附件6

中山大学大学生创新训练项目

申请书

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目编号 | 2 | | |
| 项目名称 | 用于磁光阱系统的再泵浦激光器 | | |
| 项目负责人 | 钟南星 | 联系电话 | 13600227825 |
| 所在学院 | 物理与天文学院 | | |
| 学号 | 22344188 | 专业班级 | 物理22级三班 |
| 指导教师 | Thibault Thomas Vogt | | |
| E-mail | ttvogt@mail.sysu.edu.cn | | |
| 申请日期 | 2023年12月14日 | | |

中山大学 教务部

#### 一、 基本情况

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | 用于磁光阱系统的再泵浦激光器 | | | | | | |
| 所属学科 | 学科一级类： 物理 学科二级类： 原子与分子物理 | | | | | | |
| 项目来源 | □ A、学生自主选题，来源于自己对课题的长期积累与兴趣  ☑ B、来源于教师科研项目选题  □ C、学生承担社会、企业委托项目选题 | | | | | | |
| 申请金额 | 22300.00 元 | 项目期限 | 一年期 | 拟申报项目级别 | | 国家级 | |
| 负责人 | 钟南星 | 性别 | 男 | 民族 | 汉族 | 出生年月 | 2003年11月 |
| 学号 | 22344188 | 联系电话 | 手机：13600227825 | | | | |
| 指导教师 | Thibault Thomas Vogt | 联系电话 | 手机：13322866303 | | | | |
| 项目简介 | | 本实验将设计并制造一款服务于磁光阱系统的数字化标准化的光栅外腔半导体激光器。实现对于光学平台基本激光组件的可数控化与可数感化服务，以为更大实验计算平台的泛用终端。 | | | | | |
| 负责人曾经参与科研的情况 | | 无 | | | | | |
| 指导教师承担科研课题情况 | | 服务于俘获单个铯原子的磁光阱系统，为导师的里德堡离子检测与中性原子计算的比特门搭建提供基础实验平台。 | | | | | |
| 指导教师对本项目的支持情况 | | 教师将提供原始模型及光隔离器等重要实验器材并提供一个专用光学实验平台用于系统搭建。 | | | | | |
| 项目组主要成员 | 姓名 | 学号 | 学院 | 专业班级 | 联系电话 | 项目分工 | |
| 李泓逸 | 21305340 | 物理与天文学院 | 物理21级二班 | 15875570365 | 激光器信息终端的PCB板及外壳的设计及制造。 | |
| 邢焱彬 | 21305438 | 物理与天文学院 | 物理21级一班 | 18210421592 | 负责光学理论分析与光路设计。 | |
| 刘冀洋 | 21305088 | 物理与天文学院 | 物理21级三班 | 13240133630 | 激光器信息终端的控制及通信系统的设计。 | |
| 王检 | 20344055 | 物理与天文学院 | 物理学类22级三班 | 19898070670 | 激光器的组装及激光器信息终端的被动单元的设计及制造。 | |
| 钟南星 | 22344188 | 物理与天文学院 | 物理学类22级三班 | 13600227825 | 激光器的组装及激光器信息终端的被动单元的设计及制造与整体的采购与报销。 | |
| 指导教师 | 姓名 | 工号 | 学院/单位 | 职称 | 联系电话 | 电子邮件 | |
| Thibault Thomas Vogt | 190327 | 物理与天文学院 | 副教授 | 13322866303 | ttvogt@mail.sysu.edu.cn | |

#### 二、 立项依据（可加页）

|  |
| --- |
| **1.研究目的**  磁光阱技术是实现原子冷却与捕获的基础，也是目前为止实现原子冷却最为广泛的方法，激光系统是其具体实现方式。我们正在搭建的磁光阱激光系统包括一个853nm高功率稳频泵浦激光系统、一个正在搭建的用于偶极力捕获单原子的1064nm激光系统、一个已经用电磁诱导透明光谱稳频的510nm激光系统。本项目将搭建一个再泵浦激光器，并对其频率进行稳定和控制，它同样将是磁光阱激光系统的重要组成部分。  具激光器本身而言，我们主要将自主研发并实现一种数字化标准化的服务于磁光阱系统的激光器终端，以此将分别用于驱动及监控激光器大量昂贵的非国产分散低数字化、非标准化执行单元与传感单元统一集成为总控信息终端。预期在高速高信密环境下实现对激光器中监控数据的实时导出与控制数据的实时执行。  **2.研究内容**  外腔式半导体激光器的具体实现一般包括：  （1）通过沉热层等导热结构利用TEC板将激光二极管（LD/Laser Diode）的温度控制在22摄氏度附近的工作区间内。（输入：一般正负10V，10W内）  （2）通过压电电陶瓷（PZT）调整模型中准直透镜的位置以及光栅的角度，形成littrow型光学腔，利用外腔自注入锁定，将出射光的线宽压缩在10kHz的数量级。（输入：一般100V内，接近0W）  （3）激光二极管本身作为电流源型元件需要供能。（输入：一般0.1A，0.1W内）  （4）热敏电阻置于LD旁边探测温度。（输出：探测0-200KΩ左右）  （5）其它外部传感元件（如利用Febry-Parot干涉仪检验激光光束单模性是否良好）（均输出）  针对以上情景结合泛用光学实验需要我们除激光器本体之外要搭建一个激光器信息终端对以上对象进行监控与控制。  在信息流上我们进行高低速（Analog+Data）双通道解耦，搭建两套高低速ADC转换系统进行监控数据输出，一套高速DAC系统加一套RS485执行系统进行控制数据执行。  总数据流预期将达到10Mps，主要由多条负责高速动态控制的线路贡献（每条30Kps以上）。  C:/Users/liuji/AppData/Local/Temp/wps.vPbOidwps  整体流程图  **3.国内外研究现状和发展动态**  外腔式半导体激光器已经得到广泛应用，无论在引力波探测项目还是光学量子计算平台，此类激光器都以其简单的结构、优良的性能得到青睐，以为经典。但对激光器的监控与控制系统仍旧多以分散隔离的终端组成。  这些终端品牌型号不同，除价格昂贵外，在使用方式上也多有不同，往往耗费研究院人员大量精力去学习使用这些器件。人机交互十分恶劣，好一些的如提供激光器吸收谱的Rigol示波器，其虽然SCPI通信极慢、VISA端口操作有限但至少可以进行外部数控与数据导出并旋钮手动调节；恶劣一些的则如某服务于激光器的温控LCD模块竟然需要研究人员使用万用表才能监控内部PID数据流。  这些服务于激光器本体的器件组成一个个分散单元，相互隔离，各自供电，各自导出（假如有数字化），且故障后要分别寻求各自厂家维修支持，保障困难，难以自行排查、整体稳定性实际上并不高，组装更是复杂，封装度时常过高或过低，最终使实验平台常形成标准混乱的万国造，摆满各式说明书、标定表、Dataset。  总之，本项目预期我们所设计的数字化激光器能有效缓解上述问题，弥补光学平台在此方面的落后。  **4.创新点与项目特色**  **创新点：**  （1）将在硬件层集成输出输入系统，实现多功能一体化，代替大量分散模块，性价比高。  （2）为实现高速响应将尽量多采用被动模块，减少计算模块，以为通用泛终端。  （3）将在尽量共用模块资源（如总线整体降噪）下实现对高压双极低供能模块（微电流下1mV噪声）、低压双极高供能模块（视发热决定，尽量降低到100mV内）、电流源系统（光学系统微电流下1mA噪声）三大高精度低噪声异功能模块的整体实现。  **项目特色：**  外腔式半导体激光器本身具有成本较低，高性价比，其结构以及原理较为简单，国内外很多的课题组选择自制激光器来进行实验，而从公司购买一个激光器需要的花费远远高于我们利用原材料自制一个激光器的花费（接近十倍的价格）。  **5.技术路线、拟解决的问题及预期成果**  **技术路线**：  在光学原理上我们计划采用Littrow构型光栅外腔半导体激光器的设计，在此基础上使用CAD自主设计各零件并组装，搭建可调谐外腔半导体激光器系统。为了对输出激光进行准确的波长分析，我们使用光谱仪（Spectrometer），并且通过波长仪进行波长测量。此外，我们还会使用法布里-珀罗标准具检测线宽，以确保激光输出达到预期的精度要求。通过这些手段的结合，我们能够实现对激光器的波长进行高精度的测量和调控。  在电路技术上我们计划：（1）输出数据在经过不同的测量（电阻测量、电压测量、电流测量）后，高速输出传感数据在高速ADC模块后对外快传，低速数据则使用低速ADC模块（2）高速输入控制数据在DAC后统一使用Analog，使其经过一个个被动单元，最终调制到指定形态下的输出，实现低延迟。低速控制数据则在如RS485信号下直接作用到工业受控模块上，实现如急停或运算固定参数调整或传感信号调幅等低速输出。  这种双线方案将任务在频域上进行切分以实现保持高性能下的资源节约，有效提高性价比。  **拟解决问题**：  （1）集成工作量大：对大量模块的原理分析后进行线路整理与微小化集成，该板将相当复杂，需要反复模拟、测试。  （2）噪音难以消除：除一般的粉红噪音，热噪声将会是主要噪声，这对散热系统要求很高，硬件结构设计面临挑战。而冷噪声稳压器则价格相对昂贵，需设计一体稳压器总控，并调用大量可控升降压模块，对电路设计专业水平要求高。  **预期成果**：  为了实现更多的功能和控制，我们通过一个高集成度信息端来实现对激光器的控制：  实时控制温度：我们将另一个实验组设计的高性价比实验数字控制系统，可以实时监测和调整系统的温度，以确保稳定的工作条件，从而实现精确的波长控制。  闪耀光栅角度控制：我们搭建的激光器将允许实验数字控制系统精确地控制闪耀光栅的角度，以调整光学路径和干涉条件，从而实现对输出激光波长的精确调控。  电流大小控制：通过调整注入激光器的电流大小，来精确控制输出激光的波长和输出功率。  通过这些扩展控制手段，我们能够实现更高级别的精确控制，使得输出激光的波长可以根据需要进行实时调整。这将使我们能够更好地适应不同的应用需求，并提供更加灵活和可定制的实验和研究平台，并改变实验室组建激光列阵的困难混乱现状。  **6.项目研究进度安排**  2024年1月-3月：文献学习（如深入巩固学习本次项目所需的光学和原子物理知识）补充电子技术知识，学会使用Git作为工作用信息端。  2024年3月初-3月底：激光器的设计及制造。  2024年4月初-7月底：激光器信息端模块制造  2024年8月初-10月底：激光器信息端集成设计及测试。  2024年11月初-11月底：激光器整体封装。  2024年12月初-12月中：准备结题。  **7.已有基础**  **（1）与本项目有关的研究积累和已取得的成绩**  需要强调的是，里德堡实验室已经进行了激光冷却和铯原子捕获相关重要知识和背景应用的调研和收集。因此，我们已经在理论知识和必要设备方面做好了充分准备，以确保项目的全面成功。  我们已经准备好了用于探测任意里德堡态波长的波长计。  我们已经获得了提供频率稳定的主激光器。  我们已经配备了铯原子气室和合适的光电探测器。  我们已经实现PZT控制模块。  我们已经实现TEC控制模块。  我们已经实现温度读取模块。  **（2）已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法**  项目团队有一定研究经验：其中已有三名组员学习过电子技术课程，有设计电路并成功封装系统的经验，初步研究过降噪机理，信号转换等基础电路知识；一名组员参与过激光器制造；一名组员确定将对光学平台进行深入钻研。  随项目深入可能会面临许多技术问题，必要时我们可能需要寻找技术支援，并寻求导师具体指引。 |

#### 三、 经费预算

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **开支科目** | **预算经费（元）** | **主要用途** | **阶段下达经费计划（元）** | |
| **前半阶段** | **后半阶段** |
| 预算经费总额 | 22300.00 |  | 11150.00 | 11150.00 |
| 1. 业务费 | 4300.00 | 专家咨询、云服务、计算分析测试、会议差旅、文献检索和论文出版。 | 2150.00 | 2150.00 |
| （1）专家咨询费 | 1500.00 | 必要时有偿寻求技术咨询 | 750.00 | 750.00 |
| （2）会议、差旅费 | 600.00 | 五人每周组会 | 300.00 | 300.00 |
| （3）文献检索费 | 1200.00 | 为获取参考资料设计图，购买相关网络开发论坛会员资格 | 600.00 | 600.00 |
| （4）论文出版费/专利申请费 | 1000.00 | 可考虑专利申请 | 500.00 | 500.00 |
| 2. 仪器设备购置费 | 3000.00 | 补充测试用示波器 | 1500.00 | 1500.00 |
| 3. 实验装置试制费 | 7600.00 | 实验器件加工及封装 | 3800.00 | 3800.00 |
| （1）激光器整体标准化制造 | 3000.00 | 直接执行元件的购买与构架制造（框架已定，此不赘述） | 1500.00 | 1500.00 |
| （2）激光器信息终端PCB板制造 | 800.00 | 100元左右每板（视线距、层数具定） | 400.00 | 400.00 |
| （3）激光器信息终端PCB板贴片焊接 | 1000.00 | 集成后采用微型元件将难以自行焊接 | 500.00 | 500.00 |
| （4）激光器信息终端电源系统制造 | 500.00 | 总供电源再分低噪信号 | 250.00 | 250.00 |
| （5）激光器信息终端散热系统制造 | 300.00 | 风扇/导热胶/散热片 | 150.00 | 150.00 |
| （6）激光器信息终端外壳制造 | 2000.00 | 多通道大体积外壳，计划透明可拆装亚克力板 | 1000.00 | 1000.00 |
| 4. 材料费 | 7400.00 | 主要元件模块的购买 | 3700.00 | 3700.00 |
| （1）高精度可控升压芯片的购买 | 1000.00 | 每个芯片数十元，大量通道 | 500.00 | 500.00 |
| （2）高精度可控电流源所需运放芯片的购买 | 1200.00 | 一个运放模块就要百余，大量运算控制 | 600.00 | 600.00 |
| （3）高精度功率放大芯片的购买 | 1000.00 | 30W输出模块便要百半，大量输出需要 | 500.00 | 500.00 |
| （4）高速16位ADC模块购买 | 1500.00 | 单通道近两百余 | 750.00 | 750.00 |
| （5）高速16位DAC模块购买 | 1500.00 | 与ADC同理 | 750.00 | 750.00 |
| （6）低速ADC芯片购买 | 1000.00 | 低速较为便宜，但要实现自动测量等机制，其也不可缺，数量大 | 500.00 | 500.00 |
| （7）RS485高速通信端口芯片购买 | 200.00 | 多通道转发，每通道十余 | 100.00 | 100.00 |

#### 四、 指导教师意见

|  |
| --- |
| **导师：\*\*\***  **年        月        日** |

#### 五、 院系推荐意见

|  |
| --- |
| **盖 章：**  **年        月        日** |