

**УСИЛЕНИЕ СВЕТА  
ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВСТРЕЧНЫХ ВОЛН  
В ОДНОМОДОВОМ ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ**

*Н.С.Воробьев, А.Б.Грудинин, Е.М.Дианов, А.М.Прохоров,  
Д.В.Хайдаров, И.Ю.Хрущев, М.Я.Щелев*

В работе приведены результаты экспериментального исследования нелинейного взаимодействия встречных волн в одномодовом волоконном световоде от двух лазеров на АИГ. В результате первая стоксовая компонента ( $\lambda = 1,12$  мкм) сигнального лазера усилилась более чем в 50 раз, произошло ее временное расщепление на пички длительностью короче 5 пс.

1. Исследованию нелинейных процессов, протекающих в одномодовых волоконных световодах (ОВС) в последнее время уделяется значительное внимание. Это объясняется как большим разнообразием физических механизмов, приводящих к нелинейному преобразованию частоты излучения (фазовая самомодуляция, ВКР, ВРМБ, четырехфотонные процессы), так и широкими возможностями в преобразовании временных характеристик излучения.

Известно, что экспоненциальный характер усиления стоксовых компонент ВКР приводит к эффективному сокращению длительностей импульсов этих компонент<sup>1</sup>. Еще в 1976 году в работе<sup>2</sup> было показано, что при возбуждении одномодового световода встречными импульсами от двух лазеров наряду с усилением сигнальной стоксовой волны за счет встречной волны накачки происходит значительное укорочение сигнального импульса, обусловленное преимущественным усилением его переднего фронта. Однако с тех пор появилось только несколько работ, посвященных этому вопросу<sup>3, 4</sup>, в которых обсуждались лишь вопросы усиления сигнальной волны, а ее временные характеристики не исследовались. Поэтому представляется весьма интересным исследовать временные и спектральные характеристики усиленной во встречном поле сигнальной волны.

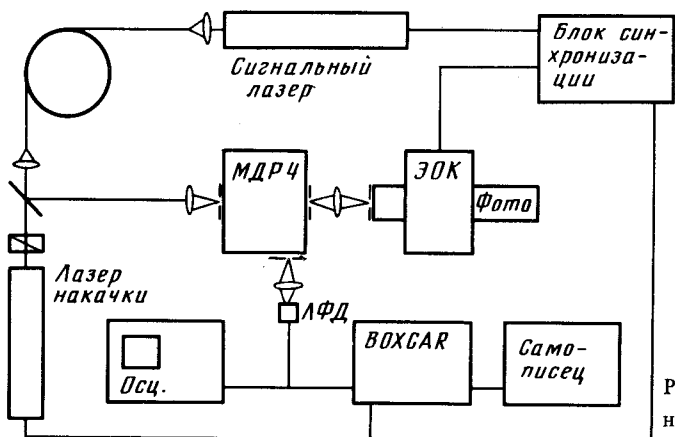


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Интенсивность, отн. ед.

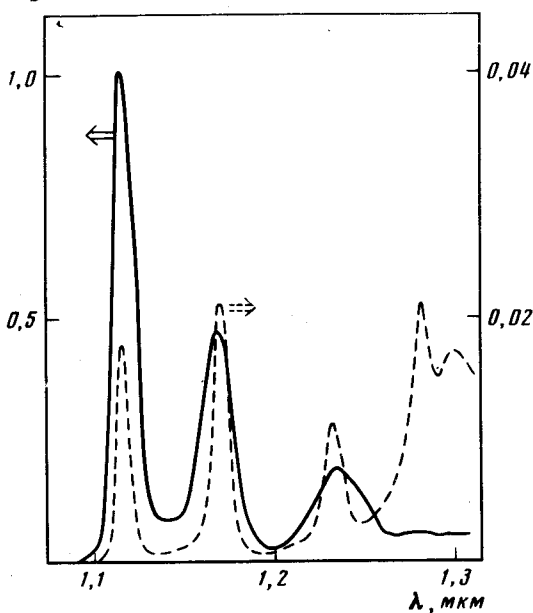


Рис. 2. Спектр ВКР, инициированного сигнальным импульсом. Пунктирная кривая - лазер накачки выключен, сплошная кривая - лазер накачки включен

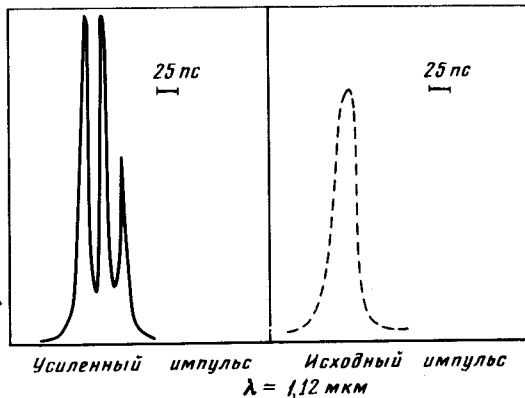


Рис. 3. Форма импульса на частоте первой стоксовой компоненты сигнального лазера. Пунктирная кривая - лазер накачки выключен, сплошная кривая - лазер накачки включен

2. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Излучение сигнального лазера на АИГ, работающего в режиме модулированной добротности с одновременной синхронизацией мод (длина волны 1,064 мкм, длительность импульсов 150 пс, при длительности пуга 250 нс, частота повторения 700 Гц, пиковая мощность 100 кВт) вводилось в исследуемый одномодовый световод (диаметр сердцевинки 8 мкм, разность показателей преломления сердцевинки и оболочки  $3 \cdot 10^{-3}$ , длина волны отсечки 1 мкм, длина 100 м), в котором возбуждалось вынужденное комбинационное рассеяние ВКР. На рис. 2 пунктиром изображен спектр ВКР, инициированного сигнальным лазером. Излучение накачки от второго лазера на АИГ, работающего в режиме модуляции добротности, вводилось в выходной торец световода. Длительность импульса излучения этого лазера — 100 нс. Цифровая линия задержки позволяла "сталкивать" импульсы накачки и сигнальный в различных точках вдоль световода. Максимальное усиление стоксовых компонент сигнального импульса достигалось в случае, если волны встречались вблизи выходного, относительно сигнального лазера, торца световода. На рис. 2 сплошной линией изображен спектр ВКР усиленной сигнальной волны. В качестве приемника использовался лавинный германиевый фотодиод, с временным разрешением порядка 500 пс. Из приведенных данных видно, что первая стоксова компонента усиливается не менее чем в 50 раз, а ее спектральная полуширина возрастает более чем вдвое. Усиление стоксовых компонент более высоких порядков несколько меньше.

Временные характеристики усиленных стоксовых компонент измерялись с помощью электронно-оптической камеры (ЭОК) работавшей в режиме линейной развертки с максимальным временным разрешением 5 пс.

На рис. 3 пунктирной кривой показана форма сигнального импульса света, измеренная с помощью ЭОК, на частоте первой стоксовой компоненты в случае отсутствия волны накачки, а сплошной кривой — тот же импульс, усиленный во встречной волне. Из приведенных данных следует, что произошло временное "расщепление" сигнального импульса на пички, длительностью короче 5 пс. Такое же характерное расщепление наблюдалось и для других стоксовых компонент, однако количество пичков и их интенсивность значительно уменьшались по мере продвижения в ИК область. Аналогичная картина наблюдалась в том же световоде длиной 25 метров. Коэффициент усиления сигнального импульса был ниже, но его структура была подобной приведенной на рис. 3.

3. Наблюдаемое временное расщепление стоксовых импульсов находится в кажущемся противоречии с общеизвестным эффектом преимущественного усиления переднего фронта таких импульсов. В связи с этим физическая картина, возникающая при нелинейном взаимодействии встречных волн в ОВС, в данном случае выглядит по-видимому, следующим образом. Эффект усиления при взаимодействии встречных волн обусловлен, тем, что интенсивная волна накачки возбуждает среду и если момент взаимодействия подобран так, что стоксова волна, инициируемая волной накачки еще не успела развиться из спонтанных шумов, то возбуждение снимает стоксов сигнальный импульс. В результате такого нелинейного взаимодействия преимущественно усиливается передний фронт импульса и если усиление достаточно велико, то несмотря на внутримодовую дисперсию и фазовую самомодуляцию, длительность импульса уменьшается. Фактически происходит сжатие импульса. Если энергия, запасенная волной накачки, достаточно велика, то интенсивность сжатого сигнального стоксова импульса может превысить некоторую пороговую величину и он сам начнет служить накачкой для стоксовой компоненты более высокого порядка. В результате такого процесса ВКР в центре сигнального импульса образуется провал, а длительность "осколков" уменьшается. Затем в процессе дальнейшего усиления передний "осколок" вновь усиливается до критической величины, затем в результате ВКР распадается на два, и так процесс продолжается до тех пор, пока стоксов сигнальный импульс не покинет световод.

4. В результате проведенных экспериментов по встречному взаимодействию волн в ОВС удалось получить преобразование 150 пс импульсов накачки ( $\lambda = 1,064$  мкм) в серии пич -

ков длительностью короче 5 пс на частоте первой стоксовой компоненты ( $\lambda = 1,12$  мкм). Отметим, что длительность усиленных стоксовых импульсов была малокритична к длительности исходного сигнального импульса накачки.

Авторы выражают благодарность В.Н.Серкину и А.Н.Пилипецкому за плодотворное обсуждение результатов работы.

#### Литература

1. Бломберген Н. УФН, 1969, 97, 307.
2. Lin Chinlon, Stolen R.H. Appl. Phys. Lett., 1976, 29, 428.
3. Nakazawa M., Tokuda M., Negishi Y., Uchida N. JOSA-B, 1984, 1, 80.
4. Nakazawa M., Nakashima T., Seikai S. JOSA-B, 1985, 2, 515.
5. Лозовой В.И. и др. Квантовая электроника, 1980, 7, 2063.

Институт общей физики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
13 мая 1986 г.