



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105092535 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201510400263. 6

(22) 申请日 2015. 07. 09

(71) 申请人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号哈尔滨工程大学科技处知识产权办公室

(72) 发明人 赵恩铭 陈云浩 刘志海 张亚勋
张羽 苑立波

(51) Int. Cl.

G01N 21/552(2014. 01)

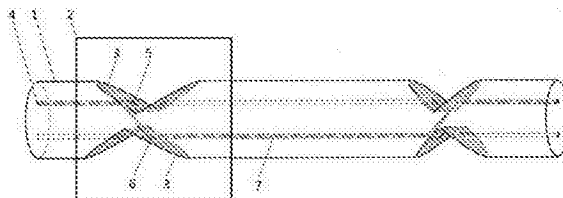
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

分布式表面等离子体共振光纤传感器

(57) 摘要

本发明提供的是一种分布式表面等离子体共振光纤传感器。在一段双芯光纤上加工有成对分布的 V 型槽, V 型槽的深度超过纤芯, 每对 V 型槽中的两个 V 型槽相互错位布置, V 型槽的斜面上镀有传感层; 在每对 V 型槽中, 从第一纤芯入射的宽谱光在第一 V 型槽斜面处激发 SPR 并发生全反射, 反射至第二 V 型槽斜面处也激发 SPR 并反射至第二纤芯; 光在各对 V 型槽中依次传递实现分布式传感。本发明的传感器能够很好的与全光纤系统进行低损耗连接, 具有体积小, 结构简单等突出优点。本发明的分布式 SPR 光纤传感器在光纤侧面制作多组传感区, 利用光纤的特殊结构将多个传感区串联, 实现了实时的多通道分布式测量。



1. 一种分布式表面等离子体共振光纤传感器,其特征是:在一段双芯光纤上加工有成对分布的V型槽,V型槽的深度超过纤芯,每对V型槽中的两个V型槽相互错位布置,V型槽的斜面上镀有传感层;在每对V型槽中,从第一纤芯入射的宽谱光在第一V型槽斜面处激发SPR并发生全反射,反射至第二V型槽斜面处也激发SPR并反射至第二纤芯;光在各对V型槽中依次传递实现分布式传感。

2. 根据权利要求1所述的分布式表面等离子体共振光纤传感器,其特征是:每对V型槽中的两个V型槽的错位量L满足 $L = d * \cot \Phi$,其中d为两纤芯间距、 Φ 为V型槽的顶角角度。

3. 根据权利要求1或2所述的分布式表面等离子体共振光纤传感器,其特征是:所述的传感层的厚度为35-65纳米,传感层的材料金、银、铝或铜。

分布式表面等离子体共振光纤传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种光纤传感器,特别是一种主要用于外界环境折射率、空气浓度等传感测量的分布式 SPR 光纤传感器。

背景技术

[0002] 表面等离子体共振 (Surface Plasmon Resonance, SPR) 效应是一种对外界环境变化非常敏感的发生于金属与电介质分界面的物理光学现象。光波在金属和电介质的交界面发生全内反射,产生倏逝波,倏逝波在入射光沿交界面方向的波矢与表面等离子体波的波矢相等时,引起表面等离子体共振,导致光波在传输过程中产生能量损失,即在光谱中出现明显的共振波谷。外界环境折射率或气体浓度的改变能够引起共振波谷位置的偏移,所以通过对共振波谷进行实时监测可以实现对外界环境折射率或气体浓度的传感。

[0003] SPR 传感技术具有灵敏度高、易于实现、无需标记等优点,已经被广泛的应用于多种检测领域中。最早实现的 SPR 传感器是棱镜式 SPR 传感器,但由于其具有成本高、系统复杂、体积大、不方便携带等缺点限制了这种传感器的应用。1993 年美国的 R. C. Jorgenson 博士提出了光纤 SPR 传感器 (Ralph Corleissen Jorgenson. Fiber-optic chemical sensor based on surface plasmon resonance. Sensors and Actuator [J]s, B: Chemical, v B12, n 3, Apr 15 1993, p 213-220), 自此开创了光纤 SPR 传感器的新篇章。因为光纤 SPR 传感器具有体积小、易集成、不受机械振动和光源波动干扰等优点,目前已经成为 SPR 传感器研究的主流方向。

[0004] 2003 年曹振新等人成功研制出纵向分布式 SPR 光纤传感器,并申请了名为“纵向分布式表面等离子体波传感器”的发明专利(专利申请号为:03113077.1),这种纵向分布式 SPR 光纤传感器制作原理与传统形式的单通道 SPR 传感器相同,由于其光纤侧面的传感区域形式固定,传感器仅能通过改变膜厚来调节共振波长,其对应的探测光谱为多个入射角度产生效果的叠加,导致测量信号半带宽和强度都不够理想;2005 年彭伟等人使用纤芯直径为 600 μm 的多模光纤研制出了多通道 SPR 光纤传感器,并申请了名为“角度调谐式多通道光纤表面等离子体共振传感探头”的发明专利(专利申请号为:201110089650.4),这种 SPR 光纤传感器在一个光纤端集成了多个传感通道,但是其只能进行单一通道的实时检测,对于多个参量需要分时检测。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种结构简单,灵敏度高,能够实现多通道实时测量的分布式表面等离子体共振光纤传感器。

[0006] 本发明的目的是这样实现的:

[0007] 在一段双芯光纤上加工有成对分布的 V 型槽,V 型槽的深度超过纤芯,每对 V 型槽中的两个 V 型槽相互错位布置,V 型槽的斜面上镀有传感层;在每对 V 型槽中,从第一纤芯入射的宽谱光在第一 V 型槽斜面处激发 SPR 并发生全反射,反射至第二 V 型槽斜面处也激

发 SPR 并反射至第二纤芯；光在各对 V 型槽中依次传递实现分布式传感。

[0008] 本发明还可以包括：

[0009] 1、每对 V 型槽中的两个 V 型槽的错位量 L 满足 $L = d \cdot \cot \Phi$ ，其中 d 为两纤芯间距、 Φ 为 V 型槽的顶角角度。

[0010] 2、所述的传感层的厚度为 35-65 纳米，传感层的材料金、银、铝或铜。

[0011] 本发明提供了一种结构简单，灵敏度高，能够实现多通道实时测量的分布式 SPR 光纤传感器。一段双芯光纤 1 侧面加工有多组 V 型槽对 2，V 型槽对 2 的斜面上镀有传感层 3，从第一纤芯 4 入射的宽谱光在第一 V 型槽斜面 5 处激发 SPR 并发生全反射，由于错位相对的两个 V 型槽角度相同，因此光会反射至第二 V 型槽斜面 6 处，也会激发 SPR 并反射至第二纤芯 7，依次类推实现分布式传感。双芯光纤 1 的两纤芯间距为 d。每组 V 型槽对 2 是由两个具有相同角度 Φ 、错位量 L 为 $d \cdot \cot \Phi$ 的 V 型槽组成，V 型槽的深度超过纤芯。V 型槽对 2 可以具有相同的角度，也可以具有不同的角度，但是应当满足激励 SPR 的角度条件。传感层) 在不同 V 型槽对 2 上可以具有相同厚度，也可以具有不同厚度，但具有相同角度的 V 型槽对 2，应当镀制不同厚度的传感层 3。传感层 3 可以是厚度为 35-65 纳米的金、银、铝或铜，也可以是其他能够激励 SPR 的材料。

[0012] 其工作原理为：

[0013] 如图 3 所示，SPR 传感原理为入射光场以金属 / 光学介质为激励结构，在介质与金属膜界面发生全反射，产生倏逝波，倏逝波的波矢 K_{EW} 与金属表面等离子体波的波矢 K_{SPZ} 相匹配时，两种电磁波模式会强烈耦合，导致一部分入射光的能量被表面等离子体波吸收，导致反射光的强度明显降低。SPR 传感器正是基于这种现象实现对外部环境参量的检测。

[0014] SPR 波矢匹配公式为：

$$[0015] \quad K_{EW} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_0} \sin \theta = \text{Re}\{K_{SPZ}\} = \text{Re}\left\{\frac{\omega}{c} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_1 \cdot \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} = \Delta k\right\}$$

[0016] 式中， ω 为光频，c 为光速， θ 为入射角， ϵ_0 、 ϵ_1 、 ϵ_2 、分别为波导介质、金属膜、待测介质的介电常数， Δk 为材料引起的波矢失配量。

[0017] 光纤 SPR 传感器中，光纤作为光学介质与金属膜相结合形成了 SPR 效应的激励面，在分布式 SPR 光纤传感器中，镀有传感层的 V 形槽斜面就是 SPR 效应的激励面。宽谱光照射在 V 型槽的斜面上，当光的入射角度（V 型槽斜面角度）、传感层的厚度和环境介质折射率合适时，光在斜面上发生全内反射并产生倏逝场，并且使得 K_{EW} 与 K_{SPZ} 相匹配，产生 SPR 效应，表面等离子体波会吸收部分入射光的能量，导致某一波长的光强度明显降低。光经过多组 V 型槽对，光线在两个纤芯中交替传播，由于不同的 V 型槽对具有不同角度的斜面或不同厚度的传感层，出射光谱会出现多处吸收谷，当改变外界某一介质折射率时，相应光谱吸收谷会有明显的移动，根据光谱的变化即可判断介质折射率的改变，同一传感器上的多组 V 型槽对能够实现多通道的实时监测，即分布式传感。

[0018] 与现有技术相比，本发明的优点为：

[0019] 1、本发明给出了一种新颖的基于双芯光纤的分布式 SPR 光纤传感器，该传感器能够很好的与全光纤系统进行低损耗连接，具有体积小，结构简单等突出优点。

[0020] 2、分布式 SPR 光纤传感器在光纤侧面制作多组传感区，利用光纤的特殊结构将多

个传感区串联,实现了实时的多通道分布式测量。

附图说明

[0021] 图 1 为分布式 SPR 光纤传感器三维结构示意图。

[0022] 图 2 为分布式 SPR 光纤传感器光路示意图。

[0023] 图 3 为 Kretschmann 三层介质波导模型图。

具体实施方式

[0024] 下面举例对本发明做更详细的描述。

[0025] 如图 1 所示,一种分布式 SPR 光纤传感器包括一段双芯光纤 1,双芯光纤 1 的包层直径为 125 微米,包层中具有两个对称分布的纤芯,两个纤芯直径为 6-10 微米、纤芯的中心间距 d 为 30-100 微米。双芯光纤 1 侧面具有两个或两个以上的 V 型槽对 2,每组 V 型槽对中的 V 型槽角度为 Φ ,错位量 L 为 $d \cdot \cot \Phi$,V 型槽的斜面角度应能够满足实际需求并符合光线全内反射条件,V 型槽的斜面上应镀制 35-65 纳米厚的传感层 3;V 型槽的深度应当过对应纤芯 1-10 微米。本发明中的 SPR 光纤传感器也可以选用光纤纤芯对称分布的其他多芯光纤,其对称分布的两个纤芯应当满足上述双芯光纤 1 纤芯的基本分布条件。

[0026] 本发明的分布式 SPR 光纤传感器的具体制作方法为:利用飞秒激光器制作分布式 SPR 光纤传感器。步骤如下:

[0027] 1、光纤预处理:取一段直径为 125 微米的双芯光纤 1,使用米勒钳在光纤的某一位置剥除光纤涂覆层 25 毫米并用酒精将裸露的光纤包层清洗干净。

[0028] 2、将双芯光纤 1 放置在飞秒激光器的固定架上,使光纤的裸露部分处于激光器的工作区,并保证光纤的两个纤芯所在平面垂直于水平面。

[0029] 3、使用飞秒激光器在双芯光纤 1 侧面裸纤处烧写第一 V 型槽,由于双芯光纤 1 的纤芯间距为 35 微米,V 型槽角度为 150° ,经计算第一组将 V 型槽错位量 L 控制在 60 微米左右,V 型槽过纤芯约 10 微米,为使表面等离子体共振波长为 650 纳米左右,因此在距第一 V 型槽 40 微米且更靠近光线入射端的位置烧写第二 V 形槽。

[0030] 4、按照相同的原理重复步骤 1、2、3,烧写完成其他 V 型槽对 2。

[0031] 5、使用去离子水和超声清洁剂清洗光纤上的 V 型槽区域。

[0032] 6、使 V 型槽向上,将光纤固定在载玻片上,使用溅射镀膜技术镀膜 3.5 分钟,使 V 型槽的斜面上镀制 50 纳米厚的金膜。

[0033] 7、重复步骤 6,在每个 V 形槽上都镀制金膜。

[0034] 8、将双芯光纤 1 的 V 型槽对 2 部分置于 U 型石英槽中并使用环氧树脂固定,即形成分布式 SPR 光纤传感器。

[0035] 利用分布式 SPR 光纤传感器实现液体折射率的测量。步骤如下:

[0036] 1、取一段标准单模光纤和一个制作完成的分布式 SPR 光纤传感器,使用米勒钳去除光纤两端涂覆层约 30 毫米并用酒精将裸露的光纤包层清洗干净,使用光纤切割刀在光纤两端进行切割,使光纤的两端端面形成垂直于光纤轴线且平整的断面。

[0037] 2、利用光纤熔接机使单模光纤的纤芯与双芯光纤 1 的第一纤芯正对,使用合适的熔接电流将两根光纤焊接在一起。

[0038] 3、将两根光纤的焊接点放置在热塑封管中,对热塑封管加热,确保焊点能够得到良好的保护。

[0039] 4、使用光谱范围为 400 ~ 1200 纳米的超连续谱光源,将光源输出的光注入到单模光纤中。

[0040] 5、将双芯光纤 1 的未焊接一端接入 OSA 光谱仪,并调整光谱仪的探测波长范围为 400 ~ 1200 纳米。

[0041] 6、将传感器的传感部分 (V 型槽对 (2)) 放入折射率约为 1.333 (蒸馏水) 的待测液体中。

[0042] 7、接通光源,观测传感器的透射光谱,由于 SPR 现象的发生,光谱中会出现某些波长光强度的明显减弱。

[0043] 8、利用向水中滴加甘油的方法改变待测液体的折射率,通过观测光谱的改变量,就能够推算出待测液体的折射率变化量。

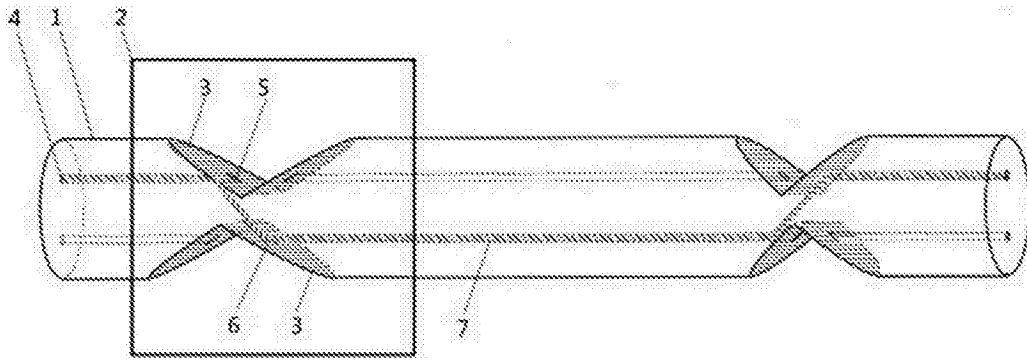


图 1

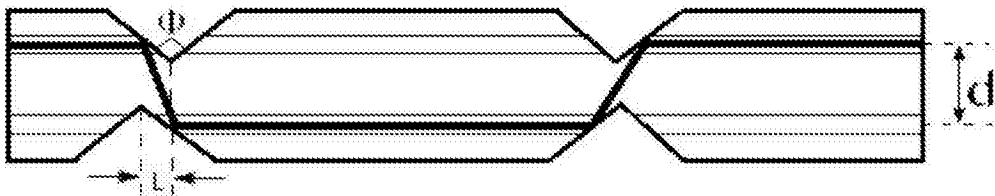


图 2

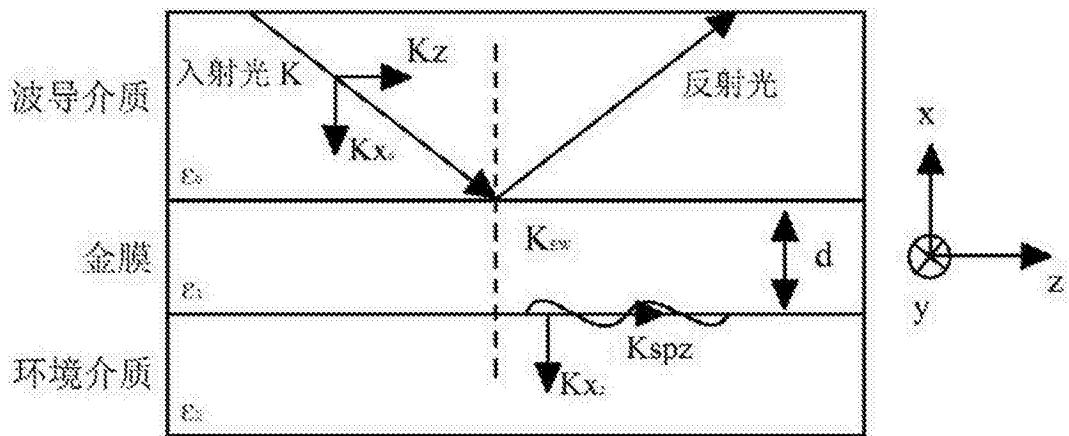


图 3