

915498

静电控制 指南

范焕章 许春芳 译

上海科学技术文献出版社

静电控制指南

范焕章 许春芳 译

上海科学技术文献出版社

静电控制指南

范焕章 许春芳 译

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号)

全国各书店经销

江苏宜兴市第二印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 3.875 字数 93,000

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数: 1—1,120

ISBN 7-80513-503-7/T·150

定 价: 2.05 元

《科技新书目》206-306

序 言

静电是日常生活中常见的现象,时时刻刻都在我们周围发生。如果半导体器件受到静电放电的打击,它可能立即失效,或者更为糟糕,即在使用现场早期失效。可以想象,由于静电能损伤电子器件,会使飞机或军舰无法行动,更不用说飞机或军舰上的火力控制及电子干扰系统了。对民用电子系统,如计算机和工业控制器,静电也会产生相同后果。虽然静电的产生是无法避免的,但它能被控制。

近年来,对有关静电控制的综合性工程手册的需求已越来越迫切。这本手册的目标是电子产品制造工业,但所描述的基本原理同样适用于存在静电损伤问题的其他领域,如制药业、计算机制造、电子控制器和测试设备,以及制造或使用爆炸性材料的领域。虽然这类工程手册的程度较深,但我们努力使它容易被使用这些材料和方法的技术人员理解。本书避免使用严格的数学推导,总的处理是实用,而不是经典的,以便更好地为从事实际工作的工程师服务。

编 者 1988.11

8-10 67 1/2

目 录

序 言

第 1 章 引言	1
一、ESD 问题.....	1
二、有效的静电控制系统	6
三、总结	6
第 2 章 控制静电放电 (ESD) 的本质	8
一、ESD 定义.....	8
二、静电	8
三、ESD 的起因和影响	8
第 3 章 ESD 的影响	12
一、静电放电.....	12
二、静电放电引起的失效.....	12
三、摩擦生电.....	12
四、电磁感应.....	15
五、电磁脉冲.....	15
六、极化.....	17
七、频率耦合.....	18
第 4 章 生产环境的静电控制	20
一、基本的接地设备.....	20
二、电离器.....	20
三、用电离空气去中和静电荷.....	22

四、电离器的选择	23
五、电离器的测试与监视	27
六、地板处理方案的选择	28
七、选择正确的计划	36
八、ESD 控制的十个提示	38
第 5 章 工作台	40
一、防静电工作台	40
二、消除导体上的静电	44
三、消除非导体上的静电	53
四、如何联接桌垫	54
第 6 章 ESD 环境中使用的材料	61
一、用于控制静电的材料	61
二、基本材料	61
三、军队规范 and 标准	63
四、把绝缘体转化为导体	66
五、表面活化剂材料：制造过程	67
六、层压产品	68
七、层压薄板和制作袋的材料	69
八、含有碳的材料	69
九、抗静电材料	71
十、局部抗静电剂	73
十一、屏蔽	74
十二、口袋	76
十三、综合防护	77
十四、物流	79
十五、防护方案的评价	80
十六、经济考虑	80

十七、功能考虑:电性能	80
十八、从审美角度考虑	85
十九、仓库用品(滑道、管子、轨道):抗静电类	83
二十、袋、小袋和薄层材料(非缓冲材料)	84
二十一、标记	85
第 7 章 运输时的静电控制	86
一、常用的口袋	88
二、综合防护	88
三、静电防护方案	90
第 8 章 测试和监视	94
一、表面电阻率与电阻	95
二、表面电阻率/电导率测量	97
三、电压的抑制	99
四、测量静电衰减时间	100
五、连续性测量	101
六、测量操作人员的衣服	103
第 9 章 标记和识别	105
静电敏感器件公认的标记符号	105
附 录	107
测试要求和规范索引	107
标准测试方法	110
ESD防护包装:材料分类	112

第 1 章 引 言

一、ESD 问 题

静电放电,或称 ESD 是当今电子工业中最具破坏作用而又难以解决的问题之一。尽管 ESD 不能清除,但它的破坏作用是可以控制的。

本书的目的是在充分理解市场上现有产品的使用方法的基础上,向工程技术人员提供一个建立静电控制系统的方法。

在多数情况下,静电控制设备的设计及制造工艺的制定是由制造工程师进行的。但由于制造工程师缺乏有关的静电知识而产生了问题。本书的意图是使制造工程师充分懂得静电控制原理,以及制造、使用静电控制设备的方法。

目前,电子工业内部的挑战是:(1)通过使用细线条和小的线条间距,以及把印刷电路板系列挤在一起,使系统更紧凑,从而使电子系统小型化;(2)使用特殊用途的多功能电路。

制造新式的印刷电路和多功能电路的先决条件是要求空气中少含或不含沾污。印刷电路板的电路图象不可能在脏的表面上完成。板和胶之间的沾污,或多层板空洞内的沾污会导致电路短路或开路。然而,现在大部分制造厂仍在传统的厂房环境中操作,这些厂房中静电问题是普遍存在的。空气中的微粒极难消除,由此而引起的产品沾污的代价是很高的。除沾污问题以外,对现代 IC 器件的静电敏感度的不承认态度促使生产线上的失效不断增加。所以,虽然化了相当大的代价增加现场维修人员,但在生产线上,问题仍然存在。因此对敏感器件必须加以

保护,以减少静电引起的失效。

随着器件技术的发展,促使器件达到更高的速度、更大的功能密度,而它的尺寸在缩小,线宽和线条间距在变小,氧化层变薄。从而,较低的电压和电流就会损坏这些敏感器件。

静电是自然现象,随时随地都在我们周围发生。日复一日地,在全世界的电子产品制造工厂中,这种看不见的过程造成数百万美元的损失。然而,它是被了解最少、认识最少的使当今工业最为困惑的问题之一。当穿橡胶底鞋的工人接触静电敏感器件如 MOSFET、JFET、CMOS、双极晶体管等等时,静电放电过程可能就开始了。大部分工厂的地板是非导电的,而且没有控制湿度的手段。当湿度降到 20% 以下时,工人只要走到工作台边,他们身上就带了静电。这称作摩擦生电效应,是由于工人的鞋与地板之间重复的接触、分离造成的。

工人走得越快,产生的电荷越多,他们身体周围的电场越强。当接近工作台时——工作台上可能放着一些静电敏感器件——身体周围的静电场先达到工作台,在器件内感应出电流,使静电敏感器件损坏或损伤。

一旦工人坐下,尽管并没有接触器件,周围的电场近得足以使台上的器件极化,以致损伤再次发生。然后,当工人伸手拿器件时,在他的指尖与器件之间发生电火花,毫无疑问地引起损伤。这个叫作电磁脉冲的电火花,能损伤周围所有的器件。

这些仅是电子产品制造业中所遇到的情况的一部分。只有理解并控制它们,才能消除它们所引起的巨大损失。由静电放电引起的损伤及随之而来的电路修理工作的代价,估计每年为 5 亿美元。专家们指出:通过消除与静电相关的损伤,每年可节省 50 亿美元。高级工程师们相信高达 25% 的器件失效是由于 ESD 引起的。

如果 ESD 损伤在芯片阶段被发现,修理工作所需的代价仅 1.5 美元,如在印刷板阶段(安装好的芯片),代价为 15~30 美元。如果已装上机器,可能导致数千美元的损失,或产生能导致驾驶员或技术人员意外死亡的失效。真正的危险在于 ESD 引起潜在的损伤而不是全部失效,后者能在检查时发现,而前者难以发现,因而会在使用现场引起问题。

意识到和承认潜在的损伤是解决问题的关键一步。你不能感到或看到 1000V 的静电放电,但 1000V 能使很多电子器件失效。在芯片或集成电路阶段,电子器件是最易损坏的。但是即使 IC 已装在印刷板上,甚至已装在整机中,ESD 损伤仍会发生。

现在有两种判别电子器件 ESD 敏感度的方法。美国 DOD-STD-1686 把 ESD 敏感器件分为两类:

I 类: 100~1000V 敏感度

II 类: 1001~4000V 敏感度

一些私人工业团体使用 4 个类别:

0 类: 0~170V

I 类: 171~1000V

II 类: 1001~4000V

III 类: 4001~15,000V

许多关于静电的混淆和误解是由静电控制产品的制造公司的推销术引起的,每个推销员都有令人信服的理由说明只有他的产品才有效。正因如此,许多用户花了钱去消除或控制静电,但是问题仍然存在。

面临着设计与操纵静电控制系统任务的工程师必须明白静电问题,知道已有的答案。他必须把系统作为一个整体来评价,从供应处把敏感部件运输到厂,直到最终产品的运输,都必须控

制静电。关键是控制,不单是控制静电,而是控制和管理静电问题。

有效的静电管理以三个原则为基础:第一,认为静电是一个环境问题——超出工作台边界,影响厂房中的大部分工作区域。元件在接收时和在装配印刷板时一样对 ESD 敏感。

第二,有效的静电管理针对静电的起因而不是瞄准它的症状。在工作场所去除能产生静电的材料,比允许这些材料存在,然后依靠接地或电离来消除它们产生的静电要有效得多。

第三,有效的静电管理要求认识到:没有一个产品和工序能单独完成控制任务或 100% 有效。腕带、电离、封装材料及其他产品和工序的功能是互相补充的,它们一起工作时产生的效果大于每一个独立工作的效果之和。

正如已经指出的,在任何居住环境中,产生静电的主要原因是人或设备在地板上的移动。鞋或轮子与地板之间的相互作用能产生相当的静电压(见表 1-1)。

表 1-1 典型的静电压

产生静电的方法	静 电 压 10~20% R.H.	65%~90% R.H.
走过地板	35,000	15,000
在乙烯基地板上走	12,000	2500
工作台边的工人	6000	1000
在乙烯基地板上运动的贮存车	高达 5000V	

如果人不动——假使他们不去拿咖啡或吃中饭,或不需要把产品从一处搬到另一处,以及如果管理人员能在他们的办公室里管理,静电问题将不那么严重。但是只要人的运动存在,静

电仍会产生。

人体产生的静电通常用腕带来控制。腕带常被认为是静电防护的第一道防线。但它仅在工作台上提供防护，也不能消除衣服上的静电。走近工作台的人带有能引起损伤的静电，在他带上腕带之前，工作台上的器件就可能已被损坏。

表 1-2 典型的主要电荷源

物体或工艺	材 料 或 活 动
工作台表面	打蜡和油漆的表面 普通乙烯基或塑料
地 板	水泥 打蜡和抛光的木头 普通乙烯基砖片或薄板
衣 服	普通的清洁室罩衣 普通的合成纤维衣服 不导电的鞋 原棉*
包装和处理	普通塑料：袋、包裹物、包皮 普通泡泡袋、泡沫塑料 普通塑料盘、塑料周转箱、瓶、零件箱
装配、清洁、 测试和修理场所	喷雾清洗器 普通塑料吸锡器 未接地的烙铁 溶剂刷(合成鬃) 用液体或蒸汽清洗或干燥 温度箱 冷冻剂喷洒器 热枪和吹风 吹沙 静电复印

* 在低于 30% 的相对湿度下原棉能产生静电。

仅仅依靠腕带控制人体或设备上的静电是只注意症状而忽略了起因。这对环境中的静电控制贡献很小。表 1-2 给出了一些主要的静电源。

二、有效的静电控制系统

虽然 ESD 防护材料和设备的制造者可能不同意用导电材料代替抗静电材料,但有一点他们都同意:静电控制必须是彻底的、系统的。它必须包括整个制造过程,否则就不起作用。在制造过程的每一方面都必须努力减少 ESD,从装配、处理到存贮、运输。如果忽略了任一方面,就等于抛弃了整个的防静电材料和设备,在许多情况下同时浪费了印刷电路板。

静电感应失效是一个已充分证明了的事实。如何防护部件和组件免受 ESD? 从当前的研究得出两个基本答案:

1. 运输时,就把它屏蔽起来。
2. 固定时,就把它接地。

这两个方案都可能非常有效。在此,“可能”是以一系列“如果”为基础的:如果在使用期内屏蔽都是有效的;如果接地是真实的接地;如果制造周期——从接收部件和材料到最终产品的制造和运输中的每一环节都得到稳定的控制。

三、总结

在大部分应用中,ESD 控制的抗静电方法是保护敏感器件和组件的最好的、投资最有效的方法。如果器件要求特别小心的话,最好的保护是把 ESD 敏感器件放入抗静电袋或容器内,然后把抗静电袋插入铝箔袋。这样可防止当器件从铝箔袋中取出时受损坏,而且能保护器件不受静电场、静电放电(ESD)、射频干扰(RFI)和电磁感应(EMI)的影响。

静 电 控 制 清 单

1. 接收/接收检查

工作台 桌垫 地垫 腕带

2. 存贮

箱 搁物架 架子 IC管 柜

3. 元件配套

工作台 桌垫 地垫 腕带 周转箱 袋 箱

4. 装配

工作台 桌垫 地垫 腕带 衣服 电离器 箱 周转箱 鞋带
凳罩 袋

5. 搬运

小推车 周转箱 袋 IC管 腕带 通过小推车接地 接地带,用于
小推车到地板的连接

6. 工作中(工作中的存贮)

柜 架 箱 周转箱 袋 覆盖物,防止记录本产生静电

7. 检查

工作台 桌垫 地垫 腕带 电离器 衣服 周转箱 箱 袋

8. 运输

工作台 桌垫 地垫 腕带 电离器 抗静电盒 抗静电泡沫塑料
抗静电包装

9. 测试

(与装配相同)

第2章 控制静电放电(ESD)的本质

一、ESD 定义

在美国军用手册 DOD-HK BK-263 中静电放电定义为:“由于直接接触或静电场感应,静电荷在电势不同的两个物体之间的转移。”由于电子器件正日益变得比以前更敏感,这种静电放电对器件的危害已日益严重。

现代化产品的制造、质量保证以及产品的可靠性正面临着静电放电的问题。ESD是引起半导体器件损伤和失效的主要原因,并能在制造周期的任何时间发生。

二、静 电

为了正确地选择材料和设备以求防止 ESD 损伤,必须明了无静电生产的基本物理概念。人们必须明白当静电加到或感应到一个无静电的器件上时会发生什么。要记住的最重要的事实是当静电荷移动时,它就不再是“静电”了。运动着的静电变成了电流,产生电流功率或热量。通过感应和传导,一个物体上的静电荷能授给另一个物体。正是这种可在其他物体上产生电荷的能力而使静电显得如此危险。未接地导体上的电荷将在导体的整个表面均匀分布。一个带电导体与另一个不带电、未接地的导体接触时能传送部分静电,这种电荷的转移直到电荷的分布达到平衡为止。这样,不带电的导体变成了带电的,而原来带电的导体失去了部分电荷。另一方面,即使接地,非导体上的电荷仍将停留在它们一开始产生的地方。

几乎在每个家庭都能找到静电的一个常见的例子。当洗好衣服后,人们把它放入干燥机,当干燥机除去所有的湿气时,合成纤维(通常是聚脂)的表面电阻率变得足够大,以致能产生静电。为了防止“静电吸附”,一张含有抗静电剂的纸条与衣服一起放入干燥机,这张纸条可使织物的表面电阻率降低,以防止静电的产生。但是,因为大部分抗静电剂是以肥皂为主的化学药品,所以在冲洗时往洗衣机中加入少量肥皂也能消除静电。

操作者身上的静电对IC器件的损伤是电子工业的一个最感麻烦的问题。制造技术的发展,如离子注入、离子束刻蚀、电子束直接曝光等,使得器件具有更高的电路密度和更强的单元功能,然而,也使之具有更高的静电敏感度。被认为是高度ESD敏感的器件清单每年在加长。表2-1总结了从不同的工业源获得的一些现存数据,表明了几种不同类型的器件大致静电敏感度范围。

表 2-1 器件在静电放电中的敏感度范围

器 件 类 型	ESD 敏感度范围(V)
双极晶体管	380~7000
CMOS	250~3000
ECL	500~1500
EPROM	100
厚膜电阻、薄膜电阻	300~3000
GaAsFET	100~300
JFET	140~7000
MOSFET	100~200
OP-AMP	190~2500
SAW	150~500
肖特基二极管	300~2500
肖特基 TTL	1000~2500
SCR	680~1000
VMOS	30~1800

静电的破坏性来源于它的两个特性：第一是静电的吸引力，当空气中的灰尘带电时，静电的吸引力就会引起麻烦。有许多原因可使灰尘带电：空气通过空调系统或暖气系统的流动、人的存在、带电物体的存在等等。一旦带电，灰尘就被吸引到带相反电荷的物体表面，并被静电吸引力固定在那里。用刷、浸、空气吹等方法并不能除去这些沾污。必须把电荷中和掉，这样，物体表面才不会吸引灰尘。

静电的第二个特征是ESD或静电放电。人或材料(特别是非导电材料)积累的静电可能相当多。走过非导电地板的人产生的平均电压是3000到4000V，具有强制通风的暖气系统或空调系统的工厂环境中能产生相同的电压。许多产品使用的塑料能产生5000到10,000V电荷。

三、ESD的起因和影响

产生静电的根源是摩擦，摩擦产生的热激发分子外层轨道上的电子，使它们从一个物体转移到另一个物体。如果摩擦能消除，静电就自动被消除。但这是不可能的，所以我们必须学习控制摩擦所产生的反应，以此来控制静电的产生。

当两个表面在一起摩擦时，摩擦的热使得外层轨道电子在表面之间转移。摩擦使电荷开始积累。交出电子的表面缺少电子，结果带正电，与上述运动的表面相接触的另一个表面接收电子，有过剩的电子，因此带负电。

让我们把上述过程翻译成使用导电和非导电材料时的实用术语，这些术语是混淆的，常引起误解。如果一只非导电的盛放器件的盘子在接地的导电台面上滑动，电子会转移。如果电子从非导电盘转移到导电台面，非导电盘将带正电。但是，接地的导电台面将不带电。过剩的电子会流入地，导电台面上无电荷。然而，非导电盘会保持它的电荷，因为它不能传导电，术语