

新型静电释放保护方案是智能化设备安全运作的重要保证

The new electrostatic discharge protection scheme is an important guarantee for the safe operation of intelligent equipment

吴康

摘要: 本文推出全面的静电释放保护方案, 将从静电释放理念引入到布置贯穿整个工艺链的静电释放保护区的物理学背景和如何选择合适的设备等电子产品防静电设计及静电防护措施新举措, 从而实施可靠地避免因静电释放引发的损失并确保智能化设备安全运作等问题作分析研讨。

关键词: 静电释放, 击穿短路, 敏感度, 泄放, 信号源

Abstract: This paper introduces a comprehensive electrostatic discharge protection scheme, Will be released from static concept is introduced into the layout throughout the entire process chain of reserve electrostatic discharge physics background and how to choose the suitable anti-static equipment such as electronic product design and new measures for the electrostatic protective measures, so as to implement in a reliable way to avoid losses of electrostatic discharge and to ensure that the problem such as intelligent equipment safety operation analysis for discussion.

Keywords: electrostatic release, breakdown short-circuit, Sensitivity, discharge, signal source

前言

多数的静电释放现象似乎看起来并无危害, 但却可能对电子部件和组件造成损害, 并带来毁灭性的后果! 尤其当今智能化时代随着移动互联网、大数据、云计算及人工智能等进入了人们的工作与生活, 在为人们提供便利的同时, 也带来的新的问题。这是因静电释放电问题引起的电子器件不可靠, 已不再只是生活中的小困扰和小麻烦, 而是成为了影响我们生活工作安全的重大问题, 也就成制造业的“大敌”。

为此本文将推出新型全面的静电释放保护方案, 将从静电释放理念引入到布置贯穿整个工艺链的静电释放保护区的物理学背景和如何选择合适的设备等系列电子产品防静电设计及静电防护措施新举措, 从而实施可靠地避免因静电释放引发的损失并确保智能化设备安全运作等问题作分析研讨。

1 静电释放 (ESD) 引发问题

众所周知, 静电释放 (ESD) 其根本原因在于, 摩擦电荷。摩擦或者分离两种静电势不同的材料时, 会产生摩擦电荷。而静电释放往往是一个不受重视的问题, 但它又涉及到电子元器件的生产或者再加工。从元器件穿过整个生产链, 直至将其交付给客户, 都可能出现静电释放的现象。静电电压达到 100 伏特时, 就能导致元器件遭到预损。而只有当电压值超过 3500 伏特的阈值时, 人才能感受到静电释放。静电释放带来的高风险由诸多相结合的因素共同定义。这一高风险源于生产时工人的相互配合、越来越小的电子元器件、设置并非恰到好处的生产线和防护设备的不足。

据此由静电释放 (或静电感应) 引发的典例是电场传输噪声产生并严重影响侵袭损害周围环境, 见图 1 所示。其图 1 (a) 为静电释放示例, 图 1 (b) 静电释放的电路模型。

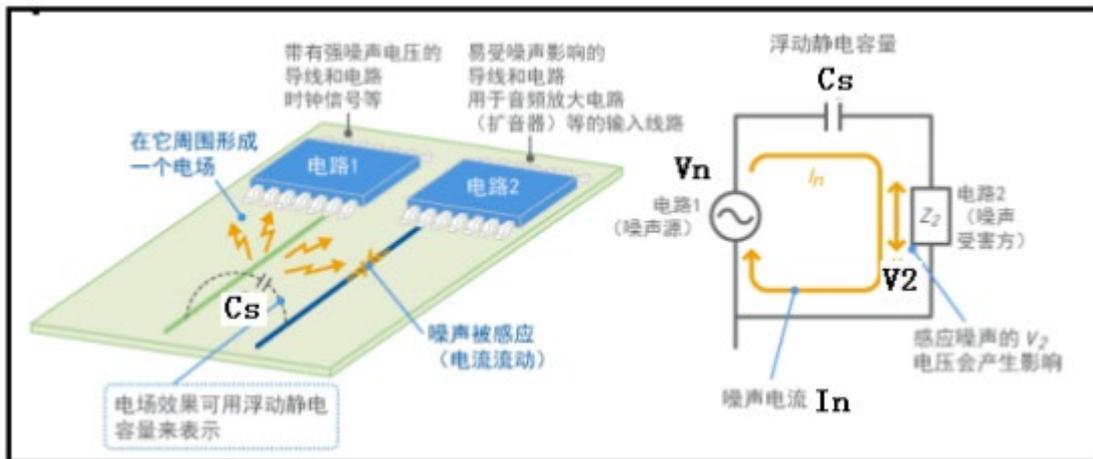


图 1 (a) 为静电释放示例

图 1 (b) 静电释放的电路模型

从图 1 可知,通常,带电的物体周围会形成一个电场,如图 1 (a) 所示。这个电场会影响周围电路的现象称为静电释放。代表这个现象的电路图如图 1 (b) 所示,其中在噪声源和受害方之间形成了浮动的静电容量 C_s ,从而形成了电流路径。当噪声源电压 V_n 变大且浮动静电容量 C_s 变大时,静电感应引起的噪声电压 V_2 升高。当噪声源和受害方之间的距离缩短且噪声源和受害方的尺寸变大时,浮动静电容量 C_s 升高。

值得注意的是,各个结构之间的距离越微小,对静电释放也就越敏感。这一情况可能导致电气过载 (EOS),这将导致电子元器件立即失效或者受到预损。受到预损的元器件的功能起初完好无损,其失效时间明显延迟,大约会在客户处失效。为此必须注意防静电工作区操作时的预防措施并注意存在静电释放危险的元件。

据此可见静电危害可概括为:对电子产品的危害、静电对洁净工艺和环境的危害、静电放电产生电磁干扰、静电放电引燃易燃易爆气体和粉尘、静电对人的伤害等涉及各个行业,对安全生产、公共安全、产品质量以及人们生活几个方面。

2 静电防护控制原则与电子产品防静电设计

在静电防护控制原则与电子产品防静电设计此有必要应着重先静电对电子产品具体损害形式作阐述。

2.1 静电对电子产品损害形式

* 损害形式的产生 静电吸附灰尘,降低元器件 (绝缘电阻短寿命),静电放电所积聚的能量通过人体或元器件释放,造成元器件受损而失效 (或完全破坏),静电放电电场或电流产生的热量使元器件受伤 (潜在损伤),静电放电产生的电磁场,对电子产品造成干扰甚至损坏 (电磁干扰)。据统计,在由静电放电造成的使用失效中,潜在性失效约占 90%,而突发性失效仅占 10%。

* 热效应:引线烧断。基片灼伤,见图 2 (a) 所示。静电放电对集成电路的破坏立即失效。



图 2 (a) 所示为热效应

* 电高效应:绝缘膜破坏,电解,变质,见图 2 (b) 所示。

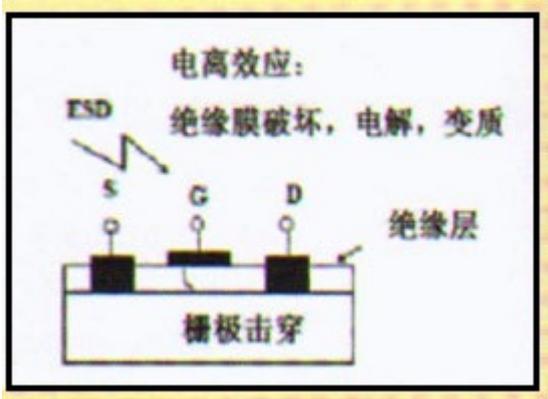


图 2 (b) 所示为电高效应

静电放电对场效应管的破坏, 性能下降: 缩短寿命, 频响下降, 温湿度范围缩小, 绝缘耐压下降, 输入阻抗下降, 功耗增加等。

* 常见 ESD 损伤的失效现象 分别为: 造成 MOS 器件栅击穿或输入保护电路漏电流增大, 见图 3a 所示; 引起多层布线间的介质击穿短路, 尤其是输入端铝条与 n+、p+ 层间的击穿短路见图 3b 所示; 造成 pn 结电损伤, 引起结特性变坏和放大系数或阈值电压漂移, 与外接端子相连的铝条被熔断开路, 引起薄膜电阻熔断或阻值漂移, 电子容易发生静电损害部位, 见图 3c 所示。

* 可能产生损害的制造过程 静电放电敏感电子产品 (电子元器件、组件和设备) 的采购、制造、加工、组装、装联、包装、维修、调试、检验、贮存和运输等生产全过程都可能遭受静电损伤。只有将静电防护融入到电子产品生产制造的各个环节, 才能为静电放电敏感产品提供不间断的静电放电防护, 才能降低静电放电对电子产品产生的损伤。提高产品的可靠性。

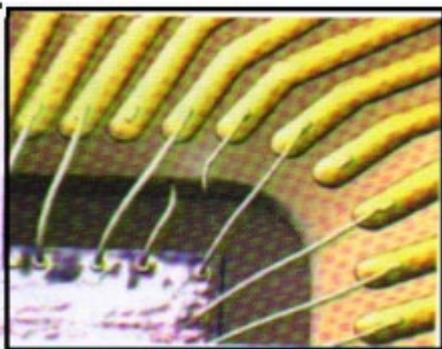


图 3 (a) 为漏电流增大

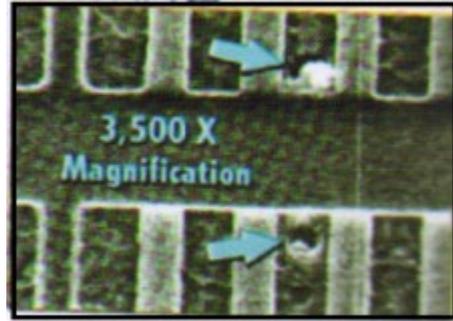


图 3 (b) 所示为 n+、p+ 层间的击穿短路

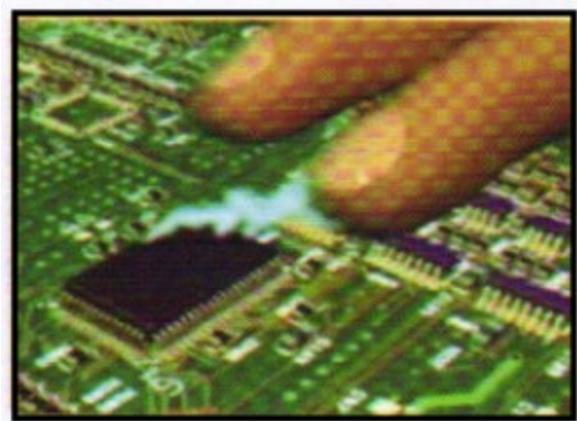


图 3 (c) 所示为易遭静电损害的器件和部位

* 其静电损害特点: 隐蔽性, 人不易感知。分别为: 潜在性, 潜在性累积损伤; 随机性, 任一环节、任一步骤发生; 复杂性; 费时、费事、费钱。

2.2 静电防护控制原则

一切实际的静电起电过程中都包含着静电产生和静电消失散两种作用。为此应控制静电的产生与控制静电的消散。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, 达到静电防护的目的。静电防护的基本原则: 控制静电起电量和电荷积聚, 防止危险静电源的形成; 使用静电感度低的物质, 降低场所危险程度; 采用综合防护加固技术, 限止 ESD 能量耦合。

静电防护的工作思路: 从根本上做好电子产品静电防护设计, 控制静电起电率防止危险静电源的形成, 增大电荷消散速率防止电荷积聚, 按规范做好过程控制。

2.3 电子产品防静电设计

* 静电敏感度识别

应从静电敏感度分级入手。静电放电敏感度以电子元器件、组件、设备能够耐受的最大 ESD 电压来表示,其分级主要依据试验模型确定,常用模型包括人体模型(HBM)、机器模型(MM)、带电器件模型(CDM),其中最常用的是人体模型。我国的军用标准也采用人体模型。

* 如何确定元器件的 ESD 敏感度 可采用:利用厂家敏感度数据,通过实验获得敏感度数据,利用敏感度数据手册,利用典型电子器件的 HBM 敏感度资料,如果缺乏任何有关信息,可假设本单位所处置的所有 ESD 敏感产品都具有 HBM 100V 电压的敏感度。

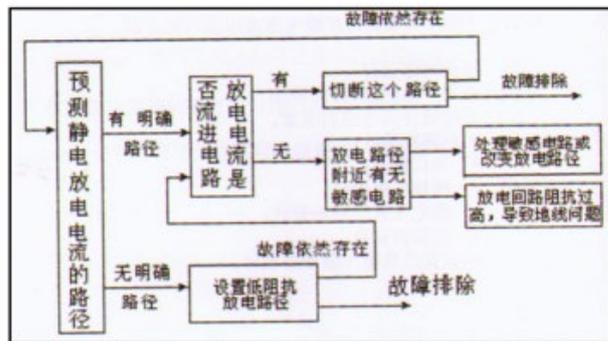
* 防静电设计原则 分别为:必须充分了解所选用元器件的静电敏感度性能;尽可能的选择防静电能力指标高的元器件;ESD 防护设计及措施应尽可能在最低一级的部件上实施。按照 GJB 1649 规定,静电敏感器件(组件)的设计,提供的最低静电防护应达到 2000V,整机设计应为敏感器件提供最低 4000V 静电电压防护。静电防护要求对 ESDS 的分级工作提供专门的采购样本和分级目录。

* 电子产品防护设计 电子器件静电防护设计方法,是指电路设计者在设计过程中为降低电子器件与设备防护静电危害所应用的方法。包括:保护网络设计,电手产品的 ESD 加固设计,系统设计师考虑的因素。而系统设计师考虑的因素又含有:电缆网设计,接口器件、接地电阻设计,静电泄放通道的设计,测试点设计及设备外来输入信号的设计。

*ESD 防护设计程序 在考虑一个产品设计的 ESD 问题时,必须考虑到许多因素往往很容易忽略一些非常重要的问题。为设计师提供的设计程序是从反面对正在进行的设计进行评价。具体程序如下:从一开始就为 ESD,进行设计,了解产品所需要的性能;将系统划分成重要部分和不重要部分;从考虑 ESD 敏感的角度出发,选择元件和电路;PCB 布局、电缆、接地;滤波器、屏蔽;在进行设计的同时,进行 ESD 测试验证和评估。

* 直接静电放电问题诊断流程 (见表 1 所示)

表 1 所示为直接静电放电问题诊断流程



2.4 静电防护措施

* 静电屏蔽 图 4 提供了静电屏蔽的示例。接地的金属板放在噪声源和受害方之间,以便阻挡电场的效果。图 4 (a) 为静电屏蔽的示例,图 4 (b) 为静电屏蔽电路模型。

如图 4 (b) 所示,将噪声旁路到地,降低了对噪声受害方的影响。因此必须要有接地(连接到地线)。如果屏蔽高频噪声,则没有必要接至大地。连接到外壳或电路的地线就足够了。但接地阻抗应尽量小,以便让噪声电流流

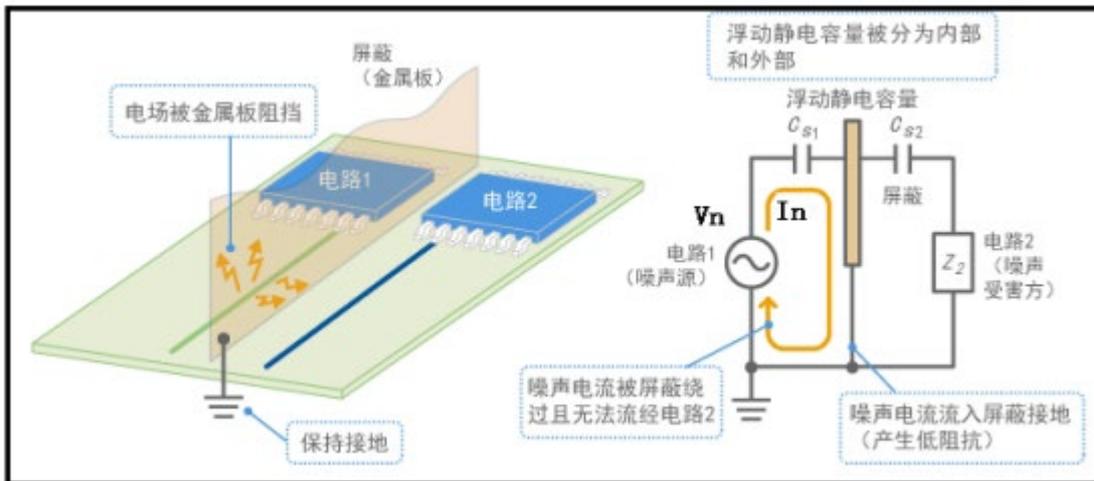


图 4 (a) 为静电屏蔽的示例

图 4 (b) 为静电屏蔽电路模型

动顺畅。一般而言,静电屏蔽是指对静电电场的屏蔽。如果如图4(b)所示阻挡线路附近的高频噪声,就涉及到了电磁屏蔽的效果。屏蔽可同时应用于噪声源侧和受害方侧。如果屏蔽受害方侧,则连接到受影响电路的地线。

* 人体静电防护 在各种静电放电危险源中,人体的静电放电是危害ESDS产品的最大危险源。据调查显示,ESDS产品的失效中66%是由人体放电引起。人体放电措施主要是控制静电的产生、静电及时泄放;主要方法是人体接地。具体措施为:以手腕带接地为主、以人体--防静电鞋--地坪接地系统的接地为辅;防静电服、手套、指套等均通过人体间接接地;现场必备人体防静电测试仪,对进入敏感区的人员进行监测。人体通过防静电腕带接地见图5所示。

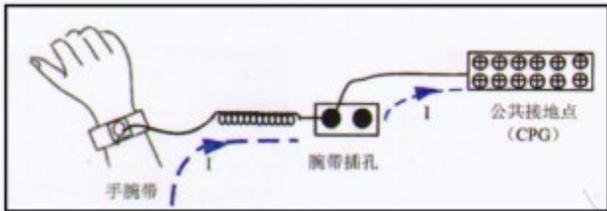


图5 所示为人体通过防静电腕带接地示意

* 安全回路(泄放)电阻 在EPA有一个十分重要的参数是静电安全泄放电阻,一般来说安全的静电泄放电阻值为: $1.0 \times 10^5 \Omega < R < 1.0 \times 10^9 \Omega$ 。

* 需注意的是,为什么无线静电手环不能用?因为它利用设置的电晕放电针进行空气放电的原理。静电放电阈值在1500V。而我们人体的所能感觉到静电放电的,一般是在3000V,5000V能听到,10000V能看到。而在电子制造中的电子元器件,大多致的静电敏感度,都在几百伏,当人体积累的静电荷还没有到放电阈值(1500V)时,静电敏感器件可能已经受损。泄放电阻下限的确定:取R值大于 $1.0 \times 10^5 \Omega$ 。

* 泄放电阻上限的确定: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,一般要保证小于 $10^9 \Omega$ 。

指标要求(GB/T 32304):腕带套内表面与电缆之电阻应小于 $1.0 \times 10^5 \Omega$;腕带套外表面与接地点的电阻应大于 $1.0 \times 10^7 \Omega$;腕带电缆端与端之间电阻在 $(0.8 \sim 1.2) \times 10^6 \Omega$;腕带接地插接头与接地点插孔,其

最小拔出力应大于1.5N;腕带插孔与接地点电阻应小于 2Ω ;腕带在正确佩戴情况下,仅通过腕带,人体对接地点的电阻应在 $7.5 \times 10^5 \Omega \sim 3.5 \times 10^7 \Omega$ 之间。

当移动工作、佩戴腕带不方便的情况下,穿用防静电鞋、防静电鞋套、脚跟带等。

通过人体—地板—鞋束系统接地。接地电阻满足 $1 \times 10^5 \Omega \sim 1 \times 10^9 \Omega$,人体电压小于100V。

2.5 静电防护措施的技术途径

* 屏蔽法 静电屏蔽,主要用于防止静电场和恒定磁场的影响,根据静电屏蔽的原理,可分为内场屏蔽和外场屏蔽两种。静电屏蔽包装是静电外场屏蔽原理的典型应用。

静电屏蔽包装指标:内、外表面点对点电阻 $< 1 \times 10^{10} \Omega$ 与ESDS接触的表面点对点电阻 $1 \times 10^3 \Omega \sim 1 \times 10^{10} \Omega$ 及防静电屏蔽包装内感应能量 $< 50 \text{ nJ}$ 。

在静电防护区内部的包装要求:静电起电量要低;内包装材料要用耗散型或传导型材料。在静电防护区外运输静电敏感产品所需包装要求包括:静电起电量要低;内包装材料要用耗散型或传导型材料;包装结构应满足静电屏蔽要求。

* 接地泄放法 旨在使静电通过泄放达到消除的目的,通常采用静电接地使电荷向大地泄放。防静电工作区内的防静电地垫、桌垫、工作台、椅子、储物柜、防静电手腕、鞋都采用泄放法。接地的功能:工具设备接地应采取接地措施;不使用交流电的工具应通过工作台或使用工具的人员实现接地;设备与孤立导体,通过电源保护地线接地,孤立导体,残留电压小于35V。防静电工作台(含胶皮垫)接地,见图6所示。

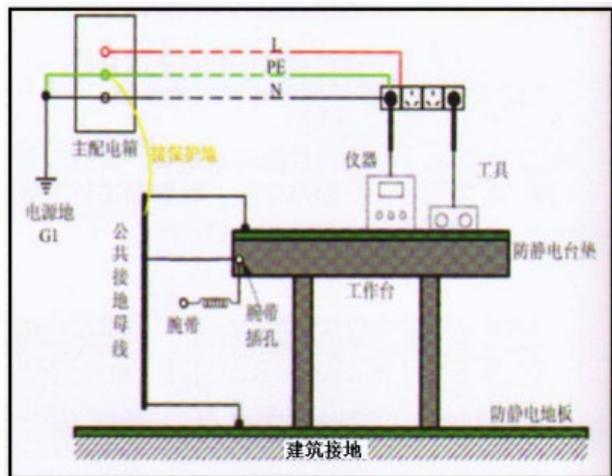


图6 所示为防静电工作台(含胶皮垫)接地示意

* 空气加湿法 增湿消除静电危害基本原理: 当空气中相对湿度增大时, 绝大多数材料的表面电阻率大大下降, 以至由静电非导体性质向类似于静电亚导体或静电导体的表面特性过渡。一般的物体都自然与大地形成电的连接, 物体的静电泄漏率大大提高, 使危险静电源难以形成。加湿方法消除静电危害效果明显, 容易操作, 但也应该注意: 有些加湿手段本身也能产生静电; 高湿度不仅成本昂贵, 而且会恶化生产条件, 使操作人员感到潮湿、闷热、不利于工作, 同时也增加了机器锈蚀的机会。有些产品出于质量要求, 不允许把相对湿度提得很高, 有些加工工序则完全不能采用。以加湿的方法清除静电, 对以下几种情况无效: 其一是表面不易被水润湿的介质, 如聚四氟乙烯、纯涤纶等; 其二是表面水分蒸发极快的静电非导体; 其三是高温环境中的静电非导体。

* 离子中和 静电清除器的概念: 基本原理是, 利用空气电离发生器使空气电离产生正、负离子对, 中和带电体上的电荷。将外加的正负离子与静电源的正负电荷中和, 消除静电源上的静电荷, 是消除静电的重要措施之一。尤其是对于无法使用静电耗散材料、接地等方法消除静电的场合。对生产、操作使用电子产品的 EPA, 一般选用电晕放电的离子风机型, 即外接高压电源式的离子发生器, 它可分为直流高压式、工频高压式、高频高压式等几种离子风机。

技术指标 (GB / T 32304): 衰减时间从 1000V 到 100V 或从 -1000V 到 -100V, 残余电压 $< \pm 35V$ (由产品规范规定), 器件 (或设备) 有效距离。

* 抑制起电法 旨在使生产过程中尽量少产生静电荷。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累, 抑制静电电位, 降低静电放电的能力, 使之不超过危害的程度。减小摩擦起电的可能性, 材料选用不易摩擦超电的材料, 选用静电带电序列相近的材料; 使用去离子水的冲洗 (8MQ 和 16--17MQ)。

3 建立静电防护管理体系至关重要

3.1 静电防护为什么要建立管理体系

静电放电是电子产品产生故障和可靠性下降的主要因素之一; 企业在 ESB 体系建设的投入换来了直接的产品合格率的提升而获得可观的经济效益的回报; ANSI /

ESD S20.20 加及 IEC 61340-5-1 等标准, 是以建立静电防护管理体系有效运行的为基准; 企业把是否通过对标认证, 建立静电防护管理体系作为选择合作伙伴的硬性指标。

3.2 静电防护管理体系的意义

电子产品制造企业以产品质量保证作为切入点。建立静电防护管理体系, 把静电防护的管理体系纳入质量管理体系, 变事后归零为事前管控。成为质量管理的一个重要内容。建立静电防护管理体系, 即是电子制造企业静电防护“有依据、按规范、有记录”的管控过程。同时, 静电防护管理体系的实施是静电防护系统认证的基础。认证成为国内外电子行业 (领域) 的发展趋势和技术壁垒 (客户要求)。实施认证将提高产品的技术水平和竞争力。

建立体系化的静电防护管理模式, 加强静电防护组织、人员, 活动、环境、方法的管理, 并实现管理的持续改进, 构建静电防护完整链条, 才是保证最终产品质量的有效途径。

3.3 静电防护管理体系的内容

电子制造企业中静电放电敏感电子产品的处置涉及设计、生产、装配、包装存储、运输和使用等过程, 静电防护必须融入到生产制造的各个环节, 才能为静电放电敏感产品提供不间断的静电放电防护, 才能降低静电放电对航天型号产品产生的损伤。

根据静电防护管理体系建设的成功经验总结和发展趋势, “技术要求加管理要求”是作为静电防护管理体系的主要内容, 主要包括技术要求 (硬件) 与管理方面等措施。而技术要求 (硬件) 主要指为实现静电放电防护控制进行必要的配置, 主要包括: 人员防护用品, 包括服装、鞋、帽; 接地系统, 包括腕带接地、工具接地、设备接地; 防静电工作区的设施材料, 包括工作区环境、电气环境; 转运包装袋; 防静电检测设施设备。硬件需要覆盖电子产品生产的设计、制造、包装、存储、运输、取放、使用和操作等整个制造工艺流程。

4 后话

静电防护新趋势 -- 静电击穿检查工具的应用

随着新兴智造行业的蓬勃发展和通讯技术的飞速进步, 除了上述新型静电释放保护方案研讨之外, 还有必要

对静电防护新趋势中的静电击穿检查工具应用作说明。

* 静电击穿检查工具的应用 如今工艺尺寸的减小使栅氧化层厚度不断变薄,源漏的结深不断变浅,源漏越来越靠近,这使得晶体管的栅极和衬底、源漏之间、源漏与衬底的静电击穿电压越来越低,静电防护的设计窗口越来越小,因静电泄放造成的芯片失效越来越多;另一方面,静电泄放时,峰值电流高达数十安培,仅靠经验或者检查泄放路径的阻值,不能分析静电泄放时高频率电流可能带来的风险。为解决纳米级设计所面临的越来越多的静电防护方面的挑战,新技术趋势(如 Ansys Eco-Platform)提供

了晶体管级和门级的静电击穿检查工具(PathFinder)帮助用户在设计过程中和签核时对静电防护进行有效检查。PathFinder 是基于路径电阻检查的工具,可以对信号 PAD -- 电压源、信号源 PA-- 地、信号 PAD-- 静电防护单元、电源 -- 静电防护单元 -- 地等静电泄放路径的电阻进行检查,如图 7 所示,同时,可对静电泄放时的峰值电流进行检查,设计者可以根据检查报告,对不符合静电防护设计规则的路径进行修正,可协助设计人员完成 SoC、数模混合和模拟电路单元在早期原型、电路优化和芯片验收的全部阶段的工作,提升产品良率。

上接171页

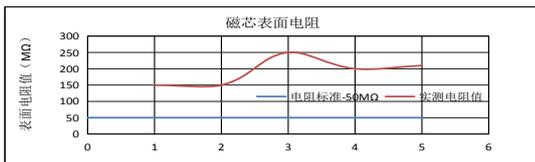


图 3 电感与表面电阻特性测试数据

5.3 镀层附着力

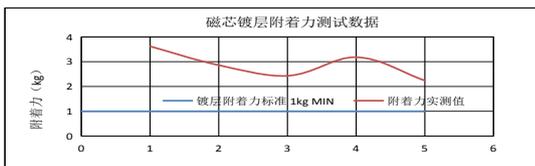


图 4 镀层附着力测试数据

5.4 扩散检测

图 5 是电镀品图片。

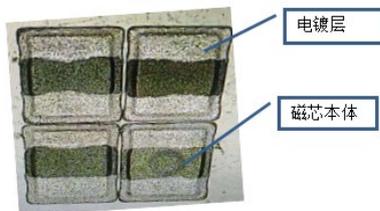


图 5 电镀品图片

6 结论

采用不同配方的改性有机硅树脂和低温绝缘玻璃粉对 Fe4.5Si5.5Cr 气雾化粉进行包覆处理,通过空气中高温烧结,在粉体颗粒表面形成绝缘薄膜,有利于提高磁芯的表面电阻率,材料的电阻率随着有机硅树脂和低温玻璃粉的用量增加而增大,材料的磁导率会降低,合适的配方可以达到磁芯能够电镀,且镀层不会扩散,材料的其它磁性能也能满足设计要求。由此可见利用适当的有机硅系树脂和低温玻璃粉对合金粉末进行表面绝缘改性是获得磁芯能够电镀的有效途径。

参考文献

- [1] Kim S S , Kim S T , Yoon Y C , et al. Magnetic, Dielectric, and Microwave Absorbing Properties of Iron Particles Dispersed in Rubber Matrix in Gigahertz Frequencies[J]. Journal of Applied Physics, 2005, 97(10):10F905-10F905-3.
- [2] 刘爱祥,茹淼焱,孟凡君,等. 聚硅氮烷包敷纳米铁磁粉 PSZFe 的合成及其雷达波吸收性能研究 [J]. 高分子学报, 2003, 1(5):757-760.
- [3] 李厚敏. 氧分压对 Ni-Cr-Fe 基合金氧化成膜特性影响的研究 [D]. 2011.