

ВОЛОКОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ФЕМТОСЕКУНДНОГО ВКР-КОНТИНУУМА

Е.М. Дианов, Д.В. Коробкин, А.М. Стрельцов

Экспериментально исследованы характеристики поля в волоконном резонаторе, накачиваемом твердотельным лазером. Показано, что благодаря интенсивному каскадному вынужденному комбинационному рассеянию (ВКР) такое устройство может служить источником широкополосного оптического излучения.

Для спектроскопии высокого временного разрешения актуальной является проблема создания широкодиапазонного источника ультракоротких оптических импульсов. Существует несколько путей решения этой задачи. Во-первых, применение лазеров на красителях /1/, перестраиваемых по длине волны внутри широкой линии люминесценции и допускающих замену красителя для смены длины волны генерации. Во-вторых, имея в качестве источника тот же лазер на красителе, можно существенно расширить спектр импульса при сохранении длительности за счет фазовой самомодуляции в жидкостях /2/, в результате чего формируется световой континуум — белый свет.

Альтернативным способом является использование многокаскадного ВКР в средах с широкой линией такого рассеяния, например, в одномодовых стеклянных волокнах длиной 20 — 50 м, где перекачка энергии в стоксовые области сопровождается образованием фемтосекундных оптических импульсов /3/. Недавно был создан каскадный ВКР-солитонный волоконный лазер с синхронной накачкой /4/, обладающий невысокими энергетическими параметрами.

В данной работе реализован волоконный каскадный ВКР-лазер, работающий в диапазоне длин волн 1,06 — 1,6 мкм и обладающий относительной простотой конструкции и юстировки.

Схема установки изображена на рис. 1. Источником синхронной накачки служил лазер на АИГ: Nd³⁺, работающий на длине волны 1,06 мкм в режиме модуляции добротности и синхронизации мод. Длительность цуга составляла 300 нс, длительность импульса в цуге 150 пс, период повторения импульсов в цуге 10 нс, период повторения пачек 1,4 мс. Резонатор с волокном содержал два зеркала. Входное (З₁) имело пропускание 80 — 90% в диапазоне 1,06 — 1,2 мкм, в диапазоне 1,2 — 1,3 мкм пропускание уменьшалось до нуля и оставалось таковым вплоть до $\lambda = 1,7$ мкм. Заднее зеркало (З₂) глухое. Между зеркалами и торцами волокна устанавливались линзы для ввода излучения в волокно.

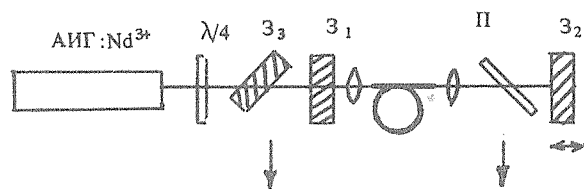


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Световод резонатора (одномодовое волокно) имел следующие параметры: диаметр сердцевины 8 мкм, длина волны нулевой хроматической дисперсии $\lambda_0 = 1,36$ мкм. Длина волокна 1,7 м. Время обхода резонатора составляло 20 нс, которое было выбрано из соображений компромисса между необходимостью обеспечить как можно большее количество обходов резонатора за время, соответствующее длительности цуга импульсов накачки, и эффективным заполнением резонатора волокном.

Между линзой и задним зеркалом располагалась стеклянная отводная пластина (Π) для вывода излучения. Между выходным зеркалом лазера накачки (поляризация луча вертикальная) и зеркалом З₁ находилась развязывающая пластинка $\lambda/4$ и отводное дихроичное зеркало З₃, направлявшее на фотодатчик излуче-

ние стоковых компонент. По величине этого излучения можно судить о качестве ввода отраженного от глухого зеркала света обратно в волокно. Длина резонатора регулировалась для получения максимума излучения с отводной пластинки на длине волны 1,6 мкм, причем необходимая точность юстировки составила ± 5 мкм.

На рис. 2 показан спектр излучения работающего лазера и излучения, выходящего из волокна после одного прохода. Вводимая в волокно средняя мощность накачки составляла 150 мВт. Средняя мощность излучения с отводной пластинки, измеренная через светофильтр ИКС-1, составляла 4 мВт, причем на диапазон длин волн 1,2 – 1,6 мкм приходилось 1,7 мВт.

В области длин волн 1,3 – 1,6 мкм при наличии генерации интенсивность света в 2 – 3 раза выше, чем при одном проходе через волокно, причем эта разница возрастала при уменьшении вводимой в волокно мощности накачки.

В отличие от наблюдавшихся спектров ВКР в длинных отрезках волокна при одном проходе ^{3/3} в данном случае вторая – четвертая стоковые компоненты разрешены слабо. При наличии генерации отмечается сдвиг первых стоковых компонент в красную область, в то время как в ^{4/4} наблюдалось синее смещение. Этот эффект может быть объяснен отсутствием разбегания импульсов разных длин волн благодаря малой длине волокна, а также четырехфотонными процессами в этой области спектра, поскольку структура поля в волокне при $\lambda < 1,2$ мкм не одномодовая. При возникновении генерации происходило перераспределение энергии в спектре: спектральная плотность в диапазоне 1,06 – 1,25 мкм уменьшается, а в диапазоне 1,25 – 1,6 мкм увеличивается при наличии обратной связи.

Были проведены эксперименты по использованию вместо одномодового волокна многомодового с диаметром сердцевины около 20 мкм. При этом максимально допустимая вводимая средняя мощность возрастала до 300 мВт, но эффективность генерации стоковых компонент оказывалась меньше, чем в одномодовом волокне. Это обусловлено двумя факторами: во-первых, за счет четырехфотонных процессов происходила перекачка энергии вверх по частоте, во-вторых, обратный ввод в волокно отраженного от заднего зеркала луча ухудшался из-за сложной модовой структуры. В итоге при вдвое большей вводимой средней мощности интенсивность высших стоковых компонент такая же, как и в первом случае (но при более сложной модовой структуре).

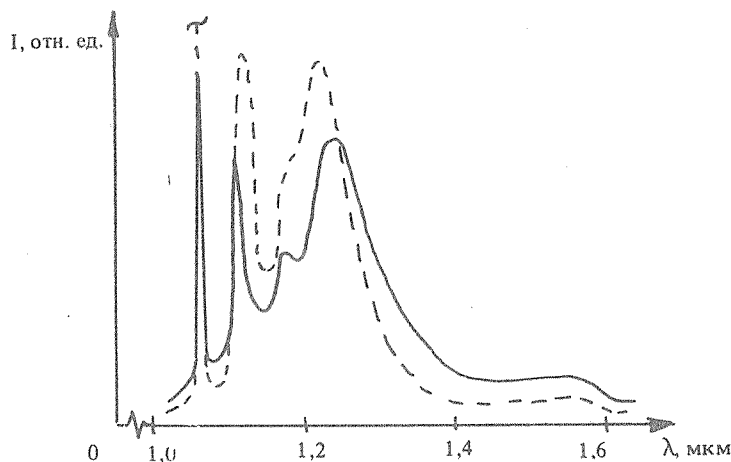


Рис. 2. Спектр излучения волоконного ВКР-лазера. Сплошная линия – в многопроходном режиме, штриховая – в однопроходном.

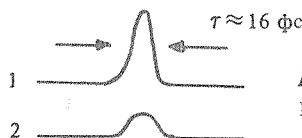


Рис. 3. Автокорреляционная функция при средней мощности накачки 30 мВт ($\lambda = 1,6$ мкм): 1 – в многопроходном режиме, 2 – в однопроходном.

Автокорреляционные функции, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что величина характерного временного параметра составляет 20 – 30 фс. Оценим энергетические характеристики поля в волокне в области спектра с центром $\lambda = 1,6$ мкм и шириной, соответствующей 20 фс, считая, что поле представляет собой набор 20-фемтосекундных пичков. Это позволит выяснить возможность солитонного механизма образования таких коротких импульсов.

Средняя мощность излучения в этом спектральном диапазоне в волокне составляла ~ 9 мВт. Накачка осуществлялась импульсами длительностью 150 пс, поэтому из-за малой длины волокна и отсутствия хроматического разбегания указанные пички были сосредоточены внутри этих 150 пс. Оценка максимальной энергии 150-пикосекундного импульса в пачке, спектр которого лежит в области с центром $\lambda = 1,6$ мкм, дает $Q \sim 10^{-6}$ Дж, плотность мощности, считая импульс гладким $S \sim 10^{10}$ Вт/см². Такой плотности мощности достаточно для самовоздействия (см., напр., /4/, где $S \sim 2 \cdot 10^{10}$ Вт/см²). В действительности она выше, т. к. импульс имеет пичковую субструктуру. Поэтому можно полагать, что эффекты самовоздействия в области $\lambda = 1,6$ мкм имеют место, и внутри ВКР-континуума действительно формируются 20 – 30-фемтосекундные импульсы. Невысокий контраст автокорреляционной функции говорит о наличии шумовой составляющей, обусловленной, возможно, флуктуациями временных интервалов между сверхкороткими импульсами.

В эксперименте из волоконного резонатора выводится лишь 4 – 5% мощности. Дальнейшая работа может идти по пути оптимизации спектров пропускания зеркал и снижения потерь в резонаторе, а также использования для эффективного вывода излучения волоконного дихроичного ответвителя. Выделение (разделение) сверхкоротких импульсов осуществимо с помощью введения излучения в дополнительное волокно, осуществляющего функции дискриминатора (в качестве такого волокна целесообразно использовать плечо ответвителя). Такое волокно может быть полезно для формирования ультракоротких импульсов и в области более коротких длин волн ВКР-континуума, где автокорреляционная функция является осциллирующей, т. е. идет начальный этап образования сверхкоротких импульсов.

Авторы благодарны В.Н. Серкину за полезные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Angel G., Gagel R., Lauberau A. Opt. Commun., 63, 259 (1987).
2. Fork R. J. et al. Opt. Lett., 8, 1 (1983).
3. Грудинин А. Б. и др. Письма в ЖЭТФ, 45, 211 (1987).
4. Da Silva V. L., Gomes A. S. L., Taylor J. R. Opt. Commun., 66, 231 (1988).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 4 января 1989 г.