



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103190889 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 29

(21) 申请号 201310134339. 6

(22) 申请日 2013. 04. 17

(73) 专利权人 北京大学

地址 100871 北京市海淀区颐和园路 5 号

(72) 发明人 杨旭三 席鹏 李浩杰

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 徐宁 关畅

(51) Int. Cl.

A61B 5/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 202748306 U, 2013. 02. 20,

CN 102116930 A, 2011. 07. 06,

US 2008/0316561 A1, 2008. 12. 25,

JP 特开 2001-13444 A, 2001. 01. 19,

CN 102706846 A, 2012. 10. 03,

CN 102841083 A, 2012. 12. 26,

US 2011/0249311 A1, 2011. 10. 13,

JP 特许第 4169647 号 B2, 2008. 10. 22,

WO 00/55669 A1, 2000. 09. 21,

李依明. 便携式实时共聚焦显微镜的研制. 《百度文库》. 2010,

Milind Rajadhyaksha et al. Video-rate confocal scanning laser microscope for imaging human tissues in vivo. 《APPLIED OPTICS》. 1999, 第 38 卷 (第 10 期),

Peng Xi et al. The design and construction of a cost-efficient confocal laser scanning microscope. 《Am. J. Phys. 》. 2007, 第 75 卷 (第 3 期),

审查员 李明泽

权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

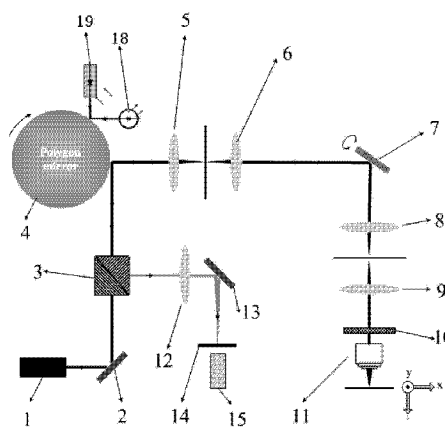
(54) 发明名称

一种实时可调谐共聚焦显微成像系统

(57) 摘要

本发明涉及一种实时可调谐共聚焦显微成像系统,其特征在于:第一激光器发出的激光经多面发射镜反射后由光电二极管接收,光电二极管将正弦信号发送到放大调制电路处理生成行同步信号发送到可编程逻辑器件,可编程逻辑器件将行同步信号发送到 D/A 转换器, D/A 转换器将其转换为电流信号,并发送到检流计振镜驱动电路调制转化后驱动检流计振镜,可编程逻辑器件的垂直同步信号产生模块对行同步信号进行计数产生帧同步信号,同时可编程逻辑器件将行同步信号、帧同步信号和像素时钟信号分别发送到采集卡,采集卡根据行同步信号、帧同步信号和像素采样时钟信号对光子计数器中样品的灰度值信号进行逐点采集,并将采集的图像发送到计算机逐点重构成实时的视频图像。本发明可以广泛应用于激光扫描显微成像系统的成像控制中。

CN 103190889 B



1. 一种实时可调谐共聚焦显微成像系统,其特征在于:它包括激光扫描显微成像系统、第一激光器、光电二极管和共聚焦显微成像控制系统,所述共聚焦显微成像控制系统包括可编程逻辑器件、放大调制电路、D/A 转换器和检流计振镜驱动电路,所述可编程逻辑器件包括计数分频模块和垂直同步信号产生模块,所述计数分频模块的输入端连接一晶振,用于将晶振信号计数分频后生成像素采样时钟信号,所述计数分频模块发送像素采样时钟信号到所述激光扫描显微成像系统的多面反射镜用于控制其转动;

所述第一激光器发出的激光经所述多面反射镜反射后由所述光电二极管接收,随着所述多面反射镜的转动,所述光电二极管输出正弦电压信号,并将其发送到所述放大调制电路进行处理生成行同步信号,并将其发送到所述可编程逻辑器件,所述可编程逻辑器件将所述行同步信号发送到所述 D/A 转换器,所述 D/A 转换器将所述行同步信号转换为电流信号,并将其发送到所述检流计振镜驱动电路生成锯齿波电压信号,并将其发送到检流计振镜驱动控制板中驱动所述激光扫描显微成像系统的检流计振镜工作;

所述可编程逻辑器件的垂直同步信号产生模块根据实际需要与所述行同步信号进行计数产生所需要的帧同步信号,同时所述可编程逻辑器件将所述行同步信号、所述帧同步信号和所述像素采样时钟信号分别发送到所述激光扫描显微成像系统的采集卡,所述采集卡根据行同步信号、帧同步信号和像素采样时钟信号对所述激光扫描显微成像系统的光子计数器中样品的灰度值信号进行逐点采集,并将采集的图像发送到一计算机逐点重构出实时的视频图像;

所述激光扫描显微成像系统包括第二激光器、第一反射镜、偏振分束镜、多面反射镜、第一透镜、第二透镜、检流计振镜、第三透镜、第四透镜、四分之一波片、显微物镜、第五透镜、第二反射镜、共焦小孔、光子计数器、采集卡和计算机,所述检流计振镜放置于与所述多面反射镜物平面共轭的像平面上;所述第二激光器出射的激光经所述第一反射镜反射到所述偏振分束镜,经所述偏振分束镜出射的线偏振光发射到所述多面反射镜,经所述多面反射镜快速扫描出射的光发射到经由所述第一透镜和第二透镜组成的望远镜透镜组,所述望远镜透镜组出射的光发射到所述检流计振镜,所述检流计振镜出射的光经由所述第三透镜和第四透镜组成的望远镜透镜组发射到所述四分之一波片,所述四分之一波片将线偏振光转为圆偏振光后经所述显微物镜聚焦到样品上,经所述样品的反射光经所述显微物镜发射回所述四分之一波片,所述四分之一波片将圆偏振光变成与照明光线呈  $90^\circ$  的偏振光后依次沿着所述第四透镜、第三透镜、检流计振镜、第二透镜和第一透镜传播,并经所述多面反射镜反射到所述偏振分束镜,经所述偏振分束镜出射的光依次经所述第五透镜和第二反射镜到达所述共焦小孔并由所述光子计数器探测接收,所述采集卡采集所述光子计数器的信号并将其发送到所述计算机重构出实时的视频图像。

2. 如权利要求 1 所述的一种实时可调谐共聚焦显微成像系统,其特征在于:所述采集卡采用非标准视频采集卡和标准视频采集卡中的一种。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的一种实时可调谐共聚焦显微成像系统,其特征在于:所述放大调制电路包括放大器和比较器,所述光电二极管的输出端连接所述放大器的输入端,所述放大器的输出端连接所述比较器的输入端,所述比较器的输出端连接所述可编程逻辑器件的输入端。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的一种实时可调谐共聚焦显微成像系统,其特征在于:所述

检流计振镜驱动电路包括运算放大器、电容和电阻,所述 D/A 转换器的输出端连接所述运算放大器的反相端,所述运算放大器的输出端连接所述检流计振镜驱动控制板,所述运算放大器的输出端与反相端之间连接所述电容,所述运算放大器的同相端通过所述电阻接地;所述运算放大器采用 OP07 运算放大器。

5. 如权利要求 3 所述的一种实时可调谐共聚焦显微成像系统,其特征在于:所述检流计振镜驱动电路包括运算放大器、电容和电阻,所述 D/A 转换器的输出端连接所述运算放大器的反相端,所述运算放大器的输出端连接所述检流计振镜驱动控制板,所述运算放大器的输出端与反相端之间连接所述电容,所述运算放大器的同相端通过所述电阻接地;所述运算放大器采用 OP07 运算放大器。

## 一种实时可调谐共聚焦显微成像系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学成像系统,特别是关于一种适用于在体检测的实时可调谐共聚焦显微成像系统。

### 背景技术

[0002] 与传统显微镜相比,共聚焦显微镜具有高分辨率尤其是纵向高分辨率的特点,它能够对样品的轴向进行光学层析,并可以重构出样品的三维图像。另外,共聚焦显微镜还突破了普通光学显微镜衍射极限的限制,横向分辨率是相同数值孔径的普通光学显微镜的 1.4 倍,纵向分辨率可以达到亚微米级,因此可以对厚的生物样品进行轴向层析。在探测器和样品前面加的小孔光阑使得只有当样品处于焦平面时的散射光才能被探测器所接收,大大削弱了杂散光的影响,所以系统有很高的信噪比,图像具有很高的对比度和清晰度。共聚焦显微的最大优势是提供了一种高分辨、无需染料、非侵入式的活体检测成像手段,并且能够在厚的透明或半透明物质内几百微米的范围内成像,因此越来越广泛的应用在皮肤医学影像领域。

[0003] 但是,传统的共聚焦成像由于成像速度较慢(大多数都在秒级每帧),其应用受到了很大的限制。目前共聚焦显微镜实现视频率实时共聚焦成像方式主要有:1、采用共振镜加检流计振镜的二维扫描成像方式,但是采用共振镜作为快轴扫描是正弦的而不是线性的,因此后期得到的图像需要进行算法校正;2、双检流计的扫描方式,虽然这种方式避免了快轴扫描的非线性,但是扫描速率很慢,即使采用高性能的振镜在分辨率为  $512 \times 512$  的条件下只能达到 3fps;3、采用多面镜作为快轴检流计作为慢轴的扫描方式,此方式为线性扫描,在获得较高扫描速率的同时不用对图像进行非线性校正,但是现有的基于多面镜和检流计的共聚焦是通过一些固定的控制电路实现控制,成像速率不可调节,而且将信号固定为标准制式的信号(比如电视 RS-170 隔行视频信号),对图像的采集分辨率、后期处理均有一定的制约。

### 发明内容

[0004] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种实时可调谐共聚焦显微成像系统,该系统具有很好的通用性,不仅能够实现帧率和图像分辨率可调的共聚焦扫描成像,而且也为用户提供了一种多选择的模式。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:一种实时可调谐共聚焦显微成像系统,其特征在于:它包括激光扫描显微成像系统、第一激光器、光电二极管和共聚焦显微成像控制系统,所述共聚焦显微成像控制系统包括可编程逻辑器件、放大调制电路、D/A 转换器和检流计振镜驱动电路,所述可编程逻辑器件包括计数分频模块和垂直同步信号产生模块,所述计数分频模块的输入端连接一晶振,用于将晶振信号计数分频后生成像素采样时钟信号,所述计数分频模块发送像素采样时钟信号到激光扫描显微成像系统的多面反射镜用于控制其转动;所述第一激光器发出的激光经所述多面反射镜反射后由所述光电二极管

接收,随着所述多面反射镜的转动,所述光电二极管输出正弦电压信号,并将其发送到所述放大调制电路进行处理生成行同步信号,并将其发送到所述可编程逻辑器件,所述可编程逻辑器件将行同步信号发送到所述 D/A 转换器,所述 D/A 转换器将行同步信号转换为电流信号,并将其发送到所述检流计振镜驱动电路生成锯齿波电压信号,并将其发送到检流计振镜驱动控制板中驱动激光扫描显微成像系统的检流计振镜工作;所述可编程逻辑器件的垂直同步信号产生模块根据实际需要对方同步信号进行计数产生所需要的帧同步信号,同时所述可编程逻辑器件将行同步信号、帧同步信号和像素时钟信号分别发送到激光扫描显微成像系统的采集卡,所述采集卡根据行同步信号、帧同步信号和像素采样时钟信号对所述激光扫描显微成像系统的光子计数器中样品的灰度值信号进行逐点采集,并将采集的图像发送到一计算机逐点重构出实时的视频图像。

[0006] 所述激光扫描显微成像系统包括第二激光器、第一反射镜、偏振分束镜、多面反射镜、第一透镜、第二透镜、检流计振镜、第三透镜、第四透镜、四分之一波片、显微物镜、第五透镜、第二反射镜、共焦小孔、光子计数器、采集卡和计算机,所述检流计振镜放置于与所述多面反射镜物平面共轭的像平面上;所述第二激光器出射的激光经所述第一反射镜反射到所述偏振分束镜,经所述偏振分束镜出射的线偏振光发射到所述多面反射镜,经所述多面反射镜快速扫描出射的光发射到经由所述第一透镜和第二透镜组成的望远镜透镜组,所述望远镜透镜组出射的光发射到所述检流计振镜,所述检流计振镜出射的光经由所述第三透镜和第四透镜组成的望远镜透镜组发射到所述四分之一波片,所述四分之一波片将线偏振光转为圆偏振光后经所述显微物镜聚焦到样品上,经所述样品的反射光经所述显微物镜发射回所述四分之一波片,所述四分之一波片将圆偏振光变成与照明光线呈  $90^\circ$  的偏振光后依次沿着所述第四透镜、第三透镜、检流计振镜、第二透镜和第一透镜传播,并经所述多面反射镜反射到所述偏振分束镜,经所述偏振分束镜出射的光依次经所述第五透镜和第二反射镜到达所述共焦小孔并由所述光子计数器探测接收,所述采集卡采集所述光子计数器的信号并将其发送到所述计算机重构出实时的视频图像。

[0007] 所述采集卡采用非标准视频采集卡和标准视频采集卡中的一种。

[0008] 所述放大调制电路包括放大器和比较器,所述光电二极管的输出端连接所述放大器的输入端,所述放大器的输出端连接所述比较器的输入端,所述比较器的输出端连接所述可编程逻辑器件的输入端。

[0009] 所述检流计振镜驱动电路包括运算放大器、电容和电阻,所述 D/A 转换器的输出端连接所述运算放大器的反相端,所述运算放大器的输出端连接检流计振镜驱动控制板,所述运算放大器的输出端与反相端之间连接电容,所述运算放大器的同相端通过电阻接地;所述运算放大器采用运算放大器。

[0010] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点:1、本发明包括激光扫描显微成像系统、第一激光器、光电二极管和共聚焦显微成像控制系统,共聚焦显微成像控制系统包括可编程逻辑器件、放大调制电路、D/A 转换器和检流计振镜驱动电路,可编程逻辑器件包括计数分频模块和垂直同步信号产生模块,计数分频模块的输入端连接晶振,用于将晶振信号计数分频后,计数分频模块发送像素采样时钟信号到多面反射镜用于控制其转动,垂直同步信号产生模块根据实际需要对方同步信号进行计数生成帧同步信号,采集卡根据行同步信号、帧同步信号和像素采样时钟信号对光子计数器中样品的灰度值信号进行逐点采

集,并将采集的图像发送到计算机逐点重构出实时的视频图像,因此本发明通过计数分频模块对多面反射镜进行控制,并通过垂直同步信号产生模块对行同步信号进行计数生成帧同步信号,在不改变电路的情况下根据实验需要可以实现不同的分辨率和扫描帧率,实现成像速率可调,具有很好的灵活性。2、本发明的采集卡可以根据实际需要采用非标准视频采集卡或标准视频采集卡实现图像化,与现有技术相比,本发明给使用者提供了一种多选择的模式,具有很强的通用性。3、本发明的激光扫描显微成像系统包括有多面反射镜、检流计和若干透镜等其它光学器件,检流计振镜放置于与多面反射镜物平面共轭的像平面上,其角度移动把光栅线在第三透镜和第四透镜组成的望远镜透镜组中扫描成一个光栅面,多面反射镜作为快轴,检流计作为慢轴,因此通过控制多面反射镜和检流计振镜进行点扫描可以实现共聚焦实时扫描成像。本发明可以广泛应用于激光扫描显微成像系统的成像控制中。

### 附图说明

- [0011] 图 1 是本发明的实时可调谐激光扫描显微成像系统的结构示意图；  
[0012] 图 2 是本发明的共聚焦显微成像控制系统的结构示意图；  
[0013] 图 3 是本发明的共聚焦显微成像控制系统的电路原理示意图；  
[0014] 图 4 是本发明的共聚焦显微成像控制系统的信号流向示意图。

### 具体实施方式

[0015] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0016] 本发明的实时可调谐共聚焦显微成像系统包括激光扫描显微成像系统、第一激光器、光电二极管和共聚焦显微成像控制系统。

[0017] 如图 1、图 2 所示,本发明所采用的激光扫描显微成像系统的结构与现有技术中的激光扫描显微成像系统的结构类似,它包括第二激光器 1、第一反射镜 2、偏振分束镜 3、多面反射镜 4、第一透镜 5、第二透镜 6、检流计振镜 7、第三透镜 8、第四透镜 9、四分之一波片 10、显微物镜 11、第五透镜 12、第二反射镜 13、共焦小孔 14、光子计数器 15、采集卡 16 和计算机 17;其工作过程为:第二激光器 1 出射的激光经第一反射镜 2 反射到偏振分束镜 3,经偏振分束镜 3 出射的线偏振光发射到多面反射镜 4,多面反射镜 4 旋转进行快轴(X 轴)扫描,经多面反射镜 4 扫描出射的光发射到经由第一透镜 5 和第二透镜 6 组成的望远镜透镜组,在望远镜透镜组中产生沿着光栅线的角度扫描,望远镜透镜组出射的光发射到检流计振镜 7,检流计振镜 7 进行慢轴(Y 轴)扫描,检流计振镜 7 出射的光经由第三透镜 8 和第四透镜 9 组成的望远镜透镜组发射到四分之一波片 10,四分之一波片 10 将线偏振光转为圆偏振光后经显微物镜 11 聚焦到样品上,经样品的反射光又经显微物镜 11 发射回四分之一波片 10,四分之一波片 10 将圆偏振光变成与照明光线呈  $90^\circ$  的偏振光后依次沿着第四透镜 9、第三透镜 8、检流计振镜 7、第二透镜 6 和第一透镜 5 传播,并经多面反射镜 4 反射到偏振分束镜 3,经偏振分束镜 3 出射的光依次经第五透镜 12 和第二反射镜 13 到达共焦小孔 14 并由光子计数器 15 探测接收,采集卡 16 采集光子计数器的信号并将其发送到计算机 17 重构出样品的实时视频图像。其中,第二激光器 1 可以采用红外激光器,检流计振镜 7 放置于与多面反射镜物 4 平面共轭的像平面上,其角度移动把光栅线在第三透镜 8 和第四透镜 9

组成的望远镜透镜组中扫描成一个光栅面,因此通过控制多面反射镜 4 和检流计振镜 7 进行点扫描并通过光子计数器 15 可以获得样品横截面的共聚焦图像。

[0018] 如图 1 ~ 4 所示,本发明的特点在于:还包括第一激光器 18、光电二极管 19 和共聚焦显微成像控制系统,共聚焦显微成像控制系统包括可编程逻辑器件 20、放大调制电路 21、D/A 转换器 22 和检流计振镜驱动电路 23;其中,可编程逻辑器件 20 包括计数分频模块 201 和垂直同步信号(VSYNC)产生模块 202。

[0019] 计数分频模块 201 的输入端连接一晶振 203(本发明选用 20MHz 晶振,也可以根据具体要求选择其他频率,在此不作限制),用于将晶振信号计数分频后产生一方波信号,本发明将方波信号定义为像素采样时钟信号(Pixel clk),像素采样时钟信号发送到多面反射镜 4 用于控制多面反射镜 4 的转动,例如:计数分频模块 201 将 20MHz 晶振信号计数分频后产生一个 3.333KHz 的控制多面镜转速的方波信号,该信号可以驱动多面镜以每秒 277.8 转的速度转动。

[0020] 第一激光器 18 发出的激光经多面反射镜 4 反射后由光电二极管 19 接收,随着多面反射镜 4 的转动,光电二极管 19 输出正弦电压信号,并将其发送到放大调制电路 21 进行处理生成 TTL 脉冲信号,本发明将 TTL 脉冲信号定义为行同步信号(Hsync),并将其发送到可编程逻辑器件 20,可编程逻辑器件将行同步信号发送到 D/A 转换器 22,D/A 转换器 22 将行同步信号转换为电流信号,并将其发送到检流计振镜驱动电路 23 调制转化为锯齿波电压信号,并将其发送到检流计振镜驱动控制板中驱动检流计振镜 7 工作;

[0021] 可编程逻辑器件 20 的垂直同步信号产生模块 202 根据实际需要行同步信号进行计数产生所需要的帧同步信号(Vsync),同时可编程逻辑器件 20 将行同步信号、帧同步信号和像素时钟信号分别发送到采集卡 16,采集卡 16 根据行同步信号、帧同步信号和像素采样时钟信号对光子计数器 16 中样品的灰度值信号进行逐点采集,并将采集的图像发送到计算机 17 逐点重构出实时的视频图像。

[0022] 上述实施例中,为了减少多面反射镜 4 速度而导致视频图像的漂移,因此本发明将多面镜的转速作为本发明成像的基准时钟源,即行同步信号的获取过程为:第一激光器 18 发出的激光通过多面反射镜 4 一侧面的反射后被光电二极管 19 接收,当激光的入射方向垂直于多面反射镜 4 的某一面时,此刻光电二极管 19 接收的光强最强,产生的信号的幅值最大,激光通过其他方向入射到多面反射镜 4 时,光电二极管 19 接收的光强较弱,产生的信号幅值较低,因此随着多面反射镜 4 的转动,光电二极管 19 接收的信号形成一正弦电压信号,由于该正弦信号幅度较低,因此通过放大调制电路 21 后将正弦电压信号放大、调制、为一 TTL 脉冲信号,此 TTL 脉冲信号的周期就是多面反射镜转动的频率,即快轴扫描的频率信号。

[0023] 上述各实施例中,如图 3、图 4 所示,放大调制电路 21 包括一放大器 211 和一比较器 212,光电二极管 19 的输出端连接放大器 211 的输入端,放大器 211 的输出端连接比较器 212 的输入端,比较器 212 的输出端连接可编程逻辑器件 20 的输入端,放大器 211 可以根据实际需要采用现有技术中的器件或者电路结构,其具体结构不做限制,只要满足实际需要的放大倍数即可,比较器 211 可以采用 74ACT14 比较器,也可以根据实际需要采用其他的比较器,在此不作限制。

[0024] 上述各实施例中,如图 3 所示,检流计振镜驱动电路 23 包括运算放大器 231、电容

232 和电阻 233 ;D/A 转换器 22 的输出端连接运算放大器 231 的反相端,运算放大器 231 的输出端连接检流计振镜驱动控制板,运算放大器 231 的输出端与反相端之间连接电容,运算放大器 231 的同相端通过电阻 233 接地。运算放大器 231 可选用 OP07 运算放大器,也可以根据实际需要采用其他的运算放大器,此处不作限制。

[0025] 上述各实施例中,采集卡 16 可以根据实际应用采用非标准视频采集卡或者标准视频采集卡,如果采用非标准视频采集卡,共聚焦显微成像控制系统在参数设计时不必按照视频的便准规则输出,具有很大的灵活性;如果采用标准视频采集卡,比如输出电视卡(标准视频采集卡的一种)进行显示,可编程逻辑器件 20 需要对采集到的非标准的模拟的视频信号转化成标准的视频信号(比如 RS-170,CCIR,NTSC,和 PAL 视频标准)信号输出给计算机 17,对图像进行实时的显示。

[0026] 上述各实施例中,第一激光器 18 可以采用 650nm 激光器,也可以根据实际需要选择准直性能较好的红外线之外其他波长激光光源,在此不作限定;光电二极管 19 可以根据实际需要选择具有光电探测功能的光学元件,在此不作限定;共焦小孔 14 的直径可以采用微米量级,目的为了更好的避免来自非焦面光进入光子计数器。

[0027] 下面通过具体实施例对本发明的共聚焦显微成像控制系统进行进一步说明:

[0028] 如果采用可编程逻辑器件 20 将像素时钟采样时钟信号设置为 10MHZ,其对应的行同步信号为 10KHZ,帧同步信号对应设置则为 10HZ,则本发明就工作在  $1000 \times 1000 @ 10\text{fps}$  的模式下;如果在多面反射镜 4 转动速度允许范围内更换对应参数,则通过可编程逻辑器件 20 将像素采样时钟信号设置为 10MHZ,行同步信号为 20KHZ,帧同步信号对应为 40HZ 的时候,本发明就工作在  $500 \times 500 @ 40\text{fps}$  的模式下;同样也可以选取更高一些的像素时钟,改变可变成逻辑器件 20 更改多面反射镜 4 的转速,从而更改成像系统的图像分辨率大小和帧速度。但是如果观察血管内细胞时这样的帧率是不能够满足要求,因而可以通过可编程逻辑器件 20 控制多面反射镜 4 实现一个更快帧率扫描的图像,例如每秒 40 帧分辨率为  $500 \times 500$  的图像,或者 10KHz 的线扫描模式。

[0029] 综上所述,本发明可以在不需要改变外部控制电路的情况下,根据实验需要通过可编程逻辑器件 20 对多面反射镜 4 的控制,实现不同的分辨率和扫描帧率,以及不同视频格式的输出。

[0030] 上述各实施例仅用于说明本发明,本发明的所有光学器件在使用过程中均可以采用相应的外部支架进行定位,本发明对每一光学元件的具体位置不作限定,可以根据具体实验要求进行调整,但是所有的光学元件组合形成的光路传播必须与本发明的光路传播一致,满足本发明对样本的照射和检测要求,凡是在本发明技术方案的基础上进行的等同变换和改进,均不应排除在本发明的保护范围之外。

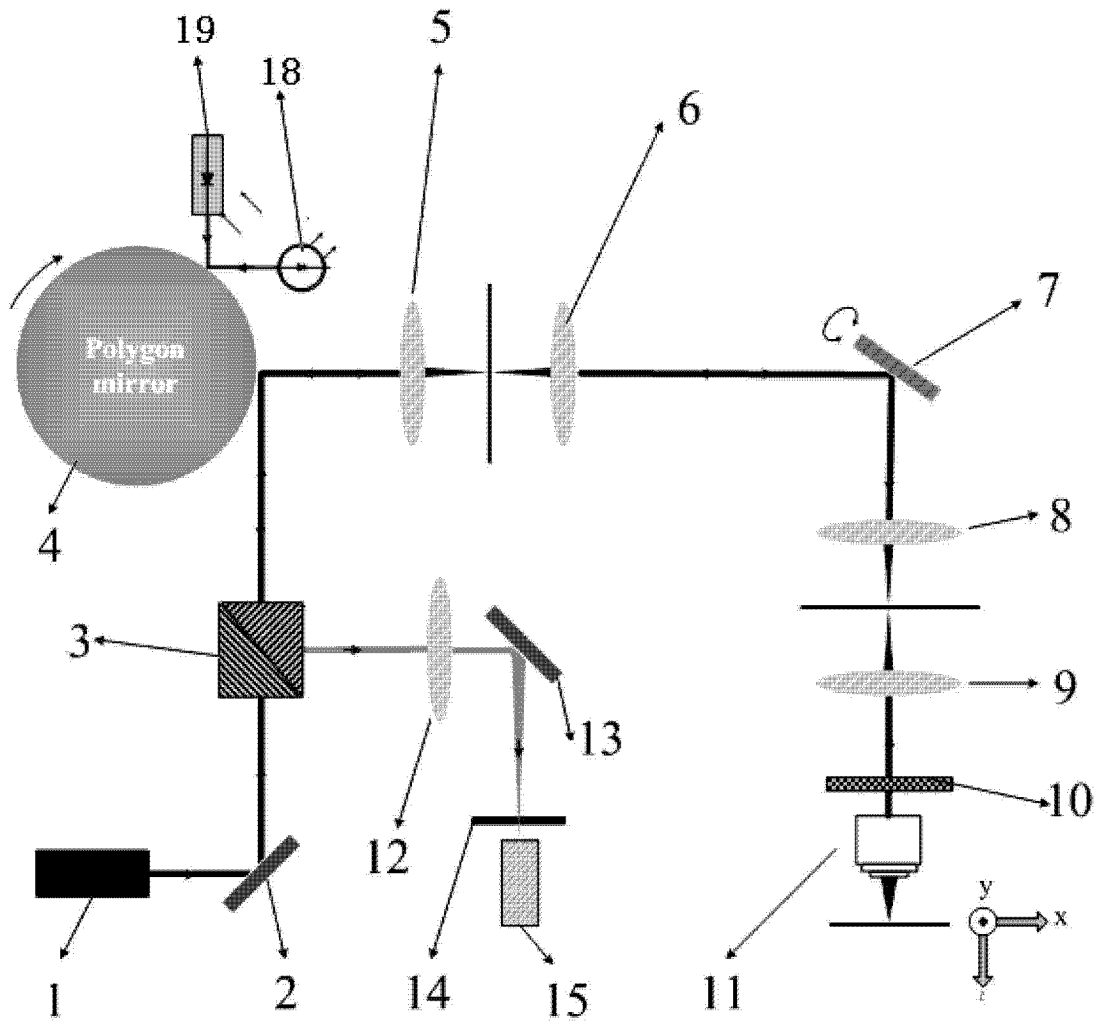


图 1

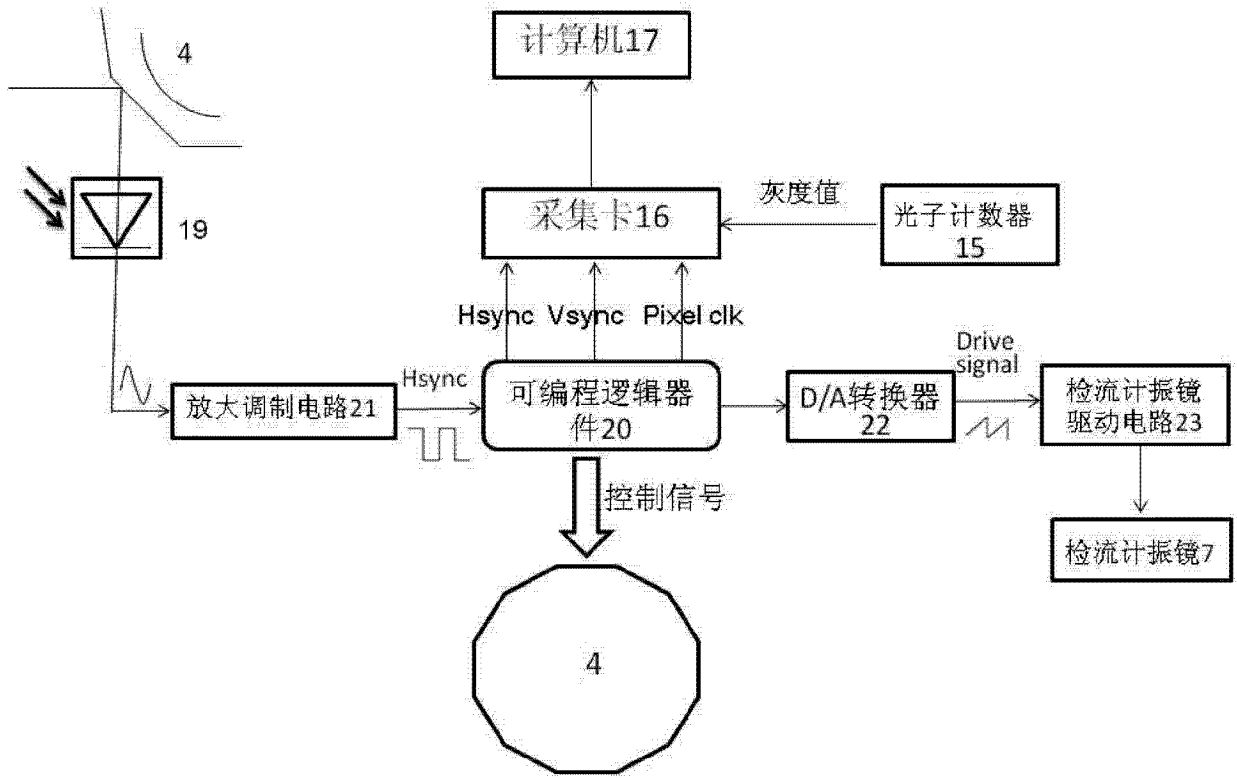


图 2

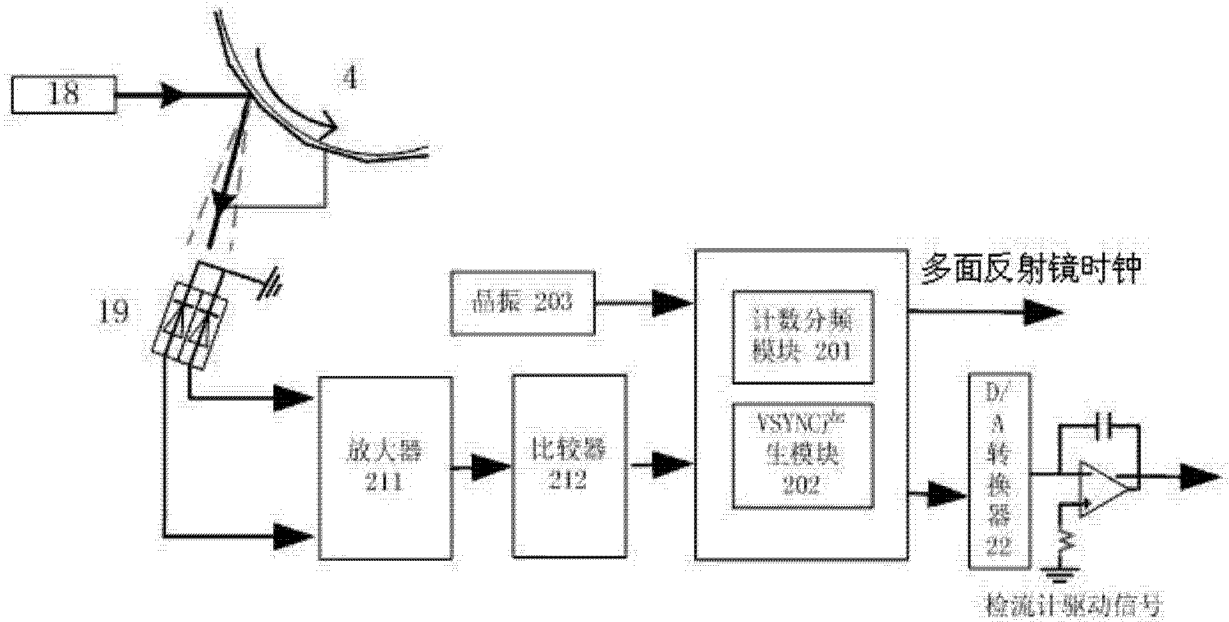


图 3

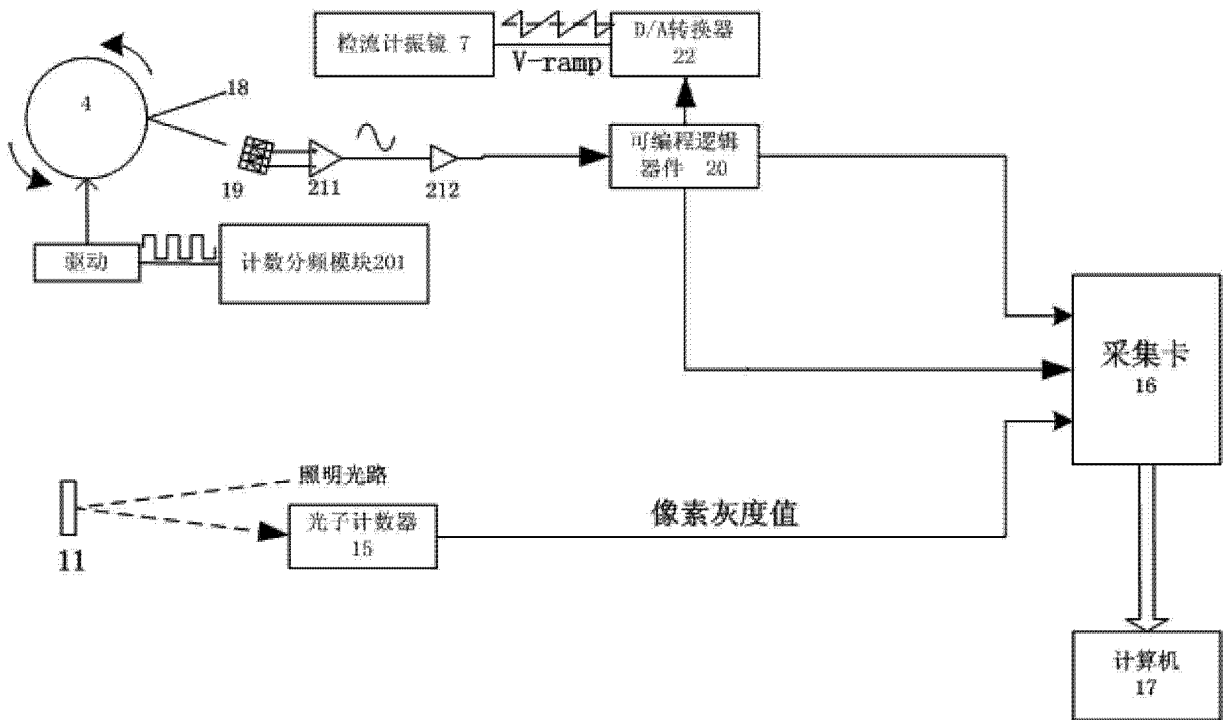


图 4