

Акустооптический стереоскопический спектрометр для восстановления трехмерной структуры микрообъектов в произвольных спектральных интервалах

А. С. Мачихин^{1,*}, В. И. Батшев^{1,2,†}, В. Э. Пожар^{1,3,‡}, М. М. Мазур^{4,§}

¹Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН
Россия, 117342, Москва, ул. Бутлерова, д. 15

²Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Россия, 115409, Москва, Каширское ш., д. 31

⁴ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ)
Россия, 141570, Моск. обл., Солнечногорский р-н, г.п. Менделеево

Разработан акустооптический спектрометр, позволяющий регистрировать стереоизображения на произвольных длинах волн в пределах видимого диапазона. Работа спектрометра основана на одновременной спектральной фильтрации двух световых пучков, переносящих изображение объекта с двух разных ракурсов. Приведены примеры спектральных стереоизображений, полученных с помощью изготовленного макета спектрометра.

PACS: 42.79.Jq УДК: 535.8

Ключевые слова: акустооптика, видеоспектрометрия, стереоскопия.

Видеоспектрометры — приборы для визуализации и анализа двумерной структуры объектов в отдельных спектральных интервалах — в настоящее время находят широкое применение при проведении научных исследований [1]. Спектральная фильтрация позволяет системе работать с изображениями именно в тех интервалах длин волн, где отсутствуют фоновые помехи и наиболее интенсивно проявляются физические, химические и другие свойства анализируемых объектов. При этом существует множество медицинских, биологических и других задач, в которых недостаточно знать распределение свойств по поверхности образца, а необходимо исследовать их распределение по глубине, то есть обеспечить более полную информацию о пространственном расположении и форме элементов исследуемого объекта.

Добавление к классической «двумерной» системе регистрации изображений $I(x, y)$ одного дополнительного «измерения», пространственного (z) или спектрального (λ), дает качественно новое отображение объектов: стереовидение $I(x, y, z)$ либо спектральную визуализацию $I(x, y, \lambda)$. Добавление обеих координат позволит получить еще больший аналитический эффект $I(x, y, z, \lambda)$. Существуют два способа построения систем трехмерной спектральной визуализации. В первом — необходимо использование двух систем регистрации спектральных изображений, что может быть реализовано уже существующими системами, но требует их объединения. Второй подход, когда в стереоскопическую систему добавляется спектральный эле-

мент (например, набор цветных светофильтров в стереомикроскоп), во многих отношениях проще, так как требует добавления лишь одного элемента, а не дублирования всей системы. В полной мере подходят для реализации второго подхода перестраиваемые акустооптические (АО) фильтры, не имеющие подвижных частей, допускающие быструю произвольную спектральную адресацию и обеспечивающие достаточно высокое пространственное и спектральное разрешение, малое время переключения, коэффициент пропускания до 100% [2]. Однако добавление в триангуляционную схему АО фильтра сопряжено с трудностями светоэнергетического и абберационного согласования.

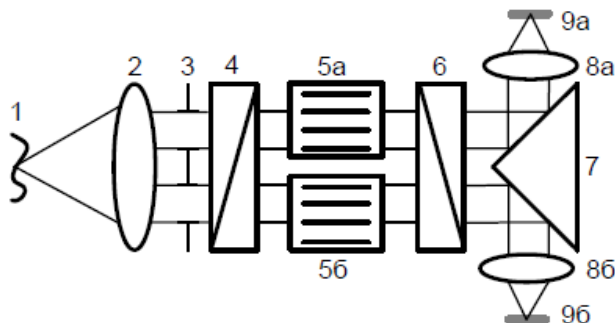


Рис. 1: Схема АО видеоспектрометра для регистрации спектральных стереоизображений

В настоящей работе представлен один из вариантов стереоскопического АО видеоспектрометра, основанный на одновременной спектральной фильтрации двух световых пучков, переносящих изображения объекта с двух разных ракурсов (рис. 1). Исследуемый объект 1 расположен в передней фокальной плоскости микрообъектива 2, коллимирующего излучение. Диафрагма 3 вырезает два стереоскопических пучка, ко-

*E-mail: aalexanderr@mail.ru

†E-mail: batshev_vlad@mail.ru

‡E-mail: v_pozhar@rambler.ru

§E-mail: s-mmazur@mail.ru

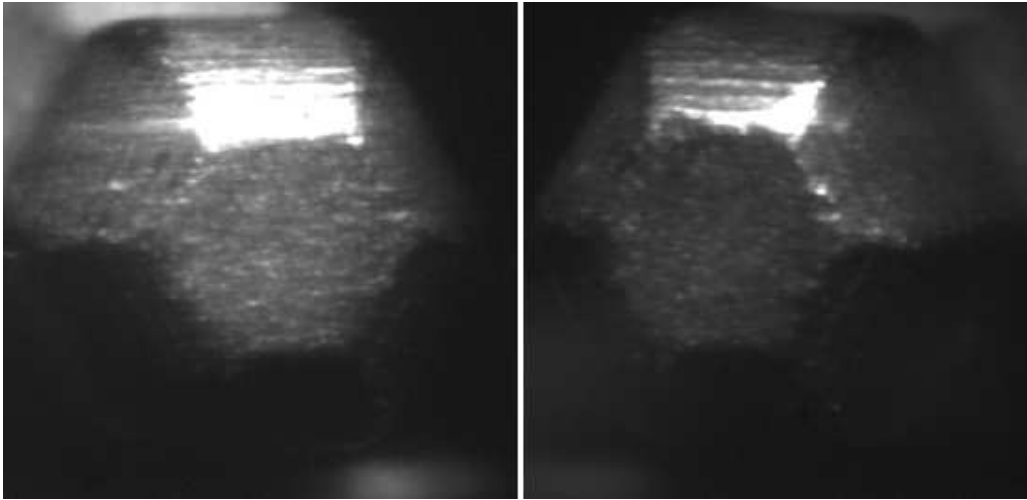


Рис. 2: Зарегистрированные с двух ракурсов спектральные ($\lambda = 730$ нм) стереоизображения наконечника шестигранного ключа

которые направляются на поляризатор 4 и далее в АО ячейки 5а и 5б, вырезанные из одного кристалла TeO_2 и реализующих неколлинеарную широкоугольную геометрию АО взаимодействия. Излучение, длина волны λ которого соответствует точному выполнению условий синхронизма, дифрагирует на решетке, создаваемой акустической волной, в результате чего поляризация излучения меняет ориентацию. Излучение других длин волн проходит через АО ячейки 5а и 5б без изменений и отсекается поляризатором 6. Далее с помощью бипризмы 7 излучение направляется в приемные объективы 8а и 8б. Регистрация спектральных стереоизображений производится двумя идентичными приемниками излучения 9а и 9б.

Прибор позволяет регистрировать до 76 спектральных стереоизображений в секунду с числом разрешимых положений около 500×400 элементов в диапазоне длин волн 450–760 нм. Спектральное разрешение составляет ~ 2.5 нм (при $\lambda = 633$ нм).

На рис. 2 представлен пример спектральных стереоизображений, зарегистрированных с помощью разработанного спектрометра при подсветке объекта широкополосным излучением. Их обработка с учетом данных предварительной геометрической калибровки позволяет восстановить трехмерную форму поверхности объекта [3].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 16-08-01278 и № 16-07-00393).

- [1] Chang C.-I. Hyperspectral Imaging. Techniques for Spectral Detection and Classification. USA, 2003.
 [2] Machikhin A. S., Pozhar V. E. J. of Physics: Conf. Ser. **661**. P. 012041. (2015).

- [3] Forsyth D. A., Ponce J. Computer Vision: a Modern Approach. USA: Prentice-Hall, 2012.

Acoustooptic stereoscopic spectral imaging device for 3D reconstruction at arbitrary spectral ranges

A.S. Machikhin^{1,a}, V.I. Batshev^{1,2,b}, V.E. Pozhar^{1,3,c}, M.M. Mazur^{4,d}

¹Scientific and Technological Center of Unique Instrumentation RAS
 Moscow, Butlerova str., 15, 117342, Russia

²Bauman Moscow State Technical University
 Moscow, 2-ya Baumanskaya, str., 5, 119191, Russia

³National Research Nuclear University MEPhI
 Moscow, Kashirskoe highway, 31, 115409, Russia

⁴All-Russian Scientific Research Institute of Physical-Technical and Radio-Technical measurements (VNIIFTRI)
 Mendeleevo, Solnechnogorsk district, Moscow region, 141570, Russia

E-mail: ^aaalexanderr@mail.ru, ^bbatshev_vlad@mail.ru, ^cv_pozhar@rambler.ru, ^ds-mmazur@mail.ru

An acousto-optic spectral imaging device is designed to obtain stereoscopic images on arbitrary wavelengths within the visible range. Spectrometer is based on the simultaneous spectral filtration of two light beams carrying the image of the object from two different angles. The layout of spectrometer is manufactured. Examples of stereo images are presented.

PACS: 42.79.Jq.

Keywords: acoustooptics, spectral imaging, spectroscopy.

Сведения об авторах

1. Мачихин Александр Сергеевич — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 333-24-31, e-mail: aalexanderr@mail.ru.
2. Батшев Владислав Игоревич — канд. техн. наук, доцент; тел.: (499) 263-63-80, e-mail: v_pozhar@rambler.ru.
3. Пожар Витольд Эдуардович — докт., физ.-мат. наук, начальник лаборатории; тел.: (495) 333-24-31, e-mail: v_pozhar@rambler.ru.
4. Мазур Михаил Михайлович — докт. техн. наук, начальник лаборатории; тел.: (495) 944-52-40, e-mail: s-mmazur@mail.ru.