

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01N 21/41

G01N 35/00



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 02117422.9

[45] 授权公告日 2004 年 9 月 15 日

[11] 授权公告号 CN 1166938C

[22] 申请日 2002.4.19 [21] 申请号 02117422.9

[71] 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市 100084 - 82 信箱

[72] 发明人 赵 勇 廖延彪

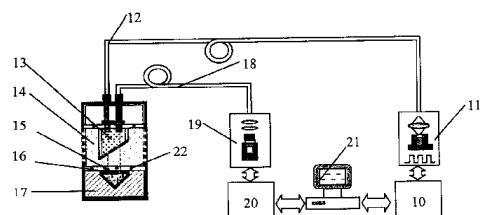
审查员 周 航

权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

[54] 发明名称 一种海水盐度与温度同时在线检测方法及装置

[57] 摘要

一种海水盐度与温度同时在线检测方法及装置，属于光纤传感和海水测量技术领域。该装置包括光源，传输光纤，电源，CCD，带尾纤的准直透镜、玻璃窗体、测量水槽、感温反射单元和接收光纤阵列组成的传感器探头，图像采集处理模块及装有软件和标定数据的计算机，感温反射单元包括半导体吸收晶片、直角棱镜、导热材料。通过检测不同盐度的折射率变化引起 CCD 光敏面上的光斑位置变化实现盐度测量，检测由半导体材料受温度调制引起的光强度变化实现温度测量；通过差动式测量和参考光路设计，提高了抗干扰能力、测量灵敏度高、安全性好、适合远距离在线测量；温度测量范围 0 ~ 50°C，盐度测量范围 0 ~ 48‰，可用于海洋环境监测、海水养殖等领域。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种海水盐度与温度同时在线检测装置，其特征在于：该装置包括光源(11)，通过传输光纤与光源相连的传感器探头，通过接收光纤阵列(18)与传感器探头相连的CCD光探测器(19)，对光探测器信号进行数据处理及显示、且装有软件处理程序和标定数据的计算机单元(20、21)以及分别与光源和计算机供电的电源(10)；所述的传感器探头由带尾纤的准直透镜(12)，设置在准直透镜下面的测量水槽(14)，放置在测量水槽内的带倾斜面的玻璃窗体(13)以及设置在测量水槽下面的感温反射单元组成；所述的感温反射单元包括半导体吸收晶片(15)，设置在吸收晶片下面的直角棱镜(16)以及设置在该直角棱镜周围的导热材料(17)；所述的测量水槽与感温反射单元用玻璃板(22)隔开。

2. 按照权利要求1所述的在线检测装置，其特征在于：所述的发光光源采用中心波长为880nm、光谱半宽至少为90nm的发光二极管。

3. 按照权利要求2所述的在线检测装置，其特征在于：所述的半导体吸收晶片采用砷化镓晶体薄片。

4. 按照权利要求2所述的在线检测装置，其特征在于：所述的导热材料采用氮化硼材料。

5. 按照权利要求1—4所述的在线检测装置，其特征在于：所述的玻璃窗体为内部盛有蒸馏水的玻璃窗体。

6. 按照权利要求5所述的在线检测装置，其特征在于：所述的玻璃窗体的倾斜面的倾斜角为30°～60°。

7. 如权利要求1所述装置的一种测量方法，其特征在于：该方法包括如下步骤：

(1) 对检测装置的温度检测特性进行标定：提供一个从0～50℃可变水域温度场，将传感器探头和精度至少为0.1℃的标准温度计同时放入温度场中，保持在同一位置上；同时记录温度计的读数值和检测装置读数值，以温度计的读数值作为参考基准，并反复多次进行上述过程，将测量数据用带有软件程序的计算机进行分析和处理，建立标定数据表，存入计算机，以备后用；

(2) 对检测装置在不同温度下的盐度检测特性进行标定：根据海水中各种成分的百分比，在某一特定温度下用蒸馏水配制出具有不同盐度值的人工海水，将其盐度值作为参考基准，并用检测装置对不同盐度值的人工海水进行测量并记录对应的测量结果，反复进行多次，每次采集多组数据，建立标定数据表，改变温度值，重复上述过程，可建立不同温度下的盐度检测特性的数据库文件，存入计算机，以备后用；

(3) 对装置的盐度检测随温度变化的特性进行标定：对具有某一特定盐度的人工海水在温度从低到高变化过程中的盐度检测结果的变化特性进行标定，温度的变化由上述标准温度计进行检测，同时记录盐度检测结果的变化情况，改变盐度值，重复上述过程，可建立不同盐度的海水在温度变化过程中的盐度值的漂移变化情况的数据库，存入计算机，以备后用；

(4) 完成以上标定过程以后，将传感器探头置于所要检测的海水中，利用标定数据和计算机数据处理程序，对所测得的温度和盐度值与标定数据进行比较并修正，得到同一温度下的海水盐度值，由计算机进行结果显示，从而完成海水盐度和温度的在线检测。

一种海水盐度与温度同时在线检测方法及装置

技术领域

本发明涉及一种测量海水盐度的方法及装置，特别涉及一种海水盐度与温度同时在线检测的方法及装置，属于光纤传感和海水测量技术领域。

技术背景

对海洋资源的开发利用促进了海洋技术的不断发展，特别是近年来国内外广泛关注的海洋环境监测及水资源保护与利用问题，使越来越多的研究人员开始探索对海洋参数的检测技术。盐度和温度是海水的两个重要参数，众所周知，盐度的测量，受温度的影响相当严重，其影响情况可通过与盐度相关的海水折射率的变化情况来衡量，有资料表明：在温度不变的情况下，折射率随盐度的变化率是，盐度每变化 1‰，折射率变化 2×10^{-4} ，而在 20℃左右，温度每变化 1℃，折射率变化 1×10^{-4} 。所以，在检测海水盐度的时候，人们通常是利用取样器将海水取到海面以上的测量船上，然后经过过滤处理，一边用温度计记录温度，一边记录此时刻的盐度检测结果。整个过程费时费力，而且测量费用比较昂贵。

目前，现有技术中还没有能够同时在线检测海水盐度和温度的方法和装置，并可以利用所测得的温度信息自动实现对盐度测量误差进行实时修正的报导。

在盐度检测技术方面，国内外提出过一些方法。如国内首都师范大学（闵子建，李锦萍，蒋淑华等. 超声波法测量盐水溶液浓度. 太阳能学报. 1995, Vol. 16, No. 2:224-228）和山东工业大学（董金锯，胡洪伟. 用超声技术测量太阳池盐水浓度. 实用测试技术. 2000, No. 5:29）分别提出用超声波技术测量太阳池中的盐水浓度和密度的方法；西安交通大学（金援越，陈钟颀，王启杰. 测量太阳池盐浓度的激光光纤技术. 太阳能学报. 1994, Vol. 15, No. 2:198-200）利用一个简单的U型的多模塑料光纤探头，基于光在不同折射率介质中的传播特性不同的原理，来测量太阳池的盐水密度。以上方法只是针对太阳池中的盐度测量进行了一些试验研究，并没有给出系统的测量指标以及在海水盐度测量方面的可行性分析。西安交通大学提出的光纤测量方法，系统结构简单、体积小，容易实现在线的自动化测量和远距离的信号传输，但是由于裸露的光纤纤芯直接接触被测液体，在光纤与待测液体的界面容易形成沉淀物而直接影响测量的可靠性。日本人（Hideyuki Minato, Yoshimi Kakui, Akio Nishimoto. Remote refractive index diffractive meter for salinity sensor. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 1989, Vol. 38, No. 2:608-612）提出用半导体激光做光源，用光纤来传送光信号的透射式盐度传感器，实现了水下盐度的远距离测量。其不足之处是采用透射式结构，探头体积较大，而且这种传感器的探头部分具有光电器件PSD，在水下容易导致不安全的因素；在远距离传送信号过程中，需要信号的光—电—光—电的三次转换，过程繁琐，且容易引入误差；其测量的分辨力较低。

以上研究都几乎没有可能同时给出测试过程中的温度参数，而恰恰这一参数又是直接影响盐度测量的最关键的参数。国际海洋学术组织规定，盐度的测量结果，必须同时给出获得盐度值时的温度，这样的盐度数值才是有意义的。

发明内容

本发明的目的在于不仅为了克服已有技术的不足之处、减轻传统盐度测量中繁琐的取样过程、实现盐度检测的自动化，还可以通过同一套装置实现海水温度与盐度同时共点的高精度在线检测。

本发明是通过如下技术方案实现的：一种海水盐度与温度同时在线检测装置，其特征在于：该装置包括光源，通过传输光纤与光源相连的传感器探头，通过接收光纤阵列与传感器探头相连的CCD光探测器，对光探测器信号进行数据处理及显示、且装有软件处理程序和标定数据的计算机单元以及分别与光源和计算机供电的电源；所述的传感器探头由带尾纤的准直透镜，设置在准直透镜下面的测量水槽，放置在测量水槽内的带倾斜面的玻璃窗体以及设置在测量水槽下面的感温反射单元组成；所述的感温反射单元包括半导体吸收晶片，设置在吸收晶片下面的直角棱镜以及设置在该直角棱镜周围的导热材料；所述的测量水槽与感温反射单元用玻璃板隔开。

本发明所采用的光源为中心波长为880nm、光谱半宽至少为90nm的发光二极管。

所述的感温晶体薄片可采用砷化镓晶体薄片； 导热材料可采用高导热系数的氮化硼材料。

本发明的特征还在于所述的玻璃窗体为内部盛有蒸馏水的玻璃窗体； 所述的玻璃窗体的倾斜面的倾斜角为30°～60°。

本发明还提供了一种采用所述在线检测装置的测量方法，该方法包括如下步骤：

(1) 对检测装置的温度检测特性进行标定：提供一个从0～50℃可变水域温度场，将传感器探头和精度至少为0.1℃的标准温度计同时放入温度场中，保持在同一位置上；同时记录温度计的读数值（作为参考基准）和检测装置读数值，并反复多次进行上述过程，将测量数据用带有软件程序的计算机进行分析和处理，建立标定数据表，存入计算机，以备后用；

(2) 对检测装置在不同温度下的盐度检测特性进行标定：根据海水中各种成分的百分比，在某一特定温度下用蒸馏水配制出具有不同盐度值的人工海水，将其盐度值作为参考基准，并用检测装置对不同盐度值的人工海水进行测量并记录对应的测量结果，反复进行多次，每次采集多组数据，建立标定数据表，改变温度值，重复上述过程，可建立不同温度下的盐度检测特性的数据库文件，存入计算机，以备后用；

(3) 对装置的盐度检测随温度变化的特性进行标定：对具有某一特定盐度的人工海水在温度从低到高变化过程中的盐度检测结果的变化特性进行标定，温度的变化由上述标准温度计进行检测，同时记录盐度检测结果的变化情况，改变盐度值，重复上述过程，可建立不同盐度的海水在温度变化过程中的盐度值的漂移变化情况的数据库，存入计算机，以备后用；

(4) 完成以上标定过程以后，将传感器探头置于所要检测的海水中，利用标定数据和计算

机数据处理程序，根据所测得的温度和盐度值与标定数据进行比较并修正，得到同一温度下的海水盐度值，由计算机进行结果显示，从而完成海水盐度和温度的在线检测。

本发明具有如下特点：

- (1) 可同时共点的实现海水盐度与温度双参数的在线测量；
- (2) 信号传输损耗低，不失真，适合远距离测量；
- (3) 系统的探头部分采用全光学结构，安全性好；
- (4) 采用了综合补偿技术，抗干扰能力强、测量稳定性好、灵敏度高；其温度测量范围为 0~50℃，盐度的测量范围为 0~48‰，温度测量分辨力可达到 0.1℃，盐度测量分辨力可到 0.01‰。
- (5) 设计简单，机械结构紧凑，体积小，便于携带安装。

附图说明

图 1 为本发明测量装置的整体结构及测量原理示意图。

图 2 为本发明装置实施例传感器探头的测量原理示意图。

图 3 为盐度测量中光线传播路径及折射情况的光学原理示意图。

图 4 为本发明实施例的温度与不同波长接收光强变化情况示意图。

图 5 为本发明检测特性标定过程流程图。

图 6 为本发明的实施例的测量数据采集及处理软件流程图。

具体实施方式

本发明提出的海水盐度与温度同时在线检测方法及装置，结合附图对其测量原理和测量装置的结构进一步加以说明。

图 1 为装置的整体结构及测量原理示意图。系统工作时，首先打开电源 10，启动计算机 21，具有较宽光谱范围的带尾纤的 LED 光源 11 发出的光束通过具有低损耗、低噪声和耐海水腐蚀的光纤光缆及带尾纤的准直透镜 12（固定在传感器探头内的上密封板上）发送到传感器探头，光纤与带尾纤的准直透镜之间通过标准的光纤连接器相连接；光源采用中心波长为 880nm、光谱半宽至少为 90nm 的发光二极管。光线先后经带倾斜面的玻璃窗体 13（固定在传感器探头内的上密封板上）和测量水槽 14，感温晶体薄片 15 采用砷化镓（粘结在直角棱镜面上），由直角棱镜 16 反射，此时发射光已经带有被盐度和温度调制后的信息，最后，接收光纤阵列 18 将载有盐度信息的光线偏移信号和载有温度信息的光强度变化信号无损耗、无失真地传送至光探测器（CCD）19，由图像采集与处理模块 20 对光信号进行预处理，由装有软件处理程序和标定数据的计算机 21 实现数据显示。传感器探头主要可分为三部分，即装有待测海水的水槽 14，带倾斜面的玻璃窗体 13 和感温反射单元，待测的海水通过过滤网和吸附膜等的过滤后进入外围的测量水槽 14 中；带倾斜面的玻璃窗体 13 中还可装入蒸馏水，用于补偿温度漂移对盐度测量的影响；感温反射单元中的感温晶体薄片（GaAs）15（厚度为 0.1mm）用于实现对温度的感受，在其下面紧贴一个直角棱镜 16 用于改变光路方向，周围是具有高导热系数的氮化硼材料 17，亦可采用其它高导热系数的导热材料。这两部分用一密封玻璃板 22

隔离，并将感温反射单元封装起来，以防止敏感材料长时间受海水侵蚀及压力对半导体材料光谱吸收特性的影响。

盐度的测量是基于检测与盐度几乎成正比的光线折射角的变化引起在探测器光敏面上的光斑位置变化来实现的。本发明的实施例采用具有高分辨力的线阵 CCD 光探测器 (Basler L103-1k)19 感受由于折射角变化引起光线的偏移量，其像元数为 2048，光谱响应范围在 0.4~1.1μm。在实际测量之前，用按标准海水成分配制的已知盐度值的人工海水对检测装置进行盐度检测特性的标定，然后将标定数据存在计算机中；实际测量时，计算机通过查表的方法将 CCD 光探测器测得的与盐度相关的光斑位置变化所对应的盐度值显示在计算机屏幕上。

图 2 给出了传感器探头的测量原理，图 3 给出了盐度测量中光线传播路径及折射情况。入射光束以竖直方向入射，通过折射率为 n_0 参考液体后以 α 角度入射到倾斜玻璃板，折射后进入折射率为 n 的待测液体，再依次进入密封板 22、感温晶体（半导体 GaAs）薄片 15 和直角反射棱镜 16。

在图 3 所示的几何光学光线轨迹中，用 d 来表示 CCD 光探测器所测得的当被测液分别是海水（实光线）和蒸馏水（虚光线）时的光线偏移量。根据图示几何关系和光学折射定律，有

$$\left\{ \begin{array}{l} d = d_1 + d_2 - d_3 \\ d_1 = (s_1 + s_3) \cdot \tan(\alpha - \beta) + s_2 \cdot \tan \gamma \\ d_2 = t \cdot \sin(\alpha - \theta) / \cos \theta \\ d_3 = t \cdot \sin(\alpha - \delta) / \cos \delta \end{array} \right. \quad (1)$$

和

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0 \cdot \sin \alpha = n \cdot \sin \beta \\ n \cdot \sin(\alpha - \beta) = n_s \cdot \sin \gamma \\ n \cdot \sin \beta = n_g \cdot \sin \theta \\ n_0 \cdot \sin \alpha = n_g \cdot \sin \delta \end{array} \right. \quad (2)$$

式中， t 为倾斜玻璃板的厚度， s_1 为光线第一次进入被测液体时的光程， s_3 为光线第二次返回被测液体时的光程， s_2 是光线经过隔离玻璃板、半导体材料及直角棱镜正反行程时的总光程。从式 (2) 我们可以看到，当参数 α ， n_0 ， t 和 n_g 选定后， θ 和 δ 就是固定的值，这样 d_2 和 d_3 也是定值，此时将式 (2) 代入式 (1)，得到光线偏移量为

$$\begin{aligned} d &= d_0 + (s_1 + s_3) \cdot \tan \left[\alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_0}{n} \sin \alpha \right) \right] + \\ &\quad s_2 \cdot \tan \left\{ \sin^{-1} \left[\frac{n}{n_s} \sin \left(\alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_0}{n} \sin \alpha \right) \right) \right] \right\} = f(n) \end{aligned} \quad (3)$$

其中， $d_0 = d_2 - d_3$ 。由于半导体 GaAs 材料对波长在 0.78μm~8.0μm 范围内的光的折射率比较大（大约为 $n_s=3.34$ ），而且 GaAs 晶体又相对很薄，所以在半导体 GaAs 晶片与玻璃板界面处引起的光线偏移量很小，这里忽略不计。而且，这个微小的偏移量作为系统误差对测量结果的最终影响可以在标定过程中进行修正和消除。

温度测量是基于半导体 GaAs 晶体光谱吸收作用随温度而变化的原理，根据 CCD 光探测器检测到的光强度的变化而实现的。纯的砷化镓晶体对红外光是呈现透明性质的，而对可见光则是不透明的；在常温常压时，它的光吸收临界值为 867nm。传感器使用的光源的发射光谱应该含盖对应被测温度上下限的两个吸收临界光波长。这样，由温度变化引起的这个吸收边的位置移动就会调制处于吸收带内部的光能量，即意味着接收端光强的改变。在实际测量之前，可用铂电阻温度计对温度检测特性进行标定，然后将标定数据存在计算机中；实际测量时，计算机通过查表的方法将 CCD 光探测器测得的与温度相关的光强变化情况显示在计算机屏幕上。图 4 即为不同波长的光在温度变化过程中，接收端光强变化情况。

这样，系统可以在同一时刻同一测量点处实现盐度与温度的检测，记录在不同时刻不同温度下的盐度值，根据盐度与温度的关系，通过事先存于计算机内的标定数据表，对盐度测量值进行实时的修正，将盐度数据统一换算到标准温度下的数值，提高了测量的可比较性和有效性。装置的温度测量范围为 0~50℃，盐度的测量范围为 0~48‰，温度测量分辨力估计可达到 0.1℃，盐度测量分辨力可到 0.01‰。

图 5 为本发明装置检测特性标定过程流程图。首先计算机系统读入标准值（参考基准或计算得到的理论真值），然后记录该装置对应每一个标准读入值的检测输出结果；反复进行上述过程，直到完成满量程内的全部标定过程；用最小二乘算法拟合标定数据，并计算拟合误差，如果拟合误差满足测量精度的要求，则将拟合后的标定数据存入计算机，以备后用；如果拟合误差不满足测量精度的要求，需要重新确定拟合参数，再计算拟合误差，知道满足测量的精度要求为止。

图 6 是测量数据采集及处理软件流程图。首先将装置的检测探头单元置于被测海水中，采集测量数据，在信号的探测单元（CCD 光探测器）光敏面上分别得到与温度相关的光强度信号和与盐度相关的光斑位置信号，经过信号的预处理后，根据事先做好的标定数据表，通过查表的方法求得所测量的温度值和盐度值，并将温度值显示和记录；如果被测温度不是标准温度（20℃），还需对盐度的检测结果进行修正，通过盐度随温度的漂移变化数据表换算出标准温度下的盐度值，以便后续对测量结果的分析和综合比对。

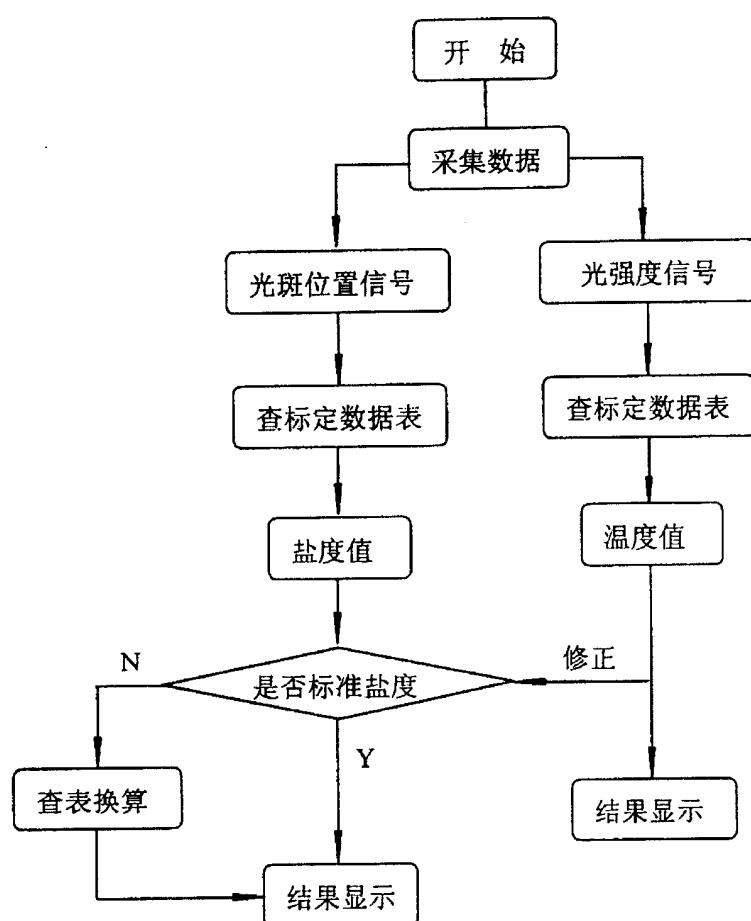


图 6

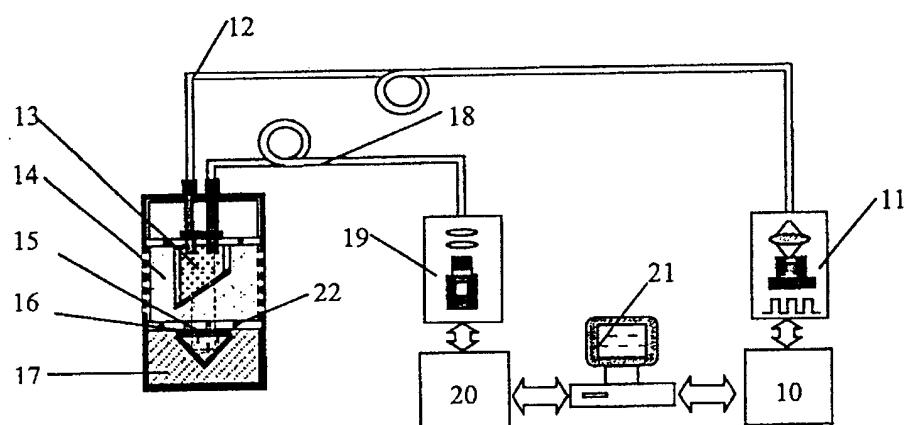


图 1

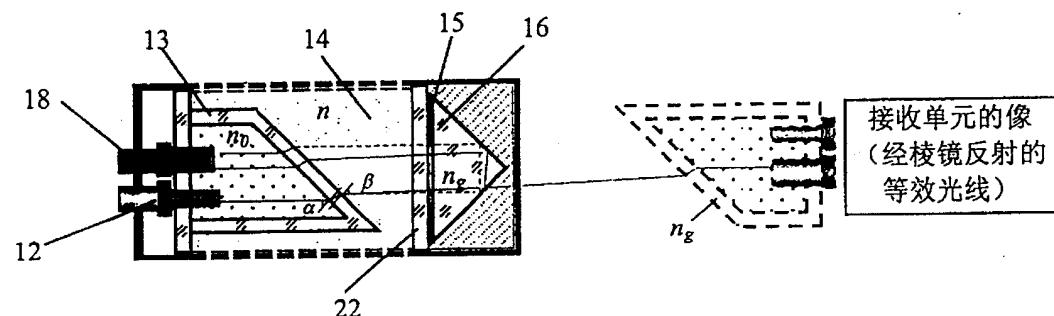


图 2

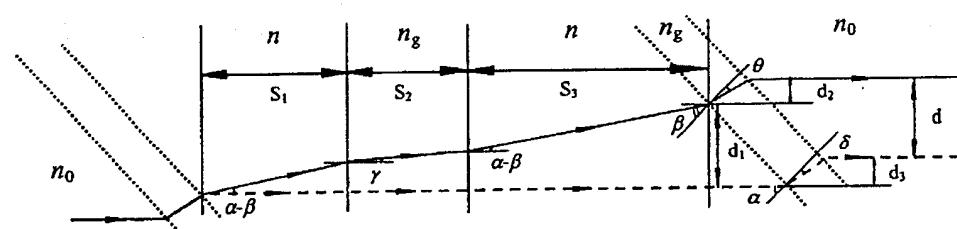


图 3

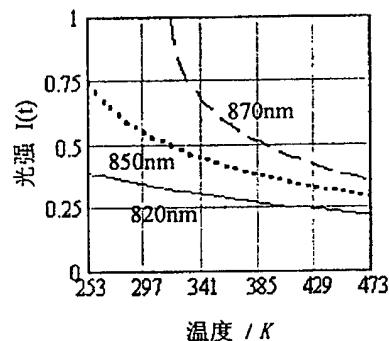


图 4

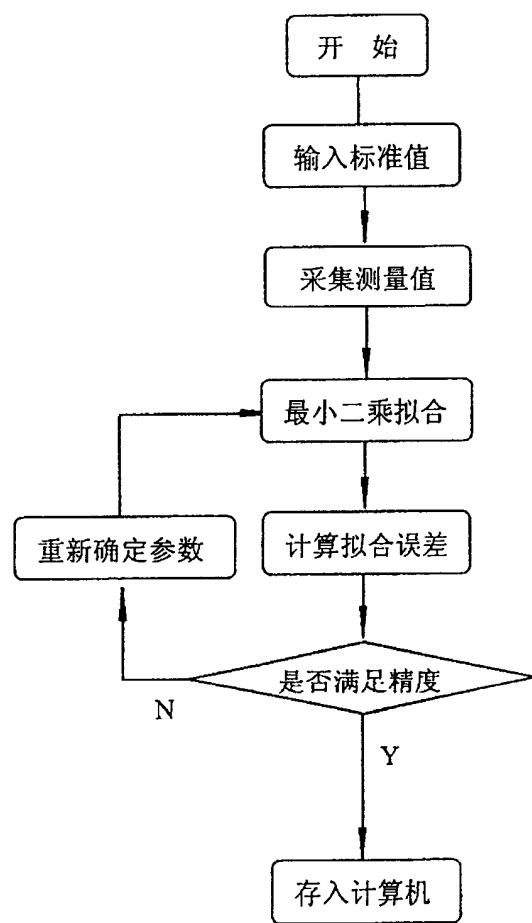


图 5