

文章编号:1001-5078(2009)01-0008-06

· 综述与评论 ·

氟化物激光晶体及其在固体激光器中的应用

武安华¹, 徐军¹, 陈红兵², 侍敏莉¹

(1. 中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 200050; 2. 宁波大学新型功能材料及其制备科学国家重点实验室培育基地, 浙江 宁波 315211)

摘要:作为一种重要的激光基质材料, 氟化物激光晶体在固体激光器的研究和开发中发挥了重要作用。与其他激光介质相比, 氟化物激光晶体具有自发荧光寿命长、折射率受温度影响小、热透镜效应小等优点, 具有良好的热稳定性, 决定了其在固体激光器领域特殊的应用价值。本文重点介绍现在广泛应用于各类激光器的氟化物激光晶体的性能与应用情况, 在此基础上, 展望了氟化物激光晶体未来的研究前景。

关键词:氟化物; 激光晶体; 固体激光器

中图分类号: TN244 **文献标识码:** A

Fluoride Crystals and Their Applications in Solid-state Lasers

WU An-hua¹, XU Jun¹, CHEN Hong-bing², SHI Min-li¹

(1. Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Science, Shanghai 200050, China;

2. State Key Base of Novel Functional Materials & Preparation Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: As the laser host materials, laser fluoride crystals have played important roles in the research and development of solid-state lasers from 1960s. Compared with other laser host crystals, the laser fluoride crystals have outstanding advantages, such as long fluorescence life-time, negative refractive index change with increasing temperature, lower thermal lensing effect and thermal physical property etc. Thus fluoride crystals have been widely employed in solid-state lasers. The properties and applications in solid-state lasers of fluoride crystals are emphasized in this paper, moreover, the future investigations on laser fluoride crystals are predicted.

Key words: fluoride; laser crystal; solid-state laser

1 引言

1960年, 梅曼利用红宝石首次成功演示了激光作用^[1], 而后固体激光器的发展则体现在 Sorokin 和 Stevenson 利用 CaF₂ 中的三价铈和二价钐所获得的激光作用^[2]。从此以后, 从三价稀土元素 (Nd³⁺, Er³⁺, Ho³⁺, Ce³⁺, Tm³⁺, Pr³⁺, Gd³⁺, Eu³⁺, Yb³⁺)、二价稀土元素 (Sm²⁺, Dy²⁺, Tm²⁺)、过渡金属元素 (Cr³⁺, Ni²⁺, Co²⁺, Ti³⁺, V²⁺) 和掺入多种基质材料的镧族元素中都成功实现了激光作用。到目前为止, 已经在几百种离子-基质的晶体组合中实现了从可见光到中红外光的范围内光学泵浦的激光作用。从固体激光器的发展来看, 激光材料是激光技术发展核心和基础, 具有里程碑的作用。

固体基质材料可以分为晶体、玻璃、光纤和陶瓷, 相对于其他材料, 晶体的优点表现在热导率高、荧光谱线窄、硬度比较大等, 因而在固体激光器中获得了更广泛的利用。作为一种重要的激光基质材料, 氟化物激光晶体一直是激光材料的研究热点, 本文重点介绍现在广泛应用于各类激光器的氟化物激光晶体的性能与应用情况。

2 氟化物激光晶体在固体激光器中的应用

对于激光材料而言, 它由激光基质材料和激活

基金项目:中国科学院和日本理化学研究所科技合作项目; 国家自然科学基金项目 (No. 50672110) 资助。

作者简介:武安华 (1969 -), 男, 博士, 副研究员, 主要从事功能晶体的生长研究。E-mail: wuanhua@mail.sic.ac.cn

收稿日期:2008-07-11; **修订日期:**2008-09-01

离子组成。不同的激活离子具有不同的荧光波长并激发相应波长的激光,因而不同的激活离子对应于不同的离子激光器。尽管如今激活离子的种类已达数十种,而获得广泛应用的激光器有钕激光器、钇激光器、镱激光器以及可调谐激光器等。以下分别阐述氟化物激光晶体在这几类激光器的应用情况。

2.1 钕激光器

在探索固体激光材料的过程中,人们较早地认识到了三价钕离子特别有利于激光作用的特性。 Nd^{3+} 离子在某种有序结构的晶体中呈现出足够长的荧光寿命和窄荧光谱线宽,并且 Nd^{3+} 拥有远高于基态激光跃迁的终端能态,因而易于实现室温下的连续工作。最初的研究工作中,将 Nd^{3+} 离子加入到玻璃、 CaWO_4 、 CaMoO_4 、 CaF_2 、 LaF_3 等多种基质中,但是这些基质材料因为其内部的物理特性,或者由于其与 Nd^{3+} 离子相互作用的方式等影响,未能获得令人满意的结果。最终,Geusic等人找到了钇铝石榴石(YAG)作为 Nd^{3+} 离子的基质材料^[3]。很快,这种材料就显示出相对于其他基质材料的优越性,Nd:YAG因其增益高、热特性和机械性能良好而成为当前在科研、工业、医学和军事应用中最重要

的固体激光器。Nd:YLF是继Nd:YAG之后又一种非常重要的晶体激光工作物质,YLF晶体基质紫外吸收截止波长短,透光波段范围宽,折射率温度系数为负值,热透镜效应小,晶格中适合各种稀土离子掺杂,可实现大量波长,特别是紫外波长的激光振荡。Nd:YLF晶体吸收谱线宽,荧光寿命长,输出偏振,适合LD泵浦,广泛用于各种工作方式的脉冲和连续激光器,尤其是用于单模输出、Q开关超短脉冲激光器中。

Nd:YLF晶体的 σ 偏振 $1.053\mu\text{m}$ 波长的激光跃迁与掺Nd的磷酸玻璃和氟磷酸玻璃峰值增益 $1.054\mu\text{m}$ 非常匹配,因而这种材料是钕玻璃激光核聚变系统振荡器的理想工作物质。此外,它还适用于中等能量的Q开关振荡器和振荡器-放大器系统中,因为在输出相同能量时,它所需要的级数要少于Nd:YAG。Nd:YLF和Nd:YAG晶体的性能如表1所示,由于Nd:YLF的荧光寿命是Nd:YAG的2倍,所以它对于二极管泵浦也具有优势。激光二极管的泵浦功率是有限的,但是Nd:YLF较长的荧光寿命带来了较长的泵浦时间,所以在二极管数量相同时,Nd:YLF提供的存储能量是Nd:YAG的2倍。同时,相对大的热导率产生有效的散热。该材料的自然双折射率大大超过热致双折射,根除了YAG等光学各

向同性基质材料的热退偏振问题。Nd:YLF的截面比Nd:YAG小2倍,对于某些要求中等Q开关能量的激光器,与高增益材料Nd:YAG相比,低增益系统结构具有优势。同时,Nd:YLF中较弱的热透镜作用与其自然双折射耦合,在某些应用中提供了Nd:YAG所不具备的优点。

表1 Nd:YLF和Nd:YAG晶体的性能比较^[4]

参数	Nd:YLF	Nd:YAG
激光波长/nm	1053(σ)	1064
	1047(π)	
折射率/ $\lambda = 1.06\mu\text{m}$	$N_o = 1.4481$	$N = 1.82$
	$N_e = 1.4704$	
荧光寿命/ μs	480	230
受激发截面/ cm^2	1.8×10^{-19} (π)	2.8×10^{-19}
	1.2×10^{-19} (σ)	
密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	3.99	4.56
硬度/莫氏硬度	4~5	8.5
弹性模量/ $(\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$	7.5×10^{10}	2.94×10^{11}
泊松比	0.33	0.25
热导率/ $(\text{W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	0.06	0.14
强度/ $(\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$	3.3×10^7	
热膨胀系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$	a轴 13×10^{-6}	6.9×10^{-6} (111)
	c轴 8×10^{-6}	
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	825	1970

2.2 钇激光器

就效率和输出能量而言,钇激光器并不吸引人。然而钇因具有两种令人感兴趣的波长而引人注目。YAG等晶体如果掺入高浓度的钇,就输出 $2.9\mu\text{m}$ 左右的波长;掺钇的磷酸玻璃输出 $1.54\mu\text{m}$ 的波长^[5]。这两种波长都能被水吸收,因此输出 $2.9\mu\text{m}$ 波长的激光器被用于医疗设备,而输出 $1.54\mu\text{m}$ 波长的激光器用在军用测距仪中,对人的眼睛不会造成伤害。除了这两种激光器以外,Er:YLF激光器也有其独特的应用特色。

Er^{3+} 离子有两个激光跃迁,其中 ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ 的激光跃迁对应于 $1.5 \sim 1.7\mu\text{m}$ 的波长,而 ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ 的激光跃迁对应于 $2.7 \sim 2.9\mu\text{m}$ 的波长。黄莉蕾等人^[6]研究了Er:YLF中 Er^{3+} 离子的光谱特征,通过与Er:YAG晶体的对比研究表明: ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ 跃迁的荧光谱线宽在YLF和YAG晶体中的比值为二倍多,通过计算可得在均以最佳掺杂浓度掺入时,增益系数之比 $G(\text{YLF})/G(\text{YAG}) \approx 0.2$ 。对于 ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ 跃迁, Er^{3+} 离子在YLF与YAG晶体中荧光谱线宽接近相等($\sim 10\text{cm}^{-1}$),因此可算出在相

同掺杂浓度、泵浦条件,相同晶体尺寸时, $G(\text{YLF})/G(\text{YAG})=2.8$ 。对于掺铒的激光晶体而言,可以获得应用的波长就是对应于 $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ 跃迁的 $2.7 \sim 2.9 \mu\text{m}$ 的激光,与Er:YAG晶体相比,Er:YLF激光增益增加,阈值降低,显示了在激光二极管(LD)泵浦方面的优异性能。除了Er:YAG激光器外,中外学者还研究过的Er激光器有Er:YAlO₃、Er:YLF和Er:Cr:YSGG等,在这些激光器中,激光二极管泵浦的Er:YLF激光器已经以脉冲和连续两种模式发射出激光^[7],显示了巨大的应用潜力。

2.3 镱激光器

Yb掺杂的激光晶体很早就被人研究,而Yb:YAG已经面世有几十年之久,但是由于它缺乏可见光泵浦带,因此并不引人注目。对于Yb掺杂的激光晶体,如果采用闪光灯等传统的泵浦源,其阈值就非常高。20世纪90年代,随着高功率激光二极管(LD)的迅速发展,研究人员意识到Yb掺杂的激光晶体的应用潜力^[8]。LD泵浦的Yb:YAG固体激光器的输出功率很快就赶上了在固体激光领域一直占垄断地位的Nd:YAG,从最初的23mW增加到千瓦量级^[9-10]。一般来说,准三能级Yb:YAG固体激光器的效率与大体积的Nd:YAG系统获得的总效率相当。不过由于Yb:YAG中的热负荷明显降低,因而小得多的Yb:YAG激光晶体产生的输出功率与大体积的Nd:YAG相当。而在Yb掺杂的氟化物激光晶体中,现在开展研究的有Yb:YLF和Yb:Ca₅(PO₄)₃F(Yb:FAP)晶体。

表2为Yb:YAG, Yb:FAP和Yb:YLF晶体的重要参量。

表2 Yb掺杂激光晶体的重要参量

参数	Yb:YAG ^[11]	Yb:YLF ^[12]	Yb:FAP ^[13]
激光波长/nm	1030	1018	1042
荧光寿命/ μs	951	2000 \pm 40	456
发射截面/ cm^2	2.1×10^{-20}	$5.3 \times 10^{-21} (\pi)$ $4.7 \times 10^{-21} (\sigma)$	3.678×10^{-20}
峰值吸收波长/nm	942	960 (π)	904, 982
吸收带宽/nm	18	12 (π)	4(904nm), 3(982nm)
吸收截面/ cm^2	7.7×10^{-21}	$7.78 \times 10^{-21} (\pi)$	4.95×10^{-20} (904nm) 4.792×10^{-20} (982nm)
掺杂密度/ cm^{-3}	1.38×10^{20}	5.4×10^{21}	3.299×10^{19}

从表2可以看出, Yb:FAP晶体的发射截面和吸收截面都明显优于Yb:YAG晶体。杨培志等人的研究表明^[13]: Yb:FAP晶体具有小的饱和能流密度 F_{ext} , 小的饱和泵浦功率密度 I_{sat} , 小的最低粒子分数

β_{min} 和最小泵浦功率 I_{min} , 它与Yb:YAG的对比如表3所示。比较Yb:YAG和Yb:FAP晶体的光谱性能参数可以看出: Yb:FAP晶体将具有阈值低、增益大、效益高等特点。但是FAP的硬度低, 又容易形成色心, 热导率比较低, 会导致很强的热畸变。由于这些缺点, FAP不能成为常用的激光材料; 但是Yb:FAP晶体还是适于高效LD泵浦的中、低功率的固体激光器。相对于Yb:YAG晶体, Yb:YLF的吸收截面和发射截面都比较低, 它的优点在于荧光寿命长, 但是Yb:YLF晶体的激光泵浦研究的结果并不理想, J. Kawanaka等人的研究^[14-15], 在77K的低温条件下, 尽管泵浦的最小能量由室温的270mW下降到23mW, 但是斜效率也由室温的50%下降到25%。因此, Yb:YLF晶体的激光应用还有待进一步研究。

表3 Yb:YAG和Yb:FAP晶体的泵浦性能

	$F_{\text{ext}}/$ ($\times 10^{23} \text{cm}^{-3}$)	β_{min}	$I_{\text{sat}}/$ ($\text{kW} \cdot \text{cm}^{-2}$)	$I_{\text{min}}/$ ($\text{kW} \cdot \text{cm}^{-2}$)
Yb:YAG	4.85	0.055	28	1.54
Yb:FAP	1.65	0.047	2.0	0.09

2.4 可调谐激光器

可调谐激光器的历史可以追溯到20世纪60年代的贝尔实验室的研究工作。在1963年, 贝尔实验室的研究人员报道了第一台电子振动激光器——掺镍的氟化镁(Ni:MgF₂)激光器^[16]。后来陆续将镍、钴或钒掺入MgF₂, MgO₂, MnF₂, ZnF₂和KMgF₃等基质材料中, 制造出一系列电子振动激光器^[17-19]。但是它们的缺陷表现在, 只有冷却到很低的温度时才能工作。经过不懈的研究, 贝尔实验室于1974年报道了首台室温电子振动激光器, 闪光灯泵浦的Ho:BaY₂F₈激光器^[20]。此后可调谐激光器的研究和开发, 取得了迅猛的发展。现在, 获得广泛应用和具有开发价值的氟化物激光器包括: Co:MgF₂, Cr:LiSAF和Tm:Ho:YLF激光器等。

2.4.1 Co:MgF₂激光器

在20世纪70年代中期, 麻省理工学院林肯实验室开始研究掺有Ni²⁺, Co²⁺和V²⁺等两价过渡金属的多种晶体。研究的大多数材料, 例如V:MgF₂等, 都有一个缺陷, 即受激态吸收使静增益降到一个不可接受的低值。不过有一个著名的例外, 即Co:MgF₂晶体, Co:MgF₂激光器仍然是十分有效的可调谐激光器。

图1是需要几组光学器件才能实现的Co:MgF₂激光器的调谐范围。由图1可以看出, Co:MgF₂激光器的调谐范围特别宽, 在1750 ~ 2500nm之

间^[21-22]。市售的这类激光器的泵浦源是发射 1.32 μm 波长的 Nd:YAG 激光器。该类激光器在 10Hz 重复频率时的输出能量为 980mJ;采用调 Q 技术后,单脉冲的输出能量大约为 20mJ^[23]。遥控传感和医疗应用激发了对中红外激光器的巨大需求,而 Co:MgF₂ 激光器也在该领域发挥重要的作用。

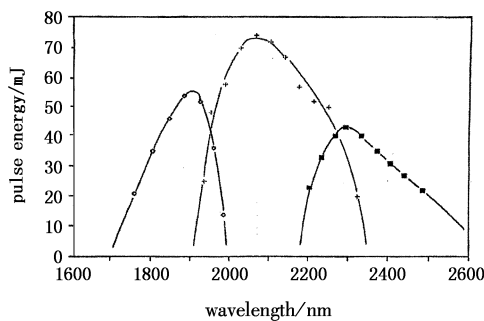


图1 Co:MgF₂ 激光器的调谐范围

2.4.2 Cr:LiSAF 激光器

1992 年,美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室成功地研制出两种可调谐激光晶体 Cr³⁺:LiCaAlF₆ (Cr:LiCAF) 和 Cr³⁺:LiSrAlF₆ (Cr:LiSAF)^[24]。其荧光光谱范围覆盖 800 ~ 1000nm 波段,并且在 630 ~ 690nm 之间有吸收带。由于 Cr:LiCAF 晶体的峰值发射是 Cr:LiSAF 的 1/4,而且存在严重的散射机制、引入大的损耗而较少在激光系统中使用,因此激光方面的研究集中在 Cr:LiSAF 晶体^[25-26]。

Cr:LiSAF 晶体为单轴晶体,是一种新铬离子与基质的组合,它的调谐范围在 780 ~ 920nm 之间,受激寿命为 67 μs 。Cr³⁺ 发射表现出很强的 π 偏振 (E//c),其吸收和发射光谱如图 2 所示^[27]。⁴T₂ → ⁴A₂ 跃迁的发射峰值出现在 830nm,发射截面为 4.8 × 10⁻²⁰。

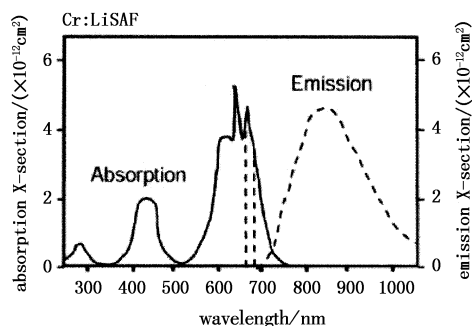


图2 Cr:LiSAF 晶体的吸收光谱和发射光谱

表 4 列出了 Cr:LiSAF 晶体与钛蓝宝石晶体的一些重要性能^[25-26]。Cr:LiSAF 晶体峰值发射的波长稍长于钛蓝宝石,但是光谱之间有很好的交叠。Cr:LiSAF 晶体的增益带宽比较窄,但是依然和钛蓝宝石相当。两种晶体的主要差别在于发射截面、荧

光时间、热性能和机械性能的不同。Cr:LiSAF 晶体的增益大约比钛蓝宝石低一个数量级,但是其荧光寿命长,能够产生有效的闪光灯泵浦。但是 LiSAF 晶体基质晶体的硬度相当低,机械稳定性和热物理性能差,影响了该晶体的应用。

表 4 Cr:LiSAF 晶体和钛蓝宝石晶体的性能

参数	Cr:LiSAF	钛蓝宝石
峰值波长/nm	850	790
线宽/nm	185	230
发射截面/(× 10 ⁻¹⁹ cm ²)	0.48	4.1
荧光寿命/ μs	67	3.2
折射率	1.41	1.76
散射损耗/cm ⁻¹	0.002	0
热膨胀系数/(× 10 ⁻⁶ · °C ⁻¹)	22	8.4
热导率/(W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	3.09	50

在激光应用中,Cr:LiSAF 晶体的泵浦源是闪光灯或者二极管泵浦的激光器^[28]。而 Cr:LiSAF 的宽带发射使其对飞秒锁模脉冲的发生和放大具有很大的吸引力。对于飞秒激光脉冲的发生,特别感兴趣的泵浦源是二极管泵浦的全固化可调谐激光器。现在已经开发出来的系统既有二极管泵浦的小型 Cr:LiSAF 锁模振荡器^[29],也有闪光灯泵浦的、棒直径达 25mm 的非常大的多级放大器^[30]。同时,Cr:LiSAF 晶体还用于内腔倍频的 LD 泵浦小型全固化蓝光激光器,1996 年,日立金属株式会社的研究人员佐藤正纯等研制出高稳定性的 430nm 的可调谐 Cr:LiSAF - KN 蓝激光器,输出功率大于 10mW^[31]。这些类型激光器在科研、工业、医学、军事等方面有广泛的潜在用途,蓝光激光器在未来的彩色显示、信息存储、蓝色光源等方面有广泛用途。

2.4.3 Tm:Ho:YLF 激光器

2 μm 波长的激光光源以其在大气传输的人眼安全特性,受到研究人员的关注。特别是近 10 年来,掺有三价稀土离子 Tm⁺³, Ho⁺³ 的固体激光器引起人们的很大兴趣。这种激光器被认为是应用于医学治疗,人眼安全远程探测系统,如:激光测距机、相干多普勒测风雷达、水蒸气抛面 DIAL 系统等的理想光源。同时,它还是获得 3 ~ 5 μm 波段光学参量振荡器的激光输出理想的泵浦源^[32]。现在主要研究的掺 2 μm 波长的激光器有 YAG, YLF 和 YAP 激光器等。其中,Tm:Ho:YAG 晶体存在着严重的能量转换上的损耗,所以 YAG 激光器选用的是 Tm:YAG 晶体^[33]。这些激光器的出现已经有些年头了,但是对于这些三能级激光器,闪光灯泵浦不是特别有效。

而激光二极管泵浦技术的发展,这些激光器在近几年来引起了人们浓厚兴趣。

表5为Tm:YAG, Tm:Ho:YAP和Tm:Ho:YLF晶体 $2\mu\text{m}$ 波段的激光特性^[33]。从表5可以看出:在 $2\mu\text{m}$ 波段上, Tm:Ho:YLF晶体的激光性能明显优于YAG和YAP晶体。而且YAG和YAP晶体激光性能受温度影响大,温度猝灭现象严重,并存在严重的热透镜效应, Tm:Ho:YLF晶体有负折射率温度系数,其热导率比YAG小1/2,热透镜效应特别低,具有良好的热稳定性。这些性能决定了Tm:Ho:YLF晶体是发射 $2\mu\text{m}$ 波长的首选材料。

表5 Tm:YAG, Tm:Ho:YAP和Tm:Ho:YLF晶体 $2\mu\text{m}$ 波段的激光特性

	Tm:YAG	Tm:Ho:YAP	Tm:Ho:YLF
最小泵浦功率/(kW·cm ²)	9.5	9.2	10.5
最大输出能量/mW	254	270	660
斜效率/%	25.6	19.3	38.9
光-光转换效率/%	8.5	9	22
激光波长/nm	2016	2120	2066

3 结论与展望

作为一种重要的激光基质材料,氟化物激光晶体伴随着固体激光器走过了半个世纪。在固体激光器的研究初始阶段, CaF₂, LaF₃, MgF₂, MnF₂, ZnF₂和KMgF₃等激光晶体在固体激光器的研究和开发中发挥了重要作用。现在,以YLF, LiSAF和MgF₂等仍然作为重要的激光基质材料,在固体激光领域扮演着重要的角色。与其他激光介质相比,氟化物激光晶体具有自发荧光寿命长、折射率受温度影响小、热透镜效应小等优点,具有良好的热稳定性,决定了氟化物激光晶体在未来依然具有巨大的应用价值。对于氟化物激光晶体将来的研究而言,设计和构建高效发光的结构环境,发展新的激光晶体尤为重要,因为寻找低于1300℃就能够均匀融化的、性能优良的晶体一直是晶体生长工作者的美好愿望。氟化物的低熔点决定了它比其他材料更具有能引起材料科学家的关注,设计和制备新型的复合氟化物激光基质材料将会成为氟化物激光晶体研究的热点。

参考文献:

- [1] Maiman T H. Stimulated optical radiation in ruby[J]. Nature, 1960, 187: 493 - 494.
- [2] Sorkin P P, Stevenson M J. Stimulated infrared emission from trivalent uranium[J]. Phys. Rev. Lett., 1960, 5: 557 - 559.
- [3] Geusic J E, Marcos H M, Van Uitert L G. Laser applications in Nd-doped yttrium gallium garnets [J]. Appl. Phys. Lett., 1964, 4: 182 - 184.
- [4] Koechner W. Solid-state laser engineering [M]. 5th Edition. Berlin: Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1999.
- [5] Snitzer E, Woodcock R. Yb³⁺ - Er³⁺ glass laser[J]. Appl. Phys. Lett., 1965, 6(3): 45 - 46.
- [6] 黄莉蕾, 纪元新, 陈晓竹, 等. Er:YLF晶体中Er³⁺离子的光谱特征[J]. 光子学报, 1996, 16: 1708 - 1013.
- [7] L Esterowitz. Growth. Characterization and applications of Laser Host and Nonlinear Crystals[J]. SPIE Proc., 1989, 1104: 216 - 210.
- [8] W F Krupke, L L Chase. Ground-state depleted solid-state laser principles, characteristics and scaling[J]. Opt. Quant. Electron., 1990, QE - 22: s1 - s22.
- [9] 徐军, 苏良碧, 徐晓东, 等. 激光晶体的现状及发展趋势[J]. 无机材料学报, 2006, 21: 1025 - 1030.
- [10] P Lacovara, H K Choi, C A Wang, et al. Room-temperature diode-pumped Yb:YAG laser[J]. Opt. Lett., 1991, 16(14): 1089 - 1090.
- [11] D S Sumida, T Y Fan. Room temperature 50 - mJ/pulse side-diode-pumped Yb:YAG laser[J]. Opt. Lett., 1995, 20(23): 2384 - 2386.
- [12] N Uehara, K Ueda, Y Kubota. Spectroscopic measurement of a high-concentration Yb³⁺:LiYF₄ crystal[J]. Jpn. J. Appl. Phys., 1996, 2, 35: 499 - 501.
- [13] 杨培志, 邓佩珍, 黄国松, 等. Yb:FAP晶体的光谱特性[J]. 光子学报, 1999, 28: 634 - 637.
- [14] J Kawanaka, K Yamakawa, H Nishioka, et al. Improved high-field laser of a diode-pumped Yb:LiYF₄ crystal at low temperature[J]. Optics Express, 2002, 10: 455 - 460.
- [15] J Kawanaka, H Nishioka, N Inoue, et al. Tunable continuous-wave Yb:YLF laser operation with a diode-pumped chirped-pulse amplification system [J]. Appl. Opt., 2001, 40: 3542 - 3546.
- [16] M J Weber, M Bass, K Andringa, et al. Czochralski growth and properties of YAlO₃ laser crystals[J]. Appl. Phys. Lett., 1969, 15: 342 - 345.
- [17] M J Weber, M Bass, T E Varitimos, et al. Laser action from Ho³⁺, Er³⁺ and Tm³⁺ in YAlO₃[J]. IEEE J., 1973, (9): 1079 - 1086.
- [18] R V Alves, R A Buchanan, K A Wickersheim, et al. Neodymium-activated lanthanum oxysulfide; a new high-gain laser material[J]. J. Appl. Phys., 1971, 42: 3043 - 3048.
- [19] R C Ohlmann, K B Steinbruegge, R Mazelsky. Spectroscopic and laser characteristics of neodymium-doped calcium fluorophosphates[J]. Appl. Opt., 1968, 7: 905 - 914.

- [20] L F Johnson, H J Guggenheim. Electronic-and phonon-terminated laser emission from Ho^{3+} in BaY_2F_8 [J]. IEEE J. ,1974,10:442 - 446.
- [21] P F Moulton. An investigation of the $\text{Co}:\text{MgF}_2$ laser system[J]. IEEE J. ,1985,21(10):1582 - 1595.
- [22] J Harrison, D Welford, P F Moulton. Threshold analysis of pulsed lasers with application to a room-temperature $\text{Co}:\text{MgF}_2$ laser[J]. IEEE J. ,1989,25:1708 - 1711.
- [23] J G Daly, C A Smith. 2 micron laser applications [J]. SPIE Proc. ,1992,1627:26 - 31.
- [24] S A Payne, W F Krupke, L K Smith, et al. 752 nm wing-pumped $\text{Cr}:\text{LiSAF}$ Laser [J]. IEEE J. ,1992,28:1188 - 1196.
- [25] S A Payne, L L Chase, H W Newkirk, et al. $\text{LiCaAlF}_6:\text{Cr}^{3+}$: a promising new solid-state laser material [J]. IEEE J. ,1988,24:2243 - 2252.
- [26] S A Payne, L L Chase, L K Smith, et al. Laser performance of $\text{LiSrAlF}_6:\text{Cr}^{3+}$ [J]. J. Appl. Phys. , 1989, 66: 1051 - 1055.
- [27] B Agate, B Stormont, A J Kemp, et al. Simplified cavity designs for efficient and compact femtosecond $\text{Cr}:\text{LiSAF}$ lasers [J]. Optics Communications,2002,205:207 - 213.
- [28] M Stalder, B H T Chai, M Bass. Flashlamp pumped $\text{Cr}:\text{LiSrAlF}_6$ laser [J]. Appl. Phys. Lett. ,1991,58(3):216 - 218.
- [29] P M W French, R Mellish, J R Taylor, et al. All-solid-state diode-pumped mode locked $\text{Cr}:\text{LiSAF}$ laser [J]. Electron. Lett. ,1993,29(14):1262 - 1263.
- [30] P A Beaud, M Richardson, E J Miesak. Multi-Terawatt Femtosecond $\text{Cr}:\text{LiSAF}$ Laser [J]. IEEE J. , 1995, 31: 317 - 325.
- [31] 佐藤正纯, 牧尾谕, 安藤哲生. LD 励起 $\text{Cr}:\text{LiSAF}$ - SHG 青色レーザーモジュール [J]. O plus E, 1997, 210:118 - 124.
- [32] G L Bourdet, G Lescroart. Theoretical modeling and design of a $\text{Tm},\text{Ho}:\text{YLiF}_4$ microchip laser [J]. Appl. Opt. , 1999,38:3275 - 3281.
- [33] 陆燕玲, 王俊, 孙宝德. $2\mu\text{m}$ 波段激光晶体研究进展 [J]. 无机材料学报, 2005, 20(3):513 - 521.

中国光协激光分会在京召开换届会议

中国光学光电子行业协会激光分会理事会换届会议于2008年12月23日在北京和平里大酒店举行。中国光协激光分会第五届理事会是于2004年4月28日在第五届会员代表大会上选举产生的,按照章程规定四年任期已满。激光分会换届会议由第五届理事会副理事长栾贵时主持,分会挂靠单位北京光电技术研究所所长陈光、分会秘书长刘宝胜以及分会各副理事长单位的代表、理事单位代表等共45人出席了换届会议。中国光学光电子行业协会副秘书长所洪涛出席了会议,并代表中国光协对激光分会换届会议的召开表示热烈祝贺。与会代表认真听取了激光分会秘书长刘宝胜代表第五届理事会理事长陆耀东所作的工作报告和财务工作报告,对四年来激光分会所作的卓有成效的工作给予肯定。

经过与会代表认真的讨论和民主协商,中国光协激光分会换届会议选举结果如下:

1)会议一致选举北京光电技术研究所等25个单位组成新一届常务理事会;

2)会议一致选举由北京光电技术研究所所长陈光担任第六届理事会理事长,江苏曙光光电有限责任公司总经理管小康、上海激光技术研究所所长王又良、武汉华工激光工程有限责任公司总经理闵大勇、中国科学院上海光机所所长朱建强、武汉楚天激光(集团)股份有限公司董事长孙文、深圳市大族激光科技股份有限公司总经理高云峰、上海团结普瑞玛激光有限公司总经理吴建国以及长春新产业光电有限公司总经理郑权任第六届理事会副理事长;

3)会议一致同意邓树森、崔淮文任中国光协激光分会第六届理事会名誉理事长;

4)会议一致选举邓树森任中国光协激光分会专家组组长,郭少陵、栾贵时、李正佳、张拯任副组长;

5)会议一致选举刘宝胜任中国光协激光分会第六届理事会秘书长,刘善坤(华中地区)、张伟(长三角地区)任副秘书长。

与会代表还就如何加强行业协会会员单位之间的合作联系、积极开展学术交流与技术合作等进行了认真、热烈、坦率的讨论,并向新一届理事会提出了不少积极、中肯的建议。在全场热烈的掌声中,陈光理事长代表新当选的第六届理事会领导班子向大会作了重要讲话。

中国光学光电子行业协会激光分会换届会议是一个团结、民主的大会,会议始终洋溢着坦诚、友好的热烈气氛。出席换届会议的代表对克服目前金融危机的不利影响,立足扩大内需、保持经济平稳较快增长充满了信心,努力在今后四年中实现我国激光产业持续、稳步的发展。

(激光分会秘书处 供稿)