

## О ПОГРЕШНОСТЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛЬТ-ФАРАДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Беспалов Н. Н., Глебочкин В. П.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск,  
 Научно-производственное предприятие «Электронная техника – МГУ»  
 Тел.: (834-2) 24-17-77. Электронная почта: eltech-mgu@mail.ru

**Аннотация.** В докладе рассматриваются погрешности определения вольт-фарадных характеристик силовых полупроводниковых приборов частотным методом

**Ключевые слова:** вольт-фарадная характеристика, силовой полупроводниковый прибор, напряжение, емкость, измерение, частотный метод, погрешность

К параметрам, определяющим качество изготовления и надежность силовых полупроводниковых приборов (СПП), относят параметры характеристики в состоянии низкой проводимости. Максимальная точность определения параметров СПП в состоянии низкой проводимости достигается в статическом состоянии. Данные о ВАХ, приводящиеся в справочниках, даются для статического состояния, т. е. они должны определяться на постоянном токе. Однако СПП не являются чисто активными элементами. При воздействии на СПП переменных сигналов они ведут себя как приборы, содержащие активные и реактивные составляющие. Это связано с тем, что СПП обладают емкостью, которая зависит от приложенного напряжения. Поэтому, для более точного определения обратной ветви ВАХ по методу, предложенному в [1], необходимо определить вольт-фарадную характеристику (ВФХ). Знание ВФХ также помогает определить значения барьерной емкости  $p-n$  перехода  $C_{\delta}$  при различных значениях обратного постоянного напряжения  $U_R$ .

Метод и функциональная схема устройства для определения ВФХ представлены в нашей статье [1], где барьерная емкость, входящая в колебательный контур в качестве частотозадающего элемента, пересчитывается из периода колебаний, изменяющегося при приложении к обратносмещенному  $p-n$  переходу постоянного обратного напряжения. Рассмотрим источники погрешностей определения ВФХ разработанным методом.

На рис. 1. изображена функциональная схема измерительной части устройства, содержащая колебательный контур измерительного генератора (ИГ) с испытуемым прибором (ИП).

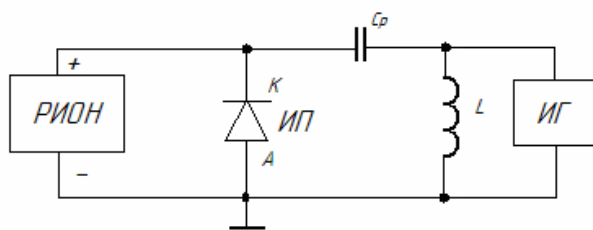


Рис. 1. Функциональная измерительная схема устройства определения ВФХ

В [1] показано, что период колебаний контура измерительного генератора находится по формуле:

$$T = 2\pi\sqrt{C_{\Sigma}L}, \quad (1)$$

где  $L$  — катушка индуктивности;

$C_{\Sigma} = \frac{C_p \cdot C_{\delta}}{C_p + C_{\delta}}$ , где  $C_{\delta}$  — измеряемая емкость  $p-n$  перехода,  $C_p$  —

разделительная емкость.

Из выражения (1) барьерная емкость может быть определена как

$$C_{\delta} = \frac{C_p \cdot T^2}{4\pi^2 C_p L - T^2} \quad (2)$$

Рассмотрим влияние факторов, влияющих на точность определения ВФХ.

Разделительная емкость  $C_p$  включена последовательно с измеряемой емкостью, чтобы исключить влияние регулируемого источника обратного напряжения (РИОН) на работу колебательного контура. Однако, наличие  $C_p$  оказывает влияние на период

колебаний генератора и вносит соответствующую погрешность.

Погрешность определения ВФХ от величины  $C_p$  определяется в соответствии с выражением:

$$\delta_p = \frac{T_p - T_n}{T_n} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где  $T_n = 2\pi\sqrt{C_\delta \cdot L}$  — значение периода генератора при отсутствии  $C_p$  в схеме измерения;  $T_p$  — значение периода генератора с учетом  $C_p$ .

Получены расчетные зависимости относительной погрешности  $\delta_p$  определения ВФХ для СПП с различными диаметрами структур от величины  $C_p$ , которые приведены на рис. 2–4.

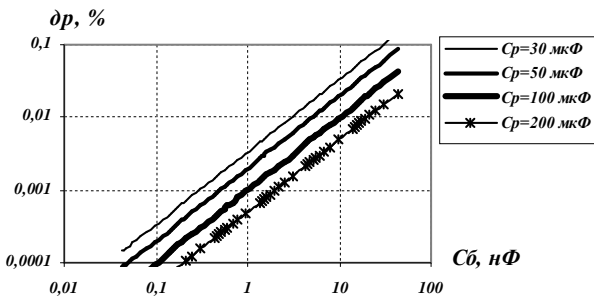


Рис. 2. Зависимость  $\delta_p = f(C_\delta)$  при  $d=16$  мм

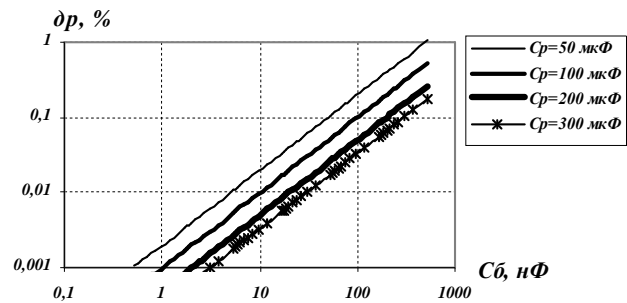


Рис. 3. Зависимость  $\delta_p = f(C_\delta)$  при  $d=56$  мм

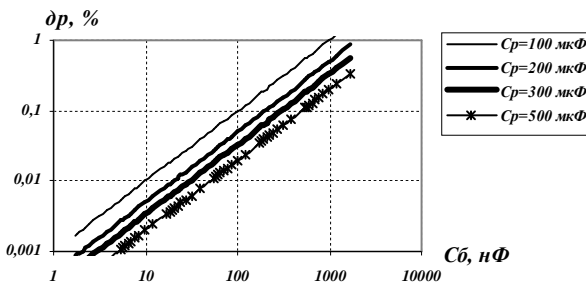


Рис. 4. Зависимость  $\delta_p = f(C_\delta)$  при  $d=101$  мм

Полученные результаты показывают, что влияние разделительной емкости больше всего сказывается при определении ВФХ СПП с большим диаметром структур.

Определено, как на погрешность определения ВФХ сказывается величина паразитной емкости контура подключения ИП к измерительному генератору. Относительная погрешность, вносимая паразитной емкостью, определялась по формуле:

$$\delta_n = \frac{T_n - T_n}{T_n} \cdot 100\% , \quad (4)$$

где  $T_n$  — значение периода генератора при отсутствии паразитной емкости  $C_n$  в схеме измерения;

$T_n = 2\pi\sqrt{(C_\delta + C_n)L}$  — значение периода генератора с учетом паразитной емкости  $C_n$ .

Расчетные зависимости относительной погрешности  $\delta_n$  определения ВФХ от величины паразитной емкости для различных диаметров структур приведены на рис. 5–7.

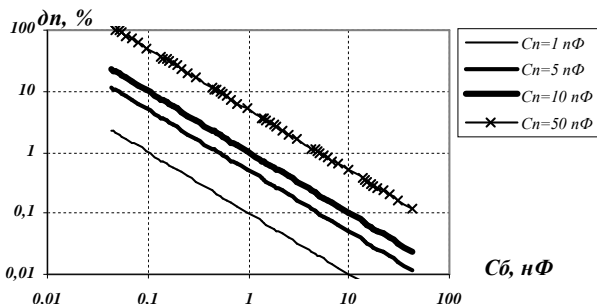


Рис. 5. Зависимость  $\delta_n = f(C_\delta)$  при  $d=16$  мм

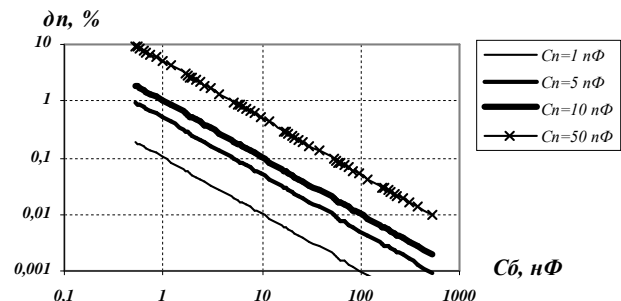


Рис. 6. Зависимость  $\delta_n = f(C_\delta)$  при  $d=56$  мм

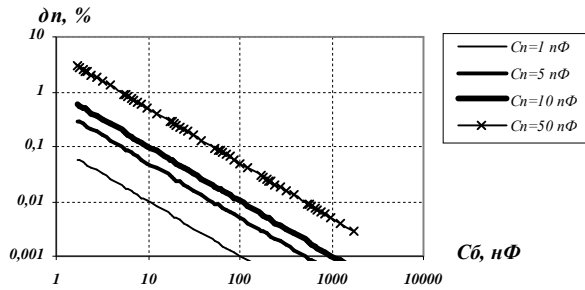


Рис. 7. Зависимость  $\delta_n = f(C_0)$  при  $d=101$  мм

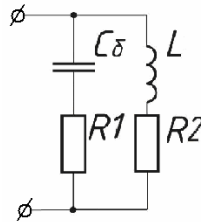


Рис. 8. Колебательный контур с активными паразитными сопротивлениями, где  $R1$  — сопротивление выводов и контактов ИП;  $R2$  — сопротивление катушки индуктивности

$T_{RI(R2)}$  — значение периода колебаний измерительного генератора с учетом паразитных сопротивлений  $RI(R2)$ .  $T_{RI(R2)}$  определяется как

$$T_{RI(R2)} = 2\pi\sqrt{LC_0} \cdot \sqrt{\frac{\rho^2 - R_1^2}{\rho^2 - R_2^2}}, \quad (6)$$

где  $\rho = \sqrt{\frac{L}{C_0}}$  — волновое сопротивление колебательного контура.

Из выражения (6) следует, что при равенстве паразитных активных сопротивлений  $R1$  и  $R2$ , резонанс в измерительном колебательном контуре возникает при той же частоте, что и в контуре без активных потерь.

Из выражения (6) барьерная емкость найдена как

$$C_0 = \frac{R_2^2}{2 \cdot L \cdot R_1^2} \cdot \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 + \frac{L}{2 \cdot R_1^2} - \sqrt{\left(\frac{R_2^2}{2 \cdot L \cdot R_1^2} \cdot \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 + \frac{L}{2 \cdot R_1^2}\right)^2 - \frac{1}{R_1^2} \cdot \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2}. \quad (7)$$

Результаты исследования показаны на рис. 9 и 10.

Из рис. 5–7 видно, что наибольшее влияние паразитной емкости на погрешность определения ВФХ будет оказываться при исследовании СПП с малым диаметром полупроводниковых структур. Это требует при технической реализации метода конструктивной минимизации паразитной емкости.

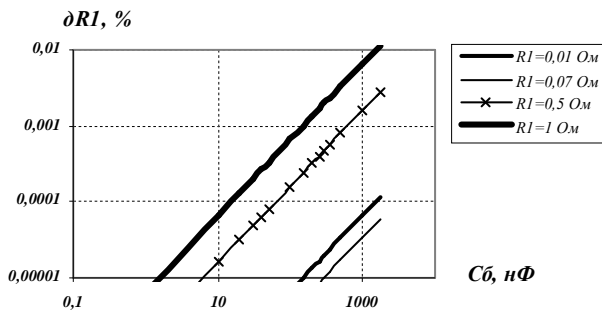
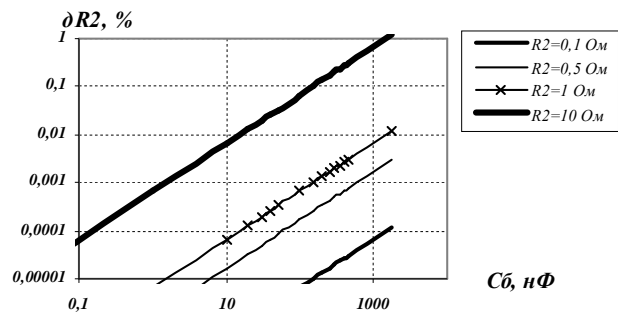
Активные паразитные сопротивления, входящие в колебательный контур, также влияют на период колебаний измерительной схемы. На рис. 8 изображена эквивалентная схема колебательного контура с активными паразитными сопротивлениями.

Погрешность определения ВФХ от величин сопротивлений  $R1$  и  $R2$  определялась по формуле:

$$\delta_{RI(R2)} = \frac{T_{RI(R2)} - T_H}{T_H} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $T_H$  — значение периода генератора при отсутствии  $RI(R2)$  в схеме измерения;

$T_{RI(R2)}$  — значение периода колебаний измерительного генератора с учетом паразитных сопротивлений  $RI(R2)$ .

Рис. 9. Зависимость  $\delta_{R1}=f(C_{\delta})$ Рис. 10. Зависимость  $\delta_{R2}=f(C_{\delta})$ 

Из полученных данных следует, что влияние паразитного сопротивления  $R1$  на точность определения ВФХ незначительно. Паразитное сопротивление  $R2$  оказывает большее влияние, однако, его можно определить заранее и учесть при проведении расчетов.

На погрешность определения ВФХ также будет влиять точность задания рабочей точки напряжения смещения. Переменная составляющая, возникающая на стороне колебательного контура, будет прикладываться к испытываемому СПП и, соответственно, влиять на величину барьерной емкости  $C_{\delta}$ .

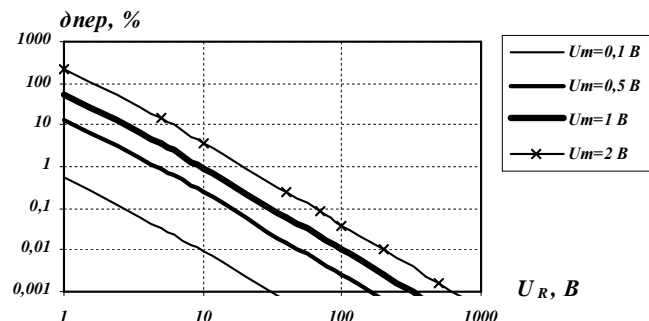
По формуле (8), приведенной в [2], рассчитана погрешность задания рабочей точки напряжения смещения, вносимая амплитудой переменного напряжения измерительного генератора, которое будет прикладываться к испытываемому прибору, как

$$\delta_{пер} = \frac{U_m^2}{(U_R + \varphi_k)^2} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $U_m$  — амплитуда переменного сигнала генератора,  $U_R$  — обратное напряжение смещения,  $\varphi_k$  — контактная разность потенциалов  $p$ - $n$  перехода.

На рис. 11 приведен график, показывающий зависимость  $\delta_{пер}$  от величины смещения при различных значениях амплитуды переменного напряжения.

Согласно [2], точность задания амплитуды напряжения смещения  $U_m$  должна быть не ниже 1,5-2%. Следовательно, измерения необходимо проводить при амплитуде переменного сигнала не больше 2% от  $U_R$ . Также в работе [3] рекомендуется выбирать шаг изменения  $U_R$  в 10 раз больший, чем амплитуда  $U_m$ .

Рис. 11. Зависимость  $\delta_{пер}=f(U_R)$ 

Проведенное исследование показывает, что данные методическое и техническое решения при объективном учете параметров влияющих факторов позволяют определять ВФХ всех основных типов СПП с относительно низкой погрешностью.

#### Литература

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. Полупроводниковые диоды. Параметры, методы измерения / под ред. Н. Н. Горюнова и Ю. Р. Носова. – М. : Советское радио, 1968. – 303 с.
3. Pedersen, M. Measurements of C-V characteristics of different components: a capacitor, a p-n junction, and a MOS circuit. Comparison of different methods of measurements. // Vac. Polyt. Thesis for University of Southern Denmark (SDU), Odense. – 2002. – P. 65.