

## ВКР-УСИЛЕНИЕ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ ВО ВСТРЕЧНОЙ И ПОПУТНОЙ НАКАЧКЕ

*Е.М. Дианов, П.В. Мамышев, А.М. Прохоров, Д.Г. Фурса*

Экспериментально показано сохранение частотной модуляции пикосекундных лазерных импульсов при ВКР-усилении во встречной и попутной накачке. На основании этого факта предложен новый метод усиления фемтосекундных импульсов. Получено усиление до 41 дБ 400–500 фс импульсов (до энергии порядка микроджоуля) при частоте повторения 1–30 кГц.

Актуальной задачей современной прикладной физики является генерация и усиление фемтосекундных лазерных импульсов, перестраиваемых в широком спектральном диапазоне. Методы, использующие генерацию сверхкоротких импульсов в лазерах на красителях и нелинейные явления в волоконных световодах позволяют получать импульсы фемтосекундной длительности в видимом и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах. Тем не менее усилители таких импульсов существуют только для видимого диапазона (вблизи  $\lambda \sim 0,6 \mu\text{м}$ ), причем усиливающей средой в них является краситель <sup>1</sup>.

В настоящей статье сообщается об обнаружении сохранения линейного закона частотной модуляции пикосекундных лазерных импульсов при ВКР-усилении в стеклянных волоконных световодах. Это позволило нам предложить новые методы усиления импульсов фемтосекундного диапазона длительностей, основанные на встречном и попутном ВКР-усилении. Одним из преимуществ таких усилителей является то, что они не привязаны к какой-либо определенной длине волны излучения, как например, в усилителях на красителях, и при соответствующей накачке могут работать как в видимом, так и в ближнем инфракрасном спектральных диапазонах, то есть во всей области прозрачности стеклянных световодов. Кроме того, пучок излучения на выходе волоконного усилителя остается одномодовым.

ВКР-усиление в волоконном световоде ранее исследовалось в микро-, нано- и пикосекундном диапазонах <sup>2–5</sup>, однако ширина линии ВКР-усиления в световодах на основе плавленного кварца достаточна для усиления импульсов длительностью  $\leq 100$  фс.

Основной проблемой при ВКР-усилении мощных лазерных импульсов в световоде является возникновение ВКР от усиливаемого импульса, что приводит к преобразованию его энергии в энергию высших стоксовых компонент и таким образом препятствует усилению <sup>5</sup>. Для предотвращения этого вредного эффекта в настоящей работе предложено усиливать предварительно дисперсионно уширенные во времени на несколько порядков фемтосекундные импульсы. Это позволяет понизить интенсивность излучения в световоде на несколько порядков и подавить не только ВКР, но и избежать других вредных нелинейных эффектов, таких как самофокусировка излучения и пробой световода. После усиления импульсы сжимаются до фемтосекундной длительности в дисперсионной линии задержки.

В наших экспериментах в качестве источника перестраиваемых по длине волны фемтосекундных импульсов использовался световодный синхронно-накачиваемый ВКР-лазер <sup>6</sup>, генерирующий непрерывную последовательность импульсов с частотой следования 125 МГц, длительностью 400–500 фс и энергией  $\sim 1$  нДж.

Схема эксперимента по ВКР-усилению во встречной накачке показана на рис. 1. Излучение лазера вводилось в одномодовый световод длиной 100 м, где из-за дисперсии групповых скоростей световода импульсы уширялись во времени до длительности  $\sim 23$  пс. С противоположного конца в световод после отражения от дифракционной решетки вводилось излучение накачки (непрерывно накачиваемый Nd : YAG-лазер с активной модуляцией доб-

ротности,  $\lambda = 1,064$  мкм, длительность импульсов 60 - 90 нс, частота повторения до 30 кГц). Для предотвращения возникновения в световоде вынужденного рассеяния Мандельштама - Бриллюэна использовались не гладкие импульсы накачки, а импульсы с временной субструктурой. Глубина проникновения накачки в световод определяется возникновением попутного ВКР из спонтанных шумов и при мощности накачки 1,2 кВт составляла 2 м, причем ВКР-усиление сигнальных импульсов происходит на этом участке световода. При энергии сигнальных импульсов 1 нДж получено усиление от 10 до 200 раз в диапазоне перестройки от 1,09 до 1,12 мкм. Отметим, что в наших экспериментах использовался не сохраняющий поляризацию световод. Как показывают наши расчеты, использование сохраняющего поляризацию световода позволит увеличить коэффициент усиления во встречном ВКР до  $\sim 3000$ . Сжатие усиленных импульсов производилось в дисперсионной линии задержки на основе дифракционной решетки, прямоугольной призмы и зеркал  $Z_1$  и  $Z_2$ . Для спектральной селекции в схеме использовалась регулируемая щель  $\mathcal{W}$ <sup>6,7</sup>. Длительность сжатых после усиления импульсов составляла 500 - 650 фс (рис. 3а), что говорит о сохранении частотной модуляции импульсов при ВКР-усилении.

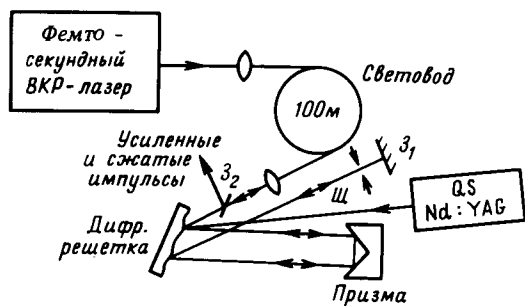


Рис. 1. Схема экспериментальной установки по встречному ВКР-усилению

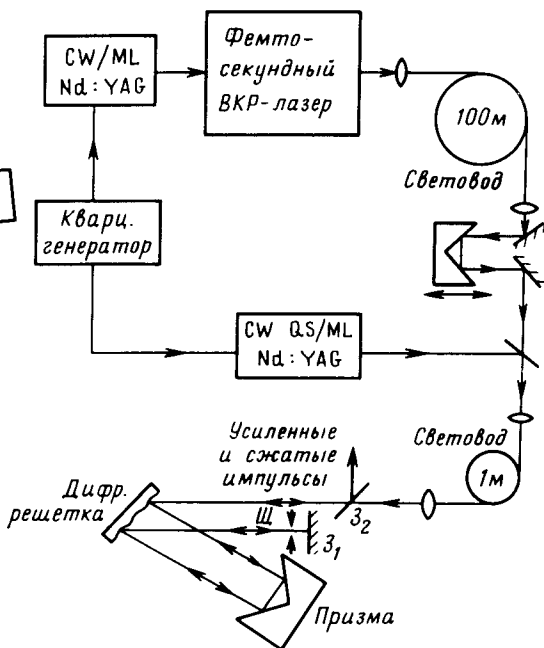
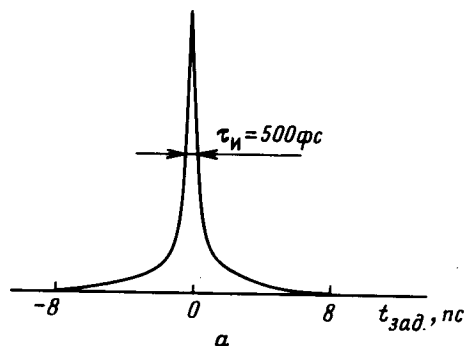


Рис. 2. Схема экспериментальной установки по попутному ВКР-усилению

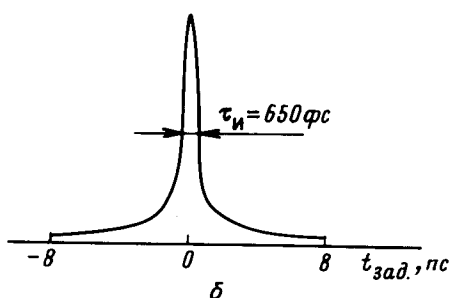


Рис. 3. Автокорреляционная функция сжатых импульсов в экспериментах: а - по встречному ВКР-усилению; б - по попутному ВКР-усилению

Схема эксперимента по попутному ВКР-усилению показана на рис. 2. В качестве накачки в этом случае использовался непрерывно накачиваемый Nd: YAG-лазер с активной синхронизацией мод и модуляцией добротности. Частота повторения импульсов модуляции доб-

ротности до 1 кГц, длительность импульсов синхронизации мод 50 пс, пиковая мощность 0,75 мВт. Для синхронизации во времени импульсов накачки и импульсов ВКР-лазера питание акустооптических синхронизаторов мод этих лазеров осуществлялось от одного кварцевого генератора ( см. рис. 2 ). Импульсы ВКР-лазера дисперсионно уширялись до  $\approx 23$  пс в первом световоде длиной 100 м, а затем усиливались во втором световоде длиной 1 м в поле излучения накачки. При введении в световод импульсов с энергией 0,02 нДж получен коэффициент усиления до  $1,5 \cdot 10^4$ , т.е. до энергии 0,3 мкДж. Мощность импульсов накачки при этом составляла 150 кВт.

Сжатие усиленных импульсов до длительности 600-700 фс ( рис. 3б ) производилось в дисперсионной линии задержки аналогично эксперименту по встречному ВКР-усилению.

Теоретическая модель и рассмотрение предельных возможностей предложенных методов ВКР-усиления фемтосекундных световых импульсов будет опубликовано в последующих работах.

#### Литература

1. Knox W.H., Dowher M.C., Fork R.L., Shank C.V. Opt. Lett., 1984, 9, 552.
2. Stolen R.H., Ippen E.P. Appl. Phys. Lett., 1984, 9, 276.
3. Nakazawa M., Tokuda M., Negishi Y., Uchida N.J. Opt. Soc. Am. B, 1984, 1, 80.
4. Mollenauer L.F., Stolen R.H., Islam M.N., Opt. Lett., 1985, 10, 229.
5. Грудинин А.Б., Пилупецкий А.Н., Хайдаров Д.В. Препринт ИОФАН № 117, Москва, 1987.
6. Дианов Е.М., Мамышев П.В., Прохоров А.М., Фурса Д.Г. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 469.
7. Hervitage J.P., Thurston R.N., Tomlinson W.J., Weiner A.M., Stolen R.H. Appl. Phys. Lett., 1985, 47, 87.