

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ В СИСТЕМЕ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ С МОДОВЫМ УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ

С.В. Карнеев, В.С. Павельев, В.А. Сойфер, М. Дюпарре*, Б. Людге*

Институт систем обработки изображений РАН

*Институт прикладной оптики Фридрих-Шиллер Университета (г. Йена, Германия)

Аннотация

Получено экспериментальное подтверждение возможности осуществлять многоканальную передачу информации различными формируемыми независимо взаимнекогерентными поперечными модами лазерного излучения. При этом амплитуда каждой моды управляется индивидуально с помощью отдельного полупроводникового лазера. Полученные результаты открывают возможность в дальнейшем осуществить передачу информации с модовым разделением каналов в реальных волоконно-оптических линиях связи.

Введение

Ранее в [1] сообщалось о построении модели двухканальной связи, основанной на формировании мод Гаусса-Эрмита (1,0), (0,1) модами в двухплечевом интерферометре с He-Ne лазером в качестве источника когерентного света. Однако практический интерес к модам [2,3] вызывается в основном возможностью их использования в волоконно-оптических системах связи, где, как известно реально применяются полупроводниковые лазеры, позволяющие достигать весьма высоких частот модуляции. Применение в качестве источника света одного газового лазера с разделением пучка и дальнейшей модуляцией полученных пучков не соответствует, таким образом, реальной ситуации. Даже если возможно бы было с помощью быстродействующих модуляторов лазерного излучения достичь тех же частот модуляции, которые дают полупроводниковые лазеры, то, кроме очевидно более высокой стоимости, габаритов и энергопотребления такой системы, в ней на выходе все равно пришлось бы иметь дело с частично или полностью некогерентными модовыми пучками из-за модовой дисперсии, то есть ситуация все равно отличалась бы от ситуации, в которой ставился эксперимент [1]. Таким образом, очевидно, что требуется решать задачу моделирования многоканальной системы связи с модовым уплотнением каналов, где в качестве источника света в отдельном канале выступал бы полупроводниковый лазер. Первым этапом решения этой задачи является повторение экспериментов, описанных в [1], то есть модели системы двухканальной связи в свободном пространстве, но с использованием в качестве источников света двух полупроводниковых лазеров с одной длиной волны. Основным отличием такой системы от описанной ранее является отсутствие взаимной когерентности между каналами. Решению данной задачи и посвящена представляемая работа.

2. Условия эксперимента и их обоснование

Во всех ранее опубликованных работах по анализу поперечно-модового состава с использованием моданов [2,3] предполагалась как пространственная когерентность по каждому модовому пучку, так и взаимная когерентность всех модовых пучков между собой. Однако, если необходимость первого ус-

ловия не вызывает сомнений, то в очевидности второго можно сомневаться. Действительно, если нет необходимости измерять межмодовые фазовые сдвиги, а в условиях описываемых экспериментов они носят случайный характер, то требование постоянства разности фаз между каналами является излишним. При измерении амплитуды моды анализирующим моданом в центре соответствующего дифракционного порядка возникает корреляционный пик с интенсивностью, пропорциональной индивидуальной модовой мощности. Соответственно, если в пучке отсутствует данная мода, то в центре дифракционного порядка наблюдается нулевая амплитуда. Формирование корреляционного пика возможно только в условиях пространственной когерентности пучка данной моды (или группы мод) для реализации фазокомпенсирующего действия фильтра и когерентного сложения амплитуд в фокусе линзы. Однако, при наличии других мод в пучке, также обладающих пространственной когерентностью, но взаимно некогерентных с измеряемой, они не будут давать вклада в значения амплитуды в центре дифракционного порядка и, следовательно, не повлияют на результат измерений. При этом распределения интенсивности в дифракционных порядках будут определяться суммированием интенсивностей дифракционных картин, соответствующих разным полупроводниковым лазерам и разным каналам передачи информации. Таким образом, распределения интенсивности в дифракционных порядках будут отличаться по сравнению с экспериментом, поставленным в условиях взаимной когерентности каналов, но значения интенсивности в центрах дифракционных порядков будут теми же.

Перейдем к описанию схемы эксперимента (см. рис. 1). Для формирования пучков мод Гаусса-Эрмита (0,1) и (1,0) служат два канала с полупроводниковыми лазерами ЛД1 и ЛД2. Моданы устанавливаются в сходящиеся пучки, создаваемые линзами L1 на таком расстоянии от фокуса d_1 , чтобы размер меньшей перетяжки эллиптического Гауссова пучка соответствовал бы заложенному при расчете фильтра (0,8 мм). Было установлено, что для получения меньшей погрешности из-за несоответствия другой перетяжки расчетной, необходимо ориентировать фильтр так, чтобы меньшая перетяжка была по той оси, где значения модовой функции бипо-

лярны. Диффрагма D , как и ранее, служит для фильтрации помех из вспомогательной области, использованной при итерационном расчете фильтров [1,4]. Таким образом, за исключением типа формируемой моды, в остальном оба канала до светоделительной грани кубика BS полностью идентичны. Далее, после соединения оба пучка падают на анализирующий Модан 3. При этом расстояние d_2 (на схеме рис. 1 в верхнем канале показано с искажением) вычисляется из условия, чтобы получить в плоскости Модана 3 требуемый размер перетяжки (0,58 мм.). Полученные распределения интенсивности регистрируются ПЗС-камерой в выходной плоскости Фурье-каскада, образованного линзой L_2 .

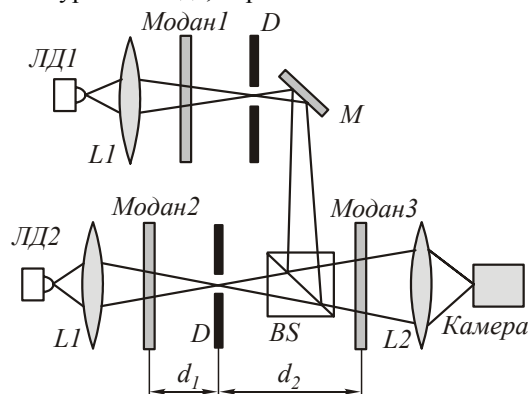


Рис. 1 Схема экспериментальной установки
ЛД1, ЛД2 - лазерные диоды, L1 - коллимирующие линзы, D - диафрагмы, BS - делитель пучка, M - зеркало, L2 - линза

Описание эксперимента и результаты

Для эксперимента была собрана оптическая установка в соответствии со схемой рис.1. и следующими параметрами: длина волны лазеров ЛД1, ЛД2 $\lambda=0,67$ мкм, микрообъективы L1 с фокусом $f_1=13,9$ мм и числовой апертурой $NA=0,3$, расстояния $d_1=140$ мм и $d_2=280$ мм, радиус диафрагмы D $r=1,5$ мм, фокусное расстояние объектива L2 $f_2=300$ мм, размер пиксела ПЗС-матрицы камеры $\Delta=13$ мкм. Физические параметры моданов приведены в работах [1,4].

Основная проблема в настройке схемы рис.1 заключается в точном совмещении оптических осей каналов. Достичь совмещения можно, используя различие в положении по ходу пучка зеркала M и кубика BS . Наклон светоделительного кубика используется для юстировки осей по углу (наблюдаем за совмещением картинок в фокусе объектива L2), а наклон зеркала M - для пространственного совмещения осей (наблюдаем отклики на сигналы из разных каналов). Разумеется, наклон зеркала M приводит одновременно и к небольшой разъюстировке по углу, но это легко устраняется в процессе нескольких повторений указанных операций.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис.2,3,4. Здесь попарно приведены распределения интенсивности, полученные при взаимной когерентности и некогерентности каналов.

Рис 2. соответствует отсутствию детектируемой моды в пучке, рис.3 - ее наличию, а рис.4 - наличию обеих мод в пучке. Некоторое различие в масштабе и форме картинок объясняется большей расходимостью пучка, попадающего в Фурье-каскад в случаях (б), а также небольшой разницей длин волн 0,63 мкм (He-Ne-лазер) и 0,67 мкм (диод).

Легко видеть, что при отсутствии детектируемой моды картинки практически идентичны. При наличии моды наблюдаются некоторые отличия, связанные, очевидно, с различием в условиях формирования мод с гелий-неоновым и полупроводниковым лазерами. Однако корреляционный пик наблюдается и в том и в другом случаях. Следует также отметить, что время экспонирования камерой выбиралось таким, чтобы передать характерные особенности картинок вокруг корреляционных пиков. При этом в самих пиках наблюдалось насыщение, но задача точного измерения интенсивности в центрах пиков в данном случае и не ставилась. Изображения же, полученные при наличии обеих мод в пучке, как и следовало ожидать отличаются кардинально. Видно, что в одном случае (б) - это просто сумма интенсивностей, а в другом (а) - когерентная интерференция двух полей, с чем связан характерный поворот картинки, наблюдавшийся и ранее в [1].

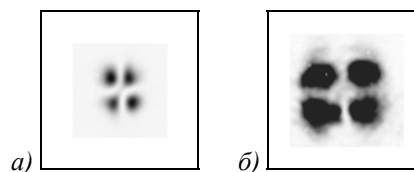


Рис. 2

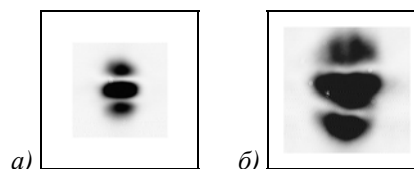


Рис. 3

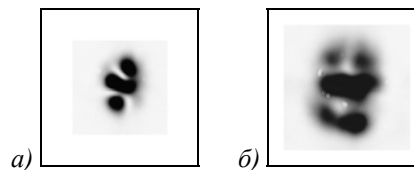


Рис. 4

Заключение

Таким образом, получено экспериментальное подтверждение принципиальной возможности осуществлять многоканальную передачу информации различными независимо формируемыми взаимно некогерентными поперечными модами лазерного излучения. При этом индивидуальная мощность каждой моды управляется индивидуально с помощью отдельного полупроводникового лазера. Полученные результаты открывают возможность в дальнейшем осуществить передачу информации с

модовым разделением каналов в реальных волоконно-оптических линиях связи [1], используя полупроводниковые лазеры.

Благодарности

Авторы благодарны Б. Клею и У. Цейтнеру из Института прикладной физики Фридрих-Шиллер Университета (г. Йена, Германия) за литографическое формирование микрорельефа элементов.

Литература

1. M. Duparre, V. Pavelyev, B. Ludge, B. Kley, V. Soifer R. Kowarschik Generation, superposition and separation of Gauss-Hermite-modes by means of DOEs. *Proceedings SPIE*, V. 3291, 104-114.
2. Soifer V.A., Golub M.A. Laser Beam Mode Selection by Computer Generated Holograms .- 1994.- CRC Press. 215 p.
3. Голуб М.А., Прохоров А.М., Сисакян И.Н., Сойфер В.А. Синтез пространственных фильтров для исследования поперечно-модового состава когерентного излучения. *Квантовая электроника*, 1982, т. 9, N 9. 1866-1868.
4. V. S. Pavelyev, V. A. Soifer, M. Duparre, R. Kowarschik, B. Ludge, B. Kley (1998): Iterative Calculation, Manufacture and Investigation of DOE Forming Unimodal Complex Distribution. *Optics and Lasers in Engineering* 29, 269-279.