

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00104281.5

[43] 公开日 2001 年 11 月 21 日

[11] 公开号 CN 1322939A

[22] 申请日 2000.5.11 [21] 申请号 00104281.5
 [71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
 地址 130022 吉林省长春市人民大街 140 号
 [72] 发明人 秦伟平 王海宇 黄世华
 吕少哲 陈宝玖

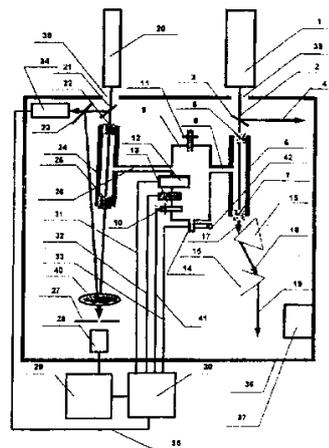
[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司
 代理人 李恩庆

权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图页数 1 页

[54] 发明名称 精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统

[57] 摘要

本发明属于光学技术领域,是一种用于飞秒激光脉冲,精确读取时间延迟量和消除群速度色散功能的气体延迟系统。利用不同的气体在不同的气压和温度下对光的折射率不同的原理,通过恒定温度、改变气体压力的方法改变光程,达到光线时间延迟的目的。通过延迟激光束和非延迟激光束间的干涉效应,测量空间一点的相干强度变化,得到两光束间激光脉冲的相对延迟。本发明具有精度高、调节范围大、稳定性高、无振动、无散射、使用方便等特点。



权 利 要 求 书

1、一种精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统，是由飞秒激光器（1），分束器（3），光学气体腔（5），联管（8），高压气室（9），电磁充气阀（10），电磁放气阀（14），色散元件（15）和（16），激光器（20），分束器（21）和（23），光学气体腔（24），连接气管（26），狭缝（27），光强探测器（28）和（34），放大器与模/数转换（29），计算机与接口电路（30），恒温箱（36），温度调节器（37）等组成，其特征是在飞秒激光器（1）和光学气体室（5）之间，安装有分束器（3），光学气体腔（5）的出射端有对角放置的色散元件（15）和（16）；激光器（20）和光学气体腔（24）之间，安装有分束器（21），光学气体腔（24）和光强探测器（28）之间，有狭缝（27），光强探测器（28）同放大器与模/数转换（29）相连，放大器与模/数转换（29）又同计算机及接口电路（30）相连；在光强探测器（34）和分束器（21）之间有分束器（23），光强探测器（34）通过接口联线（35），同计算机及接口电路（30）相连；高压气室（9）通过联管（8）同光学气体腔（5）相连通，通过连接气管（26）同光学气体腔（24）相连通；高压气室（9）上安有电磁充气阀（10）和电磁放气阀（14），电磁充气阀（10）用联线（41），同计算机及接口电路（30）连接，电磁放气阀（14）用联线（33），同计算机与接口电路（30）连接，电磁放气阀（14）连有通向恒温箱（36）外面的排气管道（42）；飞秒激光器（1）发出



的飞秒脉冲激光（2），经由入射窗口（39），在分束器（3）上分光，分出的反射光为激光束（4），透过光从入射窗口（6）进入光学气体腔（5），出射窗口（7）出射的飞秒脉冲激光束（17），经色散元件（15），成为飞秒脉冲激光（18），并照射在色散元件（16）上，产生负的啁啾效应；激光器（20）发出的激光束，经入射窗口（38），在分束器（21）上分光，分出的透射激光从入射窗口（22）进入光学气体腔（24）后，从出射窗口（25）射出，分出的反射激光在分束器（23）上再次分光，分出的反射激光在狭缝（27）处，同从出射窗口（25）射出的激光产生干涉，被光强探测器（28）接收，分出的透射激光被光强探测器（34）接收。

2、根据权利要求1所述的精确读取时间延迟量和消除群速度色的气体延迟系统，其特征是高压气室（9）安装有温度调节器（12）和温度传感器（13），温度调节器（12）用联线（31），同计算机及接口电路（30）连接，温度传感器（13）用联线（32），同计算机及接口电路（30）连接。

3、根据权利要求2所述的精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统，其特征是在光学气体腔（24）和狭缝（27）之间有光学放大装置（40），光学放大装置（40）使从出射窗口（25）出射的激光和在分束器（23）上反射的激光，放大后干涉条纹成象在狭缝（27）上。

4、根据权利要求3所述的精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统，其特征是狭缝（27）的宽度为0.1mm-5.0mm。

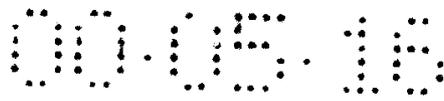
5、根据权利要求3所述的精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统，其特征是入射窗口（6）和（22），出射窗口（7）和（25）有反射层，使入射激光在光学气体腔（5）和（24）内经过N次反射后射出。

6、根据权利要求5所述的精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统，其特征是入射窗口（6）和出射窗口（7）采用K9玻璃材料，折射率为1.5。

7、根据权利要求5所述的精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统，其特征是入射窗口（6）和出射窗口（7）采用石英玻璃材料，折射率为1.5。

8、根据权利要求3所述的精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统，其特征是光强探测器（28）采用光电倍增管。

9、根据权利要求3所述的精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统，其特征是光强探测器（28）采用二级管接收器件。



说 明 书

精确读取时间延迟量和消除群速度色散的气体延迟系统

本发明属于光学技术领域，涉及一种用于飞秒激光脉冲，精确读取时间延迟量和消除群速度色散功能的气体延迟系统。主要采用激光束相干的方法读取时间延迟的变化，其时间延迟精度和测量精度可达亚阿秒（ 10^{-19} 秒），可以保证飞秒脉冲经过该系统后脉冲宽度不变。

为了使两束光脉冲在时间上延迟一定的间隔，以往人们采用的是机械延迟线和压电陶瓷延迟器等装置。由于机械加工的限制，前者有精度低、振动大、稳定性差、光路调节难度大等缺点；后者因为改变光程的尺寸微小，而在使用和调节时受到极大的限制。这两种光延迟器的价格都比较昂贵。普通的气体压力时间延迟线克服了上述缺点，在用于宽脉冲激光、非相干激光、连续激光等的时间延迟上具有非常理想的特性。但在用于飞秒脉冲时却存在着群速度色散问题，同时气体压力的测量精度取决于压力传感器的测量精度，往往不能发挥气体压力时间延迟技术的最大潜力。气体延迟线的核心部件为高压气体腔，由于高压气体腔内往往要充20个大气压的高压气体，因此它两端的光学窗口就必须具有足够的厚度。当飞秒超短脉冲经过这样的光学窗口时就会由于光的群速度色散造成飞秒超短脉冲的宽化，从而改变了光束的质量。另外，从原则上讲，如果我们不考虑温度、气体流动等因素的影响，气体压力时间延迟技术可以达到的最小延迟量是无限小的。但是，如何去表征和测量这样微小的气体压力变化或时间延迟量是解决延迟精度问题的关键。

本发明的目的是提供一种精度高、稳定性强、完全无振动、调节范围大的用于飞秒（ 10^{-15} 秒）光脉冲的、调节精度可达阿秒（ 10^{-18} 秒）尺度的并具有准确读出时间延迟量的变化和消除群速度色散功能的光学气体压力时间延迟系统。

为了实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

利用不同的气体在不同的气压和温度下对光的折射率不同的原理，通过恒定温度、改变气体压力的方法改变光程，达到光线时间延迟的目的。通过延迟激光光束和非延迟激光光束间的干涉效应，测量空间上某一点的相干强度变化，得到两光束间激光脉冲的相对延迟，即可得到光程的变化。在两束激光的夹角很小的情况下，相干条纹可以达到很宽的程度，相邻的两个相干条纹代表了两束光的光程差为一个波长的距离，比如使用 He-Ne 激光作为相干光源，则这样的光程差为 632.8 纳米，对应的时间延迟为 2.11 飞秒；如果将两条纹间的强度分为 1000 个测试级别，则时间延迟精度可达 2 阿秒（ 10^{-18} 秒）。如果采用 266 纳米的激光（YGA 四倍频谐波）精度可达 1 阿秒以下；另外，如果在光学气体腔的两端窗口上加上反射层，使入射的激光在光学气体腔中经过 N 次反射后射出，那么激光在光学气体腔中所经过的光程就为 $(N+1)$ 倍的光学气体腔长度，因此，可以将时间延迟的测量精度提高 $(N+1)$ 倍。比如，同样用 He-Ne 激光做相干光源，并且使其在光学气体腔中反射 10 次，则时间延迟精度的测量可达 0.2 阿秒。当然，对于不同的充入气体、不同的光波波长以及不同的温度，高压气体的折射率变化不同，具体的时间延迟量要随这些参数而定。

下面结合附图和实施例对本发明作进一步详细的描述。

图 1 是本发明结构示意图。

图中 1—飞秒激光器； 2—飞秒激光束； 3—激光分束器； 4—分出的飞秒脉冲光束； 5—气体压力延迟线的光学气体腔； 6—光学气体腔 5 的入射窗口； 7—光学气体腔 5 的出射窗口； 8—光学气体腔 5 与高压气室的联管； 9—高压气室； 10—由计算机控制的电磁充气阀； 11—安全阀； 12—温度调节器； 13—温度传感器； 14—由计算机控制的电磁放气阀； 15—色散元件，棱镜或光栅； 16—色散元件，棱镜或光栅； 17—具有正的群速度色散的飞秒脉冲激光束； 18—经过色散补偿的飞秒脉冲激光束； 19—复原的飞秒脉冲激光束； 20—相干激光输出激光器； 21—激光分束器； 24—光学气体腔； 22—光学气体腔的入射光学窗口； 23—激光分束器； 25—光学气体腔 24 的出射光学窗口； 26—光学气体腔 24 与高压气室 9 的连接气管； 27—光学狭缝； 28—光强探测器； 29—放大器与模/数转换； 30—计算机及接口电路； 31—温度调节器与计算机接口控制连线； 32—温度传感器与计算机接口连线； 33—计算机控制电磁放气阀连线； 34—激光光强探测器； 35—激光光强探测器与计算机接口连线； 36—恒温箱； 37—温度调节器； 38—恒温箱激光入射窗口； 39—恒温箱激光入射窗口； 40—光学放大装置； 41—计算机及接口与电磁充气阀 10 的连线； 42—通向恒温箱 36 外面的排气管道。

本发明的恒温箱 36 开有入射窗口 38 和 39，飞秒激光器 1 的飞秒激光束 2，从入射窗口 39 射入，激光器 20 的激光束从入射窗口 38 射入。在入射窗口 39 相对的位置，飞秒激光器 1 和光学气体腔 5 之间，安

装有分束器 3。光学气体腔 5 和高压气室 9，通过联管 8 连接，使高压气室 9 中的气体进入光学气体腔 5 中，两者的气压保持相等。在光学气体腔 5 的出射端安有色散元件 1 5 和 1 6，两者对角放置。在入射窗口 3 8 相对的位置，激光器 2 0 和光学气体腔 2 4 之间，安装有分束器 2 1。在光学气体腔 2 4 和光强探测器 2 8 之间，有一狭缝 2 7。光强探测器 2 8 同放大器与模/数转换 2 9 相连，而放大器与模/数转换 2 9 又同计算机及接口电路 3 0 相连。光学气体腔 2 4 和高压气室 9，通过连接气管 2 6 连接，使高压气室 9 中的气体进入光学气体腔 2 4 中，两者的气压保持相等。在分束器 2 1 和光强探测器 3 4 之间，安装有分束器 2 3。光强探测器 3 4，用接口连线 3 5 同计算机及接口电路 3 0 连接。高压气室 9 上安装有安全阀 1 1，温度调节器 1 2，温度传感器 1 3，电磁放气阀 1 4 和电磁充气阀 1 0。电磁充气阀 1 0，通过连线 4 1 同计算机及接口电路 3 0 连接。温度调节器 1 2，通过连线 3 1 同计算机及接口电路 3 0 连接。温度传感器 1 3，通过连线 3 2 同计算机及接口电路 3 0 连接。电磁放气阀 1 4，通过连线 3 3 同计算机及接口电路 3 0 相连接。电磁放气阀 1 4 安装有排气管道 4 2，排气管道 4 2 通向恒温箱 3 6 的外面。为了使恒温箱 3 6 内的温度恒定，在恒温箱 3 6 内安装有温度调节器 3 7。

本发明的具体工作过程如下：由飞秒激光器 1 发出的飞秒脉冲激光束 2，经由恒温箱 3 6 的入射窗口 3 9，由分束器 3 进行分光。分束器 3 对飞秒脉冲激光束 2 的整个频谱具有相同的反射率，不会造成选频效应。分出的飞秒脉冲激光束 4 由于没有穿过任何光学元件而没有群速度色散的产生，飞秒脉冲激光束 4 的脉冲宽度没有发生改变。飞秒脉冲激光束 4 在实

际应用中可作为另外一束激光，如在四波混频的实验中作为非延迟光束。透过分束器 3 的飞秒脉冲光束穿过光学气体腔 5 的入射窗口 6 和出射窗口 7。在本实施例中入射窗口 6 和出射窗口 7 采用 K9 玻璃材料或石英玻璃材料，折射率约为 1.5。由于出射窗口 6、出射窗口 7 以及分束器 3 的作用，会使飞秒脉冲激光束产生正的啾啾 (chirp) 效应，因此，从发射窗口 7 出射的飞秒脉冲激光束 1 7 宽度已经展宽，并发生了频率分离。出射的飞秒脉冲激光束 1 7 经由色散元件 1 5 (棱镜或光栅) 将光脉冲按频率进一步分离，使低频部分超前，高频部分滞后，脉冲宽度进一步展宽变为飞秒脉冲激光束 1 8；飞秒脉冲激光束 1 8 照射在与色散元件 1 5 (棱镜或光栅) 相对放置的另外一块色散元件 1 6 (棱镜或光栅) 上，产生负的啾啾 (chirp) 效应，从而使飞秒脉冲激光束的时间宽度复原。将气体压力延迟线的光学气体腔 5、2 4 和高压气室 9 通过计算机控制的电磁充气阀 1 0 充入高压气体，本实施例采用氮气，光学气体腔 5 的初始压力为 2 0 个大气压。打开由计算机及接口电路 3 0 控制的电磁放气阀 1 4，使光学气体腔 5 和 2 4 以及高压气室 9 内的气压均匀缓慢地降低，放出的气体经由排气管道 4 2 排出恒温箱 3 6。飞秒激光光束经过入射窗口 6 和出射窗口 7 穿过气体压力延迟线的光学气体腔 5，由电磁放气阀 1 4 排出的气体调整光学气体腔 5、2 4 内的压力，由此，改变了通过光学气体腔 5 和 2 4 的光束的光程。

由激光器 2 0 发出的具有高强度稳定性的激光束，本实施例采用 He-Ne 激光器或半导体激光器并可考虑加入倍频器件，穿过恒温箱 3 6 的入射窗口 3 8，由激光分束器 2 1 进行分光，一束穿过分束器 2 1 并通过入射窗

口 2 2 和出射窗口 2 5 穿过光学气体腔 2 4 照在光学狭缝 2 7 上。本实施例的狭缝宽度选为 0.1-5mm，狭缝宽度的选择视相干光束间的夹角以及测量精度的要求和光强探测器 2 8 的灵敏度而定。由分束器 2 1 反射的激光束照在分束器 2 3 上再次分光，其中透过部分被光强探测器 3 4 接收，本实施例的光强探测器 3 4 采用光电倍增管或二极管接收器件，所得激光强度的信号做为光强探测器 2 8 所测信号的参比量，以消除由于激光器 2 0 输出不稳所带来的误差。由分束器 2 3 反射的激光束同样照射在狭缝 2 7 上并与经过气体延迟线光学气体腔的另外一束激光形成干涉。为了提高测量的精度，使干涉条纹间的空间距离比较大，可在狭缝 2 7 的前方放置一个光学放大装置 4 0，使放大后干涉条纹成象在狭缝 2 7 上。另外，为了保证干涉条纹具有高的清晰度，选择分束器 2 1 和 2 3 的反射率和透过率使得形成相干的两束激光的强度相同。透过狭缝 2 7 的相干强度信号由光强探测器 2 8 接收，本实施例的光强探测器 2 8 采用光电倍增管或二极管接收器件，然后由信号放大及模/数转换电路 2 9 进行处理，所得数字信号送入计算机及其接口电路 3 0。计算机及接口电路 3 0 通过连线 3 5 采集到光强探测器 3 4 的激光强度信号，用它对由激光强度变化而引起的相干信号变化进行处理，提高测量的信噪。要使本发明的时间延迟精度和测量精度达到阿秒量级，温度恒定、没有空气流动、没有振动是三个关键因素。为此，本发明设置了具有温度调节器 3 7 的恒温箱 3 6，在本发明工作时要恒温箱盖好并保持恒温；同时为了确保两个光学气体腔内的空气温度恒定在±2%摄氏度的范围，高压气体室内装有高灵敏度的温度传感器 1 3 和温度调节器 1 2。两者分别通过连线 3 2 和 3 1 与计算机及接口 3 0

相连，通过计算机采集参数并实时控制。

以上所描述的系统，其光程延迟精度取决于充入的气体、激光波波长以及气体的温度，做到阿秒级的时间延迟和延迟量的标定是本发明的特色。而机械延迟线的精度要达到 1 飞秒，就意味着超高精度的机械加工、高精度的步进电机和昂贵的价格。由于没有机械活动部分，因此本发明完全无振动，不会造成光线抖动和偏折。相对于压电陶瓷的光程延迟方法来说，本发明具有大的调节范围。该范围取决于延迟线气体光学腔的长度和可充入气体的最大气压。在气体延迟线的高压气体腔的长度为 30 厘米，充入气体（氮气）的压力为 20 个大气压时，光程的最大变化为 0—6000 飞秒。充入气体的光学腔长度越长，充气压力越大，光程变化范围也就越大。由于采用的是直接测量相干强度的方法测量光程差，因此比用压力传感器测量再换算为光程变化的方法更加直观和可信。为了消除飞秒脉冲通过气体延迟线前后窗口时产生的正的啁啾效应，消除群速度色散，用两块折射率为 1.5 的三角棱镜对角放置，做色散补偿，即产生负的啁啾效应，使飞秒脉冲复原。因此，本发明具有精度高、调节范围大、稳定性高、无振动、无散射、使用方便等特点。

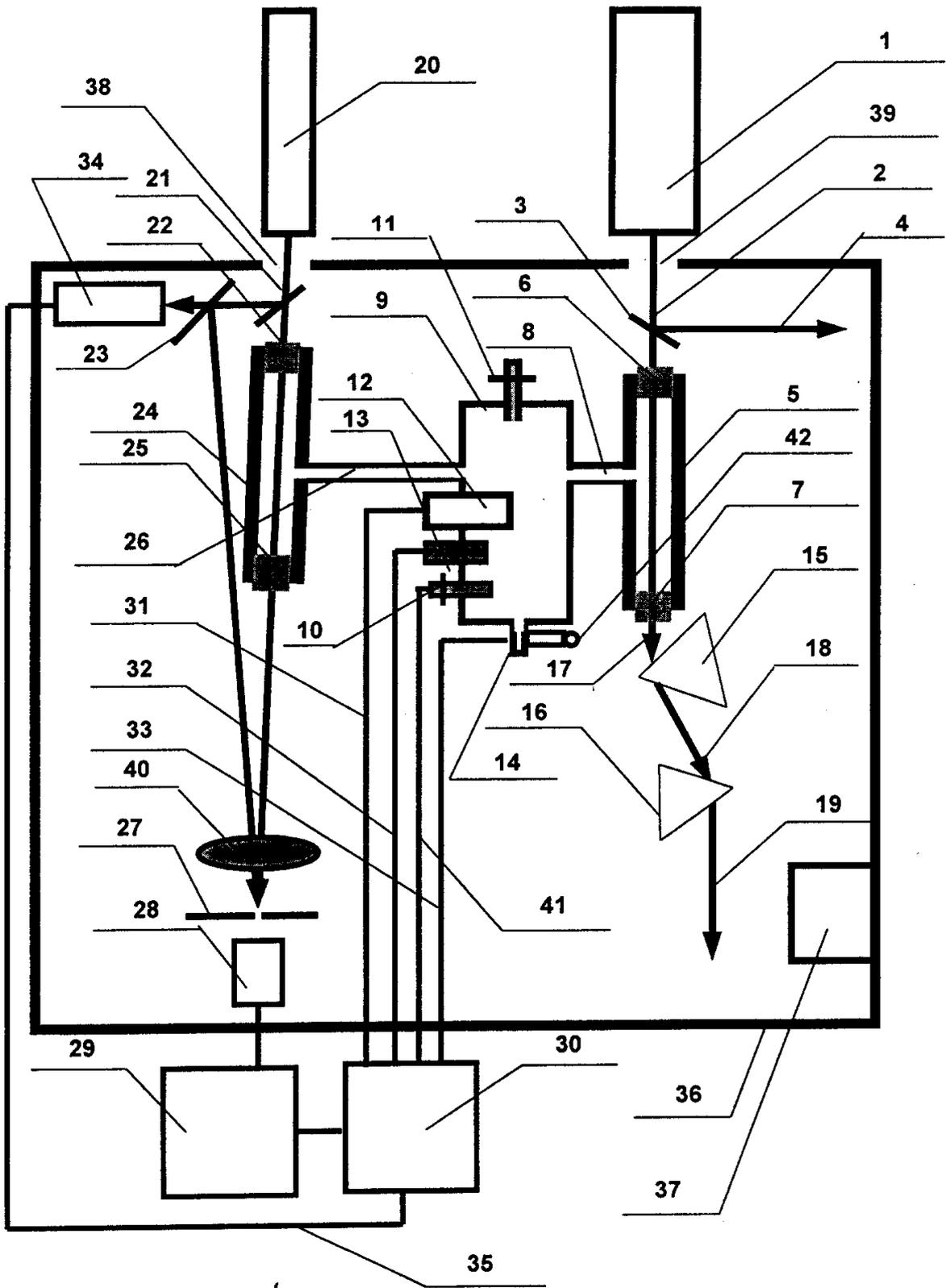


图 1