



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110311293 B

(45) 授权公告日 2020.10.13

(21) 申请号 201910640878.4

G01J 3/44 (2006.01)

(22) 申请日 2019.07.16

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110311293 A

CN 106053400 A, 2016.10.26

CN 204514810 U, 2015.07.29

CN 103424389 A, 2013.12.04

(43) 申请公布日 2019.10.08

CN 102590159 A, 2012.07.18

CN 102507524 A, 2012.06.20

(73) 专利权人 安徽大学

US 9564731 B2, 2017.02.07

CN 103592277 A, 2014.02.19

地址 230000 安徽省合肥市经开区九龙路
111号(安徽大学新区)

(72) 发明人 吕亮 朱德胜 赵远洋

黄秀军. 基于不同泵浦波形的荧光寿命测量.《光谱学与光谱分析》.2010, (第11期),
连天泉. 一种测量激光跃迁截面和荧光寿命的新方法.《中国激光》.1990, 第17卷(第1期),

(74) 专利代理机构 无锡市汇诚永信专利代理事
务所(普通合伙) 32260

审查员 林玉华

代理人 王闯 葛莉华

(51) Int. Cl.

H01S 3/00 (2006.01)

G01N 21/64 (2006.01)

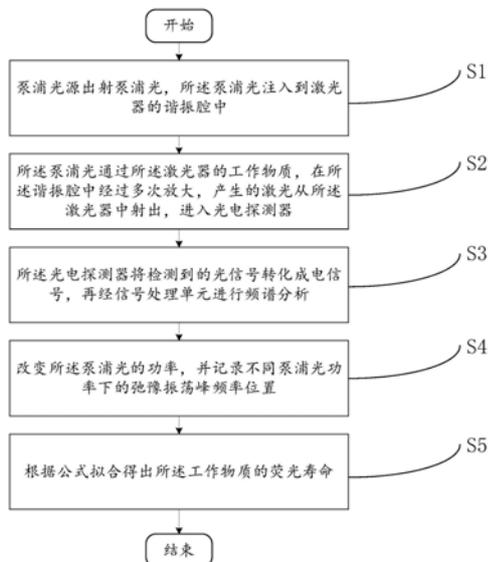
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

测量激光器工作物质荧光寿命的方法和系统

(57) 摘要

本发明属于光学测量技术领域, 尤其涉及测量激光器工作物质荧光寿命的方法, 泵浦光源出射泵浦光, 注入到激光器的谐振腔中; 泵浦光通过激光器的工作物质, 经过放大, 产生激光从激光器中射出, 进入光电探测器, 光电探测器将检测到的光信号转化成电信号, 再经信号处理单元进行频谱分析, 改变泵浦光的功率, 并记录不同泵浦光功率下的弛豫振荡峰频率位置, 根据公式拟合得出工作物质的荧光寿命。本发明还提供了配合上述检测方法的测量激光器工作物质荧光寿命的系统。本发明实现了可直接测量激光器工作物质的荧光寿命, 测试方案简单, 处理数据量较小, 误差较小, 对工作物质参杂浓度无特殊要求的技术效果。



1. 测量激光器工作物质荧光寿命的方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1,泵浦光源(1)出射泵浦光,所述泵浦光注入到激光器(2)的谐振腔中;

S2,所述泵浦光通过所述激光器(2)的工作物质,在所述谐振腔中经过多次放大,产生的激光从所述激光器(2)中射出,进入光电探测器(3);

S3,所述光电探测器(3)将检测到的光信号转化成电信号,再经信号处理单元(4)进行频谱分析;

S4,改变所述泵浦光的功率,并记录不同泵浦光功率下的弛豫振荡峰频率位置;

S5,根据公式 $F_r = \sqrt{\frac{\eta-1}{4\pi^2\tau_c\tau_1}}$ 拟合得出所述工作物质的荧光寿命,

式中,其中, F_r 为泵浦光的弛豫振荡峰的频率, τ_1 为荧光寿命, τ_c 为腔光子寿命, η 为归一化泵浦系数。

2. 测量激光器工作物质荧光寿命的系统,用于配合权利要求1所述的测量激光器工作物质荧光寿命的方法,其特征在于,包括泵浦光源(1),激光器(2)、光电探测器(3),信号处理单元(4),

所述泵浦光源(1)与所述激光器(2)的泵浦端相连,将泵浦光出射到所述激光器(2),

所述激光器(2)含有待测工作物质,所述工作物质对所述泵浦光进行放大,所述激光器(2)的信号端与所述光电探测器(3)相连,

所述光电探测器(3)接收所述激光器(2)输出激光,将所述光信号转化成电信号,

所述信号处理单元(4)与光电探测器(3)相连,所述信号处理单元(4)接收所述电信号进行分析处理。

3. 根据权利要求2所述的测量激光器工作物质荧光寿命的系统,其特征在于,所述激光器(2)为分布式布拉格反射光纤激光器,所述分布式布拉格反射光纤激光器包括波分复用器、第一布拉格光栅、工作物质、第二布拉格光栅,所述工作物质为有源光纤,所述波分复用器的泵浦端与所述泵浦光源(1)相连,所述波分复用器的公共端与所述第一布拉格光栅相连,所述第一布拉格光栅和第二布拉格光栅之间通过有源光纤连接,所述波分复用器的信号端与所述光电探测器(3)相连。

4. 根据权利要求2所述的测量激光器工作物质荧光寿命的系统,其特征在于,所述激光器(2)为分布反馈光纤激光器,所述分布反馈光纤激光器包括波分复用器和相移光纤光栅,所述相移光纤光栅包括所述工作物质,所述工作物质为有源光纤,所述波分复用器的泵浦端与所述泵浦光源(1)相连,所述波分复用器的公共端与相移光纤光栅相连,所述波分复用器的信号端与所述光电探测器(3)相连。

5. 根据权利要求2所述的测量激光器工作物质荧光寿命的系统,其特征在于,所述信号处理单元(4)由信号处理电路(41)和频域信号处理模块(42)组成。

测量激光器工作物质荧光寿命的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明属于光学测量技术领域,尤其涉及测量激光器工作物质荧光寿命的方法和系统。

背景技术

[0002] 当某种物质被一束激光激发后,该物质的分子吸收能量后从基态跃迁到某一激发态上,再以辐射跃迁的形式发出荧光回到基态。当不存在激发光后,分子的荧光强度降到激发时的荧光最大强度 I_0 的 $1/e$ 所需要的时间,被称为荧光寿命。荧光寿命是研究生物、化学和物理激发态动力学的重要参数指标。

[0003] 目前获得材料荧光寿命的方案一般采用时间分辨荧光数据的方法主要包括单光子计数法和多频相位调制荧光法两种。单光子技术法使用短脉冲宽带激光器作为激励源,荧光样品在正弦调制光源的激励下,发出与调制源相同的频率,但相位会发生延迟的光信号。利用光电倍增管、单通道光谱分析仪配合解调技术,可获得待测样品的荧光光谱。而对于多频相位调制荧光法,则利用待测样品在调制光在变频条件下的谐波响应的傅里叶变换,进行荧光寿命测量。

[0004] 但上述现有技术的测量方法存在一系列问题:样品难以原位测量,一般需进行溶水预处理以及发射光谱的校准,准备工作繁琐,测量方法复杂,还需要避免样品池的交叉污染;同时相关实验设备昂贵,检测条件和标准均不统一,大大增加了测量的成本和测量的误差;此外,当材料纯度不够时,待测材料荧光寿命检出困难。

发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提供了测量激光器工作物质荧光寿命的方法,目的是为了解决现有荧光测量技术中样品难以原位测量,造成相应的测量方法复杂,和样品池的交叉污染;测量实验设备昂贵,检测条件和标准均不统一,增加了测量的成本和测量的误差;同时对检测材料的纯度要求较高的技术问题。本发明为了实现上述检测方法还提供了相应的测量激光器工作物质荧光寿命的系统。

[0006] 本发明提供了测量激光器工作物质荧光寿命的方法,具体技术方案如下:

[0007] 测量激光器工作物质荧光寿命的方法,包括如下步骤:

[0008] S1,泵浦光源出射泵浦光,所述泵浦光注入到激光器的谐振腔中;

[0009] S2,所述泵浦光通过所述激光器的工作物质,在所述谐振腔中经过多次放大,产生的激光从所述激光器中射出,进入光电探测器;

[0010] S3,所述光电探测器将检测到的光信号转化成电信号,再经信号处理单元进行频谱分析;

[0011] S4,改变所述泵浦光的功率,并记录不同泵浦光功率下的弛豫振荡峰频率位置;

[0012] S5,根据公式 $F_r = \sqrt{\frac{\eta-1}{4\pi^2\tau_c\tau_1}}$ 拟合得出所述工作物质的荧光寿命,

[0013] 式中,其中, F_r 为泵浦光的弛豫振荡峰的频率, τ_1 为荧光寿命, τ_c 为腔光子寿命, η 为归一化泵浦系数。

[0014] 本发明还提供了配合上述检测方法的测量激光器工作物质荧光寿命的系统,包括泵浦光源,激光器、光电探测器,信号处理单元,

[0015] 所述泵浦光源与所述激光器的泵浦端相连,将泵浦光出射到所述激光器,

[0016] 所述激光器含有待测工作物质,所述工作物质对所述泵浦光进行放大,所述激光器的信号端与所述光电探测器相连,

[0017] 所述光电探测器接收所述激光器输出激光,将所述光信号转化成电信号,

[0018] 所述信号处理单元与光电探测器相连,所述信号处理单元接收所述电信号进行分析处理。

[0019] 在某些实施方式中,所述激光器为分布式布拉格反射光纤激光器,所述分布式布拉格反射光纤激光器包括波分复用器、第一布拉格光栅、工作物质、第二布拉格光栅,所述工作物质为有源光纤,所述波分复用器的泵浦端与所述泵浦光源相连,所述波分复用器的公共端与所述第一布拉格光栅相连,所述第一布拉格光栅和第二布拉格光栅之间通过有源光纤连接,所述波分复用器的信号端与所述光电探测器相连。

[0020] 在某些实施方式中,所述激光器为分布反馈光纤激光器,所述分布反馈光纤激光器包括波分复用器和相移光纤光栅,所述相移光纤光栅包括所述工作物质,所述工作物质为有源光纤,所述波分复用器的泵浦端与所述泵浦光源相连,所述波分复用器的公共端与相移光纤光栅相连,所述波分复用器的信号端与所述光电探测器相连。

[0021] 在某些实施方式中,所述信号处理单元由信号处理电路和频域信号处理模块组成。

[0022] 本发明提供的测量激光器工作物质荧光寿命的方法和系统,通过不同泵浦光功率即不同归一化泵浦系数下的弛豫振荡峰的频率位置,结合 τ_c 值可拟合出激光器工作物质的荧光寿命。本发明具有以下有益效果:1.可直接测量材料的荧光寿命,不需要对材料做任何的破坏性预处理;2.测试方案简单,处理数据量较小,误差较小;3.对工作物质参杂浓度无特殊要求。

附图说明

[0023] 图1是本发明中测量激光器工作物质荧光寿命的方法的步骤流程图;

[0024] 图2是本发明中实施例1中测量激光器工作物质荧光寿命的系统示意图;

[0025] 图3是本发明中实施例2中测量激光器工作物质荧光寿命的系统示意图;

[0026] 图4是本发明实施例1中泵浦系数与弛豫振荡峰频率关系图;

[0027] 图5是本发明实施例2中泵浦系数与弛豫振荡峰频率关系图。

具体实施方式

[0028] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图1-5,对本发明进一步详细说明。

[0029] 本发明基于的理论原理如下:

[0030] 弛豫振荡峰与荧光寿命的具体关系可以由如下公式表示:

$$[0031] \quad F_r = \sqrt{\gamma_1 \gamma_c (\eta - 1)} / 2\pi \quad (1)$$

[0032] 其中, F_r 代表激光器的弛豫振荡峰的频率, $\gamma_1 (=1/\tau_1)$ 和 $\gamma_c (=1/\tau_c)$ 分别代表腔内光子衰变率和粒子数反转衰变率, τ_1 为荧光寿命, τ_c 为腔光子寿命, η 为归一化泵浦系数, 取决于激光器输出及激光器阈值对应的泵浦功率的比值。测试过程中, 可通过不同泵浦光功率即不同归一化泵浦系数下的弛豫振荡峰的频率位置, 结合 τ_c 值可拟合出激光器工作物质的荧光寿命。

[0033] 基于上述理论, 本发明提供了测量激光器工作物质荧光寿命的方法, 具体方案如下:

[0034] 测量激光器工作物质荧光寿命的方法, 包括如下步骤:

[0035] S1, 泵浦光源1出射泵浦光, 泵浦光注入到激光器2的谐振腔中;

[0036] S2, 泵浦光通过激光器2的工作物质, 经过放大, 从激光器2中射出, 进入光电探测器3;

[0037] S3, 光电探测器3将检测到的光信号转化成电信号, 再经信号处理单元4进行频谱分析;

[0038] S4, 改变泵浦光源1的泵浦电流, 从而改变泵浦光的功率, 并记录不同泵浦光功率下的弛豫振荡峰频率位置;

[0039] S5, 根据公式 $F_r = \sqrt{\frac{\eta - 1}{4\pi^2 \tau_c \tau_1}}$ 拟合得出工作物质的荧光寿命,

[0040] 式中, 其中, F_r 代表泵浦光1的弛豫振荡峰的频率, τ_1 为荧光寿命, τ_c 为腔光子寿命, η 为归一化泵浦系数。

[0041] 为配合上述传感测量方法, 本发明提供了测量激光器工作物质荧光寿命的系统, 包括泵浦光源1, 激光器2、光电探测器3, 信号处理单元4, 泵浦光源1与激光器2的泵浦端相连, 将泵浦光出射到激光器2, 激光器2含有待测工作物质, 工作物质对泵浦光进行放大, 激光器2的信号端与光电探测器3相连, 光电探测器3接收激光器2输出激光, 将光信号转化成电信号, 信号处理单元4与光电探测器3相连, 信号处理单元4接收电信号进行分析处理。

[0042] 在某些实施方式中, 信号处理单元4由信号处理电路41和频域信号处理模块42组成。

[0043] 实施例1

[0044] 本实施例提供的测量激光器工作物质荧光寿命的系统, 如图2所示, 包括泵浦光源1, 分布式布拉格反射 (DBR) 光纤激光器2、光电探测器3, 信号处理单元4, 分布式布拉格反射光纤激光器2包括波分复用器、第一布拉格光栅、工作物质、第二布拉格光栅, 工作物质为有源光纤, 波分复用器的泵浦端与泵浦光源1相连, 波分复用器的公共端与第一布拉格光栅相连, 第一布拉格光栅和第二布拉格光栅之间通过有源光纤连接, 有源光纤为铒镱共掺光纤, 波分复用器的信号端与光电探测器3相连, 光电探测器3与信号处理单元4相连。信号处理单元4由信号处理器和频谱仪组成。在本实施例中, 泵浦光源1产生980nm泵浦光或者1480nm泵浦光。

[0045] 具体的检测过程如下:

[0046] 本实施例中, DBR光纤激光器2腔长 $L = 11.9\text{cm}$, 两端光栅反射率分别 $R_1 = 0.9704$, R_2

=0.9602, 光纤折射率 $n=1.45$, 工作物质为铒镱共掺光纤。

[0047] 而腔光子寿命 τ_c 又可由式2表示:

$$[0048] \quad \tau_c = \frac{2nL}{c \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)} \quad (2)$$

[0049] 其中, n 为光纤折射率, L 为激光器DBR光纤激光器2内腔的长度, c 为光速, R_1, R_2 分别为激光器2内腔入射端与出射端布拉格光栅的反射率。根据式2可计算出该DBR光纤激光器2的腔光子寿命为 $\tau_c=1.61 \times 10^{-8}$ s。

[0050] 测量时, 泵浦光源1产生980nm的激光, 波分复用器(WDM)将泵浦光注入到两个布拉格光纤光栅(FBG₁和FBG₂)与有源光纤构成的谐振腔中。泵浦光在有源增益介质中得到放大后分别从FBG₁和FBG₂出射, 从FBG₁出射的光信号经WDM的公共端, 由其信号端出射, 首先进入光电探测器3(PD), PD将检测到的光信号转化成电信号, 再经信号处理电路41进入频谱仪。实验中, 可根据式(1)拟合得出DBR激光器2中工作物质铒镱共掺光纤的荧光寿命。

[0051] 在图3中, 采用的拟合公式为 $F_r = \sqrt{\frac{\eta-1}{4\pi^2\tau_c\tau_1}}$, 横轴坐标为归一化的泵浦系数, 作为

自变量, 其中纵轴坐标为弛豫振荡峰, 作为因变量, τ_c 为已知定值, τ_1 作为待拟合量。根据图3拟合结果, 得出DBR光纤激光器2作为工作物质的铒镱共掺光纤的荧光寿命为 2.02271×10^{-5} s。

[0052] 实施例2

[0053] 本实施例提供的测量激光器工作物质荧光寿命的系统, 如图4所示, 包括泵浦光源1, 分布反馈(DBR)光纤激光器2、光电探测器3, 信号处理单元4, 分布式布拉格反射光纤激光器2包括波分复用器和相移光纤光栅, 相移光纤光栅包括工作物质, 工作物质为有源光纤, 波分复用器的泵浦端与泵浦光源1相连, 波分复用器的公共端与相移光纤光栅相连, 有源光纤为高掺铒光纤, 波分复用器的信号端与光电探测器3相连, 光电探测器3与信号处理单元4相连。信号处理单元4由信号处理器和频谱仪组成。在本实施例中, 泵浦光源1产生980nm泵浦光或者1480nm泵浦光。

[0054] 具体的检测过程如下:

[0055] 本实施例中, DFB光纤激光器2有效腔长 $L=19$ mm, 两端光栅反射率分别 $R_1=0.986694, R_2=0.999756$, 光纤折射率 $n=1.45$, 工作物质为高掺铒光纤。

[0056] 而腔光子寿命 τ_c 又可由式2表示:

$$[0057] \quad \tau_c = \frac{2nL}{c \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)} \quad (2)$$

[0058] 其中, n 为光纤折射率, L 为激光器DFB光纤激光器2内腔的长度, c 为光速, R_1, R_2 分别为激光器2内腔入射端与出射端布拉格光栅的反射率。根据式2可计算出该DBR激光器2的腔光子寿命为 $\tau_c=1.3466 \times 10^{-8}$ s。

[0059] 测量时, 泵浦光源1产生980nm的激光, 波分复用器(WDM)将泵浦光注入到相移光纤

光栅与有源光纤构成的谐振腔中。泵浦光在有源增益介质中得到放大后出射的光信号经WDM的公共端,由其信号端出射,首先进入光电探测器3(PD),PD将检测到的光信号转化成电信号,再经信号处理电路41进入频谱仪。实验中,可根据式(1)拟合得出DFB激光器2中工作物质高掺铒光纤的荧光寿命。

[0060] 在图5中,采用的拟合公式为 $F_r = \sqrt{\frac{\eta-1}{4\pi^2\tau_c\tau_1}}$, 横轴坐标为归一化的泵浦系数,作为

自变量,其中纵轴坐标为弛豫振荡峰,作为因变量, τ_c 为已知定值, τ_1 作为待拟合量。根据图5拟合结果,得出DFB光纤激光器2作为工作物质的高掺铒光纤的荧光寿命为 $1.62 \times 10^{-3} \text{s}$ 。

[0061] 上述仅本发明较佳可行实施例,并非是对本发明的限制,本发明也并不限于上述举例,本技术领域的技术人员,在本发明的实质范围内,所作出的变化、改型、添加或替换,也应属于本发明的保护范围。

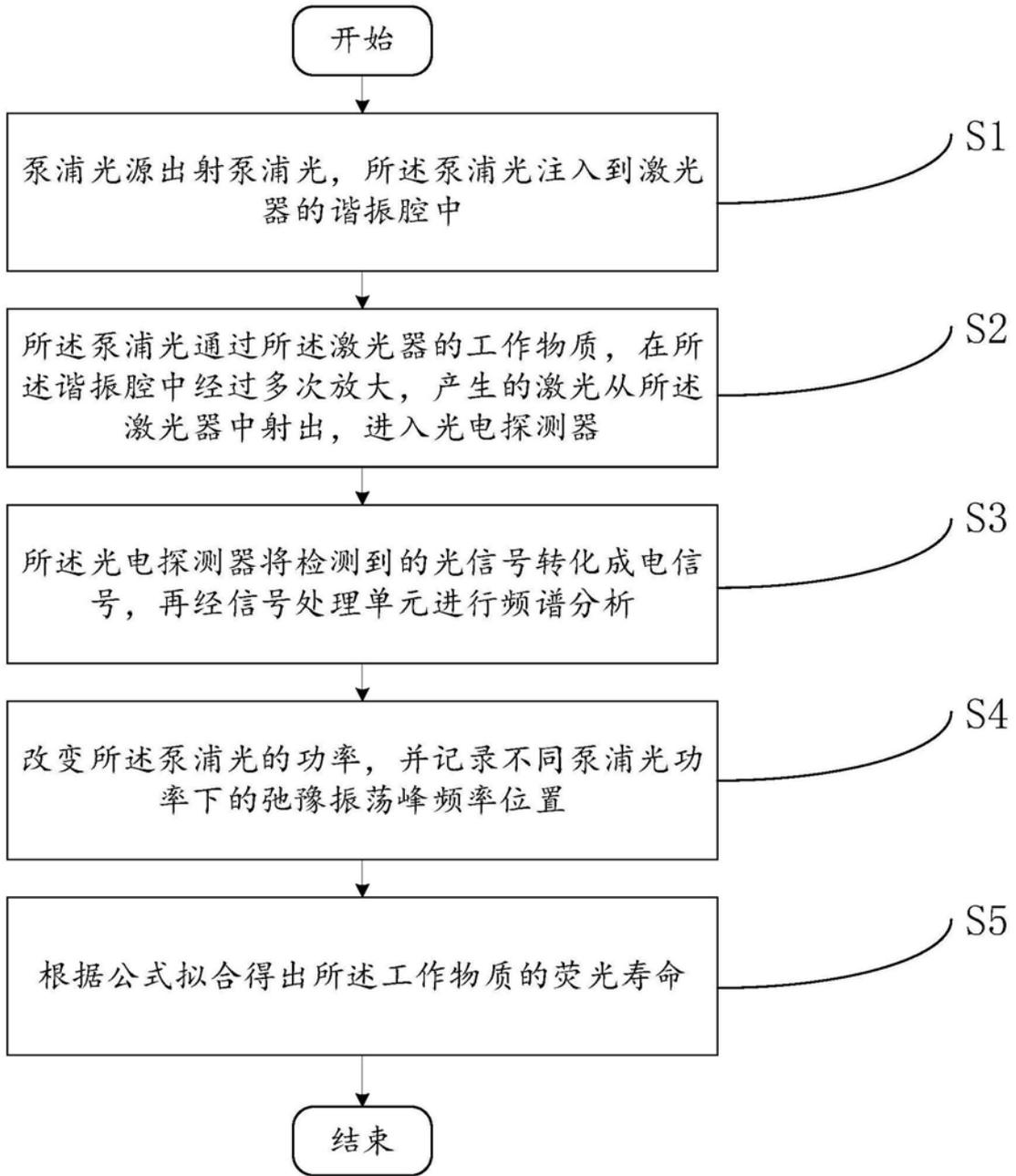


图1

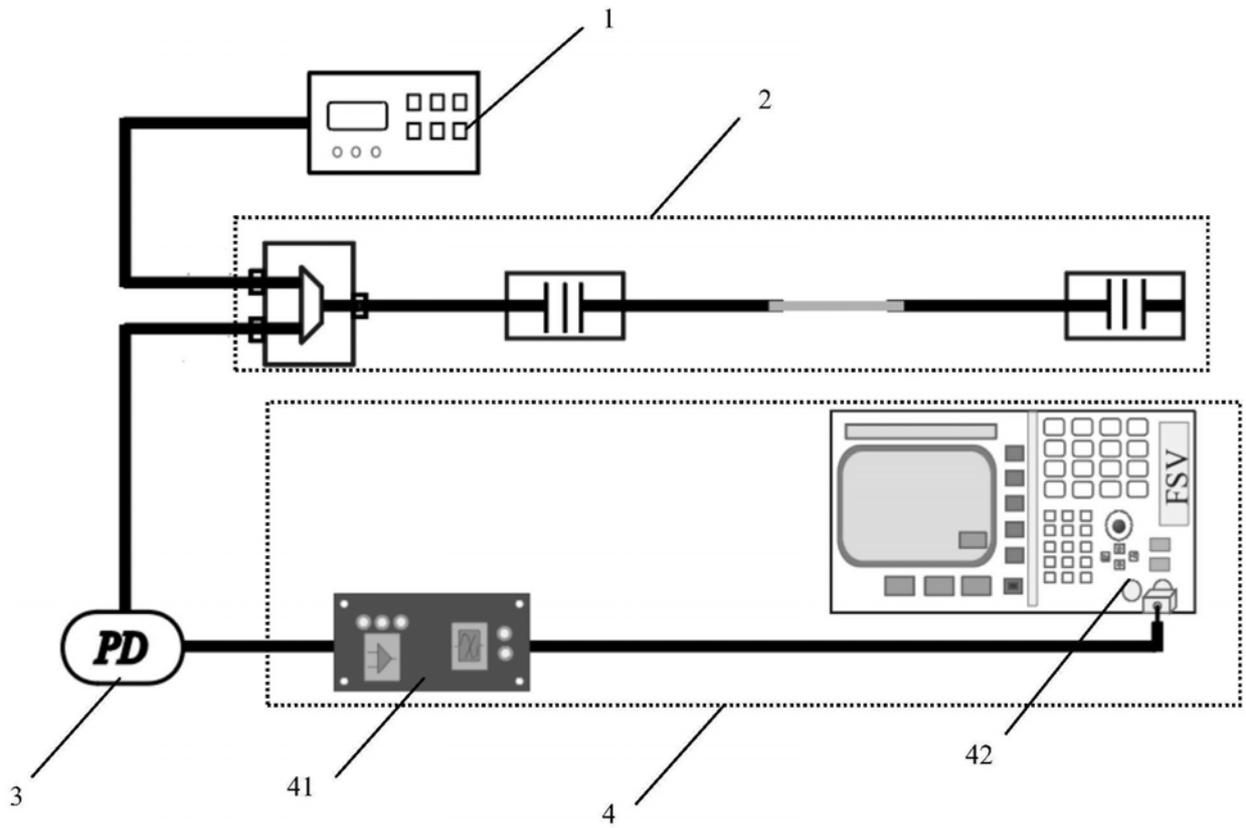


图2

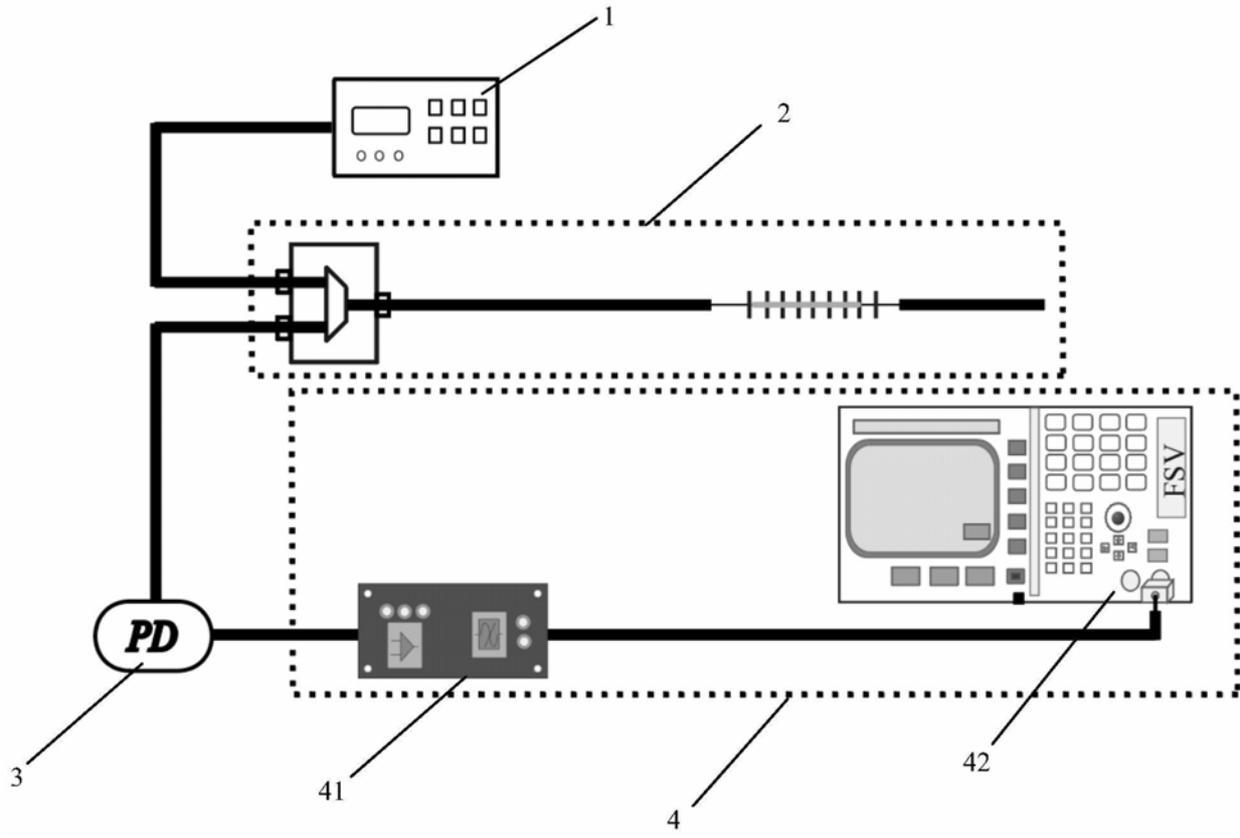


图3

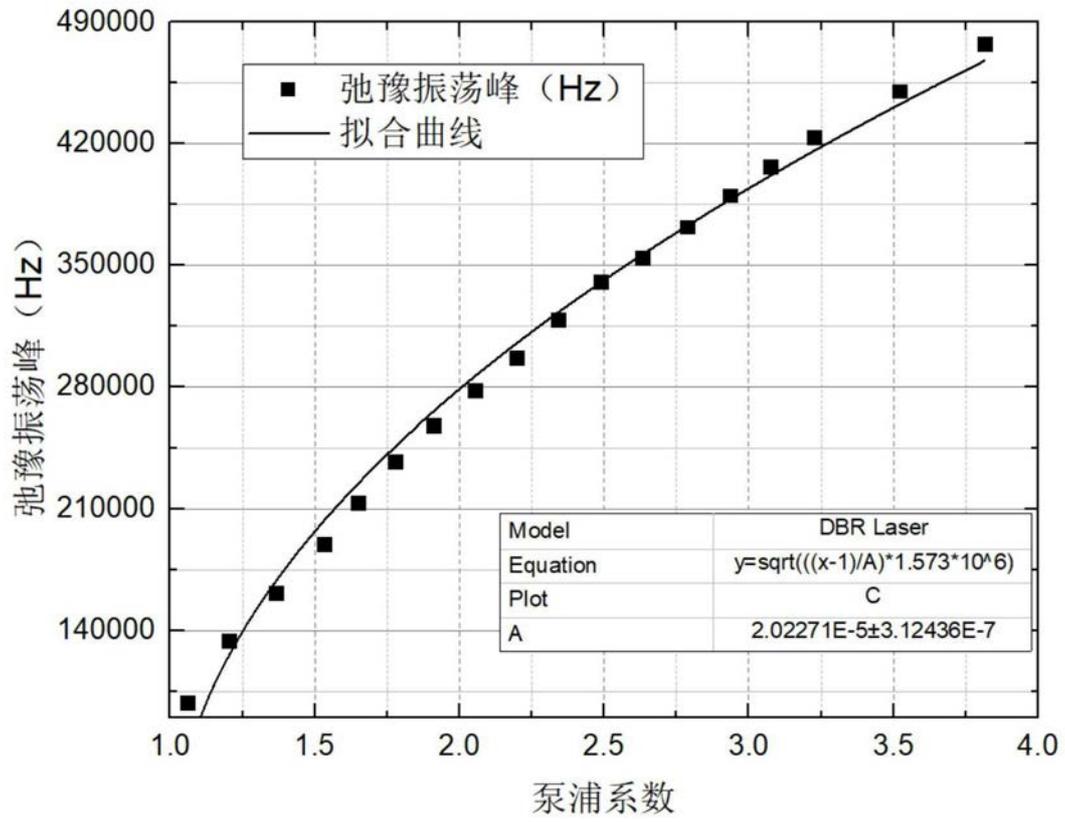


图4

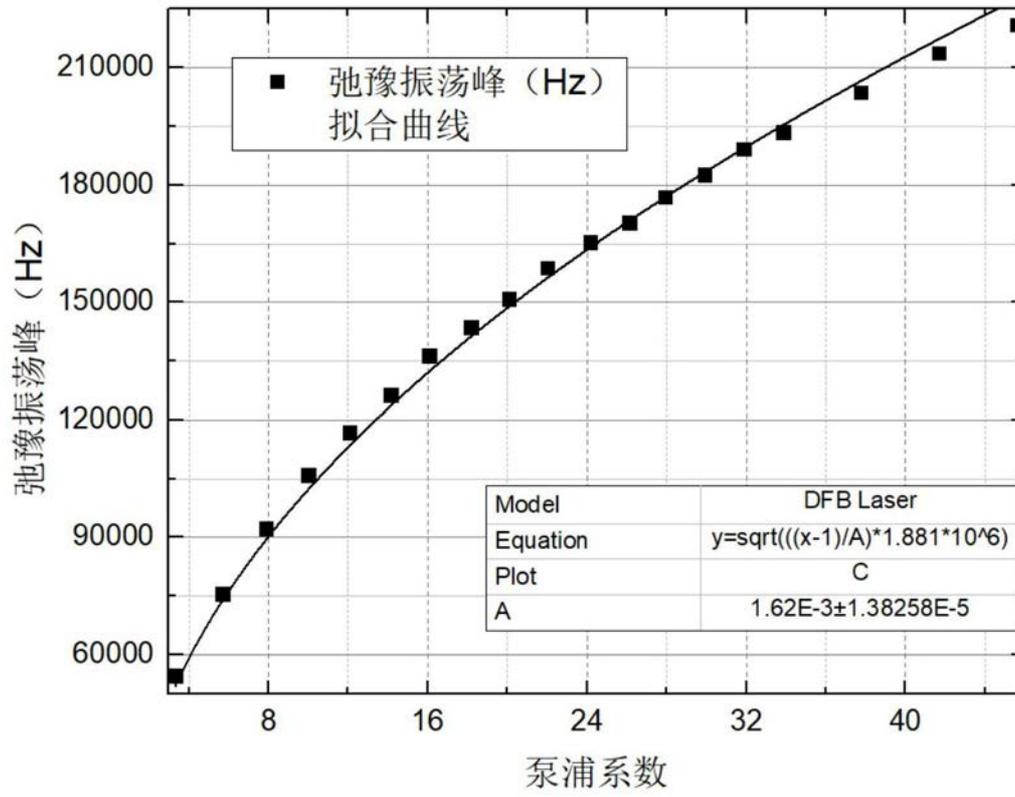


图5