

# 用于眼底治疗的三色激光系统

夏丹青 李正佳 吕涛

(华中科技大学光电子科学与工程学院武汉光电国家实验室(筹), 湖北 武汉 430074)

**摘要** 为了广泛适用于多种眼科疾病的激光治疗,介绍了一种可以产生红、黄、绿三色激光的眼科治疗系统。在此系统中,使用2台全固态激光器,通过倍频分别获得红、绿光,再通过光纤耦合及光纤混频,实现红、黄、绿三色激光根据使用需要单独工作或者同时工作。其中红外基频光1320 nm与1064 nm分别达到26 W与47 W;660 nm红光与532 nm绿光分别达到1 W与1.9 W,单独光纤输出分别达到0.8 W与1.5 W;并实现Y型光纤混频输出功率达到1.6 W。该系统能使红、黄、绿三色激光发挥在眼科治疗中各自的优势,并互补不足。

**关键词** 激光器;眼科治疗;三色激光;光纤混频;全固态激光器;光纤耦合

**中图分类号** TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.061701

## Equipment to Cure Retinopathy with Three-Colour Laser

Xia Danqing Li Zhengjia Lü Tao

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, School of Optoelectronic Science and Engineering,  
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

**Abstract** The more wavelengths can be generated, the more retinopathy can be cured. An equipment which can generate laser in three colours, red, yellow and green is introduced. It can be applied in diverse retinopathies. There are two all-soild-state lasers in this equipment. It can work with only one wavelength mode. It also can work with three wavelengths mode by means of fibre coupling and optical mixing. The power of the fundamental frequency light is respectively 26 W and 47 W at the wavelengths 1320 nm and 1064 nm. The power of the 660 nm and the 532 nm is respectively 1 W and 1.9 W; and the output power of the fiber is respectively 0.8 W and 1.5 W. The output power of "Y fiber" is 1.6 W after mixing. In distinct situation, this equipment can take the advantage of the red, yellow and green laser.

**Key words** lasers; oculistics; three-colour laser; optical mixing; all-soild-state laser; fibre coupling

**OCIS codes** 170.4460; 140.3515; 140.3510; 140.3325

## 1 引言

眼底疾病种类繁多,包括视网膜、脉络膜、玻璃体、视神经等的炎症、肿瘤、血管病变、多种变性疾病以及其他系统疾病引起的眼部病变。而对应不同种类不同程度的眼底疾病,激光的波长、功率、方向、时间等都可以被精确控制,而且安全有效,不良反应小,使得激光在治疗眼底疾病中可以广泛应用。眼底疾病的激光治疗大部分是利用激光生物学热效应中的光凝固作用,而光凝固作用的效果则主要取决眼底各组织不同色素对不同光波长的吸收率及透射率。另外,激光的光斑大小、功率或单脉冲能量、作用时间等也是眼底疾病激光治疗效果的重要因素。选择激光波长作用于不同的眼部组织主要考虑2个方面,一方面是不同组织的色素对不同波长激光的吸收能力,另一方面是不同波长激光的穿透能力和散射情况。

脉络膜与视网膜色素上皮层分布的黑色素,对各色激光都有一定的吸收,波长越短,吸收率越高,最佳吸收波长为400~600 nm。血色素对红光与红外光的吸收率很低,而对黄、绿、蓝色光吸收比较好,尤其对绿光

**收稿日期**: 2010-08-20; **收到修改稿日期**: 2011-01-09; **网络出版日期**: 2011-04-19

**作者简介**: 夏丹青(1983—),男,博士研究生,主要从事固体激光器设计和应用等方面的研究。

E-mail: xia\_danqing@163.com

**导师简介**: 李正佳(1945—),男,教授,博士生导师,主要从事医疗激光器的研制和应用等方面的研究。

E-mail: zhjli@mail.rust.edu.cn

吸收率很高。分布在黄斑区的叶黄素,对蓝光吸收最强,绿光和红光吸收较弱,基本不吸收黄光。红光与红外光比波长短的蓝、绿光穿透力强,可以进行深层光凝,当玻璃体轻度出血时,可以透过出血区达到需治疗的组织,但若能量过大,会造成深部出血。黄斑区的叶黄素存在于视网膜内层,对黄光基本不吸收,因此使用黄光治疗黄斑区,对黄斑损伤最小。绿光最容易被血色素吸收,所以进行眼底血管光凝时,选择绿光比较合适。激光的散射随着波长变短而增强,而散射越强,眼内非治疗组织的损伤越厉害,作用到需要治疗区域的激光则相应减少。尤其当晶状体老化或玻璃体浑浊时,散射现象更加明显,因此在同等情况下,使用红、黄光比使用绿、蓝光要更加安全有效<sup>[3]</sup>。

多波长激光治疗眼底疾病适应症广泛,可以治疗多种眼底疾病,而且使用方便,并能提高治疗效率<sup>[4]</sup>。在多波长激光器的研究方面,最早采用的是可以产生多波长的氩离子激光器,以及更为优秀的氮离子激光器。但是由于这些激光器设备庞大、价格昂贵,一直没有推广开来。对此,本文对多波长激光器展开新的探索,希望能研制更加小巧、简便、廉价的可以产生多个波长的激光设备。

## 2 系统设备

三色激光由 2 台全固态激光器及相应的耦合光学系统组成,可以产生红、黄、绿三色激光。其中红光、绿光由 2 台全固态激光器直接产生,黄光由红、绿光通过光纤混频产生。2 台全固态激光器的工作物质均为 Nd:YAG 晶体,都采用半导体模块抽运。Nd:YAG 晶体的激光特性主要取决于钕离子的特性,Nd<sup>3+</sup> 为四能级系统,对激光辐射有贡献的主要吸收带有 5 条,各吸收带带宽为 30 nm,其中 0.75  $\mu\text{m}$  和 0.81  $\mu\text{m}$  为中心的 2 个吸收带最强<sup>[5]</sup>。而输出方面,在室温下 Nd:YAG 最容易起振的有 3 条谱线,分别是 946、1064 和 1320 nm。在没有倍频之前,制备的两台激光器分别输出 1064 nm 与 1320 nm 的红外基频光的最大功率达到 47 W 与 26 W。在此基础上,安装倍频晶体、隔离镜,并更换针对对应波长镀膜的反射镜与输出镜。

### 2.1 红激光输出

设备的红激光波长为 660 nm,采用半导体模块抽运 Nd:YAG 晶体,对光路中晶体与镜片镀选择性膜,使其输出 1320 nm 基频光,再采用设计好尺寸和匹配角度的 KTP 晶体倍频,输出 660 nm 红激光。其光路示意图如图 1 所示。

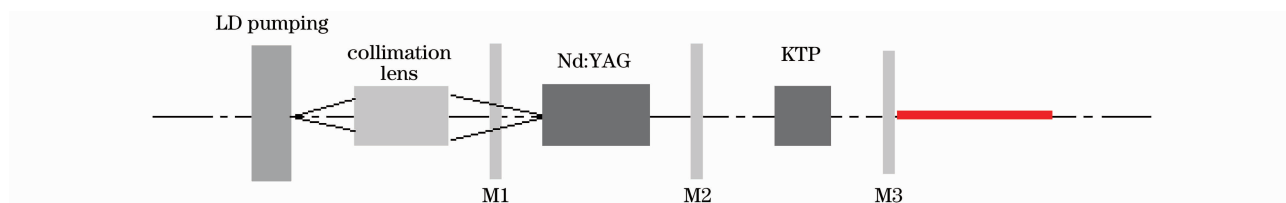


图 1 红激光光路示意图

Fig. 1 Schematic diagram of red laser

为符合 Nd:YAG 晶体的峰值吸收带,激光二极管(LD)发出的抽运光波长为 808 nm,通过准直聚焦系统,耦合到 Nd:YAG 晶体中。镜 M1 镀对 1320 nm 的全反膜、对 808 nm 的增透膜以及对 1064 nm 的增透膜。这样增加腔内 1064 nm 激光的损耗,抑制其起振同时使 1320 nm 激光更容易在腔内起振。镜 M2 镀 1320 nm 的增透膜以及 660 nm 的全反膜,在 Nd:YAG 晶体和 KTP 晶体之间起隔离镜的作用。不阻碍 1320 nm 激光在腔内振荡,同时阻隔 660 nm 激光照射到 Nd:YAG 晶体,使 660 nm 激光只能从输出镜输出,提高激光输出的稳定性。镜 M3 即为输出镜,镀对 1320 nm 的全反膜以及对 660 nm 的增透膜。KTP 晶体设计成合适大小及匹配角度,并在其两面都镀上对 1320 nm 与 660 nm 的增透膜,使其达到最佳倍频效率。

### 2.2 绿激光输出

设备的绿激光波长为 532 nm,采用半导体模块抽运 Nd:YAG 晶体,对光路中晶体与镜片镀选择性膜,使其输出 1064 nm 基频光,再采用设计好尺寸和匹配角度的 KTP 晶体倍频,输出 532 nm 绿激光。其光路除膜片和倍频晶体不同,示意图与红激光基本一致,如图 1 所示。

LD 发出的抽运光波长为 808 nm,符合 Nd:YAG 晶体的峰值吸收带,通过准直聚焦系统,耦合到 Nd:YAG 晶体中。M1 镀对 808 nm 的增透膜以及对 1064 nm 的全反膜。这样降低腔内 1064 nm 激光的损耗,

又能让 808 nm 的抽运光尽可能照射到 Nd:YAG 晶体上。1064 nm 激光在 Nd:YAG 晶体的模式竞争中最容易起振,不需要另外抑制其他波长。M2 镀 1064 nm 的增透膜以及 532 nm 的全反膜,在 Nd:YAG 晶体和 KTP 晶体之间起隔离镜的作用。使得不阻碍 1064 nm 激光在腔内振荡的同时,阻隔 532 nm 激光照射到 Nd:YAG 晶体,使 532 nm 激光只能从输出镜输出,提高激光输出的稳定性。M3 即为输出镜,镀对 1064 nm 的全反膜以及对 532 nm 的增透膜。KTP 晶体设计成合适大小及匹配角度,并在其两面都镀上对 1064 nm 与 532 nm 的增透膜,使其达到最佳倍频效率。

### 2.3 黄激光输出

设备中的黄光通过红、绿两色光混频得到。红、绿两色光分别耦合进入一束光纤,然后两束光纤耦合到一束中。红光耦合进入光纤的示意图如图 2 所示。从输出镜输出的红光,通过固定在输出镜前的耦合镜聚焦到光纤端面上,使激光器产生的红光耦合到光纤中。聚焦镜镀对 660 nm 的增透膜,光纤端面固定在聚焦镜的焦点上。在本设备中,红光输出最大功率为 1 W,耦合到单根光纤,输出的功率最高到达 0.8 W,耦合效率为 80%。

绿光耦合进入光纤的原理与红光基本一致,区别在于绿光耦合装置中的聚焦镜镀对 532 nm 的增透膜。在设备中绿光输出最大功率为 1.9 W,耦合到单根光纤,输出的功率最高达到 1.5 W,耦合效率为 79%。为了使进入 Y 型光纤的红、绿激光功率比大致为 1:1,降低了绿光激光器的电源功率,使绿光的输出功率在 0.8 W 左右。

为了提高两束光纤中的激光耦合到一束中的效率,本设备使用了 Y 型光纤。Y 型光纤实际是一根光纤,在拉制的过程中,将其中一头拉成 2 股。其耦合效率比用聚焦镜耦合的效率要高得多,可以达到 95% 以上。其示意图如图 3 所示。通过 Y 型光纤,红绿光混合后,肉眼所见已是黄光,对眼底黄斑区的效果近似于黄激光。另外由于光纤内部的非线性效应,会发生混频现象,产生一定比例的黄激光<sup>[6]</sup>。红绿激光的功率越大,混频现象越明显,黄光的比例越大。用来治疗眼底时,可以深中浅各部位同时光凝,大大提高治疗效率。

在 Y 型光纤输出端,加设准直镜、隔离镜,隔离镜镀对 532 nm、660 nm 的高反膜和对 589 nm 的增透膜,并与光轴 45° 放置,隔离镜后的功率计仍有 5 mW 的读数。可见通过 Y 型混频光纤后,会产生一定的 589 nm 黄光。表 1 是 Y 型光纤在输入功率不同的情况下,通过隔离镜后功率计的读数。

表 1 Y 型光纤在不同输入下功率计的读数

Table 1 Readings of the dynamometer at different inputs of Y fiber

	532 nm		660 nm		Readings of dynamometer	
	Current /A	Power /W	Current /A	Power /W	Without isolated lens /W	After isolated lens /mW
1	12.7	0.7	20	0.8	1.5	4
2	12.9	0.75	20	0.8	1.5	4
3	13.2	0.8	20	0.8	1.6	4
4	13.6	0.85	20	0.8	1.6	5
5	14.1	0.9	20	0.8	1.7	5

### 2.4 三色光的运行方式

设备可以有选择地只运行某一种光,或者同时输出。当开启红激光而关闭绿激光时,设备输出只有红激光,可以穿透血色素,直达深层光凝止血。当开启绿激光而关闭红激光时,设备输出只有绿激光,可以被血色素吸收,进行眼底血管光凝。而当红绿激光同时开启时,通过光纤混频,产生黄光。分布在黄斑区的叶黄素,对绿光和红光吸收较弱,基本不吸收黄光。因此设备产生的黄光对黄斑区损失极小,可以安全地进行眼底治

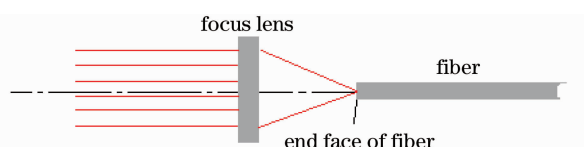


图 2 红光耦合进入光纤示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the fiber coupler

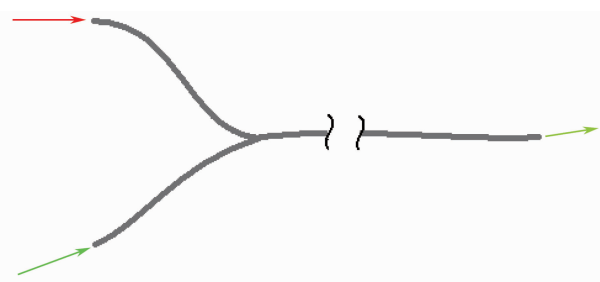


图 3 Y 型光纤示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the Y fiber

疗<sup>[7~12]</sup>。

### 3 结 论

介绍了一种结构简单的三色激光眼科治疗系统,将三种波段的激光整合到一台设备中,可以通过一个操作系统进行控制。并且通过高效简单的光纤耦合传输系统,由光纤输出,可以随意改变输出端的位置和角度,方便用于治疗。目前,在国内使用激光(尤其是 660 nm 和 589 nm 激光)进行眼底疾病治疗的研究并不多,使用多波长激光器进行治疗的尚未出现。在国外也只有美国科以人公司有相关产品投入市场。因此对此类设备的研究,对打破国外公司对我国市场的垄断,以及造福广大患者,都有着重大深远的意义。

### 参 考 文 献

- 1 Lu Xinyi. Laser Ophthalmology[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1981. 81~82  
卢信义. 激光眼科学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1981. 81~82
- 2 Sun Xinquan. Fundamental of remedy retinopathy with laser[J]. *Chinese Journal Laser Medicine & Surgery*, 1998, **7**(4): 214~217  
孙新铨. 眼底病激光治疗技术的基本要素[J]. 中国激光医学杂志, 1998, **7**(4): 214~217
- 3 Li Zhengjia. Laser Bioengineering Foundation[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. 69~81  
李正佳. 激光生物医学工程基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007. 69~81
- 4 R. P. Mildren, H. M. Pask, H. Ogilvy *et al.*. Discretely tunable, all-solid-state laser in the green, yellow, and red[J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(12): 1500~1502
- 5 Hao Junsheng, Li Xingzhen, Wang Zhong *et al.*. The application of remedy retinopathy with frequency doubling Nd:YAG laser[J]. *Journal of North China Coal Medical College*, 2006, **8**(2): 221~222  
郝军生, 李兴珍, 王中等. 倍频 Nd:YAG 激光在眼底疾病治疗中的应用[J]. 华北煤炭医学院学报, 2006, **8**(2): 221~222
- 6 Lü Chao, Yuan Xiao, Zhu Changhong *et al.*. Phase-matching characteristics of 589 nm radiation generated by SFG with double-axis crystals[J]. *Laser Technology*, 2005, **29**(5): 459~461  
吕超, 袁孝, 朱长虹等. 双轴晶体和频产生 589 nm 钠黄光的相位匹配特性[J]. 激光技术, 2005, **29**(5): 459~461
- 7 Matthews, David G. Marshall, Larry R. Buzawa *et al.*. Retinal laser photocoagulation with use of all-solid-state 532 nm and 810 nm laser systems[C]. Conference Proceedings-Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting-LEOS, 1997, **11**(1997): 151
- 8 Du Min. Cure early stage retinopathy with argon laser[J]. *Clinical Medicine*, 2004, **24**(3): 56~57  
杜敏. 早期视网膜静脉血管阻塞的氩激光治疗[J]. 临床医学, 2004, **24**(3): 56~57
- 9 Yang Xiaohong, Zeng Qiongying. Curative effect of diabetes mellitus retina with laser[J]. *Guangdong Medical Journal*, 2002, **23**(9): 951~952  
杨小红, 曾琼英. 激光治疗糖尿病视网膜病变疗效观察[J]. 广东医学, 2002, **23**(9): 951~952
- 10 Liu Qiong, Jin Zhongqiu, Liu Yezi. Laser therapy for diabetic retinopathy[J]. *International Journal of Ophthalmology*, 2002, **2**(2): 15~19  
刘琼, 金中秋, 刘业滋. 糖尿病视网膜病变的激光干预[J]. 国际眼科杂志, 2002, **2**(2): 15~19
- 11 Hui Ling, Shi Xiaoli, Wang Yusheng *et al.*. Photocoagulation with 532 nm frequency-doubled laser on 50 patients with diabetic retinopathy[J]. *International Journal of Ophthalmology*, 2003, **4**(3): 46~48  
惠玲, 师晓丽, 王雨生等. 倍频 532 nm 激光治疗糖尿病视网膜病变 50 例[J]. 国际眼科杂志, 2003, **4**(3): 46~48
- 12 Xiong Yanhua, Chi Chen. Perioperative nursing care of ocular fundus disease with laser coagulation[J]. *Journal of Nursing Science*, 2009, **24**(6): 34~35  
熊艳华, 池晨. 激光光凝治疗眼底病患者的护理[J]. 护理学杂志, 2009, **24**(6): 34~35