(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118695453 A
(43)申请公布日 2024.09.24

(21)申请号 202411198559.X

(22)申请日 2024.08.29

(71)申请人 苏州焜原光电有限公司
地址 215211 江苏省苏州市吴江区黎里镇汾湖大道558号

(72)发明人 王勇 马栋梁

(74)专利代理机构 苏州市中南伟业知识产权代理事务所(普通合伙) 32257
专利代理师 冯瑞

(51)Int.Cl.
H05H 1/00(2006.01)

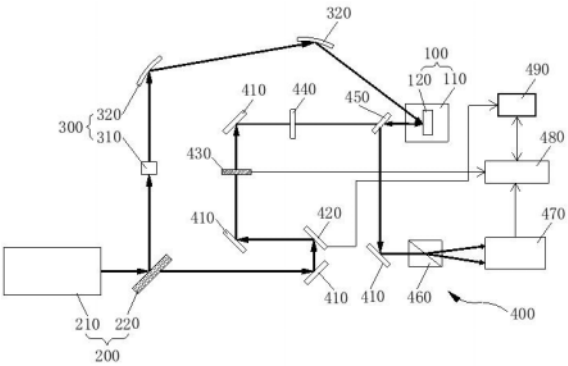
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法及设备

(57)摘要

本发明提供了一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法及设备,其包括:S1、在待检测样品表面制备耦合光栅;S2、通过太赫兹光持续照射耦合光栅,将探测偏振激光照射所述反射区后,得到携带反射区震荡信息的探测偏振激光;S3、对得到携带反射区震荡信息的探测偏振激光偏振分束后,测量各分离光束的光信号强度,当各分离光束的光信号强度不同时,待检测样品表面发生自旋波震荡。本发明使用太赫兹光激发特殊材料表面等离子体,并使用激光探测该等离子体振荡的自旋波特性的方法实现了基于磁光克尔效应的自旋波探测过程,此技术有效地形成传播型狄拉克等离激元,弥补了当前自旋波探测手段的空白,对于自旋等离激元的产生和利用具有重要意义。



CN 118695453 A

1.一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法,其特征在于:包括:

步骤S1、在待检测样品表面划分光栅区及反射区,在所述光栅区中制备耦合光栅;

步骤S2、通过太赫兹光持续照射所述耦合光栅,同时,将探测偏振激光照射所述反射区后,得到携带反射区震荡信息的探测偏振激光;

步骤S3、对所述得到携带反射区震荡信息的探测偏振激光进行偏振分束后,分别测量各分离光束的光信号强度,

当各分离光束的光信号强度相同时,认为所述待检测样品表面未发生自旋波震荡;

当各分离光束的光信号强度不同时,认为所述待检测样品表面发生自旋波震荡。

2.根据权利要求1所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法,其特征在于:步骤S1中,所述待检测样品为三维拓扑绝缘体Bi_2Se_3薄膜,其厚度不低于300nm,所述光栅区与所述反射区面积相同,所述耦合光栅周期为400~700nm。

3.根据权利要求1所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法,其特征在于:步骤S1具体为:先通过分子束外延生长三维拓扑绝缘体Bi_2Se_3薄膜,之后通过电子束刻蚀和电子束蒸镀在所述光栅区上制作耦合光栅。

4.根据权利要求1所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法,其特征在于:步骤S2中:所述太赫兹光被引导至所述耦合光栅,至所述光栅区被激发出狄拉克等离激元,以形成自旋波,当所述待检测样品发生自旋波震荡时,所述光栅区将所述自旋波传递至所述反射区。

5.根据权利要求1所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法,其特征在于:步骤S2中,所述探测偏振激光为脉冲激光,其波长为750~800nm;其脉冲持续时间小于100飞秒,重复频率为75~85MHz。

6.根据权利要求1所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法,其特征在于:步骤S2中,在所述探测偏振激光分束前,对所述探测偏振激光依次进行固定频率调制以及噪声过滤。

7.根据权利要求1所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法,其特征在于:其还包括步骤S4、通过制造所述太赫兹光与所述探测偏振激光之间的光程差,使二者之间产生时延,当所述待检测样品发生自旋波震荡时通过所述时延计算所述自旋波随时间变化关系。

8.一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备,其特征在于:用以通过权利要求1~7中任意一项所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法进行三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测,其包括:

承载机构,待检测样品设置于所述承载机构中,所述待检测样品包括本体、光栅区以及反射区,所述光栅区及所述反射区分别设置于所述本体表面,其中,所述光栅区设置为耦合光栅;

激发机构,所述激发机构设置于所述待检测样品与激光光源之间,其包括太赫兹发射器,所述激光光源中的一束光路通过所述太赫兹发射器到达所述耦合光栅;

探测机构,所述探测机构包括偏振片、第一分束器、偏振分束器以及平衡检测器,所述激光光源中的另一束光路经过所述偏振片后照射所述反射区,使携带反射区震荡信息的探测偏振激光经过所述偏振分束器分束后分别输入所述平衡检测器的两个探端。

9.根据权利要求8所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备,其特征在于:其还包

括激光发射机构,所述激光发射机构包括激光发射器以及第二分束器,所述第二分束器将所述激光发射器的光源分为至少两束光路。

10.根据权利要求9所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备,其特征在于:所述探测机构还包括光学斩波器以及锁相放大器,所述光学斩波器设置于所述第二分束器与所述偏振片之间的传输光路上,所述锁相放大器设置于所述平衡检测器的输出端,且与所述光学斩波器信号连接。

11.根据权利要求8所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备,其特征在于:所述激发机构还包括至少一个球面反射镜;所述探测机构还包括移动反射组件以及至少一个固定反射镜,所述移动反射组件相对于至少一个所述固定反射镜移动。

12.根据权利要求11所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备,其特征在于:所述移动反射组件包括滑轨、驱动器以及移动反射镜,所述移动反射镜连接于所述滑轨一端,以驱动所述移动反射镜沿所述滑轨移动。

13.根据权利要求8所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备,其特征在于:其还包括中控系统,所述探测机构连接所述中控系统。

一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法及设备

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体技术领域,具体指一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法及设备。

背景技术

[0002] 自旋等离子体(spin-plasmons)作为一种涉及电子自旋的集体振荡现象,其独特的物理性质和潜在的应用价值在近年来受到了广泛关注。这种现象的产生源于电子自旋在外部电磁场激发下的集体运动,从而引起等离子体波动,实现了等离子体振荡与自旋波的有机结合。在自旋电子器件、量子计算等先进技术领域,自旋等离子体展现出极大的应用前景。

[0003] 在众多材料体系中,石墨烯、拓扑绝缘体表面态等材料因其特殊的电子结构和自旋特性,成为了研究自旋等离子体的理想平台。已有大量文献报道了在这些材料体系中成功观测到的自旋等离子体现象,以及对其潜在应用的初步探索。然而,当前的自旋等离子体观测技术尚存在一定的局限性,主要体现在对激发局限震荡波的依赖和在原位使用吸收光谱进行观测的不足。

[0004] 具体而言,现有的自旋等离子体观测主要受制于激发局限震荡波,这种震荡波在空间中传播受限,导致自旋等离子体的应用范围受到制约。此外,由于自旋波在非激发区域快速衰减,原位吸收光谱观测方法难以捕捉到完整的自旋等离子体信号,这无疑增加了观测的难度。更重要的是,自旋震荡波的不传播性使得其在实际应用中的探测和利用面临巨大挑战,这在很大程度上限制了自旋等离子体技术的发展。

发明内容

[0005] 为此,本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术中震荡波在空间中传播受限导致自旋等离子体难以观测的问题,提供一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法及设备。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提供了一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法,其包括:步骤S1、在待检测样品表面划分光栅区及反射区,在所述光栅区中制备耦合光栅;步骤S2、通过太赫兹光持续照射所述耦合光栅,同时,将探测偏振激光照射所述反射区后,得到携带反射区震荡信息的探测偏振激光;步骤S3、对所述得到携带反射区震荡信息的探测偏振激光进行偏振分束后,分别测量各分离光束的光信号强度,当各分离光束的光信号强度相同时,认为所述待检测样品表面未发生自旋波震荡;当各分离光束的光信号强度不同时,认为所述待检测样品表面发生自旋波震荡。

[0007] 在本发明的一个实施例中,步骤S1中,所述待检测样品为三维拓扑绝缘体Bi_2Se_3薄膜,其厚度不低于300nm,所述光栅区与所述反射区面积相同,所述耦合光栅周期为400~700nm。

[0008] 在本发明的一个实施例中,步骤S1具体为:先通过分子束外延生长三维拓扑绝缘

体Bi_2Se_3薄膜,之后通过电子束刻蚀和电子束蒸镀在所述光栅区上制作耦合光栅。

[0009] 在本发明的一个实施例中,步骤S2中:所述太赫兹光被引导至所述耦合光栅,至所述光栅区被激发出狄拉克等离激元,以形成自旋波,当所述待检测样品发生自旋波震荡时,所述光栅区将所述自旋波传递至所述反射区。

[0010] 在本发明的一个实施例中,步骤S2中,所述探测偏振激光为脉冲激光,其波长为750~800nm;其脉冲持续时间小于100飞秒,重复频率为75~85MHz。

[0011] 在本发明的一个实施例中,步骤S2中,在所述探测偏振激光分束前,对所述探测偏振激光依次进行固定频率调制以及噪声过滤。

[0012] 在本发明的一个实施例中,其还包括步骤S4、通过制造所述太赫兹光与所述探测偏振激光之间的光程差,使二者之间产生时延,当所述待检测样品发生自旋波震荡时通过所述时延计算所述自旋波随时间变化关系。

[0013] 本发明还提供一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备,其用以通过上述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法进行三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测,其包括:承载机构,待检测样品设置于所述承载机构中,所述待检测样品包括本体、光栅区以及反射区,所述光栅区及所述反射区分别设置于所述本体表面,其中,所述光栅区设置为耦合光栅;激发机构,所述激发机构设置于所述待检测样品与激光光源之间,其包括太赫兹发射器,所述激光光源中的一束光路通过所述太赫兹发射器到达所述耦合光栅;探测机构,所述探测机构包括偏振片、第一分束器、偏振分束器以及平衡检测器,所述激光光源中的另一束光路经过所述偏振片后照射所述反射区,使携带反射区震荡信息的探测偏振激光经过所述偏振分束器分束后分别输入所述平衡检测器的两个探端。

[0014] 在本发明的一个实施例中,其还包括激光发射机构,所述激光发射机构包括激光发射器以及第二分束器,所述第二分束器将所述激光发射器的光源分为至少两束光路。

[0015] 在本发明的一个实施例中,所述探测机构还包括光学斩波器以及锁相放大器,所述光学斩波器设置于所述第二分束器与所述偏振片之间的传输光路上,所述锁相放大器设置于所述平衡检测器的输出端,且与所述光学斩波器信号连接。

[0016] 在本发明的一个实施例中,所述激发机构还包括至少一个球面反射镜;所述探测机构还包括移动反射组件以及至少一个固定反射镜,所述移动反射组件相对于至少一个所述固定反射镜移动。

[0017] 在本发明的一个实施例中,所述移动反射组件包括滑轨、驱动器以及移动反射镜,所述移动反射镜连接于所述滑轨一端,以驱动所述移动反射镜沿所述滑轨移动。

[0018] 在本发明的一个实施例中,其还包括中控系统,所述探测机构连接所述中控系统。

[0019] 本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点:

本发明所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法及设备,使用太赫兹光激发特殊材料表面等离子体,并使用激光探测该等离子体振荡的自旋波特性的方法实现了基于磁光克尔效应的自旋波探测过程,此项发明技术可以有效地对待检测材料表面态的电子产生激发,形成传播型狄拉克等离激元,并对相应产生的自旋振荡波进行探测,弥补了当前自旋波探测手段的空白,对于自旋等离激元的产生和利用具有重要的启示和指导意义。

附图说明

[0020] 为了使本发明的内容更容易被清楚的理解,下面根据本发明的具体实施例并结合附图,对本发明作进一步详细的说明。

[0021] 图1是本发明优选实施例中待检测样品结构示意图;

图2是本发明优选实施例中三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备结构示意图;

图3是图2中移动反射组件及固定反射镜的结构示意图。

[0022] 说明书附图标记说明:100、承载机构;110、样品台;120、待检测样品;121、本体;122、光栅区;123、反射区;200、激光发射机构;210、激光发射器;220、第一分束器;300、激发机构;310、太赫兹发射器;320、球面反射镜;400、探测机构;410、固定反射镜;420、移动反射组件;421、滑轨;422、驱动器;423、移动反射镜;430、光学斩波器;440、偏振片;450、第二分束器;460、偏振分束器;470、平衡检测器;480、锁相放大器;490、中控系统。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明,以使本领域的技术人员可以更好地理解本发明并能予以实施,但所举实施例不作为对本发明的限定。

实施例一

[0024] 参见图1及图2所示,本实施例提供一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备,其用以进行三维拓扑绝缘体Bi_2Se_3薄膜的自旋等离子体探测,其包括:

承载机构100,待检测样品120设置于所述承载机构100中,所述待检测样品120包括本体121、光栅区122以及反射区123,所述光栅区122及所述反射区123分别设置于所述本体121表面,其中,所述光栅区122设置为耦合光栅;

激发机构300,所述激发机构300设置于所述待检测样品120与所述激光光源之间,其包括太赫兹发射器310,所述激光光源中的一束光路通过所述太赫兹发射器310到达所述耦合光栅;

探测机构400,所述探测机构400包括偏振片440、第一分束器220、偏振分束器460以及平衡检测器470,所述激光光源中的另一束光路经过所述偏振片440后,通过所述第一分束器220照射所述反射区123,使携带反射区震荡信息的探测偏振激光经过所述偏振分束器460分束后分别输入所述平衡检测器470的两个探端。

[0025] 本实施例所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备,使用太赫兹光激发三维拓扑绝缘体Bi_2Se_3薄膜表面的等离子体,并使用激光探测该等离子体振荡的自旋波特性的方法实现了基于磁光克尔效应的自旋波探测过程,此项发明技术可以有效地对待检测材料表面态的电子产生激发,形成传播型狄拉克等离激元,并对相应产生的自旋振荡波进行探测,弥补了当前自旋波探测手段的空白,对于自旋等离激元的产生和利用具有重要的启示和指导意义。

[0026] 本实施例中,承载机构100还包括样品台110,三维拓扑绝缘体Bi_2Se_3薄膜放置于样品台110上,具体地,本实施例中的样品台110优选为液氦制冷台,其可用于容纳尺寸为1cm×1cm的待测试样品,在其他实施例中也可以选择其他低温样品台110,本申请对此不做具体限制。进一步地,本实施例中样品台110的透光窗口需要可同时透过3-5THz(60-100um)及780nm短波红外激光,由此与后续检测过程相适配。

[0027] 参见图1所示,本实施例中的待检测样品120通过分子束外延加工得到,为确保检测质量,其厚度需要达到300nm及以上,进一步地,本实施例中的光栅区122以及反射区123设置于本体121的同一表面,其中,光栅区122上通过电子束刻蚀(E-beam lithography)和电子束蒸镀(E-beam evaporation)相结合的方法制作耦合光栅,由此能够为激发具有特定震荡周期的传播性狄拉克等离激元提供平台,更进一步地,本实施例中的耦合光栅的周期为400-700nm,其中,任意金属栅的宽度与空隙的宽度均占其周期的一半,由此可以产生较为均匀的光学响应,进而提高其使用稳定性。同时,金属栅和空隙的均匀分布有助于增强电磁场在光栅表面的耦合,从而提高光学器件的效率。

[0028] 参见图2所示,本实施例还包括激光发射机构200,所述激光发射机构200包括激光发射器210以及第二分束器450,所述第二分束器450将所述激光发射器210的光源分为至少两束光路,其中一路为经过激发机构300的激发光路,另一路为经过激发机构300的探测光路。具体地,本实施例中的激光发射器210能够产生波长780nm、脉冲持续时间小于100飞秒,且重复频率为80MHz的脉冲激光。

[0029] 本实施例中,所述激发机构300还包括两个球面反射镜320,经过太赫兹发射器310的激发光路通过两个球面反射镜320对其光路传输方向进行导向,具体地,本实施例中,激光发射器210所产生的一条飞秒脉冲激光光束进入太赫兹发射器310以产生平行发射的太赫兹脉冲辐射,随后再通过球面反射镜320的导向作用下,到达待检测样品120中的耦合光栅上,以此实现对拓扑绝缘体表面态中的狄拉克等离激元的激发。具体地,本实施例中太赫兹发射器310的工作原理是:高速脉冲激光的照射在其内部的半导体晶体(低温生长的GaAs或InGaAs材料)中生成电子-空穴对,然后这些光激发载流子被施加的外电场加速,电子和空穴的物理分离形成与偏置电场相反的宏观场。该电场的快速上升和衰减产生瞬态电流,从而在太赫兹频率范围内产生一个同频率或相近频率的电磁辐射脉冲。

[0030] 进一步地,本实施例中,当太赫兹脉冲辐射到达待检测样品120中的耦合光栅后,待检测样品120的光栅区122上会产生特定的电子自选排布,并在磁光克尔效应(MOKE)的作用下传递至反射区123。从具有特定电子自旋排布的材料表面反射的光,其偏振状态和强度都会发生变化,因此通过检测这种变化可以直观的推算出材料表面的自旋波状态。

[0031] 参见图2所示,经过第一分束器220的探测偏振激光向偏振分束器460传输,并到达反射区123,此时,其的偏振状态和强度都会发生变化,因此可证实待检测材料表面存在自旋波,接下来,携带反射区震荡信息的探测偏振激光达到偏振分束器460,并由偏振分束器460将不同的光信号分离出来,由此,通过比较分离后各个光束的光信号强度即可得知待检测样品120表面是否存在自旋震荡,以及自选震荡的相对强度。

[0032] 进一步地,所述探测机构400还包括移动反射组件420以及至少一个固定反射镜410,所述移动反射组件420相对于至少一个所述固定反射镜410移动。本实施例中,基于移动反射组件420的设置,本申请能够通过比较不同位置以及不同的激发-探测的时间延迟条件下的光束状态变化,反应出待检测样品120的自旋波强度、相位等信息。具体地,参见图3所示,本实施例中所述移动反射组件420包括滑轨421、驱动器422以及移动反射镜423,所述移动反射镜423连接于所述滑轨421一端,以驱动所述移动反射镜423沿所述滑轨421移动,在探测光路的传输过程中可以通过移动反射组件420的位移方向和大小,实现整个探测光路光程的微米级控制。更进一步地,本实施例中随着移动反射镜423的移动,探测光路与激

发光路中可以产生一个微米至毫米级的光程差,以此产生飞秒级别的时延。需要说明的是,在实际操作过程中,用于接收移动反射镜423反射光线的固定反射镜410的实际位置会随着移动反射镜423进行相应调节,以确保后续光路不受影响。

[0033] 参见图2所示,本实施例中的所述探测机构400还包括光学斩波器430以及锁相放大器480,所述光学斩波器430设置于所述第二分束器450与所述偏振片440之间的传输光路上,所述锁相放大器480设置于所述平衡检测器470的输出端,且与所述光学斩波器430信号连接。其中,光学斩波器430通过周期性的遮盖光源对探测光路激光产生一个频率的调制,该调制频率将同步输入到锁相放大器480中。进一步地,探测激光经过材料表面后通过偏振分束器460后,被分为偏振状态垂直的两束光,同时被引导至平衡检测器470的两端,平衡检测器470可以输出两束正交偏振光的信号差值,基于平衡检测器470产生的信号被导入至锁相放大器480,实现提取光学斩波器430调制频率的信号信息过程中噪音的最小化。进一步地,本申请还包括中控系统490,所述探测机构400连接所述中控系统490,光学斩波器430产生的调制信号从锁相放大器480输入至中控系统490,并实现光信号读取,至此完成一次完整的探测过程。其中,驱动器422也连接于中控系统490,以便于对反射移动组件的适应性调节,具体地,中控系统490优选为计算机。

实施例二

[0034] 本实施例提供一种三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法,其通过实施例一所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测设备进行三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测:具体包括如下步骤:

步骤S1、在待检测样品120表面划分光栅区122及反射区123,在所述光栅区122中制备耦合光栅;本实施例中,所述待检测样品120为三维拓扑绝缘体Bi_2Se_3薄膜,其厚度不低于300nm,所述光栅区122与所述反射区123面积相同,所述耦合光栅周期为400~700nm。进一步地,上述过程中,先通过分子束外延生长三维拓扑绝缘体Bi_2Se_3薄膜,之后通过电子束刻蚀和电子束蒸镀在所述光栅区122上制作耦合光栅。

[0035] 步骤S2、通过太赫兹光持续照射所述耦合光栅,同时,将探测偏振激光照射所述反射区后,得到携带反射区震荡信息的探测偏振激光;本实施例中,所述探测偏振激光为脉冲激光,其波长为750~800nm;其脉冲持续时间小于100飞秒,重复频率为75~85MHz。具体地,所述太赫兹光被引导至所述耦合光栅,至所述光栅区122被激发出狄拉克等离激元,以形成自旋波,当所述待检测样品120发生自旋波震荡时,所述光栅区122将所述自旋波传递至所述反射区123。更进一步地,步骤S2中,在所述探测偏振激光分束前,对所述探测偏振激光依次进行固定频率调制以及噪声过滤。

[0036] 步骤S3、对所述混合光束进行偏振分束后,分别测量各分离光束的光信号强度,

当各分离光束的光信号强度相同时,认为所述待检测样品120表面未发生自旋波震荡;

当各分离光束的光信号强度不同时,认为所述待检测样品120表面发生自旋波震荡;

本实施例还包括步骤S4、通过制造所述太赫兹光与所述探测偏振激光之间的光程差,使二者之间产生时延,当所述待检测样品120发生自旋波震荡时通过所述时延计算所述自旋波随时间变化关系。此外,通过移动反射组件420还可以控制探测光束的照射位点,由

此产生一个自旋波在某一特定时延状态下的强度地图。

[0037] 综上,本发明所述的三维拓扑绝缘体自旋等离子体探测方法及设备,使用太赫兹光激发特殊材料表面等离子体,并使用激光探测该等离子体振荡的自旋波特性的方法实现了基于磁光克尔效应的自旋波探测过程,此项发明技术可以有效地对待检测材料表面态的电子产生激发,形成传播型狄拉克等离激元,并对相应产生的自旋振荡波进行探测,弥补了当前自旋波探测手段的空白,对于自旋等离激元的产生和利用具有重要的启示和指导意义。

[0038] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引申出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之中。

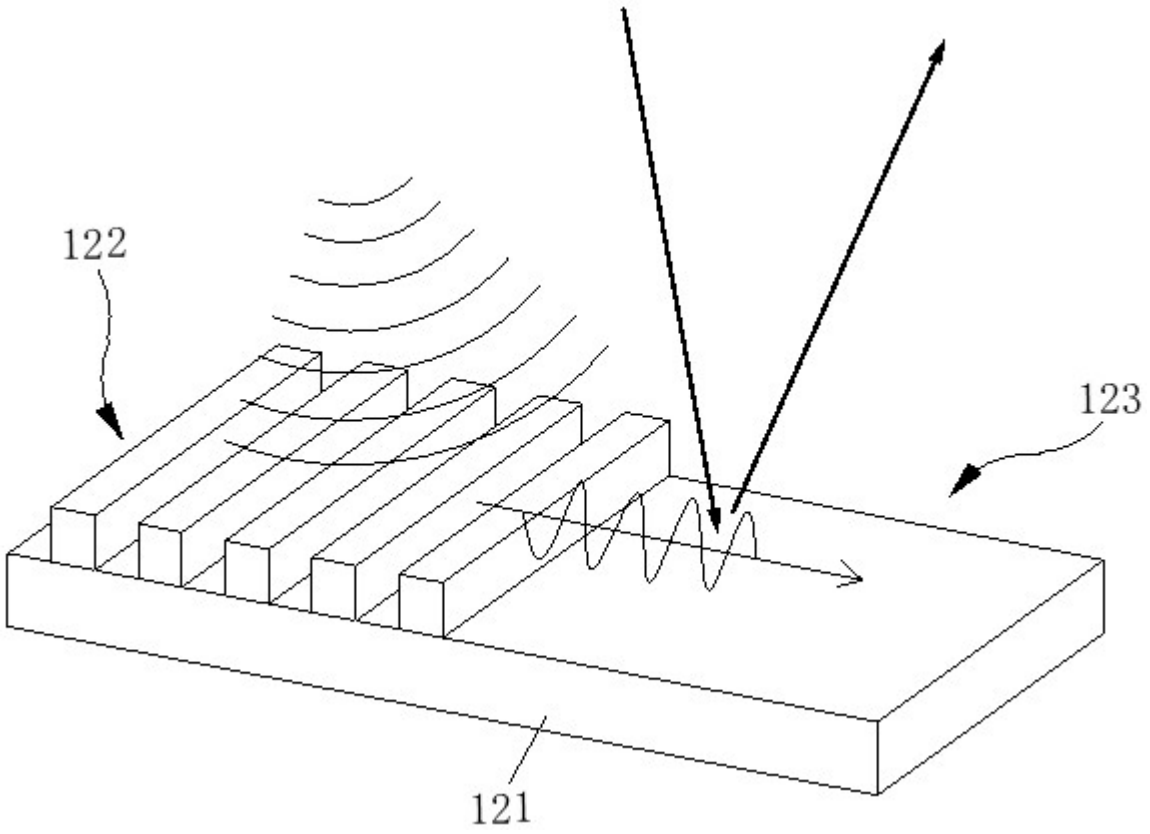


图 1

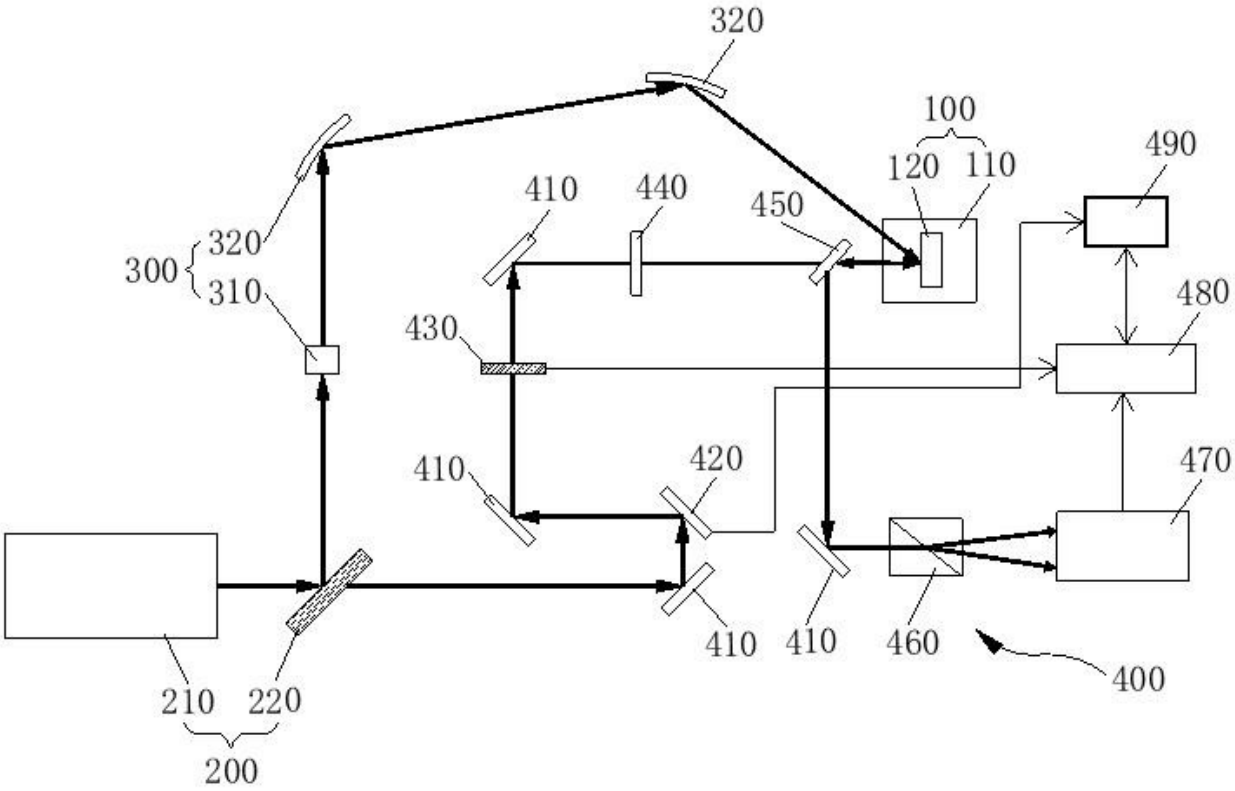

320
100
120
110
490
410
440
450
300
320
310
480
430
410
420
470
410
410
460
400
210
220
200

图 2

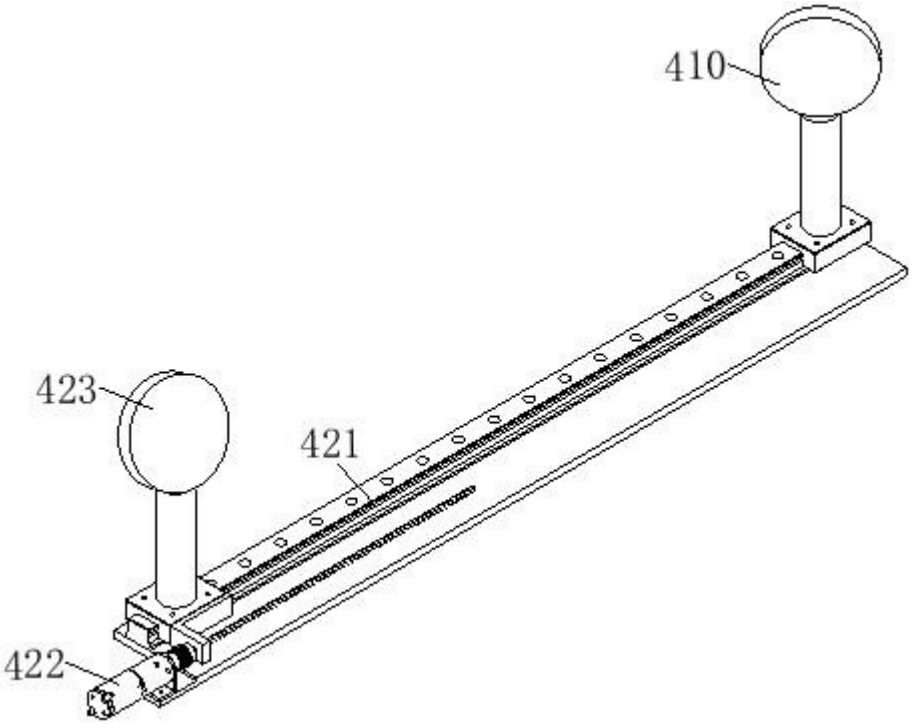

410
423
421
422

图 3