

УДК 621.315.592

## ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОДИОДОВ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНИДА ИНДИЯ

*Р. Ю. Алиев, К. А. Аскеров*

Институт фотоэлектроники АН Азербайджана, Баку, Азербайджанская Республика

*Экспериментально исследовано воздействие протонного, нейтронного и гамма-излучений на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе селенида индия, работающих в ближней ИК-области. Обнаружено увеличение полосы пропускания и чувствительности фотодиодов. Фотодиоды такого типа рекомендованы к использованию в условиях повышенной радиации.*

В настоящее время большой практический и научный интерес представляют разработка технологии и изготовление радиационно-стойких фотоприемников на основе слоистых соединений для ближней ИК-области спектра. Такие фотодиоды могут применяться в приемниках видимого и ближнего ИК-излучения, работающих в условиях повышенной радиации. Физические основы технологии изготовления фотодиодов на основе селенида индия подробно описаны в [1]. Влияние ионизирующих излучений различного вида на электрофизические и фотоэлектрические свойства монокристаллических образцов селенида индия и фотодиодов на его основе исследовано в [2—5]. Однако подробных исследований радиационной стойкости фотодиодов на основе селенида индия проведено недостаточно.

Данная статья посвящена исследованию влияния имитирующих факторов ядерного взрыва и протонного облучения на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе селенида индия. Исследуемые фотоприемники были подвергнуты следующим типам ионизирующих излучений:

на воздействие поражающих факторов ядерного взрыва (ЯВ) с уровнем нейтронов с энергией  $>0,1$  МэВ и флюенсом  $3,0 \cdot 10^{12}$  см<sup>-2</sup> и импульсного гамма-излучения мощностью  $1,0 \cdot 10^{10}$  Р/с;

на воздействие протонного излучения с флюенсом  $5,0 \cdot 10^{13}$  см<sup>-2</sup>.

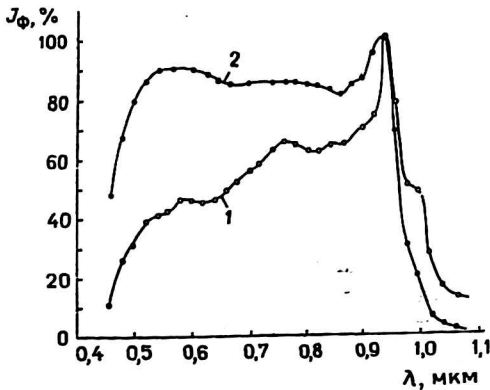
До и после указанных выше видов ионизирующего излучения измерялись спектральные характеристики, амплитудно-частотные характеристики, монохроматическая и вольт-ваттная чувствительность фотодиодов.

Результаты измерений указанных параметров для фотодиодов при напряжении 3 В до и после облучения приведены в таблице.

**Влияние имитирующих факторов ядерного взрыва фотодиодов на основе селенида индия**

Параметры фотодиодов	До облучения	Импульсные гамма- и нейтронное облучение $\Phi_n = 3 \cdot 10^{12} \text{ см}^2$ $P_\gamma = 1 \cdot 10^{10} \text{ Р/с}$	До облучения	Протонное облучение
$S_\lambda, \text{ А/Вт}$	2,6	3,2	2,1	1,95
$S_\nu, 10^4, \text{ В/Вт}$	$4,3 \cdot 10^4$	8,2	$4,3 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$
$S_f, \text{ мА/лм}$	15	18	15,3	14,5
$\Delta f, \text{ МГц}$	400	800	—	—
$n, \text{ дБ}$	8	3,5 ( $\Delta f = 400$ ) 5,2 ( $\Delta f = 800$ )	—	—

Как видно из таблицы, значения монохроматической и вольт-ваттной чувствительности на основе селенида индия после воздействия указанных факторов несколько увеличиваются, что указывает на возможность использования этих фотодиодов в условиях повышенной радиации. Увеличение фоточувствительности фотодиодов наблюдалось после импульсного гамма- и нейтронного облучения (рис. 1). Как видно из рисунка, в коротковолновой области спектра наблюдается значительное увеличение, а в длинноволновой области — резкий спад фоточувствительности. При этом основной максимум не смещается.



**Рис. 1. Спектр фоточувствительности фотодиодов:**

- 1 — после импульсного гамма-излучения;
- 2 — после нейтронного излучения

Иная картина наблюдается при облучении фотодиодов на основе селенида индия протонами с флюэнсом  $5,0 \cdot 10^{13} \text{ см}^2$  (рис. 2). В этом случае фоточувствительность в коротковолновой области спектра уменьшается, и, наоборот, в длинноволновой области спектра, увеличиваясь, имеет тенденцию к росту дополнительного максимума. При этом основной максимум несколько сдвигается в длинноволновую сторону спектра. Наблюдаемые изменения в результате воздействия ионизирующего излучения могут быть связаны с образованием радиационных дефектов, созданных в слоистых структурах селенида индия.

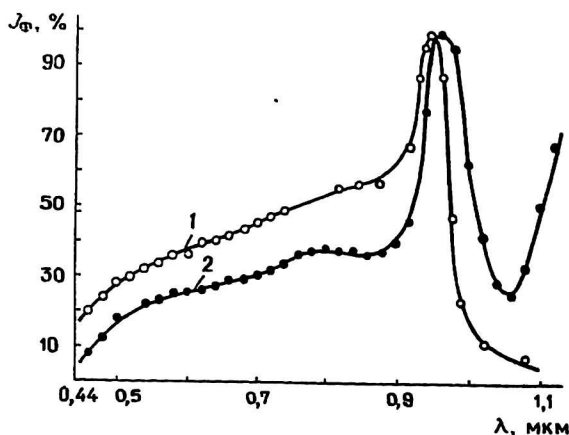


Рис. 2. Спектр fotocувствительности фотодиодов:  
1 — до облучения протонами; 2 — после облучения ( $5,0 \cdot 10^{13}$  p/cm<sup>2</sup>)

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)  $U = \varphi(f)$  фотодиодов измерялась по известному методу в полосе частот 100—1000 МГц.

Неравномерность АЧХ определяли по формуле

$$n = 20 \lg (U_{c \text{ макс}} / U_{c \text{ мин}}),$$

где  $U_{c \text{ макс}}$  и  $U_{c \text{ мин}}$  соответственно, максимальное и минимальное напряжение сигнала фотоотклика в измеряемой полосе частот.

В результате воздействия импульсного гамма- и импульсного нейтронного излучения на частотных характеристиках фотодиодов на основе селенида индия наблюдалось увеличение частотного диапазона. Частотный диапазон при однократном воздействии ионизирующего излучения увеличился на 10—20 %. Результаты воздействия импульсного гамма-излучения и импульсного нейтронного облучения существенно влияют на величины монохроматической, вольт-ваттной и интегральной чувствительности фотодиодов, в которых они повышаются приблизительно на 20—40 %. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики увеличивается на 40—65 %. Это объясняется тем, что в результате облучения происходит расширение области объемного заряда фотодиода, следствием чего является уменьшение емкости  $p$ - $n$ -перехода и, следовательно, увеличение полосы пропускания. Полученные результаты могут быть использованы при изготовлении фотодиодов, работающих в ближней части ИК-области спектра.

Исследовано также влияние изохронного отжига продолжительностью 30 мин на фотоэлектрические свойства облученных фотодиодов. Выяснено, что после изохронного отжига в интервале 70—130 °C (с шагом 20 °C), фотоэлектрические параметры исследуемых фотодиодов почти полностью восстанавливаются. Установлено, что дефекты, вводимые облучением, являются нестабильными, они исчезают за одну стадию изохронного отжига, т. е. происходит постепенная рекомбинация радиационных дефектов.

При малых флюенсах облучения, по всей вероятности, в основном происходит перераспределение примесей золота, являющегося компенсирующим элементом при получении  $p$ - $n$ -перехода, вследствие чего получается более совершенный и стабильный  $p$ - $n$ -переход и fotocувствительность фотодиодов увеличивается [6]. С ростом флюенсов облучения миграция радиационных дефектов в межслойном промежутке слоистого кристалла селенида индия облегчает про-

цесс образования комплексов, приводящих к некоторой деградации фотоэлектрических материалов фотодиодов.

На основании полученных результатов можно рекомендовать эти виды фотоприемников для работы в условиях повышенной радиации.

### Литература

1. Аскеров К. А., Исаев Ф. К., Амиров Д. Г. Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых слоистых полупроводниках. — Баку, 1991. — 126 с.
2. Салаев Э. Ю., Исмаилов Ф. И., Заитов Ф. А., Аскеров К. А., Амиров Д. Г. Влияние гамма-нейтронного облучения на электрофизические свойства селенида индия: Материалы семинара "Вопросы обеспечения РС, РЭА, ЭРИ и материалов к воздействию ИИ и ЯВ" // ЦНИИ информации и ТЭИ. — М.: 1984. С. 39.
3. Аскеров К. А., Алиев Е. М., Исаев Ф. К., Амиров Д. Г. // Доклады АН Азерб. ССР, 1990. № 2. С. 85—87.
4. Алиев Р. Ю., Караев Д. И., Амиров Д. Г., Аскеров К. А. // ДАН Азерб. Республики. 1992. Т. 48. № 1—6. С. 58—60.
5. Алиев Р. Ю., Караев Д. И., Аскеров К. А. // Физика. 1996. № 2. С. 32—33.
6. Saito H., Rigg J. C., Granford J. H. // Phys. Rev. 1996. V. 44. P. 725.

## INFLUENCE OF IONIZING RADIATION ON THE BASIC PARAMETERS OF PHOTODIODES ON THE BASE OF INDIUM SELENIDE

*R. Yu. Aliyev, K. A. Askerov*

Institute of Photoelectronics of the Azerbaijan Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

*The influence of ionizing irradiation of different kind—imitation factors of nuclear explosion and proton irradiation on photoelectrical properties of photodiodes on the base of indium selenide have been investigated. Photoreceivers were exposed to ionizing irradiations of following kinds: influence of damading factors of nuclear explosion with neutrons energy of  $E_n > 0,1$  MeV and fluence of  $3 \cdot 10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$  and pulse gamma-irradiation of power  $1 \cdot 10^{10}$  R/s; influence of proton irradiation with fluence  $5 \cdot 10^{13}$   $\text{cm}^{-2}$ . It is shown that pulse gamma- and neutron-irradiation essentially acts monochromatic and volt-watt sensitivities of photodiodes, increasing them about 20—40 %. In short-wave region of spectrum significant increasing is observed, while sharp decreasing in sensitivity in long-wave region occurs. Non uniformity of amplitude-frequency characteristics increases up to 40—65 %. This fact are explained by the widening of space charge region in photodiodes. This result in decreasing the capacity of p-n-junction and widening of transmission band. Results obtained may be used for the fabrication of photodiodes, operationg in near IR-region of spectrum.*