

06;07;12

Поверхностно-барьерный диод на основе селенида цинка с пассивирующим слоем окиси цинка

© В.П. Махний, В.В. Мельник

Черновицкий национальный университет им. Ю.Федьковича, Украина
E-mail: oe-dpt@chnu.edu.ua

Поступило в Редакцию 28 февраля 2003 г.

В окончательной редакции 9 апреля 2003 г.

Предложен способ изготовления поверхностно-барьерного диода с перекрытием металла, который позволяет значительно уменьшить обратные токи и увеличить напряжение пробоя.

Одной из проблем в технологии поверхностно-барьерных диодов является создание структур с пробоем, обусловленным процессами в слое объемного заряда, а не поверхностными и краевыми эффектами. Для устранения последних предложен ряд способов: изготовление охранного кольца с $p-n$ -переходом, изолирующим слоем или канавкой, создание структуры в форме усеченного конуса и др. [1]. В данной работе изучаются электрические свойства поверхностно-барьерных диодов с перекрытием металла на основе селенида цинка. Эти структуры используются в качестве фотоприемников ультрафиолетового излучения [2-4], а устранение краевого эффекта позволило бы уменьшить обратные токи утечки и существенно повысить коротковолновую чувствительность при эксплуатации детектора в фотодиодном режиме [5].

Исходными подложками служили монокристаллические пластины n -ZnSe с концентрацией нескомпенсированных доноров $N_d \approx 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ при 300 К, которая определялась из измерений эффекта Холла с точностью $\pm 10\%$. В качестве выпрямляющего контакта использовался полупрозрачный слой никеля. Омические контакты создавались на противоположной стороне подложки путем сплавления навесок индия при 350°C , а технология изготовления диодов детально описана в работе [3]. Теоретическое значение напряжения пробоя контакта металл-полупроводник, так же как и резкого $p-n$ -перехода,

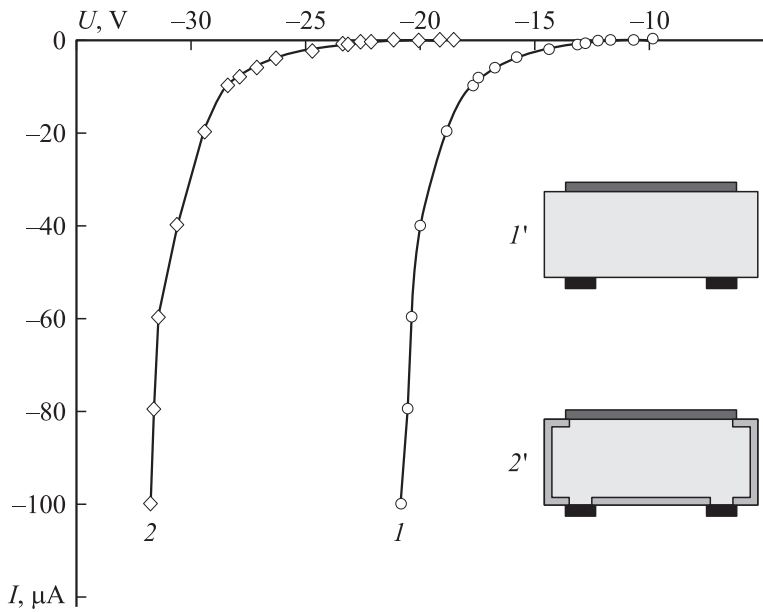


Рис. 1. Обратные ветви вольт-амперных характеристик контактов Ni–ZnSe ($I, 2$), а также их структуры ($I', 2'$) до (I, I') и после ($2, 2'$) обработки.

согласно [1], равно

$$V_B = 60 \left(\frac{E_g}{1.1} \right)^{3/2} \left(\frac{N_d}{10^{16}} \right)^{-3/4} \text{ V}, \quad (1)$$

где E_g — ширина запрещенной зоны полупроводника. Из формулы (1) следует, что для исследуемых диодных структур с параметрами $N_d \approx 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ и $E_g \approx 2.7 \text{ eV}$ при 300 К ожидаемая величина V_B должна быть около 40 В. Однако реальное значение напряжения пробоя диодов, несмотря на тщательное химическое травление кристалла при изготовлении выпрямляющего контакта, составило всего 18–20 В (кривая I на рис. 1). Одной из причин такого рассогласования могут быть краевые эффекты. Для их устранения структуры металл–ZnSe обрабатывались в концентрированном растворе перекиси водорода, который влияет на свойства поверхности базовой подложки и практически не взаимодей-

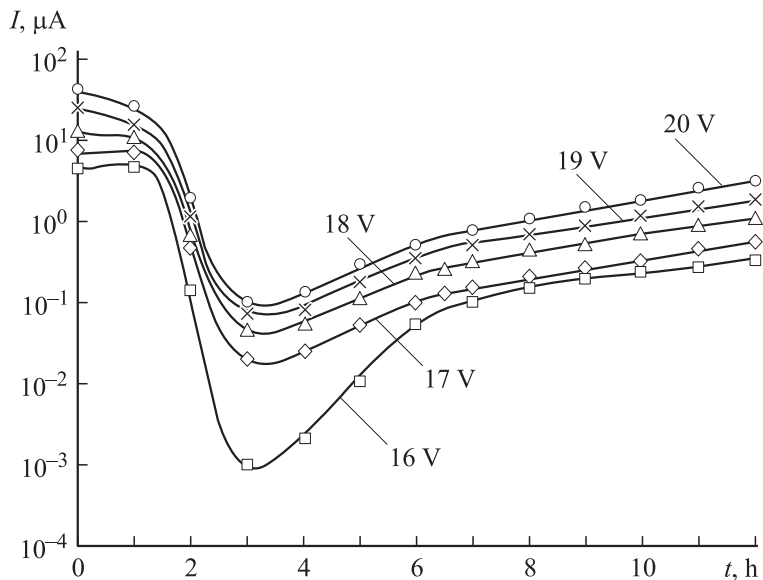


Рис. 2. Зависимости обратного тока контакта Ni–ZnSe от времени обработки при различных фиксированных напряжениях.

ствует с металлами, используемыми обычно в качестве выпрямляющего и омического контактов для ZnSe [1].

Исследования показали, что указанная выше обработка диодной структуры приводит к существенному уменьшению обратного тока I при постоянном напряжении. Анализ зависимостей I от времени t_a и температуры T_a обработки образцов свидетельствует об их сложном характере. Вместе с тем было замечено, что на зависимостях $I(t_a)$ наблюдается минимум, причем при любых V и T_a из исследуемого диапазона напряжений и температур. Пример типичных зависимостей для одного из контактов Ni–ZnSe при $T_a = 300$ К приведен на рис. 2. Обратим внимание на то, что аналогичный эффект наблюдается для всех исследуемых диодов, независимо от степени легирования базовой подложки и материала выпрямляющего контакта.

Анализ полученных результатов приводит к выводу о том, что причиной уменьшения обратного тока является образование высокоомного

слоя ZnO на свободной поверхности базовой подложки в результате ее обработки в H_2O_2 . Подтверждением этого служит наличие в спектрах отражения таких образцов пика, энергетическое положение которого коррелирует с шириной запрещенной зоны окиси цинка. Согласно работам [6,7] окисление поверхности ZnSe происходит путем вытеснения атомов селена более активным кислородом с образованием окиси цинка. Процесс замещения носит диффузионный характер, а толщина d слоя ZnO при значении времени окисления в H_2O_2 $t > 160$ s описывается эмпирическим выражением $d \approx 60 \cdot t^{1/2}$. Результаты [7], а также наши измерения показывают, что величина удельного сопротивления окиси цинка при 300 К находится в пределах $10^8 - 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$. Таким образом, полученный слой играет роль пассивирующего покрытия, которое приводит к уменьшению скорости поверхностной рекомбинации, а в конечном итоге — к уменьшению токов утечки и суммарного обратного тока. Следует обратить внимание на тот факт, что высокоомный слой, вследствие диффузионного характера процесса, возникает также под выпрямляющим контактом по его периметру. Хотя расстояние, на которое он проникает, небольшое и фактически равно толщине образовавшегося слоя ZnO ($0.5 - 1 \mu\text{m}$), этого оказывается вполне достаточно для существенного уменьшения краевого пробоя. Иными словами, в результате описанной обработки образуется диод с перекрытием металлического контакта и пассивирующего покрытия [1] (рис. 1). Величина напряжения пробоя такой структуры заметно выше, нежели исходной, и в данном конкретном случае составляет $V_B \approx 31$ V (рис. 1). Отличие этого значения от рассчитанного по формуле (1) обусловлено другими причинами, главная из которых состоит в „микроразном“ характере пробоя. Последнее подтверждается исследованиями предпробойной электролюминесценции контактов металл–ZnSe, наблюдаемой визуалью в виде множества светящихся точек, хаотически расположенных по всей площади выпрямляющего контакта. Для устранения этого нежелательного явления необходимо применение специальных методов обработки полупроводниковой подложки перед нанесением выпрямляющего контакта, один из которых описан в [8].

В заключение отметим, что описанный метод в принципе применим и для других полупроводниковых соединений, в состав которых входит цинк. Результаты, аналогичные приведенным, были получены нами также для контактов металл–полупроводник на основе ZnTe, ZnS и твердых растворов ZnS_xSe_{1-x} [9].

Список литературы

- [1] *Зи С.М.* Физика полупроводниковых приборов: Кн. 1. М.: Мир, 1984. 456 с.
- [2] *Махний В.П., Мельник В.В.* // Промислова власність. Офіційний бюлетень. 1995. № 5. Пріоритет від 20. 12. 1994.
- [3] *Махний В.П., Мельник В.В.* // ФТП. 1995. Т. 29. В. 8. С. 1468–1472.
- [4] *Makhniy V.P., Galchinetskiy L.P., Rizikov V.D.* // SPIE. 1999. V. 904. P. 617–618.
- [5] *Махний В.П.* // ЖТФ. 1998. Т. 68. В. 9. С. 123–125.
- [6] *Yataguchi M., Yamamoto A., Roudo M.* // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. P. 196–202.
- [7] *Гагара Л.С.* Исследование физических процессов в фоточувствительных ПДП-структурах на основе ZnSe. Дис. ... канд. физ-мат. наук. Кишинев, 1986. 215 с.
- [8] *Махний В.П., Баранюк В.Е.* Авт. св. СССР № 1835986. Пр. от 04.06.1991 г.
- [9] *Махний В.П., Мельник В.В.* Деклараційний патент України № 2002119482, пріоритет від 28.11.2002.