

KCl : Li F_A(Ⅱ)色心激光晶体材料(综述)*

林建明 许承晃

(华侨大学材料物理化学研究所,泉州,362011)

摘要: 本文以 KCl : Li F_A(Ⅰ) 心为色心激光材料的代表,从材料物理化学的角度分析了 KCl-LiCl 以及与基质 KCl 有关的掺杂体系的性质,综述了掺 Li⁺ KCl F_A(Ⅰ) 心的主要特性,总结色心激光晶体的制备。

关键词: KCl : Li F_A(Ⅰ) 色心 激光晶体材料

KCl : Li F_A(Ⅱ) color center laser crystal material

Lin Jianming, Xu Chenghuang

(Institute of Physical Chemistry on Materials, Hua Qiao University)

Abstract: Choosing KCl : Li F_A(Ⅰ) centre as a representative of color centre laser materials, we analyze the features of KCl-LiCl and other doping system related to KCl base materials from the view point of physical chemistry, in this paper. The main characteristics of KCl : Li F_A(Ⅰ) color center laser crystal are reviewed, and the preparation of color center laser crystals is briefly summarized.

Key words: KCl : Li F_A(Ⅰ) color center laser crystal materials

一、引言

1965年 Fritz B^[1]等人用闪光灯泵浦 KCl : Li 晶体,首次报道了观察到~2.7μm 的激光振荡,当时并未引起人们足够的重视。随着激光技术的发展,特别是可调谐染料激光的迅速崛起,直到1974年,美国贝尔实验室的 Mollenauer 和 Olson 报道了用氩离子激光泵浦的 KCl : Li 晶体,获得了连续调谐 2.6~2.8μm 色心激光运转^[2],从此开创了连续可调谐色心激光研究工作的新领域。十几年来,色心激光研究工作已经取得一系列重要的成果:如 KCl : Li F_A(Ⅰ) 心^[2~4]; KCl : Na F_B(Ⅰ) 心^[3,5]; KCl : Tl F_A(Tl) 心^[6]; KCl : Li(F₂⁻)_A 心^[7,8]; KCl : Na : O₂⁻(OH⁻)(F₂⁻)_{AH} 心^[9,10]; NaCl : O₂⁻(OH⁻)(F₂⁻)_H 心^[11~13]等。到目前为止,用碱卤化物基质中的色心作为增益介质的可调谐色心激光器,已获得的调谐范围达 0.8~4μm,并且正向可见、紫外及应用广泛的红外区发展。

* 国家自然科学基金重点资助项目。

KCl : Li F_A(I)心是研究较早、最早实现低温红外连续可调谐色心激光输出的材料。但是,该材料无论从晶体生长、掺杂、均匀性及稳定性诸方面都存在着突出的问题,是掺杂碱卤化物色心激光晶体材料研究的典型。本文综述了该激光晶体的基本物理、化学性质及制备,在一定程度上,反映了华大材料物化所在该色心激光材料的研究进展。

二、F心, F_A(I)心的基本结构特点及性质

F心是最简单的色心,它是由一个阴离子缺位俘获一个电子构成,如图1所示。从图中可知F心具有很高的对称性。碱卤晶体中F心基本的吸收带称为“F带”,F带通常是晶体中吸收光谱的最强带。F心也是构成其它激光活性色心的基本色心。但是,碱卤晶体中的F心并不适宜激光作用,主要原因有:F心经过激发到第一激发态并经晶格驰豫后,F心的电子与空位的束缚非常弱,可以很容易在光或热的作用下被电离;晶格驰豫到驰豫激发态与导带离得非常近(大约0.1eV),极有可能被晶体中存在着其它F心发射的荧光所激发而自吸收进入导带。此外,F心荧光的振子强度*f*非常小(*f*~0.01)^[14],产生的增益很小。因此,虽然F心的光泵循环是理想的四能级系统,由于上述的诸原因,产生激光振荡的净增益小,不适宜作为增益介质实现色心激光。

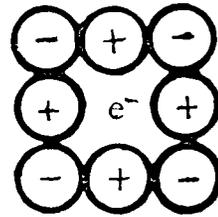


Fig. 1 A structure mode of F center

如果F心周围六个最近邻的阳离子中的一个被其它碱金属杂质离子取代,例如KCl基质晶体中的K⁺被Li⁺取代,则构成F_A心。由于杂质离子的存在,F_A心的对称性比F心低,具有C_{4v}点群对称性。F_A心按照其驰豫行为可以分成I型和II型两种。I型色心,F_A(I)心的光学性质与简单F心几乎相同,表现同样的自吸收、低增益等,同样也不具激光作用。只有少数II型F_A心即F_A(II)心才能作为激光工作心。图2是F_A(I)心的结构与能级。

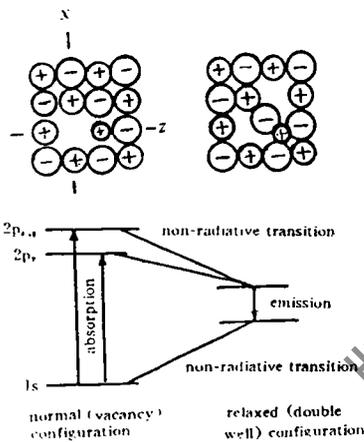


Fig. 2 Ionic configurations and energy levels of the F_A(I) center

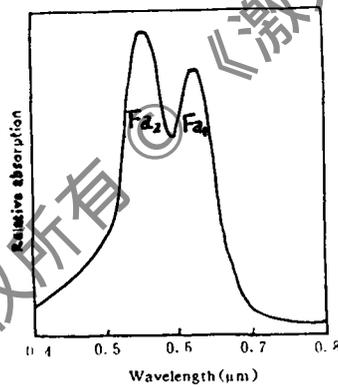


Fig. 3 Absorption spectrum of KCl : Li crystal after F band light irradiated at 253K (measured at 80K)

的F_A(I)心的吸收光谱如图3所示。吸收带特征性分裂双峰结构通常是我们判别是否形成了F_A(I)心的重要依据。在激光的应用中,这个附加吸收带增加了与泵浦源波长匹配的可能性。

经激发后,F_A(I)驰豫到图2中双阱结构,杂质邻位的一个阴离子Cl⁻移到半径较小的杂质Li⁺和阳离子中间,成为“离子鞍点结构”,构成双阱势。F_A(I)心中杂质离子的存在造成P_z轨道有别于P_x,P_y轨道,位于较长波长吸收带的P_z轨道的跃迁,与主吸收带明显分开。典型

如 KCl:LiF_A(I)色心激光的泵浦可以用 Ar⁺, Kr⁺, 染料, Nd:YAG(或 Nd:YAP)倍频激光来作泵源,方便了人们的使用。

F_A(I)心另一个重要的特点是:经过图2光泵循环后,分开双阱的卤离子 Cl⁻有两个复位的可能性:移回到原始 F_A心的正常结构或者填入原始属于阴离子缺位的位置上。在后一可能性发生时,F_A心中杂质离子将不再沿原 F_A心的 z 轴方向,而是沿相当于转向 90°的 x 方向,这个过程也称为取向漂白,在吸收光谱上则表现为原始 z 轴方向偏振吸收的消失。图4是 KCl:LiF_A(I)心晶体在液氮温度下用偏振的 Ar⁺激光辐照前后的吸收光谱,用 F_A带(0.514μm)偏振光激发结果导致了该带的漂白。在实际应用的 F_A(I)心激光实验中,为了避免 F_A(I)心在强偏振激光抽运下出现的取向漂白作用,所用的色心晶体与泵浦光的取向是非常关键的。置于布儒斯特角位置的晶体(100)面,不是使它与纸平面平行,而是与纸平面成 45°,即泵浦偏振光不选择与(100)偏振激光方向相平行,这样可避免抽运后某一方向的工作心被漂白,达到获得稳定的色心激光输出的目的。

与 F 心和 F_A(I)心不同的是,F_A(I)心由于杂质的作用,弛豫激发态被降低而大大低于导带而且 F_A(I)心电偶极跃迁的振子强度大($f=0.2\sim 0.35$)^[15]大约是 F 心的 20~30 倍,而且 F_A(I)心的增益系数也较大,是较好的激光活性增益介质。

F_A(I)心另一个重要性质是荧光量子效率较低。KCl:LiF_A(I)心的荧光量子效率 η 在 1.6K 时,大约为 50%,随着温度的增加,量子效率大约呈线性降低。在 $T=200K$ 时, η 约为 20%, $T\approx 300K$ 时, η 接近于零。如图5所示^[14], $\eta = \frac{\tau_i}{\tau_r}$, 其中, τ_i 为测量的荧光衰变时间, τ_r 为实际的辐射衰变时间。

色心的荧光发射谱带在其吸收带的长波侧,吸收峰与发射峰值波长的位移称为斯托克斯(Stokes)位移。KCl:LiF_A(I)心的吸收峰位于可见光区(0.5~0.7μm),而荧光峰位于近红外区(中心约 2.6μm),斯托克斯位移大(~2μm)。

由于 KCl:LiF_A(I)心的 Stokes 位移大,荧光量子效率不高,因此,它需要在较低的温度条件下才可以有效地实现激光运转。通常用液氮来冷却晶体,在此温度下(77K),KCl:LiF_A(I)心的荧光量子效率 $\eta\approx 40%$ (在 T 高达 200K 时仍可获得 F_A(I)心激光)^[2],大 Stokes 位移,低量子效率也是 F_A(I)心激光转换效率不高,输出功率受限制的主要原因。

三、掺杂 KCl 晶体的制备

1. 几个有关体系的相图

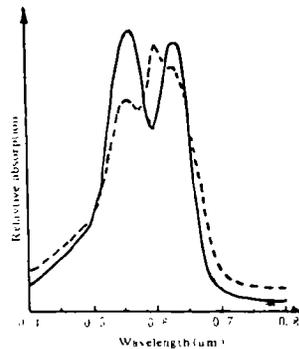


Fig. 4 Absorption spectrum of KCl:LiF_A(I) center crystal before and after Ar⁺ laser irradiation (measured at 80K)
— after Ar⁺ laser irradiation
— before Ar⁺ laser irradiation

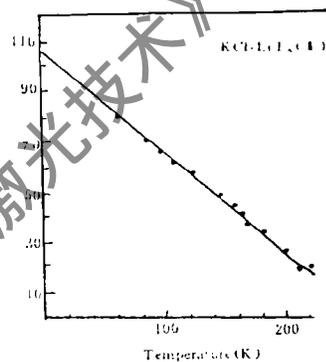


Fig. 5 Measured luminescence decay time as a function of temperature

从 $F_A(I)$ 等激光工作心的有关资料,我们知道,掺杂是色心激光材料研究的核心。对于纯的碱卤化物来说,它们的结构比较简单,熔点又比较低(如 KCl 属面心立方结构,熔点 775°C),很容易拉制出完美的大尺寸单晶来。但要生长出掺杂碱卤化物单晶,却成为一个十分突出的困难问题,在国内外至今都是正在研究中的课题,特别是要求生长掺杂浓度高,杂质分布均匀而又稳定,并能有效起作用的掺杂晶体,便成为色心激光晶体研制的关键。

为了获得高浓、均匀、有效掺杂的色心晶体,除了要知道掺杂体系有关的物理化学参数外,体系的相图在色心激光晶体的研究中显得极为重要。从相图中,我们可以大致判别晶体生长是否发生相变,混晶或化合。尽管我们所能从文献中查到的都是常量下的热力学平衡状态相图,难以直接应用到微量的掺杂体系的单晶生长过程中。但是,通过不同类型的相图,结合物理化学、结晶学的有关知识,可以帮助我们判别掺杂型晶体生长的难易,选择、控制晶体的生长条件,指出掺入物在晶体中可能的位置以及对色心的形成、转变及光谱性质的可能影响。下面根据不同的相图类型,讨论相变过程杂质的进入以及分布。图 6^[16],图 7^[17],图 8^[18]是制备 $\text{KCl}:\text{Li } F_A(I)$ 心晶体需考虑的三个相图。

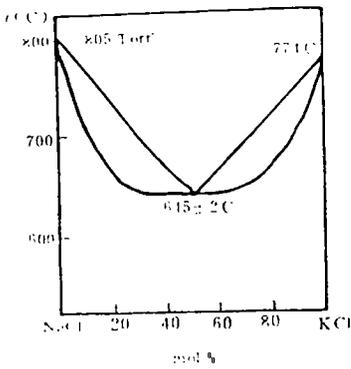


Fig. 6 Phase diagram of KCl-NaCl

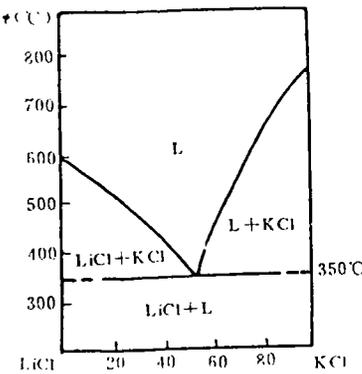


Fig. 7 Phase diagram of KCl-LiCl

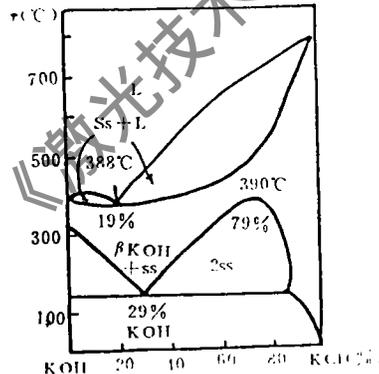


Fig. 8 Phase diagram of KOH-KCl

化学、结晶学的有关知识,可以帮助我们判别掺杂型晶体生长的难易,选择、控制晶体的生长条件,指出掺入物在晶体中可能的位置以及对色心的形成、转变及光谱性质的可能影响。下面根据不同的相图类型,讨论相变过程杂质的进入以及分布。图 6^[16],图 7^[17],图 8^[18]是制备 $\text{KCl}:\text{Li } F_A(I)$ 心晶体需考虑的三个相图。

KCl-LiCl 体系是固相不互溶并且有一个共晶点的体系,是固相不互溶的典型。在进行掺锂 KCl 晶体生长,首先遇到的问题是:晶体生长困难;锂不易掺入基质晶体;掺锂量不均匀,难以获得均质,性能稳定的晶体。造成上述问题的根源在于 KCl-LiCl 固相不互溶,使得 Li^+ 难以掺入 KCl

晶体中,在热力学上 Li^+ 无法取代 KCl 中 K^+ 的格位,结果将无法获得我们所需要的代表 $F_A(I)$ 心结构的材料。

KCl-NaCl 属固相互溶体系,当二组份常量混合(各百分几十)时,高温下互溶,低温下 (490°C) 脱溶,形成多相。在该体系大量的 KCl,少量的 NaCl 或者大量的 NaCl,少量的 KCl,低温脱溶现象不明显。根据相图的性质,它可能生长出较大掺杂比(百分之几)、均质的固溶体单晶。从单质的性质来看, K^+ , Na^+ 的性质很相近,在纯度较高的 KCl 原料中,经常仍然含有较大浓度的 NaCl ($>20\text{ppm}$)。单晶生长时,原料中和坩埚中的 Na^+ 将很容易地进入生长中的 KCl 基质晶体。经原子吸收光谱分析,晶体中 Na^+ 浓度可高达几十~几百 ppm,足以构成与 KCl:

LiF_A(I)心吸收谱重叠,明显影响KCl:LiF_A(I)心光谱性质的F_A(Na)心,F_B(Na)心等,吸收F_A(I)心有效的泵浦光,造成激光器整体光-光转化率下降。因此,在掺Li⁺KCl晶体中,必须除Na⁺。探索Na⁺如何影响F_A(I)心的光谱性质,是我们近期将进行的研究课题。

KCl-KOH属固相部分互溶体系,KCl-KOH熔点相差悬殊。OH⁻在色心晶体材料的作用中是一个不容忽视的重要因素。美国Cornell大学曾在研究掺杂NaCl晶体中出现的失误就是个典型例子^[11,19]。他们报道了NaCl掺K⁺的(F₂⁻)_A色心激光,但很多单位无法重复他们的实验结果,后经细致的研究,他们又发表文章修正了原来的研究结论,阐述了起关键性作用的并非K⁺,而是在生长中无意引入的阴离子杂质OH⁻。阴离子杂质的引入,给碱卤晶体中的色心家族增添了许多新的成员。晶体原料,大气等途径都是OH⁻的可能来源。在我们进行的KCl:Li⁺:OH⁻晶体类F₂⁻心的研究工作中^[20],虽然Li⁺的存在对OH⁻的作用存在着明显的抑制作用,但是,OH⁻的引入,则表现出与单掺Li⁺的KCl晶体光谱上明显的差别。阴阳离子双掺杂已经可以在几种材料中形成下标为AH型的新色心。

2. KCl:Li晶体的生长^[21~26]

根据KCl-LiCl体系相图和它们的热力学性质,可以推断,Li⁺掺入到KCl基质晶体中的可能性是很小的。按常规生长KCl的方法是不能达到高浓、均匀、有效而能满足色心激光要求的晶体。为此,我们在能够严格控制纵向温梯的炉子中,采用中心强冷却的方法,建立一种非平衡态的生长温场,通过控制熔体表面温度和炉温,使晶体生长前沿处在周期性的过冷状态,强迫Li⁺以高浓液相形式尽可能均细地“包藏”在生长中的KCl晶体中,形成复相组织,然后以高温热处理的方法,使以KCl·LiCl共晶为基本存在特征的夹杂相均细到固溶胶体状态。在热处理过程中,晶体温度的控制很关键,为此,晶体生长结束后,将晶体提离液面并迅速冷却至约380℃,恒温1~2h,然后令晶体急速降温至略低于340℃,再以很缓慢的速度降至室温。经此过程所制得的KCl:Li晶体,呈光学均质透明,其Li⁺含量可达100~200ppm,在高分辨率电子显微镜下观察到的Li⁺夹杂复相颗粒直径小于0.05μm。若上述处理达不到要求,可重复上述热处理过程。

四、晶体中色心的形成方法及色心浓度估算

要获得具有激光活性的色心,首先必须制备最基本的F心。在晶体中产生色心的方法很多,主要有附加着色法,辐照损伤法和电解着色法。

电解着色法是将晶体加热到高温下,在晶体的两端外加一个每毫米几十伏电压,通过电场的作用,达到获得阴离子空位的目的。该方法目前用得不多,详细的描述可见文献[27]。

辐照损伤法是最为方便的方法,需要着色的晶体可以是各种各样的,着色温度除高温必须考虑到色心形成与热衰减的平衡关系外,低温下可选择各自所需的温度范围。辐射源根据它们穿透能力的不同,可以选择紫外光、x射线、γ射线、电子束等。但是辐照损伤产生的色心,往往比较复杂,伴生着各种类型色心的形成,稳定性相对较差。一般情况下,都尽可能采用附加着色法来获取单纯、稳定的色心。

附加着色法是将加热到高温下的碱卤晶体置于一定浓度下、与晶体同成分的碱金属或卤素蒸气中,通过离子扩散获得所需的色心。

例如,将加热的KCl晶体置于金属钾蒸气中,由于高温,外界气氛及离子扩散作用,晶体

中将产生色心(主要是F心)。根据热力学原理可知,晶体中F心的密度与晶体温度、金属蒸气浓度(或定温时的蒸气压)成正比。采用附加着色法制备色心晶体时,除了实验上可控制的温度、蒸气压(在真空条件下,充入适当分压的惰性气体)外,还应根据晶体厚度选择着色时间。一般晶体温度在熔点下50~100℃时,着色温度30~60min,可获高浓、纯净的F心。晶体中掺杂离子的不同,会大大地影响着色的难易程度和色心的形成。如KCl:Li:Pb晶体,虽然Pb²⁺的浓度在晶体中仅几十ppm,但要获得与KCl:Li晶体类似的着色结果,选择的晶体温度要比单掺Li⁺的晶体高约100℃,即需要选择接近晶体熔点的温度。与辐照损伤法产生点阵空位的Shottky缺陷和填隙子的Frenkel缺陷不同,附加着色在晶体中主要产生Shottky缺陷。因此,形成的色心稳定性较好。高浓、纯净、稳定的F心的获得是附加着色法的主要优点。

晶体的附加着色是在可以控制炉温和管压的热管炉中进行的。Mollenauer L. F.^[28]报道了可以准确控制F心浓度和晶体连续赋色的装置,结构较为复杂。参照有关文献,我们设计了一套简单的装置^[29],经多年来的使用,可以较好地满足着色的要求。着色的KCl:Li, NaCl:OH⁻, KCl:Na:OH⁻晶体,已先后获得了色心激光输出。一组KCl:Li晶体的赋色条件为:晶体厚度5mm,着色温度620℃,时间50min,充入惰性气体压力10~20kPa。

晶体中色心浓度的估算可以由吸收带的峰面积(峰高、半峰宽),根据Smakula公式^[30]推导出的关系式来计算。

$$\text{吸收峰为洛伦兹型} \quad N \cdot f = 1.29 \times 10^{17} \cdot \frac{n}{(n^2 + 2)^2} \cdot K \cdot H \quad (1)$$

$$\text{吸收峰为高斯型} \quad N \cdot f = 0.87 \times 10^{17} \cdot \frac{n}{(n^2 + 2)^2} \cdot K \cdot H \quad (2)$$

式中, N 为色心浓度, f 为振子强度, n 为晶体折射率, K 为吸收系数, H 为吸收带半宽度。一般情况下实测的F吸收带线型,介于上述两种理想线型之间。

对于KCl晶体而言,(1)式可化为:

$$N \cdot f = 1.08 \times 10^{16} \times \frac{\ln \frac{T_0}{T}}{l} \times \left(\frac{1.24}{\lambda_2} - \frac{1.24}{\lambda_1} \right) \quad (3)$$

从晶体厚度 l ,吸收峰半宽度波长 λ_1, λ_2 ,吸收峰透射比 T_0/T ,可估算晶体中吸收组分浓度。

五、KCl:Li晶体F_A心形成、转型及光谱性质

上面已经讨论了KCl-LiCl固相完全不互溶体系晶体生长特性及需采用的特殊工艺条件。但是,晶体中“掺入”的Li⁻按热力学条件难于替代K⁻的位置。而替位是F_A(I)心形成的必要条件。我们认为,附加着色条件及过程,一方面是高浓、纯净的F心的获得,另一方面则为Li⁻进入晶格提供了较好的外界条件。首先是着色时,晶体必须处于较高的温度下,晶格振动加剧,同时也是掺杂复相KCl:Li晶体的热处理过程,可使晶体中含锂夹杂相颗粒更均细分布。更重要的是,随着着色过程的进行,晶体从表面到内部中大量阴离子空位的形成,局部改变了原有面心立方基质KCl晶体的点阵结构和化学配比。在这样的条件下,Li⁻有较好的可能和途径进入基质KCl晶格,取代K⁻的格位,同时将形成F_A心。图9示出了KCl:Li晶体经赋色后在室温和液氮温度下的吸收光谱图。低温下的光谱已表现出明显的F_A(I)心特征双峰吸收结构,表明已有一定浓度的F_A心产生。

赋色后的晶体一般均需进行热处理,一方面促使 F 聚集心解体并消除不稳定的杂心,一方面可以通过选择适当的热处理条件,来控制色心浓度,以适应色心激光运转的要求。条件可选择:2mm 厚的晶体,热处理温度 600~630℃,恒温时间 2~4min,热处理后令晶体急速冷却至室温。

色心的转型是利用色心在适当的光、热条件下,晶体中的某一色心转变成另一种色心的过程。在进行了大量的实验后证实,对不溶性体系的 KCl:Li 晶体来说,赋色过程可直接形成 F_A 心,转型主要是完成色心结构重整,提高 F_A 心的浓度。而且,通过转型,可以根据需要控制 F_A(I)型色心中 F_{A1}和 F_{A2}的分配,图 3 是转型后 KCl:Li F_A(I)心的吸收光谱。一组典型的 F_A(I)心转型条件为:晶体温度:-20~-40℃,汞灯的 F 带光辐照 30min。转型条件不同,获得的最终产物将有很大的差别。

晶体中色心受激荧光的测试是色心激光晶体材料研究的一个重要方面。图 10 是我们组装的低温红外荧光仪器简图,可以较好地满足色心晶体荧光测试的要求(国内目前尚无合适的低温红外荧光仪商品)。

晶体光学表面加工是色心激光晶体激光运转前的一个必要步骤。由于 KCl 晶体质软、易潮解,所用的晶片又是约 2mm 厚的小片,给晶体两面的光学加工造成了相当的难度。经过一段时间的探索,我们采用如下步骤,获得了光学表面好,适于激光运转的色心晶体。(1)切片赋色及热处理后的晶体,先在较细的金相砂纸中粗磨,注意控制晶体厚度及平行度。(2)将麂皮固定在平的电木板上,用无水乙醇作润滑剂,晶体在麂皮板上精磨和抛光,抛光板用一段时间后要清洗,以防磨下的盐粒沉积,抛光时将会割伤晶体的光学表面。加工时,特别是抛光的最后阶段,应注意手的用力适度、均匀。抛光后的晶体装上晶体架后迅速转移到干燥器内。

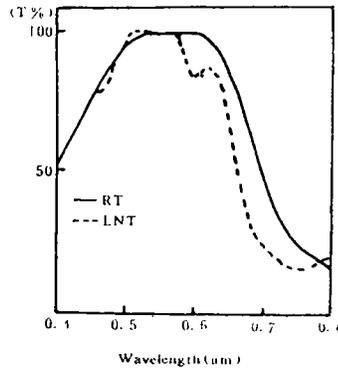


Fig. 9 Absorption spectrum of KCl:Li crystal after additive coloration

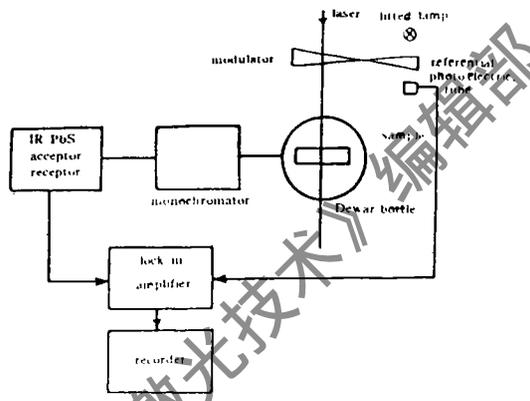


Fig. 10 Schematic diagram of low temperature IR fluorescence spectrophotometer

六、色心激光

可用于色心激光运转腔体式已有多种。由于色心和染料作为激光增益介质的许多相似性,色心激光器借用了可调谐染料激光高强度激光的泵浦方式和调谐等技术。图 11 为商器化的典型低温色心激光器的结构^[31]。该腔体是一个象散补偿三镜折叠腔,按利特罗(Littrow)装置工作的光栅

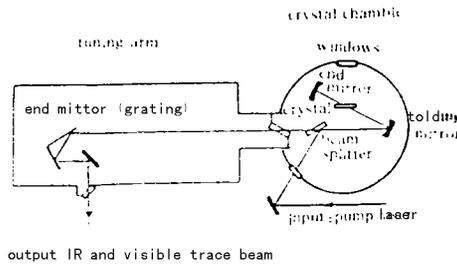


Fig. 11 Schematic diagram of the color center laser

作为一个端镜,并兼有调谐元件和输出耦合的双重功能,衍射光栅的一级参与激光振荡,零级耦合输出。利用简单的正弦机构驱动,转动光栅进行激光调试时,色心激光输出的方向及位置保持不变。晶体放在布儒斯特角的位置,晶体架上可以同时装上3~4块晶体,通过把几种晶体的调谐区域连接起来,实现宽带的调谐激光输出。图12是我们在上述激光器上,用 Ar^+ 激光抽运的 $\text{KCl}:\text{Li F}_A(\text{I})$ 心晶体的激光调谐曲线。激光研究可参见有关文献[32~34]。

最后,我们将色心激光制备的过程简单示于图13。

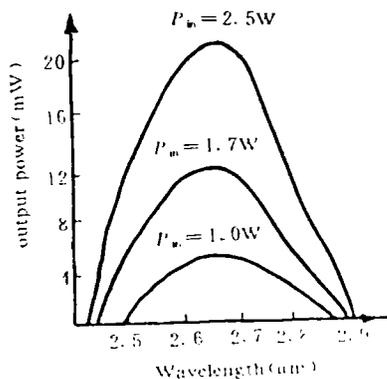


Fig. 12 Tuning curve of $\text{KCl}:\text{Li F}_A(\text{I})$ center laser

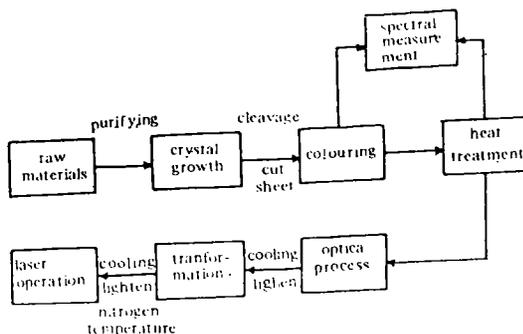


Fig. 13 Block diagram of preparation of color center laser crystal materials

参考文献

- 1 Fritz B, Merke E. Solid State Commun., 1965;3:61
- 2 Mollenauer L F, Olson D H. A P L, 1974;24(8):386
- 3 German K R. J O S A, 1986;B3(1):149
- 4 林建明,许承晃,潘子龙 *et al.* 人工晶体学报,1991;20(3-4):373
- 5 Litfin G, Beigang R, Welling H. A P L, 1977;31(6):381
- 6 Gellermann W, Luty F, Pollock C R. Opt Commun, 1981;39(6):391
- 7 Schneider I, Marquardt C L. Opt Lett, 1979;4:390, 1980;5:24
- 8 Afzal R S, Schneider I. J A P, 1991;69(8):4178
- 9 Wandt D, Gellermann W. Opt Commun, 1987;61(6):405
- 10 陈光富,许承晃,邱继展 *et al.* 华侨大学学报,1990;11(3):246
- 11 Pinto J F, Georgiou E, Pollock C R. Opt Lett, 1986;11(8):519
- 12 Wandt D, Gellermann W, Luty F, *et al.* J A P, 1987;61(3):864
- 13 许承晃. 华侨大学学报,1990,11(3):209
- 14 Mollenauer L F. Quantum electronics. New York, Academic Press Inc, 1979, Part B Chap 6
- 15 Stiles L F, Fontana M P, Fitchen D B. Phys Rev, 1970;B2:2077
- 16 Scheil A, Stadamaier C. Materials Research Bulletin, 1967;2(2):263
- 17 Nissen D A. J Electrochem Soc, 1979;126(2):176
- 18 Ruby C. Academic Science Series, 1968;C267(17):1044
- 19 Pinto J F, Stratton L W, Pollock C R. Opt Lett, 1985;10:384
- 20 陈光富,许承晃,邱继展 *et al.* 华侨大学学报,1990;11(3):237
- 21 许承晃,黄继泰,丁朝木. 华侨大学学报,1982;2:13
- 22 孙荣传,张文珍,邱继展 *et al.* 中国激光,1983;10(11):778
- 23 邱继展,李建华,丁长荣 *et al.* 华侨大学学报,1984;1:43
- 24 许承晃. 华侨大学学报,1984;1:36

- 25 邱继展,许承晃,林建明 *et al.* 人工晶体学报,1988,17(3~4):336
- 26 Xu C H, Lin J M, Qiu J Z *et al.* Electromagnetic Metrology. Proceedings of International Symposium on Electromagnetic Metrology, ISEM '89, Beijing, China, Oxford, Pergamon Press, 1989,420
- 27 Rzepka E, Bernard M, Lefrant S *et al.* Opt Commun, 1978,62:174
- 28 Mollenauer L F. Rev Scient Instrum, 1978,49(6):809
- 29 李建华,林建明,魏永聪 *et al.* 华侨大学学报,1984,1:47
- 30 Smakula A. Z Physik, 1927,45:30
- 31 Burleigh Instrument Inc. Instruction Manual of F Center Laser. 1983:25
- 32 潘子龙,林建明,许承晃 *et al.* 应用激光,1992,12(4):159
- 33 黄妙良,许承晃,林碧洲 *et al.* 激光技术,1992,16(3):151
- 34 林建明,许承晃,邱继展 *et al.* 人工晶体学报,1993,22(4):309

* * *

作者简介:林建明,男,1963年3月出生。助理研究员。现从事色心晶体材料和可调谐色心激光研究工作。

许承晃,男,1934年1月出生。研究员,所长。现从事非金属材料的基础和应用研究。

收稿日期:1994-02-21 收到修改稿日期:1994-06-16

· 简 讯 ·

阿尔法-大型先进反射镜计划整体装置即将完成

天顶星阿尔法-大型先进反射镜计划(Zenith Star/Alpha-LAMP)化学激光器整体计划即将完成其试验装置和整体高功率实验所需要的软件和硬件的设计与制造。

预定1994年夏末开始将硬件交付加州TRW Capistrano试验场,试验将于1996年年中开始。

该试验装置约完成85%,约80%的硬件或已完成或是在最后的制造之中。

光束取样品已成功地应用到大型先进反射镜计划中段。非冷却光学加工也在顺利地进行之中。光束扩展器,即大型望远镜分系统的二级反射镜,已抛光并镀膜。该反射镜的光学吸收率比预定目标好几倍。

二级反射镜组件已完成并存放着。快速控制反射镜面板和诊断望远镜二级反射镜均已完成,二者的吸收率均比期望的好。诊断望远镜组件已完成,并做了一次成功的系统试验。快速控制反射镜一直存放到最后装配和验收试验时使用。

光束控制计算机软件研制已完成约40%,比计划提前。

(邹福清 刘建卿 供稿)

· 产品简讯 ·

全光纤衰减器

袖珍全光纤衰减器用于远距离通讯、电缆电视以及数据网络系统,产生很低的背反射。固定数值的外建和在线衰减器使用熔融光纤技术。这种技术依靠渐逝耦合的自然特性,在1~30dB预固数值内产生损耗。可变数值的在线衰减器利用调节螺钉改变特制光纤弯曲半径,来改变2~40dB的损耗。弯径的精密控制可保护光纤避免损坏。

译自 L F World, 1994;30(5):846 张贤义 译 刘建卿 校