

©1995 г.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНТАКТОВ Ni-ZnSe

В.П.Махний, В.В.Мельник

Черновицкий государственный университет,

274012, Черновцы, Украина

(Получена 8 августа 1994 г. Принята 11 ноября 1994 г.)

Приведены результаты экспериментальных исследований фотоэлектрических свойств барьеров Шоттки, полученных термическим напылением полупрозрачных слоев Ni на низкоомные монокристаллические подложки ZnSe. Установлено, что параметры и характеристики изготовленных диодных структур отвечают «идеальным» контактам металл-полупроводник. Экспериментальные зависимости тока короткого замыкания и напряжения холостого хода от уровня возбуждения и параметров диода адекватно описываются в рамках теории надбарьерного механизма переноса носителей заряда.

1. Фотоприемники с чувствительностью в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне находят применение во многих областях науки и техники: медицине, биологии, экологии, спектрофотометрии и т.п. [1]. В большинстве случаев такие детекторы помимо высокой чувствительности в УФ области спектра должны обладать низким уровнем собственных шумов, высоким быстродействием, температурной и временной стабильностью, радиационной стойкостью.

Этим требованиям в определенной степени отвечают диодные структуры на основе широкозонных полупроводников, в частности, металл-(селенид цинка). Оптимизация эксплуатационных параметров и характеристик таких приборов требует в первую очередь глубокого понимания физических процессов, которые определяют свойства выпрямляющих барьеров. Вместе с тем приведенные в литературе результаты исследований касаются, главным образом, механизмов прохождения темного тока и возбуждения электролюминесценции [2,3].

Фотоэлектрические характеристики (в первую очередь спектральные) используются только для нахождения высоты потенциального барьера контактов металл-ZnSe. В связи с этим в данной работе рассмотрены основные фотоэлектрические свойства диодов Ni-ZnSe с целью выяснения механизмов генерации фототока.

2. Исходные образцы представляли собой шайбы диаметром 25 мм и толщиной примерно 1 мм, которые вырезались из монокристаллического слитка ZnSe, легированного в процессе роста Te [4]. После отжига в парах Zn в течение 10÷20 ч их удельное сопротивление резко снижалось и составляло при 300 К величину 1÷100 Ом·см. Отметим, что

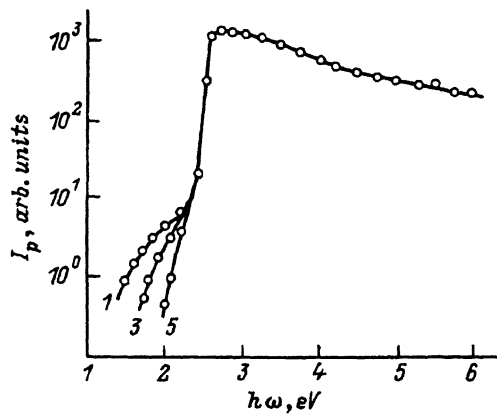


Рис. 1. Спектр фоточувствительности трех контактов (1, 3, 5) Ni-ZnSe при 300 К.

свойства этих кристаллов остаются практически неизменными после действия на них мощного (вплоть до 10^8 рад) γ -излучения [4]. Из шайб вырезались пластины размером 4×4 мм², которые после механической полировки травились в смеси $\text{CrO}_3 : \text{HCl} = 2 : 3$ в течение 30 с и тщательно отмывались в деионизованной воде. На одну сторону пластин наносились омические индиевые контакты, а на противоположную напылялся полупрозрачный слой Ni при давлении не выше 10^{-4} мм рт.ст. Структуры помещались в стандартные корпуса для полупроводниковых приемников с сапфировым окном для ввода излучения. Диоды обладали коэффициентом выпрямления не менее 10^7 при 300 К и напряжении $V = 1$ В, площадь выпрямляющего контакта составляла порядка 10^{-1} см².

3. Спектральное распределение фототока диода I_p , приходящегося на единицу мощности падающего излучения, описывается выражением [1,5]

$$I_p = \eta / \hbar\omega, \quad (1)$$

где η — квантовая эффективность, $\hbar\omega$ — энергия кванта. Как следует из рис. 1, максимальная фоточувствительность наблюдается в области энергий фотонов $\hbar\omega \approx 2.6$ эВ, которая близка к ширине запрещенной зоны ZnSe [1,5]. Квантовая эффективность в максимуме фоточувствительности η_{\max} , найденная из выражения (1), составляет 0.4 электрон/кв. Вместе с тем теоретическая кривая $I_p(\hbar\omega)$ при такой величине η_{\max} не согласуется с экспериментальной зависимостью практически во всем спектральном диапазоне. Поскольку эти отличия в различных областях энергий фотонов обусловлены различными физическими причинами, рассмотрим их отдельно, условно разделив на два спектральных диапазона А и В.

Область А. В области фундаментальных переходов $\hbar\omega \simeq E_g$ коэффициент поглощения α быстро достигает значений 10^6 см⁻¹ и больше, а эффективная глубина проникновения света резко уменьшается ($1/\alpha \simeq 0.1$ мкм и меньше). Таким образом, большая часть излучения поглощается в приповерхностном слое, где существенны процессы поверхностной рекомбинации. Скорость последней зависит от параметров поверхностных уровней и в первую очередь от их концентрации N_s , которая даже для идеальных контактов металл-ZnSe не меньше

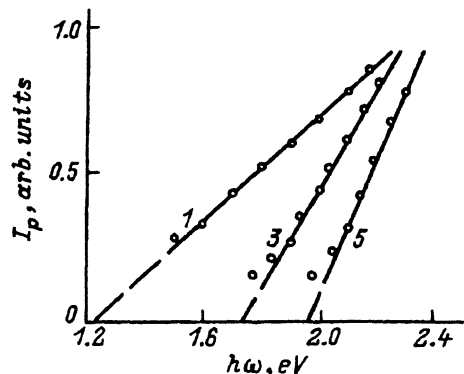


Рис. 2. Сопоставление низкоэнергетической области спектра с формулой Фаулера (2).

10^{12} см^{-2} [3]. Отметим, что на ход зависимости $I_p(\hbar\omega)$ при $\hbar\omega > E_g$ влияют также параметры выпрямляющего контакта (материал, толщина и т.п.). Одинаковые зависимости $I_p(\hbar\omega)$ в указанном спектральном диапазоне для всех исследованных диодов (рис. 1) обусловлены тем, что все они изготовлены одновременно в одном технологическом цикле.

Область В. За границей области фундаментального поглощения при $\hbar\omega < E_g$ резко падает коэффициент поглощения и уменьшается квантовая эффективность. Это приводит к резкому спаду I_p по сравнению с его максимальным значением. Вместе с тем наличие фототока при $\hbar\omega < E_g$ объясняется возможностью возбуждения электронов в металле, а спектральное распределение описывается формулой Фаулера [5]

$$I_p \sim (\hbar\omega - \varphi_0)^2. \quad (2)$$

Экспериментальные зависимости $I_p(\hbar\omega)$ хорошо описываются выражением (2) для всех исследованных диодов (рис. 2). Отметим, что большая высота барьера φ_0 наблюдается для контактов Ni-ZnSe с меньшей концентрацией электронов в подложке. Это коррелирует с результатами исследований других авторов, например [3].

4. Исследования показали, что у всех диодов ток короткого замыкания I_{sc} линейно зависит от мощности падающего излучения P в широком интервале изменения последней (рис. 3). С ростом уровня возбуждения напряжение холостого хода V_{oc} стремится к насыщению, причем его максимальное значение определяется параметрами структуры, главным образом, φ_0 и I_0 (темновой то насыщения диода) (рис. 4). Начальные участки зависимостей $V_{oc}(P)$ аппроксимируются прямыми линиями в координатах $V_{oc} = f(\ln P)$. Эти результаты объясняются в рамках линейного закона генерации неравновесных носителей [1]:

$$I_{oc} = k_0 P, \\ V_{oc} \simeq (nkT/e) \ln(I_{sc}/I_0) = (nkT/e) \ln(k_0 P/I_0), \quad (3)$$

где n — коэффициент идеальности вольт-амперной характеристики, который определяется механизмом токопрохождения, k_0 — постоянная (для данного образца и данной температуры) величина.

Как следует из рис. 4, для всех исследованных контактов Ni-ZnSe зависимость $I_{sc}(V_{oc})$ хорошо согласуется с (3), причем $n < 1.01$. Согласно [6], коэффициент идеальности описывается выражением

$$n - 1 = \delta\epsilon\epsilon_0/d(\epsilon_i\epsilon_0 + e\delta N_s) \quad (4)$$

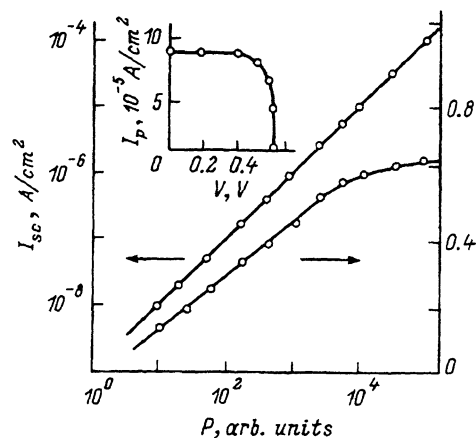


Рис. 3. Зависимости тока короткого замыкания I_{sc} и напряжения холостого хода V_{oc} от мощности падающего излучения P при 300 К. На вставке — нагрузочная характеристика образца 1 (см. рис. 1, 2).

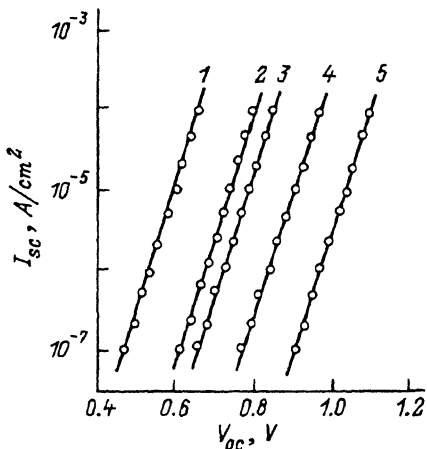


Рис. 4. Зависимости тока короткого замыкания I_{sc} от напряжения холостого хода V_{oc} для пяти контактов Ni-ZnSe при 300 К.

и зависит от толщины диэлектрического слоя δ , ширины объемного заряда d диода, а также от плотности поверхностных уровней N_s на границе раздела контакта металл-полупроводник. Учитывая экспериментальные значения n и принимая диэлектрические постоянные равными $\epsilon_i \epsilon_0 = 10^{-13}$ Ф/см, $\epsilon \epsilon_0 = 10^{-12}$ Ф/см; $d = 10^{-5}$ см и $N_s = 10^{12}$ см $^{-2}$ [3], получим $\delta = 10$ Å. Такая малая величина δ характерна для идеальных диодов Шоттки и для описания механизмов токопрохождения в них можно использовать общеизвестные выражения [5,6]. Исходя из диодной теории выпрямления можно рассчитать темновой ток I_0 по формуле

$$I_0 = SA^*T^2 \exp(-\varphi_0/kT), \quad (5)$$

где $A^* = 120 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2} \text{ К}^{-1}$ — постоянная Ричардсона зависящая от $m_n^* = 0.17m_0$ — эффективной массы электрона в ZnSe [2,4], S — сечение диода.

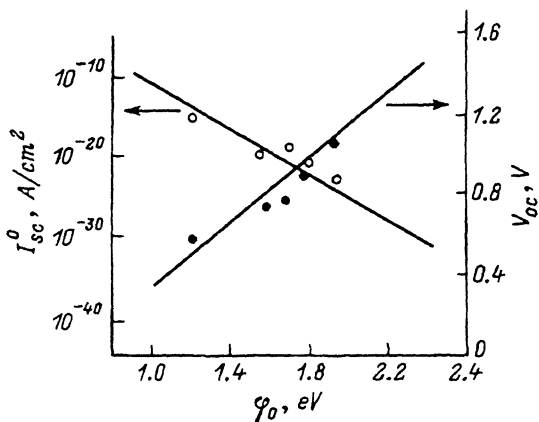


Рис. 5. Зависимости отсечки тока короткого замыкания I_{sc}^0 и напряжения холостого хода V_{oc} от высоты барьера φ_0 для контакта Ni-ZnSe при 300 К. Точки — эксперимент, сплошные линии — расчет по формулам (3) и (5).

Как видно из рис. 5, экспериментальные значения отсечки тока короткого замыкания I_{sc}^0 и напряжения V_{oc} неплохо согласуются с расчетными во всем диапазоне изменения φ_0 , где численные значения I_{sc}^0 находились путем экстраполяции зависимостей I_{sc} от V_{oc} на рис. 4 до пересечения с осью ординат при $V_{oc} = 0$. Приведенные на рис. 5 величины V_{oc} (экспериментальные и теоретические) определялись при $I_{sc} = 10^{-5}$ А. Таким образом, приведенные выше результаты убедительно свидетельствуют в пользу надбарьерного механизма генерации фототока в исследуемых структурах.

5. Типичная нагрузочная характеристика для контакта Ni-ZnSe при 300 К изображена на вставке к рис. 3. Фактор заполнения ff данной характеристики составляет 0.9 ($\varphi_0 = 1.2$ эВ) и уменьшается до 0.6 для образцов с $\varphi_0 = 2.0$ эВ. Как уже отмечалось, большая величина φ_0 наблюдается для контактов с меньшей концентрацией носителей в подложке. Последнее приводит к увеличению последовательного сопротивления диода и к отдалению формы нагрузочной характеристики от прямоугольной, т.е. к уменьшению величины ff . Приведенные результаты хорошо согласуются с положениями теории фотопреобразования в диодных структурах [1,5]

Список литературы

- [1] Полупроводниковые фотоприемники, под ред. В.И. Стафеева (М., Радио и связь, 1984).
- [2] А.Н. Георгобиани. УФН, 113, 129 (1974).
- [3] В.П. Махний. Автореф. докт. дис. (Черновцы, 1992).
- [4] В.Д. Рыжиков. Сцинтилляционные кристаллы полупроводниковых соединений $A^{II}B^{VI}$ (М., НИИТЭХИМ, 1989).
- [5] С.М. ЗИ. Физика полупроводниковых приборов (М., Радио и связь, 1989), т. 2, с. 340.
- [6] Э.Х. Родерик. Контакты металл-полупроводник (М., Радио и связь, 1982).

Редактор Т.А. Полянская

Photoelectrical characteristics of Ni-ZnSe contacts

V.P. Makhny, V.V. Melnik

Chernovtsy State University, 274012 Chernovtsy, The Ukraine