**不同不同在850℃下不同加热氛围下制作再生光纤光栅**

摘要**：**针对光纤光栅存在高温测量受限的问题，采用两支栅区长度分别为12mm的SMF28E和7mm的H1060作为种子光栅，采用不同的加热氛围使用超高温管式炉对种子光栅进行850℃的高温退火处理。在擦除初始种子光栅后制备出高温再生光栅，并在350℃－750℃温度范围内对两支再生光栅的高温传感特性进行实验测试。结果表明:在850℃温度氮气环境保温11h，SMF28E再生光栅反射率为？，H1060再生光栅反射率高达？; 在850℃温度空气环境保温11h，SMF28E再生光栅反射率为？，H1060再生光栅反射率高达？。在350－750℃温度范围内，氮气环境下的两支再生光栅温度线性度较好，相关系数均在0．998以上;温度灵敏度系数分别为15．23pm/℃和13．08pm/℃;在氮气环境下栅区的SMF28E再生光栅更适合用于制作高温传感器。

关键词**：**再生光纤光栅；高温退火；反射率；氮气加热氛围；温度灵敏度

1 引言

在能源、石油、化工和航空航天领域，基于生产工艺的需要，许多工业部件要在高温等极端条件下长时间工作，因此对设备的安全性有很高的要求。光纤光栅传感器不仅具有重量轻、体积小、抗电磁干扰、本质安全等普通光纤传感器均具有的优势，同时光纤光栅基于波长解调的特性，不受光源功率及耦合损耗影响，具有较好的抗干扰特性，FBG 传感器的这些特点十分符合航空航天、电力监测、石油化工以及机械制造等高温领域的应用要求。而光纤光栅(FBG)测量主要应用于常温测量，在测量高温时，普通光纤光栅由于耐高温性能差，长时间在高温环境下会逐渐衰退直至完全擦除，极大地限制了光纤光栅在高温环境下的应用因而研究耐高温光纤光栅成为了亟待解决的问题。目前，涌现出一批关于高温光纤光栅传感器的研究，根据不同机理形成的高温光纤传感器有很多类：主要包括：Ⅱ型 FBG、ⅡA 型FBG和再生光纤光栅(RFBG)。再生光纤光栅，是先将种子光纤光栅高温退火擦除之后，重新生长出来的一种耐高温光纤光栅。制作方法比较简单，能够承受1000℃高温，再生光纤光栅可以在1400°C以上的高温下工作且性质稳定，可用于高温检测。

再生光纤光栅(RFBG)作为高温光纤光栅的一种类型以其制作简单、成本低廉、光谱特性良好等优势，受到广泛关注。国内外对再生光栅及其形成机理开展了大量研究。再生光纤光栅作为一种高温传感器，该领域的很多研究人员都对它非常感兴趣，国内外很多学者都对它展开一系列研究。2002年，瑞典科学家Fokine等做出了第1只再生光栅，实验通过化学合成的方法制备出耐高温光纤光栅，该光栅可以测量的温度可达1000℃，其反射率约为25%。2007年，Zhang等将光纤光栅进行载氢处理后，同样通过1100 ℃高温退火的方式得到了再生光纤光栅。2009年，J. Canning使用一根长度为5cm的光纤光栅进行再生，结果发现得到的再生光纤光栅的反射率仍达到了99%。2013年，西北大学Yang等在一种新型光敏光纤上制作了耐高温达1400℃的再生光纤光栅；2016年, A. Bueno在实验中利用高掺Ge和B-Ge共掺的光敏光纤光栅出现了再生现象；2017 年，聂铭课题组提出种子光纤光栅的擦除温度设置为 800℃，再生温度设置为 900℃，最终得到的再生光纤光栅反射率为 43.95%； 2020年,杨润涛等人将SMF-28载氢、栅区长度为~25mm的I型种子光栅，对种子光栅采用等温退火的方式进行热再生处理。在45min内升至850ºC，在850ºC 的温度保持8h得到再生光纤光栅。再生光栅的反射率与光纤化学组分、光纤栅区长度、种子FBG的反射率高低和高温退火过程等有关，其中种子光栅的反射率越高，所得的再生光栅也就越强。

本文针对RFBG具有较低反射率的问题，对不同种子FBG在不同加热氛围得到的RFBG的演化过程及温度特性进行对比研究。通过两支光纤种类、栅区不同的I型FBG在空气、氮气环境下分别进行高温退火实验，对比研究了RFBG的种子FBG、加热氛围与反射率之间的关系；在350-750℃的温度范围内，以100˚C作为温度增量，进行温度特性实验，记录两支再生光栅的用心波长变化，并进行了数据拟合。实验结果表明，SMF28E再生光栅在850℃的氩气环境中可以保持中心波长和反射光强的稳定，且具有高达64．13%的反射率，在350－750℃温度范围内表现出良好的温度特性，为再生光栅应用于高温领域提供依据。

2 实验装备及技术方案

2.1 FBG高温再生实验装置

SMF28E和H1060的栅区分别为12mm、7mm，其透射和反射光谱如图1所示。种子光栅进行高温热处理实验装置系统见图2。将种子光栅在不受任何外力作用下平直放入高温箱式炉中，当宽带光源发出宽带光并从环形器和3dB耦合器进入光纤光栅中。由3dB耦合器分光给两支光栅，FBG传感器透射光分别进入光谱分析仪1和光谱仪2中，之后再由环形器把反射光进入解调仪中，进行中心波长监测。实验系统中所用的超高温箱式炉温度上限为1400℃，误差为±5℃，实时温度通过耐高温热电偶进行检测并记录;BaySpec解调仪的波长解调范围为1521－1568nm，分辨率为1pm;光谱分析仪的型号为AQ6370D，其光谱分辨率0．02nm。

将两支种子FBG：SMF28E和H1060并列无交叉，且保持中心波长拉1.6nm，放入超高温箱式炉中，对高温炉通氮气和无通气操作，将超高温箱式炉温度设定为850℃，使炉温从室温直接升到设定温度，并保持其温度恒定，利用光谱仪1和光谱仪2分别连续记录两支光栅在升温和恒温过程中的透射光谱。高温再生实验装置实物见图3。

2.3 RFBG温度特性实验

由高温退火制成的两支RFBG，放在高温炉中，保持再生实验过程中的氮气或者空气的加热氛围，设定阶梯温度—350℃、450℃、550℃、650℃、750℃，利用解调仪记录中心波长的变化。RFBG温度特性实验装置系统见图4。

3 实验结果分析

3.1 光栅再生结果分析

利用热处理实验装置对初始种子光栅进行高温退火处理实验，记录光栅完全被擦除所需的时间、光栅生长所需的时间以及其光强达到饱和所需的时间，分析其反射率的大小以及中心波长的变化情况，不同栅区长度的光栅再生过程中中心波长和透射强度随时间变化的曲线见图5。

由实验记录可知，在升温过程中，超高温箱式炉从室温升高到850℃用时30min，并保持该温度恒定。在保温过程中，保持炉温在850℃下不变，该温度为初始FBG的擦除温度。在升温过程和保温过程，初始光栅的透射强度逐渐降低，直至初始光栅被完全擦除，经过一段时间会在原初始位置形成一个新的光栅，即为再生光栅。

由图4a可知，在空气的加热氛围850℃恒温条件下保持96min，初始种子光栅消失，在此温度条件下再经过3h34min，光栅再次出现;在850℃恒温条件下保持约7h30min时，再生光栅的强度达到饱和并基本保持不变。由图4b可知，在850℃恒温条件下保持？min时，初始种子光栅消失，在此温度条件下经过？min，光栅再次出现，在850℃恒温条件下保持约？min时，再生光栅的强度达到饱和并基本保持不变。