

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802024

基于 PLC 与欧陆表的温度控制系统设计

鲁明祥

(上海理工大学 上海 200093)

摘要: 碲镉汞材料生长过程对温度要求很高,为提高碲镉汞材料的生长效率和生长质量,设计了一套液相外延生长(LPE)退火炉温度控制系统。该系统以 PLC 作为逻辑控制器,以欧陆表作为温度控制器,搭配可控硅输出模块实现系统温度的调节与控制。PLC 通过 Modbus 通信协议与欧陆表进行通信,完成对模拟量数据的采集与处理,并对生产过程进行顺序控制。组态软件作为人机交互界面,完成系统运行过程中的数据记录和动态显示。该温度控制系统在实际应用中操作方便,控温精准,运行稳定。

关键词: PLC;欧陆表;温度控制;Modbus;组态软件

中图分类号: TP271+.4;TN05 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Temperature control system design through PLC and Eurotherm meter

Lu Mingxiang

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To increase the growth efficiency and quality of Hg_{1-x}Cd_xTe, a temperature control system for liquid phase epitaxy growth annealing furnace was designed. The system takes a programmable logic controller(PLC) as the logic controller, uses the Eurotherm Meter as the temperature control to regulate the temperature with the traic. PLC communicates with the Eurotherm meters through the Modbus protocol to collect analog data and deal with them, and then control the process of production. Useing the configuration software as the human-computer interface to display the frame dynamically and record the data in the process of system operation. The annealing furnace is easy to operate, precise in temperature control and stable in practical application.

Keywords: PLC; Eurotherm; temperature control; Modbus; configuration software

0 引言

液相外延生长(liquid phase epitaxy, LPE)的碲镉汞(Hg_{1-x}Cd_xTe)薄膜材料,是重要的红外探测材料,它具有禁带宽度可调,大的光吸收系数等特点^[1-2],主要用于研制红外焦平面阵列器件,在遥感、气象、通信、资源普查和高分辨率对地观测卫星上都有广泛的应用^[3]。LPE 采用水平推舟外延工艺,生长方法为过冷法,生长温度 460 °C 左右^[4-5],控温精度和降温速率都要精确到 0.1 °C。生长温度过高,会导致衬底过度回熔,使生长界面溶液不均匀,破坏外延层组分均匀性;降温速率过快,会导致溶液过冷度提高,破坏组分纵向分布均匀性。因此,严格控制退火炉的温度以及温度变化速率是外延生长过程的关键。

根据控制要求,本文设计了一套基于 PLC 与欧陆表的温度控制系统,该系统能够实现材料的生长过程工艺控制以及实时监控,保证生长过程的稳定执行,提高生长材料的质量。

1 系统设计方案

退火炉温度控制系统分为温度控制部分,逻辑控制部分以及上位机软件部分。温度控制部分由欧陆表控制可控硅模块实现对炉温的精确控制,逻辑控制部分由 PLC 作为主控制器实现退火过程中的顺序控制,上位机部分使用组态软件实现界面显示与操作。

1)温控部分选用英国 Eurotherm 公司 EPC3004 温控表以及可控硅控制器 EFit,其控温精、稳定,并且具有自整定功能。3004 温控表基于标准 Modbus 通信协议,通过 RS485 通信方式与 PLC 进行通信,输出信号控制 EFit 来调节变压器输出,控制电热丝的加热。

2)下位机选用三菱 FX3U 系列 PLC 作为主控制器,其控制方式凭借安全可靠的优势,在工业自动化领域中仍处于核心领导地位^[6-7],搭配使用的通信模块 485-BD 实现与欧陆表的通信,模拟量输入输出模块实现 PLC 内部数字信

号与传感器模拟信号之间的转换,晶体管模块控制伺服电机实现拉舟推舟动作。

3)上位机软件选用北京三维力控公司的 Forcecontrol V7.0,力控对国内外绝大部分厂商的自动化设备都提供驱动支持[8],它能够为用户提供可视化的人机交互界面,用户可以通过力控软件实时显示和监控过程变量,如温度、压力、流量参数等,其强大的数据库可以提供实时数据存储,历史数据查询等功能,并能显示曲线,生成报表,直观反应数据变化过程。同时,操作人员可以通过其

与 PLC 的通信,设置阀门开度,流量参数以及解决报警[9-10]。

2 主回路温控设计

退火炉温度控制主回路由欧陆表、可控硅功率控制器 EFit、变压器以及电热丝组成。工作过程中,PLC 输出端给出输出信号控制接触器吸合接通回路,通过欧陆表的输出端口输出 4~20 mA 信号来控制 EFit 的通断来调节电压和功率进行加热。主回路控制如图 1 所示。

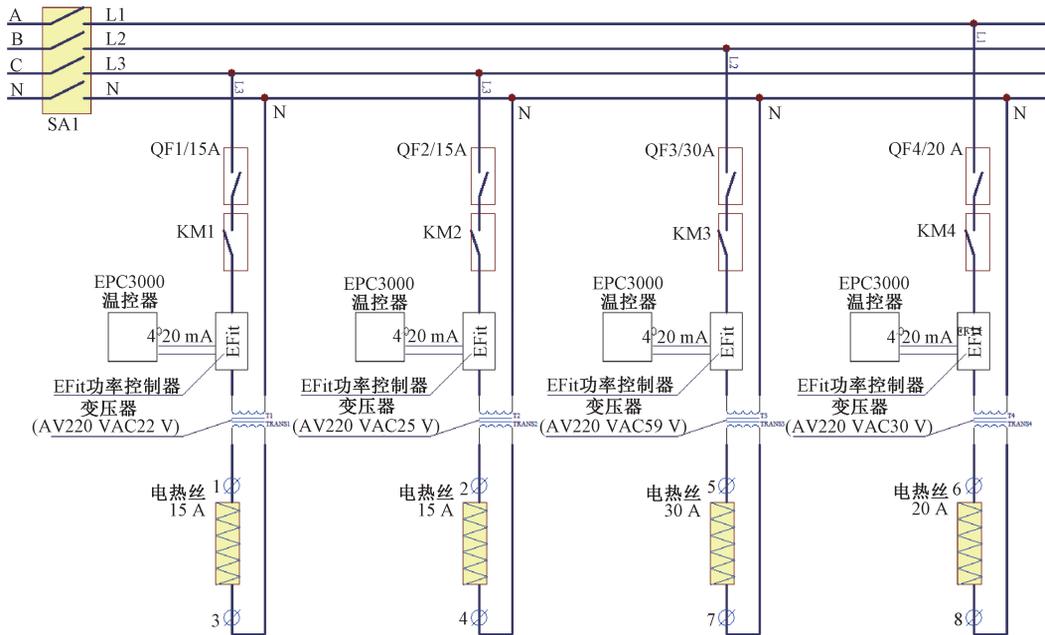


图 1 主回路电路

2.1 EPC3004

EPC3004 是 Eurotherm 公司的一款可编程单回路过程和温度控制器,它综合行业领先的控制和测试性能,不但使用简单,而且还可保持高度灵活性,该控制器具体功能如下:

1)图形连线编辑器:该功能为用户提供可选累加器、数学、逻辑和多路复用等特殊功能块,用户可以根据需求对表内参数进行拖动创建关联,既节省了组态时间也为现场诊断提供帮助。图形编辑功能如图 2 所示。

2)自整定功能:优良的 PID 算法可以对设定值更改和过程干扰提供快速的响应,减少升温时间,降低超调和震荡,提升控温稳定性。

3)菜单功能:包含一个程序给定器,可以存储多个不同程序,根据不同条件配置不同的变量曲线。

4)多种输入输出类型,可根据现场输入输出进行选择调整,本系统采用热电偶输入,4~20 mA 电流输出。

欧陆表与 PLC 通过 Modbus 通信协议实现通信,表 1 所示为读取测量温度值以及写入设定温度值(100 ℃)的帧格式。

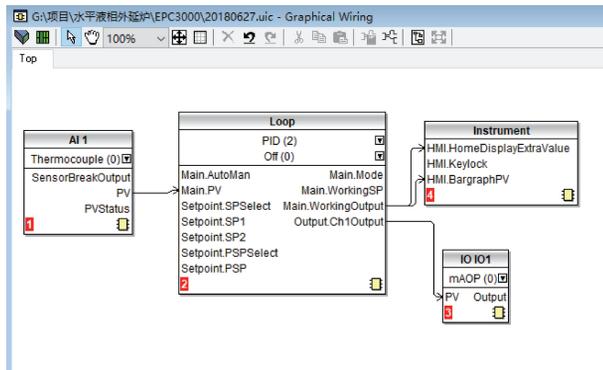


图 2 图形连线编辑器

2.2 EFit

EFit 是配合欧陆表使用的一款可控硅功率控制器,具有体积小、效率高、控制灵活及调节平滑等优点,其工作原理是根据控制信号输入来控制串联在主回路中的可控硅模组,来控制主回路中电压的导通和关断,由此来调节电压与功率。

表 1 欧陆表通信帧格式

顺序	代码含义	读	代码含义	写
1	设备地址	01	设备地址	01
2	功能码	03	功能码	06
3	起始寄存器高 8 位	00	起始寄存器高 8 位	00
4	起始寄存器低 8 位	01	起始寄存器低 8 位	02
5	寄存器个数高 8 位	00	寄存器高 8 位数据	00
6	寄存器个数低 8 位	01	寄存器低 8 位数据	FA
7	CRC 校验高 8 位	D5	CRC 校验高 8 位	A8
8	CRC 校验低 8 位	CA	CRC 校验低 8 位	49

2.3 iTools 软件

由于欧陆表按键较少,参数众多,在实际使用过程中,仅仅通过按键操作进行参数设置十分麻烦,且部分参数不可设置。iTools 是一款调试欧陆表的专用软件,通过 Modbus 通信协议与欧陆表实现通信。通信时,只需将 PC 机 9 针接口的 RX、TX 和 Com 与欧陆表的 HE、HF 和 HD 分别连接^[11],并在控制面板中打开 iTools 软件选择相应串口并进行波特率等通信参数设置。在 iTools 软件中,根据需求设置界面显示内容、输入输出类型、温度目标值、功率限制等参数,iTools 软件设置界面如图 3 所示。

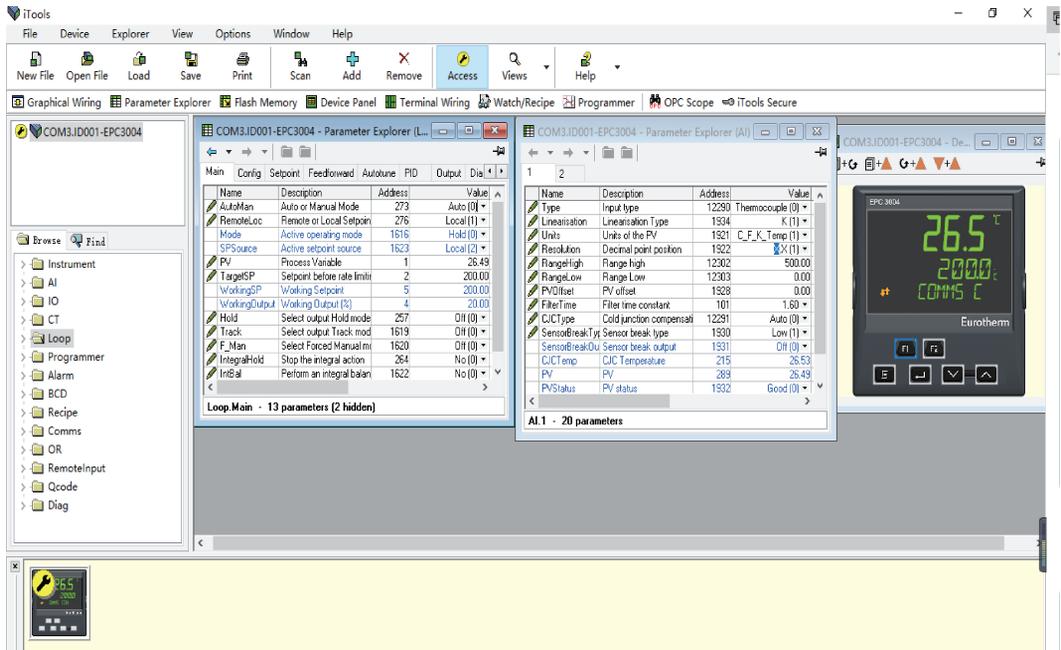


图 3 iTools 软件界面

在系统运行过程中,各项参数的测量值都是实时变化的,PLC 需要读取这些变化的参数值,每一个参数都有相应的 Modbus 地址,可以在 iTools 软件中进行查询,如表 2 所示列出了一些常用参数的 Moubus 地址。

表 2 欧陆表参数 Modbus 地址

参数名称	地址	参数名称	地址
测量值 PV	1	自整定启动	270
设定值 SP	2	设备地址	1 186
手动输出功率	3	升温速率	1 667
自动输出功率	4	输出功率低限	1 808
比例值	6	输出功率高限	1 809
正负反馈设置	7	单位设定	1 921
积分值	8	小数点位置	1 922
微分值	9	热电偶类型	1 934
升温速率	35	通讯波特率	12 548
滤波时间	101	校验方式	12 549

3 PLC 程序设计

系统中有多种仪表以及传感器,PLC 通过模拟量输入模块采集系统中设备的模拟量信号,在内部转换成数字量,处理后向设备发出控制信号^[12-13]。程序设计采用编程软件 GX-Works2,它是应用 PC 机对 PLC 进行编程的功能软件包。系统控制程序采用模块化设计思路,以梯形图的方式实现^[14]。

在实际使用中,PLC 需要同时与多个设备进行数据通信,进行频繁的参数读取,为避免程序复杂冗长,在编程过程中通过调用子程序的方式来简化程序步骤。以读取欧陆表的参数值为例,如图 4 所示,采用 RS 指令进行参数读取。D8120 设置通信格式,H0C91 表示波特率为 19 200,8 位数据位,1 位停止位,无校验。参照表 1 欧陆表 Modbus 协议,D50 存放欧陆表的设备地址,H3 表示读操作的功能码,D60、D61 存放欧陆表参数地址,H0、H1 表示读取一个

字的长度,在程序运行时,只要调用子程序段,根据不同的设备地址和参数地址修改 D50、D60、D61 寄存器的值就可以读取相应设备的参数。读取的参数值存放在寄存器 D143、D144 中,由于 RS 指令是连续发送的,所以不能对这两个寄存器的数据进行操作,需要将参数值转移到 D153、D154 中进行处理。

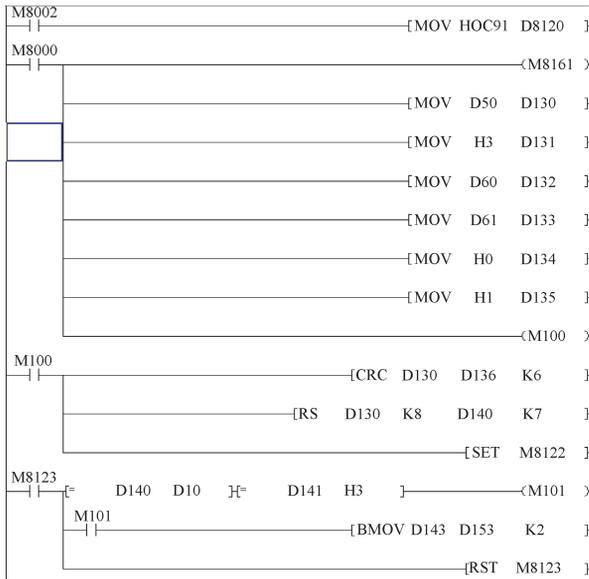


图 4 PLC 通信程序

4 组态界面设计

组态界面的设计可以方便操作人员直观的了解系统运行状况,监测系统各项参数,显示出错报警等。通过组态界面,可以控制阀门的开启与闭合,设定压力计,真空计等参数值。系统主要监控组态界面如下:

1) 用户登录界面:力控可以创建 4 个级别的用户,不同的用户级别拥有不同的操作权限,通过设置用户登录,可以防止意外地、非法地进入开发系统修改参数及关闭系统等操作,同时避免对未授权数据的误操作^[15]。

2) 主界面:实现对系统各个部件的操作,包括阀门开度、加温、急停等,同时显示各项仪表测量值。主界面如图 5 所示。

3) 数据显示界面:该界面包括实时数据显示,历史数据查询以及打印等功能,通过曲线的形式直观的监测温度、压力等数据的变化过程,实现实时与历史的曲线对比。

4) 单步执行:单步执行界面是一个下拉框界面,通过选择下拉框中不同的选项来选择不同的执行步骤,在单步执行弹出窗口中设置执行参数。下拉框脚本程序如下,其中 ListGetselection 为获取当前选择项的索引号,ListItem 为获取当前索引号下的字符串信息,Display 为窗口显示。

```

selection = ( # progress, ListItem ( # progress,
ListGetselection()));
    
```



图 5 力控主界面

```

IF selection == "N2 Flush" THEN
    Display("N2 Flush");
ENDIF
IF selection == "H2 Flush" THEN
    Display("H2 Flush");
ENDIF
IF selection == "Heat up" THEN
    Display("Heat up");
ENDIF
IF selection == "Movement-rotate" THEN
    Display("Movement-rotate");
ENDIF
IF selection == "Boot Loop" THEN
    Display("Boot Loop");
ENDIF
IF selection == "Growth" THEN
    Display("Growth");
ENDIF
IF selection == "Cool Down" THEN
    Display("Cool Down");
ENDIF
ELSE
    Display("主界面");
    
```

5) 报警界面:记录发生过的报警及采取的相应措施。

5 实验结果分析

本系统使用了 EPC3004 仪表,其与上一代系统使用的欧陆 903 仪表相比,在性能上有了大大改善,各项实验数据如表 3 所示。

表 3 3004 与 903 性能对比

仪表类型	最大超调/°C	峰值时间/min	开始生长时间/min	控温精度/°C
EPC3004	10.5	29	100	0.01
903	26.3	46	130	0.05

由表 3 可以得出结论,EPC3004 在各项性能上都优于 903 仪表,突出体现在控温精度以及控温稳定性上,由此可见,整个系统性能相较于上一代有了大幅提升。

为获得质量较高的薄膜材料,通过改变材料生长时段的降温速率以及生长时间来观察生长材料的波纹情况以及表面平整性。不同生长条件下薄膜材料质量对比如表 4 所示。

表 4 不同生长条件下薄膜材料质量对比

编号	降温速率/ °C/min	生长时间/ min	波纹情况	表面平整性
1	0.05	80	大	平整
2	0.08	80	小	有圆坑
3	0.08	60	小	平整
4	0.12	60	未发现	平整
5	0.12	40	未发现	表面有夹杂

由表 4 可以直观的看出,随着降温速率的提高以及生长时间的降低,获得的薄膜材料的起伏波纹逐渐变小直至观测不到,其表面平整性也越来越好。但是在 0.12 °C/min、40 min 条件下,由于生长时间短,降温速率稍快,导致薄膜材料出现晶粒析出在表面形成夹杂,使材料表面平整性变差。因此,通过对比发现,0.12 °C/min、60 min 的条件是生长的最佳条件。

6 结 论

碲镉汞退火炉温度控制系统采用 PLC 为逻辑控制核心,欧陆表实现温度控制,力控作为界面显示,根据具体工艺流程要求,在界面上设置阀门开度、温度设定值等参数,可以稳定运行该系统,实现了退火过程中碲镉汞材料生长的温度控制与监控,完成系统各项参数的记录、显示、保存,便于数据查询与分析。本系统温度控制精度高,动作控制及时,运行安全可靠,相较于上一代系统在控制性能上有很大的提升。

参考文献

[1] 吴军,毛旭峰,万志远,等.液相外延碲镉汞材料组分均匀性改善[J].红外技术,2014,36(12):973-975.

- [2] 宋林伟,吴军,孔金丞,等.碲镉汞衬底表面在碲镉汞液相外延工艺中的热腐蚀效应[J].红外与毫米波学报,2018,37(1):92-97.
- [3] 史漫丽,凌龙.大面阵碲镉汞红外焦平面阵列发展现状及趋势[J].兵器装备工程学报,2017,38(6):151-155.
- [4] 毛旭峰.利用液相外延制备 HgCdTe 薄膜晶体的研究[D].昆明:云南大学,2013.
- [5] 魏彦峰,徐庆庆,陈晓静,等.HgCdTe 液相外延薄膜表面缺陷的控制[J].红外与毫米波学报,2009,28(4):246-248.
- [6] 孙万利,屈佳艺,春兰.基于 PLC 的隧道内 LED 照明系统设计[J].电子测量技术,2017,40(6):30-33.
- [7] 尚志坚.基于 PLC 的地铁车站温度远程监控系统[D].西安:西安建筑科技大学,2016.
- [8] 马海宁,张吉明.基于力控组态软件的储油气库监控系统设计[J].国外电子测量技术,2017,36(10):101-106.
- [9] 陈进,刘仕杰,李桥,等.基于力控的焙差室空调器性能测试监控系统[J].计算机测量与控制,2014,22(4):1079-1082,1089.
- [10] 何志华.基于 PLC 和力控组态软件的中央空调监控系统设计[J].中国高新技术企业,2014(15):24-25.
- [11] 黄少友.工业退火炉控制系统的设计与实现[D].西安:西安科技大学,2011.
- [12] 周茂,魏彪,李正中.基于 PLC 的水泥厂粉磨机控制系统设计与实现[J].国外电子测量技术,2017,36(6):103-107,116.
- [13] 江御龙,张兴华,胡小娟,等.基于 PLC 与组态软件的透氢钯膜测试系统[J].仪表技术与传感器,2016(1):103-106.
- [14] 郑天池,郭琳娜,孙小刚,等.基于 PLC 和触摸屏的电容接收装置控制系统设计[J].仪表技术与传感器,2017(2):74-77.
- [15] 吴永贵.力控组态软件应用一本通[M].北京:化学工业出版社,2015.

作者简介

鲁明祥,1995 年出生,硕士研究生,主要研究方向为流量测量。

E-mail:953608794@qq.com