



工业和信息化部电信研究院

China Academy of Telecommunication Research of MIIT

静电放电(ESD)原理



王洪博，高级工程师，副主任
无线通信及安全与电磁兼容实验室
工业和信息化部电信研究院

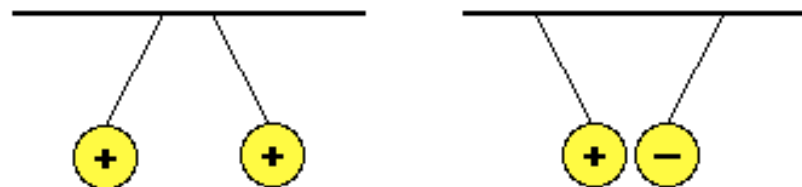
Tele: 010-62304633-2018; FAX: 010-62304793

Email: wanghongbo@catr.cn

<http://www.emcite.com/>

内容提要

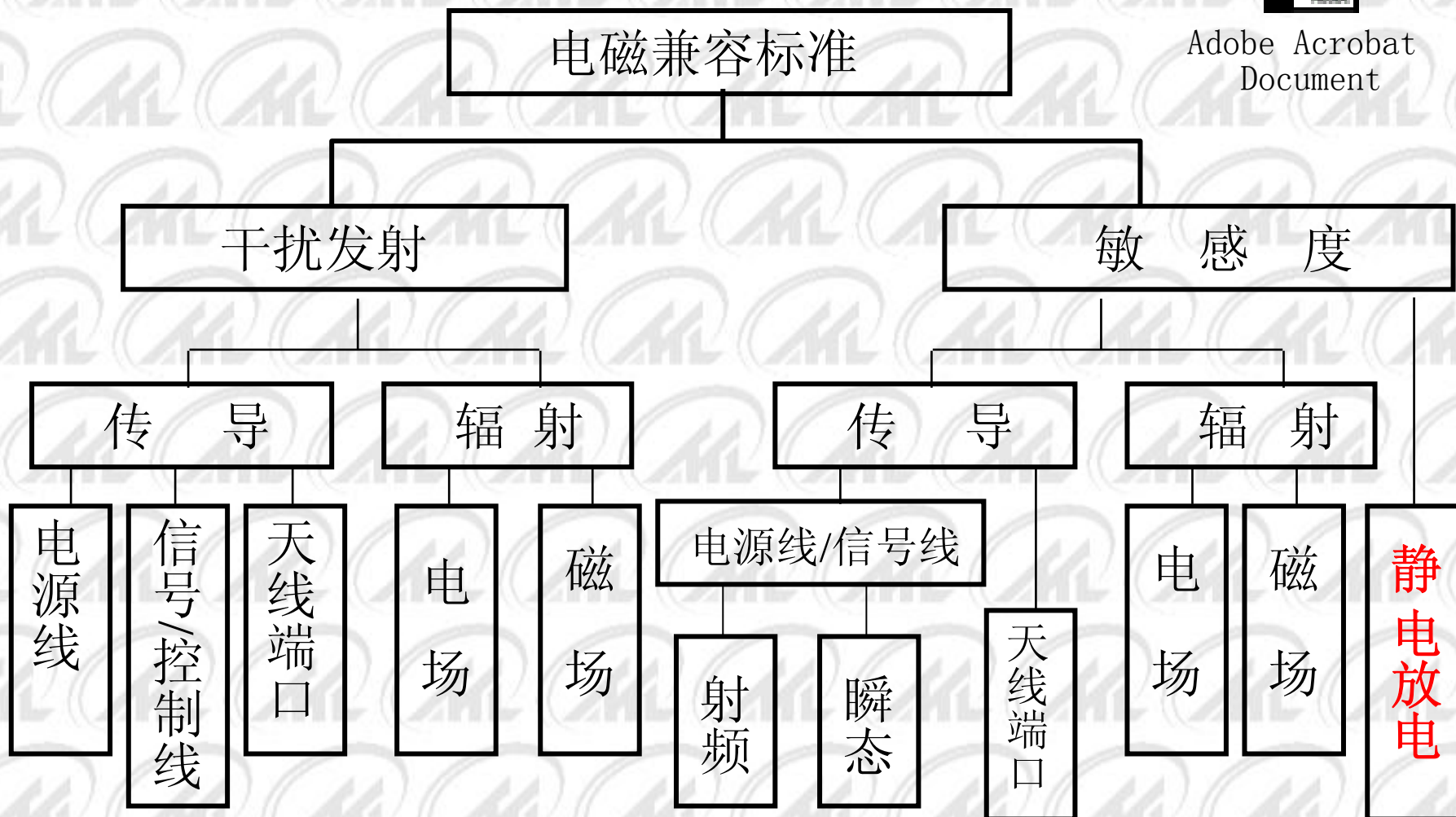
- 一、何谓ESD
- 二、静电的产生机理
- 三、静电的危害
- 四、静电放电模型
- 五、电子工作区的静电防护
- 六、静电消除方法
- 七、静电接地的目的
- 八、静电防护设备要求
- 九、人员训练



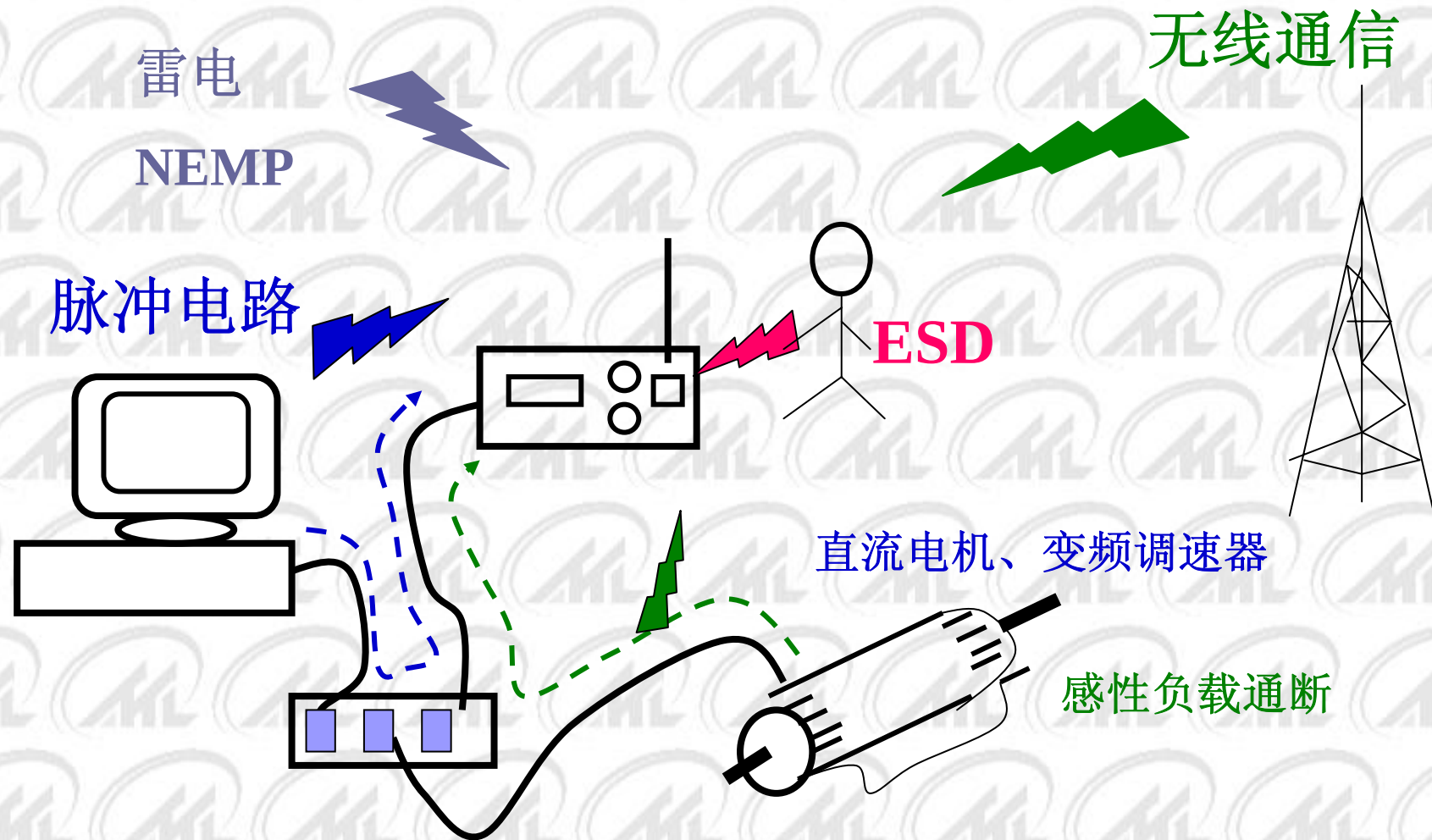
电磁兼容标准的内容



Adobe Acrobat
Document



常见干扰源



认识ESD

■ Electrostatic Discharge(静电放电)学科

- ESD是20世纪中期以来形成的以研究静电的产生和衰减、静电放电模型、静电放电效应和电磁效应(如电磁干扰)等的科学。
- 近年来随着科学技术的飞速发展,微电子技术的广泛应用及电磁环境越来越复杂,对静电放电的电磁场效应如电磁干扰(EMI)及电磁兼容性(EMC)问题越来越重视。

■ 什么是静电(Electrostatic)

- “静电放电：具有不同静电电位的物体互相靠近或直接接触引起的电荷转移（GB/T4365-1995）”
- ESD会导致电子设备严重地损坏或操作失常。半导体专家以及设备的用户都在想办法抑制ESD
- 静电就是静止的电荷。静电的产生是由于电子在外力的作用下，从一个物体转移到另一个物体或者是受外界磁场的影响而产生的极化现象
- 一种电能，是正电荷和负电荷在局部范围内失去平衡的结果。
- 物体表面过剩或不足的静止电荷。
- 留存于物体表面。
- 通过电子或离子的转移而形成。

■ 工业上存在的静电现象是极其广泛的,因为静电放电会引起严重的危害。

■ 静电的特点

- 高电位：最高可达数万伏以至数十万伏
- 低电量：毫微库仑（nc, $10^{-9}c$ ）级别
- 作用时间短：多为微秒（us, $10^{-6}s$ ）级



认识ESD

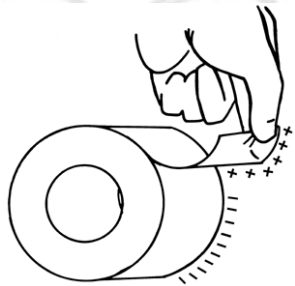
- 静电是人们日常生活中一种司空见惯的现象，静电的许多功能已经应用到军工或民用产品中，如静电除尘、静电喷涂、静电分离、静电复印等。
- 然而，静电放电（ESD）却又成为电子产品和设备的一种危害，造成电子产品和设备的功能紊乱甚至部件损坏。
- 一个操作员在正常的设备操作中也可能因衣服或皮肤带有危害的电荷而使机器运行紊乱，甚至损坏硬件设备。
- 现代半导体器件的规模越来越大，工作电压越来越低，导致了半导体器件对外界电磁骚扰的敏感程度也大大提高。
- ESD对于电路引起的干扰、对元器件、CMOS电路及接口电路造成的破坏等问题越来越引起人们的重视。

静电产生的机理

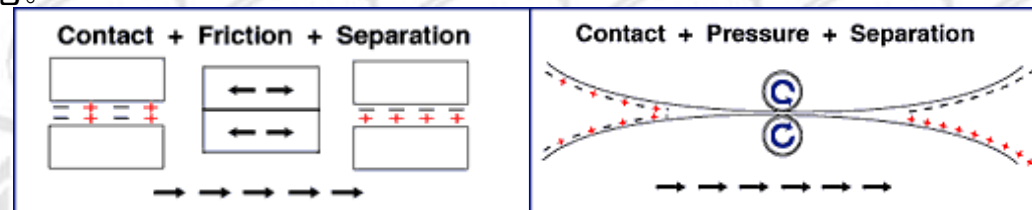
■ 静电产生的方式

□ 摩擦、碰撞、剥离、流动带电、喷出带电、搅拌带电

- 如滚轮移动、人员走动、油罐车泄油时、喷嘴喷出之溶剂、搅拌机
- 静电是由于处于不同带电序列位置的物体之间接触分离，使物体上正负电荷失去平衡而发生的现象。
- 两种介电系数不同的物质磨擦时，正负极性的电荷分别积累在两个物体上而形成：当两个物体接触时，其中一个趋于从另一个吸引电子，因而二者会形成不同的充电电位。
- 摩擦起电是一个机械过程，依靠相对表面移动传送电量。传送的电量取决于接触的次数、表面粗糙度、湿度、接触压力、摩擦物质的摩擦特性以及相对运动速度。
- 两个带上电荷的物体也就成了静电源。就人体而言，衣服与皮肤之间的磨擦发生的静电是人体带电的主要原因之一。
- 静电源跟其它物体接触时，依据电荷中和的原则，存在着电荷流动，传送足够的电量以抵消电压。这个高速电量的传送过程中，将产生潜在的破坏电压、电流以及电磁场，严重时将其其中物体击毁。这就是静电放电。

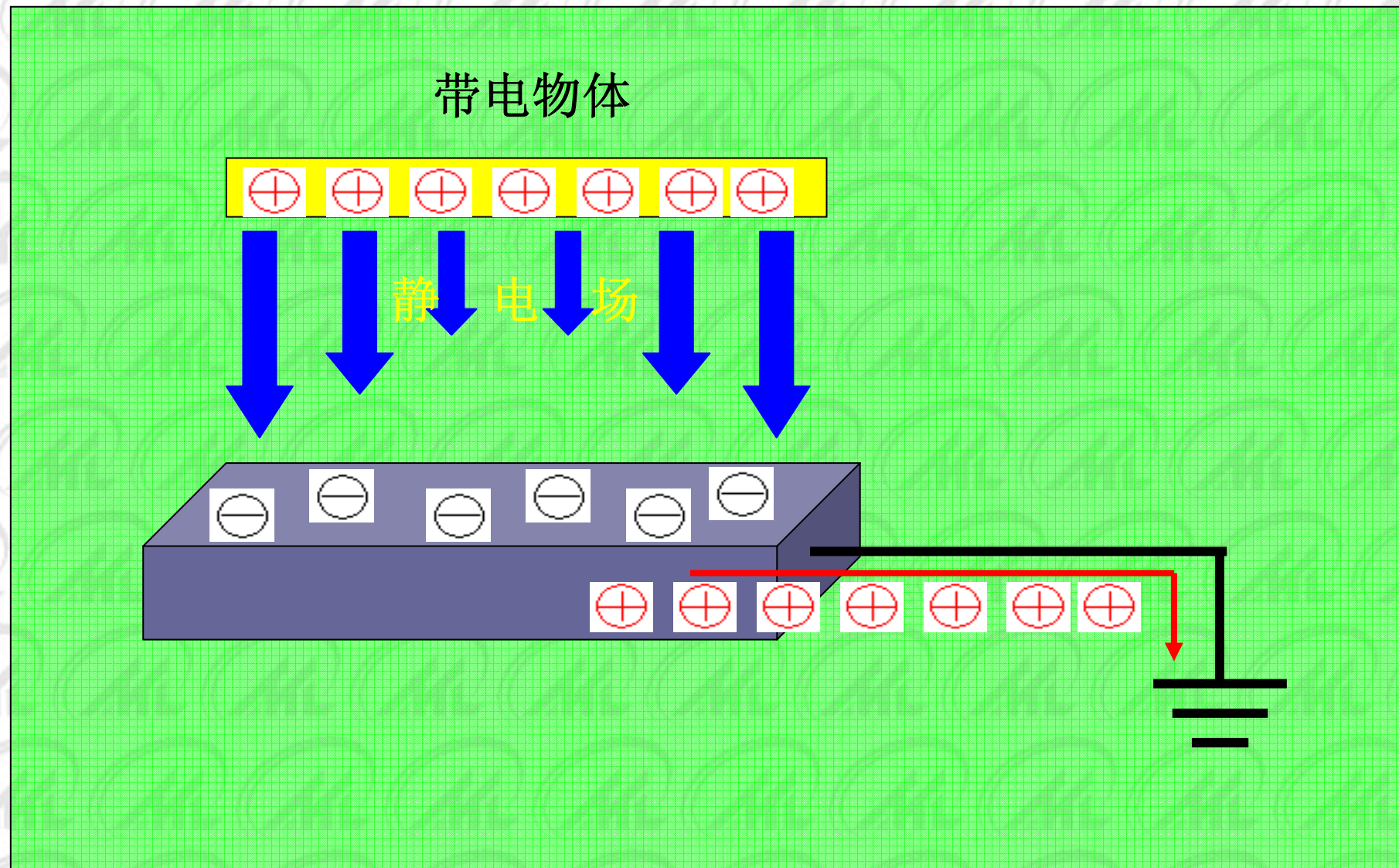


- 静电感应带电：CRT显示器
- 电容改变
- 压电效应
- 电磁辐射感应



- 静电只存在于物体表面，而非物体内部，绝缘体中的电荷只保持在产生静电的那些区域，而不会出现在整个表面。因而绝缘体接地后不会失去这些电荷。与绝缘体相反，充电导体接地后便会失去自身电荷。
- 如果将导体瞬间接地（例如，该物体被站立在地上的人触摸），那么远离带电体表面的电荷就会释放，则导体将带正电荷。

静电感应



静电源与静电放电

- 主要的典型静电源基本上是绝缘体，而且是典型的合成材料。这些绝缘体产生静电的可能非常高，因为静电荷不易在整个物体表面上分布或不易传导到其他相接触的物体上。
- 在电子产品的生产和使用过程中，操作者是最活跃的静电源，当人体穿着绝缘材料的织物，并且其鞋也是对地绝缘的时候，人在地面上运动时，就可能积累一定数量的电荷，当人体接触与地相连的元件、装置的时候就会产生静电放电。
- 某些绝缘材料在高湿条件下，吸收另外绝缘体表面的水分，形成薄薄的导电湿气层，往往会耗散掉该物体表面上的静电荷，使其导电率增加。故随湿度的增加，静电电压降低。



摩擦带电序列表

空气	+ 电荷
人手	
石棉	
兔毛	
玻璃	
云母	
hair	
尼龙	
羊毛	
毛皮	
铅	中性
蚕丝	
铝	
纸	
棉花	
钢	
木材	
琥珀	
密封蜡	
硬橡胶	
镍、铜	- 电荷
黄金、白金	
硫磺	
螺莹	
聚脂	
赛璐璐	
奥龙	
聚胺脂 (PU)	
聚乙烯 (PE)	
聚丙烯 (PP)	
乙烯基 (PVC)	
Kel-F	
硅	
铁弗龙	

序号	物质	序号	物质	序号	物质
1	空气	10	真丝	19	聚苯乙烯
2	人体皮肤	11	纸	20	丙烯
3	玻璃	12	棉布	21	聚酯
4	云母	13	木头	22	涤纶
5	人的头发	14	钢	23	聚乙烯
6	尼龙	15	橡胶	24	聚丙烯
7	羊毛	16	聚酯薄膜	25	乙烯树脂硅
8	毛皮	17	环氧树脂	26	聚四氟乙烯
9	铅	18	铜		

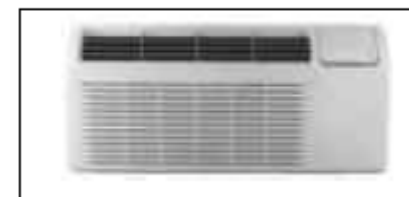
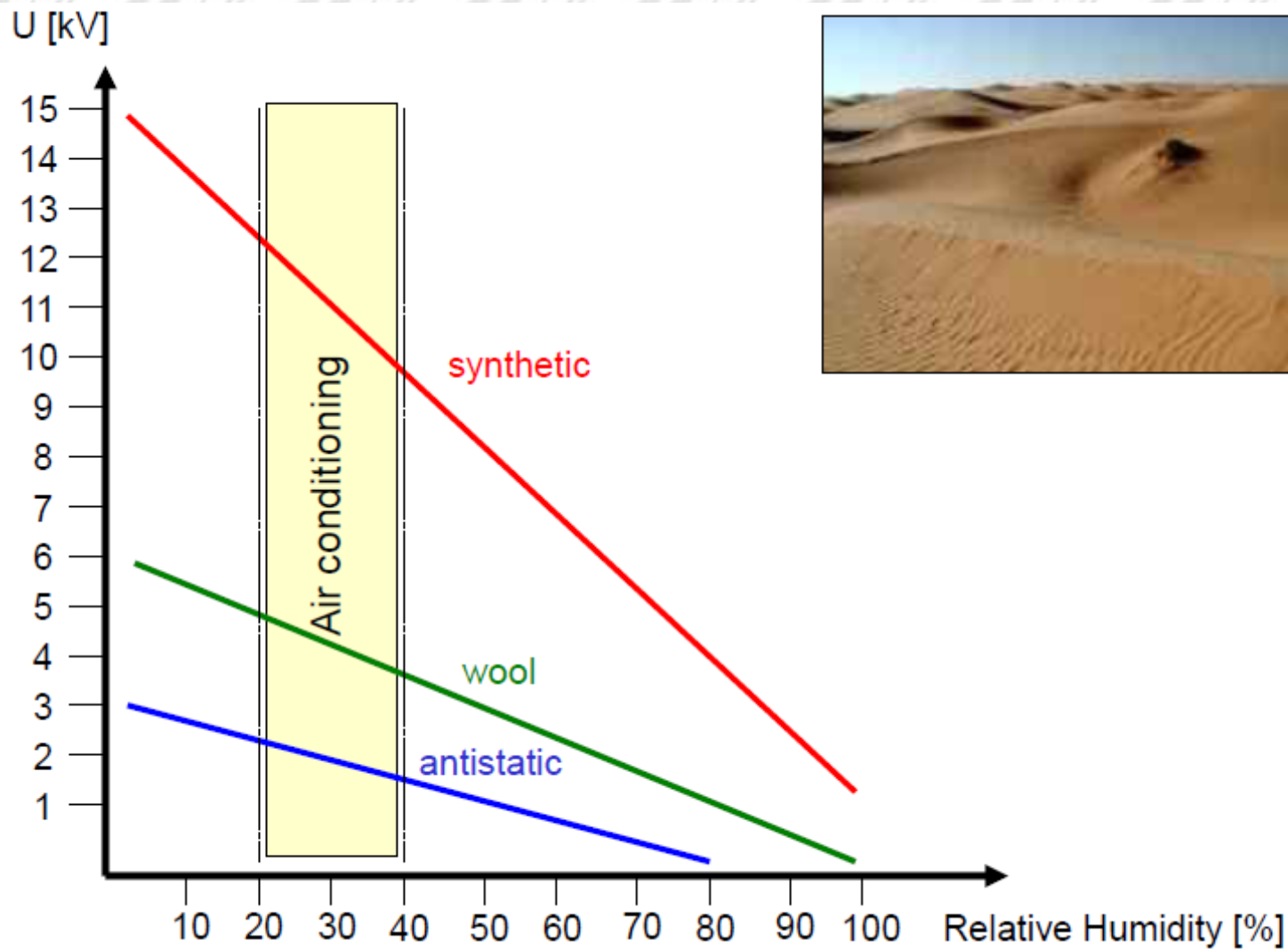
表格中处于前列的物质容易失去电子，处于后列的物质易于得到电子，因此如果两物质摩擦并随即分离，处于表中前列的物质将带正电，处于后列的物质带负电。

两物体的静电电压大小取决于物体表面的清洁度，接触压力，接触面积和分离速度。

静电产生方式及相应的静电压

静电产生方式	静电压	
	10%~20%相对湿度	65%~90%相对湿度
在地毯上行走	35000	1500
在乙烯树脂板上行走	12000	2500
工人在工作台上工作	6000	100
打开乙烯树脂封装时	7000	600
拾起通用的聚乙烯提包时	20000	1200
坐在带聚氨酯泡沫的椅子上	18000	1500

湿度与静电电压的关系



工作服与人体带电 @ 25°C & 38% RH

测定条件	在绝缘板上时的人体带电[V]		穿静电鞋时的人体带电[V]	
工作服类别	磨擦中	脱工作服时	磨擦中	脱工作服时
特多隆65 螺莹35 (夏工作服)	-3500	-12000	0	-90
聚丙烯30 棉70 (Pylen棉混)	-4000	-12000	0	-90
维尼隆50 棉50 (克拉伯)	-4500	-12000	-60	-150
亚克力30 聚脂25 螺莹45 (海希特隆)	-2000	-12000	-30	-180
特多隆65 棉35 (纽鲁克)	-2500	-12000	-90	-150
棉100 旧工作服	-2800	-12000	-30	-120

人体 (C=200pF) 日常活动所产生的静电量

活动项目	电位	能量
人体：走动	3.5kV	1.2mJ
人体：离座	10kV	10mJ
人体：脱夹克	15kV	22.5mJ
人体：自15M高度飞过	200kV	20mJ
粉尘处理	50kV	125mJ
滑动投影透明片	10kV	3mJ

静电的危害

■ 环境安全

- 危险场合的爆炸起火等
- 对精密设备的工作要求

■ 产品性能及可靠性

- 抗干扰能力，影响产品销售
- 产品的潜在损伤

■ 随着高科技的发展，静电所造成的后果已突破了安全问题的界限。

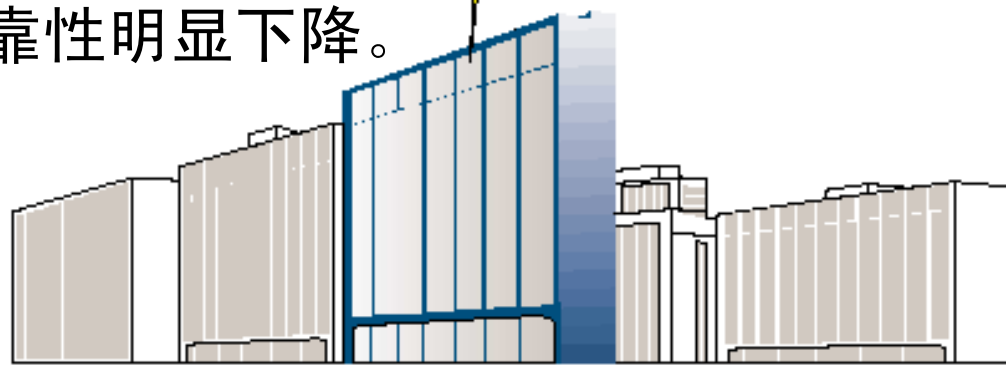
- 静电放电造成的危害是在电子、通信、航空以及一切应用现代电子设备、仪器的场合下导致设备运转故障、信号丢失、误码的直接原因之一。
- 静电放电电流有可能被直接耦合到电子设备的数据线，信号线，控制线等的总线上。在这种情况下，集成电路和特殊用途的集成电路就受到静电放电的影响。

Transient Generated:

- 70 V at 1.6km (1 mile)
- 10 kV at 150m (160 yards)

静电的危害

- 在1970年以前，很多静电问题都是由于人们没有ESD意识而造成的，即使现在也有很多人怀疑ESD会对电子产品造成破坏。这是因为大多数ESD损害发生在人的感觉以下，因为人体对静电放电的感知电压为3KV，而很多电子元件在几百伏甚至几十伏时就会损坏，通常电子器件被ESD损坏后没有明显的界限，把元件安装在PCB上以后再检测，结果出现很多问题，分析也相当困难。
- 特别是潜在的损坏，即使使用精密仪器也很难测量出其性能有明显的变化，所以很多电子工程师和设计人员都怀疑ESD，但近年试验证明，这种潜在损坏在一定时限以后，电子产品的可靠性明显下降。



ESD对产品的危害

- 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。
- 静电吸附灰尘，降低元件绝缘电阻（缩短寿命）。
- 静电放电破坏，使元件受损不能工作（完全破坏）。
- 静电放电电场或电流产生热，使元件受伤（潜在损伤）。
- 静电放电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），对电子产品造成干扰甚至损坏（电磁干扰）
- ESD引起的器件击穿，是电子工业最普遍，最严重的静电危害。
- 静电对电子产品损害的特点
 - 隐蔽性：人体不能直接感知静电，除非发生静电放电。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。
 - 潜在性：有些电子元器件受到静电损伤后的性能没有明显的下降，但多次积累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。
 - 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。
 - 复杂性：静电放电损伤的实效分析工作，因电子产品的精，细，微小的结构特点而费时，费事，要求较高的技术并往往需要使用扫描电镜等高精密仪器。

静电对集成电路的损伤

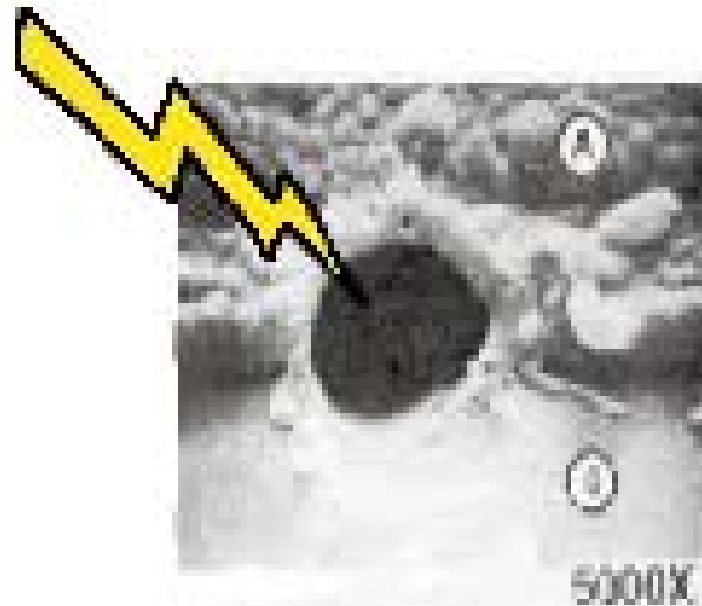
- 静电对集成电路的损伤主要表现为：

- 芯片内热二次击穿
- 金属喷镀熔融
- 介质击穿
- 表面击穿
- 体积击穿等

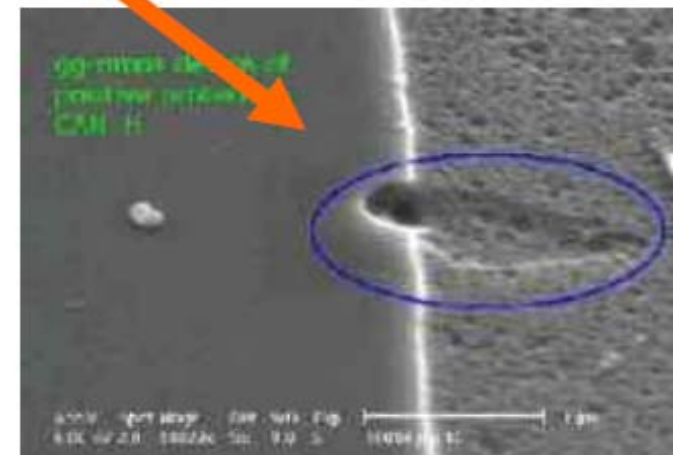
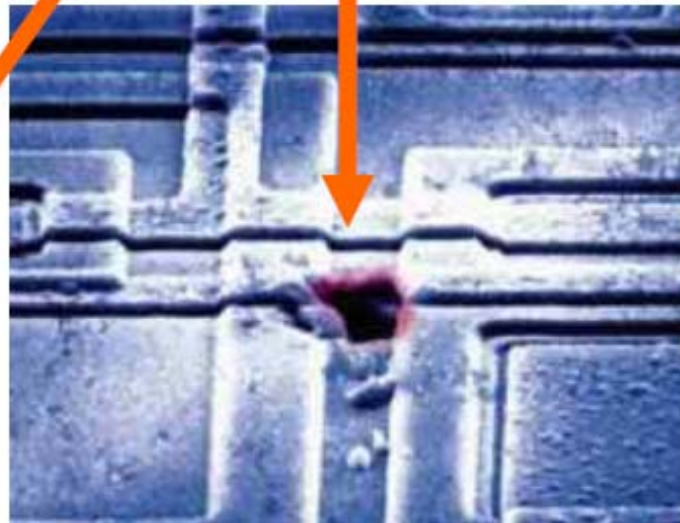
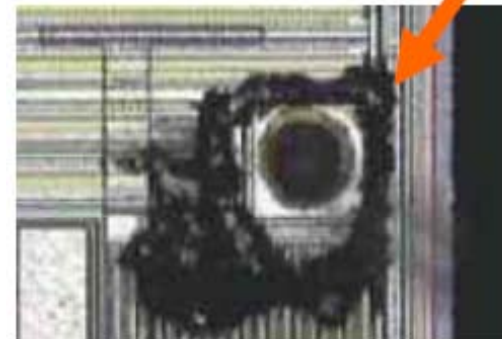
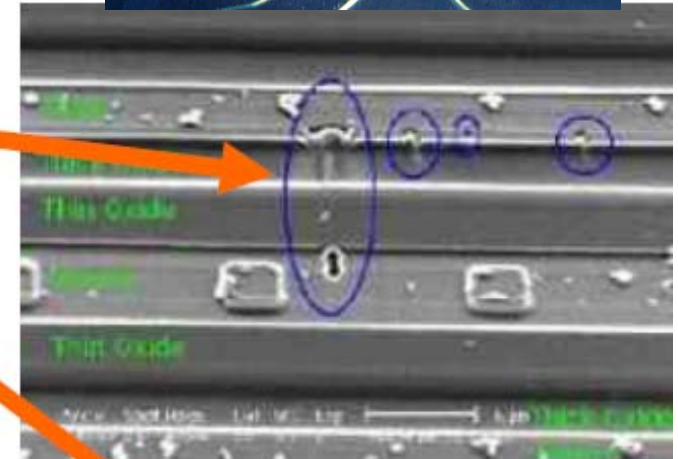
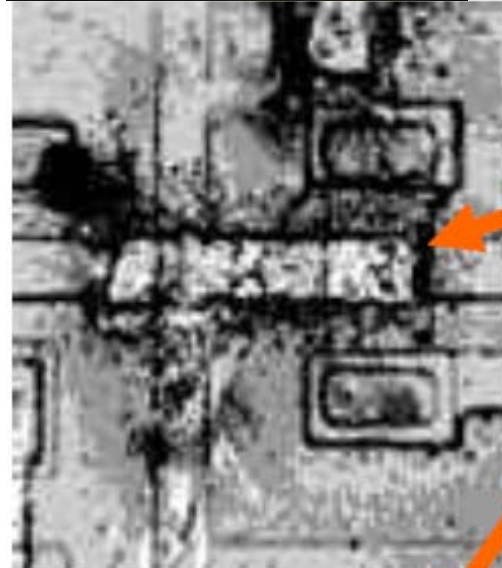
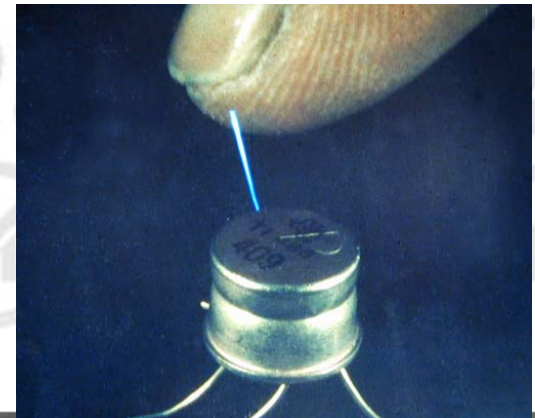
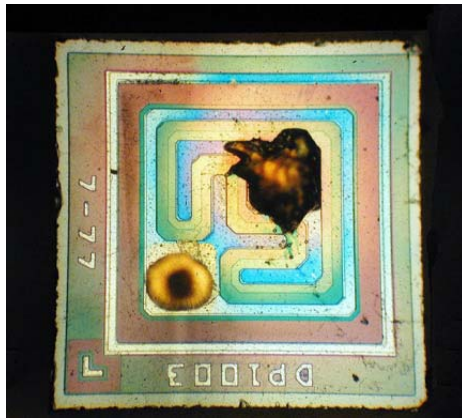
- 半导体的损坏形式有两种

- 灾难性损坏
 - 器件不能操作
 - 约占受静电破坏的原件的百分之十
- 潜在性损坏
 - 器件可以操作但性能不稳定，维修次数因而增加
 - 约占受静电破坏原件的百分之九十

- 最后综合表现为功能故障甚至造成人身伤害



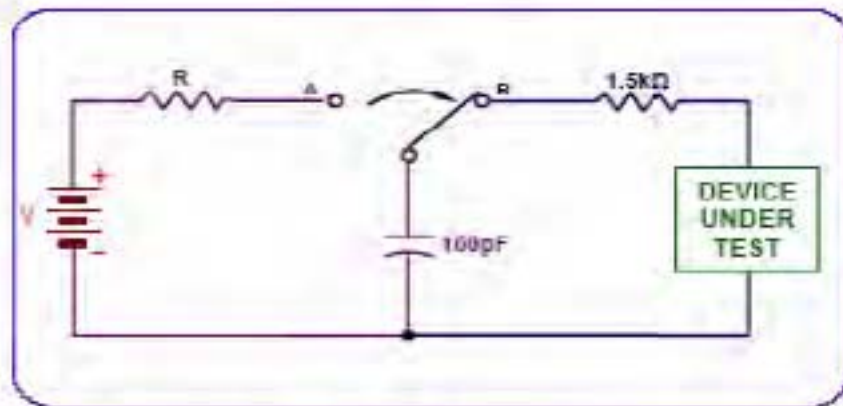
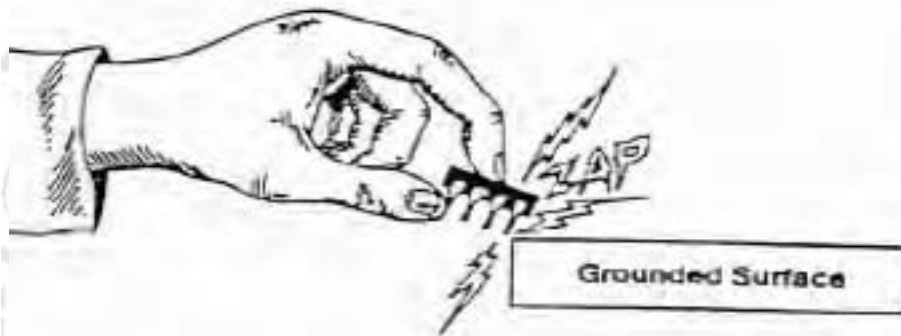
ESD对器件的危害



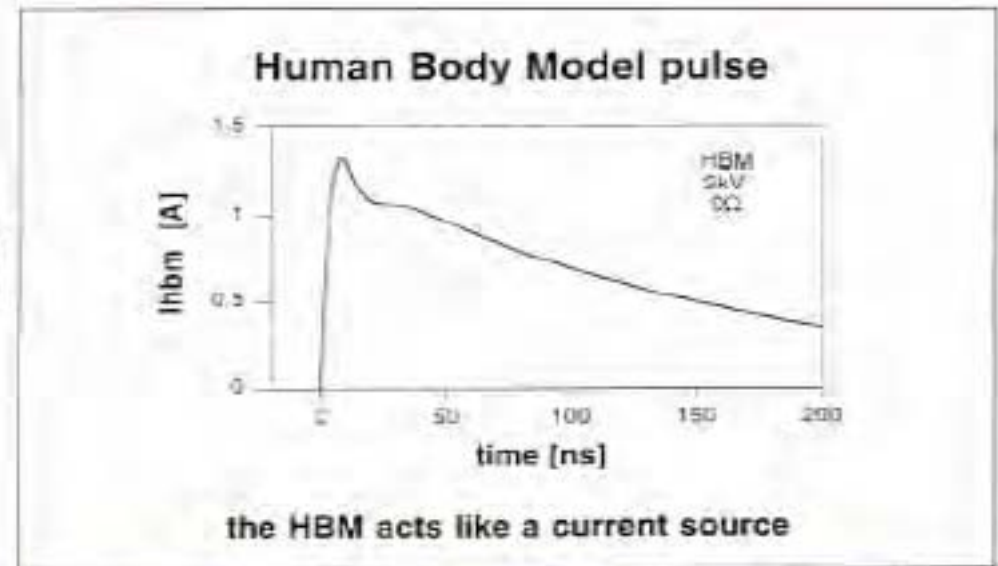
人体模型 (Human Body Model, HBM)

人体放电模型是模拟人体因走动或其他因素而在人体上累积静电後，再去碰触到器件，人体上的静电便会经碰触的脚位而進入器件內，若器件有一端接地而形成放电路径时，便会经接地脚位放电。此放电的过程会在短短数百毫微秒(ns)的时间內产生数安培的瞬间放电电流，进而将器件內的电路烧毁。对一般元件可耐受的HBM 2 kV來說，在2-10 ns的时间內，瞬间电流峰值可达1.33A。

Discharge to the Component



$C_{HBM} = 100\text{pF}$; $R_{HBM} = 1.5\text{k}\Omega$



$I_{peak} = \sim 1.3A$ (for 2000V HBM)
 $t_r = 2 \sim 10 \text{ ns}$

人体模型下的敏感度分级

Class	Voltage Range
Class 0	<250 v
Class 1A	250v to <500v
Class 1B	500v to <1000v
Class 1C	1000v to <2000v
Class 2	2000v to <4000v
Class 3A	4000v to <8000v
Class 3B	$\geq 8000v$

静电敏感器件(ESDS)分类

- ☀ 0类: 0~200V
- ☀ 1类: 0 V~1999V
- ☀ 2类: 2000V~3999V
- ☀ 3类: 4000V~15999V
- ☀ N类: 16000V以上, 非静电敏感元器件

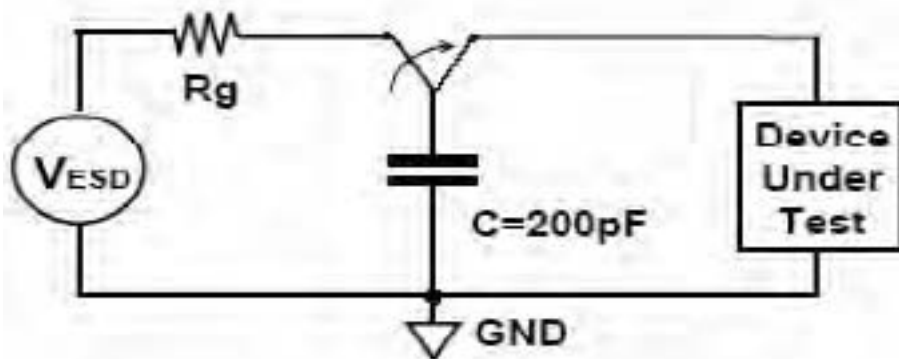
静电防护电压应小于**200V**

某通信厂家的通信设备选用的敏感器件, 其敏感性范围大多数为0类~N类共存混装于印制电路板上, 故对其的静电防护必须按**0类**静电敏感器件进行。

机器模型 (Machine Model, MM)

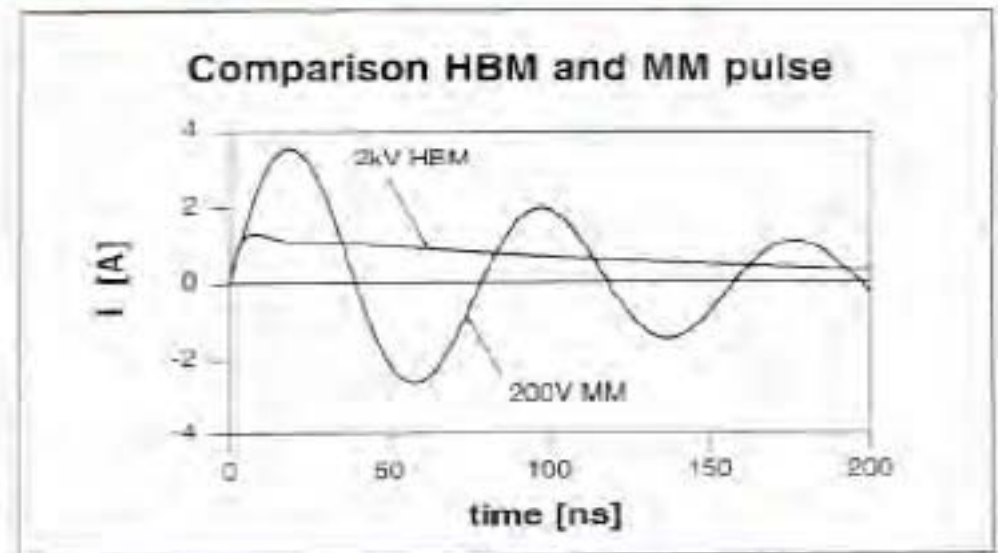
敏感器件在组装过程中，会涉及许多金属夹具，当这些金属带上静电并靠近组件时，会发生金属—组件之间的快速放电，机器模型表现出来的特征为低压高流，会直接烧坏组件本身。而且一般机器设备的电容皆远大于人体，因此可以储存更多的静电荷，所以不但造成放电的速度很快，放电电流也较HBM大了数倍，在几十毫微秒之内会有数安培的瞬间放电电流产生，因此机器放电模型对器件造成的破坏更大。

Discharge to the Component



$C_{MM} = 200\text{pF}$

$R_{MM} = 0\Omega$



$I_{\text{peak}} = \sim 3.8\text{A}$ (for 200V MM)

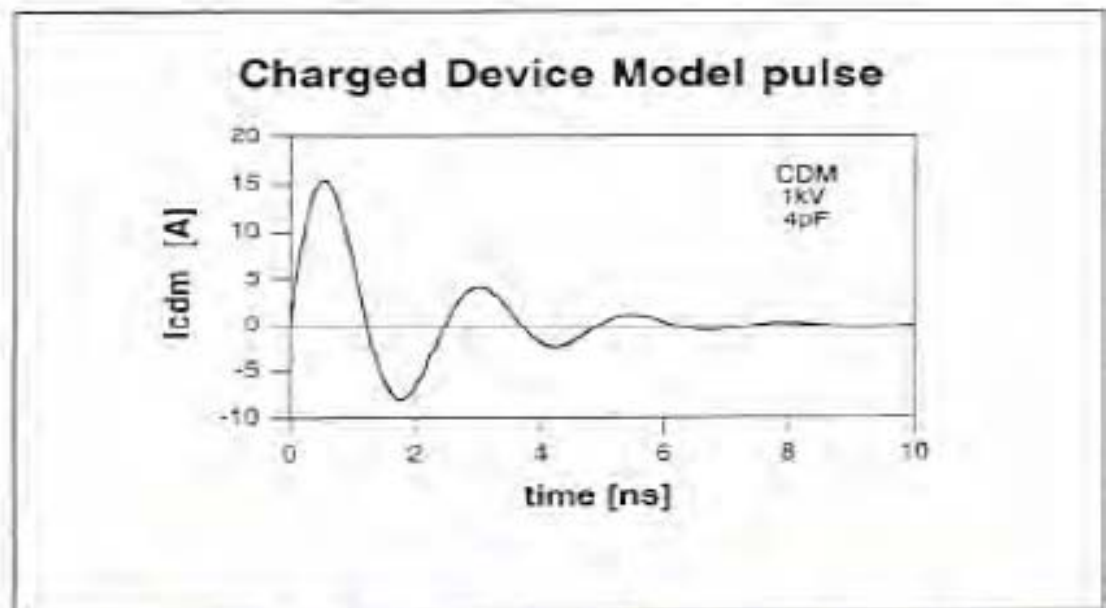
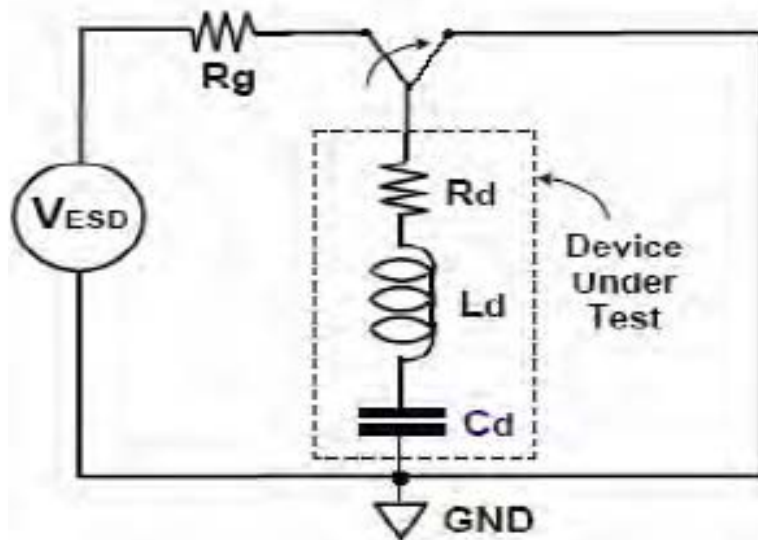
机器模型下的敏感度分级

Class	Voltage Range
Class M1	<100v
Class M2	100v to <200v
Class M3	200v to <400v
Class M4	$\geq 400v$

带电器件模型 (Charged Device Model, CDM)

■带电器件模型是指器件先因磨擦或感应等因素而在其内部累积了静电，但在静电慢慢累积的过程中器件并未损伤。此带有静电的器件在处理过程中，当其任一接脚碰触到接地导体时，器件内部的静电便会经接脚流出而造成放电现象。此种模型的放电时间更短，仅约几个毫微秒。且因为器件内部累积的静电会因对地的等效电容值而变，而等效电容值又和器件摆放的角度与位置以及器件所用的包装型式有关，所以放电现象更难真实模拟。

Discharge from the Component



$I_{peak} = 15A$ (for 1000-V CDM @ 4pF)
 $t_r < 200ps$ (for CDM @4pF)

带电器件模型下的敏感度分级

Class	Voltage Range
Class C1	<125v
Class C2	125v to <250v
Class C3	250v to <500v
Class C4	500v to <1000v
Class C5	1000v to <1500v
Class C6	1500v to <2000v
Class C7	$\geq 2000V$

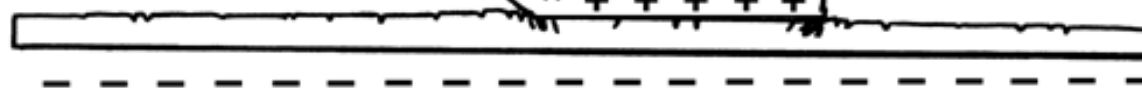
脉冲电荷比较

Discharge generated Pulses (RC)									
Application	Standard/Pulse	Vmax [V]	Duration (10-90%)	# of Pulses	Ri [Ohm]	C [pF]	Ipeak [A]	Charge	Charge relatively to HBM, JESD22-114
Component	"HBM" JESD 22-114	8000	150ns	1	1500	100	5.3	800nC	1
System	"GUN" IEC 61000-4-2	8000	120ns	10	330	150	33	1.2μC	1.5
System/Vehicle	ISO/TR 10605 inside	8000	1μs	3	2000	330	30	2.64μC	3.3
System/Vehicle	ISO/TR 10605 outside	8000	360ns	3	2000	150	30	1.2μC	1.5
Voltage generated Pulses									
Vehicle	ISO 7637: 1	-100	2ms	5000	10	-	10	20mC	25x10 ³
Vehicle	ISO 7637: 2	100	50μs	5000	10	-	10	0.5nC	6.25x10 ⁻⁴
Vehicle	ISO 7637: 3a	150	100ns	1h (3.6x10 ⁶)	50	-	3	300nC	0.375
Vehicle	ISO 7637: 3b	150	100ns	1h (3.6x10 ⁶)	50	-	2	200nC	0.25
Vehicle	ISO 7637: 5	87	40-400ms	1-10	2	-	43	1.7C	2.13x10 ⁶
Additional Discharge generated Pulses (C)									
Component	"MM" JESD22-115	400	16MHz	1	-		>8	0.8nC	1x10 ⁻³
Component	"CDM" JESD22-101	750	0.8ns	1	1		8.5-17	-	-



人体的静电充电过程（假定人体不带电）

- 人在地毯上走，鞋与地毯接触并移动，摩擦充电，电荷的正负与鞋和地毯的材料有关，电荷直到鞋存不下为止。
- 大部分回放电流流过鞋子和地毯，一小部分流过空气。较高的湿度会降低介质的电阻，增加回放电流，这意味着鞋子的充电会达到一个平衡点，在平衡点，充电电流等于回放电流，温度也会影响介质的电阻，但比湿度的影响小。
- 鞋跟上的静电电荷会产生一个静电场，在这个静电场的作用下，脚跟处会感应出极性相反的电荷，于是人体上的电荷要重新分布。人体组织，除了皮肤以外，都是十分良好的导体，因此在人体的其他部分都会产生与脚上电荷极性相反的电荷。
- 当人体接近键盘时，会在键盘上靠近人体部位感应出相反的电荷。由于设备是接地的，因此其充电过程是由电子在设备内部的地线上流动而产生的（没有接地的设备是由电荷重新分布来抵消人体电荷的）。
- 人体与键盘之间的距离越近，键盘上相反的电荷越多。键盘充电的速度与人体接近键盘的速度有关。但是即使接近速度很快，充电电流的上升速度也是很低的，因此，在放电发生之前形成的充电过程并不会对键盘的工作造成任何的影响。
- 比充电更重要的一个因素是放电之前存在与人体和设备之间的静电场。这个电场会在设备上感应出不同的电压。设备上不同部位的电压差如果太大，会造成集成电路等器件的损坏。

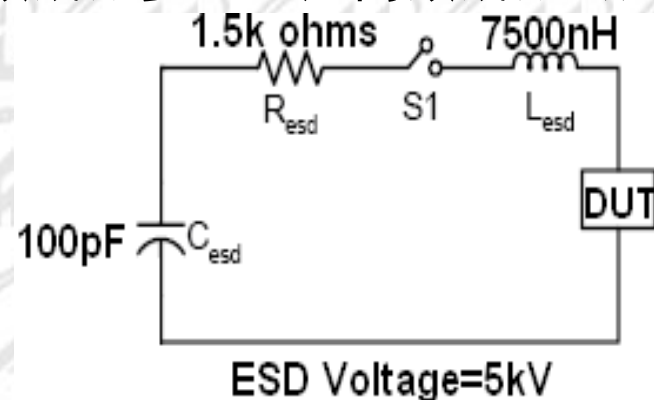


人体的静电放电过程

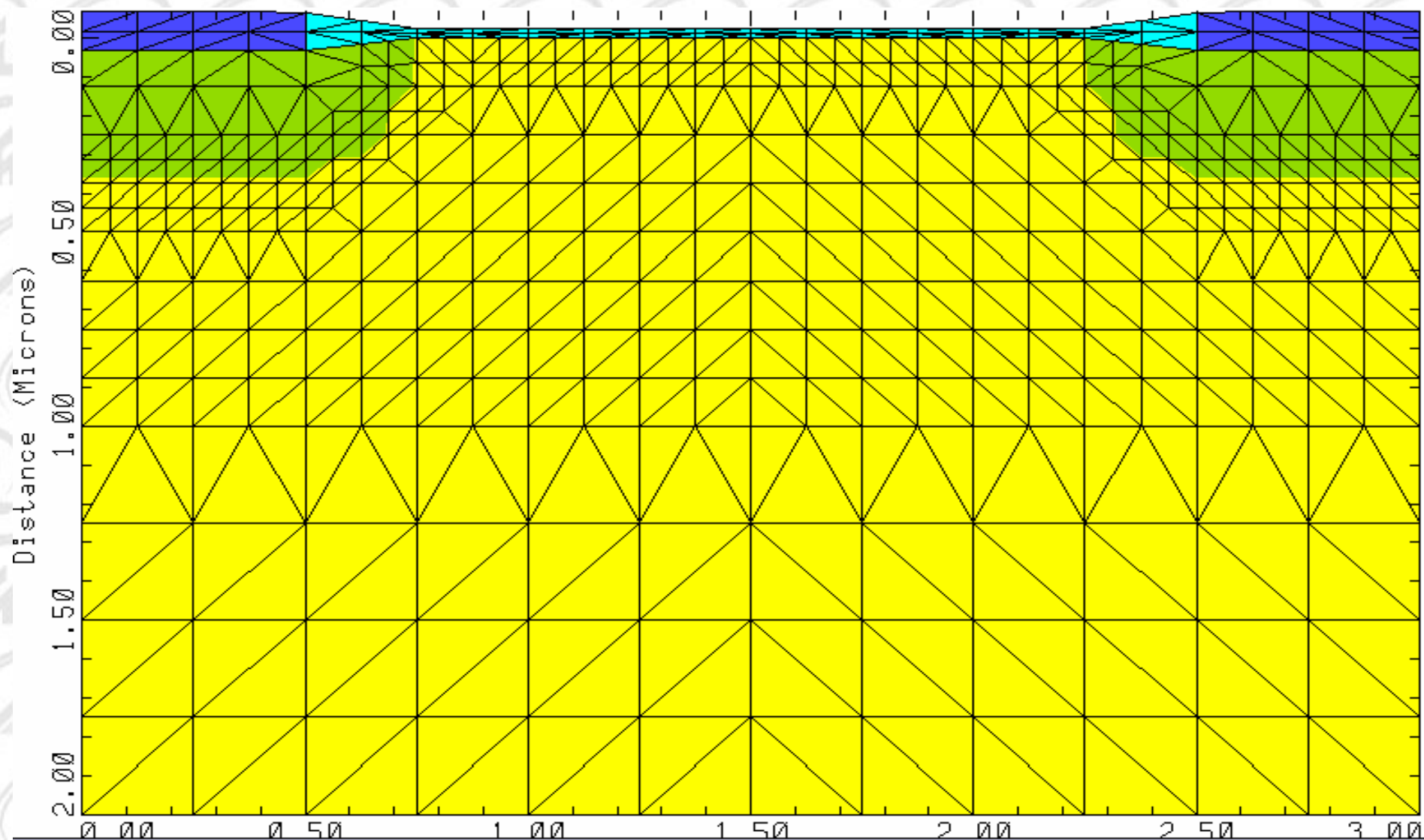
- 当人的手指靠近键盘时，手指与键盘之间的场强会很强，导致空气击穿。这首先形成一个离子导电通路，然后形成电弧，这时开始了主要的放电过程。
- 虽然在电弧发生之前手指向键盘逼近的速度并不重要，但是在电弧发生期间手指逼近键盘的速度却很重要。
- 电弧形成所需要的时间远比电弧的持续时间长。
- 由于在电弧形成过程中手指保持向键盘移动，因此快速移动时比慢速移动时形成的电弧间隙小（即使电压是相同的）。
- 因此，对于快速移动，手指与电弧间隙的电压会很高，导致更快的电流上升速率和更大的幅度，因此会产生更强的静电放电。

静电放电波形的特点

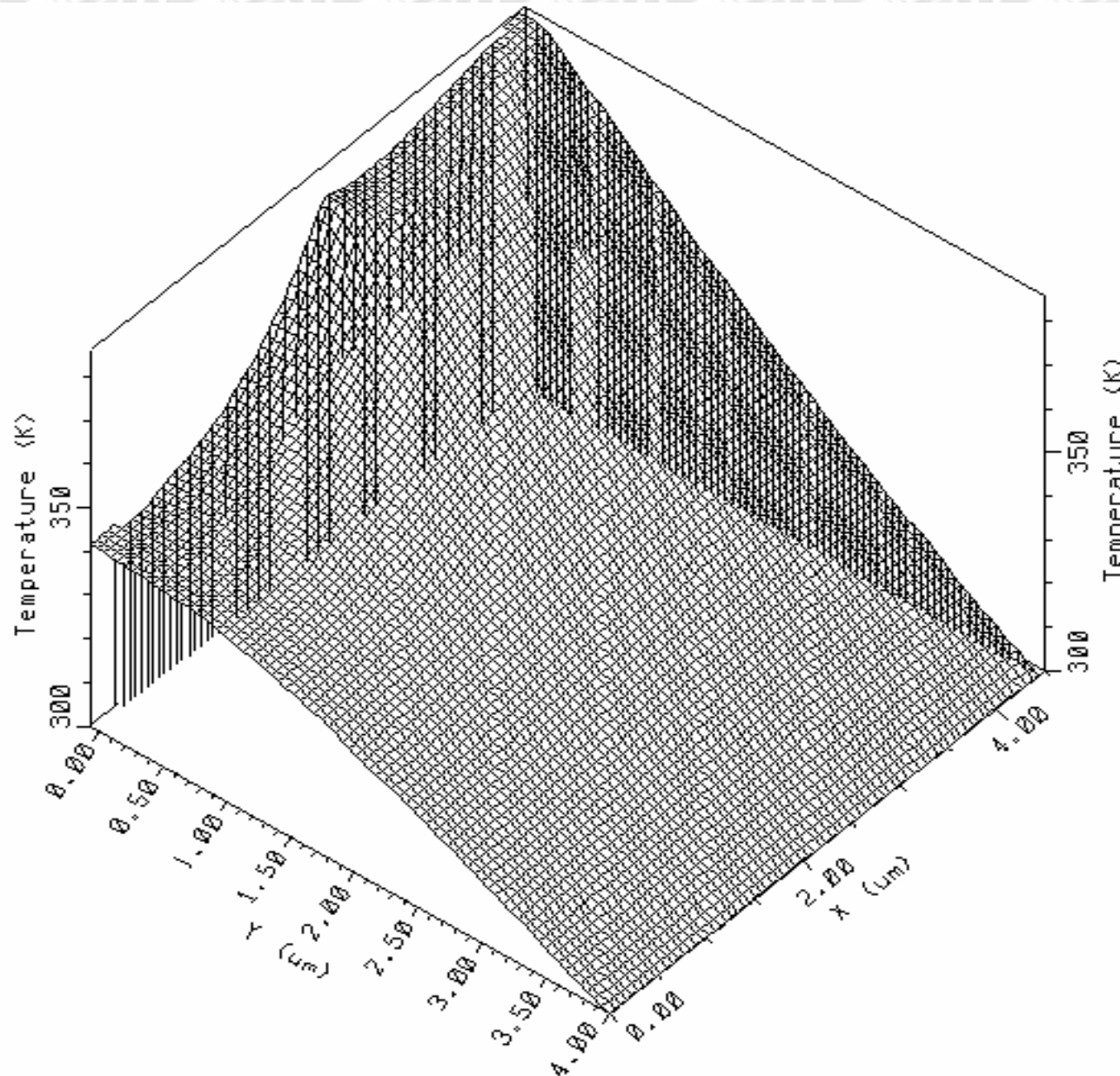
- 在这个波形中，低频成分转移的电荷比高频成分多，但是高频成分会产生更强的场。
- 由试验得出的各个参数的范围如下：
 - T_r （上升时间）=200ps~700ps
 - T_s （尖峰宽度）=0.5ns~10ns
 - T_t （持续长度）=100ns~2 μ s
- 不仅电流波形在时间特性上差异很大，而且幅度也会在1A~200A范围内变化。正是由于不同条件下静电放电的特性差异性很大，因此电子设备对静电放电的响应很难预测。静电放电时间产生的能量很大，频率很高（高达**5GHZ**）
- 产生很高的放电电压，可以达到数十千伏
- 很高的 di/dt ，放电过程会产生较强的电磁场。
- 上升时间小于1ns，频谱范围非常宽，能量上限频率可以达到5GHz。
- ESD脉冲所导致的辐射波长为几厘米到数百米，容易对电流路径上的天线产生激励，形成场的辐射发射。



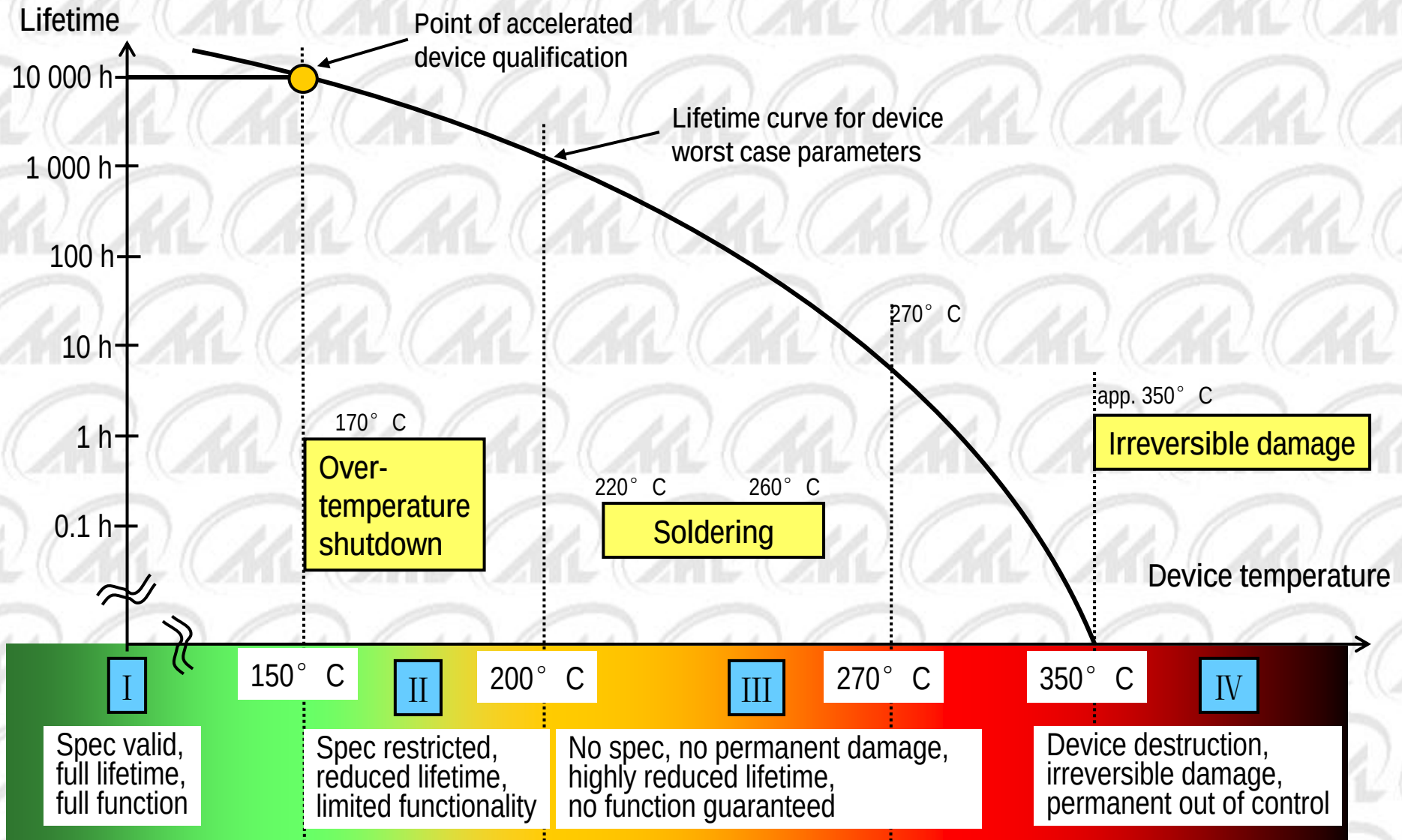
混合电路仿真的器件



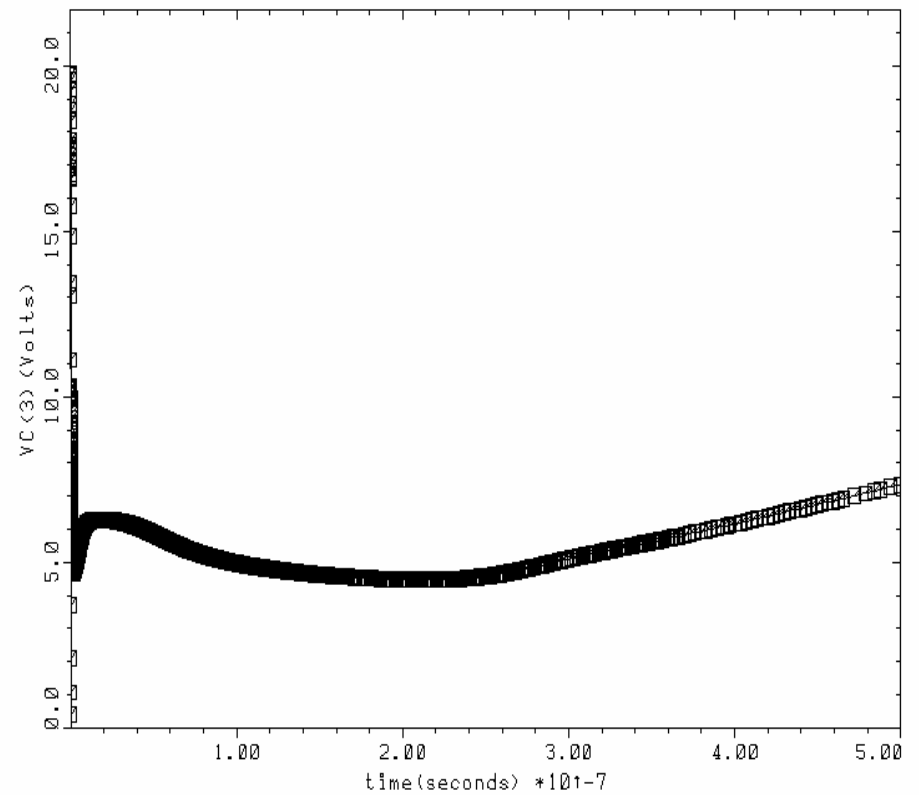
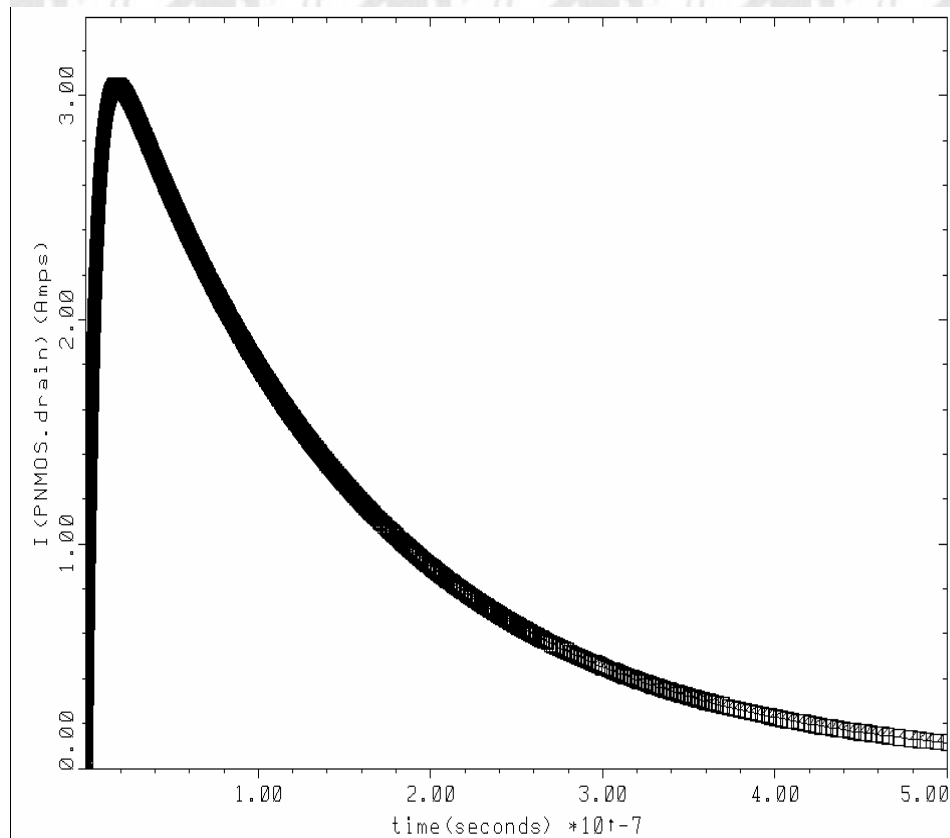
2.5E-3A/um电流下温度分布



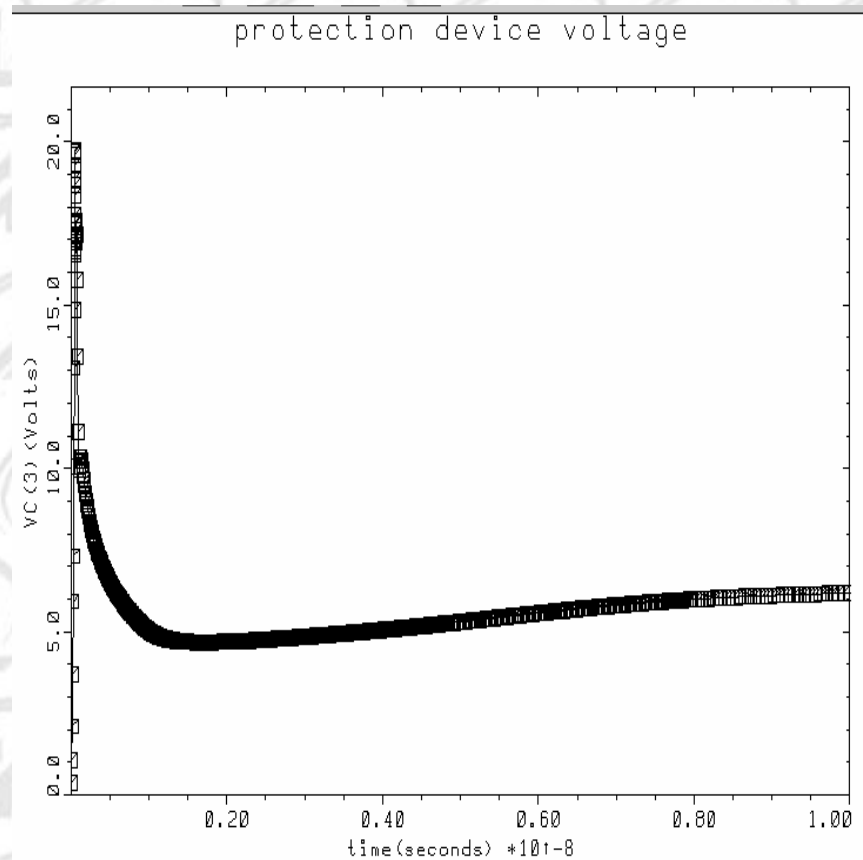
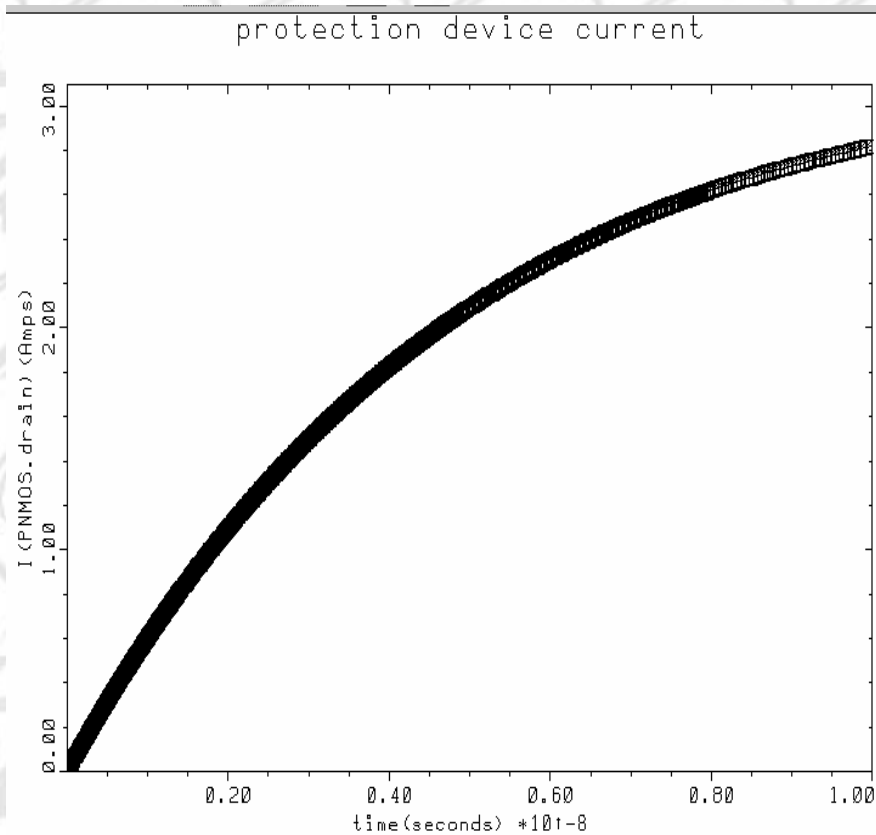
Thermal Lifetime Curve



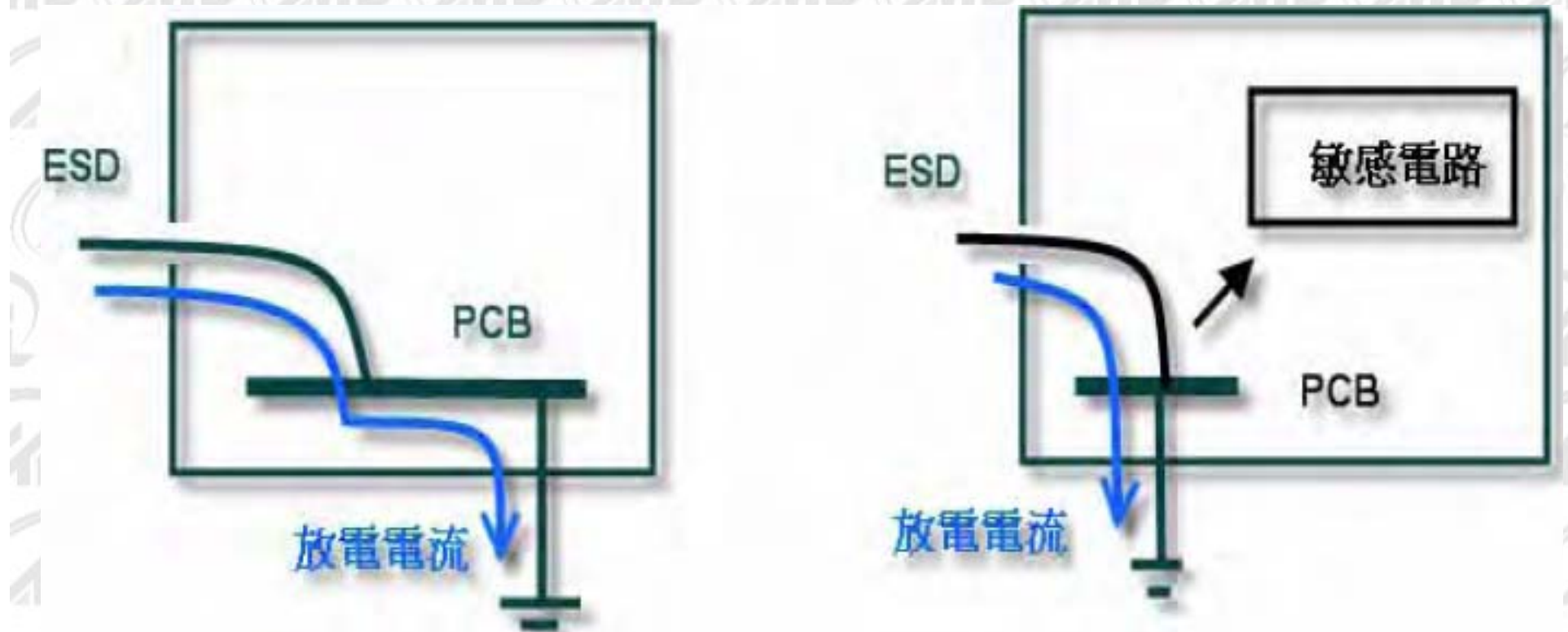
5kV的ESD情况下的I-t, V-t图



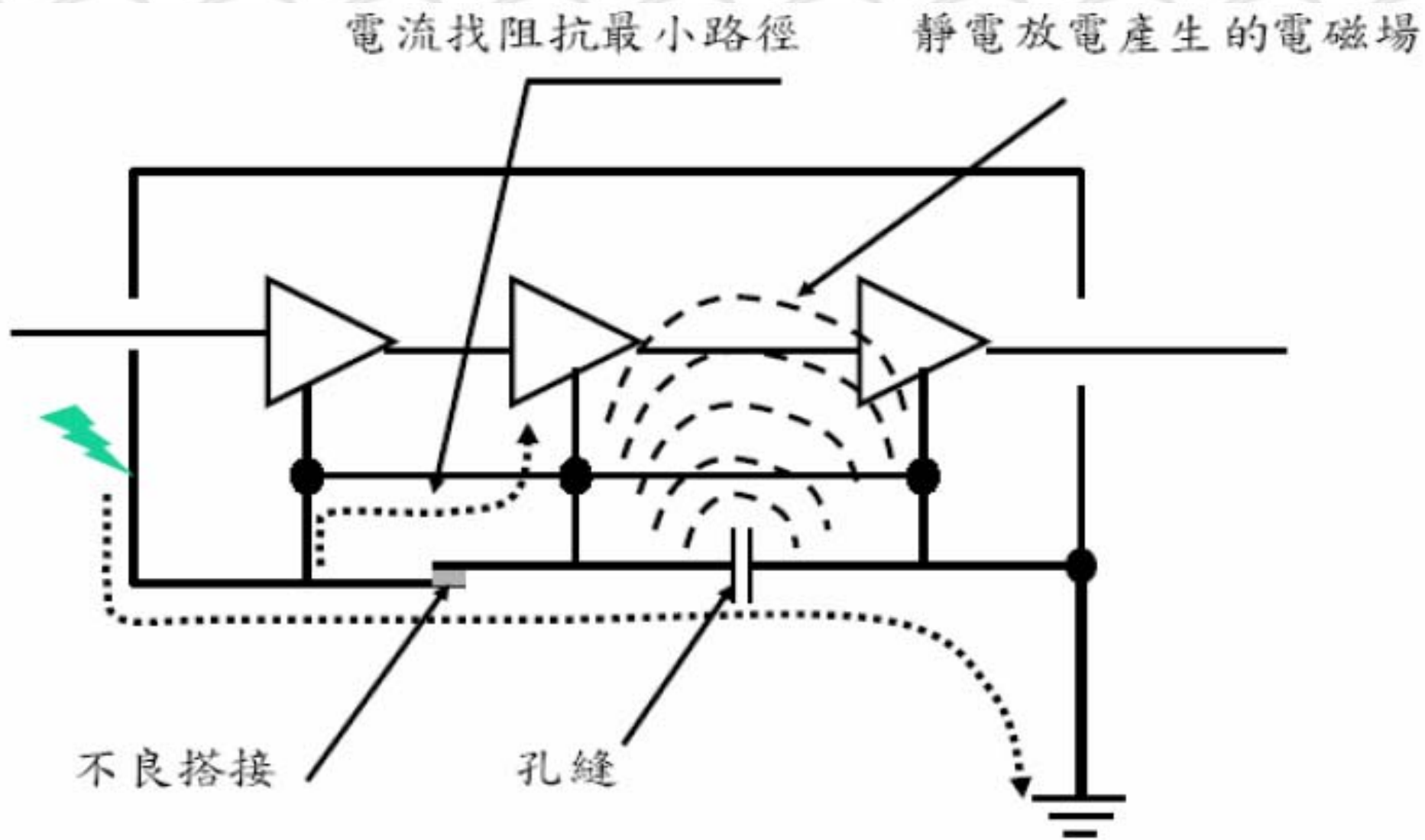
5kV的ESD情况下的I-t, V-t放大图



静电放电对设备的影响



ESD对电路工作影响的机理



电子设备ESD失效机理

- 当人们穿着化纤织物时，人体运动的充电电流约 $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{A}$ ，总的充电电荷约 $(0.1 \sim 5) \times 10^{-6} \text{库仑}$ ，人体对地的电容约 $150 \sim 250 \text{pF}$ ，若以电荷 $3 \times 10^{-6} \text{库仑}$ 计，则充电电压可达 $5 \sim 25 \text{kV}$ 。
- 人体的静电放电模型可用电阻和电容的串联来模拟，设人体电阻 $R=500 \Omega$ ，人体电容 $C=300 \text{pF}$ ，人体带静电电压 $U=10 \text{kV}$ ，则静电所含能量为： $W=1/2 (CU^2) = 15 \text{ (mJ)}$
- 尽管静电电压高达 10kV ，能量仅 15mJ ，对人体没伤害，但当人手去触摸设备的金属部分时会产生火花放电，瞬间的脉冲峰值很高，很可能对电子电路产生干扰或破坏。放电电流的峰值为： $I_P \approx U / R = 20 \text{ (A)}$ ；放电时间很短，可近似为： $T_d \approx RC = 150 \text{ (ns)}$ ，这对于MOS电路来说，则将受到致命打击。
- 硬损坏
 - 避免
- 软损坏
 - 减少
- 瞬间失常
 - 可恢复，可接受

常见半导体器件的ESD易损值

器件类型	对ESD的易损值 (V)
肖特基二极管	300~2500
肖特基TTL	1000~2500
双极晶体管	380~7000
ECL	500~1500
可控硅	680~1000
JFET	140~7000
CMOSFET	100~200
CMOS	250~3000
GaAsFET	100~300
EPROM	100

电子设备ESD失效机理

- ESD两种主要的破坏机制是

- 由于ESD电流产生热量导致设备的热失效；由于ESD感应出高的电压导致绝缘击穿。两种破坏可能在一个设备中同时发生，例如，绝缘击穿可能激发大的电流，这又进一步导致热失效。

- 除容易造成电路损害外，静电放电也极易对电子电路造成干扰。静电放电对电子电路的干扰有二种方式。

- 一种是传导方式，若电路的某个部分构成了放电路径，即静电放电电流直接侵入设备内的电路，例如人手去触摸印制板上的轨线、管脚、设备的I/O接口端子、同轴插座的芯线等等。静电放电电流流过集成片的输入端，造成干扰。
- ESD干扰的另一种方式是辐射干扰。即静电放电时伴随火花产生了尖峰电流，这种电流中包含有丰富的高频成分。从而将辐射磁场和电场，磁场能够在附近电路的各个信号环路中感应出干扰电动势。由于在很短时间内发生较大的电流变化（上例中150ns内电流变化20A），所以在信号环路中产生的干扰电动势很可能超过逻辑电路的阈值电平，引起误触发。辐射干扰的大小还取决于电路与静电放电点的距离。静电放电产生的磁场随距离的平方衰减。静电放电产生的电场可以被印制板上的轨线，设备的I/O线接收，从而产生干扰。电场的瞬时峰值很高可达几百至几千千伏/米，但随距离立方衰减。当距离较近时，无论是电场还是磁场都是很强的。因此在静电放电位置附近的电路一般会受到影响。

电子设备ESD失效机理

- ESD在近场，辐射耦合的基本方式可以是电容或电感方式，取决于ESD源和接受器的阻抗。在高阻电路中，电流信号很小，信号用电压电平表示，此时电容耦合将占主导地位，ESD感应电压为主要问题。在低阻电路中，信号主要电流形式，因而电感耦合占主导地位，ESD感应电流将导致大多数电路出现的问题。在远场，则存在电磁场耦合。
- 与ESD相关的电磁干扰（EMI）能量上限频率可以超过1GHz，取决于电平、相对湿度、靠近速度和放电物体的形状。在这个频率上，典型的设备电缆甚至印制板上的走线会变成非常有效的接收天线。因而，对于典型的模拟或数字电子设备，ESD会感应出高电平的噪声。
- 使设备产生损坏比导致它失常所必需的电压和电流要大一至两个数量级，损坏更有可能在传导耦合时产生。这就是说，造成损坏，ESD电火花必须直接接触电路线，而辐射耦合通常只导致失常。
- 在ESD作用下，电路中的器件在通电条件下比不通电条件下更易损坏。

静电放电可能产生的后果（ESD试验）

- 直接通过能量交换引起半导体器件的损坏。
- 放电所引起的电场与磁场变化，造成设备的误动作。
- 对不同试验结果，可以根据该产品的工作条件和功能规范按以下内容分类：
 - A：技术要求范围内的性能正常；
 - B：功能暂时降低或丧失，但可自行恢复性能；
 - C：功能暂时降低或丧失，要求操作人员干预或系统复位；
 - D：由于设备（元件）或软件的损坏或数据的丧失，而造成不可恢复的功能降低或丧失。
- 符合A的产品，试验结果判合格。这意味着产品在整个试验过程中功能正常，性能指标符合技术要求。
- 符合B的产品，试验结果应视其产品标准、产品使用说明书或者试验大纲的规定，当认为某些影响不重要时，可以判为合格。
- 符合C的产品，试验结果除了特殊情况并且不会造成危害以外，多数判为不合格。
- 符合D的产品判别为不合格。
- 符合B和C的产品试验报告中应写明B类或C类评判依据。符合B类应记录其丧失功能的时间。

放电时电磁场的影响

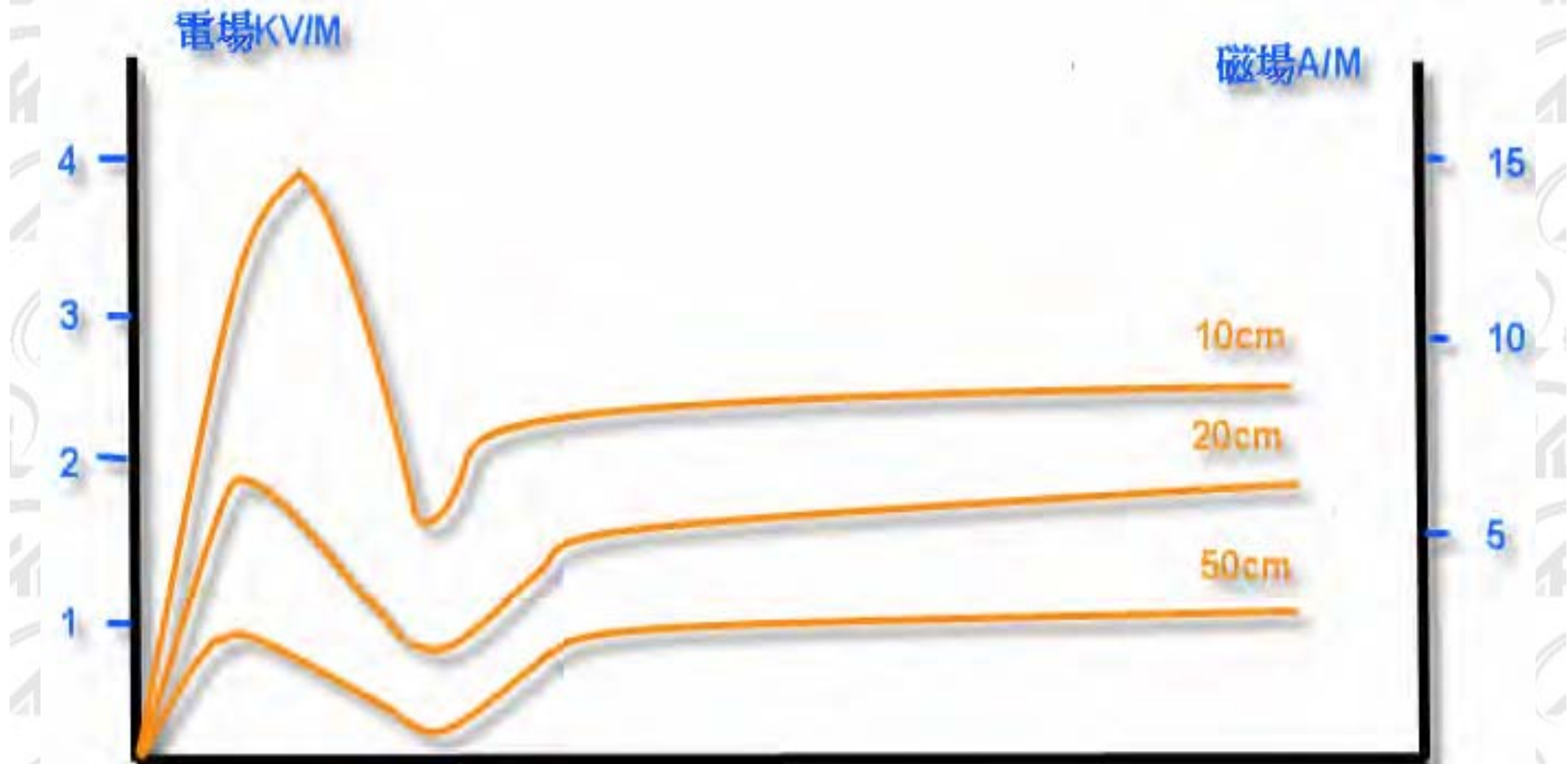


Microsoft Word
Document

- 当放电电流在系统内部流动时，会对电流路径上的许多天线产生振荡。这些天线的辐射效率主要取决于天线的尺寸。
- 静电放电产生的频率的波长可以在数厘米至数百米的范围内。由于四分之一波长天线时效率最高的（即使1/16波长的天线，其辐射也是十分可观的），因此1.5cm-150m长的导线都可以是高效的天线。
- 实际设备总会有各种各样的开口，即使没有开口，不同部分结合处的缝隙也总是存在的，并且通常电缆是与金属板连在一起的。金属板与连到大地电缆共同构成一个环天线，缝隙天线和直线天线的组合（更复杂的系统会包含更多的天线）。
- 场不仅会对系统内的电路产生直接的影响，而且还会产生间接的影响。这是通过场在导体上感应出电流或电压，然后导体将电流或电压传导到场本身达不到的地方。
- 一个典型的例子是场在电缆屏蔽层上感应出电流。如果电缆屏蔽层没有良好的端接，感应电流会穿进本来屏蔽良好的机箱。这时，尽管原始的场不能穿透机箱，但通过电缆上的感应电流，场还是会对机箱内的电路造成影响。



4kV静电放电产生的磁场

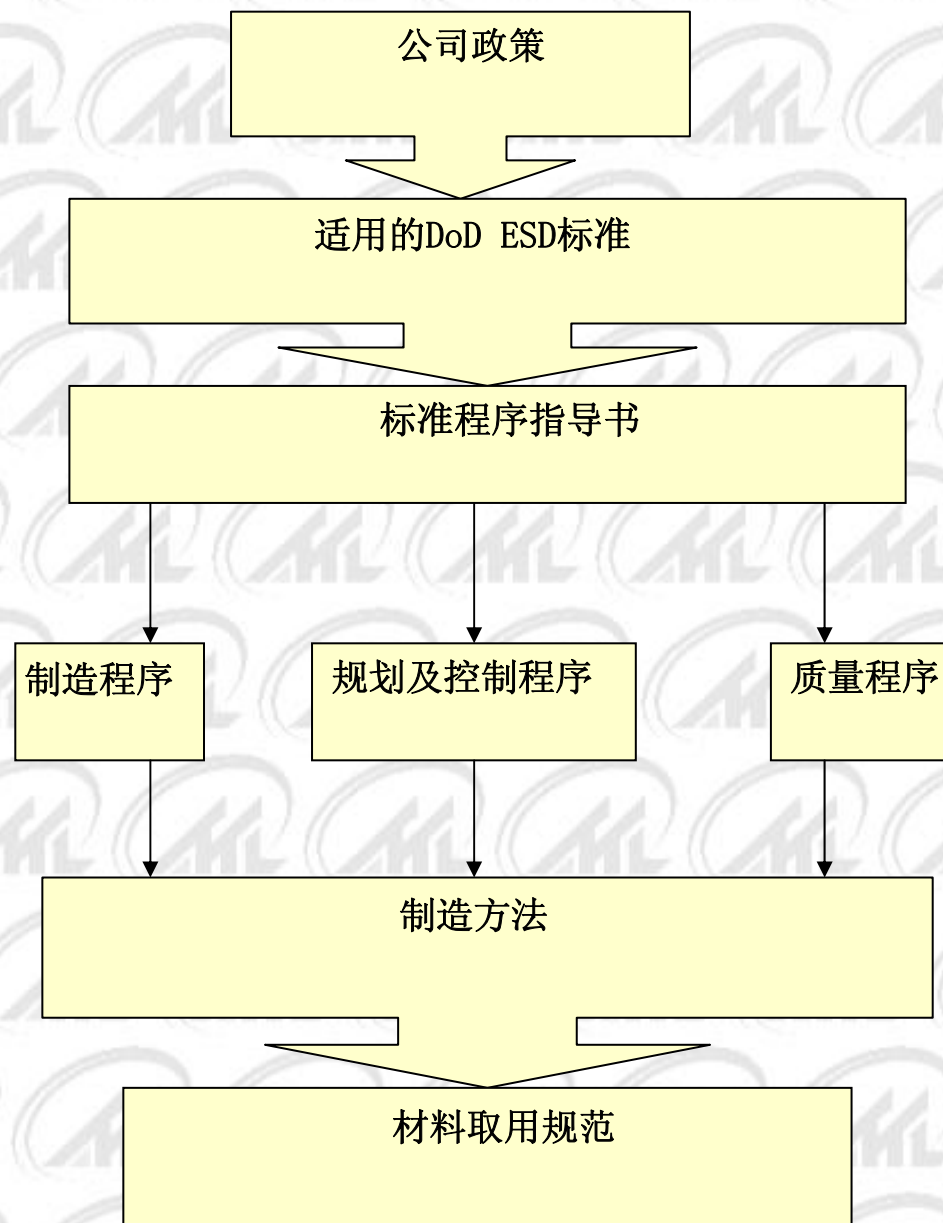


场感应模型 (Field Induction Mode, FIM)

- 当一个器件处于静电场中，其内部将感应出电势差。此时，当某一管脚与地相碰时，器件就会对地放电。这称为电场感应模型
- 无接触式，用以测试器件对电感破坏的敏感性。
- 尚未成为被广泛接受的标准。
- 与CDM模型互补。
- 有些CDM测试包含此类测试，但未以FIM命名，有些则命名FCDM

静电防护的主要目的及实施

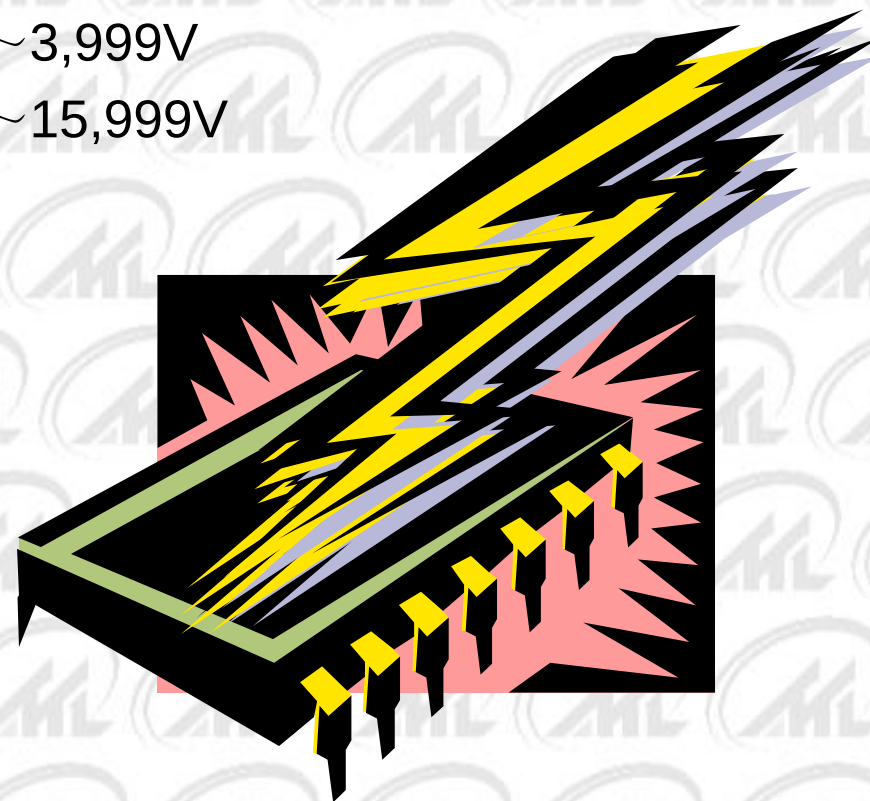
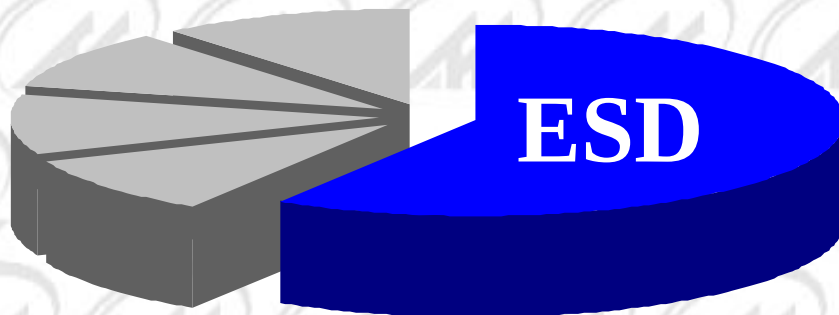
- 一、增加生产量（Increased Yields）
- 二、节省成本（Cost Saving）
- 三、产品可靠性较佳（Better Product Reliability）
- 四、产品寿命较长（Extended Usage Life）



电子元器件的敏感度

- 视电子电路特性不同，不同电子组件对静电的敏感度亦有不同。
- 电子组件根据对ESD的敏感度区分ESDS的等级。例如，DoD-STD-1686将组件对ESD的敏感度区分为三级：
 - Class1-组件敏感度从0~1,999V
 - Class2-组件敏感度从2,000V~3,999V
 - Class2-组件敏感度从4,000V~15,999V

半导体破坏率：59%都是由静电引致的



电子元器件的ESD敏感度

元器件型式	对ESD的敏感范围		
VMOS	30	to	1,800
MOSFET	100	to	200
GaAsFET	100	to	300
FEPROM	100	to	
JFET	140	to	7000
SAW	150	to	500
Opamp	190	to	2500
COMS	250	to	3000
Sxhottky Diodes	300	to	2500
Film ResistorS(Thick/Thin)	300	to	3000
Biplor TransistorS	380	to	7000
ECL(PCB Level)	500	to	15000
SCR	680	to	1000
Schottky TTL	1000	to	

具体做法

- 很多公司不愿做分级试验，原因是所费不赀，变通的办法是将他们的产品规格订在最敏感的一级-Class1。
- 因此，他们的工件区域须按处理最敏感组件要求标准设计。
- 有些公司也可能被供货商要求采纳及执行分级试验，例如MIL-STD-883。
- 为适应MIL-STD-1686规范，这些做法是可以接受的。

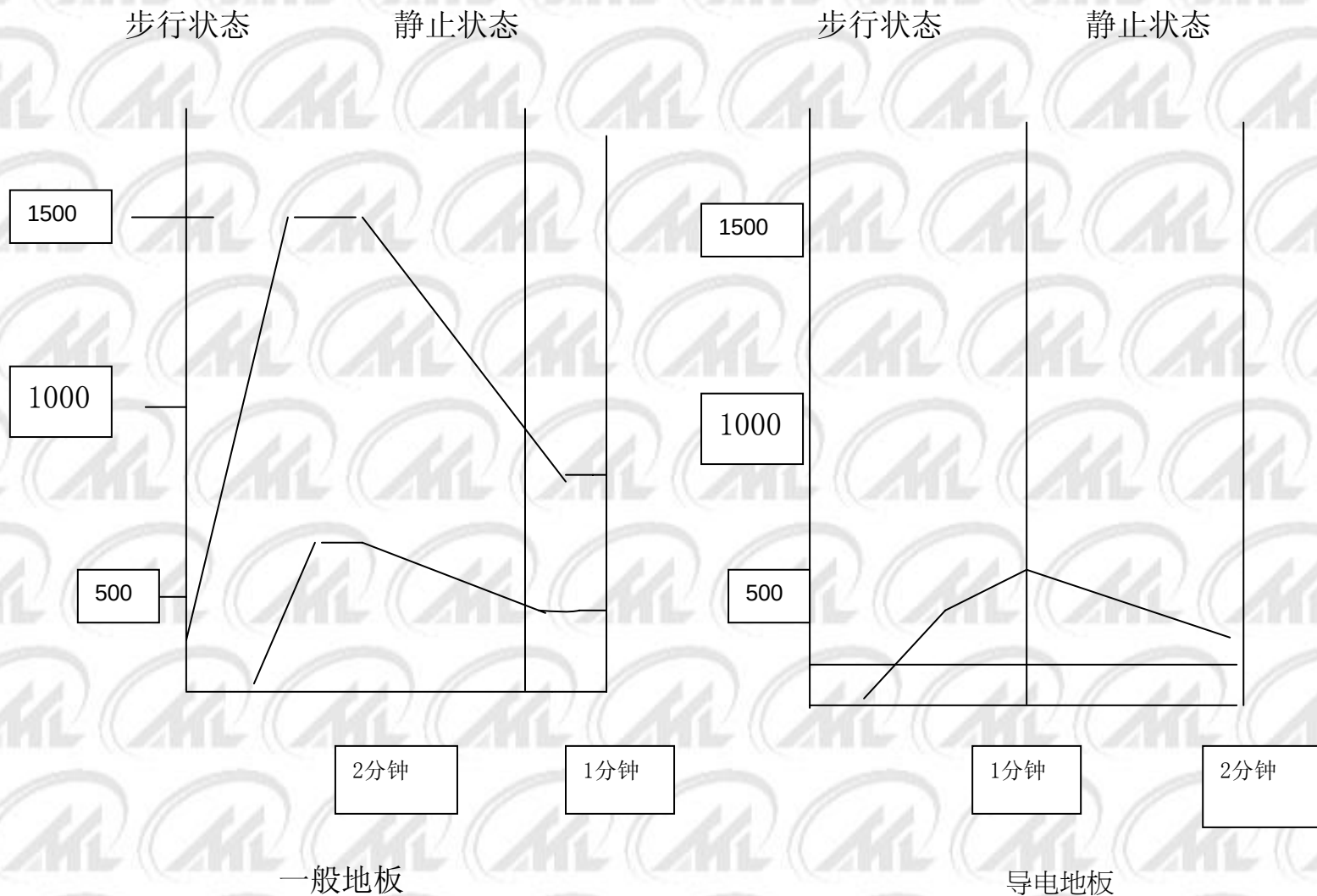
电子信息产业静电的产生与防制

工作表面	打腊、油漆或平滑表面	导电垫
	玻璃	导电胶垫
	一般胶垫	导电枱面
	未接地的金属	抗静电工作枱
地板	混凝土	导电地板
	打腊	导电地毯
	光滑木板	抗静电板
	聚乙烯地板	
衣服	无尘室工作服	导电腕带
	合成外衣	导电鞋带
	绝缘鞋	抗静电服、罩衫
	绵质衣服	手套及鞋子
座椅	光滑地板	导电椅套
	未接地的金属	导电的椅子并接地
	聚乙烯	
	玻璃纤维	
包装、处理 及储存	塑料、包裹、信封	静电防护罩
	气泡袋	导电包装材料
	塑料盘、塑料零件盒、玻璃瓶、零件箱、箱架	导电零件盒、箱
装配、清洁、测试或修护场所	空气喷枪	特殊的清洁器具
	除锡枪	抗静电、导电除锡
	未接地的焊枪	电焊枪接地
	毛刷、室内高速流动的空气、电热枪及吹风机	抗静电的器材

规格

表面阻抗	鞋底: $1.0 \times 10^4 \Omega < R < 1.0 \times 10^6 \Omega$
体积阻抗	$1.0 \times 10^6 \Omega - 1.0 \times 10^8 \Omega$
聚集电压	A. 导电地板 - 步行状态: 40V
	- 静止状态: 20V
	B. 非导电地板 - 步行状态: 500V
	- 静止状态: 20V
静电消散时间 (5KV)	0.01秒
韧性	良好

静电防护对人体的效果（测量到的电压）



静电防护

■ 四大原则

- 1 环境控制
- 2 人员控制
- 3 包装材料控制
- 4 人员训练

■ 基本方法

□ 1.接地

- 接地就是将静电通过一条线的连接放入大地，这是防静电措施中最直接最有效的。

■ 导体常用的接地方法有：带防静电手腕及工作表面接地等。

□ 2.静电屏蔽

- 静电敏感元件在储存或运输过程中会暴露于有静电的区域中，用静电屏蔽的方法可削弱外界静电对电子元件的影响。最通常的方法是用静电屏蔽袋作为保护。

□ 3.离子中和

- 绝缘体往往是易产生静电的，对绝缘体静电的消除，用接地方法是无效的，通常采用的方法是离子中和，即在工作环境中使用离子风机，离子气枪。

常用的防静电用品



佩带时应紧贴皮肤！

腕带



双脚都须穿带！

脚带



应无破损，扣紧

静电服

其他：静电鞋
手套/指套

常用的防静电用品



防静电地板



防静电台垫

常用的防静电用品

■ 静电防护包装



静电屏蔽袋



防静电袋

常用的防静电用品

■ 离子中和设备



离子风机

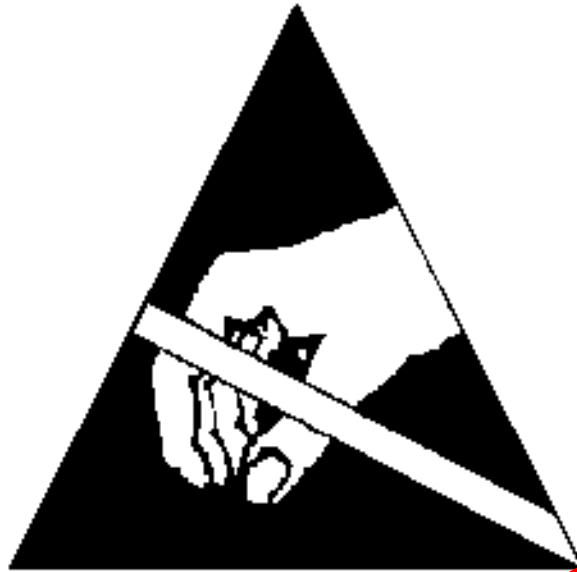


离子风机



离子风枪

防静电警示标志



对静电敏感不得接近

ESD敏感标志



防护措施已到位

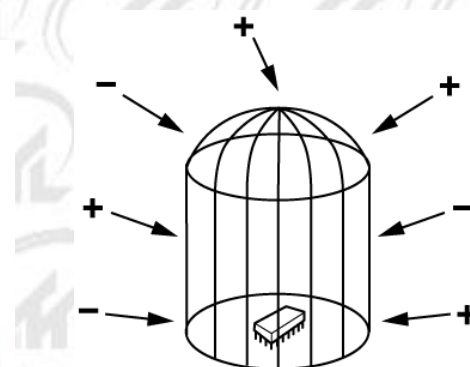
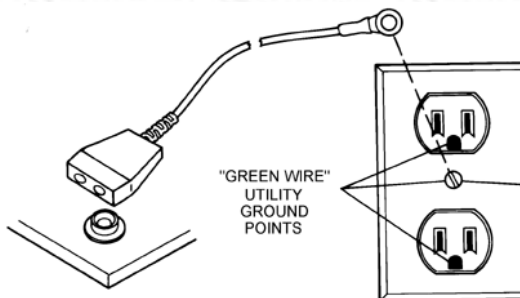
ESD保护标志

员工静电防护要求

- 进入防静电区域必须按规定穿好防静电工作服和防静电鞋。
- 接触静电敏感元器件前必须按规定戴好接地腕带或接地脚带，并通过了相应的静电测试。
- 易产生静电的物品禁止带入防静电区域内。
- 静电敏感元器件的搬运、储存及分发必须存放在防静电包装内。
- 只有在采取了相应的防静电措施后才能打开防静电包装。
- 防静电区域内使用的手推车及货架必须有妥当的接地装置
- 防静电工作服,工作鞋禁止穿出工作区域,并按规定定时清洗
- 防静电工作表面的清洗须使用静电防护人员认可的清洗剂
- 任何静电防护过程中出现的问题,请及时与静电防护管理人员联系

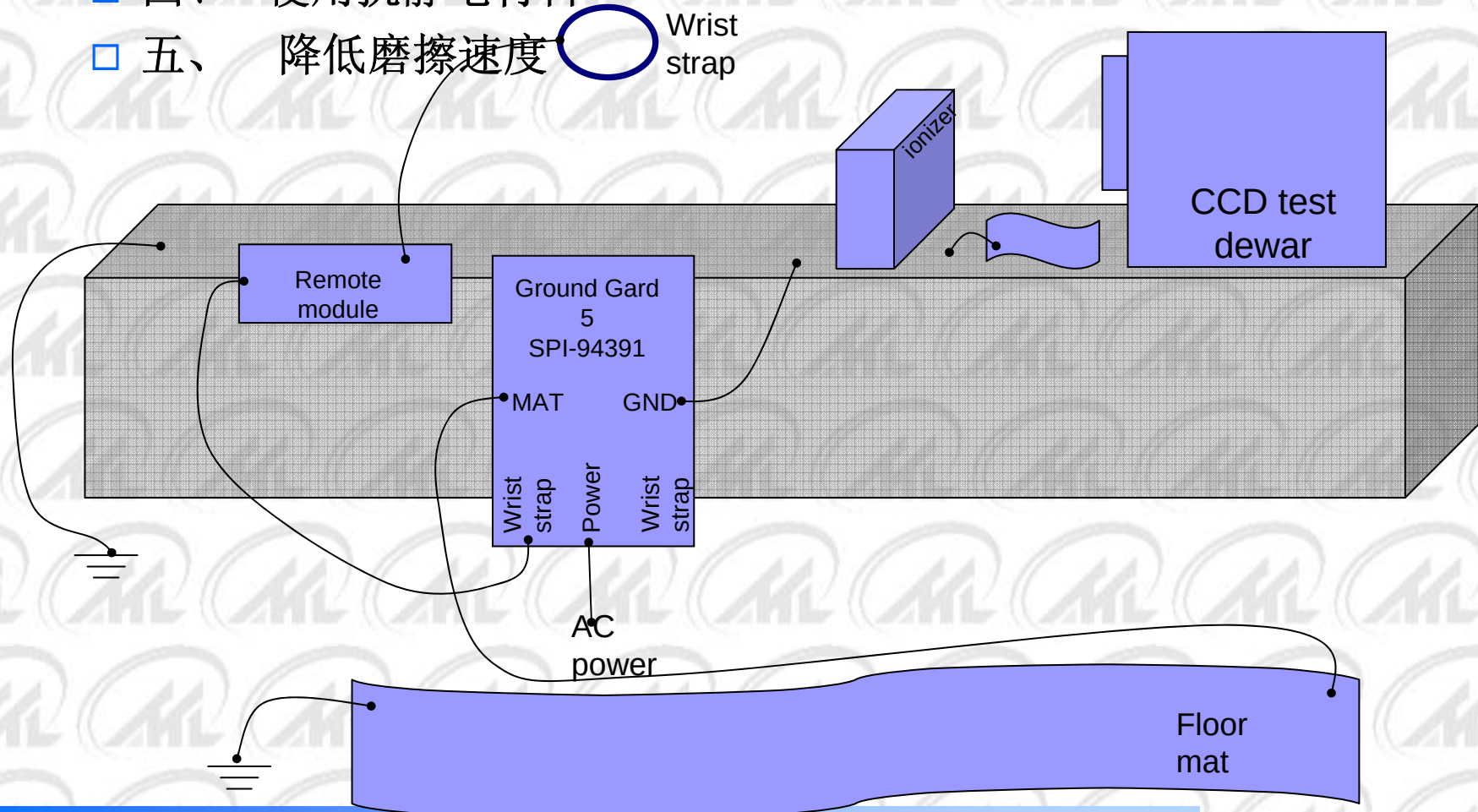
电子工作区静电防护

- 1. 静电防护标语：进入静电防护区之门口挂有“注意防静电防护区，未经许可不得进入”明确表示静电防护之重要性。
- 2. 人员防护
 - 静电手环
 - 防静电无尘衣帽
 - 静电手套
 - 静电指套
 - 静电鞋或导电鞋
- 3. 工作环境
 - 防静电桌垫
 - 防静电地板或导电地板
 - 防静电椅或导电椅
 - 静电消除器
 - 手推车加金属练条
- 4. 包装材料
 - 防静电袋
 - 防静电或导电箱盒
- 5. 品管设备
 - 静电压测试器
 - 表面阻抗器
 - 手环测试器



静电消除方法

- 一、 接地
- 二、 增加湿度
- 三、 使用静电消除器
- 四、 使用抗静电材料
- 五、 降低磨擦速度



静电接地的目的与分析

■ 静电接地的目的

□ 静电危害防制技术中静电接技术是最有效且经济的防制措施，其目的如下：

- 防止物体储存电荷成带电体
- 防止邻近带电体附近的物体产生静电感应

■ 电机工程接地与静电接地比较表

	电机工程	静电
电阻	低 $1\Omega \sim 1k\Omega$	很高 $> 10^8\Omega$
电压	低 $1V \sim 500V$	高 $100V \sim 100kV$
电流	较高 $1mA \sim 10mA$	很低 $1pA \sim 1mA$
电源	电压源	电流源
接地电阻值	低 $< 100\Omega$	高 $< 10^6\Omega$

静电防护设备要求（静电对地电阻表）

接地物类别	状况描述	最大接地电阻值
一般导体 如：机器设备		$10\ \Omega$
大型固定导体	一般而言，固定导体本身已做到接地，若有绝缘物阻隔无法达到 $10\ \Omega$ 要求，则必须额外做接地。	$10\ \Omega$
金属管路	一般而言，金属管路本身已做到接地，管路间若有绝缘物阻隔无法达到 $10\ \Omega$ 要求，则必须额外做接地。	$10\ \Omega$
导体运输设备 如：金属容器	一般而言，无法达到 $10\ \Omega$ 要求，则必须额外做接地。	$10\ \Omega$
与非导体组合之导体设备 如：旋转轴	非导体与导体组合之对地电阻须要 $< 10^6\ \Omega$	$10^6\ \Omega$
抗静电材料 如：鞋子、衣服		$10^6\ \Omega \sim 10^8\ \Omega$

静电安全接地系统故障分析表

检核项目	查核内容	故障原因	查核方法
断线检查	1. 接地导体有无断线 2. 接地电极与接地导体有无断线	雷害震动、腐蚀、外物碰触	裸线：目视法 绝缘线：电表量测电阻 ($< 10\ \Omega$ 才无断线)
连接器检查	1. 夹具与接地端子确实连接 2. 螺丝有否松脱	震动、锈蚀、弹簧弹性疲乏	目视法 电表量测
电极腐蚀	接地电极是否腐蚀	自然腐蚀、电蚀	接地电阻测定

ESD稽核检查表

■ 采购

- ☐ 采购清单上是否有适当的ESD要求。
- ☐ 是否向质量经认可的ESD产品供货商采购。
- ☐ 是否保持最新的ESD认可供货商清单。
- ☐ 是否要求供货商指定的包装、标示及正确发票。
- ☐ 是否可由外包装或（及）发票确认其为ESDS组件。
- ☐ ESDS组件与非ESDS组件是否分区堆放。
- ☐ 检查ESDS组件的包装与标示是正确。
- ☐ 开启ESDS包装的区域是否配置适当的ESD防装设备（如桌垫、腕带等）。
- ☐ 内含ESDS组件的包装，是否在ESD指定区由经过训练且接地良好的人员开启。
- ☐ ESDS组件是否装在保护包装内运送至仓库及工作区。
- ☐ 进料检验员是否有对任何不当标示或不当包装的组件开立问题标签，并将缺点报告品保、采购、及组件工程部门。

■ 运送

- ☐ ESDS组件是否只在有ESD保护的工作台由经过训练且接地良好的人员取用。
- ☐ ESDS组件是否有正确的标签与保护包装

ESD稽核检查表

■ 存储

- ☐ ESDS组件是否在ESD保护袋内保存与配发。
- ☐ 存于ESDS组件的储存盒或货架是否有贴识别标签。
- ☐ 在Kitting及Staging区是否执行ESD程序。

■ 工程发展

- ☐ 所有工程发展实验室内是否执行ESD程序。
- ☐ 设计中所有用到的ESDS组件是否都被确认，设计工程师与采购所用的ESDS料件表是否随时更新。
- ☐ 符合性能要求前提下,所选用的料件是否能提供最大的ESD安全性。
- ☐ 总成的最低层次是设计有ESD保护线路。
- ☐ 是否有对ESDS总成/模块进行线路分析，以决定ESD防护到达的层次。
- ☐ 所有设计审查是否都考虑到ESD设计，与ESD防治程序是否有一致性。
- ☐ 工程图及相关的工程文件是否按MIL-STD-129或按合约要求标注ESDS电子组件的符号，及ESD警告记号。
- ☐ 硬件是否也贴有ESDS组件符号及警告标签。

ESD稽核检查表

■ 制造与制造工程区

- ☐ 在此全区内是否设置ESD指定区及工作台。
- ☐ B. 在此区域内的作业员是否受过使用ESD工作台及取用ESDS组件程序的完整训练。
- ☐ C. 所有制造装备是否正确接地。
- ☐ D. 每一个工作台是否都有ESD防护料件（如袋、乳胶泡棉、箱等）可用，ESDS组件在这些区域内传送时，是否都装在防护包装内。
- ☐ E. 必要的特殊ESD防治装备，如导电地板、导电外衣、湿度控制、离子产生器等，是否都适当完成。
- ☐ F. ESD区域是否有明显的警告标示，进出此区域的人员是否都受过初步训练。

■ 生产测试及测试工程

- ☐ 在测试及烧机区是否完成ESD工作台。
- ☐ B. 测试区内的静电源是否完全清除。
- ☐ C. ESD防治措施是否完成。
- ☐ D. ESDS组件传送至下一工区时，是否装在防护袋内。
- ☐ E. 当施加工作电压时，作业员的接地是否解除。

ESD稽核检查表

■ 品控部门

- ☐ 正规的质量稽核是否依照ESD防治程序进行。
- ☐ 供货商质量稽核供货商是否按ESD规定？
- ☐ ESD工作台是否经QA确认。
- ☐ 质量部门是否按时稽核ESD训练计划？
- ☐ 工程图是否有正确的ESD警告条文或警语。

■ 可靠度工程

- ☐ 与ESD故障有关的数据库是否经常维护，问题范围与故障趋势所需的调查与矫正措施是否向ESDS委员及QC报告。
- ☐ 可靠度部门与工程发展部门是否共同分析、侦测、及分类与ESD有关之组件/总成失效或性能减损，并在硬件设计中加入ESD防治需求。
- ☐ 可靠度部门与测试工程部门是否共同分析/测试ESDS组件、模块、及总成，以对它们的ESD敏感度进行分类。

人员训练

- 工程师训练

- 工程师为工厂主要技术来源与改善者，每位工程师必须具备各种静电产品知识，以便于教导操作人员对静电防护概念。

- 操作人员训练

- 操作人员最直接接触电子零件，必须要具备最基本概念，以及每项静电产品正确使用。

- 先前所提，凡是取用、组装、测试ESDS零组件/总成的作业地区，我们称之为『ESDS指定区』（ESDS Designated area）。人员训练初期的对象，包括经核准能在此区域内工作、清洁、检修设备，甚至可能通过此区域的所有人员。为何如此多的人员都需要纳入训练？因为，即使我们采取了所有与ESDS组件有关的预防措施，只要有这些组件，或是将某些对象放置在这些ESDS组件上，那将危及整个工作及投资，使得原已成功运作的计划功亏一篑。

- 最容易违反ESD规定的人员是主管与工程师。必须要让他们了解，他们手指所带的静电量，与在联机操作的人员一样多。很明显，所有人员都需要接受ESD训练，只是依工作性质不同，所需接受训练的程度不同。未接受过ESD训练的人员，不允许进入『ESDS指定区』。为了便于管制这些区域，每一位员工都需配戴明显可见的识别标志，用以辨认其接受了何种等级的训练。例如，在识别证上粘贴不同颜色的贴纸。正式的训练，必须让每一位员工都能有正确的ESD防护知识，并建立标准程序。现您已了解ESD训练的一般概念，我们再进行进一步详细说明。

初级训练

- 『初级训练』（Awareness Training）的施训对象是不直接取用『未包装/无保护』之ESDS组件的人员，属于『知道了』的训练。对象只有主管、清洁人员、行政事务人员、搬运已包装妥当组件的临时搬运人员等，这些人都有机会进入ESDS管制区，接触到ESDS组件。此类训练可利用录像带教学。此等级的录像带避免高深的ESD理论，只需强调违反ESD规定可能造成的严重后果，以及他们的工作应增加那些步骤或注意事项，以配合ESD防治措施。
- 初级训练应让受训人员清楚了解用于识别ESDS零组件及区域的警告标志与标识，告知基本限制事项，如『切勿碰触未经包装的组件』，并告知他们可供采取的ESD防护方法（如腕带等）。此项训练至少需20至30分钟，视实际需要，可于员工新进时施训一次或全体员工定期复训。受训人员应接受资格认定，或以其他方式确认其完全了解受训内容，公司也应该为训练活动留下可供稽核的文件（如记录等）。

资格训练

- 『资格训练』是完整周延的训练计划，至少需要1.5至3小时。凡是会取用未包装/无保护ESDS零组件的重要人员，就必须接受此项训练。训练课程包括前述的初级训练，以及使用特殊ESD装备的教育，如腕带、离子风扇、topical anti-statics、防静电桌垫等。某些原理，如接地原则、不同包装材料间的特性差异等，都应包含在内。附录A为课程规划范例。示范、录像带、问与答、测验等，都是完整训练课程所需包含的内容。此项训练必须至少每年资格检定一次、并制作成文件备查。
- 无论你的训练计划如何订定，无可避免地，作业员的日常工作会面对许多繁琐但却很重要的限制与程序。由于ESD既看不见也感觉不到，除非督导人员在周会中不断加强倡导，否则有进ESD会被抛诸脑后。ESD防治计划一旦展开，训练计划最重要的第一步是克服心理障碍，说服参训人员相信ESD的确存在；第二步是说服参训人员，除非每个人无时无刻都按ESD计划中所规定的规则与程序去作，否则极可能产生不良后果。只需一个小火花，就足以破坏昂贵的ESDS组件。

离子风扇放射电压测试方法

- 此项测试是确认离子风扇运作是否正常，及调整吹出的正负离子平衡。
- 测试设备：电荷板伏特计（Charge Plate Voltmeter）
- 测试方式
 - 正负离子平衡仪置于距离子风扇30cm位置。
 - 开电源。
 - 按start
 - 检测器会显示消散时间和平衡值
- 合格标准范围：消散时间5秒内
- 测试频率：如厂商要求，视机型而定。

导电地板面电阻系数测试方法

- 此项测试是量测导电地板到接地点间的电阻。
- 测试设备：兆欧姆表（500VDC）、铝箔测试电极（2×3吋）、测试导线（2）、5磅金属砝码
- 测试程序
 - ☐ 1. 以负测试线（黑）连接兆欧姆表与接地点，正测试线（红）连接至铝箔测试电极。
 - ☐ 2. 电极放置于距导电地板接地点12吋处，朝向地板中央。
 - ☐ 3. 测试电极上放置5磅重砝码。
 - ☐ 4. 兆欧姆表输出设定于500伏。
 - ☐ 5. 兆欧姆表电源开关置于“on”。
 - ☐ 6. 放电开关置于“量测”位置。
 - ☐ 7. 以相同方法测定导电地板其他5点以上与接地点间之电阻。
- 合格标准：高于25,000欧姆
- 测试频率：1年或有需要时

接地导线按扣端至接地点间电阻测试方法

- 此项测试是量测接地导线按扣端到接地点间的电阻。
- 测试设备：兆欧姆表（250VDC）、测试导线（2）
- 测试程序
 - 1. 以负测试线（黑）连接兆欧姆表与接地点，正测试线（红）连接至接地导线的按扣端（即桌垫接地点、地板垫的连接点、或腕带导线末端）
 - 2. 兆欧姆表输出设定于250伏。
 - 3. 兆欧姆表电源开关置于“on”。
 - 4. 放电开关置于：“量测”位置。
 - 5. 注意：接地导线不应为daisy chained，因为它会增加导线的电阻。
- 合格标准范围： $0.8 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^6$ 欧姆
- 测试频率
 - 桌垫导线：每6个月或对其产生怀疑
 - 腕带导线：每日

烙铁与地间的电位差测试方法

- 此项测试是量测烙铁尖端到接地点间的电位差。烙铁需特别注意，因为它与ESDS线路直接接触。
- 测试设备：TRMS电压表、导线(BNC到鳄鱼夹有3层隔离)、接地夹、导电板球、焊锡
- 测试程序
 - 1. 去除导电板表面上的污垢及及腐蚀。
 - 2. 在导电板上焊上一小堆焊锡。
 - 3. NBC接头接至电压表的输入端。
 - 4. 接地夹接至烙铁插头的接地线。
 - 5. 电压表与烙铁的插头共同插入墙上的双联插座。
 - 6. 正(红)与负(黑)导线鲤鱼夹夹于导电板所示。
 - 7. 接地鲤鱼夹接至导电板球。
 - 8. 打开电压表及烙铁电源开关，烙铁温度开关旋至最大，等15分钟热机。
 - 9. 记录电压值（V1）。
 - 10. 从导电板上取下负线鲤鱼夹与地线鲤鱼夹。
 - 11. 上述两鲤鱼夹相连。
 - 12. 从烙铁架上取出烙铁，以烙铁头紧压导电板上的焊锡堆，停留30秒使稳定。
 - 13. 记录电压值（V2）。
 - 14. 计算烙铁头尖端与接地点间的电位差（P）： $P = V2 - V1$ 。
- 合格标准：不超过mV RMS欧姆
- 测试频率：使用者自行决定

烙铁从烙铁尖端至接地点间的电阻测试方法

- 此项测试是量测烙铁尖端到接地点间的电阻。
- 测试设备：兆欧姆表（250V DC）、测试导线（2）
- 测试程序
 - 1. 确定烙铁电源“OFF”。
 - 2. 以负测试线（黑）连接兆欧姆表与接地点，正测试线（红）连至烙铁尖端。
 - 3. 兆欧姆表输出设定于500伏。
 - 4. 兆欧姆表电源开关置于“on”。
 - 5. 放电开关置于“量测”位置。
- 合格标准范围：低于欧姆
- 测试频率：使用者自行决定

桌垫/桌面贴皮面电阻系数测试方法#1

- 此项测试是量测工作台面(桌垫或桌面贴皮)到工作台面接地点的电阻。
- 测试设备：兆欧姆表（500V DC）、铝箔测试电极（2×3 吋）、测试导线（2）、5磅金属砝码
- 测试程序
 - 以负测试线（黑）连接兆欧姆表与接地点，正测试线（红）连至铝箔测试电极。
 - 电极放置于距工作台面接地点12吋，朝向桌垫/桌面贴皮中央。
 - 测试电极上放置5磅重砝码。
 - 兆欧姆表输出设定于500伏。
 - 兆欧姆表开关置于“on”。
 - 放电开关置于“量测”位置。
 - 以相同方法测定桌垫/桌面贴皮其他2至3点与接地点间之电阻。

桌垫/桌面贴皮面电阻系数测试方法#2

- 此项测试是量测工作台面(桌垫或桌面贴皮)到工作台面接地点的电阻。
- 测试设备：兆欧姆表（500V DC）、测试导线（2）、金属接地板（铝、不锈钢等）、0.1%盐水溶液，喷壶
- 测试程序
 - 在桌面上喷洒小范围盐水溶液。
 - 金属接地板置于盐水溶液上。
 - 兆欧姆表开关置于“AC V/M”。
 - 负测试线（黑）连接兆欧姆表与接地点，正测试线（红）连至金属接地板。
 - 按下兆欧姆表上的红色按钮，读出电阻值。
- 合格标准范围： $0.8 \times 10^6 \sim 10^9$ 欧姆

ESD产品测试标准及规范要求

	设备名称	测试标准	建议范围	备注
人员防护	静电手环	ESD S. 1. 1	腕带部分 $10^3 \sim 10^5 \Omega$ hm; 接地线 $1M\Omega$ hm+/-10%	
	防静电衣	ESD STM 211	$10^5 \sim 10^{11} \Omega$ hm依不同的材质作区分	依产业
	防静电鞋	ESD STM 9. 1; ESD STM 97. 1; ESD STM 97. 2	阻抗值: $10^6 \sim 10^9 \Omega$ hm 摩擦电压: 100V以下	
	防静电指套	同静电衣	阻抗值: $10^6 \sim 10^9 \Omega$ hm最佳	
	防静电手套		阻抗值: $10^6 \sim 10^9 \Omega$ hm最佳	
环境控制	地板	ANSI ESD S7. 1	阻抗值: $10^4 \sim 10^6 \Omega$ hm导电地板 阻抗值: $10^6 \sim 10^9 \Omega$ hm防静电地板	
	工作桌垫	ESD S4. 1; ESD STM 412	表面阻抗值: $10^6 \sim 10^9 \Omega$ hm; 摩擦电压: 200V以下	
	工作桌之接地线	ESD S1. 1	阻抗值: $1M\Omega$ hm+/-20%	
	椅子	ESD STM 12. 1	阻抗值: $10^4 \sim 10^9 \Omega$ hm	
	离子风扇	EOS/ESD ANSI S3. 1	Decay Time: 依各种不同情况而定 Ion Balance: 小于+/-50V	
	离子空调系统	EOS/ESD ANSI S3. 1	Decay Time: 依各种不同情况而定 Ion Balance: 小于+/-150V	
包装材料	袋子	ESD S 11. 31	阻抗值: $10^6 \sim 10^9 \Omega$ hm最佳	
	箱子	ESD S 11. 31; ESD S 11. 12	导电箱: 阻抗值: $10^4 \sim 10^6 \Omega$ hm; 阻抗值: $10^6 \sim 10^9 \Omega$ hm最佳	

Questions and Answers



Thanks for your attention!!

