

受激布里渊散射对光纤的影响分析*

魏佳菊, 梁一平, 戴特力

(重庆师范大学 物理与电子工程学院 重庆市高校光学工程重点实验室, 重庆 400047)

摘要: 光纤中的受激 Brillouin 散射及其影响是设计光纤激光器必须考虑的问题。本文对受激 Brillouin 散射的原理, 光纤激光器中 Brillouin 散射的阈值, 在某些应用中抑制 Brillouin 散射的方法, 光纤中 Brillouin 散射的特性, 以及这些特性在布里渊光纤放大器、布里渊光纤激光器、布里渊光纤传感器、布里渊光纤相位共轭镜、布里渊光纤脉冲限幅及脉宽压缩部件、布里渊光纤陀螺、受激布里渊散射(SBS)的慢光缓存器、受激布里渊微波光子信号系统等方面的应用等进行了较为全面的阐述, 为一些需要考虑 SBS 效应的光纤器件的设计提供参考。

关键词: 光纤激光器; 受激布里渊散射; 布里渊频移; 相干声波

中图分类号: TN248

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2011)05-0068-05

近些年来, 随着光纤传输容量及输出功率日益增大, 光纤激光器、光纤放大器、光纤滤波器、光纤传感器、光纤密集波分复用(DWDM)器件设计中, 更多地考虑到非线性效应的作用。非线性效应相对于传输损耗成为影响系统性质的关键因素。在非线形效应中, 由于受激布里渊散射(SBS)的阈值比较低, 一般在毫瓦数量级^[1-4], 成为光纤中容易发生的非线性效应。

自 1964 年 R. Y. Chiao 等人首次观察到了 SBS 现象后, 许多人对 SBS 进行了理论和实验上的研究。由于光纤纤芯非常小, 一般为几微米至几十微米量级, 再加上传输功率高, 相互作用距离长等原因很容易在光纤内部产生 SBS 效应^[5-6]。特别在光纤激光器中, 随着泵浦功率的提高, 除了在特制的高非线性光纤(HNLF)中有明显的非线性效应以外, 在普通单模光纤中也会引起 SBS 效应。这使得相当一部分泵浦光会因为反向 Brillouin 散射而损耗, 限制了光纤的输出功率。目前针对不同的应用目的, 抑制 SBS 或加强 SBS 都是值得研究的方向。

1 理论分析

频率为 ω_L 的泵浦光通过某种介质(气体、液体和固体)时, 会通过电致伸缩在介质内产生频率为

Ω_A 的相干声波。该相干声波引起介质折射率的周期性调制, 从而形成折射率光栅。这种声学光栅对泵浦光的布拉格衍射使泵浦光散射, 同时产生频率为 $(\omega_L - \Omega_A)$ 的散射光波(斯托克斯谱线)。泵浦光与声波间的散射可获得指数型增益, 同时散射过程也使得声波增强, 从而形成正反馈过程。只有入射光强度超过一定值(阈值)时才能发生上述现象, 这种具有受激发射特性的布里渊散射称为 SBS^[7]。对 SBS 理论的研究大多集中在布里渊频移、SBS 阈值、增益谱线、带宽等方面。

1.1 布里渊频移

从量子力学观点来看, 光纤中的 SBS 可以理解为泵浦光、斯托克斯光通过声波进行的非线性相互作用, 这个过程必须满足能量和动量守恒, 所以这 3 个波的频率和波矢满足如下关系^[8]

$$\Omega_A = \omega_L - \omega_B$$

$$K_A = k_L - (-k_B)$$

其中 k_L 和 k_B 分别是泵浦光和布里渊散射光的波矢, K_A 是声波的波矢。声波的频率 Ω_A 和波矢 K_A 满足色散关系

$$\Omega_A = v_A K_A$$

v_A 是介质中的声波速度。因为 k_L 和 k_B 几乎相等, 所以布里渊频移可以近似表示为

* 收稿日期 2011-06-15 网络出版时间 2011-09-17 13:59:00

资助项目: 重庆市高校创新项目(No. 201013), 重庆市高校光学工程重点实验室项目(No. 0705)

作者简介: 魏佳菊, 女, 硕士研究生, 研究方向为光纤光栅及光纤激光器的制作; 通讯作者: 梁一平, E-mail: liangyipinglyp@yahoo.com.cn

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20110917.1359.201105.68_014.html

$$\Omega_A = 2v_A k_L = \frac{4\pi n}{\lambda_L} v_A$$

也可以写成用频率表示的形式

$$v_A = \frac{2n}{\lambda_L} v_A$$

其中 λ_L 是泵浦光的波长, n 是介质的折射率。

1.2 SBS 阈值

许多文献从 SBS 耦合方程着手,研究光纤输出功率及布里渊散射功率与输入功率的关系,从而研究了 SBS 阈值^[5-13],用一个简单的公式可以概括为

$$P_{th} = G_{th} A_{eff} / g_B L_{eff} \quad (1)$$

其中 P_{th} 为布里渊散射阈值, A_{eff} 为光纤有效截面积, g_B 为布里渊增益系数,一般可用一个洛伦兹函数表示为

$$g_B(v_i) = g_0 \frac{\Omega_{SBS}^2}{4(v_i - v_A)^2 + \Omega_{SBS}^2} \quad (2)$$

g_0 为布里渊散射峰值增益系数, Ω_{SBS} 为散射线宽, v_i 为散射频率, v_A 为布里渊频移,光纤有效长度 L_{eff} 可表示为

$$L_{eff} = \frac{(1 - \exp(-\alpha L))}{\alpha}$$

α 为光纤的损耗系数, L 为光纤长度, G_{th} 为阈值增益系数,可近似表示为

$$G_{th} \approx \ln\left(\frac{4 \times G^{3/2} \pi^{1/2} A_{eff} v_A}{g_0 k T \Gamma v_L L_{eff}}\right)$$

k 为波尔兹曼常数, T 为绝对温度, Γ 为声子衰减速率, v_L 为泵浦光频率, G 为布里渊放大增益因子,可表示为 $G = g_B I_L(0) L_{eff}$, $I_L(0)$ 是泵浦输入端的功率^[13],一般 $G \approx 21$ ^[3]。由(1)式可知阈值增益系数 G_{th} 与许多因素有关,图1为阈值增益系数 G_{th} 随光纤长度的变化关系,这里的计算参数为泵浦光波长 $\lambda_L = 975 \text{ nm}$,则频率为 $v_L = c/\lambda_L$, c 是光速,单模光纤模场直径 $d = 9 \text{ }\mu\text{m}$,布里渊频移 $v_A = 11 \text{ GHz}$,布里渊增益峰值 $g_0 = 2 \times 10^{-11} \text{ m/W}$,绝对温度 $T = 300 \text{ K}$,声子寿命 $T_B = 10 \text{ ns}$,声子衰减速率 $\Gamma = 1/T_B$,光纤衰减系数 $\alpha = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ 。由图1可以直观地看出当其他参数一定,光纤长度足够长时,阈值增益系数 G_{th} 趋近一个常数,一般取为 21 ^[2-3,14]。

2 光纤 SBS 的抑制方法

布里渊散射一旦达到阈值,SBS 将把绝大部分输入功率转换为反向斯托克斯光,这不利于提高系统的输出功率,更有甚者会损坏系统器件,如放大器中的泵浦源,所以在一些情况下必须采取措施来抑

制 SBS,下面概述一些抑制 SBS 的方法:

1) 使用温度或应力等方法展宽增益谱。王春灿、冷进勇^[10-12]等人在耦合方程中加入温度场和应力场,讨论了温度场和应力场对 SBS 阈值的影响。计算表明,在 SBS 的增益谱(2)式中引入温度差,降低光纤外表面和空气之间的对流系数 H ,冷却信号光输出端附近的光纤,可以增大光纤内的温度梯度,使得 SBS 的增益谱变宽,增益系数降低,提高了 SBS 阈值功率,进而抑制 SBS。最后提出了一种综合使用温度和应力梯度的方案,在实际可操作的范围内将高功率单频拉曼光纤放大器(RFA)的输出功率提高了3倍。

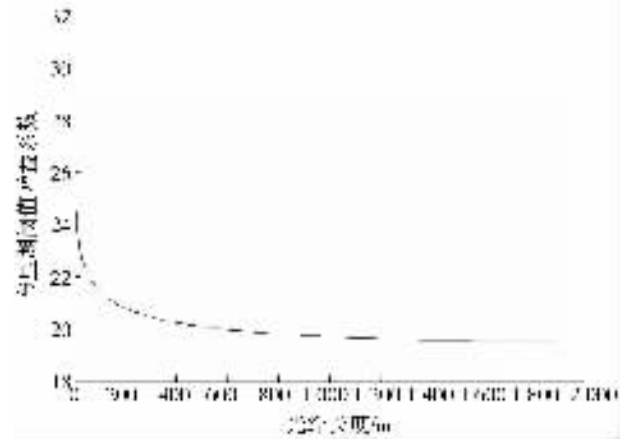


图1 布里渊阈值增益系数与光纤长度的关系

2) 相位调制法。光纤中的 SBS 阈值跟泵浦光的线宽有关^[15],对于有多个泵浦频率分量的情况,当各个频率之间的距离远大于布里渊增益谱宽时,SBS 阈值仅取决于功率最高的频率分量,因此通过相位调制使泵浦光功率分散在不同的频率分量上,可以有效地提高 SBS 阈值。已有文献报道采用对泵浦光进行相位调制的方法,将光功率分散到多个频率分量上来达到这一目的。王青等人提出一种二次调相的方法^[16],在已有 2 GHz 相位调制的商品光源上施加 365 MHz 的二次相位调制,将高非线性光纤(HNLF)的 SBS 阈值由未加任何调制时的 10 dBm 至少提高到 23.5 dBm ,达到了参量放大的要求。

3) 改变泵浦方式。研究发现采用后向泵浦较前向泵浦或双向泵浦方式更有利于抑制受激布里渊散射^[10]。另外,光纤参量放大研究都使用脉冲泵浦,除了可以达到高功率之外,还可以提高 SBS 阈值^[15]。

4) 选取合适的光纤。从(1)式中可以发现,增大纤芯直径、减小光纤长度等因素可以有效地减少

SBS的影响。有文献报道降低掺杂浓度或设计特殊掺杂光纤以降低光场和声场的重叠度,从而可以抑制SBS^[12]。

5)其他方法。外加光隔离器抑制SBS产生的反向斯托克斯光,从而可以保护系统内的器件。多波长成分可以抑制高功率窄线宽光纤激光器中的SBS,提高其极限输出功率^[17-18]。按照这个理论,如果采用窄线宽多波长光纤激光进行相干合成,则可在不加SBS抑制技术的情况下,进一步提升光纤激光相干合成阵列的输出功率^[19]。在通信系统还可以采用低频信号调制光源以增大光源有效光谱,或设计合理的信道间隔使单信道功率保持在SBS阈值以下,从而避免SBS串音。此外,偏振复用技术也可以抑制SBS^[20]。

3 光纤SBS在各领域中的应用

尽管SBS会限制光纤的传输功率和激光的输出功率,但因为光纤SBS具有低阈值功率、超短线宽增益、较高的转换效率等优点,所以它的应用也相当广泛。光纤的SBS主要用于如下领域:

1)布里渊光纤放大器。光纤SBS放大具有极高的转换效率,因而可用于光放大领域。利用布里渊激光器产生种子光的布里渊放大器能够实现高稳定、低相对强度噪声的激光放大输出特性,漆云凤^[21]等人研究了采用中心波长为1 064 nm、光谱线宽为20 kHz、偏振消光比(PER)高于20 dB的单频线偏振分布式反馈光纤激光器做种子源,利用种子注入主振荡功率光纤放大技术,通过两级级联放大实现了128 W高功率单频、线偏振、近衍射极限单模连续激光输出,主放大器光-光效率达到83%,PER高于12 dB。他们在试验中采用分段温控技术,有效地提高了光纤中的受激布里渊散射(SBS)阈值,这个研究为进一步提高泵浦功率获得更高的放大激光输出带来了希望。

2)布里渊光纤激光器。作为布里渊光纤放大器的扩展,国内外对布里渊光纤激光器进行了大量研究。光纤中的SBS效应的Q开关利用了光纤中的背向受激布里渊散射现象,当满足一定条件时,可以使背向散射光成为比较稳定的脉冲光,而且反向散射脉冲光一般为ns量级,这相当于激光腔的Q值在极短时间增长了几个数量级,从而起到周期性改变腔Q值的目的^[22]。吕福云^[14]等人利用单模光纤的背向SBS和光纤光栅的选频特性,用掺铒单模光

纤作增益介质,采用半导体激光器连续抽运方式,研究了自调Q光纤激光器的运转情况,得到了脉冲宽度(FWHM)约为2.2 ns,重复频率为64.5 MHz的稳定光脉冲输出。基于瑞利散射和受激布里渊散射(RS-FSBS)的被动调Q掺铒光纤(EDF)激光器的输出脉冲序列具有重复频率低、脉宽窄、功率高,但输出的脉冲序列不够稳定的特点。邢磊^[23]等人提出在被动调Q激光腔中插入声光调制器(AOM)构成主被动混合调Q激光器。这种混合调Q的方法既保持了声光调制器主动调Q激光器输出脉冲序列重复频率低而且稳定的特点,又发挥了瑞利散射和受激布里渊散射被动调Q机制动态速度快、输出脉冲宽度窄的优势。

布里渊光纤激光器一般采用高精度的全光纤无缘环形谐振腔来实现低阈值和高转换效率,布里渊光纤环形激光器是一种线宽极窄的高相干光源,具有频率稳定、增益方向性敏感等优点,在温度传感器、窄带放大器、相干光学通讯等领域有重要应用^[24]。由于布里渊增益带宽很小,利用SBS效应可产生多波长窄线宽激光,线型腔被认为更容易实现多波长光纤激光器结构^[20]。胡妹玲^[25]等人研究了基于SBS效应的Q开关机制,用激光二极管泵浦掺Yb的双包层激光器产生了双波长稳定脉冲。谔鸿伟^[19]等人制作了一个基于SBS效应的全光纤结构窄线宽双波长激光器,其波长间隔为0.06 nm,输出功率为4.5 W,光-光转换效率为50%。

3)光纤传感器。普通单模光纤的布里渊散射光,其频移是温度或应变的函数,因此通过检测布里渊频移可得到沿光纤分布的温度或应变^[26]。长距离布里渊散射分布式光纤传感器有光时域分析和光时域反射计两种结构,虽然布里渊光时域反射计具有单端光信号处理的优点,但其传感长度受限于微弱的自发布里渊散射。而布里渊光时域分析采用的是较强的SBS,更具有长距离传感能力,但存在受激布里渊散射信号的偏振相关性问题,会造成探测信号随偏振状态的随机波动,因此难以得到稳定的布里渊光频移信息。实现布里渊光时域分析的一个关键是产生传感所需的频移探测光。

浙江大学采用线宽小于1 MHz的光纤激光器作为单一光源,基于微波电光调制产生频移探测光,用正交偏振控制对参与受激布里渊散射的激励和探测光信号进行偏振处理,抑制了受激布里渊散射的偏振相关性,通过检测探测光信号得到了布里渊散

射光频移,从而实现了 50 km 普通单模光纤的布里渊时域分析,在 10 m 空间分辨率下达到约 2 °C 的温度分辨率^[27-30]。

4) 光纤相位共轭镜。SBS 相位共轭镜用于激光振荡放大(MOPA)系统中,可以补偿^[31]传统激光系统由于放大器激活介质热诱导的相位畸变降低的输出光束质量和亮度。石英光纤中的 SBS 相位共轭镜具有高反射率、高灵敏度和保真度,且通过选择适当的芯径可将 SBS 阈值工作范围调整到可获得的脉冲功率。基于以上优点,周涛^[32]等人指出选择较长的后端光纤长度以及适当的锥度区规格的锥度光纤可获得稳定可靠的较高受激布里渊散射能量反射率和输出能量,还可用于高功率激光系统中的脉冲压缩。因此,光纤相位共轭可应用于脉冲泵浦,具有高峰值功率的主动或被动调 Q 激光系统、连续波泵浦及重复运转调 Q 激光系统。

5) 布里渊光纤脉冲限幅及脉宽压缩。泵浦脉冲能量高于 SBS 产生阈值后,透射脉冲峰值受限,脉宽被压缩,且泵浦光能量越大,SBS 效应越严重,从而使得输出能量趋于饱和,这使得光脉冲输出功率很大程度上受限制。吕兰^[9]等人从耦合波方程出发,模拟了光纤中瞬态受激布里渊散射过程的光传输特性,指出光纤系统对纳秒激光具有很好的光限幅及脉宽压缩特性。

6) 光纤陀螺。布里渊光纤陀螺的原理^[26,33]:当入射到光纤中的光强超过光纤的布里渊阈值时,由于电致伸缩效应,会在光纤中产生运动声波,这种运动声波的存在导致了受激布里渊散射(SBS)的产生。当两束泵浦光同时沿相反方向入射到环形谐振腔中时,会产生两束与抽运光方向相反的布里渊光,若环形谐振腔静止,两束布里渊光的频率相同;当环形谐振腔沿某一方向以角速度发生旋转时,则产生的两束布里渊光之间会存在正比的频率差。将两束布里渊光合并使其产生拍频,测量 SBS 光的拍频即可得到系统的角速度。

布里渊光纤陀螺作为第三代的光纤陀螺,具有结构简单,零部件少,牢固稳定,耐冲击和抗加速度能力强,使用寿命长,灵敏度和分辨率高,原理上可瞬间启动,动态范围大,价格低,体积小,重量轻等多种优点,代表了光纤陀螺高精度和小型化的发展方向^[34],因而实用意义重大,能被广泛应用于航空、汽车、火车、机器人控制、雷达等方面。

7) 慢光延迟。随着对未来高速率大容量全光

通信网络的美好憧憬,光速减慢已经成为目前的研究热点,特别是基于受激布里渊散射(SBS)的慢光研究已引起广泛关注^[2]。基于 SBS 的慢光器件需要 SBS 增益谱足够宽,增益足够大,以使信号的延迟量大,同时降低信号因窄带增益而导致的畸变。SBS 的慢光实现可用于设计构造高性能的全光延迟线、全光缓存器和进行全光数据处理,还可用于设计制造生物医学中广泛应用的干涉测量仪,另外在量子光学等领域也有重要的应用。

慢光缓存器具有室温运行,阈值功率低,可以工作于任何波长,相对延迟时间大,和现代通信系统互兼容^[20],是当前最有可能成为适用于光通信信号实用化缓存的慢光方案。

8) 在微波光子信号中的应用。将微波信号调制到光载波的光纤微波传输(ROF)系统具有大容量、低损耗、成本低等特点,在无线接入、宽带移动通信中有着广泛的应用前景。由于光纤中的 SBS 具有阈值低、增益带宽窄且具有方向性等特点已在微波光子信号的产生^[35-36]、传输、处理等方面得到了广泛的应用,是实现全光 ROF 系统的一个有力手段。

SBS 增益谱的作用相当于一个带有增益的光窄带滤波器,而微波光子信号具有非常明确的载波、边带的区分,因此 SBS 作用于光微波信号非常合适^[37]。对于微波光子信号,SBS 一般有两种应用方式:一是利用泵浦光来控制斯托克斯光的增益(使用 SBS 增益谱);二是利用斯托克斯光来控制泵浦光的损耗(使用 SBS 的损耗谱)。

光纤 SBS 还有其他的一些应用,如激光光束合束器^[2]、在相干光传输中的光电相位锁定等^[20]。总之,随着激光与光纤技术的进一步发展,SBS 将表现出更大、更广阔的应用前景。

4 结论

光纤布里渊频移和 SBS 阈值的理论及实验研究方兴未艾,主要集中在对抑制 SBS 的方法和 SBS 在光纤放大器、激光器、传感器等领域的一些重要应用方面,这些方面的研究还在继续深入。本文对目前的研究现状进行了综述,为一些需要考虑 SBS 效应的光纤器件的设计提供了一定的参考。

参考文献:

- [1] Lee E H, Kim K H, Lee H K. Nonlinear effects in optical fiber: advantages and disadvantages for high capacity all-opti-

- cal communication application[J]. *Optical and Quantum Electronics* 2002, 34: 1167-1174.
- [2] 尹经禅, 肖晓晨, 杨昌喜. 基于高非线性光纤中SBS效应的慢光系统[J]. *光电子·激光* 2010, 21(5): 786-790.
- [3] 沈一春, 宋牟平, 章献民, 等. 单模光纤中受激布里渊散射阈值研究[J]. *中国激光* 2005, 32(4): 497-500.
- [4] 卓文合, 卓俭银. 安徽10Gbit/s SDH系统光纤非线性效应的探讨[J]. *电力系统通信* 2010, 31(207): 66-69.
- [5] 张韶冬, 熊彩东. 光纤激光器受激布里渊散射的建模与求解[J]. *现代电子技术* 2007, 17: 57-59.
- [6] 胡姝玲, 张春熹, 高春清, 等. 包层抽运掺铒光纤激光器中受激拉曼散射和受激布里渊散射效应[J]. *中国激光*, 2008, 35(1): 6-10.
- [7] 石顺祥, 陈国夫, 赵卫, 等. 非线性光学[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社 2003: 215-225.
- [8] Yariv A, Yeh P. *Photonics*[M]. 6th ed. New York: Oxford University Press Inc 2007: 387-391.
- [9] 吕月兰, 吕志伟, 杨瑁, 等. 单模光纤中受激布里渊散射对纳秒激光脉冲的光限幅特性[J]. *中国激光*, 2003, 30(11): 998-1002.
- [10] 王春灿, 张帆, 陆玉春, 等. 单频大功率光纤放大器中抑制受激布里渊散射的理论分析[J]. *中国激光*, 2006, 33(12): 1630-1635.
- [11] 冷进勇, 吴武明, 陈胜平, 等. 单频拉曼光纤放大器中受激布里渊散射的抑制[J]. *中国激光*, 2010, 37(9): 2334-2339.
- [12] 冷进勇, 刘驰, 郭少锋, 等. 高功率单频光纤放大器中温度分布对受激布里渊散射的影响[J]. *中国激光*, 2010, 37(10): 2491-2496.
- [13] Asadi H A A, Mansoori M H A, Hitam S, et al. Particle swarm optimization on threshold exponential gain of stimulated brillouin scattering in single mode fibers[J]. *Optics Express* 2011, 19(3): 1842-1853.
- [14] 吕福云, 翟爱亭, 樊亚仙, 等. 基于SBS过程自调Q掺铒光纤激光器的研究[J]. *中国激光* 2001, 28(4): 310-312.
- [15] Fishman D A, Nagel J A. Degradations due to stimulated brillouin scattering in multigigabit intensity-fmodulated fiber-optic systems[J]. *J Lightwave Technol*, 1993, 11(11): 1721-1728.
- [16] 王青, 刘小明, 王燕, 等. 高非线性光纤中受激布里渊散射的抑制和光参量放大[J]. *中国激光*, 2004, 31(7): 802-806.
- [17] Dajani I, Zeringue C, Bronder T J, et al. A theoretical treatment of two approaches to SBS mitigation with two-tone amplification[J]. *Opt Express* 2008, 16(18): 14233-14247.
- [18] Wessels P, Adel P, Auerbach M, et al. Novel suppression scheme for brillouin scattering[J]. *Opt Express* 2004, 12(19): 4443-4448.
- [19] 谯鸿伟, 王小林, 杨春波, 等. 基于受激布里渊散射效应的4.5W全光纤窄线宽双波长激光器[J]. *中国激光*, 2010, 37(10): 2477-2481.
- [20] 詹黎, 顾照昶, 邢亮, 等. 光纤布里渊激光器和放大器的研究进展及其应用[J]. *中国激光*, 2010, 37(4): 901-911.
- [21] 漆云凤, 刘驰, 周军, 等. 128W单频线偏振光纤放大器特性研究[J]. *物理学报* 2010, 59(6): 3942-3946.
- [22] 岳丛建. 光纤激光器中的全光纤型Q开关[J]. *太原师范学院学报:自然科学版* 2004, 3(3): 42-44.
- [23] 邢磊, 冯雪, 张磊, 等. 受激布里渊散射主被动混合调Q光纤激光器[J]. *中国激光*, 2008, 35(3): 338-342.
- [24] 洪伟, 李绪友, 何周, 等. 布里渊光纤环形激光器的应用与发展[J]. *中国惯性技术学报*, 2010, 18(1): 115-119.
- [25] Hu S L, Yu J, Gao C, et al. Dual-wavelength stable nanosecond pulses generation from cladding-pumped fiber laser[J]. *Chinese Optics Letters* 2006, 4(11): 655-657.
- [26] 王辉, 吕月兰, 吕志伟. 光纤中受激布里渊散射的应用及研究进展[J]. *传感器技术* 2005, 24(4): 8-10.
- [27] 宋牟平, 励志成, 裘超. 50 km长距离布里渊光时域分析分布式光纤传感器[J]. *中国激光*, 2010, 27(6): 1426-1429.
- [28] 鲍翀, 宋牟平, 叶险峰. 布里渊光时域分析传感器中光偏振控制技术研究[J]. *传感技术学报* 2010, 23(2): 201-204.
- [29] 宋牟平, 鲍翀, 叶险峰. 基于正交偏振控制的布里渊光时域分析长距离分布式光纤传感器[J]. *中国激光*, 2010, 37(3): 757-762.
- [30] 宋牟平, 鲍翀, 裘超. 结合布里渊光时域分析和光时域反射计的分布式光纤传感器[J]. *光学学报*, 2010, 30(3): 650-654.
- [31] 刘安玲, 张为俊, 高晓明, 等. 瞬态SBS光纤相位共轭镜的低重复频率运转特性[J]. *光电子·激光*, 2004, 15(7): 766-770.
- [32] 周涛, 陈军, 唐淳, 等. 主振荡功率放大激光器中锥度光纤相位共轭镜的实验研究[J]. *中国激光* 2005, 32(4): 471-474.
- [33] 裴金成, 杨熙春, 朱汝德, 等. 受激布里渊光纤陀螺[J]. *激光与光电子学进展* 2006, 43(11): 53-60.
- [34] 李绪友, 何周, 张勇, 等. 受激布里渊光纤陀螺拍频稳定性[J]. *中国惯性技术学报*, 2010, 18(3): 338-342.
- [35] Yao X S. High-quality microwave signal generation by use of brillouin scattering in optical fibers[J]. *Optics Letters*, 1997, 22(17): 1329-1331.
- [36] Geng J H, Staines S, Jiang S B. Dual-frequency brillouin fiber laser for optical generation of tunable low-noise radio frequency/microwave frequency[J]. *Optics Letters* 2008, 33(1): 16-18.
- [37] 江阳, 于晋龙, 胡林. 受激布里渊散射在微波光子信号中的应用[J]. *激光与光电子学进展* 2008, 45(3): 44-49.

(上接第 72 页)

The Theory and Application of Stimulated Brillouin Scattering in Fiber

WEI Jia-ju , LIANG Yi-ping , DAI Te-li

(Optical Engineering Key Lab. of Chongqing City , College of Physics and Electronic Engineering ,
Chongqing Normal University , Chongqing 400047 , China)

Abstract : The stimulated Brillouin scattering (SBS) affection must take into account while designing fiber laser. In this paper , giving a comprehensive exposition on the principle of SBS , SBS threshold in fiber laser , suppression of SBS in fiber , performance of SBS in fiber and its applications in optical fiber amplifier , laser , fiber sensor , fiber phase conjugation mirror , pulse limiting and compression , Brillouin fiber optic gyro (B-FFOG) , slow light buffer , microwave photonic signal systems and so on. It is helpful for designing some optical fiber devices whose SBS effect must be considered.

Key words : fiber laser ; stimulated Brillouin scattering ; Brillouin frequency shift ; coherent acoustic wave

(责任编辑 欧红叶)