

НЕЛИНЕЙНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МОЩНЫХ И КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В СВЕТОВОДНЫХ ЛАЗЕРАХ

Е.М.Дианов, А.Н.Пилипецкий, А.М.Прохоров,
В.Н.Серкин

Предложен метод нелинейного преобразования непрерывного излучения накачки в периодическую последовательность мощных и коротких импульсов в световодном ВРМБ-лазере. Формируемые импульсы аккумулируют в себе энергию накачки, запасенную на периоде резонатора и имеют длительность на порядок меньшую времени релаксации гиперзвуковой волны.

В настоящее время все более расширяется сфера применения волоконных световодов ВС в нелинейной оптике и квантовой электронике. Это связано с практическим решением таких проблем, как формирование импульсов фемтосекундной длительности генерации оптических солитонов, созданием световодных ВКР- и ВРМБ-лазеров^{1–4}.

Предметом настоящей статьи является анализ возможности применения ВС для преобразования непрерывного лазерного излучения в периодическую последовательность мощных и коротких импульсов с помощью световодного ВРМБ-лазера. Идея подобного преобразования заключается в возбуждении вынужденного рассеяния Мандельштамма – Бриллюэна в ВС, помещенном в оптический резонатор. По мере развития генерации в таком лазере формируются мощные и краткие импульсы встречного рассеяния, которые на каждом следующем проходе по ВС "вбирают" в себя всю энергию излучения накачки, запасенную на периоде разонатора. Анализ динамики генерации световодного ВРМБ-лазера проведен численными методами в рамках модели плоских волн с учетом эффектов насыщения и конечного времени релаксации гиперзвуковой волны.

Расчеты выполнены как для модели развития генерации из спонтанных флуктуаций излучения на стоксовой частоте, так и для модели "жесткого" режима возбуждения генерации, возникающей при инжеекции в резонатор световодного ВРМБ-лазера короткого инициирующего импульса. На рис. 1 показана типичная картина развития генерации в подобном лазере. На начальном этапе развития генерации стоксов импульс усиливается и сжимается, но при этом после каждого прохода по разонатору лазера он оставляет после себя мощную гиперзвуковую волну вблизи переднего торца световода, которая отражает часть излучения накачки назад и создает затянутый задний фронт стоксова импульса. Эта остаточная гиперзвуковая волна приводит к тому, что при каждом следующем проходе все меньшая интенсивность импульса накачки проникает внутрь ВС. В итоге у передней границы ВС создается мощная акустическая волна, отражающая практически все излучение накачки. Что приводит к сглаживанию временной структуры стоксова излучения и стабилизации его на уровне

$$I_c = I_h \text{ рис. 1.}$$

С целью формирования стационарной последовательности импульсов в световодном ВРМБ-лазере нами предлагается использовать эффект нелинейного просветления резонансно поглощающей среды, введенной в разонатор лазера⁵. Использование просветляющегося фильтра позволяет ограничить "пьедестал" стоксовых импульсов и достигнуть генерации последовательности ВРМБ импульсов с длительностью на порядок меньшей времени релаксации гиперзвуковой волны и интенсивностью, на два порядка превышающей интенсивность накачки. Типичная картина генерации предлагаемого световодного ВРМБ-лазера показана на рис. 2.

В заключение приведем параметры лазерной системы, при которых возможно наблюдение рассмотренных выше эффектов. Порог генерации световодного ВРМБ-лазера с нелиней-

но-просветляющимся фильтром определяется следующим выражением:

$$I_{\text{н пор}} = (\kappa_0 - \ln R) / gl$$

и составляет на длине волны $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ $0,97 \cdot 10^6 \text{ Вт/см}^2$ ($g = 4,5 \cdot 10^{-9} \text{ см/Вт}$; $T_2 = 10 \text{ нс}$, $l = 20 \text{ м}$, $R = 0,5$, где R – эффективный коэффициент отражения зеркал, κ_0 – начальное поглощение фильтра $\kappa_0 = 8$).

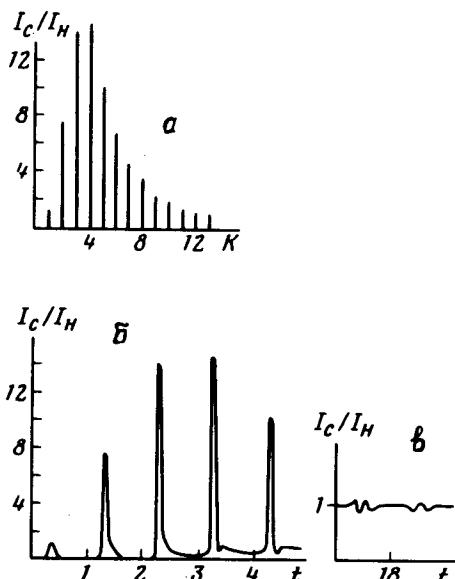


Рис. 1

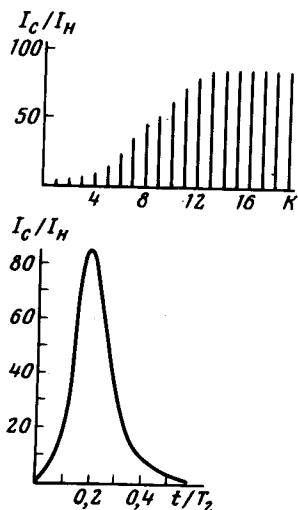


Рис. 2

Рис. 1. Динамика генерации световодного ВРМБ-лазера при непрерывной накачке: *а* – зависимость максимальной интенсивности стоксовых импульсов I_c/I_h от числа проходов по резонатору k – вид пуга на экране осциллографа, *б* – форма импульсов генерации на первых проходах по резонатору, *в* – интенсивность стоксова излучения на выходе световодного ВРМБ-лазера

Рис. 2. Преобразование непрерывного излучения накачки в последовательность мощных и коротких импульсов в световодном ВРМБ-лазере с нелинейно просветляющимся фильтром: *а* – процесс установления стационарного режима генерации коротких импульсов; *б* – стационарная форма импульса генерации

Характерные значения интенсивности накачки при которых происходит формирование мощных одиночных импульсов в численных экспериментах составляли: $gI_h l = 10$. Откуда следует оценка величины интенсивности накачки: $I_h = 1,13 \cdot 10^6 \text{ Вт/см}^2$, что при эффективной площади сечения световодной моды $S = 20 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$ дает следующие значения мощности непрерывного лазера накачки $P = I_h S = 1,13 \cdot 10^6 \text{ Вт/см}^2 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2 = 220 \text{ мВт}$. В численных экспериментах интенсивность просветления фильтра была порядка 10^6 Вт/см^2 , что позволяет использовать широкораспространенные фильтры, применяемые для синхронизации мод в лазерах⁵.

Подчеркнем, что при экспериментальной реализации предложенного метода возможно также каскадное преобразование излучения импульса ВРМБ при попутном ВКР. Действительно, если зеркала резонатора отражают излучение и на частоте ВКР, то по мере развития генерации импульсов ВРМБ возможно их последующее каскадное ВКР преобразование и компрессия при возбуждении стоксовых компонент высших порядков⁶.

Предлагаемый метод нелинейного преобразования непрерывного излучения в периодическую последовательность мощных и коротких импульсов требует реализации достаточно высоких инкрементов усиления стоксова излучения за проход по резонатору лазера. При экспе-

риментальной реализации данного метода преобразования излучения в объемных средах могут встретиться значительные трудности, обусловленные конкуренцией эффектов вынужденного рассеяния и самофокусировки излучения. Эффект усиления при встречных ВР в объемных средах используется в настоящее время для обращения волнового фронта и управления параметрами мощных наносекундных импульсов в проблеме лазерного термоядерного синтеза^{7, 8}. Насколько нам известно, задачи управления параметрами непрерывного излучения при встречных рассеяниях в объемных средах до настоящего времени не ставились.

В заключение следует отметить, что обнаружение эффекта ВРМБ в ВС среднего ИК-диапазона⁹ позволяет надеяться, что предлагаемый метод можно использовать для внутриструктурного преобразования непрерывного излучения CO₂-лазера.

Авторы выражают глубокую благодарность Ю.Е.Дьякову, Б.Я.Зельдовичу, В.В.Шкунову за полезные обсуждения.

Литература

1. Д'янов Е.М., Карасик А.Я., Прохоров А.М., Серкин В.Н., Известия АН СССР, сер. физ., 1984, 48, 1458.
2. Kawasaki O.S., Johnson D.C., Fujii Y., Hill K.O. Appl. Phys. Lett., 1978, 32 (7), 429.
3. Ponikvar D.R., Ezekiel S. Opt. Lett., 1981, 6, 398.
4. Stokes L.F., Chodorow M., Shaw H.J. Opt. Lett., 1982, 7, 509.
5. Зельдович Б.Я., Кузнецова Т.И. УФН, 1972, 106, 47.
6. Исаев С.К., Корниенко Л.С., Кравцов Н.В., Серкин В.Н., Фирсов В.В. ЖЭТФ, 1980, 79, 1239.
7. Кормер С.Б., Кочемасов Г.Г., Куликов С.М., Николаев Вик.Д., Сухарев С.А. ЖЭТФ, 1982, 82, 1079.
8. Murray J.R., Goldhar J., Eimerl D., Szoke A. IEEE J. of Quantum. Electr., 1979, QE-15, 342.
9. Ковалев В.И., Мусаев М.А., Файзуллов Ф.С., Шмелев А.К. Квантовая электроника, 1984, 11, 168.

Институт общей физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
31 января 1985 г.