

GigaDevice Semiconductor Inc.

IEC61000-4-2 系统级 ESD 测试

应用笔记

AN127

1.0 版本

(2023 年 7 月)

目录

目录.....	2
图索引.....	3
表索引.....	4
1. 前言.....	5
2. IEC61000-4-2 系统级 ESD 测试概述.....	6
3. 静电放电电流波形参数(ESD).....	7
4. GD32 MCU 系统级 ESD 测试方案.....	8
5. 测试环境搭建.....	9
6. 抗扰度等级评估.....	11
7. 版本历史.....	12

图索引

图 2-1. 静电耦合路径	6
图 3-1. 接触放电 4kV 理想电流波形.....	7
图 4-1. GD32 MCU 系统级 ESD 测试方案框图.....	8
图 5-1. IEC61000-4-2 操作台布局以及接地要求.....	9

表索引

表 3-1. 接触放电电流波形参数	7
表 6-1. 试验等级表.....	11
表 6-2. IEC62132-1 MCU 的失效模式等级.....	11
表 7-1. 版本历史	12

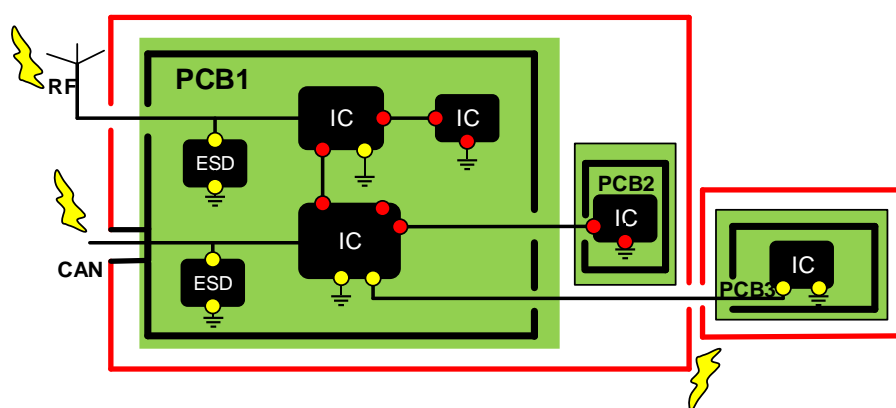
1. 前言

随着半导体工艺制程的缩小以及性能的提升，MCU 面临更加复杂的电磁环境。尤其是 MCU 在遭受来自操作人员直接放电和邻近物体的静电放电时，可能会导致系统中 MCU 控制模块复位、死机、硬失效等各种问题，影响整个控制系统的正常工作。因此需要对 MCU 对静电放电的抗干扰能力进行评估以设计出符合应用要求的系统。IEC61000-4-2 是国际上统一的静电放电抗扰度评估的标准，它描述的是电气和电子设备在遭受来自操作人员直接放电和邻近物体的静电放电时的抗干扰性要求和试验方法。该标准中提供了标准的静电放电电流波形参数、测试电压等级范围、测试设备要求、测试设置、测试程序等规范以及静电放电抗扰度的等级评判方法等，为设计和测试人员评估电气和电子设备受到静电放电时的性能建立了一个通用的和可重复的标准。产品开发者可以根据 IEC61000-4-2 进行系统级 ESD 测试，来模拟现实实际终端用户 ESD 事件，测试 MCU 抵抗静电放电的抗干扰能力并根据测试中获得的经验为基础，进行产品的优化设计。本文介绍了 GD32 MCU 的 IEC61000-4-2 系统级 ESD 测试。

2. IEC61000-4-2 系统级 ESD 测试概述

IEC61000-4-2 系统级 ESD 测试中提供的静电放电(ESD)抗扰度试验可用于评估 GD32 MCU 在系统保护设计过程受到静电干扰时的抗扰度。MCU 受到的静电干扰一种是通过 MCU 的 global 引脚传导到 MCU 上，另一种是操作人员或者邻近物体产生的静电干扰从空间上直接辐射到 MCU 上。如下 [图2-1. 静电耦合路径](#)所示，global 引脚指的是在系统保护设计中容易受到静电干扰的引脚，如由操作人员或者邻近物体对 MCU 暴露在外部环境下的 PCB 板外部的 RF 端口、CAN 端口或者板与板之间连接到的线缆等产生的静电干扰通过 global 引脚直接传导到 MCU 上。

图 2-1. 静电耦合路径



在 IEC61000-4-2 系统级 ESD 测试中可以选择 MCU 在系统保护设计过程中可能受到静电干扰影响的地方使用 ESD 测试系统进行接触放电或者空气放电测试。

接触放电测试可以通过静电枪枪头直接施加向 MCU 的 global 引脚，也可以通过静电枪枪头对水平耦合板（HCP）或者垂直耦合板（VCP）放电，耦合板间接对 MCU 进行辐射性 ESD 放电。

空气放电测试是静电枪枪头通过拉弧的方式对 MCU 的 global 引脚测试进行放电，直到 MCU 运行出现异常，记录此时系统的失效状态和失效等级并分析原因。

3. 静电放电电流波形参数(ESD)

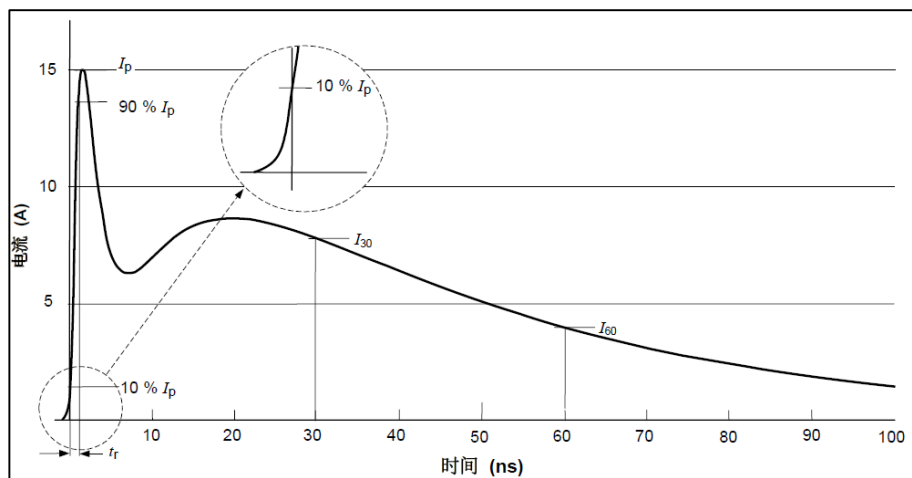
测试中施加在被测设备上的静电放电脉冲由 ESD 发生器产生。静电发生器的生产厂家按照标准设计制造，输出符合规范的静电脉冲。需要注意的是，试验中的设备需要定期校准，以确保试验结果的可靠性。如下 [表 3-1. 接触放电电流波形参数](#) 所示给出了 IEC61000-4-2 接触放电电流波形参数以及 [图 3-1. 接触放电 4kV 理想电流波形](#) 给出了接触放电 4kV 理想电流波形。实验人员需要确保测试设备 ESD 静电发生器的规格参数符合标准中的接触放电电流波形参数。

表 3-1. 接触放电电流波形参数

等级	电压 / kV	第一个峰值电流 (±15%) / A	上升时间 t_r (±25%) / ns	电流(±30%) 在 30 ns / A	电流(±30%) 在 60 ns / A
1	2	7.5	0.8	4	2
2	4	15	0.8	8	4
3	6	22.5	0.8	12	6
4	8	30	0.8	6	8

测量电流在 30 ns 和 60 ns 时间的参考点是电流首次达到放电电流第 1 个峰值的 10% 的瞬间。
 注：上升时间 t_r 为第一个峰值电流 10% ~ 90% 之间的时间间隔。

图 3-1. 接触放电 4kV 理想电流波形

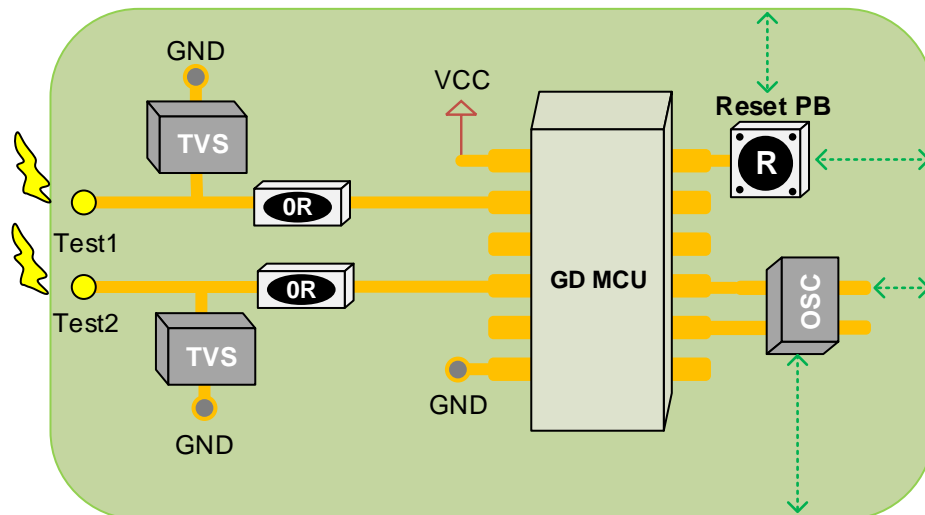


4. GD32 MCU 系统级 ESD 测试方案

GD32 的系统级 ESD 和芯片级 ESD 测试是不同的两种测试，参考不同的测试标准，这两种测试结果参数不具备联系。芯片级 ESD 测试目的是为了测试芯片在晶圆的切割、封装、出厂前的测试、运输，以及 PCB 组装和贴片等过程中的抗静电性能，芯片级 ESD 均发生在 ESD 保护区域（EPA）的不上电操作中。系统级 ESD 测试则是衡量芯片在实际应用中面临的复杂静电环境，而非 ESD 受控区域，且大多是 MCU 系统处于上电运行过程中。

GD32 MCU 的 IEC61000-4-2 系统级 ESD 的测试方案如下图 [图 4-1. GD32 MCU 系统级 ESD 测试方案框图](#) 所示，GD 会针对 USART、I2C、CAN 等容易暴露在外部的 global pin 引脚中的 5V 引脚和非 5V 引脚进行测试，这里 IO 引脚是并有 TVS 和串联一个 0R 电阻，系统级 ESD 放电位置位于 TVS 的前端 Test 点上，同时在系统级 ESD 测试中，MCU 是处于上电运行状态，来模拟现实实际终端用户的系统级 ESD 事件。

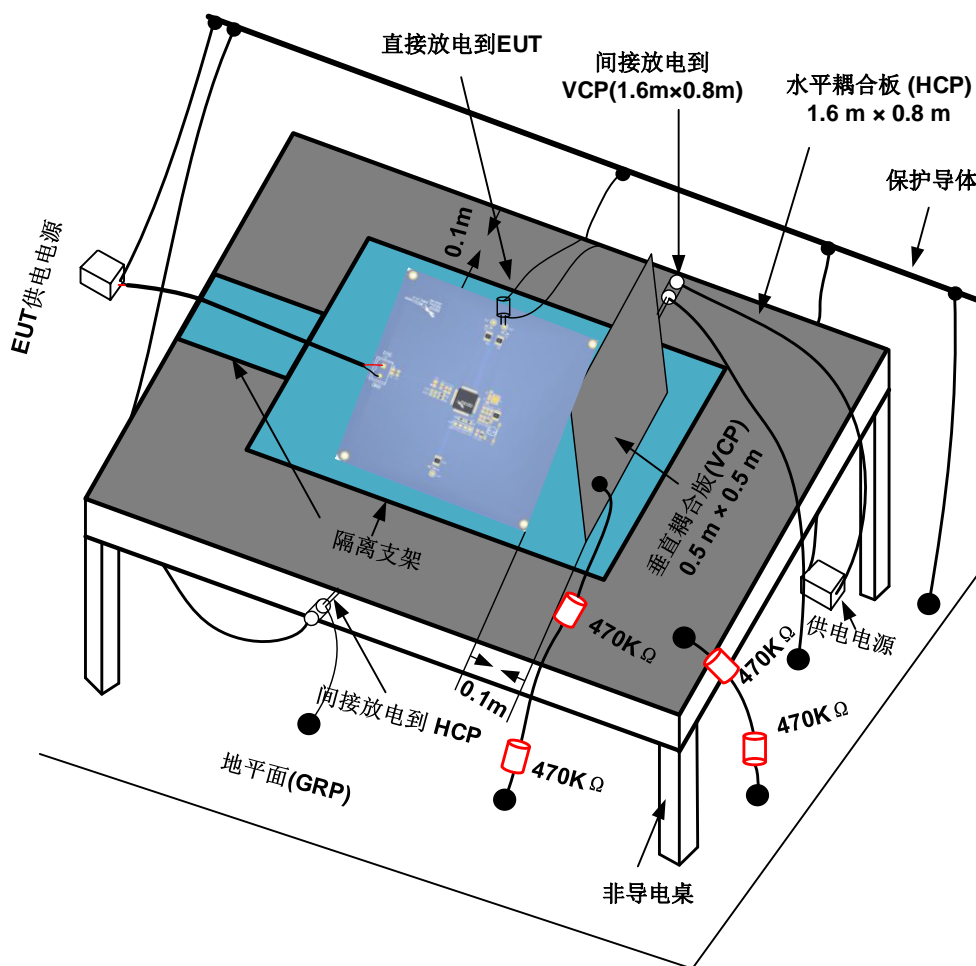
图 4-1. GD32 MCU 系统级 ESD 测试方案框图



5. 测试环境搭建

用于执行系统级 ESD 检验的设备是一台符合 IEC61000-4-2 标准的 ESD 发生器，测试方式分别为接触放电（CD）和空气放电（AD）。接触放电可以通过静电枪枪头直接施加向 MCU 的测试引脚，也可以通过静电枪枪头对水平耦合板 HCP 或者垂直耦合板 VCP 放电，耦合板间接对 MCU 进行辐射性 ESD 放电。空气放电是静电枪枪头通过拉弧的方式对 MCU 的测试引脚进行放电。接触放电和空气放电使用分别使用对应的静电放电枪头。测试时，ESD 静电放电等级由低到高，每个等级施加正负电压静电 ≥ 10 pcs，直到出现 MCU 的运行出现异常，记录此时 MCU 的失效状态和失效等级。ESD 操作台布置以及接地要求如下 [图 5-1. IEC61000-4-2 操作台布局以及接地要求](#)所示。

图 5-1. IEC61000-4-2 操作台布局以及接地要求



实验室地面应设置接地参考平面(GRP)。它应该是金属薄板(铜或铝)，最小厚度为 0.25 mm；可使用其他金属材料，但其最小厚度应至少为 0.65 mm。接地基准面(GRP)应在设备或水平耦合平面(使用时)的四周至少凸出 0.5 m，并应与保护接地（Protective conductor）系统连接。不导电工作台高 (0.8 ± 0.08) m，置于地面参考平面 GRP 上。工作台上放置 (1.6 ± 0.02) m \times (0.8 ± 0.02) m 的水平耦合平面(HCP)，其应由最小厚度为 0.25 mm 的金属片(铜或铝)构成(可以使用其他金属材料，但其最小厚度至少为 0.65 mm)，并应通过两端有 470 kΩ 电阻的电缆连接到 GRP。EUT 设备和其电缆用绝缘支架 (0.5 ± 0.05) mm 厚度与 HCP 耦合平面隔离，EUT 设备

距离 HCP 所有边界至少 0.1 m。绝缘支架上放置 $(0.5 \pm 0.02)\text{m} \times (0.5 \pm 0.02)\text{m}$ 的垂直耦合平面(VCP)，其由最小厚度为 0.25 mm 的金属片(铜或铝)构成(可以使用其他金属材料，但其最小厚度至少为 0.65 mm)，并应通过两端有 470 k Ω 电阻的电缆连接到 GRP。EUT 设备距离 VCP 平面所有边界至少 0.1 m。在 HCP 和 VCP 的接地电缆中包含 470 k Ω 泄放电阻，用于防止静电发生器对耦合平面放电后，耦合平面上的电荷瞬间消失，增加了 ESD 事件对 EUT 的影响。电阻应能承受试验过程中施加在 EUT 平面上的最大放电电压。尽量靠近接地线两端，形成分布式电阻。EUT 应根据其功能要求进行布置和连接。EUT 与实验室墙壁和任何其他金属结构之间的距离应至少为 0.8 m。ESD 发生器的放电回路电缆线应连接到接地参考平面上。这些电阻应能承受放电电压。MCU 供电电源的地和保护接地(Protective conductor)系统连接。电阻器和电缆应进行绝缘处理，避免电缆铺设在金属材料上时发生短路。

为了使环境参数对实验结果的影响减至最小，实验环境应当满足环境温度为 15°C ~ 35°C，相对湿度 30% ~ 60%，大气压力 86 kPa ~ 106 kPa，其中环境的相对湿度随季节的变化会出现较大的偏差。在进行实验之前需要重点检查实验室的环境相对湿度，如果湿度高于 60%，需要使用除湿器将空气湿度降到合适的范围内才可以进行实验。为了不影响实验结果，实验室的电磁条件应能保证受试设备的正常工作，尽量避免其它具有强干扰的 EMC 实验同时进行。完成试验平台的搭建和参数设置后即可进行试验。

6. 抗扰度等级评估

测试过程中按照标准进行实验等级的选择，如[表 6-1. 试验等级表](#)所示，对于某些特殊的应用需求可以选择给定值以外的 ESD 测试电压。

表 6-1. 试验等级表

接触放电模式		空气放电模式	
等级	测试电压(kV)	等级	测试电压(kV)
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
Special ⁽¹⁾	客户定制	Special	客户定制

(1). Special是可任意等级电压，更高、更低或者介于两者之间。
Special等级根据特殊的待测设备的具体应用环境所需要，如果高于所示电压，则需要采用更特殊的测试设备。

试验结束后需要根据 MCU 的工作条件和功能要求分别加以记录，测试结果依照 IEC62132-1 对于 MCU 的系统级 ESD 可以分为 5 种的失效模式等级进行记录。如下[表 6-2. IEC62132-1 MCU 的失效模式等级](#)所示，其中等级 A 是没有问题，BCD 是其中软失效类型，E 硬失效。

表 6-2. IEC62132-1 MCU 的失效模式等级

等级	描述
A	不受影响：在脉冲的注入过程和注入后，ESD 干扰并未对芯片造成任何影响
B	自动恢复：在脉冲注入过程中，芯片运行变得不正常，但是脉冲注入结束后，芯片有回到原来的正常状态
C	手动恢复：在脉冲注入过程中，芯片运行变得不正常，在脉冲注入结束后，芯片也无法自动回到原来的正常状态，但是在人工干预后（reset），芯片回到原来的正常状态。
D	重新上电：在脉冲的注入过程和注入后，芯片都无法正常运行（reset 没有用），只有对芯片进行重新上电后，才能回到正常状态，一般是由于 latch-up 现象的发生。
E	硬失效：ESD 的脉冲注入，已经造成了芯片物理性的损坏。

7. 版本历史

表 7-1. 版本历史

版本号.	说明	日期
1.0	首次发布	2023 年 7 月 1 日

Important Notice

This document is the property of GigaDevice Semiconductor Inc. and its subsidiaries (the "Company"). This document, including any product of the Company described in this document (the "Product"), is owned by the Company under the intellectual property laws and treaties of the People's Republic of China and other jurisdictions worldwide. The Company reserves all rights under such laws and treaties and does not grant any license under its patents, copyrights, trademarks, or other intellectual property rights. The names and brands of third party referred thereto (if any) are the property of their respective owner and referred to for identification purposes only.

The Company makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this document or any Product, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The Company does not assume any liability arising out of the application or use of any Product described in this document. Any information provided in this document is provided only for reference purposes. It is the responsibility of the user of this document to properly design, program, and test the functionality and safety of any application made of this information and any resulting product. Except for customized products which has been expressly identified in the applicable agreement, the Products are designed, developed, and/or manufactured for ordinary business, industrial, personal, and/or household applications only. The Products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems designed or intended for the operation of weapons, weapons systems, nuclear installations, atomic energy control instruments, combustion control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, life-support devices or systems, other medical devices or systems (including resuscitation equipment and surgical implants), pollution control or hazardous substances management, or other uses where the failure of the device or Product could cause personal injury, death, property or environmental damage ("Unintended Uses"). Customers shall take any and all actions to ensure using and selling the Products in accordance with the applicable laws and regulations. The Company is not liable, in whole or in part, and customers shall and hereby do release the Company as well as its suppliers and/or distributors from any claim, damage, or other liability arising from or related to all Unintended Uses of the Products. Customers shall indemnify and hold the Company as well as its suppliers and/or distributors harmless from and against all claims, costs, damages, and other liabilities, including claims for personal injury or death, arising from or related to any Unintended Uses of the Products.

Information in this document is provided solely in connection with the Products. The Company reserves the right to make changes, corrections, modifications or improvements to this document and Products and services described herein at any time, without notice.