

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01N 21/45 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810050585.2

[43] 公开日 2008年8月27日

[11] 公开号 CN 101251484A

[22] 申请日 2008.4.10

[21] 申请号 200810050585.2

[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 130033 吉林省长春市东南湖大路16号

[72] 发明人 梁中翥 梁静秋 孔延梅 禹秉熙

[74] 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所
代理人 王淑秋

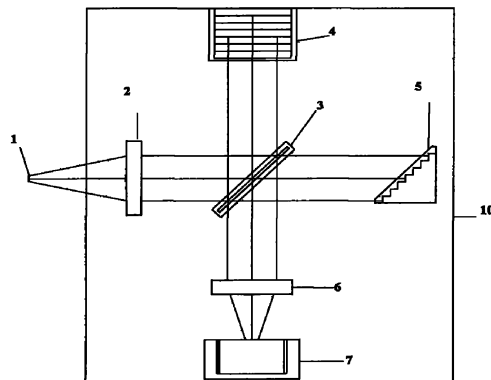
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

[54] 发明名称

基于调制的微型傅里叶变换光谱仪

[57] 摘要

本发明属于光谱仪技术领域，涉及一种基于调制的微型傅里叶变换光谱仪。该光谱仪主要由准直系统、分光系统和探测接收系统构成；待测光源发射的光束经准直系统准直后入射到分束器上，分束器将入射光分为强度相等的两束相干光，一束经分束器反射后入射到第二反射镜上，经过反射后返回分束器，另一束透过分束器入射到第一阶梯镜上，经反射后回到分束器。由第二反射镜和第一阶梯镜不同位置反射的光在探测接收系统的空间不同位置发生干涉形成多个定域干涉条纹。本发明除了具备高光通量和高分辨率等优点外，还具有重复性好、工作可靠，并且测量实时性好等优点，在省略掉激光参考干涉仪基础上实现了各级次同时采样，可广泛应用于光源等多种光谱测量。



1、一种基于调制的微型傅里叶变换光谱仪，包括准直系统、分光系统和探测接收系统构成；所述的分光系统包括分束器及分束器两臂上的第一反射镜和第二反射镜，其特征在于第一反射镜采用第一阶梯镜（5）；第二反射镜反射的光线透过分束器到达探测接收系统，第一阶梯镜（5）反射的光线经分束器反射到达探测接收系统，由第二反射镜和第一阶梯镜（5）不同位置反射的光在探测接收系统面阵探测器的空间不同位置发生干涉形成干涉条纹。

2、根据权利要求1所述的基于调制的微型傅里叶变换光谱仪，其特征在于第二反射镜采用第二阶梯镜；第二阶梯镜（4）的阶梯周期 d_1 为第一阶梯镜（5）的阶梯周期 d_2 与第一阶梯镜（5）的阶梯数 N 的乘积；第二阶梯镜（4）反射的光线透过分束器到达探测接收系统，第一阶梯镜（5）反射的光线经分束器反射到达探测接收系统；由第二阶梯镜（4）和第一阶梯镜（5）不同位置反射的光在探测接收系统面阵探测器的空间不同位置发生干涉形成干涉条纹。

3、根据权利要求2所述的基于调制的微型傅里叶变换光谱仪，其特征在于第一阶梯镜（5）的阶梯数等于第二阶梯镜（4）的阶梯数 N 。

4、根据权利要求2所述的基于调制的微型傅里叶变换光谱仪，其特征在于第二阶梯镜（4）的距分束器（3）最近的反射面与分束器（3）上的A点之间的距离 l_1 等于第一阶梯镜（5）的距分束器（3）最近的反射面与分束器（3）上的A点之间的距离 l_2 ；其中，A为第二阶梯镜（4）的距分束器（3）最近的反射面与第一阶梯镜（5）的距分束器（3）最近的反射面在分束器上投影的公共重叠区域内的一个点。

5、根据权利要求2所述的基于调制的微型傅里叶变换光谱仪，其特征在于第一阶梯镜（5）的距分束器（3）最近的反射面与分束器（3）之间的距离 l_2 、第二阶梯镜（4）的距分束器（3）最近的反射面与分束器（3）之间的距离 l_1 ，两者之差为最小干涉级次与最小探测波长的二分之一的乘积；其中，A为第二阶梯镜（4）的距分束器（3）最近的反射面与第一阶梯镜（5）的距分束器（3）最近的反射面在分束器上投影的公共重叠区域内的一个点。

6、根据权利要求2所述的基于调制的微型傅里叶变换光谱仪，其特征在于第一阶梯镜（5）的距分束器（3）最近的反射面与分束器（3）之间的距离 l_2 、第二阶梯镜（4）的距分束器（3）最近的反射面与分束器（3）之间的距离 l_1 ，两者之差为最小干涉级次与最小探测波长的二分之一的乘积；其中，A为第二阶梯镜（4）的距分束器（3）最近的反射面与第一阶梯镜（5）的距分束器（3）最近的反射面在分束器上投影的公共重叠区域内的一个点。

基于调制的微型傅里叶变换光谱仪

技术领域

本发明属于光谱测量仪器技术领域，涉及一种基于调制的微型光谱仪(FTS)，特别涉及一种新型的空间能量分割的基于 Michelson 干涉原理的基于调制的微型傅里叶变换光谱仪。

背景技术

光谱仪器是分析物质组成成分以及结构的强有力的工具，在环境监测、化学分析、生物医学、国防和光电子功能材料等科研领域和产业界都有着广泛应用，且这些领域和产业的在线实时监测以及便携等要求推动了光谱仪器微型化的发展，并有着广阔的应用前景。

近几年来，微型化光谱仪的研究进展非常迅速，现有的微小型光谱仪绝大多数仍然采用经典光谱仪原理，由于入射狭缝孔径或光阑的大小限制了光通量和效率严重下降的问题，对一些微弱信号的分析极其不利。与传统的经典微型光谱仪相比，基于调制原理的微型化FTS同时具备高光通量、高分辨率的性能，并且在实际工艺实现中弥补了同样是基于调制原理的哈达玛变换光谱仪编码模板材料受限制的缺点。

目前，常见的基于调制原理的微型化光谱仪(FTS)主要由准直系统、分光系统和探测接收系统构成；所述的分光系统包括分束器及分束器两臂上的两个反射镜，其中第一反射镜为动镜，第二反射镜为静止的平面镜。这种光谱仪采用时间调制方式来实现光信号的调制，在探测系统接收处依次形成多个定域干涉条纹；由于作为反射镜的动镜需要一套高精度的驱动系统，该驱动系统含有运动部件，因而系统的重复性和可靠性难以保证并且测量实时性较差；并且这种光谱仪需要利用激光参考干涉仪来确定采样点，因而其结构复杂。

发明内容

本发明要解决的技术问题是提供一种结构简单、重复性好、工作可靠，并且测量实时性好的基于调制的微型傅里叶变换光谱仪。

本发明的基于调制的微型傅里叶变换光谱仪包括准直系统、分光系统和探测接收系统构成；所述的分光系统包括分束器及分束器两臂上的第二反射镜和第一反射镜，其特征在于第一反射镜采用第一阶梯镜；第二反射镜反射的光线透过分束器到达探测接收系统，第一阶梯镜反射的光线经分束器反射到达探测接收系统，由第二反射镜和第一阶梯镜不同位置反射的

光在探测接收系统面阵探测器的空间不同位置发生干涉形成干涉条纹。

所述的第二反射镜的反射面与第一阶梯镜的反射面垂直。

待测光源发射的光束经准直系统准直后入射到分束器上，分束器将入射光分为强度相等的两束相干光：一束经分束器反射后入射到第二反射镜上，经过反射后返回分束器，另一束透过分束器入射到第一阶梯镜上，经反射后回到分束器。第二反射镜反射的光线透过分束器到达探测接收系统，第一阶梯镜反射的光线经分束器反射到达探测接收系统；由第二反射镜和第一阶梯镜不同位置反射的光在探测接收系统面阵探测器的空间不同位置发生干涉形成多个定域干涉条纹。

本发明采用了阶梯镜作为第一反射镜，实现光的空间调制，在探测接收系统的面阵探测器上形成多个定域干涉条纹。由于阶梯镜的形状及结构尺寸是固定不变的，因而本发明除了具备目前常见的基于调制原理的微型化光谱仪（FTS）本身的高光通量和高分辨率等优点外，还具有重复性好、工作可靠，并且测量实时性好等优点，实现了各级次同时采样，并且不需要利用激光参考干涉仪来确定采样点，结构简单。本发明通过探测接收系统记录每一个干涉级次的光强并通过傅里叶变换即可恢复待测光谱曲线，可广泛应用于光源等多种光谱测量。

作为本发明的进一步改进是：所述的第二反射镜采用第二阶梯镜；第二阶梯镜的阶梯周期 d_1 为第一阶梯镜的阶梯周期 d_2 与第一阶梯镜的阶梯数 N 的乘积；第二阶梯镜反射的光线透过分束器到达探测接收系统，第一阶梯镜反射的光线经分束器反射到达探测接收系统；由第二阶梯镜和第一阶梯镜不同位置反射的光在探测接收系统面阵探测器的空间不同位置发生干涉形成干涉条纹。

所述的第二阶梯镜的反射面与第一阶梯镜的反射面垂直，与第一阶梯镜的阶梯反射截断面平行。

待测光源发射的光束经准直系统准直后入射到分束器上，分束器将入射光分为强度相等的两束相干光：一束经分束器反射后入射到第二阶梯镜上，经过反射后返回分束器，另一束透过分束器入射到第一阶梯镜上，经反射后回到分束器。第二阶梯镜反射的光线透过分束器到达探测接收系统，第一阶梯镜反射的光线经分束器反射到达探测接收系统；由第二阶梯镜和第一阶梯镜不同位置反射的光在探测接收系统面阵探测器的空间不同位置发生干涉形成多个定域干涉条纹。

本发明第二反射镜也采用阶梯镜，可以在不减小探测精度的前提下，把一维探测转换为空间二维探测，从而减小了系统的体积，提高了系统的集成度。

所述的第一阶梯镜的阶梯数等于第二阶梯镜的阶梯数。其优点在于探测器所探测到的级次信息与后续傅里叶快速变换所需要的信息量大致接近，从而得到精确度较为准确的光谱。

光谱仪的采样方式可以设置为单边采样方式；此时，第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器上的A点之间的距离 l_1 等于第一阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器上的A点之间的距离 l_2 ；其中，A为第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与第一阶梯镜的距分束器最近的反射面在分束器上投影的公共重叠区域内的一个点。

光谱仪的采样方式可以设置为双边采样方式；此时，第一阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器之间的距离 l_2 、第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器之间的距离 l_1 ，两者之差为最小干涉级次与最小探测波长的二分之一的乘积；其中，A为第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与第一阶梯镜的距分束器最近的反射面在分束器上投影的公共重叠区域内的一个点。

光谱仪的采样方式可以设置为过零单边采样方式；此时，第一阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器之间的距离 l_2 、第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器之间的距离 l_1 ，两者之差为最小干涉级次与最小探测波长的二分之一的乘积；其中，A为第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与第一阶梯镜的距分束器最近的反射面在分束器上投影的公共重叠区域内的一个点。该采样方式在不降低系统的性能的基础上减小了后续系统的运算量。

下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

附图说明

图1是本发明的俯视结构示意图。图中1为待测光源，它不属于结构的一部分，2为准直系统，3为镀有半反半透膜层的分束器，4为第二阶梯镜，5为第一阶梯镜，6为会聚透镜组合，7为面阵探测器，10基片。

图2是分束器两臂的光程示意图。A为第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与第一阶梯镜的距分束器最近的反射面在分束器上的投影的公共重叠区域内任意选取的一个点，第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器之间的距离为 l_1 ，第一阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器之间的距离为 l_2 。

图3是阶梯镜的具体结构的放大图。图中8为阶梯镜的反射面，其宽度为 l ，9是阶梯镜的阶梯反射截面，阶梯周期为 d ，即阶梯镜相邻阶梯之间的距离。

图4为空间光经分束器3分束，经过第二阶梯镜4、第一阶梯镜5反射后的光束发生干涉后产生定域干涉条纹的分布。

具体实施方式

本发明的空间调制微型光谱仪结构如图1所示，1为待测光源，为一扩展光源，不属于光谱仪结构的一部分，而是光谱仪的探测目标。光谱仪主要由三个基本的部分组成：准直系统2、分光系统和探测接收系统，这三个系统都固定在基片10上。基片10在整个结构中起到结构支撑作用，可选取金属材料或硅片制成。

准直系统2是光学透镜的组合，光源与透镜之间的距离为透镜组合的焦距；探测接收系统由会聚透镜组合6、面阵探测器7组成，面阵探测器7位于会聚透镜组合6的焦平面上。分光系统由半反半透分束器3、作为第二反射镜的平面镜、第一阶梯镜5组成；或者由半反半透分束器3、第二阶梯镜4、第一阶梯镜5组成。

分光系统中所采用的半反半透分束器3是在玻璃基质上镀光学膜层来实现对光的半反半透。第二阶梯镜4和第一阶梯镜5的结构如图3所示：8为反射面；其宽度为 l ；9是阶梯反射截断面；阶梯周期为 d ，即阶梯镜相邻阶梯之间的距离。第二阶梯镜4和第一阶梯镜5分别位于分束器3的两臂上，第二阶梯镜4的反射面8和第一阶梯镜5的反射面8与分束器3法线的夹角均为 45° ，并且第二阶梯镜4的反射面8与第一阶梯镜5的反射面8垂直、与第一阶梯镜5的阶梯反射截断面9平行；设第二阶梯镜4和第一阶梯镜5的阶梯数均为 N ，第二阶梯镜4的阶梯周期 d_1 为第一阶梯镜5的阶梯周期 d_2 与第一阶梯镜5的阶梯数 N 的乘积。

本发明的空间调制微型光谱仪工作方式与Michelson干涉仪结构基本相同，在右手坐标系中，第二反射镜和第一阶梯镜或者第二阶梯镜4和第一阶梯镜5代替了传统迈克耳逊干涉仪中的两个平面反射镜，第二阶梯镜4和第一阶梯镜5有相同的 N 个阶梯数，阶梯周期分别为 d 和 Nd ，且沿 x ， y 方向正交放置。由第二阶梯镜4和第一阶梯镜5不同位置反射的光在探测接收系统面阵探测器7的空间不同位置发生干涉形成多个定域干涉条纹，则光束分为了 N^2 个小空间，记 x ， y 分别代表第二阶梯镜4和第一阶梯镜5阶梯的序数，则 (x, y) 的空间干涉光即 $(Ny-x)$ 级干涉条纹的光程差为 $\delta=2d(Ny-x)$ 。空间干涉光的分布如图4所示。

以下详细说明本发明的制作过程

(A) 固定准直系统2：将准直系统光学装调于基片10上。

(B) 分束器3的制作与固定：分束器3是在玻璃基质(如BK7)上进行镀膜来实现50%反和50%透射的，膜层的设计是由光谱仪的工作频段来决定的。平板分束器3通过光学对准后固定在基片10上。

(C) 第二阶梯镜4和第一阶梯镜5的制作与固定：阶梯镜可以利用现代微电子技术中的微

细加工工艺来制作，如：离子刻蚀法、薄膜沉积法、电子束直写法，激光束直写方法等来实现，然后再镀上增反膜层来实现对光的反射。

第二阶梯镜4和第一阶梯镜5相对于分束器3的位置的确定是由光谱仪的采样方式来确定的。如图2所示，在第二阶梯镜4的距分束器3最近的反射面与第一阶梯镜5的距分束器3最近的反射面在分束器上的投影的公共重叠区域内选取一个点A，光谱仪的采样方式为单边采样方式时，第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器上的A点之间的距离 l_1 等于第一阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器上的A点之间的距离 l_2 ；光谱仪的采样方式为双边采样方式时，第一阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器上的A点之间的距离 l_2 、第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器上的A点之间的距离 l_1 ，两者之差为最小干涉级次与最小探测波长的二分之一的乘积；光谱仪的采样方式为过零单边采样方式时，第一阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器上的A点之间的距离 l_2 、第二阶梯镜的距分束器最近的反射面与分束器上的A点之间的距离 l_1 ，两者之差为最小干涉级次与最小探测波长的二分之一的乘积。光谱仪采用过零单边采样方式，在不降低系统的性能的基础上减小了后续系统的运算量。

采样的第一个点的级次 n 的计算公式为

$$n = (l_2 - l_1) / d$$

n 设置为一个负的且绝对值远小于最大干涉级次的值，即可实现最佳的过零单边采样方式。

第二阶梯镜4和第一阶梯镜5的尺寸是由光谱仪的工作范围来确定的。若光谱仪工作在可见光范围内，第一阶梯镜5的阶梯周期 d_2 约为100nm，反射面8的宽度 l 约为1cm即可满足测量要求，阶梯数 N 是由仪器所要达到的分辨率来决定的。理想的阶梯镜的反射面8是相互平行的平面， d_2 的尺寸可在100nm-200 μ m范围内。

(D)会聚透镜组合6的固定：会聚透镜组合6位于分束器3与第二阶梯镜4中心连线的延长线上，其与分束器3之间的距离可根据光谱仪要求确定。

(E)面阵探测器7位置固定：面阵探测器7位于会聚透镜组合6的焦平面上，且其有效像素数由第二阶梯镜4和第一阶梯镜5的结构决定，至少为 N^2 个。其记录的光强分布示意图如图4所示，这里给出的是8 \times 8的空间光分布，其中数字代表的是干涉级次，即光程差 δ 相对于最小测量波长的倍数，每个级次的光强分布是由1个像素来记录的。图4是以 l_1 、 l_2 相等来说明的，可以通过调节两个臂长 l_1 、 l_2 的大小来实现不同方式的采样的。

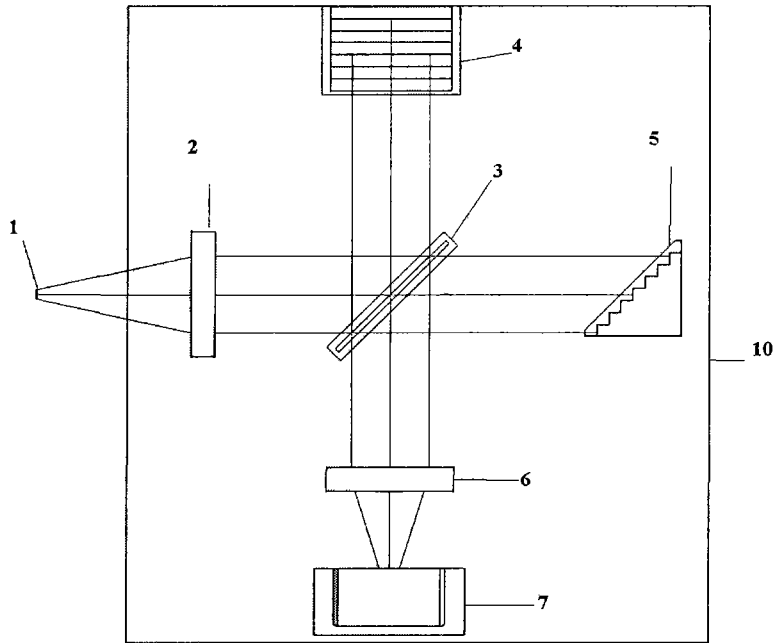


图 1

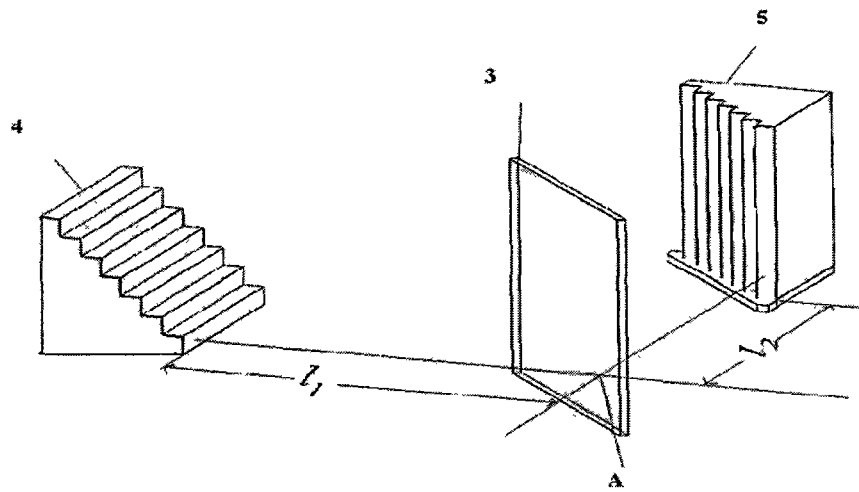


图 2

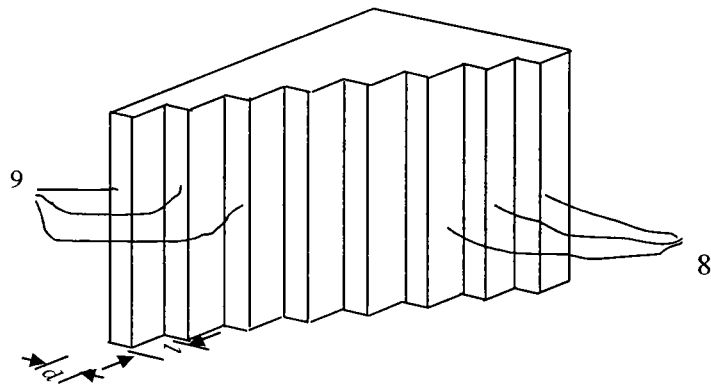


图 3

56	57	58	59	60	61	62	63
48	49	50	51	52	53	54	55
40	41	42	43	44	45	46	47
32	33	34	35	36	37	38	39
24	25	26	27	28	29	30	31
16	17	18	19	20	21	22	23
8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	2	3	4	5	6	7

图 4