

教学仪器静电损害及防治

静电作为一种普遍的物理现象是客观存在的，静电的作用力、放电和感应现象引起的危害是十分严重的。电子行业如微电子、光电子的制造和使用厂商因为静电造成的损失和危害是相当严重的。据美国统计，它们的电子行业，每年因静电危害造成损失高达 100 多亿美元；英国电子产品每年因静电造成的损失为 20 亿英镑；据日本统计，它们不合格的电子器件中有 45% 是由于静电而引起的；我国每年因静电危害造成的损失也至少有几千万。因此电子测量仪器的研制和生产过程中，必须做好防静电工作，尽量避免减少静电损伤造成的财产损失。

静电放电（ESD）对电子元器件的危害还表现在它的潜在性。即器件在受到 ESD 应力后并不马上失效，而会在使用过程中逐渐退化或突然失效。这时的器件是“带伤工作”。

这是人们对静电危害认识不够的一个主要原因。实际上，静电放电对元器件损伤的潜在性和累积效应会严重地影响元器件的使用可靠性。

由于潜在损伤的器件无法鉴别和剔除，一旦在上机应用时失效，造成电子测量仪器防静电控制的损失就更大。而避免或减少这种损失的最好办法就是采取静电防护措施，使元器件避免静电放电的危害。这充分说明了 ESD 潜在损伤对器件可靠性的影响。

2. 静电损伤原因分析静电对电子产品的损害有多种形式，并具有不同的特点。

2.1 静电损害的形式静电的基本物理特性为：吸引或排斥，与大地有电位差，会产生放电电流。这三种特性能对电子元器件的三种影响：（1）静电吸附灰尘，降低元器件绝缘电阻。

（2）ESD 破坏，造成电子。

（3）ESD 产生的电磁场幅度很大（达几百伏 / 米）频谱极宽（从几十兆到几千兆），对电子产器造成干扰甚至损坏。

这三种形式对元器件造成的损伤，既可能是永久性的，也可能是暂时性的；既可能是突发失效，也可能是潜在失效。其中静电放电事件是造成元器件损伤最常见和最主要的原因。

2.2 静电损害的特点相对与其它应力，静电对电子产品损害存在以下一些特点：（1）隐蔽性人体不能直接感知静电除非发生静电放电，但即使发生了静电放电人体也不一定能有电击的感觉，这是因为人体感知的静电放电电压为 2—3KV，所以静电具有隐蔽性，所以说静电的损伤是在人们不知不觉的过程中发生的。

(2) 潜在性和累积性有些电子元器件受到静电损伤后的性能没有明显的下降, 在器件在受静电损伤以后, 并不是不能用, 而是特性有所下降, 人们并不是当时就能发现, 但已经造成了潜在的失效隐患, 在将来某种特定的条件下, 最终会导致器件失效。如器件氧化层出现一个孔, 设备长时间工作后, 金属化电迁移引起短路烧毁, 从而导致设备故障。这种类型的静电损伤, 将会大大的缩短元器件的产品解决方案传送与运输的过程。在这整个过程中, 不但包装因移动容易产生静电外, 而且整个包装容易暴露在外界电场(如经过高压设备附近, 工人移动频繁、车辆迅速移动等)而受到破坏, 所以传送与运输过程需要特别注意以减少损失, 避免无谓之纠纷。所以, 从元器件的制造, 使用到维修的任一环节都有可能发生静电损害。

由于多数未采取保护措施的元器件静电放电敏感度都是很低, 很多在几百伏的范围, 如 MOS 管在 100—200V 之间, GaAsFET 在 100—300V 之间, 而且这些单管是不能增加保护电路的; 一些电路尤其是 CMOSIC 采取了静电保护设计, 虽然可以明显的提高抗 ESD 水平, 但大多数也只能达到 2000—4000V, 而在实际环境中产生的静电电压则可能达到上万伏。因此, 没有防护的元器件很容易受到静电损伤。而且随着元器件尺寸的越来越小, 这种损伤就会越来越多。所以我们说, 绝大多数元器件是静电敏感器种塑料制品包装, 上述材料的滑动、磨擦、或分离, 特别是在空气干燥的季节里, 将会产生 600~15000V 的静电电压, 如果湿度为 20% 以下时, 静电电压可高达 3 万伏。即使有保护, 对于那些对静电放电敏感的器件也是非常危险的。

3. 静电防护的基本思路和方法 3.1 防静电总原则静电防护的根本目的是在电子元器件、组件、仪器的研制和生产过程中, 通过各种防护手段, 防止因静电的力学和放电效应而产生或可能产生的危害, 或将这些危害限制在最小程度, 以确保元器件、组件和仪器的设计性能及使用性能不致因静电作用受到损害。

前面提到的电子工业中静电危害的主要形式是静电放电引起的元器件的突变失效和潜在失效, 并进而造成整机性能的下降或失效。所以, 静电防护和控制的主要目的应是控制静电放电, 即防止静电放电的发生或将静电放电的能量降至所使用寿命。由于多次累加放电会给器件造成内伤而形成隐患。因此静电对器件的损伤具有潜在性。

(3) 随机性电子元件什么情况下会遭受静电破坏呢? 可以这么说, 从一个元件产生以后, 一直到它损坏以前, 所有的过程都受到静电的威胁, 而这些静电的产生也具有随机性。其损坏也具有随机性。

(4) 复杂性静电放电损伤的失效分析工作, 因电子产品的精、细、微小的结构特点而费时、费事、费钱, 要求较高的技术并往往需要使用扫描电镜等精密仪器。即使如此, 有些静电损伤现象也难以与其他原因造成的损伤加以区别, 使人误把静电损伤失效当作其他失效。这在对静电放电损害未充分认识之前, 常常归因于早期失效或情况不明的失效, 从而不自觉地掩盖了失效的真正原因。所以静电对电子器件损伤的分析具有复杂性。

2.3 可能产生静电损害的生产过程元器件从生产到使用的整个过程中都可能遭受静电损伤，依各阶段的可分为：（1）元器件制造过程在这个过程、包含制造、切割、接线、检验到交货。

（2）印刷电路板生产过程收货、验收、储存、插入、焊接、检验、包装到流转。

（3）仪器制造过程电路板验收、储存、装配、检验、流转。

（4）仪器使用过程收货、安装、试验、使用及保养。

（5）仪器维修过程。

在这整个过程中，每一个阶段中的每一个步骤，元件都可能遭受静电的影响，而实际上，最主要而又容易疏忽的一点却是在元器件的件，需要在制造、运输和使用过程中采取防静电保护措施。表 2-1 列出了一些没有静电保护设计器件的静电放电敏感度。

有人认为现在的集成电路，如 MOS 电路，生产厂家在设计上已采用了抗静电的保护电路，认为防静电并不一定需要。但是，人们在生产活动中，工作人员穿的化纤衣服，各有敏感器件的损伤阈值之下。

从原则上说静电防护应从控制静电的产生和控制静电的消散两方面进行，控制静电产生主要是控制工艺过程和工艺过程中材料的选择；控制静电的消散则主要是快速而安全地将静电泄放和中和；两者共同作用的结果就有可能使静电电平不超过安全限度，达到静电防护

3.2 防静电基本思路和方法静电放电会对器件造成损害，但通过采取正确和适当的静电防护和控制措施，建立静电防护系统，那么就可以消除或控制静电放电的发生，使其对元器件的损害降至最小。对静电敏感器件进行静电防护和控制的基本思想有两条：（1）对可能产生接地的地方要防止静电的聚集，即采取一定的措施，避免或减少静电放电的产生，或采取“边产生边泄漏”的方法达到消除电荷积聚的目的，将静电荷控制在不致引起产生危害的程度。

（2）对已存在的电荷积聚，迅速可靠地消除掉。

所以生产过程中静电防护的核心是“静电消除”。为此可建立一个静电安全工作区，即通过使用各种防静电制品和器材，采用各种防静电措施，使区域内的可能产生的静电电压保持在对最敏感器件安全的阈值下。其基本途径有：a. 工艺控制法旨在使生产过程中尽量少产生静电荷。为此应从工艺流程、材料选择、设备安装和操作管理等方面采取措施，控制静电的产生和积聚，抑制静电电位和静电放电的能力，使之不超过危害的程度。

如在通常半导体制造过程中，当高速器件的浅结形成工序完成后，对冲洗用的去离子水的电阻率就必须控制。虽然电阻率越高，洁净效果越好，但电阻率越

高。绝缘性越好，在芯片上产生的静电就越高。因此一般要控制在略高于 $8M\Omega$ 的水平，而不能是初始工序用的 $16-17M\Omega$ 。还有在材料选择上，包装材料要采用防静电材料，尽量避免未经处理的高分子材料。

b. 泄漏法旨在使静电通过泄漏达到消除的目的。通常采用静电接地是电荷向大地泄漏；也有采用增大物体电导的方法使接地沿物体表面或通过内部泄漏，最常见的是工作人员带的防静电腕带，静电接地柱。一般要求在各工序操作前，操作人员必须进行适度静电放电。焊接静电敏感器件或含有该类器件的印制电路板时，必须使用有接地端的焊接电烙铁。

c. 静电屏蔽法根据静电屏蔽的原理，可分为内场屏蔽和外场屏蔽两种。具体措施是用接地的屏蔽罩把带电体与其它物体隔离开来，这样带电体的电场将不会影响周围其它物体（内场屏蔽）；有时也用屏蔽罩把被隔离的物体包围起来，使其免受外界电场的影响（外场屏蔽）。如 GaAs 器件包装多采用金属盒或金属膜。

d. 复合中和法旨在使静电荷通过复合中和的办法，达到消除的目的。通常利用接地消除器产生带有异性电荷的离子与带电体上的电荷复合，达到中和的目的。一般来说当带电体是绝缘体时，由于电荷在绝缘体上不能流动，所以不能采用接地的办法泄漏电荷，这时就必须采用静电消除器产生异性离子去中和。如对生产线传送带上产生的静电荷就采用这种方法进行消除。

4. 静电防护的具体措施所谓静电防护，主要指采取相应防护措施使 ESD 不至引起电子产品的故障或误动作。静电现象是常见的自然现象，可以说无处不在，想完全消除静电是困难的，代价也太高。但是采取必要的防静电措施，将静电产生和积累控制在安全之内是可以实现的，其主要措施首先通过工艺控制、环境控制、人员控制以防止或减小静电的产生，对实在不能减小的静电则尽量通过泄漏和中和将其消除或减小。同时，在可能情况下，提高器件抗静电能力，并辅以检测报警等监管措施。

防止静电对元器件损伤的途径只有两条：一是从元器件的设计和制造上进行抗静电设计和工艺优化，提高元器件内在的抗静电能力；另一方面，就是采取静电防护措施，使器件在制造、运输和使用过程中尽量避免静电带来的损伤。对元器件的使用方，包括后工序厂家、电路板、组件制造商以及整机厂商来说，主要甚至只能采取后一种方法来防止或减少静电对元器件的损害。

4.1 建立静电安全工作区在电子测量仪器的生产过程中，建立静电安全工作区，采用各种控制方法，将区域内可能产生的静电电压保持在最敏感的元器件都是安全的阈值下。

一般来说，构成一个完整的静电安全工作区，至少应包括有效的导电桌垫、专用接地线、防静电腕带、地垫以及对导体（如金属件、导电的带子、导电容器和人体等）上的静电进行泄放。同上，配以静电消除器，用于中和绝缘体上积累的电荷，这些电荷在绝缘体上不能流动，无法用泄漏接地的方法释放掉。

在静电安全工作区中有一个十分重要的参数是静电安全泻放电阻。虽然单从区域内静电泻放的速度方面考虑，泻放电阻越小越好，但受到两个方面的限制。最主要的是要给工作区内的操作人员提供防电击条件，根据人体电击时有能力脱离险境的极限电流（10—16mA）的要求，取安全电压为 5mA 进行计算，由 $R=U/I$ 设 $U=220\sim 380V$ ，得 $R=4.4\times 10^4\sim 7.6\times 10^4\sim 10^5$ 而另一方面的限制是如果电阻很小，泻放速度很快，对已带有静电的器件来说，则会发生泻放电流过大导致器件损伤，反而不安全。

那么安全电阻的上限是怎么确定的呢？是由一秒钟内将 5000V 静电电压衰减到 100V 安全电压的最大容许接地电阻值决定的。根据式： $U=U_0e^{-t/RC}$ ，取 $U_0=5000V$ ， $U=100V$ ， $t=1s$ ， $C=200pf$ ，可得 $R=1.28\times 10^9$ 因此，安全区内的安全泻放电阻一般要保证小于 10^9 垫、地垫还是接地腕带，只要其系统电阻值小于 10^9 放电至安全电压值，这就大大减少了敏感器件在静电作用下损坏的机会。

根据实际情况的不同，可建立表 4—1 所列的不同等级的静电安全区。表 4—2 是静电安全区的典型数据。

静电安工作区的建立主要包括：（1）设置防静电接地系统防静电接地系统是静电泄漏的人地通道，是将接地的地面、墙面、设备、仪器、工作台、工作椅、腕带等，按工作区域和单元使静电电荷顺次入地的电气联结系统，为了防止相互间的影响和反馈，各区域和单元相互隔离，再汇于总线入地，防静电接地一般应单独使用一根地线。接地电阻 $< 10W$ （GJB12058—90： $\leq 100W$ ）；多设置接地端；一般要与电器地分置等。

（2）铺设防静电地板和台垫地板的结构、材料、施工与验收、日常维护、定期监测。结构：？架空活动式：适用于非移动负载（设备），人流少，通信线缆多的场合，不适于频繁物流场合；（3）安装静电消除器如入口处、操作区、传送带等。

（4）工作人员尤其是操作人员的静电防护：穿防静电带防静电腕带、服装等；（5）正确的操作方法：拿器件时拿外壳而不触摸管脚引线、电路板安装时最后插入敏感器件、不带电插拔器件和电路板、经常触摸静电接地柱、不做摩擦类动作等；并且防止人和人之间直接传递。

（6）使用防静电器具：如防静电容器、工具等；（7）控制防静电工作区的湿度和净度；控制控制环境的温度、湿度和温度变化率尤为重要，随着湿度增加，静电产生明显下降。参考国内外实践结果，选择环境相对湿度为 50%~90% 为最佳范围。通风降温设施风速降低有利于减小静电的产生。湿度一般低于 40% 就要采取增湿措施。

不同湿度产生的静电电压值也不一样。湿度越高静电电压值越低，如表 4—3 所示。

所以防静电工作台面，不允许有塑料，乙烯树脂及泡沫聚苯乙烯等制品。不允许在无防护措施的条件下移动静电敏感器件。在整机调试过程中，需要更换静电敏感器件时，必须断电后方允许进行更换操作。不允许带电操作。

4.2 包装、运送和存储工程的防静电 93000SOC 测试系统同样也具有完备的解决方案。目前，93000SOC 测试系统的 P 系列产品具有 600MHz、800MHz 直至 1GHz 的测试能力，其 NP 系列产品，更具有高达 10GHz 的测试能力，充分满足了高速 CPU 和网络处理器的测试需求。但是，高速电路的测试不但要求测试系统的能力，也对整个测试环境提出了更高的要求。

下面举例几个芯片的测试数据报告。

MPC850 微处理器是一个多用途的通用芯片，它内部集成了微处理器和常用外围组件，可用于各种控制领域。它是 MPC860 应用于通信系统的低成本实现，提供了更高性价比，并在通信方面有所增强，比如通用串行总线（USB）的支持。

MPC850 集成了嵌入式 PowerPC 核和一个为通信使用的专门的 RISC 的通信处理器模块（CPM）。而 MC68360 四通道通信协议控制器是 MOTOROLA 公司生产的有广泛应用的通用控制芯片，内部集成了微处理器和一些控制领域的常用外围组件。它在通信领域的应用有着显著的优越性。

4. 结束语随着嵌入式不断快速的发展，人们日常的生活越来越普遍使用基于嵌入式芯片的电子产品，一个嵌入式芯片的设计到产品的批量生产使用是需要无数次的反复测试和检测与制作 TestandProduce 改进的，而且，为开发出更优秀实用的嵌入式芯片，就必须经过反复细致的测试，发现问题改进芯片性能同时能开发出性价比最高的芯片。因此，只有通过不断的高效可靠的测试才能有助于设计出更优秀的芯片。

防止静电的产生和积累；（如抗静电塑料装运管）使器件的所有管脚短路，等电位；（如金属标准，导电泡沫，对 I 类静电敏感器件）对外电场屏蔽。

运送过程避免摩擦、接触、振动和冲击等；优化传输线的速度、采取消电措施等。

4.3 静电检测（1）常用的静电检测仪表静电电位计、兆欧表（高阻表）、腕带检测仪、连接监测仪等。

静电电位计：适于导体的接触式和适于绝缘体的非接触式。

非接触式静电计：直感式、旋转叶片式、振动电容式和集电式。

（2）静电检测分类按时间分：经常性、定期性和临时性；按测试精度分：定量和定性；按场所分：现场测试和试验室测试，4.4 静电防护的管理工作（1）

建立完整、严格的防静电控制规范，贯彻到设计、采购、生产工艺、检验、包装、存储和运输等各环节和部门。

(2) 张贴醒目的静电敏感器件标志。

(3) 根据不同部门不同工位进行专门知识的教育与培训。

5. 结束语总之，在电子测量仪器在研制与生产过程中，做好静电防护是提高产品可靠性水平行之有效的方法之一。在进行静电防护时，应注意到对于各种半导体器件 ESD 的失效模式，通过工艺控制、环境控制、人员控制以防止或减小静电的产生，对实在不能减小的静电则尽量通过泄漏和中和将其消除或减小。同时，对于不同的元器件敏感度，选择合适的静电防护，只有这样才能切实有效的提高电子测量仪器的可靠性。做好防静电损伤工作，有效提高电子产品质量。

OFweek 电子工程网