

# He-Ne 激光腔内位相调制的增强效应研究

简献忠

(常德师范学院物理系, 常德, 415000)

摘要: 以电光射频位相调制光谱技术为基础, 对有源腔内位相调制增强的机理进行了理论和实验研究。数值计算得到了腔内调制存在腔增强效应的结果。在调制频率为 10MHz 时, 理论腔增强倍数为 9 倍, 并在实验上获得了验证。

关键词: He-Ne 激光器 腔内电光调制 腔增强效应

## The enhance effect of phase modulation in He-Ne laser intra-cavity

Jian Xianzhong

(Department of Physics, Changde Teacher's College, Changde, 415000)

**Abstract** According to spectrum technology of electric optical radio frequency and phase modulation, this paper presented the theoretical and experimental research of enhancing effect of intra-cavity phase modulation. The calculation of cavity enhancing ability shown if the depth of the modulation was less than one, the ratio of the intensity of one and zero level sideband was 9. The result was well proved by experiments.

**Key words:** He-Ne laser electric optical modulation in intra-cavity enhancing effect of cavity

### 引 言

近年来, 电光体调制器的幅度调制及位相调制在光外差光谱技术和光通信技术中得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。但是, 电光体调制器的半波电压一般比较高<sup>[2]</sup>, 为了在光通信中降低调制器的驱动功率和增强带宽, 人们提出了腔内调制增强的方法<sup>[3]</sup>。为了探索激光腔内进行位相调制的可能性, 我们以 He-Ne 激光器腔内射频位相调制的光谱技术为基础, 对有源腔内位相调制的机理进行理论和实验的研究。

### 1 原 理

不同于腔外调制, 腔内调制将调制器置于激光腔内, 其基本原理见图 1 所示。由于 F-P 腔的作用, 使腔内往返光场多次与调制器反复作用, 即受到调制器反复作用。因而, 可以预见腔内调制特性将本质上区别于腔外调制的情形。

一平面单色波通过电光位相晶体后会产生调制边带<sup>[4]</sup>, 而这一过程发生在激光谐振腔内, 电光位相调制的边带会由于激光多次振荡的过程而受到增强, 从而产生增强效应。当调制度小于 1 时, 腔内位相调制时一级边带与零级边带的电场强度之比为<sup>[5]</sup>:

$$\frac{E_{s\pm}^0}{E_c^0} = \frac{J_{\pm}(\delta)}{J_0(\delta)} \cdot \frac{\cos[(k_{s\pm}^{iv} - k_c^{iv})\Delta L]}{\sin[(k_{s\pm}^{iv} - k_c^{iv})\Delta L + (k_{s\pm}^{\oplus} - k_c^{\oplus})(1-\Delta)L]} \quad (1)$$

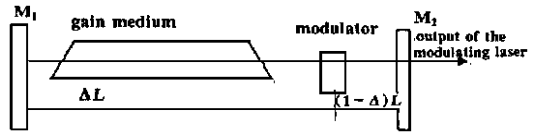


Fig. 1 The principle diagram of in intra-cavity phase modulation

式中,

$$k_{s\pm}^{\oplus} - k_c^{\oplus} = 2\pi f_m / c \quad (2)$$

$$k_{s\pm}^{\text{iv}} - k_c^{\text{iv}} = 2\pi \frac{f_m}{c} \left[ 1 + \frac{af_r}{\pi B} \cdot \frac{1}{1 + 4f_m^2/B^2} \cdot (1 - 2if_m/B) \right] \quad (3)$$

式中,  $k_c$  为入射波的传播速度,  $k_s$  为调制波的传播速度,  $c$  为光的传播速度,  $f_m$  为调制频率,  $f_r$  为激光纵模间隔,  $B$  为激光的带宽,  $a$  为单程损耗功率,  $J(\delta)$  为贝塞尔函数。

腔外一级边带与零级边带的电场强度之比为<sup>[2]</sup>:  $E(f_m) = J_1(\delta)/J_0(\delta)$  (4)

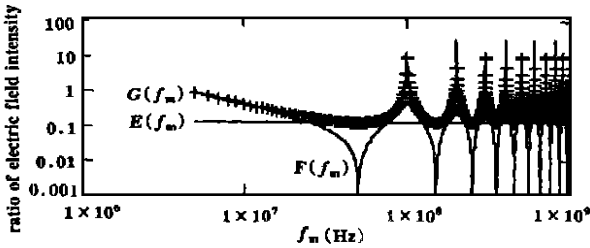


Fig. 2 The ratio of the electric intensity of 1 and 0 level side band vs frequency for intra- and out-cavity modulation

利用(1)式和(4)式,经数值计算用计算机绘图得到腔内、腔外位相调制一级与零级边带电场强度的比值与频率的关系,见图2。

根据实验各参量取值为:  $f_r = 100\text{MHz}$ ,  $L = 1.5\text{m}$ ,  $\delta = 0.24$ ,  $f_m = 5\text{MHz} \dots 1000\text{MHz}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。

从图2中可以得到如下结论:

(1) 腔内  $\Delta = 1$  时激光的凹陷部

分比  $\Delta = 0$  时厉害,在靠近激光纵模间隔处边带振幅较大即出现峰值。曲线上的波峰是由于激光两镜片构成的 F-P 腔对激光的共振增强。波谷是由于激光两边带发生干涉相消的缘故。

(2) 腔外与腔内(为研究方便腔内  $\Delta = 1$  的情况与腔外比较) 由图2可知,腔外与腔内相比,腔内调制在某些频率处有共振增强效应(数值在  $E(f_m)$  上方的频率点),在某些频率处反而减弱(数值在  $E(f_m)$  下方的频率点),且共振增强效应的强弱与调制频率的大小有关。经数值计算发现在频率为  $25\text{MHz}$

时,  $E(f_m) = F(f_m)$ 。此时,腔内调制无增强效应。为验证这一结论的正确性,下面对  $E(f_m)$ ,  $F(f_m)$  在  $25\text{MHz}$  处随电压的关系如图3。由图3可知在调制频率为  $25\text{MHz}$  时腔内调制确实无增强效应。而  $f_m < 25\text{MHz}$  时有共振增强效应,故在下面的实验中所选频率在这一频率范围内。

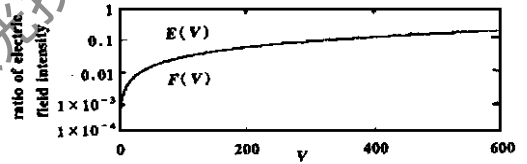


Fig. 3 Related graph of modulating sideband and modulating voltage in intra-cavity and out-cavity in  $25\text{MHz}$

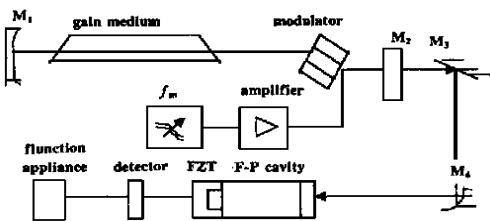


Fig. 4 The experimental setup of intra-cavity phase modulation

电压为  $5500\text{V}$ ,且进行的是位相调制<sup>[6]</sup>。按照布儒斯特角的方向插入激光腔内,且靠近激光腔的输出镜片  $M_2$ (即  $\Delta = 1$ )。当选取适当透射率的镜片时,激光输出功率为  $0.1\text{mW}$ 。驱动源的振荡频率  $f_m$  为  $10\text{MHz}$ ,经放大器放大后输出功率为  $1\text{W}$ 。使用的 F-P 腔的腔长为  $0.422\text{m}$ ,压电陶瓷所加电压约为几百伏。适当调节凹面镜  $M_4$  与 F-P 腔的距离,使激光腔与 F-P 腔的模

## 2 实 验

在前面分析的基础上进行了如图4所示的实验。实验中使用的激光源为  $632.8\text{nm}$  He-Ne 激光器,腔长为  $1.5\text{m}$ 。电光晶体为  $\text{LiNO}_3$  晶体,尺寸为  $15\text{mm} \times 8\text{mm} \times 2\text{mm}$ ,切割方向为  $z$  轴,所加电场方向为  $z$  轴。此时,晶体的半波

式匹配。在晶体上所加谐振频率为 10MHz, 调制度为 0.24 时, 看到了调制边带。观察到的图形如图 5 所示(其中横坐标代表调制频率, 纵坐标代表输出信号电流的幅值)。



Fig. 5 The output current amplitude vs modulation frequency

带与零级边带的电流幅度比为:  $I_1/I_0 = 1/8$

下面从理论上估计腔增强倍数。由(1)式得:

$$E_1(\delta(V)) = \left| \frac{J_1(\delta(V)) \cos(k_1(V)L)}{J_0(\delta(V)) \sin(k_1(V)L)} \right| \quad (5)$$

式中,  $\delta(V)$  为调制电压与晶体半波电压的比值,  $V$  为调制电压。

根据实验, 当各参量取值为  $f_r = 100\text{MHz}$ ,  $L = 1.5\text{m}$ ,  $\delta = 0.24$ ,  $c = 3 \times 10^8\text{m/s}$ ,  $f_m = 10\text{MHz}$  时, 得此时腔内调制时理论一级边带与零级边带的电流幅度比值为:  $\tau_1 = [E_1(0.24)]^2 = 1/7.7$ 。对应腔外调制时一级边带与零级边带的电流幅度比值为:  $\tau_2 = [J_1(0.24)/J_0(0.24)]^2 = 1/66.7$ 。当调制度为 0.24 时, 腔外调制的一级边带的电流幅度值太小, 故在同样的条件下在腔外实验看不到调制边带。此时, 腔增强倍数为:  $\tau = \tau_1/\tau_2 = 9$ 。

### 3 结 论

在激光波段为 632.8nm 处, 用电光纵向调制的方法在调制频率为 10MHz, 调制度为 0.24 进行了 He-Ne 激光器腔内的位向调制, 观察到了调制边带。验证了调制频率为 10MHz 时, 腔内调制存在腔增强效应, 揭示了利用腔内调制的方法可降低调制器的驱动功率, 从而使位相调制适用宽频带的使用条件在光通讯中的应用具有重要意义。

### 参 考 文 献

- 1 江红杰. 光外差光谱技术研究. 华东师大博士论文, 1995
- 2 蒋明华. 晶体物理. 济南: 山东科学出版社, 1980
- 3 Scholtz A L, Leeb W R. IEEE J Q E, 1981; QE17(13): 423
- 4 Yariv A. Introduction to Optical Electronics. 2nd New York: Holt, 1976
- 5 Leeb W R, Scholtz A L. IEEE J Q E, 1977; QE13(11): 925
- 6 彭江得. 光电子技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1988

作者简介: 简献忠, 男, 1969 年 11 月出生。硕士, 讲师。现从事物理教学及量子光学、光电检测等方面的研究工作。

收稿日期: 1999-05-10

## 《激光技术》第三次被确定为核心期刊

最近接北京大学图书馆来信, 据《中文核心期刊要目总览》(2000 年版) 编委会通知, 依据文献计量学的原理, 对各学科中文核心期刊进行了重新筛选。采用文摘法、引文分析法等科学方法, 从正在出版的近万种中文期刊中筛选出 1568 种核心期刊。《激光技术》第三次被确定为无线电电子学、电信技术类核心期刊。

此项工作被列为“国家教委人文社会科学研究‘九五’规划项目”。在不受外界影响的情况下, 研制者认真总结前两次研制工作的经验, 参考了大量国内外相关文献, 采用了中科院文献情报中心, 中国社会科学院文献信息中心、上海图书馆、中国人民大学书报资料中心、西南信息中心等单位编制的文献数据库为系统工具, 集中了 200 余名专业人员, 历时近两年完成该项目。此成果是目前国内具有权威性的学术成果。

(本刊通讯员)