

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОБРАТНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА СИЛОВОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ПРИБОРЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Беспалов Н. Н., Глебочкин В. П.

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева,
Научно-производственное предприятие «Электронная техника – МГУ»
Тел.: (834-2) 24-37-05. E-mail: bnn48@mail.ru

Аннотация. В докладе рассматривается выбор параметров обратного испытательного напряжения для определения вольт-фарадных характеристик силовых полупроводниковых приборов частотным методом.

Ключевые слова. Барьерная ёмкость, вольт-фарадная характеристика, критическая скорость нарастания напряжения, погрешность, силовые полупроводниковые приборы.

Summary. The report examines the choice of parameters of the reverse test voltage to determine the C-V characteristics of power semiconductor devices by frequency method.

Keywords. Barrier capacitance, C-V characteristics, the critical rate of rise of voltage, inaccuracy, power semiconductor devices.

При приложении к $p-n$ переходу силового полупроводникового прибора (СПП) полусинусоидального импульсного напряжения $U_{D(R)}$ через него протекают активная $i_{D(R)A}$ и ёмкостная $i_{D(R)C}$ составляющие суммарного тока $i_{D(R)Y}$, который обычно измеряется при испытании (1) [1]:

$$i_{D(R)Y} = i_{D(R)A} + i_{D(R)C}. \quad (1)$$

Наличие ёмкостного тока $i_{D(R)C}$ обусловлено барьерной ёмкостью СПП, которая зависит от приложенного обратного напряжения. Барьерная ёмкость оказывает влияние на характеристики СПП и позволяет оценить важные критические параметры.

Знание вольт-фарадной характеристики (ВФХ) СПП позволяет оценить величину критической скорости нарастания напряжения dU/dt_{crit} на тиристоре. Зависимости $C_o = f(U_R)$ реальных приборов могут быть применены в математических моделях, например, для исследования работы нескольких СПП при параллельном включении.

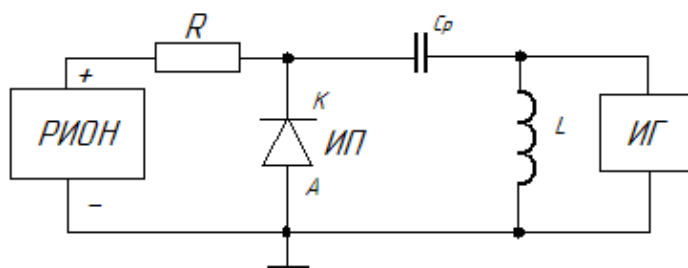


Рис. 1. Функциональная измерительная схема устройства определения ВФХ.

определения ВФХ, содержащая колебательный контур испытательного генератора (ИГ) с испытуемым прибором (ИП), к которому прикладывается плавно нарастающее напряжение

u_R от регулируемого источника обратного напряжения (РИОН).

В [2] показано, что период колебаний контура испытательного генератора находится по формуле:

$$T_{ИГ} = 2\pi\sqrt{C_{\Sigma}L}, \quad (2)$$

где L — индуктивность катушки; $C_{\Sigma} = C_p C_{\delta} / (C_p + C_{\delta})$, где C_{δ} — измеряемая ёмкость p - n перехода; C_p — разделительная ёмкость.

Из выражения (2) барьерная ёмкость найдена как:

$$C_{\delta} = \frac{C_p \cdot T_{ИГ}^2}{4\pi^2 C_p L - T_{ИГ}^2}. \quad (3)$$

Оценки зависимости барьерной ёмкости СПП с различными диаметрами полупроводниковых структур от величины обратного напряжения приведены на рис. 2 и рассчитаны по формуле (4) для резкого p - n перехода, приведенной в [3]:

$$C_{\delta} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\pi d^2}{2,08 \cdot \sqrt{\rho \cdot U_R}}, \quad (4)$$

где ε — диэлектрическая проницаемость кремния; ε_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума; d — диаметр полупроводниковой структуры СПП; ρ — удельное сопротивление со стороны базы; U_R — постоянное обратное напряжение.

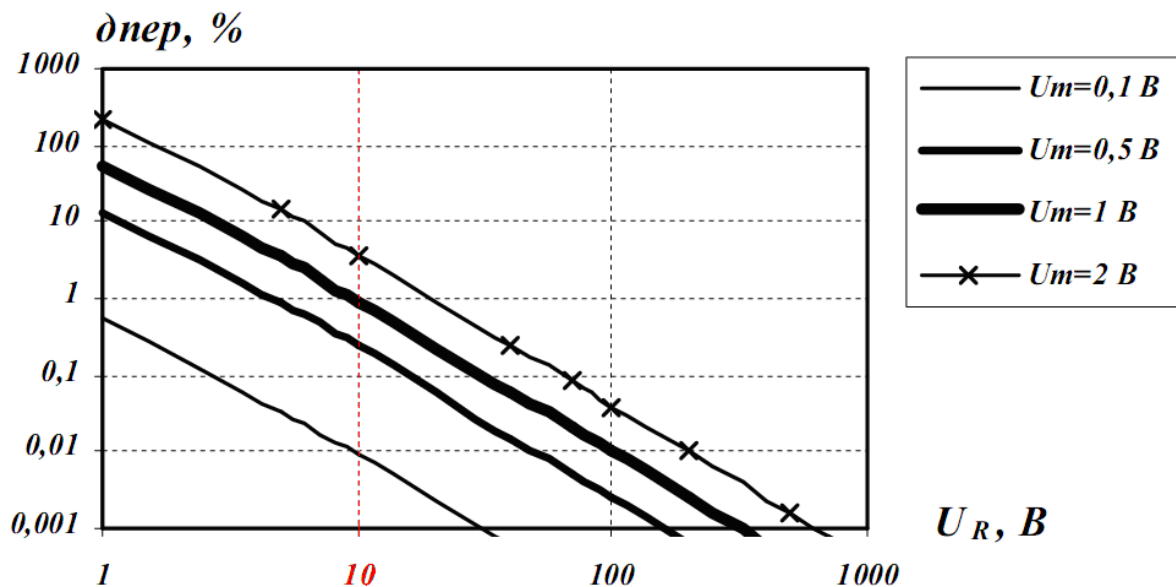


Рис. 3. Погрешность определения C_{δ} от приложенного обратного напряжения U_R при различных значениях амплитуды сигнала ИГ.

В [2] было показано, что определение C_{δ} при величине U_R , меньшей 10 В, не имеет смысла, потому что погрешность задания U_R будет больше 1% из-за прикладывания переменного напряжения ИГ к ИП (рис. 3).

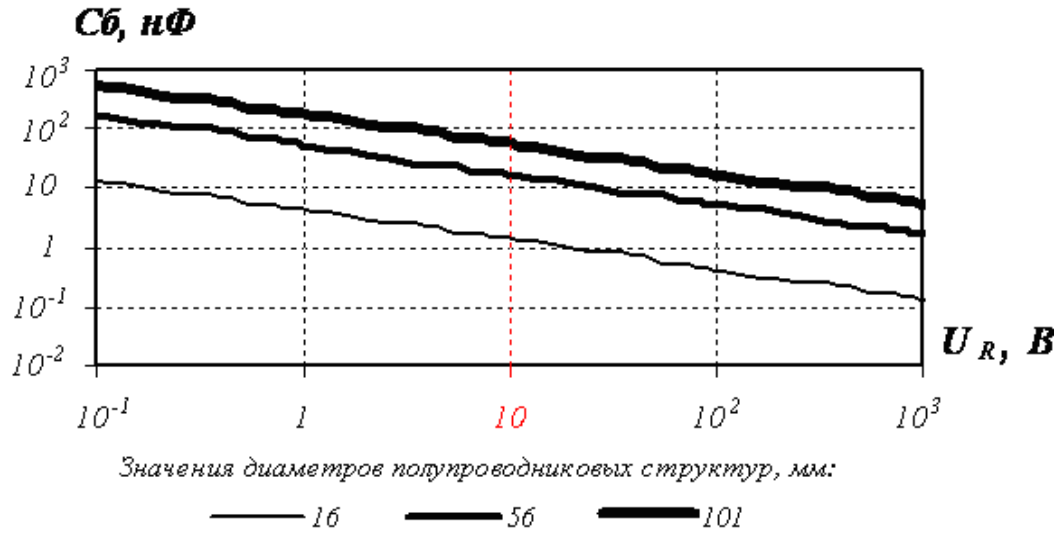


Рис. 2. ВФХ СПП с различными диаметрами полупроводниковых структур.

С ростом U_R влияние амплитуды сигнала переменного напряжения ИГ на точность задания обратного напряжения будет уменьшаться. Также нецелесообразно проводить определение C_{δ} при величине U_R свыше 1000 В, т. к. барьерная ёмкость СПП будет слабо зависеть от приложенного обратного напряжения.

Определение $T_{ИГ}$ должно проводиться методом измерения периода, поэтому, определена ошибка измерения C_{δ} , которая возникает вследствие изменения обратного

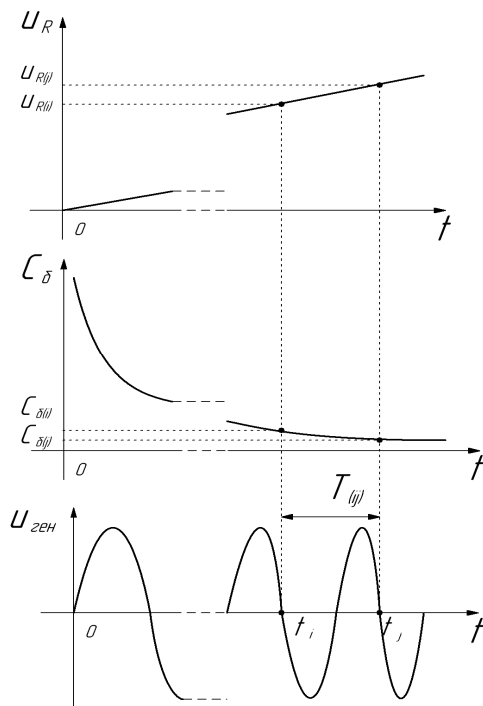


Рис. 4. Временные диаграммы, поясняющие работу устройства для определения ВФХ.

напряжения смещения u_R за время измерения одного периода испытательного генератора. Временные диаграммы работы устройства определения ВФХ показаны на рис. 4.

Погрешность определения C_{δ} за период измерения $T_{ИГ(ij)}$ найдена по формуле (5):

$$\delta_{C_{\delta(ij)}} = \frac{|C_{\delta(i)}(u_{R(i)}) - C_{\delta(j)}(u_{R(j)})|}{C_{\delta(i)}(u_{R(i)})} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $C_{\delta(i)}(u_{R(i)})$ — величина барьерной емкости при обратном напряжении смещения $u_{R(i)}$ в момент времени t_i ; $C_{\delta(j)}(u_{R(j)})$ — величина барьерной емкости при обратном напряжении смещения $u_{R(j)}$ в момент времени t_j .

Момент времени t_j найден как:

$$t_j = t_i + T_{ИГ(ij)} \quad (6)$$

Подставив выражение (4) в формулу (5) и заменив U_R на u_R , получили:

$$\delta_{C_{\sigma(ij)}} = \frac{|\sqrt{u_{R(j)}} - \sqrt{u_{R(i)}}|}{\sqrt{u_{R(j)}}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Величина $u_{R(i)}$ — это обратное напряжение смещения в момент времени t_i . Величина $u_{R(j)}$ определяет погрешность $\delta_{C_{\sigma(ij)}}$ и зависит от скорости роста обратного напряжения смещения $\frac{du_R}{dt}$ и величины периода $T_{ИГ(ij)}$. Величина $u_{R(j)}$ найдена как:

$$u_{R(j)} = u_{R(i)} + \Delta u_{R(ij)} = u_{R(i)} + \frac{du_R}{dt} \cdot T_{ИГ(ij)}, \quad (8)$$

где $\Delta u_{R(ij)}$ — величина, на которую изменилось напряжение u_R за время определения периода $T_{ИГ(ij)}$.

На рис. 5 и 6 приведены зависимости погрешности определения барьерной ёмкости от величины измеряемой ёмкости C_{σ} при различных скоростях роста обратного напряжения u_R для СПП с различными диаметрами структур. Величина обратного напряжения смещения u_R изменяется от 10 В до 1000 В.

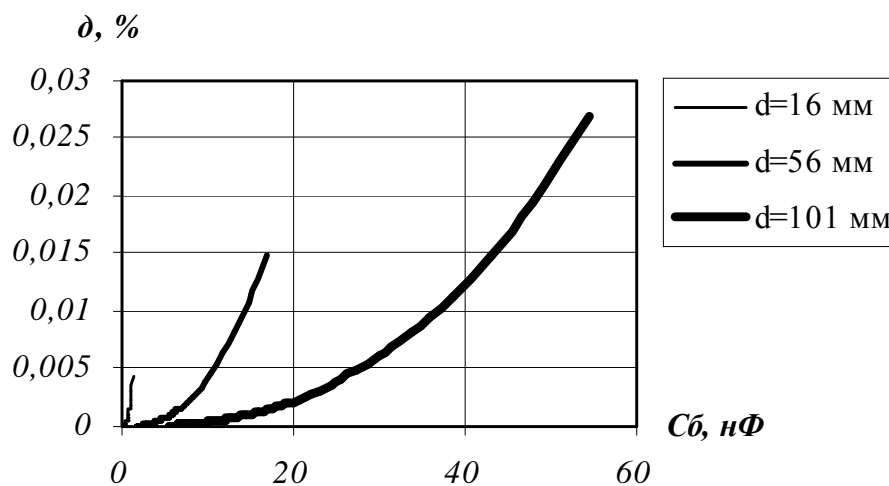


Рис. 5. Зависимости погрешности от величины при $\frac{du_R}{dt} = 100$ В/с для СПП с различными диаметрами структур.

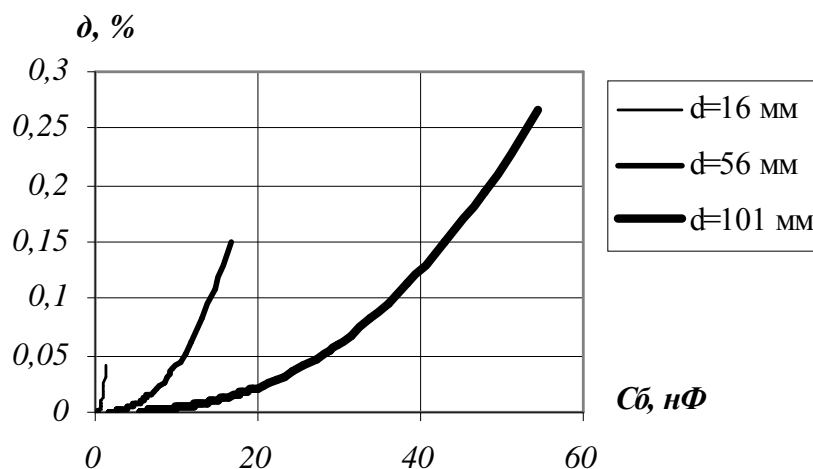


Рис. 6. Зависимости погрешности от величины при $\frac{du_R}{dt}=1000$ В/с для СПП с различными диаметрами структур.

Полученные результаты подтверждают возможность определения ВФХ всех основных типов СПП с допустимой погрешностью до 0,5% при плавно нарастающем обратном напряжении смещения со скоростью $\frac{du_R}{dt}$ до 1000 В/с.

Библиографические ссылки

1. Беспалов, Н. Н. Устройство для определения вольт-фарадной характеристики силовых полупроводниковых диодов / Н. Н. Беспалов, В. П. Глебочкин. // Материалы XIII научной конф. молодых ученых, асп. и студ. морд. гос. ун-та. / Мордов. ун-т., – 2008. – Часть 2. – 258 с.
2. Беспалов Н. Н., Глебочкин В. П. О погрешностях определения вольт-фарадных характеристик силовых полупроводниковых приборов // Электроника и информационные технологии. — 2009 специальный выпуск (6) — 2009. — http://fetmag.mrsu.ru/2009-2/pdf/CV_measurement_error.pdf. — 0420900067.
3. Расчет силовых полупроводниковых приборов / П. Г. Дерменжи [и др.] – М. : Энергия, 1980. – 184 с.

Сведения об авторах

Беспалов Николай Николаевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой автоматики Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, e-mail: bnn48@mail.ru.

Глебочкин Виталий Павлович – аспирант кафедры автоматики Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, e-mail: ventil86@inbox.ru.