

от свободной поверхности. Видно, что вторая волна практически исчезла, и этот результат можно оценить как порог полной релаксации растягивающих напряжений. Сдвиг максимума амплитуды волны разрежения влево (сравните кривые 1-3, рис. 4) связан с характером развития зоны кавитации.

Обнаруженные эффекты указывают не только на возможности различного рода методик, используемых в работе для регистрации начала развития кавитации при импульсном нагружении жидкости, но и на некоторые перспективы использования этих эффектов в методическом плане: скачок интенсивности рассеянного света и влияние времени нарастания фронта могут быть использованы для определения спектра неоднородностей, „гистерезисные“ эффекты – для бесконтактной регистрации динамики зоны кавитации, если известна корреляция этого процесса с динамикой свободной поверхности.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б е с о в А.С., К е д р и н с к и й В.К., П а л ь ч и -
к о в Е.И. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 4. С. 240-
244.
- [2] Р у н J.J., Н а м м и т т F.G., К е л л е r А. //
Journal of Fluids Engineering. 1976. March. P. 87-
97.
- [3] К е д р и н с к и й V.K. Proceedings of 13-th In-
ternational Congress on Acoustics, Yugoslavia,
Belograd, 1989, 24-31 August, C1-4.

Институт гидродинамики
им. М.А. Лаврентьева
СО АН СССР,
Новосибирск

Поступило в Редакцию
21 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 16 26 августа 1989 г.
06.3; 07

ГЕНЕРАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ
 $\lambda = 1.55$ МКМ

В.Ю. П е т р у н ь к и н, В.М. С ы с у е в,
А.С. Щ е р б а к о в

Для высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи информации большой практический интерес представляют источники непрерывной последовательности сверхкоротких оптических импульсов на рабочей длине волны $\lambda = 1.55$ мкм, которой соот-

ветствует абсолютный минимум потерь в кварцевых волоконных световодах. В последнее время созданы волоконные световоды, имеющие точку нулевой дисперсии на этой же длине волны [1], а также проведены экспериментальные исследования солитонного режима распространения сверхкоротких оптических импульсов [2], что открывает возможность построения линий связи со скоростью передачи информации до 1 Тбит/с [3]. С этой точки зрения источник непрерывной последовательности сверхкоротких импульсов на основе полупроводникового *InGaAsP/InP*-гетеролазера представляется уникальным, т. к. позволяет решить многие технические и конструктивные проблемы высокоскоростных информационных систем и является полностью адекватным таким системам. Для получения пикосекундных импульсов, следующих с большой частотой повторения, в полупроводниковых лазерах можно использовать прямую модуляцию по питанию, модуляцию добротности и синхронизацию продольных мод. Однако прямая модуляция [4] не позволяет получать достаточно мощные импульсы длительностью менее 30 пс, а в ходе проведенных исследований по формированию последовательности сверхкоротких импульсов от полупроводникового лазера с модуляцией добротности на $\lambda = 1.55$ мкм [5] была лишь получена оценка длительности импульсов < 100 пс.

Данное сообщение содержит результаты экспериментов по генерации непрерывной последовательности оптических импульсов длительностью менее 20 пс от источника излучения на основе полупроводникового лазера с длиной волны $\lambda = 1.55$ мкм, работающего в режиме активной синхронизации мод. В эксперименте использовался *InGaAsP* лазер с внешним дисперсионным резонатором. Внешний резонатор состоял из микрообъекта с числовой апертурой 0.90 и плоской отражательной дифракционной решетки, имеющей 300 штрихов на 1 мм, съюстированной таким образом, что первый дифракционный порядок вновь фокусировался в активную область лазера. Длина внешнего резонатора могла меняться в пределах 5...30 см. Для синхронизации продольных мод лазера с внешним резонатором одновременно с постоянным током накачки подавался гармонический сигнал на частоте 0.6...1.2 ГГц, равной межмодовому интервалу внешнего резонатора. Пороговый ток лазера без внешнего резонатора был равен 56 мА, а при использовании дифракционной решетки - 46 мА. Постоянный ток накачки в 1.2 раза превышал пороговый, мощность на выходе высокочастотного генератора составляла 0.2...0.5 Вт.

Настройка лазера в режим синхронизации мод проводилась с помощью контроля радиочастотного спектра межмодовых биений. В режиме непрерывной генерации полупроводникового лазера с внешним резонатором частотное расстояние между модами незначительно меняется, что приводит к межмодовым биениям. Эволюция спектра межмодовых биений при синхронизации мод представлена на рис. 1, где показаны осциллограммы

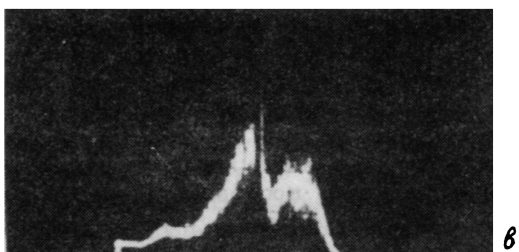
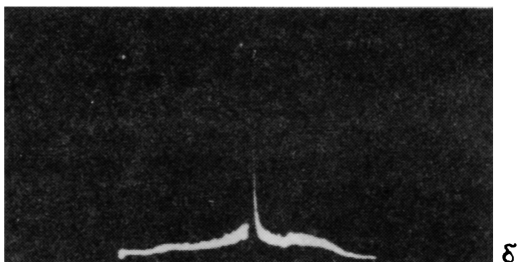
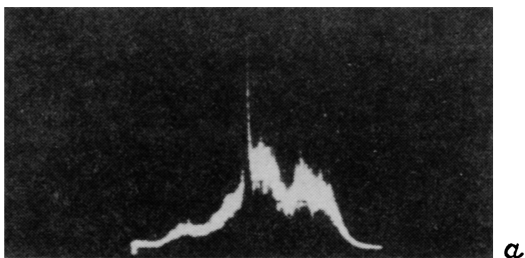
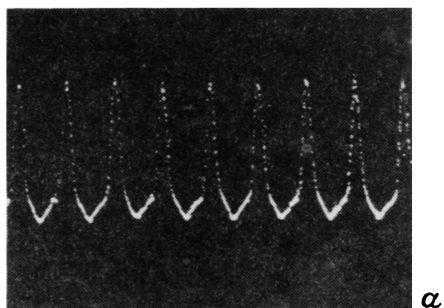
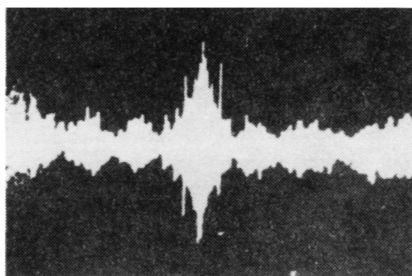


Рис. 1. Контроль режима активной синхронизации мод полупроводникового $InGaAsP/InP$ -гетеролазера с настроенным внешним резонатором по радиочастотному спектру межмодовых биений: а, в - радиочастотный спектр до и после резонансной настройки внешнего генератора; б - совпадение частоты внешнего сигнала с межмодовым интервалом, соответствующее активной синхронизации мод.

со спектроанализатора, регистрирующего выходное излучение источника сверхкоротких импульсов с помощью германиевого фотодиода с полосой 3.3 ГГц. Рис. 1, а иллюстрирует спектр межмодовых биений полупроводникового лазера с внешним дисперсионным резонатором совместно с модулирующей частотой СВЧ-генератора. При подаче на лазер внешнего сигнала с частотой, равной межмодовому интервалу, системе мод навязывается жесткое межмодовое расстояние и биения устраняются (рис. 1, б), при этом наблюдается резкое сужение радиочастотного спектра и появление резонансного пика, что соответствует режиму активной синхронизации мод. С расстройкой частоты от резонансного значения спектр межмодовых биений при-



а



б

Рис. 2. К определению временных характеристик выходного излучения. а – непрерывная последовательность пикосекундных импульсов с частотой повторения 1 ГГц; б – автокорреляционная функция сверхкоротких импульсов длительностью 18.2 ± 0.2 пс.

принимает свой первоначальный вид (рис. 1, в), указывающий на срыв режима синхронизации мод. Ширина полосы синхронизации в зависимости от значения рабочей частоты составляет 1–1.5 МГц. Для стабилизации режима синхронизации мод с помощью элемента Пельтье и блока управления температура лазерного диода поддерживалась постоянной и равной $18^{0 \pm 0.3} \text{ } ^\circ\text{C}$. Временные параметры непрерывной последовательности пикосекундных оптических импульсов измерялись с помощью лавинного фотодиода с временным разрешением 300 пс и регистрировались стробоскопическим осциллографом. На рис. 2, а представлены осциллограммы непрерывной последовательности пикосекундных оптических импульсов с периодом 1 нс. Лавинный фотодиод давал возможность лишь определить частоту повторения импульсов, но не позволял оценить их длительность. Измерение длительности пикосекундных оптических импульсов осуществлялось интерферометрическим методом на сканирующем интерферометре Майкельсона. При этом, как известно [6], наличие пиков временной автокорреляционной функции поля и отсутствие интерференции

в паузах между пиками может интерпретироваться неоднозначно. Если излучение носит характер периодических сверхкоротких импульсов, то ширина корреляционного пика характеризует среднюю длительность импульса, если же излучение флуктуирует вследствие случайных вариаций фаз, то ширина пика соответствует интервалу когерентности излучения. Поэтому измерение длительности пикосекундных импульсов проводилось одновременно с регистрацией последовательности этих импульсов лавинным фотодиодом. Огибающая сигнала автокорреляционной функции регистрировалась германиевым точечным фотодиодом и подавалась на вход запоминающего осциллографа, развертка которого была пропорциональна разности хода лучей в интерферометре. На рис. 2, б приведена автокорреляционная функция сверхкоротких оптических импульсов, следующих с высокой частотой повторения. Измеренная полуширина пика автокорреляционной функции составляла 25.5 ± 0.2 пс. В предположении гауссовой формы огибающей длительность импульса по уровню половинной интенсивности τ_u связана с полушириной корреляционного пика τ_k соотношением $\tau_u = \tau_k / \sqrt{2}$. Следовательно, длительность зарегистрированных сверхкоротких импульсов равна 18.2 ± 0.2 пс. Средняя мощность излучения лазера со стороны выходного микрообъектива равнялась 1.5 мВт. Пиковая оптическая мощность в зависимости от частоты повторения импульсов изменялась от 100 до 150 мВт.

Таким образом, в настоящей работе осуществлена активная синхронизация мод инжекционного $InGaAsP/InP$ лазера на длине волны $\lambda = 1.55$ мкм. В результате получена непрерывная последовательность пикосекундных оптических импульсов длительностью 18 пс, следующих с частотой повторения ~ 1 ГГц и имеющих пиковую мощность ≥ 100 мВт. Использование источника такой последовательности представляется возможным в высокоскоростной волоконно-оптической информационной системе, а увеличение пиковой мощности импульсов позволит вплотную подойти к перспективе реализации солитонного режима передачи информации.

Авторы выражают признательность Е.Л. Портному, В.И. Кучинскому, Д.В. Куксенкову за представленный образец $InGaAsP/InP$ лазера, интерес к работе и обсуждение результатов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Д и а н о в Е.М., М а м ы ш е в П.В., П р о х о р о в А.М. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. № 1. С. 5-29.
- [2] П е т р у н ь к и н В.Ю., С е л и ш е в А.В., Щ е р б а к о в А.С. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1988. Т. 52. № 2. С. 364-368.

- [3] Хасэгава А., Кодама Ю. // ТИИЭР. 1981. Т. 89. № 9. С. 57-63.
- [4] Zhang N., Onodera N., Itoh N., Inaba V. // Electron. Lett. 1986. V. 22. No 22. P. 1194-1196.
- [5] Кижеев К.Ю., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 10. С. 801-804.
- [6] Бахерт Х., Елисеев П.Г., Манько М.А., Петров В.К., Раабз., Страхов В.П., Чан Минь Тхай // Квантовая электроника. 1974. Т. 1. № 9. С. 1988-1993.

Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию
15 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 16
05.4; 12

26 августа 1989 г.

ОБЫЧНАЯ И НЕОБЫЧНАЯ ЛЕВИТАЦИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ В ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА КОЛЬЦЕВОЙ ФОРМЫ

А.И. Шелых, Е.К. Кудинов,
П.П. Сырников, М.И. Степанова,
И.А. Смирнов

Известно, что при сближении магнита и сверхпроводящего образца между ними возникают силы отталкивания. Это явление широко используется экспериментаторами для доказательства существования сверхпроводимости в исследуемых материалах. Наблюдаемую при этом левитацию можно объяснить при помощи закона электромагнитной индукции Фарадея и правила Ленца применительно к взаимодействию магнита и образца с нулевым омическим сопротивлением.

Однако помимо обычной левитации, когда силы тяжести, действующие на сверхпроводящий образец, компенсируются силами отталкивания от магнита, наблюдается также необычная левитация. В работе [1] приведены фотографии этого явления. Оно наблюдалось на сверхпроводящих образцах $Tl_2Ca_2Ba_2 \cdot Cu_3O_{10}$ в магнитном поле постоянного магнита кольцевой формы. Показано, что сверхпроводник плавает не только над магнитом, но и под ним, что создает видимость существования каких-то сил притяжения, действующих на сверхпроводник со стороны магнита.