

# 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  $L_2$ .

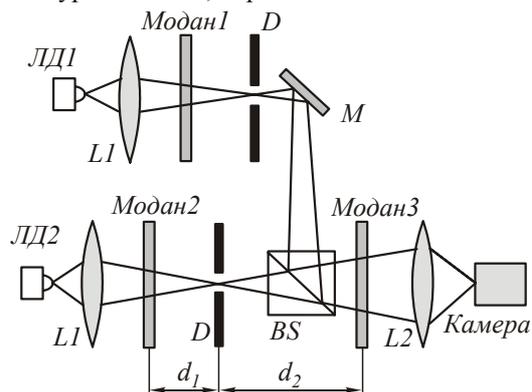


Рис. 1 Схема экспериментальной установки  
ЛД1, ЛД2 - лазерные диоды, L1 - коллимирующие линзы, D - диафрагмы, BS - делитель пучка, M - зеркало, L2 - линза

#### 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  $L_2$ ), 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].

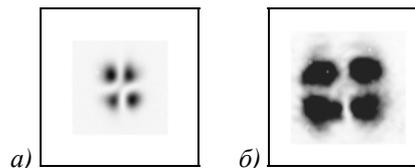


Рис. 2

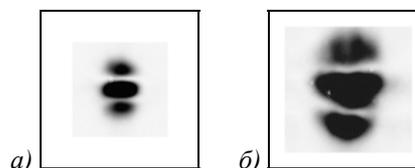


Рис. 3

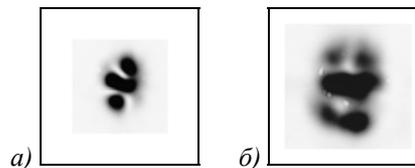


Рис. 4

#### 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.

# Experimental study of the possibility of using semiconductor lasers in an optical communication system with mode multiplexing of channels

*S.V. Karpeev, V.S. Pavelyev, V.A. Soifer, M. Duparre<sup>1</sup>, B. Luedge<sup>1</sup>*

*Image Processing Systems Institute of RAS*

*<sup>1</sup>Institute of Applied Optics, Friedrich Schiller University (Jena, Germany)*

## **Abstract**

The authors obtain an experimental confirmation of the possibility of multichannel information transmission by various independently generated mutually incoherent transverse modes of laser radiation. In this case, the amplitude of each mode is controlled individually using a separate semiconductor laser. The results obtained offer further opportunities for the information transmission with mode division in real fiber-optic communication lines.

*Citation:* Karpeev SV, Pavelyev VS, Soifer VA, Duparre M, Luedge B. Experimental study of the possibility of using semiconductor lasers in an optical communication system with mode multiplexing of channels. *Computer Optics* 1999; 19: 112 - 114.

## **References**

- [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] Golub MA, Prokhorov AM, Sisakyan IN, Soifer VA. Synthesis of spatial filters for investigation of the transverse mode composition of coherent radiation. *Soviet Journal of Quantum Electronics*; 1982; 9(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.