

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ СУММАТОР-МОДУЛЯТОР ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРОВ

© 2021 г. С. Н. Антонов*

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
Россия, 141190, Фрязино Московской обл., пл. Введенского, 1

*e-mail: olga-ant@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.11.2020 г.

После доработки 07.12.2020 г.

Принята к публикации 11.12.2020 г.

Акустооптический метод суммирования мощности двух однотипных лазеров с модуляцией и регулировкой интенсивности основан на одновременной дифракции двух лазерных лучей в одном акустооптическом кристалле парателлурита на одной акустической волне. Для лазеров с длинами волн от 400 до 1000 нм частотный диапазон акустических волн составляет 30–5 МГц. Метод применим как для непрерывных, так и для импульсных лазеров. На примере сложения мощностей непрерывных полупроводниковых лазеров (мощность 10 Вт, длина волны 532 нм) показано, что суммарная мощность составила 19.2 Вт.

DOI: 10.31857/S0032816221030162

1. ВВЕДЕНИЕ

Акустооптика (а.о.) в прикладном плане — это управление параметрами светового излучения. Принципиальными особенностями а.о.-приборов являются: возможность управления интенсивным лазерным излучением в десятки и сотни киловатт на квадратный сантиметр, высокое быстродействие (до десятков наносекунд), отсутствие механически перемещаемых элементов, малые вносимые световые потери (единицы процентов), небольшие габариты и вес. Исторически развитие а.о. связано с поиском приложений в таких областях, как спектральный анализ радиосигналов, обработка изображений, оптическая фильтрация [1, 2]. Существенно, что уровень современной электроники и оптоэлектроники позволяет более успешно решать эти задачи.

В настоящее время основное и во многом безальтернативное применение а.о.-устройств связано с лазерными системами. Это модуляция добротности лазерного резонатора, селекция импульсов фемтосекундных лазеров, переключение каналов в системах волоконно-оптической связи, сканирование луча в системах лазерного нанесения изображений, сдвигатели частоты света в измерительных системах и др.

Основным материалом, используемым в современных а.о.-приборах, является монокристалл парателлурита (TeO_2). Кристалл обладает феноменально большой величиной а.о.-качества, $M_2 = 1000 \cdot 10^{-18} \text{ с}^3/\text{г}$ (при дифракции света на мед-

ленной сдвиговой акустической моде), широким диапазоном прозрачности, от 0.35 до 5 мкм, высокой лучевой стойкостью, развитой технологией производства однородных кристаллов со стороной более 20 мм. Теория а.о. на кристалле TeO_2 и ряд важных практических реализаций на его основе изучены и описаны весьма полно [3–6].

На основе гетероструктур создаются мощные полупроводниковые лазеры, определенный тип которых отличает малая расходимость и линейная поляризация излучения. Благодаря таким характеристикам обеспечивается эффективное управление лазерами со стороны а.о.-устройств. Примером может служить новый промышленный лазер с параметрами:

- выходная мощность 10 Вт;
- длина волны 532 нм;
- линейная поляризация (50:1);
- диаметр луча 1.2 мм.

В данной работе предложены методика и устройство для суммирования мощностей двух однотипных полупроводниковых лазеров с одновременной модуляцией (управление мощностью) итогового излучения. Такое устройство позволит расширить функциональные возможности систем, например, аппаратуры для лазерной обработки материалов и нанесения изображений.

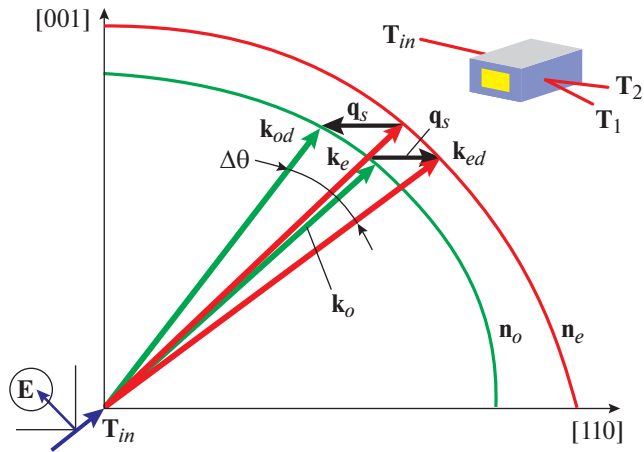


Рис. 1. Векторная диаграмма анизотропного а.о.-взаимодействия на одной акустической волне. Масштабы углов являются лишь иллюстрацией.

2. ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП

Нижеследующее описание методики и экспериментов приводится для анизотропной (со сменной состоянием поляризации) а.о.-дифракции в кристалле TeO_2 на медленной сдвиговой акустической моде.

На рис. 1 показана векторная диаграмма рассматриваемой дифракции. Здесь $[001]$ и $[110]$ — оси TeO_2 , а n_o и n_e — оптические индикатрисы кристалла. На кристалл падает излучение T_{in} , которое может быть либо неполяризованным, либо поляризованным с вектором поляризации E , направленным под углом 45° к осям кристалла. В кристалле такой луч может быть представлен как состоящий из собственных мод (компонент) k_o и k_e ортогональных поляризаций одного направления. Вектор ультразвука q , на частоте f_s направлен вдоль оси $[110]$. Условия дифракции таковы, что на данной звуковой волне одновременно выполняется брэгговский синхронизм для двух ортогонально поляризованных компонент падающего света с образованием дифракционных $+1$ и -1 порядков с векторами k_{od} и k_{ed} , которые также ортогонально поляризованы [7, 8]. На выходе а.о.-кристалла образуются два луча T_1 и T_2 , угол между которыми определяется выражением (в пределах малых углов) $\Delta\theta = 2\lambda f/v$, где f — частота звука, λ — длина волны света и v — скорость звука.

Предлагаемый метод сложения двух световых лучей в один основан на фундаментальном принципе взаимности а.о.-взаимодействия: при изменении хода лучей на обратный выходной лучи (два) становятся входными, а входной (один) выходным. В нашем случае (см. рис. 1) T_1 и T_2 будут входными лучами, а T_{in} — выходным. Существенно, что все параметры а.о.-взаимодействия (частоты, углы) полностью эквивалентны первой за-

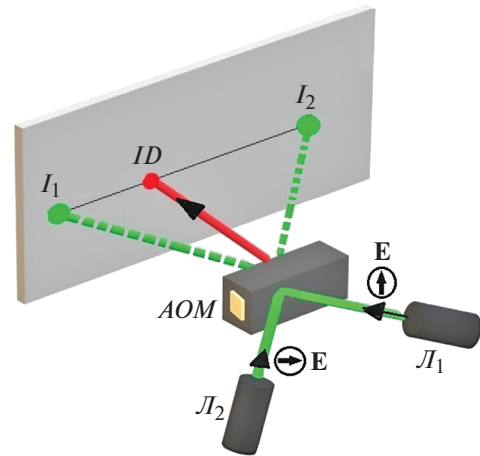


Рис. 2. Схема сложения излучений двух лазеров, вектора поляризаций лазеров ортогональны. L_1 и L_2 — лазеры; AOM — а.о.-модулятор; I_1 и I_2 — световые пятна от излучения лазеров без включения ультразвука; ID — единое пятно (объединенный луч) при включении ультразвука; E — направление вектора поляризации.

даче деления лучей. Схема сложения излучений двух лазеров представлена на рис. 2.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СУММАТОРА-МОДУЛЯТОРА

Частоту ультразвука f_s , обеспечивающую брэгговский синхронизм одновременно для двух лучей и их сложение, определяем по известному соотношению для показателей преломления одноосного гиротропного кристалла, каковым и является TeO_2 [7–9] (рис. 3).

Угол между входными лазерными лучами для длины волны света 1060 нм будет равен $\Delta\theta = 17.8$ мрад, а для длины волны 440 нм — $\Delta\theta = 97$ мрад.

Эксперименты по суммированию излучений лазеров проводились на а.о.-модуляторе, внешний вид которого представлен на рис. 4.

В модуляторе использовалась технология акустического согласования кристалла TeO_2 с преобразователем из LiNbO_3 [10, 11], что обеспечило акустическую полосу частот от 10 до 30 МГц. Ширина преобразователя составляла 3 мм, высота — 4 мм. Конструкция обеспечивала отвод тепла от преобразователя без акустического демпфирования и, как следствие, непрерывный режим работы [12, 13].

Для измерений были использованы лазеры трех типов: твердотельный с длиной волны 1060 нм, газовый с длиной волны 633 нм и полупроводниковый с длиной волны 532 нм. Подводимая мощность радиосигнала к а.о.-модулятору составила 0.8 Вт для лазера с длиной волны 1060 нм и 0.2 Вт — для лазера

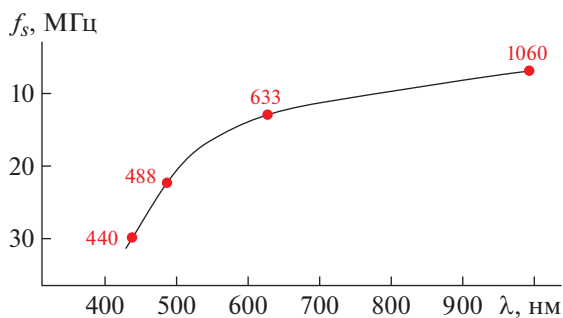


Рис. 3. Зависимость частоты ультразвука f_s как функция длины волны света λ . Точки на зависимости – длины волн некоторых лазеров.

с длиной волны 532 нм. Во всех случаях суммарная эффективность дифракции была не менее 95%, а частоты ультразвуковой волны соответствовали расчетным значениям, приведенным на рис. 3, с точностью не хуже 2%. Для мощных полупроводниковых 10-ваттных лазеров суммарная мощность составила 19.2 Вт.

Быстродействие модуляции (время нарастания фронта светового импульса τ) определяется апертурой света, падающего на модулятор, по следующей зависимости: $\tau = d/v$, где d – апертура света на модуляторе, v – скорость звука в TeO_2 . Для примера, при апертуре 0.5 мм время нарастания составит 0.8 мкс. Очевидно, что может быть реализовано управление итоговой суммарной мощностью.

4. ВЫВОДЫ

Разработан и реализован метод сложения и модуляции мощностей двух односторонних лазеров. Метод основан на одновременной а.о.-дифракции двух лазерных лучей в одном а.о.-кристалле на одной акустической волне. Выполнен расчет и приведены экспериментальные данные для монокристалла парателлуриата. Получены значения частоты звука, обеспечивающие выполнения брэгговских условий (объединение двух лучей в один), для различных волн света в кристалле TeO_2 . Установлено, что для диапазона длин волн 400–1000 нм частотный диапазон акустических волн составляет 30–5 МГц. Проведены измерения эффективности дифракции и потребляемой а.о.-модулятором мощности для лазеров различных типов. На примере сложения мощности полупроводниковых лазеров (10 Вт каждый) показана практическая значимость метода.

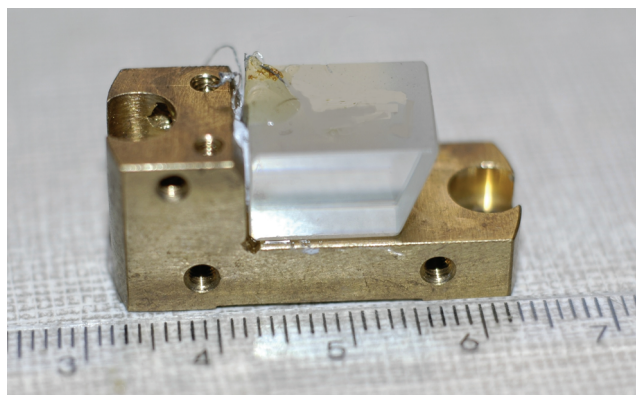


Рис. 4. Внешний вид изготовленного сумматора-модулятора. Плата электрического согласования не установлена.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования в рамках государственного задания по теме 0030-2019-0014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Магдич Л.Н., Молчанов В.Я.* Акустооптические устройства и их применение. М.: Сов. радио, 1978.
2. *Балакшиев В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е.* Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985.
3. *Korpel A.* Acousto-optics. N.Y.: Marcel Dekker, 1988.
4. *Xu J., Stroud R.* Acousto-optic devices. N.Y.: Wiley, 1992.
5. *Задорин А.С.* Динамика акустооптического взаимодействия. Томск: Томский гос. ун-т, 2004.
6. *Молчанов В.Я., Китаев Ю.И., Колесников А.И., Нарвер В.Н., Розенштейн А.З., Солодовников Н.П., Шаповаленко К.Г.* Теория и практика современной акустооптики. М.: МИСиС, 2015.
7. *Котов В.М.* // Автометрия. 1992. № 3. С. 109.
8. *Антонов С.Н., Гуляев Ю.В., Котов В.М.* // Радиотехника и электроника. 1987. Т. 32. Вып. 3. С. 623.
9. Акустические кристаллы. Справочник / Под ред. М.П. Шаскольской. М.: Наука, 1982.
10. *Антонов С.Н.* // Акустический журнал. 2017. Т. 63. № 4. С. 364. <https://doi.org/10.7868/S0320791917030017>
11. *Антонов С.Н.* // Акустический журнал. 2018. Т. 64. № 4. С. 432. <https://doi.org/10.1134/S0320791918040019>
12. *Антонов С.Н.* // ПТЭ. 2019. № 3. С. 89. <https://doi.org/10.1134/S0032816219020174>
13. *Антонов С.Н.* // ЖТФ. 2016. Т. 86. Вып. 1. С. 132.