

200 兆比特/秒注入式 GaAs-GaAlAs 双异质结激光器的调制实验

赵鲁光 周愈波

(中国科学院长春物理所)

提要: 本文介绍了采用注入式 GaAs-GaAlAs DH 激光器进行的 200 兆比特/秒的调制实验。调制时的偏置电流低于阈值。

A 200 Mb/s modulation experiment employing an injection GaAs-GaAlAs DH laser

Zhao Luguang Zhou Yubo

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: In this paper, we describe a 200Mb/s modulation experiment employing an injection GaAs-GaAlAs DH laser. The modulation is driven by the bias current below the threshold.

一、引言

注入式半导体激光器是目前光纤通信中最适用的光源。这不仅因为它体积小,效率高,光谱与光纤匹配,结构牢固等,而且它可用简单的电注入的方法进行高速直接调制,省去了光调制器,因而也避免了由于使用调制器所带来的耦合问题,插入损耗问题等。

这种激光器在阈值以上具有从数百兆周到千兆周的带宽。有的激光器如 BH-掩埋异质结激光器^[1]; TJS-横向结激光器; CSP-沟道衬底平面激光器^[2,3]的带宽较宽,可达千兆周以上,而一般条形激光器也可达数百兆周。然而高速脉冲调制中仍存在一些问题,由于结电容和有源区载流子存储及自发复合所带来的激射延迟和图案效应;由于激光器的高

频自激振荡所引起的弛豫振荡;由于横模和纵模的瞬态变化造成的模式畸变及由此而引起的光功率和耦合效率的变化等。

本文介绍我们对 GaAs-GaAlAs 双异质结激光器在低于阈值的直流偏置下进行的 200 兆比特/秒调制实验。

二、脉冲调制特性

注入式半导体激光器的脉冲调制特性可分两段来分析,以阈值为分界点,阈值下没有激光输出,主要应考虑电流脉冲与激光输出之间的时间延迟 t_d ; 阈值以上则主要考虑激光输出的响应带宽。下面分别给以简要的分析。

阈值以下,延迟时间 t_d 由下列方程决定

收稿日期: 1980 年 9 月 22 日。

$$t_{d1} = \int_{v^*}^v \frac{C_0 / (1 - v/V_D)^{\frac{1}{2}}}{I_p + I_0 - i_0 \left(\exp \frac{qv}{2KT} - 1 \right)} dv \quad (1)$$

$$(I_{th0} - I_0) \tau_s = \int_0^{t_d} i \cdot \exp \frac{t_d - t}{\tau_s} dt \quad (2)$$

其中

$$v^* = \frac{2KT}{q} \ln(I_0/i_0 + 1); \quad (3)$$

$$i = \begin{cases} i_0 \left(\exp \frac{qv}{2KT} - 1 \right) & v < V_D \\ I_p & v \geq V_D \end{cases} \quad (4)$$

v 是激光器 p - n 结压降; C_0 是激光器 p - n 结零偏置电容; V_D 是激光器 p - n 结势垒高度; i_0 是激光器 p - n 结反向漏电流; K 是玻尔兹曼常数; T 是绝对温度; τ_s 是载流子自发复合寿命; q 是载流子电荷; I_0 是激光器直流偏置电流; I_p 是注入激光器脉冲电流幅度。由(1)~(4)式可见取较高的 I_p 和 I_0 以及选 C_0 小的器件有利于减少 t_{d0} 。

在阈值以上, 激光器若是单模输出, 则其光输出可用下列速率方程描述^[4]:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{I_d}{e} - \frac{N}{\tau_s} - g(N - N_l) \cdot S \quad (5)$$

$$\frac{dS}{dt} = g(N - N_l)S - \frac{S}{\tau_p} + C \frac{N}{\tau_s} + \Gamma \frac{S_{in}}{\tau_p} \quad (6)$$

其中 I_d 是结区注入电流; N 是有源区少数载流子数量; S 是有源区光子数量; τ_p 是光子寿命; g 是增益系数; C 是自发辐射进入激光模式的系数; Γ 是外辐射 S_{in} 注入激光模式的系数; e 是电子电荷; N_l 是介质块体损耗的载流子数。

解(5)和(6)式可得出激光输出 P 与调制频率 ω 之间的函数关系如图 1, 图中共振频率 ω_0 与所加电流参数和激光器本身的参数有关, 在阈值以上取较大的 I_0 和较小的 τ_s, τ_p 可使 ω_0 变大即带宽增加。另一方面, 在数百兆比特/秒以下时, 也可使驱动脉冲的前后沿适当放慢, 以减少傅里叶频谱的高频成分, 也可避免产生弛豫振荡。

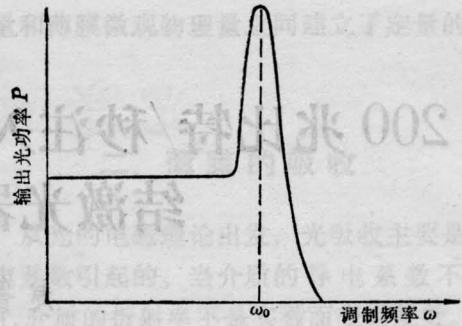


图 1 激光器的频率响应曲线

在脉冲后沿, 当有源区达到阈值电荷后, 剩余存储电荷的消失速度将主要取决于载流子自发复合的速度, 即自发复合寿命 τ_s 。这剩余电荷将给接着到来的第二个脉冲提供附加的偏置电流, 而使第二个脉冲的阈值减少到^[5]

$$I_{thp} = \frac{(I_{th0} - I_0)}{[1 - \exp(-\tau/\tau_s)] [1 + \exp(-\tau_i/\tau_s)]} \quad (7)$$

其中 τ 是电脉冲宽度, τ_i 是电脉冲间断期间。由(7)式可见 τ 愈大, τ_i 愈小, 则带来的附加效应愈强。

三、实验装置及结果

本实验使用的激光器其示意图如图 2。管芯用钢焊在两片马蹄形银片之间, 激光器谐振腔长 300 微米, 宽 40 微米, 高 0.3 微米, 其直流阈值是 230 毫安(室温 15°C), 发射波长是 0.91 微米。

实验装置的方框图如图 3 所示。直流稳压电源提供直流偏置, 脉冲电源提供快速电

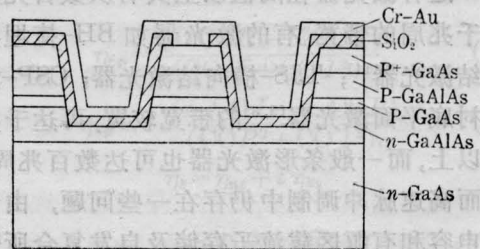


图 2 激光器结构示意图

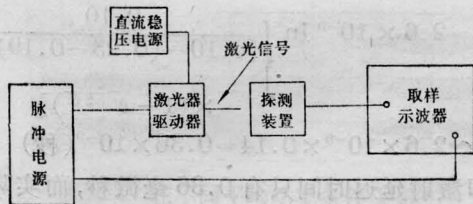


图3 调制实验装置方框图

脉冲送入驱动器，探测器的输出信号由取样示波器显示。

激光器驱动器和探测装置原理示于图4。激光器串接在同轴电缆的终端50欧姆电阻上并置于屏蔽盒中。由于该激光器导通后只有零点几欧姆的串联电阻，因而对同轴终端匹配影响很小。使用了50欧姆电阻和100微亨电感的串联电路接在激光器正极与稳压电源之间。100微亨电感是为防止对脉冲驱动电路造成可觉察的分路影响而设，在200兆比特/秒时，100微亨对基频至少可提供120千欧的感抗，高次谐波的感抗会更大，因而对1欧姆左右的激光器的分路作用可以忽略。串接 R_2 是为由稳压电源提供一个近似的稳定电流。

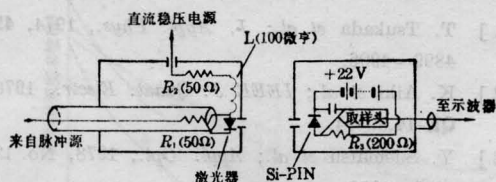


图4 驱动器和探测装置原理图

为了避免使用宽带放大器所带来的问题，如波形畸变、迭加噪声等，而将Si-PIN探测器的输出直接送入示波器显示。由于信号相对较弱，因而需要很好的屏蔽，采取了独立的电池电源并将其与示波器的取样头全部装入屏蔽盒中，元件减少到最少，接线尽量短而直，收到了良好的效果。

激光器的脉冲调制有两种方式。其一是直流偏置到阈值以上，即 $I_0 > I_{th0}$ ，这时由于有源区载流子的反转分布已经建立，因此延迟问题解决了，因而可获得较高的调制速率，

但是同时也带来一些缺点。如光脉冲的图案效应较强，以及由于直流偏置较高而使激光器的负担加重，温升增加，寿命缩短，又使输出信号的背景光增加，即相对降低了有效交流信号幅度；另一种方式是直流偏置低于阈值，其优缺点与前一种正相反。由于后一种调制方式有很多可取之处而受到愈来愈广泛的重视，但是这种调制方式中存在一个激光输出的时延问题，这一问题在一定频率范围内采取一些措施是可以解决的，本实验就是对这种调制方式所做的一次尝试。在几十兆比特/秒至数百兆比特/秒的速率下可获得良好的调制光输出波形。

实验结果如图5所示。图5(a)是驱动电脉冲波形；图5(b)为激光输出波形。该激光器的直流阈值是230毫安，使用了190毫安的直流偏置，脉冲电流幅度100毫安。由于使用的电脉冲的前沿是1.3毫微秒，即相当于带宽300兆周左右，如前所述这种较慢的前沿不易出现弛豫振荡。又由于直流偏置 I_0 已接近阈值，由式(3)算出

$$v = \frac{2KT}{q} \ln\left(\frac{I_0}{i_0} + 1\right) \\ = \frac{2 \times 0.026}{e} \ln\left(\frac{0.190}{3.5 \times 10^{-13}} + 1\right) \\ \approx 1.40 \text{ 伏}$$

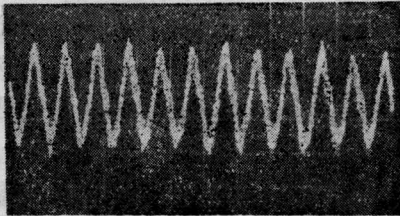
其中取用 $I_0 = 190$ 毫安， $KT = 0.026$ 电子伏， $i_0 = 3.5 \times 10^{-13}$ 。计算出的结压降与势垒高度 $V_D \approx 1.42$ 伏相差无几，可认为此时势垒电容充电已接近饱和，激射延迟将主要是由于自发复合引起的，即只有如(2)式所描述的过程在起作用。而当前一个脉冲在有源区存储的载流子电荷 $Q_{th0} = I_{th0} \cdot \tau_s$ 按指数率衰减即

$$Q_{\text{余}} = Q_{th0} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_s}\right) \\ = I_{th0} \cdot \tau_s \exp\left(-\frac{t}{\tau_s}\right) \quad (8)$$

其中 $Q_{\text{余}}$ 是前一个电脉冲截止后 t 时刻在有源区尚存储有的电荷。当此值尚未衰减到稳



(a) 驱动电脉冲波形(5毫微秒/每格)



(b) 输出激光脉冲波形(5毫微秒/每格)

图 5

态(即直流偏置状态)时,第二个驱动电脉冲又来到了,因而这一部分未衰减掉的电荷将作为第二个脉冲的附加偏置,从而减少了激光延迟时间 t_d 。这时 t_d 可由下式估算

$$t_d = \tau_s \ln \left\{ \frac{I_p}{\left[I_p - (I_{th0} - I_0) \left(1 - \exp\left(-\frac{\tau_i}{\tau_s} \right) \right) \right]} \right\} \quad (9)$$

其中 τ_s 可由下式计算

$$\tau_s = (I_{thp}/I_{th0} - 1)\tau \quad (10)$$

由(10)式可见, τ_s 可由脉宽 τ 一定的窄脉冲来驱动激光器测得其脉冲阈值 I_{thp} 的方法来求得。连续改变驱动脉冲的幅度 I_p 可测得光输出功率 P , 做出 $P-I$ 曲线可得 I_{thp} , 代入(10)即可求得 τ_s 。本实验中求得该激光器的 $\tau_s \approx 2.6$ 毫微秒。其中 $I_{th0} = 230$ 毫安, $\tau = 2$ 毫微秒, $I_{thp} = 530$ 毫安。将 τ_s 值代入式(9)则

$$t_d = 2.6 \times 10^{-9} \ln \left\{ \frac{0.10}{\left[0.10 - (0.23 - 0.19) \right] \times \left(1 - e^{-\frac{1}{2.6}} \right)} \right\} \\ \approx 2.6 \times 10^{-9} \times 0.14 = 0.36 \times 10^{-9} \text{ (秒)}$$

即激光延迟时间只有 0.36 毫微秒,而实际上这个微小的延迟时间已被由于探测器带宽不够及各种电容效应造成的光脉冲展宽所掩盖,因而在图 5(b)可见光脉冲的波形已基本上交连起来了。

四、结 束 语

受探测器带宽所限只进行到 200 兆比特/秒,若获得更快速的探测器,同时使用有下冲后沿的驱动脉冲,预料本实验装置仍可大为提高调制速率。

本实验是全部使用国产元件、器件、仪器所做的注入式激光器高速率直接脉冲调制的尝试,可供高速率 PCM 光纤通信中激光调制的参考。

参 考 文 献

- [1] T. Tsukada *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1974, **45**, 4899~4906.
- [2] K. Aiki *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1978, **QE-14**, 89-94.
- [3] Y. Suematsu *et al.*; *Appl. Opt.*, 1978, No. 12, 1949~1952.
- [4] Y. Suematsu *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977, **QE-13**, No. 9.
- [5] T. P. Lee, R. M. Derosier; *Proc. IEEE*, 1974, **62**, No. 8, 1176~1177.
- [6] Yoshio Itaya *et al.*; *Japan. J. Appl. Phys.*, 1977, **16**, No. 6.