

1.3 μm InGaAsP 激光器无偏置增益调制 产生 ps 光脉冲

孙 伟 衣茂斌 贾 刚 高鼎三

(吉林大学电子科学系, 长春 130023)

摘要 本文通过求解非线性速率方程分析了半导体激光器增益调制产生 ps 光脉冲的动力学过程。用自制的双雪崩脉冲发生器产生的短电脉冲无偏置直接驱动 InGaAsP 激光器获得 15 ps (FWHM) 光脉冲。

关键词 ps 光脉冲, 半导体激光器, 增益调制

Ps light pulse generation by gain modulation of unbiased InGaAsP laser at 1.3 μm

Sun Wei, Yi Maobin, Jia Gang, Gao Dingsan

(Department of Electronic Science, Jilin University, Changchun 130023)

Abstract The kinetics of generating picosecond light pulses by gain modulation of semiconductor laser is analysed based on nonlinear rate-equations. Special double avalanche pulse generators are designed to produce short injection-current pulses. The optical pulse of 15 ps (FWHM) is obtained by gain modulation of unbiased InGaAsP lasers.

Key words picosecond light pulse, semiconductor laser, gain modulation

1 引 言

近年来,用增益开关法产生超短光脉冲已有许多报道^[1,2],可分为激光器有直流偏置,叠加上短的电脉冲或强射频电流调制和无直流偏置,用短电脉冲直接调制产生超短光脉冲两种方式。后者具有调制电流对激光器作用时间短、产生光脉冲无连续直流背景等特点。本文利用微机数值求解非线性速率方程研究了短电脉冲直接驱动半导体激光器产生超短光脉冲的条件。分析表明,对于给定的半导体激光器,为了获得单个超短光脉冲,需要调制电脉冲具有一定的宽度、波形和幅度。我们研制了一种双雪崩脉冲发生器,用它产生的亚纳秒电脉冲驱动 InGaAsP 注入激光器获得了 FWHM 为 15 ps 的光脉冲。

2 理 论

我们采用均匀载流子分布的非线性速率方程研究半导体激光器电子密度 N 和光子密度 S 随时间变化的动力学过程。速率方程可写成

$$\frac{dN}{dt} = \frac{I(t)}{qv} - g(N - N_t)S - \frac{N}{\tau_n} \quad (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = g\Gamma(N - N_t)S - \frac{S}{\tau_p} + \beta\Gamma\frac{N}{\tau_n} \quad (2)$$

式中 $I(t)$ 是注入有源区的电流; v 是有源区体积; q 为电子电荷; g 是光增益系数; τ_n 是腔内光子寿命; β 为自发发射进入激光模式几率; Γ 是模限制因子; N_t 为透明时的载流子密度。

方程(1)中 dN/dt 表示载流子浓度增加的速率; $g(N - N_t)S$ 为载流子受激复合损耗的速率; $I(t)/qv$ 表示电流注入速率, N/τ_n 为载流子自发复合损耗的速率。方程(2)中 dS/dt 表示光子浓度增加速率; $g\Gamma(N - N_t)S$ 是受激发射光子产生速率; S/τ_p 为谐振腔内损耗引起的光子损耗速率; $\beta\Gamma(N/\tau_n)$ 是自发辐射进入激光模式的速率。

非线性微分方程组(1)、(2)需用 Four-Step Rung-Kutta 法数值求解。假设注入电流脉冲波形是高斯型的, 考虑电流脉冲波形上升时间 t_r 和下降时间 t_f 的影响, 电流脉冲表示为

$$J(t) = \begin{cases} J_0 \exp\{-[(t - t_0)/t_r]^2\} & t < t_0 \\ J_0 \exp\{-[(t - t_0)/t_f]^2\} & t > t_0 \end{cases} \quad (3)$$

J_0 为 50Ω 负载上的电压波形峰值。电脉冲的宽度 (FWHM) 为 $t_{1/2} = (\ln 2)^{1/2}(t_r + t_f)$ 。

对于 $1.3\ \mu\text{m}$ InGaAsP 激光器, 计算中使用的参数如表 1 所示。

Table 1 Parameters of InGaAsP laser at $1.3\ \mu\text{m}$ by numerical calculation

| Parameters | Number | Parameters | Number |
|------------|--|------------|--------------------------------------|
| β | 10^{-4} | N_t | $1.2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ |
| g_0 | $1.1 \times 10^{-6}\ \text{cm}^2/\text{s}$ | τ_n | 2 ns |
| ϵ | $8.0 \times 10^{-18}\ \text{cm}^{-3}$ | τ_p | 1.4 ps |
| Γ | 0.35 | | |

归一化后的速率方程变为

$$\frac{dN'}{dT} = \frac{J'}{J_{th}} \left(\frac{1}{\Gamma} + N_t \right) - (N' - N_t)S' - N' \quad (4)$$

$$\frac{dS'}{dT} = \mu\Gamma(N' - N_{th})S' + \beta N' \Gamma \quad (5)$$

其中 J_{th} 是阈值时注入电流密度; N_{th} 是阈值时载流子浓度; $J_{th} = N_{th}$, $N_{th} = (N_t + 1)/\Gamma$ 。图 1 是数值计算的典型结果, 给出的是注入电流、载流子密度 N' 和与输出光功率成比例的光子密度 S' 随时间的变化。

对于给定的激光器, 注入电流脉冲宽度、波形、幅度将直接影响光脉冲的产生。当注入电流使载流子浓度迅速积累产生超过阈值反转浓度的过冲, 导致激光发射, 光强度增大造成受激跃迁速率增大, 载流子浓度迅速降低, 增益减小, 光强度减弱, 产生尖锐的光脉冲。注入电流幅度

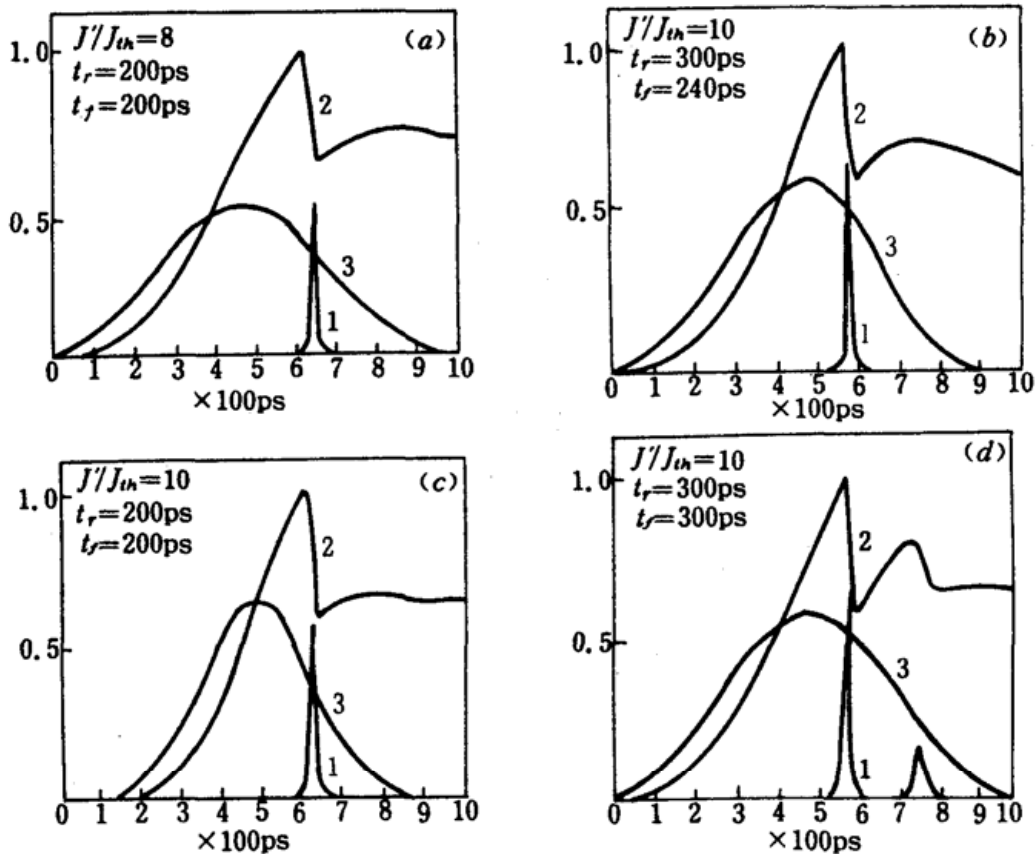


Fig. 1 (a ~ d) : Numerical results of the photon densities S' (curve 1), carrier densities N' (curve 2) and injection current J/J_{th} (curve 3) versus time

低时,产生的光脉冲宽较宽且强度较弱;电流脉冲幅度增高,光脉冲宽度变窄,光强变强。第一个光脉冲发射后,如果注入电流水平很高并且电流脉冲足够宽,则增益区内的电子浓度迅速回升,将再次超过阈值反转浓度,产生第二个光脉冲。当注入电流脉冲宽度、波形一定时,存在一个注入电流脉冲幅度的最佳值,这时激光器产生的单发脉冲宽度最窄,幅度最高。注入电流脉冲幅度和上升时间确定后,下降时间快有利于产生单发光脉冲。

当注入电流脉冲一定时, a) 减小光子寿命 τ ; b) 增大光学增益系数 g 有利于获得短的光脉冲。减小光子寿命 τ ,最有效的方法是缩短腔长,但要受阈值电流密度增加的限制;增加光学增益系数 g ,可通过降低激光器的工作温度和增加有源区的掺杂浓度来实现。在材料选定和室温应用时, g 变化不大。此外,光学增益系数 g 与光子密度 S 有关, $g = g_0/(1 + eS)$,其中 g_0 是微分增益系数, e 是增益压缩系数。低光子密度时 g 是常数,光子密度增高时光学增益系数 g 下降。

3 亚纳秒电脉冲的产生

速率方程数值分析得出,对于给定的激光器,激励电流脉冲的宽度、波形、幅度决定着产生光脉冲的个数、宽度、幅度。为了获得单发的皮秒光脉冲,我们采用一种双雪崩脉冲发生器作为激光器激励电脉冲源。脉冲发生器的线路布置如图 2 所示。电路中使用了在聚四氟乙烯介质衬底上制作的等效阻抗为 $50\ \Omega$ 的微波带电路,第一级雪崩晶体管电路产生的雪崩脉冲信号经第二级线路放大整形,输出的脉冲宽度由二级雪崩管的负载线长度和微带短路线长度决定。这

里,短路微带线具有削波作用。对于一定的负载线长度,脉冲波形的后沿可由改变短路线长度来调整。双雪崩脉冲信号源产生的亚纳秒电脉冲的电压波形如图 3 所示。是使用高速采样示波器(SQ-12A)测量的。电脉冲的重复频率受雪崩晶体管限制为 1 MHz。

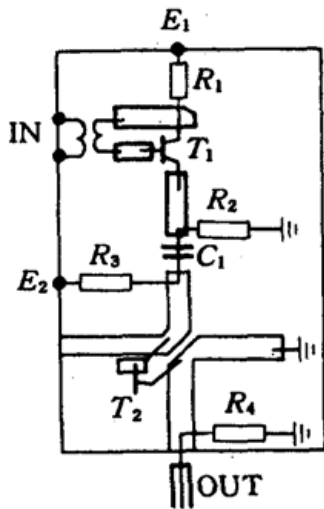


Fig. 2 Block diagram of double avalanche generator

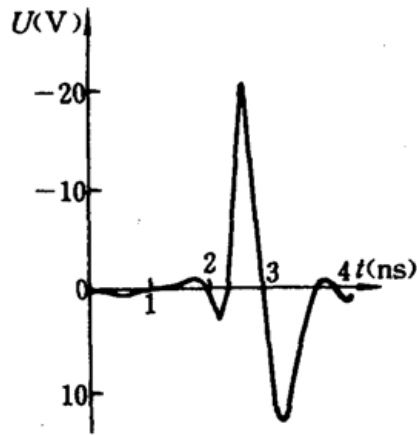


Fig. 3 Pulses produced by double avalanche generator

4 ps 光脉冲的产生及测量

实验上用于产生 ps 光脉冲的激光器是 InGaAsP/InP 掩埋新月形激光器^[4],室温下激射波长是 1.3 μm。阈值电流约为 20 mA,新月形有源区厚为 0.2 μm,宽度为 2 μm,腔长约为 200 μm。采用微波管壳封装适合于高速运用。用双雪崩脉冲发生器产生的电脉冲直接激励 InGaAsP/InP 半导体激光器。脉冲波形中具有反向过冲。当反向过冲足够大时可以迅速消除光脉冲发射后有源区内残留的过剩载流子。这样脉冲前的载流子浓度为零,脉冲后的载流子浓度还是零,从而避免产生图形效应,这对于高重复率的脉码调制是非常重要的。由于反向区间过冲作用在器件上的时间极短,仅为亚纳秒级,产生的热效应很小,实验表明对激光器的寿命无明显影响。激励电脉冲宽度 FWHM 为 300 ps ($t_r = 200$ ps, $t_f = 160$ ps), 50 Ω 负载上的电压幅值为 -20 V 时,获得了 FWHM 为 15 ps 的单发光脉冲,光脉冲的重复频率为 1 MHz,平均功率为 3 μW,相应的峰值功率可达 200 mW。

1.3 μm 超短光脉冲宽度是用二次谐波强度自相关(SHG)方法测量的。测试系统属于共线有背景型。使用的倍频晶体是 LiIO₃ 晶体,对于 1.3 μm 波长匹配角接近 25°。由于测量的光脉冲重复频率很低(1 MHz),平均功率只有 μW 级,所以强度自相关信号很弱。信号接收单元由光电倍增管和光子计数器组成。测量的强度自相关函数曲线如图 4 所示,光脉冲宽度 FWHM 是假设光脉冲波形为高斯型,由光脉冲强度自相关函数宽度 FWHM 乘以高斯型线型因子 0.707 得到的。

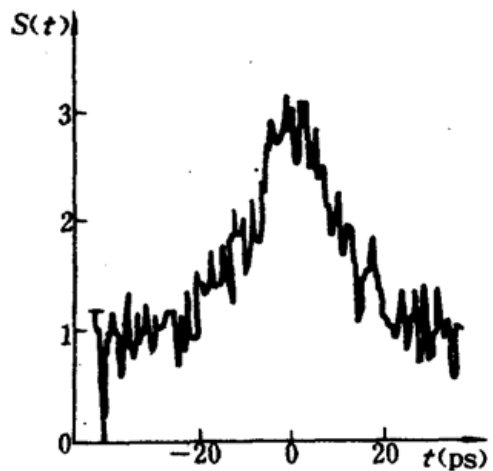


Fig. 4 SHG autocorrelation trace of optical pulses

参 考 文 献

- 1 H. J. Klein *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **41**(5), 394(1982)
- 2 D. Bimberg *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **48**(2), 83(1986)
- 3 P. M. Downey *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-23**(6), 1039(1987)
- 4 肖建伟 *et al.*, *半导体学报*, **9**, 665(1988)
- 5 贾 刚 *et al.*, *吉林大学自然科学学报*, **3**, 42(1990)

第十一届全国激光学术报告会 征 文 通 知

中国光学学会激光专业委员会、中国电子学会量子电子学与光电子学学会和中国光学光电子行业协会激光专业分会联合主办的第十一届全国激光学术报告会将于 1993 年 10 月在杭州召开。

会议由浙江大学、杭州大学、中国科学院上海光学精密机械研究所、机电部 209 所和 11 所参加筹备。

一、征文内容

A 类：激光器件与技术

气体、固体、半导体、染料、准分子等激光器及自由电子激光器、核泵浦激光器、化学激光器、短波长激光器、可调谐激光器等。激光技术；超快光学与电子学；红外技术；光信息处理；光双稳及光贮存器件；光电子学仪器与器件；激光和光学元件与材料。

B 类：激光应用

激光在工业中的应用；激光在微电子学中的应用；激光在医疗方面的应用；光通讯、光雷达、测距和制导等应用。

C 类：激光理论

光电子学；光生物学；光化学；空间光学；激光光谱学；非线性光学；激光与物质相互作用等方面。

二、征文要求

(1) 凡属上述征文内容范围内的最新科研成果或阶段性成果简报，有一定创造性的学术论文或能反映国内先进水平的技术报告，均可应征。

(2) 凡已经在国内外公开发表过的论文，均不在征文范围之内。

(3) 提交论文提要(500 字)及论文摘要(50 字)各一式二份，并用“挂号”投寄浙江大学光科系包成芳同志收，邮编：310027(电挂：杭州 0420 光科系，电话：572244-4181)，并在信封右上角注明“十一届会稿”字样。截征日期：1993 年 4 月 20 日(以邮戳为准)。请一律用 16 开方格稿纸书写。图和照片一律不用，以文字说明为主。必须用钢笔书写清楚，符合正式出版要求(圆珠笔、铅笔书写稿、复写纸复写稿或油印稿、复印稿一律不用)。因为无记名审稿，故在 500 字提要上不要写作者姓名和单位，但必须注明论题分类(按“一、征文内容”)。50 字摘要要单独用方格稿纸书写，并包括论文题目、作者姓名、单位、详细通讯地址和邮政编码。