

GMFPC101 数字力传感器

概述

GMFPC101 为一款数字力传感器芯片，专为触摸屏，无缝按键，触控笔和智能鞋等消费类应用而设计。它组装在厚度小于 0.4 毫米的柔性线路板上。力传感器芯片采用行业标准的压阻技术，具有世界公认的长期稳定和抗 EMC 的优良特性。内嵌有高性能的 24 位元模数转换模块，提供高达 0.1 毫牛顿 (mN) 的额外精细分辨率。力传感器能够测量高达 10 牛顿的力。

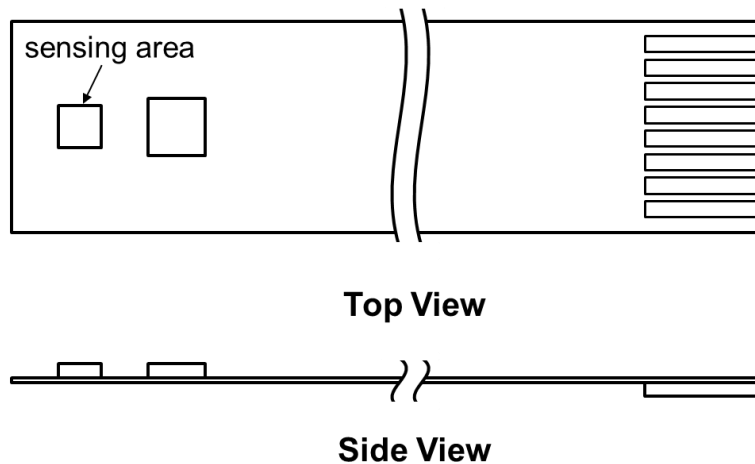
GMFPC101 专注于微力（小于 1 牛顿）测量，高灵敏度和高分辨率的特性使 GMFPC101 特别适用于检测手指敲击或挥动笔画等精细手部运动相关运动中力的大小。

主要特点

- 工作范围：
 - 力量：0~10 牛顿
 - 温度：-40~+ 85℃
- 内嵌 24 位元 ADC：
 - 力分辨率：高达 0.1 毫牛顿 (mN)
- 数字接口：
 - I2C 支持标准（100kHz）和快速（400kHz）模式
 - SPI 支持三/四线模式，最高时钟频率 10MHz
- 电源电压：
 - VDD：+ 1.8 伏~+ 5.5 伏
 - VID：+ 1.2 伏~+ 5.5 伏
- 功耗：
 - 待机~1 毫安培
- RoHS 合规包装：
 - 柔性线路板包装
 - 柔性线路板尺寸：30×4.5 毫米平方
 - 高度：低于 0.4 毫米

应用

力量按键，触控边条，无萤幕触控，主动式手写笔，电子钢琴，机器人互动力感应，和智能鞋垫



工程规格

表 1：管脚描述

管脚编号	符号	描述
1	GND	0V 供电
2	SDO	I2C 模式下从设备地址选择线 SPI 模式下串行数据输出
3	SCK/SCL	I2C 模式下串行时钟 SCL SPI 模式下串行时钟 SCK
4	SDI/SDA	I2C 模式下作 SDA，串行数据线 SPI 四线模式下作 SDI，串行数据输入 SPI 三线模式下作 SDA，串行数据线
5	CSB	I2C/SPI 模式选择，高电平 I2C 模式，低电平 SPI 模式
6	NC	内部无连接
7	VID	I/O 电源电压
8	VDD	电源供电

表 2：电气和机械参数

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
供电电压	VDD		1.8	—	5.5	V
IO 供电电压	VID		1.2	—	VDD	V
工作温度	Ta		-40	25	+85	°C
力范围	F		0	—	10	N
操作电流 OSR=256 OSR=1024(default) OSR=4096 OSR=16384 OSR=32768	IDD	VDD = 3.3V, 20Hz, 强制模式	—	97 120 190 420 800	—	μA
待机电流	IDDS	在上电复位和 软复位后	—	1	—	μA
满量程输出	FS			5,000,000		LSB
零位输出				11,000		LSB
零位温度系数		25 to 50°C		TBD		LSB
灵敏度			—	500,000	—	LSB/N
灵敏度温度系数		25 to 50°C		TBD		%FS
线性度 ¹				±1		%FS
噪声 (RMS)				100		LSB
长期稳定度	FSTAB			TBD		%FS

1. 需校正

表 3：极限参数

参数	符号	最小值	最大值	单位
电源电压	VDD, VID	-0.3	6.5	V
任一控制管脚电压	VIS	-0.3	VDD/VID + 0.3	V
过载力	FMAX	0	TBD	N
存储温度	TST	-40	+125	°C
ESD	HBM	—	±2	kV

框图和应用电路

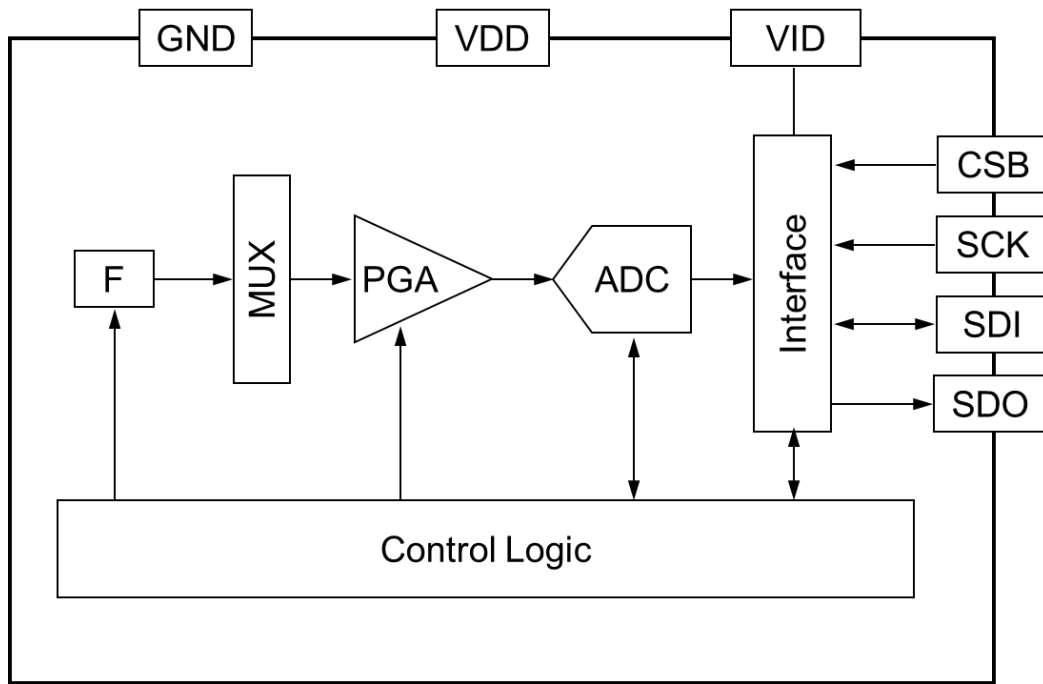


图 1 : GMFPC101 框图

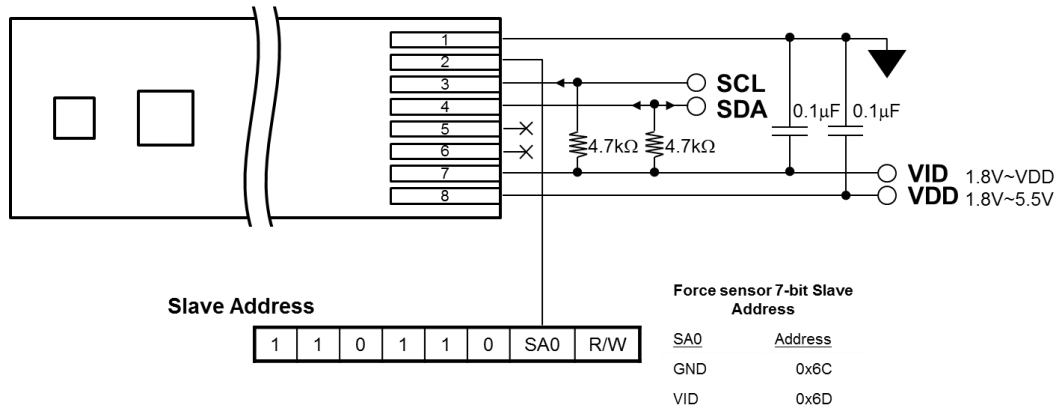


图 2 : GMFPC101 I2C 典型应用电路

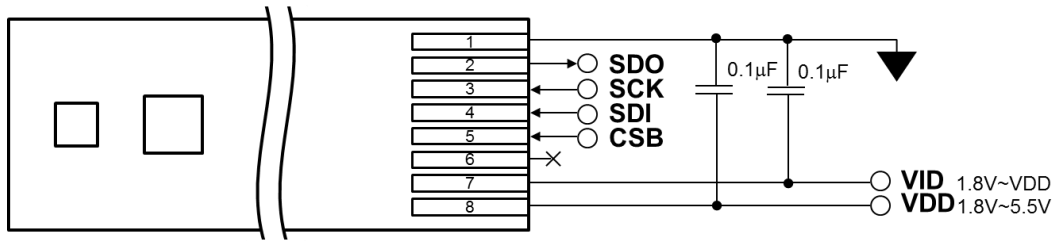


图 3 : GMFPC101 SPI 四线典型应用电路

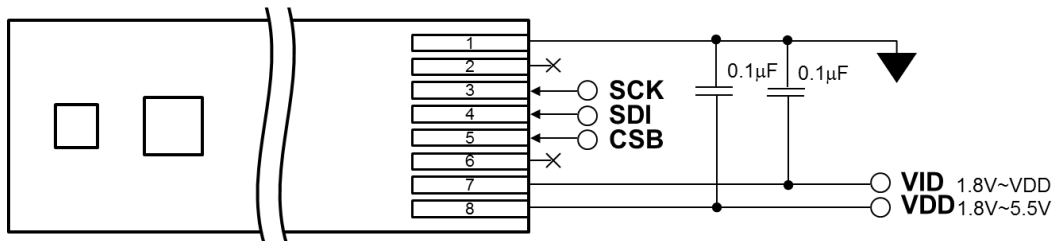


图 4 : GMFPC101 SPI 三线典型应用电路

功能描述

电源管理

GMFPC101 有两个独立的电源管脚：VDD 和 VID。VDD 是所有内部模拟和数字功能模块的主要电源管脚。VID 为数字接口提供参考电压位准。

当电源上电后，上电复位（POR）电路将被激活，内部电路和寄存器会被复位。在 POR 程序后，所有寄存器将被复位为默认值，而 GMFPC101 则切换成待机模式。

复位功能

GMFPC101 有如下的两种类型的复位：

- 上电复位（POR）：如前段电源管理部分所述。
- 软复位：将 0x24 写到 RESET 寄存器（00h）会触发器件软复位，在软复位后所有寄存器会被复位为默认值。

初始化步骤

在 POR 上复位电后 GMFPC101 将自动复位为待机模式。建议执行初始化步骤：将 0x24 写到 RESET 寄存器（00h）进行软复位。

电源模式

GMFPC101 提供两种电源模式：待机模式和强制模式。可以通过设置 30h [3:0]（Measure_CTRL [3:0]）位来设定。详细信息，请参阅 30h 寄存器的描述。

不同模式之间的转换如图 5 所示。

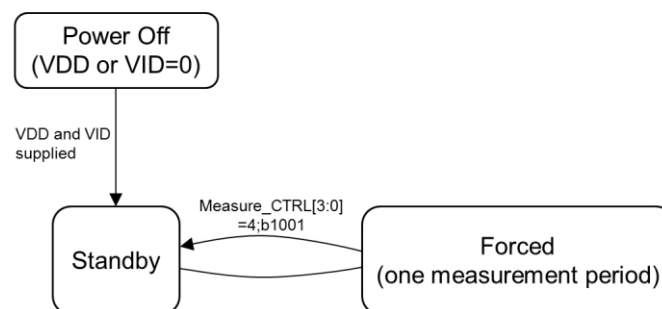


图 5：Mode transactions diagram

● 待机模式（Standby mode）

完成 POR 程序后，GMFPC101 将进入待机模式。在此模式下，数据测量停止，功耗最小。此时仍可以访问所有寄存器，包括 PID 和校准参数寄存器。

● 强制模式（Forced mode）

在强制模式下，GMFPC101 将进行一次的力测量，并自动返回待机模式，此时可从力数据寄存器读取测量结果。用户需要再次设置为强制模式以进行另一个力测量。强制模式的时序图如下图 6 所示。

为使模数转换的输出为原始力以供后续校准使用，在设置为强制模式之前，需确保寄存器 A5h [1] (Raw) 位值为 1'b1。以下总结单次力量测步骤：

1. 确认 A5h [1] (Raw) 位已设置。如果没有，请设置 A5h = 0x02。
2. 通过设置 30h = 0x09 设置为强制模式。
3. 检查 02h [0] (DRDY) 位，并等待其值设置。当 DRDY = 1'b1 时模数转换已完成，可从力数据寄存器中读取数据。

4. 读取力数据寄存器（06h~08h）的原始力模数转换输出。

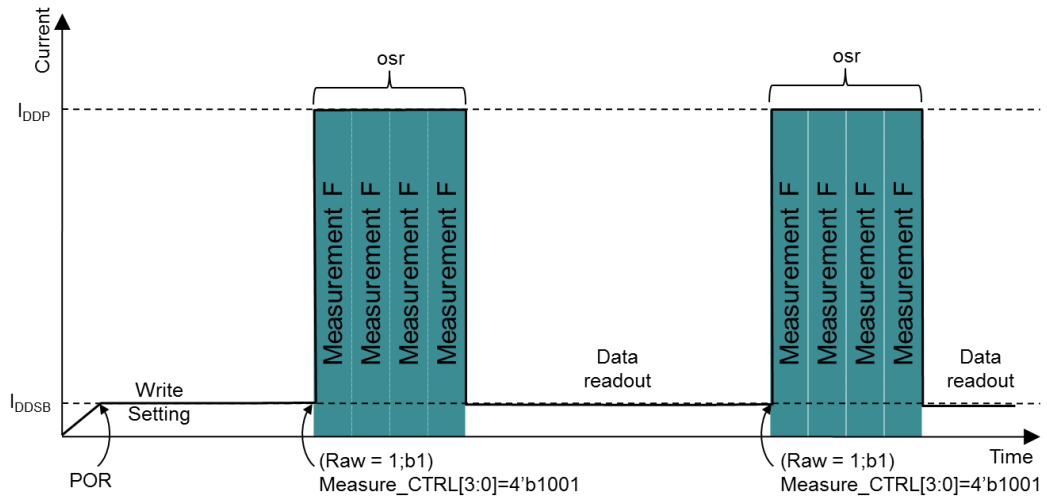


图 6：强制模式时序图

使用者寄存器

表 4：寄存器列表

Addr.	Name	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	Access	Default
00h	RESET	SPI4W	R'ved	RST	0	0	RST	R'ved	SPI4W	RW	0x00
01h	PID	PID[7:0]								R	0x00
02h	STATUS	Reserved				0	0	0	DRDY	R	NA
06h	FORCEH	Force [23:16]								R	NA
07h	FORCEM	Force [15:8]								R	NA
08h	FORCEL	Force [7:0]								R	NA
30h	CMD	Reserved				Measure_CTRL[3:0]				RW	0x00
A5h	CONFIG1	Reserved						Raw	R'ved	RW	0x00
A6h	CONFIG2	Reserved					OSR[2:0]			RW	0x00

寄存器描述

寄存器 00h: RESET 寄存器

Addr.	Name	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	Access	Default
00h	RESET	SPI4W	R'ved	RST	0	0	RST	R'ved	SPI4W	RW	0x00

将 0x24 写到 RESET 寄存器 (00h) 会触发器件软复位，在软复位后所有寄存器会被复位为默认值，而 RST 位也会自动回到 1'b0。

SPI4W 位用以选择 SPI 三线或四线模式。默认值 0x00 为 SPI 三线模式，将 0x81 写到 RESET 寄存器 (00h) 可选择 SPI 四线模式。

寄存器 01h: PID 寄存器

Addr.	Name	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	Access	Default
01h	PID	PID[7:0]								R	0x00

PID 寄存器存有产品识别字节，其值固定为 0x02。PID 寄存器在器件完成上电复位后即可读取。

寄存器 02h: STATUS 寄存器

Addr.	Name	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	Access	Default
02h	STATUS	Reserved				0	0	0	DRDY	R	NA

当数据模数转换完成后，STATUS 寄存器的 DRDY 位就会被设置为 1'b1，此时可从数据寄存器中读取力的数据。

寄存器 06h~08h: 力数据寄存器

Addr.	Name	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	Access	Default
06h	FORCEH	Force [23:16]								R	NA
07h	FORCEM	Force [15:8]								R	NA
08h	FORCEL	Force [7:0]								R	NA

模数转换后的力数据为 24 位补码 (2' complement) 编码，储存在三个力数据寄存器里。也就是当最高有效位 (bit 23) 为 1'b1 时，代表力数据为负值。

力数据输出是原始力传感器的 ADC 值。

寄存器 30h: CMD 寄存器

Addr.	Name	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	Access	Default
30h	CMD	Reserved				Measure_CTRL[3:0]				RW	NA

Measure_CTRL[3:0]位控制模数转换模式，在每个单次转换后，GMFPC101 会自动回到待机模式。有效设定值如下表所示。

Measure_CTRL[3:0]	电源模式
4'b1001	强制模式 进行单次力模数转换
Others	保留

寄存器 A5h: CONFIG1 寄存器

Addr.	Name	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	Access	Default
A5h	CONFIG1	Reserved						Raw	0	RW	0x00

在设置强制模式以进行单次力测量前，需将 Raw 位设为 1'b1，以使模数转换的输出为原始力量。原始力数据可由力数据寄存器读取（06h~08h）。

寄存器 A6h: CONFIG2 寄存器

Addr.	Name	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	Access	Default
A6h	CONFIG2	Reserved					OSR[2:0]			RW	0x00

OSR[2:0]位决定力模数转换的过采样率（oversampling ratio），其设定总结如下表。

OSR[2:0]	转换时间 (ms)	过采样率	典型分辨率 (ENOB)
3'b000	2.5	1024	17.8
3'b001	3.78	2048	18.2
3'b010	6.34	4096	18.7
3'b011	11.46	8192	19.1
3'b100	1.54	256	17
3'b101	1.86	512	17.3
3'b110	21.7	16384	19.4
3'b111	42.18	32768	19.7

数字接口：I2C 模式

I2C 总线概述

GMFPC101 的 I2C 总线接口是从设备，支持标准（100kHz）和快速（400kHz）模式，控制命令为 7 位。主机可以通过串行数据线（SDA）和串行时钟线（SCL）两根信号线对芯片进行寄存器的存取和设置。

芯片 I2C 的 7 位从设备地址可由 SA0 管脚来设定，总结如下表所列。

SA0	7 位从设备地址
低电平	0x6C
高电平	0x6D

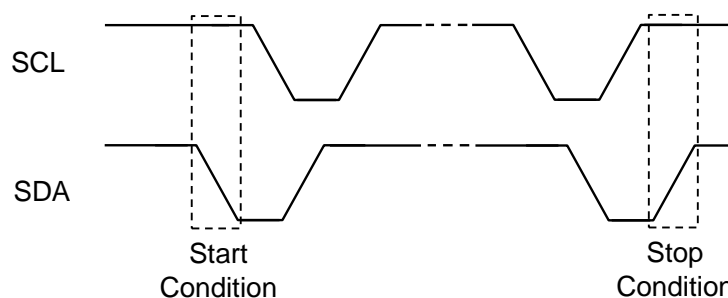
芯片 I2C 总线由 SCL 从主机获得时钟，并经由 SDA 和主机作双向通信：主机可发送数据到从设备，而从设备也可发送资料到主机。两根信号线都为漏极开路（open-drain）管脚，需通过上拉电阻连接到 VID。芯片 I2C 接口支援批量读写模式，在批量读写模式时，内部的地址会自动增加以便下笔资料读写。

I2C 操作：标准和快速模式

每个 SCL 周期，SDA 传输一个位的数据。SCL 高期间的 SDA 电位转换为控制信号，所以在数据传输时，SDA 不可於 SCL 高期间转换电位。当总线空闲时，两根数据线都为高。

总线传输通过主机的一个 START 信号（ST）开始。ST 信号为在 SCL 高期间，SDA 有一个高到低的变化。当传输完成，主机可通过一个 STOP 信号（SP）来终止。SP 信号为在 SCL 高期，SDA 有一个从低到高的变化。总线如果收到重复 START 信号（SR）而非 SP，则可继续传输。START 和 STOP 信号的时序如图 7 所示。

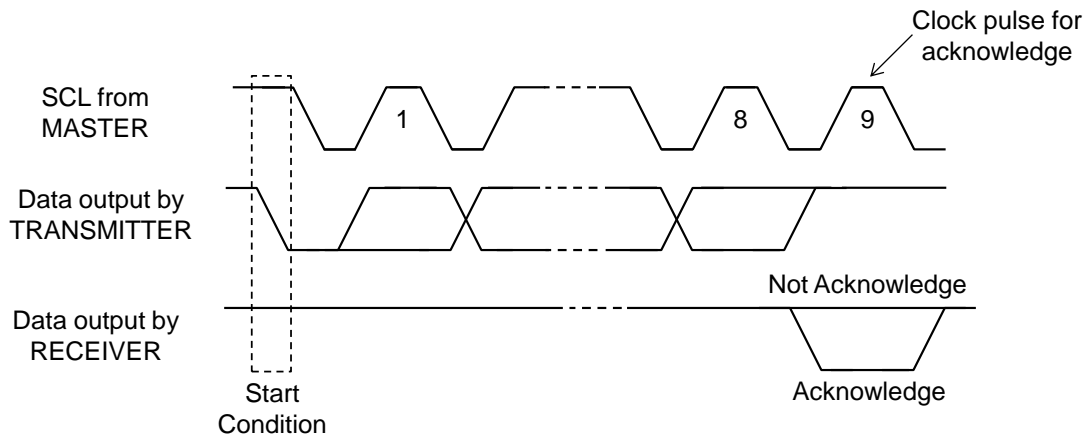
图 7：I2C START 和 STOP 信号



7 位从地址加上一个读写控制位（RW）构成了完整的从设备地址。如果读写控制位为 1'b1（RW=1'b1），代表是读，如为 1'b0（RW=1'b0）则代表是写。

在 ST 信号后，主机会传送一个 7 位的寻地址加上一个读写控制位（RW）共一个字节。如果这个 7 位寻地址和芯片从设备地址不同，芯片不会有任何回应，而接下来的数据传输也不会对芯片有任何作用。如果这个寻地址和芯片的从设备地址相同，芯片会返回 ACK。ACK 是在第九个 CLK 上芯片把 SDA 拉到低电平来完成，之后芯片会把 SDA 释放以进行后续的数据传输。ACK 信号时序图如图 8 所示。

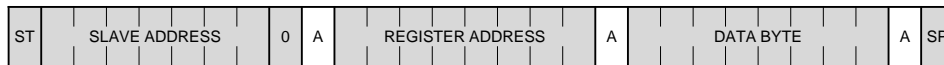
图 8：ACK 信号时序图



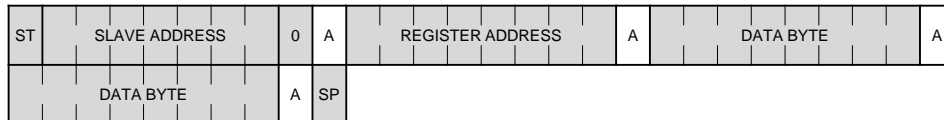
主机写入一或多个字节到芯片时，包括以下通讯：主机发送一个 **START** 信号，再发送一个 7 位的寻址加上写控制位 ($RW=1'b0$) 共一个字节，芯片返回 **ACK**，再发送一个字节的寄存器地址，芯片返回 **ACK**，接下来就是要写的一或多个数据字节，和其间芯片返回的 **ACK**，最后主机发送 **STOP** 信号终止整个通信。图 9 中的“Single Write”统整了写入单一字节时的通讯格式，而“Multiple Write”则统整了批量写入多个字节的通讯格式。

图 9：I2C 操作：标准和快速模式

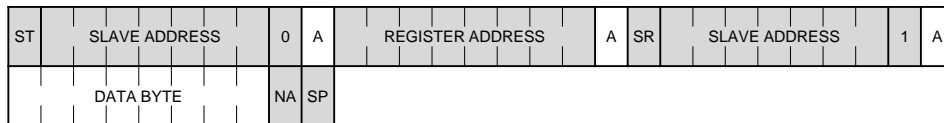
Single Write



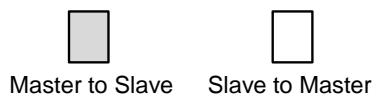
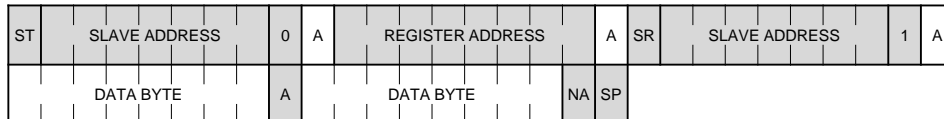
Multiple Write



Single Read



Multiple Read



A = acknowledge
 NA = not acknowledge
 ST = START condition
 SR = repeated START condition
 SP = STOP condition

主机从芯片读取一或多个字节时，包括以下通讯：主机发送一个 **START** 信号，再发送一个 7 位的寻地址加上写控制位 ($RW=1'b0$) 共一个字节，芯片返回 **ACK**，再发送一个字节的寄存器地址，芯片返回 **ACK**，接着主机发送重复 **START** 信号，和一个 7 位的寻地址加上读控制位 ($RW=1'b1$) 共一个字节， $RW=1'b1$ 代表主机开始读取动作，芯片返回 **ACK** 后，开始将指定寄存器地址的数据传回，主机在正确收到每个字节后，需返回 **ACK**，而芯片会将寄存器地址自增，再将该地址数据传回，直到最后主机返回 **NACK** 才停止发送，最后主机发送 **STOP** 信号终止整个通信。图 9 中的“**Single Read**”统整了读取单一字节时的通讯格式，而“**Multiple Read**”则统整了批量读取多个字节的通讯格式。

I2C 工程规格

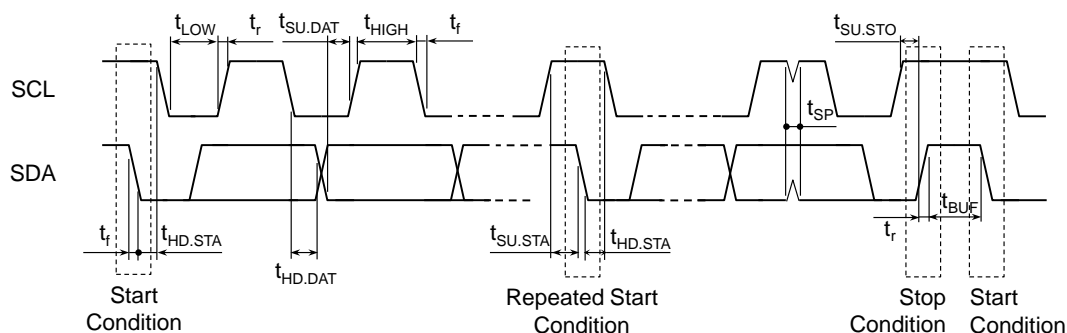
表 5：I2C 接口参数：标准模式

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit
SCL clock frequency	f_{SCL}	—	—	100	kHz
Clock low period	t_{LOW}	4.7	—	—	μs
Clock high period	t_{HIGH}	4	—	—	μs
Start hold time	$t_{HD.STA}$	4	—	—	μs
Start setup time	$t_{SU.STA}$	4.7	—	—	μs
Data-in hold time	$t_{HD.DAT}$	0	—	—	μs
Data-in setup time	$t_{SU.DAT}$	250	—	—	ns
Stop setup time	$t_{SU.STO}$	4	—	—	μs
Rise time	t_r	—	—	1	μs
Fall time	t_f	—	—	0.3	μs

表 6：I2C 接口参数：快速模式

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit
SCL clock frequency	f_{SCL}	—	—	400	kHz
Clock low period	t_{LOW}	1.3	—	—	μs
Clock high period	t_{HIGH}	0.6	—	—	μs
Bus free to new start	t_{BUF}	1.3	—	—	μs
Start hold time	$t_{HD.STA}$	0.6	—	—	μs
Start setup time	$t_{SU.STA}$	0.6	—	—	μs
Data-in hold time	$t_{HD.DAT}$	0	—	—	μs
Data-in setup time	$t_{SU.DAT}$	100	—	—	ns
Stop setup time	$t_{SU.STO}$	0.6	—	—	μs
Rise time	t_r	—	—	0.3	μs
Fall time	t_f	—	—	0.3	μs
Spike width	t_{SP}	—	—	50	μs

图 10：I2C 时序图：标准和快速模式



数字接口：SPI 模式

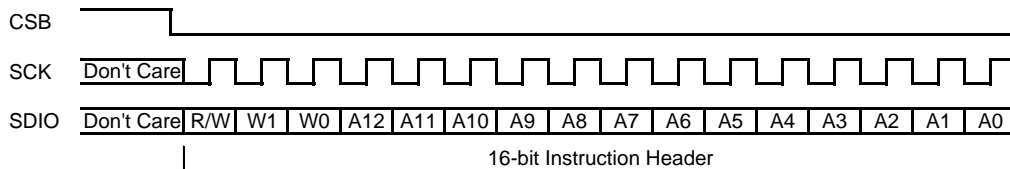
SPI 总线概述

GMFPC101 的 SPI 总线接口是从设备，支持三线模式和四线模式，可由 RESET 寄存器（00h）选择，详细请见 00h 寄存器的描述。

CSB 是 SPI 使能信号，由 SPI 主机控制，在 SPI 传输前变低，在 SPI 传输后变高。SPI 传输起始于 CSB 的下降沿，第一阶段传输 16 个位的控制字组，接着传输多个资料字节，每个资料字节是 8 个位。

第一个阶段的 16 位控制字组如下图所示，可分成三个部分。

图 11：SPI 16 位控制字组



第一个部分 R/W 是读/写控制位，当读写控制位为 1'b1 (R/W=1'b1)，代表是读，如为 1'b0 (RW=1'b0) 则代表是写。

第二个部分有两个位，W1 和 W0，他们代表了要传输的字节数目。当传输字节数目不多于三个时 (W1:W0=2'00, 2'b01 or 2'b10)，CSB 在字节边界可上升为高电平而不会中断本次传输，如 CSB 在非字节边界上升为高电平则会中断本次传输。当 W1:W0=2'11 时，资料字节可持续传输到 CSB 上升到高电平为止，CSB 不可在整个传输过程中上升到高电平否则会中断本次传输。下表总结了 W1 和 W0 所有设定值的行为。

表 7：W1/W0 设定值

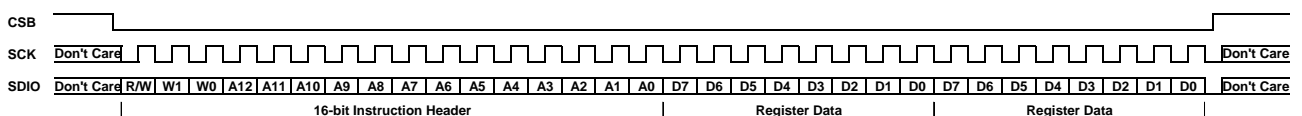
W1:W0	描述	CSB 是否可在字节边界上升为高电平
2'b00	可传输一个字节的资料	可
2'b01	可传输两个字节的资料	可
2'b10	可传输三个字节的资料	可
2'b11	可传输多个字节的资料直到 CSB 上升到高电平为止。CSB 在整个传输过程必须维持低电平。	不可

第三个部分包含其它 13 个位，代表资料的寄存器起始地址，如果有多个字节要传输，则会由该起始地址自动增加。

资料字节在 16 位控制字组后发送，每个字节为 8 个位，可藉由 W1:W0 的设定实现多字节的传输。

图 12 举例说明 SPI 传输 2 个字节的时序图。

图 12：SPI 访问时序图

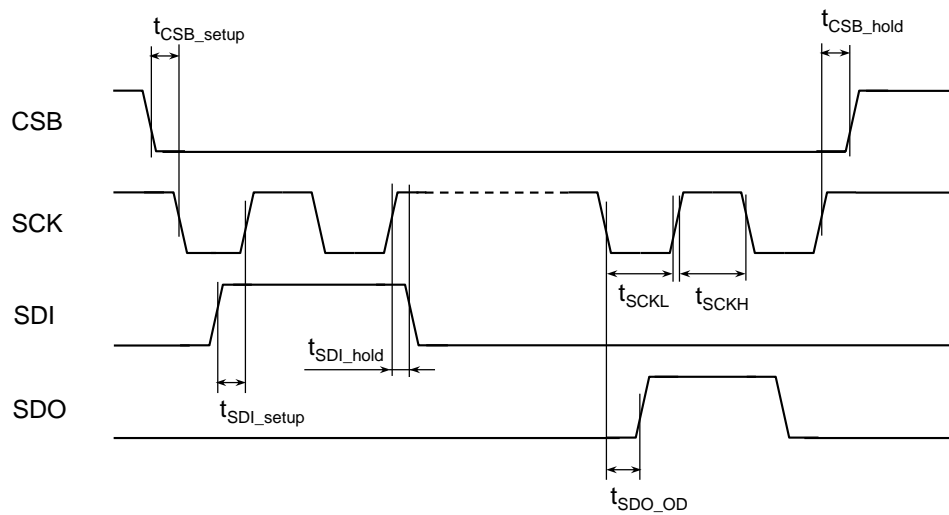


SPI 工程规格

表 8：SPI 接口参数

Parameter	Symbol	Minimum	Maximum	Unit
SCK clock frequency	f_{SCK}	—	10	MHz
SCK clock low pulse	t_{SCKL}	20	—	ns
SCK clock high pulse	t_{SCKH}	20	—	ns
SDI setup time	$t_{\text{SDI_setup}}$	20	—	ns
SDI hold time	$t_{\text{SDI_hold}}$	20	—	ns
SDO/SDI output delay	$t_{\text{SDO_OD}}$	—	30 (25pF) 40 (250pF)	ns
CSB setup time	$t_{\text{CSB_setup}}$	20	—	ns
CSB hold time	$t_{\text{CSB_hold}}$	40	—	ns

图 13：SPI 时序图



封装

封装外形尺寸图

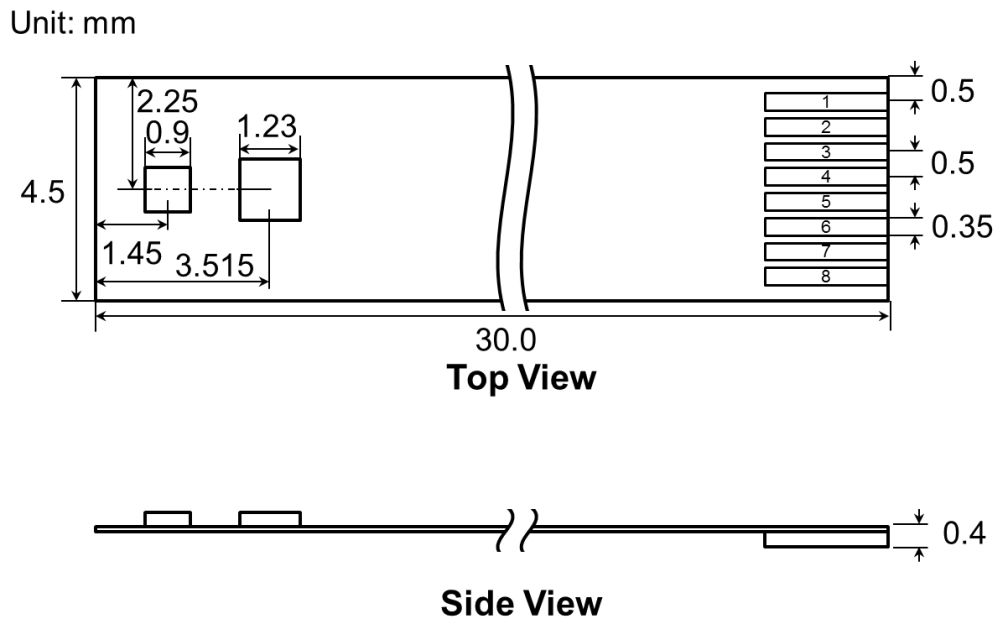


图 14: 封装外形尺寸图

RoHS 合规

采柔性线路板封装的 GMEMS 传感器，符合“关于限制在电子电器设备中使用某些有害成分的指令”（RoHS）。适用于这些工艺的回流焊温度曲线可以成功地用于焊接元件。

湿敏等级

GMFPC101 封装 MSL 等级是第 3 级。

文档修订历程

Revision No.	Description	Date
V0.10	初稿首次发行	2017.05.03
V0.20	更正力量测范围至 10 牛顿 更正柔性软板尺寸 新增 SPI 连接说明	2017.07.10
V0.21	更正图 2	2017.10.26