

申 请 信 息

信息页

发明名称: 一种高灵敏磁场探测装置及方法

申请人: 南京大学

发明人 (可以有多个, 按照顺序填写): 夏可宇、阮亚平、肖隆奇、唐江山、
陆延青

第一发明人身份证号: 130302197706173537

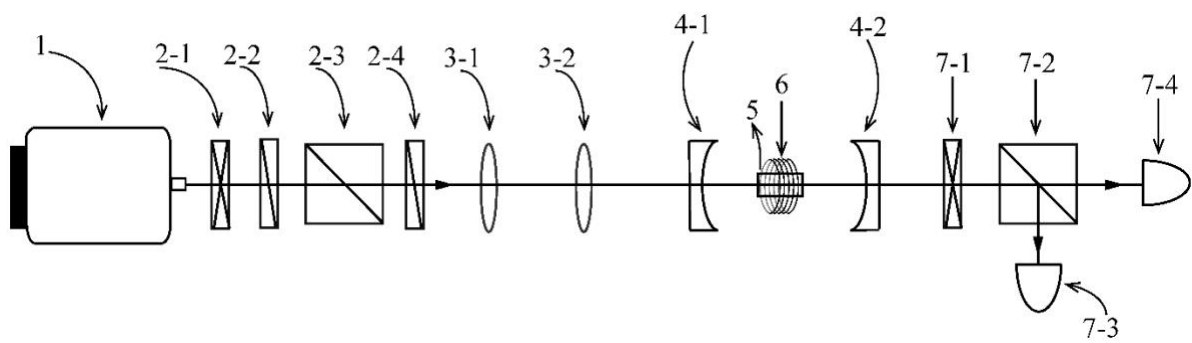
联系人: 夏可宇 15195990367 keyu.xia@nju.edu.cn

联系人: 阮亚平 15150573026 ruanyaping@nju.edu.cn

说明书摘要

本发明公开了一种高灵敏磁场探测装置及方法，装置包括沿光传播方向依次设置的窄线宽可调谐光源、偏振光形成模块、第一凸透镜、第二凸透镜、法布里-波罗腔以及探测计算模块，所述法布里-波罗腔内设有环绕了磁场线圈的磁光晶体，其中，窄线宽可调谐光源发出椭圆偏振的信号光，偏振光形成模块将信号光形成为预设角度的线偏振光，法布里-波罗腔与射入的线偏振光形成共振，并将入射线偏振光经磁光晶体后从腔内射出具备两种模式的光束，探测计算模块包括相连的探测单元和计算单元，探测单元接收具备两种模式的光束，计算单元根据两种模式的频率差计算出施加于磁光晶体的磁场。本发明结构简单、操作简单、使用范围广、灵敏度高。

摘要附图



权 利 要 求 书

1、一种高灵敏磁场探测装置，其特征在于：包括沿光传播方向依次设置的窄线宽可调谐光源、偏振光形成模块、第一凸透镜、第二凸透镜、法布里-波罗腔以及探测计算模块，所述法布里-波罗腔内设有环绕了磁场线圈的磁光晶体，其中，所述窄线宽可调谐光源发出椭圆偏振的信号光，所述偏振光形成模块将信号光形成为预设角度的线偏振光，所述法布里-波罗腔与射入的线偏振光形成共振，并将入射线偏振光经磁光晶体后从腔内射出具备两种模式的光束，所述探测计算模块包括相连的探测单元和计算单元，所述探测单元接收具备两种模式的光束，所述计算单元根据两种模式的频率差计算出施加于磁光晶体的磁场。

2、根据权利要求1所述的高灵敏磁场探测装置，其特征在于：所述偏振光形成模块包括沿光传播方向依次设置的1/4波片、第一半波片、偏振分束器和第二半波片。

3、根据权利要求1所述的高灵敏磁场探测装置，其特征在于：所述法布里-波罗腔包括沿光传播方向设置的第一凹面腔镜和第二凹面腔镜，所述第一凹面腔镜入射面为平面，出射面为凹面，所述第二凹面腔镜入射面为凹面，出射面为平面。

4、根据权利要求3所述的高灵敏磁场探测装置，其特征在于：所述第一凹面腔镜和第二凹面腔镜的平面均镀有高透过率的增透膜，凹面均镀高反射率的反射膜。

5、根据权利要求1所述的高灵敏磁场探测装置，其特征在于：所述磁场线圈两端连接恒流电源，通过改变电流大小和方向改变待测磁场的大小和方向。

6、根据权利要求1所述的高灵敏磁场探测装置，其特征在于：所述探测单元包括1/4波片、位于1/4波片后方的偏振分束器、接收偏振分束器输出的反射光束的第一光电探测器以及接收偏振分束器输出的透射光束的第二光电探测器。

7、根据权利要求1所述的高灵敏磁场探测装置，其特征在于：所述法布里-波罗腔内且在磁光晶体后还设有可调节衰减差的液晶盒，所述探测单元具体为光电探测器。

8、根据权利要求7所述的高灵敏磁场探测装置，其特征在于：所述液晶盒包括盒体和设置于盒体内并列竖直放置的第一玻璃片和第二玻璃片，所述第一玻璃片和第二玻璃片外侧都镀有增透膜，内侧都镀有氧化铟锡导电层和聚酰亚胺取向层，液晶盒内灌有向列相液晶分子，液晶分子的取向为竖直方向，所述第一玻璃片和第二玻璃片的导电层连接信号发生器，由信号发生器提供交流电压，通过改变交流电压的大小来改变液晶盒对水平和竖直线偏振光的衰减差 $\Delta\kappa$ 。

9、一种高灵敏磁场探测方法，其特征在于包括：

(1) 沿光传播方向依次设置窄线宽可调谐光源、偏振光形成模块、第一凸透镜、第二凸透镜、法布里-波罗腔，所述法布里-波罗腔内放置环绕了磁场线圈的磁光晶体；

(2) 打开窄线宽可调谐光源，调节偏振光形成模块，使得信号光转换为具有最大光强的预设角度线偏振光；

权 利 要 求 书

(3) 扫描窄线宽可调谐光源的频率, 使得法布里-波罗腔在扫频范围输出有稳定的具备左旋模式和右旋模式的光束;

(4) 改变磁场线圈的电流, 设置偏振磁场;

(5) 采用探测单元接收具备左旋模式和右旋模式的光束, 探测单元包括 1/4 波片、位于 1/4 波片后方的偏振分束器、接收偏振分束器输出的反射光束的第一光电探测器以及接收偏振分束器输出的透射光束的第二光电探测器;

(6) 采用计算单元根据左旋模式和右旋模式的频率差计算出施加于磁光晶体的磁场。

10、一种高灵敏磁场探测方法, 其特征在于包括:

(1) 沿光传播方向依次设置窄线宽可调谐光源、偏振光形成模块、第一凸透镜、第二凸透镜、法布里-波罗腔, 所述法布里-波罗腔内放置环绕了磁场线圈的磁光晶体和可调节衰减差的液晶盒;

(2) 打开窄线宽可调谐光源, 调节偏振光形成模块, 使得信号光转换为具有最大光强的预设角度线偏振光;

(3) 扫描窄线宽可调谐光源的频率, 使得法布里-波罗腔在扫频范围输出有稳定的具备两种模式的光束;

(4) 磁场线圈不加电流, 调节液晶盒设置衰减差 $\Delta\kappa$;

(5) 改变磁场线圈的电流, 找到奇异点对应的磁场;

(6) 采用探测单元接收具备两种模式的光束, 所述探测单元具体为光电探测器;

(7) 改变磁场线圈的电流, 获取奇异点磁场附近不同磁场下的法布里-波罗腔输出光束;

(8) 计算单元利用双 Lorentz 函数拟合法布里-波罗腔输出光束得到两种模式的频率差 $\Delta\omega$, 根据 $\Delta\omega$ 计算出施加于磁光晶体的磁场。

说明书

一种高灵敏磁场探测装置及方法

技术领域

本发明涉及磁场测量技术，尤其涉及一种高灵敏磁场探测装置及方法。

背景技术

磁场传感器应用十分广泛，在工业检测、国防建设、天文、资源勘探、医疗卫生、科学研究等领域发挥着重要作用。目前应用较多的磁传感器主要有线圈、霍尔元件、磁阻元件、磁光晶体等。其中，线圈用于检测磁通量的变化，所以无法对静磁场或者磁通变化缓慢的情况测量，基于霍尔效应的磁传感器通常灵敏度不够高。磁光晶体材料由于其稳定的性质近年来也被广泛用作磁传感领域，而且由于是固体，电子密度高，便于集成。磁光晶体用作磁传感采用的原理是磁光法拉第效应，线偏振光穿过磁光晶体时，可以看作是等幅度的左旋和右旋圆偏振光的叠加，这两束光由于磁光效应会具有不同的折射率，因此在通过同样的距离后有不同的相位，从而使穿过等离子体的线偏振光产生偏转。而对于弱磁来说，偏转角很小，测量过程误差较大，测量范围小，准确度不高。因此，利用磁光效应的磁传感器也面临着需要提高灵敏度的问题。

综上所述可知，在现有的磁传感技术中，如何提高磁传感的灵敏度，减少测量误差，从而发展一种原理简单、操作方便、利于集成、适用范围广的磁传感器件是个亟待解决的技术难题。

发明内容

发明目的：本发明针对现有技术存在的问题，提供一种原理简单、操作方便、利于集成、适用范围广的高灵敏磁场探测装置及方法。

技术方案：本发明所述的高灵敏磁场探测装置包括沿光传播方向依次设置的窄线宽可调谐光源、偏振光形成模块、第一凸透镜、第二凸透镜、法布里-波罗腔以及探测计算模块，所述法布里-波罗腔内设有环绕了磁场线圈的磁光晶体，其中，所述窄线宽可调谐光源发出椭圆偏振的信号光，所述偏振光形成模块将信号光形成为预设角度的线偏振光，所述法布里-波罗腔与射入的线偏振光形成共振，并将入射线偏振光经磁光晶体后从腔内射出具备两种模式的光束，所述探测计算模块包括相连的探测单元和计算单元，所述探测单元接收具备两种模式的光束，所述计算单元根据两种模式的频率差计算出施加于磁光晶体的磁场。

进一步的，所述偏振光形成模块包括沿光传播方向依次设置的1/4波片、第一半波片、偏振分束器和第二半波片。

进一步的，所述法布里-波罗腔包括沿光传播方向设置的第一凹面腔镜和第二凹面

说明书

腔镜，所述第一凹面腔镜入射面为平面，出射面为凹面，所述第二凹面腔镜入射面为凹面，出射面为平面。所述第一凹面腔镜和第二凹面腔镜的平面均镀有高透过率的增透膜，凹面均镀高反射率的反射膜。

进一步的，所述磁场线圈两端连接恒流电源，通过改变电流大小和方向改变待测磁场的大小和方向。

进一步的，所述探测单元包括 1/4 波片、位于 1/4 波片后方的偏振分束器、接收偏振分束器输出的反射光束的第一光电探测器以及接收偏振分束器输出的透射光束的第二光电探测器。

作为一种可选方式，所述法布里-波罗腔内且在磁光晶体后还可以设有可调节衰减差的液晶盒，所述探测单元具体为光电探测器。所述液晶盒包括盒体和设置于盒体内并列竖直放置的第一玻璃片和第二玻璃片，所述第一玻璃片和第二玻璃片外侧都镀有增透膜，内侧都镀有氧化铟锡导电层和聚酰亚胺取向层，液晶盒内灌有向列相液晶分子，液晶分子的取向为竖直方向，所述第一玻璃片和第二玻璃片的导电层连接信号发生器，由信号发生器提供交流电压，通过改变交流电压的大小来改变液晶盒对水平和竖直线偏振光的衰减差 $\Delta\kappa$ 。

本发明提供了一种高灵敏磁场探测方法包括：

(1) 沿光传播方向依次设置窄线宽可调谐光源、偏振光形成模块、第一凸透镜、第二凸透镜、法布里-波罗腔，所述法布里-波罗腔内放置环绕了磁场线圈的磁光晶体；

(2) 打开窄线宽可调谐光源，调节偏振光形成模块，使得信号光转换为具有最大光强的预设角度线偏振光；

(3) 扫描窄线宽可调谐光源的频率，使得法布里-波罗腔在扫频范围输出有稳定的具备左旋模式和右旋模式的光束；

(4) 改变磁场线圈的电流，设置偏振磁场；

(5) 采用探测单元接收具备左旋模式和右旋模式的光束，探测单元包括 1/4 波片、位于 1/4 波片后方的偏振分束器、接收偏振分束器输出的反射光束的第一光电探测器以及接收偏振分束器输出的透射光束的第二光电探测器；

(6) 采用计算单元根据左旋模式和右旋模式的频率差计算出施加于磁光晶体的磁场。

本发明还提供了另外一种高灵敏磁场探测方法，包括：

(1) 沿光传播方向依次设置窄线宽可调谐光源、偏振光形成模块、第一凸透镜、第二凸透镜、法布里-波罗腔，所述法布里-波罗腔内放置环绕了磁场线圈的磁光晶体和可调节衰减差的液晶盒；

(2) 打开窄线宽可调谐光源，调节偏振光形成模块，使得信号光转换为具有最大

说明书

光强的预设角度线偏振光；

(3) 扫描窄线宽可调谐光源的频率，使得法布里-波罗腔在扫频范围输出有稳定的具备两种模式的光束；

(4) 磁场线圈不加电流，调节液晶盒设置衰减差 Δk ；

(5) 改变磁场线圈的电流，找到奇异点对应的磁场；

(6) 采用探测单元接收具备两种模式的光束，所述探测单元具体为光电探测器；

(7) 改变磁场线圈的电流，获取奇异点磁场附近不同磁场下的法布里-波罗腔输出光束；

(8) 计算单元利用双 Lorentz 函数拟合法布里-波罗腔输出光束得到两种模式的频率差 $\Delta\omega$ ，根据 $\Delta\omega$ 计算出施加于磁光晶体的磁场。

有益效果：本发明与现有技术相比，其显著优点是：本发明装置简单，原理简单，操作方便，测量灵敏度高，适用广泛，利于集成，有望用于极弱磁场的高灵敏检测，为未来医药、地质勘探、国防、航天等领域服务。

附图说明

图 1 是本发明提供的高灵敏磁场探测装置的一个实施例的系统框图；

图 2 是本发明提供的高灵敏磁场探测装置的另一实施例的系统框图。

具体实施方式

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，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，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作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。

实施例一

本实施例提供了一种高灵敏磁场探测装置，工作在厄米体系，如图 1 所示，包括沿光传播方向依次设置的窄线宽可调谐光源 1、偏振光形成模块、第一凸透镜 3-1、第二凸透镜 3-2、法布里-波罗腔、探测计算模块，法布里-波罗腔内设有环绕了磁场线圈 6 的磁光晶体 5，探测计算模块包括相连的探测单元 7 和计算单元（图未示）。

其中，窄线宽可调谐光源 1 具体为中心波长为 795 nm 的窄线宽光源，线宽小于 100 kHz。

偏振光形成模块将信号光形成为预设角度的线偏振光，具体包括沿光传播方向依次设置的 1/4 波片 2-1、第一半波片 2-2、偏振分束器 2-3、第二半波片 2-4，1/4 波片 2-1 将窄线宽可调谐光源 1 发出的信号光调节为线偏振光，第一半波片 2-2 将线偏振光调节为水平方向，偏振分束器 2-3 进一步纯化水平线偏振光，第二半波片 2-4 将水平线偏振

说 明 书

光调节为 45 度线偏振或其他角度线偏振。

第一凸透镜 3-1 和第二凸透镜 3-2 焦距为 100 mm，固定于一维位移台上，调节方向平行于光传播方向，调节两者之间的距离使激光束腰与法布里-波罗腔模式匹配。

法布里-波罗腔包括沿光传播方向设置的第一凹面腔镜 4-1、第二凹面腔镜 4-2，第一凹面腔镜 4-1 入射面为平面，出射面为凹面，第二凹面腔镜 4-2 入射面为凹面，出射面为平面，第一凹面腔镜 4-1、第二凹面腔镜 4-2 的平面均镀有透过率 99.9% 的增透膜，凹面均镀有反射率 99% 的反射膜，两个凹面腔镜的焦距都是 100mm，形成腔长为 200 mm 的法布里-波罗腔。偏振光形成模块输出的光进入法布里-波罗腔，经磁光晶体后射出具左旋模式和右旋模式的输出光，激光光场与法布里-波罗腔形成共振。

磁光晶体 5 为长度 18 mm 的钽石榴石(TGG)晶体，通光孔径 3 mm，TGG 中心与法布里-波罗腔的束腰位置重合，两侧镀有 99.8% 的增透膜，使磁光晶体的中心与腔束腰位置重合，磁场线圈 6 环绕在磁光晶体 5 周围，磁场线圈 6 两端连接恒流电源，在使用时通过调节磁场线圈 6 的电流来改变施加在磁光晶体 5 上的偏置磁场。

探测单元 7 包括 1/4 波片 7-1、位于 1/4 波片 7-1 后方的偏振分束器 7-2、接收偏振分束器 7-2 输出的反射光束的第一光电探测器 7-3 以及接收偏振分束器 7-2 输出的透射光束的第二光电探测器 7-4。法布里-波罗腔输出的左旋模式和右旋模式的光信号经过 1/4 波片 7-1 分别转换为水平和竖直线偏振光，分别从偏振分束器 7-2 透射和反射，透射光束为水平线偏振光，反射光束为竖直线偏振光，分别被第二光电探测器 7-4 和第一光电探测器 7-3 探测并输入到示波器（图中未画出）上显示出来，计算单元根据得到的输出谱线得出左旋和右旋偏振模式的频率差 $\Delta\omega$ ，再根据频率差 $\Delta\omega$ 计算出磁场强度，计算原理为：装置工作于厄米系统，当磁场强度为 B ，法布里-波罗腔输出的左、右旋圆偏振的频率差表示为：

$$\Delta\omega = 2gB$$

g 为耦合常数，计算单元可根据以上公式计算得到磁场强度。

本实施例还提供了一种基于上述装置的磁场测量方法，包括如下步骤：

(1) 沿光传播方向依次设置窄线宽可调谐光源、偏振光形成模块、第一凸透镜、第二凸透镜、法布里-波罗腔，所述法布里-波罗腔内放置环绕了磁场线圈的磁光晶体；

(2) 打开窄线宽可调谐光源，调节偏振光形成模块，使得信号光转换为具有最大光强的预设角度线偏振光；具体调节方法为：调节 1/4 波片 2-1 和第一半波片 2-2，通过旋转第一 1/4 波片和第一半波片的角度，使得光束经过偏振分束器 2-3 获得最大光强，调节第二半波片 2-4 的角度，使光束为 45 度线偏振；

(3) 扫描窄线宽可调谐光源的频率，使得法布里-波罗腔在扫频范围输出有稳定的

具备左旋模式和右旋模式的光束；

(4) 改变磁场线圈的电流，设置偏振磁场；

(5) 采用探测单元接收具备左旋模式和右旋模式的光束，探测单元包括 1/4 波片、位于 1/4 波片后方的偏振分束器、接收偏振分束器输出的反射光束的第一光电探测器以及接收偏振分束器输出的透射光束的第二光电探测器；

(6) 采用计算单元根据左旋模式和右旋模式的频率差计算出施加于磁光晶体的磁场。

实施例二

本实施例提供了另外一种高灵敏磁场探测装置，工作在非厄米体系，与实施例一不同的地方是，法布里-波罗腔内在磁光晶体后还设有可调节衰减差 $\Delta\kappa$ 的液晶盒 8，所述探测单元 7 具体为一个光电探测器。由于非厄米体系奇异点附近本征态不再是左右旋偏振模式，无法利用图 1 所示的 1/4 波片和偏振分束器将两个本征模式的谱线分开。

其中，液晶盒 8 内侧设有并列的第一玻璃片 8-1 和第二玻璃片 8-2，第一玻璃片 8-1 和第二玻璃片 8-2 外侧都镀有 99.9% 的增透膜，内侧都镀有氧化铟锡导电层和聚酰亚胺取向层，液晶盒内灌有向列相液晶分子 E7，液晶分子的取向为竖直方向，两侧玻璃片导电层连接任意信号发生器，由信号发生器提供 1KHz 的方波交流电压，通过改变交流电压的大小来改变液晶盒对水平和竖直线偏振光的衰减差 $\Delta\kappa$ 。

计算单元根据频率差 $\Delta\omega$ 计算出磁场强度，计算原理为：装置工作于非厄米系统，当磁场强度为 B ，水平和竖直线偏振模式的衰减差为 $\Delta\kappa$ 时，频率差表示为：

$$\Delta\omega = 2 \sqrt{g^2 B^2 - \left(\frac{\Delta\kappa}{2}\right)^2}$$

g 为耦合常数，当 $\Delta\kappa \neq 0$ ，装置工作于非厄米系统， $g^2 B_0^2 = \left(\frac{\Delta\kappa}{2}\right)^2$ 时，为奇异点，在奇异点附近测量微小的磁场扰动，即 $B = B_0 + \Delta B$ ， $\Delta B \ll B_0$ 则

$$\Delta\omega = 2g\sqrt{\Delta B^2 + 2B_0\Delta B}$$

由于 $\Delta B \ll B_0$ ， ΔB^2 可忽略，因此

$$\Delta\omega \approx 2g\sqrt{2B_0\Delta B}$$

$$\Delta\omega \propto \sqrt{\Delta B}$$

与厄米系统 ($\Delta\kappa = 0$) 输出信号 $\Delta\omega \propto \Delta B$ 相比，对于相同的微弱磁场信号 ΔB ，输出信号 $\Delta\omega$ 得到极大地提高。计算单元可根据 $\Delta\omega$ 按照上式计算出磁光晶体上的磁场。

本实施例还提供了一种基于上述装置的磁场测量方法，包括如下步骤：

(1) 沿光传播方向依次设置窄线宽可调谐光源、偏振光形成模块、第一凸透镜、

说明书

第二凸透镜、法布里-波罗腔，所述法布里-波罗腔内放置环绕了磁场线圈的磁光晶体和可调节衰减差的液晶盒；

(2) 打开窄线宽可调谐光源，调节偏振光形成模块，使得信号光转换为具有最大光强的预设角度线偏振光；具体调节方法为：调节 1/4 波片 2-1 和第一半波片 2-2，通过旋转第一 1/4 波片和第一半波片的角度，使得光束经过偏振分束器 2-3 获得最大光强，调节第二半波片 2-4 的角度，使光束为 45 度线偏振；

(3) 扫描窄线宽可调谐光源的频率，使得法布里-波罗腔在扫频范围输出有稳定的具备水平线偏振光和竖直线偏振光的光束；

(4) 磁场线圈不加电流，调节液晶盒设置衰减差 $\Delta\kappa$ 为 2 MHz 左右；

(5) 改变磁场线圈的电流，找到奇异点对应的磁场；

(6) 采用探测单元接收具备水平线偏振光和竖直线偏振光的光束，所述探测单元具体为光电探测器；

(7) 改变磁场线圈的电流，获取奇异点磁场附近不同磁场下的法布里-波罗腔输出光束；

(8) 计算单元利用双 Lorentz 函数拟合法布里-波罗腔输出光束得到两种模式的频率差 $\Delta\omega$ ，根据 $\Delta\omega$ 计算出施加于磁光晶体的磁场。

以上实施例一和实施例二分别对应工作在厄米体系和非厄米体系的磁场测量装置和方法，其中揭露的仅为本发明较佳实施例而已，不能以此来限定本发明之权利范围。实施例中入射到腔中的线偏振光角度设置为 45 度，但不限于 45 度，也可以是-45 度或者其它任意角度；磁光晶体选择为 18 mm 的铽镓石榴石(TGG)，但不限于铽镓石榴石，也可以是铽钐铝石榴石(TSAG)或者钇铁石榴石(YIG)等其它磁光晶体。实施例二中水平和竖直线偏振模式的衰减差 $\Delta\kappa$ 设置为 2 MHz，但不限于 2MHz，也可以为其它衰减差，总之依本发明权利要求所作的等同变化，仍属本发明所涵盖的范围。

说 明 书 附 图

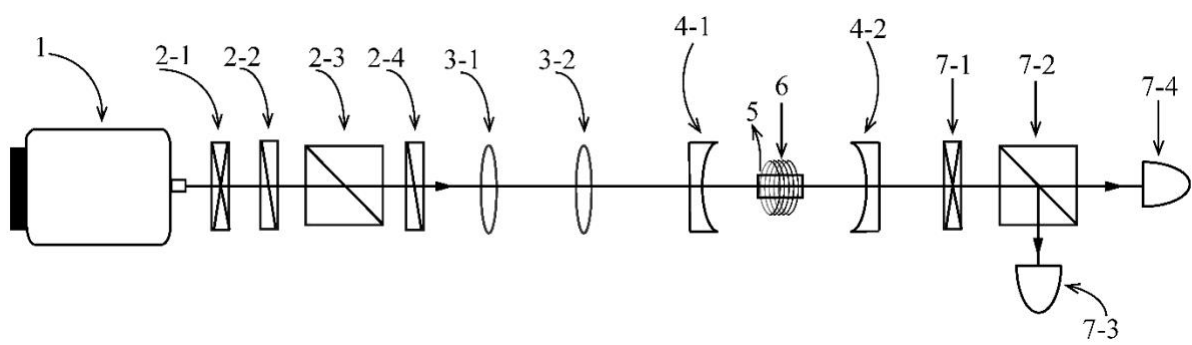


图 1

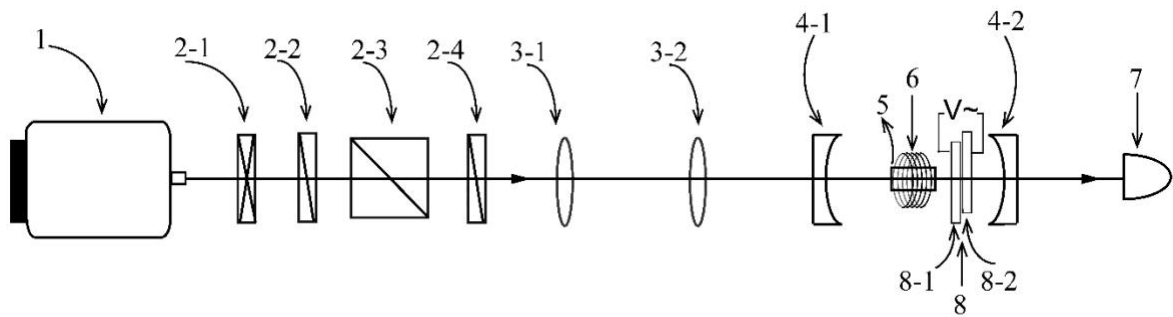


图 2