

的荷电效应。具体做法是，分别测量样品表面和样品托（接地）表面上的  $C_{1s}$  光电子动能值。由于样品表面荷正电，从样品表面发射的  $C_{1s}$  光电子动能比从接地的样品托表面发射的  $C_{1s}$  光电子的动能要小一些。上述  $C_{1s}$  光电子动能之差值即为样品表面在荷电状态的化学位移。我们可以用这个差值来校正从样品表面发射的二次电子和光电子的动能，包括二次电子起始点的能量值。

我们以银样品作为标准，测量了 GaAs 样品的功函数。样品是 n 型半导体 GaAs(100) 面单晶材料，其载流子浓度为  $10^{18}$  个/厘米<sup>3</sup>，是一个低阻片。测量前，我们用超声波清洗片子，其顺序为四氯化碳、丙酮、酒精各三遍，每遍十分分钟左右。然后用去离子水冲洗干净。再将片子

放进  $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O = 3:1:1$  溶液中腐蚀。腐蚀温度约  $60^\circ C$ ，腐蚀时间为 1 分半钟。最后将样品送入谱仪制备室对样品进行氩离子刻蚀。对样品进行退火处理后送入样品室，测量样品表面二次电子发射谱。我们测得 n 型 CaAs 的功函数为 4.2 电子伏。

## 参 考 文 献

- [1] J. C. Riviere, In Solid State Surface Science, Vol. 1, ed. by M. Green, Marcel Dekker, New York, (1970).
- [2] P. Ascarelli and G. Missoni, Faraday Discussions Chem. Soc., 54 (1972), 298.
- [3] S. Evans, Chem. Phys. Letters, 23(1973), 134.
- [4] 潘承璜, 物理, 7(1978), 357.
- [5] 潘承璜、赵良仲编, 电子能谱基础, 科学出版社, (1981), 133—136.

# 连续光泵 $119\mu m$ 远红外波导激光器

钟 权 德 祖 钦 信

(中国科学院物理研究所)

为了等离子体诊断的目的，我们研制了一台连续光泵远红外波导激光器。泵源为选频可调谐的  $CO_2$  激光器，远红外激光器是介质波导型，充甲醇 ( $CH_3OH$ )。选用  $CO_2$  激光器的 9P(36) 支线抽运  $CH_3OH$ ，获得了  $119\mu m$  远红外激光输出。当抽运功率为 6W 时，输出功率为 5mW，与理论估计相近。我们还测量了  $CH_3OH$  对  $CO_2$   $9\mu m$  P 支激光的光声谱，并利用光声效应来指示抽运光频率与  $CH_3OH$  吸收峰之间是否处于最佳匹配。我们的连续光泵远红外波导激光器的原理图如图 1 所示。选频连续波  $CO_2$  激光束经反射镜  $M_1$  和焦距为 25cm 的凹面镜聚焦后，通过 2Hz 斩波器，光声吸收池和耦合孔  $\phi_1$  进入远红外波导腔。耦合孔  $\phi_1$  在远红外腔的一个镀金反射镜面的中心，与它相对的另一个镀金反射镜面上有输出耦合孔  $\phi_2$ 。远红外激光输出由钽酸锂热释电探测器指示。

为了获得较高的抽运效率，要求选频  $CO_2$

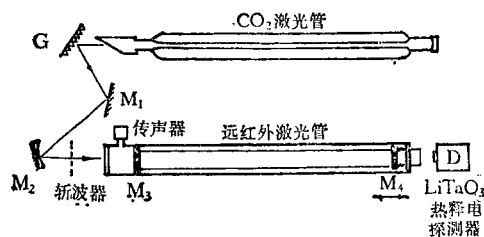


图 1 CW 光泵远红外波导激光器的原理图

激光器的输出是单横模、频率稳定和具有较高的功率。选频  $CO_2$  激光器的选频元件为一块刻线数为 100 条/mm，闪耀角  $\sim 30^\circ$  的金属原刻光栅（上海光学仪器研究所产品）。采用 Littrow 安排，利用光栅的 1 序反射成腔，零序作耦合输出。所以，选取闪耀光栅的 1 序反射率  $\sim 70\%$ ，零序  $\sim 30\%$ 。 $CO_2$  激光管一端为曲率半径  $R = 6m$  的镀金凹面反射镜，另一端为 ZnSe 布儒斯特窗，放电区长度为 1.7m。腔长为 2m。激光管内充五种气体，运转气压为

16 Torr ( $N_2:CO_2:He:Xe:H_2 = 20:10:64:5:1$ )。在放电电流为 22mA, 管压降为 20kV 的情况下, 有 40 多条线可获得 5W 以上的输出功率, 最高输出 25W。为了稳定  $CO_2$  激光的频率, 采取了稳定腔长和恒定工作电流的办法; 激光管用水晶管制作, 用殷钢棒将光栅架与放电管连接起来以减小热胀冷缩效应, 达到稳定腔长的目的。 $CO_2$  激光器的电源采用四倍压整流和五极管恒流方案, 达到市电  $220V \pm 15V$  时, 激光器工作电流变化最大  $\pm 0.2mA$ 。

选频  $CO_2$  激光器的基模 ( $TEM_{00}$ ) 输出是提高抽运效率的重要因素。 $TEM_{00}$  模的空间能量分布为高斯型, 光束经凹面镜  $M_2$  聚焦后注入远红外腔内。基模不仅比高阶模能更有效地激发起  $EH_{11}$  波导模, 而且它比较不易与波导壁相碰, 因此减少了损失有利于  $CH_3OH$  的吸收。我们对于  $CO_2$  激光器模的控制主要是限制放电管的管径。现用 2m 腔长的  $CO_2$  激光器, 放电管径 12mm, 菲涅耳数为 1.8。实验发现器件的基模运转还不太稳定, 时有较高阶横模出现 (主要是  $TEM_{01}$  模)。它影响远红外激光输出功率的稳定性。我们准备将放电管径改为 9mm (或在光栅前加  $\phi 9mm$  的光栏) 正好等于  $TEM_{00}$  基模在光栅上的光斑尺寸的 3 倍, 这时菲涅耳数为 1, 从而确保器件在基模运转, 并提高稳定性。

远红外谐振腔由柱形、中空的介质波导管, 反射镜和真空窗口组成。介质波导管为沈阳一号圆形硬质玻璃管, 长 1.5m, 内直径  $a = \phi 28mm$ 。当用线偏振的  $CO_2$  激光抽运介质腔内的  $CH_3OH$  时, 在波导管内激发  $EH_{11}$  模。

$EH_{11}$  模的衰减系数  $\alpha_{EH_{11}} \propto \frac{\lambda^2}{a^3}$ , 所以我们所用波导管的  $EH_{11}$  的衰减系数为  $0.006dbm^{-1}$ <sup>[4]</sup>, 单程损耗为  $\sim 0.2\%$ 。为了减少波导管两端的衍射损失, 将反射镜  $M_3$  紧贴在波导管口上; 另一块反射镜  $M_4$  与波导管端面留有间隙约 3mm, 并与千分尺相连以便进行腔长调谐。此间隙引起单程损失约为  $0.3\%$ <sup>[2]</sup>。因此, 暂不考虑耦合孔因素, 介质波导管的单程损失约  $0.5\%$ 。两块反射镜  $M_3, M_4$  都是玻璃基底的镀金平面反射

镜。输入反射镜  $M_3$  有  $\phi 2.5mm$  的中心耦合孔, 让聚焦后的抽运光束进入波导管。输出反射镜  $M_4$  有  $\phi 4mm$  的中心耦合孔输出远红外激光。由于  $EH_{11}$  波导模的空间能量分布沿波导截面为高斯型, 所以中心小孔可以有效地耦合输出远红外激光。两个耦合孔对应的菲涅耳数分别为  $N_3 = 0.0086$ ,  $N_4 = 0.022$ 。为了简便, 两个孔的直径都当作 4mm 来考虑, 则它们引起的单程功率损失约  $7\%$ <sup>[3]</sup>。远红外腔在输入端的真空窗口为 NaCl 片。输出端的真空窗口为晶体石英片, 它让远红外辐射通过, 但阻断从输出孔逸出的  $CO_2$  激光。

按照速率方程模型, J. R. Tucker 给出了气体连续光泵远红外激光的能量转换表示式为<sup>[4]</sup>

$$\frac{P_F}{V} = \frac{1}{2} \left( \frac{h\nu}{h\nu_p} \right) \left( \frac{P_p}{V} \right) \left( \frac{T}{A + T} \right) \left( \frac{\gamma L}{\gamma L + a_p} \right),$$

其中  $V$  为远红外工作物质的体积;  $\nu_p$  为  $CO_2$  激光频率;  $\nu$  为远红外激光频率;  $L$  为腔长;  $T$  为上述两耦合孔损失  $\sim 7\%$ ;  $A$  为远红外腔的损耗, 除上述的  $0.5\%$  外还应加上腔内反射和散射损耗约  $10\%$ ;  $\gamma$  为远红外工作物质对  $CO_2$  激光的吸收系数, 对波长  $\lambda = 119\mu m$ ,  $CH_3OH$  的气压为 60mTorr 时,  $\gamma = 0.001cm^{-1}Torr^{-1}$ <sup>[5]</sup>。  $a_p$  为远红外腔对  $CO_2$  激光的损耗, 取  $a_p \sim 15\%$ ; 输入腔中的抽运的  $CO_2$  激光功率  $P_p = 6W$ 。则从上式计算得到  $CH_3OH$  的  $119\mu m$  远红外激光的输出功率  $P_F \sim 9.5mW$  与我们的实验值大致符合。

当  $CH_3OH$  吸收了抽运的  $CO_2$  激光的能量后, 它的体积因受热而膨胀, 气压增加; 若对抽运激光进行低频斩波, 则在  $CH_3OH$  中将形成与斩波频率相同的压力振荡, 即声波。声波的振幅与  $CH_3OH$  吸收的  $CO_2$  激光的能量成正比。因此, 用传声器拾取这种声波就可以得到  $CH_3OH$  对  $CO_2$  激光的吸收谱 (光声谱)。利用  $CH_3OH$  的光声谱, 我们能够很方便地选择  $CO_2$  激光的抽运频率。我们还可采用反馈技术把  $CO_2$  激光的频率稳定在  $CH_3OH$  的任一吸收峰的位置。这种光声技术, 现在已被用

于微量分析和激光技术<sup>[6]</sup>等方面。

在我们的工作中是将光声吸收池直接与远红外腔相连接,如图1所示。在它的侧壁装有驻极体电容传声器(CRZ-1型,沈阳无线电七厂产品)。电容盒用O环橡皮圈与前置放大器真空密封隔离。整个远红外波导腔包括光声吸收池都放在真空室里,并抽空到 $10^{-5}$ Torr。传声器的输出信号送入锁相放大器显示。为了获得较强的光声信号,首先在吸收池和远红外腔内充入较高的 $\text{CH}_3\text{OH}$ 蒸汽压( $\sim 300\text{mTorr}$ ),注入选频 $\text{CO}_2$ 激光,开动斩波器( $\sim 2\text{Hz}$ ),用一台单色仪辨认 $\text{CO}_2$ 激光谱线。调节光栅转角,读出相应的光声信号振幅就得了 $\text{CH}_3\text{OH}$ 对

$\text{CO}_2$ 激光的光声谱,如图2所示。在图2中清楚地指示了 $\text{CH}_3\text{OH}$ 对 $\text{CO}_2 9\mu\text{m P}$ 支线的吸收峰位置。

选取光栅在 $9\text{P}(36)$ 线的附近位置。细心转动光栅,并从锁相放大器观察光声信号,使它处于峰值位置。此时说明 $\text{CO}_2$ 激光的频率与 $\text{CH}_3\text{OH}$ 的吸收频率匹配较好(要求它们之间的失配在 $10\text{MHz}$ 以内);这时,我们逐步降低远红外腔内的 $\text{CH}_3\text{OH}$ 蒸汽压。每降低一次,往返调节腔长一次。当气压降低到接近 $100\text{mTorr}$ 时,从示波器上观察到 $\text{LiTaO}_3$ 热释电探测器有信号输出。小心改变腔长,则信号随腔长的改变周期地出现和消失;抽去 $\text{CH}_3\text{OH}$ 蒸汽,则信号消失。这证明它确是远红外激光信号。从腔长的变化估计远红外激光的波长为 $119\mu\text{m}$ 。实验中,在抽运的选频 $\text{CO}_2$ 激光功率为 $\sim 6.4\text{W}$ 时, $\text{CH}_3\text{OH}$ 蒸汽压从 $30\text{mTorr}$ 到 $100\text{mTorr}$ 的范围内都有远红外激光输出。当 $\text{CH}_3\text{OH}$ 蒸汽压为 $60\text{mTorr}$ 时, $\text{LiTaO}_3$ 热释电探测器的输出信号 $\sim 1\text{V}$ 。它相当于远红外激光功率 $\sim 5\text{mW}$ 与上述理论估计大致相符。

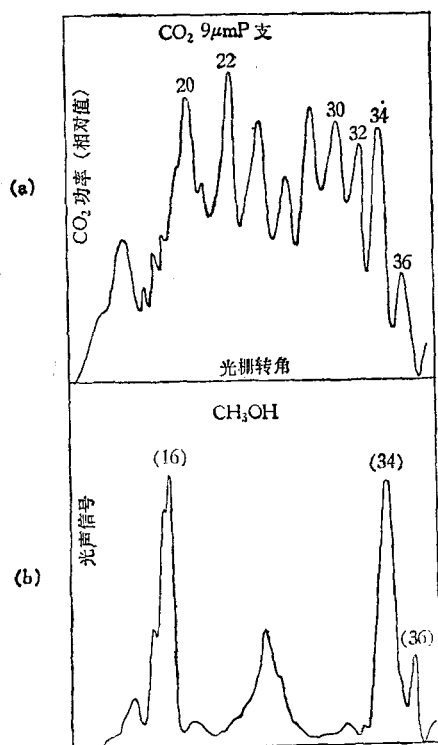


图2  $\text{CH}_3\text{OH}$ 蒸汽对 $\text{CO}_2$ 激光的光声谱

## 参 考 文 献

- [1] R. A. Wood, N. Brignall, C. R. Pidgeon and F. Al-Berkdar, *Infrared Phys.*, **16**(1976), 201.
- [2] L. Abrams, *IEEE J Quantum Electron.*, **QE-8**(1972), 838.
- [3] Tingye Li and H. Zucker, *J. Opt. Soc. Am.*, **57**(1967), 984.
- [4] J. R. Tucker, *Inter. Conf. Submillimeter Waves and their Applications*, Atlanta, GA Conference Digest, (1974), 17.
- [5] D. T. Hodges, F. B. Foote and R. D. Reel, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-13**(1977), 491.
- [6] G. Busse, K. U. Berger and D. Rogalski, *Opt. Commun.*, **28**(1979), 341.

## 《电子学通讯》更改刊名

### 启 事

《电子学通讯》从1983年起改名为《电子科学学刊》,仍为学术刊物。欢迎投稿,欢迎订阅。

北京2702信箱

《电子学通讯》编辑部