

## ВКР-ГЕНЕРАЦИЯ 18 фс ИМПУЛЬСОВ В ОБЛАСТИ 1,6 мкм ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ОДНОМОДОВОГО СВЕТОВОДА ИЗЛУЧЕНИЕМ ЛАЗЕРА НА АИГ : Nd<sup>3+</sup> ( λ = 1,064 мкм)

А.Б.Грудинин, Е.М.Дианов, Д.В.Коробкин, А.М.Прохоров,  
В.Н.Серкин, Д.В.Хайдаров

В работе изложены первые результаты исследования генерации сверхкоротких импульсов в процессе каскадного ВКР в одномодовом световоде. Использование эффекта многосолитонного сжатия в световоде со смещенной дисперсией позволило сформировать импульсы света, содержащие чуть больше трех периодов оптических колебаний.

Несколько лет назад в работе <sup>1</sup> был предложен и теоретически обоснован метод генерации сверхкоротких импульсов света (СКИ) в процессе каскадного ВКР в области отрицательной хроматической дисперсии одномодового волоконного световода (ОВС). Поскольку экспериментальных работ, посвященных этому вопросу нет, то представляется весьма интересным и актуальным экспериментально исследовать возможность генерации СКИ из спонтанных КР-шумов при возбуждении ОВС излучением наиболее распространенного и доступного твердотельного лазера на АИГ : Nd<sup>3+</sup>.

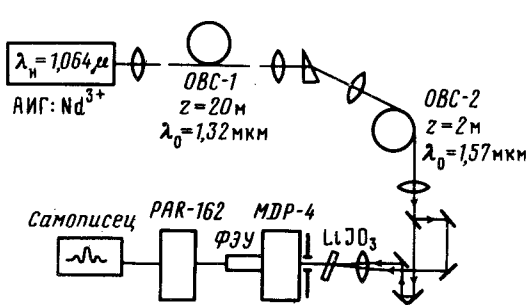


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

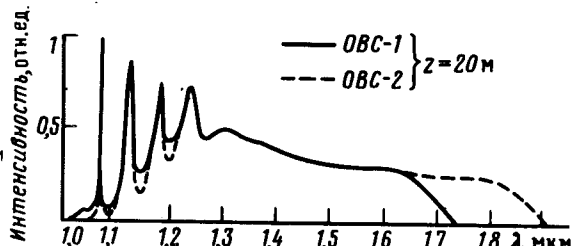


Рис. 2. Спектры ВКР в одномодовых световодах с различными длинами волн нулевой хроматической дисперсии

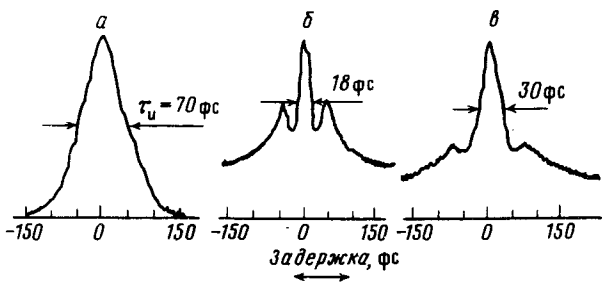


Рис. 3. Корреляционные функции интенсивностей в случае однокаскадной схемы генерации (а) и двухкаскадной (б) и (в). Длина волны — 1,6 мкм

На рис. 1. изображена схема экспериментальной установки. В качестве источника накачки использовался лазер на АИГ : Nd<sup>3+</sup>, работающий в режиме одновременной синхронизации мод и модуляции добротности. Длительность цуга импульсов 200 нс, длительность импуль-

са в цуге — 150 пс, импульсная мощность около 600 кВт. Излучение лазера вводилось в одномодовый световод со следующими параметрами: диаметр сердцевины  $2a = 8$  мкм, разность показателей преломления между сердцевиной и оболочкой  $\Delta n = 3 \cdot 10^{-3}$ , длина волны нулевой хроматической дисперсии  $\lambda_0 = 1,32$  мкм. На рис. 2 приведен спектр ВКР в исследуемом образце при мощности накачки в световоде около 5 кВт. Временные характеристики излучения исследовались с помощью автокоррелятора интенсивностей по бесфоновой методике и на ЭОК с линейной разверткой. (Благодаря острой фокусировке излучения на кристалл  $\text{LiIO}_3$  спектральная ширина синхронизма кристалла составила 140 нм). На рис. 3, а приведена автокорреляционная функция интенсивностей излучения на выходе световода в области 1,6 мкм. Ширина корреляционной функции составляет 110 фс, что в предположении  $\text{sech}^2 x$  — формы импульса дает длительность 70 фс. Измеренная мощность импульса составила  $\sim 10$  кВт. Характерной особенностью данного механизма генерации СКИ является независимость (в определенных пределах) длительности импульса от мощности накачки: при повышении мощности накачки растет лишь пьедестал корреляционной функции, в то время как длительность центрального пика остается неизменной. Измерения с помощью ЭОК (на камеру подавался сигнал второй гармоники излучения с  $\lambda = 1,6$  мкм) показали, что стоковый импульс в области аномальной дисперсии световода состоит из отдельных пиков длительностью короче 5 пс (время разрешения ЭОК). При уменьшении вводимой мощности число пиков уменьшалось, а мощность отдельного пика оставалась практически неизменной.

По-видимому, в общих чертах механизм генерации СКИ в данном случае можно представить следующим образом. 150 пс импульс лазерной накачки возбуждает каскадное ВКР, развивающееся из спонтанных шумов. В области положительной хроматической дисперсии огибающая импульсов на стоковых частотах имеет шумовую субструктуру с характерной длительностью шумового пика около 50 фс, которая определяется контуром ВКР-усиления плавленного кварцевого стекла. Четвертая стоковая компонента ВКР ( $\lambda \sim 1,30$  мкм) является накачкой для волны, находящейся в области отрицательной хроматической дисперсии световода. При определенной мощности накачки пороговое условие инкремента усиления будет выполняться лишь для одного или нескольких пиков, длительностью порядка 50 фс. В результате в области отрицательной дисперсии формируется субпикосекундный импульс света с шириной спектра, определяемой контуром ВКР-усиления. При такой значительной спектральной ширине низкочастотные компоненты в спектре импульса усиливаются в поле высокочастотных, что приводит к перекачке энергии в стоковому области и является одной из причин образования сплошного спектра в области отрицательной дисперсии групповых скоростей ОВС. Этот новый эффект самовоздействия мы назвали ВК-саморассеянием сверхкоротких импульсов света. Необходимо отметить, что впервые этот эффект наблюдался в работе <sup>2</sup>, а затем был подтвержден в недавно опубликованной работе <sup>3</sup>.

При повышении мощности накачки, во-первых, уже сформированные импульсы на стоковой частоте в области отрицательной дисперсии "сбрасывают" мощность в ИК-область, а, во-вторых, появляются новые импульсы, рожденные теми пиками накачки, для которых стало выполняться условие порогового инкремента усиления.

Если предположить, что сформированные импульсы являются солитонами (а длительность, мощность и нечувствительность импульсов к небольшим изменениям мощности накачки дают основания для такого предположения), то можно достаточно легко объяснить тот факт, что длинноволновая граница спектра ВКР в ОВС длиной 20 м с  $\lambda_0 = 1,32$  мкм лежит в области 1,75 мкм (сплошная кривая на рис. 2), а в световоде той же длины с  $\lambda_0 = 1,57$  мкм — в области 1,9 мкм (пунктирная кривая на рис. 2). Действительно, учитывая, что мощность и длительность солитона связаны между собой ( $P\tau^2 = \text{const}$ ) и, что длина взаимодействия стоковой волны и накачки зависит от разницы их групповых скоростей ( $z_{\text{кст}} = \tau_{\text{кст}}(v_c^{-1} - v_n^{-1})^{-1}$ ), можно показать, что инкремент усиления стоковой волны обратно пропорционален хроматической дисперсии ОВС ( $Gk'' = \text{const}$ ).

Для дальнейшего укорочения длительности импульса вполне очевидным представляется переход к двухкаскадной схеме генерации. В качестве второго световода был выбран ОВС со смещенной дисперсией, так что хроматическая дисперсия на  $\lambda = 1,6$  мкм составила 2 пс/нм · км. На рис. 3, б изображена корреляционная функция интенсивности измерения и на выходе второго световода длиной 2 м, которую можно интерпретировать как связанное состояние солитонов длительностью 18 фс, т.е. чуть больше трех периодов оптических колебаний. (Период оптического колебания на длине волны 1,6 мкм равен 5,3 фс). Изменение условий возбуждения второго световода приводило к изменению формы корреляционной функции, что иллюстрирует рис. 3, в.

С целью выяснения физической картины формирования в световодах устойчивых солитоноподобных волновых пакетов с длительностью огибающей порядка 3 – 4 периодов оптических колебаний, нами было проведено теоретическое исследование основных физических механизмов, ограничивающих длительность формируемых импульсов. Расчеты были проведены в рамках обобщенного метода медленно изменяющихся амплитуд<sup>4</sup> с учетом хроматической дисперсии вплоть до третьего порядка, релаксации нелинейности и эффекта комбинационного саморассеяния импульса. Численные исследования показали, что основными эффектами, ограничивающими предельную длительность формируемых импульсов 2 – 3 периодами колебаний поля являются релаксация нелинейности и хроматическая дисперсия высших порядков.

#### Литература

1. Исаев С.К., Корниенко Л.С., Кравцов Н.В., Серкин В.Н. Труды XI Всесоюзной конференции КиНО, 470, 1982, Ереван.
2. Дианов Е.М., Карасик А.Я., Мамышев П.В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1985, 41, 242.
3. Mitschke F.M., Mollenauer L. Opt. Lett., 1986, 11, 659.
4. Головченко Е.А., Дианов Е.М., Пилипецкий А.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, вып. 2.