

二极管

# TVS 二极管的 PCB 布线

TVS (Transient Voltage Suppressor) 二极管，是为了从静电和预想外的浪涌电压来保护半导体器件而特化开发的产品，有着较高的保护性能。但如果 PCB 布线不合适，TVS 二极管就不能发挥性能，其保护功能会受到损失。本应用笔记会对 TVS 二极管的 PCB 布局方法予以说明。

## 破坏事例和对策

分析作为投诉品而返品的 IC 时，发现有因 ESD (Electro-Static Discharge) 而损坏的事例。其电路图和 PCB 布线如 Figure 1 和 2 所示。

在电路图中，在框体外部露出的连接器和 IC 之间配置 TVS 二极管，设计成用 TVS 二极管吸收从连接器侵入的 ESD 能量。而后确认 PCB 布线，发现虽然电气方面按照电路图连接着，但 TVS 二极管被配置在基板的角落。这是因为没有认识到 ESD 对策的重要性，因此在优先布局了主要电路之后，才在空的地方配置了 TVS 二极管的事例。

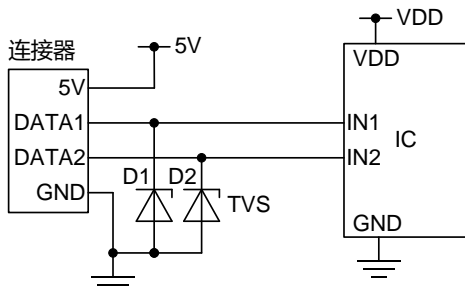


Figure 1. TVS 二极管保护 IC 输入端子的电路图

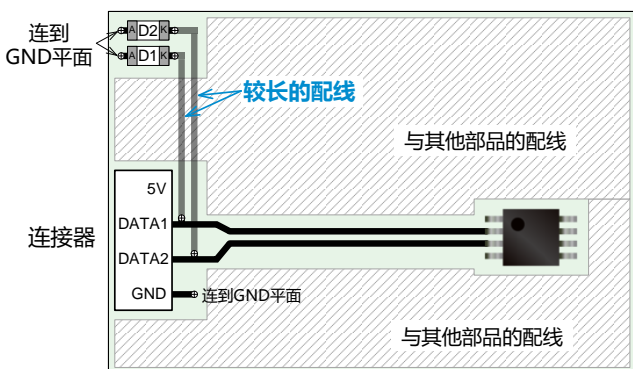


Figure 2. ESD 导致 IC 被破坏的 PCB 布线

如果该 PCB 布线中考虑到配线的寄生电感，则等价电路将变为 Figure 3，在二极管的阴极和保护对象配线之间加入寄生电感值  $L_{P1}$ ,  $L_{P2}$ 。另外，阳极侧与阻抗低的 GND 平面相连。

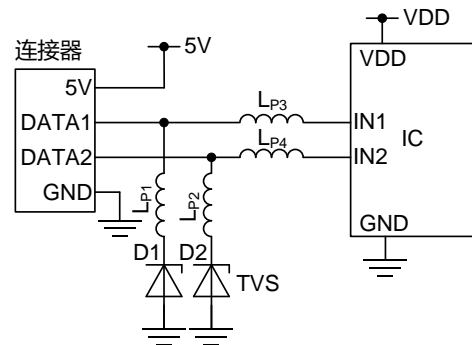


Figure 3. 考虑了配线的寄生电感后的等价电路图

静电试验规格 IEC61000-4-2 中 8kV 接触放电时的电流波形如 Figure 4 所示。因为 ESD 是瞬间的脉冲波形，寄生电感导致在 TVS 二极管的钳位电压处发生大的过冲。

如果在寄生电感  $L$  [H] 的配线中传播的电流在时间  $t$  [s] 以内  $i$  [A] 发生变化，则在布线的两端会产生计算式 (1) 的电压。根据计算式， $L$  值越大，电压也越大。

$$|V| = L \times \frac{di}{dt} \quad [V] \quad (1)$$

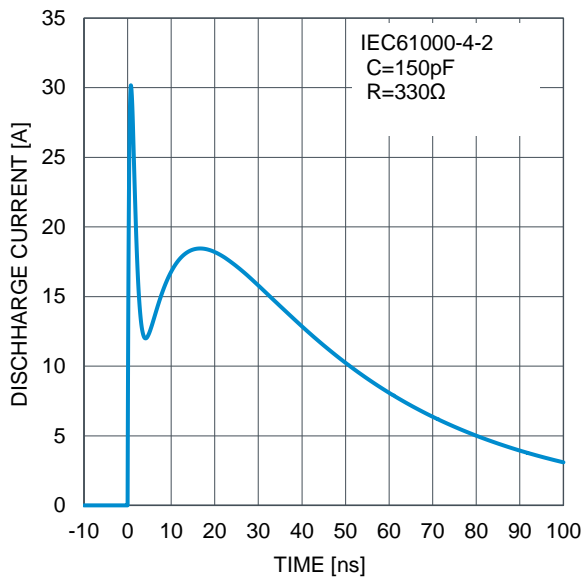


Figure 4. 接触放电电流波形

铜箔配线的电感值可根据计算式(2)来估算。代表的计算结果如 Figure 5 所示。

$$L = 0.2l \left( \ln \frac{2l}{w+t} + 0.2235 \frac{w+t}{l} + 0.5 \right) \quad [nH] \quad (2)$$

$l$  : 导体长度 [mm]

$w$  : 导体宽度 [mm]

$t$  : 铜箔厚度 [mm]

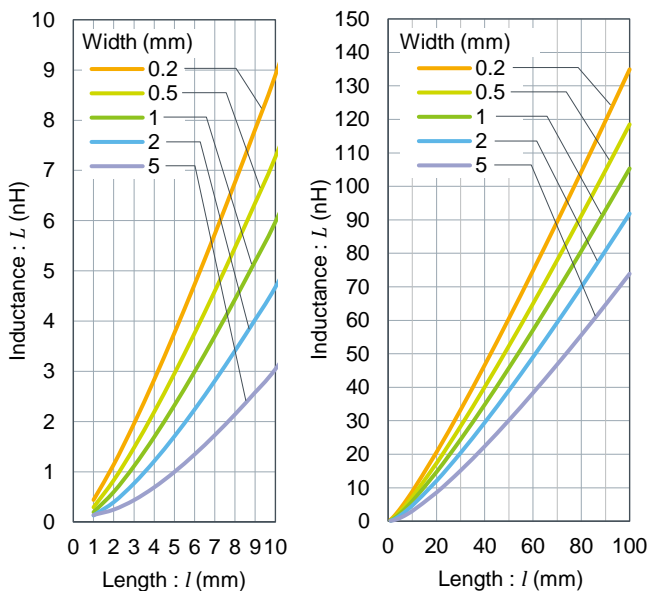


Figure 5. 铜箔配线的电感值  
 $t = 0.035 \text{ mm}$

例如，在 Figure 2 的布线中，连接器和 D1 之间，假设配线长度为 50mm，配线宽度为 0.5mm，则寄生电感值为 52nH。连接器和 IC 之间，假设配线长度为 80mm，配线宽度为 0.5mm，则为 91nH。

此条件的仿真电路如 Figure 6 所示。左端是 ESD 放电枪的等价模型，通过 SW1 向 IC 方向接触放电。

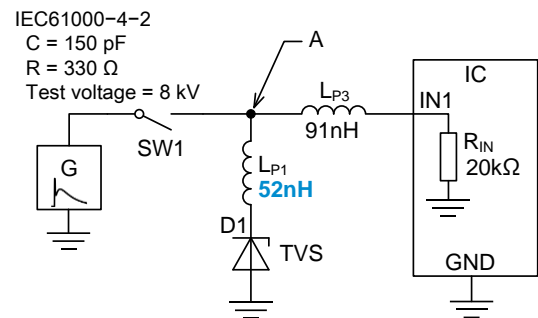


Figure 6. 包含配线的寄生电感的  
接触放电试验的仿真电路

保护对象配线 A 点的电压波形的仿真结果如 Figure 7 所示。寄生电感产生感应电动势，第一个峰电压上升到 3.4kV，可知 TVS 二极管电压没钳制住。这意味着 TVS 二极管的性能完全没起作用。

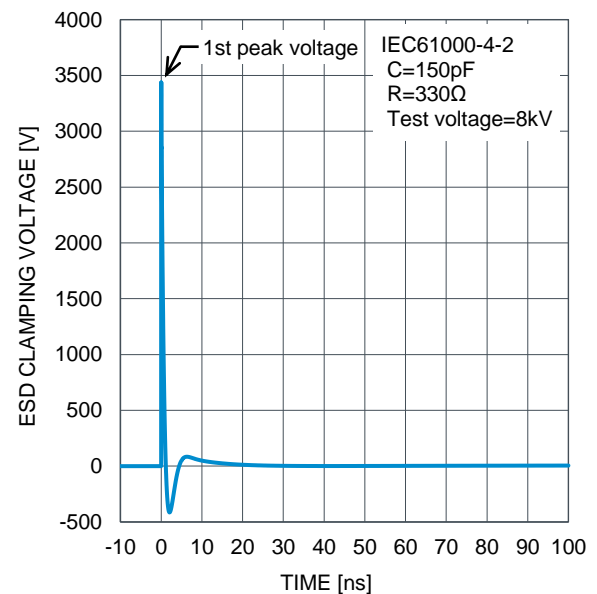


Figure 7. 寄生电感值较大时的 ESD 钳位电压  
仿真结果

Figure 8 所示的是更好的 PCB 布线方式，让保护对象配线与 TVS 二极管阴极的间距尽量小，使寄生电感值变小。

因为这个布线方式在保护对象配线的正上方配置着二极管，我们设定寄生电感值为 1nH 来实施仿真，仿真电路如 Figure 9，仿真结果如 Figure 10 所示。第一个峰值电压被抑制到 107V，此后也被钳位电压抑制着。

综上所述可以明白，减小布线的寄生电感值是非常重要的。

另外，这些仿真的目的是为了理解配线寄生电感值的不同而导致的钳制性能的变化，因此与实际波形有区别。

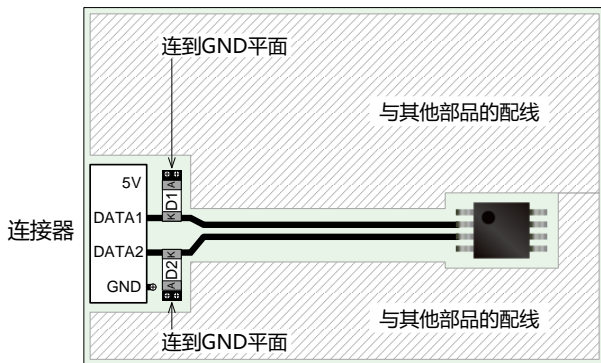


Figure 8. TVS 二极管的良好布线  
保护对象配线和二极管阴极间的寄生电感要尽量小

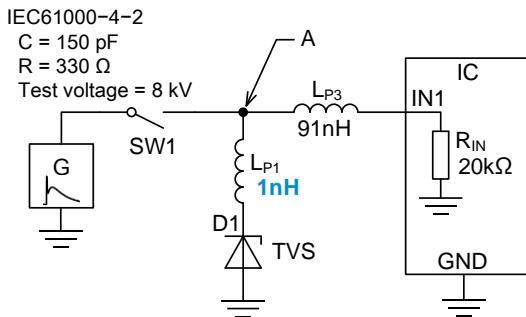


Figure 9. 配线的寄生电感值较小时的  
接触放电试验仿真电路

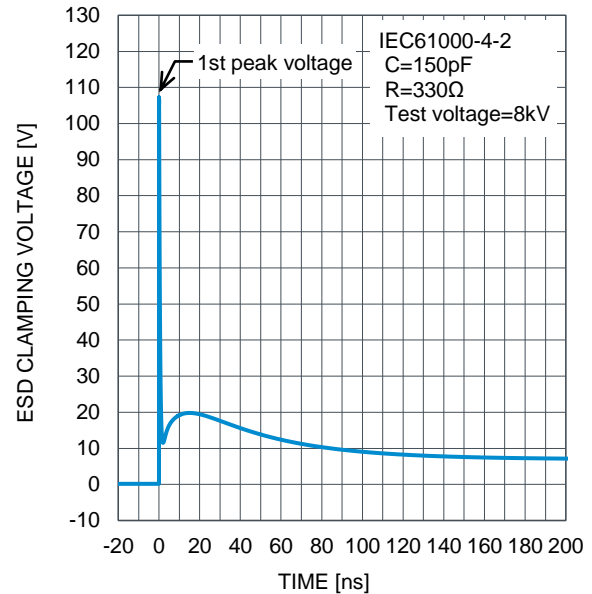


Figure 10. 寄生电感值较小时的 ESD 钳位电压  
仿真结果

到这里为止是二极管阴极侧的说明，接下来是阳极侧的说明内容。推荐将阳极连接到阻抗低的 GND 平面，但如果二极管正下方没有 GND 平面，则如 Figure 11 所示，阳极与 GND 平面之间的布线会延长。这与阴极侧配线延长的情况是同样的结果，不能钳位住浪涌电压。因此请优先将 GND 平面配置在二极管正下方。

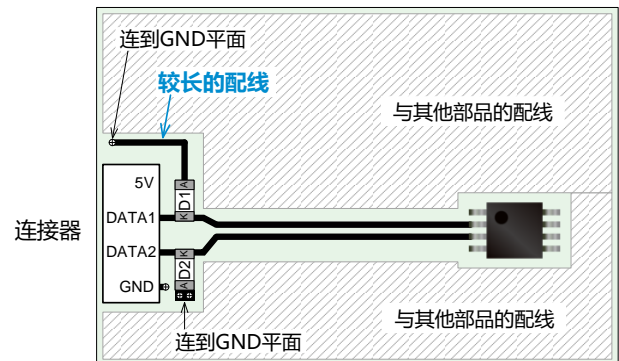


Figure 11. 阳极侧的配线延长，较差的 PCB 布线

## PCB 布线指南

总结损坏的案例，为了发挥 TVS 二极管的浪涌抑制性能，推荐以下的 PCB 布线指导：

1. 将 PCB 配线的寄生电感值最小化
2. 将 TVS 二极管放置在 ESD 侵入源的附近
3. 将 TVS 二极管连接到电源 GND 或底板 GND

### 1. 将 PCB 配线的寄生电感值最小化

如前面的破坏事例所说明的那样，必须缩短 TVS 二极管阴极和保护对象配线间、以及阳极和 GND 平面间的距离，减小寄生电感值。

Figure 12 所示的是较好的 PCB 布线的示例，二极管的阴极和保护对象配线间以及阳极和 GND 平面间的配线长度最短，使寄生电感最小化。较差的例子如 Figure 13、14 所示。Figure

13 是二极管的阴极和保护对象配线间的配线很长，Figure 14 是阳极和 GND 平面之间的配线很长，增加了影响浪涌抑制的寄生电感值。

寄生电感值即使在数 nH 也有影响，所以值请参考计算式 (2) 和 Figure 5。加宽线宽也是降低数值的有效手段。

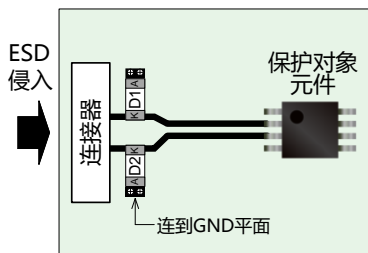


Figure 12. 较好的 PCB 布线

二极管阴极和保护对象配线间以及阳极和 GND 平面间的配线长度最短

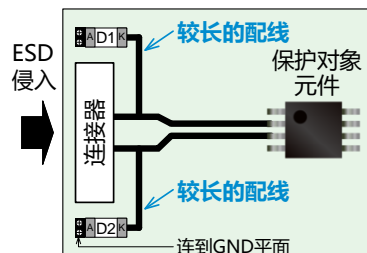


Figure 13. 较差的 PCB 布线

二极管阴极和保护对象配线间的配线很长，增加了影响浪涌抑制的寄生电感值。

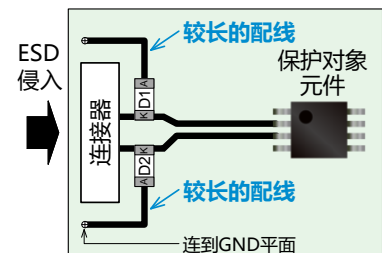


Figure 14. 较差的 PCB 布线

二极管阳极和 GND 平面之间的配线很长，增加了影响浪涌抑制的寄生电感值。

二极管的阳极侧通过通孔与 GND 平面连接，通孔也有寄生电感值。电感值可以用计算式 (3) 估算，代表性的计算结果如 Figure 15 所示。并联多个通孔可以降低数值。

$$L = 0.2 h \left( \ln \frac{4h}{d} + 1 \right) \quad [nH] \quad (3)$$

$h$  : 通孔高度 [mm]

$d$  : 通孔直径 [mm]

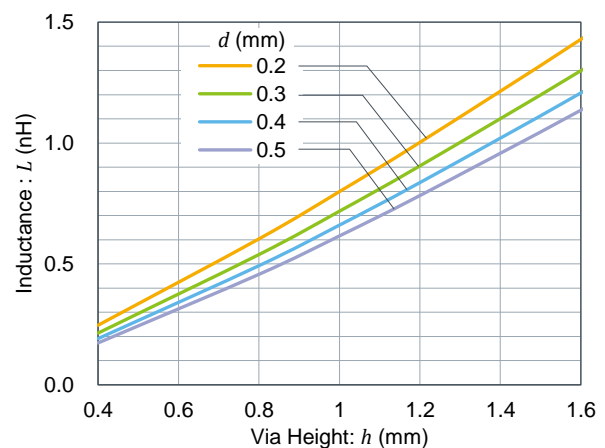


Figure 15. 通孔的电感值

## 2. 将 TVS 二极管放置在 ESD 侵入源的附近

在许多应用中，由于 ESD 通过 I/O 连接器侵入，TVS 二极管应尽可能靠近 ESD 侵入源。Figure 16 是较好的 PCB 布线示例，把 TVS 二极管配置在了连接器附近。TVS 二极管将浪涌脉冲的电压钳位住，因此可以防止其侵入。

Figure 17 是较差的 PCB 布线的示例。由于 TVS 二极管配置在远离连接器的位置，ESD 脉冲会侵入 PCB。如果旁边有接近的

线路，由于电容耦合，浪涌脉冲也会侵入其他的电路，所以可能会产生不良影响。此外，连接器和 TVS 二极管间的寄生电感会导致浪涌脉冲的电压峰值上升，因此需要性能更高的 TVS 二极管。

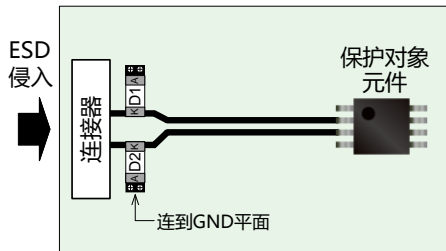


Figure 16. 较好的 PCB 布线

将 TVS 二极管配置在连接器附近，  
可以防止浪涌脉冲侵入

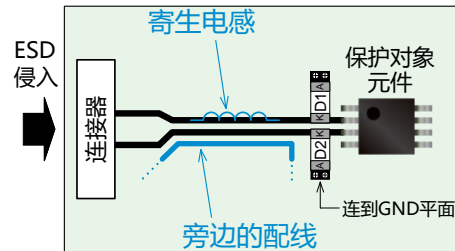


Figure 17. 较差的 PCB 布线

PCB 板被浪涌脉冲侵入，可能会对旁边的  
电路产生不良影响

## 3. 将 TVS 二极管连接到电源 GND 或底板 GND

推荐将 TVS 二极管接地侧与阻抗低的电源 GND 或底板 GND 连接 (Figure 18)。

信号处理 IC 的接地通常布线宽度比较窄，与这个接地相连的话，由于 ESD 脉冲造成大电流流动，共通阻抗会引发接地电位变动

(发生接地反弹)，有可能会通信错误 (Figure 19)。

单层基板的情况下，因为没有 GND 平面，所以需要宽度的布线将接地阻抗最小化。

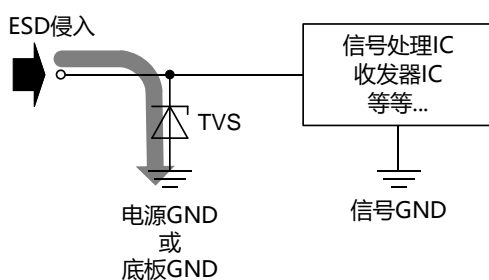


Figure 18. 较好的设计

推荐将 TVS 二极管的接地侧与阻抗低的电源 GND  
或底板 GND 连接

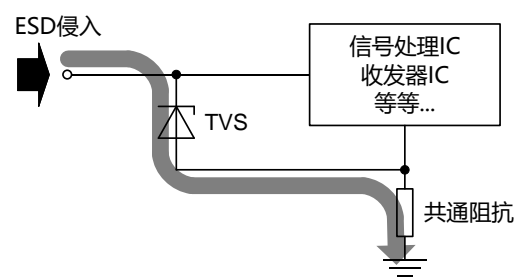


Figure 19. 较差的设计

配线与宽度较窄的接地相连、或者共通阻抗引发  
IC 接地电位变动，均会对 IC 功能造成不良影响

## 注 意 事 项

- 1) 本资料中的内容旨在介绍ROHM集团(以下简称“ROHM”)的产品。在使用ROHM产品之前,请务必另行确认最新版的技术规格书或产品规格书。
- 2) ROHM的产品是面向普通电子设备(AV设备、OA设备、通信设备、家电产品、娱乐设备等)或技术规格书中指定的应用领域而设计和制造的。因此,如果要在要求极高可靠性、产品故障或误动作可能会危及人的生命、造成人身危害或损害,或可能造成其他严重损害的设备或装置(包括医疗设备、运输设备、交通设备、航空航天设备、核电控制装置、燃料控制、含汽车配件在内的车载设备、各种安全装置等)(以下简称“特殊用途”)中使用ROHM产品,请事先咨询ROHM销售部门。如果未经ROHM事先书面同意而将ROHM产品用于特殊用途,因此造成的客户或第三方的任何损害,ROHM不承担任何责任。
- 3) 含有半导体的电子产品存在一定的误动作或故障概率。客户有责任采取Fail Safe设计等安全对策,来避免万一发生误动作或故障时对人的生命、身体或财产造成危害或损害。
- 4) 本资料中出现的应用电路示例和常数等信息仅用于说明ROHM产品的标准工作和使用方法,并非明示保证或默示保证在实际应用设备中的工作。因此,在客户设备的设计过程中使用这些电路、常数以及相关信息时,请结合各种外部条件自行判断并对自己的判断负责。对于因使用这些数据和信息造成的客户或第三方的任何损害,ROHM不承担任何责任。
- 5) 向海外出口或提供ROHM产品和本资料中的技术时,请遵守《外汇及外国贸易法》、《美国出口管制条例》等适用的出口相关法律法规,并根据这些法律法规中的规定办理必要的手续。
- 6) 本资料中的应用电路示例等技术信息和各种数据仅为示例,并非保证不侵犯与这些内容相关的第三方的知识产权及其他权利。另外,对于本材料中的信息,ROHM并未明示或默示同意客户可以实施、使用或利用ROHM或第三方拥有或管理的知识产权以及其他权利。
- 7) 未经ROHM事先书面同意,严禁转载或复制本资料的全部或部分内容。
- 8) 本资料中的内容为截至本资料发行之时的信息,如有更改,恕不另行通知。在购买和使用ROHM产品之前,请通过ROHM销售部门确认最新信息。
- 9) ROHM不保证本资料中的信息无误。万一客户或第三方因本资料中的信息错误而受损,ROHM不承担任何责任。



Thank you for your accessing to ROHM product informations.  
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

## ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.com.cn/contactus>