

激光与非线性光学材料的发展战略研究

方亿雄 陈长康 王 洛

(福建物质结构研究所)

自60年代激光问世以来,由于激光束在方向性、相干性、单色性和高强度等方面具有突出的优点,加上相应发展起来的能对激光束进行调频、调幅、调相、调偏作用的非线性光学晶体,对传输过程中激光图象畸变进行修正的相共轭晶体(光折变晶体),以及对红外灵敏的热电探测晶体,已使激光及其传输探测技术在工业、农业、军事、医学、科研等领域得到了广泛的应用。如美国总统里根于1983年提出的空间多层次防御核袭击系统,即“星球大战”计划,要求在每个层次都能迅速准确地摧毁对方目标,这之中激光与红外技术就起着举足轻重的作用。目前,高功率工业激光器与军用激光器的整个世界市场已达150亿美元,而且每年仍以10%的速度在增长。估计到2000年前后,美、日等发达国家,就能建成一个新的完整的高技术产业——光电子工业。其主要包括:光通讯、光信息处理、存储及全息术、光计算机、激光武器、热电探测器、激光精密加工、激光化学、激光医学,甚至家用的光电子产品。

正象电子元件的集成化给微电子工业带来生命力一样,要真正形成光电子工业,一个重要的条件是所有这些光学元件要象半导体元件一样能够集成化,使其结构简单、性能可靠。显然,用气体或液体作为激光器、调制器以及各种光学接收器件的工作物质是不可能做到这一点的,因为它们的效率低、体积大,很难小型化,更难集成化。而固相的激光晶体材料则具有效率高、体积小、特别是能集成化等优点。同时,固相的单晶体又是当今高功率激光器和军用激光器及其配套器件的重要基础材料。因此,单晶体材料将是未来光电子工业的基础材料。

一、激光晶体材料的研究现状

激光晶体的研究是一个将量子电子学、光谱学、晶体化学与固体物理学等各重要学科融为一体的新领域,到现在也只经过了二十几年的历程。激光晶体一般由基质晶体和掺杂的激活离子组成。工作物质的性能取决于晶体的组成、结构以及基质与激活离子的相互作用。因此,在材料制备与晶体生长的基础上,研究它的组成、结构与受激发射性能之间的关系,从而探索和制造出具有特定振荡性质的化合物晶体,是这门科学研究的主要内容和基本目的。迄今为止,已经在350余种基质晶体中和20多种激活离子或色心的约70个跃迁频道上实现了受激发射,并且实现了迄今知道的全部激光运转方式(脉冲、连续、高重复率和巨脉冲)和全部激光能级工作图(电子能级跃迁、电子振动能级跃迁、敏化、合作敏化上转换和自倍频效应)。这些基质包括了各种氧化物、复合氧化物、卤化物、复合卤化物的简单晶体和混合晶体,激活中心涉及到镧系、铁族、铜系离子和F类型色心等。发射激光波长遍及真空紫外(~ 0.172 微米)到中红外(~ 5.15 微米)的广大区域。

(一) 红宝石($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$)、掺钕的钇铝石榴石($\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$)和钇酸钕($\text{YAP}:\text{Nd}^{3+}$)

迄今为止应用最普遍、研究最广泛最深入的激光工作物质是 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$ 和 $\text{YAP}:\text{Nd}^{3+}$, 它们兼有优越的物化性能和振荡特性。红宝石巨脉冲激光器的最大输出已经达到兆瓦, 连续波运转的 $\text{YAP}:\text{Nd}^{3+}$ 激光功率已达数百瓦。我国科技工作者在深入研究了各向异性的 $\text{YAP}:\text{Nd}^{3+}$ 晶体热透镜效应的基础上, 首次设计出偏振输出功率超百瓦的 b 轴 YAP 晶体激光器。这些晶体, 特别是 YAG , 由于具有良好的性能, 如高功率、窄线宽、有利的波长、能生长出大的透明单晶、机械硬度好、易加工、损伤阈值较高、成本较低、加工成器件可靠性好、寿命长, 已在固体激光器中独占鳌头, 尚无法为其它晶体所全面取代。虽然目前单根棒晶体激光器的连续功率仍不超过千瓦, 无法作为高连续功率激光器, 但它却能在中、小、微型固体器件方面发挥优势。特别是 80 年代以来, 其光束质量和稳定性得到显著改善, 平均功率和效率有所提高, 光泵寿命大大延长, 加上它的小型化、宽调谐和能在室温工作, 其应用范围将会越来越广。

(二) 高浓度激活晶体

为了使固体激光器小型化, 70 年代以后高浓度激活晶体的研制形成一股热潮。在这类晶体中, 有的可掺入高浓度激活离子, 有的晶体的离子就是基质晶体的一个组分, 因此浓度猝灭效应都比较弱, 激励的阈值也低。这类晶体主要有石榴石型、卤化物型、磷酸盐类、钨酸复盐、钼酸复盐和硼酸复盐等许多化合物晶体。其中用激光抽运的五磷酸钕 (NdPP)、四磷酸锂钕 (CNP)、钨酸钠钕 ($\text{NdNa}_5(\text{WO}_4)_4$) 和硼酸铝钕 (NAB) 的阈值均低于 1 毫瓦, 还拉制出大尺寸高浓度的钕磷酸盐激光玻璃。近二年, 我所已研制生长出大尺寸 ($\Phi 3 \times 7 \sim 20$), 可供实用的 NAB 晶体。这是一种高钕浓度、低阈值、室温运转和高增益的自激活激光晶体, 具有良好的物理和机械性能, 制成的微小型激光器具有成本低、重量轻和效率高等优点, 有着广泛的用途。

近年来由于实际应用的需要, 已将注意力从 Nd^{3+} 激活离子扩展到 Er^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Pr^{3+} 等激光晶体上, 希望在多种波长上实现高浓度激光运转。其中 $\text{BaYb}_2\text{F}_8:\text{Ho}^{3+}$ 晶体, 由于 Yb 对 Ho^{3+} 的 $^5\text{I}_6 \rightarrow ^3\text{I}_2$ 2.91 微米激光的基质敏化作用, 成为掺稀土的 3 微米激光晶体中阈值最低的一种。掺 Er^{3+} 的 BaYb_2F_8 晶体发射的 2 微米激光 ($^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{F}_{11/2}$) 在大气中具有很高的透过率, 而掺 Pr^{3+} 的 LiYF_4 晶体发射红色 0.6395 微米激光 ($^3\text{P}_0 \rightarrow ^3\text{F}_2$) 是掺三价稀土离子可见光激光晶体中阈值最低的。这些晶体都能用普通的惰性气体弧光或闪光灯激励。

(三) 自倍频激光晶体

这种材料是利用基质晶体的非线性效应将激活离子的受激发射(基波)转变成二次谐波。因此, 这类晶体必须是无中心对称的, 而且应按照一定的方向(最佳相位匹配方向)切割。在 1969 年实现了低温下 $\text{LiNbO}_3:\text{Tm}^{3+}$ 的自倍频效应以后, 掺 Nd^{3+} 的自倍频激光晶体最引人注目, 因为它能在室温或更高温度下运转, 而且倍频光位于可见光区, 现已分别在 $\text{LiNbO}_3:\text{Nd}^{3+}$ 的 $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$ 跃迁得到 1.0933 $\rightarrow$ 0.5467 微米的谐波振荡和 $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Nd}^{3+}$ 的 $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$ 的 1.064 $\rightarrow$ 0.532 微米以及 $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ 的 1.32 $\rightarrow$ 0.66 微米的谐波振荡。但也还存在许多问题, 例如 Nd^{3+} 对倍频光的本征吸收问题。

(四) 其它一些各具特色的激光晶体

这些晶体在某种性能上比 YAG 更为优越,例如各向异性的 $\text{YVO}_4:\text{Nd}^{3+}$ 的跃迁截面比 $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$ 大 4.6 倍,并能输出线偏振光。 $\text{LaBe}_2\text{O}_4:\text{Nd}^{3+}$ 晶体是美国 1976 年 100 种工业新产品之一。其抗光损伤能力大,输出线偏振光,长脉冲效率比 $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$ 高 60%, Q 开关储能能力大 1.5—2 倍。 LiYF_4 晶体的热导虽比 YAG 低一半,但由于其折射率温度系数为负值,所以热透镜效应比 YAG 小得多。它能掺入 Ce^{3+} 、 Tm^{3+} 、 Pr^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Er^{3+} 、 Nd^{3+} 、 Dy^{3+} 等多种激活剂,已实现从紫外 0.305 微米 ($\text{YLF}:\text{Ce}^{3+}, {}^5\text{D} \rightarrow {}^1\text{F}$) 到红外 4.34 微米 ($\text{YLF}:\text{Dy}^{3+}, {}^6\text{H}_{11/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{13/2}$) 的 20 条频道上振荡。 $\text{YLF}:\text{Nd}^{3+}$ 的 σ 偏振 1.053 微米激光 (${}^4\text{F}_{3/2} \rightarrow {}^1\text{I}_{11/2}$) 波长与最近开发的核聚变实验用磷酸盐钽玻璃的波长相近,被用作主振荡器。

(五) 可调谐激光晶体

这是近年来激光晶体研制最活跃的领域。材料种类繁杂,调谐机理多样。从外加条件来看,可以在谐振腔内引入色散元件进行 Q 值调谐,也可以采用变温激光器进行温度条件改变下激光频率的平稳改变和在某些温度上频率的跃变,还可以采用加压技术(尤其对于超硬晶体)来改变激光光谱性质,产生频率的位移。从材料本身来看,较宽的荧光带是对可调谐晶体的最基本的要求。显然,那些无序多中心的混合晶体要比单中心的简单晶体的荧光和吸收光谱线宽大得多,故适合作为调谐材料。石榴石晶体的三种多面体结构实际上也可以引入周期表中各族元素的离子,生成混合石榴石。石榴石又具有良好的物化性能,易于生长出大尺寸单晶,因此混合石榴石晶体占有特殊的地位。但由于能级工作图的特点,以下叙述的色心激光晶体、声子终端激光晶体和 $5d-4f$ 跃迁的激光晶体具有更宽的调谐范围。

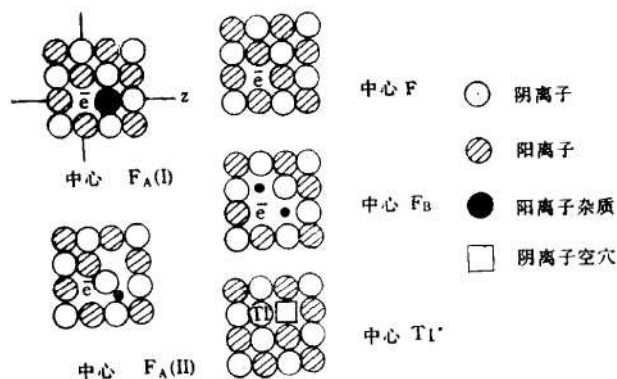


图 1 电子振动激光材料的一些通常色心

色心是晶体中的一种点缺陷,目前用于工作的多是立方晶体的 F 类型色心(包括 F^+ 、 F_A (I)、 F_A (II)、 F_2^+ 、 F_2^- 、 F_3^- 等)(见图 1, 2)。色心激光晶体能在红光到红外很宽的波段上调谐,而且激光质量好,还能够用作被动的激光开关。但许多色心在室温下不稳定,需要在低温下工作。1978 年以来,通过掺入杂质方法来稳定色心,研制出许多在室温工作的色心调谐激光

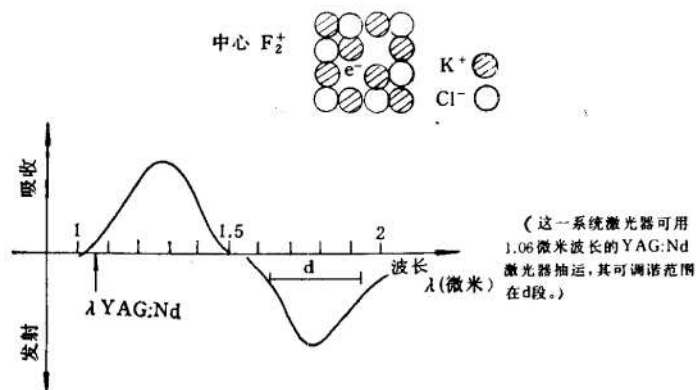


图 2 $KCl:Na$ 中 F_2^+ 色心的吸收光谱与荧光光谱

器。用计算机控制的高分辨调谐色心激光器已投入运转。大尺寸 $4 \times 8 \times 20$ 厘米的 $LiF:F_2^+$ 色心激光器(1.08—1.26 微米)的输出能量达 100 焦耳,目前仍致力于稳定色心。材料研究上现在从碱卤晶体向碱土卤晶体的氧化物型晶体发展,希望将调谐区向长、短波两个方向推进,在同一块晶体上产生不同类型色心,以扩大调频范围。

在终端声子激光晶体中,人们注意力集中在过渡金属离子上。它们的 $d-d$ 跃迁受晶场和外场的影响比稀土离子的 $4f-4f$ 跃迁大得多,可以通过选择激活离子、基质和改变温度来调节激光性能,其激光终端是属于电子基态和振动激发态,具有四能级体系的低振荡阈值。其中最为实用的晶体有 $MgF_2:Ni^{2+}$ 和掺铬的金绿宝石。 $MgF_2:Ni^{2+}$ 晶体具有很大的贮能能力,调谐范围为 1.61—1.74 微米,调 Q 脉冲输出能量密度达 1 焦耳/厘米²。金绿宝石的应用前景更好,它的物化性能与红宝石相近,而发射截面大于红宝石,调谐范围是 0.701—0.826 微米,脉冲运转的最大平均功率达 100 瓦,连续输出功率可达 50 瓦。此外,掺 Cr^{3+} 的祖母绿和一些石榴石(如 $GSAG:Cr^{3+}$ 、 $GSGG:Cr^{3+}$) 及 $ScBO_3:Cr^{3+}$ 都具有良好的激光调谐性能。

稀土离子的 5d 电子没有外层电子屏蔽,与基质晶格相互作用也很强烈,60 年代就实现了 $CaF_2:Sm^{2+}$ 的 $^5D_0 \rightarrow ^3F_1$ 的可见光激光,但二价稀土离子不稳定。70 年代后,逐渐加强了对三价稀土离子的研究、它的激光调谐区域处在诱人的紫外,甚至真空紫外区,而且均可在室温工作,其中 $LaF_3:Nd^{3+}$ 的 5d—4f 的 $^4I_{11/2}$ 跃迁产生真空紫外激光 0.172 微米,是现有晶体激光最短的波长。 $LaF_3:Ce^{3+}$ 的 5d $\rightarrow$ 4f 的 $^2F_{7/2}$ 和 $YLF:Ce^{3+}$ 的 5d $\rightarrow$ 4f 的 $^2F_{5/2}$ 跃迁分别在 0.280—0.328 微米和 0.306—0.315 微米范围内调谐。

二、非线性光学材料的研究现状

无机非线性光学材料大多在高功率激光器方面应用,以扩展高功率下所获得的波长范围。要扩展相干光源的光谱范围,使用非线性光学晶体对现有的激光频率进行转换,通常要比去研制新的激光系统方便得多(见图 3)。目前,非线性光学材料的应用领域有:频率转换(谐波发生、和频、光参量振荡及受激散射光源)、光束转向、光束畸变消除、图象放大与变换、光信息处

理与光信号控制、光受限与阈值检测、全光学连接、光计算机、光存储以及光纤通讯与器件等。

目前,其主要用途有以下几个方面:

1. 民用激光器: 频率转换器件通常是作为商品短脉冲(10 毫微秒)高功率激光器的附件,主要作为 Nd:YAG 激光器的谐波发生器。虽然也有供其它激光器用的谐波发生器,但较少见。
2. 低平均功率器件: 这是一种小型或便携式器件,用于信息处理、医疗器械、静电复印等方面。
3. 高平均功率器件: 包括未来在国防方面多种多样的需求,一般可概述为通过调制、偏转与变频来控制高脉冲能量、高平均功率的电磁波辐射。这方面的实例有: 战场激光器、潜艇通

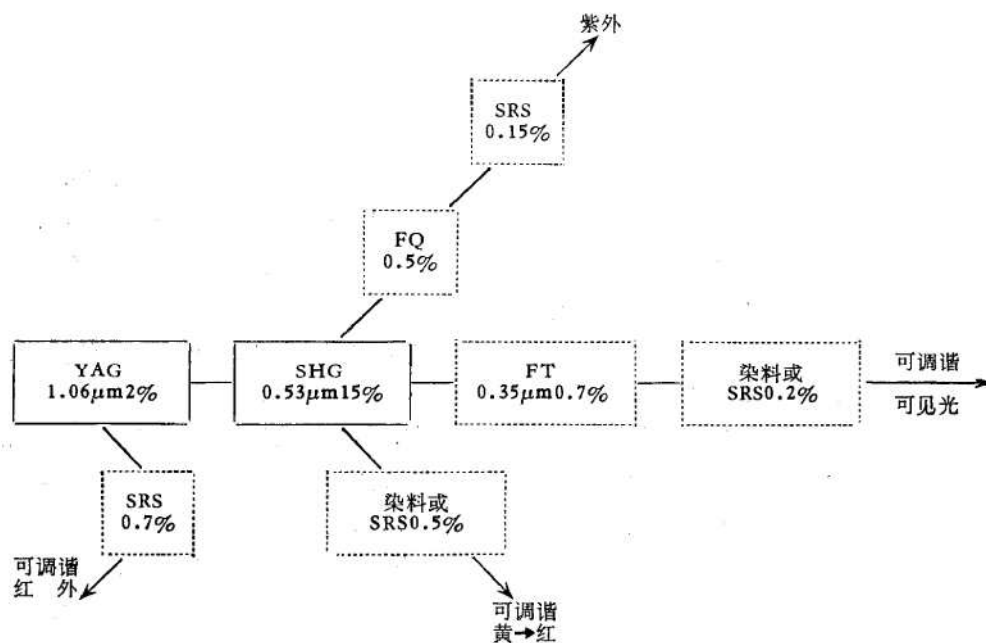


图 3 SRS=受激喇曼散射 FT=三倍频 FQ=四倍频

讯、激光对抗与光雷达。许多工业过程也需要高平均功率器件,例如化学处理、材料加工与 X 射线光刻术等,所要求的平均功率可高达几千瓦。

4. 核聚变: 由于要求每道脉冲都具有高能量(高于 10 兆焦耳),故其基本要求是用价格较低的材料将频率转换至近紫外,并具有高的损伤阈值。

下面扼要介绍无机非线性光学材料的研究现况。

(一) 红外材料

在红外波段,可利用的材料为黄铜矿,例如 AgGaS_4 与 Ag_6GaSe_2 。还有一些材料,例如 Te 、 CdSe 、 Tl_3AsSe_3 与 CdGeAs_2 也是研制的候选者。所有这些材料在大小与光学质量方面均有一定的局限性。为了改进晶体生长,有必要对化学相平衡作更深入的了解。可研究用退火方法来获得良好的光学质量,同时研制具有合成工程结构的材料,以实现相位匹配。

(二) 可见—红外材料

从可见光到近红外的材料有相当大可供挑选的余地,其中有磷酸盐、碘酸盐、铌酸盐以及其它一些有机晶体。在通常可得到的材料中,磷酸二氢钾(KDP)及其类质同晶的透过波段可从紫外到近红外,其倍频的阈值功率大约为 100 毫瓦,这种材料只有中等的抗光损伤能力,且大块晶体的成本相当高。

磷酸氧钛钾(KTP)有着十分诱人的性质,如阈值功率低,在倍频 Nd:YAG 激光器中小于 100 千瓦,同时温度带宽大。该晶体可用水热法或助熔剂法生长,不过常有包裹物。目前能得到的最大体积为 $5 \times 5 \times 5$ 毫米³,而且价格极为昂贵。

铌酸锂晶体在波长接近 1064 毫微米为非临界相匹配,但却有光折射损伤的缺点,这就限制了它的倍频效率。掺 MgO 的新材料能解决这一问题。此外,它也是所有非线性材料中对温度最敏感的一种。

铌酸钾是一种潜在的二极管激光器倍频用的十分引人注目的晶体,其效率可达百分之几。不过,获得单晶需要精细的抛光步骤。在生长工艺上,晶体尺寸也不大可能超过 $10 \times 10 \times 10$ 毫米³。

磷酸锂具有宽的透过波段范围。改进晶体的生长工艺可使材料在紫外区足够透明,从而能有效地对 1064 毫微米作三倍频。它的损伤阈值相当低(在 1 毫微秒为 2—4 焦耳/厘米²),不过却能获得大尺寸单晶。该晶体的双折射率高,因此阈值功率也高。

左旋磷酸精氨酸是目前这一波段范围正在研制的新晶体。该晶体易于用水溶液法生长,光学质量高。它具有高的光损伤阈值,比 KDP 晶体具有更高的效率。目前,正在研制用这种晶体来取代核聚变中的 KDP 晶体,以及在小型商品激光器中作倍频之用。

(三) 紫外材料

非线性光学材料中几乎没有能发生 200 毫微米以下光辐射的晶体。对脲素晶体虽已研究多年,但它生长困难,其抛光面不是解理面,极易潮解。使用脲素晶体的器件必须把晶体浸入油中,而这些油通常在紫外区有吸收。脲素晶体已用于光参量振荡器,在整个可见光范围发生可调谐辐射。晶体生长方面也正在从事商品脲素晶体生产,不过要生产大尺寸的晶体仍是一个难题。这种晶体还具有较强的本征吸收谱线,不适合于在靠近 1000 毫微米波长工作。

偏硼酸钡晶体是我所的科技工作者首先提出并研制成功的在紫外波段性能全面优越的新型非线性光学晶体。它的研制成功在国外引起了较为强烈的反响,标志着我国在新晶体材料研究方面已步入国际先进行列。偏硼酸钡晶体能在宽波段范围实现相位匹配,并具有非线性系数大、光损伤阈值高、温度稳定性好、晶体机械性能稳定和不易潮解等优良性能。其倍频的阈值功率虽比 KDP 晶体高约 3—4 倍,但在 1064 毫微米倍频时,温度带宽是已知材料中最大的。此外,它在 200 至 3000 毫微米波段范围透明,对 212 毫微米的 5 次谐波可发生相位匹配。该晶体用助熔剂法生长,但有产生包裹物的倾向。我所晶体生长工作者正努力研制生长出大的透明单晶,以满足国内外的市场需求。最近,用该材料已实现了低至 204.8 毫微米相位匹配的二次谐波的发生。它是用于短脉冲(<1 毫微秒)、高功率(1 兆瓦)激光器的很有希望的材料,在红外、可见、紫外光区的激光倍频、和频及光参量振荡器件中有广泛的应用。

三、发展战略

(一) 继续以探索新材料为主,加强结构与性能关系的研究,发展新的理论模型及在此指导下的化学合成工作,开展相图研究,为探索新晶体奠定坚实的基础。

一般说来,非线性光学材料研究领域是一种多学科相互渗透的领域,迫切需要学科之间的密切合作与配合。美国专家小组曾惊叹“……相比之下,美国在这一领域所投入的力量一般说来是断断续续的和颇为薄弱的。”

当前,还没有能发生真空紫外光辐射的非线性光学材料,红外倍频材料在尺度与性能方面又远不能满足要求,鉴于这些波段范围在军事与民用上意义重大,国际上材料科学家都力求在这方面有所突破。因此,今后非线性光学材料的战略发展重点应是探索新型紫外(特别是真空紫外波长在 200 毫微米以下)和红外,重点是 5 微米至 20 微米范围的非线性光学材料。能对传输过程中激光图象畸变进行修正的相共轭晶体(光折变晶体),因其实用意义重大,这几年国际上研究方兴未艾,我国应尽早开发研究。此外,随着半导体激光器的发展与其匹配的倍频系数极大的晶体也亟待开发,使固体器件的微型化有所突破。从发展眼光看,还应开展薄膜和纤维单晶的生长工艺与技术的研究。建立分子束外延、金属氧化物化学汽相沉积(MOCVD)、Langmuir-Blodgett(LB)法和激光热基座单晶纤维等设备,为将来集成光学的研究奠定基础。

(二) 挖掘现有材料潜力与探索新材料并举

20 多年来,虽然已找到了几百种激光基质晶体和 20 余种激活离子,并在几十个跃迁频道上实现了受激发射,但还有很大的空间留待人们去探索。仅稀土离子的 $4f-4f$ 就可能有 199,170 种跃迁,人们对激活离子在各种基质晶格中表现的激光性能的规律性也还没有透彻的了解,迄今尚未提出较好的理论模型和探索新晶体的结构条件,人们主要还是依靠尝试实验法来寻找新的激光晶体。今后的战略发展方向是寻找能在室温工作的高效率、多波长、宽调谐的材料,特别是新型近红外区可调谐及小型激光器用的基质晶体。近来生长的六方铝酸钕铈晶体中 La 原子几乎可全部由 Nd 置换,已经制成 500 瓦的激光器,5 年内的目标是达到 3 千瓦。在 $5d-4f$ 跃迁的激光晶体中,除 Cr^{3+} 外,要重视能在紫外、真空紫外发射的 Nd^{3+} 、 Er^{3+} 、 Tm^{3+} 、 Pr^{3+} 等离子,它们能在 1650—2600 Å 范围内进行调谐。人们在重视常用的 Cr^{3+} 、 Ni^{3+} 、 Co^{2+} 等多种 d 电子组态的过渡金属离子的同时,还会注意到其它一些新的激活离子,如 Cu、Ga、Ag、Bi、V 和 Ti 等。在高浓度稀土激活离子方面,将从 Nd^{3+} 转到 Er^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Pr^{3+} 上,以期产生更丰富的实用波长,甚至“高浓度”可调谐振荡。

另一方面要挖掘现有材料潜力。许多现有晶体的激光性能尚有待于人们去开发,例如掺 Cr^{3+} 或 Ni^{3+} 、 Co^{2+} 的声子终端晶体激光器存在着激光波长上激发态再吸收问题,而 $Al_2O_3:Ti^{3+}$ 却没有这个问题,室温下它能在 0.718—0.77 微米范围内($^2E \rightarrow ^2T_2$)调谐。如果用激光抽运,调谐区还可扩展到 0.68—0.93 微米。同样,在 $Al_2O_3:V^{4+}$ 晶体上已经用激光激励产生了 0.59—0.62 微米可调谐激光,而且有可能建立 0.55—1.1 微米的可调谐激光器。在石榴石晶体中产生稳定色心, $YAlO_3$ 晶体的 Nd^{3+} 次要跃迁频道上激光,以及掺入 Pr^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Er^{3+} 、 Tm^{3+} 等离子从可见光到 3 微米附近的发射,都有待开发应用。 $YAP:Ti^{3+}$ 还是一种潜在的可见光可调谐材

料。

另外,研究一个相图体系中化合物的光谱振荡性能是探索新激光晶体材料的一条现实途径,而获得准确的 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—Y}_2\text{O}_3$ 相图,将可能为继续提高 YAG 和 YAP 单晶质量提供重要启示。例如,在 YAP 配比附近是否存在固溶区、YAP 是否为亚稳相、它对现有晶体的不均匀性有什么影响等,这些都需要人们去进一步研究。

(三) 进一步加强晶体生长及其有关工艺的研究

在晶体生长方面,我们不仅有了探索新晶体材料的主要生长方法,如引上法、助溶剂法、水溶液法与皂膜法等,更重要的是具备了一支素质优良、善于攻克难关的晶体生长科研队伍。国际上公认的较难培养的晶体,如 YAP 和 NAB 等,都先后在我所研制成功。应当说,晶体材料研究的主要矛盾是在晶体培养方面,即必须生长出有一定尺寸、光学均匀性好、能满足各种特定性能要求的单晶。晶体生长不仅是一门科学,而且是一项艺术。因此,加强晶体生长及其有关工艺的研究是材料研究工作中的重要一环。我们一方面要继续提高现有生长晶体的质量,克服包裹物,改善光学均匀性,努力研制生长出更大尺寸的单晶,开发新的应用前景;另一方面,更为重要的是,要认真组织力量,重视新开辟晶体的生长与研究,组织构思合理、经过深思熟虑的研究项目,使获得的实验结果只要情况合适,就可以推广到新材料的研制上。