

文章编号: 1001-3806(2003)03-0240-03

多模石英光纤 SBS 相位共轭实验研究

张爱红 江云秋 吕志伟 王庆艳

(哈尔滨工业大学电子科学与技术系, 哈尔滨, 150001)

摘要: 采用芯径为 $100\mu\text{m}$ 、长 2m 的无掺杂多模阶跃石英光纤, 在 $1.06\mu\text{m}$ 波段, 研究了不同焦距下, 光纤与耦合透镜间的距离以及泵浦能量对反射率和波形的影响。在不同的入射能量下, 得到最大反射率为 68.95% , 脉宽压缩到入射光脉宽的 $1/3 \sim 1/2$ 。

关键词: 多模光纤; SBS; 反射率; 相位共轭

中图分类号: O437.2 文献标识码: A

Experimental investigation on SBS phase conjugation in multi mode quartz fiber

Zhang Aihong, Jiang Yunqiu, Lü Zhiwei, Wang Qingyan

(Department of Electronic Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: Based on the pure step quartz fiber with radius of $100\mu\text{m}$ and the length of 2m , the influence of the distance between the fiber and couple lens and pump energy on reflectivity and waveform at $1.06\mu\text{m}$ is studied. The maximum reflectivity is 68.95% , and the pulse compression ration varies from on third to on second with different incident energy.

Key words: multi mode fiber; SBS; reflectivity; phase conjugation

引言

自 1972 年单模光纤中 SBS 被首次发现以来^[1], 人们对光纤中的 SBS 进行了大量的研究工作, 利用其相互作用长度长的特点降低阈值^[2], 研制了光纤激光器^[3, 4]、光纤传感器^[5]、MOPA 系统等^[6]。实验研究多集中在对阈值、能量反射率、保真度的研究上^[7~9], 有关光纤 SBS 相位共轭的实验也有大量的报道^[10, 11], 但对于不同焦距下, 调整光纤与透镜间距和改变泵浦能量时反射率及波形变化的实验尚未见报道。为获得这方面的认识, 针对芯径为 $100\mu\text{m}$ 、长 2m 的无掺杂多模阶跃石英光纤, 用 Nd YAG 泵浦, 在 $1.06\mu\text{m}$ 波段下, 进行了实验研究, 分析了透镜焦距、光纤与透镜间距和泵浦能量对能量反射率及波形的影响。

1 实验装置

图 1 为实验装置图。平面全反镜和未镀膜玻璃

作者简介: 张爱红, 女, 1958 年 7 月出生。副教授。主要从事现代光学技术、航天光学遥感、光纤光学技术等领域的研究。

收稿日期: 2002-06-13; 收到修改稿日期: 2002-09-02

平行平片(反射率 8%) 构成谐振腔, 由染料片调 Q ,

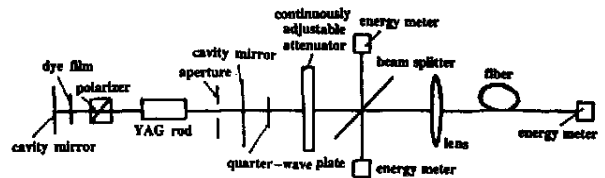


Fig. 1 Experimental setup

通过偏棱镜和小孔, 输出调 Q 脉宽为 $13\text{ns} \sim 16\text{ns}$, 能量为 $11\text{mJ} \sim 13\text{mJ}$, 垂直偏振经 $1/4$ 波片成圆偏振光, 由连续可调衰减片对能量进行衰减。分束器对 $1.06\mu\text{m}$ 波长光的透过率为 53% , 透镜将入射光耦合入光纤。所用光纤芯径为 $100\mu\text{m}$, 长 2m , NA 为 0.37 , 相当于最大全角为 43.4° , 光纤损耗为 50dB/km 。用探测器分别在 3 个能量计 (energy meter) 处监测入射光、反射光和透射光, 由此估算入射光的耦合效率, 并计算出能量反射率, 在这一过程中去掉了光纤端面的菲涅耳损耗。用示波器记录反射光的波形。实验中所用能量计是由 Newport 公司生产的 2835C 多功能光学测计 (Multi Function Optical Meter), 所用示波器为 TDS684A 数字示波器。

2 实验结果和讨论

2.1 不同泵浦能量下的 SBS

为研究不同泵浦能量下 SBS 反射率及波形的变化,选用焦距分别为 10cm, 15cm 的透镜,改变泵浦能量,得到了反射率曲线(见图 2)和脉宽曲线(见图 3),波形图如图 4 所示。对于 $f = 10\text{cm}$ 的情况,泵浦能量从 876.27 μJ 减小到 563.50 μJ ,SBS 反射率从 68.95% 减小到 24.46%;入射光脉宽为 13ns~ 16ns,反射光脉宽为 5ns~ 7ns,脉宽压缩为入射光脉宽的 1/3~ 1/2。对于 $f = 15\text{cm}$ 的情况,泵浦能量从 800.08 μJ 减小到 533.52 μJ ,相应的 SBS 反射率从 51.47% 减小到 20.91%,反射光脉宽为 4ns~ 6ns,脉宽压缩为入射光脉宽的 1/3。

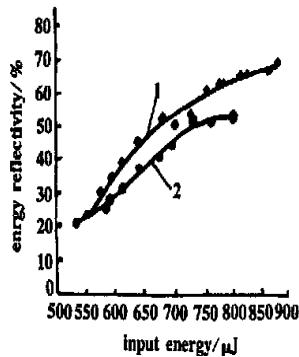


Fig. 2 Energy reflectivity versus various input energy
1— $f = 10\text{cm}$ 2— $f = 15\text{cm}$

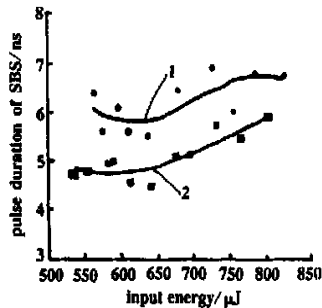


Fig. 3 Pulse duration of SBS versus various input energy
1— $f = 10\text{cm}$ 2— $f = 15\text{cm}$

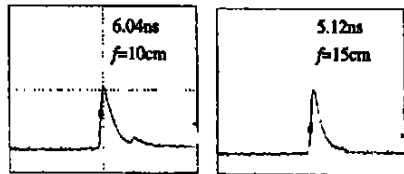


Fig. 4 Pulse shape versus various input energy

在改变入射能量的过程中,观察到反射光脉宽随着入射能量的增加略有增大,脉宽变化在 1ns~ 2ns 之间;反射光波为单峰。且随着泵浦能量的增加,SBS 能量反射率增加。这是因为泵浦能量的增加使光纤中的泵浦功率密度增加,能量的抽运能力增强,入射波与声学声子的作用增强,泵浦光向 Stokes 光的转化更有效、能量转换效率更高的缘故。

这样,为了得到更高的反射率,在保证能量未达到破坏阈的情况下应尽量提高入射能量。

2.2 不同距离调节量下的 SBS

实验中,先调整光纤与耦合透镜间的距离为最佳距离,使耦合效率最高,能量反射率最大,然后再改变光纤相对于最佳位置的距离(以下简称为距离调节量),得到 SBS 的能量反射率曲线图(见图 5)和反射光脉宽图(见图 6),并观察了波形(见图 7)。选

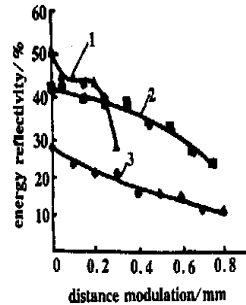


Fig. 5 Energy reflectivity versus various distance modulation
1— $f = 10\text{cm}$ 2— $f = 15\text{cm}$ 3— $f = 30\text{cm}$

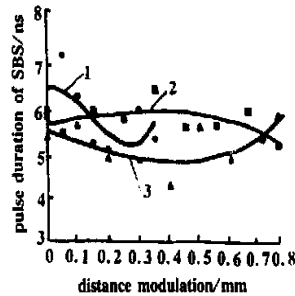


Fig. 6 Pulse duration of SBS versus various distance modulation
1— $f = 10\text{cm}$ 2— $f = 15\text{cm}$ 3— $f = 30\text{cm}$

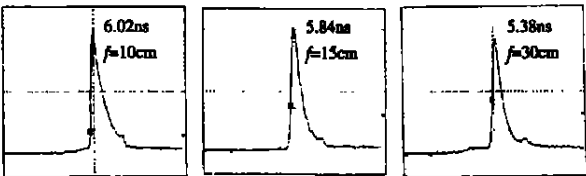


Fig. 7 Pulse shape versus various distance modulation

用焦距分别为 10cm, 15cm, 30cm 的透镜,做了 3 组实验。对于 $f = 30\text{cm}$ 的实验,入射能量为 1070 μJ ,脉宽为 16ns,最大耦合效率为 45.08%,得到 SBS 最大反射率为 27.50%,反射光脉宽为 5ns~ 6ns,脉宽压缩到入射光脉宽的 1/3;对于 $f = 15\text{cm}$ 的实验,入射能量为 1022 μJ ,脉宽为 16ns,最大耦合效率为 40.97%,得到 SBS 最大反射率为 42.38%,反射光脉宽为 5ns~ 6ns,脉宽压缩到入射光脉宽的 1/3;对于 $f = 10\text{cm}$ 的实验,入射能量为 1022 μJ ,脉宽为 13ns,最大耦合效率为 55.54%,得到 SBS 最大反射率为 51.59%,反射光脉宽为 5ns~ 7ns,脉宽压缩到入射光脉宽的 1/2。

通过实验发现:

(1) 用光纤作为 SBS 介质, 应十分注意调节光纤与透镜间的距离, 因为与用液体介质相比, 光纤实验中距离调节量在很小的范围内变化时, 其能量变化很大, 这种现象在用短焦距透镜时尤为突出。

(2) 长焦距透镜的距离调节量较大, 能量反射率曲线陡度小, 而短焦距透镜距离调节量较小, 能量反射率曲线陡度大, 这是由于短焦距透镜聚焦后泵浦光发散角更大, 能量随距离的变化更明显, 所以曲线陡度大, 同时在光纤芯径相同的情况下必然导致距离调节量减小。

(3) 随着透镜焦距的增加, SBS 能量反射率下降。在透镜焦距远大于光纤芯径时, 只需考虑球差, 其它像差均可忽略。由像差理论可知, 球透镜的球差为 $\varepsilon = \frac{1}{4} \left[\frac{n}{(n-1)^2} - 1 \right] f (NA)^3$ [12], 由此可知, 随着透镜焦距的增加光斑增大, 导致泵浦功率密度下降, 使反射率下降, 而衍射光斑半径为 $r = 0.61 \lambda / NA$, 远小于球差引起的光斑增大, 可忽略。

(4) 从图 5 中还可以发现, 随着距离调节量的增加 SBS 反射率下降, 这是因为随着距离调节量的增加, 耦合效率减小, 对泵浦能量的有效提取减弱, 因此反射率降低。

(5) 通过对波形图 7 的观察发现, 在改变距离调节量的过程中, 反射光的波形未出现多峰调制。反射光的峰峰调制间隔为 $\tau_{\text{sep}} = 2nL'/c + (gI_{10} + 10n\alpha)L'\tau_p$, 其中 L' 为有效作用长度 [13], 当 SBS 脉冲波形的峰峰调制间隔大于泵浦光的脉宽时, 可获得单峰 SBS 脉冲。这与液体介质相比具有优势。由于液体池的有效作用长度不能过长, 因此, 很难控制到使 SBS 波形峰峰调制间隔大于泵浦光脉宽, 这就出现了多峰调制。而用光纤就可方便的增加有效作用光纤长度, 使之出现单峰调制。这有利于波形控制。

通过上述实验, 发现在改变距离调节量的过程中, 波形均为单峰, 且脉宽变化不大, 这样在利用光

纤 SBS 时应主要考虑反射率的问题, 为此要选择短焦距透镜, 并将光纤与透镜间的相对位置调整到最佳。同时, 短焦距将导致距离调节范围过小, 这就要求光纤调整架的精度足够高, 系统的稳定性好, 故给实验调整带来困难, 特别是对于利用光纤 SBS 的系统提出了更高的要求, 应给予充分重视。

3 结 论

研究了在不同焦距下改变泵浦能量及改变光纤与聚焦透镜间距时 SBS 能量反射率及波形的变化, 发现在不同的条件下波形变化不大, 脉宽变化在 $1\text{ns} \sim 2\text{ns}$ 之间, 反射光均为单峰, 这对波形控制有利。能量反射率变化较大, 因此, 在利用光纤的 SBS 时, 应把着眼点放在能量反射率的提高上, 为此, 应选用短焦距透镜, 增大泵浦能量, 调整光纤与透镜间的距离为最佳位置, 这有利于得到高的反射率。同时, 焦距不宜过短, 否则会给实验及实际应用调整带来困难。

参 考 文 献

- [1] Ippen E P, Stolen R H, A P L, 1972, 21(11): 539~ 544.
- [2] Cotter D. Electron Lett, 1982, 18: 495~ 496.
- [3] Chen Z J, Cruclinin A B, Porta J *et al.* Opt Lett, 1998, 23(6): 454~ 456.
- [4] Lecoeuche V, Webb D J, Pznnell C N *et al.* Opt Commun, 1998, 152: 263~ 268.
- [5] Feced R, Parker T R, Farhadiroushan M *et al.* Opt Lett, 1998, 23(1): 79~ 81.
- [6] Eichler H J, Mehl O, Risse E *et al.* CLEO-Technical Digest, 2000, 5: 404~ 405.
- [7] Alimpier S S, Bucreev V S, Vartapetov S K. Proc SPIE, 1990, 1278: 65~ 68.
- [8] Eicher H J, Kunde J, Liu B. Opt Commun, 1997, 139(1/7): 327~ 334.
- [9] Eicher H J, Dehn A, Haase A. SPIE, 1998, 3265: 200~ 210.
- [10] Heuer A, Menzel R. Opt Lett, 1998, 23: 200~ 210.
- [11] Harrison R G. Opt Commun, 1999, 163: 208~ 211.
- [12] 廖延彪. 光纤光学. 北京: 清华大学出版社, 2000: 106~ 109.
- [13] 刘 莉. 受激布里渊散射相位共轭的脉冲波形与控制问题. 哈尔滨工业大学学位论文, 2001.