

12-15-2019

INFLUENCE OF γ - IRRADIATION ON THERMAL SENSOR CHARACTERISTICS BASED ON Si

Sayfillo Saidovich Nasriddinov

Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz, Tashkent, Uzbekistan.,
sfera3110@yandex.ru

Daryabay Muratbaevich Esbergenov

Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz, Tashkent, Uzbekistan.,
daryabek@mail.ru

Shukhrat Abdipattaevich Ismoilov

Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz, Tashkent, Uzbekistan.,
ismoilov-2015@inbox.ru

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors>

Recommended Citation

Nasriddinov, Sayfillo Saidovich; Esbergenov, Daryabay Muratbaevich; and Ismoilov, Shukhrat Abdipattaevich (2019) "INFLUENCE OF γ - IRRADIATION ON THERMAL SENSOR CHARACTERISTICS BASED ON Si," *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*: Vol. 1 : Iss. 6 , Article 9. Available at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors/vol1/iss6/9>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

RADIATION SEMICONDUCTOR PHYSICS

УДК 621.315.593

ВЛИЯНИЕ γ - ОБЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОДАТЧИКА
НА ОСНОВЕ Si < Ni >

*Насриддинов Сайфилло Саидович**, д.т.н, доцент, заместитель директора НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Ташкент, Узбекистан. e-mail: sfera@yandex.uz

Есбергенов Дарьябай Муратбаевич, базовый докторант НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Ташкент, Узбекистан. e-mail: daryabek@mail.ru

Исмоилов Шухратбек Абдипаттаевич, научный сотрудник НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Ташкент, Узбекистан. e-mail: ismoilov-2015@inbox.ru

Аннотация. В работе исследовано влияние γ -облучения на рабочие характеристики термодатчиков на основе Si <Ni>. Установлено, что чем меньше концентрация примесных атомов, тем больше сопротивление термодатчика и соответственно больше радиационная стойкость. Состояние герметизации достаточно стабильно сохраняется до дозы $\Phi > 5 \cdot 10^7 \text{p}$, а при более высоких дозах $\Phi > 5 \cdot 10^8 \text{p}$ герметизация практически разрушается. При этом в данном интервале доз надежность и омичность электрического контакта практически не изменяются. Стимулирующее действие больших доз γ -облучения приводит к увеличению коэффициента термочувствительности в разработанных термодатчиках на основе кремния легированного Ni.

Ключевые слова: радиация, γ -облучение, концентрация, терморезистор, удельное сопротивление, вибрация.

INFLUENCE OF γ - IRRADIATION ON THERMAL SENSOR
CHARACTERISTICS BASED ON Si <Ni>

*Nasriddinov Saifillo Saidovich**, Dr. of Tech. Sc., Ass. Professor, Deputy Director of Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at NUUZ, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: sfera@yandex.uz

Esbergenov Daryabay Muratbaevich, Basic Doctoral Student of Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at NUUZ, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: daryabek@mail.ru

Ismoilov Shukhrat Abdipattaevich, Junior Researcher of Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at NUUZ, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: ismoilov-2015@inbox.ru

Abstract. The effect of γ -irradiation on the performance of Si <Ni>-based thermal sensors was investigated. It was found that the lower the concentration of impurity atoms, the greater the resistance of the temperature sensor and, accordingly, the greater the radiation resistance. The sealing state is fairly stable until a dose of $\Phi > 5 \cdot 10^7 \text{p}$, and at higher doses of $\Phi > 5 \cdot 10^8 \text{p}$, the sealing is almost destroyed. Moreover, in this dose range, the reliability and ohmicity of the electrical contact are practically unchanged. The stimulating effect of large doses of γ -radiation leads to an increase in the coefficient B in the developed temperature sensors based on silicon doped with Ni.

Keywords: radiation, γ -radiation, concentration, thermistor, resistivity, vision.

1. Введение

Различные типы современных электронных термодатчиков на основе полупроводниковых структур и сплавов не позволяют проводить непрерывный контроль температуры объектов, находящихся в условиях повышенной радиации и вибрации [1]. Известно, что радиационные дефекты проявляются в полупроводниках как центры рекомбинации, изменяя время жизни неосновных носителей заряда, как центры захвата, уменьшающие концентрацию основных носителей, и как центры рассеяния, уменьшающие подвижность. Изменение свойств полупроводника при взаимодействии с излучением является одним из интересных направлений радиационной физики и привлекает внимание широкого круга исследователей. Облучение кремния быстрыми частицами и γ - квантами приводит к изменению электрофизических параметров [2-5].

2. Методика эксперимента

В связи с тем, что терморезисторы широко используются в атомных реакторах [3] и в открытых атмосферных условиях, поэтому представляет интерес изучение их параметров при воздействии радиации. Как показывают исследования при воздействии радиации, как в чистом кремнии [4], так и в различных структурах на его основе тоже создаются дефекты [5], при этом интересно ведут себя структуры с нановключениями [6,7], в том числе исследуемые терморезисторы. В них в качестве базовой области использованы монокристаллические образцы кремния, выращенные методом Чохральского, с диаметром 76 мм, марки КЭФ10 с концентрацией фосфора около 10^{15} см^{-3} , исходной концентрацией кислорода $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и содержанием углерода $3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Гамма облучение образцов термодатчиков осуществлялось от источника Co^{60} , с дозами от 10^5 до 10^9 Р .

Исследования показали, что характер влияния γ -облучения на свойства образцов зависит от их исходных параметров. В образцах с концентрацией носителей тока более 10^{15} см^{-3} в исследуемом интервале доз значительного изменения параметров не наблюдается. В образцах *n*-типа с концентрацией исходных носителей $\leq 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при дозе облучения $\Phi = 10^6 \text{ Р}$ начинается увеличение удельного сопротивления, а при $\Phi = (5 \div 10) \cdot 10^6 \text{ Р}$ материал конвертируется в *p*-тип с концентрацией дырок $\sim (3 \div 4) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$. При еще больших дозах облучения концентрация дырок уменьшается, образец приобретает почти собственную проводимость. Время жизни носителей тока начинает уменьшаться при $\Phi = 10^6 \text{ Р}$, а при $\Phi \sim 10^8 \text{ Р}$ имеет минимальное значение. Из исследований температурной зависимости R и σ на различных этапах облучения были определены энергетические уровни радиационных дефектов.

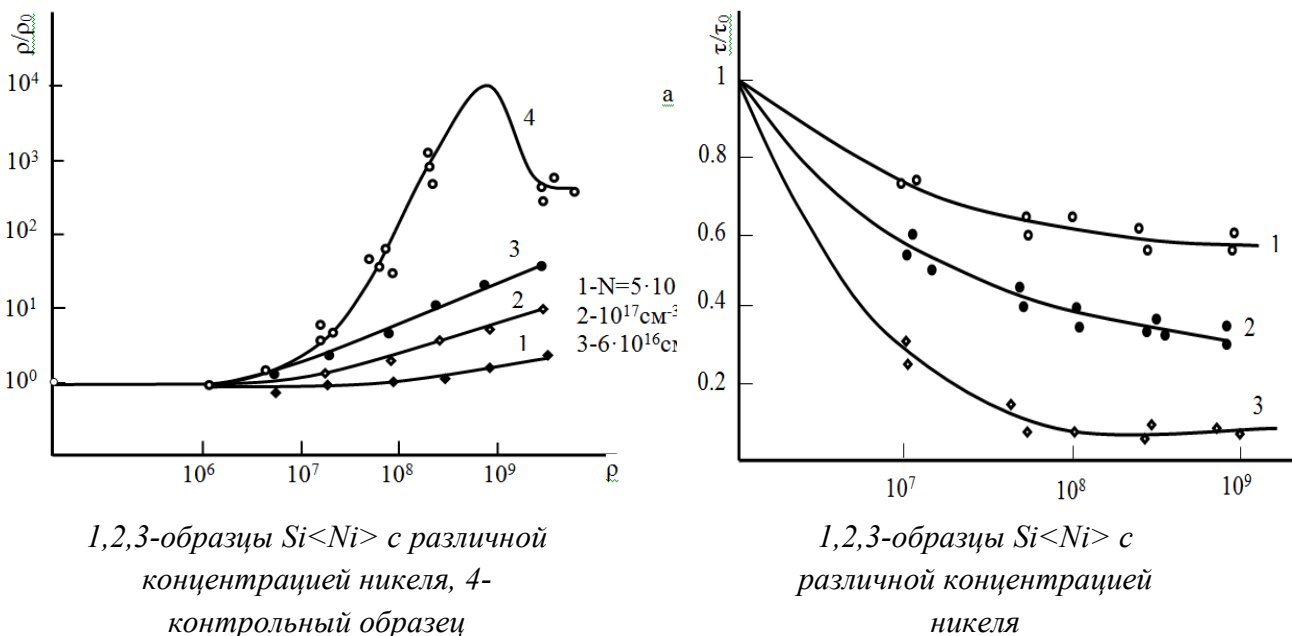
Выявлено, что независимо от типа проводимости исходных материалов время жизни носителей тока уменьшается с ростом дозы облучения. Электрические параметры и времена жизни носителей тока образцов $\text{Si} < \text{Ni} >$ после различных этапов γ -облучения показаны на рис. 1, а и б. Видно, что удельное сопротивление и время жизни носителей тока существенно не меняются до дозы 10^9 Р . Здесь следует отметить, что в отличие от контрольного образца с увеличением дозы облучения изменение удельного сопротивления незначительное, рис. 1а.

кривые 1 и 4.

3. Результаты и их обсуждение

Пороговая доза, с которой начинаются заметные изменения характеристик образцов $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$, практически не зависит от их исходных параметров и в основном определяется концентрацией введенного никеля. С ростом концентрации атомов никеля величина пороговой дозы смещается в сторону больших значений. Как видно из рис. 1а, в исследуемой области дозы облучения, удельное сопротивление $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$ существенно зависит от концентрации никеля, и с ростом последней ρ -резко уменьшается, хотя при этом параметры образцов до облучения практически не отличались. Эти результаты дают основание считать, что при больших дозах облучения, образуется некоторый акцепторный уровень в нижней половине запрещенной зоны. Концентрация таких акцепторных центров увеличивается с ростом концентрации никеля.

Исследованиями температурной зависимости $R(T)$ и фотоэлектрических свойств $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$ однозначно установлено [8,9], что при больших дозах новый уровень не образуется, а увеличивается концентрация основных уровней ($E_v+0,2$ эВ, $E_v-0,4$ эВ) никеля в кремнии. То есть, причиной изменения параметров образцов $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$ при больших дозах облучения γ -квантами является увеличение концентрации электрически активных атомов никеля в узлах кристаллической решетки.



1,2,3-образцы $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$ с различной
концентрацией никеля, 4-
контрольный образец

1,2,3-образцы $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$ с
различной концентрацией
никеля

**Рис. 1. Относительное изменение удельного сопротивления (а)
и времени жизни носителей тока (б) от дозы γ -облучения**

В табл.1 приведены изменения параметров изготовленных термодатчиков на основе $\text{Si}\langle\text{P,Ni}\rangle$ в зависимости от интегральной дозы γ -облучения. Наблюдаемые изменения коэффициента термочувствительности B в разработанных термодатчиках подвергнутых γ -облучению, (источник Co^{60}), с дозами от 10^6 до 10^9 Р, говорят о сложном характере данной

зависимости.

Таблица 1.

Влияние γ -облучения на коэффициент В разработанных Si<P, Ni> термодатчиков

Доза облучения	До облучения	После облучения
$2 \cdot 10^6$ P	5915	4813
	6410	5216
	6465	5827
$8 \cdot 10^6$ P	5159	5352
	5170	5350
	5173	5315
$6 \cdot 10^8$ P	4890	5506
	5976	6412
	6787	5172
10^9 P	4890	4780
	6038	5761
	7300	7120

Так в образцах Si<P,Ni> n-типа с $\rho=4,9 \cdot 10^4$ Ом·см после γ -облучения с дозой $2 \cdot 10^6$ P происходит уменьшение коэффициента В с 5915 до 4813 (в температурном интервале $25 \div 50$ °C), с 6410 до 5216 (в температурном интервале $50 \div 75$ °C) и с 6465 до 5827 (в температурном интервале $75 \div 100$ °C). После γ -облучения с дозой $8 \cdot 10^6$ P происходит увеличение коэффициента В с 5159 до 5352 (температурный интервал $25 \div 50$ °C), с 5170 до 5350 ($50 \div 75$ °C) и с 5173 до 5315 ($75 \div 100$ °C). Увеличение коэффициента В также происходит после γ -облучения образцов с дозой $6 \cdot 10^8$ P с 4890 до 5506 (температурный интервал $25 \div 50$ °C), с 5976 до 6412 (в интервале $75 \div 100$ °C).

Полученных результатов свидетельствуют о стимулирующем действии больших доз γ -облучения, приводящих к увеличению коэффициента В в термодатчиках на основе кремния легированного Ni. С практической точки зрения, безусловно, актуальным является исследование влияния γ -облучения на стойкость герметизации разработанных термодатчиков. При этом γ -облучение проводилось в описанном выше режиме. При дозах γ -облучения до 10^7 P нарушение герметизации не происходит. При дозах γ -облучения от 10^7 P до $6 \cdot 10^8$ P происходит частичное разрушение герметизации, не приводящее к потере работоспособности термодатчика. При дозах γ -облучения более $6 \cdot 10^8$ P происходит полное разрушение герметизации, приводящее к потере работоспособности термодатчика.

Следует также отметить, что разработанные нами термодатчики в отличие от известных обладают значительной радиационной стойкостью, что позволяет говорить о создании принципиально нового класса универсальных термодатчиков с улучшенными свойствами и стабильностью параметров [10,11].

Исследованиями влияния γ -облучения на оптические свойства исходных образцов Si p и r-типа кремния легированного никелем установлено, что в процессе облучения в Si<Ni> происходит увеличение содержания кислорода и уменьшение углерода относительно необлученных образцов Si<Ni>. Наблюдаемое в этих экспериментах несоответствие

концентрации убывающего кислорода и образующихся А-центров при облучении возможно связано с участием некоторой части атомов кислорода в образовании других комплексов. С увеличением дозы облучения происходит накопление J_i в междоузлиях и свойства Si будут определяться свойствами J_i . Как показано в работе [12], смещённые атомы могут находиться в двух зарядовых состояниях j_i^+ , j_i^- и, соответственно, образуют донорный и акцепторный уровни с энергией ионизации $E_v+0,4\text{эВ}$ и $E_c-0,45\text{эВ}$. Заполнение электронами этих состояний j_i приводит к смещению уровня Ферми к середине запрещенной зоны.

Влияние облучения на исходный кремний объясняется образованием и взаимодействием радиационных дефектов с собственными дефектами кремния. Исследования влияния облучения на свойства компенсированного кремния, легированного глубокими примесями показывают, что облучение в одинаковых условиях приводит к значительному различию в электрических и оптических свойствах этих образцов по сравнению с исходными.

Результаты исследования ИК поглощения в Si<Ni> показали, что при облучении наблюдается уменьшение концентрации атомов углерода в состоянии замещения и относительное увеличение ИК активного кислорода по сравнению с исходным материалом. Анализ этих материалов дает основание считать, что при малых интегральных дозах облучения свойство Si<Ni> также, как и в случае не легированных образцов в основном определяется энергетическими уровнями вакансий и комплексов вакансий. Так как междоузельный атом кремния вытесняет атом углерода в междоузлие и становится нейтральным. Однако, стабильность электрических параметров образцов Si<Ni> при облучении и отсутствие линий поглощения, связанных с А-центрами, показывает, что при этом происходит интенсивный захват вакансий атомами никеля. В результате разрушается часть комплексов (NiO_x), образованных при диффузии никеля, что и приводит к некоторому увеличению кислорода в облученных образцах. Основными центрами захвата и аннигиляции вакансий и междоузельных атомов кремния, видимо, служат междоузельные электронейтральные атомы примесей, которые находятся в виде небольших кластеров [13].

Результаты исследований ИК спектроскопии образцов в Si<Ni> (с максимальной концентрацией никеля) после различных этапов облучения показали, что с ростом дозы облучения плотность примесных кластеров (выделений) уменьшается, а их распределение приобретает более упорядоченный вид. Аналогичные результаты получаются при термообработке образцов Si<Ni> в интервале температур $600\div 800^\circ\text{C}$.

Сравнение этих результатов дает основание считать, что в процессе облучения примесные кластеры, захватывая радиационные дефекты, одновременно перемещаются в решетке и осаждаются на дислокациях. Образование большой концентрации радиационных дефектов стимулирует перемещение междоузельных атомов примесей в решетке и осаждение их на дислокациях, т.е. действие облучения эквивалентно термообработке при $600\div 800^\circ\text{C}$.

Увеличение концентрации электрически активных атомов никеля при больших дозах облучения свидетельствует о том, что образование большой концентрации радиационных дефектов нарушает термодинамическое равновесие между состояниями атомов никеля в узлах и междоузлиях в решетке. Увеличение концентрации вакансий (с ростом дозы

облучения) приводит к росту N_s , т.е. концентрация электроактивных атомов увеличивается. При больших дозах облучения максимальная концентрация N_s определяется величиной $N_{Ni}=1,4 \cdot 10^{25} \exp(-2,3/kT)$ [см⁻³] Ni, что и наблюдается в экспериментах. На рис. 2. показано относительное изменение сопротивления: $5 \cdot 10^3$ Ом (кривая 1), $5,3 \cdot 10^4$ Ом (кривая 2), $5 \cdot 10^5$ Ом (кривая 3), $1,2 \cdot 10^6$ Ом (кривая 4) от дозы D γ -облучения. Откуда видно, что параметры термодатчиков остаются достаточно стабильными в широкой области доз облучения D . До дозы облучения $D=10^8 P$ – параметры термодатчиков практически не меняются независимо от их номинального сопротивления. При больших дозах облучения начинается изменение номинального сопротивления термодатчика (рис.2).

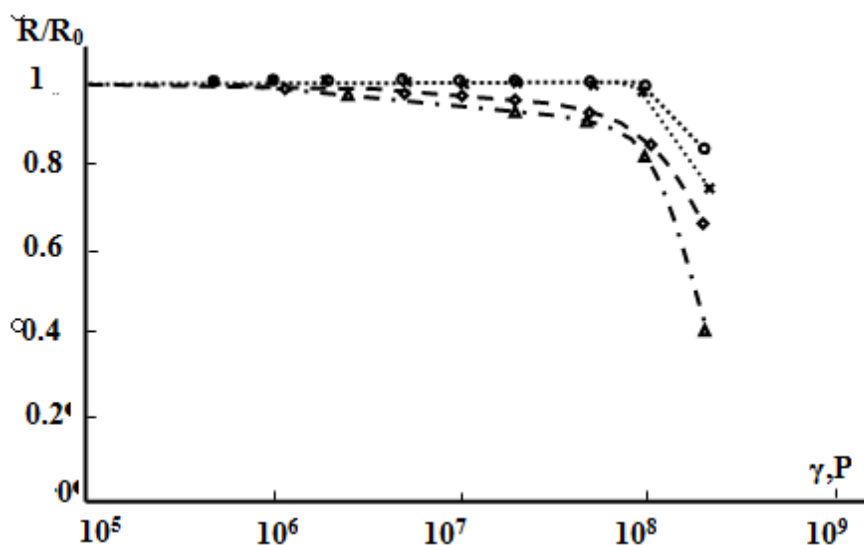


Рис. 2. Относительное изменение номинального сопротивления

На рис. 3 показано относительное изменение термочувствительности от дозы облучения термодатчиков с различными номинальными сопротивлениями.

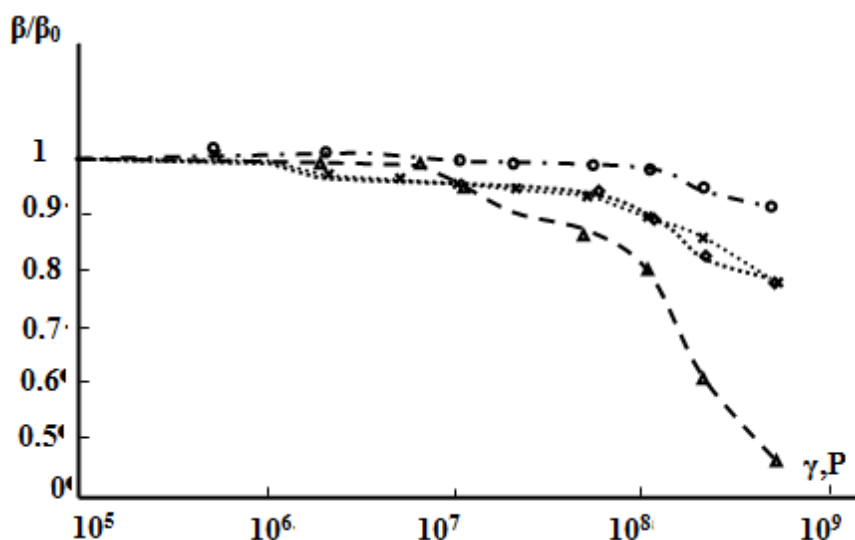


Рис. 3. Относительное изменение термочувствительности термодатчиков с различными номинальными сопротивлениями от дозы облучения

Как видно из рис.3 критическая доза облучения ($D_{кр}$) при которой начинается заметное уменьшение термочувствительности, смещается в сторону больших доз с увеличением номинального сопротивления термодатчиков. Эти результаты показывают, что термодатчики на основе Si<P,Ni> могут быть использованы в условиях с высоким уровнем радиационного излучения. Быстродействие термодатчиков при облучении меняется незначительно.

Кроме того нами исследовалось воздействие γ -облучения на состояние герметизации разработанных термодатчиков. Термодатчики подвергались γ -облучению с интенсивностью $3000 \text{ P} \cdot \text{с}^{-1}$ при температуре 70°C . Параметры термодатчика, состояние омических контактов, а также состояние герметизации исследовались после каждого этапа облучения в идентичных условиях, быстродействие термодатчиков определялось сбрасыванием их из среды с $T=20^\circ\text{C}$ в среду с $T=100^\circ\text{C}$ (определяется время установления) и с $T=100^\circ\text{C}$ в $T=20^\circ\text{C}$ (определяется время восстановления).

В табл. 2. приведены основные параметры разработанных термодатчиков и зависимость состояния герметизации от дозы облучения.

Таблица 2

Влияние γ облучения (Co^{60}) на эксплуатационные параметры и состояние герметизации термодатчиков на основе Si<P,Ni>

Чувствительность и время восстановления	Доза облучения, P											
	10^5		10^6		10^7		$5 \cdot 10^7$		10^8		$5 \cdot 10^8$	
	V, К	τ , сек	V, К	τ , сек	V, К	τ , сек	V, К	τ , сек	V, К	τ , сек	V, К	τ , сек
	6800	5÷7	6800	5÷7	6750	5÷7	6700	5÷7	6650	5÷7	6600	5÷7
	7000	7	7000	5÷7	6950	5÷7	6900	5÷7	6850	5÷7	6800	5÷7
	7200	5÷7	7200	5÷7	7150	5÷7	7100	5÷7	7050	5÷7	7000	5÷7
		7										
		5÷7										
		7										
Состояние герметизации	нет изменений		нет изменений		нет изменений		изменился цвет		разрушение		полное разрушение	

Как видно до облучения чувствительность термодатчиков достаточно высока и их быстродействие составляет $5 \div 7$ с. Как видно из таб.2. термочувствительность (V) и быстродействие при облучении практически не меняется до дозы облучения $\Phi=10^8 \text{ P}$ для термодатчиков с номинальным сопротивлением $R=5 \cdot 10^5 \text{ Ом}$. При более высоких дозах $\Phi > 10^8$ постепенно ухудшаются параметры термодатчиков, при $\Phi \sim 10^9 \text{ P}$, они ухудшаются на $25 \div 30\%$. Для термодатчиков с более высоким номинальным сопротивлением $\rho \sim 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ухудшение параметров начинается с $\Phi=5 \cdot 10^8 \text{ P}$.

Установлено, что чем меньше концентрация примесных атомов, тем больше сопротивление термодатчика и соответственно больше радиационная стойкость. Состояние герметизации достаточно стабильно сохраняется до дозы $\Phi > 5 \cdot 10^7 \text{ P}$, а при более высоких

дозах $\Phi > 5 \cdot 10^8 \text{P}$ герметизация практически разрушается. При этом в данном интервале доз надежность и омичность электрического контакта практически не изменяются.

4. Заключение

Таким образом, показано, что разработанные термодатчики на основе кремния с нанокластерами атомов никеля не только обладают достаточно высокой чувствительностью и быстродействием, но также обладают достаточно высокой радиационной стойкостью и могут использоваться в условиях повышенного уровня радиации. Увеличение коэффициента температурной чувствительности при больших дозах облучения открывает возможность создания термодатчика для дистанционного контроля температуры различных объектов, находящихся как в обычных, так и в условиях радиационного облучения.

References

1. Nasriddinov S.S. *Исследование термодатчиков на основе Si <P, Ni>* [Research of temperature sensors based on Si <P, Ni>] *Журнал нано- та електронної фізики* [journal of nano- and electronic physics] Vol. 7 No 3, 03037(5pp), 2015. (In Ukr.)
2. Nasriddinov S.S., Daliev Sh.Kh., Ismoilov Sh.A., Esbergenov D.M. study of the influence of γ -irradiation on the performance characteristics of temperature sensors based on silicon alloyed with nickel and titanium. The Ninth International Conference Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies, September 24-27, 2019 PP216-217
3. Buimistryuk G.Ya. *Printsipy postroeniya intellektual'nykh volokonno-opticheskikh datchikov* [The principles of building intelligent fiber optic sensors]. *Foton-Ekspress* [Foton-Express]. 2011. No.6. pp. 43-46. (In Russ.)
4. Bakhar L.I., Zaitov F.A., Il'chenko L.I., Chkupina V.N., Il'ina T.V. *Osobennosti radiatsionnogo defektoobrazovaniya v osobo chistom vysoko-omnom kremnii s razlichnoi tekhnologii vyrashchivaniya* [Peculiarities of radiation defect formation in highly pure high-ohm silicon with various growing technologies]. *Tez. dokl. Vsesoyuzn. sem.: "Radiatsionnye efekty v poluprovodnikakh i polupro-vodnikovyykh priborakh"* [Conference of "Radiation effects in semiconductors and semiconductor devices"]. Baku. 1980. p.20. (In Russ.)
5. Egamberdiev B.E., Iliev Kh.M., Tachilin S.A., Toshev A.R. *Radiatsionnaya stabil'nost' parametrov kremnievykh solnechnyykh elementov legirovannykh* [Radiation stability of parameters of silicon solar cells doped with REE]. *Fizika-Tomsk* [Physics-Tomsk]. 2008. №13(3). pp.170-172. (In Russ.)
6. Gerasimenko N.N, Smirnov D.I. *Radiatsionnaya stoikost' nanostruktur* [The radiation resistance of nanostructures]. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika* [Nano and microsystem technology]. 2008. No. 9. pp.2-11. (In Russ.)
7. Gerasimenko N.N, Smirnov D.I., Medetov N.A., Mamaikin A.V. *Radiatsionnaya stoikost' nanostruktur* [Radiation resistance of nanostructures]. *Tezisy mezhdunarodnoi konferentsii «Kremnii-2010»* [Abstracts of the international conference "Silicon-2010"]. *Novosibirsk*. 2010. p.134. (In Russ.)
8. Kolpachev A.B., Arzumanyan G.V., Krakotets H.A. *Elektronnoe energeticheskoe stroenie kremniya s primes'yu nikelya* [The electronic energy structure of silicon with an admixture of

nickel]. *Vysokochistye metalicheskie i poluprovodnikovye materialy.*[High purity metal and semiconductor materials]. "Kontrast" [Contrast]. 2002. pp.83 - 86. (In Russ.)

9. Bakhadir Khanov M.K., Ayupov K.S., Arzukulov E.U., Sirazhev S.N., Toshboev T.U. *Termicheskie svoystvo kremniya s klasterami atomov nikelya* [Термические свойства кремния с кластерами атомов никеля]. *Fizika izdanie tomского gosuniversiteta* [Physics edition of Tomsk State University]. 2008. No.11, pp.3-5. (In Russ.)

10. Nasriddinov S.S., Valiev S.A., Khonboboev A. Ismailov K., Allam-bergenov A. *Vliyaniye γ - oblucheniya na parametry termodatchikov legirovannykh nikelom, seroi, i margentsem* [Influence of γ - radiation on the parameters of temperature sensors alloyed with nickel, sulfur, and manganese]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya* [International Conference]. Chimkent. 2008. pp. 294-295. (In Russ.)

11. Bakhadir Khanov M.K., Nasriddinov S.S., Valiev S.A., Tachilin S.A., Egamov U. *Chuvstvitel'nyi, bystrodeistvuyushchii i radiatsionnostoikii termo-datchik dlya distantsionnogo kontrolya temperatury* [Sensitive, high-speed and radiation-resistant temperature sensor for remote temperature control]. *Zavodskaya laboratoriya* [Factory laboratory]. Moskva [Moscow]. 2008, Vol.74, No.11. pp. 12-14. (In Russ.)

12. Kholodar' D.A., Dalkovskii Yu.V., Konoddinskii Yu.V., Vinetskii V.A. *Nepryamaya rekombinatsiya vakansii i mezhdouzel'nykh atomov v obluchennom kremnii* [Indirect recombination of vacancies and interstitial atoms in irradiated silicon]. M.: VSh, 1976. No. 10. pp.1712-1718. (In Russ.)

13. Bolotov V.V., Smirnov L.S., Vasil'ev A.V., Rudinskaya S.A., Smagulova S.A. *O roli tsentrov annigilyatsii radiatsionnykh defektov v poluprovodnikakh* [On the role of annihilation centers of radiation defects in semiconductors]. Semiconductors. 1975. No.9. pp.186-191. (In Russ.)
