



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111982864 B

(45) 授权公告日 2021.08.24

(21) 申请号 201910438390.3

审查员 吴珊珊

(22) 申请日 2019.05.24

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111982864 A

(43) 申请公布日 2020.11.24

(73) 专利权人 南京工业大学

地址 210009 江苏省南京市新模范马路5号

(72) 发明人 王建浦 邹伟

(74) 专利代理机构 北京恒创益佳知识产权代理

事务所(普通合伙) 11556

代理人 付金豹

(51) Int. Cl.

G01N 21/63 (2006.01)

G01N 21/64 (2006.01)

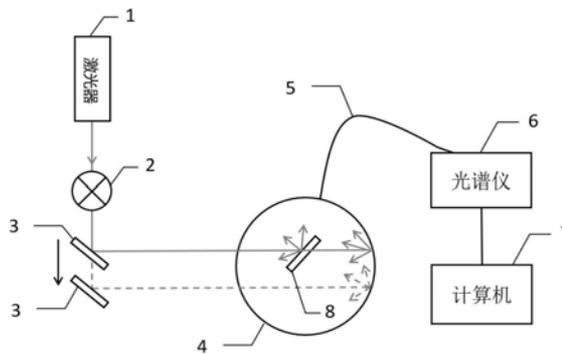
权利要求书3页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法

(57) 摘要

本发明公开了一种激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,该方法包括以下步骤:步骤一:测量单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率;步骤二:获得不同光强下的相对光致发光量子效率;步骤三:将步骤一中固定激发强度的绝对量子效率数值  $\eta$  与步骤二获得的相对光致发光量子效率比对,找到该激发强度下的相对光致发光量子效率  $R(x)$  并进行替换,其它激发强度下的相对光致发光量子效率也按该比例放大或缩小。本发明首先利用积分球测试系统测量单一固定激发强度的绝对PLQE,再与锁相测量系统获得的不同激发光强下的相对光致发光量子效率相互校准,能够快速并准确地测得材料在不同激发光强条件下的绝对光致发光量子效率。



1. 一种激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:步骤一:测量单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率,步骤二:获得不同光强下的相对光致发光量子效率;步骤三:将步骤一中固定激发强度的绝对量子效率数值 $\eta$ 与步骤二获得的相对光致发光量子效率比对,找到该激发强度下的相对光致发光量子效率 $R(x)$ 并进行替换,计算得到步骤一中单一固定激发强度的绝对量子效率数值 $\eta$ 和步骤二中同样激发强度的相对光致发光量子效率的比值;其它激发强度下的相对光致发光量子效率也按该比值放大或缩小,以此获得不同光强下的绝对光致发光量子效率。

2. 根据权利要求1所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,所述步骤一采用基于积分球探测系统实现的单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率测量,基于积分球探测系统包括激光器(1)、斩波器(2)、可移动反射镜(3)、积分球(4)、光纤(5)、光谱仪(6)和计算机(7),所述激光器(1)作为激发光源经过斩波器(2)对激光进行调制后,通过反射镜(3)进入积分球(4),经过积分球内壁漫反射后由出口经光纤(5)耦合进入光谱仪(6)内,光谱仪(6)信号输出端与计算机(7)输入端连接。

3. 根据权利要求2所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,所述单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率测量具体过程为:

第一步,首先测量暗噪声光谱,然后将标准灯置于积分球内部测量光谱,扣除暗光谱后获得标准灯光谱,与标准灯绝对光谱比对获得测试系统响应函数,取出标准灯;

第二步,将激光器发出的激光使用斩波器调制后通过反射镜入射到积分球内,获得无样品激光光谱;

第三步,将样品置于积分球内,使入射激光偏离样品,获得偏离样品条件下的激光和样品荧光光谱;

第四步,调整可移动反射镜,使入射激光直射样品,获得直射样品条件下的激光和样品荧光光谱,第二至第四步中获得光谱均已扣除暗噪声光谱;

第五步,使用光强计测量直射样品的激光功率和激光光斑大小,测得光功率与光斑面积比值即为该测试条件下的激发光功率密度;

第六步,使用第一步的系统响应函数,对第二至第四步获得的光谱进行校正,并利用公式将校准后的光谱转化成光子数:

$$N(\lambda) = \frac{\lambda}{hc} P(\lambda)$$

其中, $P(\lambda)$ 为校准后的绝对光谱,且校准后的绝对光谱为测量光谱与系统响应函数乘积, $\lambda$ 表示波长, $h$ 为普朗克常量, $c$ 表示光速;

第七步,按照第六步所述步骤,对第二至第四步的光子数分布光谱进行积分,获得激光的光子数 $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$ 和荧光光子数 $P_b$ 、 $P_c$ ,其中 $L_a$ 表示第二步无样品时激光光子数, $L_b$ 表示第三步偏离样品时激光光子数, $L_c$ 表示第四步直射样品时激光光子数, $P_b$ 表示第三步偏离样品时样品发射的荧光光子数, $P_c$ 表示第四步直射样品时样品发射的荧光光子数;

$$\eta = \frac{P_c - (1 - A)P_b}{L_a A}$$

第八步,将 $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$ 和 $P_b$ 、 $P_c$ 代入公式后获得绝对量子效率 $\eta$ ,其中 $A = 1 - L_c/L_b$ , $A$ 表示吸收

率。

4. 根据权利要求1所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,所述步骤二基于锁相探测系统实现,锁相探测系统包括激光器(1)、斩波器(2)、梯度衰减片(9)、分束器(10)、透镜(11)、短通滤光片(12)、探测器A(13)、长通滤光片(16)、探测器B(17)、锁相放大器(14)、数字源表(15)和计算机(7);经由斩波器(2)对激光进行调制并将调制信号作为参考信号输入进锁相放大器(14)中,激发光经由梯度衰减片(9)实现激发光强可调,再经由分束器(10)将激光一分为二:一束经过短通滤光片(12)后由探测器A(13)接收并由数字源表(15)读取作为实时激发光强信号;另一束由透镜(11)聚焦到样品(8)表面,通过透镜(11)、长通滤光片(16)和探测器B(17)收集发射光信号进入锁相放大器(14)中;锁相放大器(14)将输入信号与斩波器调制信号分析处理,滤除噪声信号后将真实发光强度信号输入计算机中。

5. 根据权利要求4所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,所述不同光强下的相对光致发光量子效率获得的具体过程为:

第一步,开启斩波器,在不开启激光器的条件下测量探测器A(13)和探测器B(17)的暗噪声,分别由数字源表和锁相放大器读取;

第二步,将激发光源发出的激光照射在样品上,分别使用数字源表和锁相放大器获取激光强度和样品荧光强度,此处获得的激光强度与样品荧光强度均已扣除第一步中的暗噪声信号;

第三步,利用光强计和标尺测量最大激光功率值和激光光斑大小,二者之比即得最大激发光强的功率密度 $P_{\max}$ ,且 $P_{\max}$ 与 $I_e$ 最大值之比即为校准系数 $\gamma$ ;

第四步,通过调整渐变衰减片,以此改变激发光强,获得不同光强下的激光强度 $I_e$ 和样品荧光强度 $I_s$ ,其对应的比值 $R=I_s/I_e$ 即为相对光致发光量子效率,由此得到不同光强下的相对光致发光量子效率变化趋势;与步骤一的测试条件相对应,在此激发光强 $I_e$ 应被校准成真实激发强度,真实激发强度为 $I_e$ 与校准系数 $\gamma$ 的乘积。

6. 根据权利要求2所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,积分球探测系统中所述光谱仪分辨率为0.79nm,范围是250nm-1100nm。

7. 根据权利要求2或4所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,所述斩波器频率应高于200Hz,且不等于市电频率的倍数。

8. 根据权利要求4所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,所述梯度衰减片为中心密度滤光片,光密度范围为0.04-4.0。

9. 根据权利要求4所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,所述激光器为375nm时,短通滤光片(12)为400nm的长波截止滤光片,长通滤光片(16)为400nm的短波截止滤光片。

10. 根据权利要求2所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,其特征在于,所述激发光源为445nm时,短通滤光片(12)为500nm的长波截止滤光片,长通滤光片(16)为500nm的短波截止滤光片。

11. 根据权利要求4所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,将所述探测系统中斩波器(2)移除,并将锁相放大器(14)替换成数字源表B(18),适用于步骤二中样品发光较强或者不需要过低激发强度测试的情况。

12. 根据权利要求4所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,所述探测系统中锁相放大器(14)和探测器B(17)替换成光谱仪(6)。

## 一种激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电致发光材料技术领域,尤其涉及的是一种激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法。

### 背景技术

[0002] 随着现今显示技术的快速发展,用于电致发光的新型材料被广泛研究。无论是无机量子点、有机半导体还是有机-无机杂化钙钛矿等半导体材料,其发光性能优劣都可以使用光致发光量子效率(PLQE)来衡量。目前,一般采用积分球和光谱仪结合的量子效率测试技术来对此进行性能评价。但是,研究者在测试中发现,单一激发强度条件下的量子效率对实际应用的参考意义有限,这是因为材料内部的非辐射复合和辐射复合与载流子浓度相互依赖,而载流子浓度又与激发强度密切相关,造成其发光效率在不同激发强度下具有不同的数值。在电致发光应用中,稳态电致激发载流子浓度具有不确定性,为了全面反映发光材料特性,激发光强相关的绝对光致发光量子效率(PLQE)测试十分必要。

[0003] 现有的绝对光致发光量子效率(PLQE)测试技术仅针对单一激发强度条件进行测量,对实际应用的参考意义有限。这是因为对于大部分发光材料,其绝对PLQE在不同激发强度下具有不同的数值。作为衡量材料电致发光应用前景的一个重要的参数,应面向各种电致激发条件,客观体现材料的本征发光性质,从而全面指导器件制备。

[0004] 在此基础上,利用现有技术测量不同激发强度下的绝对PLQE也受到诸多限制:1)为保证测试的准确性,当前技术使用的积分球探测系统需要在单一光强下获取多次光谱,进而改变光强重复测试,测试时间会大幅度增加;2)测试效率低下对于空气稳定性和光稳定性较差的材料极为不利,易造成测试结果的不准确性;3)受限于光谱仪噪声影响,加之积分球的匀化作用,该方法无法探测样品的极弱发光信号,该信号对应的PLQE极为重要,可反映样品的缺陷态特性,故无法对激发光强相关的绝对光致发光量子效率进行准确测量。

[0005] 因此,现有技术存在缺陷,需要改进。

### 发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是针对现有技术的不足提供一种激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法。

[0007] 本发明的技术方案如下:

[0008] 一种激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,该方法包括以下步骤:步骤一:测量单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率,步骤二:获得不同光强下的相对光致发光量子效率;步骤三:将步骤一中固定激发强度的绝对量子效率数值 $\eta$ 与步骤二或的的相对光致发光量子效率比对,找到该激发强度下的相对光致发光量子效率 $R(x)$ 并进行替换,其它激发强度下的相对光致发光量子效率也按该比例放大或缩小,以此获得不同光强下的绝对光致发光量子效率。

[0009] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,所述步骤一采用基于积

分球探测系统实现的单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率测量,基于积分球探测系统包括激光器(1)、斩波器(2)、可移动反射镜(3)、积分球(4)、光纤(5)、光谱仪(6)和计算机(7),所述激光器(1)作为激发光源经过斩波器(2)对激光进行调制后,通过反射镜(3)进入积分球(4),经过积分球内壁漫反射后由出口经光纤(5)耦合进入光谱仪(6)内,光谱仪(6)信号输出端与计算机(7)输入端连接。

[0010] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,所述单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率测量具体过程为:

[0011] 第一步,首先测量暗噪声光谱,然后将标准灯置于积分球内部测量光谱,扣除暗光谱后获得标准灯光谱,与标准灯绝对光谱比对获得测试系统响应函数,取出标准灯;

[0012] 第二步,将激光器发出的激光使用斩波器调制后通过反射镜入射到积分球内,获得无样品激光光谱;

[0013] 第三步,将样品置于积分球内,使入射激光偏离样品,获得偏离样品条件下的激光和样品荧光光谱;

[0014] 第四步,调整可移动反射镜,使入射激光直射样品,获得直射样品条件下的激光和样品荧光光谱,第二至第四步中获得光谱均已扣除暗噪声光谱;

[0015] 第五步,使用光强计测量直射样品的激光功率和激光光斑大小,测得光功率与光斑面积比值即为该测试条件下的激发光功率密度;

[0016] 第六步,使用第一步的系统响应函数,对第二至第四步获得的光谱进行校正,并利用公式将校准后的光谱转化成光子数:

$$[0017] \quad N(\lambda) = \frac{\lambda}{hc} P(\lambda)$$

[0018] 其中, $P(\lambda)$ 为校准后的绝对光谱,且校准后的绝对光谱为测量光谱与系统响应函数乘积, $\lambda$ 表示波长, $h$ 为普朗克常量, $c$ 表示光速;

[0019] 第七步,按照第六步所述步骤,对第二至第四步的光子数分布光谱进行积分,获得激光的光子数 $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$ 和荧光光子数 $P_b$ 、 $P_c$ ,其中 $L_a$ 表示第二步无样品时激光光子数, $L_b$ 表示第三步偏离样品时激光光子数, $L_c$ 表示第四步直射样品时激光光子数, $P_b$ 表示第三步偏离样品时样品发射的荧光光子数, $P_c$ 表示第四步直射样品时样品发射的荧光光子数;

$$[0020] \quad \eta = \frac{P_c - (1 - A)P_b}{L_a A}$$

[0021] 第八步,将 $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$ 和 $P_b$ 、 $P_c$ 代入公式后获得绝对量子效率 $\eta$ ,其中 $A = 1 - L_c/L_b$ , $A$ 表示吸收率。

[0022] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,所述步骤二基于锁相探测系统实现,锁相探测系统包括激光器(1)、斩波器(2)、梯度衰减片(9)、分束器(10)、透镜(11)、短通滤光片(12)、探测器A(13)、长通滤光片(16)、探测器B(17)、锁相放大器(14)、数字源表(15)和计算机(7);经由斩波器(2)对激光进行调制并将调制信号作为参考信号输入进锁相放大器(14)中,激发光经由梯度衰减片(9)实现激发光强可调,再经由分束器(10)将激光一分为二:一束经过短通滤光片(12)后由探测器A(13)接收并由数字源表(15)读取作为实时激发光强信号;另一束由透镜(11)聚焦到样品(8)表面,通过透镜(11)、长通滤光片(16)和探测器B(17)收集发射光信号进入锁相放大器(14)中;锁相放大器(14)将输入信号

与斩波器调制信号分析处理,滤除噪声信号后将真实发光强度信号输入计算机中。

[0023] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,所述不同光强下的相对光致发光量子效率获得的具体过程为:

[0024] 第一步,开启斩波器,在不开启激光器的条件下测量探测器A (13) 和探测器B (17) 的暗噪声,分别由数字源表和锁相放大器读取;

[0025] 第二步,将激发光源发出的激光照射在样品上,分别使用数字源表和锁相放大器获取激光强度和样品荧光强度,此处获得的激光强度与样品荧光强度均已扣除第一步中的暗噪声信号;

[0026] 第三步,利用光强计和标尺测量最大激光功率值和激光光斑大小,二者之比即得最大激发光强的功率密度 $P_{\max}$ ,且 $P_{\max}$ 与 $I_e$ 最大值之比即为校准系数 $\gamma$ ;

[0027] 第四步,通过调整渐变衰减片,以此改变激发光强,获得不同光强下的激光强度 $I_e$ 和样品荧光强度 $I_s$ ,其对应的比值 $R=I_s/I_e$ 即为相对光致发光量子效率,由此得到不同光强下的相对光致发光量子效率变化趋势;为与步骤一的测试条件相对应,在此激发光强 $I_e$ 应被校准成真实激发强度,真实激发强度为 $I_e$ 与校准系数 $\gamma$ 的乘积。

[0028] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,积分球探测系统中所述光谱仪分辨率为0.79nm,范围是250nm-1100nm。

[0029] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,所述斩波器频率应高于200Hz,且不等于市电频率的倍数。

[0030] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,所述梯度衰减片为中心密度滤光片,光密度范围为0.04-4.0。

[0031] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,所述激光器为375nm时,短通滤光片(12)为400nm的长波截止滤光片,长通滤光片(16)为400nm的短波截止滤光片。

[0032] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,所述激发光源为445nm时,短通滤光片(12)为500nm的长波截止滤光片,长通滤光片(16)为500nm的短波截止滤光片。

[0033] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量,所述测试系统中斩波器(2)可移除,并将锁相放大器(14)替换成数字源表B(18),该方案适用于步骤二中样品发光较强或者不需要过低激发强度测试的实施例中。

[0034] 所述的激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量,所述测试系统中锁相放大器(14)和探测器B(17)可替换成光谱仪(6)。

[0035] 本发明首先利用积分球测试系统测量单一固定激发强度的绝对PLQE,再与锁相测量系统获得的不同激发光强下的相对光致发光量子效率相互校准,能够快速并准确地测得材料在不同激发光强条件下的绝对光致发光量子效率。

## 附图说明

[0036] 图1为本发明实施例1的步骤一实验装置图;

[0037] 图2为本发明实施例1的步骤一测量的F8BT有机发光材料的绝对光子数分布光谱图;

[0038] 图3为本发明实施例1的步骤二实验装置图;

- [0039] 图4为本发明实施例1的F8BT的不同光强下的绝对光致发光量子效率变化趋势；  
 [0040] 图5为本发明步骤二的又一实验装置图；  
 [0041] 图6为本发明步骤二的又一实验装置图；  
 [0042] 图7为本发明步骤二的又一实验装置图；  
 [0043] 图8为本发明步骤二的又一实验装置图；  
 [0044] 图9为本发明步骤二的又一实验装置图；

### 具体实施方式

[0045] 以下结合具体实施例,对本发明进行详细说明。

[0046] 本发明是为了解决现有量子效率测量方法无法适用于发光较弱的样品测试,只能评价单一固定激发强度量子效率,导致在测量多个激发强度过程中工作效率低下、测量准确度低且不利于空气、光稳定性差的样品测试的问题,本发明提供了一种激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法。

[0047] 实施例1

[0048] 一种激发光强相关的绝对光致发光量子效率测量方法,该方法利用样品在单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率和不同激发强度下的相对光致发光量子效率相互校准获得。因此该方法分为以下步骤一至三进行测试:

[0049] 步骤一:单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率测量

[0050] 该测试是基于积分球探测系统实现,参考图1,包括激光器1、斩波器2、可移动反射镜3、积分球4、光纤5、光谱仪6和计算机7。如图1所示,所述激光器1作为激发光源通过反射镜3进入积分球4,所示实线光束代表激发光直射样品8,虚线光束表示激发光偏离样品8,经过积分球内壁漫反射后由出口经光纤5耦合进入光谱仪6内,光谱仪信号输出端与计算机7输入端连接。

[0051] 所述单一固定激发强度的绝对光致发光量子效率测量具体过程为:

[0052] 第一步校准,首先测量暗噪声光谱,然后将标准灯置于积分球内部测量光谱,扣除暗光谱后获得标准灯光谱,与标准灯绝对光谱比对获得测试系统响应函数,取出标准灯;

[0053] 第二步,将激光器1发出的激光使用斩波器2调制后通过反射镜3入射到积分球4内,获得无样品激光光谱;

[0054] 第三步,将样品8置于积分球内,使入射激光偏离样品8,获得偏离样品条件下的激光和样品荧光光谱;

[0055] 第四步,调整可移动反射镜,使入射激光直射样品8,获得直射样品条件下的激光和样品荧光光谱,如图2所示,第二至第四步中获得光谱均已扣除暗噪声光谱;

[0056] 第五步,使用光强计测量直射样品的激光功率和激光光斑大小,测得光功率与光斑面积比值即为该测试条件下的激发光功率密度;

[0057] 第六步,使用第一步的系统响应函数,对第二至第四步获得的光谱进行校正,并利用公式将校准后的光谱转化成光子数

$$[0058] \quad N(\lambda) = \frac{\lambda}{hc} P(\lambda)$$

[0059] 其中,P( $\lambda$ )为校准后的绝对光谱,且校准后的绝对光谱为测量光谱与系统响应函

数乘积,  $\lambda$ 表示波长,  $h$ 为普朗克常量,  $c$ 表示光速;

[0060] 第七步,按照第六步所述步骤,对第二至第四步的光子数分布光谱进行积分,获得激光的光子数 $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$ 和荧光光子数 $P_b$ 、 $P_c$ ,其中 $L_a$ 表示第二步无样品时激光光子数, $L_b$ 表示第三步偏离样品时激光光子数, $L_c$ 表示第四步直射样品时激光光子数, $P_b$ 表示第三步偏离样品时样品发射的荧光光子数, $P_c$ 表示第四步直射样品时样品发射的荧光光子数;

$$[0061] \quad \eta = \frac{P_c - (1 - A)P_b}{L_a A}$$

[0062] 第八步,将 $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$ 和 $P_b$ 、 $P_c$ 代入公式

[0063] 获得绝对量子效率 $\eta$ ,其中 $A = 1 - L_c/L_b$ , $A$ 表示吸收率。

[0064] 步骤二:获得不同光强下的相对光致发光量子效率

[0065] 该测试是基于锁相探测系统实现,包括激光器1、斩波器2、梯度衰减片9、分束器10、透镜11、短通滤光片12、探测器A13、长通滤光片16、探测器B17、锁相放大器14、数字源表15和计算机7。所述激光器1与步骤一中保持一致,经由斩波器2对激光进行调制并将调制信号作为参考信号输入进锁相放大器14中,激发光经由梯度衰减片9实现激发光强可调,再经由分束器10将激光一分为二:一束经过短通滤光片12后由探测器A13接收并由数字源表15读取作为实时激发光强信号;另一束由透镜11聚焦到样品8表面,通过透镜11、长通滤光片16和探测器B17收集发射光信号进入锁相放大器14中。锁相放大器14将输入信号与斩波器调制信号进行相乘、滤波、放大等操作处理,滤除噪声信号后将真实发光强度信号输入计算机中,如图3所示。在此测试系统中探测器已作过线性校正,即光电探测器电信号与检测光信号强度呈线性关系。

[0066] 所述不同光强下的相对光致发光量子效率获得的具体过程为:

[0067] 第一步,开启斩波器,在不开启激光器的条件下测量探测器A和B的暗噪声,分别由数字源表和锁相放大器读取。

[0068] 第二步,将激发光源发出的激光照射在样品上,分别使用数字源表和锁相放大器获取激光强度和样品荧光强度,在此获得的激光强度与样品荧光强度均已扣除第一步中的暗噪声信号;

[0069] 第三步,利用光强计和标尺测量最大激光功率值和激光光斑大小,二者之比即得最大激发光强的功率密度 $P_{max}$ ,且 $P_{max}$ 与 $I_e$ 最大值之比即为校准系数 $\gamma$ ;

[0070] 第四步,通过手动(电动)调整渐变衰减片,以此改变激发光强,获得不同光强下的激光强度 $I_e$ 和样品荧光强度 $I_s$ ,其对应的比值 $R = I_s/I_e$ 即为相对光致发光量子效率,由此得到不同光强下的相对光致发光量子效率(进步一可以得到其变化趋势)。为与步骤一的测试条件相对应,在此激发光强 $I_e$ 应被校准成真实激发强度,真实激发强度为 $I_e$ 与校准系数 $\gamma$ 的乘积;

[0071] 步骤三:将步骤一中固定激发强度的绝对量子效率数值 $\eta$ 与步骤二第四步中的相对光致发光量子效率比对,找到该激发强度下的相对光致发光量子效率 $R(x)$ 并进行替换,其它激发强度下的相对光致发光量子效率也按该比例放大或缩小,以此获得不同光强下的绝对光致发光量子效率,并可以进步一获得其变化趋势,如图4所示。参见图4说明本步骤实施方式,假设步骤一中的激发光强密度为 $1.5\text{mW}/\text{cm}^2$ ,获得的该强度下的绝对光致发光量子效率为86%,则在图4中寻找激发光强度为 $1.5\text{mW}/\text{cm}^2$ 的下的相对光致发光量子效率 $R$ 并进

行替换,则相对于绝对光致发光量子效率的86%,原始数据的相对光致发光量子效率R相当于放大了 $0.86R^{-1}$ 倍,故将其它激发强度下的相对光致发光量子效率也按照该比例放大或缩小,即其它激发强度下的绝对光致发光量子效率为相对光致发光量子效率与 $0.86R^{-1}$ 乘积。

[0072] 实施例2

[0073] 本发明中,图3的锁相探测系统中斩波器2位置不局限于激光器1出光口位置,其可以位于激光器1到样品8之间光路的任何位置,如图5所示。

[0074] 实施例3

[0075] 本发明中,图3的锁相探测系统中斩波器2位置不局限于激光器1出光口位置,其可以位于激光器1到样品8之间光路的任何位置,如图6所示。

[0076] 实施例4

[0077] 本发明中,图3的锁相探测系统中斩波器2位置不局限于激光器1出光口位置,其可以位于激光器1到样品8之间光路的任何位置,如图7所示。

[0078] 实施例5

[0079] 本发明中,图3的锁相探测系统中锁相放大器14和斩波器2不是必须组件,可以移除斩波器2并将锁相放大器14替换成数字源表B(18),以此获得探测器B(17)的样品荧光信号,如图8所示。该方案降低了测试系统的搭建成本,避免了锁相放大器的仪器运算时间,进而提高了测试速度,适用于步骤二中样品发光较强或者不需要过低激发强度测试的实施例中。

[0080] 实施例6

[0081] 本发明中,图3的锁相探测系统锁相放大器14和探测器B(17)作用为测试样品荧光信号,因此也可以替换成光谱仪6,如图9所示,获得的样品荧光强度 $I_s$ 应为光谱仪获得的荧光光子数光谱积分值,计算过程参见步骤一的第六步操作。该方案可以避免因测试过程中的荧光光谱发生较大变化而带来的测试误差,适用于样品荧光光谱谱形会随激发强度而变化的实施例。

[0082] 应当理解的是,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,而所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

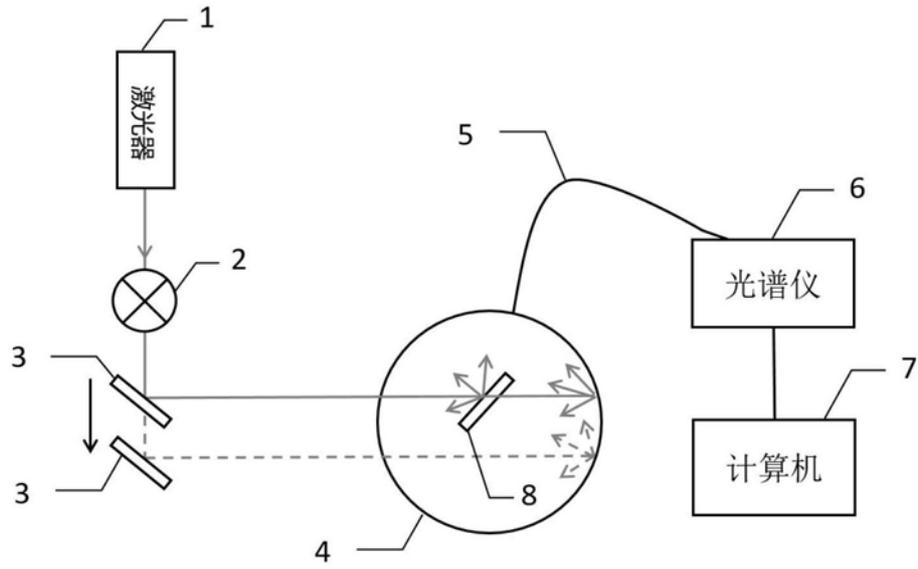


图1

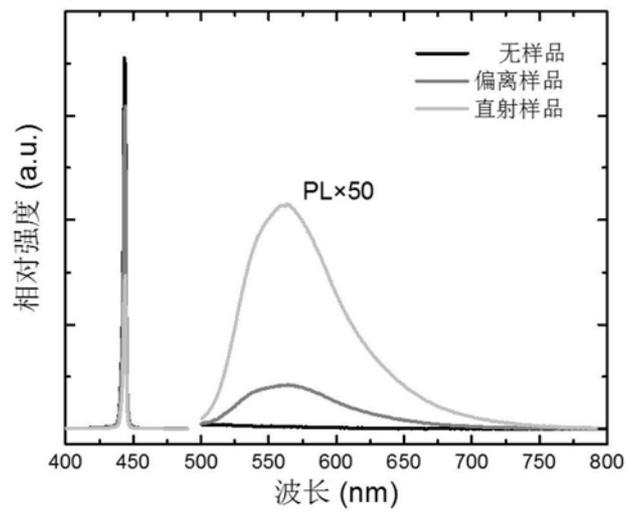


图2

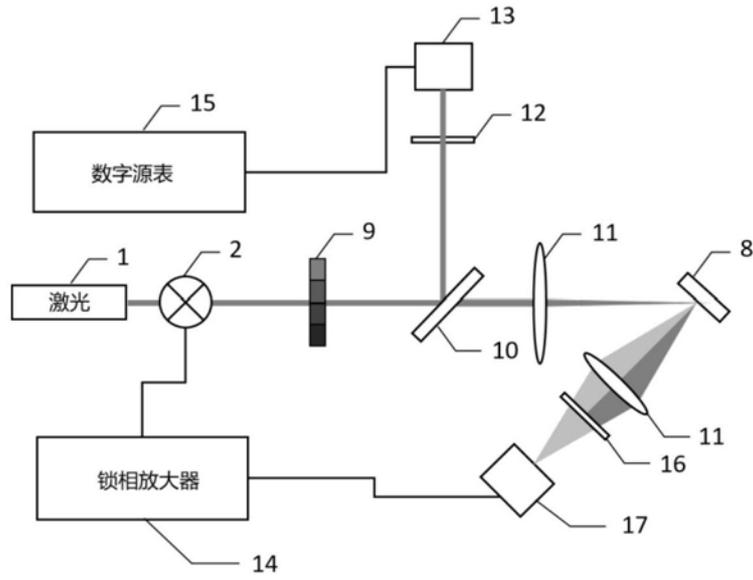


图3

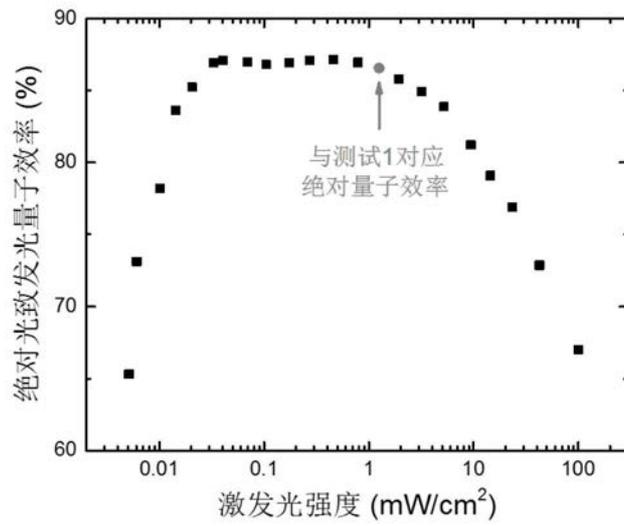


图4

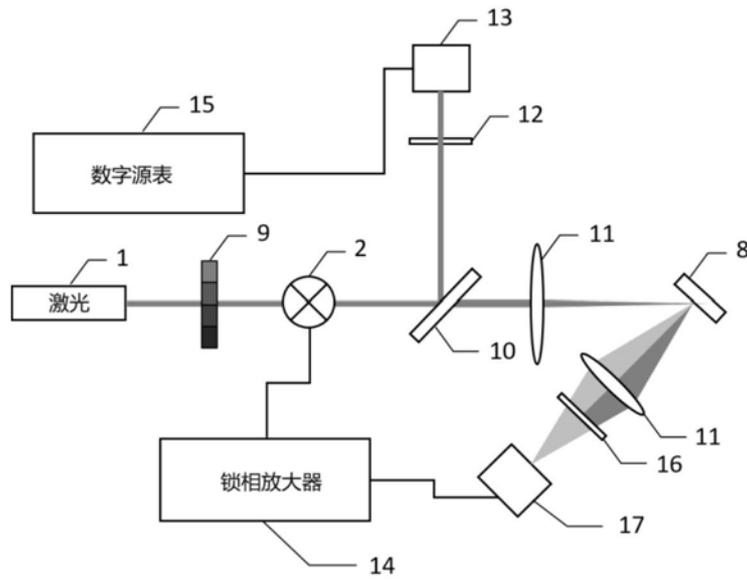


图5

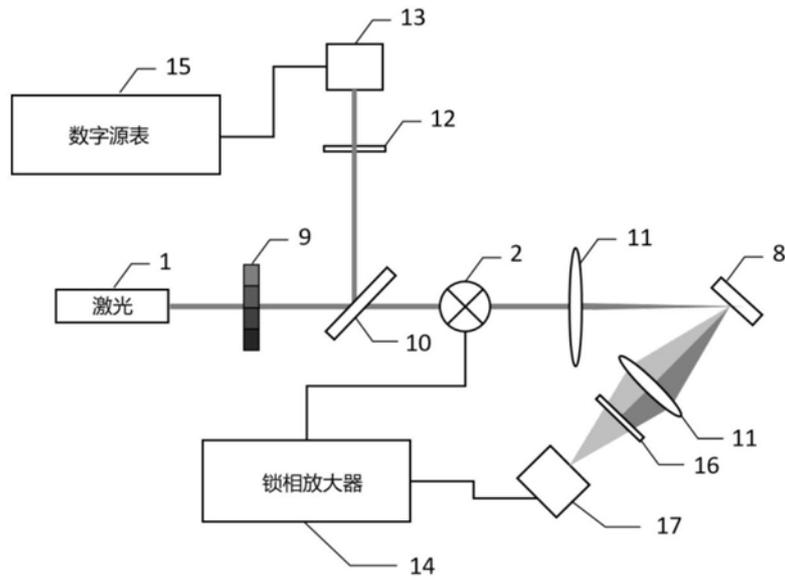


图6

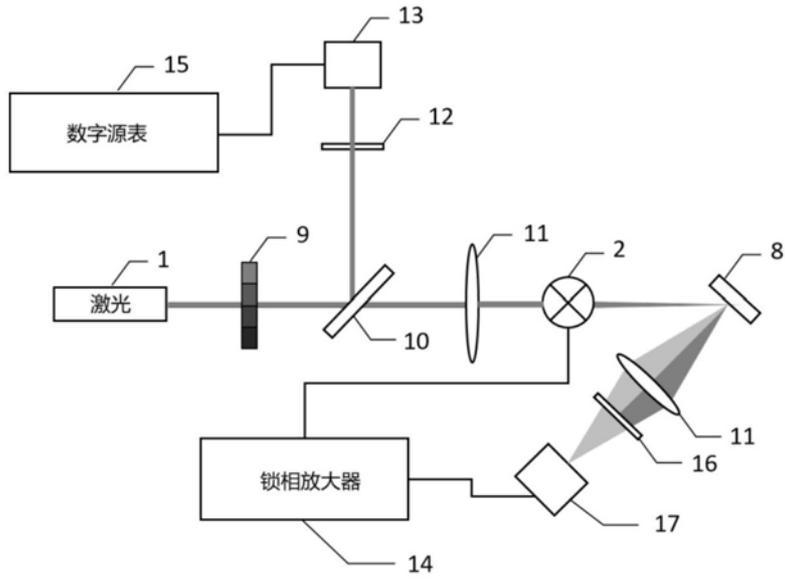


图7

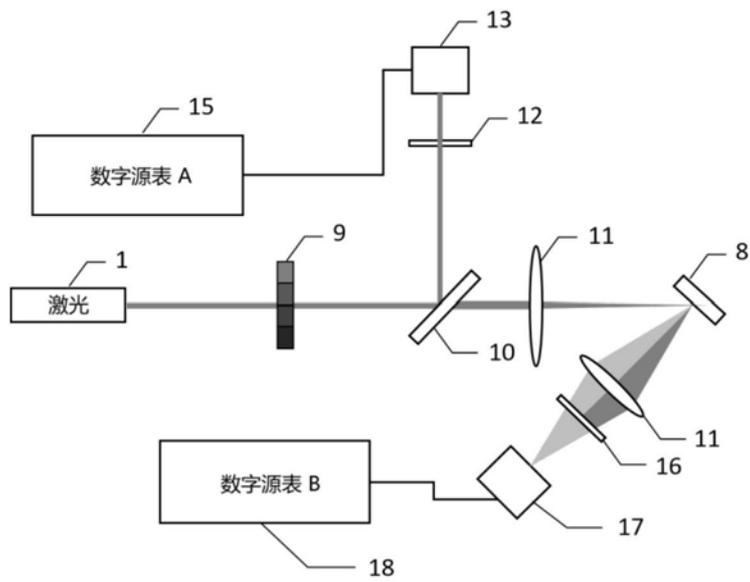


图8

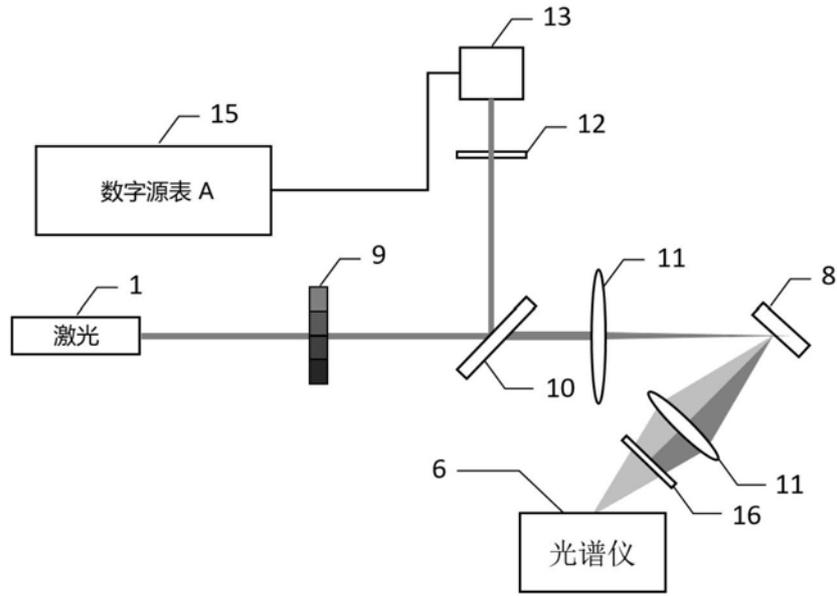


图9