

光泵 CH₃F 和 D₂O 远红外脉冲激光器*

刘世明 周锦文 武亿文 游幼 万重怡
(中国科学院电子所)

提 要

本文叙述了无镜远红外激光器的结构及其实验结果。用可调谐 TEA CO₂ 激光器作为泵浦源,其输出能量在 9P(20), 9R(22) 线上均可达 1J 左右。用 CO₂ 9P(20) 线泵浦 CH₃F 分子,获得了能量为 0.5mJ, 波长为 496μm 的激光输出;用 9R(22) 线泵浦 D₂O 分子,获得了能量为 1mJ, 波长为 385μm 的激光输出。输出能量和波长是分别用热电堆和 Fabry-Perot 干涉仪测量的。

一、引 言

由于远红外激光器有广泛的用途,因而自从 1970 年 T. Y. Chang^[1] 首次报道了连续波光泵 CH₃F 远红外激光器以来十年的时间内,在几十种激光介质中发现了 1000 多条远红外激光线^[2]。本文介绍一种无镜远红外激光器,泵浦源是 TEA CO₂ 激光器,激光介质是 CH₃F 或 D₂O 分子。

CH₃F 分子是对称陀螺分子。对称陀螺分子的振动-转动跃迁选择定则为: $\Delta v = 1$; $\Delta J = 0, \pm 1$; $\Delta K = 0$ 。光谱分析表明, CH₃F 分子在 9.55μm 附近有一吸收带。因此,可以用 CO₂ 激光器 9.4μm 带的 P(20) 线(波长为 9.55μm),将 CH₃F 分子 $v = 0, J = 12, K = 1$ 态上的粒子激发到 $v = 1, J = 12, K = 1$ 态上。这样就可以在 $v = 1$ 振动带上的 $J = 12$ 和 $J = 11$ 态之间实现粒子数反转。由于对称陀螺分子纯转动跃迁的选择定则为 $\Delta v = 0, \Delta J = \pm 1, \Delta K = 0$ 。所以,在 $v = 1$ 振动带上 $J = 12$ 到 $J = 11$ 之间的跃迁是允许的,这是波长 $\lambda = 496\mu\text{m}$ 的远红外(FIR)激光线。

CH₃F 分子激光能级图如图 1 所示。

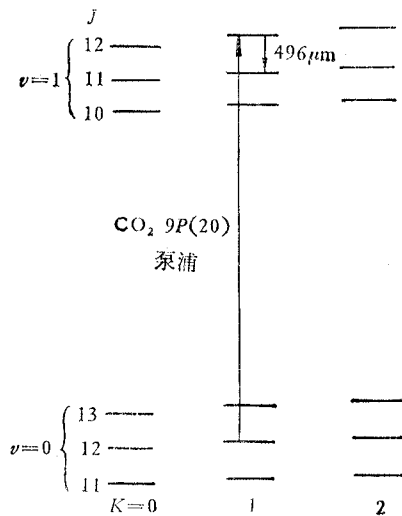


图 1 CH₃F 分子部分能级图

Fig. 1 The partial level diagram of CH₃F molecules

* 1981年11月17日收到。

在等离子诊断的应用中,不仅需要窄线宽的脉冲输出,而且还需要有高的输出功率。由于在类似的系统中, D_2O 激光器能够比 CH_3F 激光器提供出更高的输出能量;而且在高磁场的 Tokamak 中, D_2O 激光器的 $385\mu m$ 线较 CH_3F 的 $496\mu m$ 线更为适用;因而 D_2O 激光器更加引起人们的重视。

图 2 是 D_2O 分子的部分能级图。用 CO_2 激光器 $9.4\mu m$ 带 $R(22)$ 线 ($\lambda = 9.26\mu m$) 泵浦 D_2O , 产生 ($v_2 = 0, 5_{33}$) 态到 ($v_2 = 1, 4_{22}$) 态的跃迁。在 $4_{22} \rightarrow 4_{13}$ 的跃迁上发出 $385\mu m$ 的激光。 CO_2 $9R(22)$ 线中心与该跃迁的中心偏离大约为 $-318MHz$ ^[3]。Dean·T. Hodges^[2] 认为, $100-1000MHz$ 的频率偏差会导致类拉曼发射。因而波长为 $385\mu m$ 的辐射是拉曼发射。拉曼过程中不需要上下能级间的粒子数反转,因而 D_2O 的激光作用更为有效。

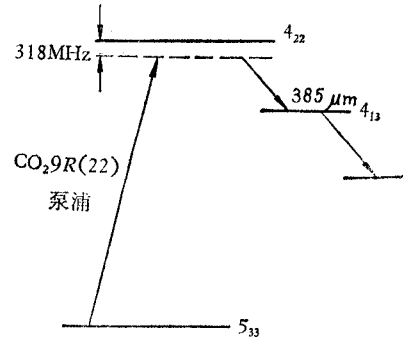


图 2 D_2O 分子部分能级图
Fig. 2 The partial level diagram of D_2O molecules

二、实验装置

1. 设计考虑

光泵远红外脉冲激光器可以有各式各样的结构。有金属和介质波导腔结构(包括方波导和圆波导),环形腔结构以及无镜超辐射结构。为了简化实验装置,我们采用无镜超辐射结构。由于泵浦光与远红外光波长相差较大,可以容易地将泵浦光与远红外光分开,而不必采用复杂的分光措施。我们是采用聚四氟乙烯作为输出窗来实现这一目的。为了提高远红外输出,我们采用氯化钾垂直窗。这样可以将后向超辐射反射回去,加强前向超辐射,从而使输出增大。

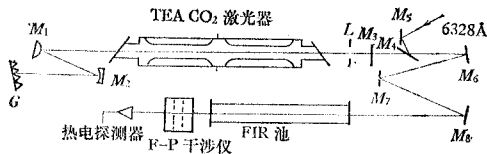


图 3 光泵 FIR 激光器的实验装置

Fig. 3 The experimental arrangement of the optically pumped FIR laser

泵浦源是用光栅 G (100 线/毫米) 调谐的选频 TEA CO_2 激光器。为了保护光栅并提高光栅的分辨率,我们采用了由凸面镜 M_1 (铝镜, $R = 500mm$) 和凹面镜 M_2 (硅基底镀金, $R = 1000mm$) 组成的扩束望远镜装置。适当地调节 M_1 与 M_2 的间距,使 M_1, M_2, G 组成一等效凹面镜^[4]。该等效凹面镜与镀有增透膜的锗平镜 M_3 组成一平一凹腔。在所需要的泵浦线 $9P(20)$ 和 $9R(22)$ 上均有大约 $1J$ 的 TEM_{00} 模输出。光阑 L 是为保证输出模为 TEM_{00} 模而设置的。TEA CO_2 激光器是由两节放电长度各为 $600mm$ 的器件串联组成。 M_4 是一锗平镜。它与 CO_2 激光器输出成布儒斯特角。它与 $M_5, 6328 \text{ \AA}$

2. 装置和光路图

图 3 是实验装置和光路图。

泵浦源是用光栅 G (100 线/毫米) 调谐的选频 TEA CO_2 激光器。为了保护光栅并提高光栅的分辨率,我们采用了由凸面镜 M_1 (铝镜, $R = 500mm$) 和凹面镜 M_2 (硅基底镀金, $R = 1000mm$) 组成的扩束望远镜装置。适当地调节 M_1 与 M_2 的间距,使 M_1, M_2, G 组成一等效凹面镜^[4]。该等效凹面镜与镀有增透膜的锗平镜 M_3 组成一平一凹腔。在所需要的泵浦线 $9P(20)$ 和 $9R(22)$ 上均有大约 $1J$ 的 TEM_{00} 模输出。光阑 L 是为保证输出模为 TEM_{00} 模而设置的。TEA CO_2 激光器是由两节放电长度各为 $600mm$ 的器件串联组成。 M_4 是一锗平镜。它与 CO_2 激光器输出成布儒斯特角。它与 $M_5, 6328 \text{ \AA}$

He-He 激光器组成红光跟踪系统, M_6 , M_7 (两者都是铂平镜) 和 M_8 (铂凹面镜, $R=15\text{m}$) 组成泵浦光的馈入系统。

远红外激光器采用无镜超辐射结构。FIR 池是一根长为 2m、内径为 20mm 的石英管。池的一端用氯化钾垂直密封, 作为 CO_2 泵浦光的输入窗口。另一端用厚度为 2mm 的聚四氟乙烯密封, 作为远红外激光的输出窗口。它能有效地吸收剩余的 CO_2 光, 因而兼有滤光片的作用。

三、实验结果

远红外激光波长是用我们自己研制的 Fabry-Perot 干涉仪测量的。F-P 干涉仪是由两张互相平行、间距可调的镍网组成的。镍网采用电子束管中的栅网, 网孔为 100 目。

远红外激光的输出能量是用计量院生产、定标的热电堆探测器测量的。由于远红外的发散角较大, 水蒸汽对它的吸收很强, 所以 F-P 干涉仪、热电堆探测器都紧靠 FIR 池输出端放置, 以降低测量中的系统误差。

1. 输出能量与气压的函数关系

用 CO_2 激光器的 9P(20) 线泵浦 CH_3F 分子时, CH_3F 的压力在 1—12 托之间均有远红外激光输出。图 4 为 CH_3F 远红外输出与气压的关系。从图 4 可以看出, CH_3F 的最佳工作气压大约在 4 托左右。当气压低于 1 托, 高于 12 托时, 仍有远红外输出。这时的输出能量大约为最佳输出的 40%。用热电堆测得 CH_3F 激光器的最大输出能量大约为 0.5mJ。

在同一装置中, 用 CO_2 激光器的 9R(22) 线泵浦 D_2O 分子时, 获得波长为 $385\mu\text{m}$ 的远红外输出。当 D_2O 的压力在 1—12 托之间变化时, 均有远红外激光输出。图 5 表示 D_2O 激光输出与气压的函数关系。

从图中可以看出, D_2O 的最佳工作气压在 8 托左右。气压低于 1 托, 高于 12 托时, 仍有远红外输出。气压为 1 托时的输出大约为最佳输出的 30%, 气压为 12 托时的输出

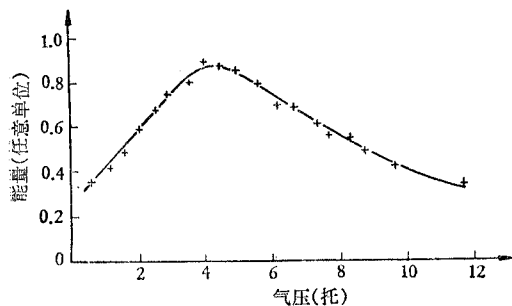


图 4 CH_3F 激光输出与气压的依赖关系
Fig. 4 Dependence of the output energy of CH_3F laser on its pressure

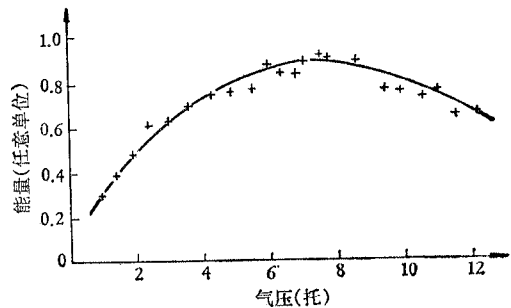


图 5 D_2O 激光输出能量与气压的依赖关系
Fig. 5 Dependence of the output energy of D_2O laser on its pressure

大约为最佳输出的 70%。用热电堆探测器测得 D_2O 的最大输出为 1mJ 左右。

比较图 4、图 5 可以看出, CH_3F 的气压依赖关系要比 D_2O 的气压依赖关系强烈得多。 CH_3F 的输出能量随气压的增高而迅速增大,很快便达到极值;继续增高气压,输出迅速下降,仅在一较窄的气压范围内有较大的输出。 D_2O 则不然,当 D_2O 的气压升高时,输出缓慢地上升,在较宽的范围内有较大的输出;继续增高气压时,输出缓慢地下降。气压为 12 托时, CH_3F 的输出下降到极值时的 40%,而 D_2O 的仍高达极值的 70%。

2. 输出能量与泵浦能量的函数关系

图 6 表示 CH_3F 激光器输出能量与泵浦能量的函数关系。泵浦能量阈值大约为 100mJ。在泵浦能量约 500mJ 时,有最佳转换效率(远红外输出能量/泵浦能量),其值约为 6×10^{-4} 。

图 7 表示 D_2O 激光器的输出能量与泵浦能量的函数关系。泵浦能量的阈值大约为 200mJ。泵浦能量在 400mJ—1J 之间时,输出能量随泵浦能量线性增大。转换效率约为 6.5×10^{-4} 。

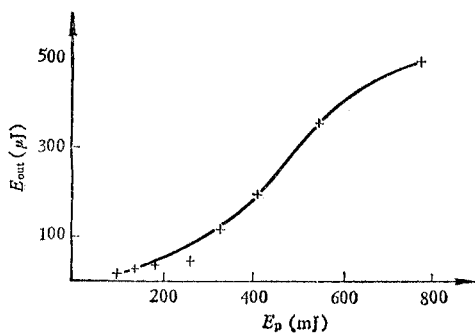


图 6 CH_3F 的输出能量与泵浦能量的依赖关系
Fig. 6 Dependence of output energy of CH_3F laser on its pumping energy

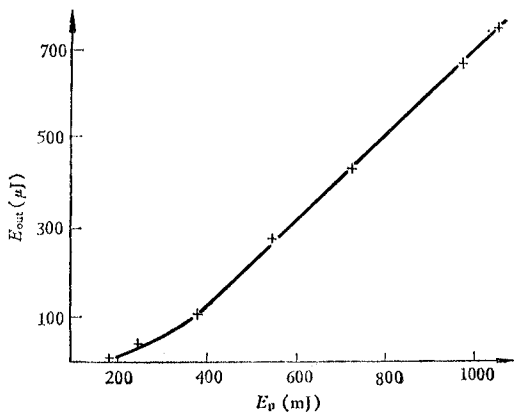
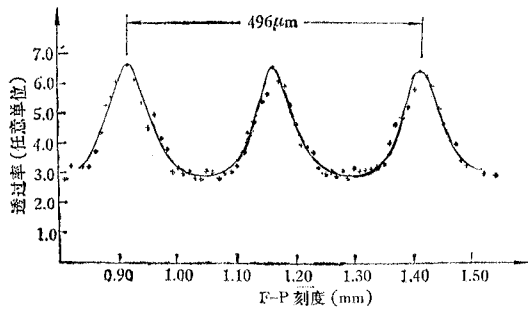
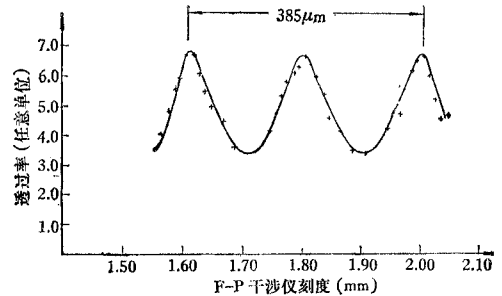


图 7 D_2O 的输出能量与泵浦能量的依赖关系
Fig. 7 Dependence of the output energy of D_2O laser on its pumping energy

比较图 6、图 7 可以看出, CH_3F 的阈值较低。在泵浦能量较低时,输出能量随泵浦能量的增加缓慢地上升,当泵浦能量超过 600mJ 时,有出现饱和的趋势。 D_2O 的阈值较高,但当泵浦能量增加时,输出线性增加,当泵浦能量达 1J 时,仍未出现饱和趋势。

3. 波长测量

图 8、图 9 分别是用 100 目镍网制作的 F-P 干涉仪对 CH_3F 、 D_2O 激光进行测量的实验结果。横轴表示两层金属网间距的相对刻度值。纵轴为激光在 F-P 干涉仪中的透射率。由 F-P 干涉仪的特性可知^[5],当两层金属网的间距改变 $\lambda/2$ 时,就会出现一透过

图8 CH_3F 激光输出的 F-P 扫描干涉图Fig. 8 Scanning Fabry-Perot interferogram of the CH_3F laser output图9 D_2O 激光输出的 F-P 扫描干涉图Fig. 9 Scanning Fabry-Perot interferogram of the D_2O laser output

率极值, 因此第一个极值与第三个极值所对应的间距差正好等于激光的波长 λ 。从图 8、图 9 中, 可以明显地看出 CH_3F 的激光波长为 $496\mu\text{m}$, D_2O 激光波长为 $385\mu\text{m}$ 。

四、结 束 语

我们研制成的光泵 CH_3F 和 D_2O 脉冲远红外激光器, 分别在 $496\mu\text{m}$ 和 $385\mu\text{m}$ 上获得了激光输出。远红外激光器采用无镜超辐射结构, 具有结构简单, 工作可靠, 操作方便等优点。若要提高输出能力, 可增加远红外池的长度或加大泵浦能量。

参 考 文 献

- [1] T. Y. Chang and T. J. Bridges, *Opt. Commun.* **1**(1970), 423.
- [2] Dean T. Hodges, *Infrared Physics*, **18**(1978), 375.
- [3] F. Keilmann, R. L. Sheffield, J. R. R. Leite, M. S. Feid and A. Javan, *Appl. Phys. Lett.* **26**(1975), 19.
- [4] 蒲汾, *电子学通讯*, **3**(1981), 35.
- [5] K. F. Renk and L. Genzel, *Appl. Opt.* **1**(1962), 643.

OPTICALLY PUMPED CH_3F AND D_2O FIR PULSE LASER

Liu Shi-ming, Zhou Jin-wen, Wu Yi-wen,

You You, Wan Zhong-yi

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

In this paper, the structure and the experimental results of a mirrorless FIR laser is described. A tunable TEA CO_2 laser is used as its pumping source. Its output energy is about 1J at both 9R(22) and 9P(20) lines. Output energy of 0.5 mJ at $\lambda=496\mu\text{m}$ is obtained with CH_3F molecular pumped by CO_2 laser 9P(20) line; 1mJ at $\lambda=385\mu\text{m}$ is obtained with D_2O pumped by 9R(22) line. A thermopile and a Fabry-Perot interferometer are used to measure output energy and wavelength of FIR laser radiation respectively.