



(21) 申请号 202210680711.2

(22) 申请日 2022.06.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115200739 A

(43) 申请公布日 2022.10.18

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学(威海)
地址 264200 山东省威海市文化西路2号

(72) 发明人 刘一 李岩 许伟将

(74) 专利代理机构 合肥金律专利代理事务所
(普通合伙) 34184
专利代理师 段晓微

(51) Int.Cl.
G01K 11/3213 (2021.01)

(56) 对比文件

CN 113483911 A, 2021.10.08

Weijiang Xu; Jian Qu; Yi Liu, et al.. A calibration-free fiber sensor based on CdZnSe/ZnSe/ZnS quantum dots for real-time monitoring of human thermal activities. Measurement. 2022, 第206卷全文.

审查员 孙舒宁

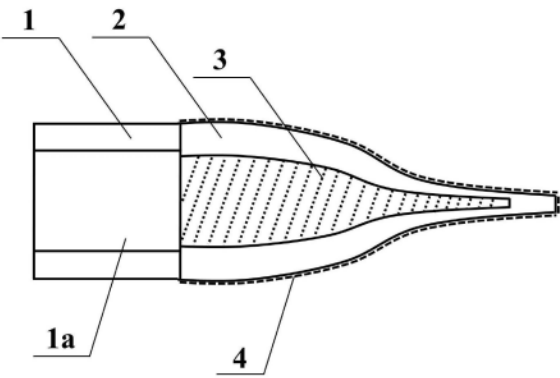
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器和传感装置

(57) 摘要

本发明公开了一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器和传感装置,多模光纤内具有多模纤芯,毛细管一端开口且另一端密封,所述开口端熔接在多模光纤一端,毛细管内填充有量子点溶液,所述量子点溶液中含有下转换半导体量子点。通过上述优化设计的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,毛细管内封装的量子点溶液受激发产生的荧光信号,通过多模光纤使得荧光信号返回,利用光谱中荧光波段的主波长与温度的线性函数可实现温度解调,不受传感器结构影响。



1. 一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,其特征在于,包括:多模光纤(1)和毛细管(2);多模光纤(1)内具有多模纤芯(1a),毛细管(2)一端开口且另一端密封,开口端熔接在多模光纤(1)一端,毛细管(2)内填充有量子点溶液(3),所述量子点溶液(3)中含有下转换半导体量子点;

所述量子点溶液(3)中含有CdSe/ZnS量子点、PbS量子点、CdTe/CdSe/ZnS量子点、CdS量子点、CdTe/CdS量子点、InP/ZnS量子点、ZnSe/ZnS量子点、PbS量子点、和ZnCdSe/ZnSe量子点中的一种;

利用光谱中荧光波段的主波长与温度的线性函数实现温度解调,与传感器结构尺寸无关;在20-70°C范围内,基于荧光波长解调的温度灵敏度达到0.126nm/°C,其线性度为99.9%。

2. 根据权利要求1所述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,其特征在于,毛细管(2)具有锥形结构,其外径从开口端向密封端方向逐渐减小。

3. 根据权利要求1或2所述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,其特征在于,毛细管(2)外壁覆有高反射膜(4)。

4. 根据权利要求3所述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,其特征在于,高反射膜(4)采用金膜、银膜或铜膜中的一种。

5. 根据权利要求2所述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,其特征在于,毛细管(2)与多模光纤(1)同轴布置,多模纤芯(1a)的内径与锥形毛细管(2)的大径端内径相等,多模光纤(1)的外径与锥形毛细管(2)的大径端外径相等。

6. 根据权利要求2所述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,其特征在于,毛细管(2)的锥形结构通过石英毛细管(2)熔融拉锥形成,且其末端通过CO₂激光照射进行密封。

7. 根据权利要求1所述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,其特征在于,所述量子点的粒径为3-20nm,和/或所述量子点溶液(3)的浓度为15-25mg/ml。

8. 一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感装置,其特征在于,包括激励光源(20)、光谱仪(30)和根据权利要求1-7任一项所述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器;

激励光源(20)用于经由多模光纤(1)发射激发光,激励量子点溶液(3)中的所述下转换半导体量子点发出荧光;光谱仪(30)用于通过多模光纤(1)收集荧光信号。

9. 根据权利要求8所述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感装置,其特征在于,还包括光纤耦合器(40),激励光源(20)和光谱仪(30)分别通过光纤耦合器(40)与多模光纤(1)远离毛细管(2)一端连接。

基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器和传感装置

技术领域

[0001] 本发明涉及基于光纤温度传感技术领域,尤其涉及一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器和传感装置。

背景技术

[0002] 近年来,光纤温度传感器因其体积小、分辨率高、成本低、抗电磁干扰等优点,在各种传感应用中得到了广泛的研究。这些光纤传感器主要有两种类型:光栅和干涉型。光栅型和干涉型传感器特征峰中心波长都会受传感器结构参数影响,例如光栅型传感器特征峰中心波长与光栅周期有关,干涉型传感器特征峰中心波长与干涉长度有关,传感器制备过程的公差比如光纤切割长度或熔接参数的差异会导致批量制备的传感器特征峰中心波长产生较大差异,每个传感器需要单独进行温度标定才能投入使用,给批量生产与应用带来一定困难。在传感器解调方面,干涉型传感器在光谱解调范围内周期性出现多个特征峰,增加了寻峰与解调的难度,光栅型传感器虽然在光谱解调范围内只有一个特征峰,解调方便,但温度传感灵敏度较低,而且光栅型和干涉型传感器易受光纤弯曲和拉伸应变串扰,进一步增加了温度解调的难度。

发明内容

[0003] 为解决背景技术中存在的技术问题,本发明提出一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器和传感装置。

[0004] 本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,包括:多模光纤和毛细管;多模光纤内具有多模纤芯,毛细管一端开口且另一端密封,所述开口端熔接在多模光纤一端,毛细管内填充有量子点溶液,所述量子点溶液中含有下转换半导体量子点。

[0005] 优选地,毛细管具有锥形结构,其外径从开口端向密封端方向逐渐减小。

[0006] 优选地,毛细管外壁覆有高反射膜。

[0007] 优选地,高反射膜采用金膜、银膜或铜膜中的一种。

[0008] 优选地,毛细管与多模光纤同轴布置,多模纤芯的直径与锥形毛细管的大径端内径相等,多模光纤的外径与锥形毛细管的大径端外径相等。

[0009] 优选地,毛细管的锥形结构通过石英毛细管熔融拉锥形成,且其末端通过CO₂激光照射进行密封。

[0010] 优选地,所述量子点溶液中含有CdSe/ZnS量子点、PbS量子点、CdTe/CdSe/ZnS量子点、CdS量子点、CdTe/CdS量子点、CdSe/ZnS量子点、InP/ZnS量子点、ZnSe/ZnS量子点、PbS量子点、和ZnCdSe/ZnSe量子点中的一种。

[0011] 优选地,所述量子点的粒径为3-20nm,和/或所述量子点溶液的浓度为15-25mg/ml。

[0012] 本发明中,所提出的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,多模光纤内具有多模纤芯,毛细管一端开口且另一端密封,所述开口端熔接在多模光纤一端,毛细管内填

充有量子点溶液,所述量子点溶液中含有下转换半导体量子点。通过上述优化设计的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,毛细管内封装的量子点溶液受激发产生的荧光信号,通过多模光纤使得荧光信号返回,利用光谱中荧光波段的主波长与温度的线性函数可实现温度解调,不受传感器结构影响。

[0013] 本发明还提出一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感装置,包括激励光源、光谱仪和上述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器;

[0014] 激励光源用于经由多模光纤发射激发光,激励量子点溶液中的所述下转换半导体量子点发出荧光;光谱仪用于通过多模光纤收集所述荧光信号。

[0015] 优选地,还包括光纤耦合器,激励光源和光谱仪分别通过光纤耦合器与多模光纤远离毛细管一端连接。

[0016] 本发明中,所提出的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感装置,其技术效果与上述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器类似,因此不再赘述。

附图说明

[0017] 图1为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式的结构示意图。

[0018] 图2为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式的光路示意图。

[0019] 图3为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感装置的一种实施方式的结构示意图。

[0020] 图4为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式的探测光谱图。

[0021] 图5为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式中在不同温度下的荧光光谱图。

[0022] 图6为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式中荧光主波长与温度的线性拟合图。

具体实施方式

[0023] 如图1至6所示,图1为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式的结构示意图,图2为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式的光路示意图,图3为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感装置的一种实施方式的结构示意图,图4为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式的探测光谱图,图5为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式中在不同温度下的荧光光谱图,图6为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的一种实施方式中荧光主波长与温度的线性拟合图。

[0024] 参照图1和2,本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,包括:多模光纤1和毛细管2;多模光纤1内具有多模纤芯1a,毛细管2一端开口且另一端密封,所述开口端熔接在多模光纤1一端,毛细管2内填充有量子点溶液3,所述量子点溶液3中含

有下转换半导体量子点。

[0025] 下转换半导体量子点为纳米尺寸的零维荧光纳米材料,多由II-VI,III-V,或IV-VI族元素构成。在短波长光的激励下,它能发射出长波长光。它具有优异的光学性能,如发光效率高、抗光漂白能力强、宽吸收带、发射光谱窄而对称等。

[0026] 具体地,下转换半导体量子点可采用南京牧科纳米科技公司的CdSe/ZnS量子点、天元正刚公司的PbS量子点、星紫(上海)新材料技术开发有限公司的CdTe/CdSe/ZnS量子点、CdS量子点、CdTe/CdS量子点、CdSe/ZnS量子点、苏州星烁纳米科技有限公司的CdSe/ZnS量子点、InP/ZnS量子点、ZnSe/ZnS量子点、PbS量子点、和ZnCdSe/ZnSe量子点中的一种,也可以采用其他制造商或自己配置的下转换半导体量子点溶液。所述量子点的粒径为3-20nm,和/或所述量子点溶液3的浓度为15-25mg/ml。

[0027] 为了详细说明本实施例的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器,参照图2,本实施例还提出一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感装置,包括激励光源20、光谱仪30和上述的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器;

[0028] 激励光源20用于经由多模光纤1发射激发光,激励量子点溶液3中的所述下转换半导体量子点发出荧光;光谱仪30用于通过多模光纤1收集所述荧光信号。具体地,本实施例还包括光纤耦合器40,激励光源20和光谱仪30分别通过光纤耦合器40与多模光纤1远离毛细管2一端连接。

[0029] 在本实施例的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感装置的具体检测过程中,激发光源出射的激光经由多模光纤进入毛细管内,量子点溶液内的下转换半导体量子点受到激发光的激发产生荧光,荧光通过多模光纤耦合返回,光谱仪获取返回的荧光信号。由于激发荧光波长漂移量与温度变化量具有线性关系,因此,利用光谱中荧光波段的主波长与温度的线性函数可实现温度解调。

[0030] 由于荧光信号为发散光,不像激光一样具有很强的单方向性,且只在激光焦点区域才会有效激发荧光,因此在本实施例的传感器的具体设计方式中,毛细管2具有锥形结构,其外径从开口端向密封端方向逐渐减小。通过毛细管末端的锥形结构,使得产生的荧光向多模光纤方向反射,提高荧光信号的检测效率。

[0031] 进一步地,在毛细管的锥形结构的具体加工方式中,通过石英毛细管2熔融拉锥形成,量子点液体通过加压由锥形毛细管右侧细口填充到锥形毛细管腔体内,然后利用CO₂激光照射毛细管锥形端口进行密封。

[0032] 在更进一步地具体实施方式中,毛细管2外壁覆有高反射膜4。具体地,高反射膜4采用金膜、银膜或铜膜中的一种。高反射膜可有效提高腔内荧光到多模光纤的耦合效率。加工时,可将金属高反膜喷镀在毛细管外壁,使得毛细管内量子点产生的荧光信号无外泄,最大程度返回多模光纤。

[0033] 在其他具体实施方式中,毛细管2与多模光纤1同轴布置,多模纤芯的直径与锥形毛细管2的大径端内径相等,多模光纤1的外径与锥形毛细管2的大径端外径相等。

[0034] 具体地,模光纤纤芯的内径为50-65 μ m。毛细管是由内径为50-65 μ m、外径为125 μ m的石英毛细管熔融拉锥并在锥区截断而成,毛细管长度为200-500 μ m。

[0035] 下面以毛细管内填充ZnCdSe/ZnSe量子点溶液的温度传感器为例,详细说明本发明的光纤温度传感器。

[0036] 本实施例的光纤温度传感器包括:多模光纤1、锥形毛细管2、ZnCdSe/ZnSe量子点液体3和金膜4;

[0037] 多模光纤1内部设有多模纤芯1a;锥形毛细管2内填充ZnCdSe/ZnSe量子点液体3;锥形毛细管2外壁设有金膜4。

[0038] 该传感器先由多模光纤1、锥形毛细管2同轴级联熔接,其中锥形毛细管2是由内径为50-65 μm 、外径为125 μm 的石英毛细管熔融拉锥并在锥区截断而成的,ZnCdSe/ZnSe量子点液体通过加压方式由锥形毛细管2右侧细口填充到锥形毛细管2腔体内,然后利用CO₂激光照射锥形管2右侧细口进行密封,最后在锥形毛细管外壁镀上金膜。

[0039] 其中,量子点液体溶质为ZnCdSe/ZnSe量子点,其粒径约为15nm,溶剂为正辛烷,浓度为20mg/ml,在紫外光照射下能够产生荧光,激发荧光波长漂移量与温度变化量具有线性关系。

[0040] 参照图3,本实施例的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器用于温度探测时,将光纤温度传感器暴露于待测工作环境。采用405nm波长的激光作为激励光源,耦合到多模光纤耦合器的2号端口。激励光通过多模光纤耦合器的1号端口传输到传感器,激发光耦合进入充满ZnCdSe/ZnSe量子点液体的锥形毛细管腔体中,激励量子点材料而发射出荧光。各方向发射的荧光经过锥形毛细管外侧的金膜多次反射,最终耦合回传感器的多模光纤中,并通过多模光纤耦合器的3号端口传输到光谱仪。

[0041] 如图4、5和6所示,图4为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器在405nm激光作用下的光谱图,图5为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器在不同温度下的荧光光谱图,图6为本发明提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的荧光主波长与温度的线性拟合图。

[0042] 参照图4,本实施例的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器在室温(20 $^{\circ}\text{C}$)环境下,通过在405nm激光的低功率激励下,传感器在623nm左右的主波长处发出红色的荧光信号。传感器采405nm激光作为激励光源,通过可见光光谱仪接收光纤温度传感器反射光谱信号,利用光谱中荧光波段的主波长与温度的线性函数实现温度解调。

[0043] 参照图5,本实施例的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器在同一激励激光功率下,随着温度的增大,传感器荧光强度减小,荧光波长向长波长方向移动。

[0044] 参照图6,本实施例的基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器的荧光主波长漂移与温度变化有良好的线性关系。在20-70 $^{\circ}\text{C}$ 范围内,基于荧光波长解调的温度灵敏度达到0.126nm/ $^{\circ}\text{C}$,其线性度为99.9%。

[0045] 本发明的光纤温度传感器,ZnCdSe/ZnSe核壳量子点作为热敏材料。在405nm激光激励下,密封在锥形毛细管腔体中的ZnCdSe/ZnSe量子点的荧光信号不受传感器结构尺寸以及灰尘、湿度、pH值等环境因素的影响,其荧光波长只与温度有关。相对于光栅型和干涉型光纤温度传感器工作在中红外波段,该波段的光源与解调设备昂贵,增加了传感器的应用成本。而光栅型和干涉型的光纤温度传感器有许多局限性,例如光栅型温度传感器灵敏度较小;干涉型温度传感器的特征峰中心波长易受到熔接参数、传感器尺寸、解调过程等因素的影响,因此每一个传感器在实际使用前都需要进行温度标定;光栅型和干涉型的光纤温度传感器易受光纤弯曲或拉伸应变串扰,且所需解调设备较贵。基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器易于量产,不需要考虑熔接参数、传感器尺寸等因素的影响,批量生产

后无需针对每一个温度传感器进行温度标定,且解调过程简单,所需设备成本较低。

[0046] 在本实施例中,所提出的一种基于荧光波长解调的免标定光纤温度传感器由多模光纤、锥形毛细管同轴级联熔接,通过加压方式将ZnCdSe/ZnSe量子点液体填充到锥形毛细管腔内,并利用CO₂激光照射锥形毛细管细口处进行密封,最后在锥形毛细管外壁镀上金膜。其荧光波长只与温度有关紫外激光通过多模光纤耦合照射到ZnCdSe/ZnSe量子点液体中,激发该材料并产生荧光,激发荧光波长漂移量与温度变化量具有线性关系。多模光纤既可以用于激光耦合入射,又可以用于激发荧光的耦合接收,金膜可有效提高腔内荧光到多模光纤的耦合效率。通过可见光光谱仪接收光纤温度传感器反射光谱信号,利用光谱中荧光波段的主波长与温度的线性函数可实现温度解调。由于激发荧光波长只与环境温度有关,与传感器结构尺寸无关,温度解调函数通用,因此该传感器可以免标定,对制备公差无要求,适于批量生产与应用。

[0047] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

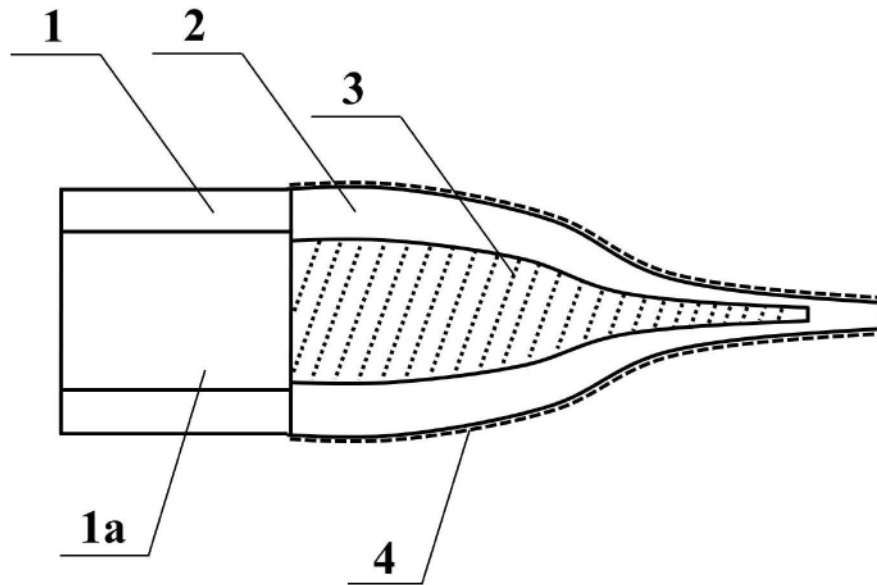


图1

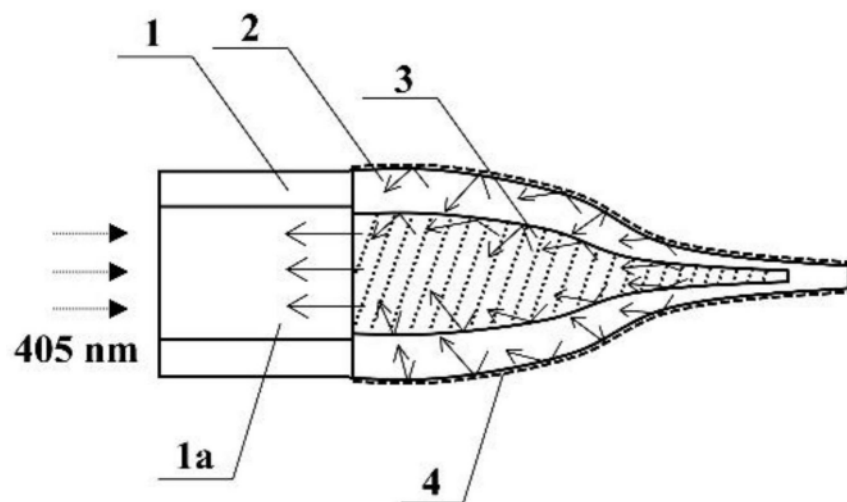


图2

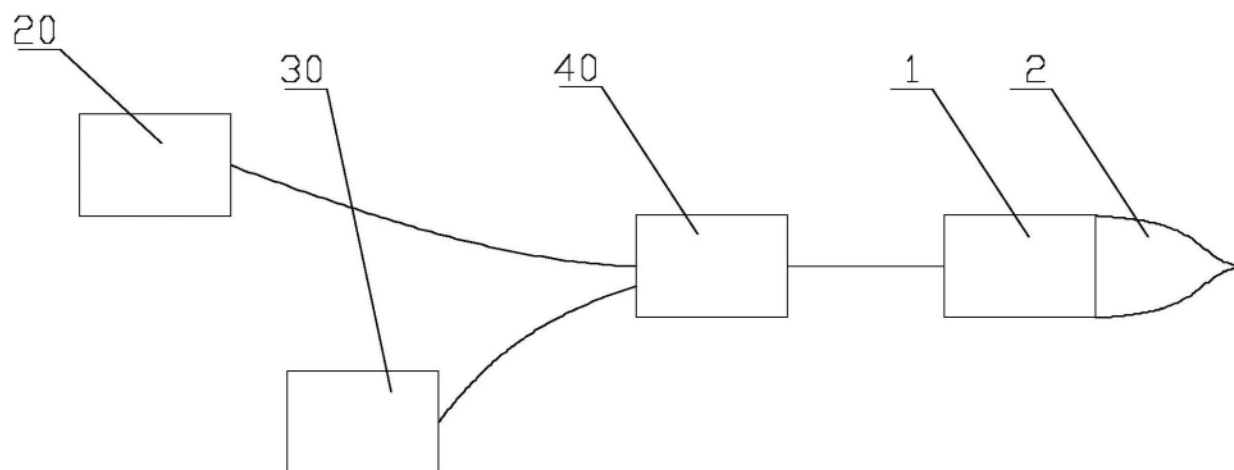


图3

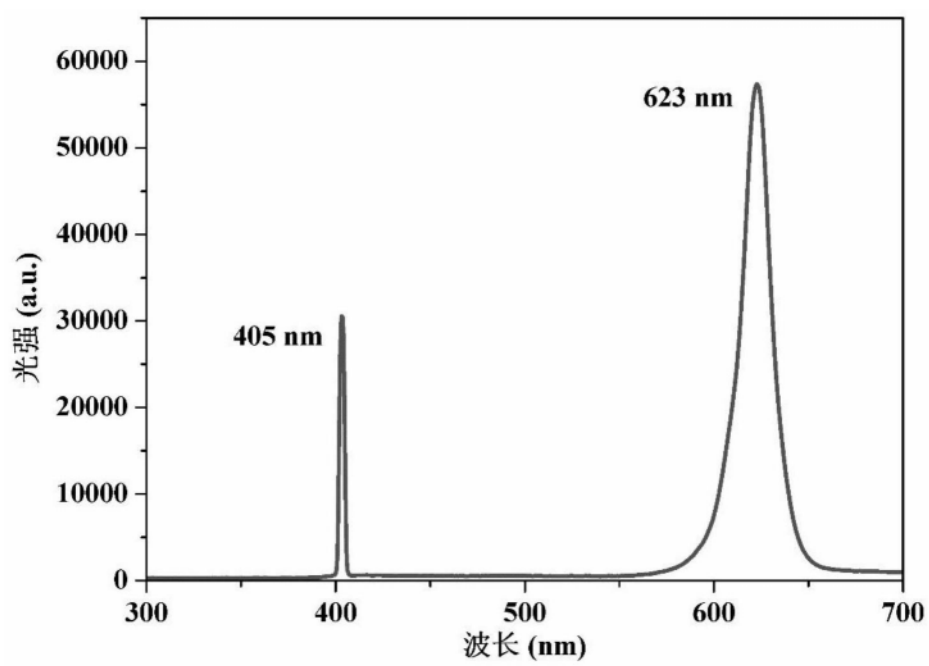


图4

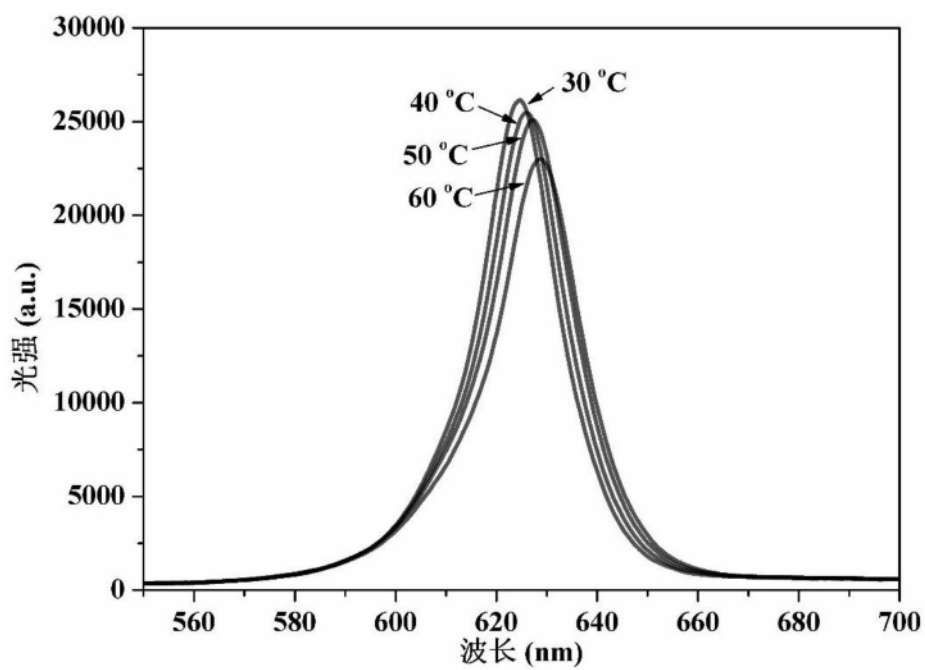


图5

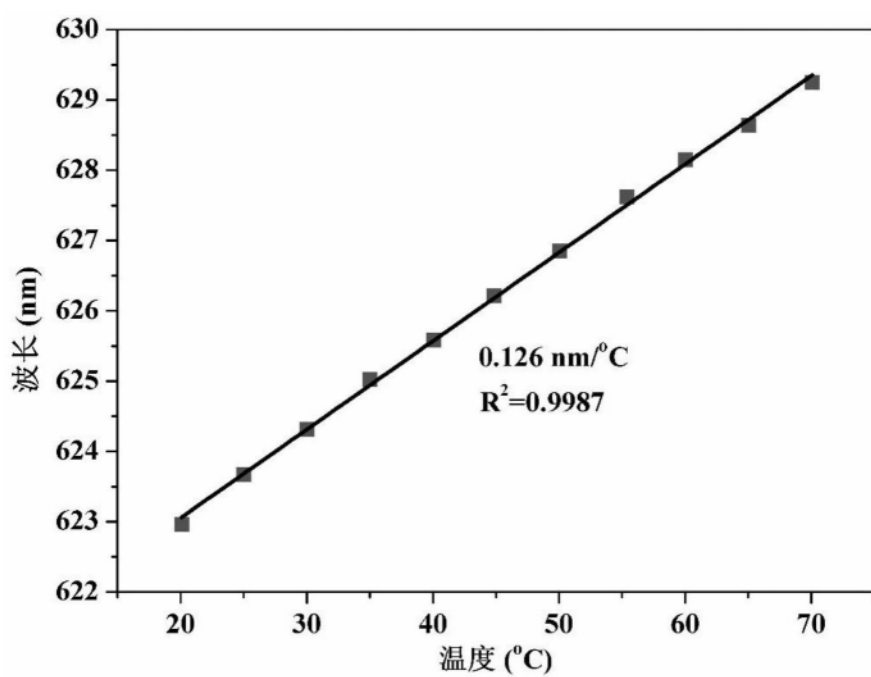


图6