

蓝色染料激光器

刘玲玲*

(中国计量科学研究院长度处, 北京 100013)

提要: 研制了一台蓝色高功率单模染料激光器。当多谱线紫外 Ar⁺ 激光泵浦功率为 4W 时, 在波长为 432nm 处单模输出达 150 mW。用这台激光器用磁场法反向照射 Ca 原子束, 结果表明 Ca 原子被明显减速。

关键词: 环形行波腔, MZI, 激光致冷

Blue dye laser

Liu Lingling*

(Length Division, National Institute of Metrology, Beijing)

Abstract: A blue dye laser with high output power in single mode is developed. When pump power at UV wavelength of Ar⁺ laser is 4W for all lines, output power of the dye laser is about 150 mW at 423 nm. The Ca atoms are decelerated obviously after shining the Ca atomic beams in counter-directions by the dye laser beam using the magnet field method.

Key words: ring traveling wave cavity, Mach-Zehnder interferometer, laser cooling

研制了一台波长为 423 nm 的单频连续波染料激光器。借助于磁场法^[1]使该激光对 Ca 原子的 $4^1P_1-4^1S_0$ 谱线连续谐振吸收, 实现激光致冷 Ca 原子, 减小其二阶多普勒效应, 从而减小波长为 657 nm 的 Ca 光频标的不确定性^[2]。谱线 $^1P_1-^1S_0$ 的饱和光强约 4 mW/mm^2 ^[3], 若在原子束装置处的激光高斯光束半径为 1.5 mm 时, 在不考虑其它失谐等因素时, 致冷激光功率至少应高于 28 mW。该谱线的自然宽度 34 MHz (FWHM), 考虑到致冷效率, 我们将这蓝染料激光稳到一外部稳定的参考谐振腔的透射峰上, 通过它即可完成对准谱线、稳频, 又适当压缩了激光线宽。

一、激光器性能和结构

用 stilben 3 染料 (Lamda Physick 公司) 作激光介质, 乙二醇作溶剂, 浓度是 $1.3 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 。该染料的最大吸收波长约 350 nm, 使用 2037 型 Ar⁺ 激光器的紫外多波长输出作泵浦源。激光波长调谐范围是 410~460 nm, 最大输出波长为 430 nm。当泵浦功率达 4 W

收稿日期: 1990年11月19日; 修改稿收到日期: 1991年2月28日。

* 本工作德国技术物理所 4、3 科 (布伦瑞克) (Physikalisch-Technisch Bundesanstalt, D-3300, Braunschweig Germany)。

时,在波长为 423 nm 处,最高单模输出为 150 mW。该染料在使用 170 W·h 后,效率降低到新染料的 1/3。

染料激光腔是一环形行波腔,见图 1。腔参数如下:镜 M_1, M_2, M_3, M_4 和 M_5 及 MZI 构成激光腔,镜子曲率半径分别为 $R_1=R_4=R_p=50\text{ mm}$; $R_2=R_3=R_5=\infty$; 镜间距分别为 $L_4=\overline{M_1 M_4}=50\text{ mm}$; $L_2=\overline{M_3 M_5}+\overline{M_5 M ZI}+\overline{M ZI M_4}=523\text{ mm}$; $L_3=\overline{M_2 M_3}=582\text{ mm}$; $L_1=\overline{M_1 M_2}=312\text{ mm}$; $L=\sum L_i=1417\text{ mm}$ 。腔臂 L_4 与 L_3 和 L_2 的夹角相等约为 6° , 满足像散补偿关系^[4]。据腔稳定条件,腔臂 L_4 的稳定范围约为 1.9 mm^[5]。腔腰 W 和辅助腰分别为 0.008 mm 和 0.303 mm。

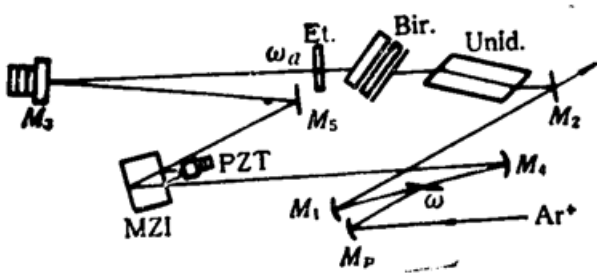


Fig. 1 Construction of blue dye laser

M_{1-5} —cavity mirrors; M_p —pump mirror; MZI—Mach-Zehnder interferometer; Bir.—three plate birefringent filter; Uni.—a unidirectional diode; Et.—a thin etalon

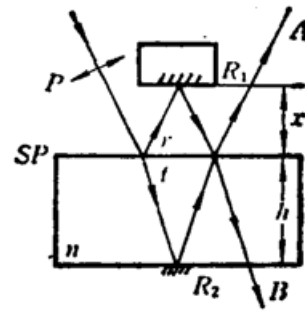


Fig. 2 Mach-Zehnder interferometer

SP. is a beam splitter, which has a reflectance of about 50%, mirrors R_1 and R_2 are high reflective

环形染料激光器的单模工作是通过使用 Mach-Zehnder 干涉仪、三片双折射滤光片、厚度为 1 mm 的反射率为 22% 的薄标准具以及一单向器组合实现的。MZI 是自制的,其余是市售的。

使用 MZI 的最大优点是降低常用的空气间隔 F-P 标准具的走出效应和变形带来的大损耗^[6], 从而提高染料激光的功率。图 2 示出 MZI 的结构。它是由一个高反镜 R_1 和一熔石英平行平板构成, 后者前表面镀有 50% 的反射膜作分束器, 另一面镀有高反膜。板厚 9.5 mm。输入输出光束间夹角是 30° 。P 光方向偏振。其自由光谱范围 $FSR \approx 20\text{ GHz} = \frac{cn \cdot \cos \theta}{2h(n-1)}$, 其中 c 是光速, n 是折射率, θ 是板的折射角, h 是平板厚度。粗调 MZI 之后, 放入染料腔内进行细调, 使染料激光输出最大, 同时从 B 方向输出功率最小。然后, 用一次谐波稳频电子学线路将 MZI 的干涉峰锁在染料激光器的腔模上。调制频率是 999 Hz。

二、带有辅助腔的染料环形腔

实验研究了带有辅助腔的染料腔结构, 以获得高功率单模输出(图 3)。主腔是一般形式的环形腔, 这里镜 M_6, M_5 折叠了一次只是牵就腔底座的几何尺寸, 无其它作用。镜 M_3 的反射率是 98%。两腔是模匹配的, 在辅助腔中, 镜 M_7 是高反平镜, M_8 反射率为 94%, 曲率半径为 560 mm。

辅助腔的工作原理是基于 A. G. Fox 提出的方法^[7]。 M_3, M_7, M_8 和 MZI 可整体地看作是一个具有可变反射率的等效反射镜。因为它们形成了一个谐振腔, 当入射光具有腔的谐

振频率时, 它具有很高的反射率, 几乎将全部入射光返回主腔, 当入射光远离此频率时, 只有低

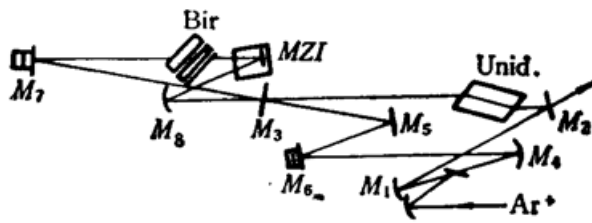


Fig. 3 Dye laser cavity with an auxiliary one
The main laser cavity consists of mirror $M_1 \sim M_6$.
The auxiliary one is composed of mirrors M_3 ,
 M_7 , MZI and M_8

的反射率。利用这种性质, 我们可以将腔内插件全部移到这辅助腔中, 因此可以大大降低主腔中损耗, 而获高功率单模输出。表 1 比较了两种腔结构的输出。

在谐振条件下, 辅助腔对损耗不敏感。因此在辅助腔中使用一般染料腔中所使用的单向器不能获得仅单方向激光工作。因为一般选单方向工作的单向器, 在两方向的损耗相差很小, 比如我们曾使用单向器 2, 其两方向偏转角分别为 -0.33° 和 -4.8° , 相差不大。表 1 中单向器 1 两方向转角分别为 $+2.5^\circ$ 和 $+14.5^\circ$, 相差较大, 因此在辅助腔中可以获得几乎单向激光工作, 但由于其中小偏转角为 $+2.5^\circ$, 距 0° 较远, 因此也带来较大损耗, 至使功率提高不大。最好的方法是将单向器 2 置于主腔中, 即在主腔中实现单向行波工作, 而后调整辅助腔, 并将其余所有腔内元件放入辅助腔中。但由于开始主腔激光振荡尚未建立, 势必带来调整困难, 但一旦激光振荡, 输出功率会有大幅度的提高。

Table 1 Comparison of dye laser output in two different configurations

Configuration	Pump power (W)	Output of dye laser at $\lambda=430\text{nm}$ (mW)	With elements in the cavity
Without auxiliary cavity	1.8	30	Uni. diode 1 and biref.
The same as above	4	113	Uni. diode 1 and MZI
With auxiliary cavity	1.8	105	Uni. diode 1 and Biref.
The same as above	4	165	Uni. diode 1 and MZI

两个腔的大小和结构如下: 主腔各臂长分别为: $\overline{M_1 M_2} = 327 \text{ mm}$, $\overline{M_4 M_6} + \overline{M_6 M_5} + \overline{M_5 M_3} = 352 \text{ mm}$, $\overline{M_2 M_3} = 486 \text{ mm}$ 。辅助腔的各臂长分别为: $\overline{M_3 M_8} = 75 \text{ mm}$, $\overline{M_3 M_7} = 203 \text{ mm}$, $\overline{M_8 M ZI} = 118 \text{ mm}$ 和 $\overline{MZI M_7} = 222 \text{ mm}$ 。在镜 M_3 , MZI, M_7 和 M_8 处的折叠角分别为 12° , 30° , 22.5° 和 40° 。

三、激光频率的对准和稳定

为了方便致冷, 首先将激光频率稳定于参考腔某一透射峰上, 手动加在参考腔镜的 PZT 上的电压, 其灵敏度为 3.4 MHz/V , 改变腔频率, 从而改变激光频率直到从波长计上粗读到 422.39 nm 波长, 进而细调到可观察到束装置中的荧光。

参考腔是由零膨胀玻璃间隔器及两个可拆卸的熔石英反射镜组成。镜间距 226 mm , 两曲率半径相等为 600 mm , 反射率 99.2% 。整个腔放在隔振考究的用离子泵连续保持真空的室中, 以尽量减小腔频的漂移。

稳频用调制信号加在参考腔镜 PZT 上, 激光不会被调制加宽。使用一次谐波锁定, 在调

制频率和幅度分别为 5.25 kHz 和 40 MHz 时, 在 14 min 内激光频率相对腔频漂移小于 1.7 MHz。

四、初步的致冷结果

使用上述稳频染料激光反向同轴照射 Ca 原子束, 用磁场法^[1]致冷 Ca 原子的初步结果示于图 4, 可以看出, 对起始速度低于 700 m/s 的原子的减速效果。图 4(b) 示出起始速度低于 700 m/s 的原子在到达探测区即磁场后 25 cm 的位置之前它们可保持谐振吸收并达零速度。而图 4(c) 说明在增加了磁场梯度下, 速度为 200 m/s 的原子就离开致冷环路并达检测区, 此时速度分布的宽度也减少^[8]。

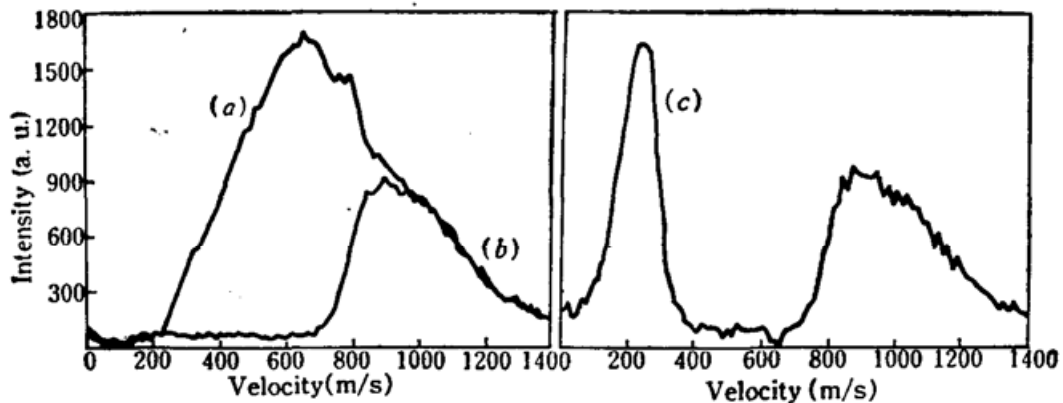


Fig. 4 Velocity profiles of Ca beam measure 25 cm behind the magnet: without cooling (curve a), with cooling at different field profiles (curves b, and c)

参 考 文 献

- 1 W. D. Philips, H. Metcalf. *Phys. Rev. Lett.*, **48**, 596~599 (1982)
- 2 A Moinaga, F. Riehle *et al.*, *Appl. Phys.*, **B 48**, 165~171 (1989)
- 3 J. Helmcke, A. Molinaga *et al.*, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **38**, 524 (1989)
- 4 H. W. Kogelnik, E. P. Ippen *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-8** (3), 373~379 (1972)
- 5 W. W. Rigrod, *The Bell System Technical Journal.*, **44**, 907~916 (1965)
- 6 J. C. Bergquist, L. Burkins, *Opt. Commun.*, **50** (6), 379~385 (1984)
- 7 P. W. Smith, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-1** (8), 343~348 (1965)
- 8 Eds. Mol L. *et al.*, *Light induced ionetic on atoms, ions and molecules*, 1991 ETS Editrice, Fisa, 119~128