

LD 泵浦固体激光器的光谱匹配问题*

单振国 刘祝安 方祖捷 黄国松 金志良 陈高庭

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 实验研究了 LD 泵浦 Nd:YAG 固体激光器的光谱匹配问题, 如匹配方法、匹配效率、匹配 chirp 现象等; 考察了 LD 光谱随温度、电流、时间的变化, 讨论了这些变化对光谱匹配效率的影响。

关键词: LD 泵浦, 固体激光, 光谱匹配

Discussion on spectral matching of LD pumped solid state lasers

Shan Zhengguo, Liu Zhu'an, Fang Zujie, Huang Guoshong, Jin Zhiliang, Chen Gaoting

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

Abstract: Optical spectral matching (OSM) of LD pumped Nd:YAG lasers, such as OSM method, OSM efficiency, OSM chirp phenomenon are studied experimentally. The changes of LD spectrum with temperature, injection current and time and the influence of the changes on OSM efficiency are investigated.

Key words: diode laser pumping, solid state laser, spectral matching

一、引言

LD(半导体激光器)泵浦固体激光器,是一种新型器件,在国外正处在研究的高潮^[1]。Nd:YAG是普遍采用的固体激光材料之一,它在 $\sim 808\text{ nm}$ 处吸收峰最大^[2],吸收宽度约为 1 nm 。假设光谱匹配效率 η 为泵浦光源辐射在该吸收峰内的功率 P_1 与泵浦光源辐射的总功率 P 之比,即 $\eta = P_1/P$ 。不难想像,如果用氙灯来泵浦,则泵浦光与吸收峰很容易对上,但 η 很低很低;发光二极管(LED)的光谱宽度约为 35 nm ,因此,用LED来泵浦Nd:YAG,也比较容易使泵浦光与YAG吸收峰对准,但大部分光仍不能为YAG吸收。同LED相比,LD不仅具有较高的功率,而且具有较窄的光谱($0.02\sim 2\text{ nm}$),与Nd:YAG的吸收宽度正好匹配。但是,要使LD发光谱正好对准该吸收峰,并不是一件容易的事,因为LD光谱随温度、注入电流的变化是很灵敏的。本文将讨论为实现较好光谱匹配所需考虑的一些问题。

二、实验装置

测量LD发光光谱(连续光谱、脉冲工作时的时间平均光谱和时间分辨光谱)、Nd:YAG

收稿日期: 1989年10月26日。

* 本工作为国家自然科学基金资助项目。

吸收谱、Nd:YAG 自发辐射谱的实验装置如图 1 所示。

我们选用了两种类型的 LD: 窄沟槽衬底条形激光器和平面条形激光器, 前者为折射率导引机构, 后者为增益导引机构。由于目前~810nm 的 LD 不多, 有些实验是用其它波长激光器代替的, 但这不影响下面的讨论。激光电源可连续工作, 也可脉冲工作。激光器装在恒温室里, 温度控制范围 0~50°C, 控制精度为 0.1°C。光学系统是 ×40 倍的显微物镜。入射到 Nd:YAG 棒端面的光功率, 连续时为 2.5mW, 脉冲时, 峰值功率为 10mW。LD 发光光谱、YAG 吸收谱和自发辐射谱, 均由光栅光谱仪直接测量。在测量 LD 时间分辨光谱时, 需用 Boxcar。

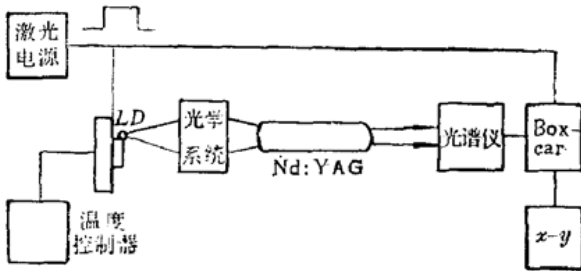


图 1 LD 发光光谱、Nd:YAG 吸收谱及自发辐射谱的测试装置图

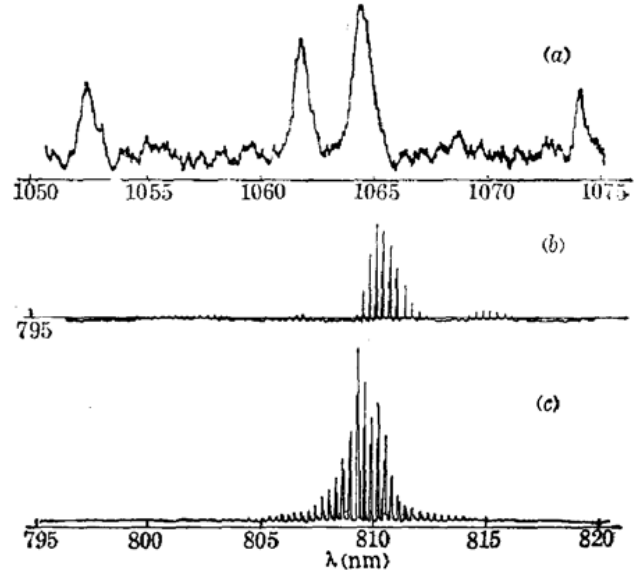


图 2 测量的平面条形激光器的自发辐射谱(a)、Nd:YAG 吸收谱(b)和激光光谱(c)

三、连续工作时的光谱匹配问题

为了实现较好的光谱匹配, 首先要挑选合适波长的 LD。我们自制的温度控制器*, 在室温 (~25°C) 时, 恒温室温度仅能上下调节 20°C 左右, 由于 GaAlAs 激光器的峰值波长随温度向长波移动的速率约为 0.3nm/°C, 因此, 能够满足要求的 LD, 其波长在 25°C 时应在 802.~814. nm 之间, 否则, 现有设备很难将 LD 的峰值波长移动到 YAG 吸收峰内。理想波长在 810nm 附近, 这时 LD 的工作温度可以比室温低, 这有利于 LD 的寿命。

在测量 LD 波长时, 应注意避开 LD 的热弛豫时间(单条形器件, 一般为几分钟), 因为在这段时间之后, 结温才会稳定, LD 光谱也才会稳定。

图 2 所示的是我们测量的某平面条形激光器的激光光谱(c)、经过 Nd:YAG 棒的吸收谱(b)和 Nd:YAG 本身的自发辐射谱(a)。由图可见, 该 LD 光谱为多纵模, 包络半宽约为 18nm, 峰值波长在 809.3nm 附近。Nd:YAG 在 808.5nm 处吸收峰的宽度约为 1.2nm, 与 LD 光谱峰值基本匹配, 但尚未完全对准。根据图 2 估算, 这时光谱匹配效率约为 38%。最上面的曲线是 Nd:YAG 的自发辐射谱, 在 1.064 μm 处的峰最大, 这便是未来的激光波长。

* 这是上海电大嘉定分校的高放同志帮我们制作的。

在测得 LD 峰值波长之后,便可通过调节恒温室的温度,将 LD 峰值波长移到 YAG 吸收峰内。如图 2 所示器件,需将恒温室温度降低 $\sim 3^{\circ}\text{C}$,才能将 LD 峰值波长正好移到 YAG 吸收峰的中央,这时,匹配效率 η 最高,可达 60% 左右。恒温室的温度调节是通过改变半导体致冷器的电流来实现的,并可实时显示。为了确保光谱匹配,在达到所要求的温度之后,应该再测 LD 光谱。如果光谱峰值仍不在 YAG 吸收峰内,需继续调节温度,再测 LD 光谱,直到达到要求为止。由于温度不同,LD 阈值也不同,为使 LD 始终在阈值 I_{th} 以上某电流下工作(如 $1.2 I_{th}$),因此,在调节温度时,还应适当地调节电流,这样才能保证不同温度下 LD 光谱的形状基本一致。

在温度调好之后,再调节电流,以获得满意的输出功率。但是,LD 光谱随电流的变化是复杂的。我们测量了若干器件的连续光谱及其在室温下随电流的变化,窄沟槽衬底条形激光器的光谱随电流变化有如下三个特征(见图 3): 1. 电流增加时,光谱向长波移动; 2. 当电流大到一定程度时,在短波部分产生新纵模; 3. 仅在一定范围内,输出单纵模。很显然,如果该单纵模正好落在 YAG 吸收峰内,则匹配效率可达 100%,但如果落在吸收峰之外,则匹配效率为零。

电流增加时,光谱向长波移动,是由温升引起的。由图 3 估计出移动速率约为 0.04 nm/mA ,器件不同,移动速率也略有不同。当电流大到一定程度时,在短波部分产生新纵模,那是带填充效应的结果。大电流时,导带中注入的电子数增多,费米能级提高,由带-带电子、空穴复合所产生的光子能量增大,因此,在短波部分产生新纵模。目前,还难以预料新纵模出现的位置,因此,在选择工作电流时,应特别注意避免这些新纵模的出现。如图 3 器件,工作电流可选在 62 mA,这时应测 LD 光谱,以确保该单纵模确实在 YAG 吸收峰内。

一旦匹配实现,就不应再去盲目增大电流,以图增加泵浦功率,那样会适得其反。如图 3 器件在 62 mA 时,光谱正好落在 YAG 吸收峰的中央,在 70 mA 时,LD 光谱就可能完全落到吸收峰的两边,使匹配效率从 100% 直降到零。增益导引激光器的光谱较宽,实现匹配比较容易,但匹配效率不高。在匹配实现后,再增加电流,光谱也会变化,但使匹配效率降到零的可能性很小。从这个意义上说,增益导引激光器比折射率导引激光器更有利于实现和保持光谱匹配。在温度和电流最后确定之后,如果器件的稳定性较好,则较好的光谱匹配就一直可保持下去。关机后重新使用,则应首先将温度调节到这个最后确定温度,误差小于 0.5°C ;然后再将电流调到最后确定值,误差小于 0.5 mA ,这样就可保证良好光谱匹配的再次实现。

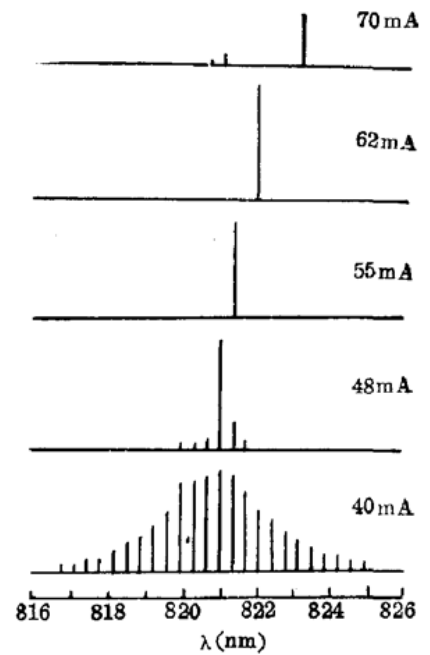


图 3 窄沟槽衬底条形激光器的 CW 光谱及其随电流变化的情形

四、脉冲工作时的光谱匹配问题

LD 在脉冲工作时,光谱更为复杂。设 LD 在低占空比(脉宽 $230 \mu\text{s}$,重复频率 100 Hz)条件下工作,在一个脉冲内所产生的热量,可在下一个脉冲来到之前散去,热沉温度在脉冲开始时是一样的。测量图 3 器件在脉冲运转时的光谱随电流幅度的变化,结果如图 4 所示,基本特

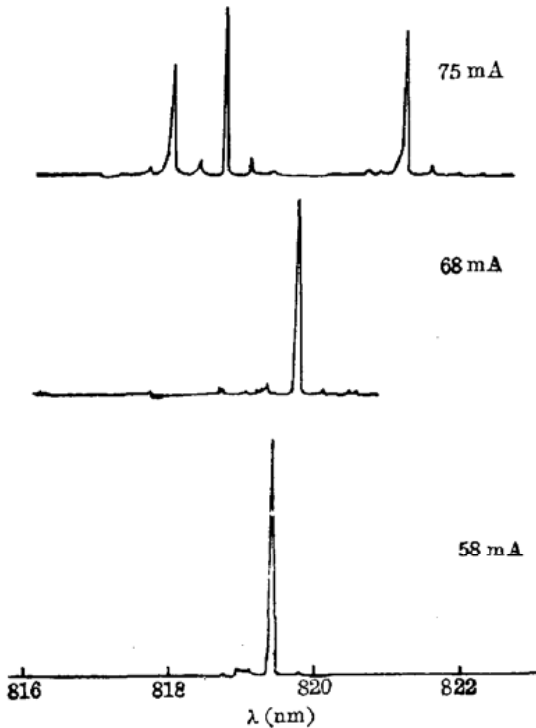


图4 窄沟槽衬底条形激光器的脉冲光谱及其随电流变化的情形

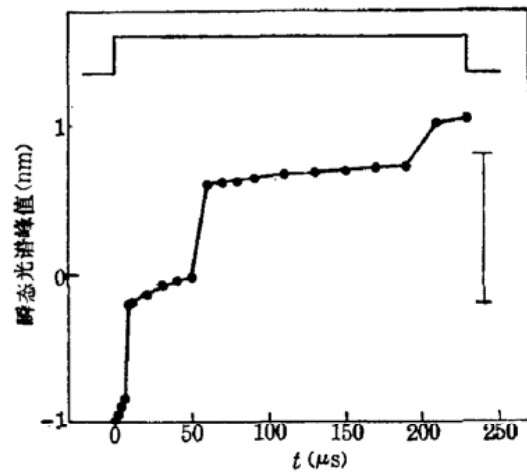


图5 在脉冲工作时,平面条形激光器的瞬态光谱峰值随时间的变化。上面的曲线为泵浦电流波形,下面的曲线为瞬态光谱峰值随时间的变化,“·”为实验数据,图中的标尺为1 nm

点与图3相似。但电流增大时,波长向长波移动的速度变缓,这是因为脉冲工作时,热效应较弱。当电流增加到75 mA时,带填充效应更加明显,短波纵模的功率更强。

我们还测量了平面条形激光器的时间分辨光谱。测量条件是:脉宽 $230\ \mu\text{s}$,重复频率100 Hz,峰值输出光功率10 mW,Boxcar选用的窗口宽度为 $1\ \mu\text{s}$,测量结果如图5所示。由图可见,瞬态光谱峰值随时间阶梯式的向长波移动。向长波移动,是由瞬态热引起的。在脉冲开始部分,峰值向长波移动的速度较快,这说明此时在结区产生的热量,还不能到达热沉,通过热沉散去,而是留在结区,使结温迅速上升,从而使瞬态峰值迅速向长波移动。大约在 $20\ \mu\text{s}$ 之后,结区产生的热量到达热沉并通过热沉散去,结温上升的速度变缓,瞬态峰值波长随时间变化的速度也变缓。阶梯变化,情况比较复杂,它同跳模有关,不能简单地用温度效应说明。由图可见,在整个脉冲范围内,峰值波长变化了约2 nm。器件的热特性不同,波长变化的范围也不同。高功率激光器,波长移动范围更大。文献[2]所示的一个能连续输出50 W的激光棒,从20到 $150\ \mu\text{s}$,该阵列器件的峰值波长变化了4.5 nm。我们知道,Nd:YAG最强吸收峰的宽度仅为1 nm左右。这样,在一个脉冲之内,LD光谱仅在某一时刻能够对准吸收峰,LD光谱将在吸收峰附近来回摆动,产生所谓的匹配chirp现象。这一现象对泵浦十分不利,不仅会使光谱匹配变差, η 不稳定,而且,还使有效泵浦光脉冲的宽度变窄。为了减小这种chirp现象,应选用热阻小的器件,这对大功率器件尤为重要。此外,采用较窄的电流脉冲,也会使chirp效应减小,但这时应有较大的峰值功率。

因为LD在脉冲运转时,瞬态光谱峰值随时间的变化,在脉冲开始部分(如图5所示,约在 $20\ \mu\text{s}$ 以前)变化最大,然后逐步变小,因此,若将 $20\ \mu\text{s}$ 时的瞬态光谱峰值设置在Nd:YAG吸收峰的短波侧,就可使 $20\ \mu\text{s}$ 以后发出的光,大部分落在吸收峰内,从而大大提高匹配效率。

五、结 束 语

本文从实验上研究了 LD 在连续和脉冲运转时的光谱匹配问题,考察了 LD 光谱随电流、温度、时间变化的特点,讨论了这些变化对光谱匹配的影响。结果表明: 1. 选用多纵模增益导引激光器比选用单纵模折射率导引激光器更有利于实现和维持光谱匹配; 2. 连续工作比脉冲工作更有利于光谱匹配, 因为脉冲工作时存在所谓的匹配 chirp 现象; 3. 窄脉冲工作比宽脉冲工作更有利于光谱匹配, 在宽脉冲工作时, 应避开瞬态光谱峰值变化较快的脉冲开始部分, 以提高匹配效率。

参 考 文 献

- 1 Tso Yee Fan *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-24**(6), 895(1988)
- 2 W. Streifer *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-24**(6), 883(1988)

激 光 治 疗 中 晕 厥 23 例 分 析

本室开展激光医疗研究 10 余年,共收治 15 万人次,遇到晕厥 23 例,现将资料综合报道如下。

年龄:最大 60 岁,最小 16 岁,平均 28.8 岁。性别:女 14 例,男 9 例。疾病:体表各种良性新生物 14 例,伤口不愈、炎症、溃疡 5 例、颈椎病 3 例,类风湿性脊椎类 1 例。

所用激光器: Nd³⁺:YAG 12 例,手术性。CO₂ 激光器 6 例,手术和非手术性各 3 例,He-Ne 激光器 5 例。

体位:“晕光”时取半卧位 11 例,坐位 8 例,立位 3 例,卧位 1 例。

药物史:既往有青霉素过敏史 1 例,15 例用过 2% 利多卡因 1~3CC。

诱因:激光治疗前睡眠不佳 4 例,饥饿或空腹接受激光治疗 3 例,晕血史 2 例,情绪不佳 1 例,精神紧张 2 例,无明显诱因 11 例。

症状分类:单纯性(血管性)晕厥 20 例,直立性晕厥 1 例,阵发性室上性心动过速 1 例,急性心源性脑缺血综合症 1 例。

检查:血压均正常(可能与症状过后测量有关),血白分正常,心电图 4 例正常,1 例异常,血糖 2 例正常。

处理:所有病人在 5~15 分钟内复原。一旦发生晕厥现象,让病人立即平卧或头低脚高位,个别静推 25~50% 葡萄糖 40CC。

晕光”与照射次数:第一次激光治疗出现“晕光”15 例,多次照射后出现晕光 8 例。2 例间隔一段时间后再次接受照射治疗,未出现再次“晕光”。

从本室 15 万余人次激光治疗中发生 23 例晕厥现象可见激光手术时发生率明显高于理疗性照射。晕光总的发病率不高,但仍需医务工作者注意在术前询问药物过敏史以及睡眠、精神、情绪等,并耐心解释、消除患者对激光手术恐惧和顾虑。治疗时尽可能取平卧,以增加脑供血,改善脑循环,并随时观察病情变化。治疗后让病人稍事休息,如无不舒适再离去。尽量减少噪声,保持激光治疗环境的安静,以减少或避免晕厥现象产生。

(上海市黄浦区中心医院医疗激光研究室, 200002)

庄悦祥 龚维振 马美荣 程丽征

1989 年 10 月 23 日收稿