

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СПЕКТРОСКОПИИ АДМИТТАНСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ LABVIEW

В. А. Доросинец, В. В. Золотоноша

Белорусский Государственный Университет, dorosinets@bsu.by

Диагностика объектов с пониженной размерностью представляет интерес как с точки зрения практической разработки элементов нанoeлектроники так и для исследования волновых функций низкоразмерных объектов, управления ими с помощью электрического и магнитного поля, исследования процессов электронного транспорта в структурах, содержащих такой объект или же их массив [1].

Для характеристики пространственного и энергетического распределения примесных уровней в полупроводниковых структурах широко используется метод адмиттансной спектроскопии. Эта неразрушающая методика имеет также большие перспективы для исследования размерного квантования в квантовых точках (КТ) [2].

Целью работы являлась разработка и создание автоматизированной системы адмиттансных исследований, проведение прецизионных измерений вольт-фарадных и частотно-фарадных характеристик структур содержащих КТ.

Для разработки программного обеспечения автоматизированного аппаратно-программного комплекса использовалась среда прикладного графического программирования LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) производства National Instruments (NI), USA. Программные инструменты NI включают в себя драйверы приборов, графические объекты пользовательского интерфейса, большую коллекцию функций в графическом блочном представлении, а также высокоуровневые средства обработки данных и тестирования работы программы и измерительных приборов.

Такая структура интегрированного программного обеспечения позволяет создавать сложные, специализированные контрольно-измерительные системы [3]. Упрощая совместное использование разнообразных измерительных устройств, LabVIEW сокращает затраты времени и средств, необходимые для построения сложной измерительной системы, позволяет освободиться от рутинного программирования, предоставляя инструменты конфигурирования и стандартизированный интерфейс управления всеми устройствами ввода/вывода. Важными достоинствами таких приборов являются: легкость их перестройки (адаптации) под конкретные измеряемые величины и их значения; возможность использования различных видов обработки, индикации и документирования результатов измерения; простота автоматизации процедуры измерения. Еще одной важной особенностью LabVIEW является включение в нее средств дистанционного контроля ходом измерений по сети, а также дистанционной передачи команд управления и получения данных по сети, в результате чего не требуется постоянного присутствия оператора около измерительного комплекса.

Разработанный аппаратно-программный комплекс адмиттанса состоит из LCR-метров Agilent E4980A и Agilent HP4285A, гелиевого криостата замкнутого цикла Cryogenics, включающего в себя криокулер, в котором на площадке специального держателя крепится охлаждаемый образец, криокомпрессор, контроллер температу-

ры LakeShore и вакуумный пост Pfeifer. Контроллер температуры также автоматизирован с помощью LabVIEW 7.1. Криостат позволяет проводить исследования при фиксированной температуре в интервале 300 – 2 К. Управление температурой на держателе образца происходит с помощью PID регулятора, на который подаются данные с двух калиброванных датчиков температуры. Точность криостатирования составляла 0.1 К, базовая погрешность измерения адмиттанса 0.05%. Дополнительно программно управляемый встроенный сверхпроводящий магнит позволял создавать магнитное поле и проводить его плавную развертку от 0 до 8 Тл с возможностью изменения полярности магнитного поля.

Использование LCR-метров Agilent E4980A и Agilent HP4285A позволяет проводить спектроскопию адмиттанса в частотном диапазоне от 100 Гц до 30 МГц, с диапазоном развертки напряжения до 10 В и амплитудой тестового сигнала от 5 до 100 мВ. Развертка по напряжению задается от встроенных источников питания приборов.

LabVIEW обеспечивает также применение стандартных измерительных средств, соединенных с компьютером с помощью приборного бит-параллельного и бит-последовательного интерфейсов обмена данными и управляющими сигналами. Для реализации интерфейса нами применялась плата PCI GPIB PCIIa NI 482.2 (производства National Instrument), а также внешняя плата GPIB-USB-HS, позволяющая подсоединить каналы общего пользования (КОП) приборов Agilent E4980A и Agilent HP4285A к USB-портам компьютера. Нами также была разработана версия программы для случая прямого соединения USB портов Agilent E4980A и компьютера без использования платы согласования.

Разработанное программное обеспечение почти на 100 % состоит из готовых функций и программных модулей, имеющихся в составе LabVIEW, что обеспечило в значительной мере правильность функционирования программ и их надежность. Программирование осуществляется на уровне функциональных блок-диаграмм.

Алгоритм программы включает в себя следующие блоки:

1. Блок инициализации
2. Блок установки и стабилизации температуры образца
3. Блок измерений и представления данных на графиках.
4. Блок математической обработки данных эксперимента
5. Блок записи результатов эксперимента в файл

В программе реализован разработанный алгоритм управления измерениями, который можно описать представленными выше блоками, а также необходимыми взаимодействиями между ними. При запуске измерений проводится инициализация контроллера температуры и используемого LCR-метра и задаются требуемая температура. Когда программно фиксируется стабильность установленной температуры, происходит переключение к подпрограмме LabVIEW (виртуальному прибору в терминологии LabVIEW), который отвечает за режим и тип измерения.

На рис. 1 представлена в качестве примера лицевая панель виртуального прибора, использующейся для измерения частотно-фарадных характеристик исследуемых структур. На панели имеется возможность задания типа измерения (в данном случае схемы из параллельно соединенных емкости C_p и проводимости G), напряжения смещения, амплитуды тестирующего сигнала, режима усреднения, диапазона развертки сигнала по частоте, формата записи экспериментальных данных в файл. Экспериментальные зависимости в реальном времени отражаются на графиках,

размещенных на лицевой панели. Для заданного значения напряжения смещения проводится измерение соответствующей частотно-фарадной характеристики, а по окончании измерения данные автоматически записываются в файл с указанием всех существенных параметров измерения.

Затем напряжение смещения автоматически изменяется на заданное значение в соответствии с программой и измерение повторяется. При записи данных в файл название файла автоматически изменяется, чтобы соответствовать новому значению напряжения смещения. После прохождения всего диапазона напряжения смещения управление передается виртуальному прибору верхнего уровня, который устанавливает новую температуру измерения, контролирует процесс ее установки и стабилизации с использованием PID контроллеров и передает управление виртуальному прибору нижнего уровня. Весь цикл измерений повторяется для новой температуры без необходимости вмешательства исследователя.

Виртуальные приборы отличаются открытостью кода и гибкостью, что позволяет модифицировать их даже непосредственно в процессе измерений, в частности вводить в них при необходимости дополнительные блоки математической обработки.

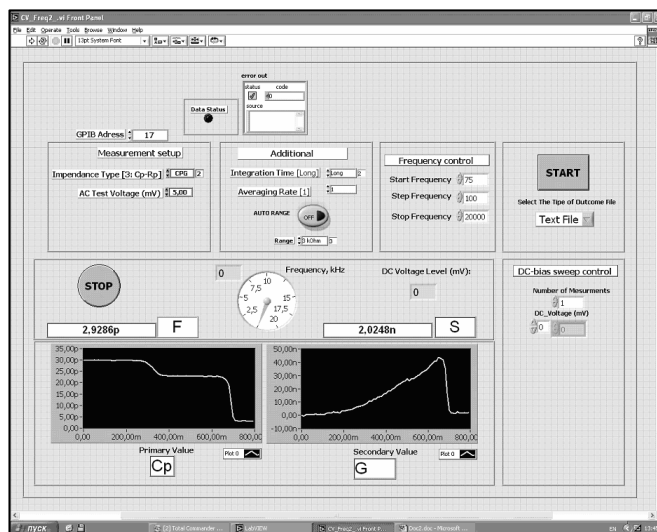


Рис. 1. Пример графического интерфейса пользователя (лицевая панель виртуального прибора) для снятия частотно-фарадных характеристик структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meindl, J. D. Limits on Silicon Nanoelectronics for Terascale Integration / J.D. Meindl, Q. Chen, and J.A. Davis // Science. 2001. Vol. 293. № 5537. P. 2044.
2. Зубков, В.И. Диагностика полупроводниковых наногерероструктур методами спектроскопии адмиттанса. СПб: Элмор. 2007. 220 с.
3. Тревис, Д. LabVIEW для всех. М.: ДМК Пресс. 2005. 544 с.