

РАДИАЦИОННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ДАТЧИКОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ n-InSb-i-GaAs

Е.А. Колесникова¹⁾, А.К. Кулешов¹⁾, Д.П. Русальский¹⁾, В.А. Гуринович²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,

пр. Независимости 4, 220030 Минск, Беларусь, KolesnikEA@bsu.by

²⁾ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»,
ул. П. Бровки 19, 220072 Минск, Беларусь

В работе проведены исследования влияния облучения пучком электронов с энергией 5.5 МэВ дозой $2.5 \cdot 10^{13}$ эл./см² и гамма-квантами Co⁶⁰ с экспозиционной дозой не менее $9 \cdot 10^{14}$ кв./см² на магнитные и электрические свойства образцов преобразователя Холла, преобразователя угловых перемещений и терморезистора. Образцы датчиков были изготовлены на основе структур n-InSb-i-GaAs, сформированных методом взрывного термического испарения в рамках Программы Союзного государства «Технология-СГ». Проведенное облучение является имитацией космического радиационного воздействия с поглощенной дозой не менее $5 \cdot 10^5$ рад. Проведенные исследования показали, что в результате облучения свойства датчиков изменились незначительно, т.е. датчики и структуры n-InSb-i-GaAs обладают высокой стойкостью к указанным радиационным воздействиям.

Ключевые слова: n-InSb-i-GaAs; взрывное термическое испарение; преобразователь Холла; преобразователь угловых перемещений; терморезистор; радиационная стабильность.

RADIATION STABILITY OF SENSORS MANUFACTURED ON THE BASIS OF n-InSb-i-GaAs

E.A. Kolesnikova¹⁾, A.K. Kuleshov¹⁾, D.P. Rusalsky¹⁾, V.A. Gurinovitch²⁾

¹⁾Belarusian State University,

4 Nezavisimosty Ave., 220030 Minsk, Belarus, KolesnikEA@bsu.by

²⁾SSPA «Scientific-Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus»,
19 P. Brovki Str., 220072 Minsk, Belarus

In this work, studies have been carried out on the effect of irradiation with an electron beam with an energy of 5.5 MeV with a dose of $2.5 \cdot 10^{13}$ cm⁻² and with Co⁶⁰ γ -irradiation with an exposure dose of at least $9 \cdot 10^{14}$ cm⁻² on the magnetic and electrical properties of samples of Hall converter, transducer of angular displacements and thermistor. Samples of sensors were made on the basis of n-InSb-i-GaAs structures formed by explosive thermal evaporation within the framework of grant 2.3.2.2 of the Program of the Union State "Technology-SG" and are intended for use in outer space as part of space satellites. The irradiation performed is an imitation of cosmic radiation exposure with an absorbed dose of at least $5 \cdot 10^5$ rad. The studies carried out have shown that, as a result of irradiation, the properties of the sensors changed insignificantly; n-InSb-i-GaAs sensors and structures are highly resistant to the specified radiation effects.

Keywords: n-InSb-i-GaAs; explosive thermal evaporation; Hall converter; angular displacement transducer; thermistor; radiation stability.

Введение

Антимонид индия (InSb) – это узкозонный прямозонный полупроводник группы A^{III}B^V, который обладает рекордно высокой подвижностью электронов. За счет своих свойств InSb находит широкое применение в области микроэлектроники. На основе InSb изготавливают различные датчики, в том числе датчики Холла, вы-

сокочувствительные фотоэлементы, оптические фильтры и т.д. [1], которые, в том числе, могут использоваться для комплектации космических аппаратов. Для таких датчиков важной характеристикой является способность выдерживать радиационное воздействие, характерное для открытого космоса. В данной работе проведено исследование ряда датчиков, изго-

товленных на основе InSb и подвергнутых радиационному воздействию, имитирующему космические условия.

Материалы и методы исследования

Создание чувствительного элемента для изготавливаемых датчиков проводилось путем осаждения антимолибдита индия на пластины полужолирующего монокристаллического GaAs (100) методом взрывного термического испарения [2]. На основе сформированного таким образом материала n-InSb-i-GaAs были разработаны и изготовлены типоряд датчиков: преобразователи Холла (ПХ), преобразователи угловых перемещений (ПУП) и терморезисторы (ТР), в количестве трех штук каждого. Для имитации космического радиационного воздействия датчики были подвергнуты облучению пучком электронов на линейном ускорителе У-003 с энергией 5.5 МэВ и дозой $2.5 \cdot 10^{13}$ эл./см² (поглощенная доза порядка $7 \cdot 10^5$ рад) или гамма-квантами Co⁶⁰ на гамма-установке «Исследователь» с экспозиционной дозой не менее $9 \cdot 10^{14}$ кв./см² (поглощенная доза порядка $5 \cdot 10^5$ рад) при мощности поглощенной дозы 9 рад/с (оценено по кремнию). Системы для орбитальных космических аппаратов для использования в естественных радиационных условиях выполняются с радиационной стойкостью 10^6 рад в течение 5 лет [3]. Для определения радиационной стабильности датчиков были проведены измерения их магнитных и электрических свойств до и после имитационного облучения.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1-4 и в табл. 1-3 представлены результаты измерений характеристик образцов ПХ, ПУП и ТР до и после облучения. Для образцов ПХ производилось определение входного/выходного электрического сопротивления и температурной зависимости э.д.с. Холла до и после облучения электронами (рис. 1, табл. 1). Для образцов ПУП производилось определение входного/выходного электриче-

Таблица 1. Результаты определения входного (R_{in}) и выходного (R_{out}) электрического сопротивления образцов преобразователя Холла до и после облучения электронами

Table 1. The results of determining the input (R_{in}) and output (R_{out}) electrical resistance of the Hall converter samples before and after electron irradiation

Обра- зец №	До облучения		После облучения	
	R_{in} , Ом	R_{out} , Ом	R_{in} , Ом	R_{out} , Ом
1	12.69 ± 0.21	13.02 ± 0.21	12.72 ± 0.21	13.03 ± 0.21
2	14.88 ± 0.21	13.83 ± 0.21	14.92 ± 0.21	13.67 ± 0.21
3	17.75 ± 0.22	15.70 ± 0.22	17.62 ± 0.22	15.46 ± 0.22

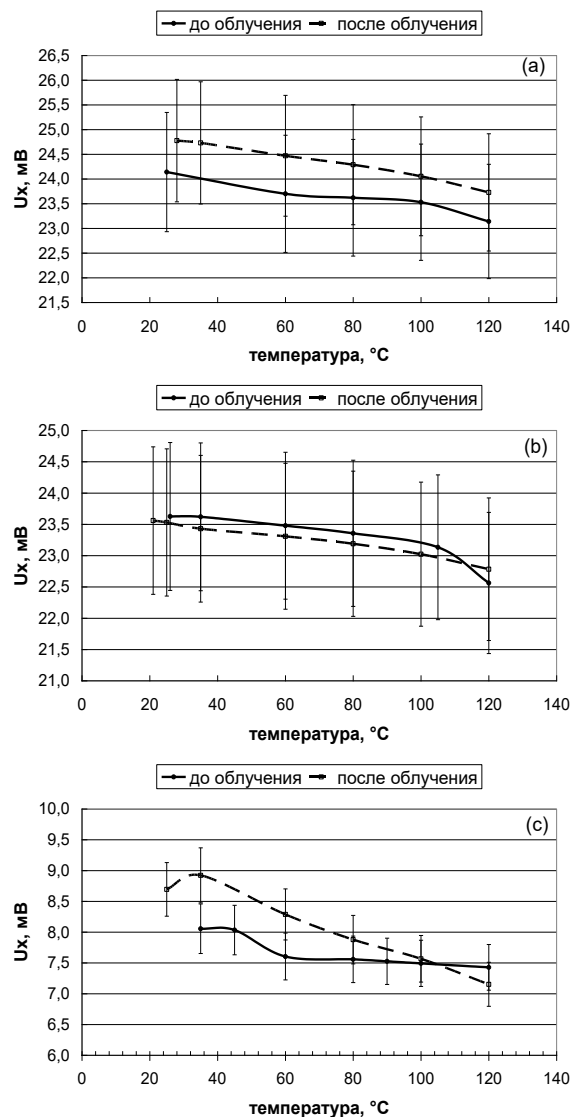


Рис. 1. Температурная зависимость э.д.с. Холла образцов преобразователя Холла до и после облучения электронами: (а) образец № 1; (б) образец № 2; (с) образец № 3.

Fig. 1. Temperature dependence of the Hall emf of the Hall converter samples before and after electron irradiation: (a) sample No.1; (b) sample No.2; (c) sample No.3.

Таблица 2. Результаты определения входного и выходного электрического сопротивления образцов преобразователя угловых перемещений до и после облучения гамма-квантами Co^{60} (погрешность измерений $\pm 0.21 \text{ Ом}$)

Table 2. The results of determining the input (R_{in}) and output (R_{out}) electrical resistance of the samples of transducer of angular displacements before and after Co^{60} γ -irradiation (measurement error $\pm 0.21 \text{ Ohm}$)

Образец №	До облучения		После облучения	
	$R_{\text{in}}, \text{Ом}$	$R_{\text{out}}, \text{Ом}$	$R_{\text{in}}, \text{Ом}$	$R_{\text{out}}, \text{Ом}$
1	9.86	10.38	10.03	10.99
2	10.28	11.42	10.55	11.62
3	8.24	8.95	8.08	9.02

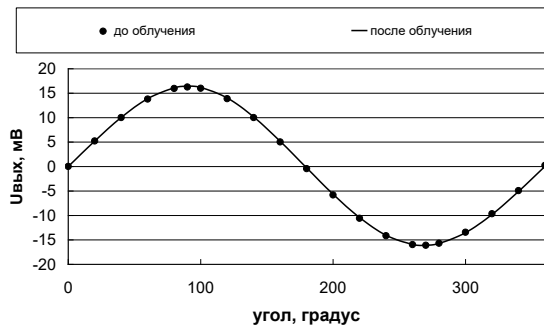


Рис. 2. Зависимость выходного напряжения от угла поворота для образца преобразователя угловых перемещений №1 при комнатной температуре до и после облучения гамма-квантами Co^{60}

Fig. 2. Dependence of the output voltage on the angle of rotation for the sample of the angular displacement transducer No.1 at room temperature before and after Co^{60} γ -irradiation

ского сопротивления и зависимости выходного напряжения от угла поворота при комнатной температуре, при минус 50°C и плюс 85°C до и после облучения гамма-квантами Co^{60} (рис. 2-3, табл. 2).

Зависимости выходного напряжения от угла поворота во всем диапазоне углов от 0 до 360 градусов при комнатной температуре для образца ПУП №1 до и после облучения гамма-квантами Co^{60} представлены на рис. 2. Это типичные зависимости – для остальных образцов ПУП и температур зависимости подобны. На рис. 3 представлено более детальное сравнение зависимостей выходного напряжения от угла поворота образца ПУП №1 в диапазоне углов от 80 до 100 градусов при комнатной температуре, при минус 50°C и плюс 85°C до и после облучения гамма-квантами Co^{60} . В данном диапазоне углов

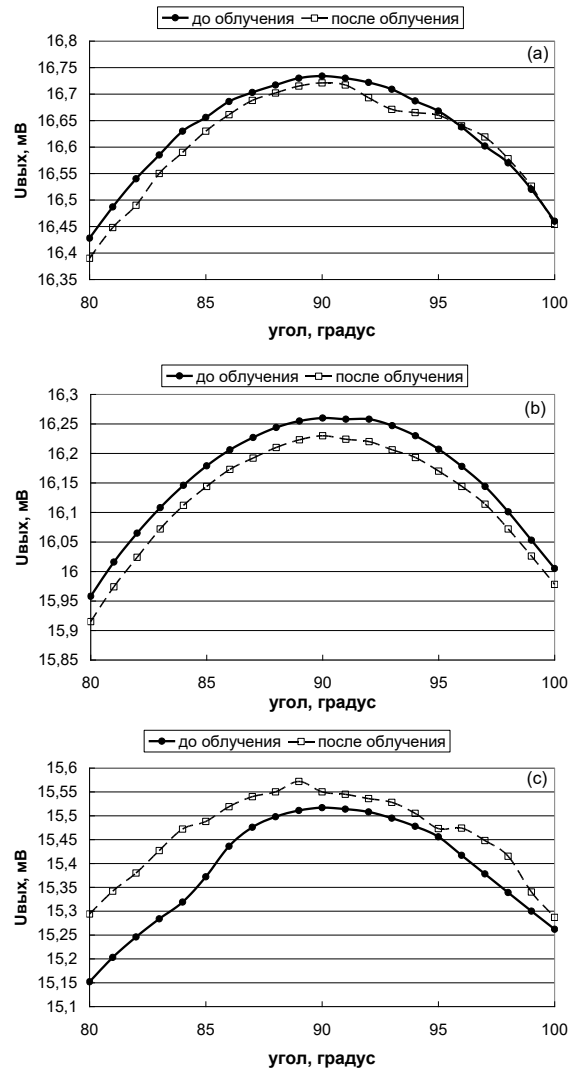


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения от угла поворота образца преобразователя угловых перемещений №1 при разных температурах до и после облучения гамма-квантами Co^{60} : (a) минус 50°C ; (b) комнатная температура; (c) плюс 85°C

Fig. 3. Dependence of the output voltage on the angle of rotation of the sample of the angular displacement transducer No.1 at different temperatures before and after Co^{60} γ -irradiation: (a) minus 50°C ; (b) room temperature; (c) plus 85°C

значение выходного напряжение наибольшее, и поэтому происходит его наибольшее изменение при облучении. Для остальных образцов также были проведены такие исследования, и были получены подобные результаты.

Для образцов ТР до и после облучения гамма-квантами Co^{60} производилось определение зависимости сопротивления от комнатной температуры до 150°C , температурного коэффициента сопротив-

ления и электрического сопротивления при температуре жидкого азота (рис. 4, табл. 3).

Таблица 3. Результаты определения электрического сопротивления при температуре жидкого азота (R) и температурного коэффициента сопротивления (ТКС) образцов терморезистора до и после облучения гамма-квантами Co^{60}

Table 3. The results of determination of electrical resistance at liquid nitrogen temperature (R) and temperature coefficient of resistance (TCR) of thermistor samples before and after Co^{60} γ -irradiation

Образец №	До облучения		После облучения	
	R, Ом	ТКС, %/°C	R, Ом	ТКС, %/°C
1	7400 ± 370	-0.96	7300 ± 365	-0.97
2	4289 ± 215	-0.91	4350 ± 218	-0.93
3	5200 ± 260	-0.93	5160 ± 258	-0.96

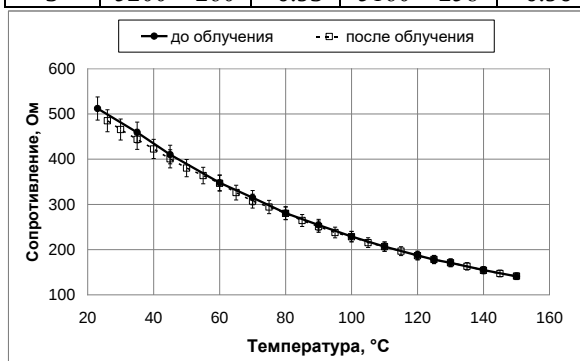


Рис. 4. Зависимость сопротивления от температуры образца терморезистора № 1 до и после облучения гамма-квантами Co^{60}

Fig. 4. Dependence of the resistance on the temperature of the sample of thermistor No.1 before and after Co^{60} γ -irradiation

На рис. 4 представлены зависимости сопротивления от температуры образца ТР №1 до и после облучения гамма-квантами Co^{60} , которые являются типичными для остальных образцов ТР. Как видно из представленных результатов, параметры датчиков в результате облучения изменились незначительно. В большинстве случаев изменение параметров в результате облучения либо находится в пределах ошибки измерения, либо не превышает 1 %.

Заключение

Методом взрывного термического испарения были синтезированы структуры n-InSb-i-GaAs, на основе которых были

изготовлены преобразователи Холла, преобразователи угловых перемещений и терморезисторы. Изготовленные датчики продемонстрировали высокую радиационную стойкость к облучению пучком электронов с энергией 5.5 МэВ и дозой $2.5 \cdot 10^{13}$ эл./см² и гамма-квантами Co^{60} с экспозиционной дозой не менее $9 \cdot 10^{14}$ кв./см², что является имитацией космического радиационного воздействия с поглощенной дозой не менее $5 \cdot 10^5$ рад.

Работа выполнена в рамках задания 1.3 «Дефектно-примесная инженерия радиационно-индуцированных центров в полупроводниковых приборных структурах» государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии».

Библиографические ссылки

1. Болванович Э.И. Полупроводниковые пленки и миниатюрные измерительные преобразователи. Минск: Наука и техника; 1981. 214 с.
2. Uglov V. V., Drapezo A.P., Kuleshov A.K., Rusalsky D.P., Kolesnikova E.A. Effect of explosive thermal evaporation conditions on the phase composition, crystallite orientation, electrical and magnetic properties of heteroepitaxial InSb films on semi-insulating GaAs (100). *High Temperature Material Processes* 2021. 25(1): 71-80.
3. Егоров Д.А., Рупасов А.В., Унтилов А.А. Проблемы обеспечения радиационной стойкости волоконно-оптических гироскопов и пути ее повышения (обзор). *Гироскопия и навигация* 2018. 26(4-103): 23-42.

References

1. Bolvanovich Je.I. Poluprovodnikovye plenki i miniaturnye izmeritel'nye preobrazovateli [Semiconductor Films and Miniature Transducers]. Minsk: Nauka i tehnika; 1981. 214 p. (In Russian).
2. Uglov V. V., Drapezo A.P., Kuleshov A.K., Rusalsky D.P., Kolesnikova E.A. Effect of explosive thermal evaporation conditions on the phase composition, crystallite orientation, electrical and magnetic properties of heteroepitaxial InSb films on semi-insulating GaAs (100). *High Temperature Material Processes* 2021. 25(1): 71-80.
3. Egorov D.A., Rupasov A.V., Untilov A.A. Problemy obespecheniya radiacionnoj stojkosti volokonno-opticheskikh giroskopov i puti ee povysheniya (obzor). [Problems of ensuring radiation resistance of fiber-optic gyroscopes and ways to improve it (review)]. *Giroskopiya i navigacija* 2018. 26(4-103): 23-42 (In Russian).