

Na₂第一三重态吸收系数及小信号增益系数测量

王 骐 刘 伟 刘金城 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨)

摘要: 本文报导了Na₂第一三重态跃迁吸收系数和小信号增益系数的测量。在整个第一三重态跃迁区域内, 小信号增益系数大于吸收系数, 证实了产生激光振荡的可能。

The measurement of absorption and small signal gain coefficient of the first triplet transition of the sodium dimer

Wang Qi, Liu Wei, Liu Jincheng, Ma Zuguang

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology)

Abstract: This paper reports the measurement of absorption and small signal gain coefficients of the first triplet transition of the sodium dimer. The small signal gain coefficient is larger than the absorption coefficient in the whole spectral region, which also confirms the possibility of the laser oscillation in this region.

一、引 言

对蒸气系统, 一般探索新的激光介质实现激光振荡的主要步骤是: 1. 确定要实现激光振荡所涉及的能态的能级结构, 给出可信的能级图, 并计算跃迁波长及 F, C 因子等参数。2. 通过改变外界宏观条件(温度, 压力等)和激励手段及泵浦能量, 实验中实现介质在所寻求跃迁的谱区的荧光。这两步是纯粹激光光谱的工作。3. 测量该谱区的吸收系数和发射系数, 并实验寻找增加增益的宏观条件, 及控制诸因素使之向有利于增益增长的方向发展, 最终通过两个系数的比较判定在该谱区实现激光振荡的可能性, 这是激光介质光谱学与一般激光光谱学的根本区别, 它使下一步工作减少了盲目性。4. 选择合适的谐振腔形, 腔片耦合输出及泵浦条件, 寻求该谱区的激光振荡。

孤立地测量吸收系数和发射系数是没有意义的, 因为高效率产生荧光的介质, 并不一定能高效率地产生激光, 而低增益介质则允许在超荧光产生之前有较大的能量积累(这很可能是高储能介质系统), 这里关键是净增益的获得(通过吸收和增益的比较)。只有净增益大于零的介质才有可能产生激光运转。

1980年马祖光首次用紫外激光激励, 在甚低气压条件下观察到了Na₂第一三重态跃迁荧光谱^[1], 这之后本文作者用不同技术途径研究了 $b^3\Sigma_g^+$ 粒子数集聚^[2,3], 并与此同时测

得了吸收系数和小信号增益（见本文），在此基础上最终实现了激光振荡^[4]。

二、吸 收 系 数 测 量

1. 实验装置、条件及结果

吸收系数测量的关键是如何提高精度和灵敏度，图1是我们采用的装置图，其中由稳压源控制的卤素灯(40W, 12V)发出的复色光通过一小孔光栏，由一焦距为650mm的球面镜把光源转成平行光束，射入倒置望远镜系统进行压束，使通过热管炉的光束直径小于热管中钢丝网的内径，减少光在壁上散射本底光，保证光在通过吸收区时只与介质相互作用，不与管壁相遇，这是消除本底光的重要一环（实验中入射热管光束直径为6.7mm，出射光束直径为12.0mm，热管钢丝网内径15mm~20mm），热管炉长度为1000mm。测量中努力避免热管炉热区与冷区交界面上涡流的形成和影响，也是保证测量精度的一个重要方面，为此通常需要吸收区尽量长，相对减小涡流影响，而热区控温要精控，避免温度起伏造成热不稳定，热管炉内充缓冲气体与炉内产生蒸汽压平衡，避免界面处有压差，造成气流。

从热管炉出射的光束用一块焦距为60mm的柱面透镜会聚并且经过一块截止于600nm的长通滤光片(35-5636-6)照射到OMA-II探测系统的多色仪狭缝上，所摄光谱经过OMA-II主机处理显示在屏幕上。利用OMA-II记录可以做到测量迅速，避免测量时间内各种不稳定造成的误差，我们同时用Lock-in和单色仪进行吸收系数测量，每测一条吸收谱线大约0.5h以上，而OMA-II一次扫描(扫完100nm~200nm范围)时间为16ms，一次测谱只需1s~2s，这就使各种不稳定误差大大减小。每次测量中用OMA-II处理将本底光减掉，保证数据精度。

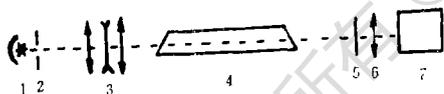


图1 吸收谱实验装置

- 1—卤素灯 2—小孔光栏 3—倒置望远镜
4—热管炉 5—600nm长通滤光片
6—柱面透镜 7—OMA-II系统

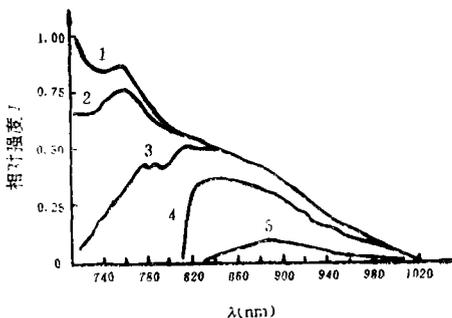


图2 吸收谱

- 1— $T = 100^\circ\text{C}$ 2— $T = 480^\circ\text{C}$ 3— $T = 560^\circ\text{C}$
4— $T = 640^\circ\text{C}$ 5— $T = 720^\circ\text{C}$

在缓冲气压为 $1.5 \times 10^4 \text{Pa}$ ，灯源电压10V的条件下分别测量了 100°C 时没有钠蒸汽产生的卤素灯的透过光强（基准光强）和 480°C ， 560°C ， 720°C 时经过钠蒸气吸收的卤素灯的透过光强（实验中采用 100°C 时卤素灯透过光强为基准，目的是将热管炉中在 100°C 条件下各种杂质气体，易挥发物等吸收影响消除）。图2给出了OMA-II探测系统记录的几个温度下吸收谱，由图可见， $\text{Na}_2\text{A-X}$ 带的吸收截止于 820.0nm 附近，其后则为第一三重态的吸收。

为计算吸收系数，测量了热管炉的热场分布，如图3所示。

2. 吸收系数

根据吸收系数的定义式:

$$\alpha = \frac{1}{l} \ln \frac{I_0}{I}$$

式中, l 为吸收长度; I_0 为初始光强; I 为经过吸收后的光强; 并且由图3所示的热场分布得到的加热区长度, 计算了如图4所示的620.0nm~920.0nm谱区的480℃, 560℃, 640℃, 720℃吸收系数。

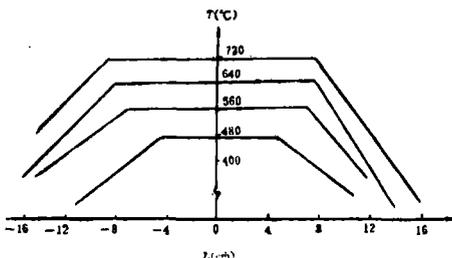


图3 钠热管炉热场分布

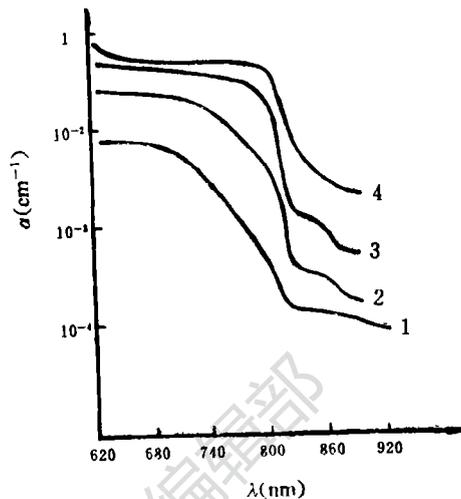


图4 钠蒸气在不同温度下的吸收系数

1— $T = 480^\circ\text{C}$ 2— $T = 560^\circ\text{C}$
3— $T = 640^\circ\text{C}$ 4— $T = 720^\circ\text{C}$

3. 结果分析

首先判断吸收谱的归属。1. 由于用OMA-II探测系统记录, 谱的重现性非常好, 因此光源的波动和系统热噪声等偶然因素的影响可以排除。2. 由能级图可知, 由 $X^1\Sigma_g^+$ 态向上的偶极允许跃迁所应得到的吸收谱以 $X^1\Sigma_g^+ \rightarrow A^1X_u^+$ 吸收离该谱区最近, 而根据文献[5], A-X带吸收将截止于810.0nm, 这在本实验中也明显观察到了, 因而 $>810\text{nm}$ 的吸收谱从谱区范围和选择定则判断, 它只能来自于 $x^3\Sigma_g^+ \rightarrow b^3\Sigma_g^+$ 的吸收, 这与Konowalow关于第一三重态跃迁谱的计算^[6]是吻合的。3. 在钠蒸汽中, 原子密度与双原子分子和三原子分子密度之比为: $[\text{Na}_2]/[\text{Na}] = 4\% \sim 5\%$, $[\text{Na}_3]/[\text{Na}] = 10^{-5}$ 。

可见钠蒸汽中 Na_3 的含量极少, 比 Na_2 密度还小三个数量级, 如此微量的 Na_3 不可能产生强度十分明显的吸收, 当然至今也尚未见关于 Na_3 在近红外谱区吸收的报道, 所以可以排除钠高聚物吸收成分($\text{Na}_3, \text{Na}_4, \dots$)。

实验中使用钠纯度为99.5%, 并已经反复使用, 有自提纯效果, 而且从发射谱测量中从没有观察有可能含有的钾的特征谱, 所以也可以排除是其它杂质成分的吸收。

由图4可见, 在较低温度 $T = 480^\circ\text{C}$ 时, A-X带吸收已经很明显, 但第一三重态吸收很小, 仅为 10^{-3} 数量级, 当温度增加到 720°C 时, A-X带吸收系数增加到10倍, 而第一三重态吸收增加了近两个量级, 这可以解释为: 对应3s-3s原子基态的分子态为 $X^1\Sigma_g^+$ 和 $x^3\Sigma_g^+$, 在较低温度下, 根据玻尔兹曼分布, 绝大多数粒子都分布于较低的 $X^1\Sigma_g^+$ 态上, $x^3\Sigma_g^+$ 态粒子数分布很少, 随温度升高, 双原子分子密度增多, 同时由分布规律决定了粒子数向高能态集中, 当然更主要的原因是由于A-X是束缚-束缚跃迁而b-x是束缚-自由跃迁, 两者的跃迁矩将有明显的差别(另文讨论)。

从上面第一三重态束缚-自由跃迁自吸收随温度的变化特性可知, 要想实现第一三重态激

光振荡, 应寻找一种在较低温度下得到 $b^3\Sigma_g^+$ 能级粒子数集聚的途径。

第一三重态850.0nm谱在温度为720℃时, 吸收系数 $\alpha = 0.06\text{cm}^{-1}$, 文献[5]在 $T = 1061\text{K}$ (788℃) 所测到的吸收系数 $\alpha = 0.56\text{cm}^{-1}$ 。我们测到的结果要低。但是我们最终实现了激光振荡的结果, 支持了我们关于吸收系数的测量。

三、小信号增益系数

文献[7]中介绍了我们采用的测量小信号增益的方法。有时为了增加增益长度我们也采用纵向泵浦的方式来测小信号增益, 这样做由于沿泵浦光的方向上泵浦功率密度是不均匀的, 小信号增益只能给出单程增益 GI 值, 增益系数也只能给出平均值, 测量精度不够。这时只能给出一些半定量的结果。图5给出了在缓冲气压 $P_{Ar} = 0.5 \times 10^4\text{Pa}$, 激光泵浦波长为342.76 nm时, $T = 380^\circ\text{C}$, 420°C , 440°C , 475°C , 500°C 时加和不加反射镜的放大自发辐射光强, 利用增益表达式在OMA-II上直接进行运算, 获得了第一三重态跃迁的单程小信号增益 GI , 其中 $R = 98\%$ 。从图中可看到最佳值大约是1.5, 对应温度 440°C , $T < 440^\circ\text{C}$ 时 GI 较低, 其主要原因是上能级粒子数不足, $T > 440^\circ\text{C}$ 时 GI 迅速下降, 其原因是由于吸收的增加。

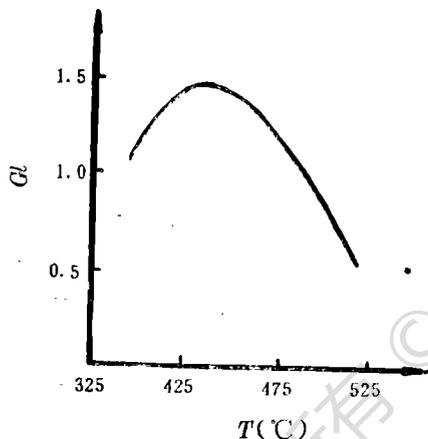


图5 Na_2 第一三重态跃迁小信号增益
 缓冲气体—Ar, $P_{Ar} = 0.5 \times 10^4\text{Pa}$
 泵浦波长— $\lambda_p = 342.76\text{nm}$ l —热
 管炉激活区 泵浦能量— $E_p = 0.8\text{mJ}$

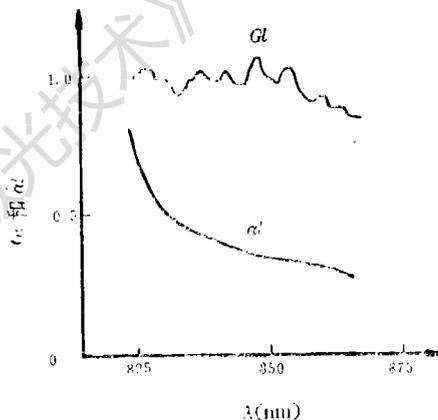


图6 小信号增益与吸收比较
 缓冲气体—Ar, $P_{Ar} = 0.5 \times 10^4\text{Pa}$ 泵浦
 波长— $\lambda_p = 342.76\text{nm}$ l —热管炉激活区
 泵浦能量— $E_p = 0.8\text{mJ}$

图6给出了填充缓冲气压 $0.5 \times 10^4\text{Pa}$ 时, 温度为 560°C 时, 泵浦波长为342.76nm, 线宽为0.016nm, 泵浦能量0.8mJ的条件下, 测得的对应 $b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_g^+$ 跃迁范围的 GI 曲线, 及在相同条件下的吸收曲线 αl , 其中 l 为激活区长度, 从图上可知, 在830.0nm~870.0nm范围内, 小信号增益系数总是大于吸收系数。这就从实验上确定了实现第一三重态激光振荡的可能性。

参 考 文 献

- [1] 马祖光. 光学学报, 1982; 2 (3) : 232, Shandin S, Wellegehausen B, Ma Z G. Appl Phys, 1982; B29: 195

- [2] 王 骥, 邢 达, 刘 伟 *et al.* 光学学报, 1986; 6 (10) : 908
- [3] 王 骥, 邢 达, 刘 伟 *et al.* 激光杂志, 1988; 9, 288
- [4] Wang Qi, Lu Zhiqi, Wu Tao *et al.* Na₂ 1³Σ_g⁺—1³Σ_g⁺ laser with peak around 892. 0 nm. In: Lerner Rita G ed, Advances in laser science-IV proceedings of the fourth international laser science conference, Atlanta USA, 1988, New York; AIP, 1989: 578
- [5] Vasilakis A, Bharskar N D, Happer W. J Chem Phys, 1980; 73 (4) : 1490
- [6] Konowalow D D, Rosenkrantz M E, Olson M L. J Chem Phys, 1980; 72 (4) : 2612
Konowalow D D, Julienne P S. J Chem Phys, 1980; 72 (11) : 5815
- [7] 吕志伟, 王 骥, 马祖光. 光学学报, 1991; 11 (6) ; 514

作者简介: 王 骥, 男, 1942年3月出生。教授, 教研室主任, 研究所副所长。曾获国家自然科学奖及多次部级奖。1990年~1991年在美国南加州大学(USC)进修。现从事激光光谱与X光激光研究。

刘 伟, 男, 1962年出生。讲师, 博士。现为访美学者。

刘金城, 男, 1945年出生。工程师。现主要从事薄膜技术, 强激光技术研究工作。

马祖光, 男, 1928年4月出生。教授, 博士生导师, 教研室主任, 研究所所长。曾获国家自然科学奖及多次部级奖。1979年~1981年为西德访问学者。现从事激光光谱、新型可调谐激光与X光激光研究。

收稿日期: 1992年2月19日。

收到修改稿日期: 1992年5月19日。

· 简 讯 ·

增加光纤网络容量的宽波长转换器

在一篇CLEO会议截止期后的报告中, 美国电话电报公司贝尔实验室(Holmdel, NJ)的Bernard Glance和其合作者描述了一种宽带光波转换器。它在1.5μm附近的宽带范围工作, 并能组成取决于波分复用的多种光纤网络结构。

目前, 在网络中使用的通道数限于能得到的波长数, 而波长数又限于可从光源得到的波长。这种宽带转换器在1.5μm光纤传输窗附近的许多不同的输入波长工作, 对输出波长能在几十纳米范围内调谐。Glance说这种以半导体光学放大器为基础的器件“提供转换增益和微不足道的数据衰减。”研究人员Herman Presby补充说: “有大量的结构希望采用这种器件。”

译自L F World, 1992; 28(5); 13 张贤义 译 刘建卿 校