

单元 1：静电防护知识



1-1 概述

人们对静电现象并不陌生，当你看电视接触屏幕时会有电击麻木的感觉；当你脱下化纤外衣或毛衣时，可以听到“劈啪”的放电声，在黑暗中甚至会看见火花；你在日常生活中所感觉到、听到甚至看到的其实就是静电在放电，大自然中的雷电实质也是一种强大的静电放电现象。

现在，静电已成了人们的亲密“伴侣”，对这种放电现象已经习惯，尽管它有时给人们带来不适，但这一切对人体来说并没有产生什么直接的危害。但对于电子设备而言却不同了，半导体器件的高密度、高增益对静电放电越来越敏感，MOS 电路的击穿仅为 100 V，而新的器件仅为 30 V 左右。静电放电的危害性及静电防护的重要性，在现代电子制造业，越来越被人们所重视。事实上，ESD 有关的损害继续给世界的电子制造业带来每年数十亿美元的代价。



1-2 静电产生的原因

1-2-1 静电 (Static Electricity)

我们知道，物质都是由分子组成，分子是由原子组成，原子中有带负电的电子和带正电的质子组成。在正常状况下，一个原子的质子数与电子数量相同，正负平衡，所以对外表现出不带电的现象。但是电子环绕于原子核周围，一经外力即脱离轨道，离开原来的原子而进入其他的原子B，A原子因缺少电子数而带有正电现象，B原子因增加电子数而呈带负电现象。这种物体表面所带过剩或不足的相对静止不动电荷，称之为静电。

引起静电的方式通常有以下几种：

1. 固体起电

当两种物质接触时，其间距小于 $2.5 \times 10^{-8} \text{cm}$ 时在其间即发生电子的转移，界面两侧出现大小相等，符号相反的两种电荷，称为偶电层。使一个电子逸出物质所要求外界做的功称为“逸出功”，逸出功小的物质失去电子而带正电，逸出功大的物质获得电子而带负电。

2. 感应起电

它是导体在外部静电场作用下，在不同部位表面感应出不同符号的电荷。

3. 剥离起电

两个接触非常紧密的物质，在外力作用下突然分开，由于剥离的原因使物体带电。

4. 摩擦起电

摩擦起电不仅是因为物体间的紧密接触，还由于摩擦生热，热使离子（电子）的活性增加，容易向其他物体转移。

5. 粉体带电



粉体物料如面粉、奶粉、巧克力粉、硫磺粉，它们在粉碎、搅拌、筛选、输送、气流烘干、旋风分离等作业时，这些物料之间或与器壁之间的碰撞摩擦进行反复接触分离而产生静电。

6. 液体静电

液体在流动、过滤、搅拌、喷雾、喷射、飞溅、冲刷、灌注、剧烈晃动过程中也会产生十分危险的静电。

7. 气体带电

不含有固体颗粒(粉尘)或液体的气体是不会产生静电的。但所有的气体，几乎没有不含固定或液体杂质的，哪怕是少量的。这些含杂质的气体，在压缩、排放、喷射、在阀门喷嘴、放气管等处极易产生静电。

8. 人体带电

人体带电主要有三种形式。一是接触分离带电，即人在活动中衣服之间，与外界物质之间的摩擦，鞋与地面接触分离。二是感应带电；三是吸附带电，当人体在具有带电微粒空间活动时，由于带电微粒被人体所吸附，使人体带电。

9. 飞沫带电

液体被分成细小液滴时所产生的静电现象称为飞沫带电，人们都有这样的感觉，在飞溅瀑布周围负离子的含量就多、空气新鲜。这是因为水是极性分子，水滴分裂时，水滴表面的偶电层被破坏的结果

10. 喷出带电

从横断面积较小的开口处向外喷出气体、液体或粉体时，由于压力大、流速快，这些物质在喷口处的而产生的带电现象。

综上所述，静电通常是由于两种物质相互接触分离、摩擦或电磁感应而产生的，静电电压的大小与接触表面的电介质性质、状态、接触面之间的压力、互相摩擦速度以及周围介质的湿度和温度有关。根据物质得到或失去电荷的难易程度，对引起静电物质作排序如下：

金属摩擦时的起电序列是：

(+)铝、锌、锡、铜、铅、锑、钨、黄铜、汞、铁、铜、银、金、铂、钯、MnO₂、PbO(—)。

非金属的带电序列是：

(+)玻璃、头发、尼龙、毛、丝绸、人造丝、奥纶、棉织品、纸、聚苯乙烯、聚酯、聚丙烯脂、硫、聚乙烯、聚氯乙烯、聚四氟乙烯(—)。

需要说明的是，在同一静电序列中，前后两种物质紧密接触时，前者失去电子带正电，后者得到电子带负电。

某些外界因素对静电产生的影响非常大，最主要的是人体和湿度了：

1. 人为因素

由于人在不停地运动，人的身体很容易带上静电荷；人的皮肤、头发和身体这样的绝缘材料会储存相当大数量的静电荷；由于人在操作，会将人体的静电传输（发射）电荷到元器件或设备上。

2. 低湿度（空气干燥）

湿度对静电的积累和消散的影响很大，湿度较低时，静电电位高，湿度较高时，静电电位低。这主要因为湿度较高时，绝缘材料表面吸附了水分子（有时还有导电杂质）而降低了绝缘，便于静电泄漏。不同物质受湿度影响不同，吸湿性大的，容易被水份润湿，受湿度影响较大；吸湿性小，受湿度影响也小。如玻璃表面，易被水润湿，而石蜡、聚四氟乙烯等不易被水润湿的物质，受湿度的影响较小。

3. 所接触的材料类型

不同的材料产生静电的大小不一样，特别是合成材料、普通塑料和绝缘体更容易产生或存储静电。

1-2-2 静电放电 ESD

所谓静电放电 (ElectroStatic Discharge), 指具有不同静电电位的物体, 由于直接接触或静电感应引起物体间的静电电荷转移。这是在静电场的能量达到一定程度后, 击穿其间介质而进行放电的现象。

通常, 电荷在两种条件下是稳定的:

1. 当它“陷入”导电性的但是电气绝缘的物体上, 如, 有塑料柄的金属的螺丝起子。
2. 当它居留在绝缘表面(如塑料), 不能在上面流动时。

可是, 如果带有足够高电荷的电气绝缘的导体(螺丝起子)靠近具有相反电势的物体(如集成电路)时, 由于电荷“跨接”, 则引起静电放电(ESD)。

研究表明, 当静电电压为 3KV 左右时, 人体即有明显的电击感。静电电击不是电流持续通过人体, 而是由静电放电造成的瞬间冲击的电击, 电击的严重程度决定于电流大小、通过时间、通电途径、电流种类以及人体特征、人体健康状况和精神状况等。人体静电放电的能量在一定程度上取决于人体电容的大小、人体电容与人体位置、人体姿势、鞋、地面等情况有关。下面是 ESD 与人体反应的关系:

| 静电电压 | 人体反应 |
|--------|------|
| >3000V | 感觉到 |
| >4000V | 听到 |
| >5000V | 看到 |

1-3 静电在电子工业中的危害

1-3-1 静电的危害

静电放电对人体的影响似乎并不明显, 但在电子元件的生产过程中, 或在电子产品的安装、调试及检验过程中, 如不消除静电, 将会影响生产或降低产品质量。尤其是半导体器件和微电路生产行业, 由于静电放电更会引起器件失效。其原因如下:

1. 人在地毯上行走, 在工作台上工作, 操作普通材料等活动都会产生上千伏的静电。如果静电电压的聚集产生火花放电, 电子元件、印刷板组件和其它电子组件会受到破坏或损坏;
2. 随着科学技术的飞速发展, 电子、邮电通讯、航天航空等高新产业的迅速崛起, 尤其需求电子仪器仪表和设备等电子产品日趋小型化, 多功能及智能化。高密度集成电路已成为电子工业对上述要求中不可缺少的器件。这种器件具有线间距短、线细、集成度高、运算速度快、低功率、低耐压和输入阻抗高的特点, 因而导致这类器件对静电越来越敏感。静电放电 (ESD) 的能量, 对传统的电子元件的影响甚微, 人们不易觉察, 但是这些高密度集成电路元件中, 不论是 MOS 器件, 还是双极型器件都可能因静电电场和静电放电电流引起失效, 或者造成难以被人们发现的“软击穿”现象, 给整机留下潜在的隐患, 直接影响着电子产品的质量、寿命、可靠性和经济性。
3. 电子零件在搬运过程中由于摩擦、振动或冲击, 也会受到 ESD 损害。

1-3-2 ESD 引起的损害形式

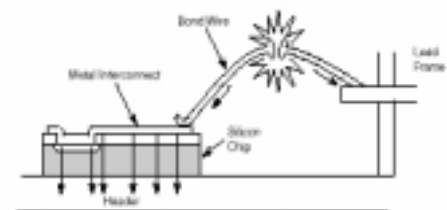
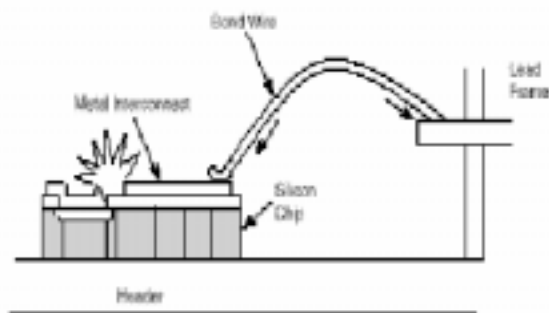
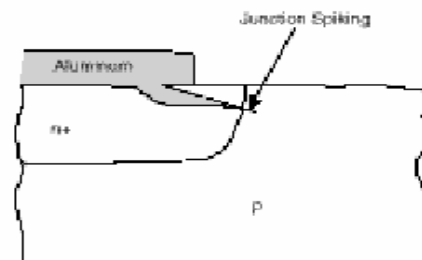
静电放电引起的元器件击穿损害是电子工业最普遍、最严重的静电危害, 它分即时失效和延时失效。

即时失效是一次性造成元器件介质击穿、烧毁或永久性失效;

延时失效是造成器件的性能劣化或参数指标下降,也就是说即使产品已经通过了所有的检验和测试,仍然有可能在送到客户手中后失效。

下面是引起失效的几种情况

1. 对 P/N 结造成软击穿, 产品可靠性下降
2. 芯片内单晶硅金属镀膜击穿, 产品废品率上升
3. 芯片内引线击穿使产品废品率上升



1-3-3 电子元件与 ESD 电压损害的关系

不同的器件对静电放电 (ESD) 敏感程度不同。这种差别是由于器件的设计和掺入器件内的杂质成分不同而造成的。下表是常见的元件类型与 ESD 电压损害的关系

| 元件类型 | 损害电压 (V) |
|--------------------|------------|
| VMOS | 30——1800 |
| MOSFET | 100——200 |
| EPROM | 100——1500 |
| JFET | 140——7000 |
| OP AMP | 190——2500 |
| CMOS | 250——3000 |
| Shottky Diode | 300——2500 |
| Resistor | 300——3000 |
| Bipolar Transistor | 400——7000 |
| SCR | 700——1500 |
| Shottky TTL | 1000——2500 |
| HCMOS | 700——1500 |
| ACMOS | 350——2000 |
| BCL | 500——1500 |

从上表可以看出, VMOS 器件是对静电较敏感的器件之一, 通常将这类器件称为静电敏感元件 (Static Sensitive Device 简称 SSD)。将 30V 称为静电安全电压。

1-3-4 典型的静电源

人是电子产品生产工作中的主体，由于人体的不停运动，加上人与地板、衣服等其他物体之间的摩擦、接触与分离，是主要的静电源，人体因各种活动而产生的静电电压约 0.5—2KV，在湿度较低的环境中，其静电电压会增加 10 多倍，下表是人体活动与产生静电电压的关系：

| 来源 | 湿度 10%—20% | 湿度 65%—90% |
|--------------|------------|------------|
| 地毯上行走 | 35000V/m | 1500V/m |
| 聚乙烯聚地板上行走 | 12000V/m | 250V/m |
| 工作椅上的人员 | 6000V/m | 100V/m |
| 聚乙烯封套（作业指导书） | 7000V/m | 600V/m |
| 工作台面上拿起塑料袋 | 20000V/m | 1200V/m |
| 有泡沫垫的工作座椅 | 18000V/m | 1500V/m |

除人体之外，工作台面、地板、座椅、包装材料及操作工具等都是静电产生的主要来源，下表是几种主要的静电源：

| | |
|---------|--|
| 工作台面 | 打腊、粉刷或清漆表面 未处理的聚乙烯和塑料玻璃 |
| 地板 | 灌封混凝土 打腊或成品木材 地瓷砖和地毯 |
| 服装和人员 | 非 ESD 防护服 非 ESD 防护鞋 合成材料 头发 |
| 座椅 | 成品木材 聚乙烯类 玻璃纤维 绝缘车轮 |
| 包装和操作材料 | 塑料带、包、封套 泡沫带、泡沫塑料 苯聚乙烯泡沫塑料 非 ESD 防护料盒、托盘、容器 |
| 组装工具和材料 | 高压射流 压缩空气 合成毛刷 热风机、吹风机 复印机、打印机 |

1.4 防静电解决方案

1-4-1 静电防护材料的种类

静电防护材料通常有三种，即静电屏蔽材料、抗静电材料和静电消散材料：

1. 静电屏蔽材料

静电屏蔽材料可防止静电释放穿透包装进入组件引起的损害。

2. 抗静电材料

抗静电材料可作为 SSD 器件廉价的中转包装或暂存使用。抗静电材料在使用中不产生电荷。但是，如果发生了静电释放，它能穿透包装进入组件，导致 SSD 元件的 EOS/ESD 损害。

3. 静电消散材料

这类材料具有足够的传导性，使电荷能通过其表面消散。离开 EOS / ESD 防护工作区域的部件必须使用静电屏蔽材料包装，在其材料内部通常也有静电消散材料和抗静电材料。

1-4-2 静电防护的方法

自然界的所有物质都是由原子组合而成，原子中的质子（正电荷）与电子（负电荷）存在于我们生活中每个角落，可以这样说：静电是无处不有，无时不在，时时刻刻存在在我们生活中的一切周围。在静电防护过程中打算将静电完全消除是困难的，但是我们可以采取防护措施，将静电的产生与积聚控制在最小的限度之内。

在电子产品生产中，主要从两个方面进行静电防护，即防止静电的积聚和对已积聚的静电进行泄放，常用的静电防护方法有：

1. 接地法：接地能消除导体上的静电。接地电阻100Ω~51Ω即可。绝缘体直接接地反而容易发生火花放电，这时宜在绝缘体与大地之间保持10⁶~10⁹Ω的电阻。带电物体的接地线必须连接牢靠，避免折断处产生火花。

2. 泄漏法：采取增湿措施，就是增加空气的湿度。绝缘体表面湿度随之增加，降低了绝缘体的绝缘性，增加静电电荷通过绝缘体本身的泄放，相对湿度在70%以上为适宜。如果采用抗静电强添加剂消除静电、效果更为显著。也可采用导电橡胶或喷涂导电塑料的办法，效果也很好。

3. 静电中和法：设法将静电荷中和掉，主要采用感应中和(消电器)，外接电源中和器和离子风中和法等。

4. 工艺控制法：改革工艺，控制静电积累，应从工艺流程、材料选用、设备安装和操作管理等方面采取措施加以控制

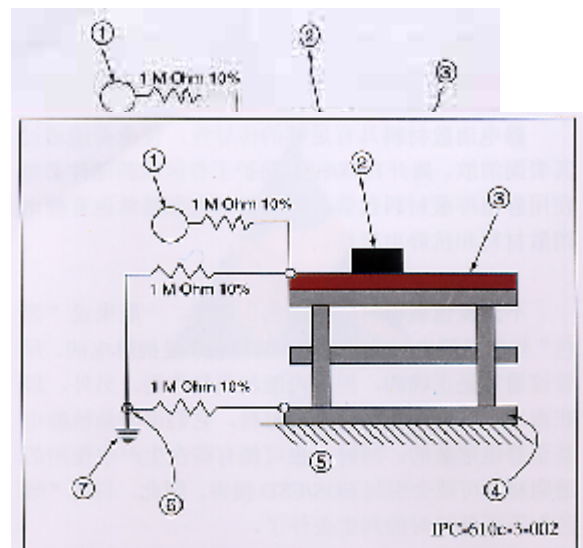
5. 消除人体带的静电：应穿用导电纤维制成的防静电工作服和导电橡胶做成的防静电鞋等。

1-4-3 常用静电防护器材

1. 防静电工作台

防静电工作台能防止在操作时尖峰脉冲和静电释放对于敏感元件的损害。安全工作台应具有对于 EOS 损害的防护功能，并能够避免在维修、制造或测试设备上产生尖峰脉冲。烙铁、吸锡器和测试器具能产生足以完全破坏敏感元件或使其降级的电能。

IPC-A-610C 推荐的防静电工作台接地方法如图



2．防静电服

防静电服用不同色的防静电布制成。布料纱线含一定比例的导电纱，导电纱又是由一定比例的不锈钢纤维或其它导电纤维与普通纤维混纺而成。通过导电纤维的电晕放电和泄漏作用消除服装上的静电。由于不锈钢纤维属金属类纤维，所以，由它织成的防静电布料的导电性能稳定，不随服装的洗涤次数而变化。



3．防静电鞋、脚筋带

人体是最普遍存在的静电危害源。对于静电来说，人体是导体。因此，要消除人体静电最简单的办法是对人体采取接地的措施。穿防静电鞋并使用防静电地面（防静电地垫、地毯等）和防静电袜、防静电鞋垫等，能使静电从人体导向大地，从而消除人体静电。因此，要形成人体与大地导通静电的通路，鞋、地面、袜、鞋垫等必须全是防静电的，才能使消除静电的措施有效。



静



4．防
电腕

带

腕带用以泄放人体的静电。它由防静电松紧带、活动按扣、弹簧软线、保护电阻及插头或夹头组成。松紧带的内层用防静电纱线编织，外层用普通纱线编织，主要指标是：

弹簧软线最大长度 250cm；泄漏电阻 $10^6 - 10^7$ （保护电阻 10^6 ）；
静电电位衰减到 100 V 以下的时间小于 0.1s



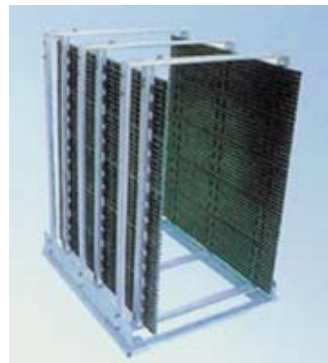
5．防静电地垫



6．防静电手套、指套



7．防静电上下料架、周转箱



8．防静电包装袋

静电屏蔽材料(袋) :该种材料由基材、全金属镀膜层和热封层多层复合而成。具有自身“不起”静电和能屏蔽外界静电, 防水蒸汽渗透的多功能包装材料。

防静电屏蔽材料(袋)性能优于或符合 GJB2605-96 和 MIL-B-S1705C 和电子行业标准要求等有关标准规定的各项性能指标要求, 它具有防静电、防射频、防水蒸汽渗透的包装材料, 其厚度为 100-150un 的可热封软包装材料。



9．离子风机

离子风静电消除器是将电离了的空气输送到较远的地方去消除静电的一种静电消电器。其主要由电晕放电器、高压电源和送风系统组成。



它是根据尖端放电和正负电“中和”原理设计制造的。它可消除绝缘材料及物品上的静电。按仪器释放出的离子极性分双极性和单极性离子消电器。双极性离子消电器对正负电荷均有消电作用。离子风静电消除器的作用距离大。

10．接地工具

防静电接地就是通常所说的静电泄漏,就是将静电防护材料或导体上积聚的静电荷用某些导静电方式将其泄漏到大地或者一个表面积足够大的悬浮接地导体上,由于静电电量和泄漏电流都比较小,所以可以认为静电防护材料和导体与大地之间的电阻不超过 $1\text{M}\Omega$ (亦称安全电阻)都可以认为是静电接地。对于静电接地电阻,国标GB12158。如规定:静电导体与大地的总泄漏电阻通常不应大于 $1\text{M}\Omega$ 。

电子工业防静电接地有软接地和硬接地之分。软接地是指地线串接阻值较高的电阻器(电阻值一般取 $1\text{M}\Omega$)后再与大地相连,软接地的目的在于将对地电流限制在人身安全电流 5mA 之下。硬接地是指将地线直接接地或通过一低电阻接地。一般情况,硬接地用于静电屏蔽或仪器、设备、金属体的接地,而防静电接地较少应用。

11．焊接设备

焊接设备主要包括电烙铁、吸锡枪等对电烙铁要求,电烙铁的热头与地之间的电阻应 $<2\Omega$,电烙铁的热头与地之间的电位差 $<2\text{mV}$ (有效值)。局部区域可采用电离器,中和静电的能力应 $>250\text{V}/\text{s}$ 。设施的接地系统要符合要求。



1.5 生产中的防静电操作措施

1.5-1 静电警告标识

➤ESD 敏感符号

用于表示容易受到 ESD 损害的电子电气设备或组件

➤ESD 防护符号用于表示被设计为对 ESD 敏感组件和设备提供 ESD 防护的器具



1-5-2 生产前准备工作：

- 1 进入生产车间前必须穿防静电工作服
2. 直接接触元器件、电路板等操作人员应带好接地环(手腕带/脚腕带)
3. 带通过仪器测试以检查防静电腕是否完好,手腕带/脚腕带与身体是否良好接触
4. 检查 ESD 装备是否完好

1-4-3 操作过程中注意事项：

- 1.拿元件前双手触摸工作台面,使手上的静电通过防静电台面传输到大地
- 2.将器件引脚向下放在消散静电的台面上
- 3.不要在任何表面上拖动或滑动
- 4.抓住集成块的身体,而不是引脚
- 5.非导体应与静电安全工作区保持 1 米以上的距离
- 6.只有在静电安全工作区才将元器件及电路板从防静电包装盒中拿出
- 7.将静电敏感元器件放在抗静电容器内或包装盒中
- 8.将搬运次数减少到最低限度



1-6 实训：静电防护系统的认识

目的：认识常见的静电防护器材及相关设备。

设备与器材：静电测试仪、防静电服、腕带、脚环、指套、静电包装、运转材料等。

内容：

1. 用静电测试仪测试各种材料所带静电的值，并比较在常态及摩擦后电压值的变化。
2. 认识各种静电防护器材，如防静电服等。

认识各种静电包装、运转材料，区分静电屏蔽材料、抗静电材料及静电消散材料的异同。



1. 静电如何产生的？
2. 哪些外部因素影响静电？
3. 静电对电子装配产生什么样的影响？
4. 工厂防静电有哪些措施？
5. EOS 与 ESD 有什么异同？
6. 静电包装材料有哪些？
7. 生产前及操作过程中防静电应注意哪些事项？
8. 常见的静电源有哪些？