

高灵敏智能甲醛测试仪的设计与开发

刘福星^{1,2}, 张克栋³, 顾唯兵², 崔铮^{2,3}, 汪琳¹

- (1. 上海大学 材料科学与工程学院, 上海 200444;
2. 中国科学院 苏州纳米技术与纳米仿生研究所, 江苏 苏州 215123;
3. 苏州纳格光电科技有限公司, 江苏 苏州 215123)

摘要:针对目前小型甲醛测试仪价格高、灵敏度低等缺点,设计了以STM8单片机为主控芯片、基于新型纳米材料传感器的高灵敏智能甲醛测试仪。该测试仪通过采样气路的设计和高精度信号采集电路,实现了对甲醛气体的高灵敏度、高精度的测量:其最小甲醛检测浓度为 0.03 mg/m^3 ,分辨率达 0.01 mg/m^3 。测试仪采用了低电压、低功耗设计,由单节 3.7 V 锂电池进行供电,续航时间达 8 h 以上。同时,该测试仪集成了无线充电和无线蓝牙通信功能,能与手机、PC等个人智能终端设备进行数据通讯。测试结果表明,在 $0 \sim 3 \text{ mg/m}^3$ 范围内,该甲醛测试仪检测结果与标准气体甲醛浓度的偏差小于 2% ,优于其他测试仪。

关键词:甲醛测试仪;STM8;灵敏度;智能化

中图分类号:TM932;X83 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.5/6.031

Design and development of high sensitive smart formaldehyde detector

LIU Fu-xing^{1,2}, ZHANG Ke-dong³, GU Wei-bing², CUI Zheng^{2,3}, WANG Lin¹

- (1. School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China;
2. Suzhou Institute of Nano-Tech and Nano-Binics (SINANO), Chinese Academy of Sciences, Suzhou 215123, China;
3. Suzhou NanoGrid Technology Co., Ltd., Suzhou 215123, China)

Abstract: Aimed at the defects that the small formaldehyde detector had high price and low sensitivity currently, a smart formaldehyde detector with the microcontroller of STM8S which had high sensitivity and precision based on a new nano material sensor was designed. With a special gas path and high precision signal acquisition circuit, the detector achieved the high sensitivity and high precision measurement of formaldehyde gas. It could sense 0.03 mg/m^3 formaldehyde gas, and the resolution was 0.01 mg/m^3 . The detector designed by low voltage and low power was powered by a 3.7 V lithium battery and could work more than 8 h with optimized power consumption design. Wireless charging and Bluetooth technology were integrated into the detector which made the detector communicate with mobile phone, PC and other personal intelligent terminal equipment. Test results showed that in the range of $0 \sim 3 \text{ mg/m}^3$, the deviation the deviation of the detection result of the formaldehyde detector was less 2% and it was superior to other detectors.

Key words: formaldehyde detector; STM8; sensitivity; intelligence

0 引言

甲醛是一种能诱发多种疾病且具有致癌性的有害气体. 家居、办公环境中的甲醛气体已成为危害人体健康的重要因素, 引起了人们的高度关注. 我国国家标准^[1]规定: 居室空气中甲醛的最高允许浓度为 0.08 mg/m^3 , 公共场所甲醛的最高允许浓度为 0.10 mg/m^3 . 目前, 甲醛的测定方法主要有分光光度法^[2]、色谱法^[3]、电化学分析法^[4]和传感器法^[5-6]等, 其中乙酰丙酮的分光光度法(GB/T 15516—1995)被作为国标法, 其检测较为准确可靠, 但所需检测时间长. I. C. Rodriguez 等^[7]将生色物质在室温下的诱导期从 60 min 缩短到 3 min, 大大缩短了检测时间. 但这种方法需要配制化学溶剂, 并需要硫酸保护、水浴等步骤, 不适合做家用居室检测. C. L. P. Thomas 等^[8]利用气相色谱-质谱(GC-MS)来分析甲醛, 其灵敏度较高, 但对制样和仪器设备要求很高且设备昂贵, 不适合普及; 化学检测法^[9]受湿度、共存干扰物影响较大, 一般很少使用. 而传感器法是家用便携仪器选用最多的方法, 目前便携式甲醛测试仪使用的传感器主要是电化学传感器^[10]. 米萍珍等^[11]利用 DART Sensor 公司的电化学传感器设计了甲醛测试仪, 但该电化学传感器输出电流只有 nA 级, 信号微弱, 很容易受到外界的干扰, 而且价格比较昂贵, 很难做到低成本. 本文拟设计并开发一种基于新型纳米材料传感器的高灵敏智能甲醛测试仪, 以期实现无线充电和数据的蓝牙传输, 达到成本低廉、灵敏度高、体积小、测量快速的目的.

1 测量原理

本设计采用的甲醛传感器是由苏州纳格光电科技有限公司自主研发的 NGTFS10a. 该传感器采用新型纳米材料, 实现对甲醛气体的高灵敏与高选择性响应, 当传感器检测到甲醛气体后, 阻抗发生变化, 其变化值与气体浓度呈一定的线性关系. 以此为基础, 通过转换电路将传感器阻抗信号转换为电压信号, 再经过模数转换电路传输给单片机, 单片机根据检测到的电压信号进行计算并得到相应的甲醛浓度值.

2 系统硬件设计

该甲醛测试仪采用模块化设计. 系统整体功能

结构如图 1 所示. 该仪器的核心电路系统也可以单独作为测试模块(见图 2)集成于其他家电系统中, 实现室内甲醛气体的实时检测.

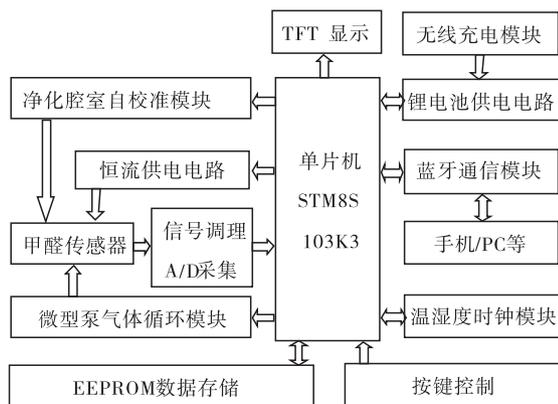


图 1 本甲醛测试仪整体功能结构图

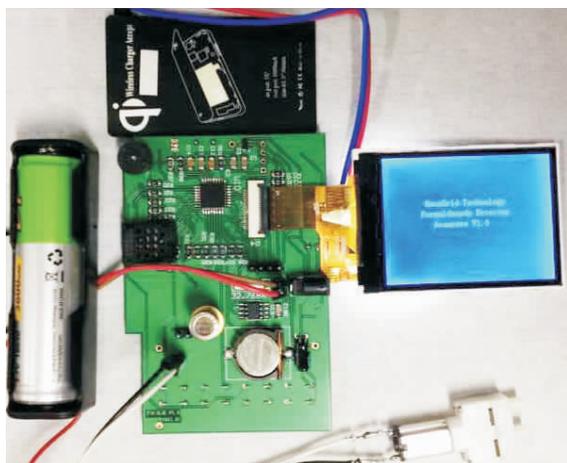


图 2 本设计之测试电路模块

2.1 微处理器的选择

STM8S 系列单片机是意法半导体公司针对消费电子开发而推出的 8 位单片机. 其内部模块丰富: 具有 4 个时钟源, 带有 32 个中断嵌套的中断控制器, 内部集成 10 位 ADC, 集成数据 EEPROM, 其定时器包括高级控制定时器、通用定时器、基本定时器和 2 个看门狗定时器, 其模块有单线接口模块 SWIM 和调试模块 DM; 功耗低: 工作电压范围在 $2.95 \sim 5.5 \text{ V}$, 为低功耗模式, 最小功耗只有 11 uA ; 通信接口丰富: 具有 CAN2.0, UART, SPI 及 IIC 等通信接口; 成本低: STM8S 每片价格在 2 元左右, 性价比很高.

2.2 高精度采集电路设计

为实现传感器信号的稳定可靠输出并减小其功耗, 系统设计以恒流方式对传感器 RX 进行供电, 恒流电流 ISET 设置为 10 uA , 信号采集电路见图 3.

当传感器检测到甲醛气体后阻值发生变化,从而引起两端电压信号 Sensor Signal 的变化. 信号采集电路通过滤波、电压跟随、模数转换将电压信号传输给单片机,由单片机进行数据处理并通过彩色液晶屏进行显示.

零温漂恒流供电电路采用美国国家半导体公司生产的 LM334 进行设计,LM334 为正温度系数器件,系数为 $+0.227 \text{ mV}/^\circ\text{C}$,为消除温漂的影响电路增加了电阻 R_2 和二极管 1N457 进行补偿. 二极管为负温度系数器件,温度系数为 $-2.5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. 通过调节外围电阻 R_1 和 R_2 的阻值,获得不同的恒流电流;计算表明,当 $R_1 = 13.4 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 134 \text{ k}\Omega$ 时,可得到零温漂 $ISET = 10 \text{ }\mu\text{A}$ 恒流.

NGTFS10a 在其响应范围内电阻变化从 $50 \text{ k}\Omega$ 到 $200 \text{ k}\Omega$,经过恒流供电,输出电压信号为 $0.5 \sim 2 \text{ V}$,因此信号无需放大. 同时,为获得传感器的高灵敏度信号,减少外界的干扰,采集电路设计了一阶低通滤波器进行滤波,电压跟随器采用零温漂运算放大器 OPA333 进行信号驱动的增强. 同时,为获得高精度的信号数据,设备选用了由德州仪器厂生产的超低功耗 16 位高精度 ADS1100 进行模数转换,基准为 3 V ,能精确识别 0.045 mV 的电压变化,实现甲醛浓度测试分辨率小于 $0.01 \text{ mg}/\text{m}^3$ 的要求.

2.3 低功耗设计

为实现本测试仪的低功耗目标,系统选取了低电压、低功耗芯片;传感器采用恒流方式,其功耗只有几十微瓦;同时,通过程序优化,将不工作时的芯片等元器件设置为休眠状态,进一步降低功耗,提高测试仪的使用效率和寿命.

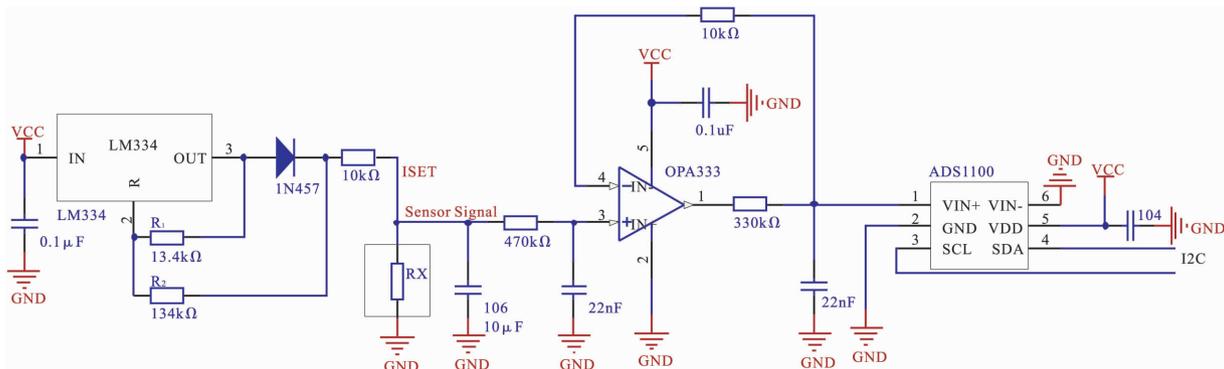
2.3.1 低电压工作 本测试仪采用单节 18650 锂电池供电,该锂电池正常工作电压 $3.2 \sim 4.2 \text{ V}$. 为

降低功耗和充分利用电池容量,系统设计以 3 V 电压工作;为保证电压的稳定性,采用低压差稳压芯片 XC6206 进行稳压;XC6206 最小工作压差为 0.2 V ,可保证当电池电压大于 3.2 V 时稳定输出 3 V ,防止由于电压波动而引起漂移,影响测试的精度和可靠性.

2.3.2 低功耗开关机电路 为方便用户操作,系统设计有低功耗开关机电路,即一键开关机电路,由场效应晶体管和光耦组成,如图 4 所示. 该开关机电路可通过用户按键 S1 来控制仪器的开关,在电池欠压情况下又能通过单片机的 I/O 口进行自动关机保护. 由于设计中采用的场效应晶体管 P5102FMG 和 AO3400 本身压降、功耗非常小,因此在开机状态下,整个开关机电路的功耗也非常小;而在仪器关机状态时,所有器件均处于关断状态,对电源没有电流消耗.

2.3.3 低功耗开关驱动电路 本测试仪采用微型隔膜泵将测样气体送到甲醛传感器腔室中,为了驱动微型泵工作并减少电路损耗,设计了低功耗泵驱动电路(见图 5). 该驱动电路由 1 个 P 型 MOS 管 P5102FMG 和 1 个 N 型 MOS 管 AO3400 组成. 与常用的三极管驱动电路不同,MOS 管为电压驱动型器件,栅极几乎没有电流也不需要限流电阻,而且所选用的这两种 MOS 管导通电阻非常小,仅有 $50 \text{ m}\Omega$,在泵工作时,其压降仅为 5 mV ,功耗仅为 0.5 mW ,远小于三极管的功耗. 因此,本设计的泵驱动电路,其功耗大大降低且简单可靠.

同时,为减小待机功耗,将此驱动电路作为 AD,EEPROM 等外围器件的电源开关电路,需要时开启,不需要时关闭,实现动态供电,减小系统功耗.



10 μA 恒流

传感器信号产生

信号调理

模数转换

图 3 本设计之信号采集电路图

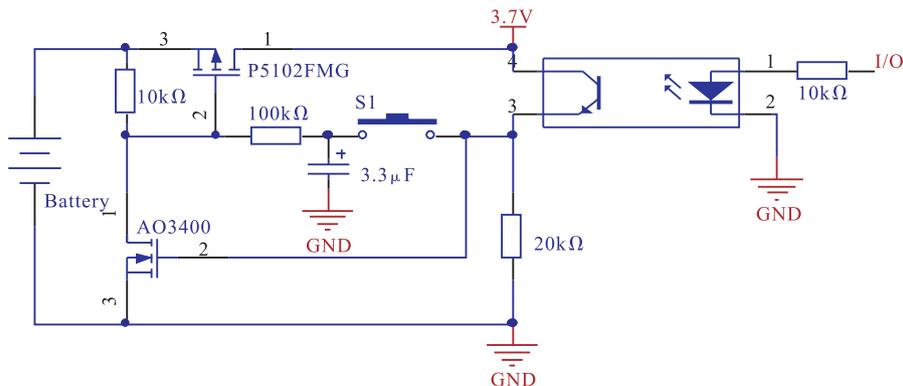


图4 本设计之低功耗开关机电路图

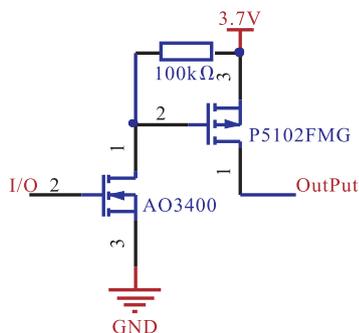


图5 本设计之低功耗开关驱动电路图

2.4 网络化智能化设计

传统的仪器数据传输和通信多采用有线方式,布线繁杂,安装成本高,扩展性和移动性差。而采用无线蓝牙通信技术^[12]能方便实现设备与终端之间的数据通信和信息共享;采用无线充电技术^[13]能方便便携设备充电。

2.4.1 无线蓝牙通信 该测试仪内嵌 CSR 蓝牙通信模块,可将检测到的数据传输到手机、PC 等个人终端设备上,并能通过个人终端控制甲醛测试仪的工作状态,可用于一些危险环境中的测试和控制,真正实现仪器设备的智能化和网络化。

蓝牙通信模块采用 3.3 V 供电,数据传输时工作电流小于 50 mA,并以 1 次/s 的频率将测试数据发给手机、PC 等个人终端。在其余时间里蓝牙模块处于休眠状态,有效减小了蓝牙模块的功耗,可以满足单节锂电池供电。经测试,单节锂电池能够保持仪器带蓝牙数据传输工作 8 h,并能实现 10 m 左右的通信距离。

2.4.2 无线充电功能 锂电池没有记忆效应,频繁地浅度充放电,有助于延长电池的使用寿命,而无线充电的特点就是频繁地浅度充放电。设计中采用符合 Qi 标准的无线充电技术,经耦合线圈整流出

5 V 的充电电压,充电电流为 0.5 ~ 1 A。对 3 600 mAh 容量的锂电池(充满电压为 4.2 V)进行充电,相同时间、不同充电方式下,充电电池电压对比见表 1。由表 1 可见,无线充电 2.5 h 时的电池电压为 4.16 V,而采用有线充电方式的电池电压只有 3.71 V,采用无线充电方式时锂电池的电压上升得更快,电池充满所需的时间更短,充电的效率更高。同时,为防止锂电池的过充和过放,电路中集成了由芯片 DW01 和 8205A 组成的充放电保护电路。

表 1 相同时间、不同充电方式的充电电池电压对比

时间/h	有线充电/V	无线充电/V
0	3.50	3.50
0.5	3.58	3.73
1.0	3.64	3.83
1.5	3.66	3.94
2.0	3.69	4.05
2.5	3.71	4.16

3 系统软件设计

软件设计基于 IAR 编译环境进行,采用模块化的编程思想编程。为降低系统的功耗,延长电池的供电时间,主控芯片单片机 STM8S 在不工作时设置为休眠状态,采用中断方式唤醒,大大提高程序的执行效率。外设采用需时供电方式,用时打开,不运行时通过程序控制关闭。主要程序模块有甲醛传感器自校准模块、甲醛信号采集模块、数据存储模块、TFT 液晶显示模块、蓝牙通讯模块、温湿度模块、时钟模块、按键控制模块、电源管理模块、I2C 通信模块等。其主要流程结构如图 6 所示。

程序上对降低功耗做了优化,根据甲醛传感器的特点对甲醛浓度的算法作了优化,如使用多次测量取平均的方法减小误差,提高对甲醛浓度测量的准确性。

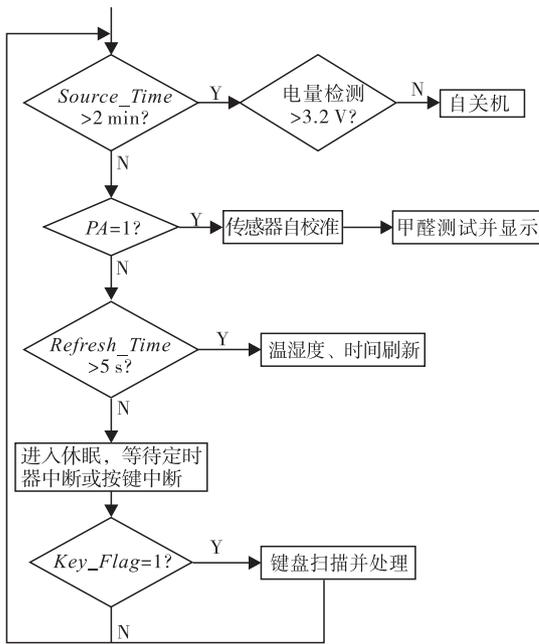
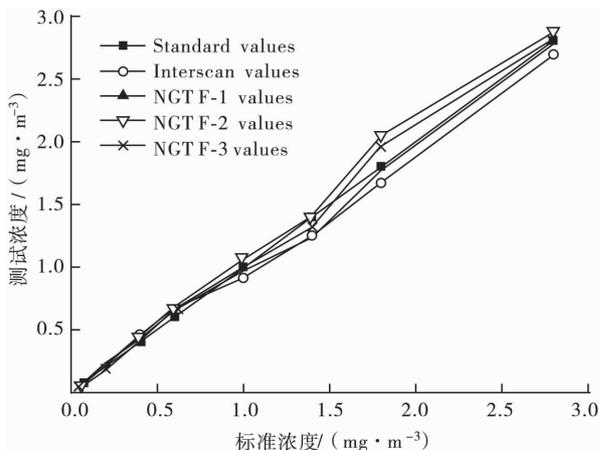


图6 本设计主要流程结构

4 测试结果对比与分析

将不同浓度的标准甲醛气体通入测试环境,用3组本设计的甲醛测试仪(分别用NGT-1, NGT-2, NGT-3表示)对甲醛气体浓度进行测试,同时与美国Interscan公司生产的便携式甲醛检测仪Interscan4160—19.99m进行对比。Interscan4160—19.99m是目前唯一一款通过中国预防医学科学院环境卫生监测所实验室评价和现场测评,并获国家质监局正式认证的甲醛检测仪器。测试对比结果如图7所示。由图7可见,在 $0 \sim 3 \text{ mg/m}^3$ 范围内,本文所设计的甲醛测试仪与标准气体的偏差为2.0%,而美国的Interscan4160—19.99m甲醛测试仪的偏差为2.9%。

图7 本设计与美国某公司产品
甲醛浓度测试结果对比

5 结论

基于单片机STM8S和新型的纳米材料传感器,设计开发了一种低成本、高灵敏度的智能甲醛测试仪。该测试仪具有许多优点:检测精度高,能实现最小浓度 0.03 mg/m^3 的甲醛气体测量,分辨率可达 0.01 mg/m^3 ;成本低,仪器成本在百元以内;功耗低,采用单节锂电池供电,能连续工作8 h以上;使用方便,集成了无线充电和蓝牙通讯功能;适用于家居、办公环境下的实时甲醛气体检测,具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] GB/T 16127—1995, 居室空气中甲醛的卫生标准[S].
- [2] 杨铭,黎彧,陈润升,等. 公共场所空气中甲醛的测定——酚试剂分光光度法[J]. 广东微量元素科学, 2008, 15(4):56.
- [3] 王雨群,王正萍. ACF-衍生采集-热解析-气相色谱法测定室内空气中甲醛[J]. 南京理工大学学报:自然科学版, 2011, 35(2):262.
- [4] 罗靖,蒲登荣,张玉美,等. 酚试剂-示波极谱法测定公共场所空气中甲醛[J]. 预防医学情报杂志, 2010, 26(3):238.
- [5] Dirksen J A, Duval K, Ring T A. NiO thin-film formaldehyde gas sensor[J]. Sensors and Actuators B Chemical, 2001, 80(2):106.
- [6] 胡明江,马步伟,王忠. 基于 $\text{SnO}_2\text{-In}_2\text{O}_3$ 复合纳米纤维的薄膜型甲醛传感器研究[J]. 分析化学, 2014, 42(1):47.
- [7] Rodriguez I C, Bravo S R, Bendito D P. Selective monitoring of formaldehyde in air by use of the stopped-flow technique[J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 1995, 61(4):331.
- [8] Thomas C L P, McGill C D, Towill R. Determination of formaldehyde by conversion to hexahydroxazolo[3,4-a]pyridine in a denuder tube with recovery by thermal desorption, and analysis by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Analyst, 1997, 122:1471.
- [9] 陈雯雯,邵华,张放,等. 甲醛快速化学比色检测法的筛选研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(12):2518.
- [10] 李玉静. 便携式甲醛检测仪的研究[D]. 长春:吉林大学, 2007.
- [11] 米萍珍,谢跃东,杨琛. 低功耗室内甲醛监测仪的设计[J]. 电子设计工程, 2012, 19(22):48.
- [12] 王俊杰,赵威,罗超,等. 基于蓝牙4.0传输的智能家居系统[J]. 电子制作, 2015(4):59.
- [13] 刘春娜. 无线充电技术最新进展[J]. 电源技术, 2015, 39(2):231.