

# 净化厂房的颗粒控制

Kathy Skidmore

**【摘 要】** 要获得10级或1级的净化间，不仅在IC的生产中要注意颗粒控制，而且在净化厂房的建造和设计过程中也要注意颗粒控制。

得克萨斯州圣安东尼VLSI技术运行部主任Perry Denning在谈到净化室的操作者时，形容他就象小卡通片中的Pig Pen一样，常常被灰尘笼罩着。Denning说：“一个穿净化服的人在厂房里走动时，在周围会产生 $10^3 \sim 10^4$ 个颗粒，可见，尽管人们穿着净化服，在人体四周会有一层颗粒云”。

然而，与Pig Pen不同的是，净化间内的操作人员带有大量颗粒云决不是件好事。事实上维持净化间洁净是一项全过程的工作；它包括从操作培训到施工设计。纽约州罗彻斯特RKI的Ralph Kraft说：“操作人员、管理人员和设备维修人员具有净化知识和运行方面的培训是保证净化间高效运行的关键”。

净化间包含了一个复杂的环境控制系统。因为，它几乎受到任何事情的影响，人们可以通过以下几方面的工作来增强对净化的认识，比如，厂房总体设计及设备平面布置；远程的化学药品分配；厂房运作细则；无纸化记录系统；净化间的监测；附加垫，空气吹淋器和鞋刷的使用；以及清洁规程。首先，让我们来讨论一下为确保污染的控制而建造一间净化间有关的因素。

## 一、厂房建造方案

当今最能体现良好净化间建造技术的厂房，也许就是得克萨斯州奥斯汀的Sematech。Sematech最近建成了一间1级净化厂房。该项建造是从建造人员的培训开始。指导该项目的Nick Nicoson说：“建造人员不仅要明白净化间要清洁，而且还要知道为什么要清洁。这是朝高质量的工作和人员教育迈出的一步。”

首先，Sematech建起了一间临时性的净化房间来存放所有的原材料。这些原材料在安装前用异丙基酒精(IPA)进行擦净并密封。当组装拆封后，没组装完的材料则需重新擦洗并封装。Nicoson说：“当我们启动工厂的送风系统——不是采用HEPA过滤器，而只是用粗糙的过滤器时——厂房内空气为中 $0.5\mu\text{m}$ 的尘埃颗粒有75,000个”。在大气环境中，每立方呎( $2.832 \times 10^{-2} \text{m}^3$ )空气内 $0.5\mu\text{m}$ 的尘埃颗粒有300,000个。

Nicoson总结说：“因此，仅仅通过使那些原材料保持清洁，就会发现颗粒数会减少很

\*王小明 译自《Semiconductor International》，Vol.12, No.9, P.94, 1989, 9  
张义烈 校

多。当我们装上HEPA过滤器后,运行不到24小时,其净化级别就比10级好”。Sematech非常注意对管道,阀门,接头,调压阀以及其它一些材料的保管,并尽可能使它们保持干净。

净化厂房一旦浇好水泥,就要求施工人员进入该厂房时要穿好booties的净化服。在净化室外围安装管道时,也要求他们戴上净化手套。在净化间内安装隔墙,管道以及布置不锈钢管的过程中操作人员要穿好兔式衫。安装工艺设备时,要求戴口罩,戴净化帽,鞋套以及穿好兔式衫。

对净化间内的人员流动也要严格控制,人员只由一个门进出,不施工的通道要隔离,人员进入厂房时必须经过更衣间。

所有运进厂房的设备都要经过一间近1级净化的层流间,并用IPA进行擦洗、清洁。Nicoson说:“这样做的目的是为了厂房的清洁,为了净化间的快速启动。”

各地净化专家都对Sematech的建造方案进行了考察。宾州AT&T Bell实验室的Edward Eckroth说:“Sematech的规程使净化间的建造在结构上向前迈进了一大步。围绕净化间这个核心,他们建起了各级净化级别。今后AT&T在建造净化间时,将以之为标准”。

Eckroth解释道,在过去,工人们将废弃物丢在地上,在施工过程中也不注意干净,因此,在缝隙和裂缝中就会有灰尘,并成了很大的污染源——那就只有请上帝保佑你的生命线的寿命了。”

## 二、净化间的设计

当今,建造的大多数10级和1级的净化间都采用空气垂直层流送风方式。评价公司建造的1级净化间,VLSI的技术指导Denning说:“净化间是在很厚,很硬的水泥地基上方装上带孔的格栅地板形成垂直层流送风系统。过滤器与净化间没有金属元件,因为它们难以清洗和难以保持清洁而成为污染点。”净化间内的空气每6秒钟就全部更换一次。

提升的格栅地板具有非常有效的空气流通。得克萨斯州奥斯汀Motorola污染控制专家Bob Baker说:“想想这种情况,一个人通过净化间能在周围引起300,000~500,000个颗粒/每分钟。即使这么多的颗粒,若在很有效的空气流动的情况下,这些颗粒只能在水平方向运行不到30.48cm,就被空气吹下,通过格栅地板,最终被过滤器捕获。

然而,若不注意,格栅地板会发生对净化不利的情况。Eckroth说:“格栅地板的缺陷之一就是:“灰尘、液体以及破碎的硅片掉在地板上就看不见了,但还将成为人们意料之外的污染源。所以,要使用格栅地板的人清楚,要维持格栅地板通风处干净是件困难的事。”该区域每季度至少要清洗一次。

另一个重要的特点是采用符合现代工艺规范的穿墙式安装设备。如今,设备是采用穿墙式安装的,使设备的前端与墙面平齐。Sematech的Nicoson说:“把设备的机械部分放到净化间外面在厂房设备布置上是十分重要的一步”。

今天,大部分设备是安装在维修区域里。Sematech的Nicoson说:“维修区或是紧靠着净化间的,也就是所谓的灰区。维修区域是绕着整个厂房的。”这样安装设备,就使得有关的维修工作都可以在净化间外完成。

而且,穿墙式安装设备也减少了空气的紊流,Denning说:“采用穿墙式安装设备,可

以让空气平稳地流过设备的操作面。由于净化室内没有紊流，所以这样就不会因空气紊流而产生颗粒。”

RKI的Kraft认为，这一概念仍可以改进，他解释道：“为尽量减少空气中的颗粒，最好在制造设备时，就把操作控制面板从设备的上方移到工作面的下方，这样，空气就首先吹到工作面上”。

### 三、设备平面布置

净化间设备的平面布置方法会影响颗粒密度。Eckroth说：“在 $929 \times 10^{-2} \text{m}^2$ 内同时有几位操作人员的设备布置是不对的，背景颗粒数是由人的密度产生的，而人的密度又与设备平面布置有关”。

当今，大多数净化间是采取限制同一时间，同一区域内的人数，或是采取在某一特定区域内尽量减少数。Baker说：“我们尽可能使设备前的人数始维持在最少状态，设备前不允许参观，不允许人们随意来回走动。每个区域都有一定的限制。”

### 四、补充空气

由于净化间内空气压力比四周压力大，所以每个净化间都会通过工艺设备和净化间的出入口处流失净化空气。损失的净化空气必须得到补充。如何补充损失的空气将会对净化间的净化效果产生影响。

Eckroth说，“从Allentown的净化间一天运行来看，根据具体情况，用经过滤产生的补充空气需求量可高达20%。因补充的空气是来自厂房外，当外面空气又热又湿或又冷又干时，补充的新鲜空气必须调整到符合净化间的要求。他们采用了两种措施来调节补充空气，一是采用了HEPA高效过滤器来过滤来自室外的空气，而不是用一般过滤效果不好的过滤器；二是为了附合光刻胶的使用要求，对净化室的湿度进行控制。AT&T在长达12个月的时间内将湿度变化控制在 $\pm 3\%$ 以内。

Eckroth解释说，并不是所有的生产厂家都对补充空气进行处理。因为这是一笔附加的费用，但AT&T认为这是值得的。他断言只要经过日常的维修和监控，1968年建成的100级净化间仍可在100级下运行，因为该净化间的再循环空气和补充的空气都是经过预过滤处理的。

在AT&T，返回的空气在通过内环道上的ULPA过滤器之前，85%的空气要经过预过滤器过滤。Eckroth说：“根据净化间的要求，我们经常更换预过滤器——每年或每两年更换一次，结果延长了净化间顶部的终端过滤器的寿命，运行效果也不错。更换终端过滤器费用昂贵，这样可以减少更换终端过滤器的费用”。他还说，人们也可以不更换预过滤，同样可以达到净化级别的要求，但那样终端过滤器HEPA和ULPA过滤器的使用寿命就会缩短了

### 五、远程化学药品分配

通过管道远距离把化学药品和气体送到净化室使用点去有许多好处。Nicoson说：“远

程化学品输送可大大地减少在净化间内的行走”，在Sematech, 95%的化学药品是直接传输到使用点上去的。Nicoson解释说这样可避免了化学药品罐进净化间前的清洗，以及在厂房中的运输工作。Nicoson说：“把设备穿墙安装，可以把所有的电器气体以及化学药品都送到灰区”。其它工厂也采用了这样的做法。

在得克萨斯州奥斯汀Motorola的1级净化间内有一个环绕净化间的走廊，将之作为阻挡颗粒的一个屏障。Baker说：“我们走廊作为一间净化间来管理，走廊入口处放有附加垫，门采用自动锁紧门。这个区域的空气流动量要比正常情况下的大以保持不增加颗粒。在走廊内装有标准的空气过滤器，并要经常打扫走廊以保持其清洁”。除更衣间之外，这个走廊与净化室一样，不允许有纸板或纸片。

## 六、厂房管理细则

每一个生产厂家都有一些不同的净化间管理细则，即进入厂房内和净化间的程序。但大多数1级净化间细则都包括鞋（即鞋套）的使用规定。

Motorola细则规定，每个进入厂房四周走廊的人都要穿上鞋套。要进入净化间的人必须先进入预更衣室，把日常用鞋脱掉，放在鞋架下层，然而穿上放在鞋架上层的净化鞋。

穿好净化鞋的人经过空气吹淋后，走进10级抽风室。在那里，要戴上发网和长臂手套以及穿上净化服。长臂手套最后在净化间入口处附的另一个手套站换成净化间手套。Baker说：“怎样更换手套是有规定的，你戴好手套，把净化服袖口扣在手套上，然后经过空气吹淋室进入净化间。”经过空气吹淋的目的是吹除颗粒。

Sematech的细则几乎与Motorola的一样。Nicoson说：“任何进入靠近厂房走廊的人须换上干净的鞋，这些鞋是不允许拿到走廊或厂房之外去的”。人们进入预更衣间要换掉所有的日常穿戴。预更衣室的一侧是不洁净区，另一侧是洁净区，中间是用隔板隔离开的，以保持洁净区域的清洁。人们在不洁净区脱下鞋子，在洁净区换上净化鞋。

在走进更衣间之前，人们要套上鞋套，戴上发网和橡皮手套，然后进入具有1级层流的更衣间。Nicoson说：“所有的净化服都宽松地挂在钩子上，一直让风吹着”。人们穿上兔式净化服后经过空气吹淋，进入净化室。

圣安东尼的VLSI的细则与Motorola的也很类似。Denning解释道，每个要进入净化间的人必须在预更衣间内洗手和洗脸，并要使用专门的护肤液以减少皮肤剥落和损伤，然后脱去外衣进入1级更衣间，并在那里换上净化衣。

德州奥斯汀的Motorola的厂房也使用一种润肤剂来减少颗粒的产生。不允许任何人化妆后进入净化间。Baker说：“我们在18个月中对化妆问题做了大量的分析，发现虽然经过恰当化妆的人要比不化妆的人不容易产生皮肤剥落，但问题是：有些人化妆的很浓，把净化服都沾污了。”他在解释化妆品沾污净化服并被带进净化间时说：“我们无法控制这些化妆品的种类和数量，所以不允许人们化妆后进入净化间。我们研制了一种符合净化标准的润肤剂供人们使用”。

Baker说：“要人们在厂区内不化妆是件困难的事。实际上，有些女士上班时习惯涂眼影，要她们不化妆已是不可能了”。Baker主张，在招聘新雇员时就告诉她们上班时不允许化妆和抽烟，她们要同意这些规定，那因化妆而引起沾污的问题就解决了。

## 七、无纸张化记录

VLSI技术部和Sematech在他们1级净化间内都不允许使用纸张。VLSI的Denning说,“即使是净化用纸,也会产生大量颗粒,所以,我们在净化间内不用纸张,只采用独特的无纸张化记录系统。”该系统是一种由计算机自动控制的智能机械手操作系统。操作者手臂上带有计算机能识别的标志,用识别器指向操作者的手臂,计算机便能识别他/她。然后,把识别器指向设备让计算机识别。接着把识别器指向装片盒,计算机就会告诉操作者该步的硅片是否已准备好,并记录下所需的信息,甚至记下详细的内容。

条码记录系统不用笔。但就那些不能完全实现无纸化的系统,要对使用笔的类型及使用的位置进行监控。Baker说:“只有净化间用笔才可以用,厂房内所用的笔都要对其钠和金属的含量进行检测分析”。

## 八、净化间的监控

Baker说:“净化间是一个流动性很大的区域,你必须对其各种状态进行监控,以确保它的洁净度,并确保人们遵守净化规则”。可利用监测器来发现过滤器存在漏洞的问题。Baker解释道:“你不可能在过滤器发生漏洞的地方放一台颗粒测试仪,假如把测试仪固定放在某一位置,在测试仪1.22~1.53m的范围内,也许就有一个为100,000个颗粒的漏洞,测试仪是测不出来的”。他认为应由人推着测试仪,在整个厂房内对其进行动态监测。

Baker还说, Motorola的净化间在动态监测时,就发现了人们无意中把过滤器弄出的一个漏洞。他说:“人们在装卸炉管时,常常把它从过滤器表面划过,而在过滤器上划出一个孔洞,如没有看见缝隙中的洞,人们也许会以为一切正常。但事实上却相反。过滤器芯子是很薄的,你若碰到它,是很容易产出漏洞。”

## 九、附加垫(Tacky Mats)

当今,维持净化间清洁的辅助设施有很多。附加垫、空气吹淋器及鞋刷都是例子。目前,对这些净化辅助设施的优缺点存在着许多争论。

附加垫曾流行过一阵子,现在在许多工厂仍在使用。按纽约州罗彻斯特净化专家 David Shares的说法,附加垫有两种基本类型:一种是使用后可撕下丢掉的——即一次性的附加垫;另一种是清洗后重复使用的附加垫。Shares说:“毫无疑问,最方便的是用一次性的附加垫。”

Shares说:“由于附加垫的吸附性很强,在人员走动多的地方很快就吸附灰尘而饱和”。他认为,附加垫在半导体行业中经常得不到正确的使用。他说:“我曾在一个净化间入口处看到一块附加垫,它已吸满了大量的灰尘,实际上已不起什么作用了。”他认为应该要求人们在垫子吸漏灰尘时,就应及时把它撕下丢掉。他说:“我曾看见在垫子旁边有一个废物箱,是专门用来收集旧垫子的。虽然这是件小事,但这样做是很有用的”。

踏上净化间门口的垫子之前,在净化鞋上再套上鞋罩可以延长垫子寿命。Shares说:“如果在净化间入口处设一个鞋罩站,并设有能让你坐下来穿鞋套的地方,你便可在踏上垫子之前

套上鞋套,一旦你穿好鞋套,就不要再踩到净化室外的地板上。”他认为大部分带进净化间的污染物是来自人的脚底和轮子上。

而清洁并重新使用的垫子不需要更换,因为垫子很重(可以放得很平整),很难将它拿到另一处去清洗。在原地清洗是有危险的,垫子湿的时候,走上去特别滑。但垫子很快会吸满灰尘,所以需要经常清洗,也就增加了其危险性。

## 十、空气吹淋

空气吹淋用于工业中已经有一段时间了,当今大多数专家认为空气吹淋是没有必要的,Shares认为:若更衣间设计合理,就不需要空气吹淋。

合理的更衣间设计可消除因脚底和轮子带来的颗粒,并且可以实现其具有与净化间一样的洁净度。Shares补充说:“我见过许多条件很差的更衣间。有一间更衣间——说起它的情况会叫你吓一跳,该更衣间有100级净化,但它只在更衣间的一个角落里装了一个小的HEPA过滤器,并且没有空气回流,房内的颗粒为400,000~500,000个/每立方呎( $2.832 \times 10^{-2} \text{m}^3$ )。在此情况下,人们穿上的净化服就已经是脏的了”。他解释道,一件洗干净的净化服,若将它放在500,000个颗粒的房间里,就不再是干净的净化服了。

对于空气吹淋的使用人们是有争议的,Denning说:“空气吹淋是有些人怀疑的辅助设施,它更多的是给人们带来心理上的作用。若你在净化室走20英尺,事实上,你身上已经比经过空气吹淋干净得多了。”

许多人同意Denning的观点,Shares说:“关于空气吹淋的争议告诉我们:对空气吹淋的作用已有了新的认识,这种认识与人们习惯的不同。那是真实的,我第一次经历时就有这种感觉。”

对没有垂直层流的净化间来说,空气吹淋是最能发挥其作用了。AT&T的Eckroth说:“若空气经过地板侧流,则在地板上就会有很多灰尘。空气吹淋对那些直接从室外进入净化间工作环境的人来说是特别有意义的。”

Shares提醒人们,空气吹淋会给你带来错觉。他曾见过有人穿着净化服在净化间外来回走动,问他为什么不在离开更衣间时脱掉净化服,他说:“反正我回去要经过空气吹淋的,这个问题要引起注意”。Shares说人们必须清楚意识到空气吹淋是有局限性的,它不是万能的。

鞋刷,是另一种净化辅助设施,在穿鞋子进入厂房或更衣间之前,用鞋刷去掉鞋面和鞋两侧的灰尘是很有效的。如果使用合理,是可以发挥它的作用的。

## 十一、净化室的清洁

Shares说:“97%的颗粒在空中肉眼是看不见的,所以,几乎所有被清除的颗粒都是看不见的”。这就很难使人们明白净化间干净与不干净的差别。

VLSI的Denning说:我们的净化间有日常清洁制度,每班都有专人清洁。这些人都经过专门培训,清洁工具都是专用的”。在净化间内只能使用专门的净化清洁工具。

Sematech对维持净化间的清洁也有规定。Nicoson说:“净化间的工作人员,100%都要轮流参加清洁工作”。所有的净化间清洁步序都详细列出。严格遵守一切规章制度对维持净化间的清洁是十分重要的。