

# 色心激光器及其可能的应用

施 汉 谦

(中国计量科学院)

吴 光 照

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 评述了色心激光器的发展和应用前景。

## Color center lasers and their potential applications

*Shi Hanqian*

(National Institute of Metrology, China)

*Wu Guangzhao*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** The development of F-like center lasers and their potential applications are reviewed in this paper.

色心激光器是新近走向成熟的一类可调谐固体激光器,因靠晶体中的色心产生激射作用而得名。在光泵阈值、输出功率、转换效率及调谐性能等方面,色心激光器均可与染料激光器或其它可调谐激光源相比,且在近红外区填补了某些空白<sup>[1,2]</sup>。色心激光器具有发射线宽窄、易于单模运转、机械结构简单等优点<sup>[3]</sup>。

### 一、色心的激射作用与硷卤化物中的色心

色心是人们早就熟悉的一类光学中心。在这种光学中心上,电子-声子耦合极强,能级加宽得很宽(达几千厘米<sup>-1</sup>),可以把它看

作是四能级系统(图1)。色心的基态位形和激发态位形差别显著,发光的斯托克斯位移很大,所以在荧光带内,吸收系数往往很小,也就是说,可以有很高的净增益。本文不再详述光通过色心晶体时的“负吸收”条件。这里只强调两点:一是在电子态之间,粒子数不一定必须反转,实际上只要少数粒子(约百分之几)达到电子激发态,就可以获得“负吸收”;二是色心激光器不一定必须使用低温。KCl:F心之类之所以需要低温,不是色心激光器的固有特征,而是KCl中F心不能在室温下存在。

目前,硷卤化物中的色心最受重视,其原因是它们有很好的发光性能(多半已为人们

收稿日期:1979年11月26日。

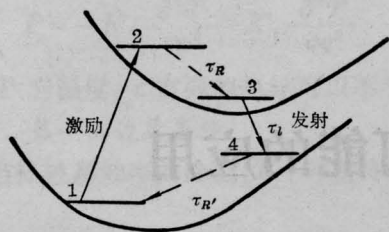


图1 F-心的泵浦循环过程

【注：弛豫跃迁 $\tau_R$ 和 $\tau_{R'}$ ( $\leq 10^{-12}$ 秒)相对于发光衰减时间 $\tau_l$ ( $\approx 5.7 \times 10^{-7}$ 秒)是相当快的】

所知), 色心的结构也比较清楚, 就硷卤晶体来说, 人们所关心的色心有下面种种:

(1) F-心: 一个卤空位俘获一个电子。

(2)  $F_A$ -心: 靠近局外硷金属离子的一个卤空位上俘获一个电子。根据弛豫特性, 又分为 $F_A(I)$ 型和 $F_A(II)$ 型两种。理论和实践均表明,  $F_A$ 心有极好的激光性能。现将 $F_A$ 心的结构、光谱及能级示于图2供参考。

(3)  $F_2^+$ -心: 两个卤空位俘获一个电子。 $F_2^+$ 心和 $F_A(II)$ 心弛豫位形相似。 $F_2^+$ 心唯一的缺点是难以处理, 故难于商品化。

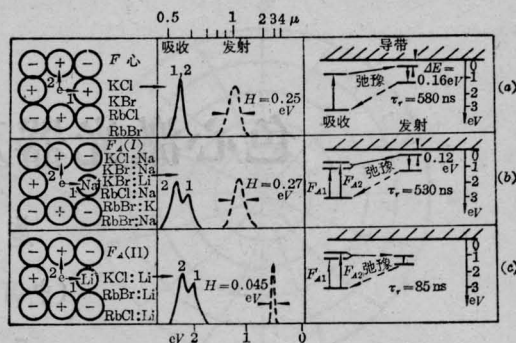


图2 F心和 $F_A$ 心的特性

- a) KCl:F心
- b) KCl: $F_A$ (Na)心[ $F_A(I)$ ];
- c) KCl: $F_A$ (Li)心[ $F_A(II)$ ]

(4)  $F_B$ -心和 $F_C$ -心: F心的周围可能有两个甚至三个局外硷金属杂质离子, 形成 $F_B$ 心和 $F_C$ 心。

(5) M-心: 两个F心邻近, 沿 $\langle 110 \rangle$ 方向排列, 形成M心。类似地, M心也能和一个硷金属杂质组成 $M_A$ 心等。

在表观上, 可从吸收谱或发射谱的位置(光子能量)来区别上述色心。有重要意义的色心晶体, 其吸收和发射谱特性列于表1。

表1  $F_A$ 心和F心的发射特性

系 统	类 型	$E_{max}$ (电子伏)	$H$ (电子伏)	$\nu_e(10^{12} \text{秒}^{-1})$	$\tau(10^{-8} \text{秒})$	$\Delta E$ (电子伏)
KCl	F	1.24	0.25	4.3	58	0.160
	$F_A$ (Na)	1.12	0.27	4.7	53	0.138
	$F_A$ (Li)	0.46	0.045	2.5	8.5	—
KBr	F	0.92	0.22	3.75	111	0.142
	$F_A$ (Na)	0.84	0.25	—	100	0.140
	$F_A$ (Li)	0.75	0.20	—	100	0.138
RbCl	F	1.09	0.24	3.33	60	0.13
	$F_A$ (Na)	0.93	0.22	—	60	—
	$F_A$ (Li)	0.4~0.5	—	—	9	—
RbBr	F	0.82	0.22	—	84	0.11
	$F_A$ (K)	0.73	0.24	—	—	—
	$F_A$ (Li)	0.4~0.5	—	—	—	—

注:  $E_{max}$ ——发射带位置;  $H$ ——发射带半宽;  $\nu_e$ ——电子-声子耦合有效声子频率;  $\tau$ ——荧光辐射寿命;  $\Delta E$ ——激发态到导带底的距离

硃卤化物中，色心光谱的位置有一定的规律性。随着晶格常数的增加，发射带的峰值位置按已知规律向长波移动。例如，材料由最小晶格的  $\text{KF}:\text{Li}$  变到最大晶格的  $\text{KCl}:\text{Li}$  和  $\text{RbCl}:\text{Li}$ ， $F_A(\text{II})$  心的发射峰向长波移动。为了把激光调谐范围伸到 3~4 微米的区域，只有用  $\text{RbBr}$  和  $\text{RbI}$  的  $F_B(\text{II})$  心才有希望<sup>[4]</sup>。

## 二、色心激光器的设计与输出特性

色心晶体有很高的增益系数，因此，工作物质——色心晶体的尺寸不必很大（毫米量级就够了）。色心发射多半是强允许跃迁，荧光寿命短至  $10^{-8}$  秒量级。此外，多数硃卤化物中的色心只存在于低温，光谱特性随温度变化，需要适当的低温和气密装置（充以  $\text{N}_2$  气）；加之希望调谐输出，激光器的设计有些特别之处。

值得注意的有以下几点：

(1) 要根据色心晶体选择工作温度。

(2) 激活中心的光密度必须小心地调整，以便在运转温度下有最佳的光泵吸收率。

(3) 晶体取向要选择到使参与激光作用的中心数目最大。泵浦光的偏振方向也要适合分束器和色心晶体的泵浦带。

(4) 要求晶体中的激光作用区与光泵区匹配，要求最佳输出耦合。

当采取一些措施后，认为达到 1 毫瓦阈值的结构是可能的；将来用 5 毫瓦  $\text{He-Ne}$  激光作泵浦源也是完全可能的<sup>[5]</sup>。

现在报导的商品色心激光器，调谐范围为 2.2~3.1 微米。图 3 集中描绘出硃卤色心晶体的这些特性。

色心激光器最突出的特点乃是激光的质量。这种激光器容易在单模运转，输出频宽很小（已达 1 兆赫），不必用专门的稳频措施，这是许多其它激光器所无可伦比的。色心谱是均匀加宽的，因此模式分离比较大，不用

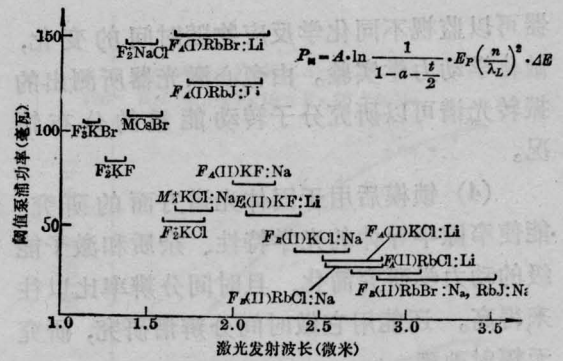


图 3 硃卤色心晶体阈值泵浦功率和激光调谐范围

选频元件时的模式频谱，即使在高泵浦功率下也相当清晰。只要用一个 5 毫米厚的 60~80% 反射率的 F-P 标准具就能达到稳定的单模运转。

## 三、色心激光器的可能应用

作为一个光谱源，色心激光器在近红外比其它可调谐激光器有许多独特的优点。因此，色心激光器在不同领域将会得到广泛应用。

(1) 近红外高分辨激光光谱研究的理想辐射源。色心激光器可以调谐到激励  $\text{OH}$ 、 $\text{HF}$  和  $\text{HN}$  双原子分子以及多原子分子中这些键的基频振动，也可以激励许多重分子中上述这些双原子基团。在多原子分子中，能用色心激光器激励  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{HCN}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NO}_2$  等分子。

(2) 锁模后用于激光光学非线性实验。因为激光输出功率比普通光高，所以使许多非线性吸收和多光子吸收等多种非线性实验有可能进行。例如，采用色心激光器，利用饱和和吸收效应，原则上能使诸如  $\text{OH}$  等分子的超精细结构分辨到小于 1 兆赫的极限内，而不是以往的简单吸收实验中多普勒加宽的几百兆赫宽度。此外，利用色心激光的准直光束和较高输出功率，能探测非常弱的跃迁。

(3) 激光化学方面的应用。用色心激光

器可以监视不同化学反应物随时间的变化,做化学动力学实验。由色心激光器所测出的振转光谱可以研究分子转动能量的分布情况。

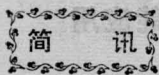
(4) 锁模后用于固体光谱方面的研究。能使窄隙半导体的光学特性、杂质和激子能级的动力学研究简化,且时间分辨率比以往来得高。还能用它做时间分辨谱研究,研究无辐射弛豫。

(5) 用于红外探测元件的品质检验以及在近红外作为光学系统调制传递函数或光学传递函数鉴定中的辐射源。

## (6) 检测和监视环境污染。

### 参 考 文 献

- [1] L. F. Mollenauer, D. H. Olson; *J. Appl. Phys.*, 1975, **46**, 3109.
- [2] G. Litfin *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **31**, No. 6, 381.
- [3] R. Beigang *et al.*; *Opt. Commun.*, 1977, **22**, No. 3, 269.
- [4] J. L. Hall, J. L. Carlsten; *Laser Spectroscopy III*, 1977, 370.
- [5] L. F. Mollenauer, D.H. Olson; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **23**, 386.



## 首届“全国光学/激光边缘学科 讨论会”在无锡召开

中国光学学会委托上海市激光学会于1980年11月22日至24日在江苏无锡市举行了《全国光学/激光边缘学科讨论会》。全国各地从事各种不同专业的科学家和科技工作者60余人参加了会议,宣读论文报告29篇。内容涉及到激光在物理学、化学、生物学、医药学、农业、环境保护等方面的基础研究和应用开发。与会代表对激光与分子生物学的共生发展感到兴趣,深入讨论了血红蛋白的结构与功能的激光光谱研究以及利用CARS光谱对于生物大分子结构与功能的研究可能性。在激光医学中代表们对于微循环血流激光多普勒测定可用于保健检查引起了很大兴趣。激光照射治疗对人体血红蛋白的氧化—还原反应,呼吸酶、激肽酶的激活以及对免疫功能、神经系统的调理等问题的讨论,认为有深入研

究的必要,预期激光技术引进生命科学的研究中大有可为。

此外,会议对于运用激光技术对分子激发、反应动力学等方面的发展有推动作用颇为重视。并对激光裂解色谱,以及激光在海洋环境计测中的应用进行了讨论。代表们对激光用于遗传研究方面的进展,着重讨论了激光对水稻诱发变异性、激光对家蚕、蛙卵发育的影响研究等,其中对“超声—激光抗癌中草药联合反应,的研究及临床应用效果引起广泛的关注。

本届边缘学科讨论会内容广泛,气氛活跃,有助于推动激光技术的发展及向各学科领域的渗透。

(群莅)