



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119867655 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 25

(21) 申请号 202510071834.X

(22) 申请日 2025.01.16

(71) 申请人 广州神环科技有限责任公司

地址 510000 广东省广州市白云区云城街  
齐富路1号18层A0841房

(72) 发明人 张晋勇 张晋涛

(74) 专利代理机构 佛山市禾才知识产权代理有  
限公司 44379

专利代理师 刘羽波

(51) Int. Cl.

A61B 5/00 (2006.01)

G06T 5/50 (2006.01)

G06V 10/22 (2022.01)

G06V 10/764 (2022.01)

G06F 18/10 (2023.01)

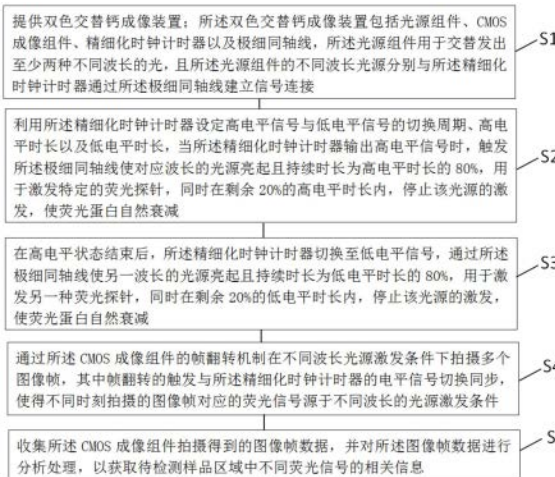
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种双色交替钙成像双通道图像提取方法

(57) 摘要

本发明涉及一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,包括:提供光源组件、CMOS成像组件、精细化时钟计时器和极细同轴线;精细化时钟计时器输出高电平信号时,触发对应波长的光源亮起以于激发特定的荧光探针,同时在剩余20%的高电平时长内,使荧光蛋白自然衰减;在高电平状态结束后,精细化时钟计时器切换至低电平信号,触发另一波长的光源亮起以激发另一种荧光探针,同时在剩余20%的低电平时长内,使荧光蛋白自然衰减;通过CMOS成像组件在不同波长光源激发条件下拍摄多个图像帧;并对图像帧数据进行分析处理,以获取待检测样品区域中不同荧光信号的相关信息。本发明可以获得更为准确和可靠的荧光信号,从而可以对检测样品中的钙离子动态进行精确分析。



1. 一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,其特征在于,所述方法包括:

S1,提供双色交替钙成像装置;所述双色交替钙成像装置包括光源组件、CMOS成像组件、精细化时钟计时器以及极细同轴线,所述光源组件用于交替发出至少两种不同波长的光,且所述光源组件的不同波长光源分别与所述精细化时钟计时器通过所述极细同轴线建立信号连接;

S2,利用所述精细化时钟计时器设定高电平信号与低电平信号的切换周期、高电平时长以及低电平时长,当所述精细化时钟计时器输出高电平信号时,触发所述极细同轴线使对应波长的光源亮起且持续时长为高电平时长的80%,用于激发特定的荧光探针,同时在剩余20%的高电平时长内,停止该光源的激发,使荧光蛋白自然衰减;

S3,在高电平状态结束后,所述精细化时钟计时器切换至低电平信号,通过所述极细同轴线使另一波长的光源亮起且持续时长为低电平时长的80%,用于激发另一种荧光探针,同时在剩余20%的低电平时长内,停止该光源的激发,使荧光蛋白自然衰减;

S4,通过所述CMOS成像组件的帧翻转机制在不同波长光源激发条件下拍摄多个图像帧,其中帧翻转的触发与所述精细化时钟计时器的电平信号切换同步,使得不同时刻拍摄的图像帧对应的荧光信号源于不同波长的光源激发条件;

S5,收集所述CMOS成像组件拍摄得到的图像帧数据,并对所述图像帧数据进行分析处理,以获取待检测样品区域中不同荧光信号的相关信息。

2. 根据权利要求1所述的一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,其特征在于,所述不同荧光信号的相关信息包括荧光信号强度分布和荧光信号变化趋势。

3. 根据权利要求2所述的一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,其特征在于,所述S5中对所述图像帧数据进行分析处理,具体包括:

S51,通过图像识别算法对所述图像帧数据中的荧光信号区域进行定位与提取,得到荧光信号数据;

S52,通过信号处理算法对提取的所述荧光信号数据进行降噪处理;

S53,对降噪处理后的所述荧光信号数据进行分析处理,以获取所述荧光信号强度分布和所述荧光信号变化趋势。

4. 根据权利要求1所述的一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,其特征在于,所述光源组件包括第一光源单元和第二光源单元;

所述第一光源单元包括:绿光光源,用于发出绿光波段的光线;绿色激发光滤光片,其设置在所述绿光光源的出射光路上,用于对所述绿光光源发射的光线进行滤波以筛选出特定波长范围的第一激发光;第一消色差透镜,其位于所述绿色激发光滤光片的出射光路上,用于对经过滤波的第一激发光进行聚焦和色差校正;第一分光镜,用于接收经所述第一消色差透镜处理后的第一激发光,并将所述第一激发光反射至待检测样品区域后接收来自待检测样品区域受激发产生的荧光信号,且能使荧光信号透过;第一聚焦透镜,设置在所述第一分光镜透射荧光信号的光路上,用于对荧光信号进行聚焦;红色荧光滤光片,位于所述第一聚焦透镜的出射光路上,用于对荧光信号进行滤波,以获取特定波长范围的荧光信号;

所述第二光源单元包括:蓝光光源,用于发出蓝光波段的光线;蓝色激发光滤光片,其设置在所述蓝光光源的出射光路上,用于对所述蓝光光源发射的光线进行滤波以筛选出特定波长范围的第二激发光;第二消色差透镜,其位于所述蓝色激发光滤光片的出射光路上,

用于对经过滤波的第二激发光进行聚焦和色差校正;第二分光镜,用于接收经所述第二消色差透镜处理后的第二激发光,并将所述第二激发光反射至待检测样品区域后接收来自待检测样品区域受激发产生的荧光信号,且能使荧光信号透过;第二聚焦透镜,设置在所述第二分光镜透射荧光信号的光路上,用于对荧光信号进行聚焦;绿色荧光滤光片,位于所述第二聚焦透镜的出射光路上,用于对荧光信号进行滤波,以获取特定波长范围的荧光信号;

所述CMOS成像组件位于所述红色荧光滤光片和所述绿色荧光滤光片的出射光路上,用于接收并检测经过所述红色荧光滤光片和所述绿色荧光滤光片滤波后的荧光信号,且将荧光信号转换为电信号以进行后续信号分析与处理。

5. 根据权利要求4所述的一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,其特征在于,所述绿光光源包括2个呈对角分布用于发出绿光光线的第二LED灯珠,所述蓝光光源包括2个呈对角分布用于发出蓝光光线的第二LED灯珠。

## 一种双色交替钙成像双通道图像提取方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于生物医学成像技术领域,具体涉及一种双色交替钙成像双通道图像提取方法。

### 背景技术

[0002] 在神经科学研究领域,深入探究神经元活动及神经网络的运行机制对于理解大脑功能以及攻克神经系统疾病具有极为关键的意义,钙成像技术作为一种重要手段,通过检测神经元活动时钙离子流动产生的荧光信号,为研究人员提供了细胞级别的神经元活动观察能力。然而,传统的钙成像技术多依赖固定实验环境,难以在自由活动的动物模型中有效应用,这在一定程度上限制了对神经活动在自然行为状态下的研究。现有的微型钙成像显微镜只有单色激发光,只能观察一种类型的神经活动。但是,在同一观测区域内,通常具有两种或两种以上的神经类型,这几种神经活动之间的相互关系很难用仅有一个激发光的钙成像显微镜观测。因此,整合两路钙成像显微镜,开发能够同时记录两种类型的神经元设备成为现代神经科学研究的重要发展趋势。通过这种整合,研究人员可在同一实验体系中实现对同一行为中不同类型的神经元实时监测,或是对具有荧光标记的血管和另一类荧光标记的神经元同时实时监测,从而深入解析血液活动与神经活动的潜在关系,或不同类型的神经活动在同一行为中的协调关系,从而为深入解析复杂神经网络、中枢脑部疾病提供了全新的视角与有力的工具。

[0003] 但是,当前市面上的相关设备大多存在明显缺陷,多数产品仅采用单一的LED发光源,这种单一光源系统只能在特定的一个波长范围内工作,无法同时开展多光谱实验,这一局限性极大地限制了实验的灵活性,使得在进行不同荧光探针操作时,需要频繁调整设备或更换光源,不仅增加了实验的复杂性,而且容易引入设备调整误差,同时还可能对实验数据的精确性和稳定性产生负面影响,难以满足神经科学研究对高精度、多功能以及高稳定性实验的日益严苛的要求。

[0004] 因此,本发明提供一种双色交替钙成像双通道图像提取方法解决上述技术问题。

### 发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明的目的在于提供一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,可以获得更为准确和可靠的荧光信号,从而可以对检测样品中的钙离子动态进行精确分析。

[0006] 本发明提供一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,其包括:

[0007] S1,提供双色交替钙成像装置;所述双色交替钙成像装置包括光源组件、CMOS成像组件、精细化时钟计时器以及极细同轴线,所述光源组件用于交替发出至少两种不同波长的光,且所述光源组件的不同波长光源分别与所述精细化时钟计时器通过所述极细同轴线建立信号连接;

[0008] S2,利用所述精细化时钟计时器设定高电平信号与低电平信号的切换周期、高电

平时长以及低电平时长,当所述精细化时钟计时器输出高电平信号时,触发所述极细同轴线使对应波长的光源亮起且持续时长为高电平时长的80%,用于激发特定的荧光探针,同时在剩余20%的高电平时长内,停止该光源的激发,使荧光蛋白自然衰减;

[0009] S3,在高电平状态结束后,所述精细化时钟计时器切换至低电平信号,通过所述极细同轴线使另一波长的光源亮起且持续时长为低电平时长的80%,用于激发另一种荧光探针,同时在剩余20%的低电平时长内,停止该光源的激发,使荧光蛋白自然衰减;

[0010] S4,通过所述CMOS成像组件的帧翻转机制在不同波长光源激发条件下拍摄多个图像帧,其中帧翻转的触发与所述精细化时钟计时器的电平信号切换同步,使得不同时刻拍摄的图像帧对应的荧光信号源于不同波长的光源激发条件;

[0011] S5,收集所述CMOS成像组件拍摄得到的图像帧数据,并对所述图像帧数据进行分析处理,以获取待检测样品区域中不同荧光信号的相关信息。

[0012] 优选的,所述不同荧光信号的相关信息包括荧光信号强度分布和荧光信号变化趋势。

[0013] 优选的,所述S5中对所述图像帧数据进行分析处理,具体包括:

[0014] S51,通过图像识别算法对所述图像帧数据中的荧光信号区域进行定位与提取,得到荧光信号数据;

[0015] S52,通过信号处理算法对提取的所述荧光信号数据进行降噪处理;

[0016] S53,对降噪处理后的所述荧光信号数据进行分析处理,以获取所述荧光信号强度分布和所述荧光信号变化趋势。

[0017] 优选的,所述光源组件包括第一光源单元和第二光源单元;所述第一光源单元包括:绿光光源,用于发出绿光波段的光线;绿色激发光滤光片,其设置在所述绿光光源的出射光路上,用于对所述绿光光源发射的光线进行滤波以筛选出特定波长范围的第一激发光;第一消色差透镜,其位于所述绿色激发光滤光片的出射光路上,用于对经过滤波的第一激发光进行聚焦和色差校正;第一分光镜,用于接收经所述第一消色差透镜处理后的第一激发光,并将所述第一激发光反射至待检测样品区域后接收来自待检测样品区域受激发产生的荧光信号,且能使荧光信号透过;第一聚焦透镜,设置在所述第一分光镜透射荧光信号的光路上,用于对荧光信号进行聚焦;红色荧光滤光片,位于所述第一聚焦透镜的出射光路上,用于对荧光信号进行滤波,以获取特定波长范围的荧光信号;所述第二光源单元包括:蓝光光源,用于发出蓝光波段的光线;蓝色激发光滤光片,其设置在所述蓝光光源的出射光路上,用于对所述蓝光光源发射的光线进行滤波以筛选出特定波长范围的第二激发光;第二消色差透镜,其位于所述蓝色激发光滤光片的出射光路上,用于对经过滤波的第二激发光进行聚焦和色差校正;第二分光镜,用于接收经所述第二消色差透镜处理后的第二激发光,并将所述第二激发光反射至待检测样品区域后接收来自待检测样品区域受激发产生的荧光信号,且能使荧光信号透过;第二聚焦透镜,设置在所述第二分光镜透射荧光信号的光路上,用于对荧光信号进行聚焦;绿色荧光滤光片,位于所述第二聚焦透镜的出射光路上,用于对荧光信号进行滤波,以获取特定波长范围的荧光信号;所述CMOS成像组件位于所述红色荧光滤光片和所述绿色荧光滤光片的出射光路上,用于接收并检测经过所述红色荧光滤光片和所述绿色荧光滤光片滤波后的荧光信号,且将荧光信号转换为电信号以进行后续信号分析与处理。

[0018] 优选的,所述绿光光源包括2个呈对角分布用于发出绿光光线的第一LED灯珠,所述蓝光光源包括2个呈对角分布用于发出蓝光光线的第二LED灯珠。

[0019] 与相关技术相比,本发明提供一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,包括:提供光源组件、CMOS成像组件、精细化时钟计时器和极细同轴线,所述光源组件用于交替发出至少两种不同波长的光,且所述光源组件的不同波长光源分别与所述精细化时钟计时器通过所述极细同轴线建立信号连接;当精细化时钟计时器输出高电平信号时,触发对应波长的光源亮起以于激发特定的荧光探针,同时在剩余20%的高电平时长内,使荧光蛋白自然衰减;在高电平状态结束后,精细化时钟计时器切换至低电平信号,触发另一波长的光源亮起以激发另一种荧光探针,同时在剩余20%的低电平时长内,使荧光蛋白自然衰减;通过CMOS成像组件在不同波长光源激发条件下拍摄多个图像帧;并对图像帧数据进行分析处理,以获取待检测样品区域中不同荧光信号的相关信息。上述方法中,通过双波长光源交替运作的方式,有效地避免了单一光源的局限,且双波长的光源交替运作提高了实验的灵活性;另外,在光源切换过程中,不会出现明显的光强波动、光谱失真等问题,有效避免了因设备调整带来的误差,从而显著提高了实验数据的准确性和可重复性;同时,本发明的双波长光源还可以根据不同的实验需求,如对不同样本类型、不同实验规模等的要求,对光源的参数(如光强、脉冲频率等)、光路的配置(如添加或更换特定的光学元件)进行定制化调整,进一步简化了实验流程,提升了实验的效率与灵活性。

#### 附图说明

[0020] 图1为本发明一种双色交替钙成像双通道图像提取方法的流程示意图;

[0021] 图2为本发明中对所述图像帧数据进行分析处理的流程示意图;

[0022] 图3为本发明中对双色交替钙成像装置的结构框图;

[0023] 图4为本发明中第一光源单元、第二光源单元与CMOS成像组件相配合的结构示意图;

[0024] 图5为本发中绿光光源和蓝光光源的结构示意图。

#### 具体实施方式

[0025] 本发明提供一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,旨在解决现有的钙成像技术采用单一的LED发光源存在显著的局限性,且实验数据的精确性和稳定性差的问题。

[0026] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0027] 请参阅附图1-5所示,本发明提供了一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,其包括:

[0028] S1,提供双色交替钙成像装置;所述双色交替钙成像装置10包括光源组件1、CMOS成像组件2、精细化时钟计时器3以及极细同轴线4,所述光源组件1用于交替发出至少两种不同波长的光,且所述光源组件2的不同波长光源分别与所述精细化时钟计时器3通过所述极细同轴线4建立信号连接;

[0029] S2,利用所述精细化时钟计时器3设定高电平信号与低电平信号的切换周期、高电平时长以及低电平时长,当所述精细化时钟计时器3输出高电平信号时,触发所述极细同轴线4使对应波长的光源亮起且持续时长为高电平时长的80%,用于激发特定的荧光探针,同时在剩余20%的高电平时长内,停止该光源的激发,使荧光蛋白自然衰减;

[0030] S3,在高电平状态结束后,所述精细化时钟计时器3切换至低电平信号,通过所述极细同轴线4使另一波长的光源亮起且持续时长为低电平时长的80%,用于激发另一种荧光探针,同时在剩余20%的低电平时长内,停止该光源的激发,使荧光蛋白自然衰减;

[0031] S4,通过所述CMOS成像组件2的帧翻转机制在不同波长光源激发条件下拍摄多个图像帧,其中帧翻转的触发与所述精细化时钟计时器的电平信号切换同步,使得不同时刻拍摄的图像帧对应的荧光信号源于不同波长的光源激发条件;

[0032] S5,收集所述CMOS成像组件2拍摄得到的图像帧数据,并对所述图像帧数据进行分析处理,以获取待检测样品区域中不同荧光信号的相关信息。

[0033] 需要说明的是,上述帧翻转机制通过极细同轴线4作为信号传输纽带,承载着关键的“帧”信号,即高低电平交替的控制指令,其传输频率与成像的帧率精准适配,确保整个成像流程有条不紊;当高电平信号沿极细同轴线4传输至光源组件1,驱动一个特定波长的LED发光,该光束照射检测样品,激发特定荧光信号,与此同时,CMOS成像组件2检测到高电平,迅速依据预设程序调整曝光时间、增益等成像参数,为采集对应图像帧做足准备;而当电平翻转至低电平时,则停止对当前LED的供电,转而驱动另一波长的LED发光,成像参数也随之变更。如此一来,通过帧翻转机制,实现光源与成像的高效同步,极大减少背景噪声、图像失真,提升了成像质量与数据采集效率。另外,上述方法采用光源的交替工作方式可以根据实验需求定制,研究人员可根据特定的科学问题选择适合的波长组合,满足不同研究领域的多样化需求,不仅降低了操作复杂性,还减少了潜在成本,使更多实验室能够参与到高精度神经科学研究中,这为科学探索提供了更强大的支持,也为开发新的神经干预策略提供了可能。同时,所述双色交替钙成像双通道图像提取方法提供了更高的灵敏度和对比度,研究人员可以更精准地监测神经元活动,大大提高了实验效率;此外,该方法还降低了设备和操作的复杂性,使更多实验室能够进行高精度的神经科学研究,这不仅为科学探索提供了强大支持,还为开发新的神经干预策略提供了可能。通过这种“全光学”技术,科学家们能够在实时监控和操控中揭示不同神经通路的功能,为人类认知能力的提升和神经系统疾病的治疗探寻新的方向。

[0034] 上述方法中,通过双波长光源交替运作的方式,有效地避免了单一光源的局限,且双波长的光源交替运作提高了实验的灵活性,且双波长光源切换过程中,不会出现明显的光强波动、光谱失真等问题,有效避免了因设备调整带来的误差,从而显著提高了实验数据的准确性和可重复性。另外,所述精细化时钟计时器3可以实现对两个不同波长光源的精确管理,这种精确的时序控制方式,在快速切换不同波长的光源时,能够最大化信号强度,同时有效避免因为激发光源切换不及时而导致的荧光信号重叠或模糊。同时,通过所述CMOS成像组件2的帧翻转机制在不同波长光源激发条件下拍摄多个图像帧,可以最大程度地减少背景噪声和图像失真的影响,这种高效的切换能力,使得研究人员能够区分和记录检测样品(细胞或组织)中存在的不同荧光信号。

[0035] 具体的,所述不同荧光信号的相关信息包括荧光信号强度分布和荧光信号变化趋

势。所述S5中对所述图像帧数据进行分析处理,具体包括:S51,通过图像识别算法对所述图像帧数据中的荧光信号区域进行定位与提取,得到荧光信号数据;S52,通过信号处理算法对提取的所述荧光信号数据进行降噪处理;S53,对降噪处理后的所述荧光信号数据进行分析处理,以获取所述荧光信号强度分布和所述荧光信号变化趋势。

[0036] 在本实施例中,所述光源组件1包括第一光源单元11和第二光源单元12;所述第一光源单元11包括:绿光光源111,用于发出绿光波段的光线;绿色激发光滤光片112,其设置在所述绿光光源111的出射光路上,用于对所述绿光光源111发射的光线进行滤波以筛选出特定波长范围的第一激发光;第一消色差透镜113,其位于所述绿色激发光滤光片112的出射光路上,用于对经过滤波的第一激发光进行聚焦和色差校正;第一分光镜114,用于接收经所述第一消色差透镜113处理后的第一激发光,并将所述第一激发光反射至待检测样品区域后接收来自待检测样品区域受激发产生的荧光信号,且能使荧光信号透过;第一聚焦透镜115,设置在所述第一分光镜114透射荧光信号的光路上,用于对荧光信号进行聚焦;红色荧光滤光片116,位于所述第一聚焦透镜115的出射光路上,用于对荧光信号进行滤波,以获取特定波长范围的荧光信号;所述第二光源单元12包括:蓝光光源121,用于发出蓝光波段的光线;蓝色激发光滤光片122,其设置在所述蓝光光源121的出射光路上,用于对所述蓝光光源121发射的光线进行滤波以筛选出特定波长范围的第二激发光;第二消色差透镜123,其位于所述蓝色激发光滤光片122的出射光路上,用于对经过滤波的第二激发光进行聚焦和色差校正;第二分光镜124,用于接收经所述第二消色差透镜123处理后的第二激发光,并将所述第二激发光反射至待检测样品区域后接收来自待检测样品区域受激发产生的荧光信号,且能使荧光信号透过;第二聚焦透镜125,设置在所述第二分光镜124透射荧光信号的光路上,用于对荧光信号进行聚焦;绿色荧光滤光片126,位于所述第二聚焦透镜125的出射光路上,用于对荧光信号进行滤波,以获取特定波长范围的荧光信号;所述CMOS成像组件2位于所述红色荧光滤光片116和所述绿色荧光滤光片126的出射光路上,用于接收并检测经过所述红色荧光滤光片116和所述绿色荧光滤光片126滤波后的荧光信号,且将荧光信号转换为电信号以进行后续信号分析与处理。

[0037] 值得一提的是,所述绿光光源111包括2个呈对角分布用于发出绿光光线的第二LED灯珠,所述蓝光光源121包括2个呈对角分布用于发出蓝光光线的第二LED灯珠,且所述第一LED灯珠和所述第二LED灯珠排列在基板的同一平面。该结构的设置,具有以下优势:1. 使得光输出效率得以提升,减少了光损耗,提供更强激发光源。2. 可以帮助实现更均匀的颜色混合,从而减少色彩渐变或阴影;且能实现更加均匀的光照,不仅使得荧光探针对不同波长的响应更加一致,减少了信号波动,还消除了因颜色分布差异可能导致的色差问题,提高了图像的色彩一致性,从而可以获得更高精度的钙成像数据和更为准确和可靠的荧光信号,实现对检测样品(细胞或组织)中的钙离子动态进行精确分析;3. 提升了成像的分辨率,支持更细致的细胞内结构观察;4. 不同类型的LED灯珠之间存在轻微的热分布差异,通过对角线的布局,带来了更好的热分布,使热量在基板上更均匀地分布,有助于延长LED灯珠的使用寿命并提高可靠性,从某些角度看,对角线布置可以减少某种颜色主导的现象,在视觉感知中,这种对角线布置减少了不同颜色灯芯对视角的影响,改善了显示效果,使得从大多数角度观看时,色彩表现更加一致。

[0038] 与相关技术相比,本发明提供的一种双色交替钙成像双通道图像提取方法,包括:

提供光源组件、CMOS成像组件、精细化时钟计时器和极细同轴线,所述光源组件用于交替发出至少两种不同波长的光,且所述光源组件的不同波长光源分别与所述精细化时钟计时器通过所述极细同轴线建立信号连接;当精细化时钟计时器输出高电平信号时,触发对应波长的光源亮起以于激发特定的荧光探针,同时在剩余20%的高电平时长内,使荧光蛋白自然衰减;在高电平状态结束后,精细化时钟计时器切换至低电平信号,触发另一波长的光源亮起以激发另一种荧光探针,同时在剩余20%的低电平时长内,使荧光蛋白自然衰减;通过CMOS成像组件在不同波长光源激发条件下拍摄多个图像帧;并对图像帧数据进行分析处理,以获取待检测样品区域中不同荧光信号的相关信息。上述方法中,通过双波长光源交替运作的方式,有效地避免了单一光源的局限,且双波长的光源交替运作提高了实验的灵活性;另外,在光源切换过程中,不会出现明显的光强波动、光谱失真等问题,有效避免了因设备调整带来的误差,从而显著提高了实验数据的准确性和可重复性;同时,本发明的双波长光源还可以根据不同的实验需求,如对不同样本类型、不同实验规模等的要求,对光源的参数(如光强、脉冲频率等)、光路的配置(如添加或更换特定的光学元件)进行定制化调整,进一步简化了实验流程,提升了实验的效率与灵活性。

[0039] 以上所述的实施方案应理解为说明性的,而非限制本发明的保护范围,本发明的保护范围以权利要求书为准。对于本领域技术人员而言,在不背离本发明实质和范围的前提下,对本发明作出的一些非本质的改进和调整仍属于本发明的保护范围。

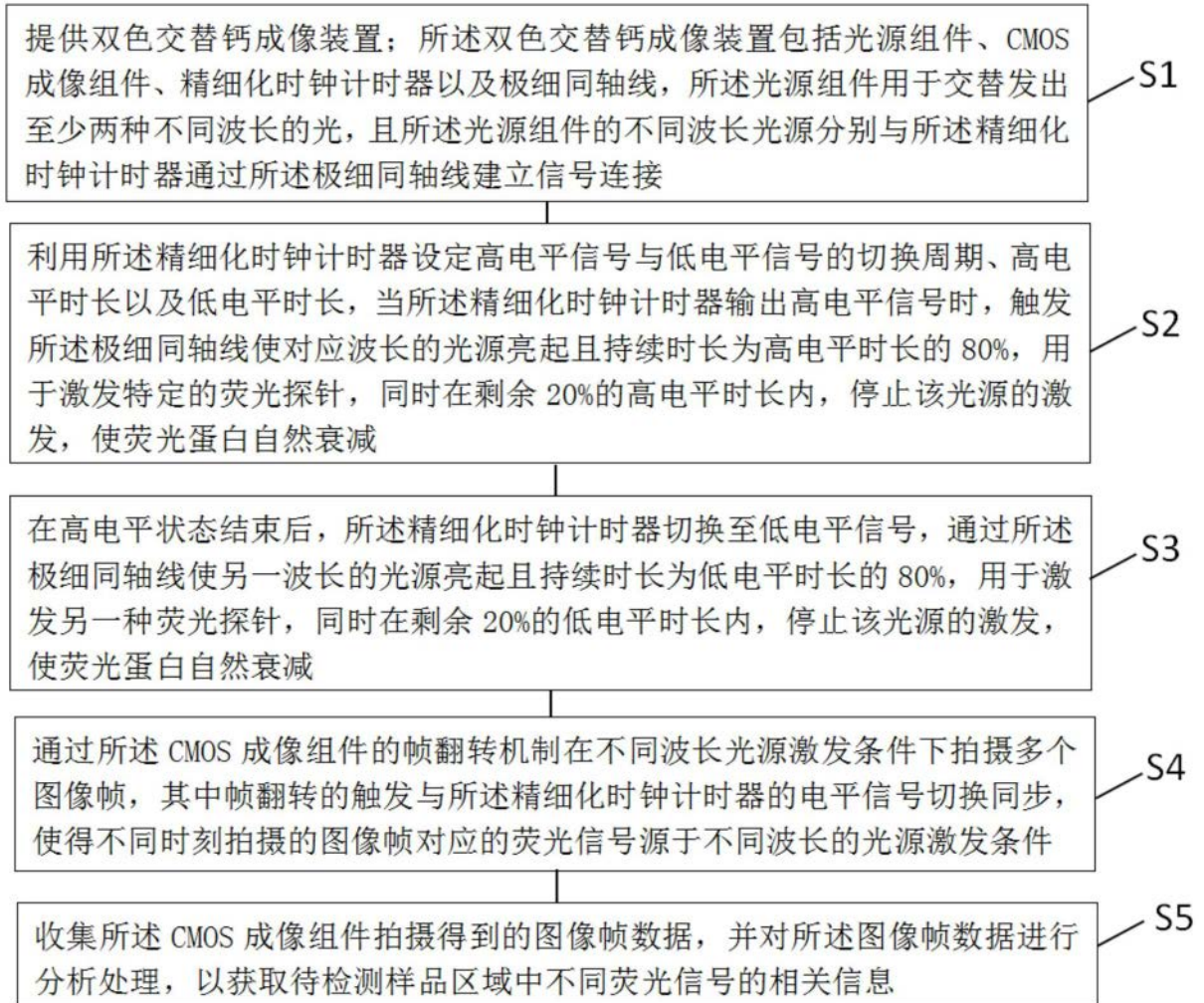


图1

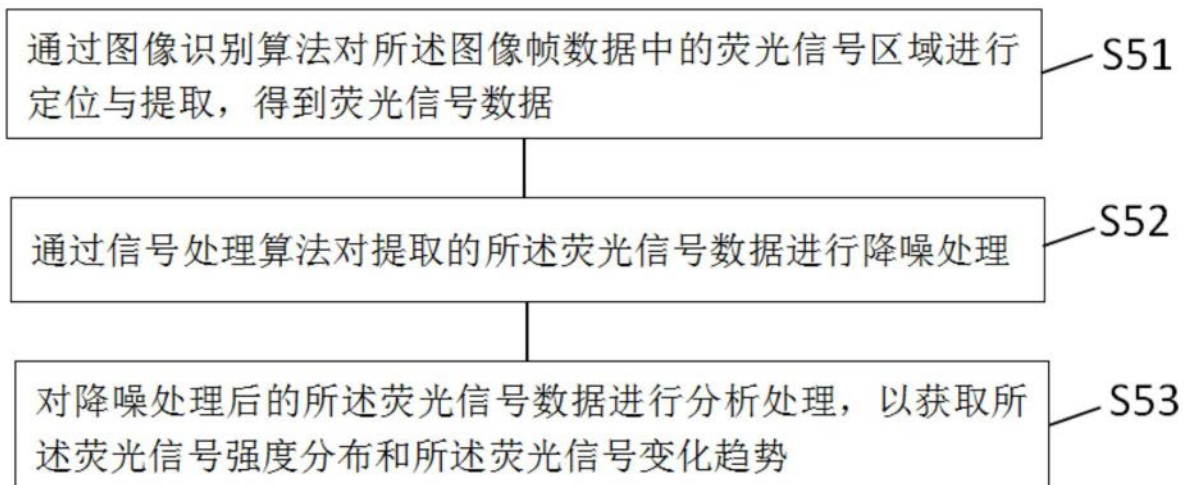


图2

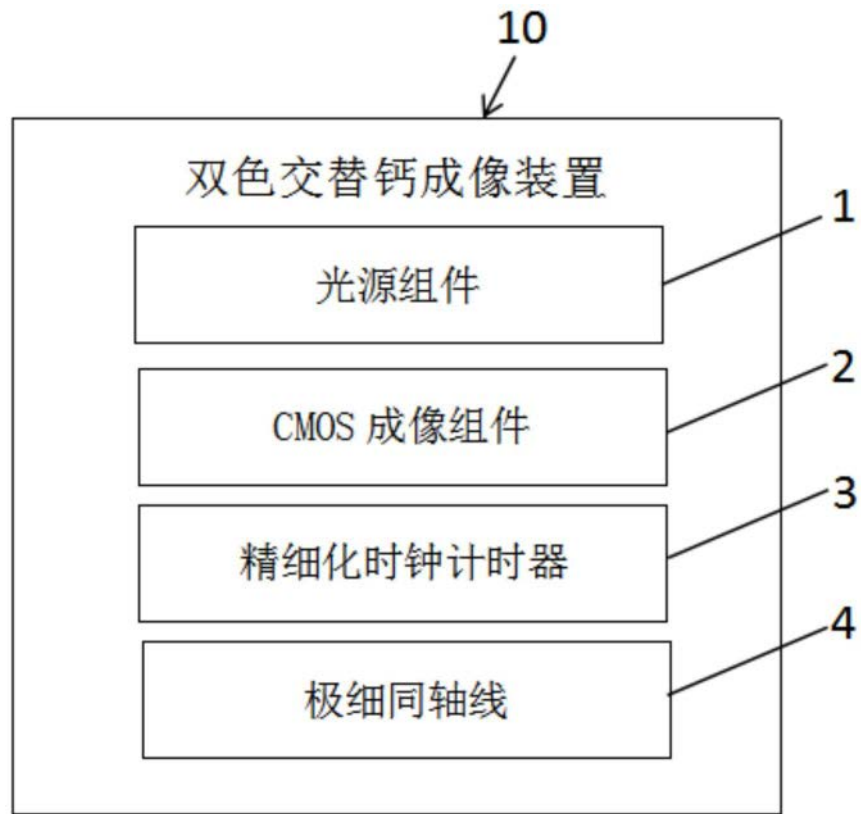


图3

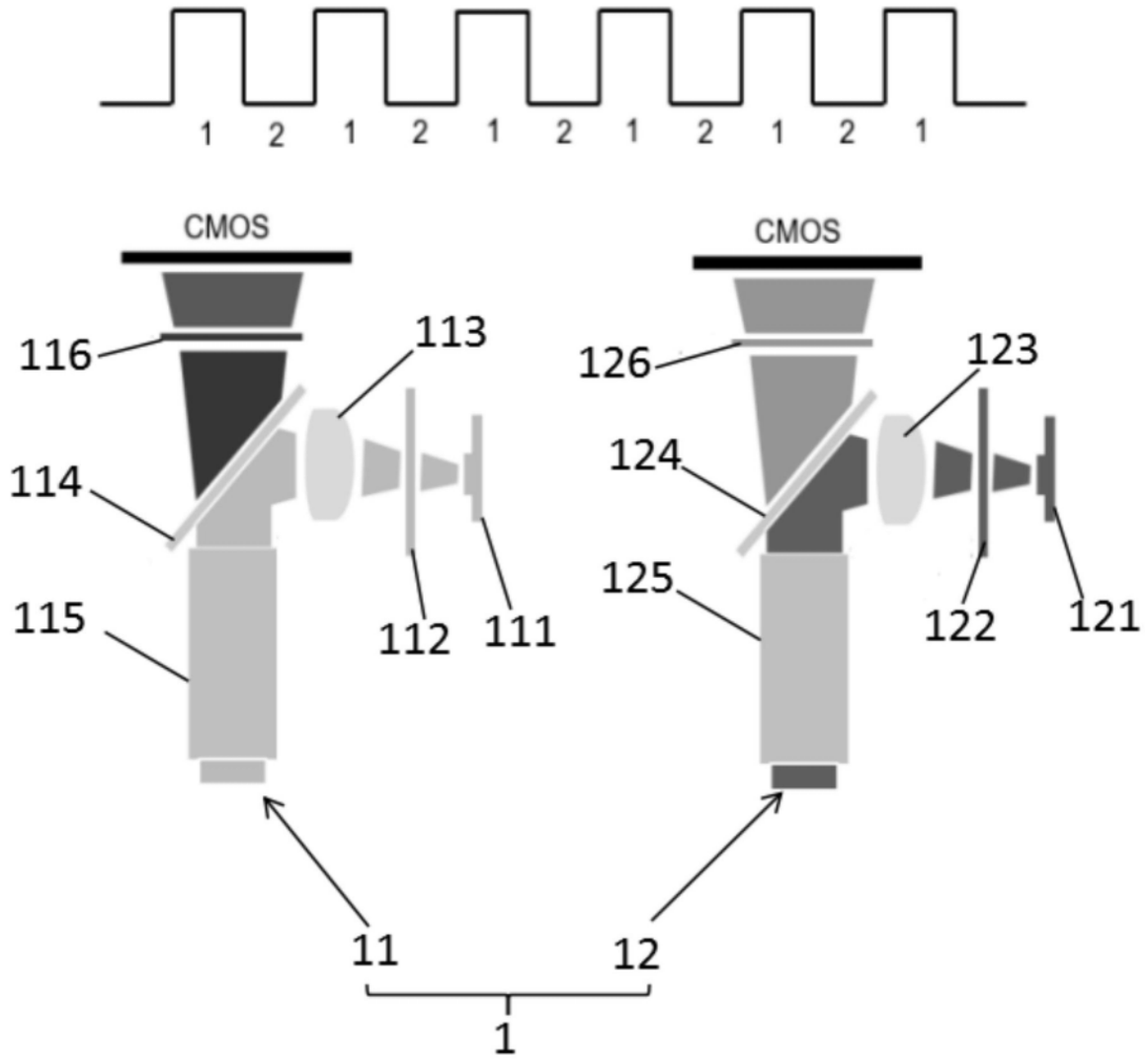


图4

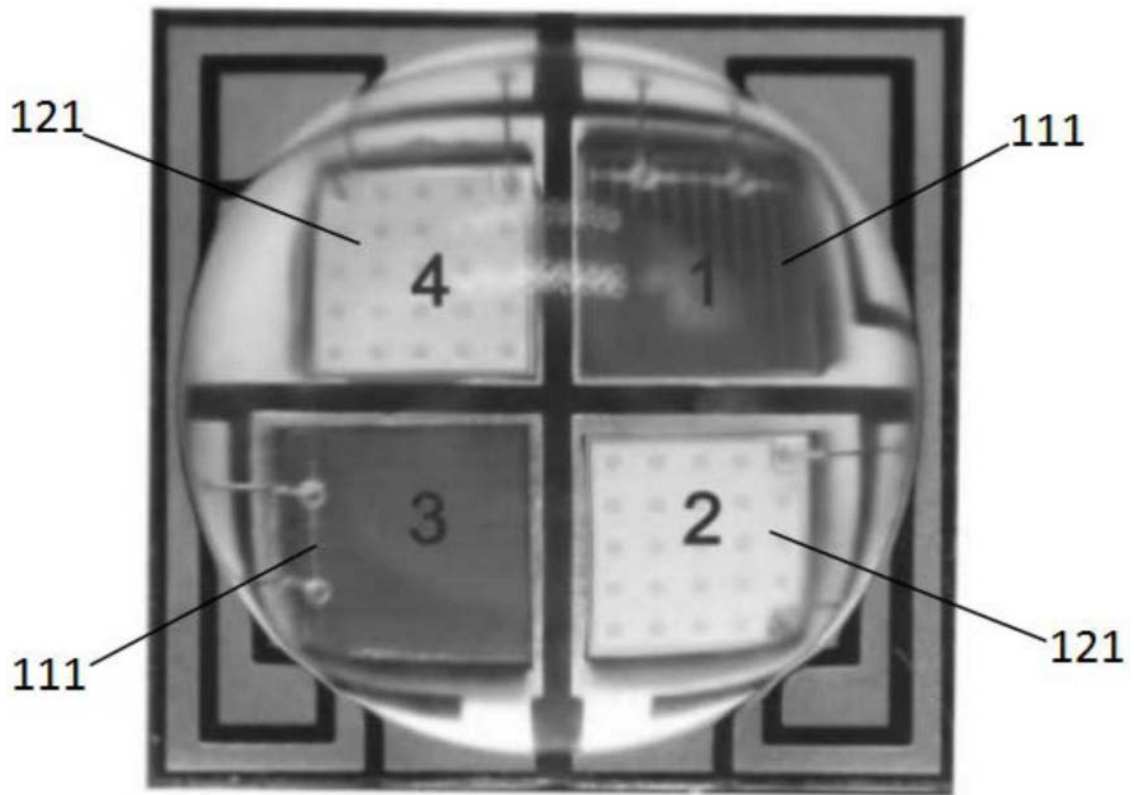


图5