

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
G01N 21/63 (2006.01)



# [12] 实用新型专利说明书

专利号 ZL 200820004990.6

[45] 授权公告日 2009 年 9 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 201302547Y

[22] 申请日 2008.3.19

[21] 申请号 200820004990.6

[73] 专利权人 中国海洋大学

地址 266003 山东省青岛市市南区鱼山路 5 号

[72] 发明人 郭金家 郑荣儿 程 凯 亓夫军  
李 颖

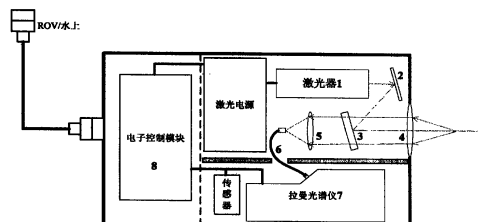
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 2 页

## [54] 实用新型名称

近红外激光拉曼光谱水下原位探测系统

## [57] 摘要

本实用新型为一种近红外激光拉曼光谱水下原位探测系统。它包括水下密封舱内的前置光路、近红外激光器、拉曼光谱仪和电子控制模块等几部分。其特征是可同时对多种海洋化学成分进行原位、实时、连续、无接触测试。系统采用近红外激光器有效避免水中荧光的影响，采用后向散射光路设计，利用陷波滤光片实现收发同轴，通过光纤束两端不同的排列方式同时兼顾光通量和光谱分辨率，采用分光装置和探测器一体的小型光谱仪，所有部件无机械调节部分，确保系统工作水下工作的稳定可靠。系统所有部件集成于一个小型密封舱，该系统可搭载与水下潜器 (ROV) 用于各种水下环境。



- 1、一种避免荧光影响的激光拉曼光谱水下原位探测系统，包括密封舱内的激光器（1）、由全反镜（2）、陷波滤光片（3）、透镜（4，5）和光纤（6）组成的前置光路、拉曼光谱仪（7）以及电子控制模块（8）；其特征是近红外激光器（1）直接出射，经全反镜（2）到陷波滤光片（3），再经第一透镜（4）聚焦入射到水中，拉曼信号和水体瑞利散射由第一透镜（4）收集，经过陷波滤光片（3）滤除水体瑞利散射，经第二透镜（5）耦合到光纤（6），光纤（6）另一端连接到拉曼光谱仪（7），拉曼光谱仪（7）对拉曼信号进行分光探测，送入电子控制模块（8）进行处理和传输。
- 2、如权利要求1所述的激光拉曼光谱水下原位探测系统，其特征是系统整体功耗控制在50W以内，系统密封舱长度为400mm，直径小于250mm。
- 3、如权利要求1所述的激光拉曼光谱水下原位探测系统，其特征是采用近红外半导体激光器作为激发光源。
- 4、如权利要求1所述的激光拉曼光谱水下原位探测系统，其特征是所述拉曼光谱仪（7）为分光装置和探测器一体式结构，探测器为致冷的背感光CCD面阵，信号光经10根20um芯径的线性排列光纤导入光谱仪。
- 5、如权利要求1所述的激光拉曼光谱水下原位探测系统，其特征是所述电子控制模块（8）采用PC104嵌入式工控机和通过RS485总线实现和水上系统的通信。

## 近红外激光拉曼光谱水下原位探测系统

### 技术领域

本实用新型属于水下光谱探测系统，更具体的说是一种激光拉曼光谱水下原位探测系统。

### 背景技术

海洋化学成分测量对海洋环境监测和海洋资源的开发都具有非常重要的意义，目前海洋化学测量通常都是采集样品回实验室分析，远远不能适应海洋科学调查的需要。另外，许多化学成分受环境因素影响很大，或者脱离海洋环境其测量不再有意义，因此发展原位化学传感器就显得尤为必要。波谱类（光谱、质谱等）化学传感器可实现对深海目标物的原位、实时、连续、无接触测试，并且同时获得多种物质成分的信息，近年来成为海洋原位探测化学传感器发展的热点。基于实验室激光拉曼光谱仪，美国 Monterey Bay Aquarium Research Institute 成功研制了深海激光拉曼光谱系统 DORISS。DORISS 采用 532nm Nd:YAG 激光器作为激发光源，在海水探测中受荧光影响比较大，另外 DORISS 采用三个密封舱，体积功耗都很大，限制了现场探测的使用。

### 发明内容

本实用新型的目的是提供一套近红外原位探测激光拉曼光谱系统，该系统体积小，灵活方便，可搭载与水下潜器(ROV)，广泛应用于各种海洋环境，实现对海底固、液、气态目标物的原位、实时、连续、无接触测试。

一种避免拉曼光谱信号影响的激光拉曼光谱水下原位探测系统，包括密封舱内的激光器、由全反镜、陷波滤光片、透镜和光纤组成的前置光路、拉曼光谱仪以及电子控制模块；其特征是近红外激光器直接出射，经全反镜到陷波滤光片，再经第一透镜聚焦入射到水中，拉曼信号和水体瑞利散射由第一透镜收集，经过陷波滤光片滤除水体瑞利散射，经第二透镜耦合到光纤，光纤另一端连接到拉曼光谱仪，拉曼光谱仪对拉曼信号进行分光探测，送入电子控制模块进行处理和传输。

拉曼散射激发效率与波长的四次方成反比，但随着波长的减小，荧光的影响非常严重。另外由于海水的吸收，通常海洋光学仪器的设计选用蓝绿窗口波段，同样 DORISS 选择 532nm 作为激发波长，这样可以同时获得较好的海水透过率和较高的拉曼激发效率。由于 DORISS 主要针对深海进行探测，海水的荧光影响较小，但对于一般自然海水，水中有大量的黄色物

质和叶绿素，其荧光强度远远大于拉曼信号，使拉曼信号的检测变得非常困难。对于消除荧光影响，采用近红外激发波长是已经被证明的行之有效的方法，但由于海水的吸收，目前很少有水下光学仪器采用近红外波长激光器作为激发光源，尤其对拉曼信号而言，由于信号非常微弱，采用近红外波长一方面激发效率较低，另一方面海水吸收非常严重，所以实现难度非常大。但实验表明，由于采用 785nm 近红外半导体激光器作为激发光源成功地抑制了荧光的影响，反而可以获得较高的信噪比。

对海洋仪器小型化、低功耗是现场调查大量使用的基本保证，但对于水下拉曼光谱探测，而且需要满足同时探测多种物质和相似物质进行有效区分的要求（从低波数范围的硫磺以及硫化物、中间范围的大多数矿物和挥发性气体如  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  等到高波数范围的有机物和水合物等），这就要求光谱仪同时具有宽的光谱范围和高的光谱分辨率。由于光谱范围和光谱分辨率的矛盾，在实验室通常采用转动高分辨率光栅的办法来同时满足这两者，但对于现场探测，出于实时探测的需要和结构稳定性的考虑，要一次获得全波段光谱，同时保证较高的光谱分辨率。另外由于光谱分辨率与光谱仪入射狭缝宽度有关，同样光谱范围条件下，采用较窄的狭缝可以获得更高的光谱分辨率，但小的狭缝宽度减少了入射光通量，增加了测量时间，这对实时测量是不利的。本实用新型拉曼光谱仪采用了光纤束，光纤束由 10 根 20um 的光纤组成，在靠近前置光路的一端是圆形排列，相当于芯径 200um 的粗光纤，靠近光谱仪的一端是线性排列，相当于 200\*20um 的狭缝，这样既保证光谱分辨率，又满足了测量范围和光通量的要求。同时为进一步减小体积，采用了分光装置和探测器一体的小型光谱仪，探测器采用背感光 CCD 光谱探测器，具有较高的量子效率，且采用致冷的面阵 CCD 增强信噪比。光谱仪整体性能可比拟实验室光谱系统，体积小，无转动部件，性能可靠稳定，不受温度影响，适于水下不同环境工作。

系统为后向散射光路，与传统的激光拉曼光谱侧向散射光路相比，具有更高的探测效率，且有助于系统小型化设计。另外采用同轴光路，所有光学元件无可调部件，可保证水下不同工作环境信号收集的稳定性。前置光路采用陷波滤光片代替常规二向色镜，保证较好的滤除水体的瑞利散射信号，且可以进一步获得拉曼光谱低波数信号。

电子控制模块 8 采用 PC104 嵌入式工控机和通过 RS485 总线实现和水上系统的通信。PC104 嵌入式工控机体积小、功耗低，能在各种环境里连续长期稳定工作。PC104 嵌入式工控机采用嵌入式 Windows 操作系统，易于开发，总线系统也定义了 PCI 的标准，方便扩展。

由于采用了半导体激光器、一体式光谱仪、后向散射光路和低功耗控制模块，系统整体功耗控制在 50W 以内，整个系统仅有一个密封舱，长度仅有 400mm，直径小于 250mm，可方便的搭载与水下潜器，用于各种海洋调查监测。

## 附图说明

图 1 是近红外激光拉曼光谱水下原位探测系统原理示意图。

图 2 是 785nm 激光器海水信号探测结果。

图 3 是 532nm 激光器海水信号探测结果。

其中：图 1 中附图标记 1 是近红外激光器，附图标记 2 是全反镜，附图标记 3 是陷波滤光片，附图标记 4 是第一透镜，附图标记 5 是第二透镜，附图标记 6 是光纤，附图标记 7 是拉曼光谱仪，附图标记 8 是电子控制模块。

## 具体实施方式

如图 1 所示，近红外激光器 1 直接出射，经全反镜 2 到陷波滤光片 3，再经第一透镜 4 聚焦入射到水中，拉曼信号和水体瑞利散射由第一透镜 4 收集，经过陷波滤光片 3 滤除水体瑞利散射，经第二透镜 5 耦合到光纤 6，光纤 6 另一端连接到拉曼光谱仪 7，拉曼光谱仪 7 对拉曼信号进行分光探测，最终送入电子控制模块 8 进行处理和传输。

本实用新型激发光源采用的是 785nm 半导体激光器，与常规采用的 532nm 相比，荧光的影响几乎可以忽略，可大大提高信噪比。如图 2 和图 3 所示。

整个拉曼光谱系统在原理上与实验室拉曼光谱仪工作并无不同，本实用新型针对水下化学探测要求，解决了实验室常规光谱仪器水下恶劣环境工作的关键技术问题。在确保系统满足探测要求的基础上实现了小型化和低功耗设计。

由于光谱系统实验测量过程中，随着系统测量深度的增加，周围海水温度、压力不断变化，导致光谱位置的漂移，因此在光谱实验系统每次下水前后都要对其进行定标校正。

系统体积小、功耗低、灵活方便，工作时可搭载与水下潜器进行探测。系统的甲板控制部分采用以太网或 PCI 总线接口，通过 ROV 自带的传输电缆，对水下探测部分下达各种控制命令并接收水下各种信息的传输和反馈。系统的水下探测部分通过 ROV 自带的传输电缆实现与水上控制室的连接，完成信号上下传输并提供仪器所需能源。工作过程中通过 ROV 的机械手控制，靠近待探测物质，从而达到现场原位探测的设计目标。

PC104 嵌入式工控机通过 RS485 总线接收来自水上计算机终端的控制命令，并实现对拉曼光谱仪、激光器和各种传感器的控制。其中，通过 USB 总线控制拉曼光谱仪和采集光谱信号，并完成光谱数据的预处理和存储工作。通过 RS232 串行总线控制 AVR 单片机，实现对传感器信号的采集和对激光器的控制。系统处理的结果或原始数据通过 RS485 总线传输给计算机终端，在甲板的计算机终端显示数据、监控系统工作。

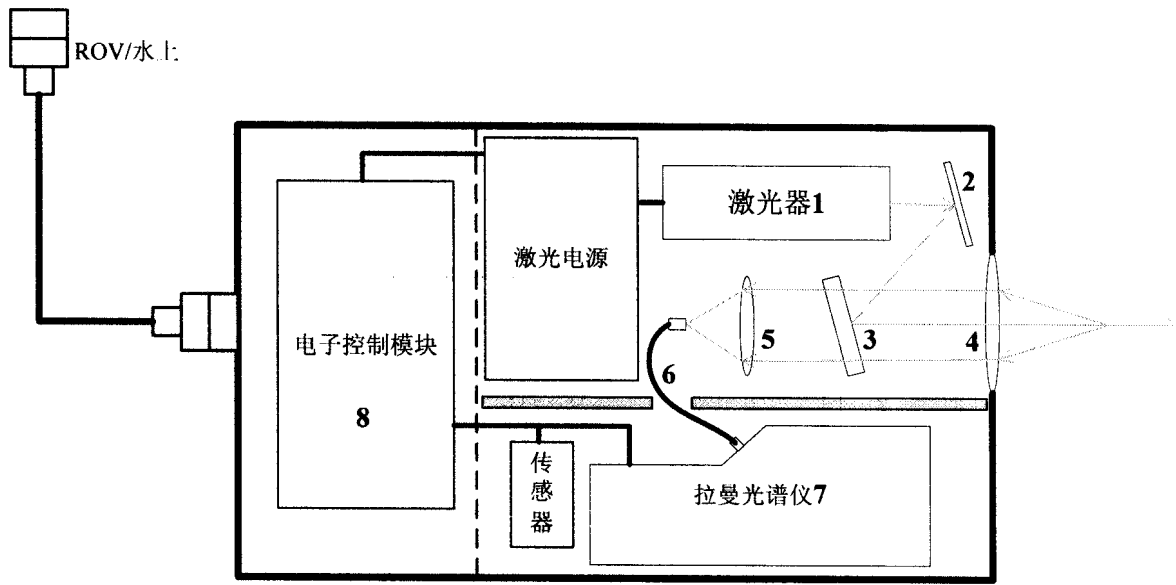


图 1

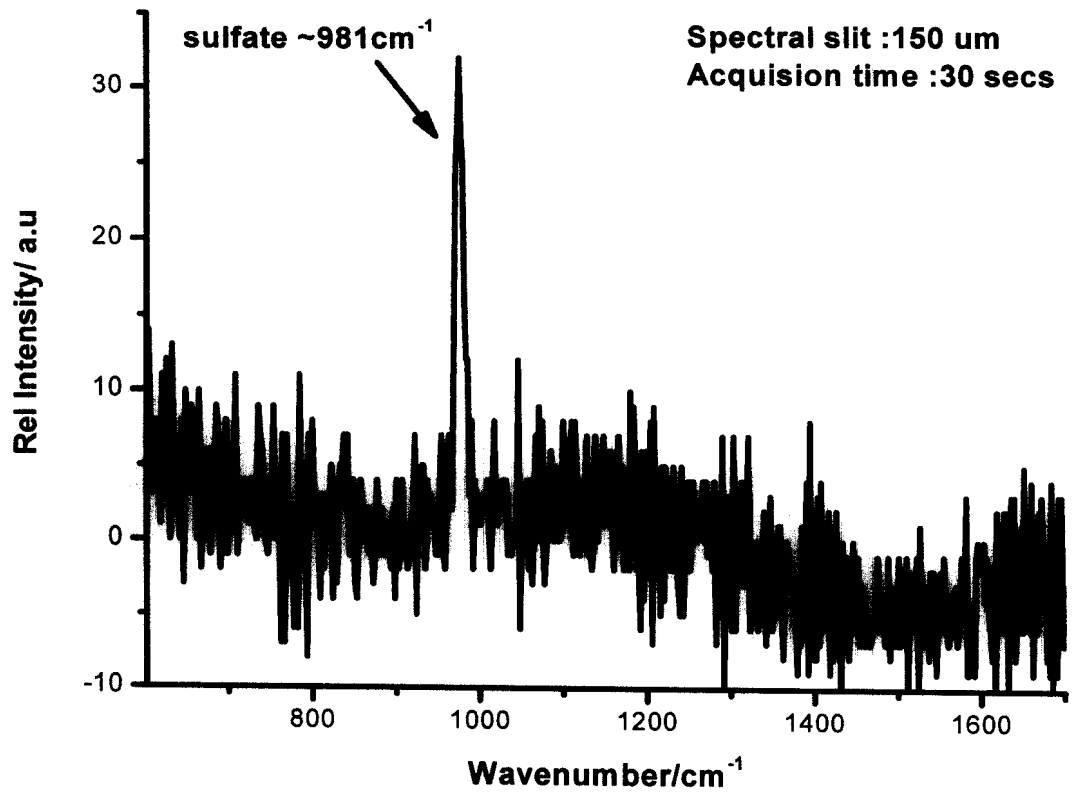


图 2

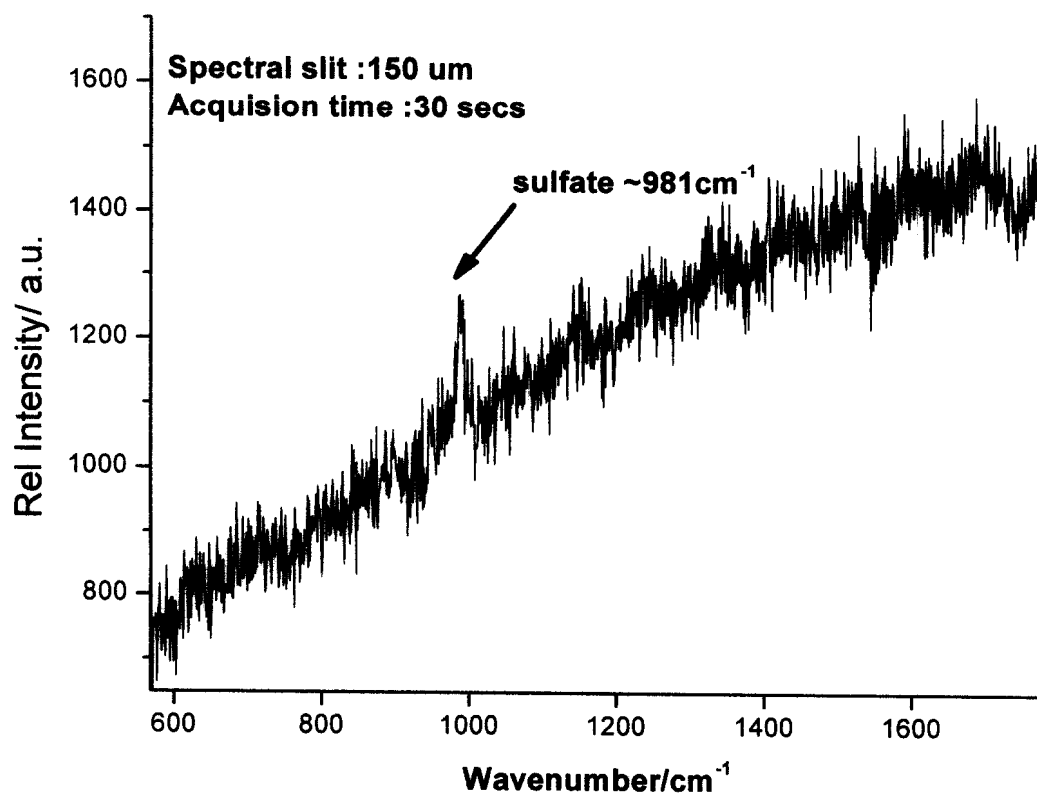


图 3