

直接调制获得 $1.3\mu\text{m}$ 半导体激光超短脉冲

张位在 张影华 谢黄海 张莲英 方祖捷

(中国科学院上海光机所, 201800)

摘要: 本文报道采用梳状波发生器直接调制的 $1.3\mu\text{m}$ 双沟槽平面掩埋条形(DCPBH)激光器以及脉宽的二次谐波相关测量系统, 获得了重复频率为 1GHz 、最短脉宽为 17ps 的光脉冲; 给出了脉宽和峰值功率随偏置电流变化的关系, 表明当偏置在阈值附近时, 可获得最短脉宽和最高峰值功率。

关键词: 超短光脉冲, $1.3\mu\text{m}$ 半导体激光

Ultra-short pulse obtained from $1.3\mu\text{m}$ semiconductor lasers by direct modulation

Zhang Weisai, Zhang Yinghua, Xie Huanghai, Zhang Lianying, Fang Zujie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: Optical pulses with a repetition frequency of 1GHz and pulse width of 17ps at $1.3\mu\text{m}$ are obtained by using a comb generator and direct modulation of DCPBH lasers. Experiments on SHG correlation measurement system are also described. The dependence of pulse width and the peak power on the variation of biased current are shown, which indicates when the laser diode is biased near the threshold, the shortest pulse width and the highest peak can be obtained.

Key words: ultra-short high pulse, $1.3\mu\text{m}$ semiconductor laser

获得半导体激光超短脉冲的方法主要有: 主动锁模^[1]、被动锁模^[2]和超短电脉冲直接泵浦^[3~5]等三种。锁模技术是获得超短光脉冲的重要方法, 但要求有一个比较复杂的外腔, 因此对稳定性有一定影响。可直接调制是半导体激光器的重要特点, 它简单易行、稳定可靠, 还可编码携带信息。本文报道用国产梳状波发生器产生的 GHz 短脉冲电流直接调制 $1.3\mu\text{m}$ DCPBH 激光器的实验结果; 采用二次谐波相关测量方法研究了脉宽与激光器工作状态的关系; 获得了最短脉宽为 17ps 的光脉冲。

一、实验方法

实验装置如图 1 所示。用最高频率为 1.3GHz 、最大输出功率为 1W 的 XB-10A 型标准信号发生器驱动梳状波发生器, 获得底宽为 200ps 、在 50Ω 阻抗上幅度为 10V 的电脉冲。高频脉冲电流和直流偏置通过微带线直接驱动激光器。实验所用的激光器是自制的 F-P 腔 DCPBH 激光器管芯, 直接粘合在微带线的终端。

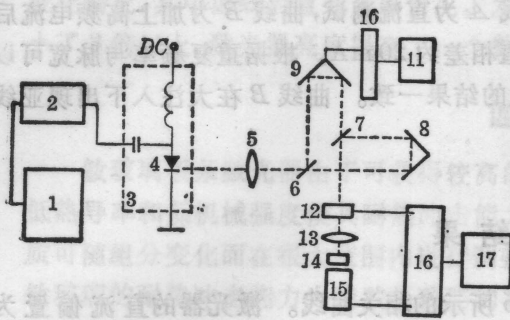


图 1 实验装置

1—微波信号源；2—梳状波发生器；3—微带电路；4—激光器；5—准直镜；6，7—半透半反镜；8，9—角反射器；10—精密螺丝杆；11—步进电机及电源；12—斩波器；13—聚焦镜；14—LiIO₃ 晶体；15—光电倍增管；16—锁相放大器；17—记录仪

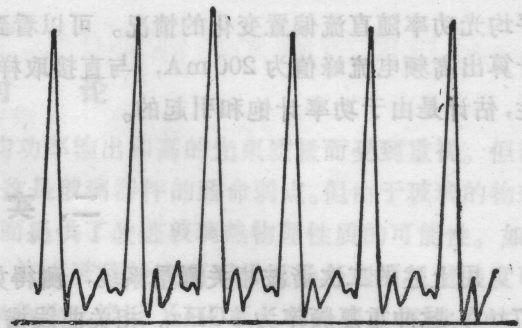


图 2 直接调制光输出波形。

输出的激光经对光系统用 InGaAs PIN 高速光电二极管探测，其响应时间为 110 ps (FWHM)；用上升时间为 28ps、取样频率为 12.4 GHz 的 SQ-20 型取样示波器观察。图 2 给出一个典型的脉冲波形。可以看到脉宽为 120 ps。但这并不是光信号本身的宽度，而是包含了探测器和示波器响应时间影响的结果。光脉冲实际宽度用图 1 右部所示的二次谐波相关测量系统测定。该系统由一个共线的迈克尔逊干涉仪和 LiIO₃ 倍频晶体组成。由于半导体激光的光强较弱，因此必须仔细调整光路。图 3 给出由摄像机取得的干涉仪输出光斑，可以看出干涉条纹。图右照片条纹间隔较大，说明调整效果较好。由于激光器材料(InGaAsP)本身的非线性折射率相当高，在出射光束中往往可以直接受到倍频的红光，这将影响相关测量的信噪比。为此在 LiIO₃ 晶体前用一个红外滤光片将其滤去。对于共线的相关系统还要小心地选择光电倍增管，使它只对倍频信号敏感而对 1.3 μm 基波不反应。实验中测得，激光的准直物镜 (×40, NA=0.65) 的损耗为 2.04 dB；干涉仪系统(包括斩波器)的损耗为 6.2 dB；聚焦透镜损耗为 0.36 dB；滤光片损耗为 0.85 dB。因此到达 LiIO₃ 晶体上的光功率仅为激光器输出功率的 12%。激光束在晶体内的聚焦光斑直径约为 130 μm。

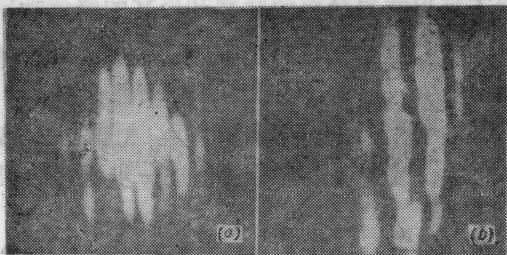


图 3 相关测量干涉仪输出光斑

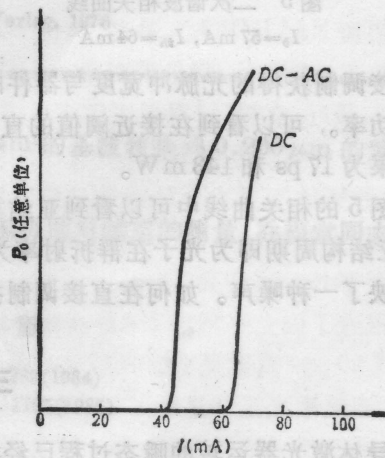


图 4 光功率/电流特性

图4为一个激光二极管的功率电流特性。曲线A为直流测试,曲线B为加上高频电流后平均光功率随直流偏置变化的情况。可以看到阈值相差约20 mA。根据重复频率与脉宽可以计算出高频电流峰值为200 mA,与直接取样测量的结果一致。曲线B在大注入下出现亚线性,估计是由于功率计饱和引起的。

二、实验结果

用上述的二次谐波相关测量系统,测得如图5所示的相关曲线。激光器的直流偏置为57 mA,脉冲重复频率为1 GHz。相关曲线横座标对应于干涉仪活动臂移动的距离,由光速可以计算出对应的时间,图中已标出为40 ps/cm。由图可见相关曲线半极大全宽(FWHM)为24 ps。由相关曲线求光脉冲的实际宽度还必须知道光脉冲的波形。如按可能性较大的高斯波形计算,修正因子为 $\sqrt{2}$,则实际脉宽为17 ps。

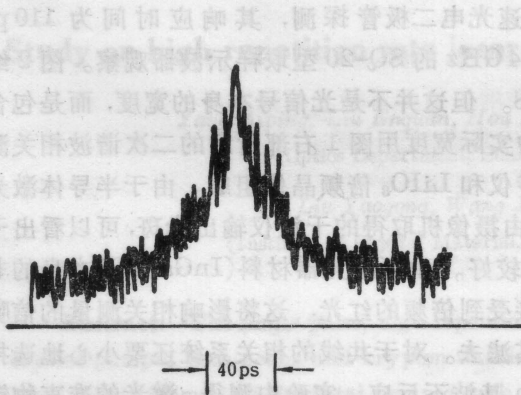


图5 二次谐波相关曲线

$I_b = 57 \text{ mA}$, $I_{th} = 64 \text{ mA}$

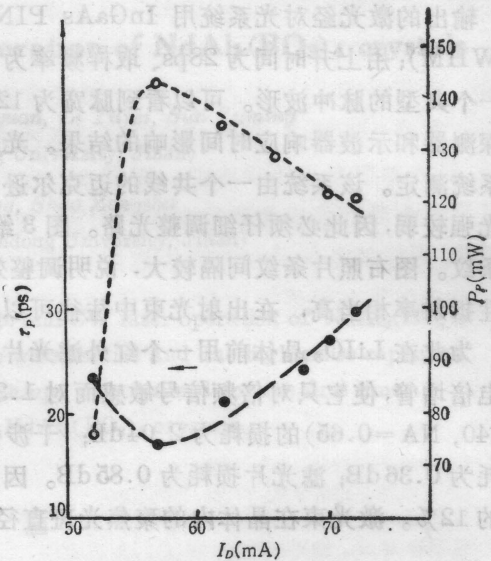


图6 脉宽和峰值功率随直流偏置变化的曲线

直接调制获得的光脉冲宽度与器件的直流偏置有很大关系。图6给出不同偏置下的脉宽和峰值功率。可以看到在接近阈值的直流偏置下可以获得最短的脉宽和最高的峰值功率,本文的结果为17 ps和143 mW。

由图5的相关曲线中可以看到亚结构,其间隔为6.4 ps。该被测器件的腔长为240 μm 。因此,亚结构周期即为光子在群折射率为4.0的腔内来回运动一周的时间。根据[6],这种亚结构反映了一种噪声。如何在直接调制技术中消除或减少亚结构是值得进一步研究的课题。

三、讨论

半导体激光器运转的瞬态过程已经得到了相当充分的了解^[7]。激光器在一个阶跃电流注入后,由于光子与电子的相互作用而发生张弛振荡。振荡频率为

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{\tau_s \tau_p} \left(\frac{I}{I_{th}} - 1 \right) \right]^{1/2}.$$

式中 τ_s 为载流子寿命, τ_p 为光子寿命。超短电脉冲的作用就是在张弛振荡第一个峰值之后用增益开关方法使后面的振荡截止。由上式可见, 泵浦电流越大, 张弛振荡的周期就越短, 可以获得的脉冲就越窄。本实验采用梳状波发生器, 把正弦振荡的高频电流压缩为窄的尖脉冲, 提高了泵浦电流的峰值。以实测梳状波电流数据估算, 正弦电流幅度约 40 mA, 而梳状波电流峰值为 200 mA, 因此脉宽可下降 $\sqrt{5}$ 倍。梳状波与正弦调制相比还有利于张弛振荡第一个峰值以后的截止, 获得较为理想的波形。

半导体激光瞬态过程的理论还告诉我们, 激光输出是在电流注入开始的一段时间之后才出现的, 这一时间称为延迟时间。这相应于载流子积累到阈值增益所需的时间, 它正比于载流子的寿命。为了克服延迟时间的影响, 必须给激光器加正向偏置。显然低于阈值太多的偏置不能完全克服延迟时间的影响; 而高于阈值太多时, 又不利于张弛振荡的彻底截止。因此略低于阈值的偏置加上梳状波电流底部不能完全避免的低频成份, 可以获得较好的结果。这正是本文实验结果所反映的情况。

半导体超短脉冲激光器具有体积小、重量轻、效率高、调制简易、速率高、易与光纤耦合、波长与许多光电子材料和器件匹配等优点, 因而深受重视。本文报道的直接调制超短光脉冲, 已经成功地用于光探测器测应时间测量及其他光电子器件的测量研究。

作者感谢上海科技大学无线电系王佩珍、孙德鑫同志为本课题研制了梳状波发生器。

参 考 文 献

- 1 G Eisenstein *et al.*, *Electr. Lett.*, **21**(5), 137 (1980)
- 2 Y. Silberberg *et al.*, *Opt. Lett.*, **9** (11), 507 (1984)
- 3 张位在, *激光*, **9** (11), 724 (1982)
- 4 J. Au Yeung, *Appl. Phys. Lett.*, **38** (5), 308 (1981)
- 5 C. Yin *et al.*, *Electr. Lett.*, **16** (15), 600 (1980)
- 6 S. L. Shapiro, *Ultrashort Light Pulses*, 100 (1977)
- 7 H. C. Casey, Jr. *et al.*, *Heterostructure Lasers*, 1978, 259

(上接第 90 页)

当入射光的偏振态由竖直方向旋转到水平方向时, 在相同的注入功率下, 放大器的增益稍微减小, 但变化不超过 2 dB。实验还发现, 当光源和放大器的温度控制在 0.2 $^{\circ}\text{C}$ 变化范围时, 放大器具有稳定的增益。

感谢黄德修教授帮助在激光器上镀制减反膜。

参 考 文 献

- 1 M. J. O' manhony, *IEEE J. Lightwave Tech.*, **LT-6** (4), 531 (1988)
- 2 N. A. Olsson, P. Garbinskin, *Electr. Lett.*, **22**, 1114 (1986)
- 3 I. M. Marshall *et al.*, *Electr. Lett.*, **22**, 253 (1986)
- 4 K. Inoue, *Electr. Lett.*, **23**, 921 (1987)
- 5 T. Saitoh, T. Mukai, *IEEE J. Lightwave Tech.*, **LT-6** (11), 1656 (1988)
- 6 黄德修 *et al.*, *光学学报*, **7** (11), 1036 (1987)