

УДК 53.06

## СКАНИРУЮЩАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ ИМПУЛЬСНЫМИ ЛАЗЕРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ДЕФЛЕКТОРОВ

© 2024 г. А. С. Гук<sup>1,2</sup>, В. Е. Роголин<sup>1</sup>, С. А. Филин<sup>1</sup>, И. А. Каплунов<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Публичное акционерное общество «Красногорский завод имени С.А. Зверева», Красногорск, Россия

<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет», Тверь, Россия

\* E-mail: kaplunov.ia@tversu.ru

Поступила в редакцию 04.12.2023

После доработки 20.12.2023

Принята к публикации 29.01.2024

Разработана новая схема управления положением и интенсивностью неполяризованного лазерного излучения, в том числе на нескольких длинах волн. Особенностью оптической схемы является использование двухкоординатных акустооптических дефлекторов, каждый из которых работает с линейно поляризованным излучением — горизонтальным и вертикальным. Приведены оценки оптических потерь при использовании акустооптических систем.

*Ключевые слова:* акустооптические системы, двухкоординатный акустооптические дефлекторы, неполяризованное излучение, оптические потери, лазерные источники, импульсное лазерное излучение, импульсное излучение частотой до 50 кГц, парателлуриит, импульсное воздействие на поверхность, поимпульсная обработка материала

DOI: 10.31857/S0367676524050165, EDN: QEIUDC

### ВВЕДЕНИЕ

Несомненно, что одним из важнейших изобретений прошлого века является создание лазеров [1]. Бурное развитие лазерной техники привело к появлению разнообразных типов лазеров. Основные типы лазерных источников — это непрерывные, импульсные и частотно-импульсные излучатели. Они активно используются в различных областях науки и техники, но особенно широкое применение лазеры нашли в разнообразных технологических процессах [2–7].

Интересным направлением лазерной технологии является наномодификация поверхности металлов и полупроводников излучением лазеров, в том числе наносекундного диапазона [8–15]. Одним из практических применений является подготовка поверхности металлов перед диффузионной сваркой. При сварке деталей удается добиться увеличения прочности шва при снижении температуры процесса [12]. Это крайне важно при сварке материалов, испытывающих температурный фазовый переход.

Для проведения этих работ оказалось достаточным использование излучения наносекундных лазеров миллиджоулевого диапазона, сфокусированного в пятно

размером 100–200 мкм. В работах [8–12] использовался источник, работающий с частотой повторения импульсов 100 Гц, что удобно при проведении исследований, требующих регистрации параметров каждого воздействующего импульса. Однако это совершенно недостаточно для практического применения.

В данной работе рассматривается вариант технологического использования частотно-импульсных лазеров, излучающих импульсы наносекундного диапазона при высокой частоте их следования (до 50 кГц) [16]. Важной практической задачей при использовании таких лазеров является быстрое сканирование лазерным излучением обрабатываемых материалов или их областей таким образом, чтобы на данный участок поверхности материала одномоментно попадал только один лазерный импульс либо заранее заданное число импульсов. В настоящее время рассматриваются разные варианты комбинации таких источников излучения и систем сканирования [17–21].

Цель данной работы — исследовать возможность создания технологической установки для сканирования лазерным излучением наносекундного диапазона с высокой частотой повторения импульсов, способного обеспечить наномодификацию металлов

и полупроводников в режиме поимпульсного воздействия на поверхность, для минимизации термодеформаций обрабатываемой детали.

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ОТКЛОНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В настоящее время одними из наиболее популярных устройств отклонения лазерного излучения в пространстве являются электромеханические сканирующие устройства, управляющие оптическими клиньями или зеркалами. Современные приводы, используемые для быстрого и точного перемещения луча, обеспечивают полосу пропускания не менее 100—150 Гц. Данное быстродействие может быть получено за счет использования безредукторного привода, содержащего электродинамический двигатель, ротор которого жестко связан непосредственно с отклоняющим оптическим элементом — нагрузкой привода; встроенный датчик угла поворота нагрузки; электронный блок управления привода и собственно отклоняющий оптический элемент (зеркало), ось вращения которого параллельна отражающей поверхности [22—24].

В зависимости от решаемой задачи могут быть разработаны и поставлены приводы на оптические апертуры 10...100 мм и более при максимальном угле поворота зеркала до ±10 угл. град. Причем диапазон обрабатываемых следящим приводом частот (полоса пропускания) составляет до 1200 Гц для апертур до 20 мм и до 200 Гц для апертур порядка 100 мм [25].

В ряде задач требуется устройство управления импульсным лазерным излучением, быстродействие которого составляет 20—50 кГц, с энергией в импульсе порядка нескольких мДж. Это является рабочей частотой, например, таких лазеров как ИЛИ-1-50 (YLPN — 1-100-50-M) фирмы ИРЭ «Полус», ЛМП-50 фирмы ООО «Квантрон-Медиа», RL10QG ООО НПЦ «Элс-94» и их многочисленных аналогов [26, 27]. Для работы с такими частотами можно воспользоваться акустооптическими дефлекторами на основе акустооптического кристалла из парателлуриата (TeO<sub>2</sub>) с типовым быстродействием до 15 мкс [28].

В основе акустооптических устройств лежат физические принципы дифракции света на бегущей акустической волне. При выполнении определенных условий практически вся энергия падающего излучения переходит в один дифракционный порядок (режим брэгговской дифракции) [29]. Угловое положение этого порядка зависит от периода фазовой решетки и может меняться при изменении частоты ультразвуковой волны. Интенсивность управляемого порядка зависит от амплитуды изменений показателя преломления и определяется мощностью ультразвука. При оптимальном значении мощности звуковой волны и угла падения лазерного излучения на звуковую волну интенсивность лазерного излучения в управляемом порядке может достигать 95% от падающего излучения [30].

Для пространственного сканирования (координаты X и Y) в дефлекторе последовательно располагаются 2 ортогональные акустооптические ячейки. Каждая ячейка состоит из светопровода из акустооптического материала с просветленными оптическими гранями, пьезоэлектрического преобразователя для возбуждения ультразвуковой волны и акустического поглотителя. Ультразвуковая волна, образующая дифракционную решетку, с которой взаимодействует лазерное излучение, создается в акустооптическом кристалле пьезоэлектрическим преобразователем. На противоположной стороне кристалла наносится специальное покрытие — поглотитель УЗ, необходимый для поглощения ультразвуковой волны. Сканирование лазерным пучком осуществляется путем программного управления частотой генерации. Синтезатор имеет также канал программного управления амплитудой выходных сигналов для выравнивания зависимости эффективности дифракции в рабочей полосе частот. Персональный компьютер (ПК) задает алгоритм управления [31]. Схематически состав однокоординатной акустооптической системы показан на рисунке 1. Условно показаны горизонтальные линии равного показателя преломления в акустооптическом материале, отстоящие друг от друга на длину акустической волны. В состав двухкоординатной акустооптической системы входят два ортогональных акустооптических дефлектора, драйвер на каждый акустооптический дефлектор и ПК.

Благодаря своим уникальным свойствам акустооптические системы в настоящее время находят применение в различных приборах и устройствах, использующих лазеры: локаторах, дальномерах, гравируальных установках, проекционных установках [32, 33], хирургических инструментах [34] и других устройствах [35].

К числу несомненных достоинств акустооптических устройств относятся отсутствие подвижных элементов, малое энергопотребление, простота конструкции, компактность, надежность и, что очень важно для дефлекторов, чрезвычайно высокое быстродействие, измеряемое в микросекундах. Принципиально новым фактором является независимость от угловой величины времени переброса лазерного луча из одной точки

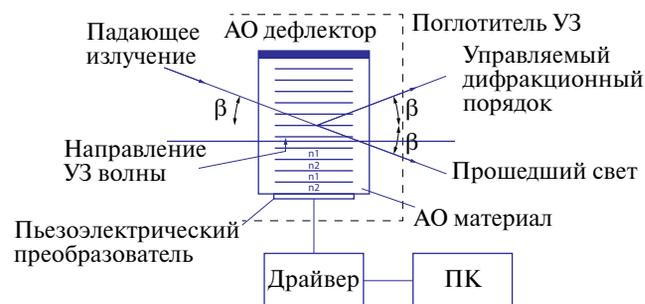


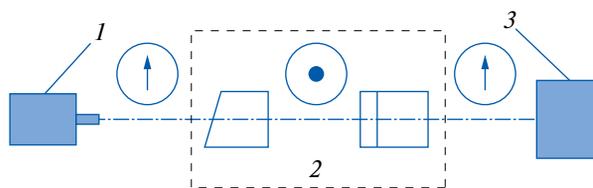
Рис. 1. Схема работы однокоординатной акустооптической системы.

в другую, что позволяет осуществлять отклонение лазерного излучения по любому заданному алгоритму без прохождения промежуточных положений. Другим важным фактом является возможность с высоким быстродействием (десятки микросекунд) управлять расходимостью лазерного пучка, что может быть полезно при обработке поверхности со сложным рельефом или в подборе плотности мощности (энергии) лазерного луча, падающего на поверхность. Однако у акустооптического дефлектора есть недостатки такие, как сравнительно небольшой угол сканирования (как правило, не более  $3^\circ \times 3^\circ$ ), требование линейной поляризации лазерного излучения, потери порядка 20% при использовании двухкоординатного дефлектора и температурная зависимость свойств элементов его конструкции [36].

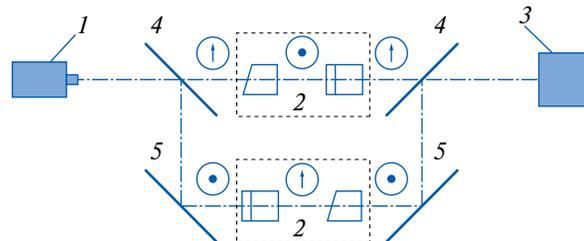
Для случая применения в акустооптических системах линейно поляризованного излучения достаточно подробно описаны схемы поляризационно-нечувствительных двухкоординатных акустооптических дефлекторов [37–39]. В данной работе предлагается пойти другим путем и использовать возможность применения мощных лазеров с произвольной поляризацией излучения, использующих системы сканирования с двумя двухкоординатными акустооптическими дефлекторами, каждый из которых работает либо с горизонтальной, либо с вертикальной поляризацией. В схеме используют специальную оптику, которая до дефлекторов разделяет лазерное излучение на два поляризованных пучка (горизонтально и вертикально), а на выходе из дефлекторов их суммирует.

Далее подробно рассмотрены примеры использования акустооптических двухкоординатных дефлекторов с применением различных высокочастотных лазерных источников. Случай применения лазера с линейной поляризацией и акустооптическим двухкоординатным дефлектором приведен на рисунке 2. Значками показан тип поляризации. При прохождении через акустооптическую ячейку анизотропного акустооптического дефлектора поляризация меняется (например, с горизонтальной на вертикальную), а при прохождении второй ячейки возвращается в прежнее положение (меняется с вертикальной на горизонтальную). На рисунке 3 представлен пример оптической схемы для неполяризованного варианта лазера ИЛИ-1–50 с использованием схемы с двумя двухкоординатными дефлекторами для горизонтального и вертикального направлений.

В широко используемых лазерах на парах меди (ЛПМ) имеется характерная особенность. Они одновременно дают излучение двух длин волн:  $\lambda = 510.6$  (70%) и  $578.2$  (30%) нм. Их длительность импульса обычно составляет 10–30 нс, а частота повторения — десятки кГц. Для технологических применений эти лазеры представляют значительный интерес благодаря тому, что их излучение хорошо проходит в воде, что позволяет их эффективно использовать в водной среде [40]. Основные технические характеристики лазера ЛПМ-50 приведены в таблице 1. Такие параметры



**Рис. 2.** Схема лазера с линейной поляризацией и акустооптическим двухкоординатным дефлектором: лазерный модуль RL10QG (1), двухкоординатный акустооптический дефлектор (2), электромеханический сканер или оптическая система фокусировки (3) в зависимости от задачи.



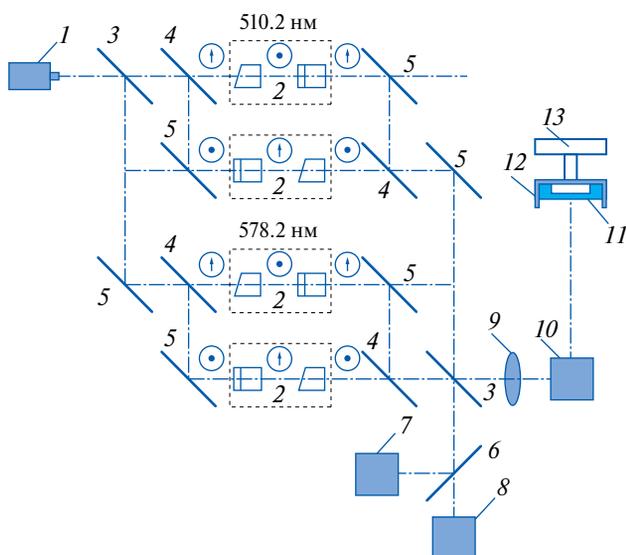
**Рис. 3.** Оптическая схема для неполяризованного варианта лазера ИЛИ-1–50: лазерный модуль ИЛИ-1–50 (1), делительная пластина по типу поляризации горизонтальной и вертикальной (2), отражающие зеркала (3), двухкоординатный дефлектор (4), электромеханический сканер или оптическая система фокусировки (5) в зависимости от задачи.

делают его перспективным для применения в научных целях, резке, сверлении, маркировке, исправлении дефектов полупроводниковых структур, для создания изображений в стекле. Кроме того, лазеры ЛМП-50 широко применяются в рекламно-информационном и медицинском оборудовании.

Для применения быстродействующих систем сканирования при работе с лазером ЛМП-50 разработана схема, приведенная на рисунке 4. Лазерное излучение

**Таблица 1.** Основные характеристики лазера ЛМП-50

№	Наименование параметра	Значение
1	Средняя мощность, Вт	50
2	Частота следования импульсов, Гц	10 000
3	Длительность импульса, нс	20
4	Длины волн, нм	510.6 и 578.2
5	Расходимость, мрад	0.3
6	Диаметр пучка, мм, не более	14
7	Энергия в импульсе, мДж	5
8	Потребляемая мощность, кВт	9
9	Габаритные размеры, мм	1200×420×800
10	Вес, кг	100



**Рис. 4.** Оптическая схема для работы с лазером ЛМП-50: лазерный модуль с двумя длинами волн 510.2 и 578.2 нм (1), делительная пластина для пропускания 510.2 нм и отражением 578.2 нм (3), делительная пластина по типу поляризации горизонтальной и вертикальной (4) и сложения двух волн по типу поляризации, отражающие зеркала (5), двухкоординатный дефлектор (2), делительная пластина для пропускания и отражения половины падающего излучения (6), система для проверки дефлектора по позиционированию развертки сканирования (7), измеритель импульсного излучения (8), оптическая система фокусировки (9), электромеханический сканер или система зеркал (10), обрабатываемый образец (11), емкость с водой (12), специально оборудованный механизм перемещения образца в емкости с водой (13).

от источника ЛМП-50 (1) попадает на дихроичное зеркало (3), разделяющее исходное лазерное излучение на монохроматические лучи с длинами волн 510.6 и 578.2 нм.

Каждый канал монохроматического излучения попадает на систему управления мощностью пучка и направлением распространения излучения по координатам X, Y, подобную приведенной на рисунке 3. Здесь неполяризованное лазерное излучение падает на поляризационную пластину 4, разделяющую лазерное излучение данной длины волны на горизонтально поляризованное и вертикально поляризованное. Вертикально поляризованное излучение падает на двухкоординатный акустооптический дефлектор 2 в зависимости от длины волны, а горизонтально поляризованное излучение — на оптическое поворотное зеркало 5 и потом на повернутый на 90° акустооптический дефлектор 2. Вертикально поляризованное излучение при прохождении акустооптической ячейки меняет свою поляризацию, как показано на рис. 3. При этом поляризация на входе и выходе из двухкоординатного дефлектора сохраняется. Лазерное излучение попадает на сформированную в акустооптических ячейках дифракционную решетку и отклоняется

в заданное положение, как показано на рис. 1. После прохождения лазерного излучения через двухкоординатный акустооптический дефлектор 2 вертикально поляризованное излучение падает на оптическое поворотное зеркало 5 и затем с горизонтально поляризованным излучением — на поляризационную пластину 4, и на выходе получается неполяризованное управляемое лазерное излучение.

В схеме для уравнивания оптического пути каждого канала введены оптические поворотные зеркала 5; лазерное излучение каждого канала суммируется на дихроичном зеркале 3. Далее основная часть излучения направляется на оптическую систему 9 и через систему отклонения лазерного излучения 10 на обрабатываемую поверхность. Она находится в специальном резервуаре с водой 12. Позиционирование объекта осуществляется с помощью подвижек специального трехкоординатного предметного столика 13. Его перемещение синхронизируется с частотой следования импульсов лазера по заданной программе, управляемой ПК.

Часть лазерного излучения после дихроичного зеркала 3 поступает в побочный канал и на светоделительную пластину 6, после чего ориентировочно половина лазерного излучения попадает на систему для проверки дефлектора по позиционированию развертки сканирования 7 и измеритель энергии 8. Система проверки позиционирования развертки сканирования лазерного излучения позволяет проверить взаимное положение каждого дефлектора по отдельности при условии формирования звуковой волны последовательно только в одном двухкоординатном дефлекторе. С помощью измерителя энергии 8 можно контролировать уровень энергии. При реализации данной схемы оценочные потери лазерного излучения могут составить ~ 50%, при условии, что потери на двухкоординатном акустооптическом дефлекторе составляют ~ 20%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод отклонения лазерного луча в пространстве на основе акустооптических дефлекторов и дано описание технологической установки для различных задач воздействия лазерным излучением с высокой частотой повторения импульсов на материалы, например для термообработки. Разработанная схема позволяет производить поимпульсную обработку материалов с высокой скоростью, с целью повышения экономической эффективности процесса.

Рассмотрены упрощенные оптические схемы построения отклоняющих систем на основе акустооптических дефлекторов при использовании линейно поляризованного излучения, неполяризованного излучения, неполяризованного излучения на двух длинах волн и приведены оценки потерь при оптимизации таких схем. В случае реализации предложенной схемы оценочные потери лазерного излучения могут составить ~ 50% при условии, что потери на двухкоординатном акустооптическом дефлекторе составят ~ 20%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусова И.М. // Научн.-техн. вестн. инф. технол. механ. и опт. 2014. № 2(90). С. 1.
2. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.
3. Абрамов П.И., Кузнецов Е.В., Скворцов Л.А., Скворцова М.И. // ЖПС. 2019. Т. 86. № 1. С. 5; Abramov P.I., Kuznetsov E.V., Skvortsov L.A., Skvortsova M.I. // J. Appl. Spectrosc. 2019. V. 86. No. 1. P. 1.
4. Martin V., Brito J.P., Escribano C. et al. // EPJ Quant. Technol. 2021. V. 8. Art. No. 19.
5. Голубенко Ю.В., Богданов А.В., Иванов Ю.В., Третьяков Р.С. Волоконные технологические лазеры. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 50 с.
6. Фомин В.М., Голышев А.А., Маликов А.Г., Оришич А.М., Шулятьев В.Б. // Прикл. механ. и техн. физ. 2015. Т. 56. № 4. С. 215; Fomin V.M., Golyshhev A.A., Malikov A.G., Orishich A.M., Shulyat'ev V.B. // J. Appl. Mech. Tech. Phys. 2015. V. 56. P. 726.
7. Конюшин А., Бережной К., Пентегов С. // Фотоника. 2016. Т. 57. № 3. С. 64.
8. Малинский Т.В., Миколуцкий С.И., Рогалин В.Е. и др. // Письма в ЖТФ. 2020. Т. 46. № 16. С. 51; Malinskiy T.V., Mikolutskiy S.I., Rogalin V.E. et al. // Tech. Phys. Lett. 2020. 46. No. 8. P. 831.
9. Малинский Т.В., Рогалин В.Е., Ямщиков В.А. // Физ. металл. и металловед. 2022. Т. 123. № 2. С. 192; Malinskii T.V., Rogalin V.E., Yamshchikov V.A. // Phys. Metal. Metallogr. 2022. V. 123. No. 2. P. 178.
10. Малинский Т.В., Рогалин В.Е., Шур В.Я., Кузнецов Д.К. // Физ. металл. и металловед. 2023. Т. 124. № 7. С. 1; Malinskii T.V., Rogalin V.E., Shur V.Ya., Kuznetsov D.K. // Phys. Metal Metallogr. 2023. V. 124. No. 7. P. 728.
11. Железнов В.Ю., Малинский Т.В., Рогалин В.Е. и др. // Изв. вузов. Матер. электрон. техн. 2023. Т. 26. № 2. С. 89; Zheleznov V.Yu., Malinskii T.V., Rogalin V.E. et al. // Rus. Microelectron. 2023. V. 52. No. 8. P. 1.
12. Khomich Yu.V., Mikolutskiy S.I. // Acta Astronaut. 2022. V. 194. P. 442.
13. Кочуев Д.А., Чкалов Р.В., Прокошев В.Г., Хорьков К.С. // Изв. РАН. Сер. физ. 2020. Т. 84. № 3. С. 443; Kochuev D.A., Chkalov R.V., Prokoshev V.G., Khorkov K.S. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2020. V. 84. No. 3. P. 343.
14. Харькова А.В., Вознесенская А.А., Кочуев Д.А., Хорьков К.С. // Изв. РАН. Сер. физ. 2022. Т. 86. № 6. С. 864; Kharkova A.V., Voznesenskaya A.A., Kochuev D.A., Khorkov K.S. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. V. 86. No. 6. P. 726.
15. Чкалов Р.В., Чкалова Д.Г., Кочуев Д.А., Хорьков К.С. // Изв. РАН. Сер. физ. 2022. Т. 86. № 6. С. 869; Chkalov R.V., Chkalova D.G., Kochuev D.A., Khorkov K.S. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. V. 86. No. 6. P. 730.
16. Елохин В.А., Жданов И.Г. // Научн. приборостр. 2003. Т. 3. № 3. С. 46.
17. Гликин Л.С. Способ и устройство для лазерной резки материалов. Патент РФ № 2634338. 2017.
18. Атаманюк В.М., Володин О.В., Дяченко И.В. и др. Взаимодействие лазерного излучения с материалами оптико-электронной техники. Сергиев Посад: ЦФТИ МО РФ, 2004. 176 с.
19. Казарян М.А., Лябин Н.А. Лазерная прецизионная микрообработка материалов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. 416 с.
20. Зарубин П.В. Лазерное оружие — миф или реальность? Мощные лазеры в СССР и в мире. Владимир: ООО «Транзит-Икс», 2009. 325 с.
21. Вейко В.П., Смирнов В.Н., Чирков А.М., Шахно Е.А. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении. СПб: НИУ ИТМО, 2013. 103 с.
22. Безбородов А.И., Кондрашов В.П., Шацкий А.В. Устройство для отклонения светового пучка. Патент РФ № 2153693. 2000.
23. Жиган И.П., Кузнецов Е.В., Тигин Д.С., Шацкий А.В. Устройство для наведения лазерного пучка. Патент РФ № 2787968. 2023.
24. Горобинский А.В., Жиган И.П., Кузнецов Е.В., Шацкий А.В. Способ наведения лазерного луча на объект. Патент РФ № 2788943. 2023.
25. Афонин А.А., Гук А.С., Никитин В.Н. и др. Наведение лазерных пучков: Автоматические системы и устройства наведения. М.: URSS, 2023. 312 с.
26. Скворцов А.М., Вейко В.П., Ту Хуинь Конг // Научн.-техн. вестн. инф. технол. механ. и опт. 2012. № 5(81). С. 128.
27. www.ipgphotonics.com.
28. Пустовойт В.И., Пожар В.Э. // Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. приборостр. 2011. С. 6.
29. Балакий В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.
30. Антонов С.Н. // ЖТФ. 2016. Т. 86. № 10. С. 155; Antonov S.N. // Tech. Phys. 2016. V. 61. P. 1597.
31. Молчанов В.Я., Китаев Ю.И., Колесников А.И. и др. Теория и практика современной акустооптики. М: МИСИС, 2015. 459 с.
32. Котов В.М. Акустооптика. Брегговская дифракция многоцветного излучения. М.: Янус-К, 2016. 285 с.
33. Гуляев Ю.В., Казарян М.А., Мокрушин Ю.М., Шакин О.В. Акустооптические лазерные системы формирования телевизионных изображений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. 240 с.
34. Пичугина Ю.В., Мачихин А.С. // Фотоника. 2020. Т. 14. № 3. С. 254.
35. Молчанов В.Я., Макаров О.Ю., Колесников А.И., Смирнов Ю.М. // Вестн. ТвГУ. Сер. физ. 2004. № 4(6). С. 88.

36. Гук А.С., Гуляев Ю.В., Евстигнеев В.Л. и др. Температурные эффекты в акустооптических дефлекторах на парателлурите. М.: РАН, 2017. 10 с.
37. Антонов С.Н., Резвов Ю.Г. // Акуст. журн. 2021. Т. 67. № 2. С. 138; *Antonov S.N., Rezvov Y.G.* // *Acoust. Phys.* 2021. V. 67. No. 2. P. 128.
38. Магдич Л.Н., Молчанов В.Я. Способ управления оптическим излучением. Патент СССР № 1329419. 1992.
39. Антонов С.Н., Вайнер А.В., Никуруй Э.Я. Повышение эффективности акустооптического модулятора с двулучевой диаграммой направленности методом коррекции двухчастотного электрического сигнала. Патент РФ № 1329419. 2009.
40. Бункин Ф.В., Трибельский М.И. // УФН. Т. 130. № 2. 1980. С. 193; *Bunkin F.V., Tribelsky M.I.* // *Phys. Usp.* 1980. V. 23. No. 2. P. 105.

## Scanning processing of materials with high-frequency pulsed lasers using acousto-optic deflectors

A. S. Guk<sup>1, 2</sup>, V. E. Rogalin<sup>1</sup>, S. A. Filin<sup>1</sup>, I. A. Kaplunov<sup>3, \*</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Electrophysics and Electric Power of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 191186, Russia*

<sup>2</sup>*Krasnogorsky Zavod, Krasnogorsk, 143403, Russia*

<sup>3</sup>*Tver State University, Tver, 170100, Russia*

\* *e-mail: kaplunov.ia@tversu.ru*

A new scheme for controlling the position and intensity of unpolarized radiation, including at several wavelengths, has been developed. A feature of the optical scheme is the use of two-coordinate acousto-optic deflectors, each of which works with linearly polarized radiation — horizontal and vertical. A polarizing plate is used to separate the initial unpolarized laser radiation. Estimates of optical losses when using acousto-optic systems are given.

*Keywords:* acousto-optic two-coordinate deflector, acousto-optic cell, unpolarized radiation, laser, optical losses, laser source, pulsed laser radiation, pulse repetition rate 50 kHz, paratellurite