

ГЕНЕРАЦИЯ В КОЛЬЦЕВОМ ЛАЗЕРЕ ВСТРЕЧНЫХ ВОЛН, ПОЛЯРИЗОВАННЫХ В РАЗНЫХ ПЛОСКОСТЯХ

А. И. Орлов, Л. Н. Орлов и В. С. Рубанов

Рассмотрено устройство, позволяющее обеспечить генерацию кольцевым лазером во встречных направлениях волн различной поляризации. Приводятся результаты экспериментального исследования поляризационных и частотных характеристик генерации в зависимости от параметров устройства.

В работах [1, 2] приводится теоретический расчет и метод реализации одного из способов разделения линейных поляризаций встречных волн в кольцевом оптическом квантовом генераторе. Показано, что частичный поляризатор (наклоненная изотропная пластинка) и циркулярная фазовая пластинка, помещенные в изотропный кольцевой резонатор, позволяют получить генерацию во встречных направлениях волн с различными поляризациями. Настоящее сообщение посвящено более подробному исследованию разделения поляризаций встречных волн в кольцевом лазере.

Несложно показать, что при углах вращения плоскости поляризации падающего света циркулярной фазовой пластинкой (φ), удовлетворяющих условию

$$\cos^2 \varphi_1 \leq \frac{4\epsilon_p \epsilon_s}{(\epsilon_p + \epsilon_s)^2}, \quad (1)$$

ϵ_p и ϵ_s — амплитудные коэффициенты пропускания наклоненной изотропной пластинки для лучей, поляризованных в плоскости падения света на пластинку и перпендикулярно к ней, в каждом из направлений обхода резонатора могут существовать по две линейно поляризованные волны. Потери и плоскости поляризации для них в общем случае различны. Всегда можно подобрать коэффициент усиления (или уровень потерь) таким, чтобы при генерации проявлялись только первые решения, а вторые отвечали условиям ниже пороговых. В этом случае во встречных направлениях генерируются линейно поляризованные волны, азимуты поляризаций которых развернуты на угол δ , определяемый из равенства

$$\sin \delta = \frac{(\epsilon_s + \epsilon_p) \sin \varphi}{\epsilon_p - \epsilon_s}. \quad (2)$$

В случае, когда в формуле (1) имеет место знак равенства, угол δ , согласно выражению (2), достигает $\pi/2$, т. е. плоскости поляризации волн, генерируемых во встречных направлениях, взаимно ортогональны.

Если

$$\cos^2 \varphi > \frac{4\epsilon_s \epsilon_p}{(\epsilon_p + \epsilon_s)^2}, \quad (3)$$

в каждом направлении обхода контура распространяются по две эллиптически поляризованные волны, отличающиеся частотами, ориентацией эллипсов и направлением вращения электрического вектора. Можно по-

казать, что степень эллиптичности в каждой из волн определяется выражением

$$\xi = \frac{B}{A} = \frac{\sqrt{(\epsilon_s + \epsilon_p)^2 \sin^2 \varphi - (\epsilon_p - \epsilon_s)^2}}{(\epsilon_s + \epsilon_p) \sin \varphi + \epsilon_p - \epsilon_s}, \quad (4)$$

где A и B — главные полуоси эллипса. Азимуты главных осей эллипсов составляют $(\pi/4 - \varphi/2)$ и $(\pi/4 + \varphi/2)$ относительно плоскости падения света на пластинку. Таким образом, распространяющиеся в каждом из направлений волны при выполнении условия (3) всегда взаимно ортогональны.

Характеристики описанной выше системы исследовались экспериментально с помощью установки, схематически представленной на рис. 1. Активный элемент 1 представляет собой газоразрядную трубку, наполненную смесью He и Ne при давлениях, оптимальных для генерации на переходе $2s^2 - 2p_4$ (длина волны $\lambda = 1.15$ мкм). В экспериментах использовались трубки с внутренним диаметром от 2 до 8 мм, длиной от 230 до 1050 мм. Окна трубок, наклоненные под углом 30° или под углом Брюстера, выполняли в данном устройстве функцию частичного поляризатора (наклоненной изотропной пластинки). В нашем распоряжении имелся набор

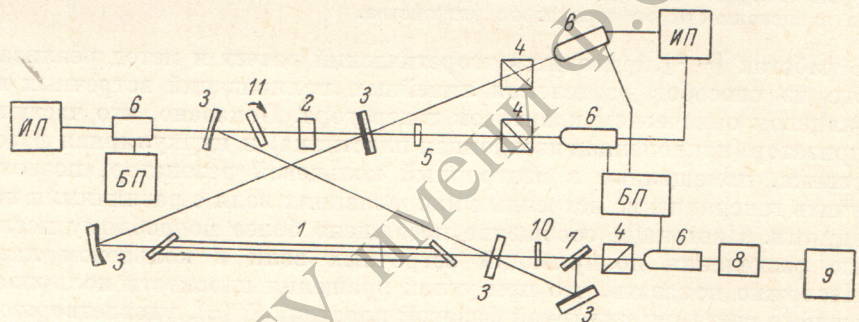


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки (ИП — измерительный прибор, БП — блок питания).

пластин из кристаллического кварца, вырезанных строго перпендикулярно оптической оси, толщиной от 0.34 до 1.44 мм, обеспечивавших поворот плоскости поляризации падающего света на углы от $1^\circ 59'$ до $8^\circ 29'$ на интересующей нас длине волны. Такие пластинки использовались в качестве циркулярной фазовой пластинки (2 на рис. 1). Необходимая для работы устройства высокая степень изотропности резонатора обеспечивалась особой конфигурацией резонатора (рис. 1). Измерения показали, что при использовавшихся в данной конструкции углах падения света на зеркала 3, не превышающих 7° , величина фазовой анизотропии «пустого» резонатора была не больше 0.012, а разность коэффициентов отражения зеркал для s - и p -поляризаций была пренебрежимо мала.

В каждом из встречных лучей кольцевого лазера с помощью призмы Глана—Томсона 4, четвертьволновой пластинки 5 и фотоприемника 6 (фотоумножителя типа ФЭУ-62) проводились измерения азимута и степени эллиптичности поляризации генерируемых колебаний. Другое плечо оптического резонатора использовалось для контроля частотных характеристик исследуемой системы (здесь 7 — полупрозрачная светоделительная пластинка, 8 — усилитель, 9 — анализатор спектра типа С4-12 или С4-8, 10 — полуволновая пластинка).

С помощью этой установки удалось наблюдать разделение поляризации встречных лучей. При увеличении толщины циркулярной фазовой пластинки плоскости поляризации каждого из лучей отклонялись в разные стороны относительно азимута поляризации излучения в «пустом» резонаторе. На рис. 2 приведены расчетные зависимости угла между плоскостями поляризации встречных волн от угла поворота плоскости поляризации оптическим вращателем (толщины циркулярной фазовой пластинки)

для активного элемента с брюстеровскими окнами (кривая 1) и окнами, расположенными под углом 30° к оси резонатора (кривая 2). Точками отмечены экспериментальные результаты. Хорошо видно, что при углах φ , меньших критического значения, реализующегося при выполнении равенства (1), с увеличением толщины оптического вращателя угол разделения поляризаций растет быстрее, чем по линейному закону, стремясь к $\pi/2$. Максимальный угол между плоскостями поляризации линейно поляризованных волн достигал 85° . Степень эллиптичности при этом не превышала 0.01. При дальнейшем увеличении толщины оптического вращателя, когда выполняется условие (3), в каждом из направлений обхода контура, как и следовало ожидать, реализуется по две эллиптически поляризованные волны. С ростом φ волны с одинаковым направлением вращения электрического вектора начинают отклоняться от попарной взаимной ортогональности. Это приводит к уменьшению угла между главными осями соответствующих пар волн во встречных лучах.

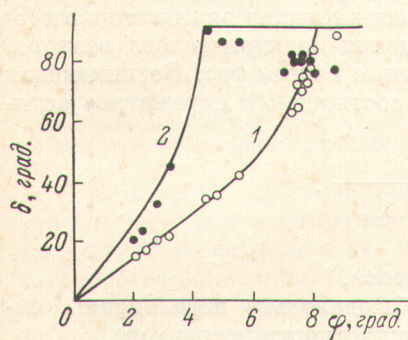


Рис. 2. Зависимость угла разделения встречных волн от угла поворота плоскости поляризации циркулярной фазовой пластинкой.

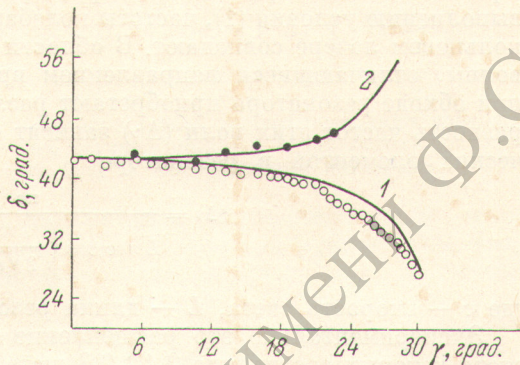


Рис. 3. Зависимость угла разделения поляризаций встречных волн от наклона изотропной пластинки.

Как уже отмечалось в работе [2], азимуты поляризаций встречных лучей развернуты относительно пустого резонатора не только в разные стороны, но и на разные углы. Разность углов поворота плоскостей поляризации этих лучей соответствует удвоенному углу φ .

Следует отметить, что каждая из экспериментальных точек на рис. 2 соответствует тщательному подбору оптимальных условий: оптический вращатель устанавливается точно на интерференционный максимум, подбирается ориентация окон активного элемента относительно плоскости резонатора и нормали к циркулярной фазовой пластинке, выбираются оптимальные условия возбуждения активного элемента, юстировка резонатора и т. д. Несмотря на это, достичь точной взаимной ортогональности поляризаций встречных лучей затруднительно в силу того, что зависимости становятся очень критическими, возрастает эллиптичность колебаний. В частности, точность изготовления циркулярной фазовой пластинки должна быть очень высока.

Несколько проще варьировать параметры системы при введении дополнительной изотропной пластинки (например, пластинки II на рис. 1). Наклоняя такую пластинку относительно оси резонатора, можно плавно изменять отношение пропускания пластинки для лучей, поляризованных в плоскости падения и перпендикулярно ей. На рис. 3 сплошными линиями показаны расчетные зависимости угла разворота плоскостей поляризации встречных волн от наклона дополнительной плоскопараллельной пластинки. Вычисления проведены для активного элемента с окнами, расположенными под углом 30° к плоскости резонатора, и циркулярной фазовой пластинки, обеспечивающей вращение плоскости поляризации на угол $\approx 3^\circ 44'$. Точками отмечены результаты измерений по описанной

выше методике. Хорошо видно, что, поворачивая дополнительную пластинку так, чтобы плоскости падения света на нее и на окна активного элемента совпадали, получаем плавное уменьшение угла поворота плоскости поляризации во встречных лучах (кривая 1). Наоборот, при вращении пластинки в ортогональной плоскости угол разделения плоскостей поляризации встречных лучей несколько возрастает (кривая 2 на рис. 3). Это, вообще говоря, достаточно очевидно, так как, например, в последнем случае уменьшается эффективная разность пропусканий системы пластинок для s - и p -поляризаций и, следовательно, рассматриваемое устройство приближается к области параметров, где выполняется равенство (1).

Таким образом, рассматриваемая нами система — наклоненная изотропная и циркулярная фазовая пластинки в изотропном кольцевом резонаторе с четным числом зеркал обладает поляризационной невзаимностью — обеспечивает генерацию во встречных направлениях волн с различными поляризациями. При параметрах системы, соответствующих выполнению условия (1), частоты колебаний встречных волн в покоящемся кольцевом лазере совпадают. В области возникновения эллиптичности (3) волны, отличающиеся направлением вращения электрического вектора, при обходе резонатора приобретают различные набеги фаз. Возникающая разность частот этих волн ($\Delta\nu$) зависит от соотношения параметров оптических элементов в резонаторе

$$\Delta\nu = \frac{\pi c}{L \arccos \left(\frac{\epsilon_s + \epsilon_p}{2\sqrt{\epsilon_s \epsilon_p}} \cos \varphi \right)},$$

где c — скорость света, L — длина резонатора.

Экспериментально это расщепление наблюдалось в виде биений, частота которых составляла 0.1–0.3 шага дискретности резонатора.

В заключение считаем своим долгом выразить благодарность Б. И. Степанову и П. А. Апанасевичу за полезные обсуждения и В. Н. Северикову и А. И. Котовой за помощь в работе.

Литература

- [1] В. П. Васильев, В. С. Рубанов. Ж. прикл. спектр., 10, 920, 1969.
 [2] А. И. Котова, Л. Н. Орлов, В. С. Рубанов. Тр. конф. по эл. технике. Эл. техника, сер. Газоразр. приборы, вып. 2, стр. 34, 1970.

Поступило в Редакцию 27 июля 1971 г.