

САМООБРАЩЕНИЕ СВЕТОВОГО ПУЧКА В РЕЖИМЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВРМБ

О.П. Заскалько, А.А. Зозуля, Н.Н. Панаиоти, В.Т. Тихончук

Реализована схема низкороговой генерации ВРМБ самопересекающегося светового пучка, сопровождающейся обращением волнового фронта в условиях, когда длина области нелинейного взаимодействия мала по сравнению с длиной продольной корреляции пучка.

Обращение волнового фронта (ОВФ) при ВРМБ однонаправленного светового пучка возникает лишь в том случае, когда область взаимодействия значительно превышает размер продольной корреляции пучка (пучок с достаточно большой расходимостью) /1,2/. При этом остается нерешенным практически важный вопрос ОВФ пучков с расходимостью в несколько раз больше дифракционной. Для ВРМБ однонаправленного пучка требуются также большие интенсивности света, что может приводить к паразитным эффектам, ухудшающим качество ОВФ /2/. Существенное снижение порога рассеяния возможно в режиме генерации ВРМБ самопересекающегося пучка /3/. Однако, следуя представлениям теории ОВФ-ВРМБ /1,2/, авторы /3/ также использовали пучок с большой расходимостью, что потребовало применения световода. Согласно теории /4/, эффект ОВФ должен возникать и при ВРМБ пучка малой расходимости, т.к. формирование волны с обращенным фронтом обеспечивается многократным проходом в кольцевом резонаторе, образованном зеркалами и нелинейной средой, в которой происходит самопересечение пучка накачки. Вместе с тем в работе /4/ найдена структура волнового фронта рассеянного излучения только в плоскости пересечения пучков накачки, вопрос же о структуре волнового фронта в поперечном направлении остался открытым.

В настоящей работе впервые реализовано эффективное самообращение светового пучка при ВРМБ в условиях, когда размер области взаимодействия был значительно меньше длины продольной корреляции пучка, а дифракция в канале обратной связи обеспечивалась перемешиванием пучка по поперечной координате.

В эксперименте (рис. 1) коллимированный пучок накачки 1 ($\lambda = 1,06$ мкм, $\tau = 70$ нс) с расходимостью ~ 1 мрад и диаметром $d = 1,2$ мм проходил через кювету длиной $l = 6$ см, заполненную ацетоном или сероуглеродом, затем с помощью системы зеркал снова направлялся в кювету (пучок 2), где пересекался с пучком 1 под углом $\theta \sim 20-50$ мрад. Длина кольцевого резонатора $L = 40$ см была выбрана так, чтобы при небольшом увеличении диаметра пучка обеспечить его дифракционное перемешивание по поперечной координате на одном проходе резонатора (число Френеля $N = d^2/L\lambda \approx 2,5$)*.

Генерация ВРМБ назад наблюдалась в сероуглероде начиная с мощности лазерного импульса $W = 0,4$ МВт (рис. 2). Увеличение W приводило к резкому возрастанию интенсивности рассеяния, которое насыщалось при $W = 1$ МВт на уровне $\sim 70\%$ от мощности волны накачки. Во всем исследованном диапазоне мощностей не менее 80% энергии ВРМБ шло в телесный угол возбуждающего излучения. Доля излучения ВРМБ, идущего в телесный угол накачки, и порог генерации практически не изменялись, когда перед входным окном кюветы помещалась рассеивающая линза с фокусным расстоянием ~ 50 см, в результате чего расходимость пучка 1 увеличивалась в 2,5 раза, а пучка 2 в 6 раз. Как с рассеивающей линзой, так и без нее, в ближней зоне пучок ВРМБ имел круглое сечение с резкими краями, подобно сечению пучка накачки. Динамика генерации показана на рис. 3. Импульс ВРМБ возникал с запаздыванием относительно начала импульса накачки, причем время запаздывания уменьшалось с ростом мощности последней. При углах $\theta > 20$ мрад импульс ВРМБ имел гладкую форму (рис. 3б). Однако при малых углах пересечения $\theta \approx 20$ мрад во временной

* Дифракционное перемешивание излучения ВРМБ возможно и при $N \gg 1$, однако для этого требуется, чтобы длительность импульса была значительно больше, чем $NL/c = d^2/\lambda c$.

структуре излучения ВРМБ возникали пульсации, особенно заметные для сероуглерода (рис. 3г). Соответственно появлялись пульсации и во временной структуре выходящего из кюветы пучка 2 (рис. 3д). При этом коэффициент конверсии накачки в излучение ВРМБ падал от 70% до 20–30%.

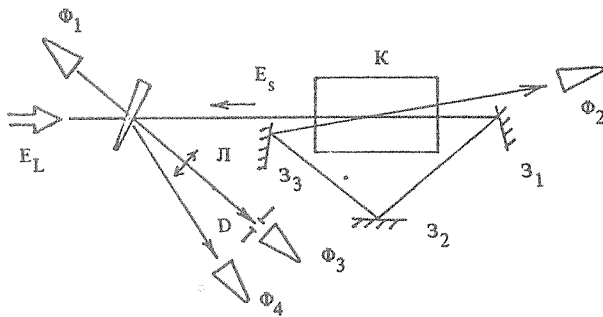


Рис. 1. Схема эксперимента: К – кювета с жидкостью; Z_1 – Z_3 – диэлектрические зеркала; Φ_1 – Φ_4 – фотозлемнты ФК-19; Л – линза с фокусным расстоянием 100 см; Д – диафрагма диаметром 1 мм.

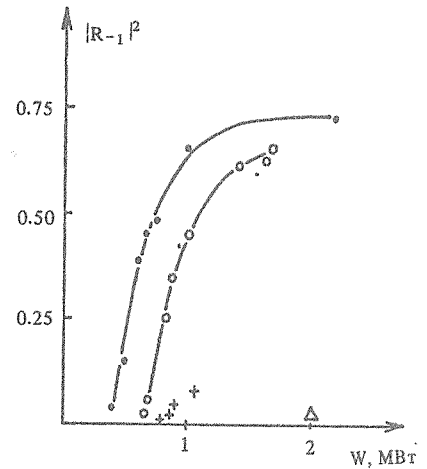


Рис. 2. Зависимость коэффициента конверсии R^2_1 от мощности накачки W в случае пересекающихся o , \odot и непересекающихся Δ , $+$ пучков накачки соответственно для ацетона o , Δ и сероуглерода \odot , $+$.

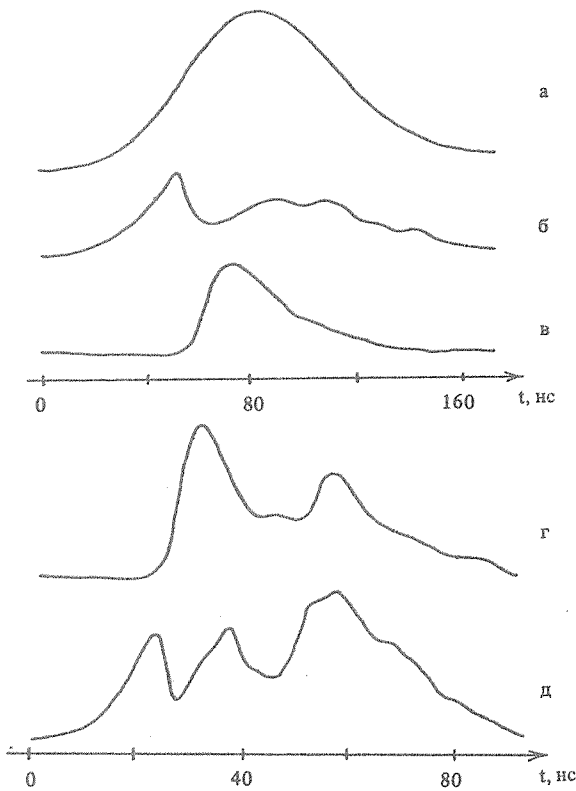


Рис. 3. Осциллограммы падающего на кювету пучка накачки 1 (а), вышедшего из кюветы пучка 2 (б,д) и рассеянного назад излучения ВРМБ (в,г) соответственно для ацетона (б,в) и сероуглерода (г,д) при $\theta \approx 20$ мрад. Временной масштаб: а,б,в – 20 нс/дел; г,д – 10 нс/дел.

Для сравнения были изучены характеристики ВРМБ в конвективном режиме, когда пучки 1 и 2 в кювете не пересекались. Из рис. 2 видно, что порог возбуждения ВРМБ в этом случае возрастает в 2–3 раза по сравнению со случаем пересекающихся пучков. Расходимость излучения ВРМБ в конвективном режиме была в несколько раз больше. Соответственно, при одинаковом коэффициенте конверсии по сравнению со случаем пересекающихся пучков доля рассеянного излучения, идущего в телесный угол накачки, была в 3–4 раза меньше и не превышала 20%.

В отсутствие самопересечения в рассматриваемой схеме имело место конвективное усиление рассеянной назад стоксовой волны на двух проходах кюветы. При мощности накачки 2 МВт стационарный коэффициент усиления ВРМБ в ацетоне $g(I_1 + I_2)l \approx 25$, что обеспечивает наблюдаемый уровень рассеяния $\sim 1\%$. На длине кольца $L = 40$ см расходимость пучка ВРМБ $d/L \approx 3$ мрад примерно втрое больше расходимости накачки. Это согласуется с результатами опыта.

В случае самопересекающегося пучка происходит ВРМБ пучка 1 в волну, распространяющуюся навстречу пучку 2, и пучка 2 в волну, распространяющуюся навстречу пучку 1. Кроме этого имеет место ВРМБ назад каждого из пучков. Порог генерации для такой схемы взаимодействия волн определяется следующим соотношением

$$1 = g \operatorname{sh} \left[\frac{\kappa l}{2(1 - i\Delta)} \right] \exp \left(i\delta + \frac{1 + r^2}{2} \frac{\kappa}{1 - i\Delta} \right), \quad (1)$$

где $\kappa = gI_1l$ — коэффициент экспоненциального усиления рассеянного излучения в поле падающего на кювету светового пучка 1, $r^2 = I_2/I_1$ коэффициент, характеризующий неполное перекрытие пучков 1 и 2 и потери в оптическом тракте, $\Delta = (\omega - 2k_0 v_s)/\gamma_s$ — безразмерная отстройка частоты рассеянного излучения от центра линии усиления, δ — разность фазовых набегов накачки и рассеянного излучения в тракте. Для случая $r^2 = 0,3$ из формулы (1) находим $gI_{1, \text{пор}}l \approx 2$. Это примерно в два раза ниже измеренного на опыте порога генерации, что, по-видимому, связано с конечной длительностью лазерного импульса. В случае малых значений r^2 интенсивность рассеянного излучения $I_{\text{ВРМБ}} = R^2_{-1} I_1$ при превышении порога генерации с учетом истощения накачки определяется соотношением:

$$1 + \frac{\kappa}{2} R^2_{-1} (1 + R^2_{-1}) = \kappa r^2 \exp[\kappa(1 - R^2_{-1})]. \quad (2)$$

Отсюда следует, что при повышении интенсивности накачки значение коэффициента нелинейного отражения R^2_{-1} приближается к единице.

Наблюдаемое в эксперименте насыщение коэффициента конверсии на уровне $\sim 70\%$, а также возникновение осцилляций интенсивности ВРМБ при углах схождения $\theta \approx 20$ мрад может быть объяснено дополнительным нелинейным процессом ВРМБ вперед, приводящим к перекачке энергии из пучка 1 в пучок 2. В результате этого часть энергии накачки не попадает в кольцо обратной связи, что приводит к подавлению генерации. Частота звука, возникающего при рассеянии на угол ~ 20 мрад, составляет ~ 50 МГц, а его время релаксации ~ 50 мкс, т.е. ВРМБ вперед происходит в сильно нестационарном режиме. Оценки показывают, что коэффициент усиления для такого процесса достигает значения ~ 1 на временах ~ 10 нс. Необходимые для заметного рассеяния 1 \rightarrow 2 спектральные сдвиги возникают в момент генерации ВРМБ назад из-за истощения накачки, а также из-за керровской нелинейности в сероуглероде на переднем фронте импульса. При увеличении угла θ растет частота звука и ВРМБ вперед подавляется из-за отсутствия соответствующих спектральных компонент в пучке 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович Б. Я., Пилипецкий Н. Ф., Шкунов В. В. Обращение волнового фронта. М., Наука, 1985.
2. Беспалов В. И., Пасманик Г. А. Нелинейная оптика и адаптивные лазерные системы. М., Наука, 1986.
3. Одинцов В. И., Рогачева Л. Ф. Письма в ЖЭТФ, 36, 281 (1982).
4. Зозуля А. А., Силин В. П., Тихончук В. Т. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 33 (1986).

Поступила в редакцию 21 мая 1986 г.