

О НОВОМ СПОСОБЕ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОНАПРАВЛЕННЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ОБРАЩЕНИЯ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

*Н.Ф. Андреев, В.И. Беспалов, А.М. Киселев,
А.З. Матвеев, Г.А. Пасманик*

Предложена и экспериментально продемонстрирована возможность получения в отсутствие опорной волны излучения с расходимостью, близкой к дифракционной, при сложении частот двух световых волн с комплексно-сопряженными фазовыми множителями.

Все известные в настоящее время методы преобразования многомодового оптического излучения в одномодовое так или иначе предполагают наличие опорной волны с плоским фронтом, используя которую в качестве репера можно получить существенно более мощный световой пучок с расходимостью, близкой к дифракционной. Сюда относятся методы, основанные на статической или динамической голографии [1—3], вынужденном рассеянии (ВР) [4, 5], двойном прохождении опорной волны через оптический усилитель с обращающим волновой фронт зеркалом [6, 7] и т. п. Однако, из-за трудностей создания опорной волны достаточно большой апертуры эти методы в ряде случаев теряют свою эффективность.

Ниже предлагается способ получения оптического излучения с плоским волновым фронтом без опорной волны с использованием сложения в нелинейной среде частот двух многомодовых пучков света с комплексно-сопряженными фазовыми множителями. Для получения в отсутствие опорной волны пучка света с фазой, противоположной по знаку фазе исходного пучка, может быть использовано обращение волнового фронта (ОВФ) при ВР Мандельштама — Бриллюэна (ВРМБ) [8]. Здесь изменяет знак лишь та часть фазы, которая зависит от пространственных координат. Вместе с тем, фаза, характеризующая временную зависимость комплексной амплитуды световой волны, остается неизменной [9]¹⁾. Складывая частоты двух световых пучков, один из которых отражается от обычного зеркала, а другой — от ВРМБ-зеркала, можно скомпенсировать пространственные искажения волнового фронта, имевшиеся в исходном пучке, не компенсируя, однако, временные изменения фазы. В результате излучение на суммарной частоте будет иметь волновой фронт, совпадающий с формой поверхности зеркала, в частности, при плоском зеркале волновой фронт также будет плоским.

Подчеркнем, что процедура суммирования осуществляется, вообще говоря, для излучения произвольной апертуры, т. е. на суммарной час-

¹⁾Изменение знака этой части фазы при любом преобразовании световой волны в стационарной среде в отсутствие высокостабильного по частоте репера невозможно, так как это противоречило бы условию однородности физических процессов во времени.

тоте могут быть получены световые пучки большого сечения с высокой направленностью. Близость волнового фронта к плоскому зависит от качества поверхности зеркала, отражающего один из указанных пучков, от качества ОВФ при ВРМБ от точности наложения полей обоих пучков на входе элемента суммирования частоты, длины этого элемента и величины относительно сноса взаимодействующих в нем волн, конкретного характера процесса суммирования (на практике для суммирования частоты удобно использовать элемент удвоения, рассчитанный на сложение обыкновенной и необыкновенной волн при скалярном взаимодействии или двух обыкновенных волн при векторном взаимодействии).

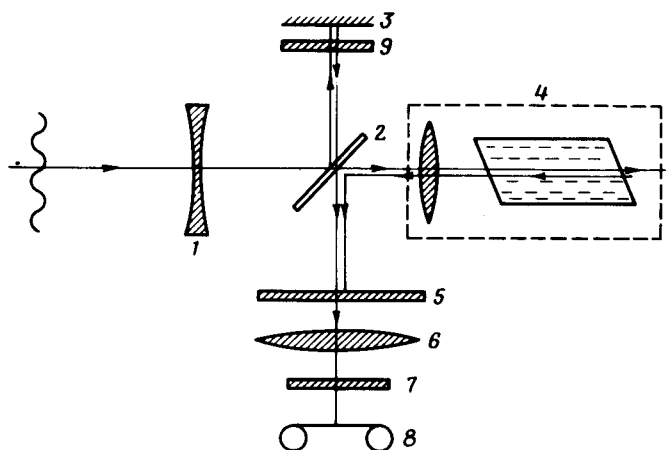


Рис. 1

Для демонстрации обсуждаемых возможностей был выполнен следующий эксперимент (рис. 1). Многомодовый пучок неодимового лазера ($\lambda = 1,06$ мкм) с расходимостью $\theta = 6 \cdot 10^{-4}$ рад и диаметром $d = 0,6$ см проходил через рассеивающую линзу 1 ($F = -1$ м), увеличивающую его расходимость до $\theta = 6 \cdot 10^{-3}$ рад, и делительную пластинку 2 с коэффициентов отражения $R = 10\%$. Отраженная часть пучка попадала на плоское зеркало 3, а прошедшая часть — на ВРМБ-зеркало 4, состоящее из линзы ($F = 15$ см) и кюветы с ацетоном. После отражения пучки возвращались на пластинку 2 и затем попадали на кристалл для удвоения (LiJO_3 , длина 1,35 мм), на поверхности 5 которого совмещались и выравнивались по мощности с помощью светофильтров 9.

В эксперименте сначала наблюдалось удвоение каждого из пучков в отдельности. Угловой спектр второй гармоники обоих пучков был примерно одинаков и имел вид указанный на рис. 2, а (фотографии сделаны с использованием зеркального клина с десятикратным коэффициентом ослабления). При совместном удвоении пучков угловой спектр второй гармоники качественно менялся (рис. 2, б). Наличие яркого пятна в спектре (на него указывают стрелки на рис. 2, б) означает, что при удвоении у части излучения происходит компенсация фазовых неоднородностей. Фотометрирование пленок показало, что интенсивность этого пятна более чем в 300 раз выше интенсивности окружающего фона, соответствующего излучению второй гармоники каждого из пучков в отдельности. Яркое пятно несимметрично, величины расходимостей вдоль разных направлений равны $2 \cdot 10^{-4}$ и $0,8 \cdot 10^{-4}$ рад и достаточно близки к дифрак-

ционному пределу. Различие расходимостей связано, возможно, с амплитудной модуляцией исходной волны первой гармоники, с некоторым перекосом зеркала 3, или с неточностью ОВФ при ВРМБ сфокусированных пучков [10].

Данная схема не являлась оптимальной. В частности, здесь использовалось скалярное взаимодействие oog , допускающее удвоение каждого из пучков в отдельности, что являлось причиной наблюдаемого фона вокруг яркой точки. Кроме того, на поверхности 5 поля обоих пучков, как нетрудно заметить, строго не были сопряжены. Однако из-за того, что длина "расфазировки" пучков, равная удвоенному расстоянию между зеркалом 3 и кристаллом 5 (в нашем случае это расстояние составляло 10 см) была существенно меньше длины, на которой фазовая модуляция переходит в амплитудную, неточность сопряжения полей не играла принципиальной роли.



Рис. 2

Таким образом, при суммировании частот двух пучков с комплексно-сопряженными полями возможно существенное уменьшение расходимости излучения и увеличение спектральной яркости по сравнению со случаем независимого удвоения каждого из пучков. Разумеется, это не противоречит II принципу термодинамики, поскольку при отражении какой-либо доли излучения от ВРМБ-зеркала полная энтропия в системе не уменьшается, а только перераспределяется таким образом, что часть ее приходится теперь на возбуждаемую в среде гиперзвуковую волну с сильно неоднородным фазовым профилем, отражение от которой дает ОВФ.

Авторы благодарят А.В.Гапонова за обсуждение результатов, Ю.К.Зеревкина за помощь в проведении эксперимента и М.С.Сандлера за стимулирующую дискуссию о проблеме стабилизации частоты с использованием комплексно-сопряженных сигналов.

Институт прикладной физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
8 сентября 1979 г.

Литература

- [1] Б.И.Степанов, Е.И.Ивакин, А.С.Рубанов. ДАН СССР, 196, 567, 1971.
- [2] П.П.Погорецкий, Е.Н.Салькова, М.С.Соскин. УФЖ, 19, 1603, 1974.
- [3] Ю.А.Ананьев. Квантовая электроника, 1, 1669, 1974.
- [4] А.З.Грасюк, И.Г.Зубарев, В.И.Мишин, В.Г.Смирнов. Квантовая электроника, №5, 27, 1973.

- [5] В.И.Ковалев, В.И.Поповичев, В.В.Рагульский, Ф.С.Файзуллов.
ЖЭТФ, 64, 2028, 1973. (
- [6] В.И.Поповичев, В.В.Рагульский, Ф.С.Файзулов. Письма в ЖЭТФ,
19, 350, 1974.
- [7] Н.Г.Басов, В.Ф.Ефимков, И.Г.Зубарев, А.В.Котов, С.И.Михайлов,
М.Г.Смирнов. Письма в ЖЭТФ, 28, 215, 1978. (
- [8] Б.Я.Зельдович, В.И.Поповичев, В.В.Рагульский, Ф.С.Файзуллов.
Письма в ЖЭТФ, 15, 160, 1972. (
- [9] В.И.Беспалов, В.Г.Манишин, Г.А.Пасманик. ЖЭТФ, 77, вып. 11,
1979. (
- [10] В.И.Беспалов, А.А.Бетин, Г.А.Пасманик. Изв. высш. уч. зав., (сер.
Радиофизика, 20, 771, 1977. (
-