

## ESD 介绍

ESD (Electro-Static Discharge, 静电放电) 是一种常见的物理现象, 当两种不同材料接触并分离时, 就可能产生静电。ESD 应该是造成所有电子元器件或集成电路系统造成过度电应力破坏的主要元凶。因为静电通常瞬间电压非常高(>几千伏), 所以这种损伤是毁灭性和永久性的, 会造成电路直接烧毁。所以预防静电损伤是所有 IC 设计和制造的头号难题。需要在电路里面设计保护电路, 当外界有静电的时候我们的电子元器件或系统能够自我保护避免被静电损坏(其实就是安装一个避雷针)。

按照防护机理进行分类, 当前的 ESD 防护器件主要有箝位型器件、电压开关型器件和混合型器件。箝位型器件有齐纳二极管、瞬态电压抑制器 (TVS) 二极管和压敏电阻等, 其阻抗会随着放电电压的上升而发生持续性下降。电压开关型器件如火花隙、聚合物 ESD 防护器件和气体放电管则类似于一个开关。我司主营产品为聚合物 ESD 抑制器。

### 芯片级 ESD 标准

静电放电的测试方法主要分为四种, 依据静电产生的方式和对电路造成的损伤类型而定: 人体放电模式 (HBM)、机器放电模式 (Machine Model)、元件充电模式 (CDM)、以及电场感应模式 (FIM)。在工业界, HBM 和 Machine Model 是最常用的测试手段。然而, 随着集成电路技术的不断进步和自动化生产线的广泛使用, CDM 模式已经超越了 HBM 和 MM, 成为导致芯片损坏的主要静电放电类型。目前, 由 CDM 引起的损坏在所有静电事件中占据了较大的比例。随着工艺节点的缩小, CDM 造成的损害变得更加严重。由于 CDM 的自发性, 它对芯片设计的保护要求变得更加关键。因此, 在芯片设计阶段, 必须将 CDM 保护作为一个重要的考量因素, 以确保产品的可靠性和耐用性。

### HBM

人体放电模式 (HBM) 是当人体通过摩擦产生静电, 然后在接触到芯片时迅速放电, 可能引起芯片的损坏。这种现象在干燥季节, 如秋天, 人们相互接触时感受到的电击中很常见。针对 HBM, 电子行业有明确的 ESD 测试标准, 例如 MIL-STD-883C method 3015.7, 它定义了人体等效电容为 100 皮法拉 (pF), 等效电阻为 1.5 千欧姆 (k $\Omega$ )。此外, 还有 EIA/JESD22-A114-A 等国际标准。根据 MIL-STD-883C method 3015.7, HBM 测试的电压级别被分为几个等级: 小于 2 千伏 (kV) 的放电电压被归类为 Class 1; 2 kV 至 4 kV 的为 Class 2; 而 4 kV 至 16 kV 的则为 Class 3。这些分类帮助确定不同电子产品的 ESD 敏感度和所需的保护水平。

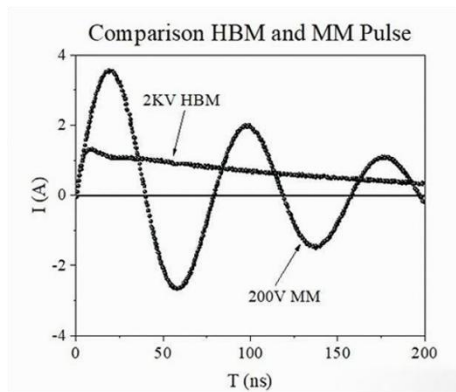


图 1 HBM 与 MM 放电对比

## CDM

元件充电模式（CDM）描述的是芯片或裸片在外部电场或摩擦作用下内部积累了大量电荷的情况。当这些带电的元件与一个电势较低的导体（如接地电极、金属外壳或工具）接触时，积累的电荷会迅速释放。这种电荷的快速释放会在瞬间产生一个静电脉冲，这就是 CDM 放电现象。

CDM 放电的特点是放电时间短，产生的电流脉冲强度高，且放电波形具有不确定性。由于不同芯片或裸片的结构和电容参数存在差异，即使在相同的条件下，不同芯片的 CDM 放电波形也可能显著不同。这种放电模式的多样性和复杂性要求在设计 ESD 保护时必须考虑到各种可能的 CDM 波形，以确保电子设备能够承受实际使用中可能遇到的各种静电放电情况。

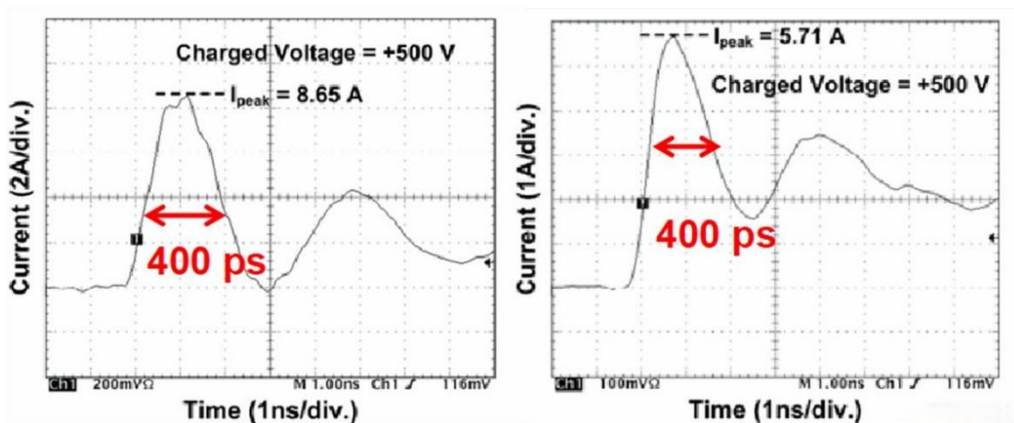


图 2 不同芯片的 CDM 波形

CDM 的特点：

1.自发性特点：CDM 放电源于器件内部在外界条件如电场或摩擦作用下积累的大量电荷。这种电荷的积累由芯片或裸片自身的结构和电容特性决定，进而影响存储电荷的量和放电过程的持续时间。与 HBM 和 MM 的标准化波形不同，CDM 放电的波形完全由芯片自身的特性所决定，因此其波形不是固定的，具有多样性。

2.内部放电机制：与 HBM 和 MM 这两种外部至内部的 ESD 事件不同，CDM 是一种从内至外的放电过程。HBM 和 MM，静电流是由外部施加到芯片内部的，因此防护措施主要集中在输入/输出（IO）端口。相对地，CDM 的放电是从芯片内部向外的，这使得针对 CDM 的防护设计更具挑战性。由于 CDM 放电的脉冲时间短，其防护的关键在于创建一个低寄生电容的快速泄放路径。尽管 CDM 的电流幅值很高，但其防护电路不需要占用大片面积，只需要迅速将积累在半导体衬底内的电荷释放。

## 总结对比

HBM 的放电波形持续时间较长，携带的能量很大，可以直接打穿 MOS 的栅氧端或者源漏端。因此由 HBM 模型引起的 ESD 失效主要为 MOS 管的源漏击穿与栅氧击穿。

虽然 CDM 模型放电波形的峰值电流较大，但是持续时间短，因此 CDM 放电波形所携带的能量并没有 HBM 模型那么大。由 CDM 模型引发的 ESD 失效点形状就小很多，多为针孔状的栅氧击穿。