

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МОЩНЫХ СВЕРХКОРОТКИХ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ В МНОГОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

*З.В.Нестерова, И.В.Александров, А.А.Полницкий
Д.К.Саттаров*

Экспериментально изучен процесс параметрического нестационарного ВКР и других нелинейных явлений в волоконных световодах (ВС). Обнаружено явление перераспределения энергии пикосекундных световых импульсов по модам ВС. Обсуждены условия солитонного режима распространения высших стоксовых компонент ВКР в приосевой зоне ВС.

Нелинейное преобразование лазерного излучения в волоконных световодах (ВС) достигается при аномально малой мощности светового потока на входе ВС, вследствие чего открывается перспектива изучения механизма нелинейного преобразования мощного излучения в широком диапазоне значений энергии возбуждающих импульсов. В данной работе впервые экспериментально исследованы нелинейные процессы, развивающиеся в ВС при возбуждении сверхкороткими световыми импульсами. Анализ временных характеристик световых импульсов выполнен с помощью электронно-оптической камеры "Агат" с временным разрешением 2 – 3 псек. Общая схема экспериментальной установки описана в [1].

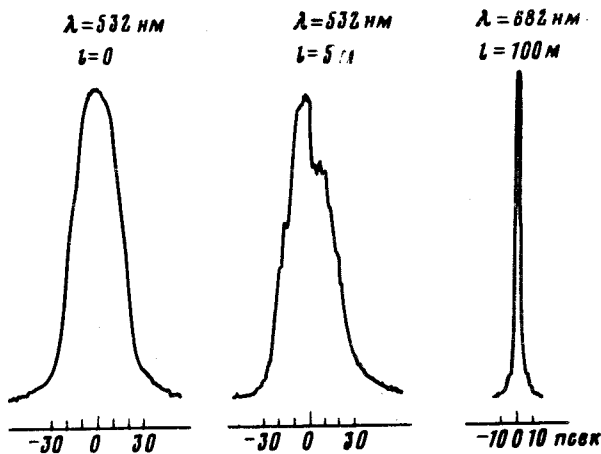


Рис. 1. Микрофотограмма импульсов накачки на входе ($l=0$) и выходе ВС ($l=5$ м) и девятой стоксовой компоненты ВКР ($l=100$ м)

На рис. 1 представлена микрофотограмма временной развертки импульсов накачки на входе многомодового ВС ($\lambda = 532$ нм, $\Delta t_{\text{H}} = 35$ псек, $P_{\text{И}} \sim 100$ кВт) и выходе ВС при диаметре кварцевой световедущей жилы $d = 50$ мк и длине ВС $l = 5$ м и девятой стоксовой компоненты ВКР на колебании связи $\text{Si} - 0 \sim 460$ см^{-1} материала жилы ВС при $l = 100$ м. Видно значительное уменьшение длительности импульса стоксовой компоненты $\Delta t_{\text{С}}$ по сравнению с величиной Δt_{H} , причем импульс накачки после ВС приобретает отчетливую структуру, которая определяется, в первую очередь, величинами l и P_{H} . При $l \geq 20$ м импульс накачки размывается в широкие структурированные полосы с $\Delta t_{\text{H}} = 0,7 - 1$ нсек, тогда как величины $\Delta t_{\text{С}}$ практически постоянны при изменении l от 5 до 100 м. Отметим, что общее число стоксовых компонент ВКР в ВС достигало 22 - 24 и было ограничено областью значительных линейных потерь в кварцевом ВС около $\lambda \approx 1,3$ мк. Тенденция к уменьшению величин Δt стоксовых компонент ВКР с ростом их номера может быть прослежена на примере 1 - 3 компонент при $l = 5$ м, величина Δt , которых составляет 17 ± 3 ; 10 ± 3 и ~ 3 псек соответственно. Значения Δt высших стоксовых компонент ВКР ограничены пределом переменного разрешения прибора "Агат". Величина Δt первой антистоксовой компоненты ВКР при тех же значениях P_{H} и $l = 100$ м равна $\sim 350 \pm 50$ псек.

Спектр преобразованного излучения приведен на рис. 2. Интенсивный световой континуум в области 420 - 510 и 550 - 1000 нм обусловлен явлением самомодуляции фаз (СМФ) световых волн, которое при наносекундном возбуждении в видимом диапазоне наблюдалось ранее в ВС только в стоксовой области [2]. Наблюдаемое эффективное преобразование излучения накачки в световой континуум и серию стоксовых и антистоксовых компонент ВКР связано, по нашему мнению, с большой мощностью излучения при пикосекундном ВКР преобразовании и реализацией режима параметрического взаимодействия световых волн в ВС [1]. Узкие линии в стоксовой и антистоксовой областях на расстоянии ~ 250 см^{-1} от линии накачки соответствуют преобразованию излучения накачки в процессе вынужденного четырехфотонного смешения [3].

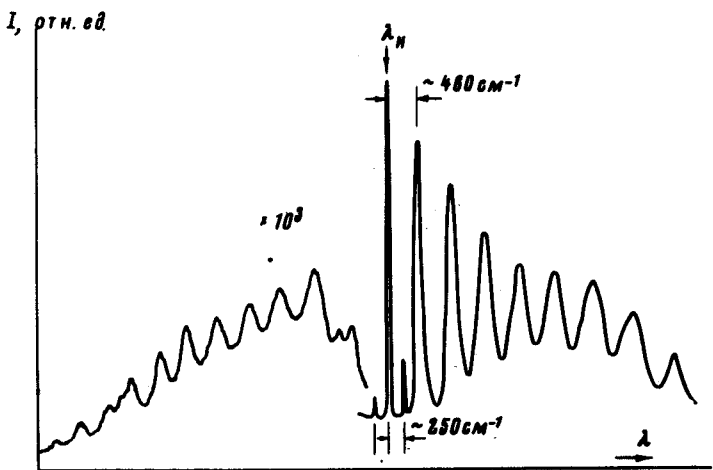


Рис. 2. Микрофотограмма спектра преобразованного излучения в ВС

На рис. 3 представлены фотографии модового состава излучения накачки и высших стоксовых компонент ВКР в ВС. Видно, что преобразованное излучение распространяется в виде колебания типа HE_{1m} , тогда как излучение накачки с выхода ВС при большой P_N имеет сложный модовый состав со значительной концентрацией энергии в приосевых модах.

Мы предполагаем, что преобразование излучения накачки в многомодовом ВС в компоненты ВКР происходит в условиях самофокусировки этого излучения в низших приосевых модах ВС (рис. 3, б). Такая концентрация энергии в приосевых модах задает квазиодномодовый режим дальнейшего распространения преобразованного излучения. Свидетельством квазиодномодового режима распространения световых импульсов в данном многомодовом ВС является и генерация в нем излучения в процессе вынужденного четырехфотонного смещения, который реализуется только в ВС с числом мод около десяти [3]. В то же время возбуждение антистоксовых компонент ВКР возможно при выполнении условий пространственного синхронизма для волновых векторов взаимодействующих световых волн, вследствие чего излучение антистоксовых компонент ВКР распространяется вне осевой зоны по многим модам ВС и величины Δt антистоксовых компонент (и излучения накачки в высших модах) определяются процессами модовой и межмодовой дисперсии.

Особого внимания заслуживают результаты измерения величин Δt высших стоксовых компонент ВКР в ВС. При достаточной величине P_N мы наблюдали генерацию более десяти стоксовых компонент уже при $l = 5 \text{ м}$. При длине $l = 100 \text{ м}$ и аналогичной величине P_N значение Δt в квазиодномодовом режиме распространения световых импульсов должно определяться дисперсией материала ВС (в нашем случае ~ 50 псек), однако результаты измерений величин Δt высших стоксовых компонент дают значения ≤ 15 псек. По нашему мнению, в при-

сево́й зоне данного ВС происходит компенсация дисперсионного расплывания импульсов стоксовых компонент ВКР за счет нелинейной добавки к показателю преломления и возникновение стабильного волнового пакета — солитона. В видимой области спектра (при положительной дисперсии ВС) по данным теоретического анализа [4], солитонный режим прохождения светового импульса реализуется в ВС с радиальной неоднородностью показателя преломления световедущей жилы, которая по [4] задается технологией изготовления ВС, а в нашем случае — условиями нелинейного преобразования импульса накачки в многомодовом ВС. Мы не исключаем также возможности когерентных колебаний населенностей взаимодействующих уровней [5] для высших компонент ВКР в ВС, что может быть установлено путем анализа временных параметров высших антистоксовых компонент при их коллинеарном распространении с волнами соответствующих стоксовых компонент ВКР. Образование солитона в одномодовом ВС для световых импульсов в области отрицательной дисперсии ВС ($\lambda \geq 1,35$ мк) недавно продемонстрировано в [6].

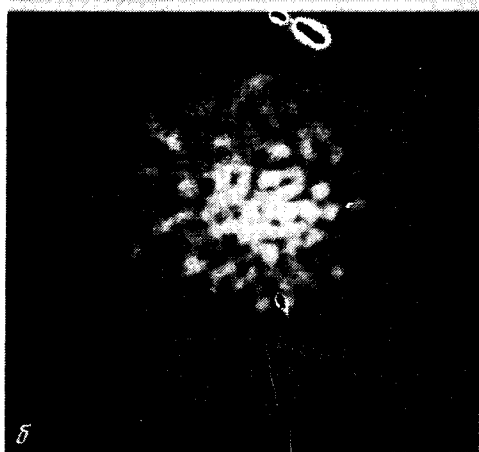
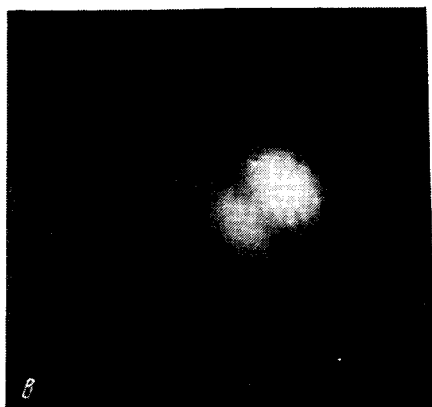
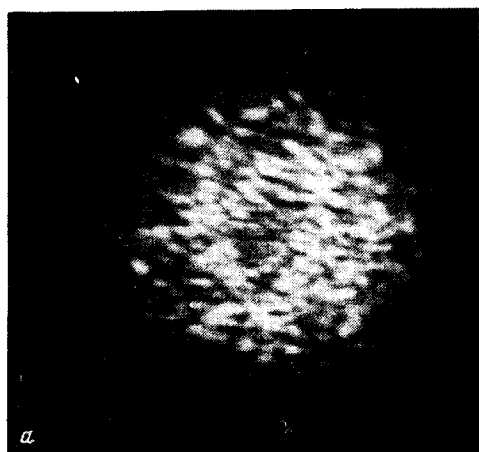


Рис. 3. Модовое распределение излучения с выхода ВС: *а* — накачки без нелинейного преобразования ($P_H \sim \sim 1$ кВт), *б* — накачки в условиях самофокусировки излучения ($P_H \sim \sim 100$ кВт), *в* — девятой стоксовой компоненты ВКР ($P_H \sim 100$ кВт)

Таким образом, самовоздействие мощного лазерного излучения в многомодовом ВС приводит к изменению условий его распространения, при которых возможно самосжатие сверхкоротких световых импульсов на частотах стоксовых компонент ВКР. Детальные эксперименты с использованием регистрирующих камер с субпикосекундным временным разрешением позволят выяснить особенности процесса нестационарного ВКР преобразования лазерного излучения в многомодовых ВС, а также оценить перспективы передачи информации по компонентам ВКР в ВС, предназначенных для волоконно-оптических линий связи [7].

Поступила в редакцию

18 июля 1981 г.

После переработки

24 августа 1981 г.

Литература

- [1] Нестерова З.В., Александров И.В., Мельник И.В., Непорент Б.С., Самтаров Д.К. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 363.
 - [2] Chinlon Lin., Stolen R.H. Appl. Phys. Lett., 1976, 28, 216.
 - [3] Stolen R.H., Leibolt W.H. Appl. Opt., 1976, 15, 239.
 - [4] Jain M., Tzoar N. J. Appl. Phys., 1978, 49, 4649.
 - [5] Ахманов С.А., Драбович К.Н., Сухоруков А.П., Чиркин А.С. ЖЭТФ, 1970, 59, 485.
 - [6] Mollenauer F., Stolen R.H., Gordon J.P. Phys. Rev. Lett., 1980, 45, 1095.
 - [7] Нестерова З.В., Петровский Г.Т., Самтаров Д.К. Письма в ЖТФ, 1981, 7, 632.
-