

RS-485 总线控制下的蓝宝石晶体智能生长系统

Smart Sapphire Crystal Growth System Based on RS-485 Bus

张 凤 孙晓冬 马青玉

(南京师范大学物理科学与技术学院,江苏 南京 210023)

摘要: 针对传统蓝宝石晶体生长方式存在自动化程度和成品率低的问题,设计了一种计算机管理和单片机控制相结合的智能化晶体生长系统。中心计算机通过多条 RS-485 总线实现加工参数的读取、分析和流程优化,并对智能控制器的参数进行传递控制;智能控制器以 STC89C52 单片机为核心,完成对提拉和旋转电机以及炉体温度的精确调控。试验表明,系统功能完整,运行稳定可靠,能实时监测晶体的生长状态,实现流程控制和优化,具有较强的实用价值及应用前景。

关键词: 数据采集 智能控制 RS-485 总线 流程优化 实时监测

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Abstract: To solve the problems of low level of automation and low yield rate existing in traditional sapphire crystal growth technology, the smart crystal growth system is designed by combining computerized management and single chip computerized control. Through reading, analyzing and process optimizing to the machining parameters, the parameter transmission control of the smart controller are implemented by central computer with multiple RS-485 buses. With STC89C52 single chip computer as the core, the smart controller precisely controls the lifting and rotating of the motor, and the temperature of the furnace. The experiments show that the system features comprehensive functions and stable operation, it is able to monitor the growing status of the crystal in real time, and realizes process control and optimization. It possesses powerful practical applicable value and prospects.

Keywords: Data collection Intelligent control RS-485 bus Process optimization Real-time monitoring

0 引言

蓝宝石是氧化铝的单晶形态,因具有优良的机械和光学性能而被广泛应用^[1]。近年来,半导体照明产业的发展带动了蓝宝石衬底材料需求的迅速增长。在泡生法晶体生长过程中^[2],需要在一定的温度条件下进行籽晶的接种、旋转、提拉等一系列操作,合适的温度场和稳定可靠的运动控制是制备合格晶体的必要条件,而运动参数设置的不合理会使晶体产生多晶、气泡和晶体裂缝等缺陷,降低生产效率和蓝宝石晶体质量^[3-4]。当前业内泡生法蓝宝石生长系统大多采用分立仪表或组态软件的生长测量控制方案^[5],存在数据传输种类多、抗干扰能力差、生产成品率低和能源消耗大等缺点^[6]。

本文设计了一种基于 RS-485 总线控制的蓝宝石晶体生长系统^[7]。系统采用 STC89C52 单片机实现对伺服电机的提拉和旋转控制,以及炉体温度的精确调节和控

制;系统以计算机智能控制软件为中心,通过多条 RS-485 总线实现对加工过程中的电流、电压、水温、提拉位移以及晶体质量等加工参数的监控,完成加工流程的数据分析、参数传递和指令控制。在泡生法蓝宝石晶体生长中的成功应用证明了所设计的系统具有结构简单、功能完善、工作稳定可靠、可扩展性和抗干扰能力强的优点。

1 系统结构

蓝宝石晶体生长系统以计算机为中心,通过四条 RS-485 总线实现实时温度测量、电压和电流采集、蓝宝石晶体的实时称重和智能控制器的控制^[8]。蓝宝石晶体生长系统结构如图 1 所示。

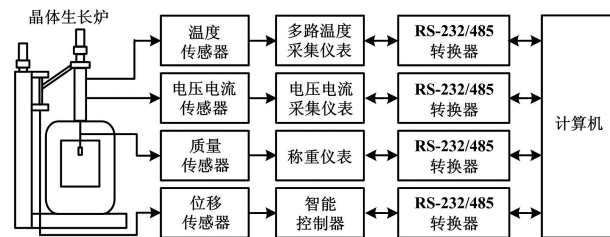


图 1 系统结构图

Fig. 1 Structure of the system

六台温度传感器分别安装于晶体生长炉的大盖、

国家自然科学基金资助项目(编号:10974098,11274176);

教育部博士学科点基金资助项目(编号:20093207120003)。

修改稿收到日期:2012-10-15。

第一作者张凤(1989-),女,现为南京师范大学电路与系统专业在读硕士研究生;主要从事智能控制和系统设计方面的研究。

整杆、正极、负极、炉体和电源处,并共同连接至温度采集仪表 AI-706M。AI-706M 将温度传感器获取的信号转换为数字信号,再通过 RS-232/485 转换器传送至计算机,实现对冷却水温度的实时监测。电压电流传感器分别安装于可控功率电源输出回路,并共同连接至电压电流采集仪表 AI-702M,在计算机上实现对可控功率电源输出电压和输出电流的实时监测。质量传感器安装于籽晶杆上,并连接至称重仪表,在计算机上可实时动态地显示晶体质量,方便对晶体的生长情况进行实时监测。

智能控制器模拟欧陆表输出控制电源来实现热场的控制,同时对伺服电机进行提拉和旋转控制,并实现提拉位移的光栅测量,同时提供手动控制和行程检测功能。智能控制器选用 STC89C52 单片机作为微处理器,其通过 RS-232/485 转换器与计算机通信。智能控制器结构如图 2 所示。

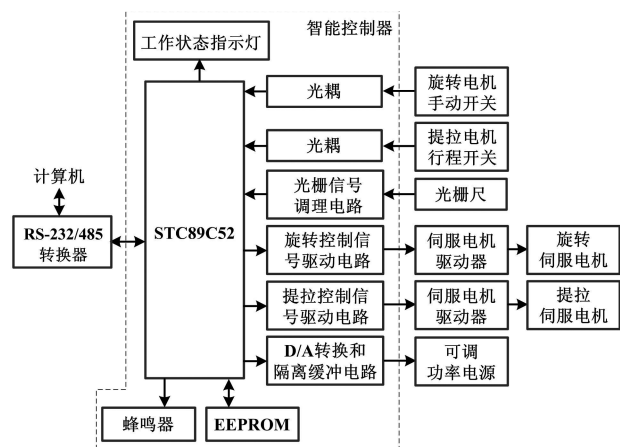


图 2 智能控制器结构图

Fig. 2 Structure of the smart controller

智能控制器在上电启动后自动对 EEPROM 进行密钥匹配,匹配成功后开始工作。旋转电机手动开关通过光电耦合电路向智能控制器提供外部输入信号,智能控制器查询该信号并对旋转电机做出相应的控制。提拉电机行程开关通过光电耦合电路向智能控制器提供输入信号,智能控制器查询判断提拉电机是否运动到极限,并控制提拉电机的运行。光栅尺的滑块与提拉电机的提拉杆固定在一起,滑块移动过程中产生的位移脉冲经光栅信号调理电路后输入微处理器,微处理器对两路脉冲信号的电参量进行分析以获取运动信息,并计算位移。

智能控制器输出的电机控制信号分别经旋转、提拉控制信号驱动电路后,以线驱动输出方式与对应的伺服电机驱动器相连,控制旋转、提拉伺服电机的运

行。此外,智能控制器通过改变 D/A 转换和隔离缓冲电路的输出电压来控制可调功率电源的输出功率,从而实现炉温的精确调控。

在晶体生长过程中,智能控制器提供指示电源、提拉脉冲、提拉方向、旋转脉冲、旋转方向、光栅脉冲、串口通信和报警状态的工作状态指示灯,并控制蜂鸣器进行声音提示,以便操作者更好地了解智能控制器的工作状态,以满足蓝宝石晶体生长过程中的控制需求。

2 智能控制器设计

蓝宝石晶体生长过程复杂,需使用多种仪器仪表进行监控。当前业内厂家大多采用分立仪表或组态软件的生长测量控制方案来监控蓝宝石晶体生长,但分立仪表的测控方案不便于生产者的观察和操作。而组态软件的测控方案则是将数据采集和外设控制集于一体。由于系统内部有大量数据处理、存储和通信任务,计算机易出现死机的情况,容易造成操作失控、存储数据丢失、蓝宝石晶体生长失败等严重后果。因此,本文设计了智能控制器,实现外设的控制和光栅位移的检测,减轻了计算机的工作负担,使得生产操作更为稳定和便捷。智能控制器的主要功能是在计算机的控制下实现光栅位移的检测、旋转电机提拉电机的控制以及功率电源的调节。

2.1 智能控制器的 RS-485 控制

智能控制器与计算机之间通过 RS-232/RS-485 转换器进行互联,实现控制指令与数据的传输。RS-485 总线采用平衡发送和差分接收的通信方式,具有极强的抗共模干扰能力和较长的通信距离,能够很好地满足工业环境下的通信要求,有效抑制晶体生长车间的电磁干扰,提高通信的可靠性^[9]。本设计中,STC89C52 采用工作方式 1,波特率为 9 600 bit/s 的 10 位异步通信方式。系统控制采用串口中断方式,根据不同的指令完成电机转速设定、运行状态检测、光栅位移测量和控制电压输出等加工操作。

2.2 光栅位移检测

在光栅位移检测中,光栅尺滑块与提拉电机带动的提拉杆固定在一起,提拉电机运转的同时带动滑块作垂直运动^[10]。光栅尺上电后,滑块在运动的过程中会产生两路相位相差为 90°的脉冲信号,脉冲信号的频率反映光栅尺的运动速度,脉冲的个数反映光栅尺的位移距离,相位的先后反映不同的运动方向^[11]。两路脉冲信号通过光栅信号调理电路输入至智能控制器。智能控制器通过对两路脉冲信号电参量的判别获取运动信息并计算当前滑块的位置。

在定时中断过程中,智能控制器通过 RS-485 总线将数据传送至计算机,实现提拉杆位置的实时动态显示。

2.3 电机控制

电机驱动器输入信号由一对差分脉冲信号和一对差分方向控制信号组成,分别用来控制电机的转速和运行方向。伺服电机驱动器(MS0020A)采用全数字电机控制算法,具有良好的鲁棒性和自适应能力;同时,还设置了S型加减速曲线,有效减少了转速突变对机械系统的冲击。

差分脉冲输入信号由STC89C52的两个定时器 T_0 、 T_2 产生,分别用来控制旋转和提拉电机的转速^[12]。在蓝宝石晶体生长过程中,提拉电机的使用率和转速精度要求高于旋转电机。因此,在智能控制器的设计中,将定时器 T_0 和 T_2 设置为自动重装方式产生高精度的输出脉冲。由于 T_2 的优先级比 T_0 高,因此选用 T_2 产生提拉电机脉冲信号, T_0 产生旋转电机脉冲信号,使两电机之间的相互干扰降至最低。

2.4 输出电压控制

在本系统中,智能控制器的输出电压接至可调功率电源,通过功率的精确调节控制炉内温度。因此,智能控制器输出电压的精确稳定至关重要。本设计选用DAC8811作为数模转换器输出高精度电压。DAC8811是16位串行输入、单电流输出的数模转换器。智能控制器接收到系统的输出电压参数 D 后,单片机以串行方式将参数送至DAC8811的串行寄存器,经过模数转换后输出对应电流,并连接至外部精密运放OPA277的反相输入端以实现电压输出。输出电压的计算公式为:

$$U_{out} = -U_{ref} D / 65\ 536 \quad (1)$$

本系统设计采用负基准电压 U_{ref} ,使得智能控制器 U_{out} 端输出精确稳定的正电压(电压范围0~10V),控制精度达到 $\frac{1}{60\ 000}$,实现了电源功率和炉温的精确调节,满足晶体生长过程中对温度控制的需求。

3 系统软件设计

3.1 软件功能设计

本系统的计算机控制软件采用Visual Basic作为开发环境,实现蓝宝石晶体生长流程的智能控制^[13]。系统通过RS-485总线对晶体生长过程中的水温、电流、电压、质量和位置等参数进行实时监测;采用图形化界面实时显示参数和运行情况;设计长时间参数存储、定量分析和过程优化等功能;利用RS-485总线实现转速、输出电压、光栅坐标和运行状态的参数传输,获取并显示报警信息;指挥智能控制器实现提拉和旋转电机的运行控制,高精度的功率和温度控制,光栅脉冲检测和位移计算。程序界面具有良好的人机交互功能,可方便快捷地实现生产过程中的操作控制。

3.2 通信协议设定

在本系统中,温度采集仪表AI-706M、电压电流采集仪表AI-702M、称重仪表XL-10000及智能控制器都需要与计算机进行通信,因此,应根据不同的仪表采用相应的串行通信协议。AI仪表使用RS-485通信接口。在一个RS-485总线上可以挂接多个设备,因此必须给每个仪表分配一个互不相同的固定地址^[14]。本设计中的仪表地址分配如表1所示。

表1 仪表地址分配

Tab.1 Address allocation for instruments

仪表	串口号	地址编号	数据接收模式
AI-702M	1	电流01、电压02	9 600 bit/s,二进制,奇校验
AI-706M	1	03~08	9 600 bit/s,二进制,奇校验
XL-10000	2	01	19 200 bit/s,文本,无校验
智能控制器	3	01	9 600 bit/s,二进制,无校验

AI仪表采用16进制数据格式来表示各种指令代码及数据。软件通信指令分为读指令和写指令。具体说明如下。

① 读:地址代号+52H(82)+要读的参数代号+0+0+校验码。

② 写:地址代号+43H(67)+要写的参数代号+写入数低字节+写入数高字节+校验码。

③ 地址代号:是两个相同的字节,数值为仪表地址+80H。

④ 校验码:采用16位求和校验方式,要读参数的代号 $\times 256 + 82 + ADDR$ 。

⑤ 返回数据:测量值 PV +给定值 SV +输出值 MV 及报警状态+所读/写参数值+校验码。

其中 PV 、 SV 及所读参数值均各占2B, MV 占1B,

状态位占 1 B,校验码占 2 B,共 10 B。

3.3 软件流程

系统软件具有实时参数显示、运行时间显示、状态指示、晶体质量显示、光栅位置显示、图形显示、升降控制、旋转控制、电源控制、自动存储、自动加工等诸多功能,可以实时显示运行状态,对晶体生长过程和运行时间进行管理,实时记录系统运行控制参数文件,满足生产需要,方便对生产过程进行控制和管理^[5-6]。

系统软件每次运行都会在计算机指定路径下生成一个数据记录文件,并每隔 1 s 存储晶体生长参数和系统运行参数,能够实现长时间的海量存储数据,便于后期的优化分析。软件能够在图形界面上实时绘制温度、电流、电压、功率、晶体生长量的实时变化曲线,为生产操作者提供直观的参考。

4 试验结果与分析

4.1 系统的运行与控制

系统运行界面左侧显示通过 RS-485 总线获得的运行参数栏和状态指示栏,同时提供系统加工的时间显示,数据实时刷新,为系统的运行提供监控和指示参数;系统界面中间为晶体生长示意图,当提拉杆提拉、下降以及晶体质量发生变化时,会以图形方式直观显示;系统界面右侧提供晶体质量和光栅位置实时显示,并通过升降和旋转速度的设置,随时实现提拉电机的提速和方向的控制以及旋转电机的转速控制,为蓝宝石晶体的生长速度控制提供实时的数据调整功能。

智能控制器模拟了欧陆表的功能,以实现电源的精确控制。系统运行界面右下角是电源控制栏。当蓝宝石晶体生长炉内完成抽真空操作,进入升温过程时,需在 6 h 内将可调功率电源从 0 升至 30 kW。界面显示生长炉选用的是 120 kW/10 V 的外接电源,当前功率为 0。根据升温要求,输入的目标功率为 30 kW,功率斜率为 5 000 W/h,按下确认按键,至此系统进入升温过程,每隔 1 s 计算输出控制电压参数,智能控制器通过 RS-485 总线接收参数并由 D/A 输出控制电压,实现加热功率的精确控制,满足晶体生长过程中对温度控制的需求。本设计能够利用计算机软件来取代业内通用的欧陆表控制方案,降低硬件成本,提高控制精度,增强系统的灵活性。

4.2 实时参数监测

菜单栏中设计了质量变化率曲线,质量曲线,炉体、整杆、正极、负极、电源、水温、炉体电流、电源电压、炉体功率曲线的实时显示功能,为生产操作者提供直观的参

考。运行过程中,炉体冷却水温度变化曲线如图 3(a) 所示,当前温度值为 46.6 °C。晶体生长过程中,晶体质量变化能很好地反映晶体的生长质量,质量变化率通常被用来作为生长监控的重要指标,因此本系统设计了质量变化率曲线,可以调整时间间隔来实时监控不同时段内晶体的生长情况。拉尖过程中蓝宝石晶体质量变化率曲线如图 3(b) 所示,其变化范围为 -1 ~ 1 kg/h,在籽晶接种成功后,需将提拉速度降低,生长率保持在 0.2 kg/h 左右,才能保证蓝宝石晶体的稳定生长。

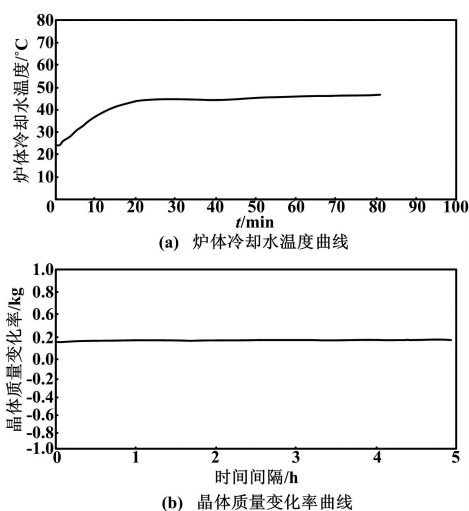


图 3 实时监测曲线图

Fig. 3 Real-time monitoring curve

4.3 加工结果

本系统在江苏省能建机电实业有限公司的泡生法蓝宝石晶体生长炉的控制中得到了成功应用,单个蓝宝石晶体的最大质量可以达到 40 kg。在晶体制备过程中,系统运行稳定可靠,可以方便快捷地实现对晶体的监测和外设的控制,使蓝宝石晶体生长的成品率质量得到了提高,降低了生产能耗和成本;系统自动记录了蓝宝石晶体生长流程中的重要生长数据和控制参数,为后续分析和流程优化提供了重要依据。

5 结束语

针对传统方式生产蓝宝石晶体自动化智能化程度低等问题,本文介绍了一种 RS-485 总线控制的蓝宝石晶体生长系统。用以替代欧陆表的智能控制器以 STC89C52 单片机为中心,实现对伺服电机的提拉和旋转控制;系统以计算机控制软件为中心,通过多条 RS-485 总线实现加工过程中的电流电压、冷却水温度、提拉位移以及晶体质量等加工参数的读取,并进行数据的分析和加工流程的控制,实现对智能控制器的参数传递和指令控制。试验表明,本系统能够实现计

算机和仪表的 RS-485 数据通信,完成晶体生长的状态监测和生长流程控制,具有以计算机为中心、结构简单、功能完整、可扩展性和抗干扰能力强的优点,有着良好的应用前景。

参考文献

- [1] 范志刚,刘建军,肖昊苏,等. 蓝宝石单晶的生长技术及应用研究进展[J]. 硅酸盐学报,2011,39(5):880-889.
- [2] 刘丽君,徐家庆,蔡兴民. 泡生法蓝宝石晶体生长工艺的探讨[J]. 哈尔滨工业大学学报,2011,43(3):145-148.
- [3] Demina S E, Bystrova E N, Lukanina M A, et al. Numerical analysis of sapphire crystal growth by the Kyropoulos technique[J]. Optical Materials,2007,30(1):62-65.
- [4] Demina S E, Bystrova E N, Postolov V S, et al. Use of numerical simulation for growing high-quality sapphire crystals by the Kyropoulos method[J]. Crystal Growth,2008,310(7-9):1443-1447.
- [5] Scheel H J. Historical aspects of crystal growth technology [J]. Crystal Growth,2000,211(1-4):1-12.
- [6] 刘杰. 蓝宝石晶体的制备方法及特点概述[J]. 矿冶工程,2011,31(5):102-106.
- [7] 潘浩,李洪彪,张朝晖. 一种基于 RS485 总线的远程数据通信系

统[J]. 仪器仪表学报,2003,24(4):467-468.

- [8] 张志利,候传勋,姜毅. 仪器互联与控制技术探讨[J]. 自动化仪表,2011,32(7):1-5.
- [9] 白建波,张小松. 系统中 PC 机与多个智能控制器数据通信的实现[J]. 自动化仪表,2005,26(10):24-27.
- [10] 彭东林,陈锡侯,张天恒,等. 直线式时栅位移传感器原理与结构[J]. 自动化仪表,2012,33(6):73-75.
- [11] 杨玲,陈轩泽,马青玉. 基于 Modbus 协议的高精度光栅位移测量仪设计[J]. 南京师范大学学报:自然科学版,2012,12(1):70-75.
- [12] 陈光东. 单片机微型计算机原理及其 C 语言程序设计[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2004.
- [13] 清源计算机工作室. Visual Basic 6.0 开发宝典[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [14] 倪兰生. 基于 AI 仪表的 AIFCS 现场总线控制系统在农药百草枯生产中的应用研究[D]. 济南:山东大学,2008.
- [15] 李人厚. 理论和方法[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [16] 李士勇. 模糊控制和智能控制理论和应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1999.

(上接第 33 页)

在修改完 TQuery 控件的 SQL 属性之后有两种执行 SQL 的方法,Open 方法可执行查询并显示表中的数据,ExecSQL 方法可插入、删除以及更新数据。

5 结束语

本文提出并实现了基于 GPRS 的两相流数据传输新方案。该方案利用 GPRS 模块的网络接入功能,实现与数据中心上位机的远程通信,完成将油气田现场流量数据实时传输到数据中心上位机,不仅提高了数据传输的可靠性,而且避免了现场错综复杂的连线。与一般无线通信相比,基于 GPRS 通信方式不受地形、地貌以及距离的限制,因此将 GPRS 应用到两相流量计系统中具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 耿艳峰,冯叔初,郑金吾,等. 凝析天然气计量技术[J]. 自动化

仪表,2005,26(8):1-3.

- [2] 刘春见. 基于 DSP 的凝析天然气流量计量仪表研制[D]. 济南:中国石油大学,2009.
- [3] 王乃民,杨炳发,陈丽,等. 基于 GPRS 的油罐多液位远程监控系统[J]. 化工自动化及仪表,2009,36(6):59-62.
- [4] 吕捷. GPRS 技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2001:1-9.
- [5] 钟章队,蒋文怡,李红君,等. GPRS 通用分组无线业务[M]. 北京:人民邮电出版社,2001:49-63.
- [6] 郭启军. 基于 GPRS 的无线数据传输系统的研究与设计[D]. 金华:浙江师范大学,2009.
- [7] 朱正茂,彭湃. Borland C++ Builder 5 实用编程技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000:2-5.
- [8] 黄嘉辉. Internet 与 TCP/IP 程序设计之 C++Builder 高手[M]. 北京:清华大学出版社,2001:7-25.
- [9] 刘传文. 动态域名解析技术的研究及其应用[J]. 临沂师范学院学报,2008,30(3):130-132.
- [10] 逮燕玲,戴红,李志明. 网络数据库技术[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2009:85-104.

(上接第 36 页)

更好地满足了控制系统对先进算法的需求。该系统在胶州某热电企业应用取得良好的节能效果,具有一定实用价值。

参考文献

- [1] 杨路明,雷亚军. 组态软件 WinCC 在自动监控系统中的应用[J]. 计算技术与自动化,2003,22(4):21-24.
- [2] 唐文军,樊石,国思茗. 基于西门子 S7-300 的锅炉厂自动化改

造[J]. 自动化技术与应用,2011,30(2):103-104.

- [3] 高德欣,张文武,杨清. 基于 VB 的 OPC 客户端设计在电机实验监控系统中应用[J]. 工业控制计算机,2005,18(9):34-36.
- [4] 吴明永,王国伟. 基于 OPC 和 MATLAB 的锅炉汽包水位智能控制系统[J]. 计算机测量与控制,2010,18(10):2296-2298.
- [5] 刘寿之,王天宝. 锅炉燃烧系统的动态自寻最优控制[J]. 信息与控制,1991,20(6):43-48.
- [6] 宋清昆,满春涛,吕宁. 链条炉排锅炉燃烧系统动态自寻优控制[J]. 哈尔滨理工大学学报,1998,3(1):56-59.