

## ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ВКР В ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ

*З.В.Нестерова, И.В.Александров, И.В.Мельник,  
Б.С.Непорент, Д.К.Саттаров*

Экспериментально обнаружена серия антистоксовых полос ВКР в волоконном световоде, а также аномальное распределение интенсивности стоксовых полос ВКР на колебаниях связей Si — O волокна. Спектральные, амплитудные и временные характеристики ВКР связаны с параметрическими взаимодействиями световых волн в исследованном волокне.

Изучение процессов вынужденного рассеяния в волоконных световодах представляет значительный интерес как для понимания механизма многофотонных взаимодействий в поле мощного светового излучения, так и для оценки качества самих волоконных световодов, предназначенных для волоконно-оптических линий связи. К настоящему времени получены спектры ВКР на волокне при импульсном и непрерывном возбуждении в видимой и ближней ИК областях спектра, в том числе с многоступенчатым возбуждением стоксовых линий ВКР, которые ин-

терпретируются в рамках известной схемы каскадного ВКР [1, 2]. В данной работе впервые описан комбинационный лазер на волоконном световоде с параметрической генерацией серии стоксовых ( $n_s = 1 - 9$ ) и антистоксовых ( $n_{as} = 1 - 3$ ) компонент ВКР в видимой области спектра.

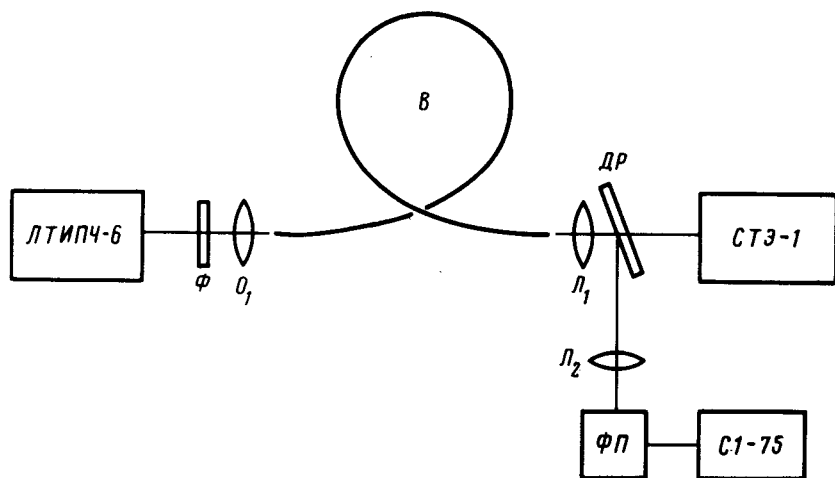


Рис.1. Схема экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Импульсное излучение лазера ЛТИПЧ-6 ( $\lambda_0 = 532$  нм,  $P_{и} \sim 400$  кВт,  $\tau_{и} \sim 15$  нсек) после фильтра  $\Phi$ , отсекающего излучение на основной частоте, фокусировалось просветленным микрообъективом  $O_1$  ( $10^x$ ) на торец мало-дисперсионного кварцевого волокна, изготовленного в ГОИ методом химического осаждения компонентов из газовой фазы. Длина волокна составляла  $\sim 150$  м, диаметры жилы и оболочки — 50 и 130 мк соответственно при апертуре 0,17. Потери в волокне на длине волны 532 нм не превышали 30 дб/км. Излучение с выхода волокна собиралось линзами  $L_1$  и  $L_2$  и поступало на вход спектрографа СТЭ-1 или после разложения дифракционной решеткой ДР 1500 штр/мм направлялось на вход фотоприемника ФП с временным разрешением  $\sim 0,2$  нсек, соединенного с осциллографом С1-75.

На рис.2 представлена типичная микрофотограмма линий генерации ВКР в описываемом лазере. Двухзначные числа над полосами обозначают относительную интегральную интенсивность компонент, а цифры в скобках — длительность импульсов возбуждающего лазера и стоксовых компонент ВКР, находящихся в диапазоне временного разрешения осциллографа. Отметим, что полосы ВКР расположены на расстоянии  $410 - 440$  см $^{-1}$  и соответствуют возбуждению молекулярного колебания связи Si — O тетраэдрических групп плавленного кварца. В антистоксовой области спектра расположены три полосы, причем наибольшей интенсивностью отличалась вторая полоса. Ряд полос ВКР (стоксовых и антистоксовых) проявляют структуру с дополнительным максимумом, который может быть обусловлен участием колебаний различного типа.

Генерация антистоксового излучения, как известно, является отличительной особенностью параметрических взаимодействий. Наблюдаемая в нашем случае активизация антистоксовых полос связана с высокой эффективностью параметрических процессов в ограниченном объеме волоконного световода при большой длине активной среды, на которой реализуется режим захвата фаз. Не исключено, что с потерей захвата фаз на определенной длине волокна развитие процесса ВКР может быть объяснено в рамках механизма каскадного ВКР.

На примере первой стоксовой компоненты можно видеть, что полосы ВКР в волоконном световоде имеют значительную ширину ( $\delta\nu_1 \sim 1,2$  нм), соответствующую ширине бесструктурных полос аналогичных колебаний в спектрах спонтанного КР плавленного кварца [1]. Относительная интегральная интенсивность первой стоксовой полосы ( $\lambda_1 = 545$  нм) составляет  $\sim 1,15$  от излучения накачки на выходе волокна и существенно меньше интенсивности второй стоксовой полосы ( $\sim 1,50$ ), что также является следствием параметрических взаимодействий в поле бигармонической накачки ( $\lambda_0 = 532$  нм,  $\lambda_1 = 545$  нм), тогда как процесс обычного каскадного ВКР в волокне характеризуется монотонным уменьшением интенсивности стоксовых полос с ростом их номера  $n$  [2].

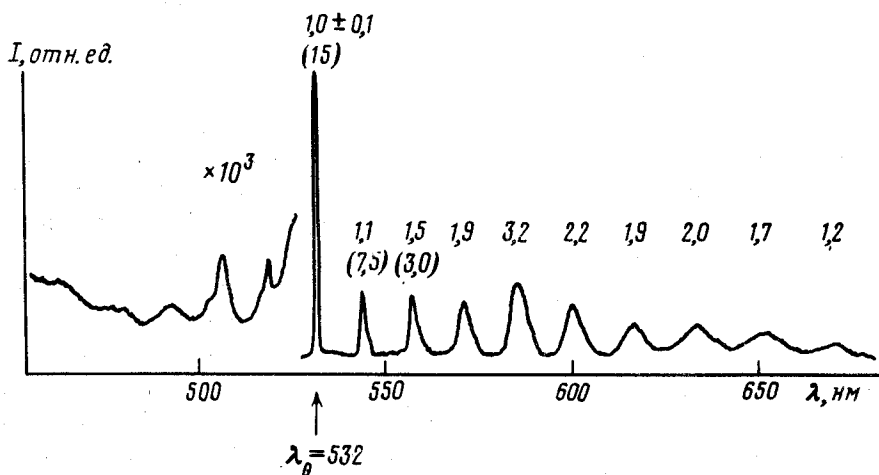


Рис. 2. Микрофотограмма полос ВКР в волоконном световоде

По данным рис.2 видно, что длительность импульса  $\tau_n$  стоксовых полос волоконного параметрического лазера убывает с ростом числа  $n$  и, начиная с  $n_s = 4$ , переходит в субнаносекундный диапазон. Существенной особенностью генерации высших стоксовых компонент ВКР в нашем случае является резкое спектральное уширение соответствующих полос (например,  $\delta\nu_8 \sim 10$  нм). При выбранной длине волокна ( $l \sim 150$  м), значительно превышающей оптимальную длину ( $l \sim 110$  м) для интенсификации первой стоксовой компоненты, которая была нами определена на основании машинного расчета, наибольшей интенсивностью отличалась четвертая стоксовая компонента ВКР.

Можно предположить, что использование волокна, активированного окислами фосфора и германия, приведет к возникновению дополнительного светового континуума в ближней ИК области при возбуждении полос ВКР фосфатных и германатных групп с большим стоксовым сдвигом, а подбором длины волокна интенсивность высших стоксовых компонент будет существенно увеличена.

В соответствии с современными представлениями о роли параметрических и комбинационных процессов в генерации высших стоксовых компонент [3, 4] параметрические взаимодействия приводят к возникновению в среде нелинейной поляризации на частотах взаимодействующих полей, определяющей эффективную добавку к линейной диэлектрической проницаемости среды. В этом случае пороговая плотность энергии излучения, необходимая для возбуждения стоксовых полос с  $n_s > 1$  может уменьшиться на порядки величин. В данном случае генерация полос с  $n_s = 3 - 9$  происходила одновременно при незначительном увеличении мощности накачки над порогом генерации второй стоксовой полосы. Отметим, что в [5] возможность создания параметрического комбинационного волоконного лазера предсказана теоретически для режимов генерации, при которых зависимость интенсивности стоксовой компоненты от осевой координаты является монотонно нарастающей.

Таким образом, описанный комбинационный лазер является первой экспериментальной реализацией параметрических взаимодействий в волоконных световодах и обладает рядом уникальных характеристик. Такой лазер может быть эффективным источником квазинепрерывного излучения большой мощности в видимой и ближней ИК областях, а также генератором световых импульсов субнаносекундной длительности. Волоконные световоды, по-видимому, являются в настоящее время единственными устройствами, в которых при малой мощности накачки возможна одновременная генерация серии антистоксовых компонент ВКР, что позволяет более полно исследовать особенности четырехфотонных параметрических взаимодействий в конденсированных активных средах.

Поступила в редакцию  
11 февраля 1980 г.

### Литература

- [1] C.Lin, R.K.Jain, R.H.Stolen. J. Opt. Soc. Amer., **67**, 250A, 1977.
- [2] В.В.Григорянц, Б.Л. Давыдов, М.Е.Жаботинский, В.Ф.Золин, Г.А.Иванов, В.И.Смирнов, Ю.К.Чаморовский. Письма в ЖТФ, **3**, 54, 1977.
- [3] Г.В.Венкин, Г.М.Крочик, Л.Л.Кулюк, Д.И.Малеев, Ю.Г.Хронопуло. Письма в ЖЭТФ, **21**, 235, 1975.
- [4] В.С.Бутылкин, Г.В.Венкин, Л.Л.Кулюк, Д.И.Малеев, Ю.Г.Хронопуло, М.Ф.Шалаяев. Квантовая электроника, **4**, 1537, 1977.
- [5] Ю.Г.Хронопуло. Сб. "Резонансные взаимодействия света с веществом", М., изд. Наука, 1977, стр.247.