

МРНТИ 29.31.26

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МОДУЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЭФФЕКТА ШТАРКА

А.Е. ГЕРМАН^[0000-0001-9155-8971]

Учреждение образования «Гродненский государственный университет
имени Янки Купалы», г. Гродно, Республика Беларусь
e-mail: german@grsu.by

Аннотация. В работе представлен одноканальный оптический спектрометр, позволяющий регистрировать спектры поглощения образцов в электрическом поле высокой напряженности. Прибор построен на базе монохроматора MS 200 (SOL Instruments, Республика Беларусь) и оснащен двумя высокочувствительными системами регистрации – на основе фотодиода и линейки приборов с зарядовой связью. Регистрация слабого полезного сигнала на фоне шумов осуществляется при помощи технологии синхронного детектирования с использованием модуляции излучения механическим обтюратором или электрооптической модуляции с помощью управляемого генератора высоковольтных импульсов. Для наблюдения эффекта Штарка в спектрометре имеется программно-управляемый высоковольтный генератор импульсов, включающий в себя источник высокого напряжения 0 - 10 кВ, цифро-аналоговый преобразователь и высоковольтный ключ. Частота модулирующих импульсов определяется программно-управляемым генератором. Использование фотодиода и линейки приборов с зарядовой связью в системе регистрации в сочетании с двумя источниками модулирующего сигнала (механический обтюратор и источник прямоугольных высоковольтных импульсов) повышает универсальность разработанного спектрометра и позволяет выполнять измерения с высокой производительностью при наличии достаточного уровня полезного сигнала. Спектрометр имеет модульную конструкцию и может легко трансформироваться в системы, позволяющие регистрировать спектры оптического отражения, люминесценции или рассеяния света.

Ключевые слова: спектрометр, спектр поглощения, эффект Штарка, синхронный усилитель, механический обтюратор и источник прямоугольных высоковольтных импульсов

Регистрация эффекта Штарка, основанная на измерении разницы в спектрах поглощения исследуемого образца до и после наложения на него электрического поля напряженностью до 10^9 В/м, обычно сопряжена со значительными технологическими сложностями [1-3]. В основном они обусловлены малым изменением (до 10^{-5}) оптической плотности образца, помещенного в электрическое поле. В связи с этим возникает необходимость выделения полезного сигнала на фоне шумов. Для этого обычно используют синхронное детектирование, воздействуя на образец импульсным электрическим полем в диапазоне частот 200-1000 Гц и регистрируя синхронные с этим полем изменения спектров поглощения света.

Предлагаемая блок-схема экспериментального спектрометра для измерения спектров поглощения образцов и регистрации эффекта Штарка представлена на рисунке 1. В качестве источника света (1) используется галогеновая лампа со сферическим отражателем, предназначенная для работы в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Лампа питается от источника стабилизированного тока (на схеме не показан), необходимого для обеспечения постоянства светового потока. При помощи линзы (2) излучение от источника света направляется на вращающийся с постоянной угловой скоростью диск обтюратора (3), проходя через прорезы которого модулируется и собирается с помощью линзы (4) на образце (5). Образец представляет собой тонкую полимерную пленку с внедренными молекулами исследуемого вещества, размещенную между плотно прижатыми стеклами с оптически прозрачными электродами, выполненными из оксида индий-олово (ITO) [4].

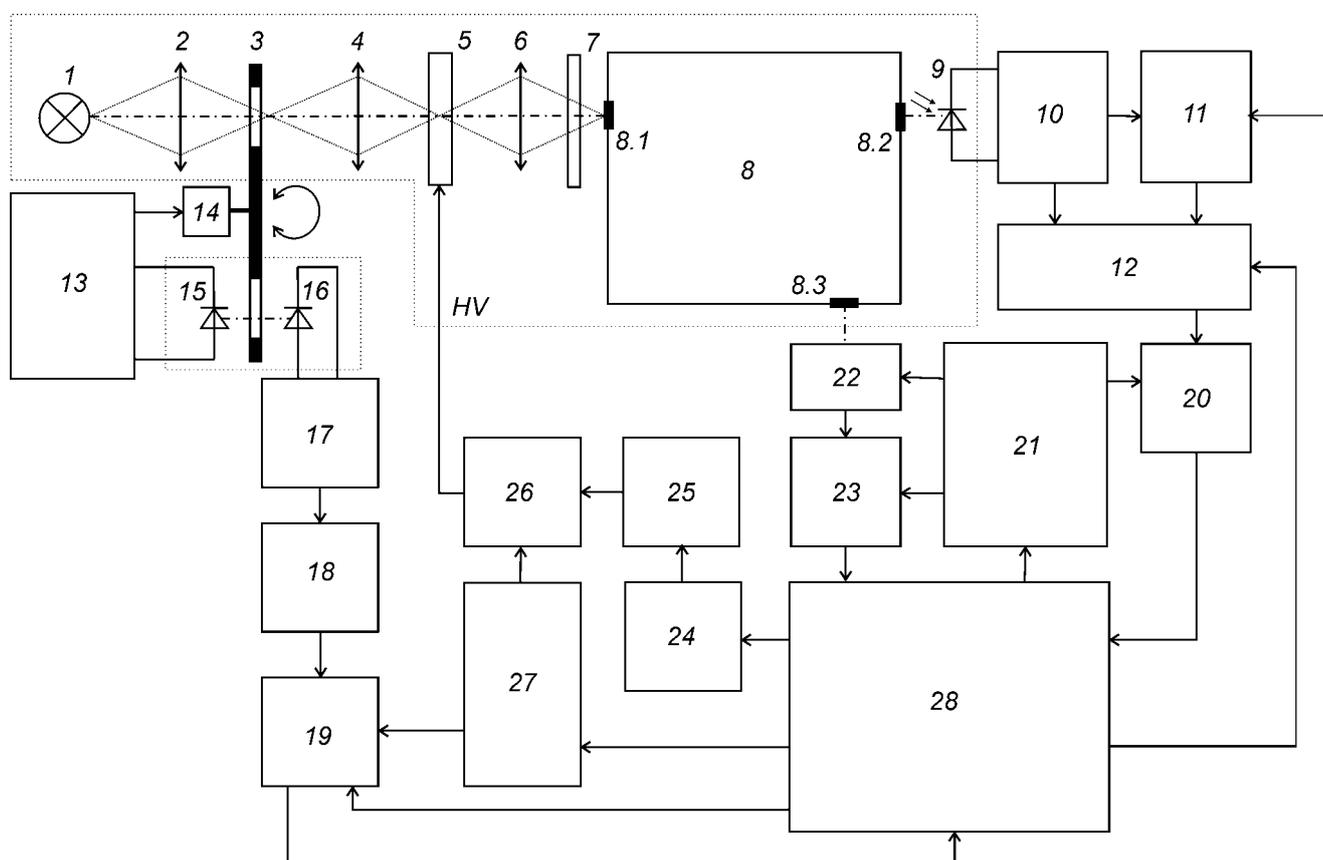


Рисунок 1 - Блок-схема экспериментального спектрометра для измерения спектров поглощения образцов и регистрации эффекта Штарка

1 – источник света; 2,4,6 – линзы; 3 – механический обтюратор; 5 – исследуемый образец; 7 – отсекающий светофильтр; 8 – монохроматор (8.1 – входная щель монохроматора; 8.2 – выходная щель монохроматора; 8.3 – выходное окно монохроматора для установки линейки ПЗС; 9 – фотодиод; 10 – усилитель сигнала фотодиода; 11 – синхронный детектор; 12 – коммутатор; 13 – источник питания двигателя обтюратора; 14 – двигатель обтюратора; 15 – светодиод оптического датчика обтюратора; 16 – фотодиод оптического датчика обтюратора; 17 – усилитель; 18 – формирователь импульсов со схемой задержки; 19 – коммутатор; 20 – АЦП основного канала; 21 – блок управления линейкой ПЗС; 22 – линейка ПЗС; 23 – АЦП линейки ПЗС; 24 – ЦАП; 25 –

управляемый источник высокого напряжения; 26 – высоковольтный коммутатор; 27 – генератор модулирующих импульсов; 28 – управляющая ЭВМ.

Обтюратор устанавливается в непосредственной близости от источника света. Его диск приводится во вращение коллекторным двигателем постоянного тока (14), питающимся от стабилизированного источника постоянного напряжения (13). Открытая оптопара, состоящая из светодиода (15) и фотодиода (16) необходима для определения моментов прохождения оптическим излучением прорезей в диске и формирования опорного сигнала, направляемого на синхронный детектор. Сигнал с фотодиода (16) поступает на усилитель (17) и, далее, на формирователь импульсов (18), совмещенный с регулируемой схемой задержки, позволяющей подстроить фазу опорного сигнала синхронного детектора.

Свет, прошедший через образец (5) при помощи линзы (6) собирается на входной щели (8.1) монохроматора (8), перед которой установлен отсекающий светофильтр (7), необходимый для устранения высших дифракционных порядков.

Примененный монохроматор допускает установку двух систем детектирования сигнала – фотодиода (9), размещенного за выходной щелью монохроматора (8.2) и многоэлементного детектора – линейки приборов с зарядовой связью (ПЗС) (22), размещенной за окном (8.3) монохроматора. Анализ технических характеристик представленных на рынке монохроматоров показал целесообразным использование в приборе монохроматора MS200 (SOL Instruments, Республика Беларусь) в комплекте с дифракционной решеткой (тип 441240), позволяющей работать в диапазоне 265-800 нм. Выбор монохроматора обусловлен оптимальным соотношением стоимость/функциональные возможности, наличием у производителя сопрягаемых с данным монохроматором одно- и многоэлементных систем регистрации.

Монохроматоры серии MS200 имеют достаточно большое плоское фокальное поле (26x10 мм), фокусное расстояние 200 мм и относительное отверстие 1/3.6. При этом они обладают характеристиками, не уступающими аналогичным характеристикам более длиннофокусных спектральных приборов. Монохроматоры построены по асимметричной схеме Черни-Тернера, что позволяет минимизировать aberrации и исключить переотражения от дифракционных решеток и зеркал.

В качестве одноэлементной системы регистрации использован детектор SDA-010 (SOL Instruments, Республика Беларусь) на базе кремниевого фотодиода ФДУК-2 с трансимпедансным предусилителем. Фотодиод предназначен для регистрации оптического излучения в широком спектральном диапазоне (от 200 до 1100 нм) и имеет высокую чувствительность при очень низком значении темнового тока, что позволяет использовать его

при комнатной температуре без охлаждения при регистрации низких интенсивностей оптического излучения.

Сигнал с выхода детектора поступает на вход усилителя (10) и, далее, на вход синхронного детектора (11), получающего опорный сигнал от формирователя импульсов с оптопары обтюлятора (18), либо от генератора модулирующих импульсов (27), управляющего поступлением высоковольтных импульсов на исследуемый образец. Выбор источника опорного сигнала синхронного детектора осуществляется с помощью коммутатора (19).

С целью увеличения отношения сигнал-шум в качестве усилителя (10) возможно применение селективного усилителя, имеющего максимальный коэффициент усиления на частоте модуляции.

Коммутатор (12) позволяет выбрать источник входного сигнала, поступающего на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (20) основного канала. Допускается преобразование сигнала, поступающего непосредственно с выхода усилителя (10) либо синхронного детектора (11). В спектрометре используется встроенный в блок управления монохроматора 16-разрядный АЦП с диапазоном входных напряжений – 0...+2 В и частотой дискретизации 100 кГц. Преобразованный цифровой сигнал поступает для обработки в ЭВМ (28).

Второй канал регистрации состоит из линейки ПЗС (22), сигнал с которой преобразуется АЦП (23) и также поступает в ЭВМ (28). Формирование необходимых управляющих сигналов для линейки ПЗС и АЦП осуществляет блок управления (21). Выбран многоэлементный детектор HS103H (SOL Instruments, РБ), имеющий широкий спектральный диапазон (200-1100 нм), высокую чувствительность и невысокую стоимость. В основе детектора используется ПЗС-линейка S10420-1106 (Hamamatsu, Япония).

Для наблюдения эффекта Штарка в спектрометре предусмотрен программно-управляемый высоковольтный генератор импульсов прямоугольной формы, включающий в себя источник высокого напряжения 0-10 кВ (25), цифро-аналоговый преобразователь (24), формирующий низкоуровневый сигнал управления выходным напряжением высоковольтного источника, а также высоковольтный ключ (26), осуществляющий модуляцию высокого напряжения, подаваемого на электроды образца (5). Частота модулирующих импульсов определяется программно-управляемым генератором (27).

Использование 2-х систем регистрации (фотодиод и линейка ПЗС) в сочетании с двумя источниками модулирующего сигнала (механический обтюратор и источник прямоугольных высоковольтных импульсов) повышает универсальность разработанного спектрометра и позволяет выполнять измерения с высокой производительностью при наличии достаточного уровня полезного сигнала. Например, измерение спектров поглощения образца с достаточно

высокой оптической плотностью удобно производить с использованием в качестве системы регистрации линейки ПЗС (без модуляции), а регистрацию эффекта Штарка производить с использованием фотодиода и модуляции полезного сигнала электрическими высоковольтными импульсами. Измерение спектров поглощения образцов с малой оптической плотностью целесообразно производить с использованием модуляции светового потока механическим обтюратором и регистрации излучения с помощью фотодиода и синхронного детектора.

Необходимые операции обработки получаемых данных с целью выделения сигнала на фоне шумов могут выполняться как с использованием аппаратного синхронного детектора, так и программно – с помощью управляющей ЭВМ, накапливающей результаты измерений. При этом применение цифровых методов обработки сигнала позволяет существенно повысить чувствительность измерений.

К достоинствам разработки относится низкая стоимость, обусловленная широким применением комплектующих изделий белорусского производства, а также модульная конструкция установки, позволяющая легко трансформировать прибор в системы, позволяющие регистрировать спектры поглощения, отражения, люминесценции или рассеяния света за счет изменения конфигурации системы и взаимного расположения ее элементов на оптическом столе.

Список литературы

1. Bublitz G. Stark spectroscopy: applications in chemistry, biology, and materials science / G.Bublitz, S.Boxer // *Ann. Rev. Phys. Chem.* – 1997. – Vol. 48. – P. 213-240. doi: 10.1146/annurev.physchem.48.1.213
2. Сорокин А.В. Получение и исследование тонких слоев сегнетоэлектрического полимера. Дисс. канд. физ.-мат. наук. М.: Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова, 1997.
3. Палто С.П. Штарк-спектроскопия сверхтонких пленок Ленгмюра-Блоджетт. Дисс. канд. физ.-мат. наук. М.: НИОПИК, 1988.
4. Жидик Ю.С. Технология получения электропроводящих пленок ИТО высокой оптической прозрачности с низким значением величины удельного поверхностного сопротивления / Ю.С. Жидик, П.Е. Троян // *Доклады ТУСУР* – 2012. – № 2 (26). – часть 2. – С. 169–171.

References

1. Bublitz G. (1997). Stark spectroscopy: applications in chemistry, biology, and materials science. *Ann. Rev. Phys. Chem.* Vol., 48, 213–240. <https://doi.org/10.1146/annurev.physchem.48.1.213>
2. Sorokin A.V. (1997). Poluchenie i issledovanie tonkih sloev cegnetoelektricheskogo polimera [Preparation and investigation of thin layers of a ferroelectric polymer]. Diss. kand. fiz.-mat. nauk. M.: Institut kristallografii im. A.V. Shubnikova [in Russian].
3. Palto C.P. (1998). Shtark-spektroskopiya sverhtonkix plenok Langmuir-Blodgett [Stark spectroscopy of ultrathin Langmuir-Blodgett films]. Diss. kand. fiz.-mat. nauk. M.: NIOPIK [in Russian].
4. Zhidik Yu.S., Troyan P.Ye. (2012). Tehnologiya polucheniya elektroprovodyashih plenok ITO vysokoi opticheskoi prozrachnosti s nizkim znacheniem velichiny udel'nogo poverhnostnogo soprotivleniya [Technology for obtaining electrically conductive ITO films of high optical transparency with a low value of the specific surface resistance]. *Doklady TUSUR*, Vol. 2 (26), part 2, 169–171 [in Russian].

ШТАРК ЭФФЕКТИСІН ТІРКЕУ ҮШІН ТӘЖІРИБЕЛІ МОДУЛЬДІК СПЕКТРОМЕТР

А.Е. ГЕРМАН

"Янка Купала атындағы Гродно мемлекеттік университеті" білім беру ұйымы,

Гродно қаласы, Беларусь республикасы

e-mail: german@grsu.by

Андатпа. Жұмыста жоғары кернеулі электр өрісінде үлгілердің жұтылу спектрлерін тіркеуге мүмкіндік беретін бір арналы оптикалық спектрометр ұсынылған. Құрылғы MS200 (SOL Instruments, Беларусь Республикасы) монохроматор негізінде жасақталған және екі жоғары сезгіш тіркеу жүйесімен жабдықталған – фотодиод және зарядтау байланысы бар құрылғылар желісі негізінде. Шу фонында әлсіз пайдалы сигналды тіркеу механикалық обтюратормен радиациялық модуляцияны немесе жоғары вольтты импульстардың басқарылатын генераторын немесе электро-оптикалық модуляцияны қолдана отырып синхронды анықтау технологиясының көмегімен жүзеге асырылады. Штарк эффектісін бақылау үшін спектрометр 0-10 кВ жоғары кернеу көзі, цифрлық аналогтық ауыстырушы және жоғары вольттік кілті бар программалық басқарушы жоғары вольтты импульстер генератормен қамтамасыз етілген. Модульдейтін импульстердің жиілігі программалық басқарушы генератормен анықталады. Модульдейтін сигналдың екі көзімен бірлескен тіркеуші жүйеде фотодиодты және зарядтық байланысы бар аспаптар тізбегін (механикалық обтюратор және жоғары вольтты импульстердің тікбұрышты көзі) пайдалану жасақталған спектрометрдің әмбебаптылығын арттырады және тиімді сигналдың жеткілікті деңгейінің болуы шартында өлшеулерді жоғары өнімділікпен жасауға мүмкіндік

береді. Спектрометр модульдік дизайнға ие және оптикалық шағылу, люминесценция немесе жарық шашырау спектрлерін тіркеуге мүмкіндік беретін жүйелерге оңай ауыса алады.

Түйін сөздер: спектрометр, жұтылу спектрі, Штарк эффектісі, синхронды күшейткіш, механикалық обтюратор және жоғары вольтты импульстердің тікбұрышты көзі

EXPERIMENTAL MODULAR SPECTROMETER FOR RECORDING OF THE STARK EFFECT

A.E. GERMAN

Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus,

e-mail: german@grsu.by

Abstract: In this article presents an optical single-channel spectrometer, designed for record the absorption spectra of samples in a high-strength electric field. The spectrometer is built on the basis of an MS200 monochromator (SOL Instruments, Republic of Belarus) and is equipped with two highly sensitive registration systems - based on a photodiode and CCD. Registration of a weak signal against a background of noise is carried out using the technology of synchronous detection with light modulation by the mechanical shutter or with electro-optical modulation using the high-voltage pulse generator. To observe the Stark effect, the spectrometer has a programmable high-voltage pulse generator, which includes a high-voltage source of 0-10 kV, a digital-analog converter, and a high-voltage switch. The frequency of the modulating pulses is determined by a software-controlled generator. The use of a photodiode and a line of charge-coupled devices with the charge connection in the registration system in combination with two sources of a modulating signal (a mechanical shutter and a source of rectangular high-voltage pulses) increases the versatility of the developed spectrometer and makes it possible to perform measurements with a high productivity in the presence of a sufficient level of the useful signal. The spectrometer has a modular design and can be easily transformed into systems for recording spectra of optical reflection, luminescence or light scattering.

Key words: spectrometer, absorption spectrum, Stark effect, lock-in amplifier, mechanical shutter and source of rectangular high-voltage pulses