

ВЗАИМООБРАЩЕНИЕ НЕКОГЕРЕНТНЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ

А.А.Зозуля, А.В.Мамаев

Предложена новая схема обращения взаимно некогерентных световых пучков. Схема реализована экспериментально, разработано ее теоретическое описание, проведено сравнение теории с экспериментом.

Обращение волнового фронта маломощного излучения непрерывных лазеров с одновременным усилением представляет собой важную с точки зрения практических приложений проблему. Одним из путей ее решения является разработка схем взаимообращения¹⁻³ на основе фоторефрактивных кристаллов. Эти схемы позволяют одновременно обращать два взаимно некогерентных лазерных пучка, слабый и сильный, с передачей энергии из сильного пучка в слабый, а также синхронизовывать излучение двух или нескольких лазеров^{4,5}.

Ниже предлагается новая схема взаимообращения в режиме генерации с принципиально отличной от известных конфигурацией обратных связей. Геометрия схемы следующая: на фоторефрактивный кристалл подаются два пучка лазерного излучения I_1 и I_2 (рис. 1). После прохождения кристалла с помощью системы зеркал пучки разворачивают и вновь заводят на него так, что каждый прошедший через кристалл пучок пересекается с другим пучком. В такой схеме в результате абсолютной неустойчивости (генерации) возникает рассеянное излучение, распространяющееся навстречу исходным сигнальным пучкам. При этом рассеянное излучение, идущее навстречу пучку I_1 , имеет временную когерентность, определяющуюся пучком I_2 и наоборот. В каждой из областей пересечения конфигурация волновых векторов взаимодействующих волн допускает существование четырех решеток нелинейной добавки к показателю преломления. В типичных экспериментальных условиях времена когерентности волн I_1 , I_2 существенно меньше характерного времени отклика фоторефрактивной среды. При этом из всех решеток эффективно возбуждается только одна, записываемая когерентными парами сигнальных и рассеянных волн. Считывание этой решетки сигнальными пучками замыкает петли обратной связи, приводящие к генерации рассеянного излучения.

При теоретическом анализе схемы для описания четырехволнового взаимодействия (ЧВВ) в каждой из областей пересечения пучков использовалась система укороченных связанных уравнений. После усреднения по временам, большим времен когерентности каждого из пучков I_1, I_2 , эта система совпадает со стандартной, описывающей ЧВВ с записью одной решетки. Уравнения дополнялись граничными условиями, отвечающими преобразованию пучков при проходе от одной области пересечения до другой по оптическому тракту. Для определения поперечной структуры рассеянного излучения, следуя ⁶, была рассмотрена трехмерная модель, позволяющая найти моды обсуждаемого генератора и пороги их возбуждения. Показано, что селекция обращенного излучения может осуществляться за счет преобразования масштаба поперечного сечения пучков I_1, I_2 при первичном и вторичном проходе через кристалл. Именно, для обращения требуется выполнение соотношения $\alpha_1 \alpha_2 < 1$, где α_j ($j = 1, 2$) – отношение диаметра пучка I_j при вторичном проходе через кристалл к его диаметру при первичном проходе.

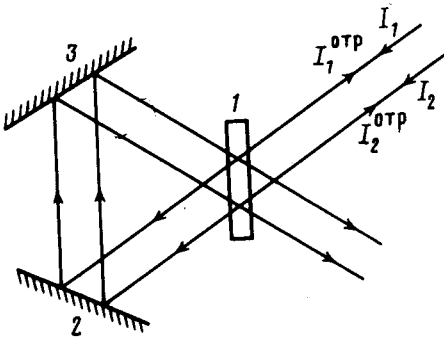


Рис. 1

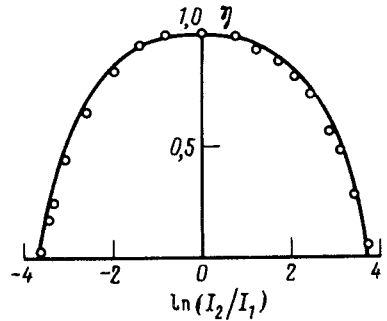


Рис. 2

Рис. 1. Схема взаимобращения: 1 – фоторефрактивный кристалл; 2, 3 – поворотные зеркала

Рис. 2. Зависимость нормированной суммы интенсивностей отраженных назад волн $\eta = (I_1^{\text{отр}} + I_2^{\text{отр}}) : (I_1^{\text{отр}} + I_2^{\text{отр}})_{\text{max}}$ как функция отношения интенсивностей падающих пучков I_1/I_2 при их фиксированной сумме. Точки – эксперимент, сплошная линия – теория

Для расчета энергетических характеристик схемы использовалась одномерная нелинейная модель. Показано, что диапазон отношений интенсивностей входных пучков, для которых имеет место генерация, описывается соотношением:

$$T^{-1} \exp(-2\gamma l) \leq I_2/I_1 \leq T \exp(2\gamma l),$$

где T – коэффициент пропускания тракта по интенсивности, γl – коэффициент нелинейности, соотношение справедливо при $T \exp(2\gamma l) \gg 1$. Во всем диапазоне генерации справедливо соотношение $(I_1^{\text{отр}}/I_2^{\text{отр}}) = (I_2/I_1)$. При заданном отношении интенсивностей $\rho = I_2/I_1$ генерация возможна, если $\gamma l > (\gamma l)_{\text{th}}$. Для $T = 1$, например, $(\gamma l)_{\text{th}} = \frac{1}{2} (1 + \rho)(\rho - 1)^{-1} \ln \rho$. При достаточном превышении порога генерации $I_1^{\text{отр}} \rightarrow (I_1^{\text{отр}})_{\text{max}} = T I_2$, $I_2^{\text{отр}} \rightarrow (I_2^{\text{отр}})_{\text{max}} = T I_1$, что отвечает полной перекачке энергии каждого из пучков в излучение, сопряженное другому пучку, с учетом пропускания тракта.

В эксперименте в качестве двух взаимно некогерентных световых пучков использовалось излучение двух гелий-неоновых лазеров ЛГ52-1 и ЛГ52-2 ($\lambda = 0,63$ мкм) мощностью ≈ 2 мВт, направлявшееся на кристалл ниобата бария-стронция (SBN), легированного церием ⁷. Оптическая ось кристалла и вектора поляризации пучков находились в плоскости па-

дения пучков. Угол пересечения пучков в воздухе составлял $\approx 40^\circ$, диаметры пучков на кристалле ≈ 2 мм, расстояние между ними ≈ 6 мм при толщине кристалла ≈ 3 мм. Коэффициент пропускания T внешнего тракта по интенсивности с учетом коэффициента отражения зеркал и френелевского отражения на гранях кристалла составлял $T \approx 1/3$. Наличие обращения для каждого из пучков проверялось по стандартной методике⁸ с использованием фазовой пластинки, помещаемой либо перед кристаллом, либо в оптический тракт. Доля обращенного излучения составляла $\approx 80\%$.

Экспериментально проверялось условие $\alpha_1 \alpha_2 < 1$. При его нарушении расходимость отраженного назад излучения в направлении, перпендикулярном к плоскости пересечения пучков, существенно возрастало, в соответствии с теорией. Для использования нами кристалла диапазон отношения интенсивностей падающих волн, при котором имела место генерация, составлял $1/40 \leq I_2/I_1 \leq 40$. Во всем этом диапазоне экспериментальное отношение интенсивностей отраженных назад пучков как функция отношения интенсивностей падающих, хорошо описывалось теоретической зависимостью $(I_1^{\text{отр}}/I_2^{\text{отр}}) = I_2/I_1$. Экспериментальная зависимость нормированной суммы интенсивностей отраженных назад пучков $\eta = (I_1^{\text{отр}} + I_2^{\text{отр}})/(I_1^{\text{отр}} + I_2^{\text{отр}})_{\text{max}}$ от (I_2/I_1) при фиксированной сумме $I_1 + I_2 = \text{const}$ приведена на рис. 1 точками. Значение полного коэффициента отражения схемы $R = (I_1^{\text{отр}} + I_2^{\text{отр}})/(I_1 + I_2)$ в максимуме кривой ($I_1 = I_2$) с учетом поправок на френелевское отражение излучения от передней грани кристалла составляло $\approx 25\%$. Сплошной линией на рис. 2 представлена теоретическая зависимость η от (I_2/I_1) , следующая из одномерной нелинейной модели. Теоретическое значение максимального коэффициента отражения $\approx 28\%$.

Таким образом, в работе предложена новая схема обращения взаимно некогерентных световых пучков в режиме генерации. Схема имеет низкий порог, не требует жесткой фокусировки пучков и обладает самым широким по сравнению с $1-3$ диапазоном отношений интенсивностей пучков, для которых имеет место взаимообращение. Проведено теоретическое описание схемы, включающее в себя разработку трехмерной пороговой модели для определения структуры волнового фронта рассеянного излучения и условий селекции обращенной компоненты, а также одномерной нелинейной модели для определения энергетических характеристик схемы. Схема реализована экспериментально, проведено сравнение с теорией.

Литература

1. Sternklar S., Weiss S., Segev M., Fischer B. Opt. Lett., 1986, 8, 528; Weiss S., Sternklar S., Fischer B. Opt. Lett., 1987, 12, 114.
2. Stout A.M.C., Eason R.W. Opt. Lett., 1987, 12, 498.
3. Ewbank M.D. Opt. Lett., 1988, 13, 47.
4. Sternklar S., Weiss S., Segev M., Fischer B. Opt. Lett., 1986, 11, 528.
5. Segev M., Weiss S., Fischer B. Appl. Phys. Lett., 1987, 50, 1397.
6. Зозуля А.А., Силин В.П., Тихончук В.Т. ЖЭТФ, 1987, 92, 788.
7. Dorosh I.R., Kuzminov Yu.S., Polozkov N.M. et al. Phys. Stat. Sol. (a), 1981, 65, 513.
8. Зельдович Б.Я., Пилупецкий Н.Ф., Шкунов В.В. Обращение волнового фронта. М.: Наука, 1985.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28 февраля 1989 г.