

声光调制 CO₂ 激光放大器

高允贵

(中国科学院安徽光机所, 合肥 230031)

提要 本文叙述了 CO₂ 激光的布喇格衍射型声光调制及放大装置。放大器输出已调制的 10.6 μm 激光 115 W, 最大调制频率 200 kHz。激光放大器的放大指数随输入功率上升而减小。

关键词 声光调制, 激光放大器

Acousto-optic modulation of CO₂ laser amplifier

GAO Yungui

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei 230031)

Abstract Acousto-optic modulation of CO₂ laser amplifier by using Bragg diffraction is described. The output power of modulated 10.6 μm laser is 115 W. The maximal modulation frequency is 200 kHz. Its amplifying index decreases with the increasing of the input laser power.

Key words acousto-optic modulation, laser amplifier

CO₂ 激光的工业应用, 如香烟纸打孔, 不仅需要高的激光平均功率, 还要求越来越高的脉冲调制频率。对于 CO₂ 激光振荡器, 提高脉冲频率, 必然要减少激光混合气体内 N₂ 的比例。增加混合气体的压力。气体组分的改变和压力的上升又大大地降低了它的激光平均输出功率。为了解决“调制频率”和“功率”之间的矛盾, 我们利用 CO₂ 激光声光调制的原理, 先将小功率的 CO₂ 激光进行脉冲调制, 然后将其通过另外一个 CO₂ 激光放大器进行放大。本文叙述了实验装置, 给出了实验结果。

1 实验装置

图 1 示出了声光调制 CO₂ 激光放大器的光路。图 2 示出了声光调制器的电原理图。

由 CO₂ 激光振荡器 2 输出的平面偏振光^[1](偏振面垂直于纸面), 入射到 AGM-406B 型声光调制器 3。声光材料为晶体锗, 调制频率为 40 MHz, 10.6 μm 光的损坏阈值为 320 W/cm², 通光孔径为 6 mm。当入射光满足布喇格衍射条件

$$2\lambda_s \sin\theta_B = \lambda^{[2]}$$

式中, λ 是 10.6 μm; λ_s 是超声波长; θ_B 是布喇格角。调整声光调制器的位置, 当入射光的入射角

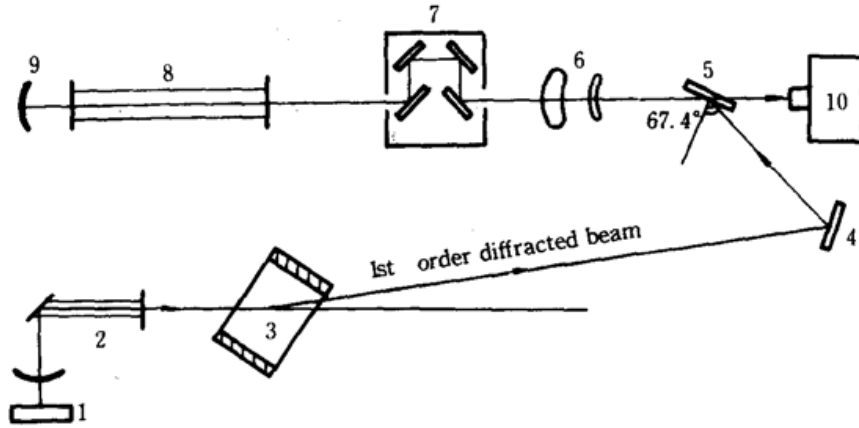


Fig. 1 Optic path of one acousto-optic modulated CO₂ laser amplifier

1—IR detector; 2—laser oscillator; 3—acousto-optic modulator; 4—total reflective mirror; 5—ZnSe plate; 6—telescope system; 7—phase shifter; 8—laser amplifier; 9—total concave reflective mirror; 10—pulse beam monitor

θ_i 等于 θ_B 满足上式关系后,由声光调制器出射的是布喇格衍射的 1 级调制光束,光斑形状为椭圆。AGM-406B 型声光调制器的通过效率为 86.5%,1 级衍射光的功率占通过后的总光功率的 80%。已调制光束经过全反射镜 4 的反射,以布儒斯特角 67.4° 入射到 ZnSe 镜面 5 上。垂直偏振光被反射到望远镜系统。激光束经过望远镜系统扩束而减小光束的发散。光束从望远镜系统出射穿过移相器入射到激光放大器 8 进行放大,由放大器放大后的光束射到全反镜 9 上。这是一片锗全反凹镜,反射率为 99.5%,曲率半径为 10 m。由全反镜 9 反射后的激光束第二次通过放大器 8 再一次被放大,然后又一次经过移相器和望远镜系统,入射到 ZnSe 镜片上。由于激光束两次通过移相器并以零入射角入射到全反镜 9 上,光束的电场矢量由垂直于入射面扭转成平行于入射面。平行偏振光以 67.4° 的布儒斯特角入射到 ZnSe 镜面后,反射光强为零,只有折射光射到激光脉冲监测器接收。

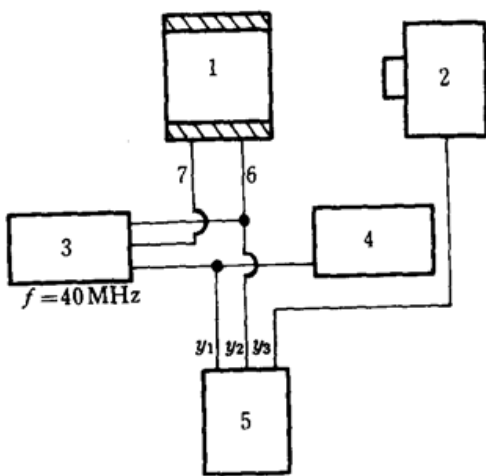


Fig. 2 Diagram of electrical circuit of the acousto-optic modulator

1—acousto-optic modulator; 2—laser pulse monitor;
3—high frequency generator; 4—pulse signal generator;
5—oscilloscope; 6—modulated high frequency signal output;
7—feedback protection against too high temperature

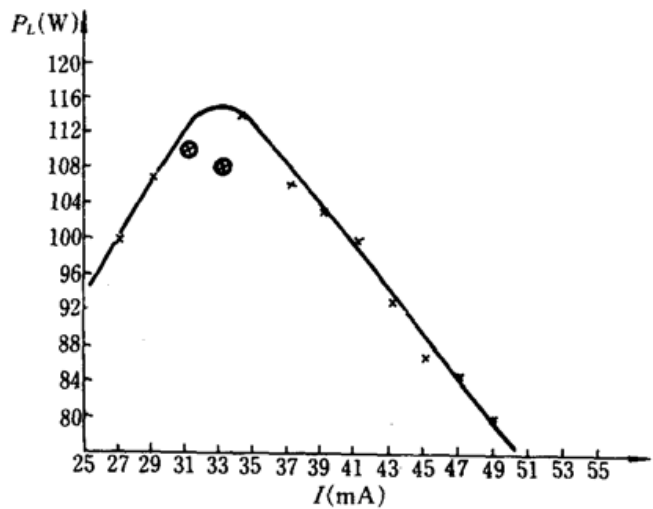


Fig. 3 Relation between discharge current and laser output power of the amplifier

当激光振荡器输出 60 W TEM₀₀ 模 10.6 μm 激光时,上述装置在激光脉冲监测器处测到平均功率为 115 W 的已调制 CO₂ 激光。

2 结果及讨论

图 3 示出了放大器的输出功率与放大器放电电流的关系曲线,显然在 34 mA 左右,放大器有着最大增益。从实验可以看到:

2.1 最大调制频率

本放大器的最大脉冲调制频率可以做到 200 kHz。当脉冲调制频率 10 kHz、脉冲占空比 50% 时,放大后的激光脉冲与调制信号基本同步变化,没有延迟。当脉冲调制频率为 200 kHz,脉冲占空比为 25%,放大后的已调制激光脉冲较信号脉冲有很大的滞后,激光脉冲方波的前沿、后沿均严重倾斜,方波蜕变为近似正弦波脉冲。

2.2 放大器的放大指数

表 1 给出本实验放大器放大指数与输入激光功率的数据,此时放电电流为 34 mA。由表 1 还可看到,当输入光功率增大时,虽然放大指数减小了,而放大器激光输出功率却大大地增加了。本实验中,放大器输入激光功率的提高受到了声光调制器损坏阈值的限制。

Table 1

Optical signal input power of the amplifier (W)	amplifying index
7	6
13.5	4.5
17	4
36	3.2

2.3 放电管内径影响放大器增益

本实验以三种规格的陶瓷管作为放大器的直流辉光放电的放电管,管长 1.5 m,管内径分别为 φ8, φ12, φ18.5 mm。实验发现,φ8 mm 管的放大增益最大,φ12, φ18.5 mm 管的增益逐渐下降。测量放大器输入端和输出端的光束直径,发现 φ18.5 mm 管光束变大,而 φ8 mm 光束基本不变。可见,φ18.5 mm 管激光气体热透镜效应非常严重。

2.4 激光振荡器

本实验的激光振荡器是慢流陶瓷管激光器,平凹光腔,一次转折。尾镜材料为 Ge,曲率半径为 20 m,凹面镜,反射率为 99.5%,输出镜为 ZnSe 平面镜,透射率为 40%。放电管长 1 m,内径 φ6.5 mm。输出 TEM₀₀ 模激光,垂直平面偏振光。实验中发现,振荡器在运行一段时间后,光束的形状、光束大小、光束指向均有变化。前二者的变化改变了声光调制器输出的一级衍射光功率,即改变了放大器输出功率。当光束指向偏移以后,布喇格衍射条件不再能完全满足,严重情况下,放大器将无法运行,因此,提高振荡器的输出稳定性是放大器正常运行的关键。

2.5 光学元件的损耗

由图 1,从声光调制器出射的一级衍射光共经过 25 个光学镜面才到达脉冲激光监测器。实验测得由各个光学镜面吸收、散射等引起的损耗为 24%。因此,为了获得高的放大器输出激光功率,精心设计放大器光路,尽可能地减少镜面,减小光学元件的光学损耗是必需的。

2.6 移相器及入射平面偏振光束振动面的旋转

垂直于入射面的平面偏振光两次通过移相器相当于平面偏振光通过了一个二分之一波片,偏振光的电场分量的振动方向由垂直于入射面旋转成平行于入射面。

图 1 中的 7 为移相器,其中两个反射镜面上镀有双折射涂层,对用于 $10.6\ \mu\text{m}$ 的 CO_2 激光,每个涂层为八分之一波长涂层。平面偏振光经过移相器之后,光束电场矢量的两个分量之间产生了二分之一 π 的固定相位差,这样一个移相器就可以等效为一个四分之一波片。由光学原理知,平面偏振光经过四分之一波片后,由于电场二分量之间产生了 $\pi/2$ 固定的相位差,出射的光束变为圆偏振光。图 1 自移相器出射的圆偏振光经放大器以零入射角投射到反射镜 9,由镜 9 反射又一次经过放大器放大而出射。第二次进入移相器的光束仍为圆偏振光。从移相器出射的光束,由四分之一波片性能知,又变为平面偏振光。然而,此时平面偏振光的电场分量较第一次入射到移相器的垂直于入射面的电场分量旋转了 90° 。这是因为平面偏振光二次通过四分之一波片,相当于平面偏振光通过了一个二分之一波片。若光电场振动方向与波片晶体光轴夹角为 θ ,则从二分之一波片出射的光虽仍为平面偏振光,而电场矢量却旋转了 2θ 。在我们分析的情况下, θ 为 45° ,平面偏振光电场分量旋转了 90° ,由垂直于入射面变成了平行于入射面的平面偏振光。

2.7 扩束望远镜及光束的变换

本实验系统使用的伽利略型望远镜由两个焦距分别为 $33\ \text{mm}$, $63.5\ \text{mm}$ 的 ZnSe 透镜构成,每个透镜对 $10.6\ \mu\text{m}$ 的透过率为 98% 。振荡器 2 输出的 TEM_{00} 光束经过声光调制器后变成了椭圆形光束,由烧制的有机玻璃模板监测,其长轴为 $8.7\ \text{mm}$,短轴为 $7.6\ \text{mm}$ 。放大器的内径分别为 $\phi 8$, $\phi 12.5$ 和 $\phi 18.5\ \text{mm}$ 。当放大器的内径为 $\phi 8\ \text{mm}$ 时,为防止部分光束被遮挡,加入了一望远镜 6,使入射光束由焦距为 $63.5\ \text{mm}$ 的大镜射入,光束直径缩小为原直径的 0.52 。当放大器的内径为 $\phi 18.5\ \text{mm}$ 时,若 1 级衍射光束直接进入放大器,则光束只从中间很小一部分获得增益,而根据 R. H. Bullis^[3],粗放电管由于扩散冷却速度慢,放电区在轴心的增益有一个大的凹陷区,为了弥补这个缺陷,使用望远镜系统,令光束由小镜入射,光束扩束约 1.9 倍,同时改善了发散。

作者感谢 Dr. Dohlus 在实验中的帮助和有益的讨论。感谢 Carl. Baasel 先生对本实验的资助。

参 考 文 献

- 1 D. Belforte, M. Levitt, The Industrial Laser Annual Handbook, Tulsa, Oklahoma USA, 1986, 42
- 2 华中工学院等, 激光技术, 湖南科学技术出版社, 1983, 27
- 3 R. H. Bullis et al., AIAA Journal, 10(4), 412(1972)