

ВКР-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МНОГОСОЛИТОННЫХ ИМПУЛЬСОВ В КВАРЦЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ

*Е.М.Дианов, А.Я.Карасик, П.В.Мамышев, А.М.Прохоров,
В.Н.Серкин, М.Ф.Стельмах, А.А.Фомичев*

Предложен механизм ВКР-усиления из самоиндуцированной за счет фазовой самомодуляции пробной волны. При накачке световода излучением с $\tau = 30$ пс в области $\lambda = 1,5 \div 1,65$ мкм на стоксовой частоте получены одиночные импульсы с $\tau = 200$ фс и $P = 56$ кВт.

Применение в качестве нелинейной среды одномодовых стеклянных волоконных световодов позволяет получать однородную по сечению пучка фазовую самомодуляцию световых импульсов, приводящую к значительному уширению их спектра излучения. При прохождении таких частотно-модулированных импульсов в среде с отрицательной дисперсией групповых скоростей ($dV_g/d\lambda < 0$) они будут самосжиматься¹. На основании того, что кварцевые световоды в области спектра $\lambda > 1,3$ мкм имеют $dV_g/d\lambda < 0$ ², в работах³⁻⁵ были получены как солитонные режимы распространения, так и самосжатие пикосекундных импульсов. В⁶ была теоретически проанализирована возможность нелинейного преобразования трехсолитонного импульса в односолитонный с 90%-ным преобразованием по энергии при ВКР-усилении из строго заданной по амплитуде монохроматической затравки. Создание подобной затравки на стоксовой относительно накачки частоте сопряжено с большими экспериментальными трудностями. Заметим, что подобное нелинейное преобразование важно для получения высококонтрастных ультракоротких импульсов, локализуемых в себе всю преобразованную энергию.

Нами в данной работе для накачки 250 м одномодового световода использовался параметрический генератор света с $\tau = 30$ пс и частотой повторения цугов импульсов 100 Гц, перестраивающийся в области спектра $0,74 \div 1,9$ мкм. Излучение с выхода световода попадало в коррелятор, в котором длительность импульсов определялась путем измерения бесфоновых автокорреляционных функций интенсивности при генерации второй гармоники в кристалле LiIO_3 толщиной 1 мм⁴. После коррелятора излучение попадало в монохроматор, что позволяло по методу⁷ измерять автокорреляционные функции различных частотных компонент выходящего из световода излучения.

На рис. 1 (а - г) представлены спектры излучения на выходе световода ($\lambda_n \approx 1,54$ мкм) при последовательном увеличении вводимой в световод мощности в импульсе вплоть до 900 Вт (измерена по средней мощности и длительности импульса). Величина мощности накачки P_n , приводящей к уширению спектра из-за фазовой самомодуляции (рис. 1, а), оцененная без учета дисперсии по известной величине нелинейной добавки к показателю преломления $n_2 = 3,2 \cdot 10^{-16}$ см²/Вт и параметров световода, составила 50 Вт. При увеличении P_n до 100 Вт, как видно из рис. 1, в, в симметричном ранее (рис. 1, а, б) спектре появляется длинноволновое стоксово крыло, которое при $P_n \approx 800$ Вт содержит до 50% всей энергии излучения.

Каковы причины, приводящие к возникновению стоксова крыла? По мере распространения импульса по световоду его спектр вследствие фазовой самомодуляции начинает уширяться (рис. 1, а, б), причем симметричный вид спектра свидетельствует о симметричной форме бегущего импульса. Бегущий по световоду импульс вследствие совместного действия эффектов фазовой самомодуляции и групповой дисперсии на $\lambda_n = 1,54$ мкм начинает сжиматься, формируя, как предсказывает теория⁵, на фоне широкого пьедестала узкий интенсивный пикок^{3,4}. Оценки по формулам^{3,5} показывают, что при $P_n \approx 100$ Вт (появление стоксового крыла в спектре (рис. 1, в)) порядок солитона $N \approx 30$, длина максимального самосжатия $200 \div 300$ м и длительность сжатого пичка в ~ 120 раз короче импульса на входе в световод.

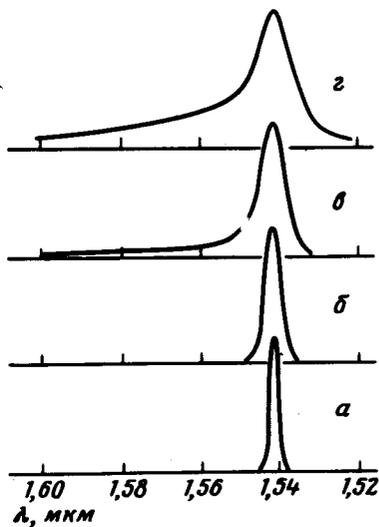


Рис. 1

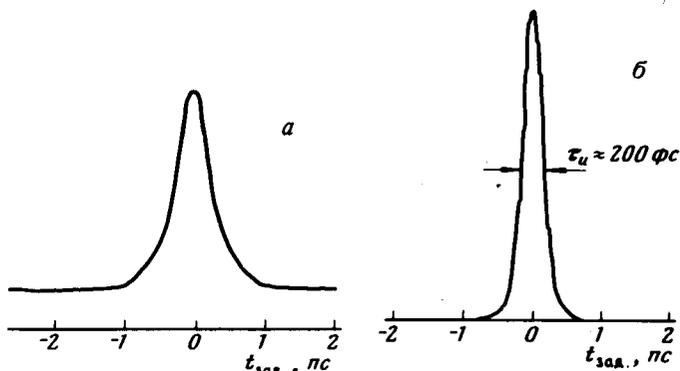


Рис. 2

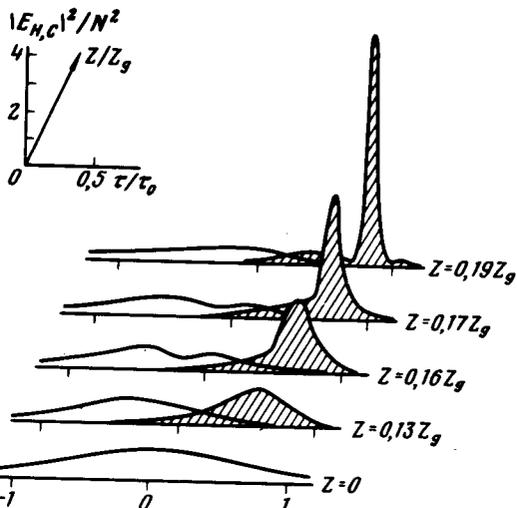


Рис. 3

Рис. 3. Результаты численного эксперимента, иллюстрирующие нелинейную динамику усиления затравочного стоксова импульса $|E_c(0, \tau)|^2 = 0, 1 N^2 \text{sech}^2(\tau/\tau_0)$ в поле импульса накачки вида $|E_H(0, \tau)|^2 = N^2 \text{sech}^2(\tau/\tau_0)$ при $N=5$, рассчитанную в рамках системы уравнений ⁶. Характерное время группового запаздывания импульсов стокса и накачки на дисперсионной длине составляет $\nu = z_g \left| \frac{1}{v_c} - \frac{1}{v_H} \right| / \tau_0 = 6$, где $z_g = \tau_0^2 / \frac{\partial^2 k}{\partial \omega^2}$, τ_0 — начальная длительность импульса накачки. Показаны процессы "выжигания" импульса накачки (незаштрихован) ($z \cong 0,13 z_g$), симметризации импульса ВКР (заштрихован) в области $z > 0,17 z_g$ и выделения из него несолитонной составляющей при $z \geq 0,19 z_g$

Замечательное свойство плавленого кварца — непрерывный спектр неоднородно уширенных колебательных резонансов, простирающийся практически от 0 свыше 1000 см^{-1} , причем уже для стоксова сдвига $\Delta\nu = 55 \text{ см}^{-1}$ интенсивность в спектре спонтанного комбинационного рассеяния всего в 1,5 раза меньше максимальной ($\Delta\nu = 440 \text{ см}^{-1}$).

Часть спектра сжатого пика накачки попадает в область ВКР-усиления (для импульса гауссовой формы $\tau = 30 \text{ пс} / 120 = 0,25 \text{ пс}$ спектральная плотность для $\Delta\nu = 55 \text{ см}^{-1}$ составляет $\sim 0,1$ от значения в центре линии). Таким образом импульс накачки сам формирует достаточно интенсивную затравку на стоксовой частоте, и процесс ВКР-усиления из этой затравки быстро выходит в режим насыщения. Заметим, что при наших P_H порог ВКР-усиления из спонтанных шумов не достигается.

В процессе образования и по мере распространения стоксова импульса он в силу $dV_r/d\lambda < 0$ начинает запаздывать относительно импульса накачки (для $\Delta\nu = 55 \text{ см}^{-1}$ запаздывание $\sim 0,3 \text{ пс/м}$) и таким образом "съедает" заднюю часть пьедестала импульса накачки. Чем выше P_H , тем раньше возникает ВКР, тем следовательно больше энергии успевает вобрать в себя стоксов импульс. К тому же, как показывает численный эксперимент ⁶, может иметь мес-

то нелинейный захват накачки и стока, который приводит к повышению эффективности энергообмена.

Таким образом, появляющееся стоксово крыло в спектре излучения (рис. 1, σ , ε) мы связываем с нелинейным комбинационным преобразованием импульса накачки, который в процессе своего собственного формирования по длине световода (не обязательно в точке максимального сжатия) начинает перерабатываться в стоксов импульс. На рис. 2, a представлена автокорреляционная функция на частоте накачки ($\lambda_n = 1,54$ мкм, рис. 1, ε). На рис. 2, b представлена автокорреляционная функция, соответствующая стоксову крылу спектра на рис. 1, ε , при $\Delta\nu = 55$ см⁻¹. Такая корреляционная функция отражает одиночный стоксов импульс без пьедестала с $\tau \approx 200$ фс и $P = 56$ кВт (рассчитанной из энергии стока крыла)

Отметим, что в отличие от метода "солитонного" сжатия на частоте накачки³, продемонстрированный нами метод позволяет формировать высокоэнергетичные световые фемтосекундные импульсы без пьедестала.

Литература

1. Зельдович Б.Я., Собельман И.И. Письма в ЖЭТФ, 1971, 13, 182.
2. Дианов Е.М., Карасик А.Я., Мамышев П.В., Онищуков Г.И., Фомичев А.А. Письма в ЖТФ, 1984, 10, 518.
3. Mollenauer L.F., Stolen R.H., Gordon J.P., Tomlinson W.J. Opt. Lett., 1983, 8, 289.
4. Дианов Е.М., Карасик А.Я., Мамышев П.В., Онищуков Г.И., Прохоров А.М., Стельмах М.Ф., Фомичев А.А. Письма в ЖЭТФ, 1984, 40, 148.
5. Stolen R.H., Mollenauer L.F., Tomlinson W.J. Opt. Lett., 1983, 8, 186.
6. Выслоух В.А., Серкин В.Н. Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, 48, 1777.
7. Дианов Е.М., Карасик А.Я., Мамышев П.В., Онищуков Г.И., Прохоров А.М., Стельмах М.Ф., Фомичев А.А. Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 564.
8. Дианов Е.М., Карасик А.Я., Прохоров А.М., Серкин В.Н. Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, 48, 1458.