

05

## Акустооптическое сложение мощностей импульсных некогерентных лазеров

© С.Н. Антонов

Институт радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН,  
141190 Фрязино, Россия  
e-mail: olga-ant@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.01.2018 г.  
В окончательной редакции 10.04.2018 г.

Предложен и экспериментально обоснован метод сложения мощностей импульсных некогерентных односторонних (одинаковых) лазеров, основанный на временном уплотнении импульсов. Метод базируется на использовании акустооптического дефлектора, который переключает излучение из различных источников в один выходной канал синхронно с излучением в данном канале. Существенно, что мощность итогового выходного излучения принципиально равна сумме мощностей входных излучателей, а угловые и координатные характеристики выходного луча равны исходным источникам. Эксперименты проводились с однододовыми полупроводниковыми лазерами на длине волны  $1.3 \mu\text{m}$  с помощью дефлектора на базе кристалла  $\text{TeO}_2$ . Метод применим для сложения волоконно-оптических, полупроводниковых и твердотельных лазеров. Проведена оценка основных взаимосвязанных параметров.

DOI: 10.21883/OS.2018.09.46555.3-18

### Введение

Сложение мощностей односторонних (одинаковых) лазерных источников в один канал — интересная и технически важная задача. Заданные условия такого сложения следующие: источники некогерентны, принципиально мощность выходного луча равна сумме мощностей исходных источников, а угловые и координатные характеристики должны остаться неизменными. Сложение, с указанными требованиями, возможно только для когерентных исходных источников [1]. В то же время, существует ошибочное мнение, что его можно реализовать для непрерывных некогерентных источников [2].

Импульсные лазеры широко используются в современной науке и технике. Это оптическая связь, навигация, системы позиционирования, обработка материалов. Одним из основных параметров лазеров является интегральная (средняя) выходная мощность. Для полупроводниковых лазеров ограничение мощности связано с тепловыми эффектами, для волоконно-оптических как с тепловыми ограничениями в диодах накачки, так и с нелинейными эффектами в волоконных световодах (ВС).

Задача работы заключается в сложении мощности нескольких односторонних импульсных некогерентных лазерных источников в один выходной канал с целью повышения суммарной мощности импульсного лазерного излучения. Существенно, чтобы оптические характеристики (линейная и угловая апертуры) выходного канала были идентичны характеристикам исходных лазеров, а принципиальные потери оптической мощности отсутствовали.

### Принцип сложения мощности импульсных лазеров

Принцип суммирования основан на временном уплотнении, когда время „молчания“ первого лазера заполняется последующими.

Сложение осуществляется акустооптическим методом (АО), а именно АО дефлектором (АОД) — устройством, предназначенным для отклонения (сканирования) луча фиксированного направления в некотором угловом диапазоне путем изменения частоты управляющего сигнала [3–6].

В данном случае предлагается использовать АОД в „обратном“ режиме — дефлектор не переключает свет одного направления в несколько, а переключает свет от нескольких разнонаправленных источников в единственный канал — единственное направление. Правомочность такого использования АОД основано на фундаментальном физическом принципе — оптической взаимности АО. При этом очевидно, что все теоретические выкладки и технические параметры для дефлектора аналогичны и также применимы для АО сумматора.

При общности принципа для конкретизации далее будем полагать, что лазеры однододовые и пиктелированы (имеют волоконные выходы) с однододовыми ВС.

Схема АО сложения представлена на рис. 1.

Выходные торцы ВС расположены в один ряд, образуя линейную матрицу. Линзой  $L1$  выходные лучи коллимируются в диаметр  $D$  и направляются на АОД, на выходе которого установлена линза  $L2$ , фокусирующая свет в торец входного ВС.

Принцип работы поясняется на рис. 2.

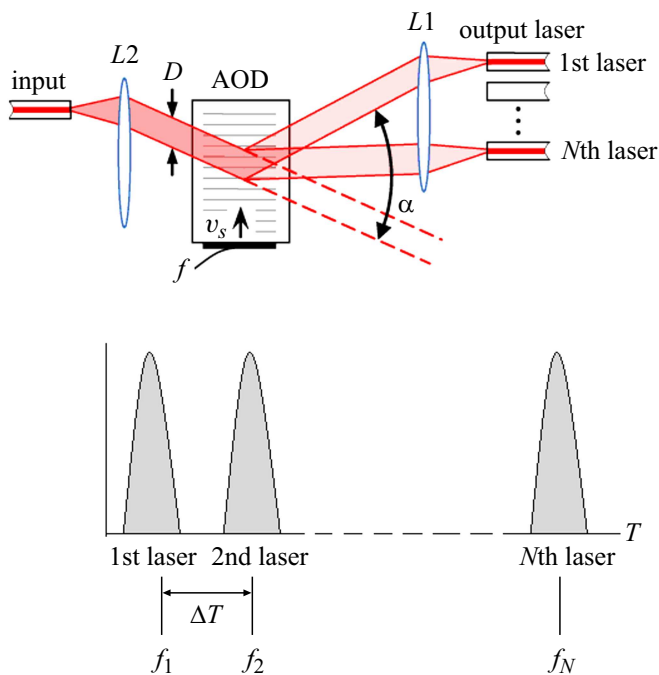


Рис. 1. Иллюстрация принципа АО сложения мощностей лазеров.

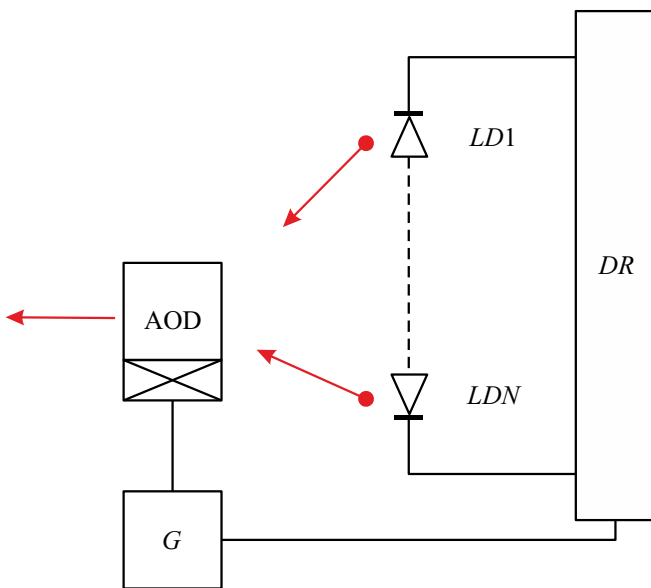


Рис. 2. Принципиальная схема АО сложения.

Лазерные источники  $LD1-LDN$  управляются процессорным драйвером  $DR$  и включаются попеременно с некоторым сдвигом во времени  $\Delta T$ , обеспечивающим временное разделение импульсов. Последовательное включение лазеров синхронизовано с генератором сигнала  $G$ , который управляет работой АОД. Каждому лазеру соответствует свое значение частоты, которая установлена таким образом, чтобы дифрагированный луч всегда был направлен на входной ВС.

## Оценка основных параметров

Эксперименты проводились на базе наиболее широко используемого в дефлекторах кристалла парателлуриата ( $TeO_2$ ) с дифракцией на медленной акустической волне, распространяющейся под углом  $6^\circ$  к кристаллографической оси  $[110]$  со скоростью  $0.65 \cdot 10^6$  mm/s. Расчеты и эксперимент соответствуют этой ситуации.

Основными взаимосвязанными параметрами сумматора мощности являются быстродействие (время переключения)  $\tau$  и число каналов  $N$ , находящиеся в компромиссном соотношении друг с другом. Так, увеличение  $N$  снижает быстродействие. Оценим их численные значения.

Дифракционный угол отклонения (рассеяния)  $\alpha$ :

$$\alpha = f\lambda/v, \quad (1)$$

где  $f$  — частота ультразвука в АОД,  $\lambda$  — длина волны света,  $v$  — скорость звука в  $TeO_2$ .

Апертура  $D$  выбирается исходя из заданного быстродействия, характеризуемого  $\tau$  — временем, за которое акустическая волна проходит заданную апертуру света:

$$D [\text{mm}] = 0.65\tau [\mu\text{s}]. \quad (2)$$

К примеру, для времени переключения  $6 \mu\text{s}$  апертура составляет  $D = 4$  mm. Максимальное (предельное) число каналов  $N_m$  определяется максимальной рабочей полосой частот АОД  $\Delta f$  и значением  $D$ :

$$N_m = \Delta f \cdot D/v. \quad (3)$$

Диапазон рабочих частот практических дефлекторов находится в диапазоне 15–30 MHz. Таким образом, для  $D = 4$  mm и  $\Delta f = 20$  MHz получаем  $N_m \sim 120$ , если бы ВС были расположены друг от друга на расстоянии (аналогично ситуации классического дефлектора), соответствующем критерию Релея. Очевидно, что практическим ограничением числа каналов является плотность упаковки ВС в матрице.

Световедущие жилы ВС удалены друг от друга на некоторое расстояние по двум причинам. Во-первых, чисто технологически и, во-вторых, в силу „паразитного“ проникновения света в соседние каналы. Величина этого проникновения определяется плотностью упаковки ВС в матрице, т. е. отношением расстояния между соседними волокнами  $R$  к диаметру световедущей жилы волокна  $d$  (рис. 3).

Выбранные быстродействие, реализуемая полоса рабочих частот АОД и плотность упаковки ВС в матрице определяют максимальное количество каналов:

$$N = (d/R) \cdot \Delta f \cdot \tau. \quad (4)$$

Для используемого в эксперименте АОД [7] плотность упаковки 3 и в полосе частот АОД 20 MHz для однокоординатного случая имел  $N \sim 7$  каналов.

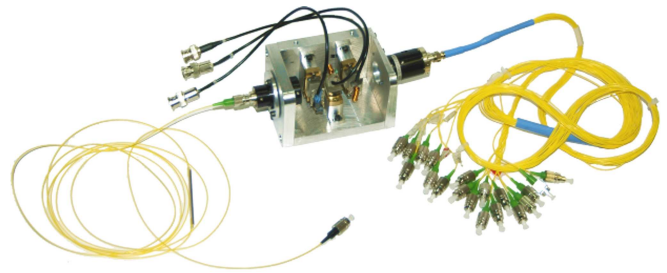
При использовании двухкоординатной схемы (рис. 4) количество выходных ВС каналов составит  $N^2$ .

При этом за первым АОД стоит второй, ориентированный ортогонально первому. Первый и второй АОД отклоняют свет во взаимно ортогональных направлениях. Углы отклонения управляются независимо, что позволит адресовать свет из любого ВС двумерной матрицы.

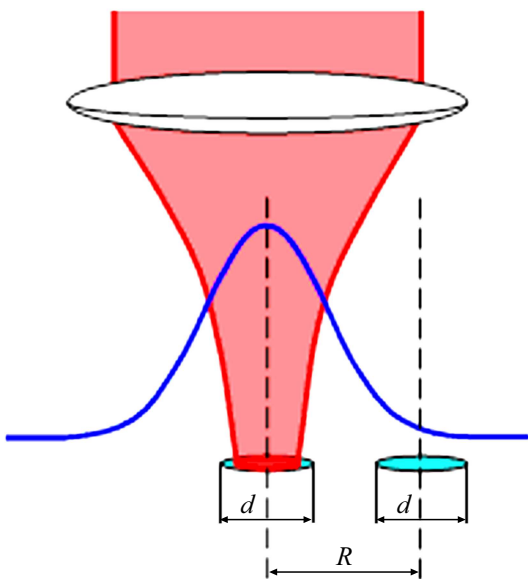
### Экспериментальные результаты

Практическая реализация АО суммирования мощностей импульсных лазеров была произведена на изготовленном ранее двухкоординатном переключателе волоконно-оптических каналов [7]. Этот переключатель был предназначен для переключения света из одного выходного ВС в матрицу входных ВС. В нашем случае, как указывалось, в силу взаимности АО эффекта работа велась „наоборот“. На рис. 5 представлена фотография.

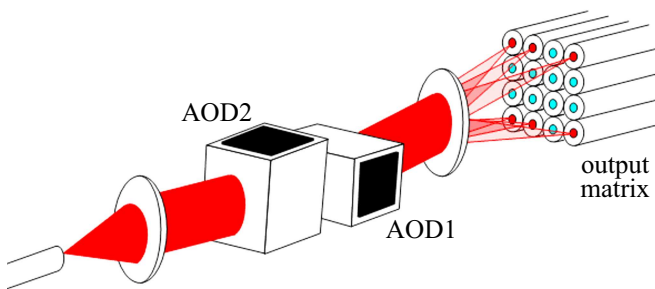
Принципиальной особенностью переключателя является его поляризационная нечувствительность [8].



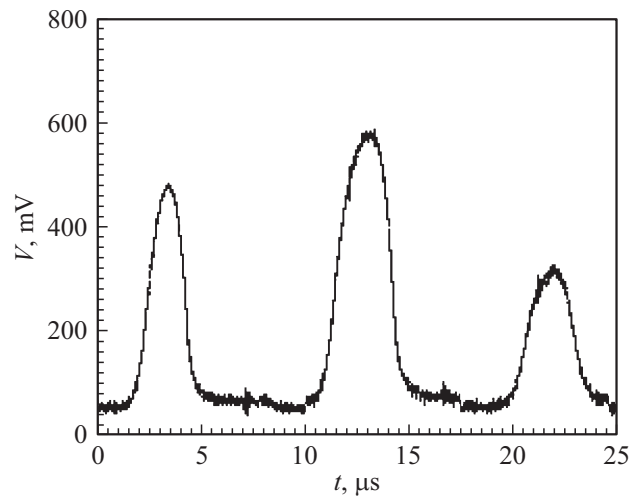
**Рис. 5.** Внешний вид используемого переключателя. Его параметры: 19 каналов, ВС разъемы типа FC-PC, диаметр коллимированного света на кристаллах  $\text{TeO}_2$  — 4 mm, тип ВС — одномодовые, диапазон длин волн 1.3–1.5  $\mu\text{m}$ , потери вход–выход 3 dB, мощности управления: 1 W (1.3  $\mu\text{m}$ ), 2 W (1.5  $\mu\text{m}$ ).



**Рис. 3.** Параметры упаковки ВС.



**Рис. 4.** Схема двухкоординатного сумматора мощности лазеров.



**Рис. 6.** Выходной сигнал как функция времени.

Эксперименты проводились с тремя одномодовыми лазерными диодами FPL-1310-8DL-2. Лазеры работали в импульсном режиме, выходная мощность каждого 2 mW, длина волны 1.3  $\mu\text{m}$ .

На рис. 6 показан итог сложения лазерных излучений — сигнал на выходе сумматора — электронная фотография с экрана осциллографа.

Для наглядности эффекта сложения амплитуда и длительность импульсов на каждом лазере устанавливались различными.

Расстояние между импульсами 10  $\mu\text{s}$  в данном случае выбрано таким, чтобы быстродействие АОД (6  $\mu\text{s}$ ) обеспечило переключение частоты.

### Заключение

Предложен и практически обоснован АО метод сложения мощностей импульсных некогерентных лазеров. Метод основан на временном уплотнении. Практически реализовано суммирование трех полупроводниковых лазеров на длине волны 1.3  $\mu\text{m}$  с помощью дефлектора

на основе кристалла  $\text{TeO}_2$ . Существенно, что при таком сложении не меняются угловые и координатные характеристики исходных источников. В силу того, что АО приборы управляют лазерным излучением большой мощности, результат сложения может быть весьма значителен. Метод пригоден для сложения мощностей волоконно-оптических, полупроводниковых и твердотельных лазеров.

Работа выполнена в рамках госзаказа ФИРЭ РАН.

## Список литературы

- [1] Державин С.И., Дюкель О.А., Лындин Н.М. // Квант. электрон. 2012. Т. 42. № 6. С. 561–564.
- [2] Проклов В.В. и др. // Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58. № 9. С. 905–915
- [3] Магдич Л.Н., Молчанов В.Я. Акустооптические устройства и их применение. М.: Советское радио, 1978. 111 с.
- [4] Антонов С.Н. // ЖТФ. 2016. Т. 86. № 1. С. 136–139.
- [5] Балакиев В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985.
- [6] Антонов С.Н. // ЖТФ. 2016. Т. 86. № 10. С. 155–158.
- [7] Antonov S., Vainer A., Proklov V., Rezvov Y. // Appl. Opt. 2009. V. 48. № 7. P. 171–181.
- [8] Антонов С.Н., Никируй Э.Я., Вайнер А.В. Способ двухкоординатного отклонения оптического излучения. Патент RU (11) 2355007.