

06.2; 06.3; 07

© 1992

ГЕНЕРАЦИЯ ПИКΟΣЕКУНДНЫХ ( $\tau = 1.7$  пс)  
ИМПУЛЬСОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В  $InGaAsP/InP$   
( $\lambda = 1.535$  мкм) ГЕТЕРОЛАЗЕРЕ СО СВЕРХБЫСТРЫМ  
НАСЫЩАЮЩИМ ПОГЛОТИТЕЛЕМ

А.И. Г у р и е в, А.Б. Г р у д и н и н,  
А.Г. Д е р я г и н, С.В. З а й ц е в,  
Д.В. К у к с е н к о в, В.И. К у ч и н с к и й,  
Е.Л. П о р т н о й, И.Ю. Х р у щ е в

В настоящее время значительный интерес привлекает исследование физики генерации в лазерных диодах с областями сверхбыстрого насыщающегося поглотителя (НП). В работе [1] сообщалось о получении режима модуляции добротности в  $InGaAsP/InP$  инжекционном лазере с НП, работающем в спектральном диапазоне 1.5–1.6 мкм. Наличие пикового режима генерации контролировалось с помощью  $InGaAs$   $p-i-n$  фотодиода с разрешением 70 пс, а длительность одиночного импульса в цуге, оцененная по интенсивности излучения второй гармоники, составила  $\approx 20$  пс. Прямая регистрация формы световых импульсов такой длительности возможна только с применением высокоскоростной электронно-оптической камеры (ЭОК). Однако фотокатоды большинства современных ЭОК имеют слабую чувствительность в спектральном диапазоне 1.5–1.6 мкм. В настоящей работе усилитель на основе активных волоконных световодов (АВС), легированных ионами эрбия [2], был использован для промежуточного усиления импульсов излучения лазерного диода с последующей их регистрацией на ЭОК.

Объектом исследования служил инжекционный мезаполосковый  $InGaAsP/InP$  лазер с шириной полоска  $\approx 4$  мкм и длиной резонатора 250 мкм. На задний торец лазерного диода было нанесено диэлектрическое зеркало с коэффициентом отражения  $\approx 95\%$ . Области сверхбыстрого насыщающегося поглотителя были сформированы имплантацией ионов  $N^{3+}$  со стороны зеркал на глубину  $\approx 10$  мкм [3]. Накачка лазерного диода производилась импульсами тока длительностью 1.5 нс. Амплитуда импульсов тока накачки подбиралась для устойчивого получения однопикового режима генерации, наличие которого контролировалось с помощью  $p-i-n$  фотодиода. Частота повторения импульсов накачки варьировалась от 0 до 100 кГц и была ограничена возможностями схемы накачки.

Спектральные зависимости регистрировались с помощью решеточного монохроматора с разрешением 0.2 нм. Как можно видеть из рис. 1, а, спектр излучения лазерного диода имел ширину  $\approx 11$  нм и максимум на длине волны  $\lambda_{max} = 1.535$  мкм, что позволяло

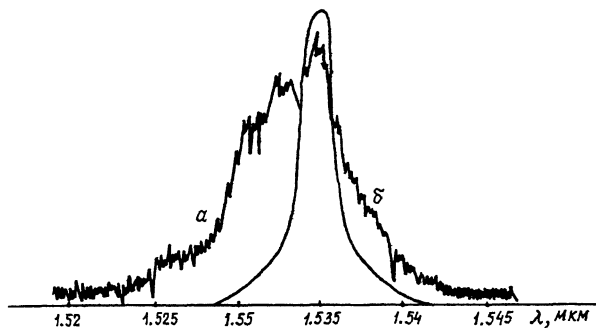


Рис. 1. Спектры импульсов до (а) и после (б) усиления в АВС. Масштаб интенсивности произвольный.

эффективно усилить значительную часть этого излучения в АВС. Для усиления использовался двухкаскадный волоконный усилитель с длиной 19 м ( $17+2$  м) и полным усилением 36 дБ (22+14 дБ). В усилитель через дихроичное зеркало вводилось около 10% полной мощности излучения лазерного диода, прошедшего 20-дБ оптический изолятор. Форма усиленных импульсов излучения регистрировалась с помощью ЭОК с разрешением 1 нс.

На рис. 2 приведены треки ЭОК, демонстрирующие типичную форму выходных импульсов излучения. Длительность одиночного импульса составила  $\tau = 1.7 \pm 0.3$  пс. Период повторения импульсов в пуле  $T = 5.5 \pm 0.6$  пс соответствовал времени двойного обхода светом лазерного резонатора, что позволяет предположить наличие режима синхронизации мод. Ранее было показано, что области НП, сформированные имплантацией тяжелых высокоэнергетичных ионов, имеют малое время релаксации поглощения (единицы пикосекунд), что позволяет реализовать режим пассивной синхронизации мод в собственном резонаторе полупроводникового инжекционного лазера [4]. Однако режим пассивной синхронизации мод характеризуется обычно значительным временем формирования, по крайней мере в несколько раз большим, чем время двойного прохода резонатора светом. Поэтому неожиданным для нас оказалось получение в значительном числе треков ЭОК квазиодноимпульсной картины выходного излучения (рис. 2.3). Пока не совсем ясно, какие именно физические процессы приводят к столь быстрому (за 1–2 прохода) формированию пикосекундных импульсов излучения в исследованном лазере. Не ясно также, является ли этот процесс случайным или может быть воспроизведен устойчиво при подборе соответствующих условий эксперимента.

Ширина спектра усиленных импульсов излучения составила  $\approx 2$  нм (рис. 1, б). Произведение ширины спектра на длительность импульса  $\Delta \nu \cdot \tau \approx 0.41$ , что указывает на спектральную ограниченность

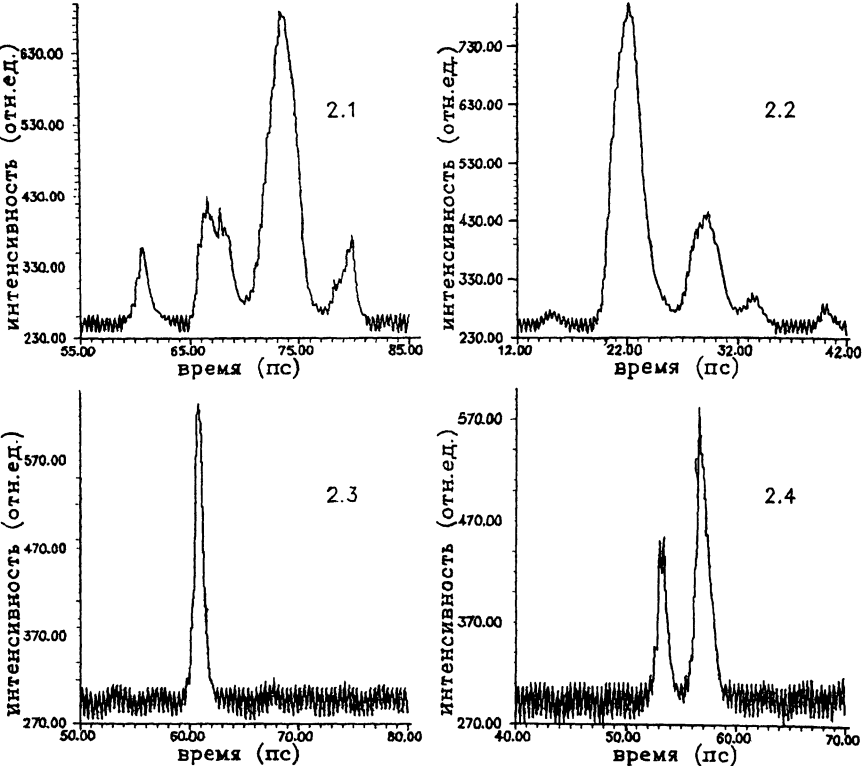


Рис. 2. Треки ЭОК, демонстрирующие типичную форму усиленных импульсов излучения.

2.1, 2.2 – без изоляции между лазерным диодом и АВС, 2.3, 2.4 – изоляция 20 Дб.

последней. Проведенное численное моделирование показало, что уменьшение длительности импульса за счет нелинейных и дисперсионных эффектов в волоконном усилителе длиной 1-9 м не могло иметь места. В то же время весьма вероятным было увеличение исходной длительности импульсов в процессе усиления за счет спектральной фильтрации, поскольку спектральная ширина полосы усиления АВС по крайней мере в четыре раза меньше ширины спектра излучения, генерируемого лазерным диодом. Таким образом, истинная длительность генерируемых лазером импульсов могла находиться в пределах  $\tau = 0.4-1.7$  пс.

Изъятие из схемы эксперимента оптического изолятора между лазерным диодом и волоконным усилителем приводило к существенному ухудшению параметров усиленных импульсов (рис. 2.1 и 2.2). По-видимому, дело в том, что спонтанное излучение АВС, сфокусированное на переднем зеркале лазера, приводит к заметному снижению порога просветления НП.

Отметим, что для одиночного выходного импульса излучения в экспериментах была получена мощность  $P = 20$  Вт. Пиковая мощность фундаментального солитона длительностью 1,7 пс в волокне с поперечным сечением  $70 \text{ мкм}^2$  и хроматической дисперсией  $15 \text{ пс}/(\text{нм} \cdot \text{км})$  составляет 12 Вт. Это означает, что достигнутая мощность достаточна для получения солитонного режима распространения.

Таким образом, в настоящей работе сообщается о генерации и регистрации формы 1,7 пс-импульсов излучения в  $\text{InGaAsP}/\text{InP}$  лазерном диоде со сверхбыстрым насыщающимся поглотителем.

В заключение авторы благодарят А. В. Белова, Д. Д. Гусовского и В. Ф. Хопина за предоставленные образцы АВС, М. П. Сошникова за существенную помощь в монтаже лазерных диодов, а также Г. М. Гусинского за проведение имплантации на циклотроне.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Волков Л. А., Гурьев А. И., Данильченко В. Г., Дерягин А. Г., Куксенков Д. В., Кучинский В. И., Смирницкий В. Б. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 13. С. 6-9.
- [2] Khrushchev I. Yu., Grudin A. V., Dianov E. M. et. al. // Electronics letters. 1990. V. 26. P. 456-458.
- [3] Алферов Ж. И., Журавлев А. Б., Портной Е. Л., Стельмах Н. М. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 18. С. 1093-1098.
- [4] Portnoi E. L., Shel'nikov A. V. XII International Conference on Semiconductor Lasers. Davos, Switzerland, 1990. Conference Digest. P. 140-141.

Физико-технический  
институт им. А. Ф. Иоффе,  
С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
26 декабря 1991 г.