

激光新晶体材料的发展(综述)

中国科学院福建物构所 陈长康

引言

除了常用的红宝石和钕铝石榴石外,在激光晶体发展的前十年左右时间内,还研制出另外一些各具特点的晶体品种。例如:1962年研制出的 $\text{CaF}_2-\text{Dy}^{2+}$,到1972年得到了应用,可作为低温下高连续功率运转的工作物质;1968年出现的 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}-\text{Nd}^{3+}$,输出效率高达8%;1970年发展起来的硅氧磷灰石型激光晶体,改进了氟磷酸钙晶体的物化性能,是一种中等增益的高储能材料;1971年出现的 $\text{La}_2\text{O}_2\text{S}-\text{Nd}^{3+}$ 激光晶体具有较强的吸收带和大的跃迁截面;混和石榴石的出现主要是希望保持YAG良好的物化性能,而进一步改善其生长和光谱特性; $\text{CeCl}_3-\text{Nd}^{3+}$ 晶体的激励阈值非常低,曾作为光通讯用的小型激光器的考虑方案……。

最近十年来,在受激发射光谱学的深入发展和社会需要的推动下,激光新晶体的研制出现了一些新的动向:

一、化学计量比激光晶体

为了使固体激光器小型化,在器件方面,加强研制匹配良好的长寿命高亮度发光二极管耦合泵浦、太阳能泵浦和薄膜、波导激光器,继续寻找其它的泵浦方式;在材料方面,也研制出许多高浓度自激活的激光晶体,即化学计量比激光晶体,它也许能弥补半导体激光器模特性差、发射角大、受温度影响大的不足。它们主要分几种类型:

(1)石榴石型:如 $\text{Ho}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ 、 $\text{Ho}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ 、 $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ 、 $\text{Ho}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$ 、 $\text{Er}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ 等。

(2)卤化物型:如 HoF_3 、 PrCl_3 、 PrBr_3 、 LiHoF_4 、 LiErF_4 、 $\text{K}_5\text{NdLi}_2\text{F}_{10}$ 以及氯磷灰石 $\text{Na}_2\text{Nd}_2\text{Pb}_6(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2$ 等。

(3)磷酸盐,包括五磷酸盐 $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ 、 $(\text{Nd},\text{Me})\text{P}_5\text{O}_{14}$ (其中 $\text{Me}=\text{Y},\text{In},\text{Gd},\text{Ce},\text{La},\text{Sc}$ 等),四磷酸盐 $\text{LiNdP}_4\text{O}_{12}$ 、 $\text{NaNdP}_4\text{O}_{12}$ 、 $\text{KNdP}_4\text{O}_{12}$ 、 $\text{Li}(\text{Nd},\text{Gd})\text{P}_4\text{O}_{12}$ 和正磷酸盐 $\text{K}_3\text{Nd}(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{Na}_3\text{Nd}(\text{PO}_4)_2$ 等。

(4)钨酸盐和钼酸盐,如 $\text{Na}_5\text{Nd}(\text{WO}_4)_4$ 、 $\text{KEr}(\text{WO}_4)_2$ 、 $\text{K}_5\text{Nd}(\text{MoO}_4)_4$ 等。

(5)硼酸盐,如 $\text{NdAl}_3(\text{BO}_3)_4$ 、 $\text{Nd}(\text{Al},\text{Cr})_3(\text{BO}_3)_4$ 、 $\text{Nd}(\text{Ga},\text{Al})_3(\text{BO}_3)_4$ 、 $\text{Nd}(\text{Ga},\text{Cr})_3(\text{BO}_3)_4$ 、 $(\text{Nd},\text{Gd})\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$ 等。

现将一些有代表性的晶体某些性质列于表1,并分叙如下。

表1 一些化学计量激光晶体与YAG—Nd(%)比较

晶 体	空 间 群	Nd 位 置 对 称 性	Nd ³⁺ 浓度 10 ²¹ cm ⁻³	荧光寿命 μs	跃迁截面 10 ⁻¹⁹ cm ²
YAG—Nd	O _h ¹⁰ —Ia3d	D ₂	0.14	255	4—7
NdPP	C _{2h} ⁵ —P2 ₁ /C	1	4.0	120	1.1
LNP	C _{2h} ⁸ —C2/C	2	4.37	120	3.2
NdNa ₅ (WO ₄) ₄	C _{4h} ⁶ —I4 ₁ /a	4	2.6	85	5—10
NdAl ₃ (BO ₃) ₄	D ₃ ⁷ —R32	32	5.43	19	8
K ₅ NdLi ₂ F ₁₀	D _{2h} ¹⁶ —Pnma	m	3.61	300	0.8

1、磷酸盐:五磷酸钕(NdPP), 1972年由贝尔实验室的weber等人提出, 其含Nd³⁺浓度约比1%掺杂的YAG高30倍, 但由于NdO₈多面体的相互隔离, 大大减弱了荧光猝灭效应, 曾用0.8 μKr 激光纵向泵浦, 连续运转的阈值仅0.6mw; 四磷酸锂钕(LNP), 1975年日本的山本智秋报道, 其激活浓度和跃迁截面比NdPP还高, 而荧光 linewidth 又比较窄, 因此有比NdPP高二倍的增益系数, 曾用0.514 μ的氩离子激光泵浦, 阈值为0.14mw。

2、高浓度钕磷酸盐玻璃: 1973年Webert在研究NdPP单晶基础上报导了NdP₅O₁₄玻璃在200mj 阈值下的激光效应, 目前已有NdP₅O₁₄, BaNdP₅O₁₄, LiNdP₄O₁₂, KNdP₄O₁₂, NaNdP₄O₁₂, BaNd₂P₈O₂₄ 等品种激光玻璃, 它可以做成非晶态薄膜用于半导体发光二极管泵浦的小型激光器中, 也很容易拉制出大尺寸的激光玻璃用于一般激光器件中, 可从低温到500K°的温度范围内即可工作, 在Nd³⁺的4F_{3/2}→4I_{11/2}及4I_{13/2}频道上实现激光运转, 其阈值已接近单晶阈值, 动态效率达4%, Q开关运转性能优于YAG单晶棒。

3、NdNa₅(WO₄)₄: 报导于1974年, 其吸收泵光的能力强, 跃迁截面大, 曾用0.58 μ染料激光泵浦, 阈值为0.33mw。

4、NdAl₃(BO₃)₄(NAB): 1974年提出, 它的激活浓度和跃迁截面高于NdPP, 而且化学稳定性高, 用0.58 μ染料激光器泵浦, 阈值为0.55mw。它是一种无中心对称空间群的晶体, 具有较强的电光和非线性效应。用Cr³⁺敏化的NAB和NGB晶体已实现了薄膜和波导激光运转。

以上几种高浓度激活晶体的荧光寿命都不长, 而1978年报导的K₅NdLi₂F₁₀(KNLF)具有较长的荧光寿命, 而且荧光猝灭率也比NdPP低, 因此它可能是微型脉冲激光器有力的候选者, 也可作为猝灭机制的基础理论的研究对象; 另外, 能采用电激励的化学计量比稀土硫化物, 硒化物半导体, 也已成为室温工作的高效小型化的激光材料。

二、增益或储能比YAG—Nd³⁺高的掺杂激光晶体。

1966年研制出的掺锂的钽酸钕晶体, 近年来由于晶体质量的提高而引起重视。A轴YVO₄

—Nd³⁺的跃迁截面比YAG—Nd³⁺大4.6倍,尽管晶体的内耗(主要由铈颗粒的散射引起的)比YAG大得多,但在1.06 μ和1.34 μ激光的连续输出效率和阈值都与YAG相当或更好,而且它是各向异性晶体,输出线偏振光,还可以代替方解石晶体,不过其物化性能,如热导、热膨胀系数、硬度等均劣于YAG晶体。

掺铈的铍酸铜晶体是美国1976年一百种工业新产品中二种晶体之一,它用引上法易于生长无核心单晶,能输出线偏振光,其长脉冲效率比YAG—Nd³⁺高60%、Q开关储能能力大1.5—2倍,抗光损伤能力也比YAG大,是一种有前途的中等增益激光晶体。但是其物化性能比YAG稍差、BeO有毒,操作上要注意防护。

三、多掺杂的氟化钇镱激光晶体。

从1966年就开始研制,这类晶体抗紫外辐射能力强,不易产生色心,适合于紫外光泵浦;可掺入多种激活离子和敏化离子,目前已能在19个跃迁频道上(见表2)运转,包括了现有激光晶体的最短和最长的输出波长,许多能在室温下工作,如从Er³⁺、Tm³⁺敏化的YLF—Ho³⁺是室温下2 μ附近有效的Q开关工作物质;YLF—Nd³⁺的荧光寿命长达500 μs,是中等增益的储能材料;掺Tb³⁺或Pr³⁺的YLF晶体均实现了室温下的兰绿光输出;在Ho³⁺和Er³⁺共激活的YLF晶体中二种激活离子有着相互敏化的能量转移,能有效地吸收泵光,已制成0.75 μ(Ho³⁺, ⁵S₂→⁵I₇)和0.85 μ(Er³⁺, ⁴S_{3/2}→⁴I_{13/2})的双色激光器;LiYbF₄—Ho³⁺已实现了室温下3 μ(⁵I₆→⁵I₇)和2 μ(⁵I₇→⁵I₈)附近的阶式激光运转;而YLF—Ce³⁺则是5D—4f跃迁紫外可调谐激光晶体。但是它的物化性能比YAG差,而且不易长出高质量单晶。

表 2 LiYF₄激光晶体的跃迁频道

激 活 离 子	激 光 跃 迁	波 长, μ	激 活 离 子	激 光 跃 迁	波 长, μ
Ce ³⁺	⁵ D→ ⁴ F	0.305—0.335	Er ³⁺	⁵ I ₆ → ⁵ I ₇	2.9
Tm ³⁺	¹ D ₂ → ³ F ₄	0.453		⁵ I ₅ → ⁵ I ₆	3.9
Pr ³⁺	³ P ₀ → ³ H ₄	0.479		⁴ S _{3/2} → ⁴ I _{13/2}	0.85
Tb ³⁺ (Gd敏化)	⁵ D ₄ → ⁷ F ₅	0.545		⁴ F _{3/2} → ⁴ I _{11/2}	1.23
Ho ³⁺	⁵ S ₂ → ⁵ I ₇	0.750		⁴ S _{3/2} → ⁴ I _{9/2}	1.73
(Er ³⁺ , Tm ³⁺ 敏化)	⁵ F ₅ → ⁵ I ₇	0.979	Nd ³⁺	⁴ I _{11/2} → ⁴ I _{13/2}	2.81
	⁵ S ₂ → ⁵ I ₆	1.014		⁴ F _{3/2} → ⁴ I _{11/2}	1.047(π)
	⁵ S ₂ → ⁵ I ₅	1.396			1.053(σ)
	⁵ F ₅ → ⁵ I ₆	1.486			
	⁵ I ₅ → ⁵ I ₇	1.67			
	⁵ I ₇ → ⁵ I ₈	2.067			
	⁵ F ₅ → ⁵ I ₅	2.352			

四、室温3 μ附近工作的自饱和激光晶体

在激光化学、光谱学和半导体物理的一些技术中,需要有2—3 μ或更长波长的激光,在

这些波段上研究晶格对激活离子的影响可以取得有关多声子无辐射跃迁理论的基本数据。

早在六十年代初就实现了 $\text{CaF}_2-\text{U}^{3+}$ 的 $2.6\text{ }\mu$ 室温激光运转, 1967年又研制出混合氟化物 $\text{CaF}_2-\text{ErF}_3-\text{TuF}_3-\text{Er}^{3+}$ 的 $2.69\text{ }\mu$ 室温工作激光器, 到现在已发展了几十种晶体, 它们主要是利用 Ho^{3+} 的 ${}^5\text{I}_6\rightarrow{}^5\text{I}_7$ 、 Er^{3+} 的 ${}^4\text{I}_{11/2}\rightarrow{}^4\text{I}_{13/2}$ 以及 U^{3+} 的 ${}^4\text{I}_{11/2}\rightarrow{}^4\text{I}_{9/2}$ 感应跃迁, 另外 $\text{BaY}_2\text{F}_8-\text{Dy}^{3+}$ 的 ${}^6\text{H}_{13/2}\rightarrow{}^6\text{H}_{15/2}$ 频道已实现了激光运转($3.02\text{ }\mu$), 但其终态距基态较近(510cm^{-1}), 须要在液氮温度下工作, (但最近报导了 $\text{LaF}_3-\text{Dy}^{3+}$ 室温下的 $2.97\text{ }\mu$ 的激光发射), 而 Ho^{3+} 、 Er^{3+} 的激光终态大大高于基态, 因此容易实现室温低阈值运转, 但是这类振荡的上能级荧光寿命往往比终态能级短一个数量级, 需要快速激励才能产生激光, 为了克服这种自饱和现象, 可以加入去激活离子或敏化离子, 使激光终态粒子迅速消激活或补偿激光上能级粒子, 如用 Yb^{3+} 敏化的 $\text{LuAG}-\text{Ho}^{3+}$ 激光器的阈值可降低5倍。表3列出这类晶体。

表3 室温工作的 $3\text{ }\mu$ 激光晶体

晶 体	激活离子浓度 $a^+\%$	激 光 波 长 μ	晶 体	激活离子浓度 $a^+\%$	激 光 波 长 μ
$\text{U}^{3+}({}^4\text{I}_{11/2}\rightarrow{}^4\text{I}_{9/2})$					
CaF_2	0.05	2.613			
$\text{Ho}^{3+}({}^5\text{I}_6\rightarrow{}^5\text{I}_7)$					
$\text{KY}(\text{WO}_4)_2$	3	2.9395	YAG	10	2.9403
$\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$	3—5	2.9342	LaNbO_4	2	2.8510
YAP	2	2.9180	$\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	5—10	2.9460
	10	3.0132	LiYbF_4		2.83
$\text{Er}^{3+}({}^4\text{I}_{11/2}\rightarrow{}^4\text{I}_{13/2})$					
LiYF_4	2	2.870	$\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$	3-30	2.7222
CaF_2	10	2.7307			2.7990
$\text{CaF}_2-\text{ErF}_3$	10	2.7307	$\text{KEr}(\text{WO}_4)_2$	100	2.8070
$\text{CaF}_2-\text{ErF}_3-\text{TmF}_3$	12.5	~2.69	YAP	2	2.7309
$\text{KY}(\text{WO}_4)_2$	3-50	2.8070	YAG	33	2.8302
	30				
	($\text{HO}^{3+}+\text{Tm}^{3+}$ 消 激 活)	2.6887			2.9365
$\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	100	2.9367		(Yb^{3+} 敏化)	
$\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	33	2.8298		(Cr^{3+} 敏化)	2.8298
		2.9395		(Yb^{3+} 敏化 Tm^{3+} 消激活)	2.9395
	($\text{HO}^{3+}+\text{Tm}^{3+}$ 消 激 活)	2.6900		($\text{Yb}^{3+}+\text{Cr}^{3+}$ 敏化 Tm^{3+} 消激活)	2.6990
					2.6990
$\text{Dy}^{3+}({}^6\text{H}_{13/2}\rightarrow{}^6\text{H}_{15/2})$					
LaF_3	0.6	2.97 ± 0.03			

五、可 调 谐 激 光 晶 体

1、色心激光晶体:

色心晶体的激光工作机理类似于染料分子,但其物化性质比染料液体介质稳定,色心晶体单位长度增益大,能做成小晶体长期工作;色心激光器构造简单,能在红光和红外区很宽的波段上进行调谐,弥补了染料激光器主要在可见波段调谐的不足;色心激光质量好,易于实现单模运转,其激光线宽可比染料激光小二个数量级。因此它可以作为激光光谱学、激光化学、光纤通讯和计量测试技术中高分辨率的红外相干辐射源。在国外已出现商品调频器件。

目前用于工作的多是立方结构晶体中的F心($F_A(II)$ 、 $F_B(II)$ 、 F_2^+ 、 F_2^- 、 F_3^- 等),F心由一个电子束缚在负离子空位上形成, $F_A(II)$ 心是在F心周围有一个杂质金属离子,并在光泵时弛豫成双阱构型, $F_B(II)$ 心是在F心周围的(110)方向上有二个杂质金属离子, $F_2(M)$ 心是二个相邻的F心,电离后可形成 F_2^+ 、 F_2^- 心,三个F心聚集可形成 $F_3(R)$ 心,电离成 F_3^+ 、 F_3^- 。 $F_A(II)$ 和 $F_B(II)$ 心激光波长调谐范围为2.2—2.9 μ , F_2^+ 和 F_2^- 调谐范围为0.6—1.3 μ 附近。

1965年Frity等人首先在70K°温度上观察到 KCl_2Li 中 $F_A(II)$ 心的脉冲激光效应,但由于没有及时引起重视,直到1975年才实现了色心晶体的激光调频,到目前为止已在许多种色心晶体中实现脉冲或连续运转(见表4),由于在室温下工作色心难以稳定,荧光量子效率迅速变小,所以以往都需要在低温下工作。1978年B、M、Хулугуров等人发现掺入 O^{2-} 杂质可使 LiF 中的 F_2^+ 心稳定下来,使这种晶体激光器实现了室温工作,用红宝石激光纵向泵浦,振荡阈值约为75KW/cm²,调谐范围0.81—1.13 μ ,这是色心晶体激光器的一个重大进展,后又在此基础上,发展了一系列室温工作的碱卤和萤石型色心激光晶体,目前正致力于制造色心、稳定色心,进一步提高晶体质量,希望能将调谐区向长波和短波二个方向推进(1978年曾测量了 CaO 晶体中 F^+ 心紫外区的可调光增益);材料研究上从碱卤晶体向碱土卤晶体和氧化物型晶体发展,并通过双掺或混合晶体方式,在同一块晶体中产生不同类型色心,以扩大调谐范围。

表4 色 心 激 光 晶 体

晶 体	色 心	工作温 度K°	调谐区 μ	晶 体	色 心	工作温 度K°	调谐区 μ
CaO	F^+	2.2	26000 cm ⁻¹	KF	M^+	77	1.26—1.48
KI; Tl	F	—	0.42	KCl	M^+	77	1.6—1.9
LiF	F_2	300	0.68—0.72	KCl_2Na	$F_B(II)$	<170	2.25—2.6
$CaF_2; Na$	M_A	300	0.72—0.84	$RbCl_2Na$	$F_B(II)$	<170	2.5—2.9
$SrF_2; Na$	M_A	300	0.84—0.98	KCl_2Li	$F_A(II)$	77	2.55—2.85
$LiF_2O_2^-$	M^+	300	0.83—1.15	$RbCl_2Li$	$F_A(II)$	77	2.75—3.05
$NaF_2O_2^-$	M^+	300	0.99—1.30	$KCl_2Li; Na$	$F_A(II), F_B(II)$	77	2.27—2.88
NaF	F_3^-	300	1.15—1.4	$RbCl_2Li; Na$	$F_A(II), F_B(II)$	77	2.5—3.15

2、终端声子激光晶体:

在这类晶体中,人们注意力集中在过渡金属激活离子上,因为它们的 $d-d$ 跃迁受晶场和外场的影响比稀土离子大得多,可以通过选择基质和改变温度来调节激光性能,又有 $d-d$ 跃迁较长荧光寿命、较宽的寿命变化范围和高储能的特点;终端声子激光高于基态的电子一振动能级,具有较低的振荡阈值。

1963年Johnson等人首先报导了 MgF_2-Ni^{2+} 晶体的终端声子激光效应,64年McCumber发表了终端声子激光器理论,至今己有多种晶体实现了激光运转和调谐作用(见表5)。近年来美国林肯实验室发展成 MgF_2-Ni^{2+} , V^{2+} , Co^{2+} 和 $MgO-Ni^{2+}$ 等近红外可调谐激光器,尤其是 MgF_2-Ni^{2+} 具有很大的储能,用YAG— Nd^{3+} 激光泵浦的 MgF_2-Ni^{2+} 激光器转换效率可达30%,80K°温度下连续输出100mw,调Q脉冲输出能量密度约1焦耳/厘米²,这种激光器可用于分光光度计和空气污染的遥测技术等方面;1979年J.C.Walling在掺铬的金绿宝石($BeAl_2O_4-Cr^{3+}$)晶体中实现了 R_1 线长波边带的可调谐激光运转,该晶体物化性能与红宝石相近,熔点1870°C,硬度大(莫氏8.5),热导高(0.23W/Cm.C°),荧光寿命260 μ S(0.05at% Cr^{3+}),R线(0.68 μ)的发射截面大于红宝石。主要采用引上法生长、容易获得大尺寸的优质单晶, Cr^{3+} 取代A1原子位置的浓度范围可达0.002—10at%,除了宽调谐外(0.7—0.8 μ),一个显著的特点是从低温到高温很宽的温区工作,已获得脉宽1000 μ S,5焦耳的能量输出。

表5 终端声子激光晶体

基质晶体	激活离子(%)	振荡方式	工作温度°K	激光波长(μ)	跃 迁
CaF_2	Sm^{2+} ($3.10^{18}cm^{-3}$)	脉 冲	85—90	~0.7207	$5d \rightarrow {}^7F_1$
			110—130	~0.7287	
			155	~0.7310	
			210	~0.745	
Al_2O_3	$Cr^{3+}(0.05)$	脉 冲	300	0.7670	${}^2E \rightarrow {}^4A_2$
MgF_2	$Ni^{2+}(0.5-1.5)$	脉 冲	80	1.61—1.74	${}^3T_2 \rightarrow {}^3A_2$
		脉 冲	77	1.623	
		脉 冲	77—82	1.636	
		连续	82—100	1.674—1.676	
		连续	100—192	1.731—1.756	
		脉 冲	198—240	1.785—1.797	
	$Co^{2+}(1)$	脉 冲	77	1.750	${}^4T_2 \rightarrow {}^4T_1$
		脉 冲	77	1.8035	
		脉 冲	77	1.99	
		脉 冲	77	2.05	
	$V^{2+}(0.2)$	脉 冲	77	1.1217	${}^4T_2 \rightarrow {}^4A_2$

基质晶体	激活离子(%)	振荡方式	工作温度°K	激光波长(μ)	跃 迁
MnF ₂	Ni ²⁺ (1)	脉 冲	77	1.915	³ T ₂ → ³ A ₂
		脉 冲	20	1.865	
		脉 冲	77	1.922	
		连 续	85	1.929	
		连 续	85	1.939	
ZnF ₂	Co ²⁺ (1)	脉 冲	77	2.165	⁴ T ₂ → ⁴ T ₁
KMnF ₃	Ni ²⁺	脉 冲	77	~1.6	³ T ₂ → ³ A ₂
	Co ²⁺	脉 冲	77	1.821	⁴ T ₂ → ⁴ T ₁
MgO	Ni ²⁺	脉 冲	77	1.3144	³ T ₂ → ³ A ₂
			80	1.63—2.08	
BeAl ₂ O ₄	Cr ³⁺ (0.05)	脉 冲	300	0.701—0.794	⁴ T ₂ + ² E→ ⁴ A ₂

3、5D—4f 跃迁的激光晶体

稀土离子的5D电子没有外层电子的屏蔽，波函数空间扩展很大，与基质晶格相互作用强烈，5D—4f跃迁为允许跃迁，振子强度大、荧光量子效率高，具有宽而强的吸收带和荧光发射区。二价稀土离子的吸收带位于可见光区，早在六十年代初就实现了CaF₂—Sm²⁺，SrF₂—Sm²⁺的⁵D₀→⁷F₁激光输出，1968年又实现了CaF₂—Sm²⁺的5D—4f—终端声子激光的温度变频（见表5），但是二价稀土离子的价态常不稳定；七十年代以来逐渐加强了对三价稀土离子的5D—4f跃迁的光谱研究，曾提出用氢分子激光泵浦掺Pr、Er、Nd、Tm的YLF和掺Nd的LaF₃、YF₃晶体，有可能在0.165—0.260 μ范围内进行激光调谐，但由于Ce³⁺的能级较简单、可用近紫外光泵浦，所以掺Ce³⁺激光晶体成为研究的重点，先后研究过Ce³⁺在YAG和一些氟化物晶体中的光谱特性，到1979年林肯实验室的Moulton等人用KrF激光泵浦厚度0.7mm的YLF—Ce³⁺晶片，实现了室温下3255Å°激光输出，估计可调范围为0.305—0.335 μ，但是该材料的热效应严重，因此应当继续寻找更合适的基质。

总之，可调谐激光晶体是近年来固体激光领域的一个重大进展，由于其发光中心和能级跃迁的特点，使我们有可能在不同基质晶格场和外场条件下，获得从紫外到红外区域的激光调谐，並推广应用，也为理论上研究激活离子与基质的相互作用提供了一类敏感的对象。

结 束 语

看来，激光新晶体材料的研制正向着高效率、多波段、宽调谐和室温工作的方向发展，技术应用上局限于二种基质（红宝石和钇铝石榴石）、二种激活离子（Cr³⁺，Nd³⁺）的局面将要改变。

笔者对华侨大学化学系许承晃同志给于本文的热情指导和帮助表示衷心的感谢。

参考文献(略)