

0.75 μm ~2.94 μm 波段的几种激光器及其应用

张秀荣

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海)

摘要: 本文报导了0.75 μm , 1.054 μm , 1.064 μm , 1.32 μm , 1.54 μm 和2.94 μm 系列波长激光器的研制, 并分析了每种激光器的优缺点, 阐明每种激光波长的用途。

Several lasers in the range of 0.75 μm ~2.94 μm and their applications

Zhang Xiurong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The purpose of the paper is to present basic concept and progress of the lasers in the range of 0.75~2.94 μm these years. The advantages and various applications of the lasers are analyzed.

一、前 言

随着激光事业的发展, 激光应用的范围日益扩大, 新波段激光材料不断涌现。目前, 我们除了生长优良的钇铝石榴石之外, 又研制了新的紫翠宝石, 钼玻璃, 掺钼石榴石等新的激光材料, 并且成功地获得0.75 μm , 1.054 μm , 1.064 μm , 1.32 μm , 1.54 μm 和2.94 μm 波长

附表 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ 激光消偏膜的技术测试数据

角度	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
T%	49	48	49	50	50	50	49	48	49	50	50	50	49

参 考 文 献

- [1] [英] 麦克劳德 H A 著. 光学薄膜技术. 北京: 国防工业出版社, 1976; 132
- [2] 顾培夫编. 光学薄膜技术 (上册). 杭州: 浙江大学光仪系 (五机部翻印), 1982; 7~2

*

*

*

作者简介: 杨卫萍, 女, 1959年5月出生。助工。现从事光学薄膜镀膜专业的研制工作。

收稿日期: 1991年11月16日。 收到修改稿日期: 1992年6月6日。

的激光振荡, 本文报导了这个系列波长激光器的研制情况及其应用。

二、实验结果和讨论

1. 0.75 μm 紫翠宝石激光器

紫翠宝石 ($\text{BeAl}_2\text{O}_4 : \text{Cr}^{3+}$) 单晶中 Cr^{3+} 离子的 ${}^4T_2 \rightarrow {}^4A_2$ 能级跃迁产生0.75 μm 波长的激光。我们使用单灯重复频率器件, 重复率5pps, 氙灯泵浦, 采用平-凹腔, 棒尺寸为 $\phi 5\text{mm} \times 70\text{mm}$ 已获得1J/脉冲输出能量, 激光阈值为34J。文献[1]已获得从735.7nm~796.1nm的调谐激光输出, 调谐线宽为0.01 \AA , 激光输出特性曲线如图1所示。

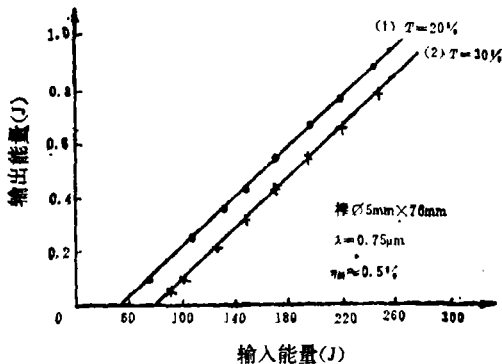


图1 $\text{BeAl}_2\text{O}_4 : \text{Cr}^{3+}$ 激光输出特性曲线
棒 $\phi 5\text{mm} \times 70\text{mm}$ $\lambda = 0.75\mu\text{m}$ (1) $T = 20\%$ (2) $T = 30\%$ $\eta_{\text{斜}} = 0.5\%$

$\text{BeAl}_2\text{O}_4 : \text{Cr}^{3+}$ 是一种理想的固体可调谐激光材料。室温下调谐范围从700nm~800nm, 经过喇曼频移和倍频手段后, 可从360nm~1050nm, 稳定性远远高于染料可调谐激光器, 使用方便, 耐用。它还具有高功率、高能量、低损伤的优点。文献[2]中报导美国光世纪公司在1985年已经向劳伦斯·里弗莫耳国家实验室提供一台连续紫翠宝石激光器用于研究工作。并且同年向空军空间技术中心提供一台100J/脉冲的紫翠宝石激光系统。该公司还获得一份第二阶段发展紫翠宝石激光器的合同, 建立一台450J/脉冲的激光器, 合同经费150万美元。该公司还开辟了中小型应用激光器。调Q开关输出0.5J/脉冲~1J/脉冲, 通过

倍频和喇曼频移手段, 将调谐范围扩展到360nm~1050nm。该公司已向美国、加拿大、德国的各个大学, 政府及医药部门出售这种激光器。

紫翠宝石激光器的0.75 μm 波长激光应用广泛, 在光谱学、光化学、双脉冲全息照相、光雷达及医学诸方面都是理想的工具。

2. 1.06 μm 和1.32 μm YAG : Nd^{3+} 激光器

钕铝石榴石是目前最成熟, 应用最广的激光晶体。激光运转方式有单脉冲、重复频率、连续、调Q、锁模、倍频、混频等。在工业上、医学上、实验室内都公认为是最好的激光器。现在国内水平已达到平均功率为百瓦数量级, 而且正在向千瓦级进军。目前, 日本住友金属矿山公司已获得740W 1.06 μm 激光输出, 并且应用于工业上。

从 Nd^{3+} 离子在YAG中的荧光谱中看到1.32 μm 激光是从 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4F_{1,3/2}$ 跃迁发射的。其发光强度是1.06 μm 的1/3, 发射截面为 $1.9 \times 10^{-20} \text{cm}^2$, 而1.064 μm 的发射截面为 $4.5 \times 10^{-20} \text{cm}^2$ 。显然, 1.32 μm 激光振荡增益低, 选模和调谐激光运转都比1.064 μm 波长困难。早在1985年, 我们^[3]研究了连续1.32 μm $\text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ 激光器的单模和调谐运转, 采用棒端面磨凹(克服热透镜效应), 平-平腔内加标准具, 小孔光阑, 获得单模和调谐激光输出, 调出六条谱线如图2b所示, 获得单模3W和多模30W的连续激光输出。1.32 μm 激光用来泵浦 $\text{MgF} : \text{Ni}^{2+}$ 晶体, 获得1.6 μm 激光。

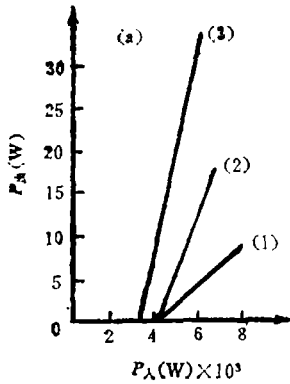


图2a 连续1.32 μm Nd³⁺:YAG多模和单模激光输出特性曲线

- (1) 加 $\phi 1.5\text{mm}$ 小孔
- (2) 腔长500mm
- (3) 腔长400mm

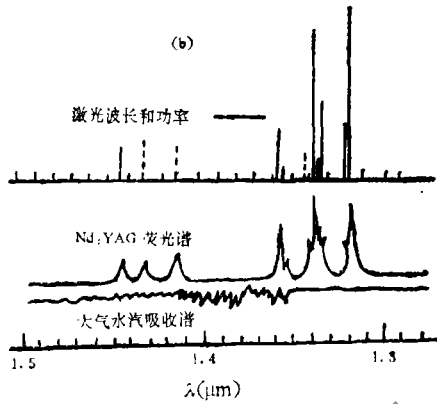


图2b Nd³⁺:YAG的1.32 μm 荧光谱及其对应的弱谱激光谱线

3. 1.054 μm Nd³⁺:LaMgAl₁₁O₁₉激光器

LaMgAl₁₁O₁₉:Nd³⁺ (LNA) 单晶具有掺杂浓度高(Nd³⁺离子分配系数为1,而Nd³⁺:YAG离子分配系数为0.18), 猝灭率低, 量子效率接近1, 荧光谱线宽, 荧光寿命长(315 μs)的优点。Nd³⁺离子的⁴F_{3/2}→⁴I_{11/2}跃迁可产生1.054 μm 和1.082 μm 激光^[4]。

我们采用双灯重复频率器件, 重复率为5pps, 闪光灯为 $\phi 8\text{mm} \times 100\text{mm}$, 棒为 $\phi 6\text{mm} \times 110\text{mm}$ 。当输出透过率 $T = 43\%$ 时, 输出2.5J/脉冲, 激光阈值为30J, $\eta_{\text{斜}} = 1\%$, 激光输出特性曲线如图3所示。

采用双灯连续器件, 激光棒为 $\phi 6\text{mm} \times 110\text{mm}$, 平-平腔, 当输出透过率 $T = 10\%$, 输入

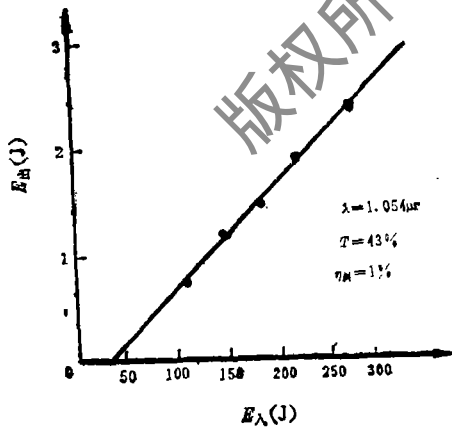


图3 $\phi 6\text{mm} \times 110\text{mm}$ LNA激光棒的脉冲输出特性曲线

$\lambda = 1.054\mu\text{m}$ $T = 43\%$ $\eta_{\text{斜}} = 1\%$

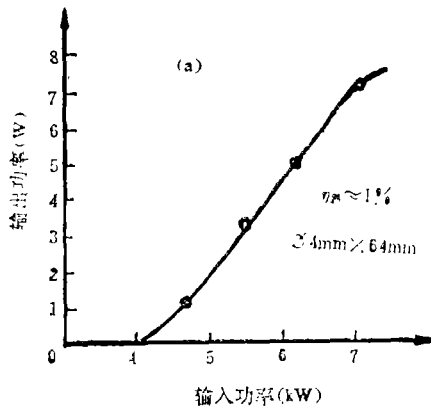


图1a $\phi 4\text{mm} \times 64\text{mm}$ LNA棒的连续激光输出特性曲线

5kW时, 输出16W, $\eta_{\text{斜}} = 1.1\%$ 。在同一器件上对于 $\phi 4\text{mm} \times 64\text{mm}$ 棒, 输入5kW时, 输出6W。当输入功率高于7kW时, 热透镜效应非常明显。连续激光输出特性曲线如图4所示。

LNA单晶的热膨胀系数为 10.1 ± 0.4 (c轴) 和 6.1 ± 0.2 (a轴), 折射率梯度 $\frac{\partial n}{\partial t} \leq 18 \times 10^{-6} \text{K}$ (c轴), ($\text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ 的折射率梯度 $\frac{\partial n}{\partial t} = 9.86 \times 10^{-6} \text{K}$)。因此, LNA单晶的热透镜效应很严重。我们测量了 $\phi 4\text{mm} \times 64\text{mm}$ LNA棒的热焦距如图5所示。

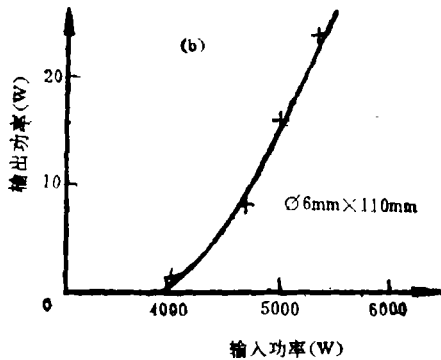


图4b $\phi 6\text{mm} \times 110\text{mm}$ LNA棒的连续激光输出特性曲线

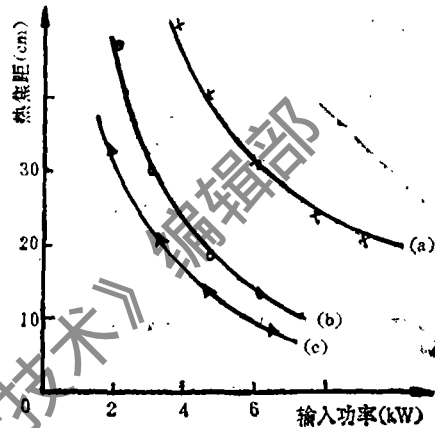


图5 $\phi 4\text{mm} \times 64\text{mm}$ LNA激光棒的热焦距曲线

- (a) $\phi 4\text{mm} \times 57\text{mm}$ Nd : YAG的实验值
(b) LNA的实验值 (c) LNA的理论计算值

1.054 μm 和1.082 μm 激光波长用途很广, 可用在集成光学、光化反应、医学、材料加工(焊接、打孔、标记、表面处理等)以及光导纤维的二极管泵浦的微型激光器方面。1.082 μm 激光可控制热核聚变, 作为 He^3 , He^4 极化的激光源。

4. 1.54 μm 铈玻璃激光器

Er^{3+} 离子的吸收谱, 荧光谱都极其丰富, 目前已有十个通道可产生激光。对于铈玻璃而言, 1.54 μm 激光最强。目前苏联、美国的研究人员都已获得了满意的结果。这个波长激光对人眼睛安全, 在大气中传输损耗系数小, 是一种做测距仪的理想激光波段, 在光通讯上应用也很理想。

我们采用平-平腔单灯脉冲器件, 激光棒为 $\phi 6\text{mm} \times 80\text{mm}$, 已获得3J/脉冲的能量输出, 阈值偏高^[6]。目前, 美国正在研制低能量输入小型激光器, 我们也在材料和器件上加改进, 降低阈值, 以便尽早投入应用。1.54 μm 激光输出特性曲线如图6所示。

5. 2.94 μm $\text{Er}^{3+} : \text{YAG}$ 激光器

对于高浓度 $\text{Er}^{3+} : \text{YAG}$ 单晶, 发射2.94 μm 激光最强 (${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ 跃迁)。我们采用双灯重复频率器件, 平-平腔, 氙灯泵浦, 激光棒为 $\phi 6\text{mm} \times 96\text{mm}$, 获得1.5J/脉冲的输出, 在国内领先^[6], $\eta_{\text{斜}} = 1\%$, 激光稳定性好, 激光输出特性曲线如图7所示。

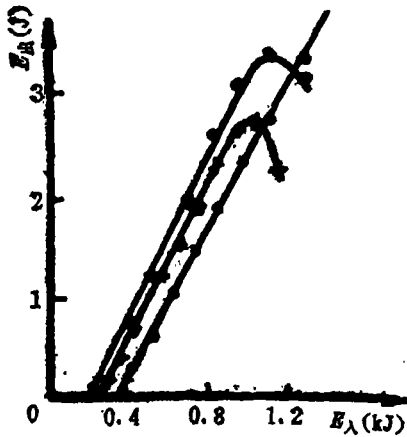


图6 $\phi 6\text{mm} \times 80\text{mm}$ 钾玻璃激光
输出特性曲线

$\lambda = 1.54\mu\text{m}$ $\times - T = 1.5\text{ms}$
 $\circ - T = 2\text{ms}$ $\bullet - T = 4\text{ms}$

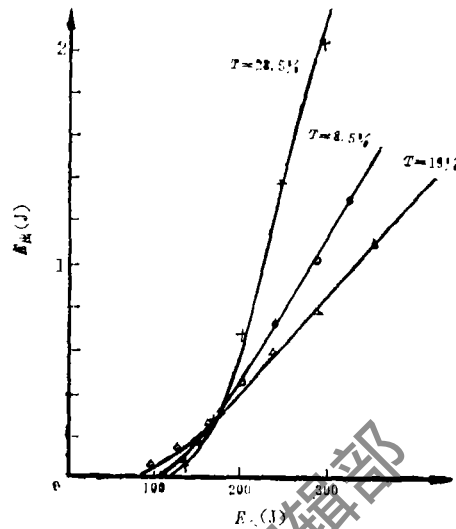


图7 $\phi 6\text{mm} \times 96\text{mm}$ $\text{Er}^{3+}:\text{YAG}$
棒的激光输出特性 ($\lambda = 2.94\mu\text{m}$)

$2.94\mu\text{m}$ 波段对水的吸收为 8000cm^{-1} ，因此，非常适合做医学上的手术刀。美国有人做切除眼睛角膜手术的研究。我们和第二军医大学长海医院联合对大白鼠的头盖骨，大小肢骨，进行激光切割试验，结果很好。

在研究 $2.94\mu\text{m}$ 激光时，遇到的最大困难是腔膜损伤问题，我们对腔膜做了专门研究^[7]。以上几种波长激光器，都有很好的应用前景，有待进一步研究，推广应用。

参 考 文 献

- [1] 张贵芬, 张守都, 许世忠 *et al.* 中国激光, 1986; 13(7): 406~409
- [2] Laser Focus, 1989; 25(4): 33
- [3] 胡志伟, 吴光照, 马笑山 *et al.* 中国激光, 1988; 15(9): 528~530
- [4] 张秀荣, 马笑山, 沈雅芳 *et al.* 中国激光, 1990; 17(3): 175~178
- [5] 祁长鸿, 张秀荣, 蒋亚丝 *et al.* 中国激光, 1991; 18(1): 16~20
- [6] 张秀荣, 吴光照, 马笑山 *et al.* 中国激光, 1991; 18(8): 630~632
- [7] 张秀荣, 沈瑞英, 吴光照 *et al.* 激光技术, 1991; 15(6): 382~384

收稿日期: 1992年2月18日。

收到修改稿日期: 1992年4月22日。

• 产品简介 •

光纤发光二极管

GCA公司提供一批 $800\sim 1550\text{nm}$ 范围的光纤发光二极管和波长为 $780\sim 1550\text{nm}$ 的激光器, 以及硅和 InGaAs 探测器, 这些器件可用于变频器(FC), 硅靶(ST), 移位计数器(SC), 绝对相位散射矩阵(SMA)和软连接组件中应用; 也可定制组件。

译自Electro Opt, 1992; 22(99): UK23 于祖兰 译 巩马理 校