

半导体激光抽运探针源

阎 平¹ Anthony J. Vickers²

(¹ 北京理工大学光电工程系 北京 100081; ² 德国爱塞克斯大学电子工程系)

提要 从理论上和系统实验上阐述了一种新型全固化半导体激光抽运探针源。此抽运探针源利用激光增益开关控制的原理,通过控制直流偏置电流和射频驱动电流可产生两列重复频率在 1 GHz 左右,脉宽约为 50 ps 的激光脉冲序列,并且两脉冲序列间的时间延迟在 200 ps 范围可调。

关键词 半导体激光器,抽运探针,超快激光脉冲

目前,为了开展超快时间域的科学而发展起来的激光抽运探针技术已经得到比较快的发展。这种以研究皮秒和飞秒时间分辨特征为主的实用抽运探针技术是用一束超快激光脉冲去激发一种材料,然后用第二束脉冲去测量第一束脉冲所产生的影响,这要求第一束脉冲序列与第二束脉冲序列波形相似并且两脉冲序列间有一定的时间延迟,不同的应用背景对时间延迟的长短有不同的要求。抽运探针技术可以应用于许多领域,如半导体中载流子弛豫时间的测量、光电取样、电自动修正和科学仪器等领域。

传统的抽运探针源系统主光源是使用皮秒或飞秒激光器,如锁模激光器。首先把从激光器出射的光脉冲分成两束,一束用作抽运,通常有固定的光程。另一束用作探针,在这束光路中,一般用机械驱动的或压电驱动的振荡器使光程相对于抽运光路有差别,变化的光程使两束光脉冲之间产生光延迟。由于机电驱动系统体积比较大并且为了得到高的位置灵敏度,需要精确调准,限制了在许多领域的应用。本文描述了一种新型的抽运探针技术,选用两个 DFB 半导体激光器作为系统主光源,这项技术利用增益开关控制原理来产生光脉冲和控制光学延迟。这种系统利用已有的半导体激光技术,具有全固化结构紧凑,性能稳定,容易使用和维修的优点,从而使抽运探针技术变得实用而廉价。这种新型抽运探针源可应用于紧凑的电光采样系统,服务于高速光电探测器件的超快速分析和单片式微波集成电路的测量等领域。

1 工作原理与理论模型

通常,产生超短脉冲的方法有三种^[1]: 锁模、外调制和增益开关。用增益开关法在半导体激光器中产生超短脉冲时,光输出脉冲与交流输入驱动信号紧密联系^[2],例如,输出光脉冲的相位与交流信号的直流偏置信号幅度高低相联系,利用这种联系可以控制光脉冲之间的光学延迟。增益开关技术原则上可用于任何半导体激光器。

为了精确展示利用增益开关原理控制光脉冲波形和相位的原理,可以建立一个由直流和

正弦射频激励的单模激光器模型。用速率方程表示为^[3]

$$\frac{dn}{dt} = \frac{i_{DC} + i_{AC}\sin(2\pi f t)}{eV} - \frac{g(n - n_t)s}{1 + \epsilon s} - \frac{n}{\tau_n}$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{g\Gamma(n - n_t)s}{1 + \epsilon s} + \Gamma\beta\frac{n}{\tau_n} - \frac{s}{\tau_p}$$

其中, n 为电子密度, s 为光子数密度, i_{DC} 和 i_{AC} 表示直流与交流驱动电流, f 为射频调制频率, g 表示增益系数, $1/(1 + \epsilon s)$ 为增益饱和项, 其中 ϵ 为增益压缩因子。 n_t 为透明电子密度, V 为增益体积, τ_n 和 τ_p 分别表示电子寿命和光子寿命, β 为耦合因子, Γ 为模限制因子。用 FORTRAN 语言编制四阶 Runge-Kutta-Merson 算法数值解程序, 可得到速率方程的解。

理论模拟结果表明^[3], 在固定的射频(RF)抽运驱动情况下, 激光脉冲波形和脉冲建立时间与抽运直流偏置有关, 随着直流偏置电流的增加, 在保持脉冲峰值功率和 FWHM 脉宽一致的情况下, 脉冲建立时间越来越短。与此类似, 在固定的直流偏置情况下, 激光脉冲波形和脉冲建立时间与 RF 驱动电流有关, 脉冲峰值功率随 RF 驱动电流的增加而增加, 脉宽 FWHM 随 RF 驱动电流的增加而减小, 并且, 脉冲建立时间也与 RF 驱动电流的大小有关。利用增益开关半导体激光器这些特点, 可以调整直流偏置电流和 RF 驱动电流来使光脉冲移动且同时保持其脉冲形状一致, 从而满足抽运探针源的要求。

2 半导体激光抽运探针源实验装置

使用由 Cambridge Optical Supplies 封装的具有增益开关特性的 DFB 半导体激光器, 其中

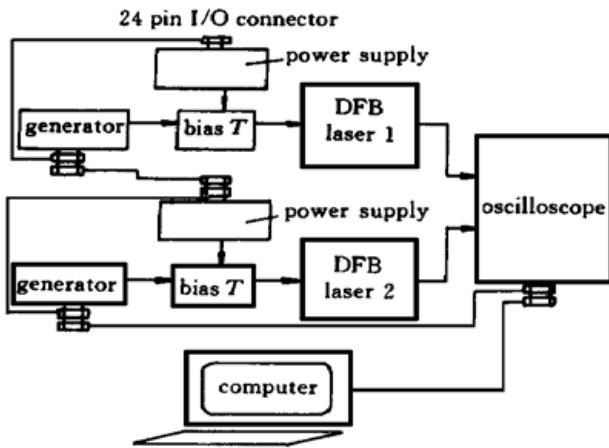


图 1 半导体激光抽运探针源系统方框图

Fig. 1 Setup of the semiconductor laser pump-probe source

DFB 激光芯片由 British Telecom 制造。这种激光器能提供单纵模工作模式, 避免了专门建造激光器, 为抽运探针源实用化并能进一步商业化提供了条件。

半导体激光抽运探针源系统方框图如图 1 所示。系统由两个增益开关的 $1.5 \mu\text{m}$ DFB 半导体激光器组成。直流和射频驱动电源经 T 型结构耦合器进入半导体激光器, 每个激光器的电源单独地驱动半导体激光器。所有直流电源、射频电源和示波器与一台计算机相连, 通过计算机的 PCMCIA-GPIB 卡以 IEEE488.2 通讯标准实现输入电信号的计算机控制和激光输出脉冲波形的测量。计算机软件使用 Labview 5.1。抽运探针

源工作时, DFB 激光器输出光脉冲由 60 GHz 高速光电探测器转换后, 直接由多通道高频示波器 HP54750A 进行测量。

3 实验结果

对两个 DFB 半导体激光器的输出性能分别进行了测量。图 2 展示了两个 DFB 激光器的频率特性。由测试曲线和测量数据可以看出, 对于一号 DFB 激光器最佳射频工作频率为 1

GHz, 此时激光器输出脉冲峰值幅度最高, 脉冲宽度最窄; 对于二号激光器最佳射频工作频率在 980 MHz。为了使两个 RF 源驱动同步, 我们选定两个激光器的射频工作频率为 980 MHz。利用 MS96A 光谱仪(Anritsu Electric Co.)对两个 DFB 半导体激光器的光谱特性进行了测量, 结果表明两个激光器的中心波长分别是 1.5507 μm 和 1.5502 μm 。时间平均光谱宽度 (FWHM) 随直流偏置电流和射频驱动信号不同有所不同, 这正反映了增益开关半导体激光器频率啁啾的特点。两个激光器的光谱宽度约为 1 nm 量级。

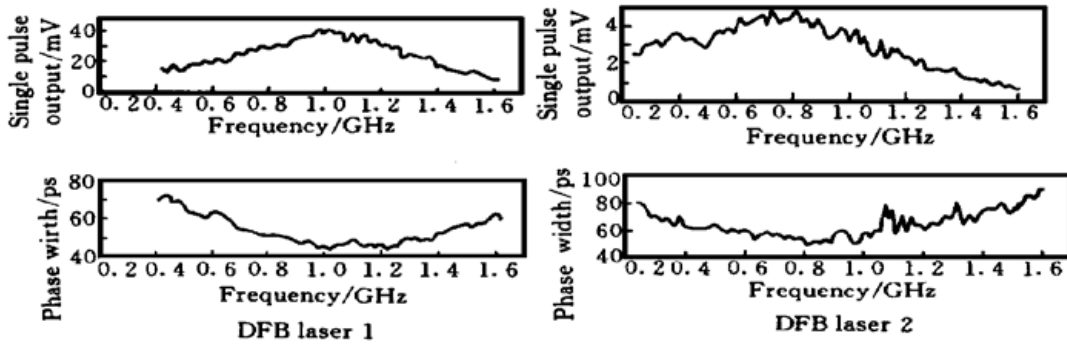


图 2 DFB 激光器频率特性测试曲线

Fig. 2 Frequency characteristics of DFB lasers

图 3 展示了两个 DFB 半导体激光器输出脉冲与抽运直流偏置及射频驱动功率之间的关系。由测试曲线可以看出, 激光器输出脉冲的峰值高度, FWHM 脉宽和脉冲峰值建立的时间都与直流偏置电流及 RF 驱动功率密切相关。以此为据, 我们可以在一定误差范围内保持脉冲形状一致, 与此同时通过改变直流偏置和 RF 射频驱动信号大小使脉冲峰值的建立时间前后移动。这正是激光抽运探针源所希望的。从测试数据可以看出, 如果能够进一步增大 RF 驱动功率, 无论对于减小光脉冲宽度还是增加光脉冲相对延迟时间范围都是有意义的, 为此我们制作了 RF 功率放大器, 使 RF 射频输出驱动功率可以达到 33 dBm, 进一步的实验结果已经证明适当增加 RF 射频输入范围对于整个系统是有益的。

用高频示波器 HP54750A 对 DFB 半导体激光器的脉冲开关颤抖时间进行了测量, 这两个激光器的脉冲开关颤抖时间均方差值约为 10.6 ps。

最后对半导体激光器抽运探针源系统进行了测试。系统工作时, 固定一路激光器的电输

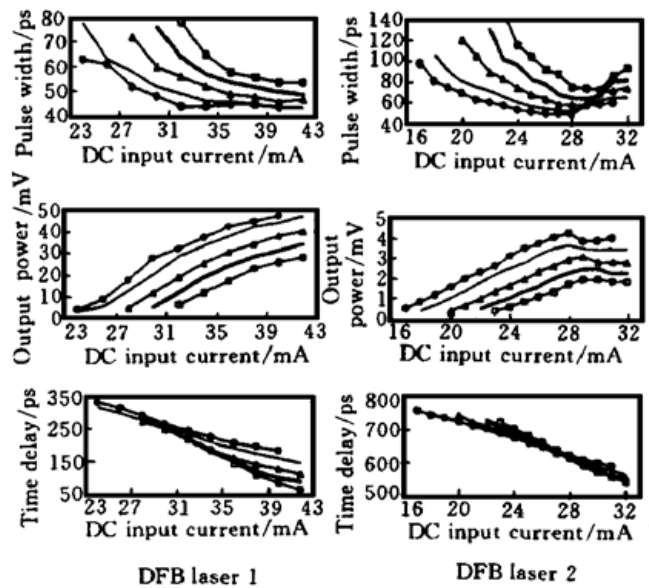


图 3 DFB 激光器输出脉冲与直流偏置及射频驱动功率关系的实验测试曲线

Fig. 3 Experimental results from the two DFB lasers as a function of DC bias and RF input power

- ● - : RF= 21.9 dBm; — : RF= 20.0 dBm;
 - △ - : RF= 18.0 dBm; — : RF= 16.0 dBm;
 - □ - : RF= 14.0 dBm

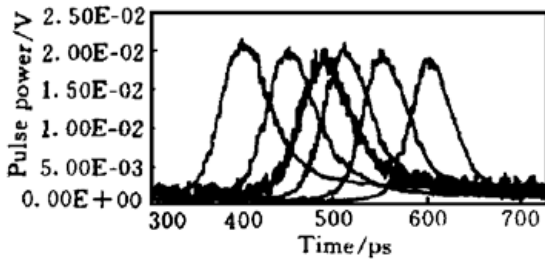


图 4 半导体抽运探针源输出激光脉冲实验结果

Fig. 4 Experimental results from the proposed semiconductor laser pump-probe source showing a pulse moving over 200 ps while maintaining its shape

- 0: DFB laser 2, RF= 21.7 dBm, DC= 17 mA;
- 1: DFB laser 1, RF= 19.5 dBm, DC= 29 mA;
- 2: DFB laser 1, RF= 17.4 dBm, DC= 32 mA;
- 3: DFB laser 1, RF= 14.7 dBm, DC= 35 mA;
- 4: DFB laser 1, RF= 11.5 dBm, DC= 39 mA;
- 5: DFB laser 1, RF= 10.0 dBm, DC= 42 mA

入,调整另一路电输入信号。图 4 展示了半导体激光器抽运探针源的实验结果。图 4 与图 3 中的激光器 1, 激光器 2 的实验结果有些差异,原因在于图 3 的数据是早期的实验数据,存在较大的误差,但其曲线趋势和由此所得结论是正确的。

由图 4 可见,在保持两路激光输出脉冲形状(脉宽 FWHM 约为 50 ps, 脉冲峰值幅值约为 2 mV)一致时,使两光脉冲序列建立时间相对移动范围大于 200 ps。如若放宽对脉冲波形参数的要求,还可使两脉冲序列间时间移动范围增大。若想获得更长的时间延迟范围,拟采用两个射频源移相的方法。

4 结论与展望

成功地实现了全固化半导体激光抽运探针源,获得了重复频率 980 MHz, 脉宽约为 50 ps 的两激光脉冲序列,并且两脉冲序列间的相对时间延迟可以在大于 200 ps 范围内可调。为进一步扩大应用范围

和提高水平,可采用色散光纤^[4],使脉冲宽度经过光纤传输后压缩达 5 ps,并进一步减小脉冲开关颤抖时间,同时使两激光脉冲序列间时间延迟范围在更大范围内可调。

致谢 作者感谢英国工程和物理科学研究学会(EPSRC)提供经费支持。第一作者感谢英国爱塞克斯大学(University of Essex)提供了良好的实验条件。

参 考 文 献

- 1 K. Y. Lau. Short-pulse and high-frequency signal generation in semiconductor lasers. *Journal of Lightwave Technology*, 1989, 7(2): 400~ 419
- 2 Muhittin Sayin, M. S. Ozyazici. Effect of gain switching frequency on ultrashort pulse generation from laser diodes. *Opt. Quantum Electron.*, 1997, 29(6): 627~ 638
- 3 A. J. Vickers, S. Alleston, R. Gupta *et al.*. A proposed semiconductor laser pump-probe source. *Opt. Quantum Electron.*, 1996, 28(7): 983~ 989
- 4 Laurent Chusseau. Propagation of single mode 1.5 μm gain-switched semiconductor laser pulses in normal dispersive fibers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, 30(11): 2711~ 2720

A Semiconductor Laser Pump-probe Source

Yan Ping¹ Anthony J. Vickers²

¹Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081
²Department of Electronics Engineering, University of Essex, UK

Abstract In this paper, a new kind of all solid state semiconductor laser pump-probe source was presented which was based on the principle of gain switch. By the control of direct current (DC) and radio frequency (RF) current applied to the source, two train pulses were made which had the repeat frequency of 1 GHz, pulse width of 50 ps and the delay time between two train pulses of around 200 ps.

Key words semiconductor laser, pump-probe, ultrashort pulse