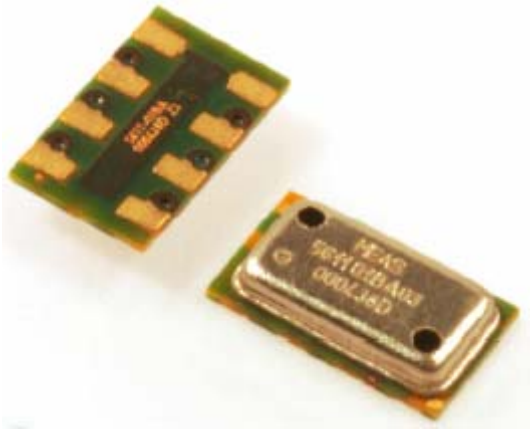
MS5611-01BA03 金属封装气压计组件



性能描述

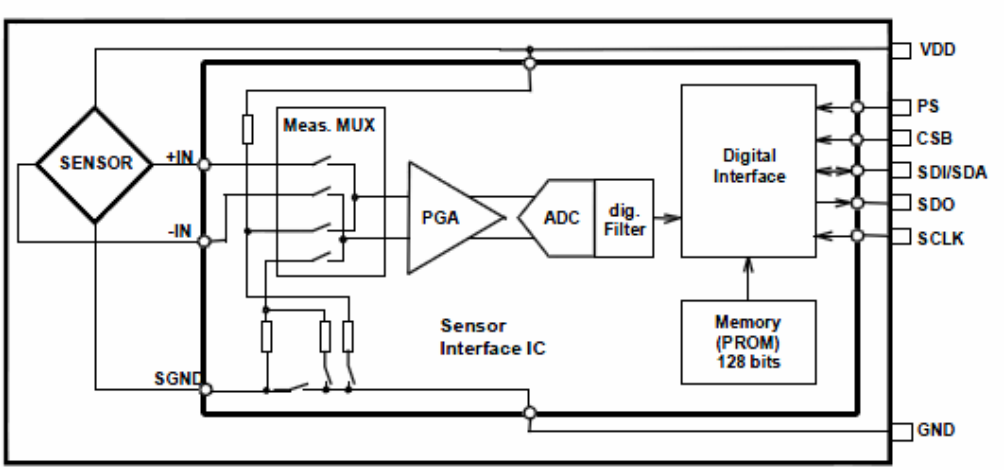
高度分辨率组件，10cm
转换时间低于1ms
低功率，工作电流1uA（待机状态<0.15uA）
QFN 封装尺寸：5.0×3.0×1.0 mm^3
供电电压1.8V～3.6V
集成数字气压传感器（24位 ADC）
测量/工作范围：10~1200mbar（毫巴=百帕），-40~+85℃
I2C 和 SPI 接口，传输速率可达20MHz
无外接元件（内置振荡器）
长期稳定性好

描述

MS5611-01BA气压传感器是由MEAS（瑞士）推出的一款SPI和I²C总线接口的新一代高分辨率气压传感器，分辨率可达到10cm。该传感器模块包括一个高线性度的压力传感器和一个超低功耗的24位Σ模数转换器（工厂校准系数）。MS5611提供了一个精确的24位数字压力值和温度值以及不同的操作模式，可以提高转换速度并优化电流消耗。高分辨率的温度输出无须额外传感器可实现高度计/温度计功能。可以与几乎任何微控制器连接。通信协议简单，无需在设备内部寄存器编程。MS5611压力传感器只有5.0毫米×3.0毫米×1.0毫米的小尺寸可以集成在移动设备中。这款传感器采用领先的MEMS技术并得益于MEAS（瑞士）十余年的成熟设计以及大批量制造经验，保证产品具有高稳定性以及非常低的压力信号滞后。

内部结构及技术数据

移动高度计/气压计系统
自行车电脑
气压表
医疗警报高度计
室内导航



原理框图

Sensor Performances (V_{DD} = 3 V)				
Pressure	**Min**	**Typ**	**Max**	**Unit**
Range	10		1200	mbar
ADC		24		bit
Resolution (1)		0.065 / 0.042 / 0.027 / 0.018 / 0.012		mbar
Accuracy 25°C, 750 mbar	-1.5		+1.5	mbar
Error band, -20°C to +85°C 450 to 1100 mbar (2)	-2.5		+2.5	mbar
Response time (1)		0.5 / 1.1 / 2.1 / 4.1 / 8.22		ms
Long term stability		-1		mbar/yr
Temperature	**Min**	**Typ**	**Max**	**Unit**
Range	-40		+85	°C
Resolution		<0.01		°C
Accuracy	-0.8		+0.8	°C
Notes: (1) Oversampling Ratio: 256 / 512 / 1024 / 2048 / 4096 (2) With autozero at one pressure point				

技术数据

性能参数

最大工作范围

参数	符号	条件	最小	典型	最大
电源电压	V_{DD}		-0.3V		+4.0V
最大压力值	P_{max}				6bar
最大焊接温度	T_{max}	最长 40 秒			250℃

电气特性

参数	符号	条件	最小	典型	最大
工作电压	V_{DD}		1.8V	3.0V	3.6V
工作温度	T		-40℃	+25℃	+85℃
工作电流（1 sample per sec.）	I_{DD}	OSR 4096 2048 1024 512		12.5uA 6.3uA 3.2uA 1.7uA	

		256		0.9uA	
VDD 对地电容		VDD to GND	100nF		

模数转换（ADC）

参数	符号	条件	最小	典型	最大
输出字长（bit）				24	
转换时间（ms）	t_c	OSR 4096	7.40	8.22	9.04
		2048	3.72	4.13	4.54
		1024	1.88	2.08	2.28
		512	0.95	1.06	1.17
		256	0.48	0.54	0.60

气压值输出特征

温度值输出特征

数字输入（CSB，I2C，DIN，SCLK）

气压输出（I2C，DOUT）

功能描述

综合描述

MS5611-01BA 是由压阻传感器和传感器接口组成的的集成电路，主要功能是把测得未得补偿模拟气压值经 ADC 转换成 24 位的数字值输出，同时也可以输出一个 24 位的数字温度值。

出厂校验

每个模块都在两种温度和两种压力下有其单独的出厂校验，6 系数必要补偿为过程变化和温度变化计算和存储到一个内部的 128-bit 存储器（PROM）中，这些值（划分成 6 个系数）用软件来读取并要通过程序将 D1 和 D2 中的值转换成标准气压、温度值。

串行接口

MS5611-01BA 有两种类型的串行接口:SPI 和 I2C。通过调节 PS 引脚的电压来选择使用 I2C 或 SPI 通信接口：

Pin PS	Mode	Pins used
High	I^2C	SDA
Low	SPI	SDI, SDO, CSB

SPI 模式

外部微控制器通过输入SCLK(串行时钟)和SDI(串行数据)来传输数据。在SPI模式下时钟极性和相位允许同时模式0和模式3。SDO(串行数据)引脚为传感器的响应输出。CSB(芯片选择)引脚用来控制芯片使能/禁用，所以,其他设备可以共用同一组SPI总线。在命令发送完毕或命令执行结束(例如结束的转换)时CSB引脚将被拉高。在SPI总线空闲模式下模块有较好的噪声性能和在ADC转换时与其他设备链接。

I2C 模式

外部微控制器通过输入SCLK(串行时钟)和SDA(串行数据)来传输数据。传感器的响应在一根双向的I2C总线接口SDA线上。所以这个接口类型只使用2信号线路而不需要片选信号，这可以减少板空间。在I2C模式下补充引脚CSB (芯片选择)代表了LSB的I2C地址。在I2C总线上可以使用两个传感器和两个不同的地址。CSB引脚应当连接到VDD或GND（不能悬空）。

指令

MS5611-01BA03 只有 5 个基本命令：

1.复位（Reset）

2.读取存储器（128-bit PROM）

3.D1 转换

4.D2 转换

5.读取 ADC 结果（24-bit 气压/温度值）

气压和温度计算（详见原文）

1.开始

计算结果最大值: $P_{MIN}=10mbar$ ，$P_{MAX}=1200mbar$，$T_{MIN}=-40^{o}C$，$T_{MAX}=85^{o}C$，$T_{REF}=20^{o}C$

2.从 PROM 读取出厂校准数据

变量	描述|方程	推荐变量类型	Size	值			例子/典型
			bit	min	Max		
C1	压力灵敏度|$SENS_{T1}$	uint 16	16	0	65535		40127
C2	压力抵消| OFF_{T1}	uint 16	16	0	65535		36924
C3	温度压力灵敏度系数| TCS	uint 16	16	0	65535		23317
C4	温度系数的压力抵消| TCO	uint 16	16	0	65535		23282
C5	参考温度|T_{REF}	uint 16	16	0	65535		33464
C6	温度系数的温度|TEMPSENS	uint 16	16	0	65535		28312

3.读取数字气压和温度值

D1	数字压力值	uint 32	24	0	16777216		9085466
D2	数字温度值	uint 32	24	0	16777216		8569150

4.计算温度

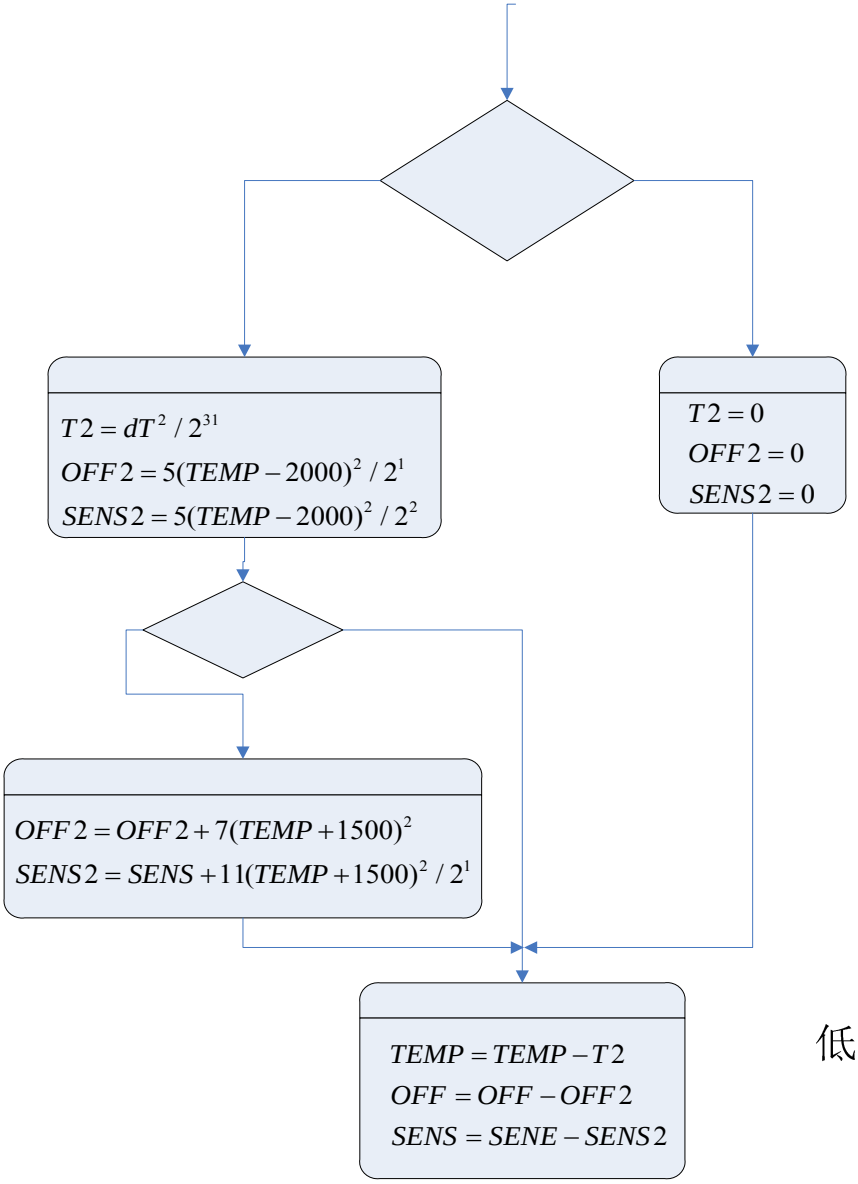
dT	实际和参考温度之间的差异 $dT=D2-T_{REF}=D2-C5*2^{8}$	int 32	25	-16776960	16777216		2366
TEMP	实际温度(-40…85° C 0.01° C 的分辨率) $TEMP=20^{o}C+dT*TEMPSENS$ $=2000+dT*C6/2^{23}$	int 32	41	-4000	8500		2007=20.07°C

5.计算温度补偿下的气压值

OFF	实际温度抵消 $OFF=OFF_{T1}+TCO*dT$ $=C2*2^{16}+(C4*dT)/2^{7}$	int 64	41	-8589672450	12884705280		2420281617
SENS	实际温度灵敏度 $SENS=SENS_{T1}+TCS*dT$ $=c1*2^{15}+(C3*dT)/2^{8}$	int 64	41	-4294836225	6442352640		1315097036
P	温度补偿压力(10…1200mbar 与 0.01mbar 分辨率) $P=D1*SENS-OFF$ $=(D1*SENS/2^{21}-OFF)/2^{15}$	int 32	58	1000			100009=1000.09 mbar

6.得到气压和温度值。

二阶温度补偿



对压力和温度达到最佳精度的流程图

SPI 接口

SPI 命令

下面的表格描述中每个命令的大小是1字节(8位)。执行ADC read指令后将会返回一个24-bit的结果，执行PROM read指令后返回16-bit的结果。存储器（PROM）的地址在PROM read命令中的a2，a1和a0位。

是 否

TEMP<-15C

非常低的温度

	Command byte								hex value
Bit number	0	1	2	3	4	5	6	7	
Bit name	PRM	COV	-	Typ	Ad2/Os2	Ad1/Os1	Ad0/Os0	Stop	
Command									
Reset	0	0	0	1	1	1	1	0	0x1E
Convert D1 (OSR=256)	0	1	0	0	0	0	0	0	0x40
Convert D1 (OSR=512)	0	1	0	0	0	0	1	0	0x42
Convert D1 (OSR=1024)	0	1	0	0	0	1	0	0	0x44
Convert D1 (OSR=2048)	0	1	0	0	0	1	1	0	0x46
Convert D1 (OSR=4096)	0	1	0	0	1	0	0	0	0x48
Convert D2 (OSR=256)	0	1	0	1	0	0	0	0	0x50
Convert D2 (OSR=512)	0	1	0	1	0	0	1	0	0x52
Convert D2 (OSR=1024)	0	1	0	1	0	1	0	0	0x54
Convert D2 (OSR=2048)	0	1	0	1	0	1	1	0	0x56
Convert D2 (OSR=4096)	0	1	0	1	1	0	0	0	0x58
ADC Read	0	0	0	0	0	0	0	0	0x00
PROM Read	1	0	1	0	Ad2	Ad1	Ad0	0	0xA0 to 0xAE

命令结构

SPI 复位时序

转换时序

存储器读取时序图参见原文。

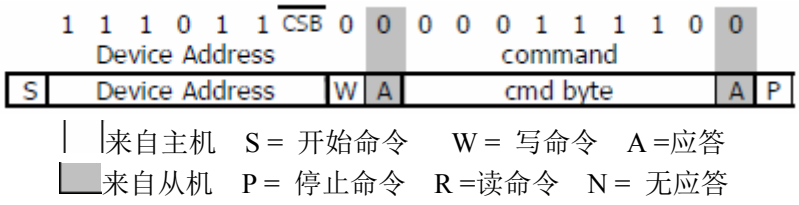
I2C 接口

I2C 命令

每个 I2C 通信消息都有开始和停止状态。MS5611-01BA 的 I2C 地址为 111011Cx，其中 C 为 CSB 引脚的补码值（取反）。因为传感器内并没有微控制器，所有 I2C 的命令和 SPI 是相同的。

I2C 复位时序

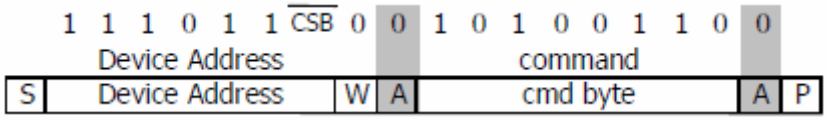
复位指令可以在任何时间发送。如果没有成功的上电复位，这可能是被屏蔽的SDA模块在应答状态。MS5611-01BA唯一的复位方式是发送几个SCLKs后跟一个复位指令或上电复位。



I2C 复位指令

存储器读取时序

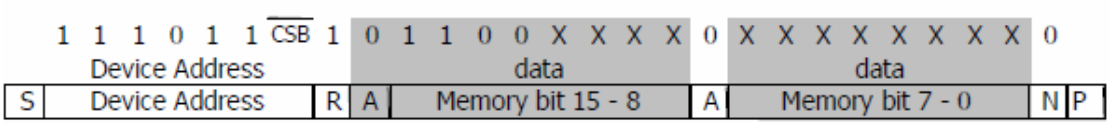
PROM读指令由两部分构成，第一部分使系统处于PROM读模式，第二部分从系统中读取数据。



来自主机　S = 开始命令　　W = 写命令　A =应答

来自从机　P = 停止命令　R =读命令　N = 无应答

I2C 读存储器指令，地址=011（系数：3）



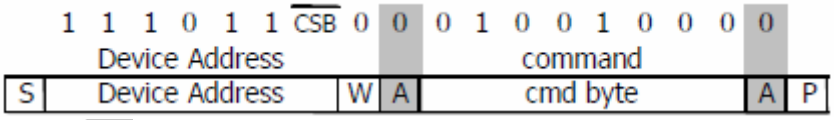
来自主机　S = 开始命令　　W = 写命令　A =应答

来自从机　P = 停止命令　R =读命令　N = 无应答

I2C 从芯片中应答

转换时序

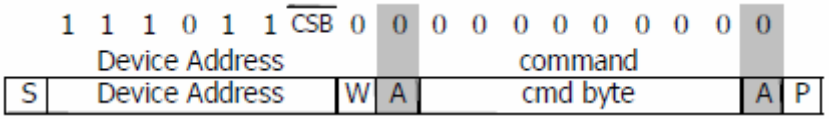
通过向MS5611-01BA发送指令可以进入转换模式。当命令写入到系统中，系统处于忙碌状态，直到转换完成。当转换完成后可以发送一个读指令，此时MS5611-01BA发回一个应答，24个SCLK时钟将所有bit位传送出来。每隔8bit就会等待一个应答信号



来自主机　S = 开始命令　　W = 写命令　A =应答

来自从机　P = 停止命令　R =读命令　N = 无应答

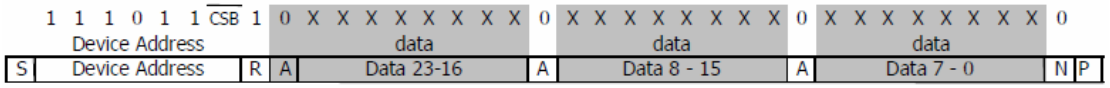
I2C 启动压力转换指令(OSR=4096, typ=D1)



来自主机　S = 开始命令　　W = 写命令　A =应答

来自从机　P = 停止命令　R =读命令　N = 无应答

ADC 读时序



来自主机　S = 开始命令　　W = 写命令　A =应答

来自从机　P = 停止命令　R =读命令　N = 无应答

I2C 从 MS5611-01BA 读取数据

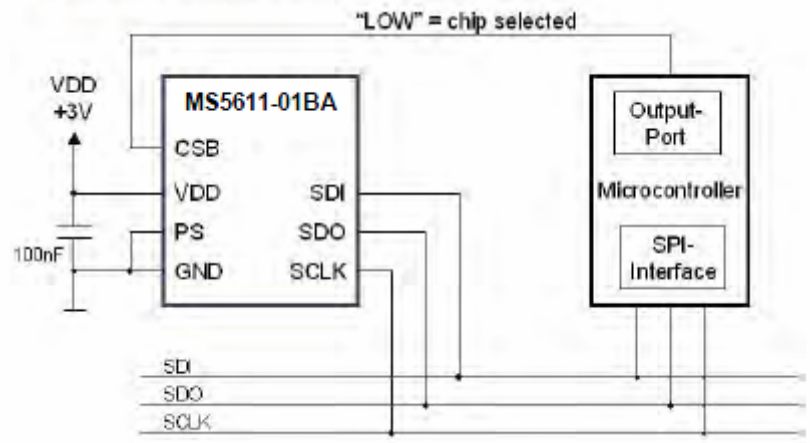
循环冗余检查（CRC）

MS5611-01BA包含128-Bit的PROM存储器。存储器中有一个4bit的CRC数据检测位。下面详细描述了CRC-4代码的使用。

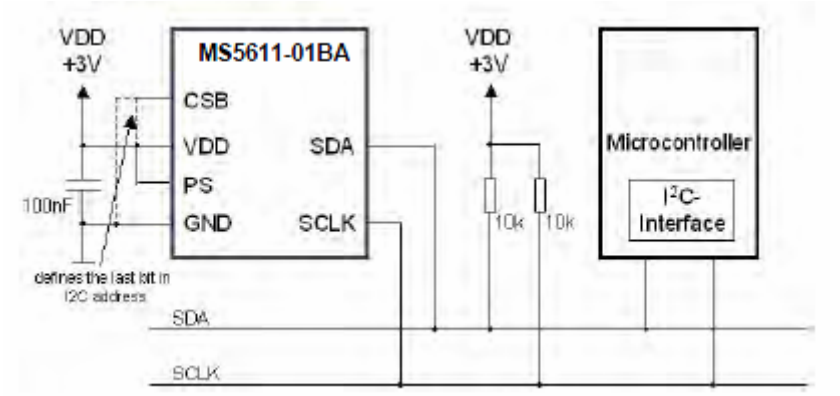
Add	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	16 bit reserved for manufacturer															
1	Coefficient 1 (16 bit unsigned)															
2	Coefficient 2 (16 bit unsigned)															
3	Coefficient 3 (16 bit unsigned)															
4	Coefficient 4 (16 bit unsigned)															
5	Coefficient 5 (16 bit unsigned)															
6	Coefficient 6 (16 bit unsigned)															
7													CRC			

典型应用电路

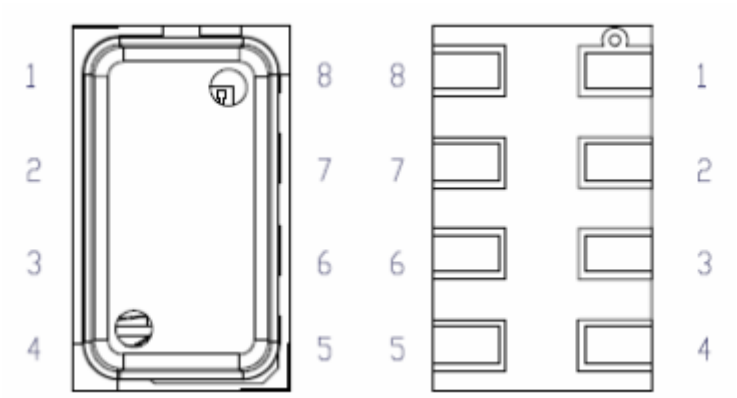
SPI 协议



I2C 协议



引脚定义



引脚	名称	类型	描述
1	VDD	P	电源电压
2	PS	I	通讯协议选择 PS high（VDD）→I2C PS low（GND）→SPI
3	GND	G	接地
4	CSB	I	片选（低电平有效）， 内部连接
5			
6	SDO	O	串口数据输出
7	SDI/SDA	I/IO	串口数据输入/I2C 数据
8	SCLK	I	串口时钟

*****注：原文附录有一些典型测量值的特征曲线可参考。其中的一些关键点：ADC 的测量值 D1 和 D2 是分别用来测气压和温度的，且基本成线性关系；在常温（20℃）或大于常温时，测量误差很小，而温度低于 20℃时，气压和温度测量误差会明显增大；电源电压为 3V 时，气压和温度测量误差很小，而其它供电电压下误差会大幅度增加。**

51 单片机测试代码

```
/**********MS5611 模块*************/
/**用途：MS5611 模块 IIC 测试程序****/
/*****串口波特率设置为 9600********/
#include   <REG52.H>
#include   <math.h>       //Keil library
#include   <stdlib.h>    //Keil library
#include   <stdio.h>      //Keil library
#include   <INTRINS.H> //Keil library

#define      uchar unsigned char
#define      uint unsigned int
#define      ulong unsigned long
```

```
sbit  SCL=P0^1;          //IIC 时钟引脚定义
sbit  SDA=P0^2;          //IIC 数据引脚定义

#define    MS561101BA_SlaveAddress     0xee      //定义器件在 IIC 总线中的从地址

#define    MS561101BA_D1          0x40
#define    MS561101BA_D2          0x50
#define    MS561101BA_RST         0x1E

//#define  MS561101BA_D1_OSR_256       0x40
//#define  MS561101BA_D1_OSR_512       0x42
//#define  MS561101BA_D1_OSR_1024      0x44
//#define  MS561101BA_D1_OSR_2048      0x46
#define    MS561101BA_D1_OSR_4096      0x48

//#define  MS561101BA_D2_OSR_256       0x50
//#define  MS561101BA_D2_OSR_512       0x52
//#define  MS561101BA_D2_OSR_1024      0x54
//#define  MS561101BA_D2_OSR_2048      0x56
#define    MS561101BA_D2_OSR_4096      0x58

#define MS561101BA_ADC_RD         0x00
#define    MS561101BA_PROM_RD       0xA0
#define MS561101BA_PROM_CRC      0xAE

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
unsigned int Cal_C[7];                //用于存放 PROM 中的 8 组数据
unsigned long D1_Pres,D2_Temp;//  存放压力和温度
float dT,TEMP;
double OFF_,SENS;
float Pressure;                       //大气压
float TEMP2,Aux,OFF2,SENS2;   //温度校验值

ulong ex_Pressure;                //串口读数转换值
uchar exchange_num[8];

//-----------子函数声明-------------
void    delay(unsigned int k);
void    Delay5us();
void    Delay5ms();
void    I2C_Start();
void    I2C_Stop();
void    I2C_SendACK(bit ack);
```

```
bit     I2C_RecvACK();
void    I2C_SendByte(uchar dat);
uchar I2C_RecvByte();

void    MS561101BA_RESET();
void    MS561101BA_PROM_READ();
ulong MS561101BA_DO_CONVERSION(uchar command);
void    MS561101BA_getTemperature(uchar OSR_Temp);
void    MS561101BA_getPressure(uchar OSR_Pres);
void    MS561101BA_Init();

void    init_uart();
void    SeriPushSend(uchar send_data);
void    Exchange_Number();
//-----------------------------------

//*************************************************************

//*************************************
//延时
//*************************************
void delay(unsigned int k)
{
      unsigned int i,j;
      for(i=0;i<k;i++)
      {
            for(j=0;j<121;j++);
      }
}
/*************************************
延时 5 微秒(STC90C52RC@12M)
不同的工作环境,需要调整此函数，注意时钟过快时需要修改
当改用 1T 的 MCU 时,请调整此延时函数
*************************************/
void Delay5us()
{
      _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
      _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
      _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
      _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
}

/*************************************
延时 5 毫秒(STC90C52RC@12M)
```

```
不同的工作环境,需要调整此函数
当改用 1T 的 MCU 时,请调整此延时函数
*************************************/
void Delay5ms()
{
    uint n = 560;

    while (n--);
}

//**************************************
//I2C 起始信号
//**************************************
void I2C_Start()
{
    SDA = 1;                    //拉高数据线
    SCL = 1;                    //拉高时钟线
    Delay5us();                 //延时
    SDA = 0;                    //产生下降沿
    Delay5us();                 //延时
    SCL = 0;                    //拉低时钟线
}
//**************************************
//I2C 停止信号
//**************************************
void I2C_Stop()
{
    SDA = 0;                    //拉低数据线
    SCL = 1;                    //拉高时钟线
    Delay5us();                 //延时
    SDA = 1;                    //产生上升沿
    Delay5us();                 //延时
}
//**************************************
//I2C 发送应答信号
//入口参数:ack (0:ACK 1:NAK)
//**************************************
void I2C_SendACK(bit ack)
{
    SDA = ack;                  //写应答信号
    SCL = 1;                    //拉高时钟线
    Delay5us();                 //延时
    SCL = 0;                    //拉低时钟线
    Delay5us();                 //延时
```

```
}
//*************************************
//I2C 接收应答信号
//*************************************
bit I2C_RecvACK()
{
    SCL = 1;                    //拉高时钟线
    Delay5us();                 //延时
    CY = SDA;                   //读应答信号
    SCL = 0;                    //拉低时钟线
    Delay5us();                 //延时
    return CY;
}
//*************************************
//向 I2C 总线发送一个字节数据
//*************************************
void I2C_SendByte(uchar dat)
{
    uchar i;
    for (i=0; i<8; i++)         //8 位计数器
    {
        dat <<= 1;              //移出数据的最高位
        SDA = CY;               //送数据口
        SCL = 1;                //拉高时钟线
        Delay5us();             //延时
        SCL = 0;                //拉低时钟线
        Delay5us();             //延时
    }
    I2C_RecvACK();
}
//*************************************
//从 I2C 总线接收一个字节数据
//*************************************
uchar I2C_RecvByte()
{
    uchar i;
    uchar dat = 0;
    SDA = 1;                    //使能内部上拉,准备读取数据,
    for (i=0; i<8; i++)         //8 位计数器
    {
        dat <<= 1;
        SCL = 1;                //拉高时钟线
        Delay5us();             //延时
        dat |= SDA;             //读数据
```

```
        SCL = 0;                        //拉低时钟线
        Delay5us();                     //延时
    }
    return dat;
}

//=========================================================
//******MS561101BA 程序********
//=========================================================
void MS561101BA_RESET()
{
    I2C_Start();
    I2C_SendByte(MS561101BA_SlaveAddress);
//  I2C_RecvACK();
    I2C_SendByte(MS561101BA_RST);
//  I2C_RecvACK();
    I2C_Stop();
}

void MS561101BA_PROM_READ()
{
    uchar d1,d2,i;
    for(i=0;i<=6;i++)
    {
        I2C_Start();
        I2C_SendByte(MS561101BA_SlaveAddress);
        I2C_SendByte((MS561101BA_PROM_RD+i*2));


        I2C_Start();
        I2C_SendByte(MS561101BA_SlaveAddress+1);
        d1=I2C_RecvByte();
        I2C_SendACK(0);
        d2=I2C_RecvByte();
        I2C_SendACK(1);
        I2C_Stop();

        Delay5ms();

        Cal_C[i]=((uint)d1<<8)|d2;
    }
}

ulong MS561101BA_DO_CONVERSION(uchar command)
```

```
{
    ulong conversion=0;
    ulong conv1,conv2,conv3;
    I2C_Start();
    I2C_SendByte(MS561101BA_SlaveAddress);
    I2C_SendByte(command);
    I2C_Stop();

    delay(100);

    I2C_Start();
    I2C_SendByte(MS561101BA_SlaveAddress);
    I2C_SendByte(0);

    I2C_Start();
    I2C_SendByte(MS561101BA_SlaveAddress+1);
    conv1=I2C_RecvByte();
    I2C_SendACK(0);
    conv2=I2C_RecvByte();
    I2C_SendACK(0);
    conv3=I2C_RecvByte();

    I2C_SendACK(1);
    I2C_Stop();

    conversion=conv1*65535+conv2*256+conv3;

    return conversion;
}


void MS561101BA_getTemperature(uchar OSR_Temp)
{

    D2_Temp= MS561101BA_DO_CONVERSION(OSR_Temp);
    delay(10);
    dT=D2_Temp - (((ulong)Cal_C[5])<<8);
    TEMP=2000+dT*((ulong)Cal_C[6])/8388608;

}

void MS561101BA_getPressure(uchar OSR_Pres)
{
```

```
    D1_Pres= MS561101BA_DO_CONVERSION(OSR_Pres);
    delay(10);
    OFF_=(ulong)Cal_C[2]*65536+((ulong)Cal_C[4]*dT)/128;
    SENS=(ulong)Cal_C[1]*32768+((ulong)Cal_C[3]*dT)/256;

    if(TEMP<2000)
    {
        // second order temperature compensation when under 20 degrees C
        T2 = (dT*dT) / 0x80000000;
        Aux = TEMP*TEMP;
        OFF2 = 2.5*Aux;
        SENS2 = 1.25*Aux;
        TEMP = TEMP - TEMP2;
        OFF_ = OFF_ - OFF2;
        SENS = SENS - SENS2;
    }

    Pressure=(D1_Pres*SENS/2097152-OFF_)/32768;
}

void MS561101BA_Init()
{
    MS561101BA_RESET();
    delay(1000);
    MS561101BA_PROM_READ();
    delay(1000);
}

//*********************************************************
//******串口程序********
//*********************************************************
void init_uart()
{
    TMOD=0x21;
    TH1=0xfd;
    TL1=0xfd;

    SCON=0x50;
    PS=1;       //串口中断设为高优先级别
    TR0=1;      //启动定时器
    TR1=1;
    ET0=1;      //打开定时器 0 中断
    ES=1;
    EA=1;
```

```
}

//*************************************
void    SeriPushSend(uchar send_data)
{
      if(send_data==0)send_data=0x20;
      SBUF=send_data;
      while(!TI);TI=0;
}
//***************数据转换*******************
void Exchange_Number()
{
      ex_Pressure=(long)(Pressure);

      if(ex_Pressure<0)
      {
            ex_Pressure=-ex_Pressure;
            exchange_num[0]='-';
      }
      else exchange_num[0]=' ';

      exchange_num[1]=ex_Pressure/100000;//+0x30;
      ex_Pressure=ex_Pressure%100000;

      exchange_num[2]=ex_Pressure/10000+0x30;
      ex_Pressure=ex_Pressure%10000;

      exchange_num[3]=ex_Pressure/1000+0x30;
      ex_Pressure=ex_Pressure%1000;

      exchange_num[4]=ex_Pressure/100+0x30;
      ex_Pressure=ex_Pressure%100;

      exchange_num[5]='.';

      exchange_num[6]=ex_Pressure/10+0x30;
      ex_Pressure=ex_Pressure%10;

      exchange_num[7]=ex_Pressure+0x30;


}
//*********************************************************
//************************主程序*****************************
```

```
//*********************************************************
void main()
{
    uchar i;
    delay(50);                              //上电延时
    init_uart();                           //串口初始化，波特率 9600
    MS561101BA_Init();                      //MS561101BA 初始化
    while(1)                               //循环
    {
        MS561101BA_getTemperature(MS561101BA_D2_OSR_4096);
        MS561101BA_getPressure(MS561101BA_D1_OSR_4096);


        Exchange_Number();
        for(i=0;i<=7;i++)
        {
            SeriPushSend(exchange_num[i]);
        }
        SeriPushSend('m');
        SeriPushSend('b');
        SeriPushSend('a');
        SeriPushSend('r');
        SeriPushSend(0x0d);
        SeriPushSend(0x0a);//换行，回车
    }
}
```