

МОДУЛЯЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СИНХРОННО НАКАЧИВАЕМОГО ПГС В ОДНОМODOVЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ

Н.Н.Ахмедиев, Г.И.Онищук, С.Д.Рябко

М.Ф.Стельмах, А.А.Фомичев

Сообщается об экспериментальном осуществлении эффекта вынужденной модуляционной неустойчивости распространения излучения в оптических волокнах при использовании одного источника накачки. Получены последовательности импульсов с частотой повторения $\sim 0,15$ ТГц и длительностью $\lesssim 500$ фс.

Модуляционной неустойчивостью распространения излучения в одномодовых волоконных световодах (ОВС) называют наблюдающееся при одновременном действии фазовой самомодуляции и слабой отрицательной дисперсии групповых скоростей углубление амплитудной модуляции светового сигнала вплоть до образования отдельных сверхкоротких импульсов¹. Различают спонтанный эффект модуляционной неустойчивости, когда затравкой процесса служит слабая флуктуационная модуляция вводимого в ОВС-излучения^{2,3} и вынужденный, когда осуществляется предварительная модуляция амплитуды излучения в ОВС, в частности, за счет интерференции сигналов от разных источников⁴. Частота следования сверхкоротких импульсов (СКИ) при спонтанной модуляционной неустойчивости зависит от пиковой мощности вводимого в ОВС-излучения. Вынужденный же эффект интересен тем, что допускает активное управление формой и периодом СКИ, путем изменения формы предварительной амплитудной модуляции вводимого в ОВС излучения⁵.

В теоретических работах эффект вынужденной модуляционной неустойчивости рассматривается для идеализированной формы спектра возбуждающего источника (одна или несколько узких эквидистантных компонент)⁵. Спектр реальных лазерных источников, однако, значительно отличается от теоретически рассмотренных идеальных моделей. В настоящей работе авторы ставили перед собой задачу выяснения возможности наблюдения эффекта вынужденной модуляционной неустойчивости в ОВС при использовании одного перестраиваемого широкополосного источника излучения (параметрического генератора света – ПГС) и влияния конечной ширины модуляционных компонент и наличия pedestala в спектре на параметры выходных импульсов.

Синхронная накачка ПГС на кристалле $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ осуществлялась второй гармоникой излучения непрерывнонакачиваемого лазера на АИГ: Nd, работающего в режиме одновременной модуляции добротности и активной синхронизации мод (режим двойной модуляции)⁶. Параметрический генератор излучал ~ 80 нс цуги СКИ длительностью ~ 60 пс. Использовалось волокно длиной ~ 300 м с нулем дисперсии групповых скоростей на длине волны 1,32 мкм, длиной волны отсечки – 1,15 мкм. Дисперсия групповых скоростей в этом ОВС на длине волны 1,36 мкм составляла $-3,3$ пс \cdot нм/км. Проведение экспериментов в широком спектральном диапазоне затруднялось наличием сильной полосы поглощения гидроксильных групп на $\lambda = 1,44$ мкм и более слабых полос поглощения на длинах волн $\lambda = 1,265$ мкм и $\lambda = 1,34$ мкм. Поэтому эффект модуляционной неустойчивости наблюдается в относительно узком диапазоне длин волн 1,355 – 1,37 мкм при пиковой мощности вводимого в ОВС излучения ~ 1 Вт.

Измерения спектров излучения производились при помощи монохроматора МДР-23 и оптического многоканального анализатора HEROS с усреднением по $\sim 10^2$ цугов СКИ; измерения длительности выходящих из ОВС импульсов – при помощи автоматизированного автокоррелятора с коллинеарной генерацией второй гармоники. Автоматизированная систе-

ма сбора данных позволяла выделять из сигнала коррелятора временные выборки длительностью $\lesssim 10$ нс, соответствующие заданной фазе цуга. Кроме того, при помощи этой системы можно было селективировать флуктуации длительности и энергии входящих в волокно ПКИ излучения ПГС. Результаты измерений фиксировались лишь при отклонениях этих параметров от средней величины, не превышающих заданных границ (5% или 10%).

Отличительная особенность излучения ПГС на холостой частоте, используемого в данном эксперименте, состоит в наличии нескольких модуляционных составляющих, которые и являются заправкой процесса самомодуляции в волокне. Огибающая спектра входящего в ОВО излучения приведена на рис. 1. Наиболее выраженные максимумы спектральной модуляции входного сигнала отстоят на ~ 2 нм, что соответствует периоду биений двух отдельно взятых частот ~ 3 пс. Наличие же излучения ПГС на частоте, равной полусумме этих частот, приводит к формированию в ОВС последовательности импульсов, следующих с периодом, равным удвоенному периоду этих биений.

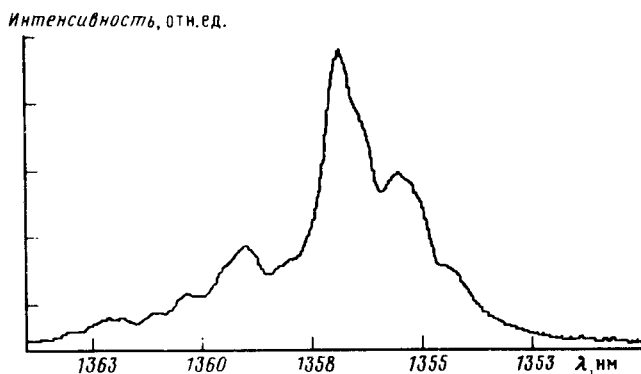


Рис. 1. Огибающая спектра входящего в ОВС излучения

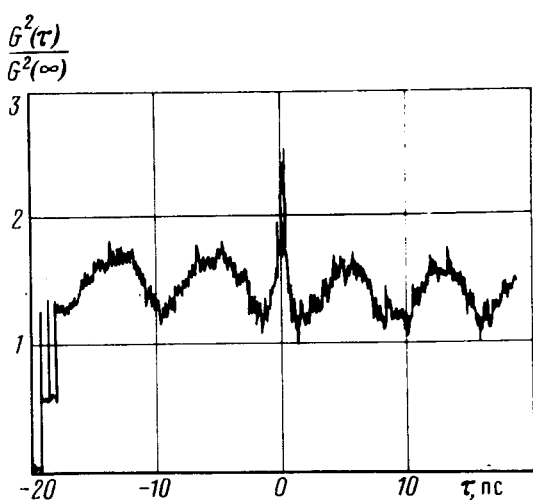


Рис. 2

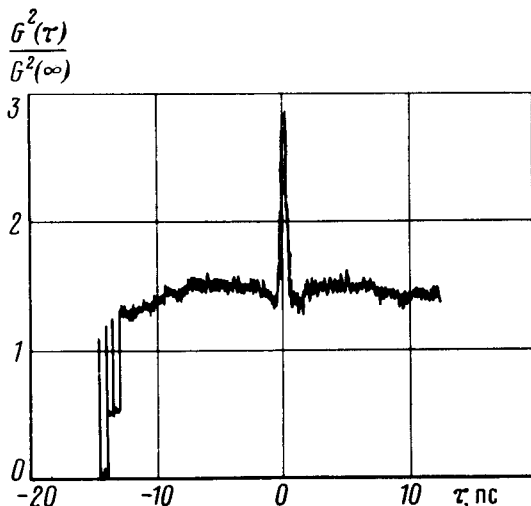


Рис. 3

Рис. 2. Корреляционная функция выходящего из ОВС-излучения при допустимых отклонениях энергии второй гармоники ПГС $\pm 5\%$

Рис. 3. Корреляционная функция выходящего из ОВС-излучения при допустимых отклонениях энергии второй гармоники ПГС $\pm 10\%$

Корреляционные функции выходящего из ОВС-излучения при допустимых отклонениях энергии второй гармоники ПГС от средней величины $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$ представлены на рис. 2 и 3, соответственно. В первом случае ясно виден период корреляционной функции ~ 6 пс (частота повторения $\sim 0,15$ ТГц). Увеличение разброса параметров излучения в ОВС до $\pm 10\%$ приводит к увеличению разброса периода следования импульсов, что выражается в исчезновении периодической модуляции корреляционной функции. При этом контраст корреляционной функции равен 2,8 при нуле задержки и $\sim 1,5$ при задержках, превышающих длительность импульса, что обусловлено усреднением последовательностей импульсов с флуктуирующим периодом следования. Длительность отдельных импульсов в том и другом случае составляет $\lesssim 500$ фс. Следуя ⁵, можно показать, что период T импульсов излучения на выходе ОВС определяется соотношением

$$T = \alpha \left(\frac{n_0 |D| \lambda^3 s}{2c^2 \mu_0 n_2 P} \right)^{1/2},$$

где α — поправочный коэффициент $\sim 0,8$ ³ для самомодуляции импульсов конечной длительности, n_0 — показатель преломления кварца, D — дисперсия групповых скоростей, s — площадь сечения моды излучения в световоде, c — скорость света, μ_0 — магнитная постоянная, n_2 — нелинейный показатель преломления кварца, P — пиковая мощность излучения, вводимого в световод. Для параметров, соответствующим нашим экспериментам, период $T = 6$ пс реализуется при пиковой мощности излучения $\sim 0,5$ Вт, что соответствует по порядку величины экспериментальным данным. Наблюдающийся в экспериментах сильный разброс периода выходящих из ОВС импульсов обусловлен, по-видимому, конкуренцией различных модуляционных составляющих в спектре излучения ПГС. Слабая модуляция спектра и неполная когерентность импульса ($\Delta\nu \times \tau \sim 15$) также сильно повышают чувствительность периода СКИ к флуктуациям мощности источника накачки. Для устранения этих явлений при использовании ПГС в качестве источника накачки необходима большая регуляризация модуляции спектра и формирование его в виде нескольких узких эквидистантных компонент.

Совпадение периода выходящих из ОВС импульсов с периодом предварительной модуляции, обусловленной заданной формой спектра, и полученные скважности выходного излучения $\gtrsim 10$ свидетельствуют о том, что в данном эксперименте имеет место эффект вынужденной модуляционной неустойчивости с предварительно заданным периодом модуляции (при спонтанном эффекте скважности обычно меньше, ср. ^{2,3} с ⁴).

Таким образом, нами показана возможность получения вынужденной модуляционной неустойчивости при использовании одного широкополосного источника излучения даже с неглубокой модуляцией спектра.

Литература

1. Hasegawa A., Brikman W.F. IEEE Journ. of QE, 1980, QE-16, 694.
2. Potasek M.J. Opt. Lett., 1987, 12, 921.
3. Tai K., Hasegawa A., Tomita A. Phys. Rev. Lett., 1986, 56, 135.
4. Tai K., Jewel J.E., Hasegawa A. Appl. Phys. Lett., 1986, 49, 236.
5. Ахмедиев Н.Н., Елеонский В.М., Кулагин Н.Е. ЖЭТФ, 1985, 89, 1542.
6. Фомичев А.А. Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, 48, 2325.