

УДК 621.382

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ НА ПАРАМЕТРЫ ДИОДОВ ГЕНЕРАТОРОВ ШУМА

Буслюк В.В.^{1,2}, Дереченник С.С.¹, Оджаев В.Б.³, Просолович В.С.³, Ластовский С.Б.⁴,
Нерода И.Ю.², Федосюк Д.Н.², Черный В.В.⁵, Янковский Ю.Н.³

¹УО «Брестский государственный технический университет»

²ОАО «Цветотрон»

Брест, Республика Беларусь

³Белорусский государственный университет

⁴НПЦ по материаловедению НАНБ

⁵УО «Белорусский национальный технический университет»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Исследованы изменения электрофизических параметров кремниевых диодов-генераторов шума ND103L, при облучении быстрыми электронами с энергией 5 МэВ дозами $3 \cdot 10^{13}$ – $1 \cdot 10^{15}$ см⁻². Установлено, что величины обратных токов при всех значениях обратного напряжения существенно возрастают в процессе облучения. Эффективное напряжение шума и спектральная плотность напряжения шума в процессе облучения возрастают до доз $5 \cdot 10^{13}$ и $3 \cdot 10^{13}$ см⁻², соответственно. При дальнейшем увеличении потока электронов оба параметра уменьшаются. Облучение приводит также к значительному росту граничной частоты шумового сигнала и падению спектральной плотности напряжения шума в этой полосе частот. Результаты объясняются модификацией микроплазм радиационными дефектами.

Ключевые слова: диоды генераторы шума, быстрые электроны, электрофизические параметры, микроплазмы.

EFFECT OF FAST ELECTRON IRRADIATION ON THE PARAMETERS OF NOISE GENERATOR DIODES

Buslyuk V.V.^{1,2}, Derechennik S.S.¹, Odzaev V.B.³, Prosolovich V.S.³, Lastovski S.B.⁴,
Neroda I.Yu.², Fedosuyk D.N.², Chernyi V.V.⁵, Yankouski Yu.N.³

¹National Technical University of Brest

²JSC "Tsvetotron"

Brest, Republic of Belarus

³Belarusian State University

⁴Scientific-Practical Materials Research Centre, NAS of Belarus

⁵Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Changes in the electrophysical parameters of ND103L silicon noise generator diodes have been studied when irradiated with fast electrons with an energy of 5 MeV doses $3 \cdot 10^{13}$ – $1 \cdot 10^{15}$ cm⁻². It is established that the values of reverse currents at all values of reverse voltage increase significantly in the irradiation process. The effective noise voltage and the spectral density of the noise voltage during irradiation increase to doses of $5 \cdot 10^{13}$ and $3 \cdot 10^{13}$ cm⁻², respectively. With a further increase in the electron flow, both parameters decrease. Irradiation also leads to a significant increase in the boundary frequency of the noise signal and a drop in the spectral density of the noise voltage in this frequency band. The results are explained by the modification of microplasmas by radiation defects.

Key words: diodes noise generators, fast electrons, electrophysical parameters, microplasmas.

Адрес для переписки: Просолович В.С., пр. Независимости, 4, г. Минск, 220050, Республика Беларусь
e-mail: prosolovich@bsu.by

В качестве источников шума используются полупроводниковые диоды, генерирующие широкополосный шум с высокой спектральной плотностью в режиме обратного смещения. Причинами шума являются микроплазменные образования в области пространственного заряда (ОПЗ) диодов, зависящие от неоднородностей структуры, дефектов [1]. Ранее было показано, что подбором соответствующих режимов отжига диодов и среды его проведения может быть обеспечена стабилизация остаточных точечных дефектов на финишных этапах изготовления приборов и оптимизация их эксплуатационных

характеристик [2]. Модификация дефектно-примесного ансамбля полупроводниковых структур может быть достигнута также при высокоэнергетических внешних воздействиях. С этой целью было исследовано изменение электрофизических параметров диодов генераторов шума при облучении электронами с энергией 5 МэВ.

Диоды генераторы шума ND103L изготавливались по планарной диффузионной технологии на основе монокристаллического кремния *p*-типа, $\rho = 0,03$ Ом·см, ориентацией (111). Глубина *p-n*-перехода, сформированного диффузией, фосфора составляла ~ 6 мкм. Измерения вольт-амперных и

вольтфарадных характеристик (ВАХ и ВФХ) производились с помощью измерителя параметров полупроводниковых приборов *Agilent B1500A* и зондовой станции *Cascade Summit11000* в интервале температур $-60-125$ °С. Облучение электронами с энергией 5 МэВ выполнялось дозами (Φ) $3 \cdot 10^{13}-1 \cdot 10^{15}$ см⁻². Измерения шумовых характеристик осуществлялись на автоматизированном комплексе измерения электрических параметров шумовых диодов АКЖД.

Установлено, что зависимость емкости от приложенного обратного смещения имеет вид $1/C^3 \sim U_{обр}$ и характерна для плавного *p-n*-перехода [3]. Измерения ВАХ при показали, что для всех диодов обратные ветви имеют активационный характер. При построении их в двойном логарифмическом масштабе имеет место наличие двух областей (рисунок 1).

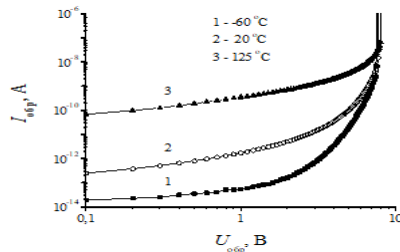


Рисунок 1 – Типичные обратные ВАХ *p-n*-переходов при различных температурах измерений

При $U < 2$ В ток практически не зависит от напряжения, что свидетельствует о преобладании в данной области диффузионного тока. При $U > 2$ В наблюдается степенная зависимость тока от напряжения $I_{обр} \sim U^n$ [3] с $n > 1$, что свидетельствует о высокой концентрации рекомбинационно-генерационных центров и их неоднородном распределении.

Таблица 1. Изменение величин обратных токов диодов при различных обратных напряжениях ($U_{обр}$) после облучения быстрыми электронами

$\Phi \cdot 10^{13}, \text{см}^{-2}$	0	3	5	10	50	100
$I_{обр} = 10^{11}, \text{A}$ ($U_{обр} = 4 \text{ В}$)	0,89	1,76	1,88	2,57	5,73	7,65
$I_{обр} = 10^{11}, \text{A}$ ($U_{обр} = 5 \text{ В}$)	1,48	3,14	3,28	4,80	13,3	18,9
$I_{обр} = 10^{11}, \text{A}$ ($U_{обр} = 6 \text{ В}$)	2,60	6,21	7,15	1,1	33,4	49,7
$I_{обр} = 10^{11}, \text{A}$ ($U_{обр} = 8 \text{ В}$)	11,6	33,0	43,1	59,2	237	366
$U_{пр}, \text{В}$	8,99	8,63	8,62	8,64	8,63	8,61

После облучения электронами ВФХ исследуемых приборов практически не изменялись, т. е. размеры области пространственного заряда вблизи металлургической границы *p-n*-перехода существенно не изменялись. Однако, величины обратных токов при всех значениях обратного напряжения существенно возрастали в процессе облучения (таблица 1).

Это связано с образованием при облучении радиационных дефектов, являющихся глубокими генерационно-рекомбинационными центрами, что и обуславливает увеличение обратного тока. Происходит также закономерное снижение величины напряжения пробоя ($U_{пр}$). Изменение шумовых характеристик диодов приведено в таблице 2, где $U_{эфф}$ – эффективное напряжения шума S_U – спектральная плотность напряжения шума (СПНШ), δS_U – неравномерность СПНШ при токе 50 мкА, $f_{гр}$ – граничная частота шумового сигнала при токе 50 мкА. Из таблицы 2 видно, что эффективное напряжения шума и спектральная плотность напряжения шума в процессе облучения возрастают до доз $5 \cdot 10^{13}$ и $3 \cdot 10^{13}$ см⁻², соответственно. При дальнейшем увеличении потока электронов оба параметра уменьшаются.

Таблица 2. Изменение шумовых характеристик диодов после облучения быстрыми электронами

$\Phi \cdot 10^{13}, \text{см}^{-2}$	0	3	5	10	50	100
$U_{эфф}, \text{мВ}$	227	331	379	325	178	148
$S_U, \text{мкВ} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$	121	181	151	144	60	45
$\delta S_U, \text{дБ}$	1,59	1,61	1,65	1,67	1,73	1,73
$f_{гр}, \text{МГц}$	4,1	5,2	6,0	6,2	11,2	13,3

Микроплазменные образования в области пространственного заряда *p-n*-перехода, расположенные на неоднородностях структуры и различного вида дефектах являются основными причинами возникновения шума. Генерируемые при облучении быстрыми электронами радиационные дефекты могут коагулировать на микроплазмах, увеличивая неоднородность потенциального рельефа, что приводит к расширению области шумовых частот, увеличению $U_{эфф}$ и S_U на начальных дозах облучения. При дальнейшем росте дозы концентрация радиационных дефектов, формирующих глубокие уровни в запрещенной зоне, возрастает, что приводит к уменьшению времени жизни неравновесных носителей заряда вследствие увеличения вероятности их рекомбинации на глубоких уровнях. Это обуславливает с одной стороны увеличение обратного тока диодов, а с другой стороны уменьшение эффективного напряжения шума и спектральной плотности напряжения шума.

Литература

- Physical Parameters of the Broadband Noise-Generator Diodes / V.V. Buslyuk [et al.] // Russian Microelectronics. – 2020. – Vol. 49, № 4. – P. 295–301.
- Стабилизация шумовых параметров при отжиге высоколегированных структур диодов-генераторов шума / В.В. Буслюк [и др.] // Доклады БГУИР. – 2021. – Т. 19, № 6. – С. 32–41.
- Sze, S.M. Semiconductor Devices: Physics and Technology / S.M. Sze, M.K. Lee. – John Wiley & Sons Singapore Pte. Limited, 2012. – 582 p.