

高重频ArF准分子激光器脉冲能量控制系统

申请号: [201210103480.5](#)

申请日: 2012-04-10

申请(专利权)人 [中国科学院安徽光学精密机械研究所](#)
地址 [230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路350号](#)
发明(设计)人 [王效顺 方晓东 梁勔 游利兵 尹洪虎 刘毅 王庆胜 赵家敏](#)
主分类号 [H01S3/10 \(2006.01\) I](#)
分类号 [H01S3/10 \(2006.01\) I](#) [G05B19/4063 \(2006.01\) I](#)
公开(公告)号 [102790348A](#)
公开(公告)日 [2012-11-21](#)
专利代理机构 [安徽合肥华信知识产权代理有限公司](#) [34112](#)
代理人 [余成俊](#)



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102790348 A

(43) 申请公布日 2012. 11. 21

(21) 申请号 201210103480. 5

(22) 申请日 2012. 04. 10

(71) 申请人 中国科学院安徽光学精密机械研究所

地址 230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路 350 号

(72) 发明人 王效顺 方晓东 梁勛 游利兵 尹洪虎 刘毅 王庆胜 赵家敏

(74) 专利代理机构 安徽合肥华信知识产权代理有限公司 34112

代理人 余成俊

(51) Int. Cl.

H01S 3/10(2006. 01)

G05B 19/4063(2006. 01)

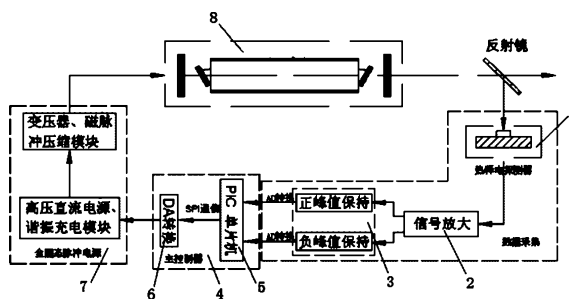
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统

(57) 摘要

本发明公开了一种高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统,包括有热释电探测器、运算放大电路、峰值保持电路、主控电路、PI 控制算法,主控电路的主控制器为单片机,热释电探测器将光信号转化为电脉冲信号后经运算放大电路进行放大,再经峰值保持电路进行峰值保持跟踪后通过 A/D 转换模块转化为数字信号后输入单片机,单片机利用 PI 算法计算出下次脉冲放电所需要的参考电压数字信号后经 DA 模块转化为模拟量后作用于高重频 ArF 准分子激光器使用的全固态脉冲电源中的高压直流电源或可控谐振充电模块。本发明提出的 PI 电压调节算法能够提高控制的精度,降低高重频 ArF 准分子激光器的运行成本。



1. 一种高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统,其特征在于:包括有热释电探测器、运算放大电路、峰值保持电路、主控电路、PI 控制算法,所述的主控电路的主控制器为内置 A/D 转换模块的单片机,所述的峰值保持电路包括有正峰值保持电路和负峰值保持电路,所述的热释电探测器将光信号转化为电脉冲信号后经运算放大电路进行放大,再经峰值保持电路分别对放大后的电脉冲信号进行正、负峰值保持跟踪,再通过单片机内置的 A/D 转换模块转化为数字信号;单片机将正、负峰值转化后的数字量相加后得到单次脉冲能量值对应的数字量,单片机利用 PI 控制算法计算出下次脉冲放电所需要的参考电压数字信号后,单片机通过 SPI 串行通信将数字信号传送至 D/A 转换模块转化为模拟量后作用于高重频 ArF 准分子激光器使用的全固态脉冲电源中的高压直流电源或可控谐振充电模块;所述的 PI 控制算法的表达式如下:

$$V_{dc(j)} = V_{dc(j-1)} - \left[k_p \times err(j-1) + k_i \times \sum_{n=1}^{j-1} err(n) \right] / \frac{dE}{dV_{dc}(j-1)} \quad (1)$$

其中, $V_{dc}(j)$ 为直流电源输出电压, $err(j-1)$ 为单次能量偏差(即实测的脉冲能量值与设定的目标脉冲能量值的差值,目标脉冲能量值在单片机程序中设定;), $\sum_{n=1}^{j-1} err(n)$ 为能量偏差的积分, k_p 为比例系数, k_i 为积分系数, $\frac{dE}{dV_{dc}(j-1)}$ 为脉冲输出能量对直流电源输出电压的导数。

2. 根据权利要求 1 所述的高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统,其特征在于:所述的 PI 控制算法表达式中的 k_p 、 k_i 的值由 matlab 仿真结果得知: k_p 、 k_i 的值分别为 0.2、0.02 时调节效果较好,所以 $k_p = 0.2$, $k_i = 0.02$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统,其特征在于:所述的热释电探测器的探头的响应波长为 $0.15 \sim 3\mu\text{m}$,响应频率高达 5kHz,可测量范围 $15\mu\text{J} \sim 10\text{J}$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统,其特征在于:所述的运算放大电路的运算放大器为 AD548。

5. 根据权利要求 1 所述的高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统,其特征在于:所述的峰值保持电路的主芯片为 PKD01。

6. 根据权利要求 1 所述的高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统,其特征在于:所述的单片机为 PIC16F873A 单片机。

7. 根据权利要求 1 所述的高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统,其特征在于:所述的 D/A 转换模块的芯片为高速数模转换芯片 DAC7731。

高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及准分子激光器领域,特别是用作光刻光源的高重频 ArF 准分子激光器(1k~4kHz),具体涉及一种高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统。

背景技术

[0002] 193nmArF 准分子激光器是 90nm 节点以下集成半导体器件光刻生产的主流光源,ArF 浸没式技术更是将光刻节点缩小至 22nm。目前,国际上先进的光刻光源和光刻机技术都掌握在日、美等发达国家手里,我国的光刻生产设备以及高端集成电路器件基本上全部依赖进口。并且,在关键技术和器件的引进上,还面临着发达国家的阻碍。为改变集成电路生产领域的受制于人的局面,我国在“十一五”期间启动了“极大规模集成电路制造装备与成套工艺专项”,其中就包括高重频、能量稳定性高的光刻光源的研制。

[0003] 高重频 ArF 准分子激光器连续运行时,高压快放电使卤素气体转变为稳定的化合物,卤素气体浓度逐渐降低,激光输出能量明显下降。光刻过程中,激光器光源的脉冲能量稳定性直接影响着集成芯片电路关键尺寸的控制。要提高光刻质量,对激光器脉冲能量进行实时调节是必需的。传统的能量稳定控制方法是通过补充卤素气体或者部分换气来延缓能量的下降趋势,但使用这种方法对高重频运行的激光器每个脉冲能量进行实时调节时很有难度的。因为:首先,补气调节响应速度慢,不适合高重频下应用;其次,单次补气量不易控制,精度不高;最后,高重频运行的激光器,气体老化速度很快,频繁的补气或换气将会造成生产成本的提高。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量的高速、高精度控制系统。本发明设计了能量稳定闭环控制回路,提出一种放电电压实时调节 PI 控制算法,从控制电源的角度进行脉冲能量稳定控制。

[0005] 本发明的技术方案如下:

高重频 ArF 准分子激光器脉冲能量控制系统,其特征在于:包括有热释电探测器、运算放大电路、峰值保持电路、主控电路、PI 控制算法,所述的主控电路的主控制器为内置 A/D 转换模块的单片机,所述的峰值保持电路包括有正峰值保持电路和负峰值保持电路,所述的热释电探测器将光信号转化为电脉冲信号后经运算放大电路进行放大,再经峰值保持电路分别对放大后的电脉冲信号进行正、负峰值保持跟踪,再通过单片机内置的 A/D 转换模块转化为数字信号;单片机将正、负峰值转化后的数字量相加后得到单次脉冲能量值对应的数字量,单片机利用 PI 控制算法计算出下次脉冲放电所需要的参考电压数字信号后,单片机通过 SPI 串行通信将数字信号传送至 D/A 转换模块转化为模拟量后作用于高重频 ArF 准分子激光器使用的全固态脉冲电源中的高压直流电源或可控谐振充电模块;所述的 PI 控制算法的表达式如下:

$$V_{dc(j)} = V_{dc(j-1)} - \left[k_p \times err(j-1) + k_i \times \sum_{n=1}^{j-1} err(n) \right] / \frac{dE}{dV_{dc}}(j-1) \quad (1)$$

其中, $V_{dc}(j)$ 为直流电源输出电压, $err(j-1)$ 为单次能量偏差(即实测的脉冲能量值与设定的目标脉冲能量值的差值, 目标脉冲能量值在单片机程序中设定), $\sum_{n=1}^{j-1} err(n)$ 为能量偏差的积分, k_p 为比例系数, k_i 为积分系数, $\frac{dE}{dV_{dc}}(j-1)$ 为脉冲输出能量对直流电源输出电压的导数。

[0006] 所述的PI控制算法表达式中的 k_p 、 k_i 的值由matlab仿真结果得知: k_p 、 k_i 的值分别为0.2、0.02时调节效果较好,所以 $k_p = 0.2$, $k_i = 0.02$ 。

[0007] 所述的热释电探测器的探头的响应波长为 $0.15 \sim 3\mu\text{m}$, 响应频率高达5kHz, 可测量范围 $15\mu\text{J} \sim 10\text{J}$ 。

[0008] 所述的运算放大电路的运算放大器为AD548。

[0009] 所述的峰值保持电路的主芯片为PKD01。

[0010] 所述的单片机为PIC16F873A单片机。

[0011] 所述的D/A转换模块的芯片为高速数模转换芯片DA7731。

[0012] 本发明的优点是:

本发明的控制系统要求响应速度快, 整个闭环控制过程在1ms以内完成。将PI控制理论应用于高重频ArF准分子激光器脉冲能量的控制, 提出了调节激光器电源电压的PI算法, 提高了控制的精度。本发明比补气调节更适用于高重频准分子激光器, 有利于节约气体, 降低光刻生产的成本。

附图说明

[0013] 图1为本发明涉及的全固态脉冲电源的结构框图。

[0014] 图2为本发明涉及的脉冲能量闭环控制回路示意图。

[0015] 图3为本发明的电路图。

[0016] 图4为本发明的PI算法的matlab仿真验证示意图。

具体实施方式

[0017] 光刻用高重频ArF准分子激光器使用的全固态脉冲电源如图1所示, 主要由直流高压电源、可控谐振充电模块、高压变压器和磁脉冲压缩模块组成, 其中, 直流高压电源输出电压由其参考电压决定, 通过控制直流高压电源参考电压实现对气体放电激励电压的调节。此外, 气体放电激励电压还可以通过控制谐振电容 C_2 两端电压进行调节。将可编程调节的谐振参考电压与 C_2 取样电压进行比较, 用于控制 S_1 的导通与断开, 完成对谐振充电电压的控制。

[0018] 高重频ArF准分子激光器脉冲能量控制系统, 包括有热释电探测器1、运算放大电路2、峰值保持电路3、主控电路4、PI控制算法, 主控电路的主控制器为内置A/D转换模块

的单片机 5, 峰值保持电路 3 包括有正峰值保持电路和负峰值保持电路, 热释电探测器 1 将热释电探头探测到的光信号转化为电脉冲信号后经运算放大电路 2 对电脉冲信号进行放大, 再经峰值保持电路 3 对放大后的电脉冲信号进行正、负峰值保持跟踪后通过单片机 5 内置的 A/D 转换模块转化为数字信号; 单片机 5 将正、负峰值转化后的数字量相加后得到单次脉冲能量值对应的数字量, 单片机 5 利用 PI 控制算法计算出下次脉冲放电所需要的参考电压数字信号后, 单片机 5 通过 SPI 串行通信将数字控制信号传送至 D/A 转换模块 6 转化为模拟量后作用于高重频 ArF 准分子激光器 8 使用的全固态脉冲电源 7 中的高压直流电源或可控谐振充电模块。

[0019] PI 控制算法的表达式如下:

$$V_{dc(j)} = V_{dc(j-1)} - \left[k_p \times err(j-1) + k_i \times \sum_{n=1}^{j-1} err(n) \right] / \frac{dE}{dV_{dc}(j-1)} \quad (1)$$

其中, $V_{dc}(j)$ 为直流电源输出电压, $err(j-1)$ 为单次能量偏差, 等于每次脉冲能量与设定的目标能量的差值, 目标能量值在单片机程序中设定, $\sum_{n=1}^{j-1} err(n)$ 为能量偏差的积分, k_p 为比例系数, k_i 为积分系数, 由 matlab 仿真结果: k_p 、 k_i 的值分别为 0.2、0.02 时调节效果较好, 所以 $k_p = 0.2$, $k_i = 0.02$; $\frac{dE}{dV_{dc}(j-1)}$ 为脉冲输出能量对直流电源输出电压的导数。

[0020] 对于公式(1)所示的 PI 算法, 单片机程序中的具体运行步骤如下: 首先, 开机后, 气体状况良好, 标定 $V-E$ 对应关系。单片机以一定步进从低到高自动提高参考电压信号, 对应每一个电压值, 单片机采集 64 个能量值求平均后存储在相应寄存器中。当电压升至允许的最高值时, 采集结束。第二步, 单片机设定初始参考电压和期望的目标能量 E_T 。第三步, 单片机开始实时采集脉冲能量值, 计算出每次脉冲能量和目标能量的差值 $err(j)$, 并将

每次差值进行累加 $\sum_{n=1}^j err(n)$ 。将这两个量分别乘以比例积分系数 k_p 、 k_i 后相加, 得到 ΔE_j 。

最后, 根据 $V-E$ 对应关系, 计算出 $\frac{dE}{dV_{dc}(j)}$ 值, 将 ΔE_j 和 $\frac{dE}{dV_{dc}(j)}$ 作除法, 算出 $\Delta V(j)$ 值。再将 $V(j)$ 和 $\Delta V(j)$ 作差, 得出下次脉冲放电需要的参考电压 $V(j+1)$ 。

[0021] 使用 matlab 仿真高重频 ArF 准分子激光器运行环境, 验证激光器在 PI 算法调节下的效果。结果如图 4 所示: k_p 、 k_i 的值分别为 0.2、0.02 时调节效果较好, 10^{10} 个脉冲以内, 激光器在该 PI 算法调节下能够以目标能量稳定输出, 电压呈不断上升趋势。

[0022] 热释电探测器 1 的探头的响应波长为 $0.15 \sim 3\mu\text{m}$, 响应频率高达 5kHz, 可测量范围 $15\mu\text{J} \sim 10\text{J}$ 。

[0023] 运算放大电路 2 的运算放大器为 AD548。

[0024] 峰值保持电路 3 的主芯片为 PKD01。

[0025] 单片机 5 为 PIC16F873A 单片机。

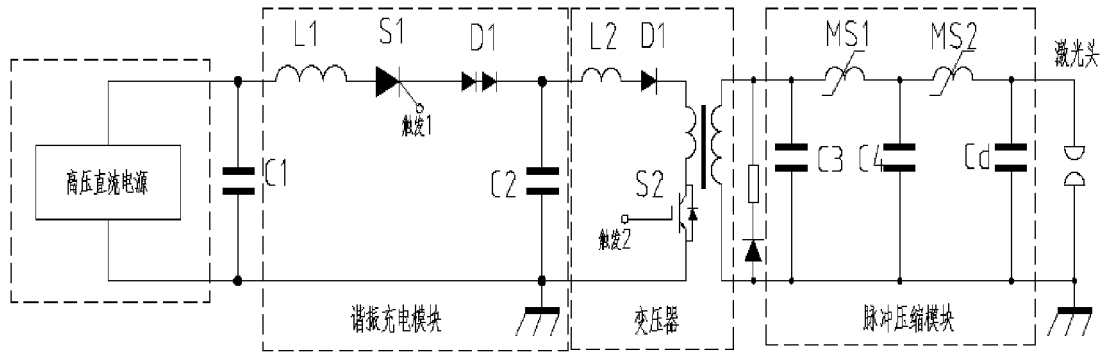


图 1

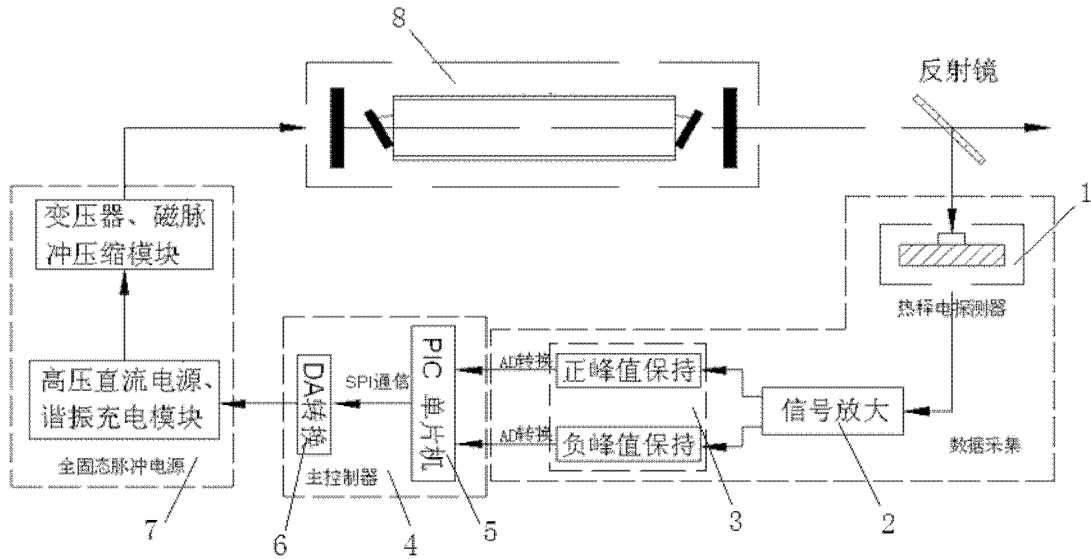


图 2

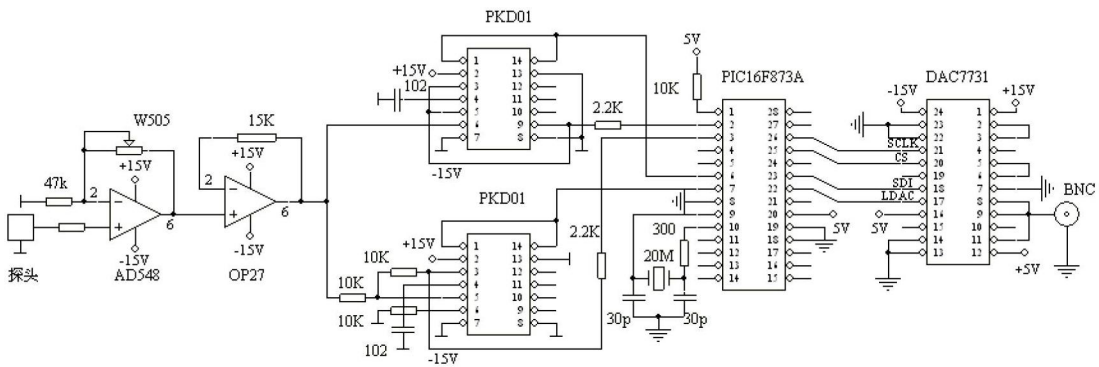


图 3

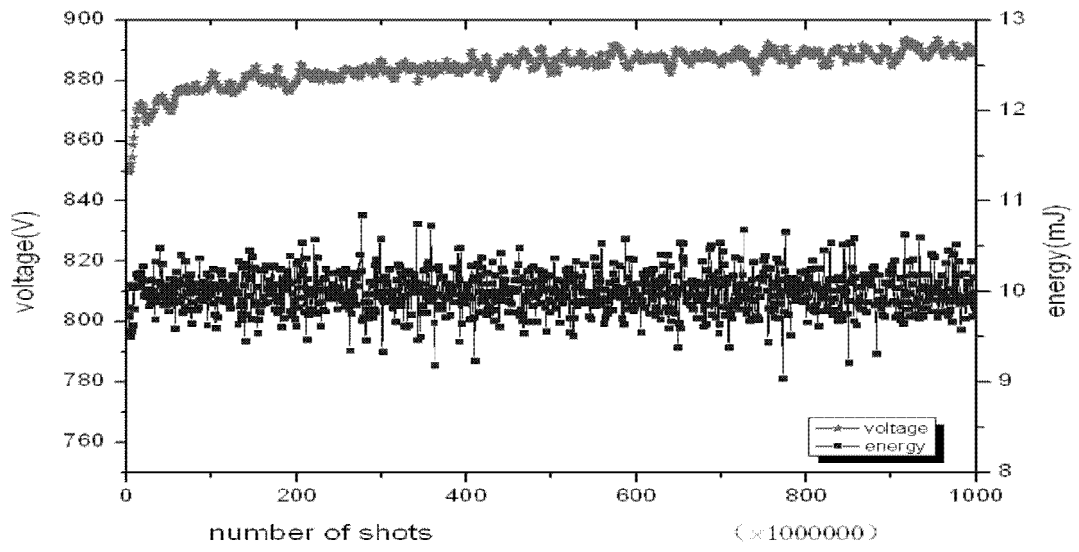


图 4