

人体静电放电（ESD）及保护电路的设计

薛同泽¹ 沙占友¹ 崔博²

¹ (河北科技大学信息科学与工程学院, 河北石家庄 050054)

² (河北理工大学信息学院, 河北唐山 063009)

E-mail: xtz@hebust.edu.cn

摘要: 随着集成电路及电子设备的广泛应用, 人体静电放电的危害性日益引起人们的重视。首先介绍人体静电放电模型及测试方法, 然后阐述几种新型集成化静电放电保护器件的原理与应用。

关键词: ESD; 模型; 测试; ESD 保护器件

中图法分类号: TN03

文献标识码: B

Human Body Electro-Static Discharge and

The Protection Circuit Design

Xue, Tongze¹ Sha, Zhanyou¹ Cui, Bo²

¹(College of Information Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050054)

²(College of Information, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009)

Abstract: With the broad application of the integrated circuit and the electronic device, more attention is paid to the damage of the Electro-Static Discharge (ESD). Firstly the paper introduced the model and the measure methods of the human body ESD. Then the principle and the application of several new type ESD protection ICs are expatiated.

Keywords: ESD; Model; Measure; ESD Protection ICs

1 引言

“静电放电”简称 ESD (Electro-Static Discharge)。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日益复杂, 人们对静电放电的防护及 ESD 设计也愈来愈重视。目前, ESD 保护器件正从分立元件向集成化电路、从单路保护向多路保护的方向发展。

2 人体静电放电 (ESD) 模型及测试方法

当物体之间互相摩擦、碰撞或发生电场感应时, 都会引起物体表面的电荷积聚, 产生静电。当外界条件适宜时, 这种积聚电荷还会产生静电放电, 使元器件局部损坏或击穿, 甚至酿成火灾、爆炸等严重后果。特别是随着高分子材料的广泛使用, 更容易产生静电现象, 而电子元器件微型化的趋势, 更使静电的危害日趋严重。

静电放电 (ESD) 的危害极大, 特别是对集成电路和半导体器件。如果静电放电发生在电子部件上, 可导致电子部件的损坏; 轻者击穿二极管, 重则损坏集成电路。试验表明, 未加静电保护措施的 RS-232 接口芯片, 受到 15kV (一般测试水平) 的静电放电冲击后会造成长久性损坏。这是因为在静电放电瞬间产生的大电流将芯片内部的金属气化, 导致大面积损伤。特别是 CMOS 电路和 MOS 场效应管, 其输入阻抗很高, 输入电容又非常小, 即使在输入端感应少量的电荷也会形成高压, 而将器件损坏^[2]。

目前国际上对静电放电定义了 4 种模型: 人体静电放电模型 (HBM, Human Body Model), 机器模型 (MM), 器件充电模型 (CDM), 电场感应模型 (FIN)。由于人体与电子元器件及设备的接触机会最多, 因此人体静电放电造成的比例也最大, 人体静电放电模型是指人体在地上行走、摩擦或受其他因素影响而在身体上积累了静电, 静电电压可达几千伏甚至上万伏,

当人体接触电子元器件或设备时，人体静电就会通过被接触物体对地放电。此放电过程极短（几百纳秒），所产生的放电电流很大，很容易损坏元器件。

人体静电放电模型可等效于 $1.5\text{k}\Omega$ 的人体电阻与 100pF 的人体电容的串联电路。测试人体静电放电的方法如图 1 所示。图 1 中， R_C 为充电时的限流电阻， R_D 为人体电阻， C_S 为人体

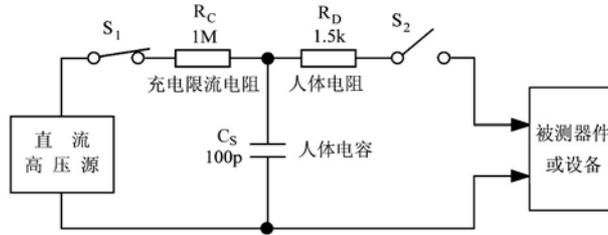


图 1 测试人体静电放电的方法

电容。测试过程是首先闭合 S_1 ，断开 S_2 ，由直流高压源经过 R_C 对 C_S 进行充电；然后断开 S_1 ，闭合 S_2 ， C_S 就经过 R_D 对被测器件或设备进行放电。考虑到静电电压很高，难于测试，而电流比较容易测试，因此一般采用测试静电放电电流的方法。人体在静电放电时的电流波形如图 2 所示，图中的 I_P 代表峰值放电电流， t_1 表示 I_P 从 0 上升到 90% 所需时间， t_2 为 I_P 从 90% 升至 100% 所需时间， t_3 为 I_P 从 100% 降至 36.8% 所需时间。对应于不同的人体静电电压所产生的放电电流与时间的关系见表 1。

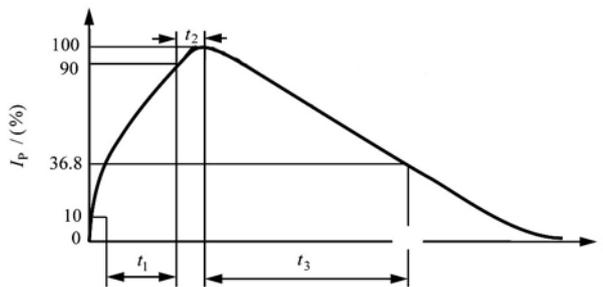


图 2 人体在静电放电时的电流波形

表 1 人体静电放电电流与时间的关系

峰值静电电压/kV	上升时间 t_1 /ms	下降时间 t_3 /ms	峰值静电电流 I_P /A	I_P 的变化量/ (%)
0.1	2.0~10	130~170	0.060~0.073	15
0.25			0.15~0.19	
0.5			0.30~0.36	
1			0.60~0.73	
2			1.20~1.46	
4			2.40~2.94	
8			4.80~5.86	

3 ESD 保护器件的原理

3.1 ESD 保护二极管

ESD 保护二极管是一种新型集成化的静电放电保护器件。典型产品有 MAXIM 公司生产的 DS9502、DS9503^[1]。DS9502 内部可等效于 7.5V 的齐纳稳压二极管，当输入电压超过其 9V 触发电压时就被嵌位到 7.5V 上。只要输入电压不低于 5.5V ，就能维持在反向击穿状态。DS9503 与 DS9502 的区别只是在正极和负极端各增加了一只 5Ω 的隔离电阻。DS9502、DS9503 的泄漏电流仅为 30nA ，触发电流约为 600mA ，维持电流约为 30mA ，最大峰值电流可达 2.0A 。最高

可承受 27kV 的瞬态电压。它们能与采用 5V 电源的各种逻辑电路兼容，特别适合对 SRAM 存储器模块进行 ESD 保护。其外形尺寸仅为 3.7mm×4.0mm×1.5mm，工作温度范围是-40~+85℃。

DS9502、DS9503 均采用 TSOC-6 封装，内部结构分别如图 3 (a)、(b) 所示。其中，

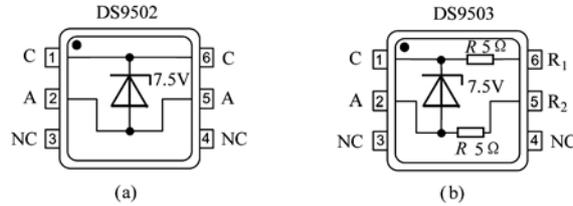


图 3 DS9502、DS9503 的内部结构

A、C 分别接内部 ESD 保护二极管的正极、负极。NC 为空脚。R₁、R₂ 分别为正极、负极的 5Ω 电阻引出端。DS9502、DS9503 在反向击穿时的伏安特性曲线如图 4 所示。当输入电压超过 9V 时，ESD 保护二极管就被反向击穿，击穿电压 $U_{CA} \approx 7.4 \sim 7.8V$ 。当输入电压降至 5.5V 时仍能维持在反向击穿状态。

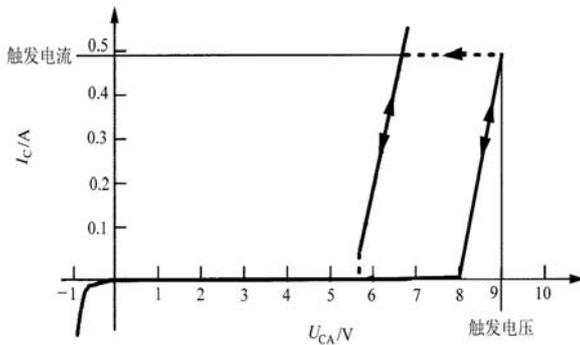


图 4 伏安特性曲线

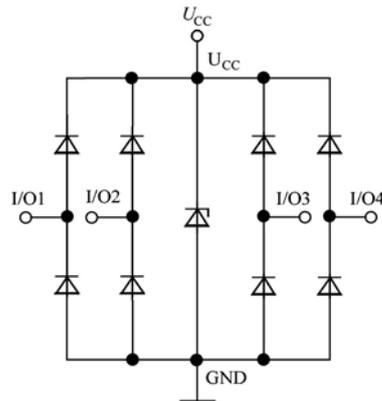


图 5 MAX3208E 的内部框图

3.2 多路 ESD 保护器件的原理

MAX3207E、MAX3208E、MAX3205E 分别为双路、四路、六路高速 ESD 保护集成电路，内部集成了由高压瞬态电压抑制器 (TVS) 构成的 ±15kV ESD 保护器件，能满足高速、单端或差分输入的需要。可广泛用于 PC、显示器、USB 接口、投影仪、手机、高清晰度电视 (HDTV)、机顶盒的 ESD 保护。

由 MAX3205E/3207E/3208E 所提供的钳位保护，能承受在 IEC61000-4-2 国际标准中规定的各种 ESD 脉冲，包括人体静电放电电压、接触放电电压和气隙放电电压。内部 TVS 的正向压降约为 0.8V (典型值)，能将正向或反向瞬态电压钳位到规定值。可将 ±15kV 的人体放电时的峰值电压限制在 ±25V，将接触放电时 ±8kV 的峰值电压限制在 ±60V，把气隙放电时 ±15kV 的峰值电压限制在 ±100V。MAX3207E 属于双通道器件，适用于 USB1.1 (传输速率为 12Mbps)、USB2.0 (传输速率为 480Mbps)。MAX3208E 为四通道器件，适用于以太网的保护。MAX3205E 为六通道器件，适用于手机连接器或 SVGA 视频连接器的保护。每个通道的输入电容仅为 2pF，各通道之间的输入电容偏差仅为 0.05pF。电源电压范围是 0.9~5.5V，电源电流仅为 1nA (典型值)。工作温度范围是 -40~+125℃。

下面以四路高速 ESD 保护集成电路 MAX3208E 为例，其内部框图如图 5 所示。芯片中包含 ±15kV 的 ESD 保护二极管阵列以及瞬态电压抑制器。每个通道都包含一对 ESD 保护二极管，可将 ESD 电流脉冲引到电源端 (U_{CC}) 或地 (GND)。瞬态电压抑制器起到钳位作用。

钳位电压 (U_C) 与保护二极管的导通压降 (U_F)、负极上出现的电源电压有关。对于正 ESD

脉冲, $U_C = U_{CC} + U_F$; 对于负ESD脉冲, $U_C = -U_F$ 。但是受内部分布电感的影响, 在ESD冲击过程中会使钳位电压升高一定的幅度。为了在ESD冲击下获得尽可能低的钳位电压, 应在 U_{CC} 端与地之间接一只等效串联电阻(ESR)很低的 $0.1\mu\text{F}$ 陶瓷贴片电容。

4 ESD保护器件的应用

4.1 DS9502/9503 的典型应用

DS9502/9503 的典型应用电路^[3]如图6所示。信息纽扣“iButton”(information Button)是

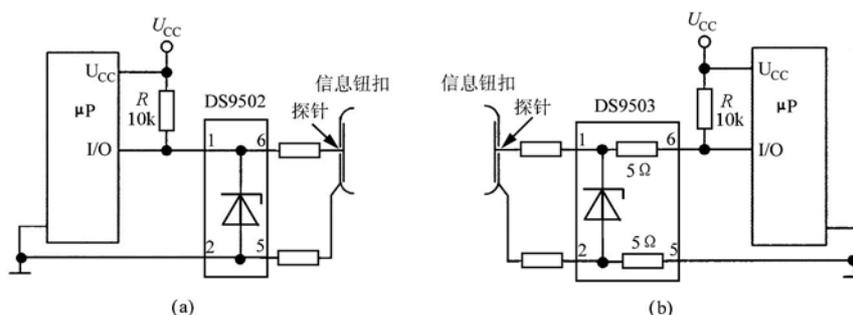


图6 典型应用电路

达拉斯半导体公司生产的一种置入圆形不锈钢纽扣中的微芯片, 它能代替智能卡工作在恶劣环境中。信息纽扣需借助于读写器来获得电源和收、发数据, 具有体积小、坚固耐用、寿命长等优点, 可广泛用于电子商务、身份识别等领域。信息纽扣与微处理器(μP)进行通信时, 可将DS9502/9503插在二者之间起到ESD保护作用。DS9503通过探针连接信息纽扣, 再把数据传送到 μP 的I/O接口。

4.2 MAX3208E的典型应用

MAX3208E的典型应用电路^[4]如图7所示。MAX3208E就并联在被保护电路的I/O口线与地

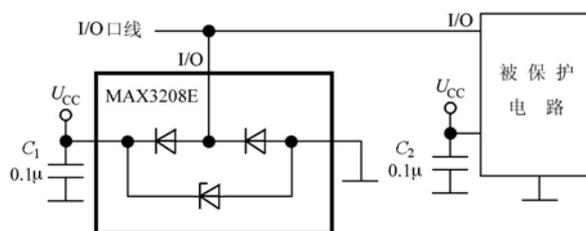


图7 MAX3208E 的典型应用

之间。在设计印制板时应注意以下事项: 第一, 尽量减小 I/O 口线的引线长度; 第二, 电源与地应单独布线, 以减小分布电感; 第三, 尽量减小电源与地的回路; 第四, 勿将关键的信号线布置在印制板边缘处; C_1 和 C_2 应尽量靠近 U_{CC} 端。

5 结论

静电放电(ESD)的危害极大, 特别是对集成电路和半导体器件。本文介绍了人体静电放电模型及相关测试方法, 并阐述了几种新型集成化静电放电保护器件的原理与应用。

本文作者创新点: 阐述了 MAXIM 公司生产的几种新型 ESD 保护器件: DS9502、DS9503; MAX3207E、MAX3208E、MAX3205E 的原理, 并给出了它们的典型应用电路。

参考文献

- [1] MAXIM Inc. Dual, Quad, and Hex High-Speed Differential ESD-Protection ICs, 2005: 1-7
- [2] 陈曦, 乔玉娥, 张金红, 雷兆明. 典型家用电器电磁兼容共性技术研究[J]. 微计算机信息, 2005, 19: 136-138

[3] 沙占友, 马洪涛, 睢丙东. 单片开关电源保护电路的设计, 电工技术, 2000 (12)

[4] 沙占友. 单片机外围电路设计, 电子工业出版社, 2003.1: 220-222

[5] 吴昕, 钱照明. 开关电源 EMC 设计的研究现状及发展. 北京: 第五届全国电磁兼容学术会议论文集: 22~26

作者简介: 薛同泽 (1950—), 女, 汉族, 河北廊坊人, 河北科技大学副教授, 研究方向: 电工电子。沙占友 (1944—), 男, 汉族, 河北石家庄人, 河北科技大学教授, 硕士生导师, 研究方向: 计算机测控技术与智能仪器。

Biography: XueTongze(1950-), Female, Langfang City Hebei Province, Hebei University of Science and Technology , associate Professor, Master Research area: electronics. Sha Zhanyou(1944-), Male, Shijiazhuang City Hebei Province, Hebei University of Science and Technology , Professor, Master Research area: intelligent apparatus and measurement technology.