

光电反馈主动锁模

余 尽 高以智

(清华大学无线电电子学系, 100084)

提要: 本文报道采用光电反馈法实现半导体激光器的主动锁模。在反馈环大增益工作状态下, 得到了宽度为 17.7 ps、重复频率为 926 MHz、峰值功率为 80 mW 的超短脉冲输出。

关键词: 光电反馈, 锁模, 半导体激光器

Active mode-locking in semiconductor lasers with opto-electronic feedback

Yu Jin, Gao Yizhi

(Department of Information and Electronics, Tsinghua University, Beijing)

Abstract: Active mode-locking in semiconductor lasers has been obtained by means of opto-electronic feedback with pulses of 17.7 ps, pulse repetition rate of 926 MHz and peak power of 80 mW.

Key words: opto-electronic feedback, mode-locking, semiconductor laser

一、引 言

半导体激光器因其小尺寸及可实现高速调制而获得广泛的应用, 超短脉冲半导体激光器在超快速光电子学等领域有着重要的应用前景。由半导体激光器获得超短脉冲的几种方法中, 采用主动锁模方法易于获得稳定、可调节的光脉冲输出。但是它通常需要一个功率较大的微波信号源, 并需对信号源输出的信号频率进行精细调节使之等于光在外腔激光器谐振腔中的往返频率。采用光电反馈环可以实现半导体激光器的主动锁模, 并能克服上述缺点, 因而使主动锁模装置更简单、更易于调节。本文报道采取这种方法进行主动锁模实验的结果及分析。

二、实验装置

光电反馈主动锁模激光器实验装置如图 1 所示。外腔半导体激光器输出的光脉冲信号经光电二极管转化为电信号, 电信号经微波功率放大器放大并经微波移相器、定向耦合器及阻抗匹配器注入激光二极管(LD), 以构成一个光电反馈环。其中外腔激光器由 LD、自聚焦透镜及

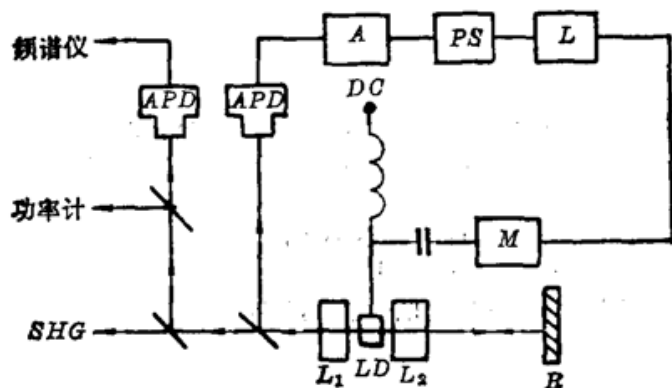


图1 光电反馈主动锁模实验装置

A—微波功率放大器；PS—移相器；L—可变衰减器；M—阻抗匹配器；
L₁—输出透镜；L₂—自聚焦透镜；R—全反射平面镜；APD—雪崩光电二极管；SHG—二次谐波强度自相关装置

平面反射镜组成。放大器与可调衰减器构成可调增益放大器。在 600 MHz 到 1200 MHz 范围内反馈环增益可在 10~60 dB 范围内变化。移相器用于改变电信号的延迟时间，从而改变馈入 LD 的电信号与由外腔反射到 LD 的光信号间的相位差。本装置中使用的移相器的相移量为 0~344°。电信号由微带阻抗匹配器馈入 LD。输出光脉冲的微波谱及脉冲宽度分别由频谱仪及二次谐波强度自相关装置测量。

三、光电反馈主动锁模机理

光电反馈环有小增益及大增益两种工作状态。实验发现这二种工作状态下产生主动锁模的过程有所不同。当反馈环增益小于 30 dB 时，环中的电脉冲信号是由外腔激光器诱导自脉动光信号转变而来。当 LD 与平面反射镜组成外腔后，不管 LD 自身是否有自脉动，均能产生诱导自脉动^[1,2]。图 2(a) 是当外腔长 $L=159$ mm，直流偏置电流 $I_D=1.12 I_{th}$ (I_{th} 是激光器的阈值电流) 时的外腔诱导自脉动频谱图。自脉动的频率等于光在外腔中的往返频率 (即相邻纵模的频率间隔)。反馈到 LD 的调制电流频率与此相等。每一个纵模调制后产生的边频导致的注入锁定效应使诸纵模相位锁定，从而实现主动锁模。调节微波移相器的相移量可使馈入 LD 的电信号和由平面反射镜反馈到 LD 的光信号达到最佳相位匹配，此种状况下调制最有效，可得最佳锁模脉冲。图 2(b) 是反馈环增益为 30 dB，延时调节至最佳状态下的输出光脉冲频谱。与无反馈的情况相比，幅度大为提高，微波谱宽大为压窄。

当光电反馈环的增益大于 30 dB 时，反馈环中形成电自激振荡。图 3(a) 是在增益为 50 dB、 $I_D=1.12 I_{th}$ 、 $L=159$ mm 时的光信号频谱图。频谱线分布在数百兆赫范围内。自激信号的频率为 $f_n=n/T$ ，其中 T 是环延时， $n=1, 2, 3, \dots$ 。不同频率的信号强度由反馈环中各器件的频响特性决定。改变移相器的延时，可使自激信号的频谱发生改变。若使某一谱线频率接近光在外腔中往返频率并使电反馈与外腔光反馈达到最佳相位匹配时，该频率电信号及光信号均大大增强。此频率的光脉冲经过 LD 时激起的强烈受激辐射使 LD 内的载流子密度急剧下降，当其它频率的光脉冲经过 LD 时则由于载流子已被耗尽而不能得到有效放大。这一过程的发展最终使其它频率的光信号与电信号均被抑制，在光电反馈环中只存在频率等于光在外

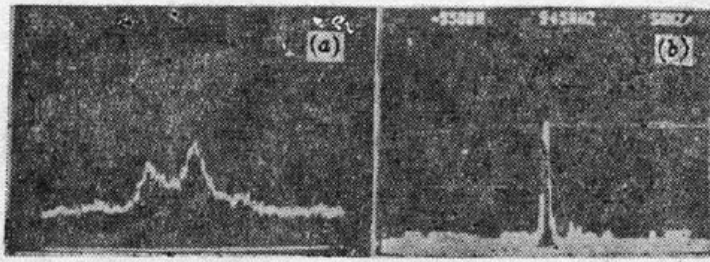


图 2 光脉冲微波谱 ($I_D=1.12I_{th}$, $L=159\text{mm}$)

(a) 无光电反馈时的外腔诱导自脉动;

(b) 反馈环增益 30dB

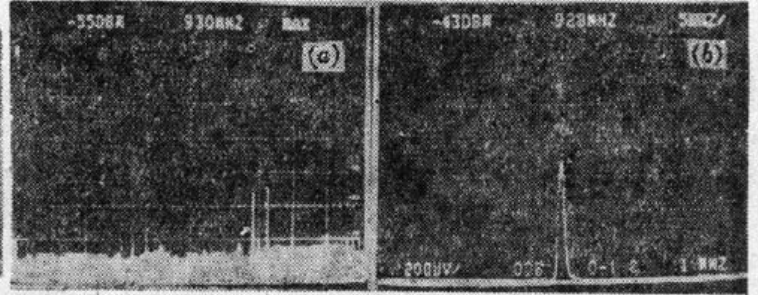


图 3 反馈环增益为 50 dB 时的光信号微波频谱

($I_D=1.12I_{th}$, $L=159\text{mm}$)

(a) 自激状态; (b) 主动锁模

腔中往返频率的脉冲信号, LD 调制电流的频率恰好等于相邻模频率间隔, 从而实现主动锁模。图 3(b) 为此状态下光脉冲的微波频谱图。

四、实验结果

用二次谐波自相关装置测量脉冲宽度。实验中测出外腔诱导自脉动的宽度约为 100~200 ps。在反馈环小增益状态下, 由于反馈调制电流弱, 调制产生的边频强度不够强, 未能获得很好的锁模状态, 故一般只能得到较宽的脉冲, 典型的脉冲宽度约 50 ps。在反馈环大增益状况下, 反馈调制电流较大, 可得窄脉宽、高峰值功率的脉冲。图 4 为反馈环增益 50 dB、 $I_D=1.12I_{th}$ 、腔长 $L=159\text{mm}$ 时光脉冲的二次谐波自相关曲线。由自相关曲线读出其宽度 $\Delta\tau=25\text{ps}$, 将脉冲视为高斯形, 则光脉冲的宽度 $\Delta t=\Delta\tau/\sqrt{2}=17.7\text{ps}$ 。相关曲线主峰两侧各有一次峰, 这是光脉冲的尾随脉冲引起的。由频谱仪读出脉冲重覆频率为 926 MHz。由功率测量得知峰值功率约为 80 mW。LD 两端面反射造成的复合腔效应使锁模不完全, 因而导致自相关曲线上有亚结构。

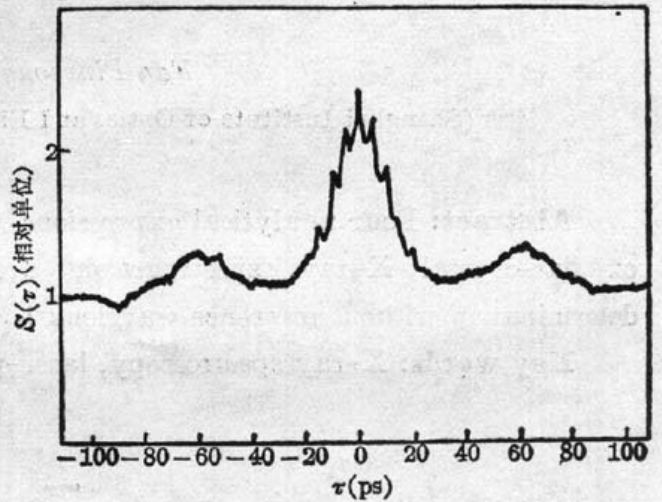


图 4 光电反馈主动锁模光脉冲的二次谐波自相关曲线(反馈环增益 50dB)

$S(\tau)$ —二次谐波自相关曲线; τ —相关器两臂相对延时

参 考 文 献

- 1 L. Figueroa, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17** (6), 1074(1981)
- 2 高以智 *et al.*, 激光杂志, **9**(2), 106 (1988)