

声光主动锁模氩离子激光器

董孝义 关信安 刘志国 吕福云 盛秋琴 夏顺保 袁树忠 李萍

(南开大学现代光学研究室)

提要: 采用声光调制, 以 AM 方式对氩离子激光器进行了主动锁模实验, 观测到由锁模作用产生的激光超短脉冲序列。实测脉宽为 800 微微秒, 重复频率为 103 兆周。此外还分别观测了调制深度和失谐度的影响。实验结果与有关理论计算较好地一致。

An acousto-optic actively mode-locked argon ion laser

Dong Xiaoyi Guan Xinan Liu Zhiguo Lu Fuyun

Sheng Qiuqing Xia Sunbao Yuan Shuzhong Li Ping

(Modern Optics Laboratory, Nankai University)

Abstract: By acousto-optic AM modulation, actively mode-locking experiment on argon ion laser have been performed. Ultra-short pulse trains have been observed with a measured pulse width of 800 ps and a repetition frequency of 103 MHz. The influences of modulation depth and tuning out have been measured. The experimental results and the theoretical calculations are in good agreement.

在激光微微秒技术中, 锁模方法是获得超短光脉冲的主要方法。特别是所谓主动锁模方法可以获得可控连续激光脉冲序列。实现锁模的方法很多^[1~3]。我们采用的是在腔内插入调制元件, 即所谓主动锁模方法。调制元件为声光器件, 以 AM 形式调制腔内损耗, 当调制频率和 $C/2L$ 相等并有足够的调制深度时, 即可使各纵模间保持相同的相位, 激光振荡进入锁模状态。

一、声光调制器的研制

我们实验采用的是驻波激励 Raman-Nath 型调制, 这种方法虽然在效率上不及

Bragg 型, 但它具有尺寸小, 调节方便等优点, 作为锁模元件使用还是令人满意的。

可以证明^[4], 对于 Raman-Nath 衍射, 在驻波激励时, 其透射光波(即衍射光)有下列形式

$$J_m(\nu \sin \Omega t) \exp(i\omega t) \quad (1)$$

可见, 每一级衍射分别受到相应因子 $J_m(\nu \sin \Omega t)$ 的调制, 即通过贝塞尔函数的宗量 $\nu \sin \Omega t$ 而附加了一个随时间的起伏变化, 由于输出光强正比于 J_m^2 , 所以光强的调制频率是激励频率 $(\Omega/2\pi)$ 的 2 倍, 这正是驻波激励的优点。在我们的实验中, 由于取纵模

收稿日期: 1980 年 3 月 17 日。

间隔是 $C/2L=103.00$ 兆赫, 所以只要以 $C/4L=51.50$ 兆赫的频率激励调制器工作即可。

声光调制器的具体结构如图 1 所示, 它由换能器、上下电极和声光介质组成。其中声光介质的选择, 主要是要求在使用波长上有很好的透光性能, 声光作用时有较高的声光优值, 并对声波没有明显的吸收作用等等^[5]。根据我们的情况, 使用波长为 4880~5145 埃, 选择钼酸铅较适宜, 但目前得到的材料对声波的吸收较强烈, 而且还有光损伤问题, 故我们选择了熔石英和重火石玻璃。这种材料除声光优值较低外, 其它一些性能都令人满意。我们分别选择铌酸锂和石英晶体作换能器。前者有较高的机电耦合系数, 在工作频率上辐射阻抗接近 50 欧姆, 容易匹配, 但加工时易碎, 成品率低; 后者机电耦合系数虽小, 辐射阻抗也高, 但易于加工, 稳定性很高, 经过安置适当匹配网络后, 能够和信号源相匹配。经过我们的实验证明, 在锁模用的声光调制器中使用石英晶体还是令人满意的。

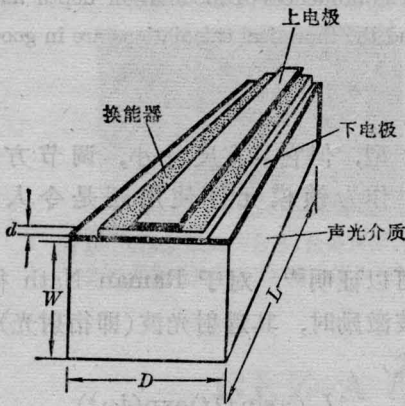


图 1 声光调制器结构原理图

调制器的几何尺寸应根据 Raman-Nath 型衍射以及驻波激励的要求来确定^[6]。我们设计的调制器为 $L=26$ 毫米, $W=10$ 毫米, $D=10$ 毫米, $d=54$ 微米, 这里 d 是压电体的厚度, 它应满足 $d=\lambda/2$, λ 是超声波长。可以证明电极的面积 S 可表示为^[6]

$$S = 4\pi dzd / 8\epsilon k^2 f \hat{R}_a Z_T \quad (2)$$

这里 Z_a 、 Z_t 分别表示声光介质和换能器的声阻抗; \hat{R} 为机电耦合系数; f 为激励频率; \hat{R}_a 为辐射阻抗, 可以令其为 ~ 50 欧姆, 则可以算出所镀电极面积。在使用铌酸锂时, 得到: $S=266.7 \times 10^{-3}$ 厘米², 相应的静态电容是 84 微微法, 和实际测量基本相符。在使用石英晶体情况下, 如果想得到 $\hat{R}_a \rightarrow 50$ 欧姆, S 必须作得很大, 实际上完全无法实现。因此, 可尽量使 S 作得大些, 然后通过匹配网络与信号源联接。在我们的情况下, 作到

$$S \approx 2 \text{ 厘米}^2, \hat{R}_a \approx 2 \text{ 千欧姆},$$

和实测基本一致。匹配网络的设计, 我们是利用史密斯阻抗圆图作出的^[7]。这种方法是一种简单有效的方法。

换能器和声光介质的粘合是制作声光调制器的关键性工艺, 我们分别采用了真空钼冷焊和超声焊两种方法键合。由于换能器只有几十个微米, 所以我们采用了键合后减薄的方法。实验证明钼冷焊比超声焊要好, 特别在采用石英晶体作换能器时成品率很高。经测试, 在使用频率上衍射效率一般可达 10% 左右。

二、实验方法与测试结果

本工作采用的是腔内损耗调制形式主动锁模, 为了实现和维持稳定的锁模状态, 应确保 $f=C/2L$ 关系不受破坏, 即调制频率应恒等于纵膜间距(在驻波激励时应减半)。有两种方法可供选择。一种方法是用电子学中的锁相技术, 如果因某种因素使腔长 L 发生变化, 则激光脉冲频率由 f_0 改变为 f_1 经过光电变换后, 令其与晶振 f_0 比相或鉴频, 由此可得到误差信号, 经放大后去控制压电陶瓷, 使 L 产生相反方向的改变, 其结果维持住 $f=C/2L$ 关系不变。另外一种方法是不加锁相环路, 而直接采用高稳腔和晶振源, 使之在工作中几乎不产生明显变化, 这是我们目

前实验工作所采用的方法。显然, 这时关键的问题是需要清楚: L 或 f 相对改变多少才足以破坏锁模状态。Crowell^[2] 以及我们所作的实验证明, 失谐范围大致在 10^{-6} 的量级, 即 $\Delta L/L$ 或 $\Delta f/f$ 值在 10^{-6} 以内锁模状态仍可维持较好状态。因此, 我们在实验中采取了有关措施。首先, 激光器使用了石英棒稳腔系统, 稳定度可达 10^{-6} 以内。整个装置安放在专门设计的防震台上。该防震台在实验室最劣条件下摆动在 10^{-8} 以内。此外, 调制器驱动信号源采用两种形式, 一种是频率可调、稳定性能较低的信号源, 稳定度在 $10^{-3}/日$, 但在短时间可达较高的稳定度, 一般可达 $10^{-6}/分$; 另一种形式是固定(按使用规定的)频率、稳定度较高 ($10^{-7}/日$) 的信号源。实验时可用第一种信号源调节信号频率, 使激光振荡进入锁模状态, 这时如果锁模频率不是规定值, 既可调节腔长使频率失谐, 并使之趋向规定值, 然后再改变信号源重新进入锁模状态。这样经过几次反复调节便可达到规定频率下的锁模状态。这时既可换接第二种形式的信号源, 以得到长期稳定输出的、具有规定重复频率的激光脉冲。图 2 是由该装置输出的激光脉冲照片, 与之相对应的频谱照片在图 4 中示出。

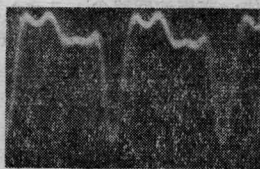


图 2 锁模脉冲示波图

(由 485 示波器拍摄, 2 毫微秒/厘米)

以下是有关参数的测试结果及其简要分析:

(1) 脉冲宽度测量 采用两种方法对锁模脉冲宽度进行了测量。一是传统的光电转换——示波器方法。由于锁模脉冲是具有稳定重复频率的序列脉冲, 所以还可以采用另外一种方法, 即取样示波器方法。因此, 我们

分别使用了 485 型高频示波器(带宽 350 兆赫)和 SQ-12 型取样示波器(1 千兆赫), 测试中使用的光电转换器件是用光电倍增管改制的。脉宽测试装置如图 3 所示。

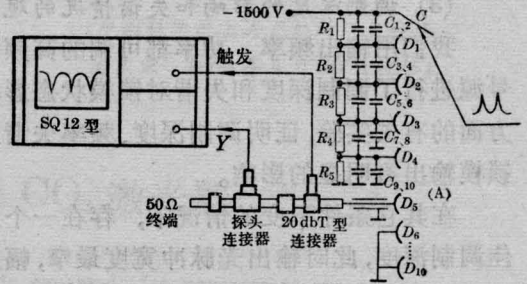


图 3 脉宽测试装置联接图

用该系统测得脉冲的上升时间为 900 微微秒, 后沿为 300 微微秒, 脉宽为 800 微微秒。

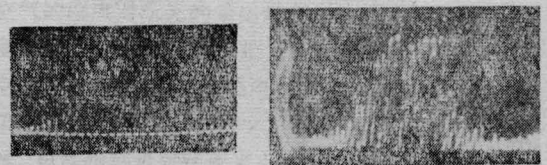
(2) 锁定模数的测量

我们用自制的专用 F-P 扫描干涉仪, 对锁定的纵模数进行了测量, 在图 4 中示出的示波图分别是在锁模和失锁情况下拍摄的。其中, 图 4(a) 是锁模状态下的模谱(频域特性), 它和图 2 所示光脉冲(时域特性)是同时拍摄的。因此可对锁模状态的时域与频域特性同时进行分析。从图 4(a) 中能够看出, 锁定模数 $M \approx 20$, 已知在锁模状况下有:

$$\tau = 1/M\Delta$$

(Δ 是各纵模之间的频率间隔), 因此可以推算出 $\tau \approx 500$ 微微秒。这和用高速示波器方法直接测试结果在量级上大致相符, 存在的差异, 分析认为主要是光电转换的实际响应时间难以准确估算造成的, 即用 F-P 扫描干涉仪间接测得的数据应更接近准确值。

在锁模状态下, 我们测得的平均功率在



(a) 锁模状态

(b) 失锁状态

图 4

100 毫瓦以内 (对应于放电电流为 15~18 安), 因此也可以由锁定的模数间接推算出目前可以得到的激光脉冲峰值功率在瓦级以上。

(3) 调制深度的影响和失谐情况的观测

我们用输出频率、功率都可调的高频信号源进行了调制深度和失谐对锁模状态影响方面的有关实验, 证明调制深度、频率失谐对锁模输出有明显的影。

在其它条件不变的情况下, 存在一个最佳调制深度, 此时输出光脉冲宽度最窄, 幅度最大, 锁定模数最多。如果再增加或减少调制功率, 则可直接从示波器上观测到输出光脉冲幅度下降, 宽度加大, 锁定模数也相应减少。如果固定调制功率, 调节信号源输出频率, 使其逐渐偏离中心调谐频率, 如图 5 所示, 首先观察到光脉冲信号加宽, 幅度下降, 随后变化为正弦波。如果用 F-P 扫描干涉仪观察模谱的话, 从示波器上可以看到这时被锁定的模数已由部分紊乱到全部紊乱, 即失去固定位相关系, 锁模已遭到破坏。如果使频率进一步偏离中心调谐频率, 则激光输出变化为弛豫振荡, 振荡频率为几兆赫, 最后完全猝灭。如果提高调制深度, 重复上述实验, 所得变化规律基本相同, 只是失谐范围加宽了而已。这一结果与 Harris^[8], Crowell^[2] 理论及其解释大致相符。

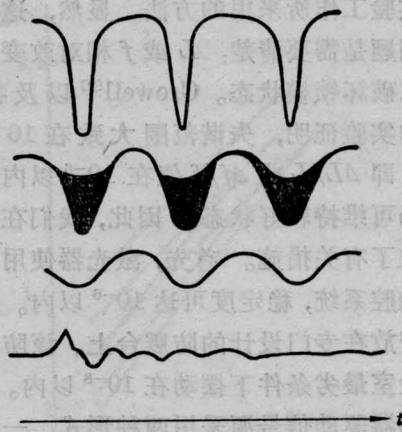


图 5 失谐的几种情况(示波图)

沈寿春教授以及陈文驹等同志对本工作给予支持, 并对本文提出宝贵意见, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] S. L. Shapiro; "Ultrashort Light Pulses—Picosecond Techniques and Applications", 1977.
- [2] M. H. Crowell; *IEEE JQE*; 1965, **QE-1**, 12.
- [3] Siegman *etc*; *Opto-elect.*, 1974, **6**.
- [4] C. V. Raman *etc*; *Proc. Indian Acad. Sci.*, 1936, **A3**, 75.
- [5] 徐介平; 《北京工业大学学报》, 1978, **2**, 50.
- [6] E. K. Sittig; "Progress in Optics", X, 26(1972); C. V. Raman *etc*; *Proc. Indian Acad. Sci.*, 1935, **A2**, 406.
- [7] 岩田光信; 《高周波回路のトラブル対策》, 1975, **9**
- [8] S. E. Harris *etc*; *IEEE JQE*; 1965, **QE-1**, 245.