

К. ф.-м. н. Ю. В. БОЙКО, д. ф.-м. н. Г. В. КУЗНЕЦОВ,  
С. М. САВИЦКИЙ, д. ф.-м. н. О. В. ТРЕТЯК

Украина, Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко  
E-mail: kuznetsov@uninet.kiev.ua

Дата поступления в редакцию  
13.03 2007 г.

Оппонент д. ф.-м. н. Л. И. БЕРЕЖИНСКИЙ  
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

*Описан автоматизированный спектрометр для исследования параметров примесных и дефектных глубоких центров, поверхностных состояний в полупроводниковых структурах методом релаксационной спектроскопии глубоких уровней.*

Примесные и дефектные глубокие центры в полупроводнике и на его границах раздела существенно влияют на характеристики большинства полупроводниковых приборов. Одним из наиболее информативных и чувствительных методов контроля параметров примесных и дефектных центров является метод релаксационной спектроскопии глубоких уровней (РСГУ), основанный на измерении и регистрации температурной зависимости релаксации емкости поверхностно-барьерной структуры после воздействия импульсного смещения [1, 2]. Этот метод позволяет исследовать характеристики глубоких уровней, связанных с электрически активными центрами (генерационно-рекомбинационными центрами, ловушками) в полупроводниковых структурах типа "р-п-переход", "металл—полупроводник" (барьер Шоттки), "металл—диэлектрик—полупроводник".

Для исследования такого широкого класса объектов необходимо обеспечение экспериментальной части, соответствующие методики анализа и обработки информации. Актуальной является задача расширения исследуемого энергетического спектра глубоких состояний, повышения чувствительности и точности измерений [3, 4]. Так, при исследовании структур с изолирующими оксидными слоями ("металл—оксид—полупроводник", кремний-на-изоляторе и т. п.) возникают проблемы, связанные с разделением роли поверхностных состояний на границах раздела и глубоких уровней в объеме полупроводника.

К усложнению процесса идентификации природы глубоких уровней приводит наличие в полупроводнике протяженных структурных дефектов (дислокаций, межфазных границ) [5]. Протяженные ростовые структурные дефекты электрически активны, являются местом скопления точечных дефектов, вызывают образование локальных упругих деформаций и электрических полей. Это приводит к уширению пиков в спектре РСГУ, логарифмической зависимости ам-

плитуды сигнала от длительности заполняющего импульса.

По принципу измерений емкости релаксационные спектрометры делятся на мостовые (с компенсацией стационарной емкости перед измерителем) и без компенсатора [2, с. 71—85]. Наличие компенсатора на входе позволяет расширить динамический диапазон измерений, повысить чувствительность. Однако такие спектрометры сложны в эксплуатации, возникают проблемы с калибровкой. Для анализа релаксационного сигнала наиболее часто используются стробируемые аналоговые дискриминаторы, выделяющие сигналы с характерным временем релаксации.

В настоящей работе описана автоматизированная система РСГУ для диагностики полупроводниковых структур, позволяющая повысить чувствительность измерений и упростить интерпретацию данных. Измерения проводятся методом стробирования с накоплением результатов в компьютере с помощью набора соответствующих программ управления и обработки данных. Спектрометр позволяет измерять равновесную и неравновесную вольт-фарадные характеристики, сигнал релаксации емкости при постоянном напряжении, изменение сигнала релаксации емкости от температуры.

Спектрометр обеспечивает работу в двух режимах. Обычный режим РСГУ — подается напряжение смещения, обеспечивающее максимальное обеднение исследуемого слоя. Сигнал РСГУ измеряется после подачи заполняющего импульса при выбросе носителей с глубоких уровней. Второй режим — подается прямое смещение, при котором ловушки заполнены. Сигнал РСГУ измеряется после подачи импульса обеднения при заполнении ловушек. Диапазон измерения емкости от 1 до  $10^3$  пФ при предельном разрешении порядка  $10^{-3}$  пФ.

Наряду с методикой температурного сканирования при фиксированных значениях временного окна используется развертка по временному окну (от  $10^{-6}$  с до 10 с). Установка позволяет за один температурный проход от 80 до 350 К записать спектры для четырех окон скорости эмиссии. Время релаксации емкости измеряется в интервале 4—320 с, причем в разные моменты релаксации емкости проводится сравнение интегральных за определенный отрезок времени емкостей образца. Длительность импульса запол-

нения (>4 мс) достаточна для обеспечения максимальной заселенности глубоких уровней.

Общая блок-схема релаксационного спектрометра представлена на **рис. 1**. Установка состоит из компьютера (оснащенного платой канала общего пользования и многофункциональной платой PCI-1710HG), аналоговой части, вольтметров и источников питания, интерфейсной части и криостата. Применение персонального компьютера в комплексе со спектрометром дает возможность автоматизировать процессы измерения и обработки результатов, упростить условия использования разных модификаций релаксационной спектроскопии глубоких уровней [6].

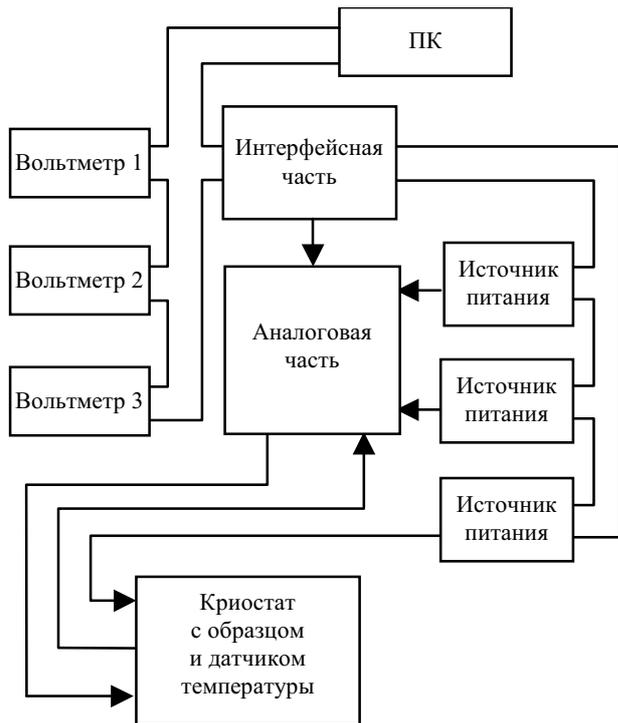


Рис. 1. Общая блок-схема автоматизированного релаксационного спектрометра глубоких уровней

Источники питания подводят нужные напряжения (заполнения, смещения) к аналоговой части и к криостату. Вольтметры предназначены для измерения напряжений, пропорциональных температуре, емкости, сигналу релаксации емкости. Персональный компьютер выполняет роль контроллера и предназначен для управления экспериментом. Роль сопряжения между компьютером и источниками питания и вольтметром выполняет интерфейсная часть спектрометра. Криостат предназначен для поддержания температуры в соответствующем диапазоне (77—400 К). В криостате находится нагреватель, датчик температуры, образец и резервуар для хладагента.

При повышении частоты измерительного сигнала глубокие центры не успевают перезарядиться, что позволяет расширить исследуемый диапазон постоянных времени эмиссии носителей. С другой стороны, слишком высокая ча-

стота измерительного сигнала накладывает ограничения на диапазон исследуемых структур и усложняет процесс измерения. Оптимальными для РСГУ-измерений являются частоты 0,1—100 МГц.

Блок-схема аналоговой части релаксационного спектрометра представлена на **рис. 2**. Устройство формирования включает задающий генератор, формирователи импульсов, опорного и измерительного сигналов, управляемый сумматор, усилитель высокой частоты, синхронный детектор, дискриминатор. Ниже перечислены основные функции составляющих аналоговой части спектрометра.

*Задающий генератор.* В качестве задающего генератора использовался низкочастотный прецизионный генератор сигналов типа ГЗ-122.

*Формирователь опорного сигнала.* Предназначен для получения высокочастотного сигнала, необходимого для работы синхронного детектора при исследовании импеданса образца. Формирователь опорного сигнала состоит из кварцевого генератора, формирователя прямоугольных импульсов и делителя, формирователя импульсов с заданным сдвигом фазы, буферного усилителя мощности и коммутатора. Быстродействующие микросхемы формируют сигналы в форме меандра со сдвигом фаз 0, 180, 90°. Первые два напряжения поступают на усилитель мощности и потом на синхронный детектор. В зависимости от состояния коммутатора на вход формирователя измерительного сигнала поступает напряжение с фазой 180° либо 90°.

*Формирователь импульсов.* Предназначен для создания набора импульсов, необходимых для работы управляемого сумматора и дискриминатора. Блок собран на основе счетчика импульсов, дешифратора и усилителей мощности.

*Формирователь измерительного сигнала.* Предназначен для преобразования прямоугольного напряжения в синусоидальное с последующим усилением и суммированием с напряжениями заполнения и смещения. Состоит из усилителя тока, фазосдвигающей цепочки, усилителя мощности и управляемого сумматора, в котором и происходит суммирование импульсного напряжения с высокочастотным сигналом.

*Усилитель высокой частоты.* Предназначен для усиления и получения прямого и инвертированного сигналов для работы синхронного детектора. Усилитель выполнен по двухканальной схеме на полевых транзисторах.

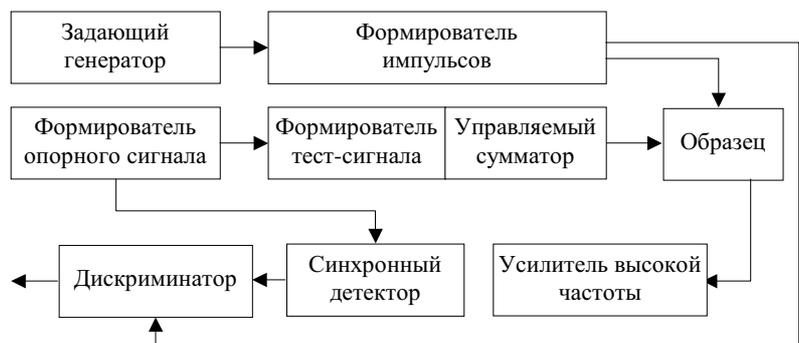


Рис. 2. Блок-схема аналоговой части релаксационного спектрометра

*Синхронный детектор.* С помощью этого блока осуществляется выделение постоянной сигнала с заданной фазой. Представляет собой двойной балансный смеситель, выполненный на диодах Шоттки.

*Дискриминатор.* Необходим для выделения процессов, которые происходят с заданной постоянной времени. Блок состоит из ключей на полевых транзисторах. На затворы полевых транзисторов подаются импульсы из формирователя импульсов. На выходе дискриминатора получаем сигнал, пропорциональный разности средних величин сигнала за два разных отрезка времени.

Интерфейсная часть спектрометра была специально разработана для подсоединения к компьютеру через линии канала общего пользования, а также линии многофункциональной платы PCI-1710HG вольтметра В7-34А и блоков питания ДЗ0-10-01А. Интерфейс состоит из следующих узлов: буфер шины, триггеры селектора адреса и дешифратора портов, блока индикации, буфера управляющих сигналов, блоков связи, многофункциональной платы PCI-1710HG.

Сигнал релаксации емкости преобразуется аналого-цифровым преобразователем и в цифровом виде передается в компьютер, где программно производится его усреднение с целью увеличения отношения сигнал/шум. Временная зависимость емкости исследуемой структуры  $C(t)$  в заданном температурном диапазоне записывается в память компьютера, и далее по стандартной методике [2, с. 16—30] определяются параметры глубоких уровней.

Программная реализация данной методики позволяет получить результаты за один температурный цикл,

что существенно сокращает время измерений. Применение программных методов обработки релаксационных сигналов также дает возможность обрабатывать результаты по новым методикам и программам, которые позволяют увеличить точность и достоверность получаемых результатов.

Таким образом, применение предлагаемых методик анализа и программной обработки информации позволяет повысить точность и чувствительность измерений релаксационных сигналов, расширить диапазон исследуемых энергетических спектров глубоких состояний в полупроводниковых структурах, увеличить достоверность получаемых результатов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Lang D. V. Deep-level transient spectroscopy: a new method to characterize traps in semiconductors // J. Appl. Phys.—1974.— Vol. 45, N 7.— P. 3023—3032.
2. Берман Л. С., Лебедев А. А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках.— Л.: Наука, 1981.
3. Бойко Ю. В., Ильченко В. В., Третяк О. В., Зінчук В. М. Дослідження параметрів глибоких рівнів в напівпровідниках та структурах на їх основі // Наук. зап. Київськ. нац. університету ім. Тараса Шевченка.— 2004.— Т. 9.— С. 154—163.
4. Ветров О. П., Кузнецов Г. В. Ємнісний спектрометр глибоких рівнів // Вісник Київського університету. Сер. Фіз.-мат. науки.— 1994.— № 1.— С. 293—300.
5. Tretyak O. V., Skryshevsky V. A., Vikulov V. A. et al. Surface electronic states in metal-porous silicon — silicon structures // Thin Solid Films.— 2003.— Vol. 445.— P. 144—150.
6. Avila A., Reyes A. Computerized DLTS system to characterize deep levels in semiconductors // Rev. Mex. Fis.— 2002.— Vol. 48 (6).— P. 539—547.

Д. т. н. В. Н. КРЫЛОВ, к. т. н. Г. Ю. ЩЕРБАКОВА,  
Ю. Ю. КОЗИНА

Украина, Одесский национальный политехнический университет  
E-mail: mokrickiy@mail.ru

Дата поступления в редакцию  
09.01 2007 г.

Оппонент д. т. н. В. И. ОСИНСКИЙ  
(НИИ микроприборов, г. Киев)

## ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФОТОШАБЛОНОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

*Разработана система автоматизированного оптического позиционирования фотошаблонов интегральных схем, которая имеет высокие показатели помехоустойчивости и точности.*

Современное производство качественных интегральных схем предполагает применение систем автоматизированного оптического контроля (АОК) на ряде этапов, начиная с производства фотошаблонов (ФС). Целью системы АОК является выделение и анализ дефектов ФС посредством сравнения с эталонным ФС. Для этого должно быть обеспечено позициони-

рование (ориентация) изображения контролируемого ФС, т. е. определение и коррекция угла наклона, сдвигов и изменения масштаба относительно эталона.

Позиционирование ФС в современных системах АОК выполняется в оптико-электронном блоке с помощью сложной прецизионной механики и дорогостоящей осветительной аппаратуры. Снижение ресурсоемкости процесса АОК и требований к осветительно-фокусирующей аппаратуре могут позволить более совершенные методы обработки изображений. С этой целью предлагается проводить обнаружение и распознавание реперных знаков (РЗ) при обработке изображений с помощью системы автоматизированного оптического позиционирования ФС.