

УДК 621.383.4/5:621.317.7

Система автоматизированных измерений фотоэлектрических характеристик кристаллов и гетероструктур

И. В. Кормильцев, Ю. В. Сусяков

Рассмотрена архитектура модернизированного универсального спектрального вычислительного комплекса КСВУ-12, позволяющего производить исследования оптических спектров кристаллов CdS, CdSe методом экситонной спектроскопии и фотоэлектрических характеристик гетероструктур на основе соединений $A^2B^6-A^3B^5$.

PACS: 85.60.-q

Ключевые слова: National Instruments LabVIEW, виртуальный прибор, NI DAQmx Devices NI PCI-6251, NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite (NI ELVIS), шаговый двигатель ШДР-711, вольтметр-электромметр В7-30, монохроматор.

Введение

В настоящее время решение большинства экспериментальных задач сводится к использованию подключаемых или встраиваемых в персональный компьютер цифровых осциллографов, DAC/ADC-плат, генераторов сигналов, цифровых мультиметров и других устройств. Проблема создания программного обеспечения легко решается с помощью комплекса National Instruments LabVIEW,

который де-факто является международным стандартом систем сбора данных и управления измерениями.

Временные затраты на создание систем автоматизации с помощью LabVIEW существенно ниже по сравнению с языком C++ или Assembler, так как среда графического программирования для создания приложений измерений и автоматизации основывается на так называемых виртуальных приборах (ВП). Эти приборы повышают производительность и снижают стоимость автоматизированных и испытательных систем благодаря применению простой в разработке программной среды LabVIEW для интеграции с оборудованием, а также модульных технических средств измерений и управления, основанных на стандартах PXI,

Кормильцев Иван Васильевич, старший преподаватель.
Сусяков Юрий Васильевич, доцент.

Калмыцкий государственный университет, естественно-математический институт.

Россия, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11.

Тел.: 8 (84722) 3-90-11. E-mail: kormiltsev_iv@kalmusu.ru

Статья поступила в редакцию 16 декабря 2009 г.

© Кормильцев И. В., Сусяков Ю. В., 2010

PCI, USB. Одним из достоинств данной технологии являются наглядность и простота освоения материала, что существенно расширило круг людей, способных своими руками создать систему сбора и обработки данных, а код программы является более читаемым и понятным, что обеспечивает преемственность поколений при модернизации кода [1].

При традиционной "ручной" измерительной процедуре процесс сбора данных достаточно трудоемкий и длительный. Для снятия фотоэлектрических спектров (ФП) монохроматор вручную управляют шаговым двигателем во всем исследуемом диапазоне частот, а отсчет величины фототока ведется визуально по шкале вольтметра-электрометра с одновременной записью на ленту самописца. По истечении всего промежутка времени показания прибора вводят в ПЭВМ вручную и т. д. Таким образом, на измерение одного спектра фототока требуется не менее 30 мин (без оцифровки спектра) в зависимости от выбранной скорости развертки монохроматора и направления сканирования. Кроме того, из-за различия методов оцифровки спектра измеряемое значение не всегда достоверно, а в связи с длительностью измерений данные зависят от различных внешних воздействий (параметры усилителя и т. д.).

Цели и задачи

Задачей, решавшейся в данной работе, была модернизация универсального спектрального вычислительного комплекса, позволяющего производить исследования ФП кристаллов CdS и CdSe методом экситонной спектроскопии, а также создание системы автоматизированных измерений (САИ) фотоэлектрических характеристик кристаллов (ФСК) и гетероструктур на основе соединений $A^2B^6-A^3B^5$, не имеющей указанных выше недостатков и удовлетворяющей следующим условиям:

- САИ должна базироваться на существующем стандартном оборудовании (монохроматор типа МДР23 и ПЭВМ РС) и быть достаточно дешевой;
- САИ должна реализовывать эффективные алгоритмы выделения сигнала из смеси с широкополосными шумами и сетевыми наводками;
- система должна обладать развитым пользовательским интерфейсом, позволяющим экспериментатору гибко управлять параметрами измерительной установки, оперативно отслеживать

результат измерений и максимально освободить от объемных операций по обработке данных.

Основная цель поставленной задачи заключалась в создании системы управления шаговым двигателем ШДР-711 с двумя статорными обмотками с помощью контроллера, управляемого по шине СОМ-порта (RS-232), а также получении спектров ФП кристаллов CdS/CdSe и указанных выше гетероструктур в цифровом формате с помощью модуля сбора данных NI DAQmx Devices NI PCI-6251. Структурная схема САИ представлена на рис. 1.

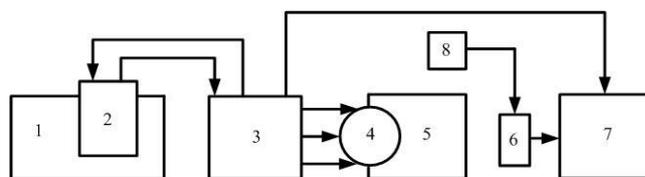


Рис. 1. Структурная схема автоматизированных измерений:

- 1 — ПЭВМ; 2 — модуль сбора данных NI PCI DAQmx; 3 — лабораторная установка NI ELVIS; 4 — шаговый двигатель ШДР-711; 5 — монохроматор МДР-23; 6 — полевая ячейка; 7 — вольтметр-электрометр В7-30; 8 — блок питания образца

Описание установки

Для решения данной задачи использовался монохроматор МДР23 с шаговым двигателем ШДР-711, позволяющий производить необходимые измерения в диапазоне от 200 до 2000 нм. Фокусное расстояние зеркального объектива — 600 мм, относительное отверстие — 1:6, дифракционные решетки (реплики) — сменные: число штрихов на миллиметр — 1200, 600; область максимальной концентрации энергии — 250—1000 нм, обратная линейная дисперсия — 1,3; 1,3; 2,6 нм/мм. Размер заштрихованной части — 100×100 мм. Рабочий порядок — первый. Пределы раскрытия щели от 0 до 2,2 мм. Точность отсчета щели при раскрытии от 0 до 0,2 мм — 0,001, при раскрытии от 0,2 до 2,2 мм — 0,01 [2]. Для усиления фототока используется цифровой вольтметр-электрометр В7-30. Диапазон измеряемых токов обеих полярностей от 10^{-15} до 10^{-7} А. Диапазон измеряемых напряжений постоянного тока обеих полярностей от 10^{-4} до 10 В перекрывается тремя поддиапазонами с пределами измерений 0,1; 1; 0; 10 В. Диапазон измеряемых зарядов от 10^{-15} до 10^{-9} Кл. Диапазон измеряемых сопротивлений от 10^6 до 10^{18} Ом [3]. Для исследования влияния электрического поля, прикладываемого перпендикулярно плоскости поверхности образца, на спектры ФП изучаемый кристалл или

структура помещались в специальную полевую ячейку оригинальной конструкции. Внешнее перпендикулярное электрическое поле создавалось подачей постоянного напряжения (1—300 В) от блока питания образца на прозрачный полупроводящий слой SnO₂.

Установка NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite (NI ELVIS) осуществляет прием-передачу управляющих инструкций от ПЭВМ через буферный регистр по шине ввода-вывода АЦП и RS-232 и декодирует их в последовательность элементарных операций по управлению внешними объектами: шаговым двигателем, приемом сигнала от вольтметра-электрометра и т.д. Модуль сбора данных NI PCI-6251 предназначен для приема, обработки и генерации логической информации ПЭВМ на базе платформы Windows XP Pro. Для уменьшения уровня шумов использовались укороченные экранированные кабели и более высокая частота выборки, а также усреднение данных.

Принцип работы

Работа установки осуществляется следующим образом. Существуют три основных канала обмена информацией (3—4), (6—7—3) и (3—2), которые служат для управления шаговым двигателем и оцифровки фотоэлектрических спектров: канал 3—4 — для управления шаговым двигателем ЦДР-711; канал 6—7—3 — для получения сигнала с исследуемого образца, усиления его цифровым вольтметром В7-30 и передачи его на установку NI ELVIS. При желании можно получить и оптические спектры, но для этого нужно заменить вольтметр-электрометр В7-30 на ФЭУ. Канал 3—2 используется для передачи сигнала с лабораторной измерительной установки NI ELVIS на АЦП модуля сбора данных NI PCI-6251 (см. рис. 1).

Коммутация и сопряжение сигналов осуществляются с помощью аппаратно-программных средств лабораторной измерительной установки NI ELVIS. Аппаратные средства комплекса NI ELVIS позволяют создать ВП в среде графического программирования LabVIEW по управ-

лению и контролю всех устройств, подключаемых к входам NI ELVIS, а также получать спектры сигналов в режиме реального времени посредством оцифровки на входе NI PCI-6251.

Работа САИ ФСК в автоматическом режиме происходит следующим образом. Оператором задаются начальные настройки эксперимента, такие как спектральный интервал, шаг сканирования, количество итераций и т. д. Генератор импульсов накачки вырабатывает набор из равноотстоящих импульсов, каждый из которых отвечает одному блоку выходных данных. Регистрирование отклика осуществляется n раз за период следования импульсов накачки. Блок выходных данных, подлежащих цифровой обработке, состоит из $n \cdot N$ восьмиразрядных чисел. На каждой длине волны в первой фазе цикла измерений САИ адаптирует коэффициент усиления таким образом, чтобы данные на выходе аналогового тракта "укладывались" в динамический диапазон АЦП DAQmx. Далее производятся накопление данных с предварительной цифровой фильтрацией с помощью n -точечного временного промежутка и последующее их накопление и усреднение, причем результаты обработки обновляются после каждого блока данных. Процедура сбора данных продолжается, пока не будет достигнута конечная длина волны спектрального интервала ФСК. После этого набор статистики прекращается, система записывает результат измерений в два файла. В файле *.txt хранятся все начальные условия эксперимента и ссылка на файл *.dat, в который записываются результаты эксперимента.

Программное обеспечение

Программы LabVIEW называются ВП, поскольку своим внешним видом и функционированием они имитируют физические приборы. Виртуальный прибор LabVIEW состоит из трех основных частей: лицевой панели, блок-диаграммы и иконки с соединительной панелью [4]. Для экспериментальной установки был создан ВП, блок-диаграмма которого представлена на рис. 2.

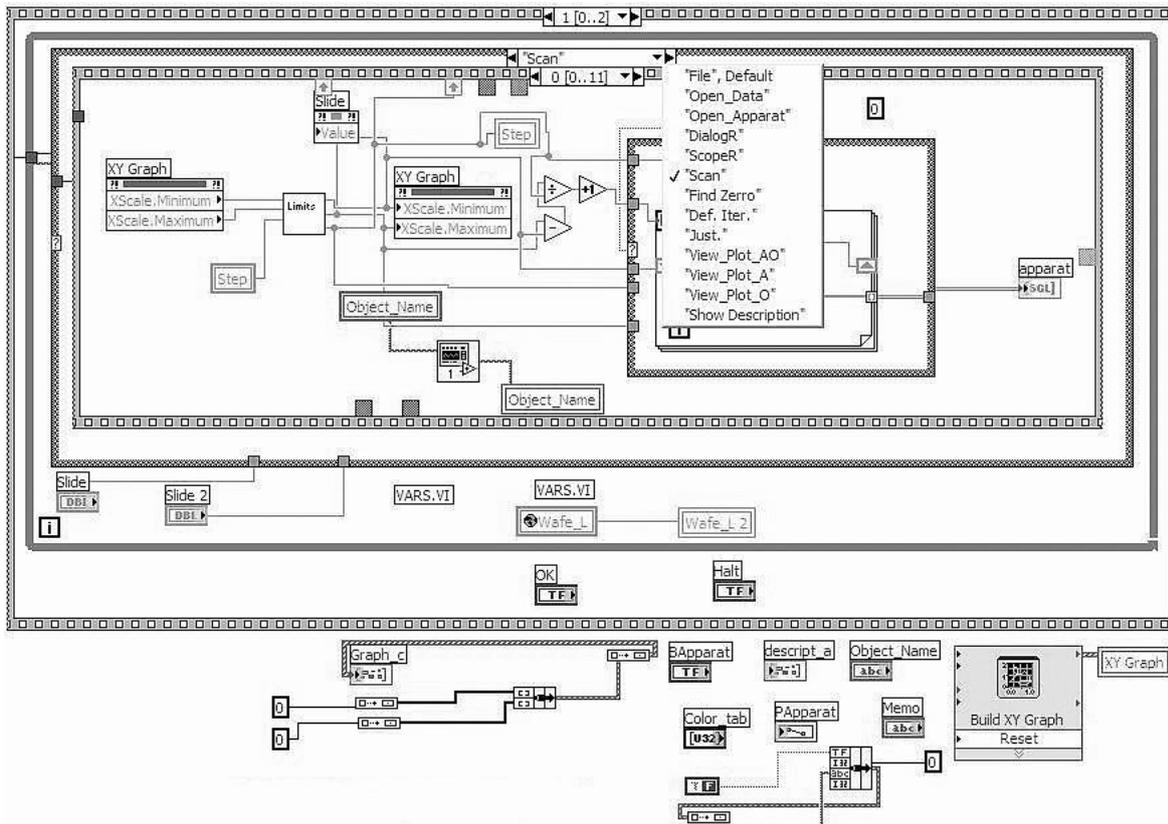


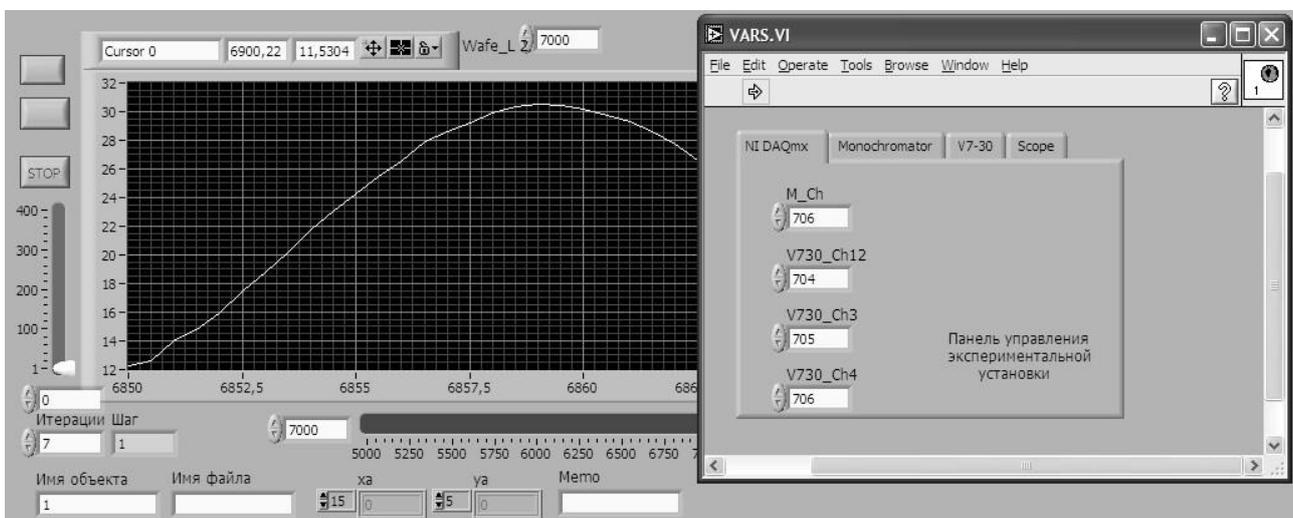
Рис. 2. Блок-диаграмма ВП системы автоматизированных измерений

На блок-диаграмме ВП располагается исходный программный код, который управляет объектами передней панели. На ней имеются вкладки управлением NI DAQmx (рис. 3, б), контроллером комплекса NI ELVIS шаговым двигателем монохроматора, вольтметром-электронметром В7-30, а также получения исследуемого спектра.

На одной из вкладок передней панели ВП отображается график фотопроводимости кристаллов CdS, CdSe. На ней имеются средства управления

исследуемой спектральной области, скорости развертки, записи результатов и т. д. (см. рис. 3, б).

Управление САИ ведется с помощью терминала ПЭВМ. Программа управления score.vi представляет пользователю графический интерфейс (см. рис. 3, а). Программа позволяет работать как в автоматическом режиме, описанном выше, так и в ручном, для чего на блоке питания шагового двигателя имеется переключатель.



а

б

Рис. 3. Лицевая панель ВП:

а — вид экрана при работе САИ ФСК в режиме выполнения эксперимента (представлен спектр фотопроводимости кристалла CdSe); б — панель управления экспериментальной установкой

Заключение

Сравнительная характеристика типовых временных затрат при измерении ФСК вручную и в автоматическом режиме представлена в таблице.

Параметры	Вариант измерения	
	ручной	автоматический
Спектральный интервал, нм	500—700	500—700
Минимальный шаг сканирования, нм	1	1
Число отсчетов на длине волны	1	<i>n</i>
Точность считывания данных, %	5	0,3
Время замера на интервале длин волн, мин	30	10
Время проведения эксперимента, мин	210	10
Обработка результата	180 мин	В процессе измерения
Суммарное время, мин	390	10
Участие оператора	Постоянно	При запуске

В результате проведенной работы была создана автоматизированная экспериментальная установка на базе монохроматора МДР23 для получения фотоэлектрических спектров кристаллов CdS, CdSe и гетероструктур на основе соединений $A^2B^6—A^3B^5$. Разработанная система автоматизированного сбора информации позволяет существенно повысить точность и эффективность измерений фотоэлектрических спектров кристаллов.

Л и т е р а т у р а

1. National Instruments Россия, СНГ и Балтия [Электронный ресурс]// National Instruments Россия, СНГ и Балтия- Измерения, обработка данных и управление экспериментом: [сайт]. 2004. URL:<http://digital.ni.com/worldwide/russia.nsf/web/31F4F37B72499E5F8625746A0037A2AF> (дата обращения: 08.06.2009).
2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации Ю-34.14.515 ТО. Монохроматор МДР-23.
3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации № 972-81. Вольтметр-электромтр универсальный В7-30.
4. Загидуллин Р. Ш. LabVIEW в исследованиях и разработках. — М.: Горячая линия – Телеком, 2005. — 352 с.

Automated system for photo-electric characteristic measurement of crystals and heterojunctions

I. V. Kormiltsev, Yu. V. Suslyakov

Kalmyk State University, Is Natural-Mathematical Institute, 11, Pushkin's str., Elista, 358000, Russia
E-mail: kormiltsev_iv@kalmsu.ru

The architecture of the modernised the universal spectral computer complex CSCU-12 is considered, allowing to research optical spectra of crystals CdS, CdSe by a method exciton spectroscopy and photo-electric characteristic of heterojunctions $A^2B^6—A^3B^5$.

PACS: 85.60.-q

Keywords: National Instruments LabVIEW, the virtual instrument, NI DAQmx Devices NI PCI-6251, NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite (NI ELVIS), stepper motor SHCHDR-711, the voltmeter-electrometer V7-30, the monochromator.

Bibliography — 4 references.

Received 16 December 2009