

Автоматизированная система диагностики полупроводниковых структур

Богданов С. А.

Технологические маршруты изготовления интегральных схем (ИС) включают последовательность операций, сопровождающихся формированием кристаллографических дефектов, влияющих на электрофизические свойства и характеристики элементов ИС, надежность и процент выхода годной продукции [1-7]. В связи с этим актуальна проблема диагностики структур твердотельной электроники и элементов ИС.

В статье рассмотрена автоматизированная система диагностики (АСД) полупроводниковых структур, позволяющая с высокой достоверностью и оперативностью определять время жизни носителей заряда и параметры глубоких энергетических уровней, вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики тестовых структур твердотельной электроники.

Методическое обеспечение АСД включает в себя методы: динамической спектроскопии глубоких уровней; равновесных высокочастотных вольт-фарадных характеристик (ВФХ); модуляции проводимости полупроводника [8-12].

АСД состоит из подсистемы определения параметров глубоких энергетических уровней в полупроводниках, подсистемы определения электрофизических свойств границы раздела диэлектрик-полупроводник структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), подсистемы определения времени жизни неосновных носителей заряда. Высокоскоростное сопряжение указанных подсистем с ЭВМ позволяет сохранять экспериментальные данные на жестком диске для последующей обработки в соответствии с методическим обеспечением.

Структурная схема подсистемы определения параметров глубоких энергетических уровней в полупроводниках изображена на рис. 1. Она состоит из: криостата, включающего в себя контактирующее устройство для

тестовой структуры (C_x) и датчик температуры (ДТ), представляющий собой платиновый термометр сопротивления; C-V-характериограф; устройство формирования и сопряжения (УФС); устройство определения температуры (УОТ); ЭВМ типа IBM PC.

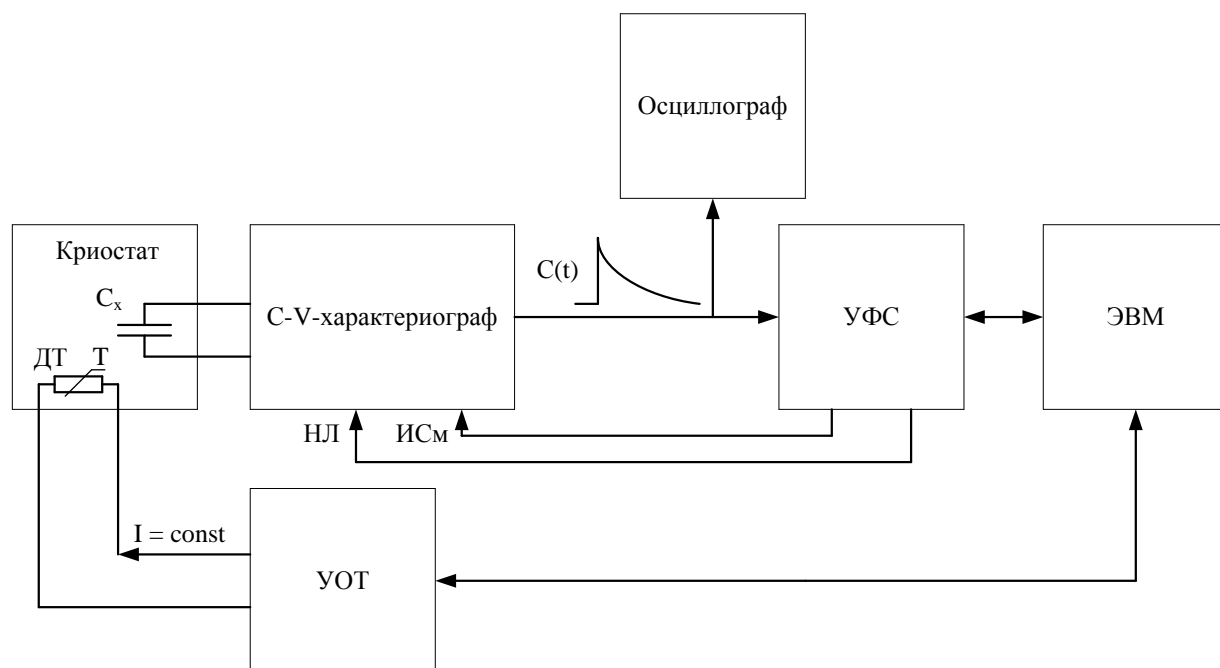


Рис. 1 – Структурная схема подсистемы определения параметров глубоких энергетических уровней

C-V-характериограф служит для измерения емкости тестовой структуры в диапазоне от 1 до 10^3 пФ при предельном разрешении 10^{-3} пФ, передачи сигнала релаксации емкости $C(t)$ для дальнейшей обработки в УФС, а также подачи на тестовую структуру напряжений смещения, импульсов смещения (ИСМ) и нулевой линии (НЛ), предназначенного для балансировки измерительного емкостного моста.

Формирование импульсов выборки, смещения, НЛ, с заданным временным положением и длительностью обеспечивает УФС. Кроме того, в УФС происходит аналого-цифровое преобразование (АЦП) сигнала $C(t)$ для последующей передачи в ЭВМ.

УОТ используется для измерения падения напряжения на ДТ, его аналого-цифрового преобразования и передачи в ЭВМ для определения температуры исследуемой структуры. Разрешающая способность по температуре составляет 0,1 К в диапазоне от 73 К до 773 К [13].

Структурная схема подсистемы определения электрофизических свойств границы раздела диэлектрик-полупроводник приведена на рис. 2 и включает в себя: криостат; УОТ; измеритель цифровой E7-12; блок напряжения смещения (БНС); ЭВМ; блок сопряжения и контроля (БСК).

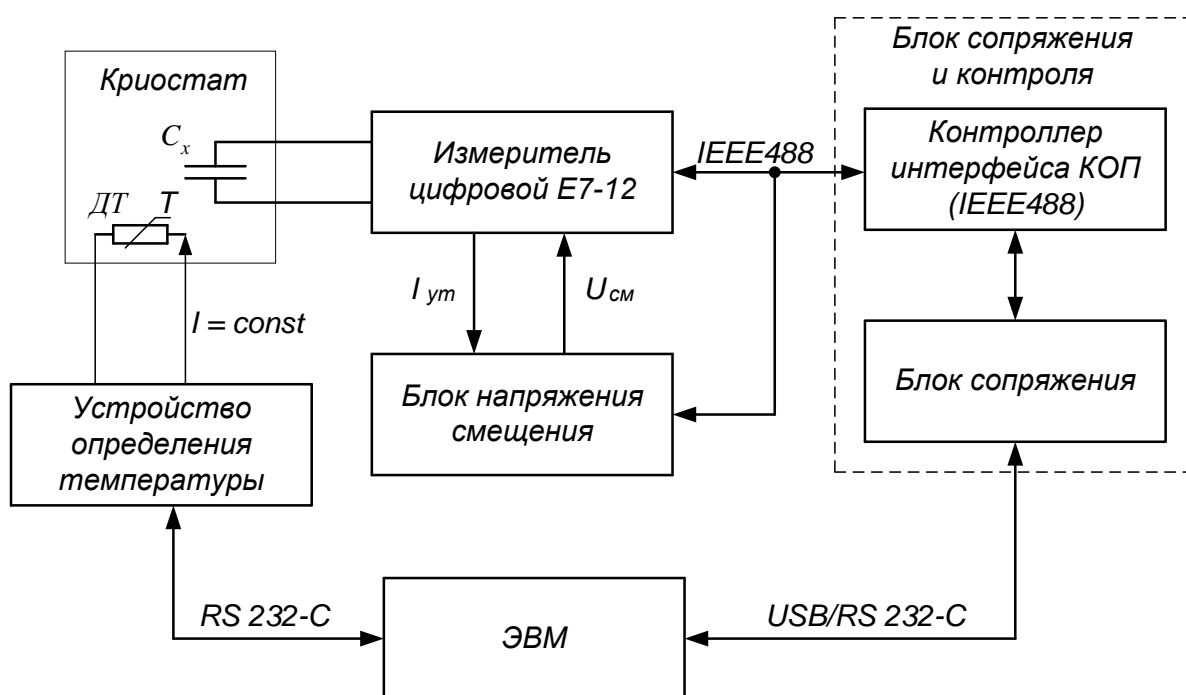


Рис. 2 – Структурная схема подсистемы определения электрофизических свойств границы раздела диэлектрик-полупроводник

БСК обеспечивает сопряжение с ЭВМ современных высокоточных цифровых приборов для дистанционного управления и передачи показаний по интерфейсу IEEE-488 (канал общего пользования (КОП)), а также разработанными блоками измерительной аппаратуры на скорости до 1 Мбайта/с, что позволяет применять высокоскоростные АЦП.

БНС дает возможность устанавливать на исследуемой структуре напряжения смещения в диапазоне от минус 100 В до плюс 100 В с шагом

установки 1 мВ, контролировать ток утечки и измерять её ВАХ. В БНС для перекрытия указанного диапазона напряжений с шагом 1мВ установлено два 16 битных цифро-аналоговых преобразователя.

Структурная схема подсистемы определения времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках изображена на рис. 3. В качестве исследуемых образцов помимо *p-n*-переходов могут выступать полупроводниковые материалы *p*- и *n*-типа проводимости с соответствующими контактами, обеспечивающими режим инжекции неосновных носителей в полупроводниковый материал.



Рис. 3 – Структурная схема подсистемы определения времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках

Подсистема определения времени жизни неосновных носителей заряда включает в себя: контактирующее устройство; коммутатор; БНС; АЦП; БСК.

Коммутатор позволяет подавать с БНС на исследуемый образец импульсы тока различной амплитуды, длительности и скважности, а также импульс формовки точечного контакта. Регистрируемые импульсы падения напряжения с исследуемого образца поступают с коммутатора на вход АЦП, затем в БСК и ЭВМ.

ЭВМ производит обработку полученных данных и определяет величину времени жизни неосновных носителей заряда от 2 мкс с

разрешением в 0,1 мкс в исследуемом образце с удельным сопротивлением в диапазоне $\rho = 0.1 \div 500 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

Полученные с помощью АСД экспериментальные данные могут быть использованы в разработанных моделях [14-19] для повышения достоверности определения электрофизических свойств и характеристик структур твердотельной электроники.

Литература

1. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии [Текст] / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 475 с.

2. Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках [Текст] / – М.: Мир, 1977. – 562 с.

3. Богданов С.А. Моделирование влияния многозарядных примесных центров на вольт-амперные характеристики контактов металл-полупроводник с барьером Шоттки [Текст] // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 4. С. 111 – 115

4. Богданов С.А., Захаров А.Г., Писаренко И.В. Влияние электрического поля контакта с барьером Шоттки на перераспределение примесных атомов в полупроводнике [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, № 2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1623> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5. Богданов С.А., Захаров А.Г., Писаренко И.В. Модификация поверхности чувствительного слоя сенсора газа электроискровой обработкой [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, № 1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1528> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

6. Богданов С.А., Захаров А.Г., Писаренко И.В. Влияние многозарядных примесных центров на распределение потенциала в приповерхностной области полупроводника [Электронный ресурс] //

«Инженерный вестник Дона», 2013, № 1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1530> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

7. Богданов С.А., Захаров А.Г., Лытюк А.А. Диффузионная модель процесса деградации контактов металл-полупроводник с барьером Шоттки [Текст] // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 1. С. 53 – 58

8. Lang D. V. Deep level transient spectroscopy: A new method to characterize traps in semiconductors [Текст] // J. Appl. Phys., – 1982. – Vol.№ 7. – P. 3023 – 3032.

9. Берман Л. С., Лебедев А. А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках [Текст] / – Л.: Наука, 1981. – 176с.

10. Захаров А.Г., Богданов С.А., Набоков Г.М. Определение свойств структур твердотельной электроники методами емкостных характеристик [Текст]/ – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 108 с.

11. Gassoumi M., Bluet J.M., Guillot G., Gaquière C., Maaref H. Characterization of deep levels in high electron mobility transistor by conductance deep level transient spectroscopy [Текст] // Materials Science and Engineering: C. – 2008. Т. 28. № 5-6. – P. 787 – 790.

12. Ali A., Asghar M., Gouveas T., Hasan M.-A., Zaidi S.H. Influence of deep level defects on the performance of crystalline silicon solar cells: experimental and simulation study [Текст] // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2011. Т. 95. № 10. – P. 2805 – 2810.

13. Захаров А.Г., Богданов С.А., Варзарев Ю.Н., Набоков Г.М. Устройство для определения температуры полупроводниковой структуры при измерении параметров глубоких энергетических уровней [Текст] // Известия ТРТУ. – Таганрог: ТРТУ, 2004. № 8 (43). – С. 214-215.

14. Захаров А.Г., Богданов С.А., Лытюк А.А. Прогнозирование положения уровня Ферми в полупроводнике чувствительного слоя сенсора газа [Текст] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. 2011. № 4. С. 34–36.

15. Богданов С.А., Захаров А.Г., Лытюк А.А. Моделирование распределения потенциала в барьерах Шоттки с учетом краевых эффектов [Текст] // Нано- и микросистемная техника. 2011. № 5. С. 12–15.

16. Захаров А.Г., Богданов С.А. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур с учетом однозарядного глубокого энергетического уровня [Текст] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. 2007. № 5. С. 22–24.

17. Захаров А.Г., Котов В.Н., Богданов С.А. Моделирование распределения потенциала в барьерах Шоттки транзистора с металлической базой [Текст] // Нано- и микросистемная техника. 2007. № 4. С. 45–47.

18. Захаров А.Г., Богданов С.А. Моделирование вольт-фарадных характеристик МДП-структур с неоднородным распределением основной легирующей примеси [Текст] // Известия ТРТУ. – Таганрог: ТРТУ, 2006. № 9. – С. 57–61.

19. Захаров А.Г., Богданов С.А. Моделирование распределения потенциала в приповерхностной области полупроводника с глубокими уровнями [Текст] // Известия ТРТУ. – Таганрог, 2005. № 9. – С. 217–222.