

УДК 535.243.25

Мини-спектрометр для экспресс-анализа

Даниловских Михаил Геннадьевич, к.с.х.н., доцент
 Винник Людмила Ивановна, к.с.х.н., доцент
 Стрещук Виталий Александрович, студент
 Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого

Аннотация. В статье рассматривается вопрос создания мини-спектрометра для смартфона с целью получения спектров и отображения их на экране смартфона. Мини-спектрометр на базе смартфона используется в качестве комбинированной автономной системы позволяющей выполнять спектроскопические измерения в режиме реального времени в полевых условиях. Результаты обработки измерений могут храниться в памяти смартфона или могут быть переданы на удаленную станцию для более качественной обработки.

Ключевые слова: экспресс анализ, входная щель, диспергирующий элемент, акриловый световод, детектор.

Mini-spectrometer for express analysis

Danilovskikh M.G.,
 Vinnik L.I.,
 Streschuk V.A.

Abstract. The article is devoted to the creation of a mini spectrometer for a smartphone in order to obtain spectra and display them on a smartphone screen. Mini-spectrometer based on the smartphone is used as a combined stand-alone system that allows performing spectroscopic measurements in real time in the field. The results of processing measurements can be stored in the memory of the smartphone or can be transferred to a remote station for better processing.

Keywords: express analysis, input slit, dispersing element, acrylic light guide, detector.

Введение

Спектральные методы анализа — это методы, основанные на изучении взаимодействия электромагнитного излучения с исследуемым веществом. При этом изучается распределение исследуемых параметров по длинам волн излучения или энергиям квантов.

Спектральные методы анализа, работающие в инфракрасном (ИК), видимом и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах называют оптическими. Они больше всего применяются в спектральных исследованиях вследствие сравни-

тельной простоты оборудования для получения и регистрации спектра.

Спектральные методы анализа успешно применяются во многих областях науки и техники. Примерами могут служить криминалистика, токсикология, геммология, органический синтез новых соединений, медицина, экология, металлургия и т.д.

Спектральные анализы выполняют, как правило, в лабораториях, оснащенных современными спектральными приборами (рис. 1) и имеющих квалифицированный персонал.

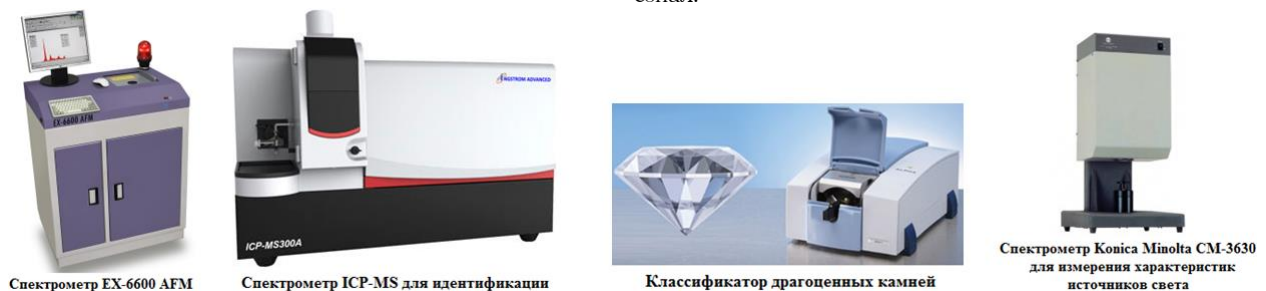


Рис. 1. Лабораторные измерительные спектрометры различного назначения

Часто возникает необходимость в проведении «экспресс анализа» - спектрального анализа на месте нахождения анализируемого объекта с целью одномоментной оценки, а также при возникновении чрезвычайных ситуаций. В этом случае дорогое, габаритное и сложное лабораторное измерительное оборудование не может быть использовано.

В настоящее время для экспресс-анализа в полевых условиях применяют либо простые оптические спектрометры, пользоваться которыми могут только специалисты либо дорогостоящие мини-спектрометры (стоимостью от 50000 рублей и выше) (рис. 2). Мини-спектрометры - это

отдельные устройства, некоторые из них имеют возможность подключения к смартфону для передачи данных о снятых спектрах в общую базу данных.

Основные сведения

Спектрометр представляет собой систему визуализации, распределяющую множество монохроматических изображений в плоскости детектора.

Типичная оптическая схема спектрометра в основном содержит элемент определяющий размер светового потока (входная щель), диспергирующий элемент (разложение в спектр) и элемент детектирования (регистрации спектра)

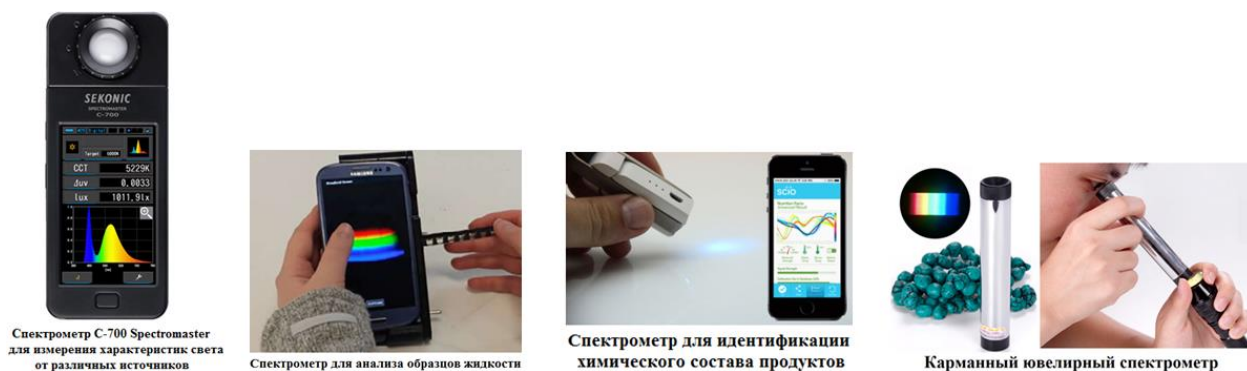


Рис. 2. Примеры мини-спектрометров различного назначения

Входная щель спектрометра функционирует как входной интерфейс, от входной щели зависят такие рабочие характеристики спектрометра как спектральное разрешение и пропускная способность, поскольку она задает размер светового потока, попадающего на оптическую часть. Щели могут иметь разную ширину — от 5мкм до 800мкм и более, в основном применяются щели шириной 10, 25, 50, 100, 200мкм и т.д. Высота щели стандартно составляет 1 - 2мм.

Создание комбинированной автономной системы на базе смартфона позволит выполнять спектроскопические измерения в режиме реального времени в полевых условиях, используя такие достоинства спектрального «экспресс анализа», как простота, доступность, оперативность, портативность используемой аппаратуры, без необходимости в использовании дорогостоящей аппаратуры.

В качестве диспергирующего элемента, в основном, применяется дифракционная решетка, формирующая спектр длин волн света. Правильный выбор дифракционной решетки является важным фактором для получения требуемых характеристик спектра. От решетки зависит оптическое разрешение и эффективность распределения в спектре. Основным параметром нарезной решетки является частота штрихов.

Детектор, подключенный к спектрометру, может анализировать выходной сигнал, называемый спектром, для количественного определения каждого компонента длины волны, присутствующего во входном сигнале. В современных спектрометрах в качестве регистрирующего устройства применяются детекторы на линейных и ПЗС-матрицах, являющихся следующим шагом развития спектрометров со штриховой решеткой. Поскольку случайный свет попадает на пиксели через ПЗС-матрицу, то каждый пиксель берет на себя часть спектра, который электронная система прибора может преобразовать и отобразить с помощью программного обеспечения. Это преимущество позволяет конструировать спектрометры без подвижных компонентов, что приводит к сокращению размеров и энергопотребления. Применение компактных многоэлементных детекторов — это резкое сокращение затрат, компактные размеры спектрометров, которые получили название «мини-спектрометры».

Конструкции мини-спектрометра

Современный смартфон это мощное вычислительное устройство, обладающее многочисленными расширенными возможностями, включая: встроенный процессор для обработки данных, ЖК-дисплей для отображения в реальном времени, порт USB для обмена информацией с внешними приемниками/источниками, операционная система для поддержки рабочей среды и возможность беспровод-

ной связи для подключения к другим сотовым телефонам или интернету.

Все эти соображения делают смартфон идеальной платформой для поддержки приложений реального времени, связанных со спектрометром. С другой стороны, физически невозможно интегрировать спектрометр в смартфон, если размер/объем спектрометра существенно не уменьшится.

Таким образом, задача заключалась в создании мини-спектрометра для смартфона, работающего в первом порядке длин волн, с целью регистрации, первичной обработки спектра, определения длин волн в диапазоне 400-750нм, оценки качества спектра источника излучения и выявления его особенностей.

Это достигается тем, что мини-спектрометр который крепится на смартфон. Мини-спектрометр состоит из непрозрачного корпуса, внутри которого размещено оптически однородное монолитное тело из акрила, с одной стороны которого вклеена проходная пластиковая дифракционная решётка, а с другой стороны сформировано выходное зеркало для проецирования спектра на камеру смартфона. Камерой смартфона производится регистрация спектра излучения, процессором смартфона производится обработка параметров регистрируемого спектра согласно специально разработанной программе, результат обработки спектра выводится на экран смартфона.

Оптически однородное монолитное акриловое тело в мини-спектрометре применено для устранения проблем связанных с юстировкой, регулировкой, вибрацией и т.д. Неиспользуемые поверхности акрилового тела покрываются черным эпоксидным клеем с показателем преломления приблизительно равным показателю преломления акрилового тела.

Общий вид мини-спектрометра укрепленного на смартфоне, показан на (рис. 3).



Рис. 3. Мини-спектрометр укрепленный на смартфоне

Мини-спектрометр (рис. 4) состоит из акрилового световода 1, входной щели 2 расположенной на щелевой камере 3, пластиковой дифракционной решётки 4, вклеенной на входной поверхности 5 монолитного акрилового тела 6, выходной поверхности 7, срезанной под углом 45 градусов,

покрытой алюминием и фторидом магния для защиты алюминиевого покрытия от окисления на воздухе, и являющейся выходным зеркалом для проецирования спектра на камеру смартфона.

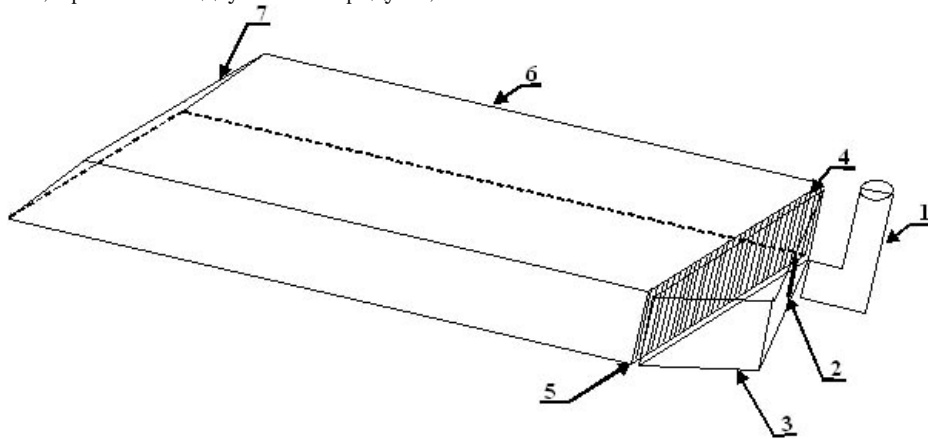


Рис. 4. Конструкция оптической схемы мини-спектрометра

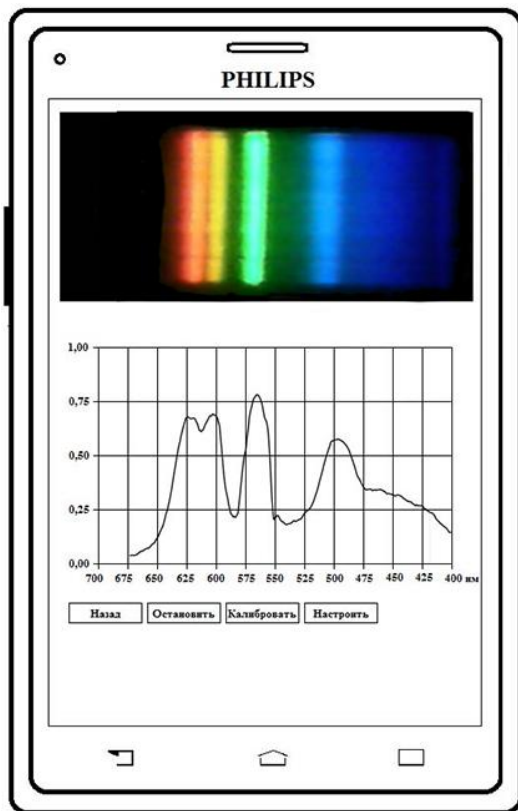


Рис. 5. Экран смартфона с интерфейсом программы

Работает мини-спектрометр следующим образом: излучение исследуемого источника света через акриловый световод 1 проецируется на щель 2 ($4 \times 0,2$ мм), находящуюся на щелевой камере 3 под скользящим углом 35° . Далее

изображение щели проецируется на проходящую пластиковую дифракционную решётку 4 (1000 штр./мм), вклеенную на входную поверхность 5 монолитного акрилового тела 6. Разложенное решёткой в спектр изображение щели, пройдя монолитное акриловое тело, поступает на плоское зеркало 7 и, отразившись от него, проецируется в объектив камеры смартфона.

На (рис. 5) представлен экран смартфона с интерфейсом программы управления, регистрации и обработки спектра излучения.

Заключение

Таким образом, применение комбинированной автономной системы мини-спектрометр/смартфон удобно для пользователя, т.к. позволяет быстро производить регистрацию спектра, визуально наблюдать полученное изображение спектра излучения, оперативно обрабатывать полученное изображение. Специально разработанная программа позволяет выполнять три базовых спектроскопических измерения, а именно: измерять спектры поглощения, отражения и испускания. Интерфейс программы позволяет выбирать способ обработки спектра, отобразить данные в режиме реального времени, оценить работу спектрометра и оперативно изменить настройки, сразу же отобразить результат изменения и сохранить данные, а при необходимости передать данные посредством Интернет на удаленную станцию для дальнейшей обработки.

На данную разработку была подана заявка на полезную модель. На данный момент получено положительное решение о выдаче патента на полезную модель.

Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. — 6-е изд., стереот. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 848с.
2. Пейсахсон И.В. Оптика спектральных приборов. Изд. 2-е, доп. И перераб. Л.: Машиностроение, 1975. 312 с.
3. Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И. Техника и практика спектроскопии. М.: Наука, 1972.
4. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. - 4-е изд.- М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. - 282с.
5. Решение о выдаче патента на полезную модель № 2487 от 25.09. 2018г. «Мини-спектрометр для смартфона».