

GigaDevice Semiconductor Inc.

触摸传感器应用指南

应用笔记

AN063

目录

目录.....	2
图索引.....	3
表索引.....	4
1. 前言.....	5
2. 术语.....	6
3. 电荷转移采集原理.....	7
4. 触摸按键设计.....	10
5. 灵敏度分析.....	12
6. PCB 设计.....	13
6.1. 布局设计.....	13
6.2. 屏蔽设计.....	13
7. 版本历史.....	16

图索引

图 3-1. TSI 电荷转移采集等效原理.....	7
图 3-2. 通道引脚电荷转移波形	8
图 3-3. 通道引脚上电荷转移周期内波形.....	8
图 3-4. 采样引脚电压波形.....	9
图 4-1. 触摸按键实心填充模式	10
图 4-2. 触摸按键网格填充模式	11
图 6-1. 被动屏蔽设计	14
图 6-2. 主动屏蔽设计	14
图 6-3. 减小主动屏蔽区域.....	15
图 6-4. 采用主动屏蔽时的引脚波形	15

表索引

表 4-1. 触摸按键布局要求.....	11
表 5-1. 常用材料的相对介电常数.....	12
表 7-1. 版本历史	16

1. 前言

触摸传感控制器（TSI）为触摸按键、滑块、电容近距离感测等应用提供了简易的解决方案。控制器基于自容式的电荷转移方法，当手指接近电极时会引起整个系统的电容变化。TSI 可以通过电荷转移的方法来检测这种变化，从而感知到手指接近这一行为。

该应用笔记介绍了 TSI 模块的电荷转移采集原理，并通过触摸灵敏度分析指导用户去使用 TSI 模块进行触摸按键的 PCB 设计。

2. 术语

软件相关:

通道: 用于信号采集的通道;

组: 一组通道引脚外加一个采样引脚;

bank: 一组可并行采集的通道;

测量值: 启动测量后某一时刻的电荷转移周期值;

参考值: 未触摸状态下的电荷转移基准值, 软件可多次采样求得电荷转移基准的平均值;

增量: 参考值与测量值之间的差值。

硬件相关:

C_X : 传感器电极寄生电容;

C_P : 寄生电容;

C_T : 等效触摸电容;

$C_S/C_{SSHIELD}$: 采样电容/屏蔽电极的采样电容, 其值越大, 则响应时间越慢, 灵敏度越高;

$R_S/R_{SSHIELD}$: 串联电阻/屏蔽电极的串联电阻, 用于吸收耦合噪声与干扰并增强 ESD 保护, 其值越大, 抗噪声能力越强。

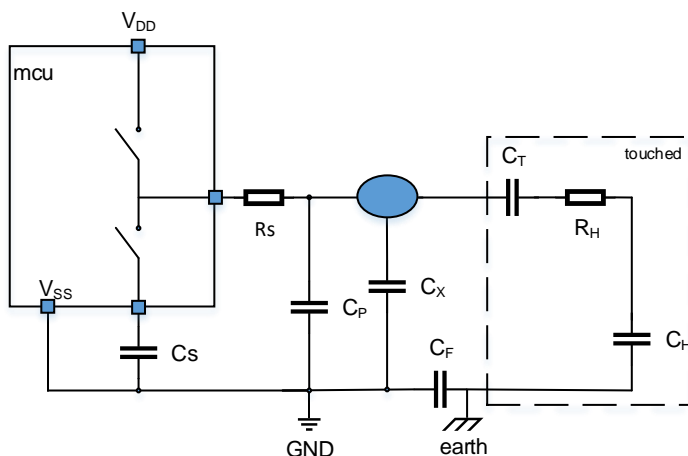
3. 电荷转移采集原理

表面电荷转移采集原理如下：

1. 向传感器电极 C_X 充电；
2. 转移 C_X 上累积的电荷至采样电容 C_S ；
3. 重复 1-2 步骤，直到 C_S 上的电压 V_S 达到内部设定的阈值电压 V_{th} ；
4. 采集结束，读取电荷转移序列次数。

电荷转移序列的次数表示传感器电极电容的大小。当传感器电极被触摸时，传感器电极的对地电容将会增大（其能够存储的最大电荷量会增大，则转移序列的次数会变小）。电荷转移原理如 [图 3-1. TSI 电荷转移采集等效原理](#) 所示。

图 3-1. TSI 电荷转移采集等效原理



等效测量电容 C_M 如下：

$$C_M = \frac{1}{\frac{1}{C_T} + \frac{1}{C_H} + \frac{1}{C_F}} + C_P + C_X$$

其中：

- C_S : 采样电容
- C_X : 传感器电极的寄生电容
- C_T : 人体与传感器电极间的耦合电容
- C_P : 寄生电容
- C_F : 大地与应用地之间的反馈电容
- R_S : 串联电阻
- R_H : 人体模型等效电阻
- C_H : 人体模型等效电容

注意： 由于 C_T 远小于 C_F 和 C_H ，所以 C_T 与 C_H 、 C_F 串联后约等于 C_T ，即 $C_T \approx C_T + C_H + C_F$ 。

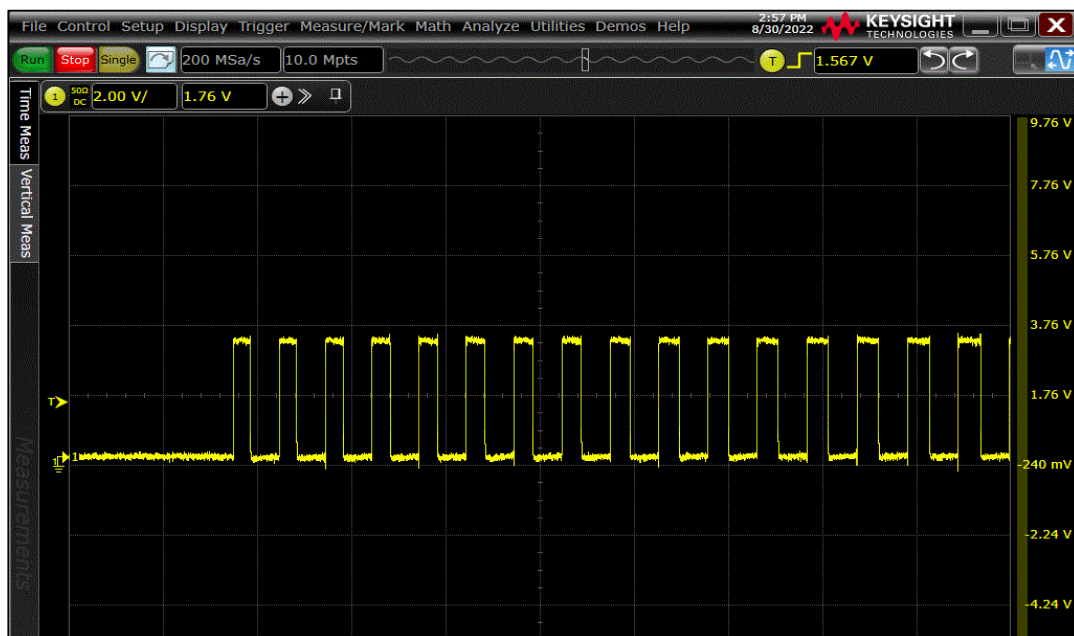
为保证电荷转移能够正确进行，需要确保 C_X 引脚上的波形为完整的充放电过程。充电过程完成后，需保证 C_X 电压为 V_{DD} 。增大充放电时间可有效保证该过程的完整性，但这会增大系统

的响应时间，因此需要通过示波器监测 C_x 引脚波形，并软件调节充放电时间，寻找一个满足系统应用的平衡点。完整的充放电波形如 [图 3-2. 通道引脚电荷转移波形](#)和 [图 3-3. 通道引脚上电荷转移周期内波形](#)所示。

图 3-2. 通道引脚电荷转移波形

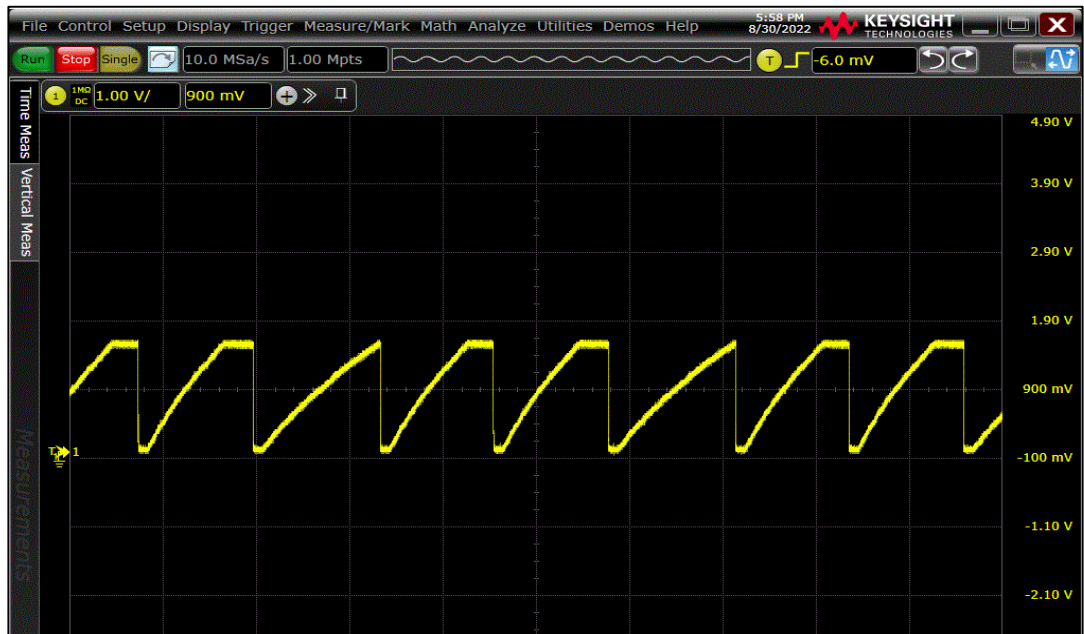


图 3-3. 通道引脚上电荷转移周期内波形



通过测量 C_s 引脚上的电压，可获取序列转移完成的时间及阈值电压 V_{th} ，如 [图 3-4. 采样引脚电压波形](#)所示。

图 3-4. 采样引脚电压波形



4. 触摸按键设计

触摸按键只有触摸和释放两种状态，属于最简单的触摸传感器。在设计触摸按键时，需考虑以下因素来提高触摸按键的鲁棒性。

- 1) 可自定义传感器电极形状，推荐使用圆形或椭圆形状（符合指肚的形状）；
- 2) 推荐使用相同大小和形状的传感器电极，这样可以减小电极间的差异，便于在软件端进行差异补偿；
- 3) 传感器电极表面大小应与触摸范围一致（如指尖大小，推荐边长 12mm 的矩形或直径 12mm 的圆形），否则会降低触摸灵敏度；
- 4) 传感器电极的尺寸至少为触摸面板厚度的 4 倍（如触摸面板厚度 2mm，则传感器电极的宽度至少为 8mm）。

由平板电容器的电容公式为 $C_T = \frac{S\epsilon_r}{4\pi kd}$ 可知。其中： S 表示传感器电极的区域与手指触摸区域重叠部分的大小； d 表示传感器电极到传导对象的距离（一般为面板厚度）； ϵ_r 表示相对介电常数； k 表示静电力常量。

注意：增大传感器电极尺寸，可增大电极等效寄生电容。但当电极尺寸超过手指触摸的区域后，将只会增大 C_x 的电容，而 C_T 的容不会增大，会导致灵敏度的降低。如果 C_x 电容过大，电极完成充放电所需要的时间将变大，会导致系统响应时间变慢及功耗的增加。

传感器电极一般以实心填充模式放置在 PCB 板上，如 [图 4-1. 触摸按键实心填充模式](#) 所示；也可使用网格填充模式，如 [图 4-2. 触摸按键网格填充模式](#)。当使用网格填充时，可减小传感器电极寄生电容；在这种情况下，可以有效解决由于触摸区域下降导致的触摸灵敏度下降问题。

图 4-1. 触摸按键实心填充模式

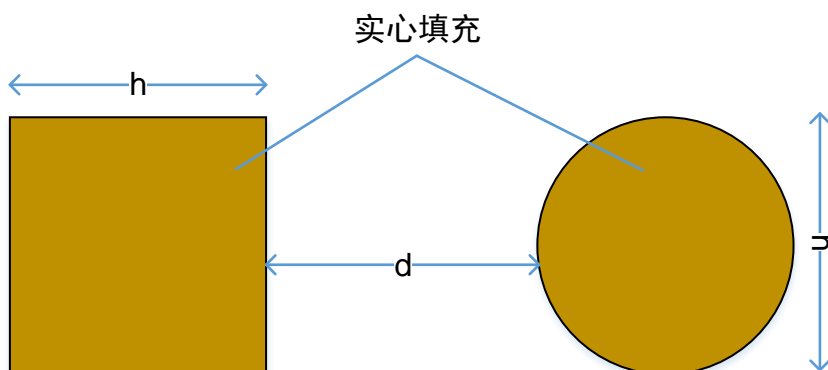
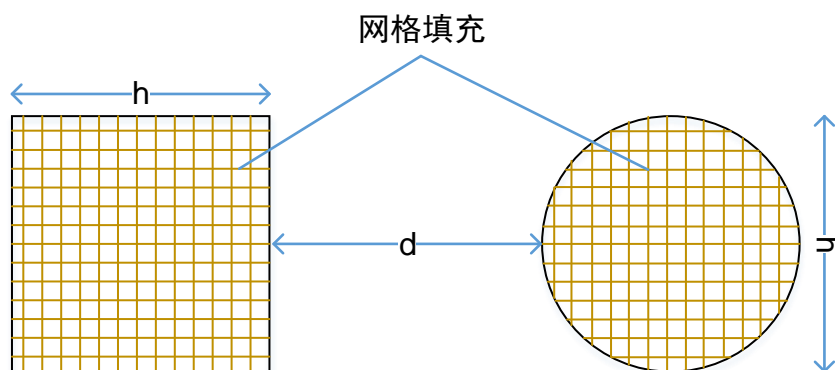


图 4-2. 触摸按键网格填充模式



触摸按键在 PCB 上的布局应遵循的设计要求如表 4-1. [触摸按键布局要求](#)所示。其中 h 表示触摸按键尺寸，d 表示触摸按键之间的距离，t 表示触摸面板厚度。

表 4-1. 触摸按键布局要求

参数	最小值	推荐值	最大值
h (尺寸)	7mm	12mm	15mm
d (距离)	2mm	4mm	-
t (厚度)	1mm	2mm	3mm

5. 灵敏度分析

一般情况下，会在传感器电极上加上一层非导电材料作为触摸面板，但触摸面板的引入会降低触摸感应的灵敏度。在设计中，需要关注以下几个方面以提高系统的灵敏度。

- 1) 减小触摸面板和传感器电极间的空气间隙；
- 2) 减小触摸面板厚度。面板厚度会影响 C_T 电容的大小；且较厚的面板，电场的扩散作用会越来越强，对相邻的传感器电极的耦合较大；
- 3) 选择具有高介电常数的材料作为触摸面板（如有机玻璃）；
- 4) 地平面距离传感器电极和屏蔽电极不要太近，否则会引入较大的寄生电容；
- 5) 避免传感器电极和屏蔽电极周围存在金属物料；
- 6) 保证触摸面板与传感器电极的有效贴合；
- 7) 在特殊场合，可采用触摸弹簧代替传感器电极；
- 8) 在满足完整充放电的基础上，降低充放电时间。

几种常见材料的介电常数如[表 5-1. 常用材料的相对介电常数](#)。

表 5-1. 常用材料的相对介电常数

材料	ϵ_R
空气	1.000585
玻璃	4-10
云母	6-8
尼龙	3.0
树脂玻璃	3.4
聚氯乙烯（PVC）	4.0
聚乙烯（PE）	2.3-3.4
聚苯乙烯（PS）	2.4-2.7
FR4	4.2-4.7
有机玻璃（PMMA）	2.6-4

6. PCB 设计

6.1. 布局设计

PCB 布局的好坏将直接影响触摸感应系统的鲁棒性、可靠性，在 PCB 布局设计中应注意以下几个方面。

- 1) 通道走线长度尽可能短（15cm 以内）；
- 2) 通道走线宽度尽可能细（6-8mil）；
- 3) 通道走线夹角应大于 90 度；
- 4) 通道走线与地或其它走线间的距离至少 1mm；
- 5) 相同 bank 中的通道走线的间距至少为线宽的 2 倍，不同 bank 间走线的距离至少为 2mm；
- 6) 传感器电极之间的距离至少为面板厚度的 2 倍，以减少临近传感器电极之间的耦合，防止误触发。对于高密度 PCB 板，需要权衡传感器电极大小，分布及面板厚度以满足设计要求；
- 7) 通道走线与高频信号线之间必须为交叉关系，减小串扰；
- 8) 推荐两层板双面使用网格地（25%-40%）平面填充，sensor 和地放在同一面，器件和走线放在另一面；
- 9) C_s 和 R_s 离 MCU 引脚尽可能近，以增强 ESD 保护和提高抗干扰；
- 10) 使用被动屏蔽或主动屏蔽来提高系统的抗干扰和灵敏度。

通道走线宽度和长度影响走线的寄生电容大小，走线越宽、越长（等效面积 S 越大），寄生电容越大。另外，较长的走线容易引入耦合噪声。传感器电极应放置为离 MCU 尽可能近且对称分布，以平衡寄生电容的影响。

注意：铺地会增大 C_x ，将导致灵敏度降低（ C_T/C_x 减小）。为平衡抗噪声能力和灵敏度，可使用网格铺铜代替实心铺铜。

6.2. 屏蔽设计

为减小 EMI 干扰及对通道走线误触摸导致的误触发，可通过设计屏蔽来改善。包括被动屏蔽和主动屏蔽两种方式，分别如 [图 6-1. 被动屏蔽设计](#) 和 [图 6-2. 主动屏蔽设计](#) 所示。

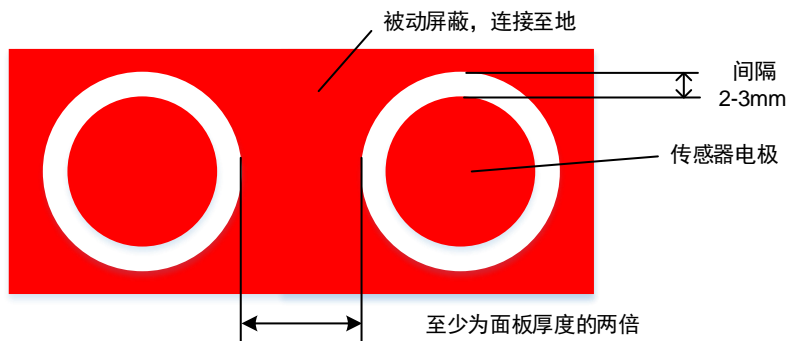
被动屏蔽：

- 1) 将屏蔽电极连接到 DC 电位（通常为单点接地）；
- 2) 传感器电极背面铺铜可减小 EMI 干扰和背面的误触摸，采用网格铺铜可减小电容负载（~50%）。如果背面不存在该风险，可以将该区域 cutout，以减小 C_x ；
- 3) 与传感器电极共面的层需要铺铜（实心/网格），可将传感器电极之间进行隔离并减少 EMI；
- 4) 铺铜会降低系统对湿气的容忍度。

屏蔽电极增加了传感器电极寄生电容 C_x ，使得响应时间滞后；且由于传感器电极电场被地吸收，降低了灵敏度。当传感器电极与屏蔽平面之间的间隙减小时，传感器电极寄生电容 C_x 增大将导致 RC 时间常数增大；当传感器电极与屏蔽平面之间的间隙增大时（对地阻抗路径变长），

则噪声容忍度降低，另外，由于传感器电极与屏蔽平面之间的桥接距离变长，则湿气容忍度提高。

图 6-1. 被动屏蔽设计

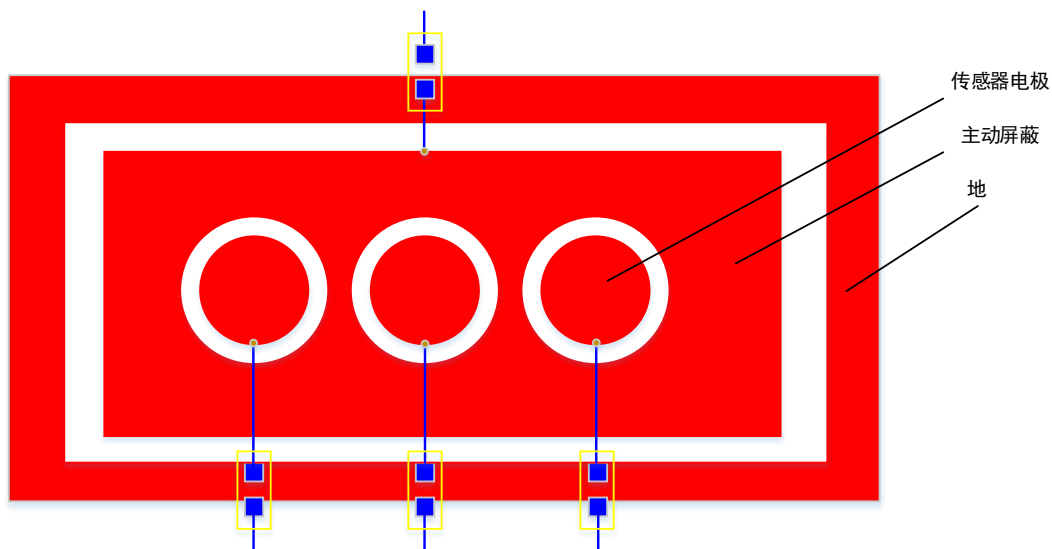


主动屏蔽:

- 1) 将屏蔽电极连接到通道引脚，且该通道引脚不与其它通道共用一个组；
- 2) 减小传感器电极与邻近电极间的负载电容（由于传感器电极与屏蔽电极同时进行充放电，抵消了对寄生电容的充放电时间，可提高系统的灵敏度）；
- 3) 可提高水膜/湿气容忍度。

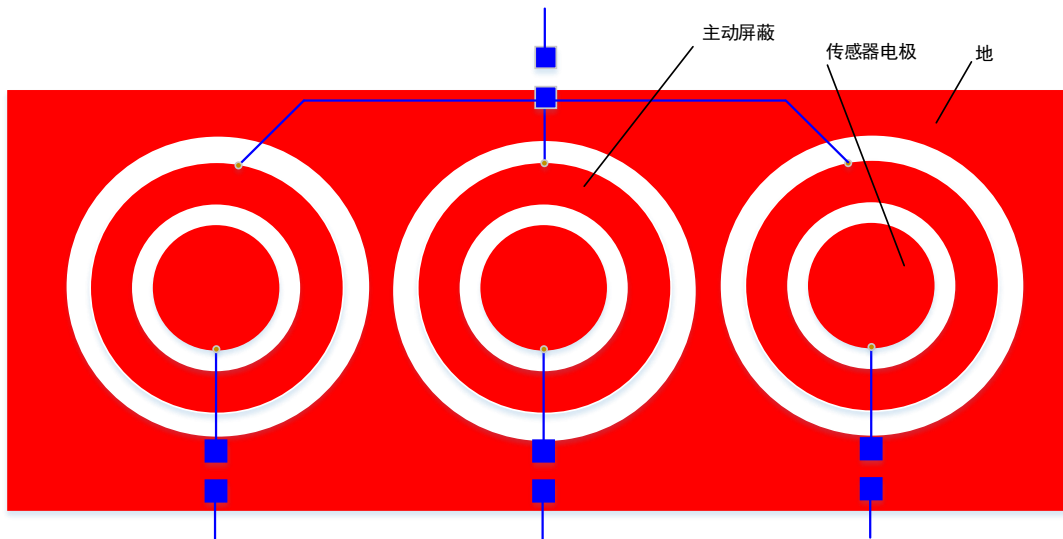
注意：在使用主动屏蔽时，需使用与传感器电极相同的信号去驱动屏蔽电极。

图 6-2. 主动屏蔽设计



主动屏蔽的使用可能会带来过多的 RF 干扰（大面积屏蔽电极的快速充放电），因此在特殊场合需减少主动屏蔽的区域来降低 RF 干扰，如图 [图 6-3. 减小主动屏蔽区域](#)。通过增大屏蔽电极上的串联电阻，可有效降低功耗。

图 6-3. 减小主动屏蔽区域



在使用主动屏蔽时，需调节 $C_{SSHIELD}$ 和 $R_{SSHIELD}$ ，以满足传感器电极充放电过程与屏蔽电极充放电过程一致，如 [图 6-4. 采用主动屏蔽时的引脚波形](#) 所示。

图 6-4. 采用主动屏蔽时的引脚波形



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	2022 年 12 月 16 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.