、腐蚀、积层缺陷、电阻率不均匀、减少寿命等不良后果。因此对硅片的化学污染控制提出了相应指标,如对于4G/DRAM的集成电路,要求对重金属(Fe)限定为 $< \times 10^8$ 原子/cm²,对有机物(C)则应 $< \times 10^{13}$ 原子/cm²。日本齐木算对污染物浓度以质量浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)进行比较,绘出如图2所示^[2]。图中分别

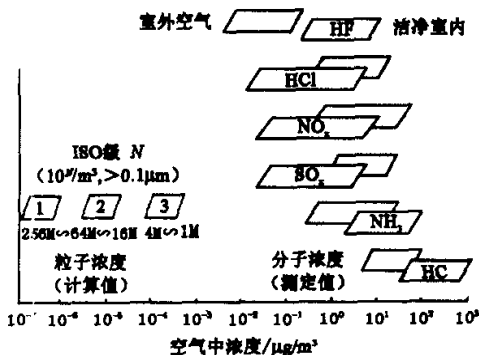


图2 室内、室外分子态化学污染物浓度变化

标出了室内与室外的化学污染物浓度。

2.1 分子态污染物 (Airborne Molecular Contaminants, 简称 AMC) 的来源

进入洁净室或在洁净室发生的污染源有:室外空气中的NO_x、SO_x、Na、Cl;超细玻璃纤维制的HEPA/ULPA过滤器产生的B和试验时所残存的DOP粒子;工作人员自身发生的NH₃、Na、Cl;洁净室构成材料散发的各种有机物质和金属原子;生产工艺用的溶剂(洗净液)气体可散发的各种化学污染物。根据分析,高效过滤器滤纸和分隔线(聚烯烃)对硅片表面的污染占很大的比例,其表面因过滤器滤纸产生的有机物质污染的比例为:邻苯二甲酸酯占33%、酯占33%、醇占5%、碳氢化合物占2%、其他物质占27%。日本大阪大学在一超净洁净室中所作的测试表明,装修刚完成时TVOC可达3500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,运行1个月后降为500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;4个月后测稳定在200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。日本在洁净室构成材料产生的VOC发生量和浓度预测方面进行了大量的基础研究(住化分析中心、东京工业大学、テクノ菱和公司、清水建设公司)为改进洁净室构成材料提供了依据。

2.2 分子污染的控制设施

2.2.1 喷水室处理新风

用传统的喷水室湿法处理空气来处理新风中的化学物质是很有效的,近几年来日本开展了很多研究。

日本朝日工业社于1997年,在某集成电路车间的风量为10万m³/h的常规规格的双排喷水室中作了对新风中去除水溶性无机物质的试验。NH₄⁺离子的净化率为16%~48%,SO₄²⁻为63%~80%,NO₃⁻为36%~48%^[3]。日本三机工业公司利用纯水及自来水(上水)对SO₂气体的喷水处理进行了比较研究^[4],认为自来水比纯水的净化率更高,这是由于水中Ca²⁺离子等的影响。该公司又对于喷水室后设置的冷却盘管产生的凝水对空气净化率进行了测定,证明了表冷盘亦有一定的空气净化(除去化学污染)作用。高砂热学工业公司对喷水段后的挡水板进行了研究与改进,采用亲水性材料构成的挡水板不仅可以缩短空气处理段长度,同时还可节约水量。日本清水建设公司对5种有机化合物按容积比等量混合成溶液,经加热气化成为被试气体后送入空气喷水处理段内作净化效果的试验,确认了各化合物与水的气液平衡状态有决定性作用,也即取决于该化合物的水溶性(溶解度)与挥发性(沸点及其蒸气压)等特性。此外日本テクノ菱和公司用喷水(去离子水)膜作分子污染的净化试验也取得很好效果,^[5]节约了喷水量。对于大型超大规模集成电路制造工厂在空气处理箱中增设喷水段处理新风,有的在第一级用自来水喷淋,第二级则采用纯水喷淋。如华虹—NEC洁净厂房的新风空气处理箱就设有喷水段。

2.2.2 化学污染过滤器的应用

通常采用化学吸附和物理吸附两种机理来过滤具有低浓度分子态的化学污染物。化学吸附是利用固态吸附剂和吸附质之间的化学反应力,其特点是:对吸附质的选择性

洁净与空调技术

强、吸附稳定、结合牢固。毒性强的污染物用化学吸附更有效，由于吸附过程改变了吸附质的原有特性，故化学吸附是不可逆的。利用离子交换反应的化学吸附也是近来发展起来的用于处理空气中微量化学物质的一种手段。它是采用含有离子交换功能基的无纺布、纸、毡等制成的离子交换纤维（正离子、负离子、混合型三种），当气体离子性物质与离子交换纤维的 H^+ 、 OH^- 基进行离子交换时，通过化学结合而被除去，无二次污染。对于一般难于去除的 NH_3 、酸性物质等腐蚀性气体十分有效。

物理吸附则依靠分子间的吸引力，把吸附物质吸附在吸附剂的表面。吸附剂靠其巨大的内部表面，如活性炭的内表面可达 $1000m^2/g$ ，结构内部通道的宽度只有几个分子直径，故提供了很大的吸附表面，但活性炭对不同的吸附质具有差异很大的选择作用，为此需根据吸附对象加以浸渍化学物质，如 MnO_2 （用于除去 SO_x ）、 $KMnO_4$ （用于除去 NO_x ）等，也就是同时利用物理和化学两方面的作用。一般来说，利用物理吸附的活性炭过滤均具有良好的除臭作用，颗粒活性

炭会产生二次颗粒污染，通常不宜独立使用。这种过滤器对于有机气体、 NO_x 、 NH_3 的净化率一般可达 80% 左右。

2.2.3 硼(B)污染的控制

现有 HEPA 或 ULPA 过滤器大多仍以超细硅硼酸玻璃纤维为原料（滤料组成中 SiO_2 占 57.9%、 B_2O_3 占 10.7%），过滤器下游 B 的发生量取决于其接触的腐蚀性气体（氢氟酸）的含量和空气中水气的含量（ $B_2O_3 + 6HF \rightarrow 2BF_3 + 3H_2O$ ， $B_2O_3 + 3H_2O \rightarrow 2H_3BO_3$ ，此即气态硼酸）。此外，室外大气中和工艺原料中亦有 B 产生，大气中的 B 大多以蒸气或极细的颗粒形式存在，能穿过 ULPA 进入室内，从而对集成电路的电气性能有不利影响。为防止 B 污染，可采用如下两种方法：

- (1) 用化学过滤器去除 B 或 B 的化合物及 HF；
- (2) 用耐氟酸过滤器防止 B 的发生。即采用非玻璃材质的过滤器，或将玻璃纤维包裹复合膜膜层。

各国已开发出多种可以排除 B 污染的过滤器，其概要情况如表 2 所示。

表 2 各国现有排除硼污染的过滤器

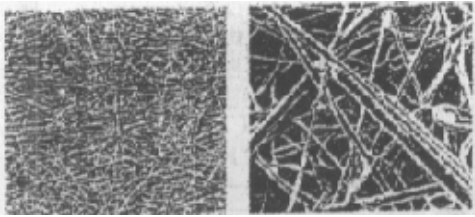
生产厂名	过滤品名称	滤材	目的		备注
			去除 B	防止发生 B	
日本近藤工业	CLEAN SORB II	活性炭素纤维	0		能处理其它化学污染物
瑞典 Canfil	e-PIFE 过滤器	膨化 PIFE 多孔膜材	0		有 EU15 及 UE16 二种
日本近藤工业	PIFE GIGA 过滤器	PIFE 多孔膜材	0		
日本 Diakin	NEUROFINE	超高性能氟素树脂 (聚四氟乙烯)	0		
日本 NITTA	B-ULPA(高性能无硼 ULPA 过滤器)	玻璃纤维在抄纸过程中作キレト材料涂处理	0	0	寿命较短
日本 NITTA		多孔聚氟酯发泡体为基材			即 NANOSORB
瑞典 Canfil	GIGASORB	粘附有 0.5mm 的球状活性炭	0		
日本荏原制作所	EPIX 微量气体过滤器	离子交换纤维(经辐射处理的聚合物毡)	0		做成有隔板型或袋式等设置在 AHU 内
日本近藤工业及 TAKUMA (DAN-TAKUMA)	PURATEX	离子交换纤维与活性炭纤维相组合	0		离子性污染物与有机性污染物均可除去，可用于排气净化
日本无机	ACS 过滤器	活性炭纤维	0		
	耐氟酸过滤器	聚丙烯纤维	0		
日本忍足研究所	超敏化学过滤器	聚丙烯纤维	0		
	MEGAcel	PIFE 多孔膜材	0		无隔板型
美国 AAF 公司	Varisorb VS 过滤器	颗粒活性炭	0		能处理多种化学污染物，此外有 Astro Sorb 型
德国 M+W ZANDER	化学过滤器	颗粒活性炭	0		

2.2.4 防止硼(B)污染的过滤器及其特性

(1) PTFE 过滤器(以 NEUROFINE 为代表)

又称特氟隆过滤器，基材为聚四氟乙烯多孔薄膜，可作成常规的有隔板型或蜜洞形无隔板型过滤器。这种氟素树

脂滤材和常规玻璃纤维滤材结构上的区别如图 3(见下页)所示^[6]。其孔径为玻璃纤维滤材的 1/10(平均孔径为 $0.3\mu m$)，纤维直径为 $1/10 \sim 1/5(0.05 \sim 0.2\mu m)$ ，结构密度高，均匀性好。该材料与玻纤滤料在超净水中浸泡多日后分析其溶解物质



(a) PTFE滤材 10 μ m (b) 玻璃纤维材 10 μ m
图3 防止硼污染的滤材

的对比结果证明了滤材仅存在极微量的硼污染。玻璃纤维滤材中溶出的B、Na、K分别比PTFE材料大400、216、10倍。

这种过滤器的效率与粒径的关系如图4所示(图中7N为99.99999%的简写,其他类推)。

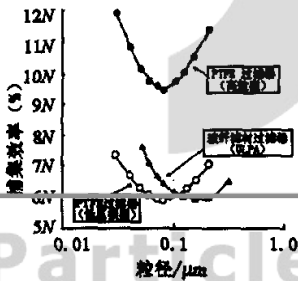


图4 过滤器效率与粒径的关系

其无隔板密褶型的阻力与传统玻纤高效过滤器相近,但有隔板型的阻力则明显较小,此外PTFE过滤器还具有强度高、不浸水以及耐酸、耐碱、耐有机溶剂、耐紫外线等优点,但目前价格昂贵。

(2) 活性炭过滤器(以GIGASORB过滤器为代表)

该过滤器介质是以多孔聚氨基发泡材为载体,粘有平均直径约0.5mm的球状活性炭。由于活性炭颗粒有巨大的吸附表面,就产生了较好的吸附作用。多孔滤材厚度为20mm,表面有尼龙面层,呈板状,可作成多层,阻力不致有很大增加。以NITTA生产之板式过滤器为例^[7],内含厚度为20mm的滤料3层,建议采用的面风速为0.3m/s,压力损失为20Pa,空气在滤料中的接触时间为0.2秒。根据不同的化学处理分别有除碱、除酸和除有机物的三种。

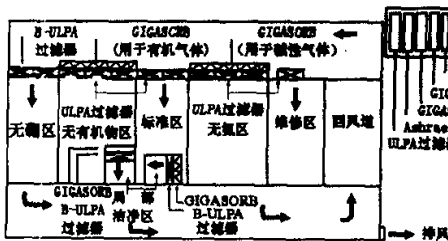


图5 使用活性炭过滤器放置情况

该型过滤器可直接装在风机过滤器机组上(FFU)或全面垂直平行流的ULPA过滤器顶棚上(图5所示)。不同要求的生产车间可采用不同吸附性能的过滤器。华虹-NEC的FFU顶棚上部分就设置了这种化学污染控制用过滤器。图6为某洁净室顶棚上使用GIGASORB过滤器后二年多时

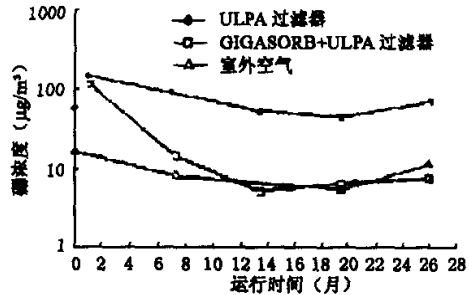


图6 使用GIGASORB过滤器室内浓度情况

间,室内B浓度的情况,这种过滤器也有制作成抽屉型(V型组合),可设置在空气处理箱(AHU)内。

我国的防化部门对化学过滤器开发方面已开展过不少工作。此外,在一般工业上对高浓度排气装置上也采用活性炭过滤器。但针对净化进气的空气处理方面研究开发不足。近年,同济大学与复旦大学曾联合研究过活性炭过滤器开发与应用,烟台宝源净化设备厂已开发出活性炭过滤器并通过鉴定。

尽管在空气净化用高效过滤器的研究与应用有许多进展,但仍存在一些问题,如玻璃纤维不能烧却处理,PTFE过滤器价格很高,带电有机纤维过滤器的效率时久而劣化,故现今仍有些工厂在开发新的超细有机纤维HEPA过滤器,其滤材以聚丙烯熔吹纤维与主要成分聚丙烯纤维以热熔加工而成,其效率稳定,可与传统HEPA相同,寿命不亚于玻纤,B的溶出量仅为玻纤的1/257,排出的有机气体明显比玻纤HEPA小^[8],并已有试验产品。

3 几种有关特殊过滤技术

在空气净化领域中,国外还开发了一些特殊作用的过滤器。

3.1 有杀菌作用的HEPA过滤器(杀菌酵素过滤器)

过去采用金属离子的毒性来杀菌,如银型阳离子交换纤维制成的空气过滤器(IEE-Ag),现今可采用从生物体中提取的天然酵素(固定在纤维纸上,达到分子级的结合水平)将细菌的细胞壁溶解以达到杀菌的目的,是一种安全的灭菌措施,它防止了过滤器上微生物增殖所产生的二次污染。

3.2 UV光电子空气净化方法^[9]

这种方法不同于普通的静电过滤器,该方法利用将紫外线照射在金属膜层上产生光电效应,在空气中产生电子和负离子使流经的污染物质荷电并被集尘极捕集(图7所

洁净与空调技术

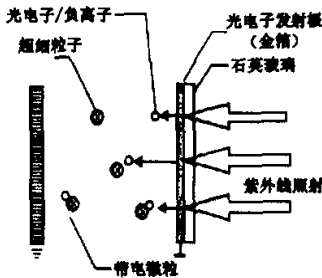


图7 光电子捕集器原理图

示)。目前在有限的小空间范围内已有应用。

3.3 用光触媒净化 VOC 的技术:

半导体光催化是利用光电转换中进行的氧化还原反应。半导体材料(如 TiO_2)受紫外线照射后,电子(e^-)被逸出,并产生带正电的空穴(h^+),前者具有强还原性,后者具有强氧化性,电子可使空气中的 O_2 还原,空穴可使 H_2O 氧化,生成 H_2O_2 、 $\cdot\text{OH}$ 基团和 HO_2 ,这些基团的氧化能力极强,能将有机污染物氧化,并分解成 H_2O 、 CO_2 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 NO_2^{3-} 以及卤素离子等无机物质,从而可以使 VOC 完全无机化,也起到除臭的作用(如图 8a 所示)。

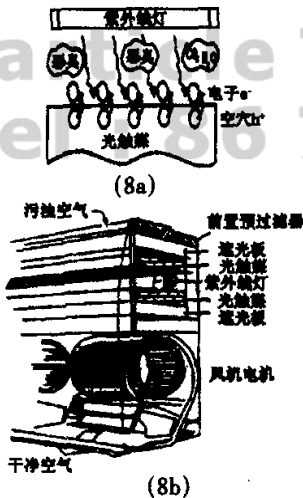


图8 光触媒净化原理图

半导体纳米加工技术可以制造细的 TiO_2 微粒,并使它附着在某种多孔载体上(厚度仅约 10mm)。在日本已有这种净化器上市(松下公司等)如图 8b 所示^[10]。

日本无机公司已将光触媒技术应用于洁净室的 FFU 上,并进行了试验^[11]图 9 为其构成示意图,图 10 为其试验成果,可以认为这也是解决洁净室化学污染的一种有益的尝试。我国北京亚都环境测控公司及苏净集团公司等单位也都在作光触的空气净化技术研究。



图9 应用于 FFU 的光触媒元件

项目	数据
温度 ($^{\circ}\text{C}$)	20 ± 5
相对湿度 (%)	50 ± 10
洁净等级 (Class)	1000
DEP 羧苯二甲酸二丁酯浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$0.05 \sim 0.1$
DBP 羧苯二甲酸二乙酯浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$0.1 \sim 0.5$
TOC 种有机混合物浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$50 \sim 150$

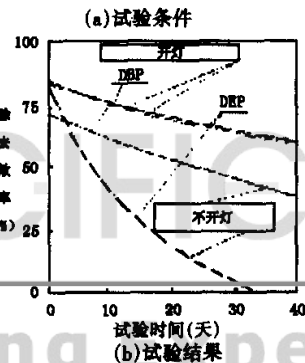


图10 应用于洁净室的光触媒元件的试验条件和结果

3.4 除海盐粒子过滤器

海盐粒子的粒径范围为 $1 \sim 10\mu\text{m}$, 中位粒径约为 $3 \sim 4\mu\text{m}$ 。沿海岸地区空气中含盐量平均达 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右(一般地区低于该值),台风等强风作用下可达 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。这种状况对微电子工厂极为不利。现在有两种措施:1)所采用的滤材即使在大量盐分附着后不容易析出;2)在空调箱进入段处先设喷水段及档水板,可先捕集 90% 的海盐粒子,再经普通的空气过滤器清除未被捕集的粒子。喷雾用水应直接排放出,不予回收。对于临海设置的微电子工厂在空调净化装置中应予考虑。

3.5 智能型空气离子净化系统

近几年来欧洲开发了一种智能化净化系统,如瑞士 LK 公司的 IONAIR 离子空气智能化净化系统,它利用离子发生工作单元的高压电离原理,释放出稳定的正负电氧离子族,带电氧离子与 VOC 物质发生反应,将其分解成 CO_2 和 H_2O ,同时带电氧离子包裹并杀灭细菌,以达到去除臭味净化空气的目的,在这过程中,会产生少量 O_3 。为保证室内空气质量处于最佳状态,该系统还配有智能化控制系统,通过送风管上的风速、湿度和 O_3 传感器及回风管和新风管中的空气品质传感器并能将检测数据传到电控控制器,以控制离子发生单元的工作强度,自动控制室内的空气品质,同时这些

数据通过传感器和网络,可以进行远程监控,图11即这种系统的工作流程^[12]。

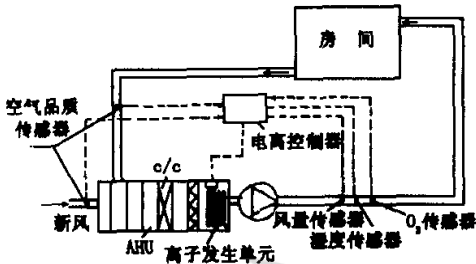


图11 智能型空气离子净化系统流程图

4 微环境控制和 SMIF 隔离技术

将硅片放在封闭的温湿度、风速精密控制和超洁净的空气中进行加工的环境,即现今微电子生产工艺中所称的“微环境”(Mini-environment)。硅片的传递和在集成电路工艺设备之间的转移均与操作人员的环境相隔离。而作为一种标准方式在隔离条件下将硅片与工艺设备相接合,必须有密封的全自动开闭的统一接口,也就是“标准机械接口”(Standard Mechanical Interface,简称 SMIF)。

4.1 SMIF 装置的结构

SMIF 装置由 SMIF 容器 (SMIF-Pod)、SMIF 机械手 (SMIF-Arm) 和 SMIF 围档 (SMIF-Enclosure) 构成^[13]。运行时,硅片装入带有同一标准机械接口的密封硅片容器内,硅片容器内,硅片的装卸和加工工艺过程完全由计算机控制按工艺流程进行。在微环境外的硅片输送均在储存盒(密封容器)中。上工序来的储存盒通过自动运送系统(经由顶部的单轨吊架或设在地面的轨道上移动)送到本工序的微环境中,通过标准机械接口将硅片从储存盒中由自控的机械手转移到加工的部位上,该工序结束后,再回到盒中,转入下一工序加工。整个过程避免了环境空气的污染。图12表示了典型的 SMIF 装置;图13表示了欧洲普通洁净隧道方

式(图中 a)与 SMIF 微环境方式(图中 b)的区别,该图中进入微环境的空气是从 ULPA 顶棚直接进入的。

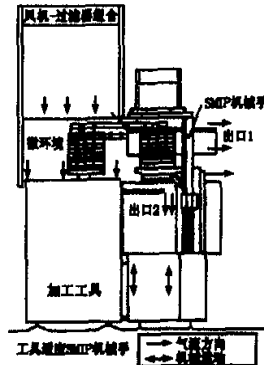


图12 典型的 SMIF 装置

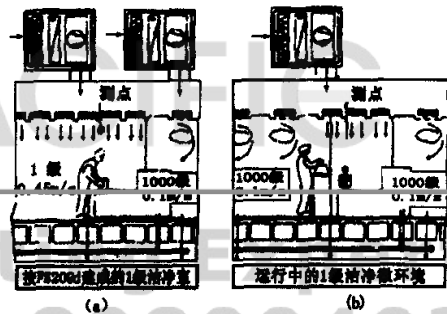


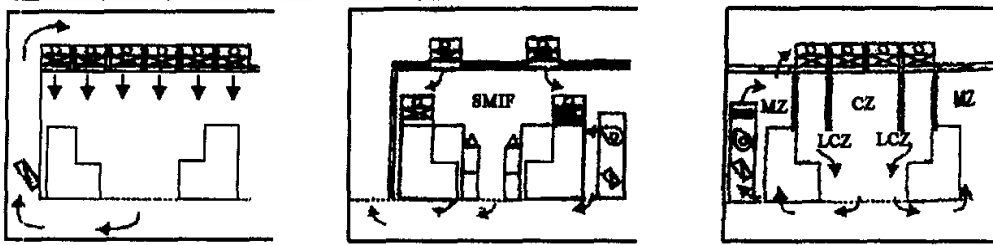
图13 普通洁净隧道方式(a)与 SMIF 微环境方式

4.2 SMIF 围档(小室)的空气参数要求

目前生产条件下的建议参数:洁净度为 0.1 μ 1 级以上(按 FS209E 标准),温度精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,相对湿度精度为 $\pm 2\%$,噪声 $< 60\text{dB}$,平均风速 0.35~0.6m/s,维持正压为 5~30Pa。为此,在围护上部均用 ULPA 过滤器的风机过滤器单元,并采取防止化学污染的设施。由于微环境内湿温

表3 三种不同净化方案的比较

方案2 VLF 系统	方案2 SMIF + 大房间	方案3 局部分区洁净系统
洁净室面积 5000m ²	洁净室面积:5000m ²	洁净室面积:5000m ²
级别:100 级	级别:SMIF 1 级	级别:LCZ 1 级
	大房间:10000 级	CZ 100 级
		MZ1000 级



洁净与空调技术

度、洁净度及气流控制合理,硅片表面在每道工序后沾上的尘粒数(称为PWP值,即particles per wafer per pass用硅片表面检测仪器测出)为最小,0.2 μm 以上粒子在1个以下。

4.3 SMIF/微环境方式的适用性

日本对按表3所示的洁净面积为5000 m^2 的洁净车间三种不同净化方案作了试验比较^[14]。第一种是全面垂直平行流方式;第二种为大房间设SMIF系统的方式;第三种把洁净室分为局部洁净区(LCZ)、洁净区(CZ)和机械区(MZ)等三区洁净级别不同的方式。按图13所示可以推知当采用SMIF方式时,房间的净化级别可以大大降低,室内换气次数和相应的级别可能与室内供冷空调需求的风量相适应。

当按单位面积发热量为233 W/m^2 和大房间换气次数25次/时的第二种(SMIF)方案与其它方式作能耗比较时,其计算结果如图14所示。可知该方案在用于洁净循环上的动力消耗可比方案1减少82%左右,方案3则也有同样的效果。

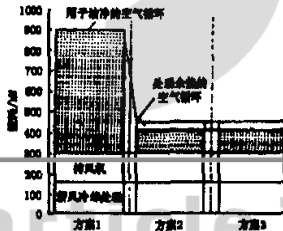


图14 三种方案能耗比较图

此外,根据德国专家在90年代初对图13所示的面积为10000 m^2 的洁净车间的两种方式所作的技术数据比较^[15],如表4所示。可见其运行费用差别是很大的。

表4 图13二种方式的技术经济比较

项 目	隧道式 洁净车间	微环境方式 洁净车间
空气处理机组(AHU)数量	170	78
ULPA 过滤器数量	6600	3000
洁净空气量/ $10^6 \text{m}^3/\text{h}$	7.7	2.2
电力消耗/kW	4100	1900
制冷机容量/kW	15500	13000
洁净室墙板长度/m	1900	600

90年代后期,国外对月产2万片硅晶圆片线宽为0.25 μm 集成电路生产线进行过投资测算,如果该生产线采用500套SMIF装置(包括其相应的自动控制系统),共需4000万美元,加上洁净厂房的建造费用8000万美元,两者占总投资8亿美元的15%,而采用传统净化系统装置占25%。尽管对于这种经济比较也有持不同的看法(认为SMIF装置的成本居高不下,投资回收期长),但专家预言,当硅片尺寸到了 $\phi 300\text{mm}$,生产的大量化,采用不同方式的微环境控制是不可缺少的。

我国微电子工业基础落后,与之适应的空气洁净技术研发也滞后于国外。直至1996年,江苏苏宁集团承担了国

家“九五”重点攻关专题,开展了“使用隔离技术的亚微米生产环境的研究”项目,花费了大量人力物力,组织协作攻关,终于2000年底完成了SMIF围挡、机械手、导引器、存储控制器、灵敏跟踪器等设备的研究,并在华越微电子公司 $\phi 125\text{mm}$ 的集成电路生产工艺中试用,并经国家信息产业部验收^[16],为今后集成电路的大规模建设提供了条件。

5 空气净化设备的开发

由空气过滤器、风机等构件组成的空气净化设备,多年来没有突出的进步,但根据不同场合的需要,利用两者合理组合,不断开发和改进这类产品,这里对若干产品作介绍和探讨。

5.1 风机—过滤器单元(机组)

风机—过滤器单元即Fan Filter Unit, FFU。这是泛指用于不同面积和等级的构成洁净环境的通用设备,它可以用于非单向流洁净室,更主要的是用于垂直单向流的大型洁净车间。其优点是:(1)灵活性高,适用于车间内洁净度随工艺变化而作区域性调整;(2)过滤器组上部顶棚为负压,可起负压密封的作用;(3)减少了机房面积(不需设置大风量循环风机);(4)加快厂房建造速度等。

5.1.1 FFU的结构与性能

FFU的技术性能(风量、均匀性、噪声、耗能等)受风机和过滤器的性能所影响,同时与整体结构中组织气流流程十分有关,大多内部设置均流装置,有的对大型号的机组用消声材料处理风机噪声。电机一般均采用外转子电机以减小高度,转速不超过1300转/分,制造厂一般提供额定工况下的性能参数,也有的提供风机的特性曲线或FFU整机的空气动力特性曲线(相当于一个带内阻的风机),与风机特性曲线一样,除风量和压头外还包括效率、噪声、功率等,以使用户选用。为改进FFU的结构通常采用CFD技术和实体试验两种手段。

图15和图16分别为带有消声结构的FFU(ENVIRCO公司)和不用吸声材料的FFU(日立公司),后者通过风机翼片等的改进而获得了良好的声学性能。图17(见下页)则表示了以整机空气动力特性的FFU性能曲线。

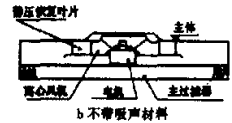
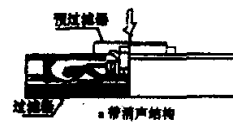


图15 有消声结构的FFU 图16 不用吸声材料的FFU

FFU的结构尺寸是模数化的,适应于车间的吊顶结构,一般有1200 \times 900mm(4' \times 3')、1200 \times 600mm(4' \times 2')、600 \times 600mm(2' \times 2')等尺寸。其厚度取决于电机风机结构和过滤器的厚度以及其箱体间的空间设计。较薄的FFU当可减小吊顶空间的净高。

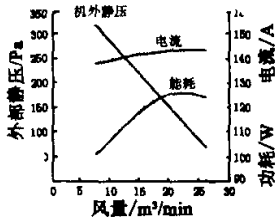


图 17 FFU的性能曲线

表 5 列出了若干品牌的 FFU 规格, 各厂家在产品开发方面所下的功夫是不同的, 因此在性能上有所差异。台北工业技术研究院能源与资源研究所曾对 FFU 的研制做过大量工作。从生产制造来看, 由于 FFU 在大型微电子工程应用时, 一座厂房可能使用数千台, 因此必需具有集中的监控系统, 以实现运行控制(开、关、调速)、监视和故障检测的需求。控制可根据工艺分区进行。多机控制系统采用主从控制器相组合的型式, 并通过一定的通讯方式, 实现对 FFU 的调速控制, 并具有巡检、报警、风速设定、机组位址设定等功能。例如, FFU 装置启动运行时, 首先要集中调速以免 FFU

表 5 一些 FFU 的规格性能

品牌	功率 W	面风速 m/s	噪声 d/B(A)	余压 Pa	重量 kg	面尺寸
SHINSUNG	110	0.4	47	90	22	1200×600
AAF	140	0.45	51~55	50~100	35	1200×600
LUWA	260	0.38	52	70	80	1200×600
苏净	158	0.3	53	NA	NA	1200×600
ENVIRCO	80	0.45	49	138	29	1200×600
Varipro	305	0.45	NA	160	NA	1200×600
新晃	100	0.35	50	90	32	1200×600
日本无机	68	0.59	NA	NA	11.1	600×600
HITACHI	85	0.35	52	98	25	1200×600
台湾展菱	165	0.5	53	NA	NA	1200×600
QUEST	150	0.5	58	NA	23	1200×600
PANASONIC	85	0.35	49	98	37	1200×600

注: 本表取同品牌 FFU 的较优值

的振动频率与车间结构的自振频率产生共振。

5.1.2 FFU 的适用性

前面已经对 FFU 的特点作了说明, 现在可以具体分析比较以下三种大型微电子洁净车间的空气循环方式^[17], 见表 6 所示。

表 6 微电子洁净车间的空气循环方式

	集中方式	FFU 方式	半集中方式(过滤箱方式)
示意图			
典型部件构成	轴流风机(大型), 1500m³/min, 600Pa, 消声器, 干盘管(集中), 高效过滤器, 液槽密封	FFU, 15m³/min, 200Pa, 干盘管(集中), 过滤器, 垫料密封	高效过滤器箱, 90m³/min, 250Pa, 分散干盘管, 过滤器, 垫料密封
特点	顶棚内正压, 静压层高度大, 风机少, 监视点少, 风机、电机效率高, 风机需要设置空间, 过滤器更换时, 洁净度不保证	顶棚内负压, 静压层高度小, 风机台数多, 监视点多, 风机、电机效率低, 通常运转时可更换过滤器	顶棚内负压, 风管与过滤器要在顶棚内连接, 通常运转时可更换过滤器
运行费用分析	风机效率 90%, 电机效率 85%, 电耗 19.2kW, 单位风量输送电耗 0.213Wh/m³	风机效率 33%, 电机效率 33%, 电耗 0.148kW, 单位风量输送电耗 0.165Wh/m³	风机效率 70%, 电机效率 75%, 电耗 0.7kW, 单位风量输送电耗 0.13Wh/m³

单纯从以上比较可知, 半集中的方式不亚于 FFU, 如果进一步提高 FFU 的风机、电机的效率, 则这方面的优势更是明显。详细可见专门的文献^[18]

5.2 其他空气净化设备

5.2.1 新型空气吹淋室

传统的吹淋室对人体吹淋停止后, 小室内的含尘空气有可能被带入车间, 新改进的吹淋室, 具有快速自净的功

能, 当停止吹淋气流后, 可部分转换成顶部垂直气流, 这样可使小室内空气含尘量很快降低, 达到自净效果。

5.2.2 超薄型自净装置

日本 Airttech 公司新近开发了一种超薄型自净器^[20], 厚度仅 70mm, 做成屏障式, 可移动, 出风口面积为 830×570mm, 可配置各种等级的过滤器以及多种工作模式。

5.2.3 各种专用的洁净设备

更衣室专用“洁净岛”更衣平台(格栅地板)下为风道,

洁净与空调技术

经 HEPA 过滤器后的空气可控制人更衣活动区, 其它还有不少与工艺设备密切结合的净化设备, 包括无菌室用净化设备, 这里不逐一叙述。

6 地球环境时代的洁净室设计与运行

洁净室是耗能的大户, 用能大, 对地球环境的排放负荷 (CO₂ 及其它废气) 亦大, 因此节约能源, 减少运行费用, 减少废弃资源都是应该关注的问题。

6.1 负荷概况^[20]

图 18 是大型微电子(硅芯片制造)前工段工序洁净车间全年冷热负荷之例。可以看出: 全年冷却负荷远大于加热负荷, 即使在冬季仍然有很大的冷却负荷。此外, 从负荷构成看, 生产设备的冷却负荷占较高的比例, 新风负荷为其

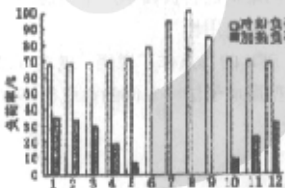


图 18 某硅芯片厂全年冷、热负荷

次, 输送负荷(风机、水泵)也不能忽视, 而建筑、照明、人体负荷一般不足 5%。图 19 为日本 $\phi 300\text{mm}$ 硅片 256M DRAM 生产车间冷负荷之计算结果。

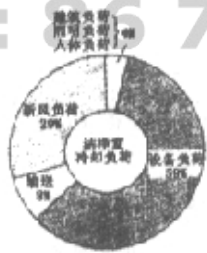


图 19 日本某硅片车间冷负荷计算结果

基于这种情况, 该类型车间的空调设计应从各方面充分考虑能源的节约。

6.2 将去湿冷却与显热冷却处理分开

根据大型微电子工业洁净室的规模大、送风量大、室内全年热湿比大(接近 $+\infty$)、新风比小等特点, 现今净化空调的处理方案大多采用新风处理直接参与大循环风量混合的 FFU 方式, 其冬夏季空气处理流程如图 20 所示。图中注明了典型温度参数, 由此可见, 新风处理应用去湿盘管, 取较低的水温 (5~10℃), 而大量循环风的冷却 (图中 A→B) 采用排数少, 面风速低, 水温高 (15~20℃) 的盘管即可。甚至可以采用不同的冷源, 当采用低温冷源时 (水温为 5℃) 可按图 21a 所示之水系统进行调节和控制, 图 21b 为冬季的

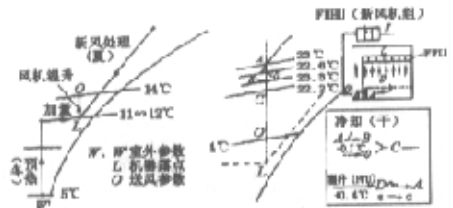


图 20 冬、夏季温控要求

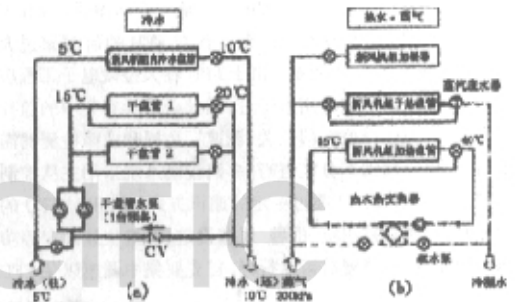


图 21 冬、夏季空气处理流程

配管方式。当按新风去湿要求所得的机器露点温度过低而不符合混合循环空气要求时, 则应将新风再热, 其再热过程不需消耗系统外热源, 可将从新风于冷所取得的热量, 由水环路与再热器循环, (相当于热管的作用) 如图 22 所示。

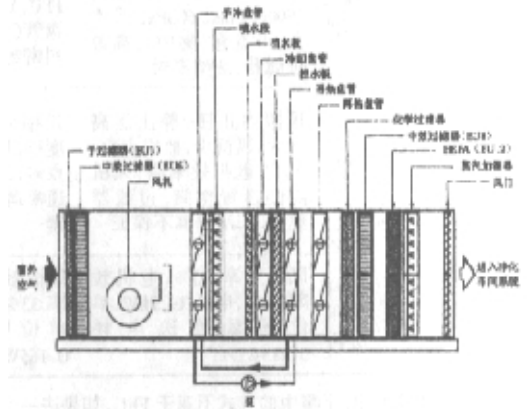


图 22 新风处理流程图

6.3 冬季利用部分冷却塔冷量^[21]

冬季与春秋季节室外温度较低时, 利用部分制冷机停机的冷却塔制得冷水, 通过板式热交换器对显热盘管和供热管供冷, 调节车间内温度是一种可行的方法, 全年可节省 10% 的能源, 图 23 就是这种工作流程。

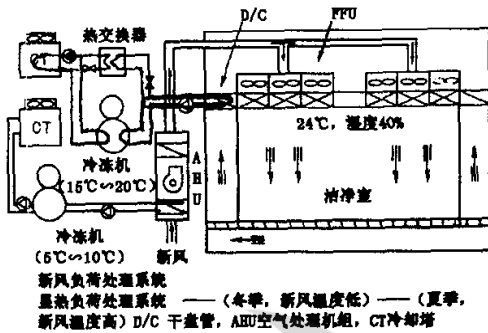


图 23 利用冷却塔供水流程

6.4 车间化学污染排气的热回收^[22]

该类车间有大量的较低温度的空气从工艺设备排出, 虽然是污染废气, 但进行净化处理的同时可利用其冷量作为夏季新风处理机组的予冷用。这种系统示意于图 24 中, 湿式废气净化装置的循环处理液通过热交换器将冷量提供给新风空气处理机组, 处理液(洗净液)一般带酸或碱, 故应注意热交换器的用材。该系统冬季副可以用来预热空气。空气处理箱循环水可用纯水, 既可净化进入空气, 又可提高盘管的换热效果。此项提案正进行实验室研究之中。

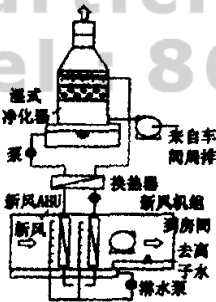


图 24 冷量回收示意图

对于车间一般排风, 也有建议经化学过滤器过滤后回入空调处理系统, 以回收冷(热)量。

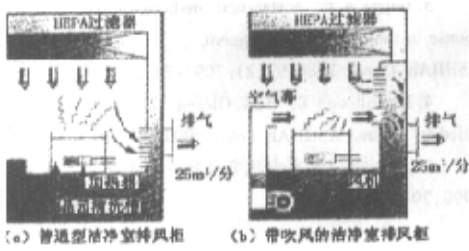


图 25 节能排风柜示意图

6.5 排风柜的节能^[23]

为了减少新风冷负荷, 从工艺中减少排气量是主要途径, 日本曾采用如图 25 所示之排气柜。由于设置了吹吸气流装置有效地减少了排气量。

6.6 大容量挥发性有机废气的净化与热利用^[24]

在集成电路生产过程中有机溶剂被大量使用, 从而形成了浓度不同的挥发性有机混合物(即 VOCs)。如果将它排入大气对生态环境影响严重。国际上已制订排放标准并对排放限量。目前比较先进的方法是对 VOCs 进行浓缩并烧却, 在此过程中充分利用其热量。图 25 即这种装置。其主要部件是沸石转轮(浓缩 VOCs 用)和燃烧系统(烧却 VOCs 成 CO₂ 和水)以及热交换器(回收热量用)等。转轮以陶磁纤维为基材做成蜂窝型吸附结构, 表面涂布有疏水性的沸石作为吸收剂。整个轮面划分成吸附区、再生区和吹冷区。流经转轮吸附区的含 VOCs 气体经吸附净化液排放掉。转轮吸附饱和后转入再生区经 170~250°C 的热空气脱附其吸着的 VOCs, 经脱附再生后的转轮转入吹冷区, 可重新吸附并循环运行。经脱附出被浓缩成 10~13 倍浓度的 VOCs, 则在燃烧室内被焚化、燃烧生成的热量在循环过程中经热回收器二次回收。这种装置在我国新建的 IC 工厂中已采用。

6.7 空气过滤器清洗问题^[25]

从延长过滤器的运行更换周期, 既节约物资, 减少废弃来看, 直接有利于企业运行开支。从地球环境问题看, 更是符合节约资源, 保护环境, 追求实现循环型社会的宗旨。日本近年来开发了中效过滤器的清洗机构(如 Clean Tech、TOENEC 公司)获得社会的瞩目^[26]。日本一般空调装置使用的中高性能过滤器约 150 万台, 其中有 40~50% 为无纺布过滤器, 部分洁净厂的予过滤器亦属其可能服务的对象。其清洗的流程包括: 高压空气初洗、真空脱气、超声波水洗、离心脱水、除湿干燥、性能确认(效率试验)等, 整个流程实现自动化。一条流水线的日清洗量约 300 台左右。目前该市场尚在发展中, 随着环保意识的增强, 很有推广的必要。

7 结语

当前我国正大力发展微电子工业, 上海、北京等地已出现投资集成电路的好势头^[27], 上海中芯公司投资 15 亿美元, 建设月投 8 英寸硅片 4.2 万片的生产线, 上海宏力公司投资 16 亿美元, 建设月投 8 英寸硅片 4 万片的生产线, 天津 Motorola 公司 8 英寸线已试运行, 北京信创公司 6 英寸线、上海贝岭公司 6 英寸线、杭州士兰公司 6 英寸线都在前期工作。上海规划“十五”建成 10 条 8 英寸以上生产线, 北京规划要逐步建成 20 条生产线^[28]。这对国内微电子工业的发展提供了很大的动力, 同时给国内洁净技术的发展也提出了新的要求, 吸收和消化国外先进技术是提高国内洁净技术水平必不可少的一环。

参考文献

洁净与空调技术

- 1、クリーンルーム環境の計画と設計 日本空气净化协会编 2000年
- 2、第十四回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(1996年)B-9
- 3、第十六回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(1998年)A-2
- 4、第十六回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(1998年)A-3
- 5、第二十回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(2002年)A-17
- 6、日本 DAIKIN 工业公司样本
- 7、日本 NITTA 公司样本
- 8、第二十回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(2002年)A-25
- 9、第十六回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(1998年)B-2
- 10、日本松下公司样本
- 11、第二十回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(2002年)A-7
- 12、ionair 离子空气产品介绍(上海科泰实业公司样本)
- 13、胡雨燕等, 洁净技术的现代趋势——SMIF/微环境技术《洁净与空调技术》1999/2
- 14、第十八回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(2000年)B-24

(上接第7页)

- (3) 许钟麟著, 空气净化技术原理, 上海: 同济大学出版社, 1998
- (4) 许钟麟编著, 洁净室设计, 北京: 地震出版社, 1994
- (5) 许钟麟著, 空气净化技术原理, 上海: 同济大学出版社, 1998
- (6) 许钟麟, 钱兆铭, 沈晋明等, 平行流洁净室的下限风速, 建筑科学研究报告, No. 11, 1983

(上接第22页)

调查测量的过程中, 得到了受试者的很大支持。他们也向我们提出了一些宝贵的意见和建议。

参考文献

1. 金招芬, 朱颖心等. 建筑环境学. 中国建筑工业出版社.
2. D. A. 麦金太尔. 室内气候. 上海科学技术出版

15. SWISS CONTAMINATION CONTROL 1990 No. 4a
- 16、“九五”国家重点攻关计划项目验收材料 项目编号: 96-744 苏州净化集团公司 2001年
- 17、クリーンテクノロジー-1994/12
- 18、周期, FFU 应用方式及相关问题《洁净与空调技术》2002/2
- 19、严德隆, 洁净厂房空气循环系统形式的合理选择《2001年全国室内空气净化工程与技术发展研讨会》论文集。
- 20、第十八回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(2000年)B-2
- 21、“日立评论”1995/11
- 22、第十九回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(2001年)A-17
- 23、日本东北大学ス-パークリ-ンルーム技术特集. 1987年
- 24、第五届海峡两岸制冷空调技术交流会论文集. 2001年
- 25、第十八回空气净化とコンタミネ-シヨコントロール研究大会予稿集(2000年)C-34
- 26、日本“环境新闻”2000年5月31日
- 27、王勃华 电子专用设备市场需求分析“中国电子报”2001年5月29日
- 28、范存养等 微电子工业空气净化技术的若干进展《暖通空调》2001年第5期。 □

(7) 远藤洁, 冈田完吾, 空调用“ククトクソーニング”工法, 空气净化, v34, NO. 6, 16-23, 1997

(8) 水上淳, 藤本秀树, 空调用“ククトク”污染の实态, 空气净化, v34, NO. 6, 2-7, 1997

(9) 许钟麟, 张益昭, 改善室内空气品质的重要手段——新风过滤处理的新概念, 暖通空调, NO. 1, 5-9, 1997

(10) 许钟麟, 空气净化系统面临的几个挑战, 中国暖通空调制冷资讯(技术篇), 64-67, 2002 □

社. 1988.

3. Gagge A P. A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Trans. 1986, 92(2): 709-731.

4. McCullough E, B W Olesen. Thermal insulation provided by chairs. ASHRAE Trans, 1994, 100(1): 795-802.

5. 夏一截. 北京市住宅环境热舒适研究. 暖通空调, 1999, 29(2): 1-5. □