

Д. ф.-м. н. З. Д. КОВАЛЮК, к. ф.-м. н. В. Н. КАТЕРИНЧУК,
О. А. ПОЛИТАНСКАЯ, О. Н. СИДОР

Украина, Черновицкое отделение Института проблем
материаловедения им. И. Н. Францевича
E-mail: chimsp@unicom.cv.ua

Дата поступления в редакцию
07.06 2005 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН
(ЦКБ "Ритм", г. Черновцы)

ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ InSe-ГЕТЕРОСТРУКТУР

Исследования гетероструктур $p-n$ -InSe и окисел- p -InSe после облучения в дозах 10—300 Р показали, что InSe-диоды отвечают требованиям радиационной стойкости.

Важной задачей полупроводникового материаловедения является не только поиск радиационностойких материалов, но и изучение поведения устройств на их основе при работе в условиях жестких излучений.

В качестве основы многих гетероструктур используются подложки InSe [1—4], т. к. слоистая структура кристаллов InSe позволяет легко получать качественные подложки произвольной толщины путем скалывания их со слитка без дополнительных обработок поверхности [5].

Хорошо известно, что на характеристики селенида индия практически не влияют даже значительные дозы облучения [6, 7]. Однако вопросу радиационной стойкости фотоэлектронных устройств на его основе уделено значительно меньше внимания.

В настоящей работе исследовано влияния γ -облучения на фотоэлектрические характеристики фотодиодов $p-n$ -InSe и окисел- p -InSe.

Кристаллы InSe n - и p -типа проводимости выращивались вертикальным методом Бриджмена. Более однородные слитки этих кристаллов получались при незначительном надстехиометрическом избытке In над Se в соотношении $In_{1,03}Se_{0,97}$. Специально легированный InSe имел всегда n -тип проводимости, а легированный кадмием в количестве 0,1 мас. % — p -тип.

Для создания гетероструктур (ГС) $p-n$ -InSe использовался метод оптического контакта полупроводников [8]. В качестве фронтального полупроводника использовались тонкие (20—30 мкм) пластины n -InSe, в качестве базового — p -InSe. Электропроводность пластин была на два порядка выше, чем кристаллов p -типа проводимости (10^3 — 10^4 Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$).

Гетероструктуры окисел- p -InSe изготавливались термическим окислением подложки из p -InSe при температуре 400—450°C [4]. В качестве токовых контактов использовался чистый индий. Площадь изготовленных образцов составляла 0,25 см 2 .

Облучение проводилось от источника непрерывного действия γ -квантами ^{60}Co ($E=1,25$ МэВ) дозами 10 и 300 Р при комнатной температуре.

Спектры фоточувствительности ГС исследовались с помощью монохроматора МДР-3 с разрешающей способностью 2,6 нм/мм. Все спектры нормировались относительно количества падающих фотонов.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) гетероструктур исследовались на установке „Schlumberger SI 1255” с компьютерным интерфейсом. Все измерения проводились при комнатной температуре.

Результаты измерений фотоэлектрических параметров гетероструктур до и после облучения приведены в **таблице**.

Гетероструктура	D, P	U_{xx}, B	$J_{kз}, mA/cm^2$
$p-n$ -InSe	0	0,4	0,12
	10	0,44	0,24
	300	0,52	2,16
Окисел- p -InSe	0	0,47	2,9
	10	0,51	5,0
	300	0,545	8,5

Из таблицы видно, что с увеличением дозы облучения D наблюдается четкая тенденция к улучшению характеристик ГС. Максимальная величина роста напряжения холостого хода U_{xx} для ГС $p-n$ -InSe составляет 30%, а тока короткого замыкания $J_{кз}$ — 1700%. Для ГС окисел- p -InSe U_{xx} увеличивается на 15% при росте $J_{кз}$ на 200%.

На **рис. 1** показаны зависимости квантовой эффективности фототока η исследуемых ГС от энергии падающего излучения.

Для $p-n$ -InSe (рис. 1, *a*) в длинноволновой части спектра заметен острый пик, соответствующий экситонному поглощению InSe [9]. Облучение порядка 10 Р практически не влияет на этот пик, а увеличение дозы до 300 Р приводит к его исчезновению. Известно, что в несовершенных кристаллах экситонное поглощение не наблюдается. В нашем случае к аналогичному результату приводит образование радиационных дефектов.

Форма спектров относительной квантовой эффективности фототока гетероструктур окисел- p -InSe (рис. 1, *b*) после γ -облучения практически не изменяется, т. е. используемые дозы облучения не приводят к разрушению потенциального барьера или к существенному изменению фототока.

Для обеих рассматриваемых структур в коротковолновой спектральной области характерен спад фоточувствительности, который обычно связывают с поверхностными состояниями и увеличением скорости поверхностной рекомбинации [10].

На ВАХ гетероструктур $p-n$ -InSe и окисел- p -InSe (**рис. 2**) после γ -облучения наблюдается увеличение коэффициента выпрямления тока. Наблюдаемые после облучения образцов изменения экспоненциальной

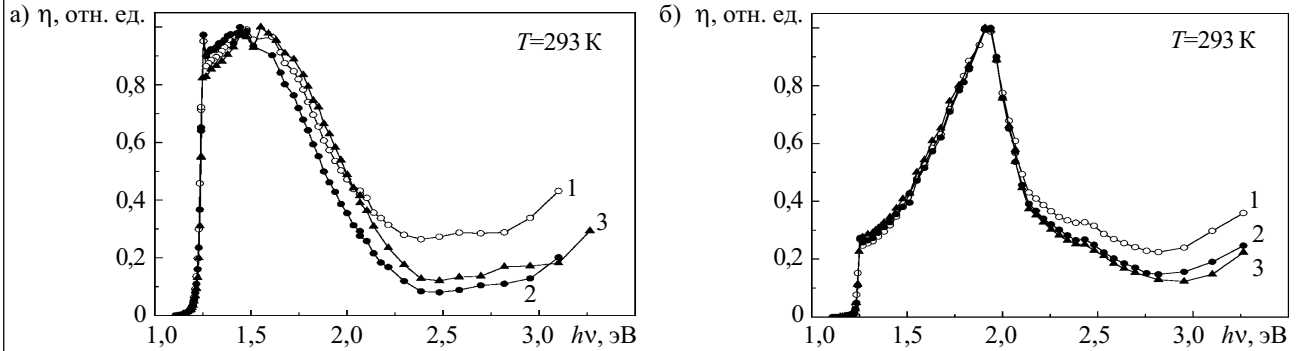


Рис. 1. Спектры квантовой эффективности фототока для ГС *p-n*-InSe (а) и окисел-*p*-InSe (б): 1 — до γ -облучения; 2 — $D=10$ Р; 3 — $D=300$ Р

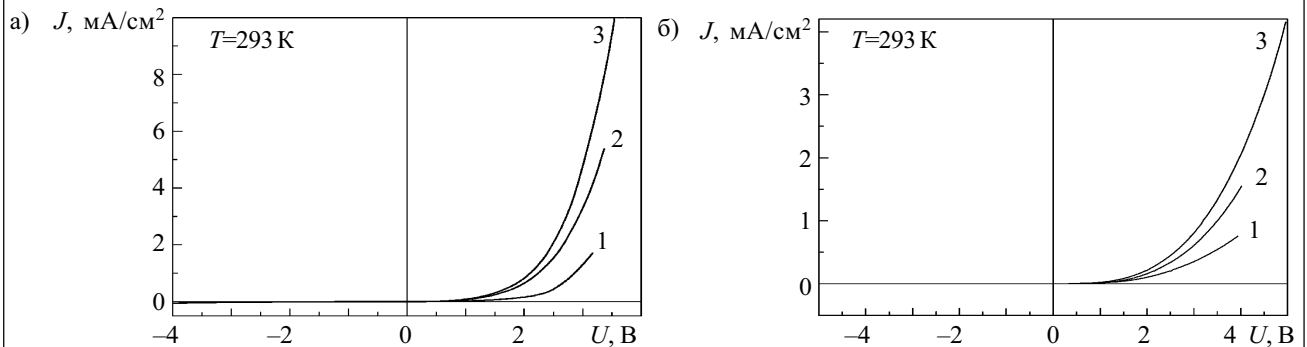


Рис. 2. ВАХ гетероструктур *p-n*-InSe (а) и окисел-*p*-InSe (б): 1 — до γ -облучения; 2 — $D=10$ Р; 3 — $D=300$ Р

зависимости тока от напряжения и рост U_{xx} могут быть вызваны двумя факторами — ростом высоты потенциального барьера и увеличением проводимости базы гетероструктур.

Качественная физическая модель, которая объясняет эти изменения, базируется на зонной энергетической диаграмме гетероструктур и учитывает смещение уровня Ферми в полупроводниках после γ -облучения. Действие высокоэнергетических квантов приводит к образованию дефектов акцепторного типа. Холловские измерения концентрации основных носителей заряда в *p*-InSe подтверждают ее увеличение более чем на порядок после облучения. В случае увеличения концентрации акцептуров происходит смещение уровня Ферми в контактирующих полупроводниках и, соответственно, увеличение контактной разности потенциалов.

Проведенные исследования характеристик InSe-гетероструктур показали, что воздействие γ -радиации в дозах 10—300 Р приводит к увеличению значений коэффициента выпрямления тока, напряжения холостого хода и тока короткого замыкания и практически не влияет на спектральное распределение фотоответа.

Несмотря на то, что проникающее излучение приводит к образованию в базовом материале дефектов акцепторного типа, деструктивного влияния на границу *p-n*-перехода зафиксировано не было.

Исходя из полученных результатов можно предложить непосредственное использование гетероструктур на основе InSe в качестве радиационноустойчивых фотодетекторов. Кроме того, исследованные фото-

диоды как базовые элементы могут входить в структуру других электронных устройств, которые применяются для радиационного контроля.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бакуменко В. Л., Ковалюк З. Д., Курбатов Л. Н. и др. Исследование гетеропереходов InSe-GaSe, приготовленных посадкой на оптический контакт. I. Электрические характеристики неосвоенных переходов // ФТП.— 1980.— Т. 14.— № 6.— С. 1115—1119.
2. Di Giulio M., Micocci G., Rizzo A, Tepore A. Photovoltaic effect in gold-indium selenide Schottky barriers // J. Appl. Phys.— 1983.— Vol. 54.— P. 5839—5843.
3. Martinez-Pastor J., Segura A., Valdes J.L., Chevy A. Electrical and photovoltaic properties of indium-tin-oxide/*p*-InSe/Au solar cells // Ibid.— 1987.— Vol. 62.— P. 1477—1483.
4. Катеринчук В. Н., Ковалюк М. З. Гетеропереходы из InSe, сформированные термическим окислением кристаллической подложки // Письма в ЖТФ.— 1992.— Т. 18, № 12.— С. 70—72.
5. Ананьина Д. Б., Бакуменко В. Л., Курбатов Л. Н., Чишко В. Ф. Об особенностях фотопроводимости в области сильного поглощения полупроводниковых материалов слоистой и дефектной структурами // ФТП.— 1976.— Т. 10, № 12.— С. 2373—2375.
6. Алиев Р. Ю., Аскеров К. А. Влияние ионизирующих излучений на основные параметры фотодиодов на основе селенида индия // Прикладная физика.— 1999.— № 3.— С. 78—81.
7. Аскеров К. А., Абазова А. З., Исаев Ф. К. Влияние проникающих излучений на спектральные характеристики селенида индия, легированного серебром и германием // Там же.— 2004.— № 4.— С. 94—96.
8. Бакуменко В. Л., Чишко В. Ф. Электрические свойства оптических контактов слоистых полупроводников // ФТП.— 1977.— Т. 11, № 10.— С. 2000—2002.
9. Катеринчук В. Н., Ковалюк М. З. *P-n*-гомогенные InSe-фотодиоды // Там же.— 1991.— Т. 25, № 11.— С. 954—957.
10. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. Кн 2.— М.: Мир, 1984.