

# 一串强脉冲信号通过TWA时速率方程的简化

吕鸿昌

陈建国

(西南交通大学计算机系)

(四川大学物理系)

**摘要:** 对于一串强脉冲信号通过行波半导体激光放大器 (TWA) 时, 应用速率方程推导出一个简化的一阶微分方程, 可用来确定输出脉冲信号或TWA的信号增益。同时很容易推导出脉冲信号到达增益介质前, 离开TWA后的载流子浓度。

## The simplification of the rate equations to a train of strong pulses through TWA

Lu Hongchang

Chen Jianguo

(Southwest Jiaotong University)

(Sichuan University)

**Abstract:** Applying the rate equations to a train of strong pulses through a travelling-wave semiconductor laser amplifier (TWA) a simple first-order differential equation has been derived to determine the output pulse or the signal gain of the TWA. Meanwhile, the carrier densities before any one pulse arrives at the gain medium and after the pulse leaves the TWA can easily be obtained.

### 速率方程的简化

半导体激光放大器的研究开始于1963年<sup>[1]</sup>。由于光纤通信技术的发展, 半导体激光放大器的研究日趋引起人们的重视。目前, 人们普遍认为TWA最有可能取代长距离光纤通信中复杂的电子学中中继器。最近, 已有大量关于半导体激光放大器理论和实验研究报道, 但是对TWA的研究主要集中在稳态特性上。鉴于多数情况下信号的发送都是一串脉冲信号, 因此对TWA的动态特性的研究是十分必要的。对于典型的光纤传输系统, 由于脉冲时间间隔 $T$ 与注入载流子寿命 $\tau$ 可以比拟, 所以没有充分的时间完全补偿脉冲信号通过TWA后消耗的载流子数, 这将影响放大器的有效增益。因此, 要想深入研究TWA的动态特性, 就必须首先研究信号增益和信号对载流子的消耗。

为了突出主要问题, 本文假设TWA两端反射率为零; 输入为一串脉冲时间间隔为 $T$ , 脉

冲宽度为 $\tau$ ，且 $\tau \ll T$ 的强脉冲信号；脉冲信号频宽为 $\Delta\nu_r$ ，材料带宽为 $\Delta\nu_L$ ，且 $\Delta\nu_r \ll \Delta\nu_L$ ，光信号与TWA的基横模相一致。

则速率方程为<sup>[2]</sup>：

$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = \frac{I}{eV} - B(N(x,t) - N_s)S(x,t) - \frac{N(x,t)}{\tau} \quad (1)$$

$$\frac{\partial S(x,t)}{\partial t} + u \frac{\partial S(x,t)}{\partial x} = B(N(x,t) - N_s)S(x,t) - AN_d S(x,t) \quad (2)$$

式中， $B = \frac{AD}{1 + K_a^2}$ ； $N(x,t)$ 为注入载流子浓度； $S(x,t)$ 为脉冲信号光子数密度； $u$ 为光在介质中的传播速度； $I$ 为注入电流； $e$ 为电荷电量； $V$ 为TWA激活区体积； $D$ 为波导模式限制因子； $\tau$ 为载流子寿命； $A$ 为比例常数； $N_s$ 为补偿介质增益分布损耗所必须注入的载流子浓度； $K_a = \frac{\nu_a - \nu_0}{(\Delta\nu_L/2)}$ ； $\nu_0$ 为带宽中心频率； $\nu_a$ 为光信号中心频率。

对于一串强脉冲信号，光信号到来时假定(1)式为：

$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = -B(N(x,t) - N_s)S(x,t) \quad (3)$$

光信号未到时(1)式为：

$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = \frac{I}{eV} - \frac{N(x,t)}{\tau} \quad (4)$$

解(3)、(4)两式根据注入载流子浓度 $N(x,t)$ 周期性连续条件 $N(x,t) = N(x,t+T)$ ，求出脉冲信号到来前 $N(x, -\infty)$ 和脉冲信号通过后 $N(x, +\infty)$ 分别为：

$$N(x, -\infty) = \frac{N_d \exp[BF(x)] [1 - \exp(-T/\tau)] + N_s [\exp(BF(x)) - 1] \exp(-T/\tau)}{\exp[BF(x)] - \exp(-T/\tau)} \quad (5)$$

$$N(x, +\infty) = \frac{N_d [1 - \exp(-T/\tau)] + N_s [\exp(BF(x)) - 1]}{\exp[BF(x)] - \exp(-T/\tau)} \quad (6)$$

将(5)、(6)两式代入(2)式对时间积分得：

$$u \frac{dF(x)}{dx} + AN_d F(x) = \frac{[N_d - N_s] [1 - \exp(-T/\tau)] [\exp(BF(x)) - 1]}{\exp[BF(x)] - \exp(-T/\tau)} \quad (7)$$

式中， $N_s = I\tau/eV$ ， $F(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(x,t) dt$ 。方程(5)、(6)、(7)即为简化形式。

## 结 论

(5)、(6)、(7)联立很容易确定TWA的信号增益 $G(x)$ ，且 $G(x) = M(x)/M(0)$ ， $0 \leq x \leq L$ 。 $M(x)$ 为脉冲信号光子数( $M(x) = F(x)Wdu$ )， $L$ 、 $W$ 、 $d$ 分别是TWA激活区长、宽、厚。(5)、(6)两式为解析式，研究各种参数对注入载流子浓度的影响尤为方便。如图1、图2所示，分别是TWA的动态信号增益及载流子浓度随放大器长度变化曲线。我们选用的典型参数分别是 $L = 500\mu\text{m}$ ， $W = 20\mu\text{m}$ ， $d = 0.2\mu\text{m}$ ， $D = 0.6$ ， $I_s = 110\text{mA}$ ， $u = 7.5 \times 10^7 \text{m/s}$ ， $N_d = 4.5 \times 10^{22} / \text{m}^3$ ， $A = 2.5 \times 10^{-12} \text{m}^3 / \text{s}$ ， $I = 220\text{mA}$ 。

本文对一般强度的脉冲信号通过TWA时特性研究有一定指导意义。

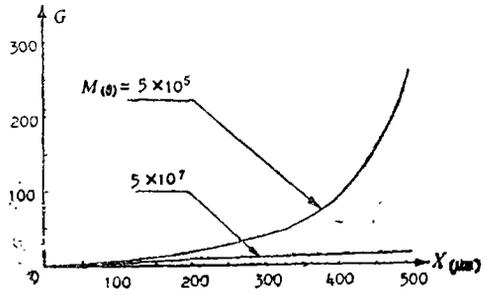
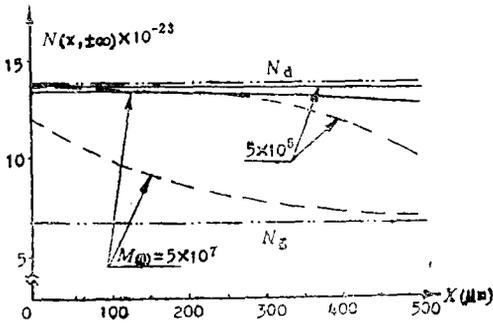


图1 输入光脉冲信号光子数不同时载流子分布  
实线虚线分别是 $N(x, -\infty)$ 、 $N(x, +\infty)$

图2 动态信号增益随TWA长度变化曲线

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Phys.Lett., 1963, Vol.7, P.231.  
[ 2 ] IEEE J.Q.E., 1983, Vol.QE-19, No.1, P.63~73.

\* \* \*

作者简介：吕鸿昌，男，1962年出生。助教。现从事半导体激光放大器及信息处理研究。

陈建国，男，1945年出生。副教授。现从事半导体激光器及皮微秒脉冲研究。

收稿日期：1988年11月5日。

· 简 讯 ·

## 电气与电子工程师协会对光纤以太网和标志环进行标准化

电气与电子工程师协会802.3委员会已制订一项计划，将光纤以太网的网络标准化。此计划有三部分：无源星形网络标准化，有源星形网络标准化及传输线（电缆系统）标准化。有36家公司提议制订无源星形网络标准化计划，其中包括Codanoll、AEG、AMP……等公司。

同时该协会802.5委员会接受了802.3委员会计划的提议，将对标志环实行标准化，此任务由Codanoll、Ericsson、IBM、Proteon和Siecor五公司组成的小组支持。据Codanoll公司宣称，该两个委员会和ANSI-FDDI都在根据星形布局技术研究制订纤维光学的标准化。

译自L.F.W., 1989, Jan., P.179.

于祖兰 译 刘松明 校