

Влияние протонного облучения на свойства высоковольтных интегрированных 4H-SiC диодов Шоттки в рабочем диапазоне температур

© А.А. Лебедев¹, В.В. Козловский², М.Е. Левинштейн¹, Д.А. Малевский¹, Г.А. Оганесян¹

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
195251 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: Shura.Lebe@mail.ioffe.ru

Поступила в Редакцию 21 декабря 2022 г.

В окончательной редакции 16 января 2023 г.

Принята к публикации 16 января 2023 г.

Влияние протонного облучения (энергия протонов 15 МэВ) на параметры высоковольтных 4H-SiC интегрированных (JBS) диодов Шоттки впервые исследовано в диапазоне рабочих температур T_i (23 и 175°C). Блокирующее напряжение исследованных диодов, U_b составляло 600 и 1700 В. Для приборов с $U_b = 600$ В диапазон флюенсов Φ составлял $5 \cdot 10^{13} - 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$; для приборов с $U_b = 1700$ В величина Φ составила и $3 \cdot 10^{13} - 6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$. Увеличение температуры облучения приводит к заметному уменьшению влияния облучения на вольт-амперные характеристики диодов. Исследовано влияние отжига на вольт-амперные характеристики облученных приборов.

Ключевые слова: карбид кремния, диоды Шоттки, протонное облучение, отжиг, вольт-амперные характеристики.

DOI: 10.21883/FTP.2023.01.54930.4475

1. Введение

Мощные высоковольтные карбид кремниевые интегрированные диоды Шоттки на основе 4H-SiC (4H-SiC junction barrier Schottky diodes, JBS) с каждым годом играют все более важную роль в таких применениях, как автомобильная и космическая электроника, оборудование ядерных электростанций, источники питания, конверторы солнечных батарей и т.д. Влияние облучения протонами на свойства этих приборов исследовалось в целом ряде работ (см., например, [1–6] и ссылки в этих работах). Диапазон энергий протонов, использовавшихся при облучении, лежал в диапазоне 100 кэВ — 62.5 МэВ, значения флюенсов Φ лежали в пределах $5 \cdot 10^7 - 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

Подавляющее число работ выполнено при облучении, проводившемся при комнатной температуре. В работе [5] максимальная температура облучения T_i составляла 500°C. Показано, что с ростом T_i радиационная стойкость приборов монотонно возрастает. Установлено, что спектр дефектов, возникающих в SiC при высокотемпературном („горячем“) облучении существенно отличается от спектра дефектов, вводимых при облучении при комнатной температуре. В работе [6] исследовалось облучение протонами в диапазоне температур T_i 100–400 К. Изучение особенностей, возникающих при облучении протонами при пониженных температурах, представляет значительный интерес как с точки зрения фундаментальных вопросов дефектообразования, так и для понимания особенностей работы

приборов на околоземных орбитах и в космическом пространстве.

С практической точки зрения, однако, наибольший интерес представляет исследование влияния облучения в диапазоне температур от комнатной до предельно допустимой для высоковольтных диодов Шоттки рабочей температуры (175°C) [7,8]. В этом температурном диапазоне работает подавляющее большинство используемых на практике диодов [9].

В настоящей работе влияние облучения протонами с энергией 15 МэВ на параметры высоковольтных 4H-SiC JBS исследовано для температуры облучения $T_i = 23^\circ\text{C}$ и предельной рабочей температуры $T_i = 175^\circ\text{C}$.

2. Условия эксперимента

JBS структуры с блокирующим напряжением $U_b = 1700$ В (CPW3-1700SO10) и $U_b = 600$ В (GW3-S06010) облучались протонами с энергией 15 МэВ на циклотроне MGTs-20 [10]. Исходная концентрация некомпенсированной примеси $(N_d - N_a)$ в n -базе диодов с $U_b = 1700$ В составляла $3.4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Значение $(N_d - N_a)$ в базе диодов с $U_b = 600$ В равнялось 10^{16} см^{-3} . При малых прямых смещениях в области экспоненциальной прямой вольт-амперной характеристики оба типа диодов характеризовались близкой к идеальной вольт-амперной характеристикой $I = I_0 \exp(qU/\beta kT)$ [4,5] со значением коэффициента идеальности $\beta = 1.02 - 1.05$. При малых обратных смещениях ток утечки составлял $\sim 10^{-12} - 10^{-11}$ А

(здесь q — элементарный заряд, k — постоянная Больцмана).

Образцы облучались в импульсном режиме с частотой следования импульсов 100 Гц при длительности импульсов 2.5 мс. Плотность тока пучка протонов составляла 10–100 нА/см². Во время облучения температура поддерживалась с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$. Длина пробега протонов с энергией 15 МэВ (рассчитанная с помощью программы SRIM [11]) составляла 1 мм. При длине базы диодов $L \leq 10$ мкм распределение вводимых облучением дефектов однородно с очень высокой точностью.

Отжиг облученных структур проводился в атмосфере сухого азота при температурах 200 и 300 $^\circ\text{C}$ в течение 60 мин.

Вольт-амперные характеристики диодов до и после облучения, и после отжига измерялись при комнатной температуре в режиме одиночных импульсов, обеспечивающих изотермический характер измерений.

3. Результаты и обсуждение

На рис. 1 показаны прямые вольт-амперные (I – V) характеристики образца с блокирующим напряжением 1700 В (CPW3-1700SO10) в области прямых напряжений, превышающих „напряжение отсечки“, т. е. в условиях, когда подавляющая часть приложенного напряжения падает на базе диода. При относительно небольших прямых смещениях, в области экспоненциальной зависимости тока от напряжения, ни электронное, ни протонное облучение не оказывает заметного влияния на параметры прямых вольт-амперных характеристик [12,13].

В необлученном диоде (кривая 1) измеренное значение дифференциального сопротивления базы $R_d = 0.092$ Ом очень хорошо согласуется с данными изготовителя [8]. После облучения флюенсом $\Phi = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ при комнатной температуре (23 $^\circ\text{C}$) сопротивление R_d возросло до значения $R_d = 0.81$ Ом. При одинаковой величине подвижности в исходном и облученном диодах [14] концентрация электронов в облученном диоде уменьшилась в ~ 8.8 раза. Скорость удаления электронов (removal rate) из базы диода вследствие генерации акцепторных центров [5,12], η_e составляет $\eta_e = (n_0 - n)/\Phi \approx 100 \text{ см}^{-1}$ (n_0 — концентрация электронов в необлученном диоде, n — концентрация после облучения.) Полученное значение η_e разумно согласуется с ранее полученными результатами [13,15].

Облучение диодов той же дозой при предельной рабочей температуре 175 $^\circ\text{C}$ заметно снижает величину η_e (кривая 3). После облучения флюенсом $\Phi = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ при $T_i = 175^\circ\text{C}$ величина дифференциального сопротивления составила $R_d = 0.37$ Ом, т. е. уменьшилась в ~ 2 раза по сравнению со случаем, когда облучение проводится при комнатной температуре. Скорость удаления электронов в этом случае составляет $\eta_e \approx 85 \text{ см}^{-1}$.

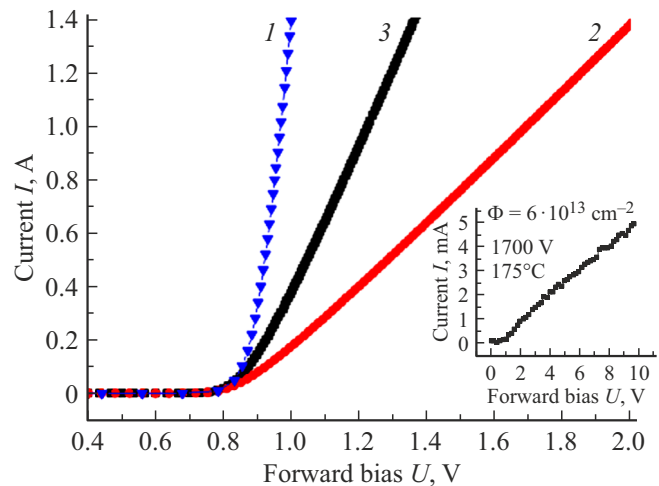


Рис. 1. Прямые вольт-амперные характеристики диода с блокирующим напряжением 1700 В. 1 — исходная I – V -характеристика необлученного диода, 2 — I – V -характеристика после облучения протонами флюенсом $\Phi = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ при комнатной температуре ($T_i = 23^\circ\text{C}$), 3 — то же после облучения тем же флюенсом при температуре $T_i = 175^\circ\text{C}$. На вставке показана вольт-амперная характеристика диода после облучения флюенсом $\Phi = 6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ при $T_i = 175^\circ\text{C}$.

При облучении при 175 $^\circ\text{C}$ ($\eta_e = 85 \text{ см}^{-1}$) концентрация электронов n формально становится равной нулю при значении флюенса $\Phi_0 = n_0/\eta_e \approx 4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$. Физически это означает, что при $\Phi > \Phi_0$ суммарная концентрация введенных облучением акцепторных уровней превышает исходную концентрацию электронов n_0 . В этом случае с дальнейшим увеличением Φ сопротивление возрастает значительно более резко, чем в области линейного спада зависимости $n(\Phi)$ [4,5].

На вставке к рис. 1 показана I – V -характеристика диода после облучения диода при $T_i = 175^\circ\text{C}$ флюенсом $\Phi > \Phi_0 = 6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$. В этом случае дифференциальное сопротивление базы R_d равняется 1850 Ом, т. е. возрастает в $\approx 5 \cdot 10^3$ раз при двукратном увеличении дозы.

На рис. 2 представлены результаты, полученные при отжиге облученных диодов с $U_b = 1700$ В.

Кривые 1 и 2 на рис. 2 совпадают с соответствующими кривыми рис. 1. Видно, что отжиг в течение 60 мин при температуре $T_a = 200^\circ\text{C}$ (кривая 3) несколько уменьшает дифференциальное сопротивление диода, облученного при комнатной температуре (от значения $R_d = 0.81$ Ом до $R_d = 0.59$ Ом). Последующий отжиг в течение 60 мин при $T_a = 300^\circ\text{C}$ уменьшает величину R_d до значения $R_d = 0.41$ Ом (кривая 4). Однако и после такого двукратного отжига величина R_d оказывается все же больше, чем значение R_d после облучения при $T_i = 175^\circ\text{C}$ ($R_d = 0.35$ Ом, кривая 5). Такой результат представляется вполне объяснимым: полный отжиг дефектов, генерируемых протонным облучением, происходит при температурах порядка 1800–2100 К (см., напри-

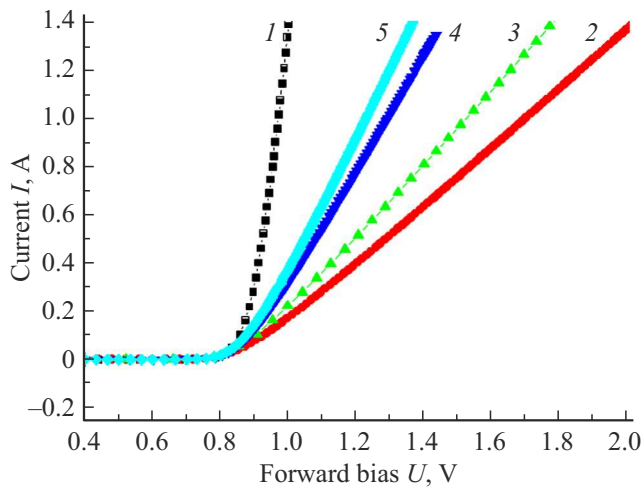


Рис. 2. Прямые вольт-амперные характеристики диода с блокирующим напряжением 1700 В. 1 — исходная I - V -характеристика необлученного диода, 2 — I - V -характеристика после облучения протонами флюенсом $\Phi = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ при комнатной температуре (23°C), 3 — после последующего отжига в атмосфере сухого азота в течение 60 мин при 200°C , 4 — после повторного отжига в течение 1 ч при 300°C , 5 — вольт-амперная характеристика диода после облучения флюенсом $\Phi = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ при $T_i = 175^\circ\text{C}$ и двух последовательных отжигов в течение 1 ч при температурах 200 и 300°C .

мер, [16]). С другой стороны, часть дефектов отжигается уже при температурах 500–650 К (200 – 350°C) [16].

При отжиге структур, облученных при $T_i = 175^\circ\text{C}$ дозой $\Phi > \Phi_0$, т.е. приводящей к „полной компенсации“ (см. вставку на рис. 1), сколько-нибудь эффективно восстановления дифференциального сопротивления не наблюдается. Такая ситуация аналогична результату, полученному при облучении 1700 В диодов при комнатной температуре электронами [17]

Двукратный отжиг диода, облученного при $T_i = 175^\circ\text{C}$ в течение часа последовательно при температурах 200 и 300°C (кривая 5), не оказывает практически никакого влияния на величину дифференциального сопротивления базы.

На рис. 3 показаны прямые I - V -характеристики в области прямых напряжений для образца с блокирующим напряжением 600 В (GW3-S06010).

Измеренное значение дифференциального сопротивления базы необлученного диода $R_d = 0.05 \text{ Ом}$. После облучения при комнатной температуре флюенсом $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ (кривая 2) значение R_d составило 0.12 Ом. Облучение при комнатной температуре флюенсом $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ приводит к росту значения R_d до значения $R_d = 2.29 \text{ Ом}$. Считая, как и прежде, подвижность постоянной, получаем при $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ для скорости удаления электронов $\eta_e = (n_0 - n)/\Phi$ величину $\eta_e \approx 110 \text{ см}^{-1}$, близкую к значению, полученному для 1700 В диодов.

При $\eta_e \approx 110 \text{ см}^{-1}$ и исходной концентрации носителей в необлученном диоде $n_0 = 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ концентрация электронов в базе n формально становится равной нулю при $\Phi_0 = n_0/\eta_e \approx 9 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$. Эта величина очень близка к значению $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, которому соответствует кривая 3 рис. 3. Экспериментально измеренное значение n при $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ меньше исходного значения n_0 в ~ 46 раз. Расхождение между рассчитанным и оцениваемым из эксперимента значениями Φ_0 составляет $\sim 10\%$ и может объясняться как неточностью в оценке экспериментального значения Φ , так и „выползанием“ зависимости $n(\Phi)$ при приближении к „пороговому“ значению Φ_0 . Возможные механизмы такого выполнения применительно к электронному облучению рассмотрены в [19].

Облучение при $T_i = 175^\circ\text{C}$ флюенсом $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ (кривая 4) приводит к возрастанию дифференциального сопротивления до значения $R_d = 0.09 \text{ Ом}$; после облучения флюенсом $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ величина R_d составила 0.24 Ом (кривая 5). Таким значениям R_d соответствуют скорости удаления электронов $\eta_e = (n_0 - n)/\Phi \approx 90 \text{ см}^{-1}$ для $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ и $\eta_e \approx 80$ для $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Исходя из полученных значений η_e следует считать, что условие „полной компенсации“, т.е. ситуации, когда концентрация электронов n в базе формально становится равной нулю, реализуется для $T_i = 175^\circ\text{C}$ при $\Phi_0 = n_0/\eta_e \approx 1.25 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

На рис. 4 представлены результаты отжига 600 В диодов, облученных дозами $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ и $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ (см. вставку).

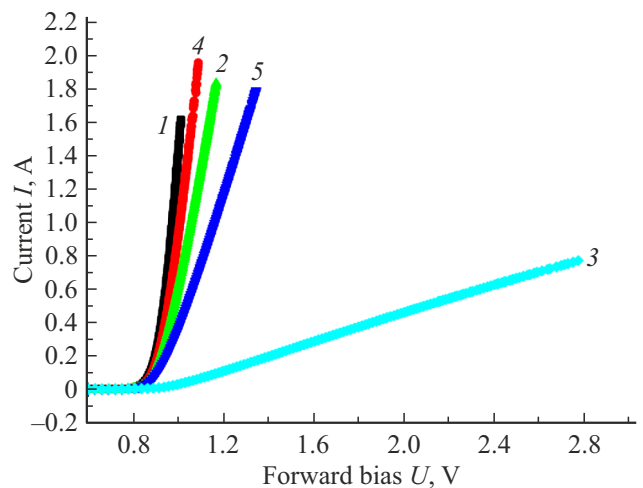


Рис. 3. Прямые вольт-амперные характеристики диода с блокирующим напряжением 600 В. 1 — исходная I - V -характеристика необлученного диода, 2 — I - V -характеристика после облучения протонами флюенсом $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ при $T_i = 23^\circ\text{C}$, 3 — то же после облучения при той же температуре флюенсом $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, 4 — после облучения флюенсом $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ при $T_i = 175^\circ\text{C}$, 5 — после облучения флюенсом $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ при 175°C .

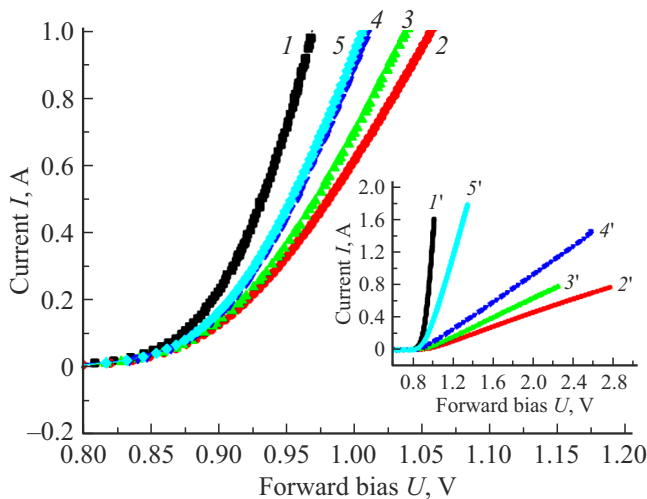


Рис. 4. Прямые вольт-амперные характеристики диода с блокирующим напряжением 600 В после облучения дозой $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ и последующего отжига. 1 — исходная I - V -характеристика необлученного диода, 2 — I - V -характеристика после облучения при $T_i = 23^\circ\text{C}$, 3 — после последующего отжига в атмосфере сухого азота в течение 60 мин при 200°C , 4 — после повторного отжига в течение 1 ч при 300°C , 5 — после облучения при $T_i = 175^\circ\text{C}$ и двух последовательных отжигов в течение 1 ч при температурах 200 и 300°C . На вставке представлены данные для диода, облученного дозой $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. 1' — исходная I - V -характеристика необлученного диода, 2' — I - V -характеристика после облучения при $T_i = 23^\circ\text{C}$, 3' — после последующего отжига (60 мин при 200°C), 4' — после повторного отжига (60 мин при 300°C), 5' — после облучения при $T_i = 175^\circ\text{C}$ и двух последовательных отжигов в течение 60 мин при температурах 200 и 300°C .

Кривые 1 и 2 на рис. 4 совпадают с соответствующими кривыми рис. 3. Отжиг после облучения при комнатной температуре в течение 60 мин при температуре 200°C лишь незначительно снижает дифференциальное сопротивление (кривая 3). Однако после последующего отжига при 300°C (кривая 4) вольт-амперная характеристика с очень хорошей точностью совпадает с I - V -характеристикой диода, облученного при температуре $T_i = 175^\circ\text{C}$ (кривая 5). Сравнивая данные, приведенные на рис. 2 и 4, легко убедиться, что отжиг при температуре 300°C для 600 В диодов оказывается более эффективным, чем для диодов с блокирующим напряжением 1700 В.

Следует заметить, что превышение температуры отжига до значений, заметно превышающих 300°C , по-видимому, нецелесообразно. Нагрев до температур, превышающих 370°C , ведет к разгонке и частичному выплавлению металла (Ni) в поверхность карбида кремния [19].

Облучение диода при температуре $T_i = 175^\circ\text{C}$ значительно уменьшает скорость удаления электронов по сравнению с облучением той же дозой при комнатной температуре (ср. кривые 2 и 5 рис. 4). Однако последующие отжиги, в отличие от случая облучения

при комнатной температуре, практически не влияют на вольт-амперную характеристику диода, облученного при $T_i = 175^\circ\text{C}$.

На вставке к рис. 4 показаны результаты отжига 600 В диодов, облученных дозой $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. При сравнении данных, приведенных на рис. 4 и вставке, прежде всего следует отметить, что результаты отжига структур, облученных дозами $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ и $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, кардинально отличаются.

После облучения дозой $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ и двукратного отжига в течение 60 мин последовательно при 200 и 300°C I - V -характеристика диода с хорошей точностью совпадает с вольт-амперной характеристикой диода, облученного той же дозой при $T_i = 175^\circ\text{C}$ (рис. 4). Дифференциальное сопротивление базы, R_d , после такого двукратного отжига составляет 0.12 Ом и превышает величину R_d в необлученной структуре в ~ 2.4 раза.

При $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ и после такого же двукратного отжига величина R_d на порядок больше и равняется ~ 1.15 Ом (кривая 4' на вставке). Это значение в ~ 5 раз превышает значение R_d после облучения той же дозой при $T_i = 175^\circ\text{C}$ и в ~ 23 раза больше, чем сопротивление R_d необлученной структуры (рис. 4).

Такой результат служит убедительной иллюстрацией весьма сильной зависимости результатов отжига в зависимости от дозы облучения. Эффективность отжига заметно снижается даже при дозах Φ_0 , несколько меньших, но достаточно близких к порогу компенсации.

4. Заключение

Исследовано влияние облучения протонами (с энергией 15 МэВ) на параметры высоковольтных (блокирующее напряжение, U_b , 600 и 1700 В) 4H-SiC диодов Шоттки в рабочем диапазоне температур (23 и 175°C). Радиационная стойкость приборов возрастает с ростом температуры облучения. При относительно небольших значениях флюенсов Φ ($3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$) для приборов с $U_b = 1700$ В и $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ для диодов с $U_b = 600$ В даже относительно кратковременный (60 мин) отжиг при температуре 300°C после облучения позволяет существенно уменьшить дифференциальное сопротивление базы диодов R_d . При относительно больших значениях Φ , превышающих или даже несколько меньших, чем величина Φ_0 , соответствующая случаю, когда концентрация электронов в базе диода формально становится равной нулю, влияние отжига становится практически несущественным.

Финансирование работы

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РНФ № 22-12-00003.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] S. Nigam, J. Kim, F. Ren, G.Y. Chung, M.F. MacMillan, R. Dwivedi, T.N. Fogarty, R. Wilkins, K.K. Allums, C.R. Abernathy, S.J. Pearton, J.R. Williams. Appl. Phys. Lett., **81**, 2385 (2002).
- [2] Zh. Luo, T. Chen, J.D. Cressler, D.C. Sheridan, J.R. Williams, R.A. Reed, P.W. Marshall. IEEE Trans. Nucl. Sci., **50** (6), 1821 (2003).
- [3] A. Castaldini, A. Cavallini, L. Rigutti. J. Appl. Phys., **98**, 053706 (2005).
- [4] V.V. Kozlovski, A.A. Lebedev, M.E. Levinshtein, S.L. Rumyantsev, J.W. Palmour. J. Appl. Phys., **123**, 024502 (2018).
- [5] A.A. Lebedev, V.V. Kozlovski, M.E. Levinshtein, A.E. Ivanov, K.S. Davydovskaya. Solid-State Electron., **181–182**, 08009 (2021).
- [6] L. Zhao, Y. Tang, Yun Bai, M. Qiu, Zh. Wu, Yu Yang, C. Yang, X. Tian, X. Liu. Electronics, **11**, 1341 (2022). <https://doi.org/10.3390/electronics11091341>
- [7] <https://datasheetpdf.com/datasheet/CPW3-0600S002>
- [8] <https://datasheetpdf.com/datasheet/CPW3-1700S010>
- [9] Sh. Ji, Zh. Zhang, Fei Wang. CES Trans. Electric. Machines and Systems, **1**, 254 (2017).
- [10] L.F. Zakharenkov, V.V. Kozlovski, B.A. Shustrov. Phys. Status Solidi A, **117**, 85 (1990).
- [11] J.F. Ziegler, J.P. Biersack, U. Littmark. *The Stopping and Range of Ions in Matter* (Pergamon Press, N.Y., 1985).
- [12] P. Hazdra, J. Vobecký. Phys. Status Solidi A, **216**, 1900312 (2019).
- [13] A.A. Lebedev, V.V. Kozlovski, K.S. Davydovskaya, M.E. Levinshtein. Materials, **14**, 4976 (2021). <https://doi.org/10.3390/ma14174976>
- [14] M.E. Levinshtein, S.L. Rumyantsev, M.S. Shur (eds). *Properties of Advanced Semiconductor Materials: GaN, AlN, InN, BN, SiC, SiGe* (John Wiley & Sons Inc. N.Y., 2001).
- [15] V.V. Emtsev, A.M. Ivanov, V.V. Kozlovski, A.A. Lebedev, G.A. Oganessian, N.B. Strokan, G. Wagner. ФТП, **46**, 473 (2012).
- [16] A.A. Lebedev, A.I. Veinger, D.V. Davydov, V.V. Kozlovski, N.S. Savkina, A.M. Strel'chuk. J. Appl. Phys., **88**, 6262 (2000).
- [17] A.A. Лебедев, В.В. Козловский, М.Е. Левинштейн, Д.А. Малевский, Г.А. Оганесян, А.М. Стрельчук, К.С. Давыдовская. ФТП, **56** (4), 441 (2022).
- [18] V.V. Kozlovski, A.A. Lebedev, E.V. Bogdanova. J. Appl. Phys., **117**, 155702 (2015).
- [19] R. Karsthof, M.E. Batten, A. Galeckas, L. Vines. Phys. Rev. B, **102**, 18411 (2020). <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.102.184111>

Редактор Г.А. Оганесян

Effect of proton irradiation on the properties of high-voltage integrated 4H-SiC Schottky diodes at operating temperatures

A.A. Lebedev¹, V.V. Kozlovski², M.E. Levinshtein¹, D.A. Malevsky¹, G.A. Oganessian¹

¹ Ioffe Institute,

194021 St. Petersburg, Russia

² Department of Experimental Physics,

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

195251 St. Petersburg, Russia

Abstract The effect of proton irradiation (proton energy 15 MeV) on the parameters of high-voltage 4H-SiC integrated Schottky diodes (JBS) was studied for the first time in the operating temperature range T_i (23 and 175°C). The blocking voltage of the diodes under study, U_b , was 600 and 1700 V. For devices with $U_b = 600$ V, the fluence range was $5 \cdot 10^{13} - 1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$; for devices with $U_b = 1700$ V, the fluence range was $3 \cdot 10^{13} - 6 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$. An increase in the irradiation temperature leads to a noticeable decrease in the effect of irradiation on the current-voltage characteristics of the diodes. The effect of annealing on the current-voltage characteristics of irradiated devices is studied.