

**РАДИАЦИОННАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПЛАНАРНЫХ  $n-p-n$  СТРУКТУР,  
ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ИЗОВАЛЕНТНО ЛЕГИРОВАННОМ ГЕРМАНИЕМ  
КРЕМНИИ (NSiGe)**

*Возможность использования  $nSiGe$  ( $Si<P, Ge>$ ) для повышения радиационной стойкости многослойных  $n-p-n$ ,  $n-p-n-p$  структур может быть подтверждена только изготовлением тестовых приборов на  $Si$  с различной концентрацией легирующего  $Ge$  с проведением их испытаний. Целью настоящей работы является сравнительная оценка деградации  $h_{21E}$  тестовых  $n-p-n$  структур ИС, изготовленных на  $nSiGe$  с различной концентрацией  $Ge$  и шириной базы, к действию  $\alpha$ -излучения для подтверждения технологической применимости изовалентно легированного  $Ge$  кремния для формирования работоспособных в полях ионизирующих излучений приборных структур. Исследована радиационная чувствительность  $n-p-n$  структур, изготовленных на кремнии, легированном германием ( $nSiGe$ ). Показано, что скорость деградации усилительных свойств тестового планарного транзистора нелинейно зависит как от концентрации изовалентной примеси, так и от дозы  $\alpha$ -облучения, причём характер зависимости определяется шириной базы прибора. Полученные зависимости подтверждают возможность использования  $nSiGe$  для изготовления дискретных полупроводниковых приборов, устойчивых к действию ионизирующего излучения.*

**Ключевые слова:** кремний, легированный германием, деградация усилительных свойств, тестовый транзистор, действие ионизирующего излучения.

**Постановка проблемы в общем виде**

Создание полупроводниковых материалов для изготовления радиационно-стойких ИЭТ является частью глобальной проблемы разработки, изготовления и применения материалов, сохраняющих свои физические свойства в условиях действия ионизирующих излучений [1]. В основу такого подхода заложены «стратегии проектирования дефектов» (defect engineering strategies), сводящиеся к примесному управлению физическими свойствами полупроводниковых материалов путём воздействия на образование примесно-дефектных комплексов (электрически активные дефекты) и/или их кластеры, создающие глубокие энергетические уровни в полупроводниках – эффективные ловушки для инжектированных неосновных носителей заряда в  $n-p-n$ ,  $n-p-n-p$  структурах [2]. Рекомбинационные свойства дефектов (А-центров, прежде всего) существенно ухудшают рабочие характеристики облучённых полупроводниковых устройств.

### Анализ последних исследований и публикаций

Для подавления концентрации А-центров необходимы инженерные стратегии управления дефектообразованием в материале неоднородных активных структур микроэлектронных и дискретных устройств [3,4]. В частности, предлагается использование изовалентных примесей (прежде всего, германия (Ge), свинца и олова (Sn)) для управления процессом формирования комплексов VO в Si, хотя это и связано с изменением его структурных и физических свойств за счёт различных ковалентных радиусов примесей и легируемой матрицы. Изовалентные примеси замещают атомы Si, но являются электрически неактивными. Показано, что с прикладной точки зрения наиболее перспективно использование Ge [5]. Процессы радиационного дефектообразования в кремнии, легированном германием, определяющие стабильность его электрофизических свойств в условиях действия ионизирующего облучения, носят сложный характер, эффективность протекания этих процессов нелинейно связана с интегральной дозой облучения [6].

### Выделение нерешённых научно-технических задач

Возможность использования nSiGe (Si<P, Ge>) для повышения радиационной стойкости многослойных pnp, pnpn структур может быть подтверждена только изготовлением тестовых приборов на Si с различной концентрацией легирующего Ge с проведением их испытаний [7]. **Целью настоящей работы** является сравнительная оценка деградации  $h_{21E}$  тестовых pnp структур ИС, изготовленных на nSiGe с различной концентрацией Ge и шириной базы, к действию  $\alpha$ -излучения для подтверждения технологической применимости изовалентно легированного Ge кремния для формирования работоспособных в полях ионизирующих излучений приборных структур.

### Изложение основного материала

Наиболее удобной структурой для экспериментальных измерений деградации  $h_{21E}$  при облучении является тестовый pnp транзистор ИС с диэлектрической изоляцией, радиационная деградация которого полностью определяется свойствами однородно легированной Ge исходной монокристаллической пластины SiGe n-типа [8]. Измерения проводили на кремнии ориентации <111> с  $\rho \approx 0,2$  Ом·см,  $N_{O_i} \approx 7 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>,  $N_{C_i} < 5 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, легированных германием и контрольных по методу Чохральского (CZ-Si) в идентичных условиях из загрузки поликристаллического Si в потоке аргона [9]. Бездислокационные монокристаллы CZ-Si<P> и CZ-Si<P, Ge> разрезали на пластины и подвергали механической шлифовке и химико-механической полировке [10]. На одной из сторон пластины создан n<sup>+</sup>-слой, проведено окисление поверхности подложки, с использованием фотолитографии в пленке SiO<sub>2</sub> вскрыты окна, т.е. создана маска для анизотропного травления, через которую вытравлена V-образная канавка, стенки которой окислены. Поверх пленки SiO<sub>2</sub> наращен эпитаксиальный

поликристаллический слой кремния толщиной 300...600 мкм, после чего пластина перевёрнута, сошлифована и отполирована со стороны монокристаллического кремния. В результате получена подложка с изолированными областями (карманами) монокристаллического кремния. Слой поликристаллического кремния, в котором сформированы углублённые области монокристаллического SiGe, является несущей подложкой. В каждом из карманов по обычной планарной технологии формируют структуру, на которых проводятся измерения  $h_{21E}$  до и после облучения. Используем известную формулу [11] для оценки радиационной деградации  $h_{21E}$  структуры для сравнения эффективности влияния различных уровней легирования германием на радиационную стойкость тестового интегрального транзистора. Изменения  $h_{21E}$  после облучения могут быть выражены следующей формулой:

$$\frac{1}{h_{21E}(\Phi_\alpha)} - \frac{1}{h_{21E}(0)} = F(\Phi_\alpha); \quad K_{21E} = \frac{d}{d\Phi_\alpha} F(\Phi_\alpha),$$

где  $h_{21E}(\Phi_\alpha)$ ,  $h_{21E}(0)$  – коэффициент усиления (схема с ОЭ) при транзистора после и до  $\alpha$ -облучения соответственно;  $\Phi_\alpha$  – поток  $\alpha$ -частиц,  $\text{см}^{-2}$ ;  $K_{21E}$  – экспериментальная постоянная, часто называемая радиационной чувствительностью, физический смысл которой – скорость деградации  $h_{21E}$ ; обычно используется для сравнения радиационной стойкости транзисторов, изготовленных по различной технологии.

Используя экспериментальные значения  $h_{21E}$  до и после облучения [12], и применяя стандартные статистические методы, получены уравнения, описывающие деградацию структуры в зависимости от уровня изовалентного легирования и геометрии вертикальной структуры. Дозовая зависимость  $K_{21E}$  указывает на существенное различие скорости деградации усилительных свойств тестовых транзисторных структур, изготовленных на кремнии, с различным содержанием Ge:

Таблица 1

Расчетные формулы для вычисления деградации  $h_{21E}$  и  $K_{21E}$

$N_{Ge}$ исходной пластине	в	Ширина p-базы транзисторной структуры	
		Широкая ( $\approx 0.35 \mu\text{m}$ )	Узкая ( $\approx 0.25 \mu\text{m}$ )
0		$F(\Phi_\alpha) = 1.042 \cdot 10^{-3} \Phi_\alpha^{0.971}$ $K_{h_{21E}} = dF(\Phi_\alpha)/d\Phi_\alpha =$ $= 1.012 \cdot 10^{-13} \Phi_\alpha^{-0.029}$	$F(\Phi_\alpha) = 2.97 \times 10^{-20} \Phi_\alpha^{1.524}$ $K_{h_{21E}} = dF(\Phi_\alpha)/d\Phi_\alpha =$ $= 4.53 \times 10^{-20} \Phi_\alpha^{0.524}$
$1.3 \cdot 10^{19} \text{см}^{-3}$		$F(\Phi_\alpha) = 1.997 \times 10^{-15} \Phi_\alpha^{1.13}$ $K_{h_{21E}} = 2.257 \times 10^{-15} \Phi_\alpha^{0.13}$	$F(\Phi_\alpha) = 5.56 \times 10^{-20} \Phi_\alpha^{1.55}$ $K_{h_{21E}} = 8.62 \times 10^{-20} \Phi_\alpha^{0.55}$
$7.5 \cdot 10^{19} \text{см}^{-3}$		$F(\Phi_\alpha) = 2.455 \times 10^{-12} \Phi_\alpha^{0.828}$ $K_{h_{21E}} = 2.033 \times 10^{-12} \Phi_\alpha^{-0.172}$	$F(\Phi_\alpha) = 2.65 \times 10^{-10} \Phi_\alpha^{0.605}$ $K_{h_{21E}} = 1.37 \times 10^{-10} \Phi_\alpha^{-0.395}$

Для микроэлектронных планарных структур с тонкой ( $\cong 0,25 \mu\text{м}$ ) базой возможность применения SiGe практически полностью зависит от диапазона доз  $\Phi_\alpha$ : в области низких значений (до  $10^{11} \text{ см}^{-2}$ )  $h_{21E} \text{npn}$  структур, сформированных на исходных пластинах с  $N_{\text{Ge}} = 7,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  **ниже** (обратная величина **выше**), чем для приборов на нелегированном ( $N_{\text{Ge}} = 0$ ) и слаболегированном ( $N_{\text{Ge}} = 1,2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ) кремнии. После  $\Phi_\alpha \geq 10^{11} \text{ см}^{-2}$  заметен эффект увеличения замедления радиационной деградации  $h_{21E} \text{npn}$  структур, сформированных на пластинах с  $N_{\text{Ge}} = 7,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , рис.1:

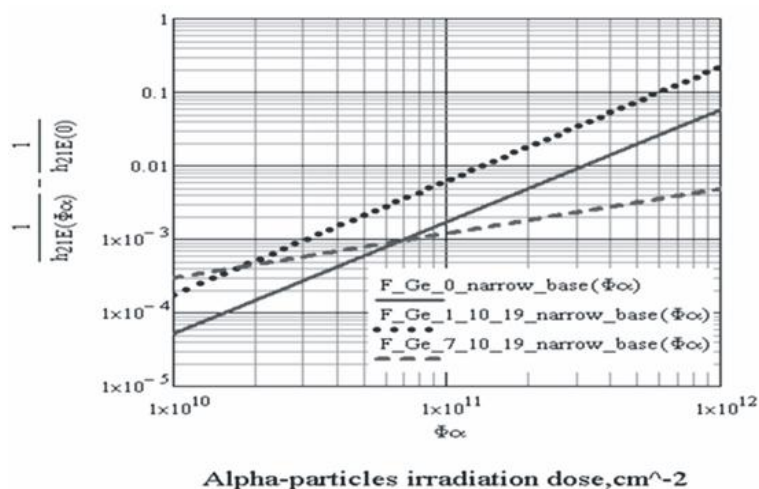


Рисунок 1 – Сравнение эффективности применения SiGe для замедления деградации  $h_{21E} \text{npn}$  структур, ширина базы  $\cong 0,25 \mu\text{м}$ , изготовленных на пластинах с различным содержанием Ge при различных  $\Phi_\alpha$

Использование SiGe с  $N_{\text{Ge}} = 7,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  позволяет обеспечить существенное снижение радиационной чувствительности npn структуры  $K_{h_{21E}}$  во всём диапазоне исследуемых доз  $\alpha$ -частиц (рис.2):

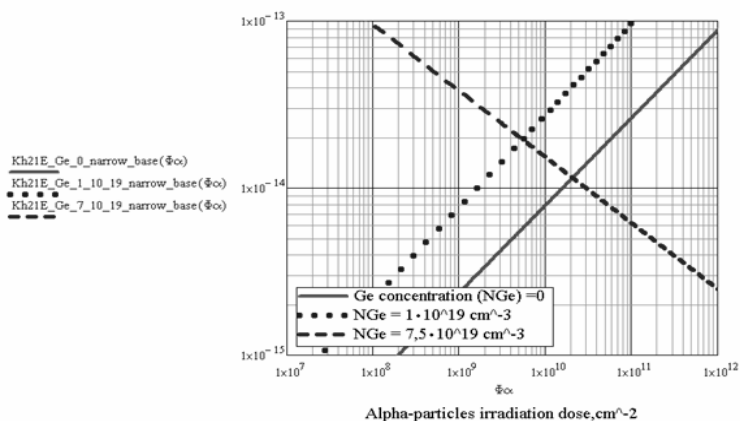


Рисунок 2 – Зависимость радиационной чувствительности ( $K_{h_{21E}}$ ) тестового npn транзистора (ширина базы  $\cong 0,25 \mu\text{м}$ ) в диапазоне  $1 \cdot 10^7 \leq \Phi_\alpha \leq 1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$

Для npn структур с широкой ( $\cong 0,35 \mu\text{м}$ ) базой, изготовленных на пластинах с различным содержанием Ge при различных  $\Phi_\alpha$  наблюдается выраженный эффект замедления деградации коэффициента усиления, описываемый функцией  $F(\Phi_\alpha)$ : для структур, изготовленных на пластинах с  $N_{\text{Ge}} = 1,2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  и  $N_{\text{Ge}} = 7,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$

наблюдается существенно более высокая радиационная стойкость, чем для транзисторов на Si с  $N_{Ge} = 0$  (рис.3):

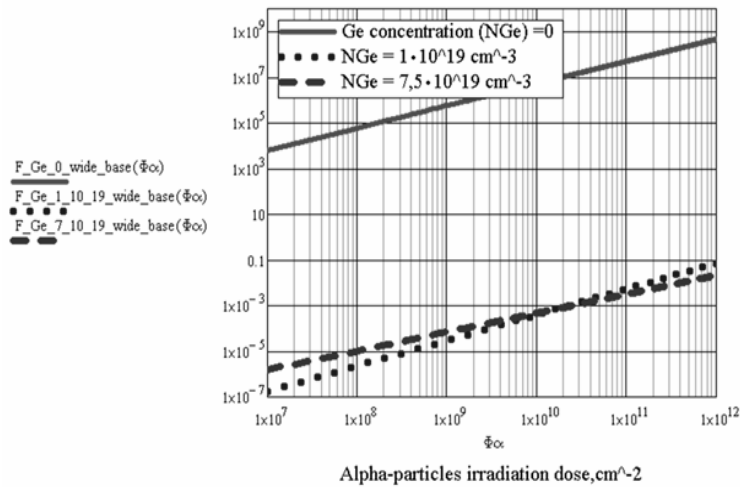


Рисунок 3 – Эффект замедления радиационной деградации усилительных свойств при структур с широкой ( $\cong 0,35$  мкм) базой, изготовленных на  $\text{SiGe}N_{Ge} = 1,2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  и  $N_{Ge} = 7,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  по сравнению с транзисторами на Si с  $N_{Ge} = 0$ , слабо зависящий от концентрации Ge

Эффективное снижение радиационной чувствительности  $K_{21E} = \frac{d}{d\Phi_\alpha} F(\Phi_\alpha)$

наблюдается только для структур, изготовленных на  $\text{SiGe}N_{Ge} = 7,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  (рис.4):

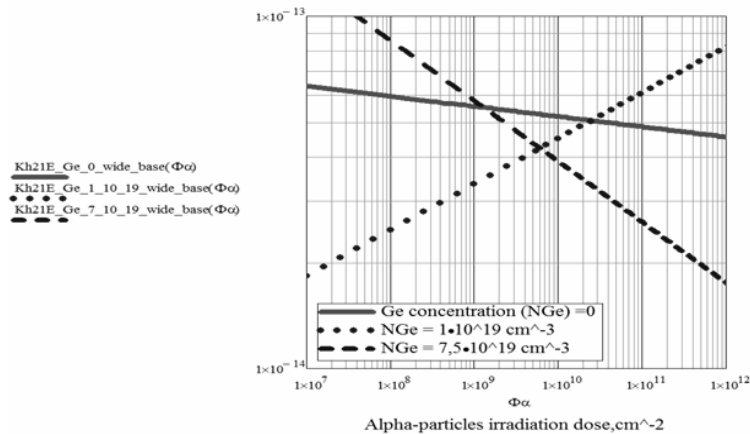


Рисунок 4 – Зависимость радиационной чувствительности ( $K_{h_{21E}}$ ) тестового при транзистора (ширина базы  $\cong 0,35$  мкм) в диапазоне  $1 \cdot 10^7 \leq \Phi_\alpha \leq 1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$

### Выводы из проведенного исследования и перспективы дальнейшего поиска

Полученные результаты объясняют экспериментально наблюдаемую высокую радиационную стойкость дискретных маломощных тиристоры, изготовленных по планарной технологии [13,14] на изовалентно легированном германием кремнии. Используются, видимо, оба механизма замедления деградации свойств прир структуры, изготовленной на nSiGe: как снижение  $K_{h_{21E}}$  при транзистора

эквивалентной схемы прибора, так и уменьшения рекомбинационного тока базы сочетания рnr слоёв за счёт уменьшения вероятности радиационного дефектообразования [15]. Исследование взаимодействия этих механизмов будет являться предметом дальнейших исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Efstratia N. Sgourou, Yerasimos Panayiotatos, Ruslan V. Vovk, Alexander Chroneos. Toward Defect Engineering Strategies to Optimize Energy and Electronic Materials. Review. Appl. Sci. 2017, 7, 674; doi:10.3390/app7070674
2. A. Alkauskas, M. D. McCluskey, Chris G. Van de Walle. Tutorial: Defects in semiconductors—Combining experiment and theory. Journal of Applied Physics, 119(18), 181101, 2016 <https://doi.org/10.1063/1.4948245>
3. A. Chroneos, C. A. Londos, E. N. Sgourou, P. Pochet. Point defect engineering strategies to suppress A-center formation in silicon. Appl. Phys. Lett. 99, 241901 (2011); doi: 10.1063/1.3666226. View online: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3666226>
4. C. A. Londos, E. N. Sgourou, D. Hall, A. Chroneos. Vacancy-oxygen defects in silicon: the impact of isovalent doping. J. Mater. Sci.: Mater Electron (2014) 25:2395–2410 <http://dx.doi.org/10.1007/s10854-014-1947-6>
5. Критская Т. В. Современные тенденции получения кремния для устройств электроники: монография / Т. В. Критская; Запорож. гос. инженер. акад. - Запорожье: ЗГИА, 2013. - 353 с.
6. Быткин С.В., Критская Т.В. Моделирование S-образного процесса накопления А- и Е-центров в изовалентно легированном германием кремнии в среде Statistica и MathCAD. «Сучасні проблеми металургії», № 21, випуск 1- 2018. С. 29-35
7. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах и методы испытаний изделий полупроводниковой электроники на радиационную стойкость [Учебн. пос. по дисциплин. «Радиационная стойкость изделий электронной техники»] / Э.Н. Вологдин, А.П. Лысенко. - М.: Научно-образовательный центр Московского региона в области фундаментальных проблем радиационной физики твердого тела и радиационного материаловедения. Московский государственный институт электроники и математики. - 2002. - 46 с.
8. S. Bytkin. Use of germanium doped silicon (n-SiGe) for manufacturing radiation hardened devices and integrated circuits. Conference Paper. October 1997. DOI: 10.1109/RADECS.1997.698872. Conference: Radiation and Its Effects on Components and Systems, 1997. RADECS 97. Fourth European Conference on
9. Критская Т.В. Управление свойствами и разработка промышленной технологии монокристаллического кремния для электроники и солнечной энергетики: дисс. доктора техн. наук: 05.16.03 / Критская Татьяна Владимировна. – Запорожье, 2006. – 375 с.
10. Троян П.Е. Микроэлектроника: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. - 346 с.

11. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / Под ред. Е. А. Ладыгина. — М.: Сов. Радио, 1980. — 224 с.
12. Быткин С.В. Конкурентная разведка конъюнктурно-технологических перспектив традиционного и high-tech экспорта Украины: монография / Быткин С.В.; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2017. – 276с.
13. Быткин С.В., Критская Т.В., Радин Е.Г., Гончаров В.И., Куницкий Ю.И., Кобелева С.П. Экспериментальное исследование характеристик тиристорov, изготовленных на Si<Ge>, при действии гамма-облучения. Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. №3, 2012, стр. 45-48.
14. Быткин С.В., Критская Т.В., Кобелева С.П. Статистический анализ влияния Ge на радиационную и термическую стабильность электрофизических характеристик приборных n-p-n-структур на основе CZ-Si<P, Ge>. Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. № 4, 2013, стр. 42-48.
15. Быткин С. В., Критская Т.В. Моделирование процесса накопления радиационных дефектов в процессе облучения монокристаллов Si<P>и Si<P, Ge>./ Металургія. Збірник наукових праць Запорізької державної інженерної академії, вип.1(21). Запоріжжя, 2010, стор.116-125.

#### REFERENCES

1. Efstratia N. Sgourou, Yerasimos Panayiotatos, Ruslan V. Vovk, Alexander Chroneos. Toward Defect Engineering Strategies to Optimize Energy and Electronic Materials. Review. Appl. Sci. 2017, 7, 674; doi: 10.3390/app7070674
2. A. Alkauskas, M. D. McCluskey, Chris G. Van de Walle. Tutorial: Defects in semiconductors—Combining experiment and theory. Journal of Applied Physics, 119(18), 181101, 2016 <https://doi.org/10.1063/1.4948245>
3. A. Chroneos, C. A. Londos, E. N. Sgourou, P. Pochet. Point defect engineering strategies to suppress A-center formation in silicon. Appl. Phys. Lett. 99, 241901 (2011); doi: 10.1063/1.3666226. View online: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3666226>
4. C. A. Londos, E. N. Sgourou, D. Hall, A. Chroneos. Vacancy-oxygen defects in silicon: the impact of isovalent doping. J. Mater. Sci.: Mater Electron (2014) 25:2395–2410 <http://dx.doi.org/10.1007/s10854-014-1947-6>
5. Kritskaya T. V. Sovremennyye tendentsii polucheniya kremniya dlya ustroystv elektroniki: monografiya / T. V. Kritskaya; Zaporozh. gos. inzhener. akad. - Zaporozhe: ZGIA, 2013. – 353 с.
6. Byitkin S.V., Kritskaya T.V. Modelirovanie S-obraznogo protsessa nakopleniya A- i E-tsentrov v izovalentno legirovannom germaniem kremnii v srede Statistica i MathCAD. «Suchasni problemi metalurgiyi», # 21, vipusk 1- 2018. S. 29-35
7. Radiatsionnyie efektyi v integralnyih mikroshemah i metodyi ispytaniy izdeliy poluprovodnikovoy elektroniki na radiatsionnyuyu stoykost [Uchebn. pos. po distsipl. «Radiatsionnaya stoykost izdeliy elektronnoy tehniky»] / E.N. Vologdin, A.P. Lyisenko. - M.: Nauchno-obrazovatelnyiy tsentr Moskovskogo regiona v oblasti fundamentalnyih problem radiatsionnoy fiziki tverdogo tela i radiatsionnogo materialovedeniya. Moskovskiy gosudarstvennyiy institut elektroniki i matematiki. -2002. - 46 s.

8. S. Bytkin. Use of germanium doped silicon (n-SiGe) for manufacturing radiation hardened devices and integrated circuits. Conference Paper. October 1997. DOI: 10.1109/RADECS.1997.698872. Conference: Radiation and Its Effects on Components and Systems, 1997. RADECS 97. Fourth European Conference on)
9. Kritskaya T.V. Upravlenie svoystvami i razrabotka promyshlennoy tehnologii monokristallicheskogo kremniya dlya elektroniki i solnechnoy energetiki: diss. doktora tehn. nauk: 05.16.03 / Kritskaya Tatyana Vladimirovna. – Zaporozhe, 2006. – 375 s. 10. Troyan P.E. Mikroelektronika: Uchebnoe posobie. – Tomsk: Tomskiy gosudarstvenniy universitet sistem upravleniya i radioelektroniki, 2007. - 346 s.
11. Deystvie pronikayushey radiatsii na izdeliya elektronnoy tehniki / Pod red. E. A. Ladygina. – M.: Sov. Radio, 1980. – 224 s. 12. Bytkin S.V. Konkurentnaya razvedka kon'yunktorno-tehnologicheskikh perspektiv traditsionnogo i high-tech eksporta Ukrainyi: monografiya / Bytkin S.V.; ZaporIz. derzh. Inzh. akad. – ZaporIzhzhya: ZDIA, 2017. – 276s.
13. Bytkin S.V., Kritskaya T.V., Radin E.G., Goncharov V.I., Kunitskiy Yu.I., Kobeleva S.P. Eksperimentalnoe issledovanie harakteristik tiristorov, izgotovlennykh na Si<Ge>, pri deystvii gamma-oblucheniya. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Materialy elektronnoy tehniki. #3, 2012, str. 45-48.
14. Bytkin S.V., Kritskaya T.V., Kobeleva S.P. Statisticheskiy analiz vliyaniya Ge na radiatsionnyuyu i termicheskuyu stabilnost elektrofizicheskikh harakteristik pribornyykh n-p-n-p-struktur na osnove CZ-Si <P, Ge>. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Materialy elektronnoy tehniki. # 4, 2013, str. 42-48.
15. Bytkin S. V., Kritskaya T.V. Modelirovanie protsessa nakopleniya radiatsionnykh defektov v protsesse oblucheniya monokristallov Si<P>i Si <P, Ge>. // Metalurgiya. Zbirnik naukovih prats ZaporIzkoYi derzhavnoYi InzhenernoYi akademIYi, vip.1(21). ZaporIzhzhya, 2010, stor.116-125.

*Received 14.01.19*

#### **RADIATION SENSITIVITY OF PLANAR NP-N STRUCTURES, MANUFACTURED ON SILICON, ISOVALENTLY DOPED WITH GERMANIUM (NSIGE)**

The doping by isovalent impurities (first of all, germanium (Ge)) has been proposed for increasing of the silicon radiation resistance. The most convenient structure for experimental measurements of h21E degradation under irradiation is a test npn transistor IC with dielectric isolation, the radiation degradation of which completely determined by the properties of a uniformly doped n-type SiGe single crystal wafer. The purpose of this work was a comparative assessment of the h21E degradation of ICs test npn structures, fabricated on nSiGe with different Ge concentrations and base widths to the action of  $\alpha$ -radiation to confirm the technological applicability of isovalently doped Ge silicon for the formation of device structures that work in the fields of ionizing radiation. The measurements were carried out on the CZ-Si, orientation <111> with  $\rho \approx 0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ ,  $\text{NOi} \approx 7 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $\text{NCi} < 5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , doped with germanium and the controls under identical conditions. The radiation sensitivity of npn structures fabricated on nSiGe was simulated using MathCAD



technology. Using the experimental values of  $h_{21E}$  before and after irradiation and using standard statistical methods, equations, describing the degradation of npn structures depending on the level of isovalent doping and the geometry of the vertical structure, were obtained. The dose dependence of  $h_{21E}$  indicates a significant difference in the degradation rate of the amplifying properties of test transistor structures fabricated on silicon with different Ge contents. It was shown that the test planar transistor amplifying properties degradation rate depends nonlinearly on both the concentration of isovalent impurity and the dose of  $\alpha$ -irradiation, and the nature of the dependence is determined by the width of the base of the device. The dependences confirm the possibility of nSiGe use for the manufacturing of discrete semiconductor devices resistant to ionizing radiation.

**Keywords:** germanium-doped silicon, degradation of amplifying properties, test transistor, ionizing radiation.

### РАДІАЦІЙНА ЧУТЛИВІСТЬ ПЛАНАРНИХ NPN СТРУКТУР, ВИГОТОВЛЕНИХ НА ІЗОВАЛЕНТНО ЛЕГОВАНОМУ ГЕРМАНІЄМ КРЕМНІЇ (NSIGE)

Досліджена радіаційна чутливість npn структур, виготовлених на кремнії, легovanому германієм (nSiGe). Проведена порівняльна оцінка деградації  $h_{21E}$  тестових npn структур ІС, виготовлених на nSiGe з різною концентрацією Ge і шириною бази, до дії  $\alpha$ -випромінювання для підтвердження технологічної застосовності ізовалентно легovanого Ge кремнію для формування працездатних в полях іонізуючих випромінювань приладових структур. Показано, що швидкість деградації підсилюючих властивостей тестового планарного транзистора нелінійно залежить як від концентрації ізовалентної домішки, так і від дози  $\alpha$ -опромінювання, причому характер залежності визначається шириною бази приладу. Отримані залежності підтверджують можливість використання SiGe для виготовлення дискретних напівпровідникових приладів, стійких до дії іонізуючого випромінювання.

**Ключові слова:** кремній легований германієм, деградація підсилюючих властивостей, тестовий транзистор, дія іонізуючого випромінювання.

**Критська Тетяна Володимирівна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронних систем, Інженерний інститут Запорізького національного університету, Україна.

**Kritskaya Tatyana Vladimirovna** – doctor of technical sciences, professor, head of the department of electronic systems, Engineering Institute of Zaporizhzhya National University.

**Буткін Сергій Віталійович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник відділу кон'юнктурно - технологічного системного аналізу ПАТ «Запоріжсталь», м. Запоріжжя, Україна.

**Bytkin Sergey Vitalievich** – cand.tech.sci., associated prof., head of the department of conjuncture and technology system analysis of PJSC "Zaporizhstal", Zaporozhye, Ukraine.