

Краткие сообщения

06:07

УФ фотоприемники с барьером Шоттки на основе селенида цинка

© В.П. Махний

Черновицкий государственный университет,
274012 Черновцы, Украина

(Поступила в Редакцию 10 апреля 1997 г.)

Приведены результаты исследований свойств УФ фотоприемников на основе селенида цинка. Рассмотрено влияние параметров диодной структуры, температуры и напряжения на основные характеристики и параметры фотодетекторов.

В последние годы задача регистрации и количественной оценки УФ излучения приобрела особую остроту. В первую очередь это связано с резким ухудшением экологической ситуации: озоновые дыры, активность Солнца и т. п. С другой стороны, все более широкое использование источников УФ излучения в науке и технике, медицине, народном хозяйстве требует адекватного расширения функциональных измерительных приборов, основным элементом которых является фотодетектор. Один из перспективных типов УФ приемников — фотодиод с барьером Шоттки. Поверхностный потенциальный барьер обеспечивает эффективное разделение носителей заряда, родившихся в этой области в результате поглощения квантов с энергией $\hbar\omega$, заметно больших ширины запрещенной зоны E_g . Для изготовления таких детекторов в настоящее время используют главным образом Si и широкозонные соединения A^3B^5 [1,2]. Применение же еще более широкозонных материалов допускает создание селективных УФ приемников, которые могут работать без дополнительных светофильтров, отсекающих длинноволновую область спектра. Ниже описаны основные технические характеристики и параметры фотодиодов металл–ZnSe и исследовано влияние на них различных факторов: напряжения смещения, температуры, уровня легирования подложки и т. п.

Исходными подложками служили монокристаллические пластины низкоомного n -ZnSe толщиной 0.4–0.5 mm. В качестве полупрозрачного барьерного контакта использовались тонкие (10–20 nm) слои никеля, которые характеризуются достаточно большим и однородным пропусканием в исследуемом спектральном диапазоне [3]. Кроме того, этот металл образует с n -ZnSe высокий (не менее 1.2 eV при 300 K [4]) потенциальный барьер, обладает хорошей адгезией и электропроводностью [5]. Конфигурация и размеры фоточувствительных площадок задавались молибденовой маской при напылении полупрозрачных металлических слоев. Омические индиевые контакты изготавливались на противоположной стороне полупроводниковой подложки. Структуры помещались в стандартные корпуса для полупроводниковых фотоприемников с окном из лейко-

сапфира для ввода УФ излучения. Эффективная площадь фотодиодов варьировалась в пределах 10^{-2} – 10^{-1} cm².

Исследования [4] показали, что высота барьера φ_0 контакта Ni-ZnSe зависит от уровня легирования подложки и увеличивается от 1.2 до 2.0 eV при уменьшении концентрации свободных электронов от 10^{17} до 10^{15} cm⁻³. Плотность темнового тока J_0 в области комнатных температур при этом изменялась в пределах 10^{-16} – 10^{-23} A/cm². Спектр фоточувствительности диодов при нулевом смещении представляет собой широкую полосу в области 0.20–0.47 μ m (рис. 1). Типичные значения монохроматической токовой чувствительности S_λ при $\lambda_{\max} = 0.42$ – 0.44 μ m составляют 0.1–0.15 A/W, что соответствует квантовой эффективности 0.3–0.4 электрон/квант. Динамический диапазон линейности амперваттной характеристики не менее шести порядков, а коэффициент заполнения нагрузочной световой характеристики изменяется в пределах 0.6–0.9. Вследствие малости J_0 порог чувствительности P_{\min} в единичном интервале частоты Δf оценивался по формуле $P_{\min} = J_0 / \sqrt{\Delta f S_\lambda^{\max}}$ и для исследуемых структур составляет 10^{15} – 10^{22} W · cm⁻² · Hz^{-1/2}. Следовательно, барьеры Шоттки на основе селенида цинка могут быть использованы в качестве пороговых фотоприемников УФ диапазона спектра.

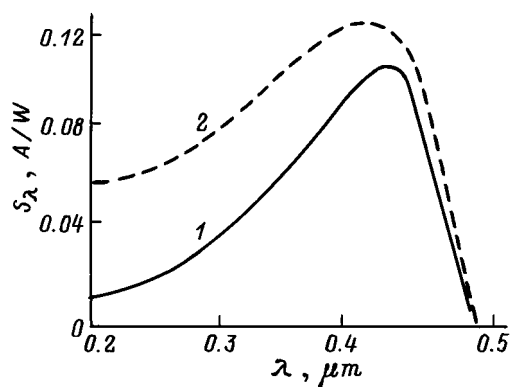


Рис. 1. Спектры фоточувствительности диода Ni-ZnSe при $V = 0$ (1) и -6 В (2). $T = 300$ K.

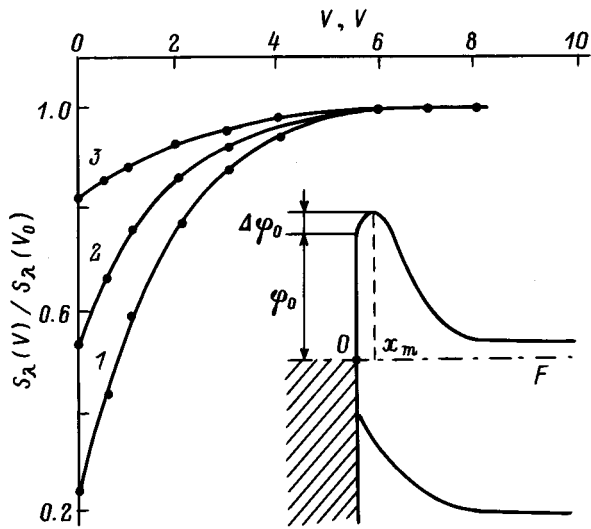


Рис. 2. Зависимость отношения $S_\lambda(V)/S_\lambda(V_0)$ от обратного смещения на диоде Ni-ZnSe при $\lambda = 0.20$ (1), 0.30 (2), $0.45 \mu\text{m}$ (3) и $V_0 = 6$. На вставке — энергетическая диаграмма диода.

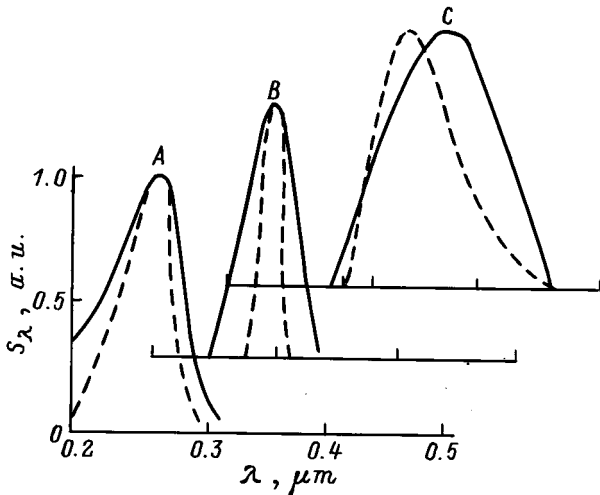


Рис. 3. Спектры фоточувствительности диода Ni-ZnSe с различными светофильтрами (сплошные кривые) и полосы, соответствующие бактерицидной (А), эритемной (В) и загарной (С) областям спектров действия (штриховые кривые).

Рассмотрим теперь влияние различных факторов на некоторые параметры и характеристики фотодетекторов. В первую очередь отметим, что в температурном диапазоне $\pm 60^\circ\text{C}$ коротковолновая чувствительность при $\lambda \leq 0.4 \mu\text{m}$ остается практически неизменной. Это обусловлено тем, что высокоэнергетические фотоны с $\hbar\omega > E_g$ поглощаются фактически на поверхности. Температурный сдвиг длинноволнового края спектра составляет $\approx 7 \cdot 10^{-4} \text{eV/K}$ и близок к температурным коэффициентам изменения φ_0 и E_g . Увеличение T от 20 до 60°C приводит к возрастанию темнового тока и порога чувствительности примерно на порядок.

Исследования показали, что форма спектра фоточувствительности и абсолютная величина S_λ зависят от уровня легирования подложки и величины обратного напряжения V . Отметим, что быстрота изменения $S_\lambda/(V)$ увеличивается по мере уменьшения λ (рис. 2). Увеличение уровня легирования подложки приводит к уменьшению абсолютных значений отношения $S_\lambda(V)/S_\lambda(V)$ при $\lambda = \text{const}$, сохраняя при этом общий характер зависимости $S_\lambda(V)$. Указанные факты можно объяснить влиянием сил изображения. В такой структуре (вставка на рис. 2) фотоносители, генерированные в области $0-X_m$, не разделяются полем барьера, а дрейфуют к поверхности и рекомбинируют на ней, не внося вклад в фототок. Толщина X_m этого "мертвого" слоя примерно равна расстоянию от границы раздела до точки с максимальным потенциалом и, согласно [6], равна

$$X_m = \frac{1}{4} \left[\frac{e^2}{2\pi\epsilon\epsilon_0 N_d (\varphi_0 - eV)} \right]^{1/4}, \quad (1)$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость полупроводника, ϵ_0 — электрическая постоянная, N_d — концентрация ионизированных доноров.

С другой стороны, "мертвый" слой можно представить как светофильтр с пропусканием

$$T_\lambda = \exp(-\alpha \cdot X_m), \quad (2)$$

где α — коэффициент поглощения, который возрастает с уменьшением λ .

Оптическое пропускание такого светофильтра для конкретного значения N_d растет по мере уменьшения α и увеличения V . Следовательно, увеличение обратного напряжения при $\lambda = \text{const}$ должно приводить к увеличению чувствительности диода, что и наблюдается на опыте (рис. 2). При некоторой величине V_0 S_λ достигает максимального значения, которое определяется параметрами структуры φ_0 , N_d , плотностью поверхностных состояний и коэффициентом отражения барьерного контакта. Эксплуатация фотодиода при обратных напряжениях, близких к V_0 , позволяет существенно повысить чувствительность в коротковолновой области спектра по сравнению с S_λ при $V = 0$ (рис. 1). Дальнейшее увеличение чувствительности возможно путем оптимизации технологии изготовления структуры (выбор материала и толщины барьерного контакта и просветляющего покрытия, а также способа обработки подложек для уменьшения скорости поверхностной рекомбинации).

В заключение отметим, что спектр фоточувствительности ZnSe диодов охватывает все основные биологически активные области УФ излучения: А — бактерицидную ($0.20-0.28 \mu\text{m}$), В — эритемную ($0.28-0.32 \mu\text{m}$) и С — загарную ($0.32-0.45 \mu\text{m}$) [7]. Выделение необходимых полос А, В и С достигается применением соответствующих светофильтров [8]. Приведенные на рис. 3 спектры фоточувствительности в каждой из полос нормированы в максимуме к единице.

Таким образом, разработанные фотоприемники могут найти применение в приборах и устройствах, предназначенных для обнаружения, контроля и измерения дозы и мощности УФ излучения.

Список литературы

- [1] Стафеев В.И., Анисимова И.Д. // ФТП. 1994. Т. 28. Вып. 3. С. 461–466.
- [2] Анисимова И.Д., Викулин И.М., Заитов Ф.А., Курмашев Ш.Д. Полупроводниковые фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра. М.: Радио и связь, 1984. 216 с.
- [3] Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы / Под ред. М.М. Колтуна. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 435 с.
- [4] Махний В.П., Мельник В.В. // ФТП. 1995. Т. 29. Вып. 8. С. 1468–1472.
- [5] Курносоев А.И. Материалы для полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М.: Высшая школа, 1980. 327 с.
- [6] Родерик Э.Х. Контакты металл–полупроводник / Под ред. Г.В. Степанова. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1982. 208 с.
- [7] Рвачев В.П. Введение в биофизическую фотометрию. Изд-во Львовского ун-та, 1966. 378 с.
- [8] Махний В.П., Мельник В.В. Патент України. № 9412810. Приоритет от 20.12.1994.