

激光晶体研究进展

汤 洪 高

(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

目前,激光晶体研究领域吸引着大批的科学家和工程技术人员,长期以来他们在探索新型激光晶体材料,发现受激发射新机制和综合研究晶体特性与受激发射特性间关系等方面做出了卓著的贡献,为“激光晶体物理学”的发展奠定了坚实的基础。

本文试图通过回顾激光晶体研究的发展历史,简述当代激光晶体研究方面所取得的重要成就,说明激光晶体近期发展概况,展望今后发展方向。

一、激光晶体研究发展历史

六十年代初光受激发射的实现开辟了一个

量子电子学发展的新纪元,出现了一个方兴未艾的激光技术发展的新时代。回顾激光技术发展的短暂历史,不难看出各种晶体材料始终是研究的中心和焦点,追溯激光晶体的发展历史,可大体划分为三个主要的阶段^[3]:

(1) 1960年至1964年间,主要是收集有关激活晶体的光谱和受激发射特性方面的数据,为今后广泛的有目的研究和探索激光晶体奠定了基础。

(2) 1965年至1970年间,涌现出一大批研究成果,为晶体激光器在科学和应用方面开辟了道路。当时最有学术价值的争论是究竟哪种类型的激光晶体能提供高的激光效率。为此大量合成了一些有科学和应用价值的有序化合物

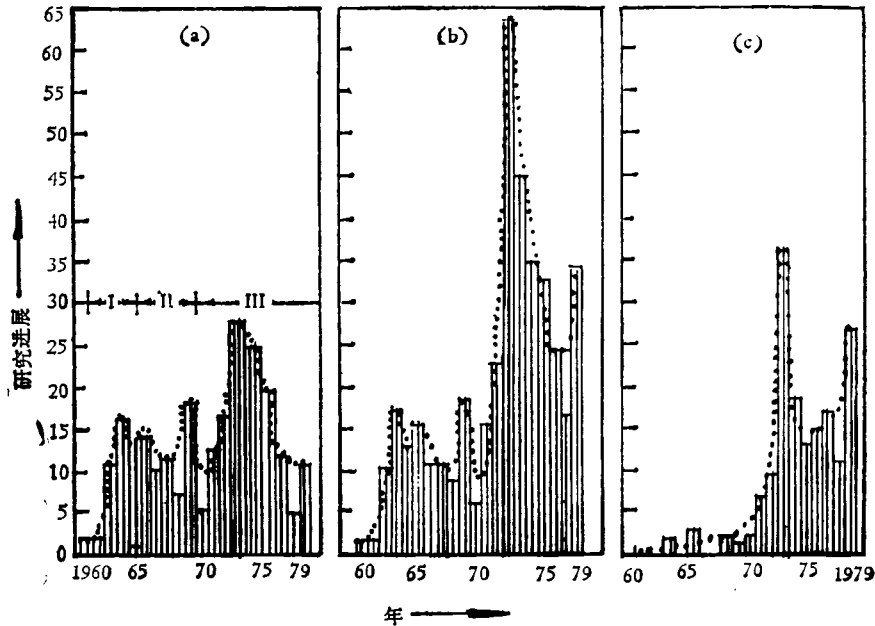


图1 1960年至1979年激光晶体光谱学研究进展^[3]

(a) 激光晶体的数目; (b) 实现的受激发射的数目; (c) 受激发射光谱学的相对贡献

和无序化合物晶体,使激光器的效率得到显著提高。

(3) 1971 年至今,每种类型的晶体激光器找到了它合适的应用范围,晶体之间存亡的竞争已变得不太激烈。至此,大量的研究工作,包括探索新晶体的研究工作,开始向着深入研究产生受激发射的物理过程和新的激励方法的方向发展,从而使原来提出的一些复杂的物理现象,象敏化机理和浓度淬灭等在原有粗浅认识的基础上得到了深入的研究。在这一期间,由理论和实验工作者密切合作,运用晶格场理论、稀土离子光谱和电子-声子相互作用理论,结合光谱分析方面的成熟技术,对一些更高级的光谱现象,像温度加宽、零声子线飘移,电子-振动光谱结构和多声子无辐射跃迁等现象开始进行系统的研究,使互不相关的第一阶段的探索性的研究发展到系统的有目的的探索特定性能新型激光晶体的阶段。

从图 1 可以清楚地看出这一发展过程。图 1(a) 表示每年发现的新的激光晶体数目。图 1(b) 表示每年在所发现的激光晶体上实现的受激发射谱线的数目。用图 1(b) 减去图 1(a) 中互相对应的数据绘成图 1(c)。由此可看出在不增加激光晶体数目的前提下,受激辐射跃迁的净增加,其增加趋势逐年上升,它代表着晶体光谱学研究所取得的重大成就。

二、激光晶体研究方面的成就

1. 激活离子与基质晶体

通过大量收集各种镧系、铈系和铁族离子在各种结晶介质中的光谱和受激发射数据,目前可以说已发现大约有五类 280 种^[3] 基质晶体掺入各种激活离子后,能看到受激发射输出。这五类基质晶体是:

(1) 有序结构型的简单氟化物晶体,如 LiYF_4 , LiH_2F_4 , MgF_2 等。

(2) 无序结构型的复合氟化物晶体,如 $5\text{NaF}9\text{YF}_3$, $\text{CaF}_2\text{-SrF}_2$, KF-MgF_2 等。

(3) 有序结构型的简单氧化物晶体,如

Al_2O_3 , BeAl_2O_4 , $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, $\text{KNdP}_4\text{O}_{12}$, $\text{LiNdP}_4\text{O}_{12}$ 等。

(4) 无序结构型的复合氧化物晶体,如 $\text{LiLa}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{Bi}_4(\text{Si,Ge})_3\text{O}_{12}$ 等。

(5) 其他类型的晶体,如 LaCl_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$ 等。

自从 1965 年 Nd 离子 $4F_{3/2} \rightarrow 4I_{9/2}$ 跃迁,1973 年 Nd 离子的 $4F_{3/2} \rightarrow 4I_{13/2}$ 跃迁成为重要的受激发射工作能级之后,在一些象 YAG 之类的优质基质中掺杂新型激活离子的研究急剧增加,至今已将下列三类共约 18 种离子掺入各种基质晶体,能稳定可靠地在约 90 个斯托克斯分支能级上产生受激发射。这三类离子是:

(1) 镧系金属离子: Pr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{2+} , Gd^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{2+} , Ho^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} , Tm^{2+} , Eu^{3+} , Yb^{3+} 。

表 1 石榴石结构型激光晶体^[3]

基 质	激 活 离 子				
	Nd ³⁺	Ho ³⁺	Er ³⁺	Tm ³⁺	Yb ³⁺
$\text{CaMg}_2\text{Y}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	✓				
$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	✓	✓	✓	✓	✓
$\text{Y}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$	✓				
$\text{Y}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$	✓				
$\text{Y}_3\text{Fe}_3\text{O}_{12}$		✓			
$\text{Y}_3\text{Ga}_3\text{O}_{12}$	✓	✓			
$(\text{Y, Yb})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$					✓
$(\text{Y, Lu})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	✓				
$\text{Ba}_{0.23}\text{Mg}_{2.77}\text{Y}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	✓				
$\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$	✓				
$\text{Gd}_3\text{Ga}_3\text{O}_{12}$	✓				
$\text{Ho}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$		✓			
$\text{Ho}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$		✓			
$\text{Ho}_3\text{Ga}_3\text{O}_{12}$		✓			
$\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$			✓	✓	
$\text{Er}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$		✓			
$(\text{Er, Tm, Yb})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$		✓			
$(\text{Er, Yb})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$				✓	
$(\text{Er, Lu})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$			✓		
$\text{Yb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$		✓	✓		
$(\text{Yb, Lu})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$					✓
$\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	✓	✓	✓	✓	✓
$\text{Lu}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$	✓				✓
$\text{Lu}_3\text{Ga}_3\text{O}_{12}$	✓				✓
$(\text{Y, Er})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$		✓	✓	✓	
$\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$	✓				✓

(2) 过渡族金属离子: Cr^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , V^{2+} .

上述激活离子掺入基质晶格中按其激光运转机制分为如图 2 所示的二类 (三能级和四能级) 四种。

(3) 铜系金属离子: U^{3+} .

表 2 高浓度自激活晶体及其受激发射性能^[3]

晶 体	空间群	激活离子百分含量	发射波长 (μm)	运转温度 (K)	运转模式	阈 值 (W 或 J)	荧光寿命 (ms)	能级跃迁
LiHoF_4	$C_{4h}^1-I4_1/a$	Ho^{3+} , 100	0.979	≈ 90	脉冲	6—7	0.04	$^3F_2 \rightarrow ^3I_7$
HoF_3	D_{2h}^1-Pnma	Ho^{3+} , 100	2.090	77	脉冲	≈ 1	2.6	$^3F_2 \rightarrow ^3I_5$
$\text{LiNdP}_4\text{O}_{12}$	C_{2h}^1-C3/c	Na^{3+} , 100	1.0477($//a$)	300	脉冲	0.013	0.325	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{KNdP}_4\text{O}_{12}$	$C_{2h}^1-P2_1$	Nd^{3+} , 100	1.32($//b$)	300	连续	4.3×10^{-2}	0.275	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$
$(\text{Y}, \text{Er})_3\text{Al}_2\text{O}_{12}$	O_h^1-Ia3d	Er^{3+} , ≈ 30	2.9364	300	脉冲	190	0.1	$^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$
$(\text{Y}, \text{Yb})_3\text{Al}_2\text{O}_{12}$	O_h^1-Ia3d	Yb^{3+} , ≈ 35	1.0293	77	脉冲	2	≈ 0.35	$^2F_{3/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$
$\text{NdAl}_3(\text{BO}_3)_4$	$D_{3h}^1-R3_2$	Nd^{3+} , 100	1.0635	300	准连续	≈ 0.001	0.019	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{NdP}_4\text{O}_{12}$	$C_{2h}^1-P2_1/c$	Nd^{3+} , 100	1.0512	300	脉冲	4×10^{-3}	0.31	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{Ho}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}$	O_h^1-Ia3d	Ho^{3+} , 100	2.1294	90	脉冲	27	—	$^3I_7 \rightarrow ^3I_8$
$\text{Ho}_3\text{Sc}_2\text{Al}_2\text{O}_{12}$	O_h^1-Ia3d	Ho^{3+} , 100	2.1170	77	脉冲	150	—	$^3I_7 \rightarrow ^3I_8$
$\text{Ho}_3\text{Ga}_2\text{O}_{12}$	O_h^1-Ia3d	Ho^{3+} , 100	2.1135	77	脉冲	65	—	$^3I_7 \rightarrow ^3I_8$
$\text{Er}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}$	O_h^1-Ia3d	Er^{3+} , 100	2.9367	300	脉冲	12	0.07	$^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$
$(\text{Er}, \text{Lu})_3\text{Al}_2\text{O}_{12}$	O_h^1-Ia3d	Er^{3+} , 35	2.8298	300	脉冲	12	0.11	$^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$
$(\text{Er}, \text{Lu})_3\text{Al}_2\text{O}_{12} \cdot \text{TM}^{2+}$ Ho^{3+}	O_h^1-Ia3d	Er^{3+} , 33	2.6990	300	脉冲	20	0.11	$^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$
$(\text{Yb}, \text{Lu})_3\text{Al}_2\text{O}_{12}$	O_h^1-Ia3d	Yb^{3+} , 35	1.0294	77	脉冲	10	0.4	$^4F_{3/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$
$\text{Li}(\text{Nd}, \text{La})\text{P}_4\text{O}_{12}$	C_{2h}^1-C2/c	Nd^{3+} , 50	1.0477	300	连续	1	0.19	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{Li}(\text{Nd}, \text{Gd})\text{P}_4\text{O}_{12}$	C_{2h}^1-C2/c	Nd^{3+} , 50	1.0477	300	连续	0.003	0.18	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{NaNd}(\text{PO}_4)_2$	D_{2h}^1-Pbcm	Nd^{3+} , 100	≈ 1.05	300	连续	—	0.023	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{NaNd}(\text{WO}_4)_2$	$C_{4h}^1-I4_1/a$	Nd^{3+} , 100	≈ 1.063	300	连续	3×10^{-4}	0.09	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{Na}(\text{Nd}, \text{Gd})(\text{WO}_4)_2$	$C_{4h}^1-I4_1/a$	Nd^{3+} , 20—50	1.06	77	脉冲	4.5	0.18	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{KNd}(\text{PO}_4)_2$	$C_{2h}^1-P2_1/m$	Nd^{3+} , 100	1.06	300	—	—	0.021	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{K}_3(\text{Nd}, \text{La})(\text{PO}_4)_3$	$C_{2h}^1-P2_1/m$	Nd^{3+} , 20—40	1.06	300	—	—	0.45	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$\text{K}_2\text{Nd}(\text{MO}_4)_2$	$D_{2h}^1-R\bar{3}m$	Nd^{3+} , 100	1.066	300	脉冲	0.025	0.07	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$(\text{Nd}, \text{Sc})\text{P}_4\text{O}_{12}$	$C_{2h}^1-P2_1/c$	Nd^{3+} , 50	1.051	300	连续	0.004	0.30	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$(\text{Nd}, \text{In})\text{P}_4\text{O}_{12}$	$C_{2h}^1-P2_1/c$	Nd^{3+} , 75	1.051	300	脉冲	—	0.10	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$(\text{Nd}, \text{La})\text{P}_4\text{O}_{12}$	$C_{2h}^1-P2_1/c$	Nd^{3+} , 50	1.051	300	脉冲	2×10^{-3}	0.03	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
$(\text{Nd}, \text{Gd})\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$	$D_{3h}^1-R3_2$	Nd^{3+} , 50	1.0635	300	—	—	0.025	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
PrCl_3	$C_{6h}^1-P6_3/m$	Pr^{3+} , 100	0.489	5.5—14	脉冲	—	0.012	$^3P_0 \rightarrow ^3F_2$
PrBr_3	$C_{6h}^1-P6_3/m$	Pr^{3+} , 100	0.649	300	脉冲	—	0.001	$^3P_0 \rightarrow ^3F_2$
PrBr_3	$C_{6h}^1-P6_3/m$	Pr^{3+} , 100	0.622	—	脉冲	—	0.001	$^3P_0 \rightarrow ^3H_6$

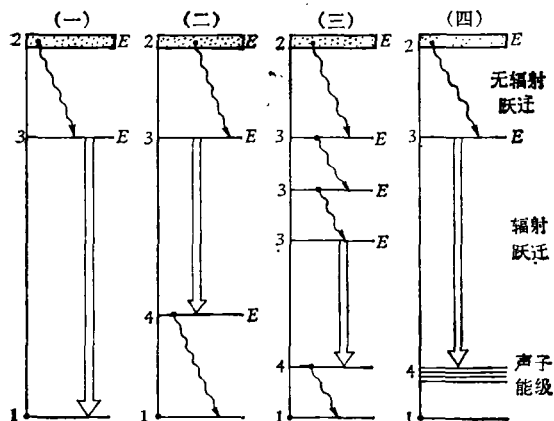


图2 三能级(一)和四能级(二,三,四)能级跃迁示意图

图2中(一)代表 Cr^{3+} (R线), Tm^{2+} , U^{3+} 的三能级跃迁; (二)代表 Pr^{3+} , Nd^{3+} , Eu^{3+} , Tb^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} , Ho^{3+} 的四能级跃迁; (三)代表 Cr^{3+} , Co^{2+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{2+} , Gd^{3+} , Dy^{3+} , Dy^{2+} , Ho^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} , Yb^{3+} , U^{3+} 的四能级跃迁; (四)代表 V^{2+} , Cr^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Sm^{2+} , Ho^{3+} 的四能级跃迁。

2. 石榴石结构型激光晶体

在品目繁多的激光晶体中,以具有 $\text{A}_3\text{B}_2\text{O}_{12}$ 型石榴石结构型的化合物研究最为充分和详尽,已获得大约30余种石榴石型的基质晶体,已在这些基质中掺入五种 Re^{3+} 稀土离子,并实现受激发射。表1综合列出这些已研究过的石榴石型激光晶体,其中 Nd^{3+} 离子可掺入13种基质晶体。这30种激光晶体受激发射波长覆盖 $0.86\text{--}3.0\ \mu\text{m}$ 范围,有13对多重态分支实现受激辐射,由此可见石榴石型晶体在激光晶体物理和晶体光谱学研究中象它们在磁学中一样占相当重要的位置。

3. 高浓度自激活晶体

跟光纤通讯和集成光学相适应,在激光晶体研究中,另外一个相当活跃的分支是研究和探索高浓度自激活激光晶体。目前已研制成多磷酸盐、硼酸盐、钨酸盐、氟化物等多系列高浓度自激活晶体。在这类晶体中,激活离子之间被大的含氧酸根或氟离子屏蔽,使得它在本身浓度很高的情况下,基本上不会发生由于交叉

弛豫而引起的荧光淬灭效应,因此发光量子效率比其它类型的激光晶体要高,阈值要低。表2列出29种高浓度自激活激光晶体及其受激发射特性。

4. 可调谐激光晶体

可调谐激光晶体的出现是近年来一项重大突破,它为晶体激光器的发展和在新领域中的应用开辟了一条广阔的道路。目前所研究的可调谐晶体有三种类型:

(1) $d-f$ 跃迁类型

某些含二价或三价镧系离子的晶体中,激活离子通过电子-振动能级跃迁往往在紫外、可见和红外光谱区产生强而宽的荧光光谱带,而其量子效率很高。已发现在氟化物和氧化物晶体中,象 Ce^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Er^{3+} 和 Sm^{2+} , Eu^{2+} , Yb^{2+} 等离子 $5f-4f$ 电子壳层间能级的跃迁,适合发展为可调谐激光晶体。 $\text{Ce}^{3+}:\text{LiYF}_4$ 就是一种很好的紫外可调谐激光晶体^[4]。当然镧系离子 $5f$ 壳层能级也有很强的跃迁,但由于放射性的危险限制了它们的研究和发展。

(2) 声子边带跃迁型

美国麻省理工学院林肯实验室^[5,6]用掺铁族离子的氟化物和氧化镁晶体研制成声子边带跃迁型激光器,近期结果(表3)表明高效率近红外可调谐激光器将很快研制成功。在这类调谐激光晶体中,还有美国联合化学公司近期研制和开发的金绿宝石($\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$)可调谐激光晶体^[7],它具有优异的物理化学性能和激光特性^[8](表4),可方便地用闪光灯抽运,能在室温和高于室温下作长脉冲、调Q和连续运转输出,调谐范围 $700\text{--}818\text{nm}$,连续输出可达 30W ,脉冲平均输出功率 35KW 。据联合化学公司产品发展部1981年宣称,目前该部已能将非常出色的金绿宝石激光器作为商品出售给科研和军事应用部门,并拟订出发展规划,打算用金绿宝石激光器将成千上万台已装备军事部门的 $\text{Nd}:\text{YAG}$ 激光装置加以改进。麻省理工学院和联合化学公司在可调谐激光晶体方面所取得的上述成果,激起了人们在探索含铁族离子新激光晶体方面的兴趣。

表3 声子边带跃迁型激光晶体及其激光性能

基质	激活离子	工作温度 (K)	输出波长 (μm)	跃迁	荧光寿命 (ms)	输出	
						连续	脉冲
MgF ₂	Ni ²⁺	80	1.61—1.74	3F ₂ →3A ₂	11.5	100mW(TEM ₀₀)	140W(480ns) 100次/s
MgF ₂	Co ²⁺	80	1.63—2.08 (2.2)	4T ₂ →4T ₁	1.3	100mW(TEM ₀₀)	
MgF ₂	V ²⁺	77	1.121	4T ₂ →4A ₂	2.3		
MgO	Ni ²⁺	80	1.32	3F ₂ →3A ₂	—	9W(多模) 6.5W(TEM ₀₀)	
MgO	Ni ²⁺	235	1.41	3T ₂ →3A ₂	—	准连续	
MgO	Ni ²⁺	300	—	3T ₂ →3A ₂			
MnF ₂	Ni ²⁺	77	1.915	3T ₂ →3A ₂	11.1		
ZnF ₂	Co ²⁺	77	2.168	4T ₂ →4T ₁	0.4		
KMnF ₃	Co ²⁺	77	1.821	4T ₂ →4T ₁	3.1		

表4 金绿宝石 (Cr²⁺BeAl₂O₄) 激光器与其他激光器性能比较^[7]

性能 \ 晶体或其他材料	金绿宝石	红宝石	若丹明 6G	石榴石	磷酸盐玻璃
能级类型	4	3	4	4	4
输出波长 (nm)	700—818	694	540—640	1064	1040
阈值 (J)	10	200	10	4	4
效率 (%)	2.5	0.5	1.0	2.5	3.5
非线性折射率系数 (10 ⁻¹² m ² /J)	0.8	1.1	5	3.2	1.1
热导 (W/cmK)	0.23	0.35	0.0006	0.13	0.0074
热膨胀 (10 ⁻⁶ /K)	6	5	70	7	9

表5 色心晶体及其激光特性

色心晶体	色心类型	泵浦源	效率 %	调谐范围 (μm)	输出 (mW)
KCl:Li	F _A (II)	Kr ⁺ , Ar ⁺ 激光器	9.1	2.5—2.95	240
RbCl:Li	F _A (II)	Kr ⁺ 激光器	2.5	2.75—3.05	55
KCl:Na	F _B (II)	Kr ⁺ , Ar ⁺ 激光器	2.3	2.25—26	35
RbCl:Na	F _B (II)	Kr ⁺ 激光器	2.1	2.5—2.9	6
LiF	F ₂ ⁺	0.647 μm , 4W	—	0.82—1.05	1800
KF	F ₂ ⁺	1.06 μm , 5W	—	1.22—1.50	2700
NaCl	F ₂ ⁺	1.06 μm , 5W	—	1.40—1.75	1000
NaF	E ₂ ⁺	0.87 μm , 1W	—	0.99—1.22	400
KCl	(F ₂ ⁺) _A	1.34 μm , 0.1W	—	1.62—1.93	12

(3) 碱卤化合物色心激光晶体

解决发展可调谐激光器的另一条途径是根据碱卤化合物(如 KCl, LiF, KI, NaF 等)中由晶格和杂质缺陷而产生的色心发光特性,利用比较成熟的可调谐染料激光器技术来发展可调谐色心激光器,表 5 列出已发现的主要的 F 型色心激光晶体。当前发展色心激光器要解决的最迫切的问题是改善色心的热稳定性和光稳定性,扩充色心激光晶体的品种,特别应强调要致力探索那些室温下性能稳定、调谐范围宽的色心激光晶体。

5. 自倍频激光晶体(激活铁电体)

长期以来这是一个非常吸引人的研究课题,为探索这种晶体曾进行过大量的理论和实验研究,其目的是将光的受激发射现象和非线性光学效应综合成一体,用激活离子掺入到非线性光学晶体中去的办法来产生一种新型的光谱波发生装置。Johnson 和 Ballman 在 1969 年做成第一台演示性的自倍频激光器^[9]。在他们的工作中,将 Tm^{3+} 离子掺入铁电体单晶 $LiNbO_3$ 中,在同-块晶体中将 $^3H_4-^3H_6$ 跃迁产生的 $1.8532\mu m$ 受激发射自倍频成 $0.9266\mu m$ 激光输出,但后来其他学者对 Nd^{3+} 掺杂的 $LiNbO_3$, $Ca_{0.25}Ba_{0.75}(NbO_3)_2$, $Ba_2Na_2Nb_5O_{15}$, $Cd(MoO_4)_2$ 等晶体进行研究,均未获得自倍频激光输出。目前这方面的研究暂时进展不大,通过深入细致的研究和理论探讨,将来有可能取得新的突破。

三、今后发展方向与任务

展望未来,可以预期那些能在室温下在紫外、可见和红外光谱区,特别是 $2-5\mu m$ 产生受激发射的激光晶体将会继续被深入研究,得到优先发展。发展的主要趋势是综合运用量子电子学、光谱学和结晶学方面的知识和先进技术,由科学家和工程技术人员共同协力在下述几个方面进行深入研究:

(1) 探索新型的含镧系、铜系和铁族离子的激光晶体。

(2) 探索晶体激光器运转的新机制和激发(包括非光学激发)的新原理、新方法。

(3) 辐射跃迁频率(或波长)的精确测量。

(4) 在更宽的温度范围下研究辐射跃迁的温度行为,以及深入研究受激发射主要参数(例如阈值)跟激活介质一些最重要的光谱特性之间的关系。

(5) 运用受激发射光谱学的方法分析杂质离子间能量转移过程,从理论上弄清这种能量转移过程对研究如何提高晶体的受激发射效率有重要意义。

(6) 对象温度飘移、零声子线加宽以及非辐射跃迁温度相关性等电子-声子相互作用现象进行综合光谱研究,以期达到发掘激光晶体可调谐潜力和扩展新波段的目的。

(7) 为建立激活离子在激光晶体中的可靠的多重态晶场分裂图,还应深入开展综合光谱学分析方面的研究。

总之,从目前国际上各研究小组在上述所列的几项研究方面取得的进展来看,在逐步解决上述关键性问题的基础上,可以预期激光晶体在未来的十年中将会像六十年代初期那样为激光技术的发展做出新贡献。

感谢薛家恒同志帮助绘制图表。

参 考 文 献

- [1] T. H. Maiman, *Nature*, **187** (1960), 493—494.
- [2] H. Г. Басов и А. М. Прохоров, *ЖЭТФ*, **27** (1954), 431.
- [3] A. A. Kaminskii, *Laser Crystal, Translation* Edited by H. F. Ivey, Berlin Heidelberg, New York, (1981).
- [4] D. J. Enrlich, *Opt. Lett.*, **4**(1979), 184.
- [5] P. F. Moulton, *Appl. Phys. Lett.*, (1979), 838.
- [6] L. F. Johnson, *Phys. Rev. A*, **149** (1966), 179.
- [7] *Laser Focus* **17-4** (1981), 36—40.
- [8] John C. Walling et al., *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-16** (1980), 1302—1314.
- [9] L. F. Johnson, A. A. Ballman, *J. Appl. Phys.*, **40** (1969), 297—302.