

1GHz 梳状波调制 1.3 μ mDFB 半导体激光器 皮秒超短光脉冲产生的实验研究^{*}

刘东峰 王贤华 陈国夫 王云才 侯 洵

(瞬态光学技术国家重点实验室 中国科学院西安光学精密机械研究所 西安 710068)

摘 要 本文介绍一种采用高重复率梳状波电流调制 1.3 μ m 分布反馈(DFB)半导体激光器产生皮秒超短光脉冲的技术. 采用 1GHz 重复率尖脉冲电流直接调制 1.3 μ m 半导体激光器产生了最短 15ps、输出平均功率为 4.5mW 的超短光脉冲.

关键词 超短光脉冲产生; 半导体激光器; 光通讯; 调制

0 引言

现代半导体器件技术的迅猛发展已经使得这些器件的频率响应超过了¹400GHz. 对如此之宽频带内工作的器件的频率响应特性的研究无论是对这些器件性能的进一步改进或者是对这些器件的应用都是至关重要的. 然而传统的纯电子学仪器如矢量网络分析仪、频谱分析仪和取样示波器等无法测量如此之高的频率, 因而发展超高时间分辨率的超快测量技术成为现代超快光学、光电子学技术领域的一个重要的研究方向.

半导体激光超短光脉冲源具有体积小、重量轻、脉冲短、结构简单、使用方便等优点, 将这种重要的可仪器化的超短光脉冲源与近年来国际上发展起来的电光取样技术等^{2~4}超快测量技术相结合, 将可以研制出一种价格低廉、小型化、仪器化的光电型超快测量仪器. 近年来随着大容量光纤通讯技术、超快信号传输处理技术等的发展, 对结构小型化的超短脉冲光源提出了更高的要求, 所有这些技术领域的发展都极大地促进了半导体激光超短光脉冲产生技术的发展.

目前从半导体激光器中产生超短光脉冲的方法主要有: ①锁模法^{5,6}(包括主动、被动、主被动混合锁模), ②Q-开关方法⁷, ③超高频增益开关调制⁸及竖面腔表面发射激光超短光脉冲产生技术⁹等方法. 其中锁模法尽管可以得到短至飞秒量级的光脉冲, 但是由于锁模法其腔体结构比较复杂, 加之要消除子腔效应的影响, 因此这种技术的实用性受到一定限制, 竖面腔发射激光器锁模技术的器件依赖性比较强, 而 Q 开关方法产生的超短光脉冲脉宽比较宽, 脉冲重复率比较低. 相比之下, 超高频电流直接调制半导体激光器超短光脉冲产生技术结构比较简单、可靠性高、调制频率可调, 而且可以利用高重复率尖脉冲电流直接调制从而产生短至皮秒量级的超短光脉冲. 1991 年日本学者报道了从 1.3 μ mDFB 半导体激光器中产生了 17.5ps 的超短光脉冲¹⁰, 1991 年美国一个小组报道了利用增益开关调制 1.3 μ mDFB 半导体激光器得到了 16ps 的超短光脉冲¹¹, 1995 年清华大学高以智小组利用直接调制 1.55 μ mDFB 半导体激光器产生了 22.2ps 的超短光脉冲¹², 1994 年 4 月上海光机所张位在小组利用梳状波电流调制 1.3 μ mDFB 半导体激光器产生了 22ps 的超短光脉冲¹³.

本文介绍我们利用 1GHz 重复率、脉宽约 200ps 的梳状波电流直接调制 1.3 μ mDFB 半导体激光器产生最短输出脉宽 15ps(一般输出小于 18ps)超短光脉冲的实验结果.

^{*} 国家攀登计划“飞秒激光技术与超快过程研究”资助项目

收稿日期: 1995—05—17

1 超高重复率梳状波电流调制 DFB 半导体激光器产生皮秒超短光脉冲的原理

对增益开关 DFB 半导体激光器而言,人们在实验中比较感兴趣的输出参数通常是①脉冲宽度;②单脉冲能量;③脉冲之间的跳动等.这些参数通常与泵浦方式、泵浦强度、半导体激光器腔体长度和半导体激光器结构有关.优化这些参数将可以得到最优化的实验结果.

图 1 是一个增益开关 DFB 半导体激光器的光子和电子及泵浦电流建立过程示意图.通常使用单模速率方程来模拟高重复率尖脉冲调制 DFB 半导体激光器的动力学过程^{14~17},利用四阶龙格库塔法数值求解速率方程可得到如下的结论:

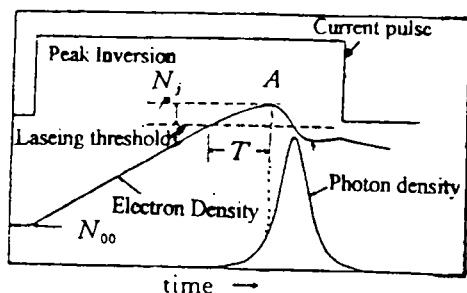


图 1 在增益开关调制半导体激光器过程中典型的光子和电子密度演化过程

Fig. 1 Typical evolution of the photon and electron density during a gain switch cycle

①泵浦电脉冲脉宽越窄,输出光脉冲越窄;泵浦电脉冲幅度越强,输出光脉冲脉宽越窄¹⁴.

②泵浦电脉冲脉宽越窄,泵浦强度越强,则可得到的输出光脉冲强度越强¹⁴.

从上述理论计算结果可以看出,如果半导体激光器器件电子学参数和阻抗匹配选择合适,半导体激光器的引线足够短,使用 200ps 左右的电脉冲增益开关调制 DFB 半导体激光器是可以得到小于 20ps 以下超短光脉冲的.

2 1.3μmDFB 半导体激光器超高频尖脉冲电流调制实验系统与结果

2.1 1.3μmDFB 半导体激光器高频尖脉冲电流调制系统设计

根据增益开关调制 DFB 半导体激光器的原理,我们的设计思想是:利用 1GHz 左右重复率峰值幅度达 11V 以上脉宽小于 200ps 的梳状波尖脉冲电流作为调制源,调制 1.3μmDFB 半导体激光器产生皮秒超短光脉冲;采用弱信号二次谐波自相关仪来测量所产生的皮秒超短光脉冲.

图 2 是梳状波电流调制 1.3μmDFB 半导体激光器实验系统图.信号源为 HP83620A,输出信号频率设置在 1GHz 左右,使用 1GHz 中心频率宽带微波放大器放大信号源输出的正弦波信号,放大后进入由阶跃二极管构成的梳状波信号发生器中(Comb Generator)压窄到小于 200ps,然后经过宽带阻抗匹配网络后与 DFB 半导体激光器的一个极引线联在一起,同时直流偏置接头也与上述 DFB 半导体激光器的极引线联在一起.为提高 DFB 半导体激光器的频率响应带宽,减小超短电脉冲进入半导体激光器的色散,对半导体激光器和匹配电路我们采用特别的机械安装措施,尽可能地缩短半导体激光器的电极引线,使用 GD—57 型优选型高增益低噪音光电倍增管测量所产生的二次谐波自相关函数.

图 6 是梳状波电流调制 1.3 μm DFB 半导体激光器产生的光脉冲宽度随注入梳状波发生器放大器直流电流的函数关系. 随注入梳状波发生器电流增大, 输出光脉冲宽度变窄. 也就是随梳状波发生器输出电脉冲幅度变大, 输出光脉冲宽度变窄, 这也与前述结论一致.

图 7 是梳状波电流调制 1.3 μm DFB 半导体激光器产生的光脉冲宽度随梳状波发生器调制频率的关系曲线.

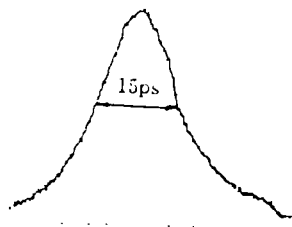


图 4 从 1GHz 梳状波调制 1.3 μm DFB 半导体激光器输出的最短光脉冲的二次谐波自相关曲线, $I_d=50\text{mA}$, $I_a=310\text{mA}$, $f=1010\text{MHz}$

Fig. 4 The SHG autocorrelation of the shortest pulsewidth output from 1.3 μm DFB semiconductor laser modulated by Comb Generator, $I_d=50\text{mA}$, $I_a=310\text{mA}$, $f=1010\text{MHz}$

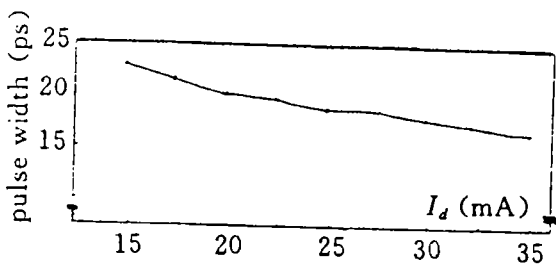


图 5 从 1GHz 梳状波调制 1.3 μm DFB 半导体激光器输出的光脉冲宽度与注入电流偏置电流的关系
Fig. 5 The output pulse width from 1.3 μm DFB semiconductor lasers modulated by Comb Generator vs bias current

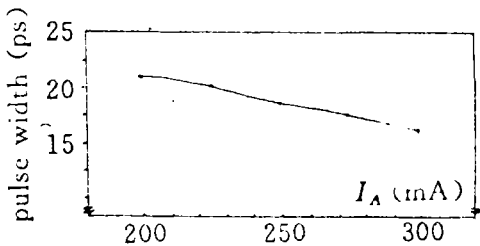


图 6 1GHz 梳状波调制 1.3 μm DFB 半导体激光器输出的光脉冲宽度与注入梳状波发生器放大器电流的关系
Fig. 6 The output pulse width from 1.3 μm DFB semiconductor lasers modulated by Comb Generator vs current of the amplifier in Comb Generator

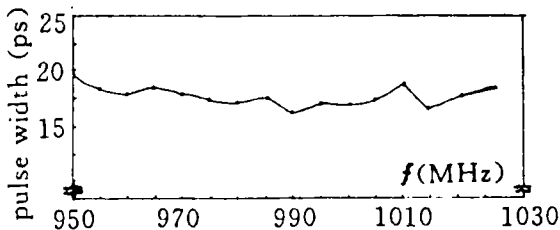


图 7 1GHz 梳状波调制 1.3 μm 半导体激光器输出的光脉冲宽度与梳状波发生器工作频率的关系
Fig. 7 The output pulse width from 1.3 μm DFB semiconductor lasers modulated by Comb Generator vs the frequency of Comb Generator

3 总结

利用梳状波电流发生器产生的高重复率尖脉冲通过特殊设计的阻抗匹配电路直接调制 1.3 μm DFB 半导体激光器产生了小于 18ps(最短输出达 15ps)的超短光脉冲, 脉冲重复率 1GHz, 输出平均功率大于 4.5mW, 光束质量良好. 这项技术的研制成功将在超快速光电子学测量技术、光通讯技术、超快信号产生与测量和超快光谱技术等领域具有重要的应用价值.

作者感谢上海电子物理所金佩玉教授在阻抗匹配电路与梳状波发生器研制中提供的帮助.

参考文献

- 1 Ho P, et al. Electron Lett, 1991, 27: 325~327
- 2 Nagatsuma Tabao. Conference of Ultrafast Electronics and Optoelectronics, UMD-1, March 13-15, Dana Point, California, U. S. A, 1995: 46~48

