

**Abstract**

The article concerns the new construction principles and circuitry of galvanomagnetic sensors with time conversion. The objective of the research is to stabilize modes of a signal transducer of the sensor of magnetic field based on the lateral double-collector magnetic transistor. The usage of the circuitry on the switching capacitors in the signal transducer of the sensor devices on the magnetic transistors has the particular relevance - unlike other galvanomagnetic transducers, including Hall sensors, the informative signals of magnetic transistors are not potential, but current circles. Thus, the replacement of the traditional resistive load of the collector circles of the magnetic transistors on the capacitors allows the realization of the time method of the measuring conversion.

The informative value of the measuring conversion is duration of time, during which voltage on the load capacitors of the collector circles of the magnetic transistors reaches a given threshold level. A counter, controlled by a comparator of voltage level, forms a digital code, which counts the number of the clock pulses, during which the capacitor is being charged.

The main result is the new circuit solution of the high stable magnetic transistor sensor with time transformation on the switching capacitors, which stabilizes the operation of the device at the voltage drift. The hardware-software complex for the adjustment and examination of stability of the measuring transducer was designed. The results can be used in the magnetic field sensors that meet the requirements of the modern low-voltage energy efficient electronics.

**Keywords:** magnetic field sensor, magnetic transistor, stabilization

Приведено результати впливу гальмівних гамма-квантів, високоенергетичних електронів і гамма-нейтронів на електричні та фотоелектричні властивості фотоперетворювача  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-p-InSe}$ . Запропоновано фізичну модель електронних процесів, що відбуваються у даній структурі при впливі різних типів опромінення. Здійснено порівняння з тестовим сонячним елементом  $\text{ITO-SiO}_2\text{-n-Si}$

Ключові слова: шаруватий кристал, селенід індію, гамма-випромінювання, електронне випромінювання, нейтронне випромінювання

Приведены результаты влияния тормозных гамма-квантов, высокоэнергетических электронов и гамма-нейтронов на электрические и фотоэлектрические свойства фотопреобразователя  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-p-InSe}$ . Предложена физическая модель электронных процессов, которые происходят в данной структуре при влиянии разных типов облучений. Осуществлено сравнение с тестовым солнечным элементом  $\text{ITO-SiO}_2\text{-n-Si}$

Ключевые слова: слоистый кристалл, селенид индия, гамма-излучение, электронное излучение, нейтронное излучение

УДК 621.315.292; 621.382.232

## СТІЙКІСТЬ ФОТО- ПЕРЕТВОРЮВАЧА $\text{In}_2\text{O}_3\text{-p-InSe}$ ДО РІЗНИХ ВИДІВ ОПРОМІНЕННЯ

**О. М. Сидор**

Кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник  
Чернівецьке відділення  
Інститут проблем матеріалознавства ім.  
І.М.Францевича НАН України  
вул. І. Вильде, 5, м. Чернівці, Україна, 58001  
Контактний тел.: (0372) 52-51-55  
E-mail: chimsp@ukrpost.ua

### 1. Вступ

Існуючі на ринку кремнієві фотодіоди у більшості випадків деградують вже при порівняно помірних дозах радіації.

У цьому аспекті значний інтерес викликають анізотропні кристали групи  $\text{A}^3\text{B}^6$ , зокрема, селенід індію. Ван-дер-ваальсовий зв'язок між його шарами дозво-

ляє отримувати підкладки з малою густиною обірваних зв'язків ( $<10^{10} \text{ см}^{-2}$ ) та довільної товщини (навіть мікронної), що у поєднанні з простою технологією термічного окислення дає можливість створювати поверхнево-бар'єрні діоди з високими питомими характеристиками [1]. Не менш важливим є факт існування в шаруватих кристалах величезної густини власних дефектів (до  $10^{18} \text{ см}^{-3}$ ), що є ключовим моментом для

їх використання в умовах високодозових радіаційних навантажень.

## 2. Експериментальна частина

Монокристали InSe, леговані 0,2% кадмію для отримання діркової провідності, вирощувалися вертикальним методом Бріджмена. Для формування фоточутливого р–п-переходу використано метод термічного відпалу на повітрі [1]. Окислення напівпровідникових підкладок здійснювали при температурі 420°C упродовж 96 годин. У результаті на їх поверхні утворювалися однорідно забарвлені шари власного оксиду.

Середні розміри структур складали 5×5×0,1 мм<sup>3</sup>. Струмоз'ємні контакти формувалися пайкою індієм. Фотоперетворювачі (ФП) In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–р-InSe володіли наступними параметрами: напругою холостого ходу U<sub>xx</sub>=0,57–0,59 В, струмом короткого замикання J<sub>кз</sub>=4–6 мА/см<sup>2</sup>, коефіцієнтом випрямлення K=(2–4)·10<sup>2</sup>, областю спектральної чутливості Δλ=0,46–1,01 мкм з максимумом при 0,66 мкм.

Опромінення проводилось: гальмівними γ-квантами (енергія 0,5–11,5 МеВ при максимумі 3 МеВ) у діапазоні доз 1,4–14 Мрад; електронами (енергія 12 МеВ) у діапазоні доз 0,3–33 Мрад; гамма-нейтронами (енергія 0–30 МеВ при максимумі 8 МеВ) у діапазоні флюенсів 10<sup>12</sup>–10<sup>13</sup> н·см<sup>-2</sup> та доз гамма-квантів 70 крад–700 крад.

У ході роботи досліджувалися вольт-амперні характеристики (ВАХ) структур на потенціостаті Schlumberger SI 1286. Вимірювання спектрів фоточутливості проводилися за допомогою монохроматора МДР-23. Спектральний розподіл фотовідгуку визначався відношенням фотоструму до кількості фотонів.

Усі виміри проводилися при кімнатній температурі.

## 3. Результати та їх обговорення

Поведінку ВАХ ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–р-InSe при γ-опроміненні представлено на рис. 1. Початкові ділянки ВАХ ростуть за відомим експоненціальним законом

$$J = J_{\text{нас}} [\exp(qU/nkT) - 1], \tag{1}$$

де J<sub>нас</sub> – густина струму насичення, а n – коефіцієнт неідеальності ВАХ, проте, при U>0,3 В вже відхиляється від нього. Головною причиною цього є низька електропровідність селеніду індію перпендикулярно шарам [2]. Наслідком є відносно великий послідовний опір R<sub>п</sub> досліджуваних ФП (табл. 1). Коефіцієнт неідеальності ВАХ набував значення n=1,6, що вказує на одночасне існування конкуруючих механізмів струмпроходження: крім дифузійної (n=1), у цих структурах має місце рекомбінаційна складова (n=2). Якщо врахувати, що при довготривалому окисненні під дією термічно індукованих напруг обов'язково виникає пластична деформація шаруватого кристалу [3], а виготовлення ФП, особливо малої товщини (<100 нм), може її тільки посилити, то стає зрозуміло поява рекомбінаційних струмів. З іншого боку, високоенергетичне випромінювання створює дефекти, які збільшують концентрацію рекомбінаційних центрів в ОПЗ [4]. Для опромінених дозами гамма-квантів 1,4–14 Мрад структур стало значення n (табл. 1) свідчить, що внесених радіаційних дефектів кількісно менше, ніж власних дефектів селеніду індію.

тичне випромінювання створює дефекти, які збільшують концентрацію рекомбінаційних центрів в ОПЗ [4]. Для опромінених дозами гамма-квантів 1,4–14 Мрад структур стало значення n (табл. 1) свідчить, що внесених радіаційних дефектів кількісно менше, ніж власних дефектів селеніду індію.

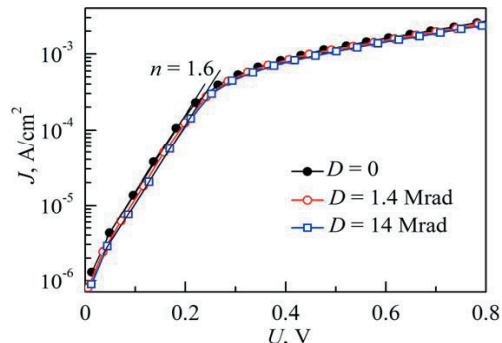


Рис. 1. Залежності прямого струму J від напруги U ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–InSe до і після гамма-опромінення

Таблиця 1

Параметри ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–InSe та контрольної структури ITO–SiO<sub>2</sub>–n-Si до і після гамма-опромінення

Доза, Мрад	0	1,4	14
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –р-InSe			
K (при  U =1 В)	290	320 (+10)	285 (-2)
n	1,6	1,6	1,6
U <sub>xx</sub> , В	0,58	0,58	0,58
J <sub>кз</sub> , мА/см <sup>2</sup>	5,1	5,0 (-2)	5,0 (-2)
R <sub>п</sub> , Ом·см <sup>2</sup>	215	224 (+4)	228 (+6)
S <sub>I</sub> (λ=0,98 мкм), мА/Вт	110	141 (+28)	144 (+31)
S <sub>U</sub> (λ=0,98 мкм), В/Вт	1,8·10 <sup>4</sup>	2,6·10 <sup>4</sup> (+44)	2,6·10 <sup>4</sup> (+44)
Δλ, мкм	0,46–1,01	0,47–1,01	0,48–1,01
ITO–SiO <sub>2</sub> –n-Si			
U <sub>xx</sub> , В	0,52	0,49 (-6)	0,45 (-13)
J <sub>кз</sub> , мА/см <sup>2</sup>	15,3	10,7 (-30)	7,3 (-52)
S <sub>I</sub> (λ=0,98 мкм), мА/Вт	150	36 (-76)	17 (-89)
S <sub>U</sub> (λ=0,98 мкм), В/Вт	1,2·10 <sup>4</sup>	6,3·10 <sup>3</sup> (-48)	2,0·10 <sup>3</sup> (-83)
<i>Примітка. Тут, і у наступних таблицях, у дужках приведені зміни параметрів опромінених зразків (у процентах) по відношенню до неопромінених</i>			

Спектри фотовідгуку ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–р-InSe мали вид смуги, обмеженої з двох сторін, що характерно для спектрів гетеропереходів (рис. 2). Для даної структури властивий короткохвильовий спад фотоструму при hν > 2,0 еВ, що пов'язаний з утворенням проміжної між півкою власного оксиду In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та поверхнею шаруватого напівпровідника фази In<sub>2</sub>(SeO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> [5]. Для досліджуваного ФП спостерігається тонка структура

спектра в довгохвильовій області, яка відповідає поглинанню екситона світла в InSe. Порівняння спектрів фотовідгуку ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-р-InSe не показало їх змін з опроміненням – зростають тільки абсолютні значення фотоструму та пов'язаний з цим параметр монохроматичної ампер-ватної чутливості SI. Незмінність інтенсивності піка екситона з опроміненням додатково свідчить про структурну стійкість шаруватого кристалу. Розширення області спектральної чутливості Δλ чи зміна положення її максимуму для даних об'єктів не спостерігалися (табл. 1).

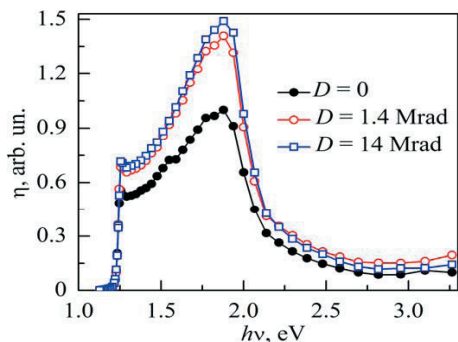


Рис. 2. Спектри фотовідгуку η(hν) ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-InSe до і після гамма-опромінення

Загалом (табл. 1), у досліджуваному інтервалі доз ФП на основі селеніду індію демонструють високу стійкість: зміна U<sub>xx</sub> відсутня, коефіцієнт випрямлення та всі фотоелектричні параметри покращуються або зазнають мінімальної деградації (до 2%). У той же час, використані дози гамма-радіації були критичними для параметрів контрольної структури ITO-SiO<sub>2</sub>-n-Si і викликали її сильну деградацію (табл. 1). Так, фоточутливість кремнієвого сонячного елемента при опроміненні максимальною дозою впала на ~90 %. Це ж стосується величин U<sub>xx</sub> та J<sub>кз</sub>: їх зменшення склало 13 та 52 %, відповідно.

Прямі вітки ВАХ ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-р-InSe для різних доз електронного опромінення приведені на рис. 3. Доза 0,33 Mrad не змінює коефіцієнт n, несуттєвий ріст відбувається й при дозі в 100 разів більшій.

На спектральних залежностях фотовідгуку ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-р-InSe основні зміни помітні в короткохвильовій області (рис. 4). Порівняно з неопроміненими зразками, квантова ефективність фотоструму в цій області після опромінення зростає, відповідно збільшується величина повної ширини її спектра на напіввисоті з 0,6 до 1,0 еВ. При цьому, основний максимум при 2,0 еВ не зміщується.

Поява нового піку при енергії 2,48 еВ, інтенсивність якого росте з дозою, може бути пов'язана з глибокими міжзонними станами екситонів [6]. Для них екситони характеризуються більшою енергією зв'язку (E<sub>ex</sub>≈100 меВ), і, внаслідок іонізації сильним електричним полем відбувається їх дисоціація і вклад у фотострум. Останнє може виникати на локальних мікронеоднорідностях гетероінтерфейсу, спричинених дією високоенергетичних електронів. Максимуми на спектрах фотоструму, що пов'язані з існуванням глибоких міжзонних станів екситонів, спостерігали також автори роботи [7] у випадку структури Au-n-InSe.

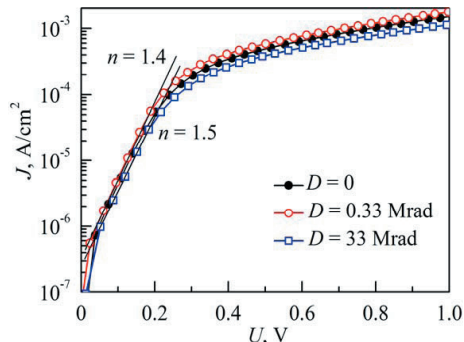


Рис. 3. Залежності прямого струму J від напруги U ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-InSe до і після електронного опромінення

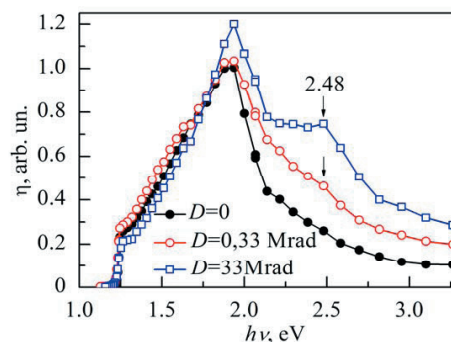


Рис. 4. Спектри фотовідгуку η(hν) ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-InSe до і після електронного опромінення

Після дози 0,33 Mrad спостерігалось покращення всіх параметрів ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-InSe (табл. 2). Подальше опромінення призвело до падіння величини S<sub>I</sub> на 7% при рості S<sub>U</sub> на 45%. Аналогічну динаміку демонстрували параметри J<sub>кз</sub> і U<sub>xx</sub>. Як і у випадку гамма-опромінення, тестова кремнієва структура показала тільки деградацію від 12 до 90 % своїх параметрів.

Таблиця 2

Параметри ФП In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-InSe та контрольної структури ITO-SiO<sub>2</sub>-n-Si до і після електронного опромінення

Доза, Mrad	0	0,33	33
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -р-InSe			
K (при  U  = 1 В)	235	270 (+15)	225 (-4)
n	1,4	1,4	1,5 (+7)
U <sub>xx</sub> , В	0,55	0,56 (+2)	0,57 (+4)
J <sub>кз</sub> , mA/cm <sup>2</sup>	4,5	4,8 (+7)	4,2 (-7)
R <sub>ш</sub> , Ом·см <sup>2</sup>	300	275 (-8)	325 (+8)
S <sub>I</sub> (λ=0,98 мкм), mA/Вт	102	113 (+11)	95 (-7)
S <sub>U</sub> (λ=0,98 мкм), В/Вт	1,1·10 <sup>4</sup>	1,3·10 <sup>4</sup> (+18)	1,6·10 <sup>4</sup> (+45)
ITO-SiO <sub>2</sub> -n-Si			
U <sub>xx</sub> , В	0,49		0,43 (-12)
J <sub>кз</sub> , mA/cm <sup>2</sup>	12,9		6,5 (-50)
S <sub>I</sub> (λ=0,98 мкм), mA/Вт	114		14 (-88)
S <sub>U</sub> (λ=0,98 мкм), В/Вт	9,2·10 <sup>3</sup>		9,7·10 <sup>2</sup> (-90)

Аналіз ВАХ (рис. 5) дає можливість констатувати, що опромінення ФП гамма-нейтронами покращує діодний коефіцієнт  $n$ , тобто дещо зменшує рекомбінаційну компоненту струму. Прямі струми збільшуються, що вказує на зміну величини послідовного опору досліджуваної структури (табл. 3). Це, разом із зменшенням обернених струмів, приводить до суттєвого покращення коефіцієнта випрямлення.

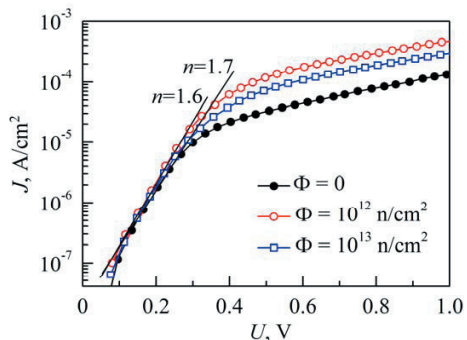


Рис. 5. Залежності прямого струму  $J$  від напруги  $U$  ФП  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-InSe}$  до і після гамма-нейтронного опромінення

Таблиця 3

Параметри ФП  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-InSe}$  та контрольної структури  $\text{ITO-SiO}_2\text{-p-Si}$  до і після гамма-нейтронного опромінення

Флюенс, $\text{n/cm}^2$	0	1012	1013
$\text{In}_2\text{O}_3\text{-p-InSe}$			
К (при $ U  = 1 \text{ В}$ )	360	720 (+100)	890 (+147)
$n$	1,7	1,6 (-6)	1,6 (-6)
$U_{xx}$ , В	0,52	0,59 (+14)	0,59 (+14) (+14)
$J_{кз}$ , $\text{mA/cm}^2$	4,1	4,4 (+7)	3,8 (-7)
$R_{ш}$ , Ом·см <sup>2</sup>	370	318 (-14)	362 (-2)
$S_I$ ( $\lambda=0,98 \text{ мкм}$ ), $\text{mA/Вт}$	109	104 (-5)	96 (-12)
$S_U$ ( $\lambda=0,98 \text{ мкм}$ ), $\text{В/Вт}$	$1,9 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^4$ (+26)	$2,3 \cdot 10^4$ (+21)
$\Delta\lambda$ , мкм	0,52–1,00	0,56–1,01	0,58–1,01
$\text{ITO-SiO}_2\text{-p-Si}$			
$U_{xx}$ , В	0,52	0,44 (-15)	-
$J_{кз}$ , $\text{mA/cm}^2$	17,2	7,7 (-55)	-
$S_I$ ( $\lambda=0,98 \text{ мкм}$ ), $\text{mA/Вт}$	171	8,6 (-95)	-
$S_U$ ( $\lambda=0,98 \text{ мкм}$ ), $\text{В/Вт}$	$1,6 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$ (-95)	-

На фоні неопромінених структур спектральна крива фотовідгуку опромінених зберігає свій хід в усьому діапазоні поглинутих енергій, за винятком зменшення абсолютних значень фотоструму (рис. 6). На всіх залежностях  $\eta(h\nu)$  чітко спостерігається екситонний максимум при  $E=1,25 \text{ eV}$ .

Також несуттєво звужується область спектральної чутливості  $\Delta\lambda$  при незмінному енергетичному положенні її максимуму (табл. 3).

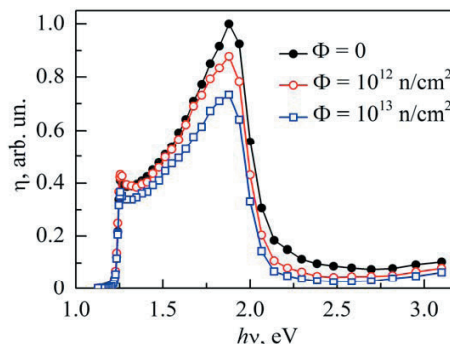


Рис. 6. Спектри фотовідгуку  $\eta(h\nu)$  ФП  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-InSe}$  до і після гамма-нейтронного опромінення

Для початкового флюенсу гамма-нейтронного опромінення спостерігалось збільшення струму короткого замикання, напруги холостого ходу та вольт-ватної чутливості досліджуваних структур; при подальшому опроміненні погіршення стосувалося тільки параметрів  $S_I$  та  $J_{кз}$  (табл. 3).

У той же час, навіть перше опромінення гамма-нейтронами виявляється катастрофічним для параметрів кремнієвої структури (табл. 3). Величини  $S_I$  і  $S_U$  сонячного елемента  $\text{ITO-SiO}_2\text{-p-Si}$  зменшилися, відповідно, у 20 і 8 разів. Це ж стосується параметрів  $U_{xx}$  та  $J_{кз}$ : їх спад склав 15 і 55%, відповідно.

Відомо [8], що при гамма- та електронному опроміненні основним механізмом радіаційного пошкодження є виникнення нерівноважних пар Френкеля, а при гамма-нейтронному опроміненні – утворення крім точкових, також кластерів радіаційних дефектів. Покращення електричних і фотоелектричних характеристик ФП  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-InSe}$  можна зв'язати з радіаційно-стимульованим упорядкуванням дефектної структури шаруватого кристалу. Це призводить до зменшення питомого опору напівпровідника, що є прямою причиною зміни таких параметрів як  $R_{ш}$  та  $J_{кз}$ . Ріст саме вакансій селену, що пояснюється особливою структурою шаруватого кристалу, яка передбачає слабший зв'язок халькогену в ґратці, приводить до підвищення фоточутливості структур. При максимальних дозах накопичується велика кількість радіаційних дефектів і описані вище явища уповільнюються. Відбувається створення вакансійних кластерів і ріст безлічі мілких кластерів міжвузлового типу. Зокрема, бівакансійний комплекс  $V_{In}+V_{Se}$  у кристалах  $\text{InSe}$  відповідає за безвипромінювальні центри рекомбінації. Однак, відсутність суттєвих змін електричних та фотоелектричних параметрів в опромінених ФП доводить, що внесених різними видами високоенергетичного випромінювання дефектів не більше, ніж власних дефектів у шаруватому селеніді індію.

Отримані вище результати засвідчують високу радіаційну стійкість  $\text{InSe-ФП}$  і дозволяють рекомендувати їх для роботи в умовах значних дозових навантажень.

#### 4. Висновки

1. Вплив опромінення гальмівними  $\gamma$ -квантами дозами 1,4 – 14 Мрад на ФП  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-p-InSe}$ , у цілому, зводився до поліпшення його електричних та фотое-



лектричних параметрів чи, їх мінімальної деградації (до 2%). Порівняння спектрів фотовідгуку показало тільки зростання абсолютних значень фотоструму з опроміненням.

2. Встановлено, що для мінімальної дози (0,33 Мрад) електронного опромінення відбувається покращення всіх параметрів досліджуваних ФП, а для максимальної (33 Мрад) – незначні (до 7%) зниження струму короткого замикання та ампер-ватної чутливості, збільшення послідовного опору і коефіцієнта  $n$ . Аналогічно  $\gamma$ -квантам, вплив даного опромінення зводиться до виникнення дефектів по Френкелю.

3. Навіть для максимальних значень флюенса ( $10^{13}$  н/см<sup>2</sup>) гамма-нейтронного опромінення тільки

два параметри ФП  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $p$ - $\text{InSe}$  зазнали незначного погіршення (до 12%): струм короткого замикання та ампер-ватна чутливість. Спектральний контур фотовідгуку не змінюється за винятком падіння його абсолютних значень. Опромінення призводить до утворення як точкових радіаційних дефектів, так і їх кластерів.

4. Відсутність значних змін електричних та фотоелектричних параметрів в опромінені ФП доводить, що внесених радіацією дефектів не більше, ніж власних дефектів шаруватого кристалу.

У той же час, використані дози і види випромінювань викликали сильну деградацію тестової структури  $\text{ITO-SiO}_2$ - $n$ - $\text{Si}$ .

#### Література

1. Kovalyuk, Z.D. Intrinsic conductive oxide- $p$ - $\text{InSe}$  solar cells [Текст] / Z.D. Kovalyuk, V.M. Katerynychuk, A.I. Savchuk, O.M. Sydor // Mater. Sci. Eng. B. – 2004. – V. 109. – P. 252–255.
2. Савицкий, П.И. Анизотропия электропроводности в моноселениде индия [Текст] / П.И. Савицкий, З.Д. Ковалюк, И.В. Минтянский // Неорганические материалы. – 1996. – Т.32, №4. – С. 405–409.
3. Bakhtinov, A.P. Formation of nanostructure on the surface of layered inSe semiconductor caused by oxidation under heating [Текст] / A.P. Bakhtinov, Z.D. Kovalyuk, O.N. Sydor, V.N. Katerinchuk, O.S. Litvin // Physics of the Solid State. – 2007. – V. 49, N. 8. – P. 1572–1578.
4. Вавилов, В.С. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах [Текст] / В.С. Вавилов, Н.А. Ухин. – М.: Атомиздат, 1969 – 310 с.
5. Balitskii, O.A. Thermodynamic study of AIII BVI compounds oxidation [Текст] / O.A. Balitskii, V.P. Savchyn // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2004. – V. 7. – P. 55–58.
6. Alekperov, O.Z. Interband photoconductivity in layer semiconductors GaSe, InSe and GaS [Текст] / O.Z. Alekperov, M.O. Godjaev, M.Z. Zarbaliev, R.A. Suleymanov // Solid State Communication. – 1991. – V. 77, N. 1. – P. 65–67.
7. Alekperov, O.Z. Intermediate type excitons in schottky barriers of A3B6 layer semiconductors and UV photodetectors [Текст] / O.Z. Alekperov, N.M. Guseinov, A.I. Nadjafov // Phys. stat. sol. (c). – 2006. – V. 3, N. 8. – P. 2669–2672.
8. Ahmed, S.N. Physics and engineering of radiation detection [Текст] / S.N. Ahmed. – London: Academic Press, 2007 – 764 p.

#### Abstract

*The article presents the results of irradiation of  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $p$ - $\text{InSe}$  photoconverters by braking  $\gamma$ -quanta, high-energy electrons and gamma-neutrons. In particular, their electrical and photoelectrical parameters were analyzed. The latest were compared to the similar parameters of test solar  $\text{ITO-SiO}_2$ - $n$ - $\text{Si}$  element. For the initial doses, depending on the type of irradiation, the major changes consisted in:*

*- the improvement of the rectification factor  $K$  at 10-100% and the monochromatic volt-watt sensitivity  $S_U$  at 18-44%;*

*- the maintenance or increase of voltage of idle running  $U_{xx}$ ;*

*- the increase of the short-circuit current  $J_{K3}$  at 7% (under the action of gamma-neutrons and electrons) and the monochromatic ampere-watt sensitivity of  $S_I$  at 11-28% (under the action of  $\gamma$ -quanta and electrons).*

*In other cases, the listed parameters have been experiencing the minimal decline (up to 5%). The imperfectness coefficient  $BAX$   $n$  has remained constant or has even slightly improved (under the action of gamma-neutron). With further radiation, it was fixed: values  $U_{xx}$ ,  $J_{K3}$ ,  $S_U$  and  $S_I$  were saved in case of  $\gamma$ -quanta;  $U_{xx}$  and  $S_U$  increased under the action of electrons,  $K$  value was significantly improved and  $U_{xx}$  was unchanged in case of gamma neutrons. The decline of the rest of the parameters was in the range 2-12%. The specific changes in the spectral contours of photoresponse were not detected (except the irradiation by electrons). The possible mechanisms of radiation damages were discussed. In case of  $\gamma$ - and electron radiation, this is the generation of point defects - Frenkel pairs, in case of neutron radiation - formation of vacancy and internodal clusters. At the same time, the used doses and types of radiation have caused severe damage of  $\text{ITO-SiO}_2$ - $n$ - $\text{Si}$  structure.*

**Keywords:** *layered crystal, indium selenide, gamma radiation, electron radiation, neutron radiation*