

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИИ ВЕЛИЧИНЫ ЗАРЯДА ОБРАТНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Беспалов Николай Николаевич, Капитонов Сергей Сергеевич
ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»
Российская Федерация, г. Саранск,

E-mail: ka-mgu@mail.ru , kapss88@mail.ru , тел. +7(834-2) 24-37-05,
430005, г. Саранск, ул. Богдана Хмельницкого, д. 39, каб. 526

Аннотация. В статье рассмотрено влияние на величину заряда обратного восстановления силовых полупроводниковых приборов при их выключении величин параметров их полупроводниковой структуры, таких как время жизни дырок в n -области, и значения температуры полупроводниковой структуры.

Ключевые слова: преобразователь, групповое соединение, силовые полупроводниковые приборы; заряд обратного восстановления; время жизни дырок; температура, полупроводниковая структура.

I. ВВЕДЕНИЕ

В современных мощных преобразователях электрической энергии широко применяется последовательное групповое соединение силовых полупроводниковых приборов (СПП). Номинальные токи подобных преобразователей составляют десятки тысяч ампер, а напряжения – десятки киловольт, поэтому даже при незначительной вариации величин параметров полупроводниковой структуры (ПС) СПП последовательной цепи, общее напряжение распределяется по приборам при их выключении неравномерно. Неравномерное распределение напряжения способно привести к выходу из строя СПП, величина напряжения на которых превысит значение их класса.

Заряд обратного восстановления Q_{rr} СПП при их выключении является одним из параметров ПС, влияющих на распределение напряжения по приборам последовательной цепи при групповом соединении СПП при их выключении. Исследование вариации величины заряда обратного восстановления Q_{rr} позволит оценить возможные пределы изменения Q_{rr} для оптимизации устройств, обеспечивающих защиту СПП последовательной цепи от возможных перенапряжений по напряжению.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Вариация величин заряда обратного восстановления Q_{rr} СПП последовательной цепи при групповом соединении приборов оказывает влияние на распределение напряжения по СПП при их выключении. Причиной вариации величин Q_{rr} является вариация значений параметров ПС СПП, которые оказывают влияние на величину Q_{rr} .

Основными параметрами ПС СПП, оказывающими влияние на величину заряда обратного восстановления Q_{rr} СПП при их выключении, являются время жизни дырок в n -области τ_p и температура ПС T_j .

В работе рассмотрены зависимости величины заряда обратного восстановления Q_{rr} от величин времени жизни дырок в n -области τ_p и температуры ПС T_j и определены возможные пределы изменения Q_{rr} в реальных приборах при их последовательном групповом соединении при вариации величин τ_p и T_j .

III. ТЕОРИЯ

Поскольку вариация величины заряда обратного восстановления Q_{rr} зависит от вариации значений времени жизни дырок в n -области τ_p и температуры ПС T_j , оказывающих влияние на Q_{rr} , то необходимо определить характер влияния указанных параметров на величину Q_{rr} . Заряд обратного восстановления Q_{rr} СПП при его выключении математически

для тока синусоидальной формы описывается следующим выражением [1]:

$$Q_{rr} = 0,5 I_{F(T)m} f \tau_p^2; \quad (1)$$

где $I_{F(T)m}$ – амплитудное значение тока, протекающего через СПП в состоянии высокой проводимости; f – частота питающего напряжения.

В свою очередь величина времени жизни дырок в n -области τ_p зависит от температуры ПС T_j СПП. Зависимость τ_p от T_j описывается выражением [2]:

$$\tau_p = \tau_{p0} \left(\frac{T_j}{T_{j0}} \right)^{1,5}; \quad (2)$$

где τ_{p0} — время жизни дырок в n -области при T_{j0} .

На рис. 1 приведены зависимости τ_p от температуры ПС T_j при различных величинах времени жизни дырок в n -области τ_{p0} при температуре ПС $T_{j0}=25$ °С, равных $\tau_{p01} = 1$ мкс, $\tau_{p02} = 10$ мкс, $\tau_{p03} = 25$ мкс, $\tau_{p04} = 100$ мкс.

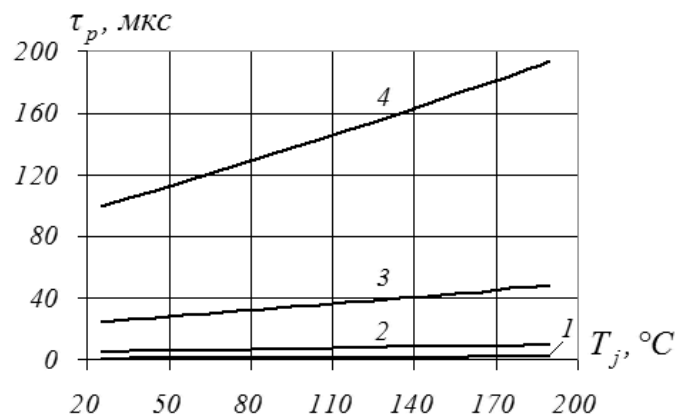


Рис. 1. Зависимости τ_p от температуры ПС T_j при $\tau_{p01} = 1$ мкс (кривая 1), $\tau_{p02} = 10$ мкс (кривая 2), $\tau_{p03} = 25$ мкс (кривая 3), $\tau_{p04} = 100$ мкс (кривая 4).

Из рис. 1 следует, что с увеличением температуры ПС T_j время жизни дырок в n -области τ_p значительно возрастает. Характер изменения τ_p в выбранном диапазоне температур практически линейный.

Подставив (2) в (1) получаем выражение для заряда обратного восстановления Q_{rr} СПП при его выключении, которое приобретает следующий вид:

$$Q_{rr} = 0,5 I_{Fm} f \tau_{p0}^2 \left(\frac{T_j}{T_{j0}} \right)^3. \quad (3)$$

Выражение (3) описывает влияние на величину заряда обратного восстановления Q_{rr} значений времени жизни дырок в n -области τ_p и температуры ПС T_j , что позволило получить зависимости величины Q_{rr} от значений τ_p и T_j .

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Проведено исследование зависимости величины заряда обратного восстановления Q_{rr} от величины времени жизни дырок в n -области τ_p . На рис. 2 представлены результаты исследования данной зависимости при изменении значения τ_{p0} от 1 мкс до 100 мкс, при величине температуры ПС $T_j = 80$ °С, значения $I_{F(T)m}$ и f здесь и далее $I_{F(T)m} = 628$ А, $f = 50$ Гц.

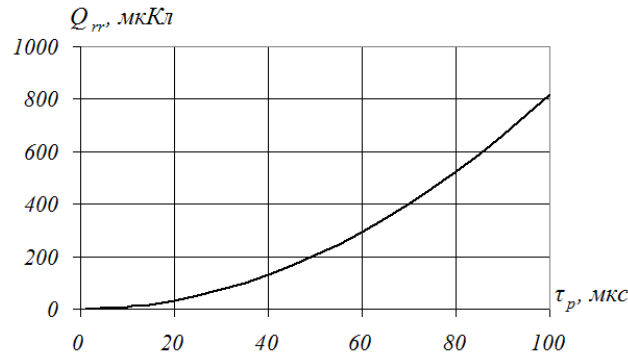


Рис. 2. Зависимость величины заряда обратного восстановления Q_{rr} от величины времени жизни дырок в n -области τ_p .

Исследована зависимость величины заряда обратного восстановления Q_{rr} от величины температуры ПС T_j . На рис. 3 представлены результаты исследования данной зависимости при изменении значения T_j от -40 °С до $+190$ °С, при величине $\tau_{p0} = 25$ мкс.

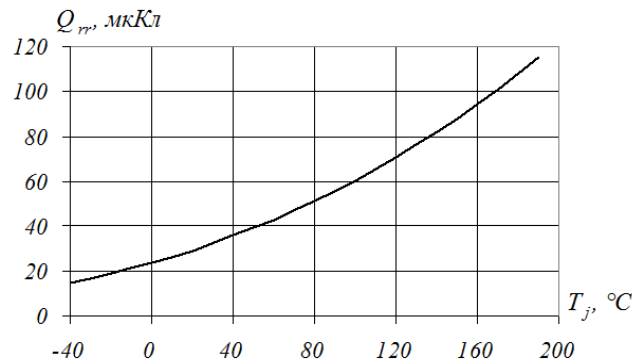


Рис. 3. Зависимость величины заряда обратного восстановления Q_{rr} от величины температуры ПС T_j .

В работе рассмотрено совместное влияние значений времени жизни дырок в n -области τ_p и температуры ПС T_j на величину заряда обратного восстановления Q_{rr} , что позволило определить возможные пределы вариации Q_{rr} . Поскольку технологический разброс величины τ_p не превышает 10%, а из [3] известно, что для низкочастотных СПП величина времени жизни дырок в n -области $\tau_p \approx 25$ мкс, то исследования проводились, соответственно, при $\tau_{p01} = 22,5$ мкс, $\tau_{p02} = 25$ мкс и $\tau_{p03} = 27,5$ мкс. Диапазон изменения величины температуры ПС T_j выбран от -40 °С до $+190$ °С. На рис. 4 представлены результаты исследования зависимости величины заряда обратного восстановления Q_{rr} от величины температуры ПС T_j при различных значениях времени жизни дырок в n -области τ_p .

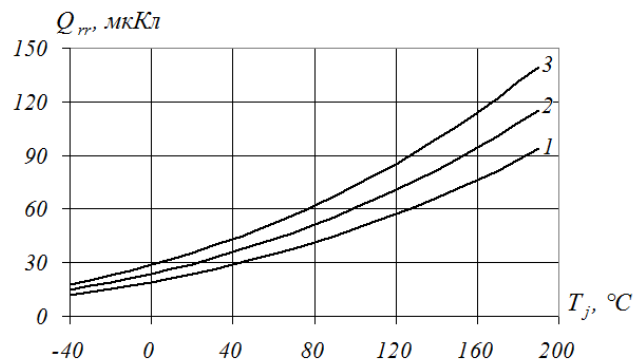


Рис. 4. Зависимость величины заряда обратного восстановления Q_{rr} от величины температуры ПС T_j при значениях времени жизни дырок в n -области $\tau_{p01} = 22,5$ мкс (кривая 1), $\tau_{p02} = 25$ мкс (кривая 2) и $\tau_{p03} = 27,5$ мкс (кривая 3).

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из рис. 2 видно, что зависимость заряда обратного восстановления Q_{rr} от величины времени жизни дырок в n -области τ_p нелинейная и представляет собой параболическую функцию. При наиболее часто применяемых величинах $\tau_p < 40$ мкс [3] значение Q_{rr} не превышает 150 мкКл.

Рис. 3 показывает, что зависимость величины заряда обратного восстановления Q_{rr} от величины температуры ПС T_j нелинейная. С увеличением значения T_j величина Q_{rr} также увеличивается, и при предельно допустимой температуре ПС силовых диодов $T_{jm} = +190$ °C достигает значения $Q_{rr} = 116$ мкКл.

Из рис. 4 видно, что в пределах технологического разброса τ_p при $T_{jm} = 190$ °C, величина Q_{rr} изменяется от 94 мкКл до 140 мкКл, при этом вариация ΔQ_{rr} составляет 46 мкКл. Кроме того в пределах технологического разброса теоретически возможен случай, при котором вариация ΔQ_{rr} достигает величины в 125 мкКл. Этот случай возникает когда берётся разность для точек с $\tau_{p01} = 22,5$ мкс, $T_j = -40$ °C и $\tau_{p03} = 27,5$ мкс, $T_j = +190$ °C.

Из всех представленных результатов видно, что величины времени жизни дырок в n -области τ_p и температуры ПС T_j оказывают существенное влияние на величину заряда обратного восстановления Q_{rr} СПП при их выключении. Максимальная величина вариации Q_{rr} при изменении величины τ_p в пределах технологического разброса и изменении величины T_j от -40 °C до $+190$ °C составляет $\Delta Q_{rr} = 125$ мкКл. Подобная вариация Q_{rr} непременно окажет влияние на распределение напряжения по СПП последовательной цепи при групповом соединении при их выключении.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку возможна существенная вариация величины заряда обратного восстановления Q_{rr} в пределах технологического разброса величин параметров СПП, вызванная, прежде всего, вариацией величины времени жизни дырок в n -области τ_p и температуры ПС T_j , то необходимо при последовательном групповом соединении СПП защитить приборы от возникающих на них перенапряжений по напряжению при их выключении. Защита СПП от перенапряжений может осуществляться с помощью снабберных цепей, либо путём подбора приборов по величинам заряда обратного восстановления Q_{rr} , что позволит уменьшить массогабаритные показатели преобразователя.

Список литературы

1. Евсеев Ю. А., Дерменжи П. Г. Силовые полупроводниковые приборы: Учебник для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 472 с.
2. Беспалов Н. Н. Моделирование характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии высокой проводимости / Н. Н. Беспалов, С. С. Капитонов, Ю. А. Катяев // Электроника и информационные технологии. 2011. Вып. 1 (10). – http://fetmag.mrsu.ru/2011-1/pdf/Characteristics_Power_Semiconductor_Devices.pdf – 04201100067/0005.
3. Кузьмин Н. Н., Дерменжи П. Г., Крюкова В. А. и др. Расчёт силовых полупроводниковых приборов. – М.: Энергия, 1980. – 184 с.

INVESTIGATION OF THE VARIATION OF REVERSE RECOVERY CHARGE VALUES OF POWER SEMICONDUCTOR DEVICES

Bespalov Nikolay Nikolaevich, Kapitonov Sergey Sergeevich
Mordovian N. P. Ogarev state university,
Russian Federation, Saransk city

E-mail: ka-mgu@mail.ru, kapss88@mail.ru, tel.: +7(834-2) 24-37-05,
39, Bohdan Khmelnytsky street, room 526, 433005, Saransk, Mordovia, Russia

Annotation. In this paper we consider the influence on the reverse recovery charge of power semiconductor devices of semiconductor structure parameters values, such as the lifetime of holes in n-type region, and the semiconductor structure temperature, when devices are turned off.

Key words: power converter, group connection, power semi-conductor devices; reverse recovery charge; lifetime of holes; temperature; semiconductor structure.



Беспалов Николай Николаевич
Россия, РМ, г. Саранск
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва
E-mail: ka-mgu@mail.ru
Тел. +7(834-2) 24-37-05

Окончил радиотехнический факультет Новосибирского электротехнического института (1974). Кандидат технических наук (2000). Заведующий кафедрой автоматики (с 2003 г. по настоящее время).

Область научных интересов: разработка методов и аппаратуры для испытания силовых полупроводниковых приборов и определения их параметров и характеристик; разработка методов и аппаратуры для ионизации воздушной среды.



Капитонов Сергей Сергеевич
Россия, РМ, г. Саранск
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва
E-mail: kapss88@mail.ru.
Тел. +7(834-2) 24-37-05

Окончил факультет электронной техники Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва (2010). Аспирант кафедры автоматики факультета электронной техники Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва.

Область научных интересов: разработка методов и аппаратуры для испытания силовых полупроводниковых приборов и определения их параметров и характеристик; разработка методов и аппаратуры для ионизации воздушной среды.