



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104267020 B

(45)授权公告日 2017.07.07

(21)申请号 201410589856.7

审查员 陈紫容

(22)申请日 2014.10.28

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104267020 A

(43)申请公布日 2015.01.07

(73)专利权人 首都师范大学

地址 100048 北京市海淀区西三环北路105
号首都师范大学物理系

(72)发明人 冯胜飞 谢振威 张岩

(74)专利代理机构 北京亿腾知识产权代理事务
所 11309

代理人 陈霁

(51)Int.Cl.

G01N 21/65(2006.01)

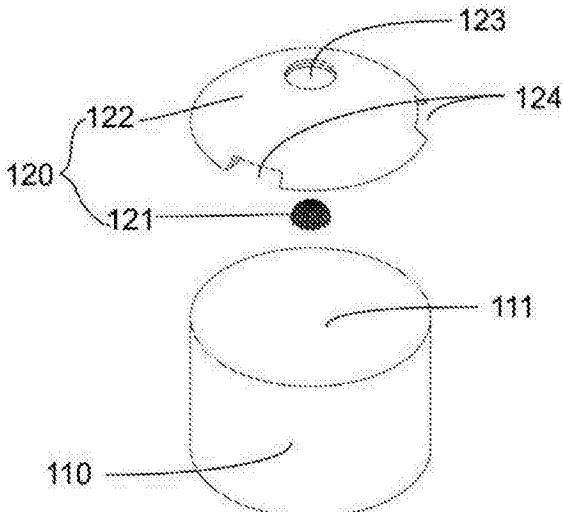
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

光纤拉曼雷达及其设计方法

(57)摘要

本发明涉及一种光纤拉曼雷达及其设计方法。该光纤拉曼雷达包括：光纤；拉曼雷达，设置于光纤的第一端面；拉曼雷达包括三维光栅和抛物面；三维光栅和抛物面对拉曼激发光是共焦的；三维光栅用于当拉曼激发光入射时，在三维光栅表面激发出表面等离子体的共振，从而实现金属光栅表面附近的电场增强而产生增强的待测分子的拉曼信号；抛物面用于对拉曼激发光进行会聚和对三维光栅表面增强的拉曼信号进行收集。本发明实施例的光纤拉曼雷达采用光纤作为基底，可实现远程、实时拉曼光谱的传感检测。该光纤拉曼雷达传感器件具有体积小、携带方便、抗干扰能力强等优势，可适用于检测空间狭小，被检测物难以接近、检测环境有毒有害等极端情况下的传感检测。



1. 一种光纤拉曼雷达，其特征在于，所述光纤拉曼雷达包括：
光纤；

拉曼雷达，光刻于所述光纤的第一端面；

所述拉曼雷达包括三维光栅和抛物面；所述三维光栅和所述抛物面对拉曼激发光是共焦的；所述三维光栅用于当所述拉曼激发光入射时，在所述三维光栅表面激发出表面等离子体的共振，从而实现所述三维光栅表面附近的电场增强而产生增强的拉曼信号；所述抛物面用于对所述拉曼激发光进行会聚和对所述三维光栅表面增强的拉曼信号进行收集；

所述三维光栅包括光刻胶光栅和第一镀膜；

所述抛物面包括光刻胶抛物面和第二镀膜；

所述第一镀膜为三层，由内向外依次为150~200纳米厚的金膜或银膜、20纳米厚的二氧化硅膜、20纳米厚的金纳米颗粒层；

所述第二镀膜为一层150~200纳米厚的金膜或银膜；

所述光纤采用可见光波段的多模光纤，直径为300微米；

所述三维光栅为半球形，所述半球形的表面为仙人球结构；

所述抛物面的顶端设置有一通孔，所述通孔的直径与所述三维光栅的直径相同。

2. 根据权利要求1所述的光纤拉曼雷达，其特征在于，所述光纤的第一端面是经过抛光处理的光滑面。

3. 根据权利要求1所述的光纤拉曼雷达，其特征在于，所述光刻胶光栅的直径为64微米，光栅周期为590纳米。

4. 根据权利要求1所述的光纤拉曼雷达，其特征在于，所述光刻胶抛物面的直径为300微米，高度为75微米。

5. 根据权利要求1所述的光纤拉曼雷达，其特征在于，所述抛物面的底部设置有三个出气孔，用于排出所述抛物面内存留的气体。

6. 根据权利要求1所述的光纤拉曼雷达，其特征在于，所述光刻胶抛物面为两层结构。

7. 根据权利要求1所述的光纤拉曼雷达，其特征在于，所述光刻胶光栅和光刻胶抛物面采用的光刻胶均为负胶，型号为IP-L 780。

8. 一种用于权利要求1所述的光纤拉曼雷达的制备方法，其特征在于，所述光纤拉曼雷达的制备方法包括：

步骤一、选择光纤，并对所述光纤的第一端面进行抛光处理；

步骤二、利用3D光刻机在所述光纤的第一端面写出光刻胶拉曼雷达结构并进行显影及固化；所述光刻胶拉曼雷达结构包括光刻胶三维光栅结构和光刻胶抛物面结构；所述光刻胶三维光栅结构和所述光刻胶抛物面结构对所述拉曼激发光是共焦的；

步骤三、对所述固化后的光刻胶拉曼雷达镀膜；

步骤四、将所述光刻胶三维光栅结构最外层的镀膜转化为纳米颗粒层，得到光纤拉曼雷达；

所述步骤一中的所述光纤采用可见光波段的多模光纤，直径为300微米；

所述步骤二中“利用3D光刻机在所述光纤的第一端面写出所述光刻胶拉曼雷达并进行显影及固化”的步骤具体为，给定拉曼激发光的波长，采用飞秒激光双光子3D光刻技术，在所述第一端面写出所述光刻胶三维光栅结构，再根据所述拉曼激发光的波长和所述三维光

栅结构写出所述光刻胶抛物面结构,最后进行显影及固化;

所述步骤三具体为,利用蒸镀设备在所述光刻胶三维光栅结构表面蒸镀上三层膜,由内向外依次为150~200纳米厚的金膜或银膜、20纳米厚的二氧化硅膜、20纳米厚的金膜,在所述光刻胶抛物面结构的表面蒸镀一层150~200纳米厚的金膜或银膜。

9.根据权利要求8所述的光纤拉曼雷达的制备方法,其特征在于,所述步骤一中“对所述光纤的第一端面进行抛光处理”的步骤包括:

依次采用型号为800型、2400型、4000型砂纸中的其中至少一个对所述第一端面进行研磨以提高所述第一端面的平整性;

利用颗粒直径大约在300nm的金刚砂粉末进行抛光以提高所述第一端面的光滑度。

10.根据权利要求8所述的光纤拉曼雷达的制备方法,其特征在于,所述步骤二中,所述光刻胶三维光栅结构直径为64微米,光栅周期为590纳米。

11.根据权利要求8所述的光纤拉曼雷达的制备方法,其特征在于,所述步骤二中,所述光刻胶抛物面结构的直径为300微米,高度为75微米。

12.根据权利要求8所述的光纤拉曼雷达的制备方法,其特征在于,所述步骤二中,所述光刻胶抛物面结构为两层结构。

13.根据权利要求12所述的光纤拉曼雷达的制备方法,其特征在于,所述步骤二中“再根据所述拉曼激发光的波长写出所述光刻胶抛物面结构”的步骤具体为,首先写出两层抛物面光刻胶层,显影后再利用紫外激光对所述两层抛物面光刻胶层中间存留的未曝光的光刻胶液体进行固化,得到具有两层光刻胶的抛物面结构。

14.根据权利要求8所述的光纤拉曼雷达的制备方法,其特征在于,所述步骤二中,所述光刻胶三维光栅结构和光刻胶抛物面结构均为负胶,型号为IP-L 780。

15.根据权利要求8所述的光纤拉曼雷达的制备方法,其特征在于,所述步骤二中,所述光刻胶抛物面结构的底部具有多个出气孔,用于排出抛物面结构中存留的气体。

16.根据权利要求15所述的光纤拉曼雷达的制备方法,其特征在于,所述步骤四具体为,采用355纳米的高功率脉冲紫外激光照射所述镀膜后的光刻胶三维光栅结构,将最外层的20纳米金膜转化为金纳米颗粒层。

光纤拉曼雷达及其设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学领域,尤其涉及一种光纤拉曼雷达及其设计方法。

背景技术

[0002] 拉曼光谱是一种表征分子或者晶格的振动或者转动模式的一种光谱技术。当激光照射到透明介质中与介质分子发生相互作用,在分子散射的光波中会出现一些与入射光频率不同的成分,其中频率与原激发光相同的部分称为瑞利散射,频率比入射光小的谱线称为斯托克斯线,而频率比入射光波大的谱线称为反斯托克斯线,这两种谱线通称为分子的拉曼散射光谱。拉曼光谱是由于分子对光波的非弹性散射引起的。对于自发的的拉曼散射,当激发光照射到分子上时,会将分子从基态激发到一个具有较高能级的虚态上。而当激发态的分子释放出一个光子会跃迁到一个不同于基态的能级之上,这样这个低能级态与基态之间存在能量差,从而导致释放的光子的频率与激发光的频率不同。由于拉曼光谱可以反映出分子的化学键态及特殊的振动模式,所以可以作为分子鉴别的一个重要特征。如果拉曼光谱由各向异性的晶体所产生,那么拉曼谱还可以反映出晶格的方向性。拉曼光谱非常适合用于一些高分子的聚合物检测、纳米材料、电化学、薄膜、矿物学、生物分子、医学药品,还可以用作过程监测、定量分析等领域。由于拉曼散射非常弱,强度大约是瑞利散射的千分之一,因此为了方便探测,人们发展了多种增强技术。表面增强拉曼光谱技术(SERS)通常以金或者银的胶体或者是附着有金银的纳米颗粒的基片,在激发光的照射下,金银纳米颗粒会引起表面等离子体的共振,从而实现金属表面附近的电场增强而增强拉曼信号。其他还有一些共振拉曼光谱、尖端增强拉曼光谱技术等。

[0003] 传统的拉曼光谱的检测仪器体积庞大,生产成本高,难以实现远程、实时传感检测,难以适用于空间狭小、有毒有害等环境下的检测。

发明内容

[0004] 为克服现有技术存在的问题,本发明提出一种光纤拉曼雷达,包括:

[0005] 光纤;

[0006] 拉曼雷达,设置于所述光纤的第一端面;

[0007] 所述拉曼雷达包括三维光栅和抛物面;所述三维光栅和所述抛物面对拉曼激发光是共焦的;所述三维光栅用于当所述拉曼激发光入射时,在所述三维光栅表面激发表面等离子体的共振,从而实现三维光栅表面附近的电场增强而产生增强的拉曼信号;所述抛物面用于对所述拉曼激发光进行会聚和对所述三维光栅表面增强的拉曼信号进行收集。

[0008] 优选地,所述光纤的第一端面是经过抛光处理的光滑面。

[0009] 优选地,所述三维光栅包括光刻胶光栅和第一镀膜;所述抛物面包括光刻胶抛物面和第二镀膜;所述第一镀膜为三层,由内向外依次为150~200纳米厚的金膜或银膜、20纳米厚的二氧化硅膜、20纳米厚的金纳米颗粒层;所述第二镀膜为一层150~200纳米厚的金膜或银膜。

- [0010] 优选地，所述光纤采用可见光波段的多模光纤，直径为300微米。
- [0011] 优选地，所述三维光栅为半球形，所述半球形的表面为仙人球结构。
- [0012] 优选地，所述光刻胶光栅的直径为64微米，光栅周期为590纳米。
- [0013] 优选地，所述光刻胶抛物面的直径为300微米，高度为75微米。
- [0014] 优选地，所述抛物面的顶端设置有一通孔，所述通孔的直径与所述三
- [0015] 维光栅的直径相同。
- [0016] 优选地，所述抛物面的底部设置有三个出气孔，用于排出所述抛物面内存留的气
- 体。
- [0017] 优选地，所述光刻胶抛物面为两层结构。
- [0018] 优选地，所述光刻胶光栅和光刻胶抛物面采用的光刻胶均为负胶，型号为IP-L780。
- [0019] 本发明还提供了一种光纤拉曼雷达的制备方法，包括：
- [0020] 步骤一、选择光纤，并对所述光纤的第一端面进行抛光处理；
- [0021] 步骤二、利用3D光刻机在所述光纤的第一端面写出光刻胶拉曼雷达结构并进行显影及固化；所述光刻胶拉曼雷达结构包括光刻胶三维光栅结构和光刻胶抛物面结构；所述光刻胶三维光栅结构和所述光刻胶抛物面结构对所述拉曼激发光是共焦的；
- [0022] 步骤三、对所述固化后的光刻胶拉曼雷达镀膜；
- [0023] 步骤四、将所述光刻胶三维光栅结构最外层的镀膜转化为纳米颗粒层，得到光纤拉曼雷达。
- [0024] 优选地，所述步骤一中的所述光纤采用可见光波段的多模光纤，直径
- [0025] 为300微米。
- [0026] 优选地，所述步骤一中“对所述光纤的第一端面进行抛光处理”的步
- [0027] 骤包括：
- [0028] 依次采用型号为800型、2400型、4000型砂纸中的其中一个对所述第一端面进
- 行研磨以提高所述第一端面的平整性；
- [0029] 利用颗粒直径大约在300nm的金刚砂粉末进行抛光以提高所述第一端面的光滑度。
- [0030] 优选地，所述步骤二中“利用3D光刻机在所述光纤的第一端面写出所述光刻胶拉
- 曼雷达并进行显影及固化”的步骤具体为，给定拉曼激发光的波长，采用飞秒激光双光子3D
- 光刻技术，在所述第一端面写出所述光刻胶三维光栅结构，再根据所述拉曼激发光的波长
- 和所述三维光栅结构写出所述光刻胶抛物面结构，最后进行显影及固化。
- [0031] 优选地，所述步骤二中，所述光刻胶三维光栅结构直径为64微米，光
- [0032] 栅周期为590纳米。
- [0033] 优选地，所述步骤二中，所述光刻胶抛物面结构的直径为300微米，
- [0034] 高度为75微米。
- [0035] 优选地，所述步骤二中，所述光刻胶抛物面结构为两层结构。
- [0036] 优选地，所述步骤二中“再根据所述拉曼激发光的波长写出所述光刻胶抛物面结
- 构”的步骤具体为，首先写出两层抛物面光刻胶层，显影后再利用紫外激光对所述两层抛物
- 面光刻胶层中间存留的未曝光的光刻胶液体进行固化，得到具有两层光刻胶的抛物面结

构。

[0037] 优选地，所述步骤二中，所述光刻胶三维光栅结构和光刻胶抛物面结构均为负胶，型号为IP-L 780。

[0038] 优选地，所述步骤二中，所述光刻胶抛物面结构的顶部具有一通孔，所述通孔的直径与所述光刻胶三维光栅结构的直径相同。

[0039] 优选地，所述步骤二中，所述光刻胶抛物面结构的底部具有多个出气孔，用于排出抛物面结构中存留的气体。

[0040] 优选地，所述步骤三具体为，利用蒸镀设备在所述光刻胶三维光栅结构表面蒸镀上三层膜，由内向外依次为150~200纳米厚的金膜或银膜、20纳米厚的二氧化硅膜、20纳米厚的金膜，在所述光刻胶抛物面结构的表面蒸镀一层150~200纳米厚的金膜或银膜。

[0041] 优选地，所述步骤四具体为，采用355纳米的高功率脉冲紫外激光照射所述镀膜后的光刻胶三维光栅结构，将最外层的20纳米金膜转化为金纳米颗粒层。

[0042] 本发明实施例的方法可制备出具有良好性能的光纤拉曼雷达传感器件，该光纤拉曼雷达采用光纤作为基底，可实现远程、实时拉曼光谱的传感检测。该光纤拉曼雷达传感器件具有体积小、携带方便、抗干扰能力强等诸多优势，可适用于检测空间狭小，被检测物难以接近、检测环境有毒有害等极端情况下的传感检测。

附图说明

[0043] 图1是本发明实施例的光纤拉曼雷达的结构示意图；

[0044] 图2是本发明实施例的光纤拉曼雷达在爆炸状态下的结构示意图；

[0045] 图3是本发明实施例的光纤拉曼雷达的俯视图；

[0046] 图4是本发明实施例的光纤拉曼雷达的纵向截面图；

[0047] 图5是本发明实施例的光纤拉曼雷达测得的不同浓度的结晶紫分子拉曼光谱与其标准拉曼光谱的对比图。

具体实施方式

[0048] 下面通过附图和实施例，对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

[0049] 图1是本发明实施例的光纤拉曼雷达的结构示意图，图2是其爆炸状态下的结构示意图，以及图3是其俯视图。结合图1、图2和图3，该光纤拉曼雷达包括：光纤110和拉曼雷达120。其中，光纤110可采用各种类型的多模光纤，发明实施例的光纤拉曼雷达采用的是可见光波段的多模光纤。拉曼雷达120设置在光纤110的第一端面111上，该拉曼雷达120包括三维光栅121和抛物面122。其中三维光栅121为一个半球形，直径为10~70微米，其表面的光栅结构为仙人球结构，光栅周期由拉曼激发光的波长决定，为100纳米~2000纳米，三维光栅121用于当拉曼激发光入射时，在三维光栅121的表面引起表面等离子体的共振，从而实现三维金属光栅表面附近的电场增强而产生增强的拉曼信号。抛物面122可以是单层结构，也可以为两层结构。当单层的厚度很小时，采用两层结构以保证结构的牢固性。抛物面122的结构参数由光纤110的直径、三维光栅121的位置和大小来确定，即抛物面122的直径与光纤110的直径相同，并且其结构应当保证使抛物面122和三维光栅121对拉曼激发光共焦，从而保证拉曼激发光相对于三维光栅121的入射角处处相同，也同时保证了三维光栅121的光

栅周期不变。抛物面122可对拉曼激发光进行会聚和对三维光栅121表面增强的拉曼信号进行收集。在抛物面122的顶端设置有一进液通孔123，其直径与三维光栅121的直径相同。在抛物面122的底部设置多个出气孔124，高度为10~20微米，宽度为20~40微米，用于排出测试过程中在抛物面内存留的气泡，从而保证待测溶液直接与三维光栅接触。

[0050] 本发明的一个实施例中，其光纤110的第一端面111是经过抛光处理的，如首先依次利用型号为800型、2400型、4000型砂纸中的其中至少一个对其进行研磨以提高该第一端面111的平整性，再利用颗粒直径大约在300nm的金刚砂粉末进行最后抛光以提高该第一端面111的光滑度。

[0051] 图4是本发明实施例的光纤拉曼雷达的纵向截面图。如图4所示，拉曼雷达120的三维光栅121包括光刻胶光栅1210和第一镀膜1211，抛物面122包括光刻胶抛物面1220和第二镀膜1221。第一镀膜为三层，由内向外依次为150~200纳米厚的金(银)膜141、20纳米厚的二氧化硅膜142、20纳米厚的金纳米颗粒层143；第二镀膜为一层150~200纳米厚的金(银)膜144。光刻胶光栅1210和光刻胶抛物面1220采用的光刻胶均为负胶，型号为IP-L 780。

[0052] 本发明的又一实施例中，光纤110的直径为300微米，三维光栅121的光刻胶光栅的直径为64微米，光栅周期为590纳米，抛物面122的光刻胶抛物面的直径为300微米，高度为75微米。

[0053] 本发明的又一实施例中，抛物面122的底部设置的出气孔124的数量为三个，高度为10微米，宽度为30微米，该数量及规格即可以保证在测量液体浸入雷达时，顺利地排出抛物面内存留的气体，又不会造成激发光通过出气孔而产生流失。

[0054] 本发明实施例的光纤拉曼雷达可以采用多种激光对待探测样品进行拉曼光谱的测量，如采用532纳米或785纳米的激光作为拉曼激发光。其工作过程如下所述：

[0055] 将光纤拉曼雷达的拉曼雷达端放置于待探测的样品中，拉曼激发光经过光纤耦合传输到拉曼雷达端，拉曼激发光经过拉曼雷达的抛物面会聚后照射到吸附有样品分子的三维光栅表面，引起表面等离子体的共振，从而实现三维金属光栅表面附近的电场增强而产生增强的样品分子的拉曼信号，增强的拉曼信号经过抛物面反射而耦合回光纤，最后由光纤将拉曼信号传回外部分析设备如拉曼光谱仪进行分析，便可以得到所探测样品分子的拉曼光谱。

[0056] 如上，本发明实施例的光纤拉曼雷达，为探针式光纤传感器件，其采用光纤作为基底的优点在于：体积小、重量轻、可以远程实时探测、并且所需的检测量小、灵敏度高、对检测样品友好，属于无损探测。

[0057] 上述的光纤拉曼雷达的制备方法，包括如下步骤：

[0058] S210、选择光纤，并对光纤的第一端面进行抛光处理。该步骤具体包括：(1)、用型号为800型的砂纸对第一端面进行研磨，初步获得较平整的光纤端面；(2)、用型号为2400型的砂纸对第一端面进行研磨，进一步提高光纤端面的平整性；(3)、用型号为4000型的砂纸对第一端面进行抛光，再一次提高光纤端面的平整性；(4)、用颗粒直径大约在300nm的金刚砂粉末对第一端面进行最后抛光，提高光纤端面的光滑度。步骤(1)至(3)可根据所处理的光纤的粗糙程度依次选择其中至少一个步骤进行抛光处理，使第一端面具有良好的平整性。步骤(4)提高第一端面的光滑度，从而在之后步骤S220中，能够增强在该第一端面写出的光刻胶与第一端面之间的粘接力。

[0059] 其中,光纤可选择各种类型的多模光纤,本发明实施例的光纤拉曼雷达采用的是可见光波段的多模光纤,直径为300微米。

[0060] S220、利用3D光刻机在第一端面写出光刻胶拉曼雷达并进行显影及固化。写出的光刻胶拉曼雷达结构包括光刻胶三维光栅结构和光刻胶抛物面结构,其中光刻胶三维光栅和光刻胶抛物面对拉曼激发光是共焦的。该步骤中,首先根据拉曼激发光的波长在第一端面写出光刻胶三维光栅结构,再根据拉曼激发光的波长和该三维光栅结构写出光刻胶抛物面结构,最后进行显影及固化。写光刻胶时,采用的是飞秒激光双光子聚合3D光刻技术。拉曼激发光可采用多种激光,如532纳米或785纳米的激光。

[0061] 该步骤中写出的光刻胶抛物面可以是单层结构,也可以为两层结构。为提高写出的光刻胶表面的光滑度,单层光刻胶的厚度会比较小,为保证结构的牢固性,可采用两层结构。具体步骤为首先写出两层抛物面光刻胶层,两层抛物面光刻胶层中间是未曝光的光刻胶液体,最后利用紫外激光对未曝光的光刻胶液体进行固化,便得到具有两层抛物面结构的光刻胶抛物面。

[0062] 本发明实施例采用的拉曼激发光的波长为785纳米,写出的光刻胶三维光栅结构的直径为64微米,光栅周期为590纳米。写出的光刻胶抛物面结构为两层以保证其牢固性,光刻胶抛物面结构直径为300微米,高度为75微米。

[0063] 该步骤中,在光刻胶抛物面结构顶部设置一通孔,通孔的直径与光刻胶三维光栅结构的直径相同,为64微米,既保证了光刻胶三维光栅结构在之后的步骤S230中可以被镀上膜,又保证了在探测时探测液体可以接触到三维光栅;在光刻胶抛物面结构的底部设置多个出气孔,高度为10~20微米,宽度为20~40微米,用于测试过程中抛物面里存留气体的排出;出气孔的数量比如为三个时(高度为10微米,宽度为30微米),即可以保证待测量浸入拉曼雷达时,抛物面里的气体能够顺利地排出,又不会造成激发光通过出气孔溢出而产生能量的损失。

[0064] S230、对固化后的光刻胶拉曼雷达镀膜。该步骤采用蒸镀设备进行镀膜,在光刻胶三维光栅结构的表面依次蒸镀上150~200纳米厚的金(银)膜、20纳米厚的二氧化硅膜和20纳米厚的金膜,在光刻胶抛物面结构的表面蒸镀上150~200纳米厚的金(银)膜。

[0065] S240、将光刻胶三维光栅结构最外层的金膜转化为金纳米颗粒膜,得到光纤拉曼雷达。该步骤采用355纳米的高功率脉冲紫外激光照射光纤拉曼雷达体,将最外层的20纳米金膜转化为金纳米颗粒膜。

[0066] 图5是本发明实施例的光纤拉曼雷达测得的不同浓度的结晶紫分子拉曼光谱与其标准拉曼光谱的对比图。如图所示,曲线(1)为结晶紫分子的标准拉曼谱,曲线(2)为光纤拉曼雷达所测量的结晶紫浓度为 10^{-3} mol/L时得到的拉曼光谱,曲线(3)表示光纤拉曼雷达所测量的结晶紫浓度为 10^{-6} mol/L时得到的拉曼光谱,对比曲线(2)、(3)和曲线(1),可知由本发明实施例的光纤拉曼雷达得到的结晶紫溶液浓度分别为 10^{-3} mol/L和 10^{-6} mol/L时的拉曼谱上峰值所对应的拉曼频移的位置均与结晶紫分子的标准拉曼谱的峰值的拉曼频移位置相同,表明通过本发明实施的方法制备的光纤拉曼雷达具有良好的拉曼增强以及拉曼信号收集的性能。

[0067] 如上所述,本发明实施例的方法可制备出具有良好性能的光纤拉曼雷达传感器件,该光纤拉曼雷达采用光纤作为基底,可实现远程、实时拉曼光谱的传感检测。该光纤拉

曼雷达传感器件具有体积小、携带方便、抗干扰能力强等诸多优势,可适用于检测空间狭小,被检测物难以接近、检测环境有毒有害等极端情况下的传感检测。

[0068] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

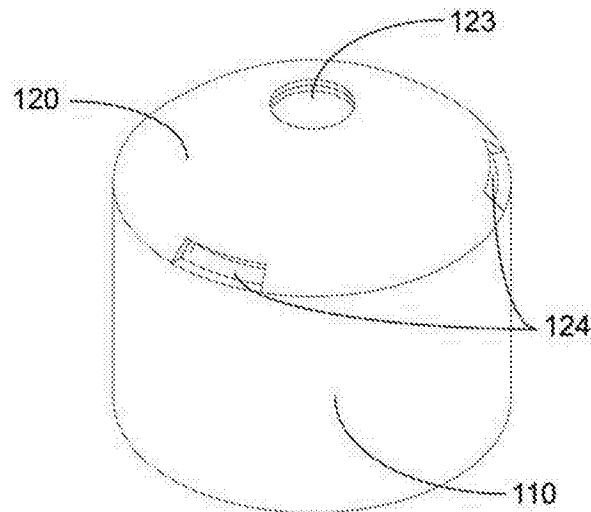


图1

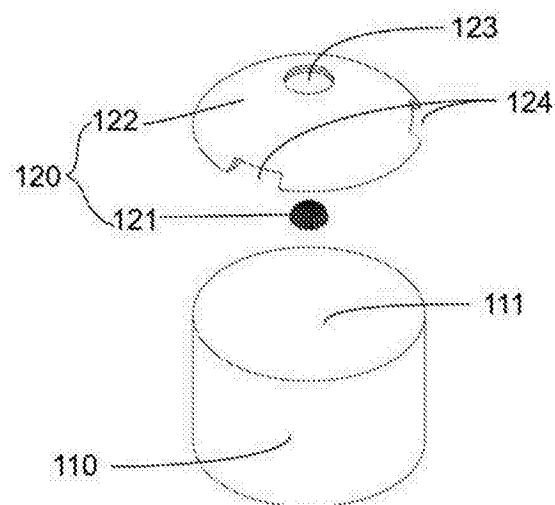


图2

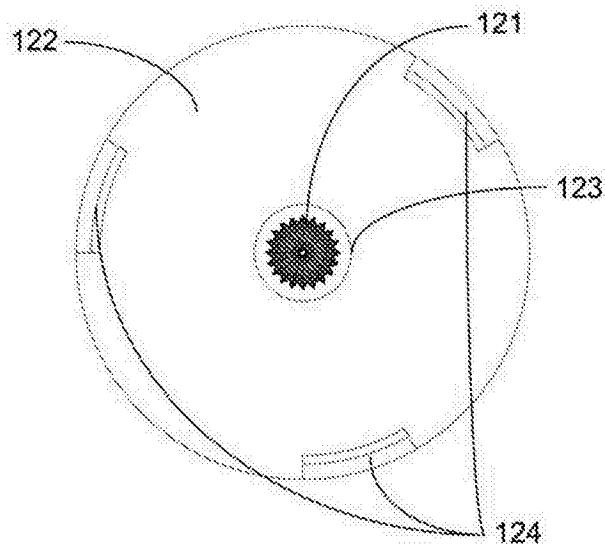


图3

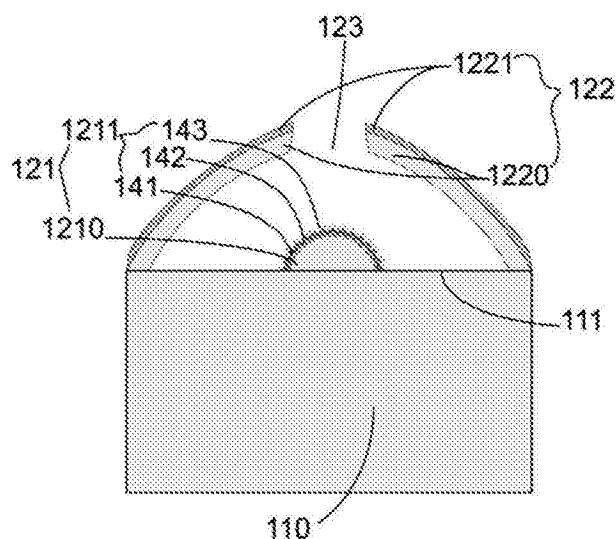


图4

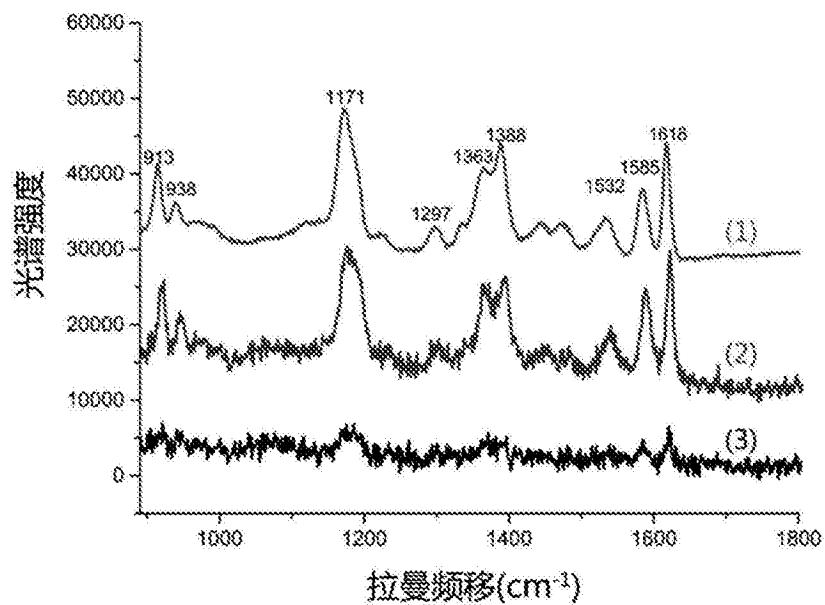


图5