

06;12

Детектор ультрафиолетового излучения с внутренним усилением на основе гетероструктуры $\text{SnO}_2\text{--ZnSe}$

© В.П. Махний, В.В. Мельник, И.Г. Орлецкий

Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы,
Украина
E-mail: volvmel@mail.ru

Поступило в Редакцию 16 ноября 2010 г.

Изготовлены гетероструктуры $\text{SnO}_2\text{--ZnSe}$ с высокой токовой чувствительностью, достигающей в максимуме 60 A/W , и измерены их электрические и фотоэлектрические характеристики.

В последние годы в связи с требованиями медицины, биологии, экологии и других областей науки и техники интенсивно исследуются полупроводниковые фотодетекторы для ультрафиолетового (УФ) диапазона спектра. В качестве таких приемников обычно используются барьеры Шоттки на основе широкозонных соединений A^3B^5 и A^2B^6 [1]. Так, в частности, контакты Ni--ZnSe обладают монохроматической токовой чувствительностью $S_1 = 0.1\text{--}0.15 \text{ A/W}$ в спектральном диапазоне $0.2\text{--}0.47 \mu\text{m}$ и порогом чувствительности не более $10^{-15} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ [2,3]. Вместе с тем параметры этих приемников значительно уступают вакуумным приборам вследствие отсутствия внутреннего усиления, например: фотоэлектронные умножители обладают монохроматической токовой чувствительностью $S_1 \approx 10^5 \text{ A/W}$ [4], однако они имеют большие габариты и вес, а также требуют высокостабильных источников питания напряжением $500\text{--}2000 \text{ V}$. Указанных недостатков лишены инжекционные фотодиоды, в которых реализуется внутреннее усиление за счет инжекции неосновных носителей в высокоомную i -область фотодетектора. Их монохроматическая токовая чувствительность может достигать $S_1 \approx 10^4 \text{ A/W}$ при небольших ($1\text{--}10 \text{ V}$) прямых смещениях [5]. Однако создание i -области на низкоомной подложке является самостоятельной и довольно сложной задачей.

Нами было обнаружено инжекционное усиление фототока в гетероструктуре $\text{SnO}_2\text{--ZnSe}$, технология изготовления которой не требует специального создания высокоомного слоя. В данной работе приведены ее основные параметры и характеристики.

Исходными подложками служили монокристаллические пластинки типоразмером $4 \times 4 \times 1$ mm, вырезанные из объемного кристалла ZnSe. Последние были выращены методом Бриджмена из расплава и при 300 К обладали электронной проводимостью $\sim 10^{-1} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Технология обработки подложек не отличалась от описанной в работе [2] и включала механическую шлифовку и полировку пластины, а также химическое травление в растворе $\text{HCl} : \text{CrO}_3 = 2 : 1$. Критерием качества поверхности служило появление объемной фотолюминесценции, которая отсутствовала у образцов, прошедших только механическую обработку. На одну из больших сторон подложки методом пульверизации с последующим пиролизом [6] наносился слой SnO_2 , который служил выпрямляющим контактом. Процесс осуществлялся при температуре $\sim 450^\circ\text{C}$ на протяжении 5 min. При таких условиях на поверхности подложки образуется высокоомный слой, что, вероятнее всего, обусловлено диффузией атмосферного кислорода, являющегося для ZnSe акцепторной примесью, компенсирующей электронную проводимость подложки. После нанесения SnO_2 противоположная сторона кристалла сошлифовывалась до исходного материала и на ней путем сплавления навесок индия в вакууме создавались омические контакты. Сопротивление между ними по величине не отличалось от измеренного на базовых подложках, что свидетельствует об отсутствии на этой стороне высокоомного слоя.

Структуры обладали ярко выраженными диодными характеристиками с коэффициентом выпрямления больше 10^7 при 300 К и напряжением $V = 3$ V. Типичная величина токового напряжения отсечки V_1 составляла ~ 2.4 V, а последовательное сопротивление R_0 диода, найденное из линейного участка вольт-амперной характеристики (ВАХ), — $2 \cdot 10^3 \Omega$ (рис. 1). Гетероструктуры обладали также достаточно высоким напряжением пробоя ($V_B > 42$ V), которое находилось экстремальной частью прямолинейного участка обратной ветви ВАХ с осью напряжений (рис. 1). Здесь же приведены схематическое изображение гетероперехода и условия его освещения.

При освещении источником излучения типа ОКУФ структуры генерировали фототок I_p , который с ростом уровня освещения L изменялся

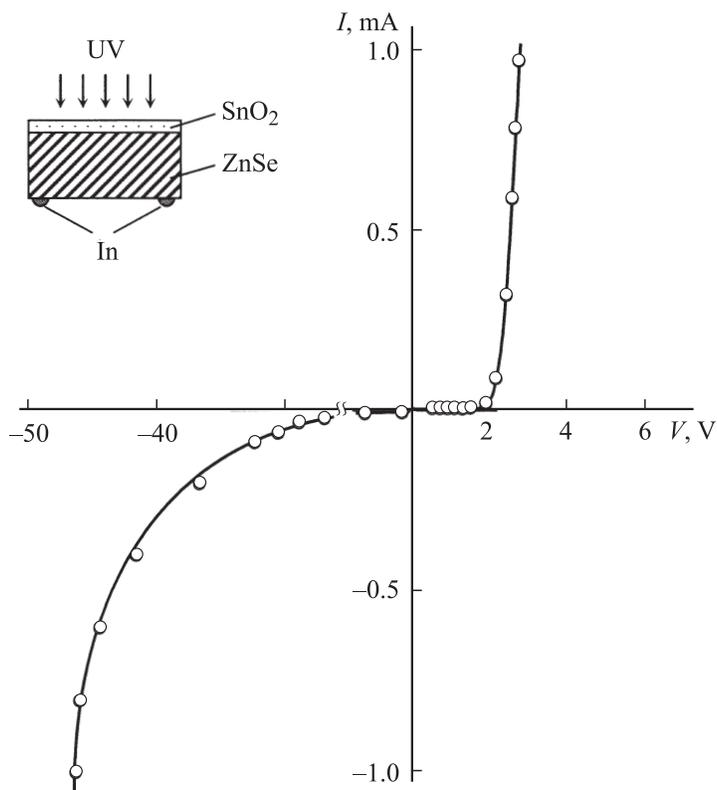


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика гетероструктуры SnO₂–ZnSe. На вставке — схематическое изображение гетероперехода и условия его освещения.

по закону $I_p = L^m$, где $m = 1.3$ для данного образца и температуры. При этом напряжение холостого хода стремится к насыщению, достигая максимального значения 1 В. Исследования показали, что величина фототока слабо изменяется с ростом обратного напряжения, вплоть до V_B . Однако I_p существенно зависит от приложенного прямого напряжения, т. е. в структуре реализуется инжекционное усиление.

Этот эффект наиболее ярко проявляется в спектрах фоточувствительности, которые ограничены длинами волн λ , соответствующими

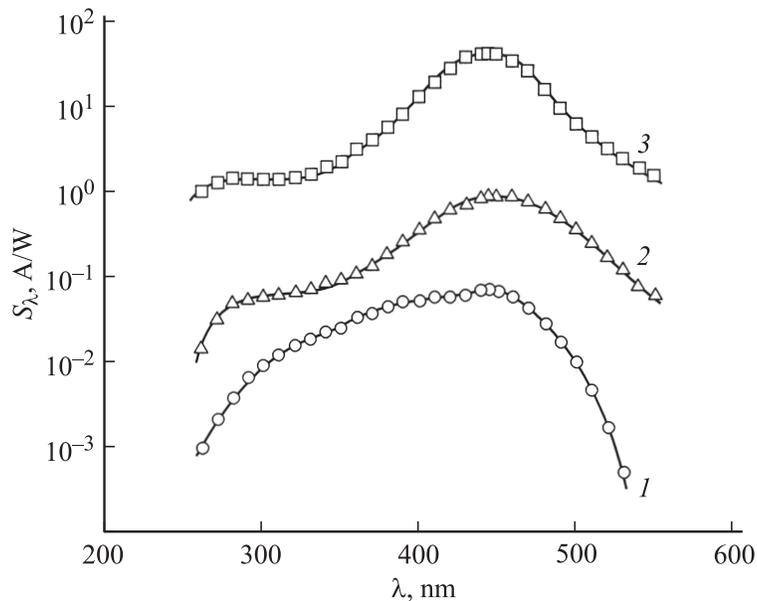


Рис. 2. Спектры фоточувствительности гетероструктуры $\text{SnO}_2\text{-ZnSe}$ при прямом смещении V , V : 1 — 0, 2 — 1.3, 3 — 1.5.

краям собственного поглощения контактирующих материалов. Как видно из рис. 2, увеличение прямого напряжения до 1.5 В приводит к существенному росту чувствительности во всем спектральном диапазоне. При этом в максимуме S_1 достигает 60 А/Вт, что соответствует коэффициенту внутреннего усиления $K_\lambda > 600$. Абсолютная величина монохроматической токовой чувствительности определялась путем сравнения с калиброванным кремниевым фотодетектором. Обратим внимание на то, что коэффициент усиления зависит не только от напряжения, но и от длины волны. Это приводит к отличию формы спектральных кривых при разных напряжениях, причем K_λ на их краях может достигать 10^3 . В заключение отметим, что максимальное прямое напряжение, определяемое отношением фототока I_p к темновому I_d , должно быть не меньше 10 при минимальных значениях I_p для обеспечения приемлемого соотношения сигнал/шум.

Таким образом, максимальная монохроматическая токовая чувствительность гетероструктур составляет не менее 60 A/W при темновом токе 10^{-6} A , что существенно превосходит аналогичные параметры созданных до сих пор УФ-детекторов на основе селенида цинка.

Список литературы

- [1] Бланк Т.В., Гольдберг Ю.А. // ФТП. 2003. Т. 37. В. 9. С. 1025–1055.
- [2] Махний В.П., Мельник В.В. // ФТП. 1995. Т. 29. В. 8. С. 1468–1472.
- [3] Махний В.П. // ЖТФ. 1998. Т. 68. В. 9. С. 123–125.
- [4] Павлов А.В., Чернышов А.И. // Приемники излучения автоматических оптико-электронных приборов. М.: Энергия, 1972. 240 с.
- [5] Анисимов И.Д., Викулин И.М., Заитов Ф.А., Курмашев Ш.Д. Полупроводниковые фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра / Под ред. В.И. Стафеева. М.: Радио и связь, 1984. 216 с.
- [6] Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы / Пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна. М.: Мир, 1986. 434 с.