

半导体激光双稳态光信号放大和处理*

张远程 宋 骞 何绍伟 王金凤

(武汉大学物理系, 武昌 430072)

提要 利用光纤耦合输出反馈泵浦半导体激光双稳装置, 实现了微分增益、双稳和零偏等三种工作模式的运转。由此完成了恒定偏置和脉冲偏置光信号放大、光脉宽压缩、限幅、整形和开关等多种光信号处理功能。光信号增益达 22.5 dB, 脉宽可压缩 25 倍。

关键词 光学双稳态, 光信号放大, 光信号处理

Optical signal amplification and processing using semiconductor laser diode OBD

ZHANG Yuancheng, SONG Qian, HE Shaowei, WANG Jinfeng

(Wuhan University, 430072)

Abstract Using an optical fiber-coupled semiconductor laser diode OBD with output feedback pumping, operations in 3 modes (differential gain, bistability, and zero-bias), have been realized respectively, and optical signal amplification, pulse-width compression, limiting, reshaping, and switching have been implemented. The optical gain is about 22.5 dB, and the compression ratio is about 25.

Key words optical bistability, optical signal amplification, optical signal processing

1 引 言

近十年来,光双稳器件(OBD, Optical bistability device)越来越受到广泛的重视。一个重要原因在于其巨大的潜在应用价值。

本文是作者在其 He-Ne 激光双稳态光信号放大和脉宽压缩工作的基础^[1~3]上,结合日本稻场文男的输出反馈泵浦激光双稳方案^[4~6],采用光纤耦合半导体激光器实现了微分增益、双稳和零偏等三种工作模式的运转,由此完成了光信号放大和光脉宽压缩等光信号处理。这里将对这些实验结果予以报道。按照 Landau 理论对该系统进行的理论分析可得出与实验结果相符的结论,已另文发表^[7]。

收稿日期:1992 年 7 月 9 日。

* 湖北省科学技术委员会资助项目。

2 实验装置

光纤耦合输出反馈泵浦半导体激光双稳装置由光纤耦合输出半导体激光二极管 LD、半导体光电二极管 D、Y 型光纤分路(耦合)器 Y 和光电流放大器 A、LD 直流驱动电源 S 等组成,并由几只光纤耦合发光二极管 LED(以及其驱动源 G) 提供输入光信号,由光电二极管 D'、示波器 OSC 和激光功率计等提供测试手段,如图 1 所示。

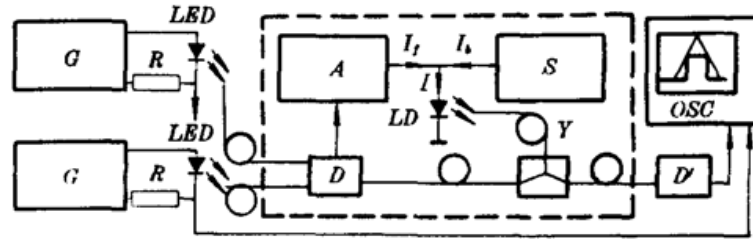


Fig. 1 Experimental setup

图中虚线框内构成 OBD。波长 860 nm、输出功率 2 mW 的 SSD-1s1 型 GaAlAs 双异质结半导体激光二极管 LD 在电源 S 以恒定偏置电流 I_b 的激励下,产生输出光功率 P,由多模光纤耦合输出。此功率经分路器 Y 以一定分路比,将等于 fP ($f < 1$) 的光功率耦合进一只 GT101 型 Si-PIN 光电二极管 D (响应速度小于 1 ns); 光纤分路器的另一路光功率作为 OBD 的输出。由一只或两只 LED 产生的信号光功率 P_i 也同时由各自的尾纤送到 D。耦合到同一只光电二极管的几支光纤,各由一台精密微调架按稍不同的角度,将各自的光入射到同一个光敏面,并保证它们独立调节与 D 的耦合。这样,反馈系数 f 可自由选择,以实现不同工作模式的运转;同时可将输入光功率 P_i 和反馈光功率 fP 一并探测,形成光电流,并经 A 放大,作为反馈电流 I_f ,参予直流偏置电流 I_b 共同对 LD 的激励。因而,LD 的总激励电流为

$$I = I_b + I_f \quad (1)$$

实验所用 LD 的阈值电流 I_{th} 约 100 mA。实验中选择 I_b 略低于 I_{th} , 作为 LD 激励电流的直流分量; I_f 则作为其交流分量。 I_b 的精确选择应保证其与 I_f 峰值之和不超出 LD 安全运转的范围,必须十分小心。

OBD 的输入光信号取决于各 LED 的激励源 G, 实验中有三角波、方波和可调延时方波。它们是由集成运算放大器 LF357、时基电路 555、计数电路 74LS93 和与非门电路 74LS00 等形成的,电子放大器 A 应由高速器件构成,以保证系统的高速运转。图 1 中各 LED 串联的电阻 R 可提供反映输入光信号波形的电信号,将它们与另一只 GT101 光电二极管 D' 探测到的 OBD 输出光信号电流一起,送入一台 KIKUSUI COS5021 双踪示波器,即可观测到 OBD 的工作模式(X-Y 显示)和输入—输出波形(Y_1 - Y_2 显示)。

3 工作原理和工作模式

本系统的工作原理已在文献[7]中详尽分析。图 2 中列出了微分增益、双稳和零偏三种工作模式。上面一排三个图中用粗实线表示 LD 的输出特性,由于横轴表示扣除了 I_b 以后的激励电流 I_f ,故曲线的阈值点变为

$$I_0 = I_{th} - I_b \quad (2)$$

阈值点以上的 LD 特性,在工作区内为一直线,其斜率设为 K。

图中细实线表示反馈特性。众所周知,OBD 运转的重要因素之一是反馈非线性或反馈饱

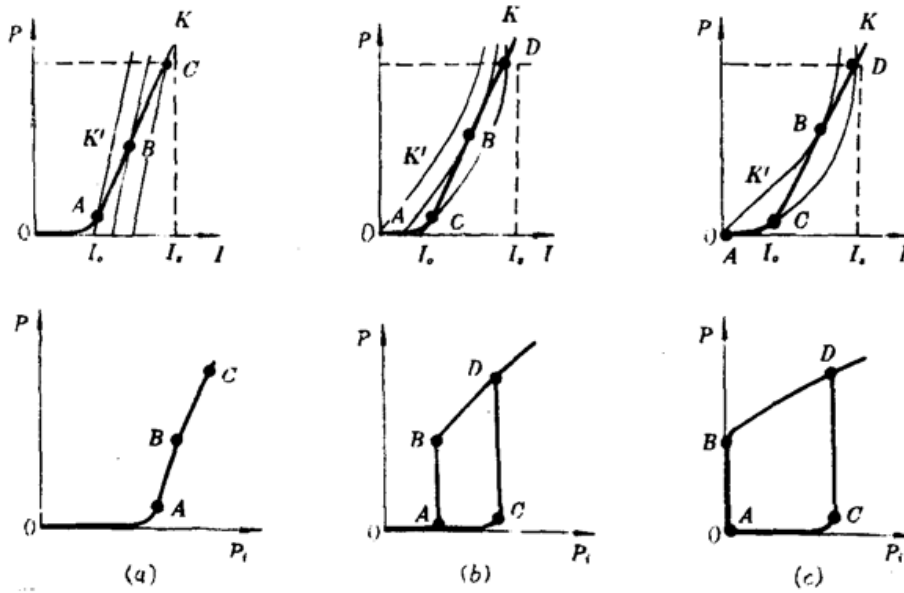


Fig. 2 Operation principle and modes of the device

和。本系统的饱和机制来自电流放大器 A 的增益饱和,而不是光电二极管的饱和。也就是说,光电二极管的探测过程是线性的,其输出光电流为:

$$i = S(P_i + fP) \tag{3}$$

这里 S 是 D 的灵敏度;而电流放大器 A 具有饱和特性,我们在文献[7] 中用下述函数描写:

$$I_f = G_i / (1 + i/I_s) \tag{4}$$

式中 G 为 A 的未饱和增益, I_s 为其饱和(输入)电流。于是,在同一个 $P-I_f$ 图上,反馈特性(4)是一组以 P_i 为参量的曲线族,具有初始斜率

$$K' = (GSf)^{-1} \tag{5}$$

此斜率与反馈系数 f 有关。由图可见,当

$$K < K' \quad \text{或} \quad f < (GSK)^{-1} \tag{6}$$

时,系统工作于微分增益模式(图 a),它适合于固定偏置(FOB, Fixed Optical Bias)光信号放大。相应的光信号增益为^[7]

$$G_f = [(GSK)^{-1} - f]^{-1} \tag{7}$$

加大反馈量,当

$$K > K' \quad \text{或} \quad f > (GSK)^{-1} \tag{8}$$

时,系统将呈现双稳特性并工作于双稳模式(图 b),它适合于脉冲偏置(POB, Pulse Optical Bias)光信号放大。适当选择脉冲光偏置点,可得光增益

$$G_r = \frac{1 - K'/K I_s}{(1 - \alpha)f I_s} \tag{9}$$

式中 α 应在能稳定工作的前提下尽可能接近于 1,以获得尽可能大的光增益。进一步加大反馈量,直至

$$f \geq \frac{1}{GSK(1 - 2 \sqrt{I_o/I_s})} \tag{10}$$

时,系统将工作于我们所称的零偏工作模式(图 c)。由于本系统是有源的,因而这种模式可用来实现无须偏置光的弱光对强光的控制和开关,这在实用上是有价值的。

4 实验结果

我们利用本系统成功地实现了光信号放大、光脉宽压缩、限幅、整形和光开关。实验结果由图3给出。其中图3(a)~(f)示出了上述三种工作模式的特性和工作时的输入—输出波形。图3(b),(d)和(f)中的三角波为输入光信号波形。我们从图3(d)和(f)中看到,它们已被整形和限幅为方波输出。这两个图还显示了OBD的开关作用:输入光较小时几乎无输出光,一旦超过了某个阈值,OBD开关就突然被打开,其后光强输出基本恒定,直到输入光低于某个阈值,光开关就突然截止。

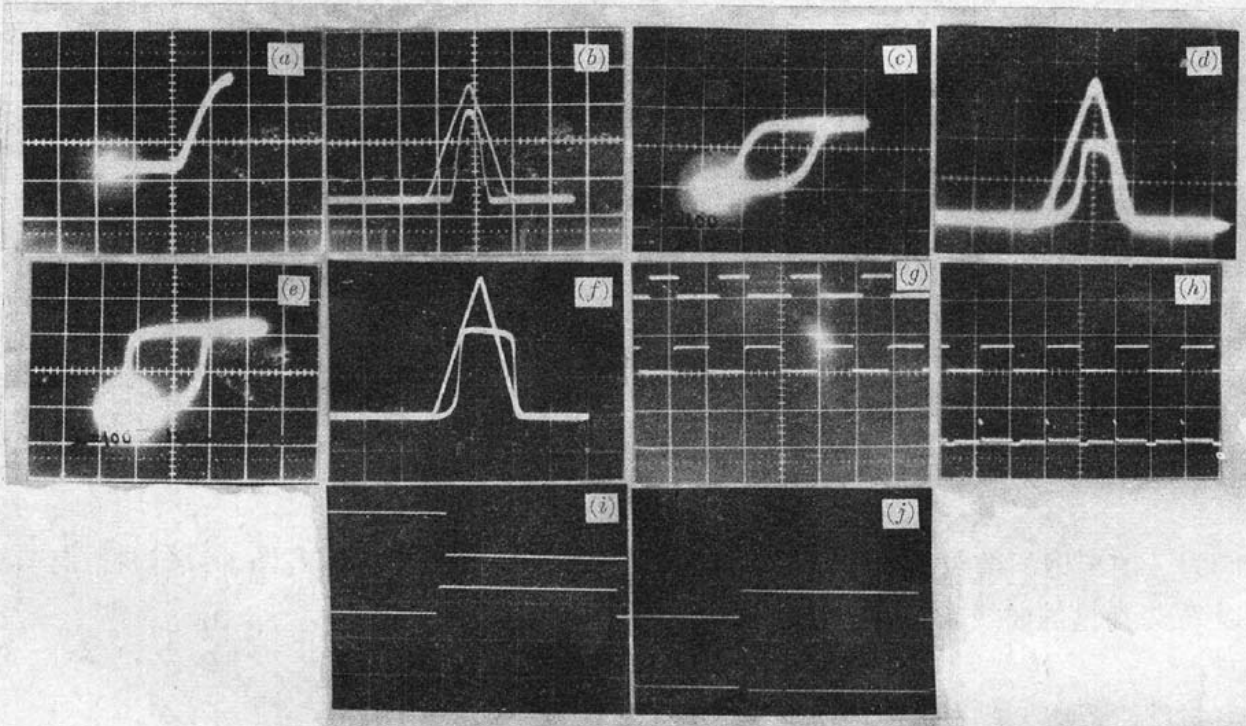


Fig. 3 Experimental waveforms

图3(g)~(j)为两组工作波形。由于实验中使用的是双踪示波器,所以每组波形中各三个波形分两次拍摄,其中中间那个被重复拍摄,以便作为相位参考。

图3(g)和(h)是POB光信号放大工作波形。其中,图(g)顶部是偏置光,峰—峰值约 $30\ \mu\text{W}$;图(g),(h)中部是信号光,峰—峰值约 $1.0\ \mu\text{W}$;图(h)下部为输出光,峰—峰值约 $180\ \mu\text{W}$,这样得到的光增益就是 $22.5\ \text{dB}$ 。注意到图中输出脉冲只在偏置和信号光同时为高光平时才为高光平。由于有意安排二者有一个相位差,所以被放大的输出光只有一个很小的占空比,亦即在放大的同时实现了约5倍的脉宽压缩和整形。POB光信号放大实质是利用了OBD的光与门功能实现的。正是这种与门功能还造成了图(h)输出光低光平区的一个小的起伏背景。那些最低的输出光平部位正好对应着输入光和偏置光同时为低电平的时间。

图(i)和(j)是本实验获得的最大脉冲压缩工作波形。其中,图(i)上部为偏置光(峰—峰值约 $30\ \mu\text{W}$);图(i),(j)中部为信号光(峰—峰值约 $18\ \mu\text{W}$);图(j)底部为输出光波形(峰—峰值约 $45\ \mu\text{W}$)。图中除脉宽压缩外,也显示了一个相伴随的不大的光增益。

参 考 文 献

- 1 张远程, 宋 骞, 中国激光, 15(6), 359(1988)

- 2 张远程, 宋 骞, 激光杂志, 9(4), 206(1988)
- 3 宋 骞, 张远程, 量子电子学, 5(3), 234(1988)
- 4 H. Inaba, *Phys. Lett.*, 86A(9), 452(1981)
- 5 小川详 *et al.*, 应用物理, 52(10), 877(1983)
- 6 K. Ohumure *et al.*, *Opt. Lett.*, 9(11), 519(1984); *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-21(4), 377(1985)
- 7 张远程, 宋 骞, 何绍伟, 中国激光, 19(9), 682(1992)

力科光电有限公司向国内外用户致意

力科光电有限公司是经营光电产品为主的专业公司,公司以优质的技术服务,最佳的品质服务于国内外用户,一个电话或一封信,您的需要就得到满足。

力科公司向您提供:

1. 非线性晶体: KTP, ADP, KDP, DKDP, LI, LBO 等和这些晶体制作的二倍频器、三倍频器、四倍频器、Q 开关等;
2. 用于微电子和光电子器件的衬底和外延片 (MOCVD 和 MBE);
3. 激光晶体: Nd: YAG, Nd: YVO₄, Nd: YAP, Cr: Mg₂SiO₄, Ti: Al₂O₃;
4. 声光晶体: LN, PbMoO₄, LT, TeO₂, Li₂B₄O₇;
5. 光学材料: CaF₂, BaF₂, MgF₂, NaCl, KBr, KCl;
6. 各种光学调整架,各种光学元件的夹具,激光电源,超微光摄像机, ZJD-003 型激光打孔机,激光图像通讯机, TXK 人体死后时间测定仪,便携式激光痕迹检查仪,便携式多波段激光痕迹检查仪,半导体激光报警器;
7. 提供您在济南的各种服务,如住宿,车票,接待。车票请提前四天电告 831365。力科公司将在全国各地招聘业务员,愿者请来信来电,待遇从优。
8. 力科公司愿与各界同仁通力合作,可为厂矿、企业推销产品,请寄说明书和合作意向。

力科光电有限公司
 济南市七里河路 32 号
 邮 编: 250100
 联系人: 祁建平
 传 真: 0531—837760
 电 话: 0531—831365

上海联系电话: 4701390—207 陈以超
 9534890—262 冯贤平
 传真: (021)9528885
 北京联系电话: 7711177—722 李 港
 传真: 7714088