

мейцева Н. В. Комбинированная двухзонная модель резонансно-туннельного диода // ФТП. 2007. Т. 41. № 11. С. 1395–1400.

3. Абрамов И. И., Гончаренко И. А., Коломейцева Н. В. Комбинированная двухзонная модель гетероструктуры с одним туннельным переходом и протяженными приконтактными областями // Микросистемная техника. 2004. № 9. С. 36–40.

4. Wei T., Stapleton S., Berolo O. Capacitance and hysteresis study of AlAs/GaAs resonant tunneling diode with asymmetric spacer layers // J. Appl. Phys. 1995. Vol. 77. № 8. P. 4071–4076.

5. Sun J. P. Modeling of semiconductor quantum devices and its applications // Ph.D. Theses, Dep. of EECS, Univ. of Michigan, Ann Arbor. 1993. P. 148.

6. Belyaev A.E., Konakova R.V., Vitusevich S.A. et al. Radiation hardness of AlAs/GaAs-based resonant tunneling diodes // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 1999. Vol. 2. № 1. P. 98–101.

7. Абрамов И. И., Гончаренко И. А., Коломейцева Н. В. Исследование влияния границ раздела «сшивки» в комбинированной модели РТД // Материалы 16-й Междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 2006. Севастополь. С. 667–668.

8. Абрамов И. И., Гончаренко И. А., Игнатенко С. А. et al. Система моделирования наноэлектронных приборов – NANODEV // Микроэлектроника. 2003. Т. 32. № 2. С. 124–133.

9. Abramov I. I., Abramov K. I., Goncharenko I. A. et al. Simulation of physical processes in nanoelectronic devices with the use NANODEV system // Proc. of SPIE. 2006. Vol. 6260. P. 62601Q-1–62601Q-8.

ЦИФРОВОЙ ЕМКОСТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР СЕ-6

Н. Н. Дедович, В. А. Кузьминых, А. Н. Лазарчик,
В. М. Ломако, В. И. Пранович, А. Ф. Романов

НП ООО «ОМНИТЕЛ», omnitel@vessobel.by

ВВЕДЕНИЕ

Емкостные методы исследования электрических характеристик барьерных структур достаточно широко и результативно используются для измерения концентрации, энергии ионизации и сечения захвата носителей ловушками в полупроводниках.

В данной работе кратко описан разработанный аппаратно-программный комплекс (в дальнейшем – емкостный спектрометр) для измерения статических и динамических вольт-емкостных характеристик барьерных полупроводниковых структур.

ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ ЕМКОСТНОГО СПЕКТРОМЕТРА

Базовым измерительным узлом спектрометра является автоматический мост полной проводимости, работающий на частоте 1 МГц, что позволяет разделять активную и реактивную проводимости образца. Плечо моста, в которое включается исследуемый образец, вынесено в криостат.

На образец подается высокочастотное сканирующее напряжение с постоянной амплитудой ~ 100 мВ и напряжение смещения, величина которого задается программно в интервале ± 19 В.

Реализовано два основных режима работы:

1. Измерение стационарных $C(U)$ характеристик при заданной температуре.
2. Измерение динамических характеристик $\Delta C(U, t, T)$.

Все режимы измерений задаются программно из оконного меню компьютера и передаются в приборный блок для исполнения.

Два микроконтроллера приборного блока реализуют заданную программу измерений и передают результаты первичных измерений в компьютер. Один микроконтроллер работает как ПИД регулятор и обеспечивает стабильность температуры образца не хуже 0,08 К в интервале от 78 К до 370 К с шагом 0,08...10 К. Второй контроллер реализует на аппаратном уровне программу измерений, задаваемую пользователем в экранном меню компьютера.

По результатам измерений статических $C(U)$ характеристик определяется концентрация, степень резкости и распределение мелкой легирующей примеси в барьерной структуре.

Второй режим реализует измерение динамической емкости барьерной структуры $\Delta C(U, t, T)$ при переключении напряжения обратного смещения образца из $U_{min} \rightarrow U_{max}$.

Нами реализован метод прямой регистрации кривой релаксации емкости при заданной фиксированной температуре при переключении напряжения на образце. Оцифрованные при разных температурах кривые релаксации вместе с другими данными режима измерения автоматически заносятся в базу данных. Вид кривых релаксации в процессе измерений контролируется на экране компьютера.

После завершения измерений оцифрованные кривые релаксации анализируются программами верхнего уровня с выводом результатов, как на монитор, так и на печать. По нашему мнению, такой подход имеет ряд преимуществ перед традиционным методом спектроскопии, а именно:

- Можно программно построить спектры DLTS при различных значениях временных выборок в пределах временного интервала регистрации сигнала при однократном сканировании по температуре.
- Можно выполнить анализ кривых релаксации емкости для выяснения: является она простой экспонентой или имеет сложный характер. Например, в материалах с уровнем легирования свыше 10^{17} см^{-3} может наблюдаться эффект Пула – Френкеля, что будет выражаться в искажении экспоненциальной кривой при повышении напряжения на образце, особенно заметное при низких температурах и приводящее к уширению полос.
- Учитывая открытый характер базы данных, пользователь может анализировать результаты измерений с привлечением иных моделей, не заложенных в программном обеспечении спектрометра.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕМКОСТНОГО СПЕКТРОМЕТРА СЕ-6

Диапазон измеряемой статической емкости	0...800 пФ
Напряжение смещения	0 ± 19 В
Шаг изменения напряжения смещения	0.1...2.0 В
Температура измерения	78...370 К
Шаг изменения температуры	0.08...10 К
Стабильность температуры в заданной точке	0.08 К
Длительность импульса заполнения ловушек ...	0.01...1000 мс
Длительность импульса эмиссии	1...1000 мс
Шаг квантования по динамической емкости	0.16 фФ

Полярность напряжения на образце – любая;

защита образца от пробоя по току.

Размер приборного блока (без криостата)472×236×100 мм

На рисунках 1, 2, 3 представлен вид отдельных экранных меню в режиме обработки сигналов и приводятся фрагменты спектров, иллюстрирующих реальную чувствительность прибора.

На рисунке 1 показано экранное меню для обработки статических $C(U)$ характеристик. В трех правых окнах отображаются $C(U)$, $f(C^2)$ или $f(C^3)$ и профиль распределения примеси в базе диода. В левых окнах показаны базы данных. В центре – окна с характеристиками материала базы диода, режимы измерений и рассчитанные величины U_c , концентрации мелкой легирующей примеси и ширина ОПЗ.

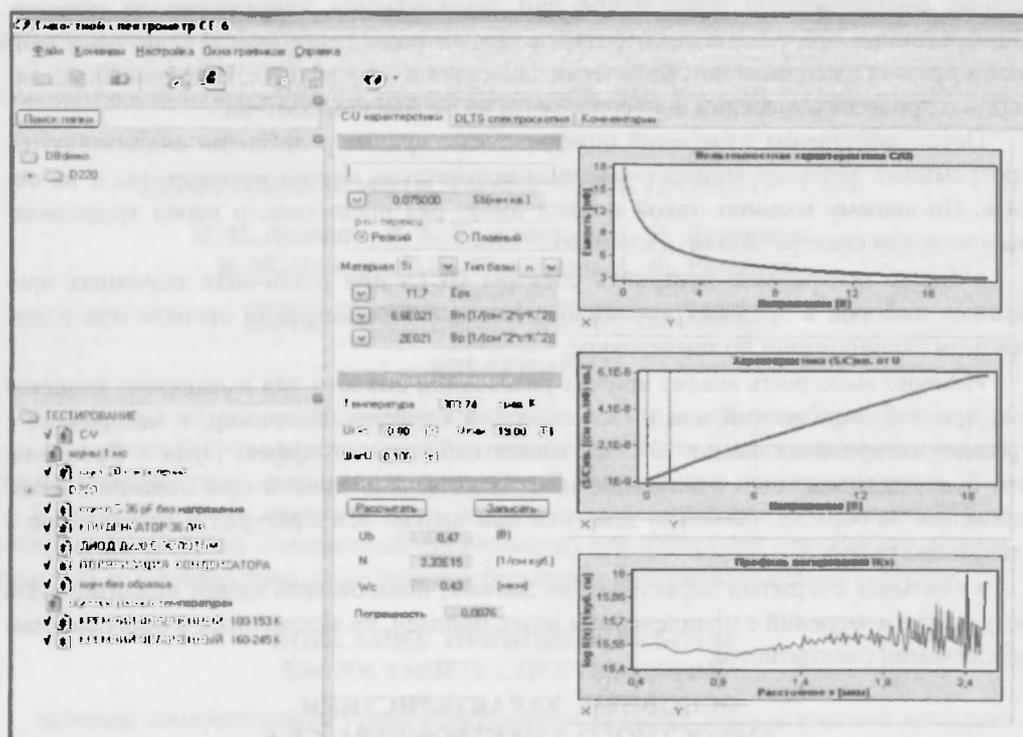


Рис. 1. Вид экранного меню в режиме обработки статических $C-U$ характеристик

Экранное меню в режиме обработки сигналов релаксации емкости представлено на рис. 2. Слева вверху отображаются режимы измерений, в центральном окне выводятся графики $\Delta C(t)$ и две вертикальные линии временных маркеров, а справа – $\ln[\Delta C(t)]$. При смещении маркеров по временной шкале в нижнем окне формируется соответствующий их положению спектр, который можно зафиксировать. Данному спектру на графике Аррениуса (справа) соответствует точка. Зафиксировав несколько спектров для различных значений временных окон, можно определить параметры ловушки, которые отображаются в табличном виде слева внизу.

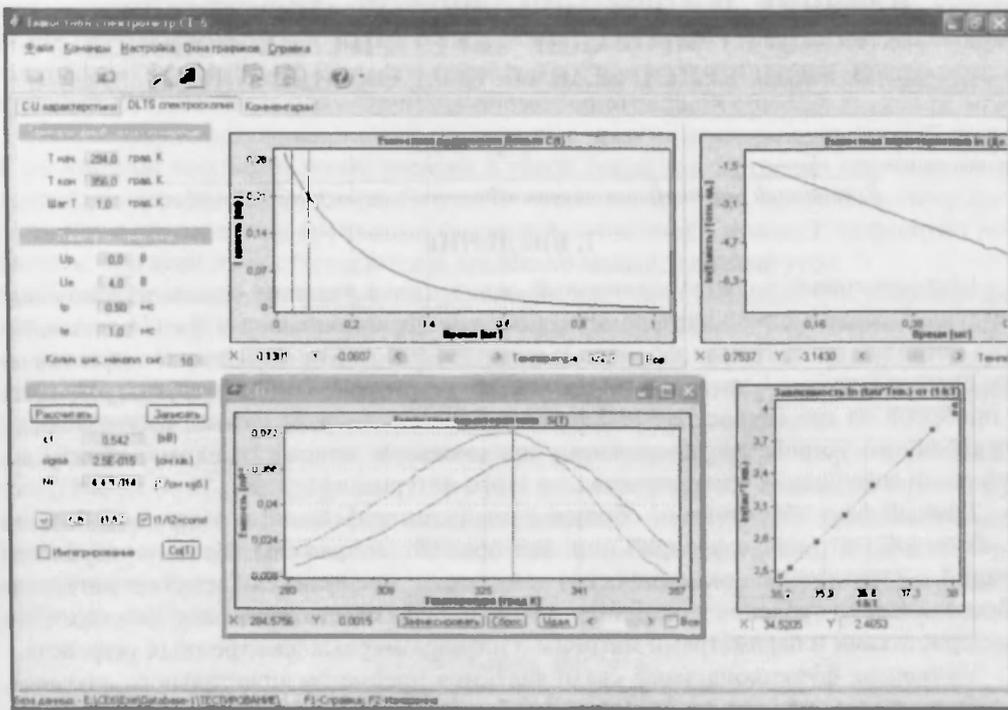


Рис. 2. Экранное меню в режиме обработки сигналов релаксации емкости

Для иллюстрации на рис. 3 приведены фрагменты спектров облученного электронами кремниевого p' - n -перехода. Из этих рисунков видно, что реальная чувствительность прибора по емкости равна $\sim 10^{-5}$.

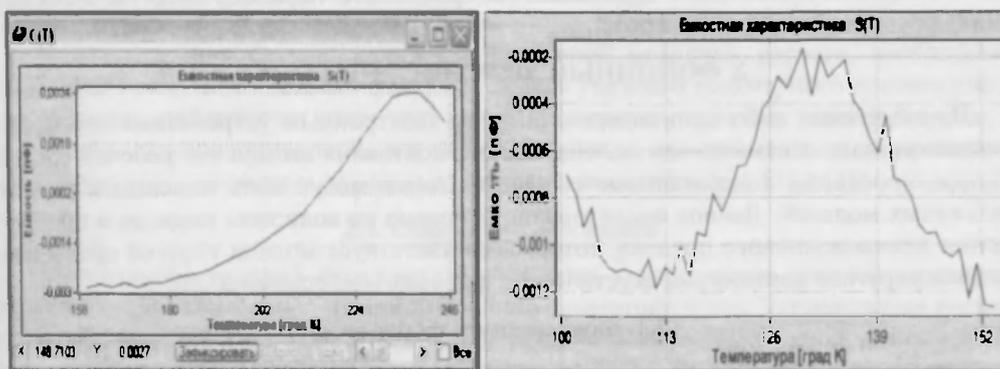


Рис. 3. Спектры облученного электронами кремниевого диода в интервале температуры 160...244 К и 100...152 К. $C_{30} = 73$ пФ, $\Delta U = 0 \rightarrow -4,0$ В

Амплитуда пика ловушки на левом спектре ≈ 6 фФ, что соответствует $\Delta C/C_0 \approx 8 \cdot 10^{-5}$.

Справа – амплитуда пика ловушки ≈ 1 фФ, что соответствует $\Delta C/C_0 = 1,4 \cdot 10^{-5}$.