

人体测温的分布式光纤温度传感器的设计

黄 焰 肖 彬

(武汉软件工程职业学院, 湖北 武汉 430205)

【摘 要】比较基于瑞利散射、拉曼散射和布里渊散射的三种温度传感器的特点, 分析了基于拉曼散射温度传感系统的三种温度解调方式, 选择了利于研究体表温度场变化特点, 利用拉曼散射比值来解调温度信息的系统结构, 设计了基于分布式光纤传感器的人体测温系统。

【关键词】分布式光纤 拉曼散射 温度传感器 人体测温

1 前言

分布式光纤温度传感器是一种新兴的温度传感技术。分布式光纤温度传感器在具有高的温度灵敏度的同时, 还能有效传输携带温度信息的光信号, 不仅能在恶劣的工业环境中稳定工作, 还能够实现一次测定整个被测光纤区域的一维温度分布场, 对空间温度场实时监测。

医学实验结果表明, 麻醉用药后 20 分钟硬膜外麻醉下拇指指尖, 前臂等非阻滞区的皮温较用药前分别下降 1.08 和 0.98 , 而脐部, 脚趾处等阻滞区的皮温上升 0.57~4.33 不等^[1]。分布式光纤温度传感系统能有效地对人体温度场分布进行实时监测, 可为局部麻醉深度的判断开创了一种全新的方法。

2 分布式光纤温度传感器设计方案选取

分布式光纤温度传感器通常是将光纤沿温度场排布, 将光纤传输时所产生的散射光运用光时域反射 (OTDR) 技术, 对光纤传输路径的空间分布和随实践变化的信息进行测量和监控。在分布式光纤温度传感器中主要涉及瑞利散射、布里渊散射和拉曼散射。其中瑞利散射对温度不敏感, 而拉曼散射和布里渊散射都对温度敏感, 因此, 拉曼散射和布里渊散射都可用来测量温度。由于布里渊散射和瑞利散射在频谱上靠得非常近, 难以分开, 同时受布里渊散射受应力等因素的影响较大, 所以用来测温会有相当难度。因此分布式光纤温度传感器中常应用拉曼散射测温。

拉曼散射包含上升频率的散射光——反斯托克斯光及下降频率的散射光——斯托克斯光。散射分子的分布是按玻尔兹曼因子 $e^{-E/KT}$ 分布的, 反斯托克斯光和斯托克斯光与温度呈简单的指数关系^[2], 室温下对于 850nm 的光脉冲, 斯托克斯的光强约为反斯托克斯的六倍, 但是反斯托克斯光对温度更加敏感。要准确有效的测量温度, 有以下三种常见方法, 如表 1 所示, 本系统最终采用的是利用反斯托克斯光和瑞利散射光强比值来解调的方法。

表 1 三种常见解调方法的比较

解调方法	优点	缺点	本传感器是否适用
单路反斯托克斯光解调	仅需测量单路反斯托克斯后向散射光, 光学元件少, 光路简单	反斯托克斯光功率易受光功率波动、光纤参数变化、散射光损耗影响	不适用
反斯托克斯光和斯托克斯光强比值解调	斯托克斯光作为参考光源, 减少反斯托克斯光强影响, 算法简单, 与温度呈指数关系	光路复杂, 双路采集信号, 对器件要求高	适用
反斯托克斯光和瑞利散射光强比值解调	瑞利散射光作为参考光源, 相对灵敏度高	瑞利散射光的强度比反斯托克斯光的强度高 $10^3 \sim 10^4$, 不利于高精度测量	不适用

3 分布式光纤温度传感器系统设计

根据以上的方案确定, 我们设计了一套分布式光纤温度传感器系统。由半导体激光器发射窄脉宽高峰值功率的激光脉冲, 光脉冲被光纤耦合器耦合入传感光纤, 一边向前传输一边与光纤介质相互作用发生自发喇曼散射, 携带了温度信息的后向喇曼散射光沿光纤返回, 反斯托克斯和斯托克斯光通过光学滤光片分离出来, 由 APD 探测将光信号转换为电信号, 最后经过信号处理的反斯托克斯光和斯托克斯光的比值还原出温度场信息。

在测量人体体表温度场的传感器的研究中, 只需要对人的躯干部位进行温度检测, 所需传感光纤长度在 1km 左右, 属于短距离传感, 该系统中选择了 810nm 光纤输出模块 (810nm Fiber-coupled CW Module) G081PU1600m 半导体激光器。使用 20ns 的脉冲宽度, 100kHz 的重复频率的电流脉冲调制半导体激光器, 使其发出脉宽为 20ns 的光脉冲。因为自发喇曼散射强度很小, 约为入射光强的 10^{-7} , 要使散射光被检测到, 入射光峰值功率不小于 500mw。光脉冲的脉宽较窄, 周期较短, 无法用眼睛直接观察激光器发射的光波波形, 所以我们设计了由 PIN 探测器 (AsGa 材料) 和 MAX3963 低噪前置放大电路构成的接收机模块来检测激光器发射的光脉冲波形, 将其转换为电信号。

注入光脉冲与传感光纤作用发生散射, 散射光除了包含我们所需要的喇曼散射光外, 还含有瑞利散射光和布里渊散射光, 在 APD 探测时将引起背景光噪声。特别是瑞利散射光, 其光强比喇曼散射光高出 3 ~ 4 个数量级。喇曼散射光的波长不可能是一个准确的值, 而是以 λ_{as} 、 λ_s 为中心有一定的光谱宽度的。为了充分利用光源能量, 将滤波器的半高全宽取为 15nm。当温度在 0 ~ 100 之间变化时, 反斯托克斯信号的幅度变化与温度呈线性关系, 温度分辨率要求 0.2 时, AD 的采样位数应该大于 10 位。

4 结论

根据分布式光纤测温原理, 选取了用反斯托克斯光和斯托克斯光强比值来解调的方法设计了一套分布式光纤温度传感器, 并对该系统的多项性能参数进行了分析。该分布式光纤温度传感器用于人体温度测量需采用大量数据进行对比分析, 并测试系统的空间分辨率及温度分辨率。后续目标是设计出能够满足空间分辨率为 2m 和温度分辨率为 0.2 的系统。针对改善系统精度方面并进行实验对比。

参考文献:

- [1] 刘怀清, 刘祥平, 肖永鸿, 梅琼, 陈勋. 硬膜外和全麻期间体温变化的监测 [J]. 现代医药卫生, 2003.
- [2] 张在宣, 王剑锋等. Raman 散射分布是光纤温度测量方法的研究 [J]. 光电子·激光, 2001.
- [3] 韩冰, 元秀华等. 麻醉深度检测设备及麻醉深度检测方法 [J]. 专利库, 2007.
- [4] 秦昕. 基于布里渊散射的双光路分布式光纤温度传感系统研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.

基金项目: 本文系 2011 年武汉市市属高校科研课题, 光电电子技术专业核心课程“光电探测与处理技术”的项目化课程改革 (2011102)。

作者简介: 黄焰 (1982—), 女, 讲师, 主要研究方向: 光电电子技术、电子与通信。