

## 88 THz He-Ne 激光频率的综合

倪育才 闫寒梅 马明德 林建

(中国计量科学研究院)

**提要:** 用 W-Ni 点接触 MIM 二极管作谐波发生和混频元件, 观察到 3.39 微米 He-Ne 激光、CO<sub>2</sub> 激光以及速调管微波辐射间的谐波混频信号。信噪比在 50 千赫带宽时约为 22dB。

## Synthesis of He-Ne laser frequency at 88 THz

Ni Yucai, Yan Hanmei, Ma Mingde, Lin Jian

(National Institute of Metrology)

**Abstract:** The beat signals of the harmonic mixing between He-Ne laser at 3.39  $\mu\text{m}$ , CO<sub>2</sub> laser and microwave radiation of the klystron has been observed by using a W-Ni point contact MIM diode as the harmonic generator and mixer. The signal to noise ratio obtained was 22 dB at the bandwidth of 50 kHz.

## 一、引言

在光通讯、激光雷达和光谱学等激光应用中要求知道激光的频率。绝对频率测量是基于测量被测频率和一已知参考频率之间的差频而进行的。已知参考频率通常是由已知频率通过倍频、和频或差频而综合得到的。因此激光频率的测量可以分成参考频率的综合和差频测量两部份。由于频率基准位于微波区域, 而红外激光频率高达  $10^{14}$  Hz 量级, 两者相差约四个量级, 因此不能由微波频率直接产生如此高的谐波而综合得到红外激光频率。通常必须采用若干个作为过渡的中间振荡器, 组成一个由微波直到光频的频率

链——激光频率测量链, 并通过若干次谐波混频而最后得到被测激光频率。本文将介绍绝对测量 3.39 微米 He-Ne 激光频率中的部份实验: 3.39 微米 He-Ne 激光频率的综合。

MIM 二极管是目前唯一可用于近红外波段的谐波发生和混频元件, 它由一电解制成的钨针和一抛光镍(或钴)柱表面点接触而成。可以同时完成谐波发生、混频和接收这三个功能。1977 年 Evenson 等人将 MIM 用于 197 THz (1.5 微米) 的氦激光频率测量<sup>[1]</sup>, 这是至今为止 MIM 可以综合的频率上限。国内已有报道用 MIM 作检测器, 观察到两台 CO<sub>2</sub> 激光之间的 30MHz 的差拍信号<sup>[2]</sup>。本文报导利用 MIM 作谐波发生和混频元件,

收稿日期: 1984 年 3 月 6 日。

观察到 3.39 微米 He-Ne 激光、CO<sub>2</sub> 激光的三次谐波以及 50 GHz 左右速调管信号的基波(或谐波)间的谐波混频拍信号。

## 二、实验装置

图 1 给出谐波混频实验装置方框图。3.39 微米 He-Ne 激光器的放电毛细管长 1.7 米, 内径 2.8 毫米, 谐振腔长度 2.15 米。谐振腔由一块曲率半径  $R=1$  米的镀金全反射镜和一块  $R=1.2$  米的介质输出耦合镜组成。通过压电陶瓷可以改变谐振腔的长度, 从而改变激光频率。

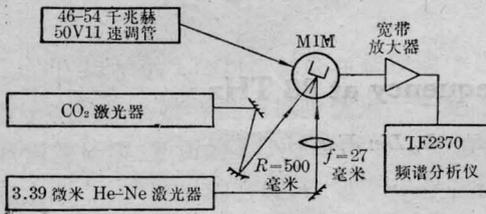


图 1 实验装置方框图

谐波混频实验要求 He-Ne 激光处于单频运转。对于 2 米左右的腔长, 由于其纵模频率间隔要小于 3.39 微米的增益线宽而不能确保激光器处于单频振荡。为此, 在激光管内充以稍高的气压(470 帕), 以增加其压力增宽而引起有效模竞争。同时, 接近于共心的腔结构也有助于抑制可能产生的高阶横模振荡。因此不必再采用任何选模装置。

由于所用的谐振腔不能有效地抑制 1.15 微米谱线的振荡, 因此激光器能同时在 3.39 微米和 1.15 微米两谱线运转。激光束由一焦距 27 毫米的石英透镜聚焦到 W-Ni MIM 二极管上。由于石英透镜的色散, 1.15 微米辐射并不聚焦到 MIM 的结上, 未发现 1.15 微米辐射对实验产生任何影响。

混频用的 CO<sub>2</sub> 激光器放电毛细管长 1.4 米, 谐振腔长度约为 2.4 米。用 80 条/毫米的平面光栅来选择 CO<sub>2</sub> 谱线, 输出耦合镜的曲率半径  $R=10$  米, 并可用压电陶瓷调谐。

单谱线最大输出功率约为 15 瓦, 但在谐波混频时, 几瓦的输出功率即已足够。CO<sub>2</sub> 激光束通过一可变光阑后被  $R=500$  毫米的凹面镜聚焦到 MIM 上, 改变光阑大小可控制入射到 MIM 上的功率。

微波源采用 OKI 公司 50VII 型速调管, 它可以在 46~54 GHz 的范围内调谐。

## 三、W-Ni 点接触 MIM 二极管

本实验采用开式二极管装置, 将一很尖的钨丝和抛光镍柱点接触而成。钨丝的形状如图 2 所示。根部插入直径 1 毫米的铜管并夹紧。弯曲部做成半圆形可以使钨丝具有较好的弹性而增加接触的稳定性。二极管置于一可以精密调节接触压力的底座上。调节手把每转动一圈, 钨丝相对于镍柱平移 2.5 微米。底座可以在  $x-y-z$  三个方向平移, 并可以绕与光束相垂直并通过接触点的轴线旋转, 以调节激光束的入射角。

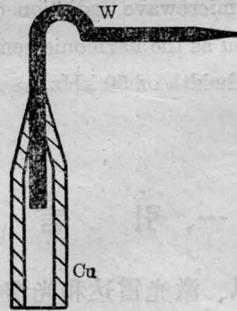


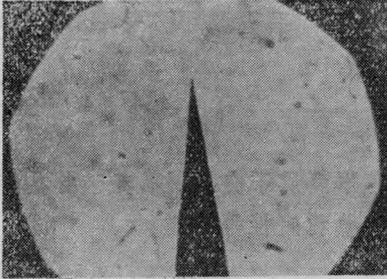
图 2 钨丝形状

钨丝的作用类似于接收天线。二极管的输出, 即拍信号的大小决定于激光束的入射角; 也就是说, 激光入射方向与钨丝的夹角  $\theta$  应与天线主波瓣相符, 它由下式按波长  $\lambda$  和天线长度  $L$  而给出<sup>[3]</sup>:

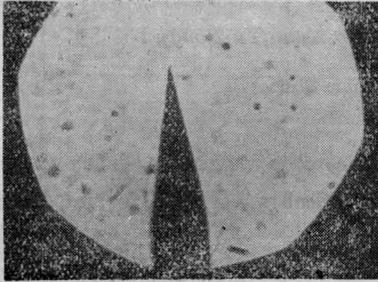
$$\theta = \arccos\left(1 - 0.371 \frac{\lambda}{L}\right)$$

在本实验中, 测得 3.39 微米和 CO<sub>2</sub> 激光束的入射角分别为 11° 和 17°, 基本上与由上式计算得到的结果相符。

MIM 的关键之一是制备很尖的钨丝。我们采用直径 25 微米的钨丝, 将其端部浸没在 28% 的 KOH 溶液中通过交流电解而制成。适当地控制电解电流和时间, 就可以得到所需的形状。通过 640 倍的光学显微镜能大体上判断端部形状的好坏。图 3(a) 给出钨丝端部的照片。



(a) 用光学显微镜得到的钨丝尖端照片



(b) 已损坏的钨丝, 端部已轻微弯曲

图 3

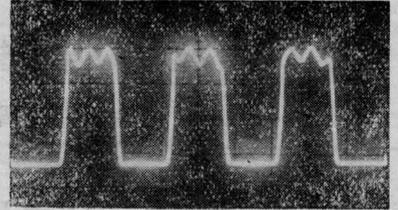
使用 MIM 的另一个关键是仔细地实现钨丝与镍柱间轻微而稳定的接触, 改变接触压力会改变二极管的接触电阻。实验表明最佳电阻约为 250 欧姆。过大的接触压力会使钨丝弯曲而损坏。图 3(b) 是由于接触压力过大而损坏的钨丝照片, 图中可以看出端部轻微弯曲。

#### 四、实验结果

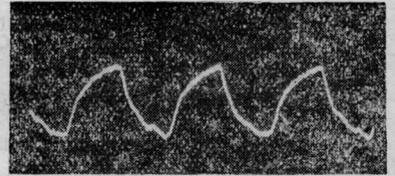
由于电子穿透势垒的快速过程, MIM 对被调制的激光束具有快速响应的检波特性的<sup>[4]</sup>, 通常就用该整流信号的大小来表示 MIM 性能的优劣。在观察到混频拍信号时, 对 CO<sub>2</sub> 激光和 3.39 微米 He-Ne 激光整流信

号的大小分别在 5~9 毫伏以及 0.2~0.4 毫伏范围内。

图 4(a) 是在示波器上得到的 3.39 微米激光的整流信号。图 4(b) 则给出当接触压力过大或钨丝尖端部形状不好时得到的慢变化信号, 这是由热效应引起的慢变过程。



(a) MIM 对 3.39 微米激光的快速响应整流信号, 迭加在信号上的纹波是由激光电源的纹波引起的



(b) 由热效应引起的慢变化信号

图 4

为得到足够信噪比的拍信号, 除要求较高的激光功率外, 还必须将光束聚焦以保证有足够的功率密度。在本实验中 3.39 微米激光的输出功率为 20 毫瓦。由于光学系统的损耗, 经  $f=27$  毫米石英透镜聚焦后的功率为 13 毫瓦, 计算得的焦点处光斑半径是 5 微米。对 CO<sub>2</sub> 激光, 当功率密度较大时易使钨丝钝化或烧毁。实验中用  $R=500$  毫米的凹面镜聚焦, 聚焦后的功率为 350 毫瓦, 焦点处的光斑半径为 0.15 毫米。

速调管的微波辐射则通过开口波导耦合到 MIM 上。波导开口离 MIM 结点约 5 毫米。

由 MIM 得到的谐波混频拍信号被宽带放大器 (5~400 MHz, 40 dB) 放大后, 由 TF2370 频谱分析仪观察。

实验时 CO<sub>2</sub>、He-Ne 激光和速调管均为自由运转。

在上述实验条件下, 观察到了 CO<sub>2</sub> 激光 (下转第 28 页)

成反兰姆凹, 故而增益大增, 于是驻波场的振荡竞争就比行波场来得有利。我们用 13 毫托的  $\text{SF}_6$  在长 600 毫米的吸收池中进行了激光扫频出的观察。 $\text{CO}_2$  激光频率调在  $P16$  支 (10.55 微米), 发现在吸收线中心频率附近, 激光的振荡表现出不连续的突变特性, 即该

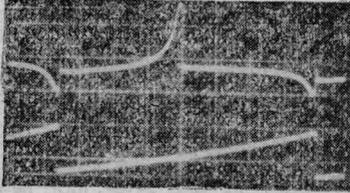


图 4 环型  $\text{CO}_2$  激光腔中  $\text{SF}_6$  引起的窄共振  
(上为共振峰波形, 下为锯齿波波形)

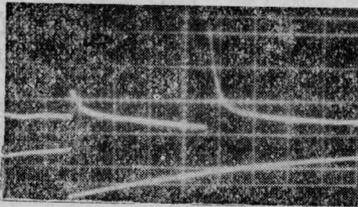


图 5 直管  $\text{CO}_2$  激光腔中  $\text{SF}_6$  引起的窄共振  
(上为共振峰波形, 下为锯齿波波形)

(上接第 31 页)

的三条谱线  $10R(28)$ 、 $10R(30)$  和  $10R(34)$  与 3.39 微米激光间的谐波混频拍信号。其频率关系为

$$\nu_b = \nu_{3.39} - 3 \times \nu_{\text{CO}_2 R(34)} + 3 \times \nu_{52.3 \text{GHz}}$$

$$\nu_b = \nu_{3.39} - 3 \times \nu_{\text{CO}_2 R(30)} - \nu_{48.7 \text{GHz}}$$

$$\nu_b = \nu_{3.39} - 3 \times \nu_{\text{CO}_2 R(28)} - 3 \times \nu_{51.7 \text{GHz}}$$

式中,  $\nu_b$ ——拍频频率;

$\nu_{3.39}$ ,  $\nu_{\text{CO}_2}$ ——对应的激光频率;

$\nu_{52.3}$ ,  $\nu_{48.7}$ ,  $\nu_{51.7}$ ——对应的速调管频率。

所得信号的信噪比在 50 kHz 带宽时分别为 16、22 和 16 dB。改变二极管的偏压对拍信号信噪比影响不大。

图 5 给出由 TF2370 频谱分析仪得到的拍信号照片。

曾试图利用速调管的五次谐波, 观察  $\text{CO}_2$   $10R(36)$  和  $10R(26)$  与 3.39 微米激光间的拍信号, 但未获成功。

处激光的光强骤增, 其示波图如图 4 所示。频率的总扫描宽度约为 53 兆赫。为了探索这种共振峰的来源, 我们用组成环型腔的相同元件构成 1800 毫米长的直管驻波腔进行  $\text{SF}_6$  窄共振的观察, 其结果如图 5 所示。比较图 4 和图 5 可以看出, 两者产生的共振, 其特点基本相同。这一点也是可以理解的, 因为当环型腔中放有吸收介质后, 在吸收线中心频率附近有利于驻波振荡, 这自然就与直管腔的情形相同。但其共振波形的突变不对称性及其相应的宽度, 尚需在理论上和实验中作进一步研究。

### 参 考 文 献

- [1] 黄永楷;《激光》, 1982, 9, No. 9. 600.
- [2] М. В. Данилейко и др.; Кван. электр., Киев, 1978, №14, 3~23
- [3] Н. Когельмик, Т. Ли; *Appl. Opt.*, 1966, 5, 1550.
- [4] Н. Г. Басов и др.; *Письма в ЖЭТФ*, 1970, 12, №8, 145.
- [5] В. А. Алексеев и др.; *ЖЭФТ*, 1976, 66, №3, 887.



图 5 从 TF2370 上得到的拍信号照片  
纵坐标: 10 dB/格; 横坐标: 10 MHz/格  
照片中左方为零频率标记, 中央是得到的谐波混频拍信号, 在 10~20 MHz 间的两个信号来自空间干扰

### 参 考 文 献

- [1] K. M. Evenson et al.; *Laser Spectroscopy III* (Springer-Verlag, 1977), p. 56.
- [2] 廖世强等;《中国激光》, 1983, 10, No. 4, 238.
- [3] L. M. Matarrese, K. M. Evenson; *Appl. Phys. Lett.*, 1970, 17, 8.
- [4] G. B. Hocker, W. K. Burns; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1975, QE-12, 748.