



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103018200 A

(43) 申请公布日 2013. 04. 03

(21) 申请号 201210501999. 9

(22) 申请日 2012. 11. 30

(71) 申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区北京 100084-82
信箱

(72) 发明人 张书练 张鹏 徐玲 刘维新

(74) 专利代理机构 深圳市鼎言知识产权代理有
限公司 44311

代理人 哈达

(51) Int. Cl.

G01N 21/41 (2006. 01)

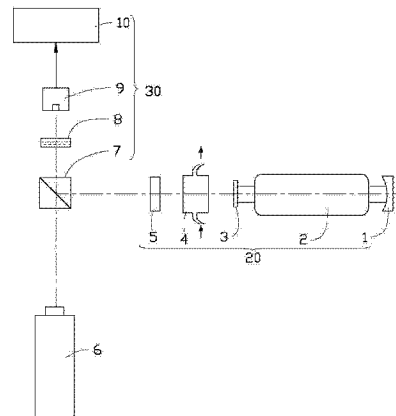
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

透明介质折射率的监测装置及监测方法

(57) 摘要

本发明提供一种透明介质折射率的监测装置,其中,所述监测装置包括:一半外腔激光器,其包括一增益管及一输出腔镜,所述输出腔镜与所述增益管间隔并沿半外腔激光器的输出激光轴线共轴设置,形成激光谐振腔;一样品室,所述样品室位于所述增益管和所述输出腔镜之间,并与两者间隔;一稳频激光器,所述稳频激光器的输出激光轴线与所述半外腔激光器的输出激光轴线垂直设置;以及一信号采集与处理系统,所述信号采集与处理系统包括分光棱镜、偏振片、光电探测器及一拍频处理显示系统,所述半外腔激光器、稳频激光器与所述分光棱镜共轭设置。本发明进一步提供一种利用所述监测装置监测透明介质折射率的方法。



1. 一种透明介质折射率的监测装置,其特征在于,所述监测装置包括:

一半外腔激光器,其包括一增益管及一输出腔镜,所述输出腔镜与所述增益管间隔并沿半外腔激光器的输出激光轴线共轴设置,形成激光谐振腔;

一样品室,所述样品室位于所述增益管和所述输出腔镜之间,并与两者间隔,所述样品室设置于所述半外腔激光器输出激光的轴线上,所述样品室在位于半外腔激光器输出光路上的侧壁为两个相对且平行的平面,且所述侧壁内外表面均镀有增透膜;

一稳频激光器,所述稳频激光器的输出激光轴线与所述半外腔激光器的输出激光轴线垂直设置;以及

一信号采集与处理系统,所述信号采集与处理系统包括分光棱镜、偏振片、光电探测器及一拍频处理显示系统,所述半外腔激光器、稳频激光器与所述分光棱镜共轭设置。

2. 如权利要求1所述的透明介质折射率的监测装置,其特征在于,所述分光棱镜、偏振片、光电探测器沿所述稳频激光器的输出激光轴线方向依次共轴设置。

3. 如权利要求1所述的透明介质折射率的监测装置,其特征在于,所述分光棱镜、偏振片、光电探测器沿所述半外腔激光器的输出激光轴线方向依次共轴设置。

4. 如权利要求1所述的透明介质折射率的监测装置,其特征在于,所述分光棱镜设置于所述半外腔激光器的出射激光轴线与所述稳频激光器出射激光轴线的交点上。

5. 如权利要求4所述的透明介质折射率的监测装置,其特征在于,所述半外腔激光器的输出激光经分光棱镜反射后的激光分量,与所述稳频激光器的输出激光经分光棱镜透射后的激光分量重合。

6. 如权利要求1所述的透明介质折射率的监测装置,其特征在于,所述样品室具有一出口及入口,所述样品室材料为物理和化学性质稳定的透明材料。

7. 一种应用权利要求1提供的透明介质折射率的监测装置监测透明介质折射率的监测方法,包括以下步骤:

第一步,所述半外腔激光器为连续输出,模式为基横模,所述半外腔激光器的输出激光照射到分光棱镜,且部分被分光棱镜反射;

第二步,调整稳频激光器的输出方向,使其输出激光照射到分光棱镜后,部分激光直接透过分光棱镜,与所述半外腔激光器经过分光棱镜后的反射光叠加;

第三步,将被监测样品通入所述样品室,所述半外腔激光器与稳频激光器的叠加光通过偏振片混频,由光电探测器采集拍频信号,由拍频处理显示系统对拍频信号进行放大、处理和显示,记录初始拍频值 f ;

第四步,被监测的样品折射率发生变化时,半外腔激光器与稳频激光器的拍频值发生变化,设变化后的拍频值为 f' ;

第五步,被监测样品的折射率的变化 dn 由下列公式推得:

$$dn = \pm \frac{\lambda}{2h\Delta} (f' - f),$$

式中 Δ 为半外腔激光器的纵模间隔, h 为样品室内部在激光轴线方向上的厚度, λ 为激光波长。

8. 如权利要求7所述的透明介质折射率的监测方法,其特征在于,所述半外腔激光器

的输出激光为单纵模。

9. 如权利要求 7 所述的透明介质折射率的监测方法,其特征在于,被监测样品折射率发生变化时,半外腔激光器输出频率的变化为:

$$dv = -\frac{2h\Delta}{\lambda} dn。$$

10. 如权利要求 7 所述的透明介质折射率的监测方法,其特征在于,半外腔激光器以及稳频激光器输出的激光经分光棱镜、偏振片混合,并照射到光电探测器后形成输出信号,所述输出信号经过放大后在拍频处理显示系统上显示出拍频量,并计算折射率的变化。

透明介质折射率的监测装置及监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种透明介质折射率的监测装置及监测方法。

背景技术

[0002] 折射率是材料的重要物理参数之一,并易受到材料及其所处环境物理和化学性质变化的影响而发生改变。折射率变化的实时监测,对于制造业、冶金、化工、生物、环保和高精密测量等领域有着重要意义。

[0003] 目前折射率的监测方法大多是基于现有折射率测量方法的改进。常用的折射率测量方法包括测角法和干涉法等。测角法包括最小偏向角法、临界角法、V 棱镜法等,干涉法包括迈克尔逊干涉法、瑞利干涉法等。

[0004] 然而,传统方法的实时性、精确性和灵敏度难以满足较高要求,或装置结构复杂,设备成本较高;或者对被测样品有特殊的加工要求;或是需要接触式测量,因此应用场合受限。另外,传统监测方法其监测结果也无法溯源。

发明内容

[0005] 综上所述,确有必要提供一种精度高、灵敏度高、易于操作、且能够溯源的折射率监测方法和监测装置。

[0006] 一种透明介质折射率的监测装置,其中,所述监测装置包括:一半外腔激光器,其包括一增益管及一输出腔镜,所述输出腔镜与所述增益管间隔并沿半外腔激光器的输出激光轴线共轴设置,形成激光谐振腔;一样品室,所述样品室位于所述增益管和所述输出腔镜之间,并与两者间隔,所述样品室设置于所述半外腔激光器输出激光的光路上,且在激光光路上的侧壁内外表面均镀有激光波长的增透膜;一稳频激光器,所述稳频激光器的输出激光轴线与所述半外腔激光器的输出激光轴线垂直设置;以及一信号采集与处理系统,所述信号采集与处理系统包括分光棱镜、偏振片、光电探测器及一拍频处理显示系统,所述半外腔激光器、稳频激光器与所述分光棱镜共轭设置。

[0007] 一种透明介质折射率的监测装置监测透明介质折射率的方法,包括以下步骤:

第一步,所述半外腔激光器为连续输出,模式为基横模,所述半外腔激光器的输出激光照射到分光棱镜,且部分被分光棱镜反射;

第二步,调整稳频激光器的输出方向,使其输出激光照射到分光棱镜后,部分激光直接透过分光棱镜,与所述半外腔激光器经过分光棱镜后的反射光叠加;

第三步,将被监测样品置入所述样品室,所述半外腔激光器与稳频激光器的叠加光通过偏振片混频,由光电探测器采集拍频信号,由拍频处理显示系统对拍频信号进行放大、处理和显示,记录初始拍频值 f ;

第四步,被监测的样品折射率发生变化时(如变大或变小),半外腔激光器与稳频激光器的拍频值发生变化,设变化后的拍频值为 f' ;

第五步,被监测样品的折射率 n 的变化由下列公式推得:

$$dn = \pm \frac{\lambda}{2h\Delta} (f' - f),$$

式中 Δ 为半外腔激光器的纵模间隔, h 为样品室内部在半外腔激光器输出光路上的厚度, λ 为激光波长。

[0008] 本发明利用激光器的输出频率变化来监测透明介质的折射率变化, 激光器本身既是光源又是传感器。所述透明介质折射率的监测方法和监测装置结构简单、操作方便、灵敏度很高, 具有进一步提高精度的优势, 对于折射率的微小变化也有很灵敏的响应, 且具有溯源的潜力。

附图说明

[0009] 图 1 是本发明第一实施例提供的透明介质折射率监测装置的结构示意图。

[0010] 图 2 是本发明所述透明介质折射率监测方法中激光谐振频率随着谐振腔内折射率变化的趋势示意图。

[0011] 主要元件符号说明

| | |
|-----------|----|
| 高反腔镜 | 1 |
| 增益介质 | 2 |
| 增透窗片 | 3 |
| 样品室 | 4 |
| 输出腔镜 | 5 |
| 稳频激光器 | 6 |
| 分光棱镜 | 7 |
| 偏振片 | 8 |
| 光电探测器 | 9 |
| 拍频处理显示系统 | 10 |
| 半外腔激光器 | 20 |
| 信号采集与处理系统 | 30 |

如下具体实施例将结合上述附图进一步说明本发明。

具体实施方式

[0012] 下面结合说明书附图对本发明做进一步的描述。

[0013] 如图 1 所示, 本发明第一实施例提供一种利用激光拍频监测透明介质折射率变化的监测装置和监测方法, 其监测装置包括半外腔激光器 20, 稳频激光器 6 以及信号采集与处理系统 30。

[0014] 所述半外腔激光器 20 用于输出激光形成激光光路, 包括高反腔镜 1、增益介质 2、增透窗片 3 及输出腔镜 5, 所述高反腔镜 1、增益介质 2 及增透窗片 3 沿所述输出激光的轴线共轴设置形成所述半外腔激光器 20 的增益管。所述输出腔镜 5 与所述增益管间隔设置并沿输出激光的轴线共轴, 两者形成激光谐振腔。

[0015] 所述高反腔镜 1 与所述增益介质 2 的远离所述输出腔镜 5 的一端固定连接, 所述增透窗片 3 与所述增益介质 2 的靠近所述输出腔镜 5 的一端固定连接。所述高反腔镜 1 和输出腔镜 5 均镀有激光波长的高反射膜(99% 以上), 前者的反射率高于后者, 近似全部反射。所述增透窗片 3 镀有激光波长的增透膜(图未示)。

[0016] 所述样品室 4 位于所述增益管和所述输出腔镜 5 之间, 并与两者间隔设置, 用于承载被监测样品如气体、液体等, 所述样品室 4 可为一封闭空间, 也可具有一出口及一入口,

所述被监测样品可从所述样品室的入口流入并从出口流出所述样品室 4。所述样品室 4 设置于所述半外腔激光器 20 输出激光的光路上。所述样品室 4 具有至少一侧壁,所述样品室 4 的形状不限,优选的,所述样品室 4 在位于半外腔激光器 20 输出激光的光路上的侧壁为两个相对且平行的平面,方便测量。进一步的,所述样品室 4 可具有规则的几何形状如球体、长方体、立方体等,在半外腔激光器 20 输出光路方向上具有一定的厚度 h ,从而能够更加灵敏的监测样品室 4 中被监测样品折射率的变化。所述样品室 4 的材料为物理和化学性质稳定的透明材料,并至少在激光光路上的侧壁内外表面均镀增透膜(图未示),以避免所述样品室 4 表面反射对监测造成的影响。所述增透膜的厚度可为激光波长或激光波长的整数倍。

[0017] 所述半外腔激光器 20 既作为光源又作为传感器,半外腔结构,基横模(TEM_{00})模式连续输出,优选的,激光纵模个数为一个,从而方便测量。激光器类型可以是气体激光器、半导体激光器和固体激光器等。本实施例中,所述激光器为氦氖激光器。

[0018] 所述稳频激光器 6 为具有稳频功能的连续激光器,其工作波长与半外腔激光器 20 相同,优选的,两者的谐振腔长基本相同,优选的,激光器模式为基横模。所述稳频激光器 6 与半外腔激光器 20 的输出频率形成拍频,以方便测量。所述稳频激光器 6 提供一个基准频率 ν_s ,与所述半外腔激光器 20 的输出频率 ν 形成拍频 $f = |\nu - \nu_s|$ 。基准频率 ν_s 的变化幅度很小,对于测量可以忽略,因此拍频的变化量反映出的就是半外腔激光器 20 的输出频率 ν 的变化量。优选的,所述稳频激光器 6 输出的激光轴线与所述半外腔激光器 20 输出的激光轴线垂直设置,从而方便形成拍频。

[0019] 进一步,所述透明介质折射率的监测装置还包括一分光棱镜 7、偏振片 8、光电探测器 9 和拍频处理显示系统 10,共同组成一信号采集与处理系统 30。所述分光棱镜 7、偏振片 8 及光电探测器 9 由下至上依次沿所述稳频激光器 6 的出射激光轴线方向共轴设置,即沿远离稳频激光器 6 的方向依次设置。所述稳频激光器 6 出射的激光依次经过分光棱镜 7、偏振片 8 射入光电探测器 9,然后经拍频处理显示系统 10 进行信号处理。所述分光棱镜 7 的作用是将所述半外腔激光器 20 输出光的一部分反射到所述稳频激光器 6 的输出方向上,与所述稳频激光器 6 经过所述分光棱镜 7 的透射光重合后,并经过偏振片 8 入射到光电探测器 9,即所述半外腔激光器 20、稳频激光器 6 以及所述分光棱镜 7 共轭设置。可以理解,在满足所述半外腔激光器 20、稳频激光器 6 以及所述分光棱镜 7 共轭设置的前提下,所述半外腔激光器 20 与所述稳频激光器 6 的位置可以互换,即所述分光棱镜 7、偏振片 8 及光电探测器 9 沿所述半外腔激光器 20 的输出激光轴线并远离所述半外腔激光器 20 的方向依次设置。所述偏振片 8 的作用是将前述两部分光在其透光轴方向上叠加,形成拍频信号。所述光电探测器 9 接收拍频信号,并将光信号转换成电信号输出到拍频处理显示系统 10,本实施例中,所述光电探测器 9 为雪崩光电二极管;所述拍频处理显示系统 10 对信号进行分析处理并显示出拍频量,并计算折射率的变化量。本实施例中,由于所述半外腔激光器 20 的出射激光轴线与所述稳频激光器 6 的出射激光轴线相互垂直,所述分光棱镜 7 设置于二者出射激光轴线的交点上,从半外腔激光器 20 出射的激光入射到分光棱镜 7 并经其反射后,所述半外腔激光器 20 出射激光的一分量与所述稳频激光器 6 的出射激光重合。

[0020] 本发明中所述“上”、“下”、“左”、“右”均以图 1 所述结构、方向及位置关系为基础。

[0021] 本发明进一步提供一种利用所述监测装置监测透明介质折射率的方法,主要包括

以下步骤：

第一步，半外腔激光器 20 为连续输出，模式为基横模；

优选的，所述半外腔激光器 20 输出激光的纵模个数为一个，即单纵模，所述半外腔激光器 20 输出的激光照射到分光棱镜 7，一部分被分光棱镜 7 反射；本实施例中，所述半外腔激光器 20 采用半外腔氦氖激光器，其高反腔镜和输出腔镜的反射率 R_1 和 R_2 分别是 99.8% 和 99.5%，它们之间的距离，即激光谐振腔长度为 $L \approx 330\text{mm}$ ；增益管长度 260mm，其中有效毛细管长度 200mm，内充有氦氖混合气体，充气比例为 $\text{He}^3:\text{Ne}^{20}:\text{Ne}^{22}=9:0.5:0.5$ ，充气压为 3.6Torr；增透窗片固定在增益管的阴极端，其两个表面均镀有 632.8nm 波长的增透膜。

[0022] 第二步，调整稳频激光器 6 的输出方向，使其输出激光照射到分光棱镜 7 后，透过分光棱镜 7，并与前述半外腔激光器 20 经过分光棱镜 7 的反射光叠加；本实施例中，所述稳频激光器为碘稳频氦氖激光器，频率稳定度 10^{-12} 。

[0023] 第三步，将被监测样品置入所述样品室 4，所述半外腔激光器 20 与稳频激光器 6 的叠加光通过偏振片 8 混频，由光电探测器 9 采集拍频信号，由拍频处理显示系统 10 对拍频信号进行放大、处理和显示，记录初始拍频值 f 。

[0024] 第四步，被监测样品折射率发生变化时（如变大或变小），半外腔激光器 20 与稳频激光器 6 的拍频值发生变化，设变化后的拍频值为 f' 。

[0025] 第五步，被监测样品的折射率的变化 dn 可由下列原理公式推得：

满足激光谐振条件的频率为：

$$\nu = \frac{c}{2L} q \quad (\text{i})$$

式中 L 为激光谐振腔光学长度， c 为真空中的光速， q 为整数。

[0026] 根据 (i) 式可得，被测气体折射率发生变化时：

$$d\nu = -\frac{2h\Delta}{\lambda} dn \quad (\text{ii})$$

式中 h 为样品室 4 内部在激光轴线方向上的厚度， Δ 为半外腔激光器 20 纵模间隔，由于 $d\nu = \pm(f' - f)$ ，所以被监测样品的折射率变化为：

$$dn = \pm \frac{\lambda}{2h\Delta} (f' - f) \quad (\text{iii})$$

正负号取决于稳频激光器与半外腔激光器 20 的频率大小关系。当初始时稳频激光器频率 ν_s 大于半外腔激光器 20 的频率 ν 时，由于拍频不能区分两个分量的大小关系，因此 $f = \nu_s - \nu$ ，推导可知 $d\nu = -(f' - f)$ ；当初始时稳频激光器频率 ν_s 小于半外腔激光器 20 的频率 ν 时， $f = \nu - \nu_s$ ，推导可知 $d\nu = +(f' - f)$ 。在确定了公式关系后，根据拍频变化的正负号即可推知折射率是变大还是变小。并且，由公式 (i) 可以很容易的推算出，此监测装置及监测方法监测折射率变化的灵敏度可达 $10^{-9}/\text{Hz}$ 。当拍频测量精度达到 100Hz 时，折射率变化的监测精度可达 10^{-7} 。

[0027] 如图 2 是激光谐振频率 ν_q 随着谐振腔内折射率变化的趋势示意图。根据公式 (i)，折射率变大，意味着谐振腔的光学长度变大，则同级的激光谐振频率变小；反之，则激

光谱振频率变大。

[0028] 本发明提供的利用激光器的拍频变化来监测折射率,激光器本身既是作为光源又是传感器,将被测样品的折射率与激光谱振频率相关联,与以往的各种监测方法存在根本的不同,原理上是新颖的而且具有溯源的潜力。本发明提供的透明介质折射率的监测装置及监测方法结构简单、操作方便、灵敏度很高,且具有进一步提高精度的优势。

[0029] 另外,本领域技术人员还可在本发明精神内作其它变化,当然这些依据本发明精神所作的变化,都应包含在本发明所要求保护的范围内。

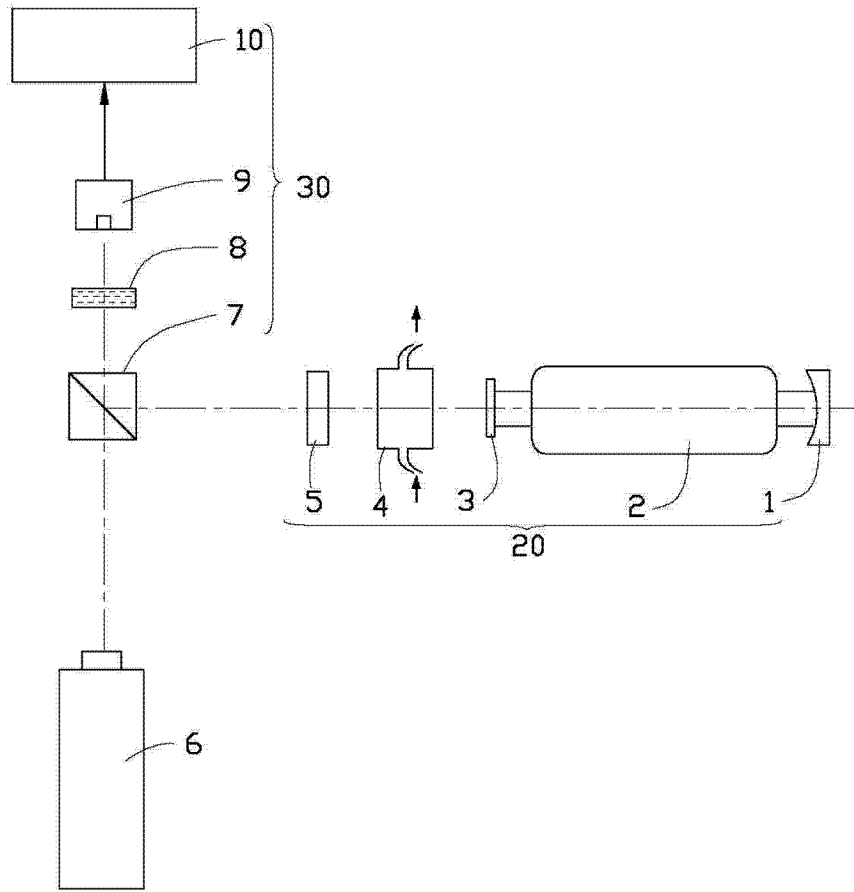


图 1

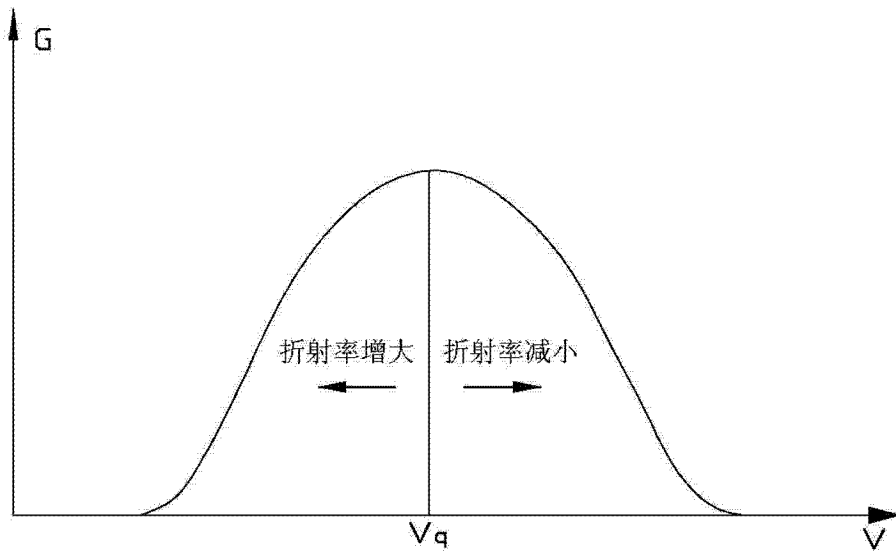


图 2