

06.2;06.3;07

©1993

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ГЕНЕРАТОР ДВОИЧНЫХ СЛОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ПИКОСЕКУНДНЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ ИМПУЛЬСАМИ

*Е.И.Андреева, А.С.Шербаков, И.Э.Бершнев,
Ю.В.Ильин, И.С.Тарасов*

Уже в течение ряда лет ведутся работы по созданию и исследованию полупроводниковых источников сверхкоротких импульсов, пригодных для экспериментов с оптическими солитонами. Так, в частности, удалось сформировать непрерывные последовательности пикосекундных солитонообразующих импульсов на длинах волн 1.32 и 1.55 мкм при использовании IbGaAsP -гетеролазеров в режиме активной синхронизации мод внешнего волоконного резонатора [1,2]. Такие источники оптических импульсов могут быть использованы для исследования процесса формирования и распространения оптических солитонов в одномодовых световодах. Однако следующий шаг — макетирование высокоскоростных волоконно-оптических линий связи и передача кодированных посылок по световоду, — требует применения еще и внешних модуляторов, вносящих в настоящее время слишком большие, до 10 дБ, оптические потери, неприемлемые для формирования солитонных носителей информации.

В данном сообщении представлены результаты работ по исследованию полупроводникового генератора периодически повторяющихся кодированных посылок — двоичных слов, сформированных из солитонообразующих сверхкоротких оптических импульсов. Генератор реализован на основе одномодового InGaAsP — гетеролазера с внешним волоконным резонатором. Режим формирования оптических цифровых сигналов осуществлялся в процессе активной синхронизации мод протяженного внешнего резонатора с помощью подачи в цепь питания лазера как постоянного тока накачки, так и электрического сигнала символьной модулирующей последовательности от внешнего генератора цифрового кода (рис. 1).

Явление синхронизации мод можно рассматривать на основе представления о циркуляции оптического импульса в лазерном резонаторе. В установившемся режиме процесс активной синхронизации мод описывается однородным

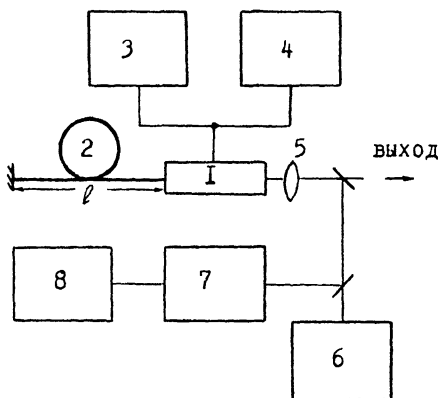


Рис. 1. Функциональная схема пикосекундного полупроводникового генератора двоичных слов: 1 — InGaAsP — гетеролазер, 2 — внешний волоконный резонатор, 3 — источник постоянного тока, 4 — генератор цифрового кода, 5 — коллиматор, 6 — коррелятор, 7 — скоростной фотоприемник, 8 — стробоскопический осциллограф.

уравнением вида [3]

$$\hat{D}(t)A(t) = 0, \quad (1)$$

где \hat{D} — дифференциальный оператор, осуществляющий преобразование огибающей оптического импульса $A(t)$. Этот факт допускает аддитивное наложение нескольких процессов синхронизации мод, что достигается наложением нескольких внешних периодических модуляций, причем динамика формирования импульсов, соответствующих различным модуляциям, может быть различной. Наложение нескольких процессов синхронизации мод можно представить суммой соответствующих операторов $\hat{D} = \sum_{k=1}^N \hat{D}_k$, отвечающих различным периодическим модуляциям. В случае отсутствия взаимного влияния модуляций друг на друга, в частности, из-за разнесенности их во времени, реализуется N независимых процессов активной синхронизации мод, и уравнение (1) может быть переписано в виде совокупности независимых уравнений вида

$$\hat{D}_k(t)A_k(t) = 0, \quad (2)$$

где $A_k(t)$ — огибающая k -го оптического импульса в последовательности, формирующегося под действием k -й внешней периодической модуляции. Из (2) следует, что для каждого процесса синхронизации мод в отдельности можно

воспользоваться известными соотношениями [3] для описания динамики формирования каждого оптического импульса независимо.

Аддитивная синхронизация мод может осуществляться совокупностью сдвинутых по фазе электрических воздействий, имеющих одинаковую частоту повторения ω_m :

$$I(t) = I_0 + \sum_{k=1}^N I_k \cos^{2n}(\omega_m t - \varphi_k), \quad (3)$$

где $n \gg 1$, I_0 — амплитуда постоянного тока накачки, I_k — амплитуда тока k -ой модуляции, $\varphi_k = \pi k/N$ — фазовый сдвиг. Модулирующее воздействие вида (3), по сути, является модуляцией информационным сигналом, так что в результате формируется периодически повторяющаяся кодированная посылка из N оптических импульсов, в которой символу "0" в k -м разряде соответствует значение $I_k = 0$, а символу "1" — значение $I_k = I_{k0}$. Условие независимости отдельных процессов синхронизации мод требует, чтобы временные интервалы между фазами усиления от различных модуляций были достаточными для восстановления усиления в полупроводниковой структуре. В предположении эквидистантности последовательности внешних модуляций, частота модуляции ω_m ограничена неравенством

$$\omega_m < \frac{1}{N\tau_1}, \quad (4)$$

где τ_1 — время жизни носителей. Существенную роль играет оптимальный выбор показателя степени n в (3). При $n \gg 1$ обеспечивается усиление в короткий по сравнению с периодами повторения импульсов отрезок времени $t_m = \sqrt{2/n\omega_m^{-1}}$, а в остальные моменты времени модуляция близка к нулю. Поэтому при $\varphi_k - \varphi_{k-1} > \omega_m t_m = \sqrt{2/n}$ различные периодические модуляции накладываются независимо. Удобство выбранного в виде (3) представления полной модуляции состоит также в том, что вблизи максимума усиления сигнал каждой модуляции может быть аппроксимирован квадратичным законом, что позволяет анализировать задачу в приближении режима слабой синхронизации мод. Используя последнее обстоятельство, а также ограничиваясь учетом вклада лишь пары ближайших соседних импульсов при оценке контраста полного сигнала модуляции, можно определить диапазон оптимальных значений $n = 10^4 \dots 10^5$. Далее, на основании расчетных соотношений работы [2], удастся оценить параметры формирующихся в

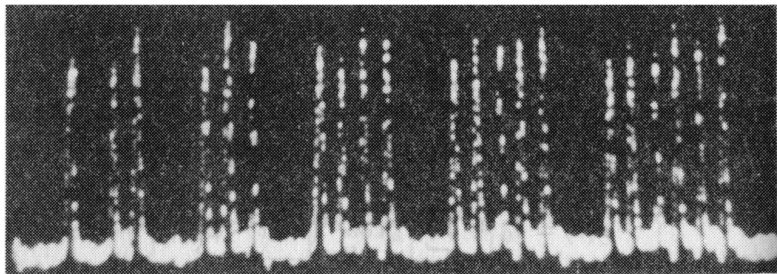


Рис. 2. Цифровая посылка пикосекундных оптических импульсов, содержащая 32 разряда. Частота повторения битовых импульсов 80 МГц.

генераторе оптических импульсов с гауссовой огибающей. При частоте следования импульсов $f = \omega_m N / 2\pi = 10^8$ Гц их длительность составляет 5 пс, а параметр частотной модуляции не превышает $3 \cdot 10^{18} \text{ с}^{-2}$.

В лабораторном макете пикосекундного генератора двоичных слов на основе InGaAsP — гетеролазера (рис. 1) длина внешнего волоконного резонатора l выбиралась исходя из необходимого числа N символов в последовательности и частоты следования f битовых импульсов:

$$N = 2n_{\text{в}} c^{-1} l f. \quad (5)$$

где c — скорость света $n_{\text{в}} \simeq 1.5$ — показатель преломления сердцевинны кварцевого волоконного световода. При условии удержания в резонаторе 64-разрядных двоичных слов при $f = 80$ МГц получаем $l = 80$ м. Ширина полосы синхронизации δf определяет границы допустимых отклонений длины резонатора δl от оптимального значения

$$\delta l = \frac{Nc}{2n_{\text{в}} f^2} \delta f. \quad (6)$$

Так, при $f = 80$ МГц, $N = 64$, $\delta f = 100$ кГц и $l = 80$ м расчетное значение составляет $\delta l \simeq 10$ см, что подтвердилось в ходе экспериментов.

Созданный макет генератора формирует устойчивые кодированные посылки сверхкоротких оптических импульсов с частотами повторения битовых импульсов в двоичном слове от 30 до 80 МГц. На рис. 2 представлена 32-разрядная кодированная посылка пикосекундных оптических импульсов на длине волны 1.32 мкм, зарегистрированная с временным разрешением около 3 нс. Длительность отдельного битового импульса, измеренная по автокорреляционной

методике, составила 8.5 пс. Пиковая мощность импульсов около 1 Вт. Электронная перестройка генератора пикосекундных оптических импульсов осуществляется набором соответствующего двоичного числа на задающем генераторе электрического модулирующего сигнала. Максимальная реализованная разрядность двоичных слов в экспериментах составила 32 при частоте следования импульсов 80 МГц, что обусловлено возможностями генератора электрического модулирующего сигнала Г5-61 и не представляет собой какого-либо принципиального ограничения.

Таким образом, создан и исследован высокочастотный полупроводниковый генератор двоичных слов, образованных пикосекундными оптическими импульсами. Параметры сверхкоротких импульсов позволяют формировать кодированные посылки оптических солитонов в протяженных волоконных световодах. Описанный генератор может быть использован как имитатор цифровых сигналов при макетировании высокоскоростных солитонных волоконно-оптических линий связи.

Список литературы

- [1] Князев И.А., Щербаков А.С., Ильин Ю.В., Рассудов Н.Л., Тарасов И.С. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 3. С. 14-17.
- [2] Андреева Е.И., Щербаков А.С., Бершнев И.Э., Ильин Ю.В., Тарасов И.С. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 24. С. 23-28.
- [3] Полупроводниковые инжекционные лазеры. Динамика, модуляция, спектры. // Под ред. У.Есанга. М.: Радио и связь, 1990. 320 с.

Санкт-Петербургский
государственный технический
университет

Поступило в Редакцию
8 июля 1993 г.

