

HCN 激光器及亚毫米波波长的测量

林贻堃 丘秉生 郑兴世

(中山大学无线电电子学系)

提要: 简要地描述工作在亚毫米波段的连续波 HCN (氰化氢) 气体激光器的结构及工作特性, 并分别应用反射光栅法及法布里-珀罗干涉仪法对 HCN 激光器的输出波长进行测量。其测量精度反射光栅法达到 1%; 法布里-珀罗干涉仪法达到 0.1%。

A HCN laser and the measurement of the submillimeter waves

Lin Yikun Qiu Bingsheng Zheng Xingshi

(Department of Physics, Zhongshan University)

Abstract: A CW HCN submillimeter wave laser has been constructed. The structure and the performances of the laser are given. A reflection grating spectrometer and a Fabry-Perot interferometer have been constructed for the measurement of the laser output wavelength with the accuracies of better than 1% and 0.1% respectively.

概 述

HCN (氰化氢) 气体激光器是最早出现的一种亚毫米波激光器^[1]。它是基于 HCN 分子的基电子态中的振动态与转动态能级之间的量子跃迁而产生受激发射的^[2], 它最强的输出波束波长为 337 微米, 对应的跃迁能级是 $[J=10, (11^10)]$ 与 $[J=9, (04^00)]$; 其次是 311 微米, 对应于 $[J=11, (11^10)]$ 与 $[J=10, (04^00)]$ 。由于 HCN 激光器能连续稳定工作, 并有较强的连续波输出功率^[3,4], 而且其波长靠近 350 微米的大气传输“窗口”, 因而在光频率测量^[5]、等离子体诊断^[6]、亚毫米波及通讯传输的研究等方面, 广泛地被采用。

我们制作的一台亚毫米波 HCN 激光器主体部分是用硬质玻璃烧制的, 见图 1, 总长度约为 1.35 米, 放电管内直径为 48 毫米, 有效的放电区长度约 1 米, 谐振腔反射镜直径

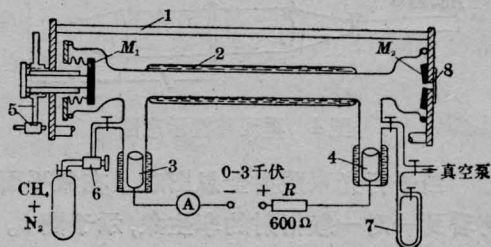


图 1 HCN 激光器主体结构

1—石英玻璃支撑管; 2—油冷套; 3—阴极; 4—阳极; 5—传动齿轮; 6—真空微流阀; 7—油柱气压计; 8—聚酯薄片窗口; M_1 —平面反射镜; M_2 —凹球面反射镜

收稿日期 1980年10月4日。

均为 80 毫米, 一块是平面反射镜 M_1 ; 另一块是曲率半径为 3 米的凹球面反射镜 M_2 , 其中央有直径为 4 毫米的输出耦合孔。两块反射镜的距离(腔体长度)由石英玻璃支撑架保证, 避免了由于放电管工作温升而引起腔体长度的改变; 而且平面反射镜一端装有滑动调节机构, 通过旋转传动齿轮使平面反射镜相对于石英玻璃支撑架作平动, 以便进行调谐或用同步马达带动传动齿轮, 实现腔体长度扫描。平面反射镜后面连接有波纹管, 用以保证反射镜可调而又气密。放电区装有油冷套, 用循环的油冷却及保持管壁温度。阴极及阳极分别装有水冷套, 用水冷却电极。阴极用钽片做成, 以减少离子轰击造成的溅射, 阳极用不锈钢片做成。

在亚毫米波输出功率的测试中, 我们采用了红外区定标的炭斗式激光功率计(LW-1 型)作绝对功率测量, 用热释电探测器作相对功率测量。在亚毫米波波长的测量方面, 我们分别采用了反射光栅法及法布里-珀罗干涉仪法。

反射光栅法的实验装置如图 2 所示。采用由铣床刻线的黄铜基片的反射光栅, 探测器置于与信号源光轴成一锐夹角 ϕ 的轴线上; 转动光栅的角度, 使探测器检出极大值, 此时, 只需测量出光栅的法线与信号源光轴的夹角 θ_m , 便可根据下列公式算出波长:

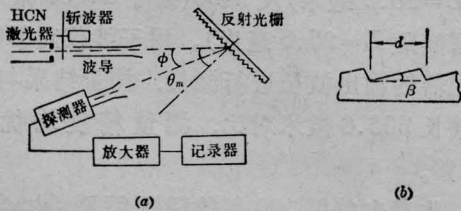


图 2

- (a) 反射光栅法测波长的实验装置;
(b) 光栅横截面放大

$$\lambda = \frac{2d}{m} \sin \left(\theta_m - \frac{\phi}{2} \right) \cos \frac{\phi}{2} \quad (1)$$

其中 m 是衍射极大值的阶数(正整数), 可由下式估算

$$m \approx \frac{1}{\lambda} 2d \sin \beta \cos \frac{\phi}{2} \quad (2)$$

d 是光栅常数(1.1 毫米); β 是光栅的闪烁角(40°); 光栅刻线面积(50×50 毫米²), 见图 2(b) 所示。

法布里-珀罗干涉仪法的实验装置如图 3 所示。由两片相互平行的金属栅网构成亚毫米波法布里-珀罗干涉仪。被测量的亚毫米波投射到干涉仪上, 在两片“电感性”的金属栅网之间来回反射及透射, 形成多光束干涉现象, 连续改变两片栅网之间的距离, 置于干涉仪另一端的探测器便检出干涉波的强弱变化。当探测器相继指示出两个极大值之时, 栅网移动的距离便等于被测信号的半波长, 由此便可作波长的测量。

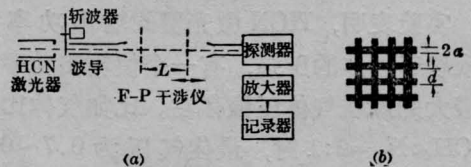


图 3

- (a) 法布里-珀罗干涉仪法测波长的实验装置;
(b) “电感性”金属栅网放大

实验结果

我们就混合气体的压强及工作电流对 HCN 激光器功率的影响进行了测量。实验结果: 输出功率与气体压强的关系曲线示于

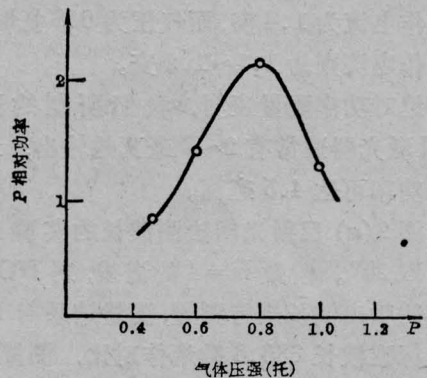


图 4 输出功率与气体压强的关系
($\text{CH}_4:\text{N}_2=2:1$; 工作电流 1 安培)

图 4; 输出功率与工作电流的关系曲线(气体压强为参变量)示于图 5。

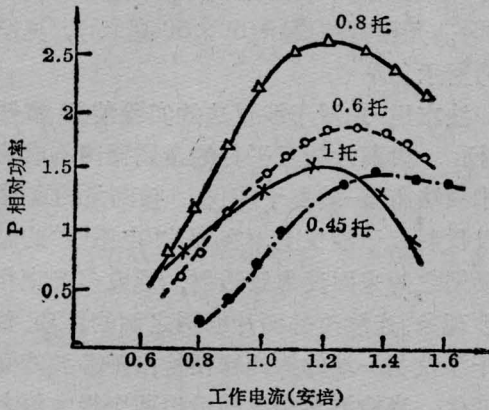
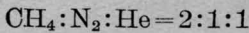


图 5 输出功率与工作电流的关系
($\text{CH}_4:\text{N}_2=2:1$)

实验表明, HCN 激光器的输出功率强烈依赖于气体的压强, 有一个使输出功率达到最大的最佳气体压强存在。比如气体比例为 $\text{CH}_4:\text{N}_2=2:1$ 时, 最佳气压为 0.7~0.8 托。如果混合气中添加了缓冲气体 He, 则最佳气压相对提高, 比如当



时, 最佳气压为 1.2~1.4 托, 同时输出功率也有所增加。从图 5 的曲线簇看出: 当气压不同时, 最大输出功率的工作电流也不同。一般地说, 气压较低时, 最佳工作电流要大一些; 气压较高时, 最佳工作电流要小一些。比如在我们的实验情况下, 气压为 0.5 托时, 最佳工作电流为 1.4 安, 而气压为 0.8 托时, 最佳工作电流则为 1.1~1.2 安。

绝对功率测量表明, 我们研制的这台 HCN 激光器通常有 2~3 毫瓦的输出, 最大输出功率可达 4.5 毫瓦。

图 2(a) 反射光栅法测波长的实验装置中 ϕ 取 25° 。阶数 $m=4$ 的谱线, 对 HCN 激光器的输出波长进行测量, 测量结果与 HCN 激光标准波长 336.6 微米作对比, 测量精度达 1%。测量精度主要是受光栅的分辨率和角度测量的精度所限制, 所以精度低一些, 但

是这种测量方法比较简便。

我们用真空蒸镀与光刻工艺在聚酯薄膜基片上制得“电感性”铝箔栅网, 用以构成法布里-珀罗干涉仪, 见图 6 照片。调节一只测微螺旋头, 可使一片栅网平移, 并由千分表来读数。通过连续改变两片栅网的间距, 检测器上示出多个极大值, 记取栅网移动的距离 ΔL 及极大值出现的次数 n , 便可以算出波长

$$\lambda = \frac{2\Delta L}{n}$$

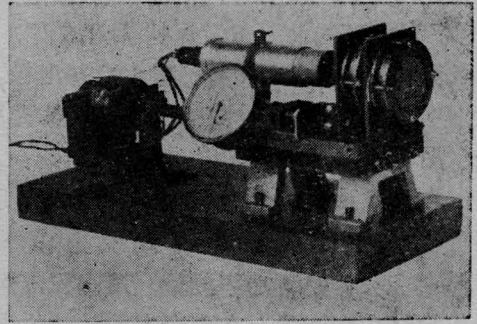


图 6

测量过程可以用同步马达带动测微螺旋头作栅网间距 L 的扫描, 以记录仪记下检测的信号来实现。

我们制备了两种“电感性”铝箔栅网, 其光栅常数分别为 $d=120$ 微米, $2a=40$ 微米及 $d=60$ 微米, $2a=20$ 微米, 装配成的干涉仪 Q 值可达 1350 (对于 $d=120$ 微米, 栅网间距 $L=25.5$ 毫米) 及 2400 (对于 $d=60$ 微米, 栅网间距 $L=25.5$ 毫米)。用干涉仪对 HCN 激光器的输出波长进行测量, 测量结果与标准波长 336.6 微米对比, 测量精度均优于 0.1%。

作者也曾用 120 目的磷铜筛网 ($d \approx 200$ 微米) 或用石英玻璃基片的铝箔栅网作为法布里-珀罗干涉仪的反射器, 也能测量 337 微米的亚毫米波波长, 但由于干涉仪的 Q 值较低, 测量的精度较差。

“电感性”金属栅网具有短波通过长波反
(下转第 59 页)

装置,使电吹风对准异丙醇空气界面,于是,高出异丙醇液面的明胶部分就被迅速干燥了;最后的封装是为了使拍摄的全息图免遭环境湿度的影响。因为DCG特别容易受潮,而一旦受潮明胶层重新吸水会使全息图消失。

3. 结果

图2是我们测得的DCG曝光特性曲线。

用DCG材料制作的白光再现全息图的光路如图3所示。光源为氩离子激光器。图3中的 H_1 为普通的透射式漂白全息图。来自氩离子激光器的光束被分为两束,一束经 M_2 反射后被 L_2 会聚成会聚光束,照射到 H_1 上,于是再现的共轭实象刚好成象在DCG材料 H_2 上,参考光则从反方向射入。曝光后,则按前述方法处理,所得的全息图便是一张反射式白光再现全息图,再现象十分明亮,参见图4。图4照片是用一盏60瓦的台灯,在一米远处照明,用 21° 胶卷,光圈为5.6,速度为1/30秒拍摄的,从照

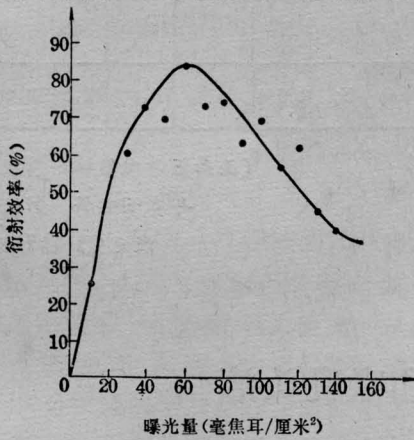


图2 DCG的曝光特性曲线
记录: $\lambda=4416 \text{ \AA}$; 测试: $\lambda=6328 \text{ \AA}$

片可见,再现象要比同一光源照明的手还要明亮。

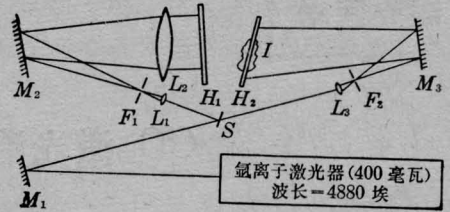


图3 拍摄白光再现全息图的光路

- H_1 —初始全息图;
- H_2 —DCG全息图;
- M_1, M_2, M_3 —平面反射镜;
- L_1, L_2, L_3 —透镜;
- F_1, F_2 —空间滤波器

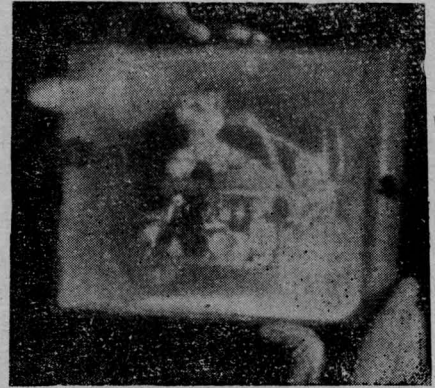


图4 DCG白光全息图再现象的照片

参 考 文 献

- [1] T. A. Shankoff; *Appl. Opt.*, 1968, **7**, 2101.
- [2] T. Kubota et al.; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, 556.

(上海市激光技术研究所 曲志敏
蔡雪强 李美月 刘训阁 凌振云
1980年11月24日收稿)

(上接第34页)

射的特性,当波长增长时(或波长不变而光栅常数 d 减小时)栅网的反射率也随之增加,因而干涉仪的 Q 值也随着增大。用 $d=60$ 微米的“电感性”铝箔栅网制成的干涉仪,估计可用于100~1000微米波长范围内测量波长。

在进行这项工作时,李国如和丁中同志为我们烧制了HCN激光器主体,黄小军同志在工艺技术方面给予协助,一并表示谢意。

参 考 文 献

- [1] H. A. Gebbie et al.; *Nature*, 1964, **202**, 685.
- [2] D. R. Lide et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 1967, **11**, 62~64.
- [3] Jörg P. Kottaus; *Appl. Opt.*, 1968, **7**, No. 12, 2422.
- [4] P. Belland et al.; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, 3047.
- [5] Jean Pierre Crenn; *IEEE, Trans. Microwave Theory Tech.* MTT-27, 1979, 573.
- [6] P. Belland et al; *Opt. Commun.*, 1973, **9**, 146.
- [7] 牧内,川村; *电子通讯学会杂志*, 1977, J60-C, **10**, 624.