



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106841149 A

(43)申请公布日 2017.06.13

(21)申请号 201710162052.2

(22)申请日 2017.03.17

(71)申请人 王富

地址 313300 浙江省湖州市安吉县安吉大道8号两山创客小镇3-401

(72)发明人 王富 张辉 乔丙闪 张晓蕾

(74)专利代理机构 北京酷爱智慧知识产权代理有限公司 11514

代理人 孟凡臣

(51)Int.Cl.

G01N 21/64(2006.01)

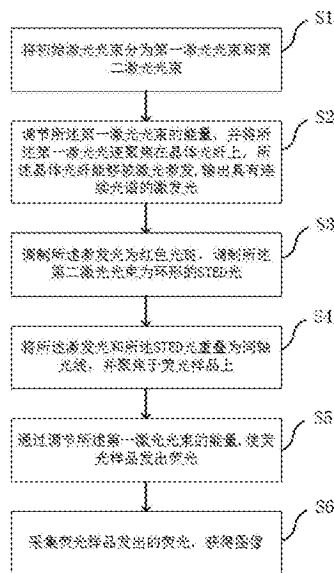
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

受激辐射损耗显微方法及显微装置

(57)摘要

本发明提供的受激辐射损耗显微方法及装置,包括如下步骤:步骤S1,将初始激光光束分为第一激光光束和第二激光光束;步骤S2,调节所述第一激光光束的能量,并将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤上,所述晶体光纤能够被激光激发,输出具有连续光谱的激发光;步骤S3,调制所述激发光为红色光斑,调制所述第二激光光束为环形的STED光;步骤S4,将所述激发光和所述STED光重叠为同轴光线,并聚焦于荧光样品上;步骤S5,通过调节所述第一激光光束的能量,使荧光样品发出荧光;步骤S6,采集荧光样品发出的荧光,获得图像。本发明提供受激辐射损耗显微方法及显微装置,分辨率高,能够连续调节激发光和STED光的波长,适应不同的荧光。



1. 一种受激辐射损耗显微方法,其特征在于,包括如下步骤:  
步骤S1,将初始激光光束分为第一激光光束和第二激光光束;  
步骤S2,调节所述第一激光光束的能量,并将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤上,所述晶体光纤能够被激光激发,输出具有连续光谱的激发光;  
步骤S3,调制所述激发光为红色光斑,调制所述第二激光光束为环形的STED光;  
步骤S4,将所述激发光和所述STED光重叠为同轴光线,并聚焦于荧光样品上;  
步骤S5,通过调节所述第一激光光束的能量,使荧光样品发出荧光;  
步骤S6,采集荧光样品发出的荧光,获得图像。
2. 根据权利要求1所述的受激辐射损耗显微方法,其特征在于,  
步骤S1中,所述初始激光光束通过飞秒激光器获得;并使所述初始激光光束透过偏振分光棱镜,从而获得相互垂直的所述第一激光光束和所述第二激光光束。
3. 根据权利要求1所述的受激辐射损耗显微方法,其特征在于,  
步骤S2中,先将所述第一激光光束的能量降到预设值以下,再将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤上,使晶体光纤发出的激发光透过起偏镜,所述晶体光纤的偏振方向与所述起偏镜的方向一致。
4. 一种受激辐射损耗显微装置,其特征在于,包括:飞秒激光器、偏振分光棱镜、晶体光纤和荧光探测器,飞秒激光器发出的激光透过所述偏振分光棱镜后分为第一激光光束和第二激光光束,所述第一激光光束进入第一光路,所述第二激光光束进入第二光路,所述晶体光纤设在所述第一光路中;所述第一激光光路中设有位于所述晶体光纤之前的第二半波片和第一凸透镜;所述第二光路中设有第三凸透镜和相位板;  
所述第一激光光束依次透过第二半波片和第一凸透镜后,进入所述晶体光纤,激发所述晶体光纤输出激发光;所述第二半波片用于使所述第一激光光束与所述晶体光纤的偏振性一致,所述第一凸透镜用于将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤上;  
所述第二激光光束依次透过所述第三凸透镜和所述相位板后,形成环形的STED光;所述第三凸透镜用于对所述第二激光光束扩束;  
所述激发光和所述STED光经反光镜重叠为同轴光线后进入第三光路,所述第三光路的末端设有载物台;  
所述荧光探测器用于经第四光路探测位于载物台上荧光样品发出的荧光。
5. 根据权利要求4所述的受激辐射损耗显微装置,其特征在于,所述第一光路和/或所述第二光路中还设有光程调节器。
6. 根据权利要求4所述的受激辐射损耗显微装置,其特征在于,所述飞秒激光器和所述偏振分光镜之间设有第一半波片。
7. 根据权利要求4所述的受激辐射损耗显微装置,其特征在于,所述第一光路中,位于所述晶体光纤后方,还依次设有第二凸透镜、第一起偏镜和第三半波片。
8. 根据权利要求4所述的受激辐射损耗显微装置,其特征在于,所述第二光路中设有脉冲拉宽装置,所述脉冲拉宽装置设于所述相位板的前方。
9. 根据权利要求4所述的受激辐射损耗显微装置,其特征在于,所述第二光路中还设有位于所述相位板前方的第二起偏镜。
10. 根据权利要求4所述的受激辐射损耗显微装置,其特征在于,所述第一光路和第四

光路中均设有滤镜。

## 受激辐射损耗显微方法及显微装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及显微成像,特别涉及一种受激辐射损耗显微方法及显微装置。

### 背景技术

[0002] 光学显微镜在生物学领域起着举足轻重的作用,但是由于光的衍射效应,光学成像系统都有一个分辨率极限。1873年,德国物理学家Ernst Abbe提出远场光学显微镜的横向分辨率极限的数值约为 $\lambda/2NA$ ,其中 $\lambda$ 是光波波长,NA为透镜数值孔径且小于1,因此在可见光波段内,远场光学显微镜分辨率极限仅有200纳米。由于细胞的细微结构,调节细胞增殖、分化、凋亡以及信号传递等体系的特征尺度都在纳米量级,所以光学显微镜分辨率的提高就成为一个亟需解决的难题。美国专利公开的专利号为US5731588的受激辐射损耗显微镜(STED)是第一个突破衍射限制的超分辨显微镜,在2006年被Science杂志评选为科学界十大突破之一,其基本原理是使用两束激光,第一束脉冲激发光将荧光材料从基态 $S_0$ 激发到第一单重激发态较高振动能级 $S_1^*$ ,电子会快速弛豫到激发态最低振动能级 $S_1$ ,与此同时,使用另一束波长较长的激光(通常位于发光材料发射光谱的红外末端),称为退激光或STED光,将处于 $S_1$ 态的电子以受激发射损耗方式退激发至基态,并发出一个与STED光波长相同的光子。由于STED光是经过相位调制的中心为零点的甜甜圈形状光斑,因此STED光中心没有退激发效果,通过重叠激发光与退激发光斑,只允许位于STED零点的激发光激发的荧光物质发光,从而提高分辨率。目前,受激发射损耗显微镜应用于生物医学领域所达到的分辨率约为50纳米。

[0003] 通常,受激辐射损耗显微镜的激发光源需要使用皮秒脉冲激光,而STED光则可选用高能量的脉冲激光或连续激光光源。但是,由于各种发光材料的吸收及发射波长差别很大,因此为了能适用于尽可能多的发光材料,理想的受激发射损耗显微镜需要能连续调节激发光和STED光的波长。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术中的缺陷,本发明提供一种高分辨率的受激辐射损耗显微方法及显微装置,能够连续调节STED光的波长。

[0005] 第一方面,本发明提供的受激辐射损耗显微方法,包括如下步骤:

[0006] 步骤S1,将初始激光光束分为第一激光光束和第二激光光束;

[0007] 步骤S2,调节所述第一激光光束的能量,并将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤上,所述晶体光纤能够被激光激发,输出具有连续光谱的激发光;

[0008] 步骤S3,调制所述激发光为红色光斑,调制所述第二激光光束为环形的STED光;

[0009] 步骤S4,将所述激发光和所述STED光重叠为同轴光线,并聚焦于荧光样品上;

[0010] 步骤S5,通过调节所述第一激光光束的能量,使荧光样品发出荧光;

[0011] 步骤S6,采集荧光样品发出的荧光,获得图像。

[0012] 进一步地,步骤S1中,所述初始激光光束通过飞秒激光器获得;并使所述初始激光

光束透过偏振分光棱镜,从而获得相互垂直的所述第一激光光束和所述第二激光光束。

[0013] 进一步地,步骤S2中,先将所述第一激光光束的能量降到预设值以下,再将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤上,使晶体光纤发出的激发光透过起偏镜,所述晶体光纤的偏振方向与所述起偏镜的方向一致。

[0014] 本发明提供的受激辐射损耗显微方法,将初始激光光束分成第一激光光束和第二激光光束,第二激光光束作为STED光源,第一激光光束用来激发晶体光纤,得到能够连续调节光谱的激发光。然后将激发光和STED光重叠后聚焦到待测样品上,采集产生的荧光获得成像。

[0015] 本发明使用的晶体光纤可被激光激发,改变激光的波长,即改变STED光的波长,但并不会对激发光造成太大影响。而且由于STED光和激发光都来源于初始激光光束,因此他们的脉冲频率从本质上是同步的,无需使用额外的电子元件。

[0016] 进入晶体光纤的激光能量会影响激发光的光谱范围,通过调节第一激光束的激光能量,获得具有超连续光谱的激发光,能够使多种荧光样品发光。

[0017] 因此,本发明提供受激辐射损耗显微方法,能够连续调节激发光和STED光的波长,从而适用于多种荧光材料。

[0018] 第二方面,本发明提供的受激辐射损耗显微装置,包括:飞秒激光器、偏振分光棱镜、晶体光纤和荧光探测器,飞秒激光器发出的激光透过所述偏振分光棱镜后分为第一激光光束和第二激光光束,所述第一激光光束进入第一光路,所述第二激光光束进入第二光路,所述晶体光纤设在所述第一光路中;所述第一激光光路中设有位于所述晶体光纤之前的第二半波片和第一凸透镜;所述第二光路中设有第三凸透镜和相位板;

[0019] 所述第一激光光束依次透过第二半波片和第一凸透镜后,进入所述晶体光纤,激发所述晶体光纤输出激发光;所述第二半波片用于使所述第一激光光束与所述晶体光纤的偏振性一致,所述第一凸透镜用于将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤上;

[0020] 所述第二激光光束依次透过所述第三凸透镜和所述相位板后,形成环形的STED光;所述第三凸透镜用于对所述第二激光光束扩束;

[0021] 所述激发光和所述STED光经反光镜重叠为同轴光线后进入第三光路,所述第三光路的末端设有载物台;

[0022] 所述荧光探测器用于经第四光路探测位于载物台上荧光样品发出的荧光。

[0023] 进一步地,所述第一光路和/或所述第二光路中还设有光程调节器。

[0024] 进一步地,所述飞秒激光器和所述偏振分光镜之间设有第一半波片。

[0025] 进一步地,所述第一光路中,位于所述晶体光纤后方,还依次设有第二凸透镜、第一起偏镜和第三半波片。

[0026] 进一步地,所述第二光路中设有脉冲拉宽装置,所述脉冲拉宽装置设于所述相位板的前方。

[0027] 进一步地,所述第二光路中还设有位于所述相位板前方的第二起偏镜。

[0028] 进一步地,所述第一光路和第四光路中均设有滤镜。

[0029] 本发明提供的受激辐射损耗显微装置,包括:飞秒激光器、偏振分光棱镜、晶体光纤和荧光探测器。飞秒激光器发出的激光透过所述偏振分光棱镜后分为第一激光光束和第二激光光束。所述晶体光纤能够被激光激发,改变飞秒激光器发出的激光的波长,即改变

STED光的波长,但并不会对激发光造成太大影响。而且由于STED光和激发光都来源于初始的激光光束,因此他们的脉冲频率从本质上是同步的,无需使用额外的电子元器件。

[0030] 进入晶体光纤的激光能量会影响激发光的光谱范围,通过调节第一激光束的激光能量,获得具有超连续光谱的激发光,能够使多种荧光样品发光。

[0031] 因此,本发明提供的受激辐射损耗显微装置,能够连续调节激发光和STED光的波长,从而适用于多种荧光材料。

### 附图说明

[0032] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。在所有附图中,类似的元件或部分一般由类似的附图标记标识。附图中,各元件或部分并不一定按照实际的比例绘制。

[0033] 图1为实施例一提供的受激辐射损耗显微方法的原理示意图;

[0034] 图2为实施例二提供的受激辐射损耗显微装置的原理示意图;

[0035] 图3为本发明中晶体光纤在不同能量和不同波长激发下的发射光谱图;

[0036] 图4为实施例二提供的受激辐射损耗显微装置的成像示意图;

[0037] 图5为实施例三提供的受激辐射损耗显微装置的原理示意图。

### 具体实施方式

[0038] 下面将结合附图对本发明技术方案的实施例进行详细的描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,因此只作为示例,而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0039] 需要注意的是,除非另有说明,本申请使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属领域技术人员所理解的通常意义。

[0040] 参照图1,实施例一中,本发明提供的受激辐射损耗显微方法,包括如下步骤:

[0041] 步骤S1,将初始激光光束分为第一激光光束和第二激光光束;

[0042] 掺钛蓝宝石激光的能量高,且性能稳定,而且波长在690-1040纳米之间可调,因此作为STED光源,同时,掺钛蓝宝石激光器的脉冲频率为80MHz,数据采集速度快,能够观测快速变化的信号。在本实施例中,通过飞秒掺钛蓝宝石激光器获得初始激光光束,调节输出波长为800纳米(也可选择其他波长);并使所述初始激光光束透过偏振分光棱镜,从而获得相互垂直的所述第一激光光束和所述第二激光光束。

[0043] 步骤S2,调节所述第一激光光束的能量,并将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤上;

[0044] 参照图3,所述晶体光纤能够被飞秒掺钛蓝宝石激光器任一波长的激光激发,输出具有连续光谱的激发光;进入晶体光纤的能量在100毫瓦以上时,能够获得很强的超连续光谱,输出光的能量与激发晶体光纤的波长和强度有关,通常约为0.5mW/nm。

[0045] 为了防止激光能量太大,烧毁晶体光纤,先将所述第一激光光束的能量降到50毫瓦,再将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤上,使晶体光纤发出的激发光透过起偏镜,所述晶体光纤的偏振方向与所述起偏镜的方向一致。

[0046] 步骤S3,调制所述激发光为红色光斑,调制所述第二激光光束为环形的STED光;本

实施例中使用的STED光是飞秒激光,因此为了达到更好的退激发效果,先把脉冲宽度拉宽到200到300皮秒,之后将STED光导入100米长的保偏单模光纤进一步拉宽到300皮秒左右。

[0047] 步骤S4,将所述激发光和所述STED光重叠为同轴光线,并聚焦于荧光样品上;

[0048] 步骤S5,使所述第一激光光束的能量为100毫瓦以上,从而调节激发光的光谱,获得具有超连续光谱的激发光,使荧光样品发出荧光。

[0049] 步骤S6,采集荧光样品发出的荧光,获得图像。

[0050] 本实施例提供的受激辐射损耗显微方法,将初始激光光束分成第一激光光束和第二激光光束,第二激光光束作为STED光源,第一激光光束用来激发晶体光纤,得到能够连续调节光谱的激发光。然后将激发光和STED光重叠后聚焦到待测样品上,采集产生的荧光获得成像。

[0051] 本实施例使用的晶体光纤可被飞秒掺钛蓝宝石激光器任一波长激发,因此改变激光的波长,即改变STED光的波长,但并不会对激发光造成太大影响。而且由于STED光和激发光都来源于初始激光光束,因此他们的脉冲频率从本质上是同步的,无需使用额外的电子元器件。

[0052] 进入晶体光纤的激光能量会影响激发光的光谱范围,通过调节第一激光束的激光能量,获得具有超连续光谱的激发光,能够使多种荧光样品发光。

[0053] 因此,本发明提供受激辐射损耗显微方法,能够连续调节激发光和STED光的波长,从而适用于多种荧光材料。

[0054] 参照图2,实施例二中,本发明提供的受激辐射损耗显微装置,包括:飞秒激光器T、偏振分光棱镜B、晶体光纤C和荧光探测器A,飞秒激光器T发出的激光透过所述偏振分光棱镜B后分为第一激光光束和第二激光光束,所述第一激光光束进入第一光路,所述第二激光光束进入第二光路,所述晶体光纤C设在所述第一光路中;所述第一激光光路中设有位于所述晶体光纤C之前的第二半波片H2和第一凸透镜L1;所述第二光路中设有第三凸透镜L3和相位板PP;

[0055] 所述第一激光光束依次透过第二半波片H2和第一凸透镜L1后,进入所述晶体光纤C,激发所述晶体光纤C输出激发光;所述第二半波片H2用于使所述第一激光光束与所述晶体光纤C的偏振性一致,所述第一凸透镜L1用于将所述第一激光光束聚焦在晶体光纤C上;

[0056] 所述第二激光光束依次透过所述第三凸透镜L3和所述相位板PP后,形成环形的STED光;所述第三凸透镜L3用于对所述第二激光光束扩束;

[0057] 所述激发光和所述STED光经反光镜重叠为同轴光线后进入第三光路,所述第三光路的末端设有载物台;

[0058] 所述荧光探测器A用于经第四光路探测位于载物台上荧光样品发出的荧光。

[0059] 其中,飞秒激光器T为飞秒掺钛蓝宝石激光器,所述晶体光纤C可以在飞秒掺钛蓝宝石激光器发射光谱范围内连续激发,当激发光能量较小时,发射光谱范围较窄,但是当激发光能量大于100毫瓦时可产生超连续光谱。

[0060] 飞秒激光器T发出的激光透过所述偏振分光棱镜B后分为第一激光光束和第二激光光束。所述晶体光纤C能够被任意波长的激光激发,因此改变飞秒激光器T发出的激光的波长,即改变STED光的波长,但并不会对激发光造成太大影响。而且由于STED光和激发光都来源于初始的激光光束,因此他们的脉冲频率从本质上是同步的,无需使用额外的电子元

器件。

[0061] 进入晶体光纤C的激光能量会影响激发光的光谱范围,通过调节第一激光束的激光能量,获得具有超连续光谱的激发光,能够使多种荧光样品发光。

[0062] 因此,本发明提供的受激辐射损耗显微装置,能够连续调节激发光和STED光的波长,从而适用于多种荧光材料。

[0063] 进一步地,所述第一光路和/或所述第二光路中还设有光程调节器。

[0064] 进一步地,所述飞秒激光器T和所述偏振分光棱镜B之间设有第一半波片H1,用于调节初始激光光束进入分光棱镜的能量。

[0065] 进一步地,所述第一光路中,位于所述晶体光纤C后方,还依次设有第二凸透镜L2、第一起偏镜P1和第三半波片H3。从晶体光纤C出来的激发光是发散光谱,经过第二凸透镜L2变为平行光,然后进过滤镜F1、反射镜M2和双色镜D1后与经凸透镜L3扩束和相位板PP调控的STED光重叠为同轴光线。然后通过D2将激发光和STED光发射到物镜O,聚焦于样品上。

[0066] 进一步地,所述第二光路中设有脉冲拉宽装置,所述脉冲拉宽装置设于所述相位板PP的前方。本实施例中使用的STED光是飞秒激光,因此为了达到更好的退激发效果,需要把脉冲宽度拉宽到200到300皮秒。本实施例中,脉冲拉宽装置使用30厘米长的高折射率玻璃棒G和100米长的保偏单模光纤R,高折射率玻璃棒G将脉冲宽度先拉宽到皮秒级,之后将STED光导入100米长的保偏单模光纤R进一步拉宽到300皮秒左右。

[0067] 进一步地,所述第二光路中还设有位于所述相位板PP前方的第二起偏镜P2。

[0068] 其中,所述第一光路中设有第一滤镜F1和第一四分之一波片Q1,第二光路设有第二滤镜F2和第二四分之一波片Q2,第三光路中设置有第四半波片H4。

[0069] 本实施例提供的受激辐射损耗显微装置的工作原理如下:从飞秒掺钛蓝宝石激光器T中出来的激光被偏振分光棱镜B分为相互垂直的第一激光光束和第二激光光束,两束光的能量可由第一半波片H1来调控。第一激光光束通过第一反射镜M1和第一凸透镜L1聚焦到晶体光纤C的中心,然后通过调节第二半波片H2来调整第一激光光束的偏振性使其与晶体光纤C的偏振性一致,仔细调节偏振分光棱镜B、第一反射镜M1和第二半波片H2的角度以及第一凸透镜L1的位置得到超连续发射光谱作为本实施例的激发光。

[0070] 为了避免高能量脉冲激光在晶体光纤C内产生非线性效应,需将第二激光光束先通过高折射率脉冲拉宽玻璃棒G拉宽脉冲后,再导入100米的单模保偏光纤SF,得到脉冲宽度约为300皮秒的激光作为STED光。

[0071] 从晶体光纤C出来的超连续光谱是发散光谱,经过第二透镜L2变为平行光,然后经过第一滤镜F1、第二反射镜M2和第一双色镜D1后与经第三凸透镜L3扩束和相位板PP调控的STED光重叠为同轴光线;然后通过第二双色镜D2将激发光和STED光发射到物镜O,聚焦于荧光样品上。

[0072] 荧光样品发出的荧光经过物镜O后变为平行光,通过第二滤镜Q2和第二双色镜D2后,由第三反光镜M3反射和第四凸透镜L4聚焦,导入多模光纤MF,本实施例中,多模光纤MF的直径为50微米,相当于共聚焦显微镜中的光孔,可以分离背景光或非焦点位置发出的荧光。最后得到的荧光由光子探测器A采集。

[0073] 通过选择合适的第一滤镜F1、第二滤镜F2、第一双色镜D1和第二双色镜D2,即可实



现激发光和STED光波长连续可调。

[0074] 本实施例中,激发光的偏振性通过第一起偏镜P1、第三半波片H3和第一四分之一玻片Q1调节,可使用线偏振光或圆偏振光来激发样品。为了更好的实现相位板PP相位调控STED光,则需要使用第二起偏镜P2、第四半波片H4和第二四分之一玻片Q2调节为圆偏振光。

[0075] 激发光和STED光为频率的80MHz脉冲激光,为了使激发光和STED脉冲同时到达样品,设置光程调节轨道R来调节两束光的光程差。光程调节轨道R可以放置在STED光路上也可以放置于激发光光路上,本实施例中,设置在第二光路中。由于激光在光纤中的传播速度约为20cm/ns,在空气中的传播速度为30cm/ns,因此可以通过改变光纤的长度或激光在空气中的光程来使激发光和STED光脉冲同时到达样品。

[0076] 图4为本实施例受激辐射损耗显微装置的成像示意图,其中左图为传统的共聚焦显微镜测试图,右图为本实施例提供的受激辐射损耗显微装置的测试图。采用本实施例提供的受激辐射损耗显微装置,其中第一滤镜F1为633/10窄带滤光镜,第一双色镜D1为650SPXR双色镜,第二双色镜D2为750SP,第二滤镜F2为680/70宽带滤光镜,STED波长选为770纳米,样品使用大小为20纳米的荧光颗粒。在STED光能量为240毫瓦时,分辨率可达到53纳米。图中标尺为1微米。

[0077] 本发明无需使用额外的激光即可实现双色或多色受激发射损耗显微术。如图5所示,实施例三中,从晶体光纤C中出来的超连续光谱先用第三双色镜D3分为两个波段的光谱,分别进入第一子光路和第二子光路,然后再分别使用第一子光路中设置的第一滤镜F1和第二子光路中设置的第三滤镜F3选取合适的激发波长。第二子光路中的激发光经第二反射镜M2和第四双色镜D4反射后,与第一子光路中的激发光和第二光路中的STED光重叠成同轴光束,它的偏振性可由第三起偏镜P3、第五半波片H5和第三四分之一玻片Q3调节。样品的荧光穿过第二四分之一玻片Q2、第二双色镜D2和第四双色镜D4,由第三反射镜M3发射到第五双色镜D5上,D5可将按不同的激发类别,将荧光分为两部分一部分经第二滤镜F2、第四凸透镜L4、第一多模光纤MF1后,由第一探测器A1采集,另一部分经第四滤镜F4、第五凸透镜L5、第二多模光纤MF2后,由第二探测器A2采集。

[0078] 对于不同的发光材料可以通过选择合适的双色镜和滤镜来达到最佳效果。

[0079] 在本申请的描述中,需要理解的是,术语“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0080] 此外,术语“第一”、“第二”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。在本发明的描述中,“多个”的含义是两个以上,除非另有明确具体的限定。

[0081] 本发明的说明书中,说明了大量具体细节。然而,能够理解,本发明的实施例可以在没有这些具体细节的情况下实践。在一些实例中,并未详细示出公知的方法、结构和技术,以便不模糊对本说明书的理解。

[0082] 在本说明书的描述中,具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0083] 最后应说明的是：以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围，其均应涵盖在本发明的权利要求和说明书的范围当中。

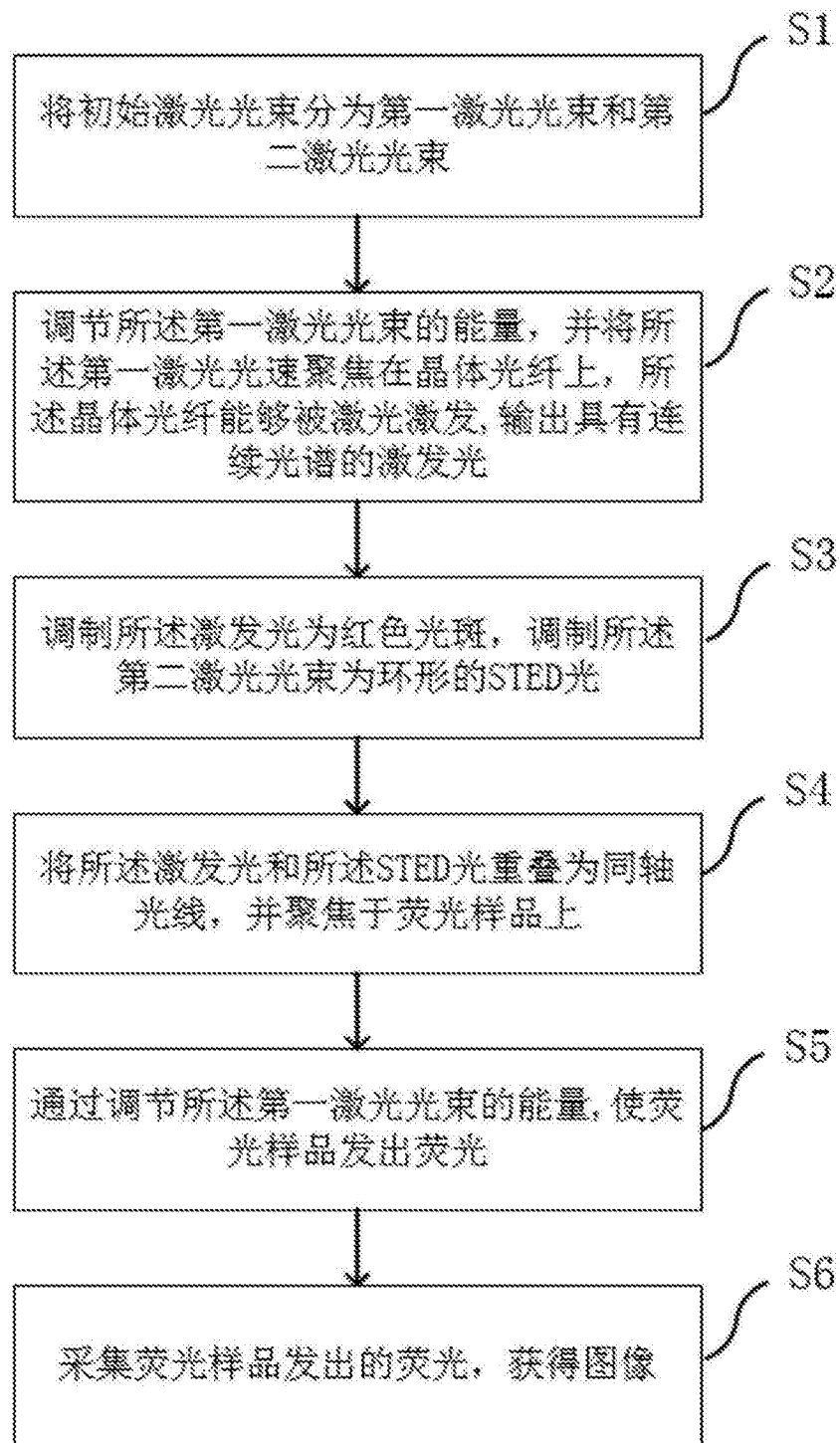


图1

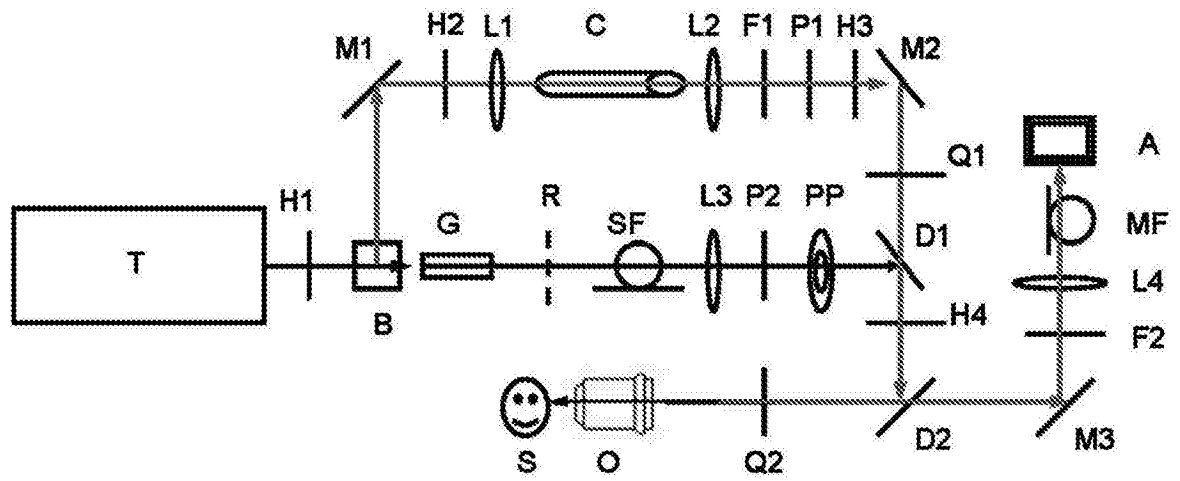


图2

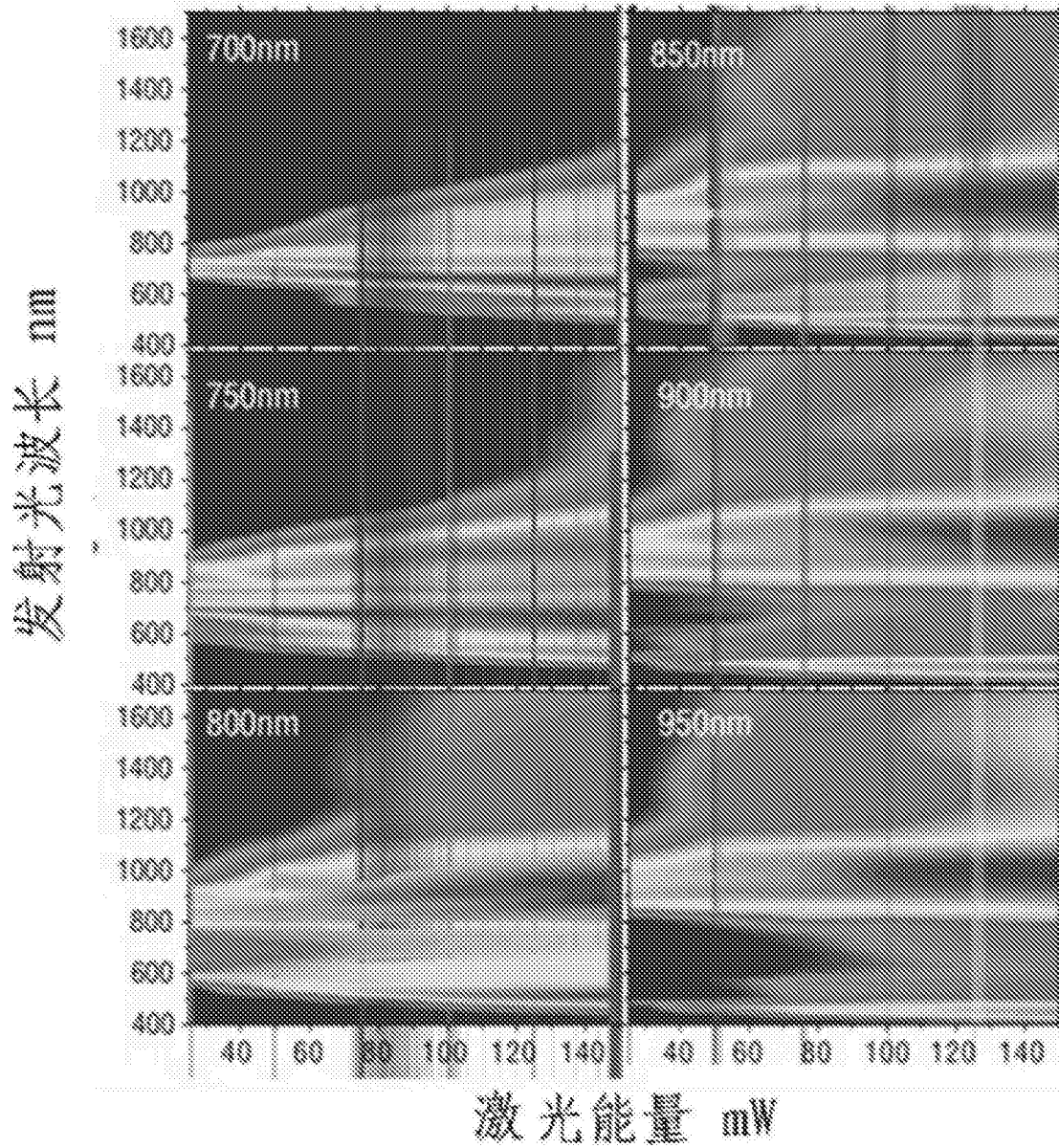


图3

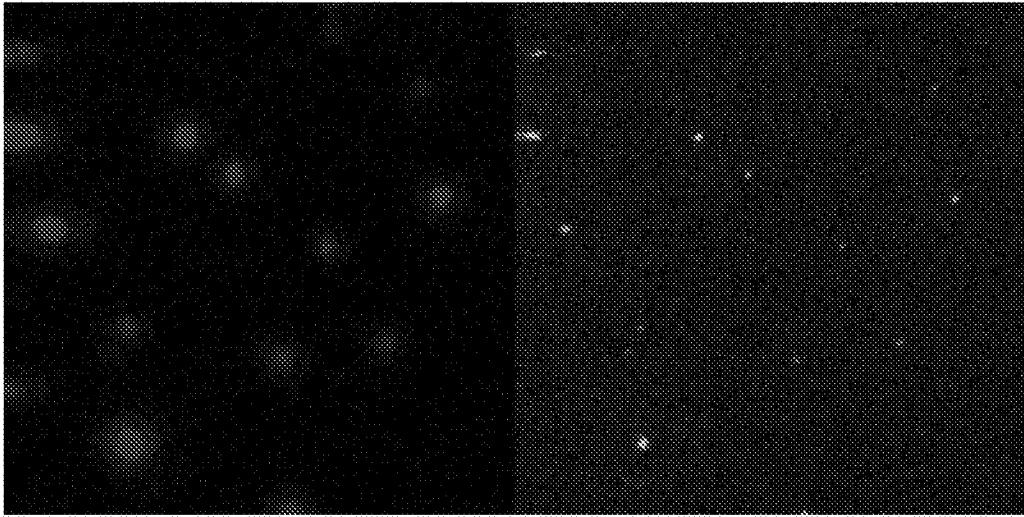


图4

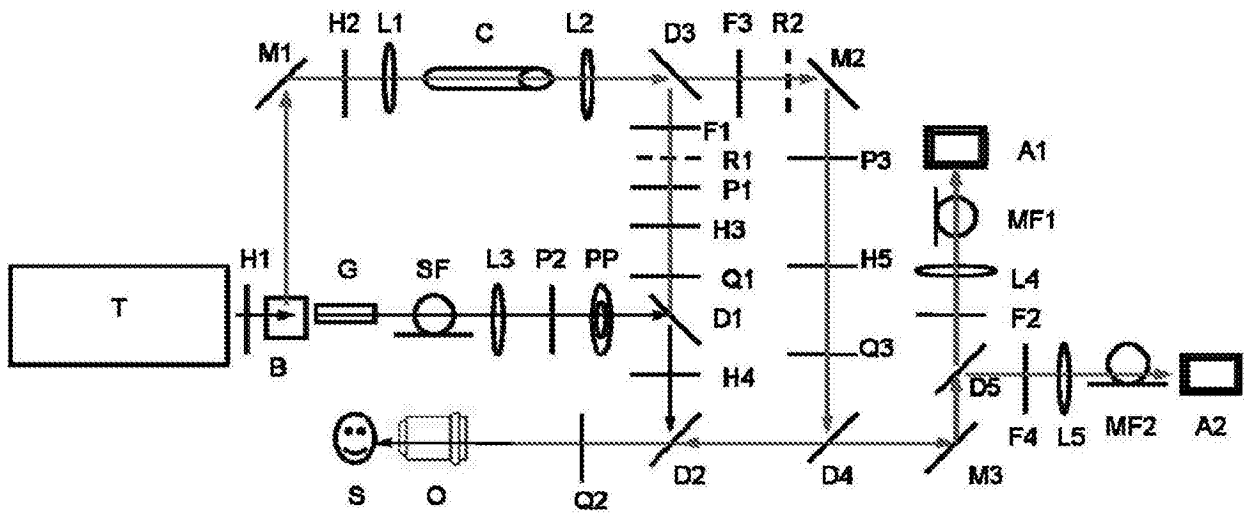


图5