

К.В. Важаев
ФГБОУ ВПО Уфимская
государственная академия экономики
и сервиса

K.V. Vazhdaev
FSBEI Ufa state academy of economics
and service

Рассмотрены оптоэлектронные устройства на акустооптическом эффекте. Приведены некоторые разработки акустооптических устройств, сконструированных в России и США.

The optoelectronic devices based on acoustooptical effect are observed. Some designs of acoustooptical devices designed in Russia and the USA are resulted.

Ключевые слова: акустооптика, датчик, измерительная система, акустооптический модулятор, акустооптический фильтр.

Keywords: acoustooptics, sensor, a measuring system, the acoustooptical modulator, the acoustooptical filter.

Введение

Акустооптика – это раздел науки, изучающей взаимодействие электромагнитных и акустических волн и их применение в технике. Большой вклад в развитие акустооптики внесли Р.Люк, Р. Бикар, П. Дебай, Л.И. Мандельштам, Л.Брюллиэн, Ф. Сирс, С.М. Рытов, Л. Бергман, Г. Мюллер, В. Мэзон, Г. Виллард, Р.Диксон и др. Наиболее интенсивно акустооптика развивается с 60-ых годов XX века в связи с появлением оптических квантовых генераторов и новых акустических материалов и в настоящее время акустооптика получила новый толчок к развитию в связи с использованием акустооптических устройств в волоконно-оптических линиях связи [1, 2].

Акустооптические устройства сегодня нашли широкое применение в информационно-измерительной технике, телекоммуникациях, устройствах оптической обработки информации, научных исследованиях и т.д. В частности в ФГУП «Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Физико-технических и Радиотехнических Измерений (ВНИИФТРИ)» созданы миниатюрный дистанционный зондирующий акустооптический спектрометрический комплекс высокого спектрального разрешения для изучения биогеохимических, геохимических и химических эффектов в целях обнаружения нефтегазовых месторождений на основе прямых признаков выделения газов, контроля функционирования трубопроводов и танкеров, процессов переработки, хранения и

использования углеводородов и их влияния на экологию, а также автоматизированный цветоанализатор «Спектрон-М» на основе акустооптического спектрофотометра для измерения колориметрических и спектральных характеристик непрозрачных и полупрозрачных образцов [3].

В научно-технологическом центре уникального приборостроения РАН создан акустооптический спектрометр рамановского рассеяния с рабочим диапазоном регистрации сдвига частоты 100 - 5000 см^{-1} , спектральным диапазоном 520 - 890 нм, спектральным разрешением 9 см^{-1} (0,4 нм на 660 нм), шагом по спектру 1,5 см^{-1} , точностью привязки по длине волны $\pm 0,2$ нм, длиной волны лазерного излучения 532 нм и максимальной мощностью 0,2 Вт, с помощью которого проведено исследование распределения активаторной примеси в активных элементах твердотельных лазеров [4].

Акустооптические устройства широко применяются в волоконно-оптических линиях связи [5, 6, 7].

На основе акустооптических устройств созданы датчики линейных и угловых перемещений, давления, температуры, газоанализаторы [8, 9, 10, 11, 12]. Основными преимуществами акустооптических преобразователей являются:

- сравнительная простота исполнения;
- компактность;
- высокая устойчивость к химическому загрязнению окружающей среды;
- возможность работы в агрессивных средах при высоких давлениях;
- возможность значительного удаления вторичной аппаратуры от места измерений;
- совместимость с волоконно-оптическими системами сбора и передачи информационных сигналов;
- встраиваемость в многокоординатные измерительные комплексы с программным управлением

измерительным процессом и автоматической обработкой результатов измерений;

- универсальность;
- длительный срок службы;
- отсутствие механического контакта с исследуемой поверхностью;
- простота обслуживания;
- высокая надежность;
- точность;
- малые габариты;
- нечувствительность к электромагнитным помехам и др.

К основным недостаткам следует отнести сравнительно высокую стоимость и сложность монтажа [13].

В Уфимской государственной академии экономики и сервиса проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки в рамках проекта «Разработка акусто-оптических датчиков линейных и угловых перемещений нового поколения» по гранту Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «У.М.Н.И.К.» (Участник международного научного - инновационного форума) на 2008-2012 г.

В научной работе рассмотрены примеры использования акустооптических устройств в различных приборах и информационно-измерительных системах.

Лазерные сканирующие микроскопы на основе термостабилизированных акустооптических перестраиваемых фильтров в ближайшее время получат широкое распространение для исследований в области биологии, медицины, криминалистики, материаловедения. Лазерные сканирующие микроскопы представляют собой единый комплекс из базового микроскопа, сканирующего модуля, лазерного модуля, электронного модуля управления и компьютерной Ni-end системы. В качестве примера можно привести лазерный сканирующий микроскоп LS510 META с разрешением до 2048×2048 пикселей, возможностью установки до 4 лазеров одновременно, двумя одноканальными и одним 32-канальным детектором для быстрой записи спектрального профиля, двумя независимыми гальванометрическими зеркалами, индивидуальными конфокальным отверстием для каждого канала с плавной регулировкой размера и позиции [14].

Устройство прибора для определения дефектов подложки представлено на рисунке 1. Прибор состоит из лазера дальней области ультрафиолетового излучения 1, лазера видимого излучения 2, расщепителей электронного пучка 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 21, 22, акустооптических модуляторов 10, 11, 12, 13, пластины 18 с микроканалом, лазерного сканирующего модуля 19, оптического детектора 20, линз 23 и 26, фотокамеры 24, блока обработки

информации 25, предметного столика 27 с расположенным на нем объектом контроля [15]. Аналогичное устройство описано в работах [16, 17, 18].

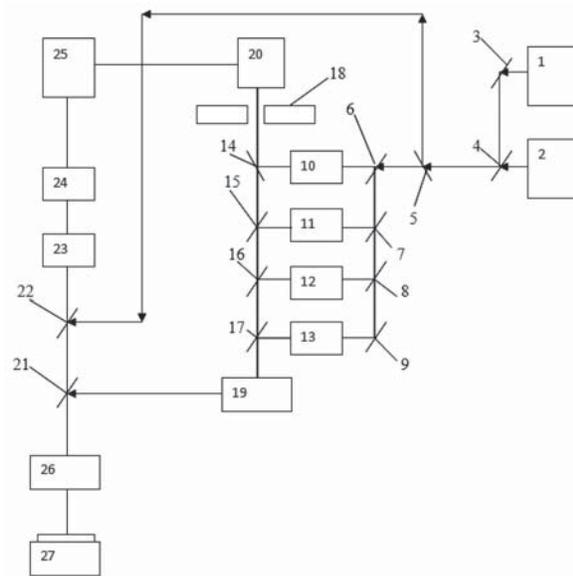


Рисунок 1. Прибор для определения дефектов подложки

На рисунке 2 представлено устройство высокоскоростного волоконно-оптического аттенюатора [19]. Аттенюатор на входе и выходе соединяется с волоконно-оптическими кабелями 1 и 2 соответственно. Устройство состоит из волоконных коллиматоров 2 и 11, акустооптических ячеек Брэгга 3 и 8, пьезопреобразователей 4 и 9, линз 6 и 7, элементов поглощения света 5 и 10, расщепителя 13, усилителя 14, генератора 15. Оптический луч из волоконно-оптического кабеля коллимируется в волоконном коллиматоре 2 и падает под углом Брэгга на акустооптическую ячейку 3. В акустооптической ячейке 3 происходит дифракция света на ультразвуке, причем дифрагировавший луч света +1-го порядка падает на линзы 6 и 7, а проходящий недифрагировавший луч 0-го порядка поглощается элементом 5. Луч света +1-го порядка из линзы 7 под углом Брэгга падает на акустооптическую ячейку 8, где происходит акустооптическая дифракция в режиме Брэгга. Таким образом, в результате второй акустооптической дифракции получим изменение частоты оптического луча и нейтрализацию сдвига Доплера. Данное устройство обладает высоким динамическим диапазоном, быстродействием, безынерционностью, низкими потерями и компактностью.

На рисунке 3 представлена схема измерительной системы для измерения температуры [20]. Измерительная система содержит источник освещения 1 в виде перестраиваемого лазера, испускающего свет в двух различных длинах волн, а также преобразователь, имеющий оптическую длину пути,

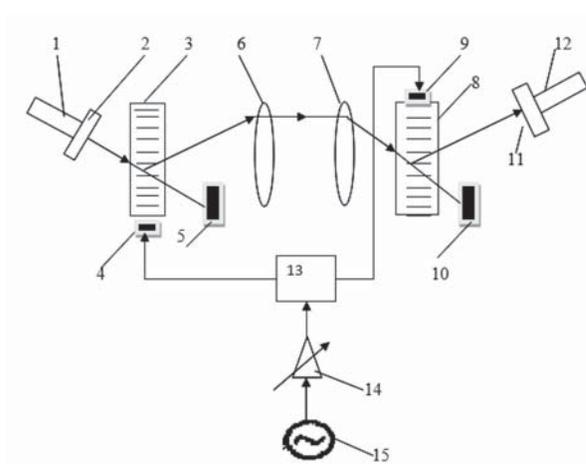


Рисунок 2. Высокоскоростной волоконно – оптический аттенюатор

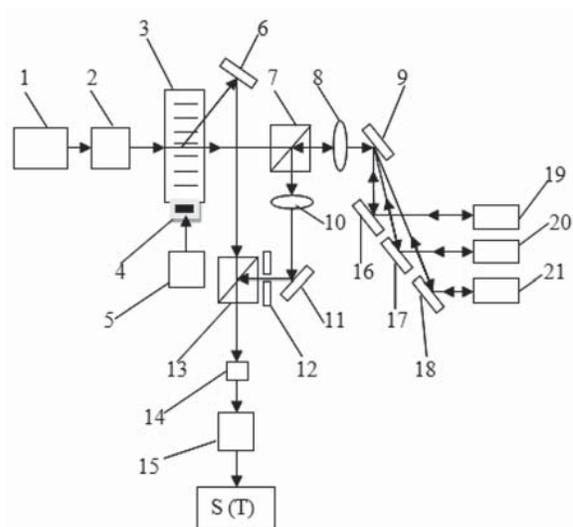


Рисунок 3. Измерительная система для измерения температуры

которая изменяется как функция температуры. Преобразователь содержит: изолятор 2, акустооптическую ячейку Брэгга 3, пьезопреобразователь 4, генератор 5; расщепители электронного пучка 7 и 13; линзы 8 и 10; зеркала 6, 9, 11, 16, 17, 18; пространственный фильтр 12; эталонные оптические измерительные микросхемы 19, 20, 21 на основе SiC; фотодиод 14; фильтр 15. Данная измерительная система благодаря использованию эталонных оптических измерительных микросхем на основе SiC может также использоваться для измерения давления, химических и биологических измерений, а при нанесении на поверхность монокристалла SiC пористых пленок возможно использование в качестве газоанализатора.

На рисунке 4 представлены метод и аппаратура акустооптического канала связи на основе лазера [21]. Акустооптический канал связи предназначен для передачи информации между подводными (подводные лодки, подводные исследовательские аппараты и т.д.) и надводными объектами (корабли,

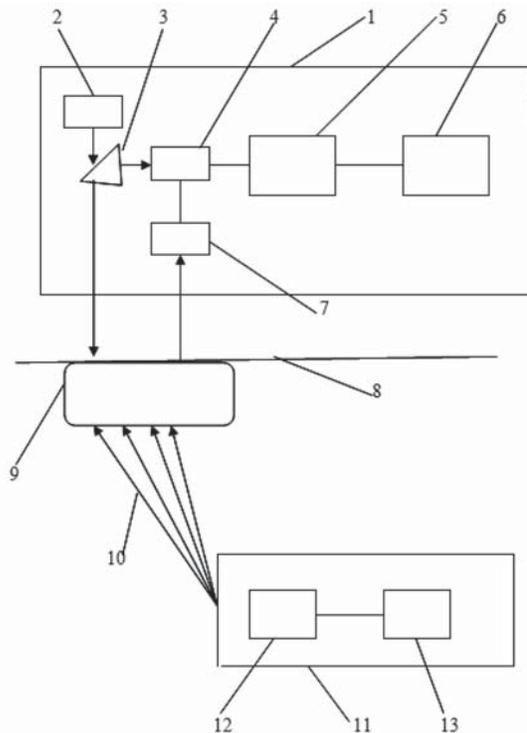


Рисунок 4. Акустооптический канал связи на основе лазера

вертолеты и т.д.). Подводный объект 11 снабжен источником акустического телеметрического сигнала 13 и проектором 12, передающим сигнал в воду. На надводном объекте 1 установлен лазер 2, излучение которого делится расщепителем 3 на два луча: первый луч направляется на поверхность раздела вода-воздух 8, а второй луч направляется на интерференционный виброметр 4 и используется как луч ссылки для сравнения с лучом отраженным от акустооптической области взаимодействия 9. Луч, направленный к поверхности раздела вода-воздух 8 взаимодействует с акустическим телеметрическим сигналом в акустооптической области 9 и луч, отраженный от области акустооптического взаимодействия 9 принимается преобразователем 7. Далее в интерференционном виброметре 4 сравниваются доплеровские скорости отраженного луча и луча ссылки. Затем полученный сигнал преобразуется в электрический сигнал акустофотонноэлектрическим преобразователем сигналов 5. Далее электрический сигнал поступает в телеметрический приемник 6, в котором происходит его демодуляция в исходный акустический телеметрический сигнал. Ранее для обеспечения связи подводной лодке необходимо было всплывать на поверхность, чтобы передать информацию на надводные корабли, воздушные суда, удаленные базы и поэтому новый метод облегчает связь с подводными объектами без создания физической линии связи между ними.

На рисунке 5 представлено устройство оптического преобразователя, основанного на гетеродинной оптической интерферометрической микроскопии

[22]. Преобразователь состоит из перестраиваемого лазера 1, одномодовых оптических волокон 2, 4, 7, волоконно-оптического поляризационного регулятора 3, волоконно-оптического циркулятора 5, фотодиода 6, волоконной линзы 8, поляризатора 9, акустооптического перестраиваемого фильтра 11, фокусирующей линзы 12, выборки 13, программируемого ингибитора смещения 14, зеркала 15, фазометра 16, генератора 17.

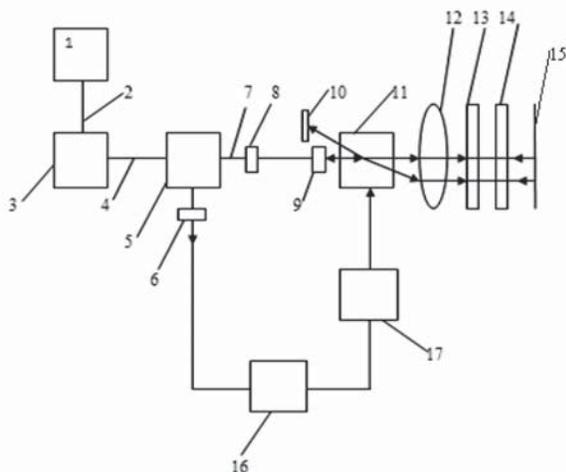


Рисунок 5. Оптический преобразователь

Выводы

Анализ патентов и научно-технической литературы зарубежных стран и Российской Федерации позволяет сделать вывод, что оптоэлектронные устройства на акустооптическом эффекте являются сравнительно новыми высокоточными приборами. Области применения устройств на акустооптическом эффекте в ближайшее время будут значительно расширены.

Работа выполнена на кафедре «Машины, аппараты, приборы и технологии сервиса» Уфимской государственной академии экономики и сервиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Царев А.В. Эффекты акустооптического взаимодействия и интерференции в сложных волноводных структурах: автореф. ... дис. д-ра физ.-мат. наук: Новосибирск: ИФП СО РАН, 2007. 33 с.

2. Андреев И.А. Монокристаллы с умеренной и сильной электромеханической связью для акустоэлектроники и акустооптики: автореф. ... дис. д-ра физ.-мат. наук. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2007. 32 с.

3. Прикладная акустооптика и спектроскопия. / www.vniiftri.ru/tus/activity

4. Исследование распределения активаторной примеси в активных элементах твердотельных лазеров методом акустооптической спектроскопии комбинационного рассеяния / Боритко С.В. и [др.] // Радиотехника и Электроника. 2006. Т. 51. №11. С. 1405-1408.

5. Patent USA № 6822785B1. Miniature narrow band noncollinear acoustic optical tunable filter for telecommunication applications. // R.R. Chu, Q. Jiang. Published 23.11.2004.

6. Patent USA № 7057799B2. Tuning a narrow band filter for telecommunication applications with an acoustic optical tunable filter. // R.R. Chu. Published 06.06.2006.

7. Patent USA № 6563845B2. Optical modulation device. // M. Kumkar. Published 13.05.2003.

8. Пат. РФ № 2029237. Акустооптический датчик угла. / Привер Л.С. - Оpubл. // Б.И. 1995. № 5.

9. Pat. USA № 7352456B2. Spectroscopic sensor for measuring sheet properties. // S. Tixier, D.A. Gordon, F.M. Haran. Published 3.06.2008.

10. Ураксеев М.А., Важаев К.В. Моделирование акустооптических преобразователей линейных перемещений // Вестник УГАТУ. 2004. Т.5, №2 (10). С.110-116.

11. Полезная модель РФ № 51742. Газоанализатор / Мухамадиев А.А., Ураксеев М.А. // Б.И. 2006. №6.

12. Мухамадиев А.А. Информационно-измерительная система экологического мониторинга на базе акустооптического газоанализатора: авторефер. дис. канд. техн. наук. Уфа: УГАЭС, 2006. 24с.

13. Ураксеев М.А., Важаев К.В. Акустооптические преобразователи: теоретические предпосылки и новые разработки. // Датчики и системы. 2000. №1. С. 35-37.

14. Каталог лабораторного оборудования компании AW Tech - www.awt.ru

15. Pat. USA № 6377488B1K. Defect inspection apparatus and defect inspection methods. // Okawauchi. Published 08.01.2002.

16. Pat. USA № 6809808B2. Wafer defect detection system with travelling lens multi-beam scanner. / H. Feldman, E. Elyasaf,

N. Elmaliach, R. Naftaly, B. Golberg, S. Reinborn. // Published 2007.26.10.

17. Pat. USA № 2007/ 0285670 A1. Method and apparatus for detecting defect on a surface of specimen. / M. Yoshida, Y. Oshima. // Published. 2007. 13.12.

18. Pat. USA №2007/0165504 A1. Surface inspection by amplitude modulated specular light detection. /P. C. Jann, W. Abdalla // Published. 2007.19.07.

19. Pat. USA № 6885807B2 High speed fiber-optics attenuation modules./ N.A. Riza. //Published. 2005.26.04.

20. Pat. USA № 7327472. High temperature minimally invasive optical sensing modules. / N.A. Riza, F. Perez. // Published. 2008.05.02.

21. Pat. USA № 6859412B1 Laser based acoustooptic uplink communication technique. / F. A. Blackmon, L. T. Antonelly, L. E. Estes, G. Fain. //Published. 2005. 22.02.

22. Pat. USA № US 2005 / 0167578. Agile spectral interferometric microscopy. / N.A. Riza, F. Perez, A. Bokhari. //Published. 2008.04.08.

23. Важаев К.В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Машины, аппараты, приборы и технологии сервиса» ФГБОУ ВПО УГАЭС

Vazhdaev K.V., cand.tech.sci., associate professor of chair «Machines, apparatus, devices and technologies of service», FSBEI USAES
e-mail: vazhdaevK@gmail.com