

06.3; 07

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОЛАЗЕРОВ С НАСЫЩАЮЩИМСЯ ПОГЛОТИТЕЛЕМ, ПОЛУЧЕННЫМ ГЛУБОКОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ

Е.Л. Портной, Н.М. Стельмах,
А.В. Челноков

1. В последние десятилетие резко возрос интерес к полупроводниковым излучателям сверхкоротких импульсов. Во-первых, из-за возможности создать высокоскоростные линии связи. Во-вторых, из-за перспектив, связанных с заменой электронов фотонами в вычислительных устройствах. Как следствие этого немаловажное значение приобрели задачи метрологического обеспечения быстродействующего опто-электронного оборудования (проверка быстрых фотоприемников, калибровка стрик-камер и т.д.), задачи создания оптических и электронных устройств с временным разрешением лучше 20 пс и другие.

В настоящее время наиболее простым и удобным для применений методом получения пикосекундных импульсов света из полупроводникового лазера является метод модуляции добротности, т.к. пока современные методы синхронизации мод требуют существенно более сложных технологических и технических решений. В отличие от твердотельных и газовых лазеров, в которых пикосекундные импульсы могут быть получены лишь в режиме синхронизации мод, в инжекционных лазерах возможна генерация столь коротких сигналов и в режиме модуляции добротности. Это обусловлено на несколько порядков меньшей длиной лазерного резонатора и существенно большим усилением активной среды полупроводникового лазера.

Известны различные методы осуществления модуляции добротности и получения в этом режиме коротких импульсов. Прежде всего это методы прямой модуляции усиления активной среды, а также способ внутренней модуляции добротности с помощью введенного в резонатор насыщающегося поглотителя. В настоящее время все большее внимание уделяется именно этому способу получения коротких импульсов, т.к. с его помощью удается генерировать импульсы с рекордными параметрами.

В работе [1] продемонстрирована возможность получения пикосекундных импульсов с длительностью около 10 нс при помощи введения насыщающегося поглотителя путем глубокой имплантации тяжелых ионов. В отличие от метода [2], создающего насыщающий поглотитель протонной бомбардировкой, облучение тяжелыми ионами, по мнению авторов, создает поглотитель с особыми свойствами: малым временем релаксации, высокой эффективностью просветления и значительно более высокой временной стабильностью, благодаря которым и достигаются рекордные результаты.

В данной работе сопоставляются характеристики неимплантированных, имплантированных ионами кислорода или азота и имплантированных протонами гетеролазеров как генераторов пикосекундных оптических импульсов. Обсуждаются оптимальные условия эксплуатации подобных лазеров и предельные возможности, достигаемые в каждом случае.

2. В качестве исходных структур использовались $AlGaAs$ непрерывные ДГС лазеры с толщиной активного слоя 0.15–0.20 мкм и шириной полоскового контакта около 15 мкм. Резонаторы гетеролазеров имели длину порядка 200–210 мкм. Исходные пороговые токи составляли 80–120 мА. Длина волны излучения находилась в пределах 815–845 нм.

3. Параметры насыщающегося поглотителя, вводимого в активную область, должны удовлетворять нескольким соображениям.

Кривая поглощения $GaAs$ имеет максимальную производную при значении поглощения на уровне $2-3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$ [3], поэтому для наиболее эффективной работы поглотитель должен использоваться именно в этой области спектра поглощения.

С другой стороны, для обеспечения не слишком большого увеличения порогового тока необходимо, чтобы абсолютные потери, вносимые поглотителем, были порядка собственных потерь, т.е.:

$$g \cdot L \approx \alpha \cdot l;$$

обычно $g - 100 \text{ см}^{-1}$, $L - 200 \text{ мкм}$, $\alpha \approx 2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$, длина поглотителя l должна быть порядка 10 мкм.

Кроме того, немаловажным моментом, влияющим на эффективность работы поглотителя и на величину паразитного сброса инверсии вследствие усиления спонтанного излучения, является место введения поглотителя в лазерный резонатор.

Учитывая выше сказанное, нами создавались два типа приборов — с облучением структуры со стороны одного из зеркал на глубину 7–10 мкм и с облучением с двух сторон на ту же глубину.

В качестве имплантируемых ионов использовались ионы азота и кислорода с энергией около 17 МэВ, а также протоны с энергией 1 МэВ. Исползованные значения энергии обеспечивали проникновение частиц на заданную глубину 10 мкм. Оптимальная доза облучения (с точки зрения получения устойчивого „пикового“ режима) для ионов азота и кислорода, как оказалось, составляет 10^{12} ион/см², а для протонов — $3 \cdot 10^{13}$ ион/см². Следует отметить, что в работе [2] оптимальной дозой для облучения протонами считается доза 10^{15} ион/см². Подобное несоответствие, по-видимому, объясняется различными условиями термической обработки после облучения. Ионный ток выбирался минимально возможным для получения стабильных температурных условий имплантации и составлял 1–10 нА. Для подавления возможного эффекта каналирования плоскость облучаемого зеркала гетеролазера располагалась под небольшим углом (0–20°) к оси пучка, однако корреляции величины угла облучения с результатами облучения обнаружить не удалось.

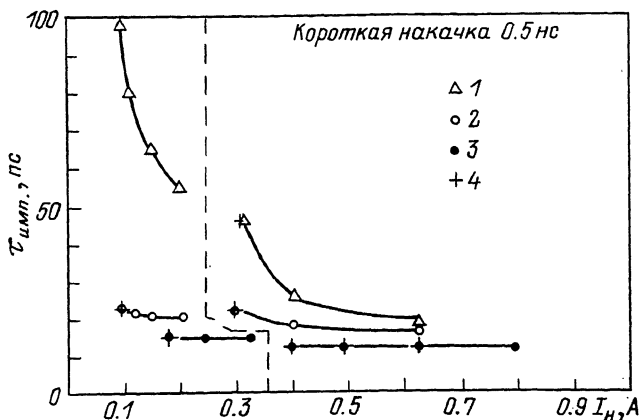


Рис. 1. Зависимость длительности генерируемого гетеролазером первого пика от амплитуды импульса накачки при двух значениях скорости накачки. 40 В/200 пс·50 Ом и 10 В/2 нс·50 Ом: 1 – неимплантированная структура, 2 – имплантированная с одной стороны, 3 – имплантированная с двух сторон, 4 – режим генерации моноимпульса.

4. При исследовании динамических характеристик основное внимание уделялось длительности и мощности излучаемого импульса. Измерения проводились при помощи стрик-камеры с системой автоматической регистрации и обработки видеoinформации. Временное разрешение комплекса составляло 1.6 пс. Каждое измерение временной зависимости интенсивности импульса калибровалось по энергии, измеряемой фотодиодом ФД-24К.

Для адекватного сопоставления динамических свойств имплантированных и неимплантированных гетеролазеров измерения длительности и мощности проводились в условиях «короткой» и «длинной» накачки (длительность электрических импульсов накачки около 0.5 и 5 нс соответственно). Регулировка амплитуды накачивающих импульсов осуществлялась ступенчатым аттенюатором с диапазоном регулирования 0–41 дБ и полосой пропускания 7 ГГц.

На рис. 1, 2 представлены результаты измерений длительности и мощности оптических импульсов, генерируемых неимплантированными и по-разному имплантированными ионами азота гетеролазерами в условиях питания электрическими импульсами с длительностью порядка времени жизни неосновных носителей заряда. Из рисунков видно, что имплантация (как односторонняя, так и двусторонняя) приводит к резкому изменению динамических свойств гетеролазера.

1. Длительность генерируемого импульса уменьшается до 10 пс, а мощность увеличивается до 1–2 Вт.

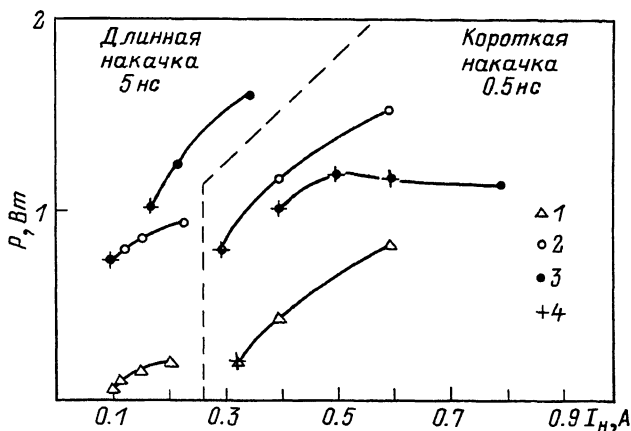


Рис. 2. Зависимость мощности генерируемого лазером первого пика от амплитуды накачки при двух значениях скорости накачки. 40 В/200 пс-50 Ом и 10 В/2 нс-50 Ом: 1 - неимплантированная структура, 2 - имплантированная с одной стороны, 3 - имплантированная с двух сторон, 4 - режим генерации моноимпульса.

2. Длительность и мощность генерируемого импульса становится практически независимой от амплитуды и длительности импульса питания.

3. При имплантации, в особенности при двусторонней, расширяется токовый диапазон генерации одиночного пика вплоть до 3-4 дБ при коротких импульсах питания.

Для объективного сравнения результатов протонного и ионного облучения необходимо достаточно большое количество экспериментальных образцов с максимально близкими исходными параметрами, т.к. существует значительный разброс выходных параметров облученных лазеров. Обеспечить подобные условия сравнения в проводимых экспериментах не удалось, однако представляется допустимым сравнить предельные параметры импульсов, которые были достигнуты при протонном облучении и имплантации ионами. Обобщая результаты исследований нескольких десятков образцов, полученных протонной имплантацией, с результатами ионного облучения, можно сказать, что облучение протонами дает практически одинаковые или несколько худшие (в 1.5 раза) параметры генерируемых импульсов.

В ходе проводимых экспериментов были созданы гетеролазеры с длительностью оптического импульса 5.5 пс и энергией около 20 пДж. Необходимо отметить, что подобная длительность импульса составляет величину порядка времени одного полного прохода света в резонаторе лазерного диода длиной 210 мкм.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Ж.И. Алфёрова за постоянное внимание и поддержку работы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алфёров Ж.И., Портной Е.Л., Стельмах Н.М., Журавлев А.Б. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 18. С. 1097-1098.
- [2] Vander Ziel J.P., Tsang W.T., London R.A., Mikulyak R.M., Augustinyak W.M. // Appl. Phys. Lett. 1981. V. 39(7). P. 525.
- [3] Sturge T.D. // Phys. Rev. 1962. V. 127. N 4. P. 768-773.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
24 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 11 12 июня 1989 г.
06.3; 07

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ВРМБ УСИЛИТЕЛЯ ПРИ СИЛЬНОМ ИСТОЩЕНИИ НАКАЧКИ

А.А. Фотиади, Е.А. Кузин,
М.П. Петров, А.А. Ганичев

При изучении ВРМБ в оптическом волокне от достаточно длинных лазерных импульсов вдоль волокна можно выделить три характерных области, в которых происходит формирование стокового сигнала [1]. Сначала в области распространения передней части импульса накачки — „предвестника” происходит зарождение из шума стоковой волны сравнительно небольшой интенсивности („бегущий” режим ВРМБ [2, 3]). Затем образовавшаяся стоковая волна свободно проходит через вторую область волокна, где накачка сильно истощена, и попадает в область интенсивной накачки вблизи входного торца волокна, где усиливается окончательно. Последняя область фактически представляет собой ВРМБ усилитель [4], работающий в нестационарном режиме при сильном истощении накачки. Передаточные характеристики такого усилителя в большой степени определяют динамические параметры выходного стокового сигнала при ВРМБ.

В настоящей работе путем линеаризации исходных уравнений относительно стационарных распределений интенсивностей по длине