

УДК 621.382.2

Т.Ю. АЛЕКСАНДРЮК, Ю.Н. БОЙКО, В.П. МАХНИЙ, Н.В. СКРИПНИК

ФОТОЕЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИОДОВ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

*Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича,
ул. Коцюбинского 2, 58012, Черновцы, Украина,
E-mail: Skrup@meta.ua*

Аннотация. Исследованы спектральные и интегральные характеристики фотодиодов на основе монокристаллических подложек теллурида кадмия, прошедших обработку в водной суспензии щелочных металлов.

Ключевые слова: фотодетектор, ток короткого замыкания, поверхностно-барьерный диод.

Анотація. Досліджені спектральні і інтегральні характеристики фотодіодів на основі монокристалічних підкладок телуриду кадмію, пройшовших обробку у водній суспензії лужних металів.

Ключові слова: фотодетектор, струм короткого замикання, поверхнево-бар'єрний діод.

Abstract. Spectral and integral characteristics of monocrystall CdTe – based with surface processed in alkaline metals aqua suspense photodiodes are investigated.

Keywords: photodetector, short circuit current, surface-barrier diod.

ВСТУП

Поверхностно – барьерные диоды (ПБД) на основе монокристаллического теллурида кадмия могут использоваться в качестве эффективных детекторов различного рода излучений, в том числе и солнечного [1,2]. Обратим внимание на то, что их основные фотоэлектрические параметры определяются не только материалом и методом нанесения выпрямляющего контакта, но и способом обработки базовой подложки. Весьма много обещающей в этом плане оказалась технология, которая включает предварительную обработку (модификацию поверхности) монокристаллических пластин $n-CdTe$ в водной суспензии солей щелочных металлов [3]. Эта операция приводит к значительному увеличению высоты потенциального барьера φ_0 и напряжения холостого хода V_{oc} по сравнению с ПБД у которых поверхность немодифицирована. В данной работе анализируются основные фотоэлектрические свойства ПБД с модифицированной поверхностью с целью определения механизмов формирования параметров и характеристик фотодиодов, а также возможных путей их улучшения.

Технология изготовления объектов исследований детально описана в работе [3]. Интегральные характеристики измерялись на постоянном токе с использованием общепринятых методик, а освещение проводилось со стороны полупрозрачного золотого контакта ксенонной лампой мощностью 100 Вт. Регулирование уровня освещенности L осуществлялось путем изменения расстояния между источником излучения и исследуемым образцом, а также использованием набора калиброванных нейтральных светофильтров. Таким образом обеспечивался неизменный спектральный состав облучения в широком (4-5 порядков) диапазоне изменения мощности светового потока. Для нахождения спектрального распределения фоточувствительности S_ω использовался монохроматор типа ДМР – 4, а эталонным приемником служил Si – фотодиод. В связи с тем, что исследуемые диоды представляют практический интерес при высоких температурах эксплуатации, измерения проводились в диапазоне 300-400К.

Исследования показали, что спектр фоточувствительности S_ω в области комнатных температур охватывает диапазон энергий 1,5÷5,0 эВ, рис.1. Нижняя граница обусловлена резким уменьшением поглощения при энергиях фотонов $\hbar\omega$ меньше ширины запрещенной зоны E_g теллурида кадмия, что характерно для прямозонных полупроводников. Главная причина уменьшения чувствительности в области больших энергий –

поверхностная рекомбинация, роль которых возрастает по мере увеличения $\hbar\omega$.

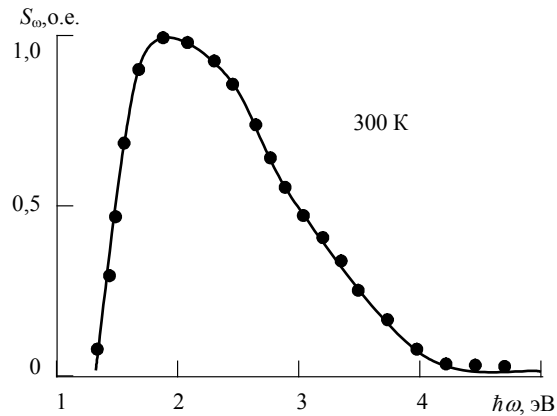


Рис. 1. Спектр фоточувствительности ПБД при 300К

Известно, что вольтамперная характеристика (ВАХ) освещенного диода может быть описана выражением [1, 2]

$$I = I_0[\exp(eV / nkT) - 1] - I_p, \quad (1)$$

где I_p - фототок, I_0 - темновой ток отсечки при напряжении $V = 0$, n - коэффициент идеальности, который определяется механизмом прохождения тока. Следовательно, анализ интегральных световых характеристик может дать ответ о возможных механизмах их формирования. Для этого преобразуем выражение (1) в несколько иной, переходя к напряжению холостого хода V_{oc} (при $I = 0$) и тока короткого замыкания I_{sc} (положив $V = 0$). Учитывая эти допущения получим из (1) при $eV \geq 3nkT$, что

$$I_{sc} \approx I_{sc}^0 \exp(eV_{oc} / nkT). \quad (2)$$

Тут под I_{sc}^0 следует понимать световой ток отсечки при $V_{oc} = 0$, который может совпадать с I_0 только в случае одинаковых механизмов формирования светового и темнового токов. Таким образом, исследования световых интегральных характеристик позволяют не только установить механизмы их формирования, но и обнаружить общие и отличные черты между электрическими и энергетическими свойствами.

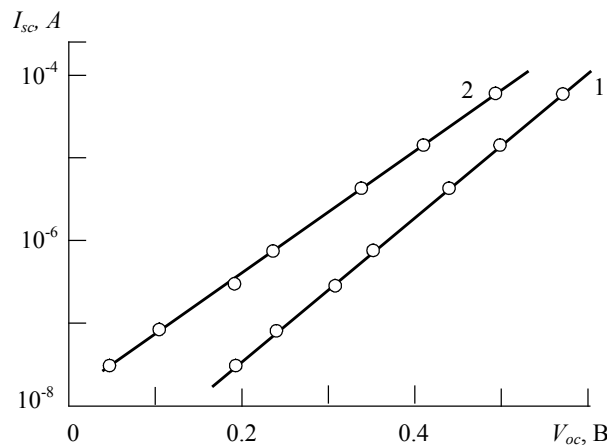


Рис. 2. Зависимости $I_{sc}(V_{oc})$ при различных температурах: 1 – 300К, 2 – 400К

Анализ световых ВАХ диодов показывает, что они в координатах $\ln I_{sc} - V_{oc}$ представляет собой прямые, наклон которых изменяется с температурой, рис. 2. При этом величина коэффициента идеальности $n=2$ и не зависит от T в исследуемом диапазоне. Отметим, что такие зависимости характерны для рекомбинации носителей в области пространственного заряда (ОПЗ) через единичные

локальные центры [4]. Согласно этой модели параметр $I_{sc}^o \sim \exp(-E_g / 2kT)$, что позволяет определить ширину запрещенной зоны материала, в котором проходит рекомбинация. Экспериментальная зависимость $I_{sc}^o(T)$ аппроксимируется прямой в координатах $\ln I_{sc}^o - 10^3 / T$, а ее энергетический наклон равен $\sim 1,6$ эВ и согласуется с E_g теллурида кадмия при 0К. Таким образом, полученные результаты указывают на доминирующую роль генерационно-рекомбинационных процессов в формировании световых ВАХ исследуемых ПБД. Однако спектральный диапазон fotocувствительности (рис. 1) свидетельствует о преимущественной межзонной генерации фотоносителей, что не согласуется со сделанным выводом о генерационно-рекомбинационном характере фототока.

Противоречия можно снять, если учесть следующие обстоятельства. В стационарных условиях скорость генерации G должна равняться скорости рекомбинации хотя, в принципе, они могут быть обусловлены разными механизмами и, как следствие этого, описывается различными аналитическими выражениями. Обратим внимание на то что, измерения зависимостей $I_{sc}(V_{oc})$ проводятся в режиме компенсации фототока темновым током при прямом смещении. В связи с этим мы фактически следим за рекомбинацией фотоносителей, которая может описываться выражением, подобным для темнового тока. Данные предыдущей работы [5] свидетельствуют о том, что темновой ток объектов исследований при низких прямых смещениях контролируется именно процессами рекомбинации в области пространственного заряда через единичные центры. Поскольку в ПБД генерация фотоносителей происходит в ОПЗ в результате фундаментального поглощения (межзонные переходы), то их рекомбинация также будет происходить в этой же области, но уже с участием локальных центров, которая является более вероятной чем межзонная.

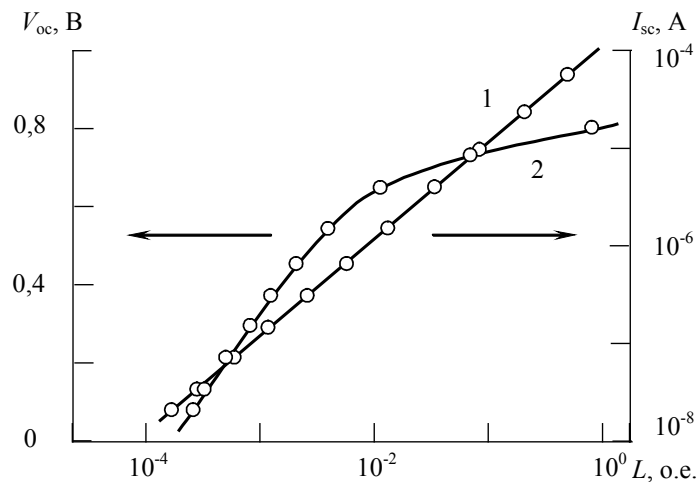


Рис. 3. Зависимости тока короткого замыкания (1) и напряжения холостого хода (2) при 300К

Исследования показали, что ток короткого замыкания линейно зависит от уровня освещенности. Это является следствием линейного характера генерации фотоносителей, в связи с чем

$$I_{sc} = \beta \cdot L, \quad (3)$$

где β - коэффициент, который не зависит от L . Как видно из рис. 3 зависимость (3) хорошо выполняется для исследуемых ПБД при изменении уровня освещенности на несколько порядков. Используя формулы (2) и (3) легко получить выражение

$$V_{oc} = nkT \ln\left(\frac{\beta}{I_{sc}^o} L\right), \quad (4)$$

которые неплохо описывает экспериментальную зависимость $V_{oc}(L)$ в области низких уровней освещенности. Тенденция же функции $V_{oc}(L)$ к насыщению при больших L обусловлена компенсацией потенциального барьера ПБД. Увеличение температуры измерений вызывает незначительное увеличение тока короткого замыкания и уменьшение напряжения холостого хода. Первое обусловлено уменьшением последовательного сопротивления диода, причины которого обсуждаются в работе [5]. Наблюдаемый же

противоположный ход зависимости $V_{oc}(T)$ связан с различным вкладом в нее множителей nkT и I_{sc}^o . Роль первого из них в нашем случае оказывается более слабым по сравнению с экспоненциальной зависимостью $I_{sc}^o \sim \exp(-E_g / 2kT)$, в связи с большой величиной $E_g = 1,5$ эВ [1].

В заключение отметим, что при комнатных температурах в условиях солнечного освещения АМ2 типичные значения V_{oc} и I_{sc} составляют 0,7 и 10 мА/см² соответственно. При этом к.п.д. достигает 10%, что несколько ниже эффективности широко используемых Si-фотоэлементов [1]. Вместе с тем, температурный коэффициент изменения к.п.д фотоэлементов на основе CdTe почти в четыре раза меньше чем для кремниевых [6]. Этот фактор, а также более высокая температурная и радиационная стойкость теллурида кадмия [7] являются основанием для использования исследуемых ПБД в качестве фотопреобразователей в условиях повышенных температур и потоков ионизирующих излучений.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Р. Бьюб, А. Фаренбрух. Солнечные элементы: теория и эксперимент. – М.: Энергоатомиздат, 1987, 280с.
2. В.И. Стриха, С.С. Кильчицкая. Солнечные элементы на основе контакта металл-полупроводник. – Санкт – Петербург,: Энергоатомиздат, 1992,136 с.
3. В.П. Махний, М.В. Скрипник. ”Спосіб виготовлення контакту метал – nCdTe”// Патент на корисну модель UA №31891 пр. від 25 квітня 2008р.
4. Л.А. Косяченко, В.П. Махний, И.В. Потыкевич. Генерация – рекомбинация в области пространственного заряда металл – CdTe// УФЖ, 1978. Т. 23, №2. С. 279 – 286.
5. V.P. Makhniy, V.V. Mel'nyk, N.V. Skrypnyk, V.V. Gorley. Electrical Properties of Surface-Barrier Diodes on the Base of CdTe Crystals with Modified Surface // Telecom. and Radio Engineering, 2007, 66(19),1769-1774.
6. В.П. Махний, В.Є. Баранюк, Я.М. Барасюк. Електричні та фотоелектричні властивості гетеропереходів сульфід-телурид кадмію // УФЖ, 1996, Т. 41, №4, С.453-457.
7. Корбутяк Д.В., Мельничук С.В., Корбут Є.В., Борисюк М.М. Телурид кадмію: домішково-дефектні стани та детекторні властивості. Київ: Іван Федоров.-2000.-198 с.

Надійшла до редакції 05.10.2008р.

МАХНИЙ В.П. - д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри оптоелектроніки, Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна.

СКРИПНИК М.В.- аспірант кафедри оптоелектроніки, Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна.

БОЙКО Ю.М. - к.т.н.,доцент кафедри радіотехніки і зв'язку, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна.