

**ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОРЕЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНИДА ИНДИЯ**

В.И.ГАДЖИЕВА, К.А.АСКЕРОВ, Б.Ш.БАРХАЛОВ

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, пр. Г.Джавида, 33*

Исследовано влияние ионизирующих излучений (гамма-квантов и нейтронного облучения) на фотоэлектрические характеристики фоторезисторов на основе кристаллов InSe, легированных серебром и германием. Показано, что указанные легированные кристаллы InSe перспективны для разработки на их основе гамма- и нейтронных детекторов с "памятью".

Моноселенид индия (InSe) принадлежит к широкому классу слоистых полупроводников, характеризующихся сильно выраженной структурной анизотропией. Другим интересным свойством слоистых халькогенидов является их сильная дефектность, связанная как с наличием структурных и неконтролируемых дефектов, так и обусловленная специальным легированием. Данное обстоятельство является очень важным с точки зрения радиационной стойкости кристаллов $A^{III}B^{VI}$. Следовательно, структуры на специально легированных полупроводниках $A^{III}B^{VI}$ не должны деградировать в результате воздействия на них проникающей радиации [1].

Все возрастающий интерес к исследованию радиационных эффектов в слоистых полупроводниках типа $A^{III}B^{VI}$ [1-4] и фотоприемниках на их основе [5-8] связан прежде всего с тем, что с помощью облучения можно создать очень большой набор типов дефектов, в том числе и таких, которые не характерны для равновесного состояния кристалла. Изменяя энергию облучающих частиц, температуру облучения и отжига, примесный и дефектный составы облучаемого кристалла, можно весьма значительно трансформировать спектр радиационных дефектов.

Практическое значение радиационных исследований совершенно очевидно. Полупроводниковые приборы часто работают в условиях, когда они могут подвергаться воздействию проникающей радиации. Поэтому представляло интерес изучение воздействия гамма-квантов и нейтронного облучения на фотоэлектрические характеристики фоторезисторов на основе кристаллов InSe *n*-типа, специально легированных акцепторными примесями серебра и германия, с целью выявления перспектив использования их в качестве гамма- и нейтронных детекторов.

Измерение проводилось на фоторезисторах на основе монокристаллических образцов, легированных серебром и германием. Соответствующие примеси при этом вводились по формуле замещения в катионной части в пределах не более $0,05 \div 0,1$ ат. % непосредственно при синтезе самого соединения.

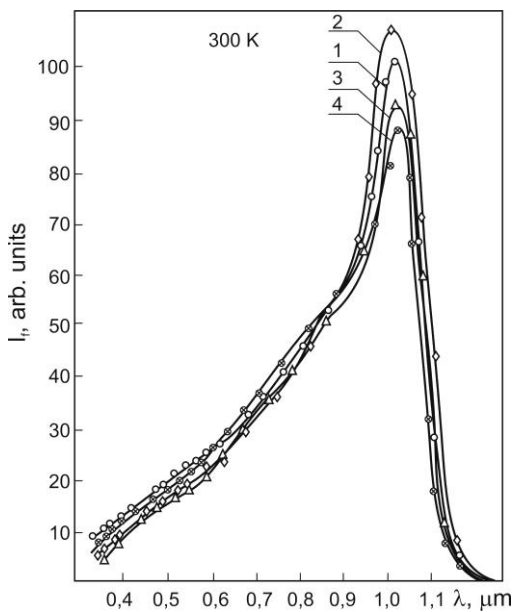
Фоторезисторы были изготовлены из плоскопараллельных монокристаллических пластин, отколотых от массивного слитка. Монокристаллические образцы селенида индия *n*-типа были получены методом Бриджмена и при температуре 300К имели следующие параметры: концентрация и подвижность основных носителей заряда (электронов) соответственно $10^{14} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $800 \div 1200 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, удельное сопротивление составляло $10 \div 100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Ширина запрещенной зоны для селенида индия равна $E_g = 1,18 \text{ эВ}$. Измерительными электродами служили индиевые контакты, запаянные на свежие сколы.

Непрерывное гамма-облучение исследуемых образцов проводилось на стандартной гамма-установке типа ГУРХ-100000, состоящей из стандартного источника Co^{60} , нейтронные импульсы моделировались на реакторе Барс-2. Спектральные характеристики фоторезисторов снимались по стандартной методике [9] с помощью монохроматора МДР-4 с кварцевой призмой в режиме малого нагрузочного сопротивления.

Как спектральная, так и интегральная фоточувствительность (S_i) измерены до и после воздействия на исследуемые образцы гамма-квантов (источник Co^{60}) в интервале доз $D_\gamma=10^4\div 10^8 P$ (мощности $30\div 650 P/c$) и гамма-импульсных нейтронов в интервале флюенсов $10^{12}\div 10^{14} см^2$.

Влияние облучения гамма-квантов на фотоэлектрические характеристики изучено на фоторезисторах, легированных серебром и германием. Отметим, что некоторое отличие исходных кривых связано с тем, что измерения проводились на различных образцах с различными исходными параметрами.

Спектральные характеристики изученного фоторезистора на основе образца $InSe:Ag$ (0,05ат.%) до (кривая 1) и после (кривые 2-4) облучения гамма-квантами различной интенсивности доз приведены на Рис.1. Как следует из Рис.1, исследуемый образец $InSe:Ag$ (0,05ат.%) обладает фоточувствительностью в широкой области спектра - $\lambda=0,33\div 1,3 мкм$. Помимо основного максимума при $1,02\div 1,06 мкм$, связанного с собственным поглощением, наблюдается и коротко-волновый максимум при $0,45\div 0,47 мкм$, связанный с примесным уровнем (кривая 1 на Рис.1). Для выяснения роли поверхностных эффектов в изменении параметров фоторезисторов при их облучении фоточувствительные слои помещались в различные среды (вакуум, кислород, инертный газ). Было выявлено, что характер изменения параметров фоточувствительных слоев не зависит от природы среды, что свидетельствует в пользу того, что роль поверхностных эффектов незначительна.



1,02÷1,06мкм, связанного с собственным поглощением, наблюдается и коротко-волновый максимум при 0,45÷0,47мкм, связанный с примесным уровнем (кривая 1 на Рис.1). Для выяснения роли поверхностных эффектов в изменении параметров фоторезисторов при их облучении фоточувствительные слои помещались в различные среды (вакуум, кислород, инертный газ). Было выявлено, что характер изменения параметров фоточувствительных слоев не зависит от природы среды, что свидетельствует в пользу того, что роль поверхностных эффектов незначительна.

Рис.1.

Спектральные характеристики монокристалла $InSe:Ag$ (0,05ат.%) до (кривая 1) и после (кривые 2-4) облучения гамма-квантами: 1 - $E=0$; 2 - $E=10^6 P$; 3 - $E=10^7 P$; 4 - $E=10^8 P$.

Полученные нами экспериментальные данные показывают, что предварительное облучение гамма-квантами дозой до $10^5 P$ не приводит к заметным изменениям фоточувствительности в области собственного поглощения. Изменение фоточувствительности наблюдалось после флюенса $10^6 P$. При этом чувствительность в коротковолновой области заметно уменьшается, что может быть связано с возможной ионизацией примесных уровней с ростом флюенсов гамма-квантов. Дальнейшее увеличение флюенса гамма-квантов до $10^8 P$ изменяет фоточувствительность в максимуме спектральной характеристики всего лишь на $15\div 20\%$.

Аналогичные изменения фотоэлектрических характеристик после воздействия гамма-квантами наблюдались также на образцах кристаллов $InSe:Ge$ (0,05ат.%). Выявлено, что при облучении гамма-квантами фоточувствительность в этих кристаллах в зависимости от флюенса облучения или увеличивается или уменьшается, вплоть до значения флюенса $10^5 P$ фоточувствительность данных образцов практически остается без изменения, то есть до указанного флюенса данные кристаллы могут служить как устойчивые к радиации приемники ионизирующего излучения.

С дальнейшим ростом флюенса предварительного облучения гамма-квантами фоточувствительность данных образцов изменялась в пределах $40\div 50\%$ от исходного. Следовательно, для данной области дозы гамма-квантов эти

кристаллы могут быть использованы в качестве "запоминающего" гамма-детектора.

Для отмеченных выше обоих типов образцов определена также интегральная фоточувствительность при напряжении смещения $U_{см} \approx 10В$, $T=300К$ и максимумами спектральной характеристики $\lambda_{макс} = 1,02 \div 1,06 \mu м$. Величина интегральной чувствительности (S_λ) для различных типов изученных образцов в исходном их состоянии варьировалась в пределах $10 \div 60 \text{ мА/лм}$. Для образцов, легированных серебром, в частности, изменение интегральной чувствительности при дозах $10^8 Р$ превышало 10% от исходного.

Изучено также влияние импульсного нейтронного облучения на легированные указанными примесями кристаллы InSe. На Рис.2 и Рис.3 приведены спектральные характеристики фоторезисторов до и после облучения различными флюенсами нейтронов для образцов InSe:Ag (0,1ат.%) и InSe:Ge (0,1ат.%), соответственно.

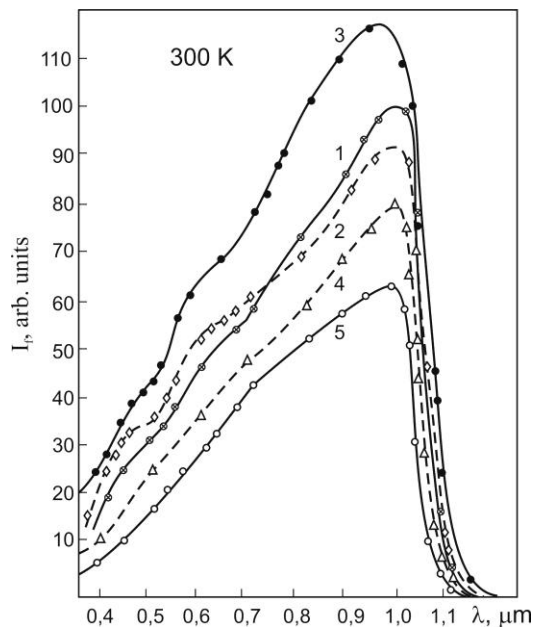


Рис. 2.

Спектральные характеристики монокристалла InSe:Ag (0,1ат.%) до (кривая 1) и после (кривые 2-5) облучения нейтронными потоками различной интенсивности: 1 - $\Phi=0$; 2 - $\Phi=10^{12} \text{ н/см}^2$; 3 - $\Phi=10^{13} \text{ н/см}^2$; 4 - $\Phi=5 \cdot 10^{13} \text{ н/см}^2$; 5 - $\Phi=10^{14} \text{ н/см}$.

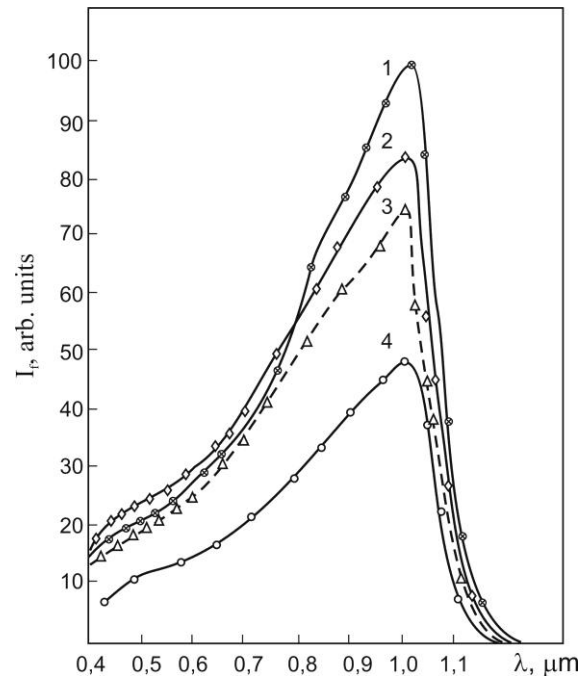


Рис. 3.

Спектральные характеристики монокристалла InSe:Ge (0,1ат.%) до (кривая 1) и после (кривые 2-4) облучения нейтронными потоками различной интенсивности: 1 - $\Phi=0$; 2 - $\Phi=10^{12} \text{ н/см}^2$; 3 - $\Phi=10^{13} \text{ н/см}^2$; 4 - $\Phi=10^{14} \text{ н/см}^2$.

Как следует из представленных на этих рисунках спектральных характеристик, предварительное облучение нейтронным флюенсом фоторезистора InSe:Ag (0,1ат.%), в частности при малых флюенсах нейтронов до 10^{12} н/см^2 , вызывает незначительное изменение фоточувствительности. В то время как после флюенса 10^{13} н/см^2 наблюдается увеличение фоточувствительности на $20 \div 30\%$, дальнейшее увеличение флюенса нейтронов до 10^{14} н/см^2 приводит к уменьшению фоточувствительности не более, чем на $30 \div 40\%$ от исходного значения.

В отличие от предыдущего в фоторезисторах, легированных германием InSe:Ge (0,1ат.%), вследствие предварительного нейтронного облучения имеет

место только лишь уменьшение фоточувствительности, причем во всей области спектра (Рис.3).

При максимальном флюенсе нейтронов изменение фоточувствительности не превосходит 40%. А интегральная фоточувствительность фоторезисторов InSe:Ag (0,1 ат.%), в частности при малых флюенсах нейтронов, практически не изменялась.

Изменение интегральной чувствительности при больших флюенсах нейтронов (до 10^{14} н/см²) составляло 20÷30%.

Из всего изложенного материала следует, что указанные выше легированные кристаллы InSe перспективны для разработки на их основе гамма и нейтронных детекторов с "памятью".

В указанных типах детекторов становится возможным длительное запоминание информации о предварительном воздействии нейтронного облучения и вычитание их при лазерном возбуждении на длине волны 1,06 мкм, соответствующей максимуму спектральной чувствительности собственной фотопроводимости материала детектора.

Физический механизм наблюдаемых изменений, вызванных воздействием ионизирующих излучений при этом, по всей вероятности, обусловлен возникновением нестабильных радиационных дефектов, скопившихся в межслойном промежутке кристалла, устраняемых вследствие последующего отжига или выдержки после облучения.

1. З.Д. Ковалюк З.Д., О.А.Политанская, О.Н.Сидор и др., *ФТП*, **42** (2008) 1321.
2. Z.D.Kovalyuk, V.M.Katerinchuk, I.V.Mintyaskii et al., *Mater. Sci. Eng. B*, **118** (2005) 147.
3. З.Д.Ковалюк, О.А.Политанская, П.Г.Литовченко и др., *Письма в ЖТФ*, **33** № 18 (2007) 14.
4. К.А.Аскеров, В.И. Гаджиева, *Прикладная физика*, № 1 (2008) 31.
5. З.Д.Ковалюк, В.Н.Катеринчук, О.А.Политанская др., *ФТП*, **40** (2006) 940.
6. Z.D.Kovalyuk, V.M.Katerinchuk, O.A.Politanskaya et al., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **B246** (2006) 118.
7. К.А.Аскеров, В.И.Гаджиева, Б.Ш.Бархалов и др., *Приборы и техника эксперимента*, № 5 (2009) 168.
8. Д.Ш.Абдинов, К.А.Аскеров, В.И.Гаджиева и др., *Прикладная физика*, № 5 (2008) 106.
9. *ГОСТ 1777288 – Приемники излучения, полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик. Москва, Изд. Стандартов, (1986).*

İONLAŞDIRICI ŞÜALARIN İNDİUM SELENİD ƏSASINDA FOTOREZİSTORLARIN SPEKTRAL XARAKTERİSTİKALARINA TƏSİRİ

V.I.HACIYEVA, K.Ə.ƏSGƏROV, B.Ş.BARXALOV

İonlaşdırıcı şüaların (qamma-kvantların və neytron şüalandırılmasının) gümüş və germaniumla aşqarlanmış InSe kristalları əsasında fotorezistorların spektral xarakteristikalarına təsiri tədqiq olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, gümüş və germaniumla aşqarlanmış InSe kristalları onların əsasında "yaddaşlı" qamma- və neytron detektorlarının işlənilib hazırlanması üçün perspektivlidir.

INFLUENCE OF IONIZING RADIATIONS ON SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE PHOTORESISTORS ON THE BASIS OF INDIUM SELENIDE

V.I.GADZHIYEVA, K.A.ASKEROV, B.Sh.BARKHALOV

Influence of ionizing radiations (gamma-quanta and a neutron irradiation) on photo-electric characteristics of photoresistors on the basis of InSe crystals alloyed by silver and germanium have been investigated. It has been shown that specified alloyed InSe crystals have been perspective for development gamma and neutron detectors with "memory" on their basis. Редактор: В.Салманов