

ESD和EOS的原因、差异及预防

作者: Padmaraja Yedamale
Enrique Aleman
Microchip Technology Inc.

简介

在许多基于单片机的应用中，单片机都受到各类电磁噪声的影响。电气噪声可能导致应用出现异常行为。其中的两种噪声事件分别称为静电放电（Electrostatic Discharge, ESD）和电过载（Electrical Overstress, EOS）。本应用笔记讨论了这两种事件、导致这些事件的原因以及如何最大程度降低它们对应用的影响。

什么是ESD?

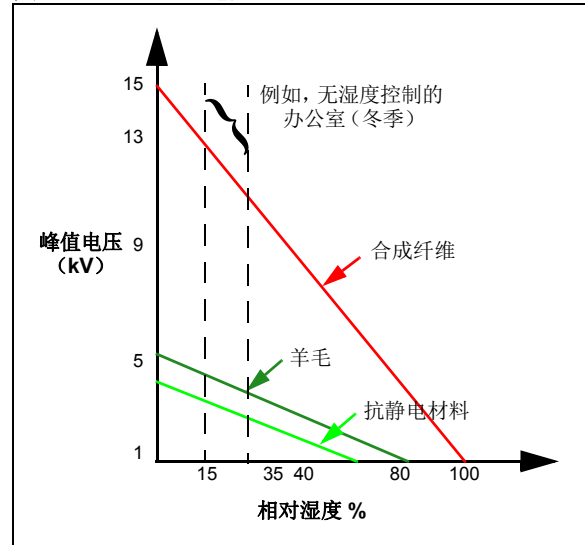
静电放电（ESD）是一种最常见的电磁兼容（Electro-Magnetic Compliance, EMC）现象。术语“静电”表示特定物质在与其他物质接触（例如，用脚在羊毛地毯上摩擦）时累积的静电荷。有时在触摸金属或汽车时会产生电火花，这就是静电放电（ESD）现象。放电量取决于物质和环境（包括湿度）。

ESD现象不仅仅发生在人与带静电物质接触的情况下。机器和家具（例如，工作台）也会累积静电，并在与电气元件接触时发生放电。

规范 IEC 61000-4-6 定义了人类和机器累积的静电荷。相应的模型分别称为：“人体模型”（Human Body Model, HBM）和“机器模型”（Machine Model, MM）。

下面的图1给出了由IEC标准定义的ESD电压。

图1: ESD 电压



如图1所示，累积的静电荷取决于环境的相对湿度。湿度越低，累积的静电荷越高。表1给出了日常生活中常用物质的典型电压与相对湿度的关系。

表1: 常见静态电压

静态电压与相对湿度 (Relative Humidity, RH) 的关系	20% RH (kV)	80% RH (kV)
在乙烯基地板上走动	12	0.25
在合成纤维地毯上走动	35	1.5
泡沫垫产生的静电	18	1.5
拾起聚乙烯袋	20	0.6
在地毯上滑动苯乙烯盒	18	1.5
从PCB中取出聚酯磁带	12	1.5
PCB上的收缩薄膜	16	3.0
触发真空焊锡清除器	8	1.0
电路冷却喷雾器	15	5.0

ESD 测试在产品生命周期内的各个级别下进行，例如，元件级（如，Microchip 的 MCU）、电路板级（如，控制板）以及终端设备级（如，洗衣机）。

对于 Microchip 的产品而言，芯片内置有保护电路，可避免典型 ESD 级别可能会导致的任何损坏。依据质量流程，所有 Microchip 器件都会按以下标准进行测试：

- ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2012，用于静电放电敏感度测试，人体模型（HBM）——元件级
- JESD22-A115，用于静电放电（ESD）敏感度测试，机器模型（MM）
- ANSI/ESD S5.2-2009，用于静电放电敏感度测试，机器模型（MM）——元件级

Microchip 发布了 “*Quality Handbook*”（DS00169），可通过单击以下链接从 Microchip 网站下载该手册：
<http://www.microchip.com/quality>

将芯片安装到 PCB 上之后，系统设计人员将在 PCB 级对应用的 ESD 敏感度进行测试。通常，在该级别，连接器和电缆会进行传导放电。

终端设备制造商（例如，家电制造商）将基于第一个接触点对终端设备的 ESD 敏感度进行测试。第一个接触点定义为最终用户或组装设备的接触点。例如，对于冰箱，接触点是门把手或饮水机按键；对于洗衣机，接触点是显示屏上的按键或控制旋钮。国际标准 IEC-61000-4-2 中给出了 PCB 和最终产品的 ESD 抗扰性测试规范示例。

一般来说，为最大程度降低 ESD 对 PCB 和最终产品的影响，设计过程中应尽可能以最高效的方式将 ESD 电能分流到地。

什么是 EOS？

在半导体环境中，电过载（EOS）这一术语用于说明当电子器件承受的电流或电压超出器件的规范限值时可能发生的一种现象。电过载可能会对整个器件或器件的一部分造成热损坏。热损坏是因发生 EOS 事件期间产生过多热量而引起。当器件承受高电压或高电流时，器件内的连接会发生电阻加热，从而使温度过高。通常，过多热量处于施加电气应力的区域周围。这会导致器件损坏，并且大多数情况下，这种损坏肉眼可见。

EOS 可能因单次非重复性事件或者持续的周期或非周期事件而引起。EOS 事件可以是瞬时事件（仅持续几毫秒），在满足条件的情况下也可以是持续事件。EOS 能量耗尽后，器件可能永久损坏，也可能无法正常工作或者只有一部分可以正常工作。

可能导致 EOS 的原因

下面列出了可能会导致 EOS 的问题：

1. 电源电压浪涌超出绝对最大电压范围。
2. 电路板上的开关电路可能会导致电路板内部出现高压尖峰，进而传播到电路板上的其他器件。
3. 外部连接（例如，外部电缆上的电容电荷）、外部开关噪声的天线接收以及感性负载会产生电压尖峰。
4. 因不良接地而导致地平面的噪声过大。
5. I/O 开关产生电压过冲或下冲。
6. 因电气噪声环境中的不良屏蔽而导致 EMI（电磁干扰）。
7. 不正确的上电顺序会向器件施加不合适的电压或极性。
8. 可能损坏或弱化器件性能的 ESD 事件，这些事件会使器件更容易受未来 EOS 事件的影响。
9. 如果电流过高或持续时间较长，则门锁事件可能导致 EOS 损坏。

ESD与EOS

ESD与EOS事件之间的主要差别在于持续时间。发生ESD事件时，电压通常介于500V到8000V之间，持续时间小于300 ns。ESD事件期间，峰值电流可以达到数安培，但由于这种事件的持续时间极短，精心设计的ESD保护电路可将此电能分流到地，因此不会导致损坏。而对于EOS事件，电压和电流的大小与此类似，不过持续时间较长，通常为1 ms到几分钟。

应用的电气故障可能表现出下列一种或多种现象：

1. 电源电流过高。
2. 电源电压与地之间的电阻较低。
3. 与电源电压或地相连的输入或输出引脚短路。
4. 与一个或多个引脚（I/O、电源电压或地）的连接断开。
5. 因器件内部损坏而导致功能性故障。
6. 器件意外复位。
7. 器件发生闩锁。

EOS和ESD之间可以观察到的现象差异通常不太明显，在某些情况下，诊断错误会导致解决方案失效。下面介绍了一些可能有助于识别EOS故障与ESD故障的准则，还提供了用于说明各类故障所导致的典型损坏的图片和图表。

“**ESD故障的特性**”部分旨在帮助读者了解二者的差异，进而可以提供适当的反馈，以便针对故障及时找到解决方案。

ESD 故障的特性

注： 下面各图取自实际故障分析报告，旨在说明各种ESD和EOS故障的示例。

ESD故障通过以下损坏条件来识别：

- 故障集中在小面积内
- 通常集中在I/O焊盘和关联电路周围
- 特点是晶体管结之间的丝极熔化，进而导致短路
- 故障区域极小，难以找到
- 仅一个器件损坏
- 只有一种损坏模式

图2： I/O与Vss之间的ESD钳位损坏——放大后的I/O引脚

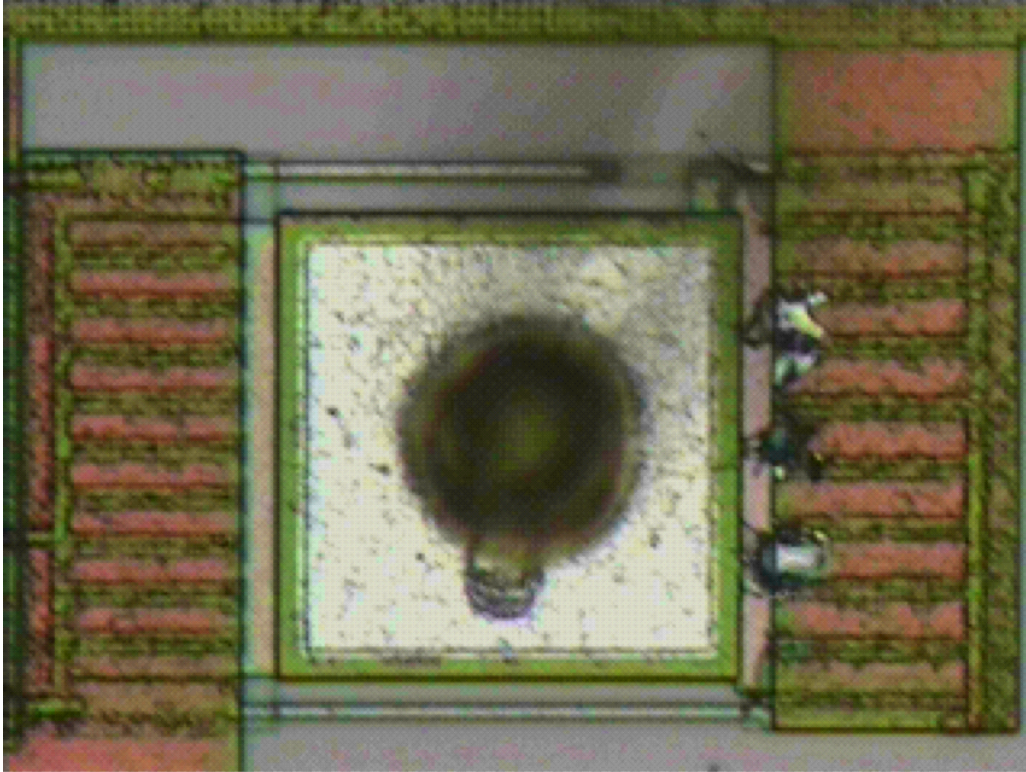


图3显示了栅氧化层的ESD损坏，说明发生了带电器件ESD故障（无任何保护的输入或无二级保护的位置）。

图3： 栅氧化层的ESD损坏——逆向处理的芯片层图像

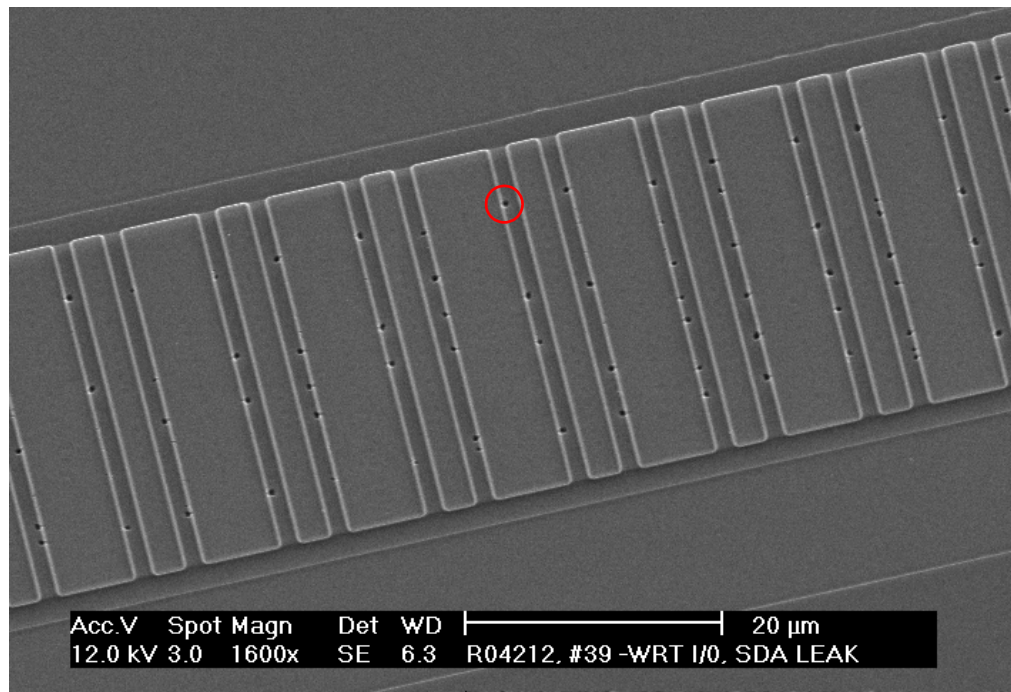


图4: 金属互连的ESD损坏

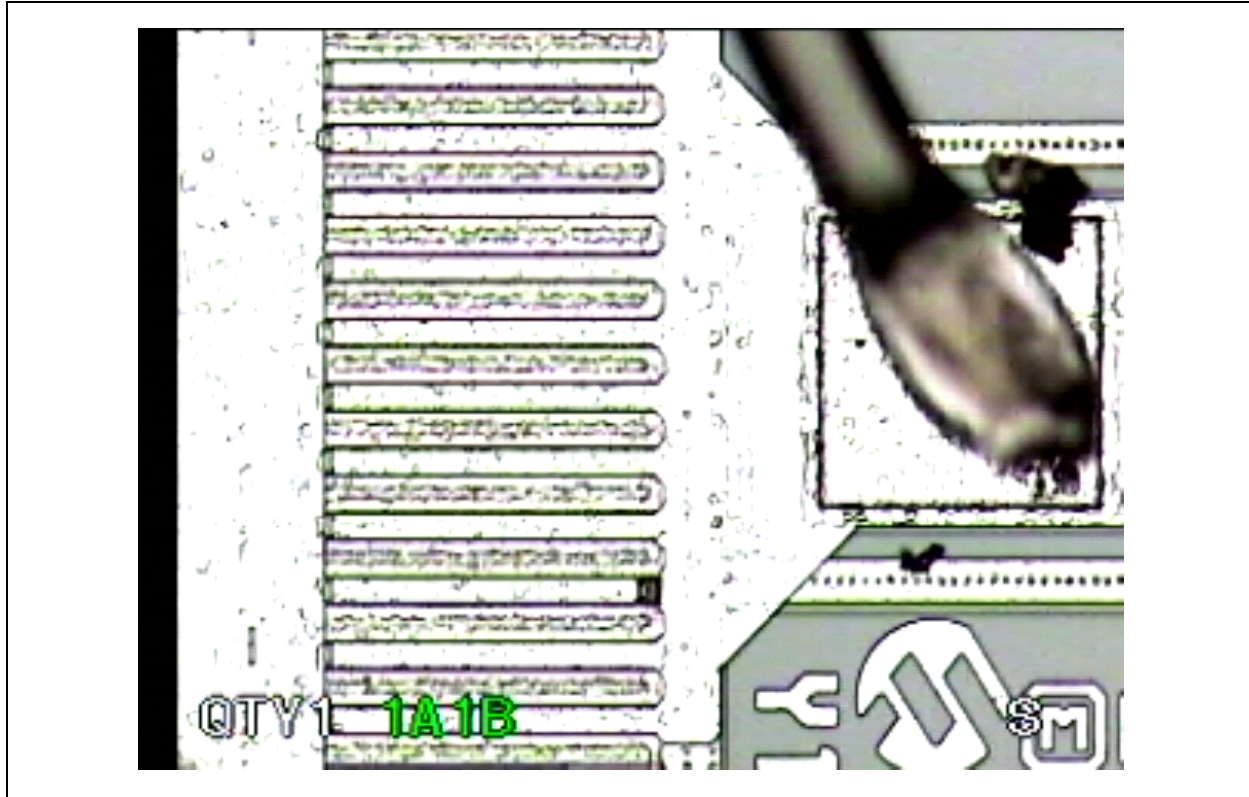


图5: 硅结的ESD损坏

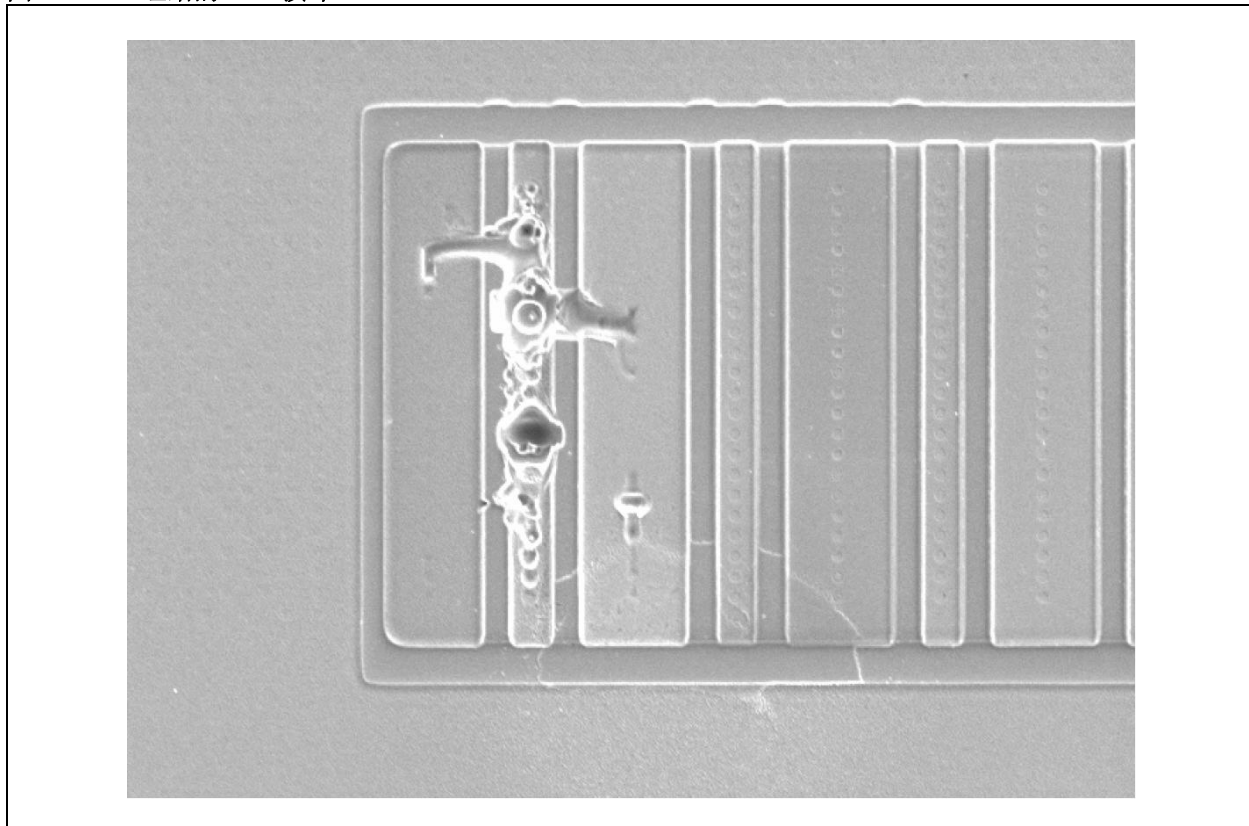
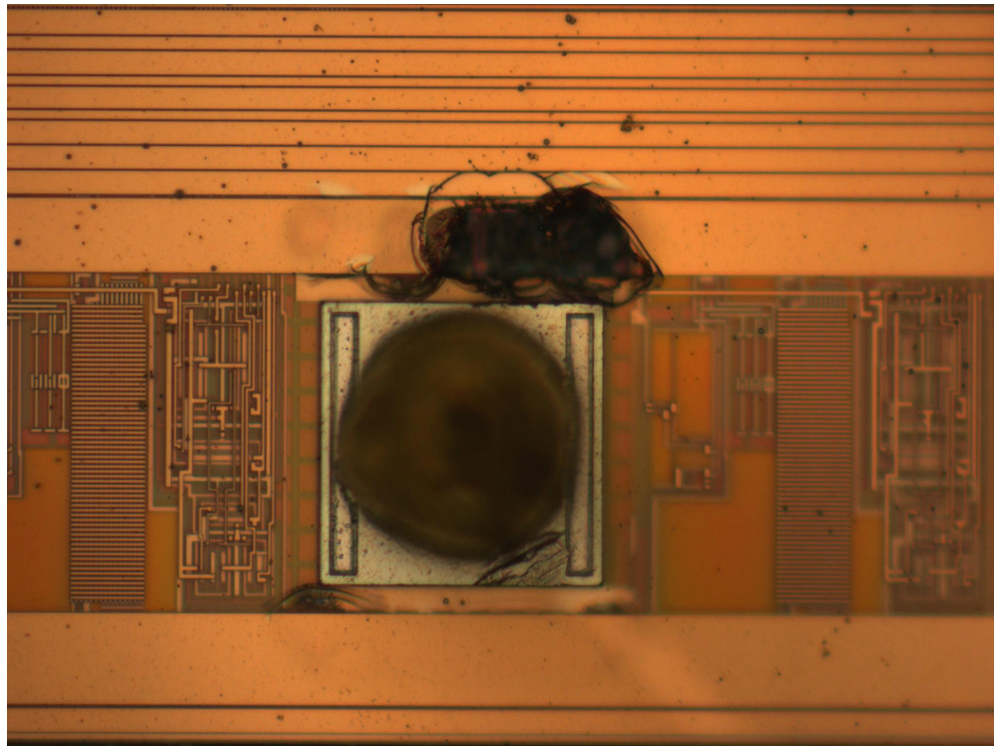


图6显示了严重ESD损坏，其等级几乎与EOS类似。这可能是EOS事件进一步对已被ESD削弱的电路造成损坏的情况。

图6: 严重ESD损坏



EOS故障的特性

EOS故障通过以下损坏条件来识别：

- 可观察到大面积损坏
- 特点是大量金属熔化
- 可位于 I/O 焊盘上或裸片内部（电源引脚发生 EOS 事件时）
- 损坏可能包围许多器件
- 可同时存在多个不同的损坏类型

导致EOS的其他原因包括：

- 输出电流超出器件最大值（短路或低阻抗负载）
- I/O 引脚电压尖峰高于VDD或低于VSS
- VDD超出VDD最大值规范

EOS是长期事件，通常由用户或测试错误引起（例如，可能在插座中将器件插反）。I/O 引脚或电源引脚过压是导致EOS的最常见原因。

EOS导致的可见损坏

通常，对器件进行故障分析时，会将EOS损坏视为器件上仅使用光学显微镜即可观察到的可见损坏。这类损坏是因在发生EOS事件时产生的高温引起。

对封装造成的外部损坏也可被视为因EOS引起，其具有以下特点：

1. 封装破裂。
2. 模塑化合物发生可见膨胀。
3. 模塑化合物出现物理开孔。
4. 模塑化合物烧焦或褪色。

样片遭受的损坏可能比上面列出的更多，通过移除器件的封装材料来仔细分析，可发现因过热导致了以下内部损坏：

1. 封装/裸片因过热而导致分层。
2. 金属层熔化或烧焦。
3. 模塑化合物碳化。
4. 金属线褪色。
5. 接合线熔化或汽化。

EOS故障示例

下面各图显示了不同的EOS故障示例。

图7： 因EOS过热而导致模塑化合物碳化

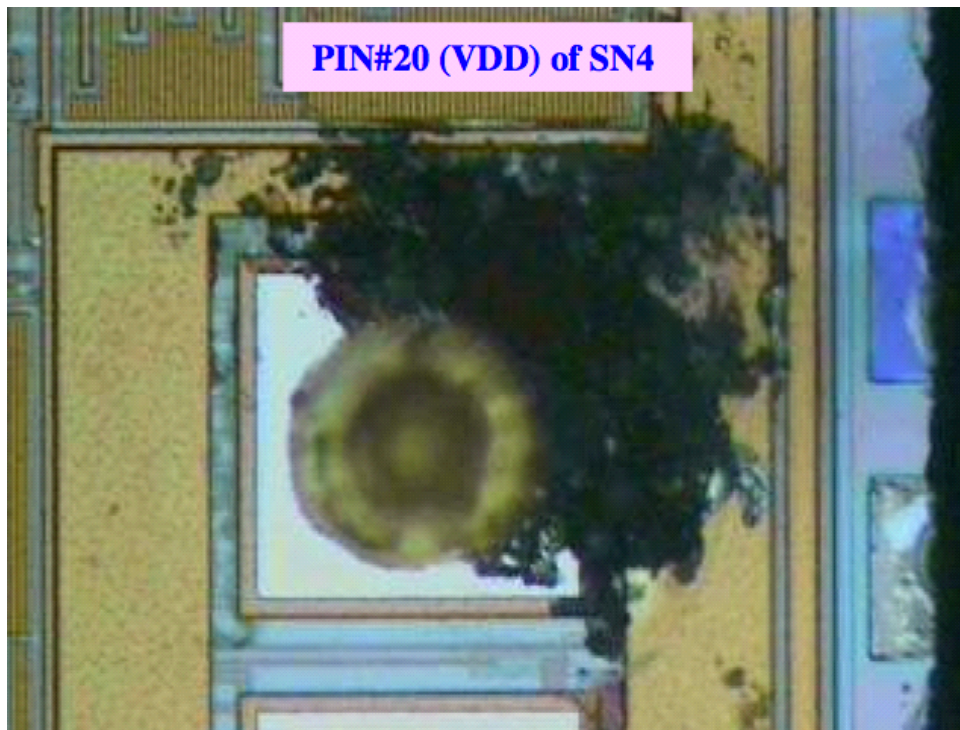


图8: 用于连接I/O焊盘和器件的金属熔化或汽化

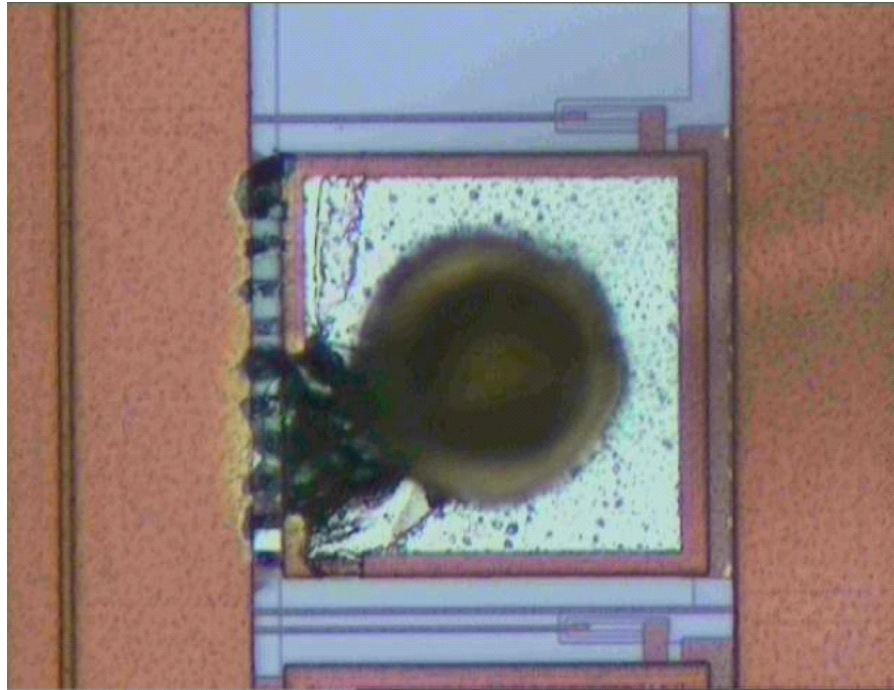


图9: 内部金属线因电源引脚上的电流过高而熔化

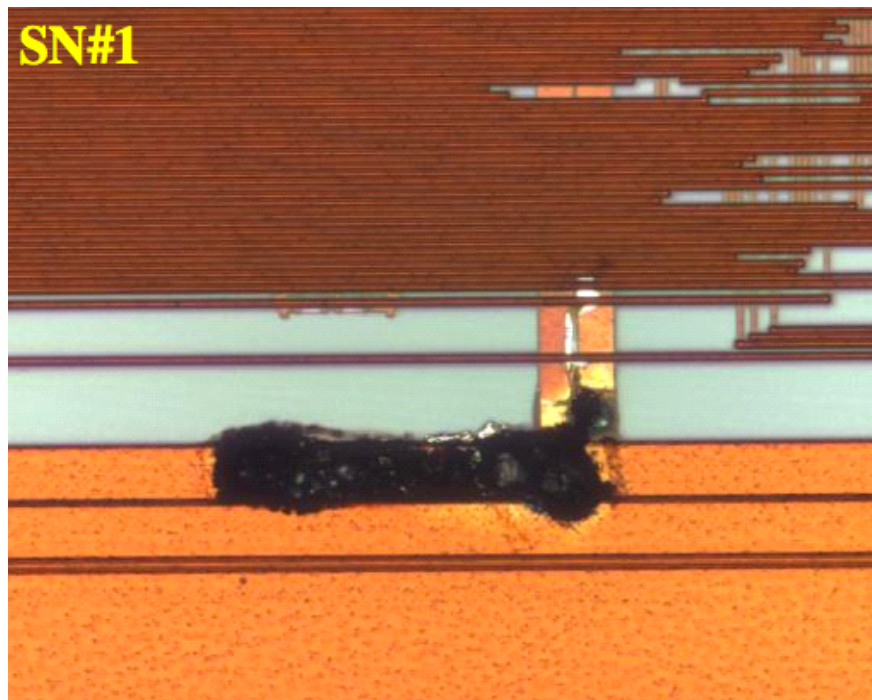


图 10: 金属熔化和褪色与模塑化合物碳化

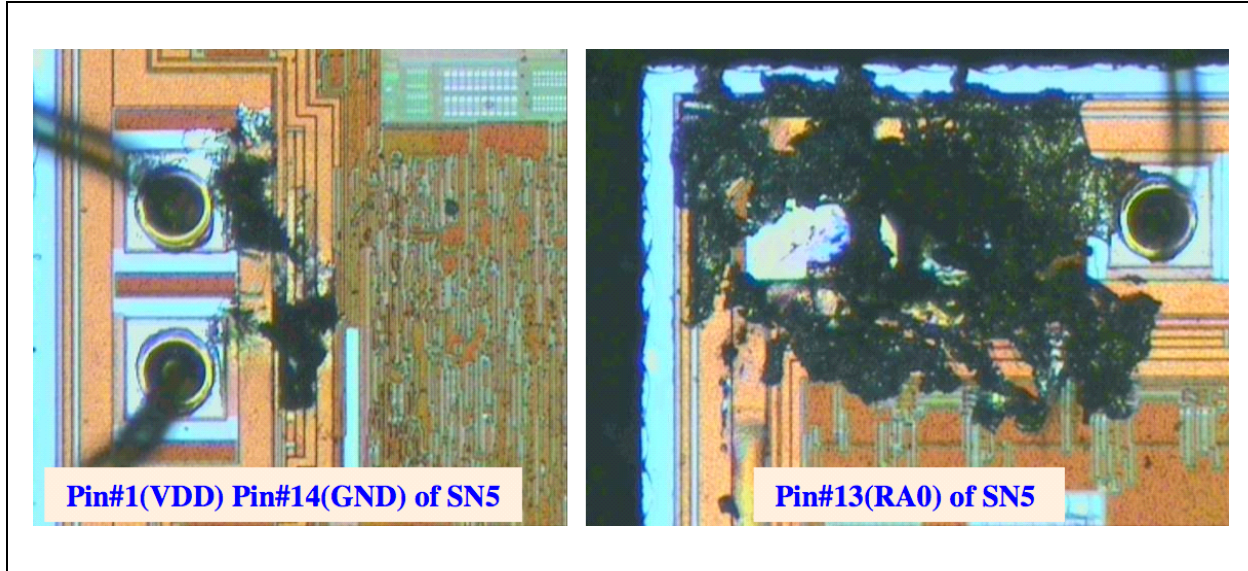


图 11: 模塑化合物碳化, 金属熔化和褪色

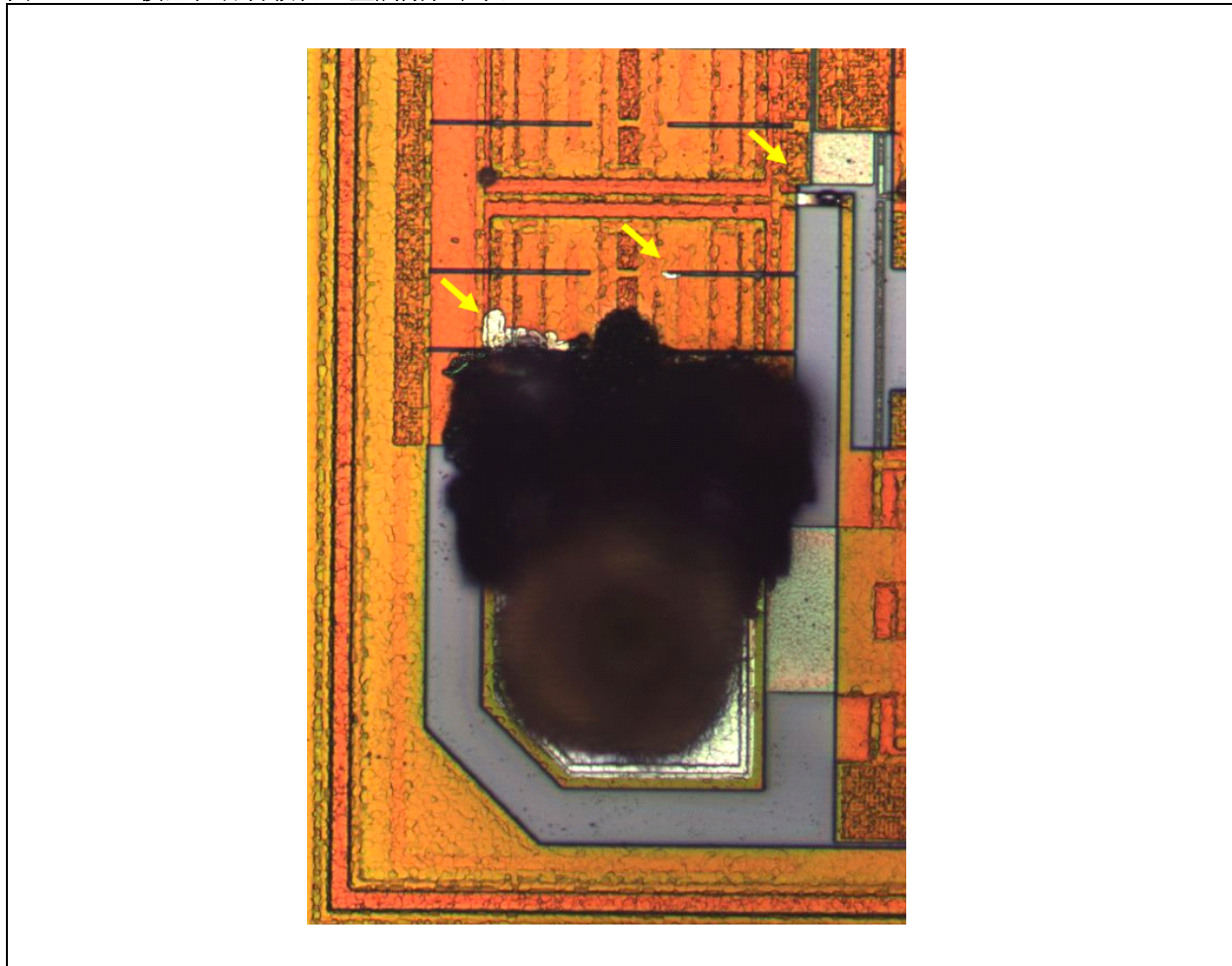


图 12: 封装的EOS损坏



ESD 和 EOS 测试

器件稳健性设计

Microchip 器件设计有保护电路，可在处理和装配过程中避免因ESD事件而导致损坏。作为质量流程的一部分，所有Microchip器件均根据两种JEDEC标准进行了测试，如下所述。

器件测试

所有Microchip Technology器件均设计为根据以下标准进行耐ESD测试：

- ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2012，用于静电放电敏感度测试，人体模型（HBM）——元件级
- JESD22-A115，用于静电放电（ESD）敏感度测试，机器模型（MM）

可供参考的其他ESD标准：

- MIL-STD 883 Notice 8 Method 3015.7 “Military Standard for Test Methods and Procedures Microelectronics: ESD Sensitivity Classification ”
- ANSI/ESD S5.3.1-2009，用于静电放电敏感度测试，带电器件模型（Charged Device Model, CDM）——元件级

- JESD22-C101 “Field-Induced Charged Device Model Test Method for Electrostatic Discharge Withstand Thresholds of Microelectronic Components ”
- ANSI/ESD S5.2-2009，用于静电放电敏感度测试，机器模型（MM）——元件级
- AEC - Q100-002，用于人体模型静电放电测试
- AEC - Q100-003，用于机器模型静电放电测试
- AEC - Q100-011，用于带电器件模型（CDM）静电放电测试

此外，还会根据JESD-78测试门锁敏感度，这项测试在 ± 100 mA最小应力电流和 $1.5 * V_{MAX}$ 过压的样片上执行。

最低准则

2000V —— HBM样片：12（每个电压大小3个）
200V —— MM样片：12（每个电压大小3个）
500V ——（边角引脚：750V）CDM样片：5

人体模型（HBM）

人体模型（HBM）是ESD测试最常用的模型。

HBM模拟人体通过接地器件释放累积静电荷的过程。

图13： 人体模型（HBM）

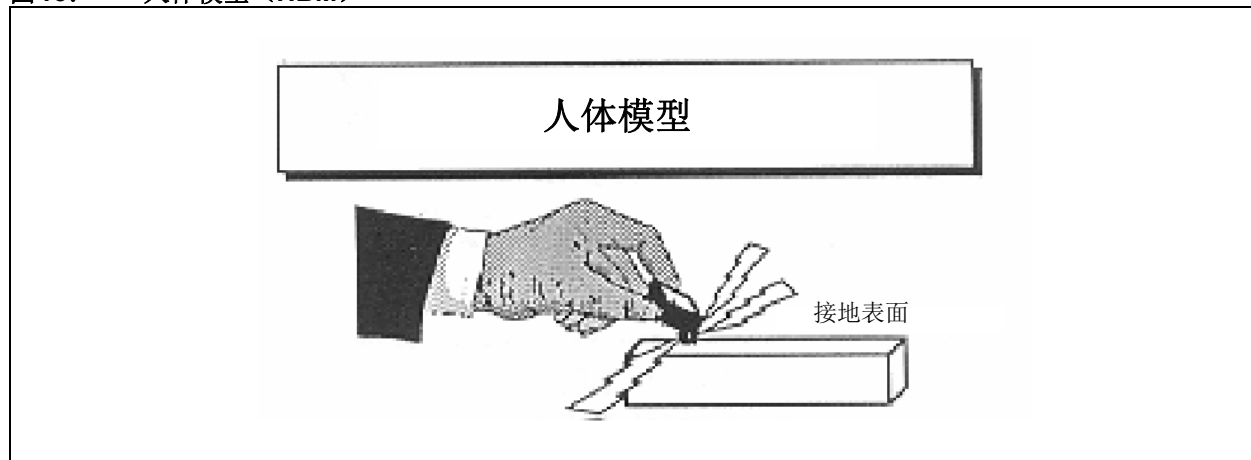
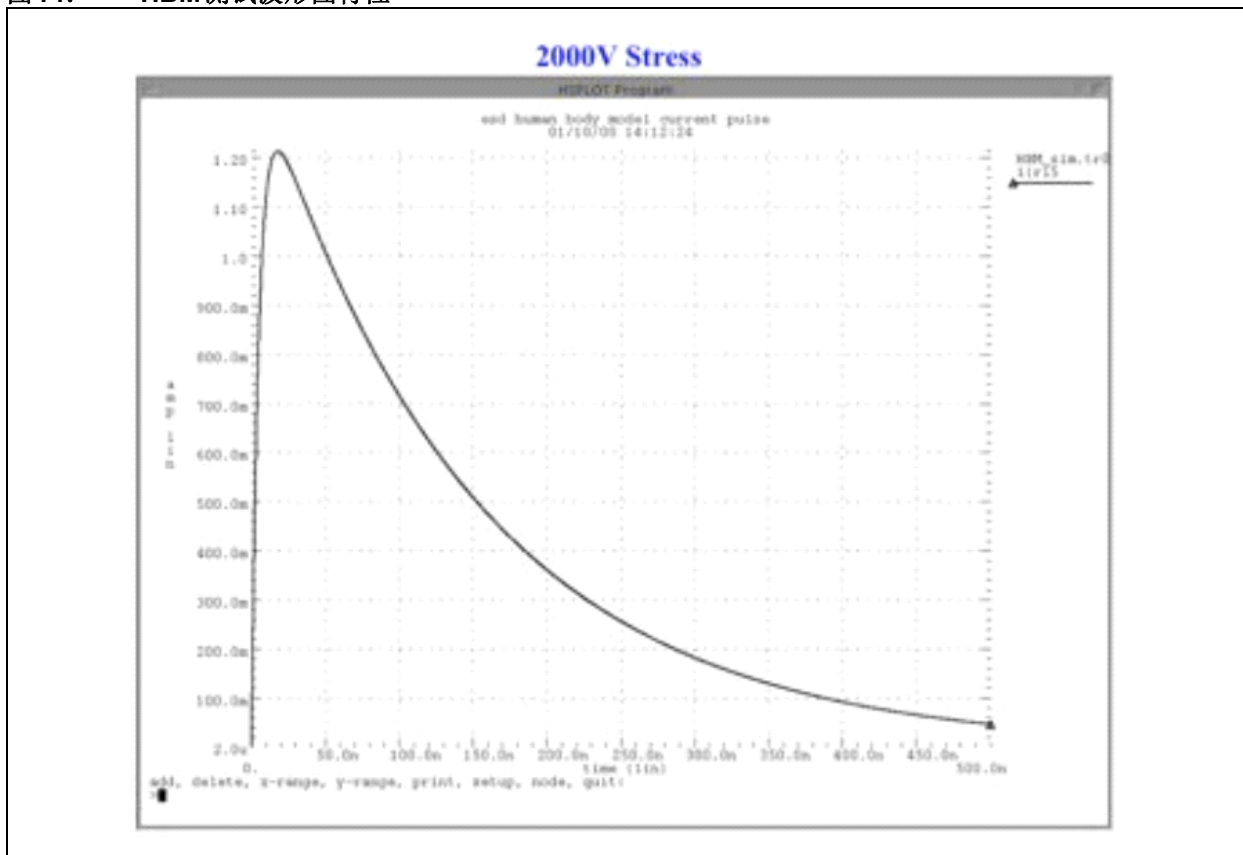


图14中的图形显示了HBM测试波形的特性。对于2 kV测试，人体模型的电流峰值为1.2A到1.3A。上升时间为2-10 ns，在150 ns时波形衰减到50%。整个周期为500 ns。

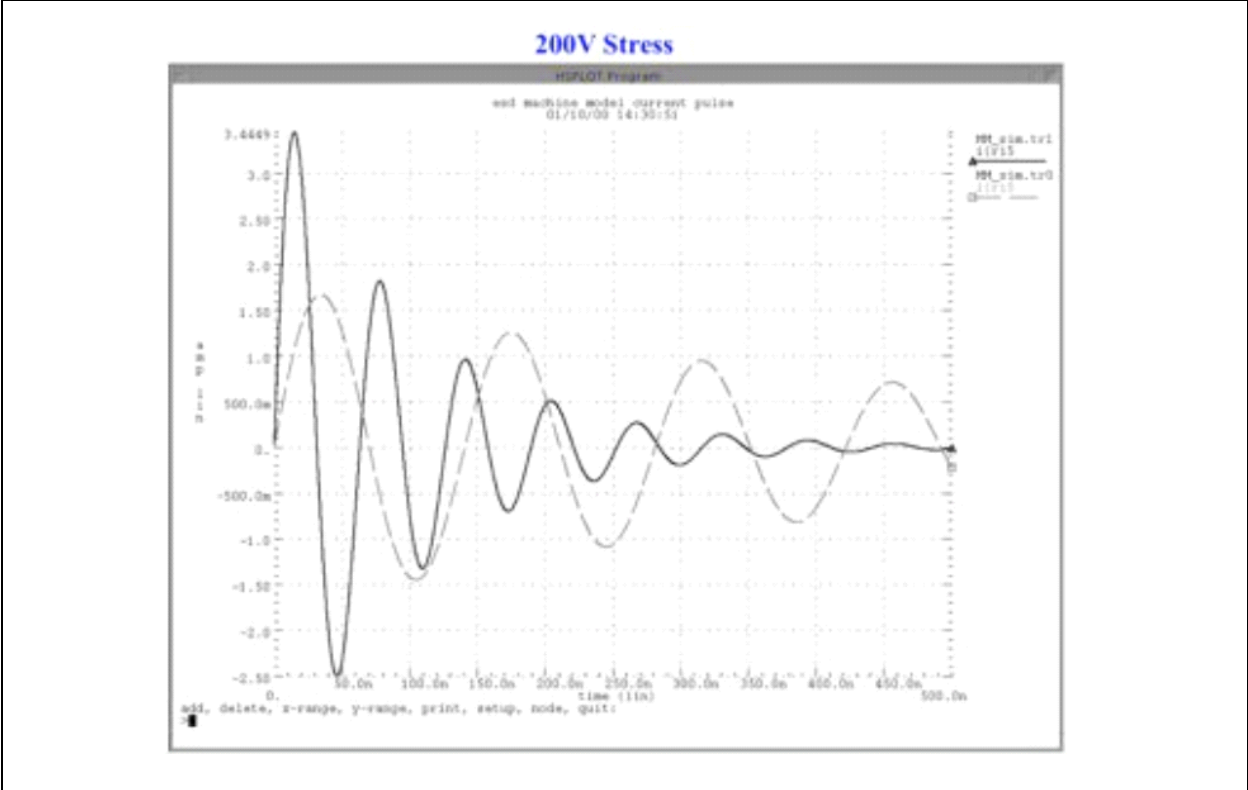
图14: HBM测试波形图特性



机器模型（MM）

机器模型（MM）模拟金属与金属之间的静电放电过程。该模型开发为模拟人坐在工作台上并使用工具的情形。

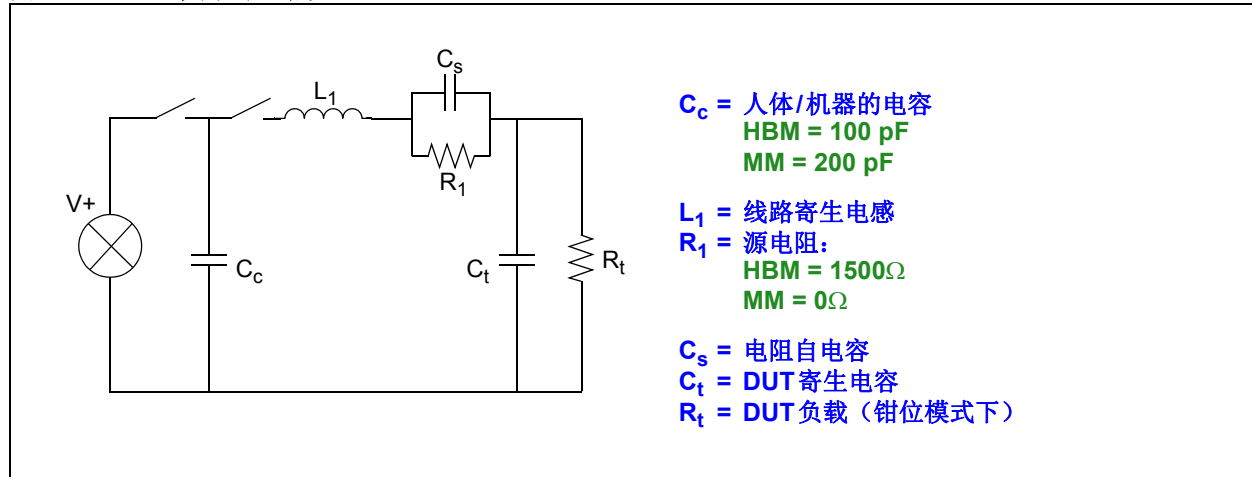
图 15： 机器模型典型电流脉冲



机器模型在测试设置中使用“0欧姆”电阻（见图16），放电电流会体现LC回路行为。上升时间介于5到15 ns之间。波形持续时间、峰值和上升时间取决于DUT中的寄生电感和电容。

人体模型和机器模型进行的测试是对测试设置使用不同值的相同测试。下面详细介绍了基本测试电路设置。

图16: 基本测试电路设置



在上面的电路中， R_1 为设置的体电阻，用于模拟人体或处理器件所用工具的电阻。

C_c 为设置的体电容，用于模拟人体的总电容。在机器模型中，此电容值较高，因为人处于坐着的状态。

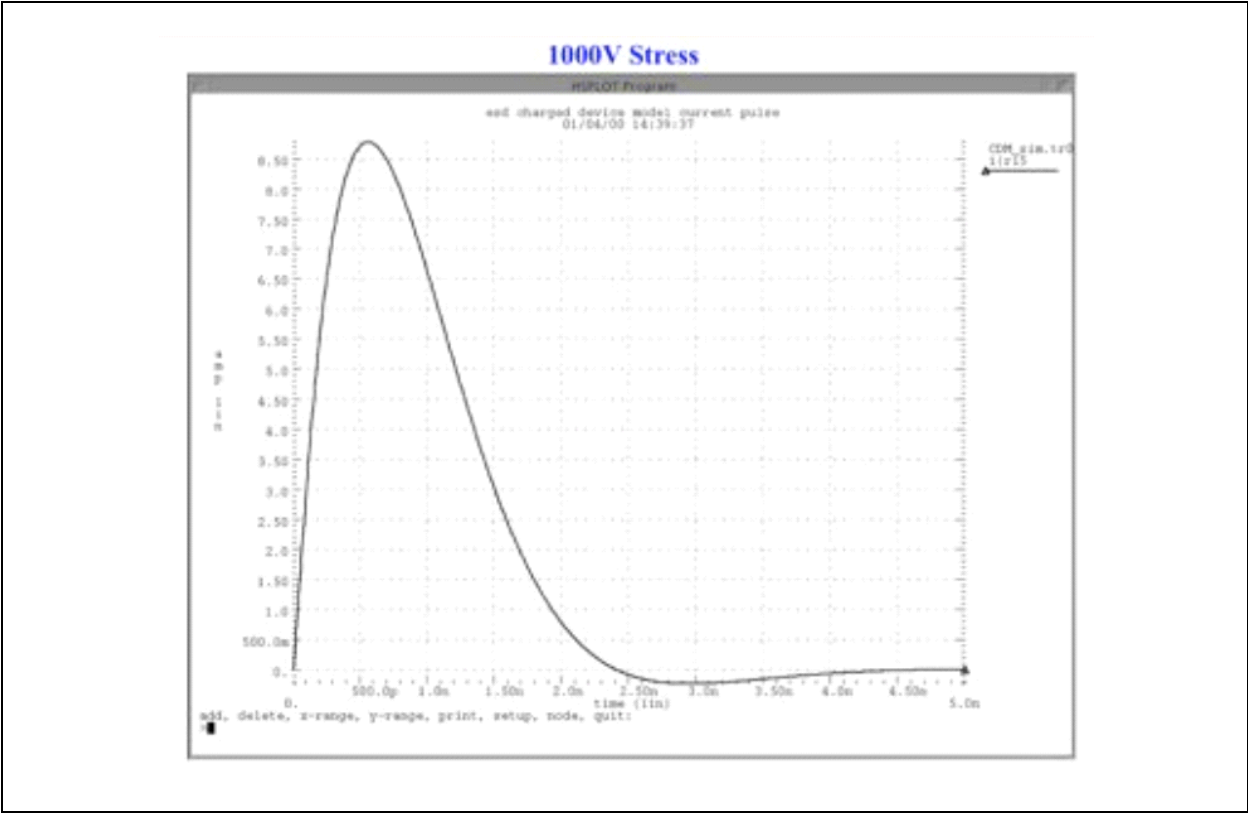
带电器件模型（CDM）

器件在与其他物体接触时可累积电荷。如果在生产期间与走线或馈线接触，则可能出现这种情况。如果器件随后与低电位的其他物体接触，则会向该物体放电。这种ESD称为带电器件模型（CDM）。CDM通常会损坏敏感的薄栅氧化层。

典型设置如图17所示，其中显示了接触放电现象。另一种设置是火花间隙放电，其通过放电电极产生ESD火花。

在典型的CDM电流脉冲中，上升时间通常短于1 ns，持续时间只有几纳秒。电压为1000V时达到峰值电流，此时的电流值约为9A。

图17： 典型CDM电流脉冲



电气模型如图18中所示。 C_1 、 L_1 和 R_1 均为寄生元件。 C_c 表示器件电容；此电容因产品而异，具体取决于使用的封装。

图18: 电气模型

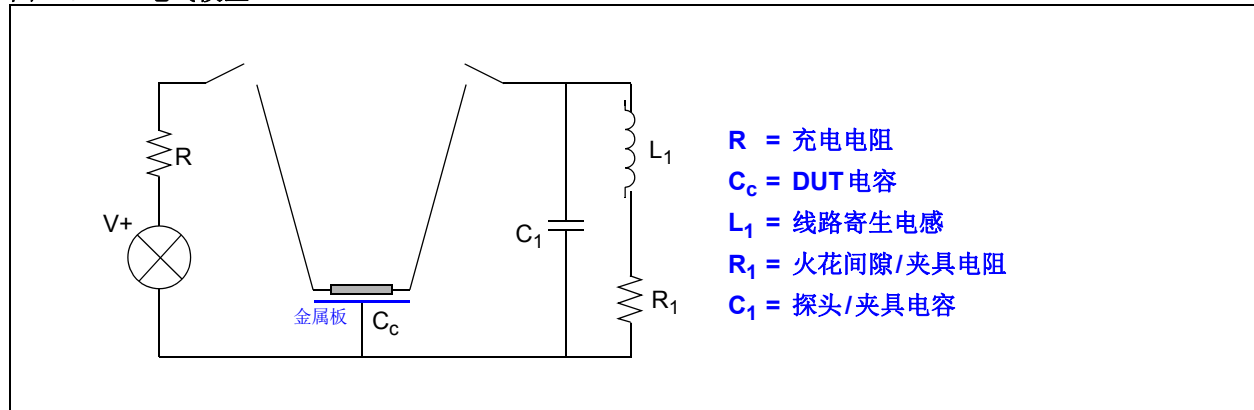


表2: ESD 模型汇总

	HBM	MM	CDM
应力电压 (V)	250 500 1000 2000 4000 8000 (可选)	25 (E) 50 (E) 100 (J+E) 200 (J+E) 400 (J+E)	100 (J) 125 (E) 200 (J) 250 (E) 500 (J+E) 750 (A) 1000 (J+E) 1500 (E) 2000 (J+E)
充电电容 (pF)	100	200	DUT (可变)
串联电阻 (欧姆)	1500	0	0
打电压次数	1	1	3
样片数	3	3	3
两次打电压间的延时 (s)	0.1	0.5	0.2
上升时间 (ns)	2-10	—	0.2-0.25
36.8% I_p 时的脉宽 (ns)	130-170	—	—
过零时的脉冲周期 (ns)	—	63-91	—
脉宽 (ns)	—	—	0.4-1.5

ESD控制机制

静电放电有许多种来源。传统ESD脉冲因处于较高电位的物体与接地物体接触或接近而产生。这可以是人体或一台电气设备，甚至可以是一件家具。

在干燥环境中，静电荷耗散速度慢，人体会产生成千上万伏电位。如果用于提高静电荷耗散速度的离子发生器放置不当，则会在办公室或实验室设备上产生极高的电位。如果有人接触这类设备，则可能感受到电击。具有高电位的工作台上的器件可能会损坏。

人员接地器件

可通过谨慎的人员接地程序避免在装配时ESD损坏的可能性。用于手动处理器件的接地母线至关重要。其他程序包括：接地工作台和工作台面（带抗静电表面），例如专门设计的塑料地垫。

此外，静电耗散型服装有助于消耗装配人员可能累积的电荷。

其他预防性措施包括：

- 静电耗散型地板
- 地垫
- 离子发生器
- 防静电鞋
- 手套和指套
- 警告符号

可使用法拉第笼来保护电路板上的器件。可在法拉第笼内对器件进行微探测，然后将其存储在笼内。

意外使用ESD枪会导致故障。检查上述各项是否均处于合适位置（如适用）。

ESD封装

为防止ESD损坏，保护性材料封装技术必不可少。可采用封装袋、封装填充物、封装盒、封装箱、托架和托盘等封装形式。它们必须均能防止下列非常明显的威胁：

- 直接放电：
 - 直接向封装袋或容器进行ESD放电
- 静电场：
 - 静电场会在电路或器件内感应破坏性电流
- 摩擦生电：
 - 封装袋或容器与器件之间相接触会产生有害的静电电压和静电场

选择合适的封装时，区分静电耗散型材料和抗静电材料至关重要，因为这两种材料的作用有所不同。

抗静电材料能够抑制电荷产生或者防止静电荷累积。这种材料在自由放电前无法安全吸引或衰减静电荷。抗静电材料的电阻介于1到 1×10^{10} 欧姆之间。

“粉色”塑料袋是最常见的抗静电材料示例。这种材料在与其他材料接触时不会产生电荷。其缺点是不具备屏蔽功能；静电场可穿过封装袋，进而损坏其中的元件。

抗静电材料适用于封装不具备静态磁化率的元件，或适用于支架封装。其主要作用是对将要靠近静电敏感型器件的材料进行处理，以便使产生静电的材料远离敏感型元件。

导电材料的电阻小于“静电耗散型”材料（电阻在200千欧范围内）。这种材料能最大程度地抑制电荷产生，并使电荷快速耗散。“黑色”塑料袋是这种材料的一个示例。利用这类抗静电袋，电荷将快速耗散，还会显著降低发生“火花”或ESD事件的可能性。由于材料具有导电性，因此可对其中包含的元件提供一定的屏蔽，但电荷仍可能转移到器件。

静电耗散型材料可使累积的静电安全对地放电。静电耗散型材料的电阻介于1到 1×10^6 欧姆之间。要在不产生较大尖峰或放电的情况下安全耗散ESD累积电荷，选择此范围内的电阻至关重要。

静电屏蔽袋和容器可提供出色的保护，因为它们既能对其中的元件提供静电耗散型保护，又能提供抗静电保护。此外，它们还具有金属屏蔽层和绝缘介质，可防止静电进入袋中。

测试和生产设备中的ESD

如果未受保护器件通过以下方式获得电荷，操作、测试、处理或接触此类器件的任何设备都可能出现ESD故障：

- 接触绝缘体
- 接触未接地的导体
- 靠近带电表面

随后会在接触接地金属面（例如，电气测试头）时放电。

大多数设备制造商都尚未将其设备设计为抗CDM型设备。在最大程度减少CDM问题方面，没有可以遵循的工业设备设计规则；因此，需要由用户自行确认生产线中使用的设备不存在CDM问题。

如何使设备抗ESD

以下准则有助于最大程度降低生产线中出现ESD问题的可能性：

- 应检查设备，确认是否存在绝缘体材料在穿过设备时近距离接触或靠近（6英寸）器件的情况。
- 如有可能，将绝缘体更换为静电耗散型材料。
- 如果无法实现，则使用抗静电或空气离子发生器中和产生静电荷的表面。
- 确保与器件接触的所有金属均接地。不要依赖目视检测；请使用欧姆表。在器件穿过设备时检查器件路径中的所有金属。
- 确保设备本身适当接地。

有很多电路示例可帮助应用降低外界的ESD/EOS影响。这些电路示例有助于减少从ESD/EOS现象传递到单片机电路的电能。下面是其中部分电路示例：

- 单片机输入引脚上的串联电阻可降低因ESD事件而流入输入引脚的电流。典型值范围为 1-10 千欧。
- 单片机输入引脚的R-C-R π 型滤波器。
- 瞬态吸收器/保护二极管/钳位二极管。
- PCB上的ESD火花间隙。
- 电源去耦电容。
- HV线之间的间距（UL间距标准）和PIC[®] MCU引脚。

EOS控制机制

进行产品装配和测试时应十分小心，避免出现可能导致器件EOS故障的潜在电压或电流峰值。

大多数故障都是因设备接地或电气连接问题而引起，例如：

- 测试设备不良接地
- 多个接地连接：
 - 会导致两个接地连接之间出现压差
- 接地回路电流：
 - 机架地和电气安全地混接

编程和测试器件时应考虑的其他因素包括：

- 测试设备的交流电源线浪涌（较大开关电流）
- 感性/容性负载
- 将长电缆与有源电路相连；器件的编程和测试电缆应较短
- 编程器上的插座损坏或维护不当
- 错误插入编程器插座
- 元件电路板安装方向错误
- 中性线/地线接反
- 电流感应：
 - 连接到测试设备的电机或其他感性组件可产生强磁场（产生可通过电线和其他连接传递的电流和电压）

有关可用于防止应用中出现ESD或EOS事件的瞬态抑制机制的进一步说明，请参见“*EMC 快讯3*”，网址为：<http://www.microchip.com/emc>。

电路设计和PCB布线是防止器件出现EOS条件的基础。有很多出版物都针对正确设计电路以避免过载条件提供了良好的建议。

说明：图19显示了利用电源上的铁氧体磁珠和限流电阻来保护I/O引脚的示例。图中有一个电容接地，用于通过构成LRC滤波器来滤除高频瞬变。

- 干净的Vcc和Vss电源：
 - 避免过多振铃和上电过冲/下冲
- 控制上电和掉电时的Vcc斜率：
 - 上电或掉电过快会导致电路的浪涌电流过高
- 适当的电源/地：
 - 避免接地回路和接地压差
- 正确的去耦电容值：
 - 滤除高频尖峰的必要条件
- 数据总线争用
- 将外部电缆连接到不受保护的I/O端口
- 合适的元件布局
- 较短的走线长度

“EMC and the Printed Circuit Board: Design, Theory and Layout Made Simple”，作者：Mark I. Montrose，ISBN 0-7803-4703-X

说明：图19显示了利用电源上的铁氧体磁珠和限流电阻来保护I/O引脚的示例。图中有一个电容接地，用于通过构成LRC滤波器来滤除高频瞬变。

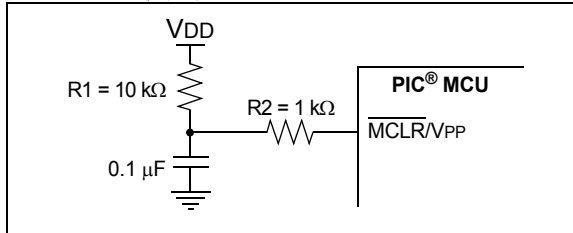
The diagram shows a system architecture. On the left, a component labeled "至其他系统" (To other systems) is connected to an "I/O" block. This "I/O" block is connected to an "MCU" (Microcontroller Unit) block. A ground symbol is shown below the "I/O" block, and a waveform is shown to the left of the "I/O" block, indicating signal input/output.

图20: 将未使用的引脚配置为输出并驱动为逻辑低电平

将未使用的引脚定义为输出并驱动为低电平

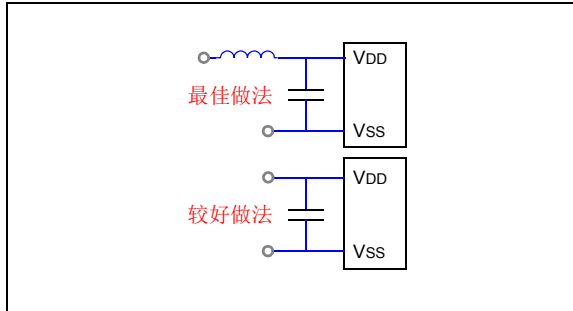
说明：在PIC®单片机中，MCLR还用作VPP引脚。此引脚无内部ESD钳位二极管。它对于防止引脚出现ESD或EOS事件至关重要。限流电阻（图21中的R2）将在出现ESD或EOS事件时限制电能传递到MCLR引脚。

图21： 使用限流电阻和MCLR



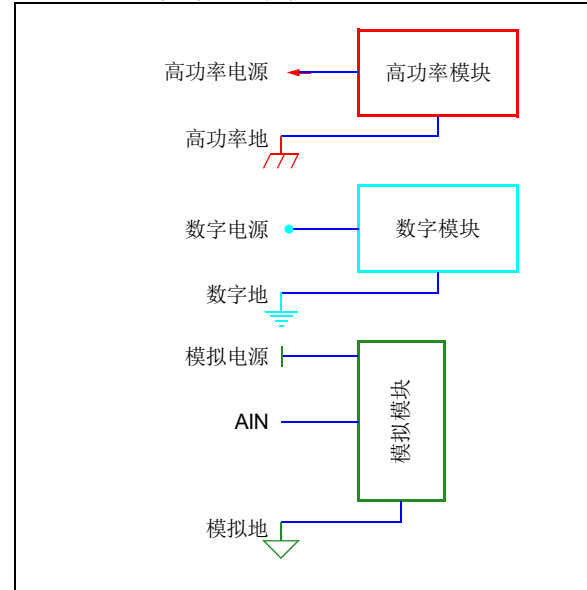
说明：图22显示了对电源线进行去耦的示例。确保为单片机提供干净的馈电至关重要。在器件的VDD和VSS输入引脚附近使用去耦电容来滤除器件的瞬变和噪声。最佳做法是，在电源附近添加一个铁氧体磁珠，以形成LC滤波器。请注意，许多器件可能有不只一个VDD和VSS引脚。常规做法是，每个引脚对配一个去耦电容。

图22： 电源线的去耦



说明：图23显示了布线示例。应用电路的高功率、数字和模拟模块的返回路径必须分开。这有助于降低开关噪声、电压尖峰或瞬变（从一个电路模块传递到另一个模块）。应在电源入口点将各个地连接在一起。

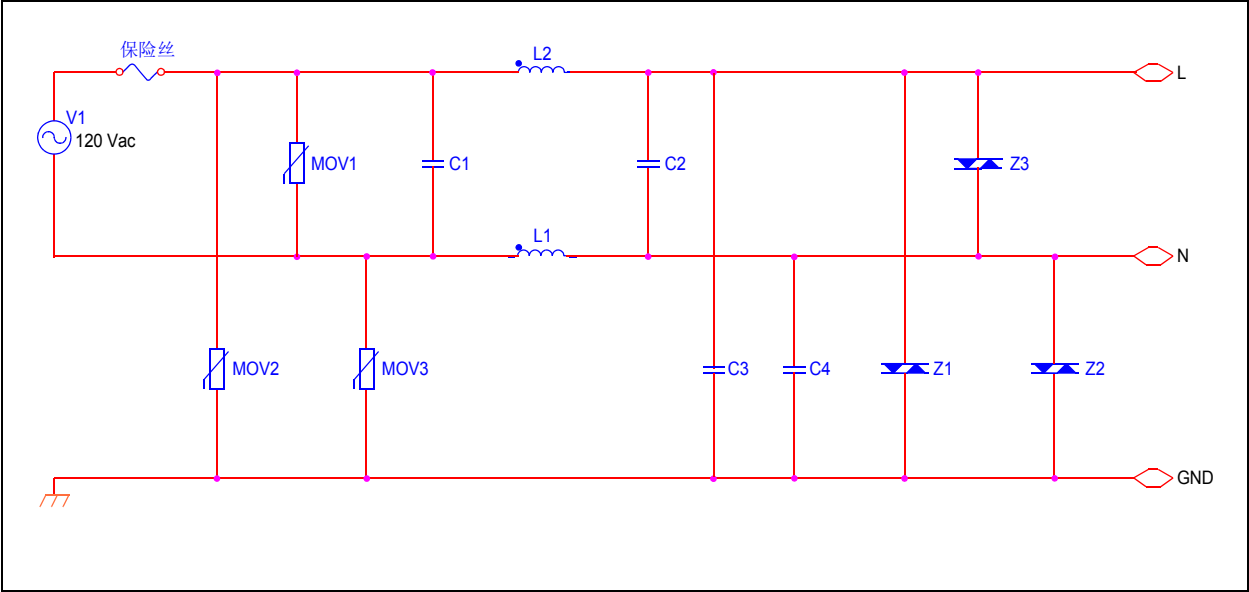
图23： 布线注意事项



说明：瞬态抑制器件具有限流功能。线路阻抗可能极低，因此通常需要将限流电阻与电源线串联，以减轻分流抑制器的压力。尽管可以使用电阻，但仍建议使用电感，以便提高效率并增加滤波功能（见图24）。这有

助于抑制线路承受的噪声，还可滤除电源产生的噪声。绕组电阻和电感可提供必要的串联阻抗来限制瞬态，进而实现有效瞬态抑制。

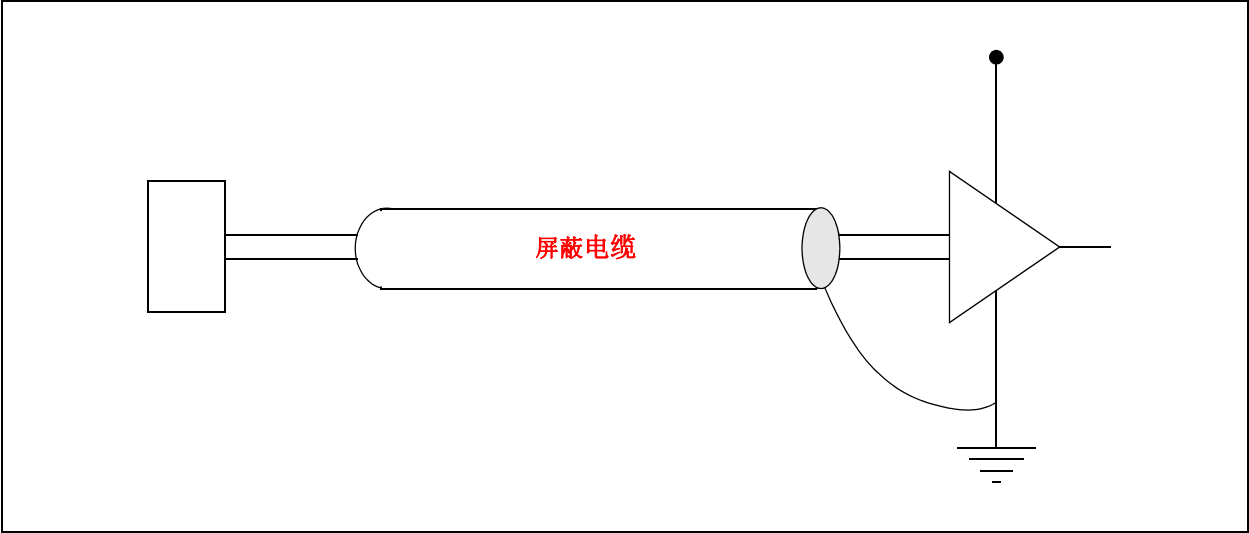
图24： 有效瞬变抑制



说明：使用电缆连接传感器时，确保使用合适的端接电阻。建议使用屏蔽布线（见图25）。如果使用较长的电

缆，100欧姆串联电阻（在单片机输入附近）有助于最大程度降低可能在电缆远端发生的ESD事件的影响。

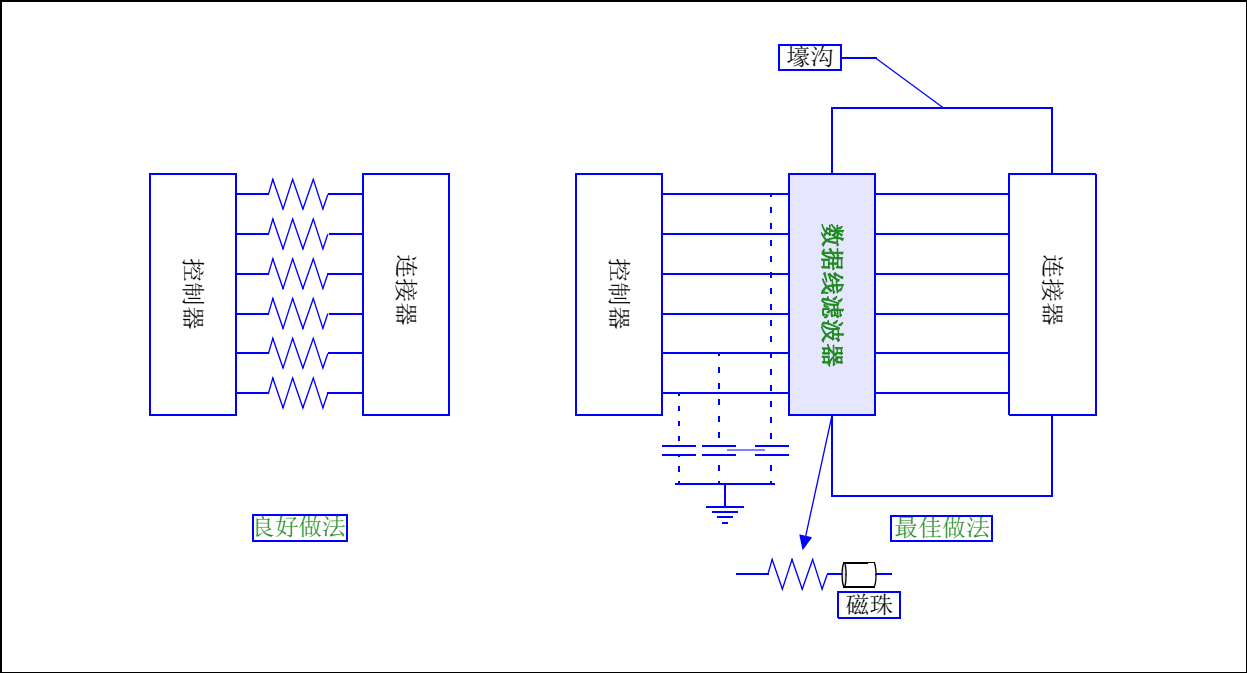
图25： 屏蔽电缆示例



说明：电缆连接器应配有滤波器。最简单的方法是使用限流电阻。在线路中添加完整的LCR滤波器（如图26

所示）可充分保护控制器，避免连接或断开连接器时可能出现的虚假尖峰和瞬态。

图26： 使用完整LCR滤波器



故障分析报告示例

EOS 故障

背景

客户返回一片USB82640AM进行故障分析。USB引脚3、4和42短接到地。电源引脚5、15、34、26、25、16和12短接到地。

总结

通过故障分析可确定所返回芯片的故障。返回器件的封装存在小坑。引脚无明显损坏。曲线跟踪分析过程中，发现几处短路现象，包括I/O（引脚3、4和42）以及电源引脚（引脚5、12、15、16、25、26和34）。X射线分析期间观察到异常。封装损坏处存在异常。通过声学显微镜发现封装损坏处的异常。SN#1已使用发烟硝酸解封。随即使用低倍显微镜全面检查芯片。观察到EOS损坏。SN#1的故障机制是电过载导致的损坏。

分析

外观目测：返回器件的封装存在小坑。引脚无明显损坏（见图27）。

曲线跟踪：曲线跟踪分析过程中，发现几处短路现象，包括I/O（引脚3、4和42）以及电源引脚（引脚5、12、15、16、25、26和34）。上述引脚处观察到的短路如图28所示。

X射线/C-SAM分析：X射线分析期间观察到异常。封装损坏处存在异常（见图29）。通过声学显微镜发现封装损坏处的异常（见图30和图31）。

解封/光学检测：SN#1已通过加热的发烟硝酸解封。随即使用低倍显微镜全面检查芯片。观察到EOS损坏（图32）。

结论：SN#1的故障机制是电过载导致的损坏。

图27: SN#1 的光学图像



图28: 几个 I/O 引脚和电源引脚上观察到的短路图像

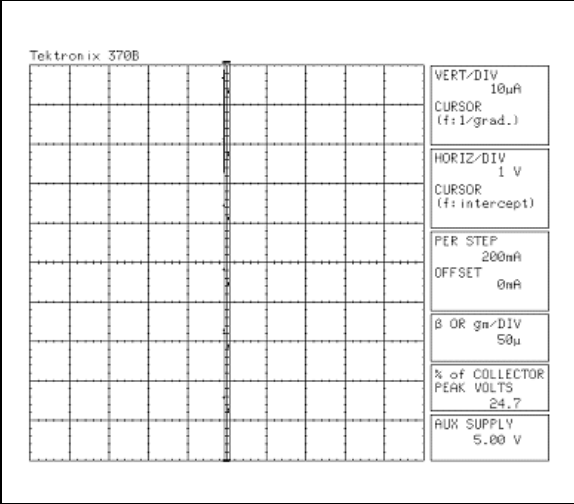


图29: SN#1 的 X 射线图像

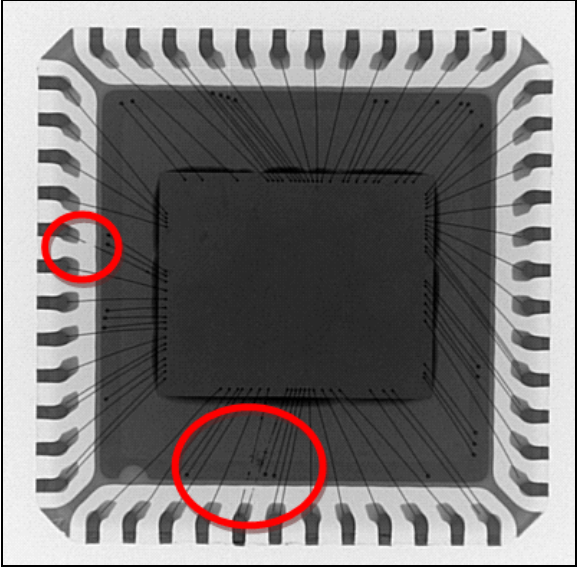


图 30: SN#1 的顶部 C-SAM 图像

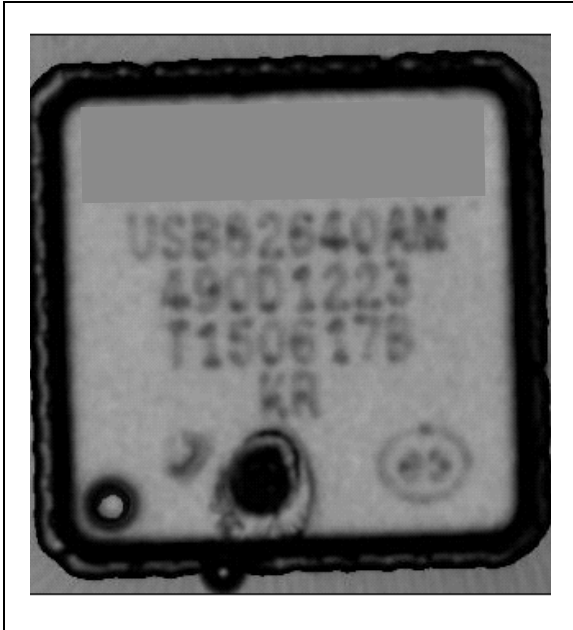
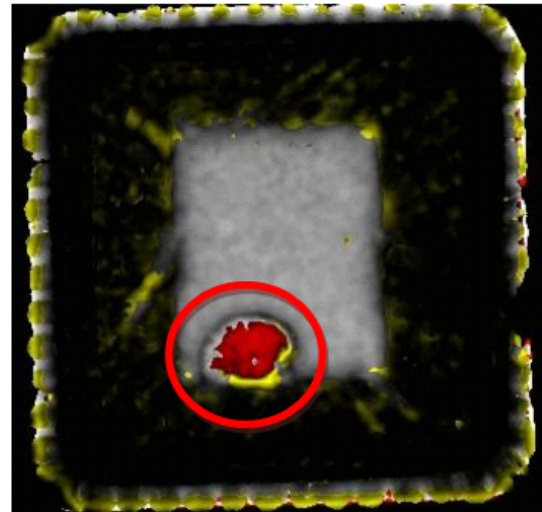
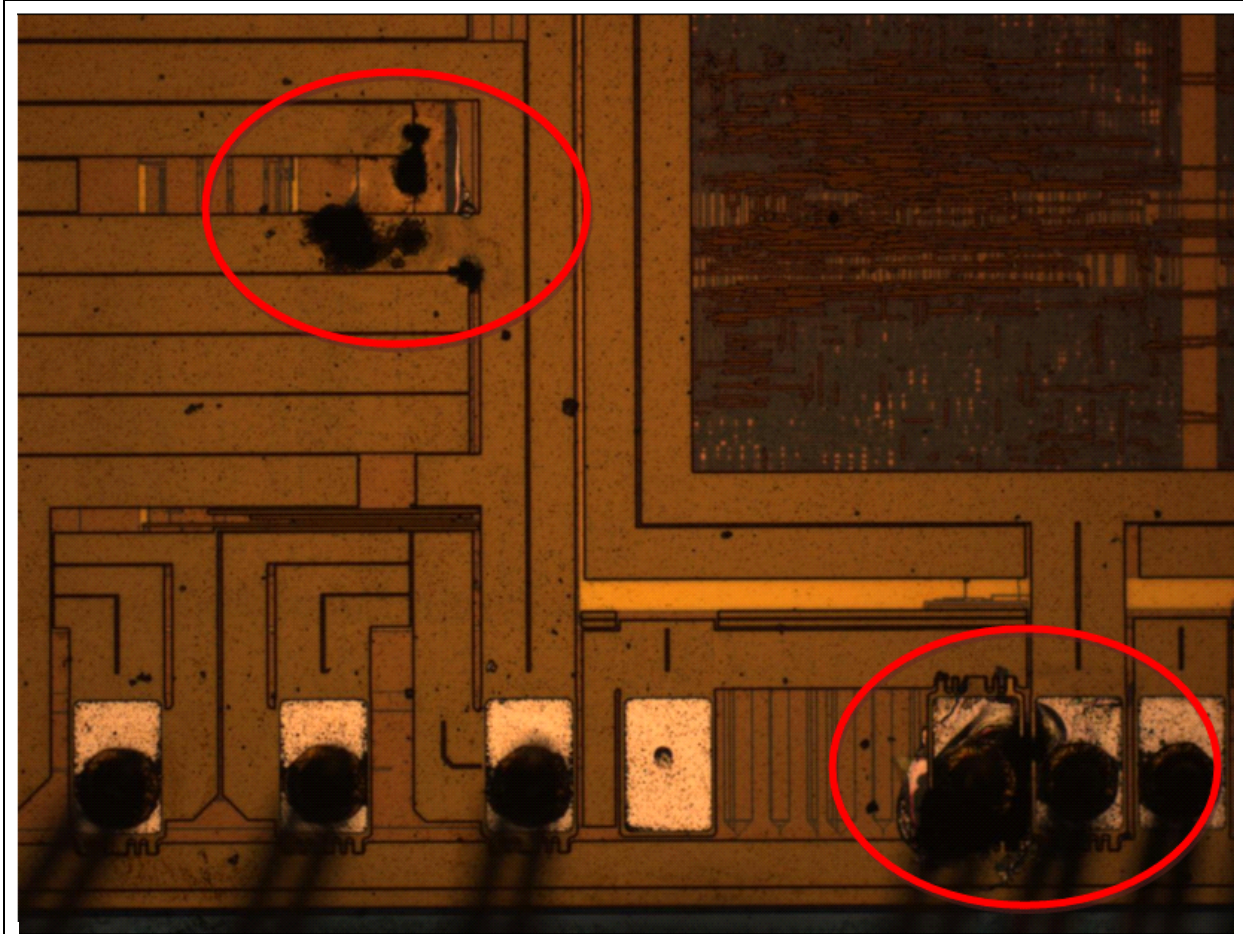


图 31: SN#1 的裸片 C-SAM 图像⁽¹⁾



注 1: 封装损坏处出现异常（方向与图 30 相同）。

图 32: SN#1 上 EOS 损坏的 50 倍放大图像



样片故障分析报告（第1页，共3页）

故障分析报告编号: **XXXXX**

2013年8月6日

第1页，共3页

客户:	Chandler Reliability	Microchip 器件编号:	MCP14DEx
版本号:	B0	封装类型:	8 引脚侧面铜焊
测试芯片编号:	14	掩膜编号:	ABCD
数量:	2个（另外提供1个未发生故障的器件）	批号	未提供
故障点:	ESD-HBM	接收日期:	2013/7/29
联系人: 工程师1（申请人）、工程师2（审核人）和工程师3（故障分析师）			

背景

提交了两个MCP14Dx 器件，以供在ESD-HBM测试后进行故障分析。

分析

外观目测: 器件的识别号为#7和#9。此外，还包含一个用于比较的已知正常器件。

曲线跟踪: 与已知正常器件比较时，器件表现出正常的引脚特性。

目视检查: 器件已开盖。（其中一个器件，即器件7在开盖过程中发生意外损坏）随后对器件#9进行放大目视检查。未在器件电路中发现可见损坏或缺陷。

LEM分析: 发光分析显示，与已知正常芯片相比，存在一处明显的异常发光。图1显示了这处异常发光。

化学逆向处理: 执行了化学逆向处理过程。图2和3显示了观测到的损坏图片。

总结

确认SN#9存在ESD损坏。

SN	标识		故障模式	故障机制
	顶部	底部		
#9	NA	NA	泄漏	ESD

样片故障分析报告（第2页，共3页）



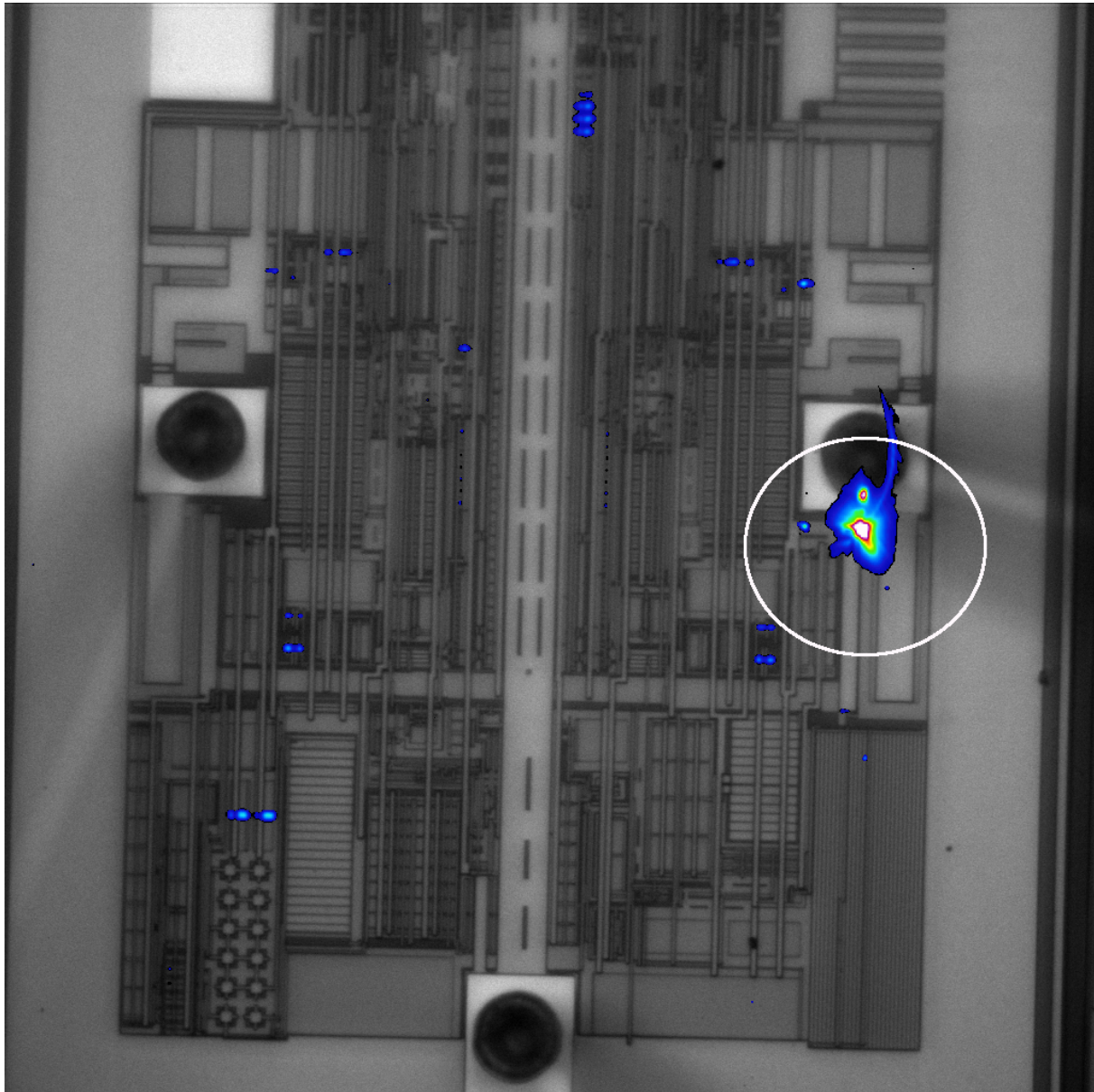
质量与可靠性
故障分析组

故障分析报告编号: **XXXXX**

2013年8月6日

第2页，共3页

图1: 显示了SN#9上观测到的异常发光。



样片故障分析报告（第3页，共3页）



质量与可靠性
故障分析组

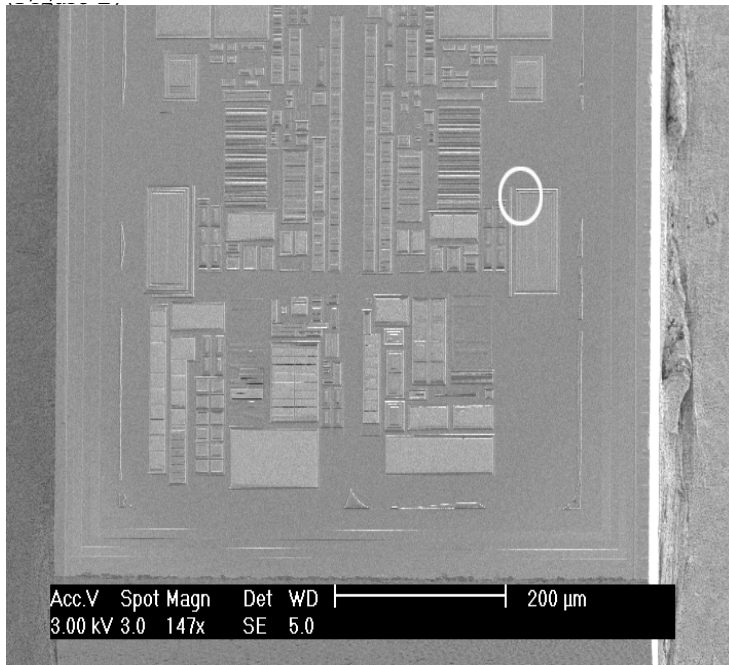
故障分析报告编号: **XXXXXX**

2013年8月6日

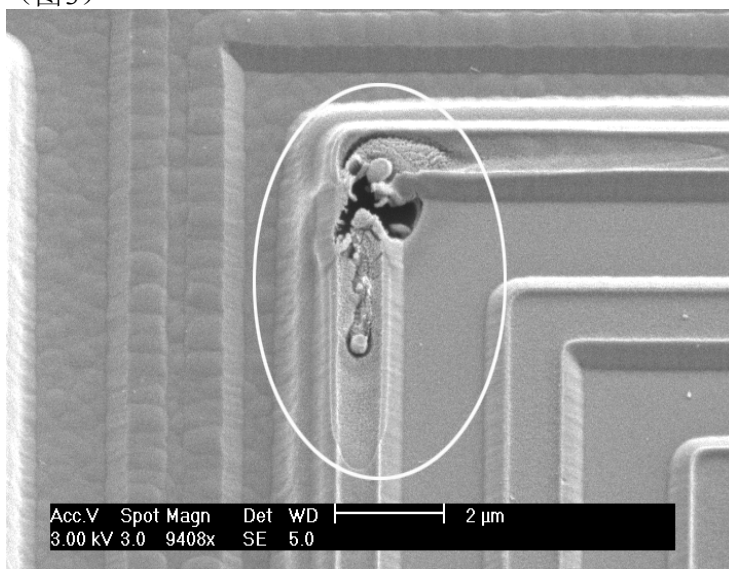
第3页，共3页

图2和图3: 显示了SN#9上损坏的位置和情况。

(图2)



(图3)



注:

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中以其他方式转让任何许可证。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949 ==

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KEELOQ、KEELOQ 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch 徽标、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2017, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-2083-5

全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

亚太总部 **Asia Pacific Office**
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880
中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115
Fax: 86-571-8792-8116

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000
Fax: 86-21-3326-8021

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

亚太地区

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-5778-366
Fax: 886-3-5770-955

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4123

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-3019-1500
日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

Fax: 81-6-6152-9310

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770
Fax: 81-3-6880-3771

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

法国 France - Saint Cloud
Tel: 33-1-30-60-70-00

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-67-3636

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7289-7561

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenberg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820