

脉冲放电激励的钡蒸气激光的研究*

潘佰良 姚志欣 陈 钢 方本民

(浙江大学物理系 杭州 310027)

(2001 年 7 月 13 日收到, 2001 年 8 月 23 日收到修改稿)

设计和制作了新型结构的金属蒸气激光放电管, 用钡为激光介质, 通过纵向高频快脉冲放电激励, 在国内首次实现波长为 $1.13\mu\text{m}$ 和 $1.50\mu\text{m}$ 的红外钡蒸气激光振荡, 激光成分主要集中在 $1.50\mu\text{m}$ 这条谱线上, 激光输出功率和功率密度分别达 1.2W 和 $33.3\text{mW}/\text{cm}^2$. 测量并讨论了各工作参量和激光输出特性之间的关系.

关键词: 钡蒸气激光, 脉冲放电激励

PACC: 4255H, 4260H

1 引 言

钡原子蒸气激光是一种能输出波长范围在 $1-5\mu\text{m}$ 、不同激光机制、多条红外激光谱线交替振荡的脉冲激光器件^[1], 具有较高的激光输出功率和效率. 自法国人 Cahuzac 于 1970 年在单次脉冲放电中首次观察到钡蒸气的 20 条近红外激光跃迁谱线以来^[2], 国外学者对钡激光进行了持续和深入的研究^[3-5], 迄今为止, 通过对脉冲、串脉冲和高频准连续脉冲纵向放电等激励方式, 已经获得了从可见到中红外波长范围的多条谱线、不同机制的钡激光振荡.

波长为 $1.5\mu\text{m}$ ($6s6p^1P_1-6s5d^1D_2$) 的钡原子激光属于典型的共振-亚稳 (Resonance-Metastable, R-M) 跃迁激光, 它所要求的技术线路和铜蒸气激光类似, 但工作温度 (约 900°C) 比铜蒸气激光的温度 (约 1600°C) 要低得多, 从机理分析知 $1.5\mu\text{m}$ 波长的钡原子激光具有较高的激光功率和效率. 我们在相继获得碱土金属钙、锶蒸气的 R-M 跃迁多谱线激光振荡的基础上^[6-8], 对钡原子的能级结构和数据进行了分析, 在我们实验室现有的脉冲放电技术条件下, 通过改进激光放电管结构和光学谐振腔, 在国内首次获得钡原子蒸气波长为 $1.13\mu\text{m}$ 和 $1.50\mu\text{m}$ 的两条红外激光振荡, 激光最大功率达 1.2W . 其中主要成分集中在 $1.50\mu\text{m}$ 波长的谱线上, 本文着重对这条谱线的激光输出特性进行了实验研究, 同时通过分

析认为从 $6s6p^1P_1$ 单态共振能级到 $6s5d^3D_2$ 三重态亚稳能级间跃迁的、对应波长为 $1.13\mu\text{m}$ 的激光不可能获得高功率和高效率输出.

2 实验装置

实验装置类似于先前所报道的锶、钙蒸气激光实验台^[6]. 为了减小高温放电下钡蒸气与石英放电管剧烈的化学作用和满足钡激光所需的 $900-1000^\circ\text{C}$ 的工作温度, 采用已获专利的激光放电管, 其结构简图如图 1 所示, 由带隔环的石英外管和作为放电通道、内径为 1.0cm 的刚玉管组成, 在刚玉管外面和石英隔环间缠绕一薄层耐高温 α 棉用于绝热保温, 电极间距 50cm , 约 8g 纯度为 99% 的金属钡片分五堆均匀放置在刚玉管内. 采用谐振倍压充电通过闸流管放电的激励电路, 储能电容为 1000pF , 闸流管型号是 ZQM-2000/25. 谐振腔由一块镀金平面全反镜和透红外光的 MgF_2 平面输出镜组成. 用 MODEL LPE-1B 激光功率计测激光功率, 型号为 WDG30 的红外平面光栅单色仪分辨激光谱线.

3 实验结果和讨论

钡原子激光的相关能级结构如图 2 所示, 由图知, 两条红外激光共用同一个共振能级为上能级 ($6s6p^1P_1$), 而下能级虽然都为亚稳能级, 但它们的

* 国家自然科学基金(批准号: 10004008 和 19974037)资助的课题.

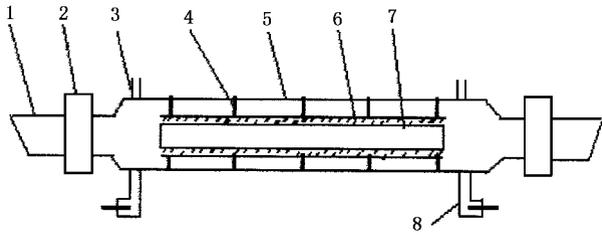


图1 激光放电管简图 1. 窗口; 2. 高真空橡皮管; 3. 进出气端; 4. 石英隔环; 5. 石英管; 6. 陶瓷纤维保温层; 7. 刚玉管; 8. 防爆电极

原子组态不同, 对应 $1.5\mu\text{m}$ 谱线的跃迁能级 ($6s6p^1P_1-6s5d^1D_2$) 为典型的单态间的 R - M 跃迁, 具有很强的跃迁概率和光学联系, 能获得较高的功率和效率; 而 $1.13\mu\text{m}$ 激光谱线的跃迁能级 ($6s6p^1P_1-6s5d^3D_2$) 则是单态到三重态间的跃迁, 由原子光谱学知, 在 L - S 轨道耦合状态下, 这种跃迁的概率相对单态间的跃迁概率要小很多, 故 $1.13\mu\text{m}$ 谱线的激光强度相对较弱, 这与我们的实验结果一致。

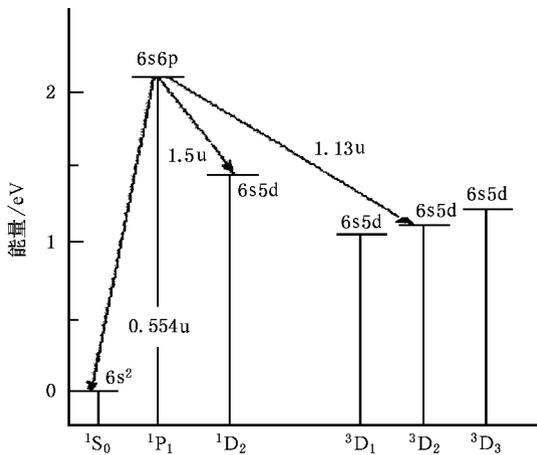


图2 钡原子能级结构简图

在用氖气为缓冲气体和放电稳定的条件下, 分别研究了各工作参量(氖压、放电电压和脉冲重复频率) 对激光输出特性的影响关系。在研究脉冲重复频率与激光输出功率关系时, 为避免温度效应, 维持放电输入功率 900W 和氖压 5.9kPa 稳定条件, 在确保放电稳定前提下, 获得一个较佳的工作频率范围为 15.4—19.8kHz, 当频率小于 15kHz 和大于 20kHz 时, 因受开关元件闸流管频率响应和耐高压性能的限制, 引起放电不稳和激光功率的快速下降。

在维持电源电压 5.2kV、脉冲重复频率 17kHz

的稳定条件下, 测量了激光输出总功率与缓冲气体氖压之间的关系如图 3 所示。实验时, 首先氖压从 24kPa 封闭状态开始, 每次抽气约 2.5kPa 后再封闭运行 3min 待激光输出稳定后记录激光功率, 一直到 1.4kPa 氖压为止; 然后, 氖压从 1.4kPa 开始增加至 24kPa, 每次加 2.5kPa 氖气待运行稳定后测量激光功率, 获得氖压下降和上升时两条氖压和激光功率的关系曲线如图 3 所示。由图 3 知, 除了激光输出功率略有不同, 两条曲线的形状和趋势基本一致, 激光功率在氖压为 5.3kPa 时达到最大值, 这与先前报道的同类共振-亚稳跃迁激光存在最佳工作氖压的结果相一致^[6], 其根本原因在于存在一个对激励速率最有利的由激励电压、氖压和钡蒸气压所决定的最佳平均电子能量。

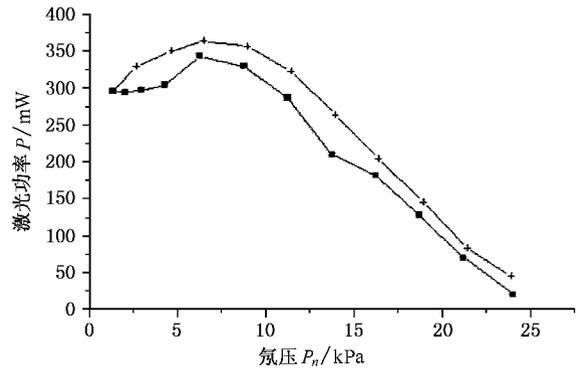


图3 缓冲气体氖压与激光功率的关系曲线 ×点线为氖压由低到高, ◆点线为氖压由高到低

在保持氖压为 5.5kPa、脉冲重复频率 17.5kHz 封闭工作条件下, 测得了激光功率与充电电源电压的关系如图 4 所示。测量时, 为避免电压变化对工作温度的影响, 电压以 4.8kV 为中心, 每次快速提升电压到一定值后在 40s 内完成功率测量, 再把电压恢复到 4.8kV, 待激光功率稳定后重复进行。由图 4 可以看出, 激光功率随充电电源电压的增加呈线性增加, 为避免因充电电压过高而有可能使闸流管连通, 导致放电不稳而影响实验数据, 实验时充电电源电压只调到 5.8kV, 从曲线趋势可以推断, 进一步提高电压能获得更高的激光功率。

当氖压为 5.2kPa、脉冲重复频率为 17.5kHz、充电电源电压 6.0kV 和放电激励电压(即放电管电极间放电电压脉冲波形的峰值电压, 用 P6015A 高压探头分压后直接显示在 TDS754C 型数字存储示波器上) 为 11.8kV 时, 获得 1.2W 的最大激光功率输出, 对应的功率密度为 $33.3\text{mW}/\text{cm}^2$ 。当用红外平面光栅

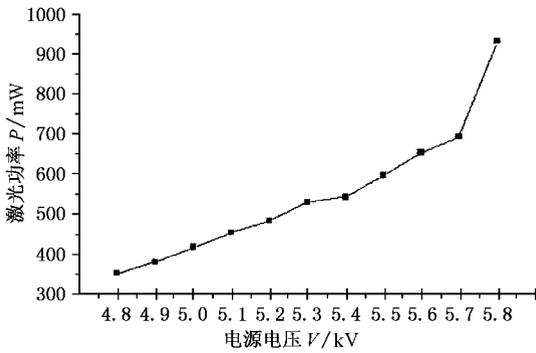


图4 电源电压与激光功率的关系曲线

单色仪分辨时还发现波长为 $1.13\mu m$ 的激光谱线, 其相应的工作参量范围比 $1.5\mu m$ 谱线的要窄许多,

输出强度在最佳条件下也只有 $1.5\mu m$ 谱线强度的 $1/6$.

4 结 论

通过改进放电管结构和放电参数, 在国内首次获得钡原子不同组态间的共振-亚稳跃迁自终止激光双谱线振荡, 从实验上研究了一些工作参量和激光输出特性的关系, 获得了一组较佳运行参数, 激光放电管累计运行数十小时未见损坏, 较好地解决了高温放电下钡蒸气与石英放电管发生相互作用的问题. 若进一步优化和匹配各工作参量, 钡激光有望成为高效高功率的近红外脉冲激光器件.

[1] Pask H M , Piper J A 1990 *SPIE* **1225** 248

[2] Cahuzac P 1970 *Phys. Lett.* **A32** 150

[3] Bricks B G , Karras T W and Anderson R S 1978 *J. Appl. Phys.* **49** 38

[4] Isaev A A *et al.* 1979 *Sov. J. Quantum Electron.* **9** 1144

[5] Bokhan P A 1986 *Sov. J. Quantum Electron.* **16** 1041

[6] Pan B L *et al.* 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 719 (in Chinese) [潘佰良等 2000 物理学报 **49** 719]

[7] Yao Z X , Pan B L , Chen G *et al.* 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 1075 (in Chinese) [姚志欣、潘佰良、陈钢等 2001 物理学报 **50** 1075]

[8] Pan B L , Chen G , Yao Z X *et al.* 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 1290 (in Chinese) [潘佰良、陈钢、姚志欣等 2001 物理学报 **50** 1290]

Investigation of pulse discharge excited barium vapor laser^{*}

Pan Bai-Liang Yao Zhi-Xin Chen Gang Fang Ben-Min

(Department of Physics , Zhejiang University , Hangzhou 310027 , China)

(Received 13 July 2001 ; revised manuscript received 23 August 2001)

Abstract

A new-style discharge tube for metal vapor laser has been designed and built. The infrared barium vapor laser of two wavelengths at $1.13\mu m$ and $1.50\mu m$ was first obtained in inland while barium was used as a laser medium. The laser components were concentrated on the $1.50\mu m$ wavelength. The maximum laser output power and power density were $1.2W$ and $33.3mW/cm^3$ respectively. Dependences of some parameters on laser output characteristics have been measured and discussed.

Keywords : barium vapor laser , pulse discharge excitation

PACC : 4255H , 4260H