

双波长金蒸气激光器的研究

韩绍琴 汤星里

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

摘要 研究了放电管尺寸为 $\phi 28 \times 980$ mm 的金蒸气激光器 627.8 nm 和 312.2 nm 波长的受激发射。应用新型谐振腔, 可以同时获得红光和紫外两个波长的激光, 当红光的激光输出为 2.3 W 时, 紫外 312.2 nm 平均输出功率为 300 mW, 输出光束直径为 28 mm, 两个波长激光的发散度为 3 mrad。

关键词 金蒸气激光器 双波长输出

1 引言

金蒸气激光器中金原子共振能级 $6P^2P_{1/2}$, $6P^2P_{3/2}$ 分别向介稳能级 $6S^2^2D_{3/2}$ 和 $6S^2^2D_{5/2}$ 跃迁, 能够产生 627.8 nm 和 312.2 nm 两个波长的激光作用, 虽然文献早已报道^[1,2], 但由于 312.2 nm 激光的上能级比 627.8 nm 上能级高 3817 cm^{-1} , 且荧光寿命太短, 因而激发比较困难, 特别是紫外激光的下能级 $^2D_{5/2}$ 又离基态太近, 对放电自加热金蒸气激光器来说, 这个能级较容易被由基态热激励产生的粒子所占据, 因而实现 312.2 nm 激光发射比 627.8 nm 要困难得多。图 1 是金原子激光能级跃迁图。由于上述原因, 有关金蒸气的紫外激光作用的报道较少, 且结果都比较简略, 甚至含糊不清。S. V. Markova 等^[3,4]曾报道过紫外金蒸气激光器平均输出功率为 1.2 W, 但在他们的器件上 627.8 nm 红色激光的平均输出功率却十分弱, 当更换腔片和改变工作参数使 627.8 nm 激光达到最佳时, 紫外激光又很难观察到。其它文献的介绍也与之相似。V. N. Borisov 等^[5]指出: 要实现金蒸气双波长正常工作是比较困难的, 这是由于金蒸气两个激光波长产生的条件差异很大的原故; 也是目前国际上商品化金蒸气激光器产品一般仅列出与 627.8 nm 有关参数的原因。

但是从实际应用的角度出发, 能够同时产生双波长激光的金蒸气激光器具有相当大的应用价值, 因为金蒸气激光器的最重要用途是在激光医疗方面作为光动力学疗法治疗恶性肿瘤的重要辐照光源^[6], 如果在同一台激光器上能够产生 627.8

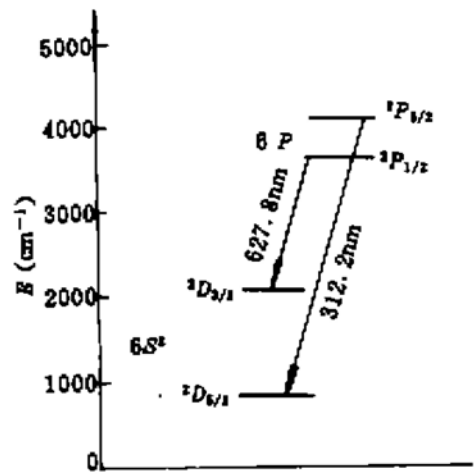


图 1 金原子(AuI)激光能级跃迁图
Fig. 1 Simplified scheme of the laser transition levels of the gold atom

nm 的治疗光束的同时又能产生 312.2 nm 用于诊断和定位的紫外激光束,这无疑是很有意义的。除此之外,在利用紫外激光消融法治疗血栓时需要紫外与红色波段的激光交替辐照^[7],若应用双波长金蒸气激光器其优点是显而易见的。另外,金蒸气激光器的紫外激光波长与准分子 XeCl 的 308 nm 波长相近,而其 627.8 nm 的激光又是该光谱区目前最强的光源,因此除了激光医疗外,在其它领域同样有许多应用的可能性。

本文将对这方面取得的最新研究结果予以报道。

2 实 验

实验是在一台已应用七年的 GVL-II 型金蒸气激光器上完成的。放电管尺寸为 $\phi 28 \times 980$ mm,工作电容与锐化电容容量之比为 5:1,脉冲重复频率为 $f = 9$ kHz,Ne 为缓冲气体, $\lambda_1 =$

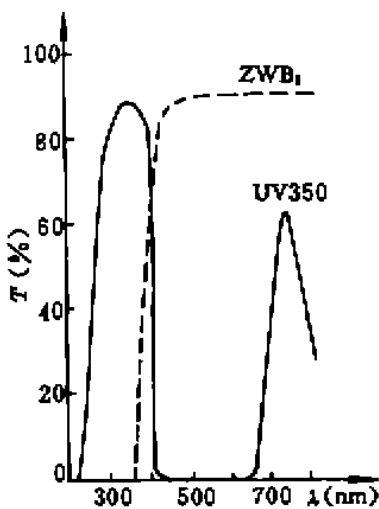


图 2 ZWB₃ 和 UV-350 滤光片的透过率曲线

Fig. 2 Transmittance of the ZWB₃ and UV-350 filters

632.8 nm,平均激光输出功率为 4 W,发散角为 3mrad^[6],为了研究其紫外激光特性,又不降低 λ_1 的激光功率而采用了一种已申请专利的新型谐振腔以取代原器件的谐振腔。为了观察和测量,使用了 ZWB₃ 和 UV-350 两种滤光片对 λ_1 和 $\lambda_2 = 312.2$ nm 进行分离,测定结果根据滤光片吸收系数进行校正,图 2 是 ZWB₃ 和 UV-350 的吸收光谱曲线。在实验中使用石英三棱镜分光可以观察 λ_1 和 λ_2 的光束质量,用自制荧光显示屏可以清楚地显示紫外 λ_2 的光束特征。

3 312 nm 辐射的观察和测定

由于 312.2 nm 是不可见的紫外光,利用滤光片虽然可以将它与同时输出的 627.8 nm 的光分别测量,但无法直观地对紫外波长辐射进行观察,这种观察对于区别紫外辐射是荧光超辐射还是激光输出,以及了解紫外激光束的均匀性和发散度都是重要的。为此按文献[8]的方法合成了稀土元素铽(Tb^{3+})与水杨酸 HSal 的 1:

3 高效发光络合物。图 3 是 Tb^{3+} -水杨酸络合物荧光显示屏的吸收光谱和荧光光谱。当紫外

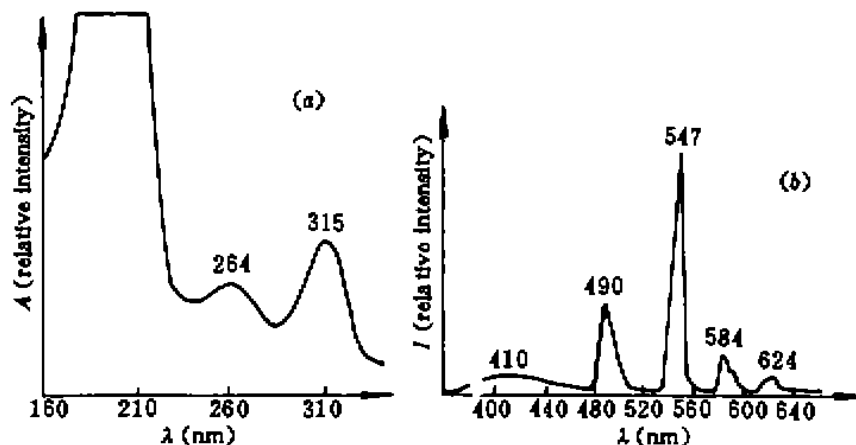


图 3 Tb^{3+} -HSaL(1:3) 高效荧光络合物荧光光谱曲线。(a) 吸收光谱; (b) 荧光光谱

Fig. 3 The UV absorption spectrum (a) and fluorescence spectrum (b) of Tb^{3+} -HSaL(1:3) complex

光照射到显示屏上时,照射区发出明亮的绿色荧光。实验表明,使用这种荧光显示屏和滤光片可以十分方便地观察在不同条件下激光器产生的 312.2 nm 超辐射或激光束光斑的大小和均匀性。

应用新型谐振腔,在获得高功率 627.8 nm 稳定输出的同时,可以得到光束发散度约为 3 mrad 的紫外激光输出,其 312.2 nm 激光输出功率为 627.8 nm 激光功率的 1/5~1/10,在同样的激光放电管和放电参数条件下,若使用普通金蒸气激光谐振腔得到 627.8 nm 的高功率激光输出时只能观察到 312.2 nm 的超辐射。在腔片上蒸镀对 312.2 nm 具有高反射率的紫外反射膜,用此腔片取代对 627.8 nm 全反射的腔片,希望能得到高质量的紫外激光输出,令人意外的是,在不同输入功率和 Ne 缓冲气体压力下,利用荧光显示屏观察表明,在这种条件下,其紫外输出依然是方向性不好的荧光超辐射,由于腔片对 627.8 nm 反射率低而激光功率输出也很低。新型谐振腔不仅提高了 312.2 nm 的增益,而且保持了 627.8 nm 原有的高增益。激光功率使用光学石英透镜聚焦,用滤光片滤光,激光功率计测量。

4 实验结果和讨论

在一台使用达七年之久的 GVL-II 型金蒸气激光器上,放电管为 $\phi 28 \times 980$ mm,脉冲重复频率 $f = 9$ kHz,应用新型谐振腔研究了 627.8 nm 和 312.2 nm 两个波长的激光输出功率随输入功率和缓冲气体压力变化的关系,由图 4 可见,随输入功率的增加 627.8 nm 和 312.2 nm 激光输出功率都增加,但随输入功率增加,前者的增加速率有逐渐降低的趋势,而后者则相反,紫外激光增长的速率是逐步增加的。图 5 表明降低气压时 627.8 nm 和 312.2 nm 激光输出功率都很快上升,但紫外波段激光对气压的敏感性比红光要大一些。在 13×10^2 Pa 的 Ne 气压下当红光输出 ~ 2 W 时,应用新型的谐振腔 312.2 nm 激光输出为 300 mW,此时 627.8 nm 的输出功率与 312.2 nm 的输出功率比值约为 6:1,随着气压增高至 130×10^2 Pa 左右时比值将接近 20:1。这是由于对 312.2 nm 波长的激励脉冲前沿要求更苛刻所致。表 1 是双波长输出的 GVL-II 型金蒸气激光器的主要参数。

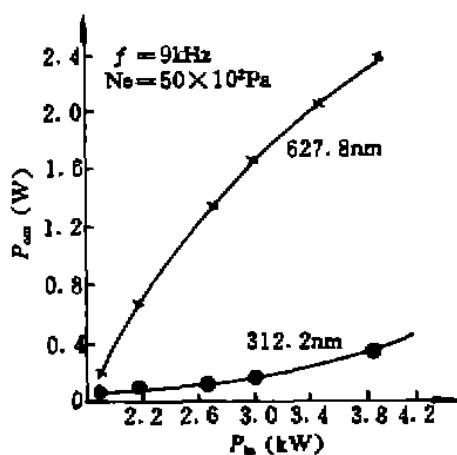


图 4 双波长激光输出功率与输入功率的关系

Fig. 4 The dependence of the laser output power on the input power for two wavelengths 627.8 nm and 312.2 nm

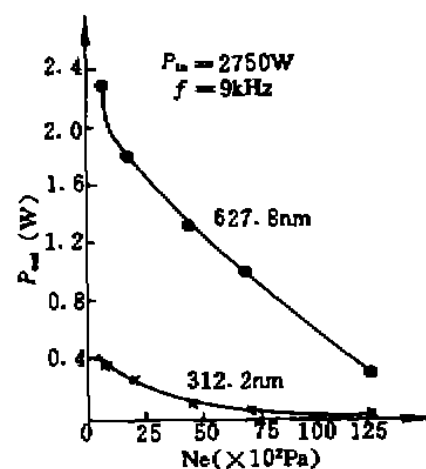


图 5 激光功率与气压的关系

Fig. 5 Relationship between Ne pressure and laser output power of two wavelengths 627.8 nm and 312.2 nm

表 1 双波长输出的 GVL-II 型金蒸气激光器的主要参数

Table 1 Dual wavelength laser GVL-II parameters

λ (nm)	\bar{P} (W)	dispersion (mrad)	f (kHz)	D (mm)	stability ($\pm\%$)	pulse width (ns)	work time/ per filling (h)	preheat time (min)
627.8	2	3	9	28	5	25	>200	45
312.2	0.3	~3	9	28	5	~25	>200	45

上述结果表明,虽然激光器放电管直径达 28 mm,放电频率也较高,使用的闸流管已经超过使用寿命,这些对金原子两个波长的受激发射,特别对 312.2 nm 激光的产生都很不利,但使用经过改进的新型谐振腔就能实现 627.8 nm 和 312.2 nm 双波长激光的同时输出。两个波长的激光光束都可以用光纤耦合传输,应用于医疗及其它方面。随着设计的进一步改进和工作参数的最佳化,实用型双波长金蒸气激光器的制造从技术上来说是可以实现的。

致谢 感谢卓敦水先生在荧光测量上转换材料制备方面给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 W. T. Walter. Pulsed laser action at $\lambda = 6278 \text{ \AA}$ in gold vapor. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1968, QE-4: 355
- 2 Gennadii Evtushenko. Gold-vapor laser. Present state of the art, design and application. *SPIE*, 1993, 2110: 204~214
- 3 S. V. Markova, G. G. Petrash, V. M. Cherezov. Ultraviolet-emitting gold vapor laser. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1978, 8(7): 904~906
- 4 S. V. Markova, G. G. Petrash, V. M. Cherezov. Investigation of pulse stimulated emission from gold vapor. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1977, 7(3): 339~342
- 5 V. N. Borisov, A. M. Gorokhov. Investigation and development of Au-vapor UV-laser. *SPIE*, 1991, 1811: 410~414
- 6 韩绍琴,金庭蕙,卓敦水等. 金蒸气激光器在医疗和检测中的应用. 激光与光电子学进展(增刊), 1996, (7): 249~254
- 7 赵震声,谷怀民等. 准分子激光疏通人体血栓. 应用激光, 1993, 13(1): 28
- 8 杨育华等. 水杨酸-Tb³⁺(Gd³⁺)络合物的高效发光. 发光学报, 1991, 12(2): 151~154

Dual Wavelength Output of Gold Vapor Laser

Han Shaoqin Tang Xingli

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract An investigation was made of pulse stimulated emission at two wavelengths 627.8 nm and 312.2 nm from a gold vapor laser with a discharge tube of 980 mm long and the internal diameter 28 mm. The experimental points for the laser emission of the red and UV lights were obtained at the same time, using a specific resonator containing a mirror with high reflectivities at 627.8 nm and 312.2 nm, at a repetition rate of 8 kHz. When the average output power at 627.8 nm was 2.3 W, the average output power at 312.2 nm was 300 mW. The 28 mm diameter red and UV output beams have a divergence of 3 mrad.

Key words goldvapor laser, double wavelengths output