

宽调谐窄线宽脉冲钛宝石激光器*

张裕飞 邓道群 刘翔 许祖彦

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

提要 介绍了一种采用色散型布儒斯特棱镜扩束器调谐的脉冲钛宝石激光系统,通过泵浦光反馈泵浦,使转换效率提高了~8%;采用色散型布儒斯特棱镜扩束器加光栅(或平面镜)调谐,实现了窄线宽可调谐输出,输出激光能量为 23 mJ,转换效率达 19%,调谐范围为 680~913 nm,输出激光线宽小于 0.01 nm。

关键词 钛宝石激光器,色散型布儒斯特棱镜扩束器

1 引言

掺钛蓝宝石($\text{Ti}:\text{Al}_2\text{O}_3$)激光器是一种新型的可调谐固体激光器,由于其调谐范围宽(662~1178 nm)^[1]、增益高、结构紧凑、使用方便、寿命长等优点,在红光到近红外波段,已被证明是一种可靠和有效的染料激光的替代产品。脉冲钛宝石激光器具有较大的输出能量,在激光光谱学、激光化学、激光医学、非线性光学等方面有着重要的用途。对于某些应用来说,宽线宽的钛宝石激光已足够,甚至更好些;但对于大多要求高分辨率的光谱等应用来说,窄线宽运转的钛宝石激光器是非常必须和必要的。因此国内外为实现钛宝石激光的窄线宽、高输出运转作了大量研究,通过使用窄线宽种子注入^[2~5]、标准具^[6]、反射光栅^[7]、双折射滤光片^[8]等技术已实现了线宽的压窄。采用双向泵浦^[6,8,9]等技术提高了钛宝石激光的效率及输出能量。

我们在腔设计中,采用了色散型布儒斯特棱镜扩束器,多个棱镜的色散压缩了线宽,通过对光的扩束压缩了激光的发散角也有利于线宽的压窄(并且激光扩束减小了能量密度,可防止光栅被打坏),再采用光栅的一级自准直,可进一步压窄线宽。棱镜采用布儒斯特角入射,减小了损耗;泵浦光通过钛宝石晶体剩余的激光通过一直角棱镜和 532 nm 全反镜被反射再次泵浦晶体,提高了激光器的转换效率和输出能量。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。 L 为透镜组, B 为色散型布儒斯特棱镜扩束器, G 为 1200 条/mm 光栅,闪耀波长在 600 nm 附近,光栅 G 也可用全反镜 M_1 代替, M_2 为输出镜。 P 为直角棱镜, M_3 为泵浦光全反镜,对剩余泵浦光反射,二次泵浦钛宝石晶体。实验中使用的钛宝石晶体 T ($\text{Ti}:$

* 本工作得到中国科学院重点科研项目的支持。

Al_2O_3)端面被切成布儒斯特角,晶体由上海光机所提供,大小为 $4 \times 4 \times 15 \text{ mm}^3$ 。泵浦源是倍频 Nd : YAG 脉冲激光器,为使偏振匹配,光路中加入一半波片 H 。

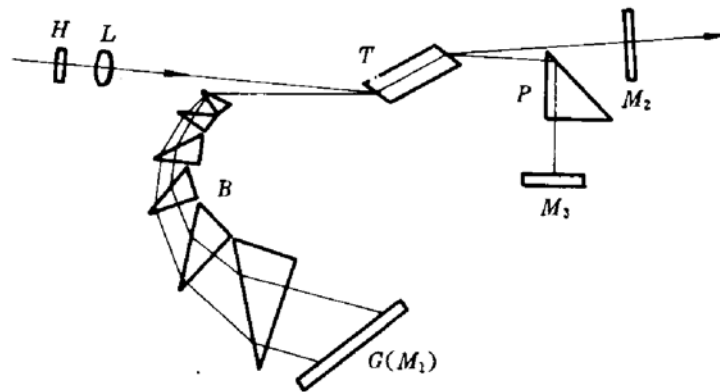


Fig. 1 Diagram of the Ti : sapphire laser system

T : Ti : Al_2O_3 ; B : dispersion-Brewster beam-expanding prism; G : grating (1200 lines/mm);
 M_2 : output mirror; M_3 : reflecting pump beam mirror; P : prism; H : $1/2$ plate; L : lens

实验中使用物理所研制的 LPE 型激光能量计测量钛宝石激光器的输出能量。使用四平光学仪器厂制造的半米光栅光谱仪测量钛宝石激光器的调谐范围,为使光谱仪直接观测钛宝石激光器输出的不可见的近红外波长,采用了 BBO 晶体对红外光倍频,通过观测可见的倍频光得到相应的红外光波长。此外使用 3 mm 隔环 F-P 标准具测量输出激光的线宽。

3 实验结果及分析

本实验实现了窄线宽可调谐运转,在窄带运转条件下,输出激光能量为 23 mJ,最大转换效率为 19%。不使用色散元件,其宽带输出激光能量可达 35.8 mJ,能量转换效率最大为 29%。实际上泵浦光光斑截面大于晶体可接收面积,若扣除这些因素,钛宝石激光器的输出能量及转换效率会大于上面提供的数据。实验未观察到钛宝石的饱和现象,说明通过提高泵浦光的能量,还可以提高钛宝石激光器的输出可调谐激光能量及能量转换效率。

图 2 是钛宝石激光器泵浦能量与输出能量的关系曲线, M_1 为 760 ~ 800 nm 波段全反镜, M_2 的中心波长是 770 nm,反射率为 80%左右,泵浦能量最大为 70 mJ。图中实线为反射剩余泵浦光时的输出激光能量曲线,虚线为不反射剩余泵浦光的输出激光能量曲线。从图中可知,由于采用了剩余泵浦光的反射,使输出激光能量增大了 ~45%,使泵浦效率提高了 ~8%。

图 3 是三种光路的激光能量输出曲线,曲线 I 为不使用色散元件,宽带运转的情况, M_1 为 760 ~ 800 nm 波段的全反镜, M_2 的中心波长为 770 nm,反射率为 60%左右,这种装置的能量转换效率最大。曲线 II 为采用平面镜 M_1 ,加色散型布儒斯特棱镜扩束系统情况的钛宝石激光能量输出曲线(此时钛宝石激光波长为 784 nm), M_1 为镀铝全反镜, M_2 的中心波长为 770 nm。可看到其效率较 I 小些,若在布儒斯特棱镜直角面上镀增透膜,减少损耗其能量转换效率将会提高。曲线 III 为采用光栅代替上述的 M_1 (镀铝全反镜),得到的输出激光能量曲线(输出激光波长为 752 nm),由于光栅的闪耀波长为 600 nm,因此其效率最低,若采用闪耀波长为 800 nm 左右的光栅可以减少损耗,将会提高钛宝石激光器的输出能量及能量转换效率。

钛宝石激光器的输出线宽测试结果如下:当采用光栅加棱镜扩束器系统其输出激光在波长为 730 nm 处的线宽小于 0.01 nm。当采用平面镜加棱镜扩束器系统,其线宽在波长 730 nm

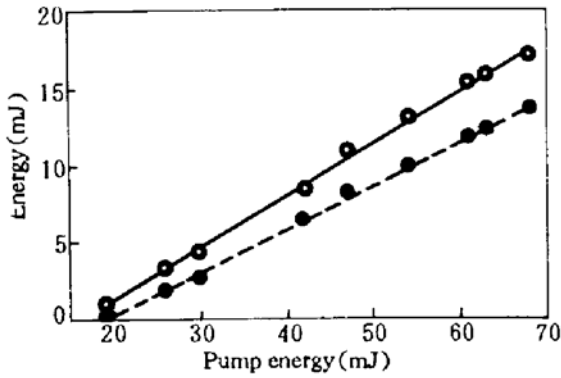


Fig. 2 The output-input lines

Real line: with pump laser reflected;

dotted line: pump laser is not reflected

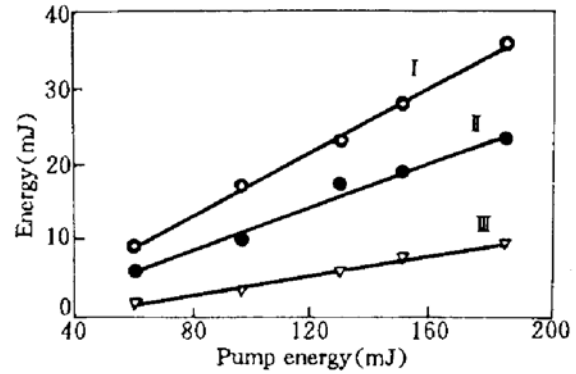


Fig. 3 The output-input relation for three different cavities.

I: wide-band operation; II: plate mirror and prisms system; III: grating and prisms system

处为 0.04 nm。

图 4 是调谐曲线,采用平面镜加棱镜扩束器系统,钛宝石激光可在 680~913 nm 间连续可调。当全反镜 M_1 采用镀铝全反镜,输出镜 M_2 的中心波长为 680 nm 时,其调谐范围是 680~800 nm,如图中实线所示。图中虚线所示的钛宝石激光调谐范围为 750~913 nm,此时采用的一组膜片是: M_1 的中心波长为 930 nm, M_2 的中心波长为 800 nm。 M_2 换成中心波长为 830 nm 反射率约 99% 的膜片时,输出波长可达 960 nm,但能量很小,若采用中心波长在 900 nm 左右透过率大一些的膜片,输出的钛宝石激光波长可更长一些。采用光栅加布儒斯特扩束器棱镜的调谐,也获得了相当好的效果,其调谐范围是 705~892 nm。

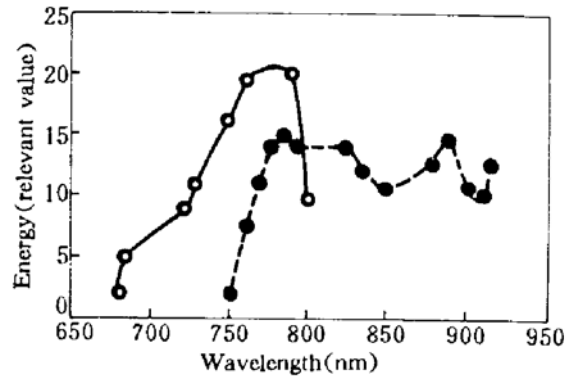


Fig. 4 Ti: sapphire laser tuning lines

Real line: with M_1 -Al-coated cavity mirrors, M_2 -680 nm;

dotted line: with M_1 -930 nm, M_2 -800 nm cavity mirrors

通过采用色散型布儒斯特棱镜扩束器加光栅或加平面全反镜,并反射剩余泵浦光的实验,减少了损耗,压窄了线宽;脉冲掺钛蓝宝石激光器输出激光的线宽可小于 0.01 nm,窄带输出激光能量为 23 mJ,能量转换效率达 19%,调谐范围为 680~913 nm。

致谢 作者感谢张秀兰高级工程师、张东香工程师、郭东升高级实验师、陈武振工程师给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 P. F. Moulton. Spectroscopie and laser characteristics of Ti: Al_2O_3 . *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, 3: 125
- 2 Philip Brockman *et al.*. Pulsed injection control of a titanium-doped sapphire laser. *Opt. Lett.*, 1986, 11: 712
- 3 Clayton H. Bair, Philip Brockman, Robert V. Hess *et al.*. Demonstration of frequency control and CW diode laser injection control of a titanium-doped sapphire ring laser with no internal optical element. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1988, QE-24: 1045
- 4 T. D. Raymond, A. V. Smith. Injection-seeded titanium-doped-sapphire laser. *Opt. Lett.*, 1991, 16: 33
- 5 J. C. Barnes, N. P. Barnes, L. G. Wang *et al.*. Injection seeding II: Ti: Al_2O_3 experiments. *IEEE J. Quant.*

Electr., 1993, **QE-29**: 2684

- 6 吴路生, 韦 丽, 周东方等. 双向泵浦的钛宝石激光器. *激光与红外*, 1993, **23**(5): 36
- 7 K. W. Kanng, D. D. Lowenthal, C. H. Muller III. Single-longitudinal, tunable, pulsed Ti : sapphire laser oscillator. *Opt. Lett.*, 1989, **14**: 21
- 8 Martyn R. H. Knowles, Cpln E. Webb. Efficient high-power copper-vapor-laser-pumped Ti : Al₂O₃ laser. *Opt. Lett.*, 1993, **18**: 607
- 9 Frederick Estable, Eric Morroy. High-energy gain-guided Ti : Al₂O₃ oscillator. *Opt. Lett.*, 1993, **18**: 711

Broadly Tunable, Narrow-band Ti : sapphire Laser

Zhang Yufei Deng Daoqun Liu Xiang Xu Zuyan

(*Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

Abstract A pulsed Ti : sapphire laser tuning by a dispersion-Brewster beam-expanding prism is investigated. The conversion efficiency can be improved $\sim 8\%$ by feedback of the pump laser. The established tunable Ti : sapphire laser features a high laser output energy of 23 mJ/pulse, a high laser conversion efficiency of up to 19%, and a linewidth of less than 0.01 nm.

Key words Ti : sapphire laser, dispersion-Brewster beam-expanding prism

第六届全国量子光学学术报告会在江西庐山召开

随着光电子技术、光子学、计算技术等高新技术的发展,随着对物理学、光子学等基本概念与规律的认识的深化,作为推动这些学科与技术发展的主要支柱和重要组成部分的量子光学已日臻成熟并将迅速发展。

为了交流近几年来我国在量子光学领域中的研究成果,展示量子光学研究工作在全国各地的蓬勃生机,中国物理学会量子光学专业委员会于1994年10月7~10日在江西庐山主持召开了第六届全国量子光学学术报告会。会议由江西省物理学会与江西师范大学承办。会议的主要内容包括:压缩态和非经典光场、原子光学和原子干涉、量子非破坏(QND)测量、腔量子电动力学、原子介质中的量子干涉、量子信息和量子测量等。

在来自全国高等院校和科研单位的80余名代表中,即有老一代的专家教授,也有一批年轻的新生力量。会议邀请了7位国外专家就压缩态、原子相干性、量子信息光学、量子光学的最新进展、量子密码通讯、原子系的相干态与全纯态表示、无反转激光等领域作了专题学术报告。代表们对无粒子数反转激光器等专题表示了极大的兴趣。会议共录用了66篇论文,并分2个大组对其中的30多篇论文进行了学术交流,会议期间,还组织了国内外量子光学发展情况的座谈,并对量子光学专业委员会的换届和委员增补进行了磋商。

会议商定,第七届全国量子光学学术报告会将于1996年召开,由湖南省物理学会和湖南师范大学承办。

(周稳观)