

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНЕГО КВАНТОВОГО ВЫХОДА В  
ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ ФОТОПРИЕМНИКАХ НА ОСНОВЕ CdTe С  
БУФЕРНЫМИ СЛОЯМИ ИЗ CdS И CdO

Носиров Б.Н.

Навоийский государственный горно-технологический университет.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19072725>

**Аннотация.** Исследована одна из важнейших фотоэлектрические характеристик гетероструктурных CdS/CdTe и CdO/CdTe фотоприемников на основе поликристаллических слоев CdTe, такая как внешний квантовый выход. Установлено, что величина внешнего квантового выхода в коротковолновой части спектра электромагнитного излучения зависит от ширины запрещенной зоны слоя фронтального буферного слоя гетероперехода. При использовании широкозонного буферного слоя CdO ( $E_g = 2.70 \pm 0.05$  эВ), вместо CdS ( $E_g = 2.45 \pm 0.05$  эВ), величина внешнего квантового выхода достигает своего максимума уже на длины волны 0,63 мкм и остается неизменной вплоть до длины 800 нм, в то время как в гетероструктуре CdS/CdTe максимум достигается на длине волне 760 нм и остается неизменной до 820 нм. Наблюдаемые эффекты связаны с увеличением фотогенерации неравновесных носителей заряда в фотоактивной части слоя CdTe за счет уменьшения поглощения в буферном фронтальном слое.

**Ключевые слова:** фотоприемник, гетероструктура, поликристаллический слой, CdTe, CdS, CdO, внешний квантовый выход.

**Введение.** Спектр фоточувствительности фотоприемников и солнечных элементов в длинноволновой области спектра электромагнитного излучения определяется шириной запрещенной зоны фотоактивного слоя прибора. Спектр фоточувствительности фотоприемника в коротковолновой области спектра излучения определяется шириной запрещенной зоны фронтального слоя р-п-перехода и его толщиной. Буферный слой находится между поглощающим слоем и слоем токосъемного контакта.

Буферный слой, также, служит для создания внутреннего встроенного электрического барьера фоточувствительной структуры. Для расширения фоточувствительности в коротковолновой области спектра электромагнитного излучения буферный слой р-п-перехода изготавливается из более широкозонного полупроводникового материала по отношению к базовой фотоактивной части фотоприемника.

В настоящее время в современной фотоэлектрической энергетике и приборостроении особое значение придается разработке дешевых, высокоэффективных, материалоёмких тонкопленочных фотоприемников с длительным сроком службы, которые могут успешно заменить кристаллические кремниевые фотоприемниками.

Основным претендентами являются многокомпонентные поликристаллические полупроводники  $A^{II}B^{VI}$  группы таблицы Менделеева, такие как, Теллурид кадмия (CdTe) [1]. CdTe и другие многокомпонентные поликристаллические полупроводники  $A^{II}B^{VI}$  группы таблицы Менделеева, являются прямозонными полупроводниками, ширина запрещенной зоны которых изменяется от  $E_g \approx 1.5$  эВ до 3.6 эВ, при 300 К [2,3].

Высокое значение показателя поглощения (более  $10^5 \text{ см}^{-1}$ ) дают возможность использовать слои толщиной порядка нескольких единиц микрометров для эффективной регистрации квантов электромагнитного излучения видимого спектра.

Поликристаллические пленки CdTe химическое соединение состоящее из химических элементов кадмия и теллура, является прямозонным полупроводниковым материалом из  $A^{II}B^{VI}$  группы таблицы Менделеева, шириной запрещенной зоны которого ( $E_g$ ) имеет величину 1,45 эВ, при комнатной температуре 300 К [2,3], которое соответствует максимальной величине теоретическому значению коэффициента полезного действия (КПД) однопереходных солнечных элементов согласно Шокли-Квейзеру [4].

Исследование спектральной зависимости внешнего квантового выхода фотоприемников даст возможность определить диапазон спектрального использования.

Поликристаллические слои p-типа CdTe служат фотоактивным слоем в различных гетероструктурных фотоприемниках. Однако для того, что бы фоточувствительная структура эффективно работала в ультрафиолетовой и коротковолновой части видимой области спектра электромагнитного излучения необходимо фронтальный слой n-типа проводимости изготавливать из широкозонного полупроводникового материала. Обычно для этого используется слой CdS с  $E_g = 2.45 \pm 0.05$  эВ [1]. Использование полупроводникового слоя CdO, который имеет более большую  $E_g = 2.70 \pm 0.05$  эВ даст возможность повысить спектральную чувствительность в коротковолновой части спектра электромагнитного излучения.

**Метрология.** CdTe синтезировались на поверхность молибденовой подложки (Mo) методом газотранспортных реакций в потоке водорода [1]. Фронтальный слой CdS n-типа проводимости изготавливался методом вакуумного термического испарения и имел  $E_g = 2.45 \pm 0.05$  эВ [1]. Фронтальный слой CdO n-типа проводимости изготавливался методом магнетронного распыления мишени Cd, на постоянном токе в атмосфере аргона и кислорода и имел  $E_g = 2.70 \pm 0.05$  эВ [5]. Слой индия (In) нанесенный поверх CdS, а так же, CdO, в виде гребенки, служил верхним, служил верхним собирающим электрическим контактом фоточувствительной структуры, а молибденовая подложка служила нижним собирающим электрическим контактом структуры. Кванты электромагнитного излучения проходя через фронтальный слой CdS, CdO попадали на фотоактивный слой CdTe, поглощались в нем и генерировали электронно-дырочную пару, которые разделялись встроенный электрическим полем образованным p-n-переходом p-CdTe/n-CdS. Внешний квантовый выход фотоприемника регистрировался на исследовательской системе QEX10 QE/IPCE/SR фирмы PVmeasurements, при температуре 300 К.

**Результаты и Выводы.** Из экспериментальных результатов следует, что как для структуры n-CdS/p-CdTe, так и для n-CdO/p-CdTe спектральная чувствительность простирается от  $\approx 500$  нм до 850 нм. Отсечка линейной части спектральной зависимости в длинноволновом участке дает величину  $E_g = 1,45 \pm 0.05$  эВ, что соответствует  $E_g$  CdTe. При использовании широкозонного буферного слоя CdO ( $E_g = 2.70 \pm 0.05$  эВ), вместо CdS ( $E_g = 2.45 \pm 0.05$  эВ), край коротковолнового участка сдвигается от  $\approx 480$  нм на  $\approx 520$  нм. При этом величина внешнего квантового выхода достигает своего максимума уже на длины волны 630

нм и остается неизменной вплоть до длины 800 нм, в то время как в гетероструктуре CdS/CdTe максимум достигается на длине волне 760 нм и остается неизменной до 820 нм.

Наблюдаемые эффекты связаны с увеличением фотогенерации неравновесных носителей заряда в фотоактивной части слоя CdTe за счет уменьшения поглощения в буферном фронтальном слое CdO относительно поглощения в слое CdS. Данное увеличение величина внешнего квантового выхода, так же, приводит к увеличению тока короткого замыкания и напряжения холостого хода при освещении интегральным белым светом AM1.5.

#### Ссылки

1. Sh. A. Mirsagatov, R. R. Kabulov, and M. A. Makhmudov. Injection Photodiode Based on an *n*-CdS/*p*-CdTe Heterostructure. *Semiconductors* // 2013, Vol. 47, No. 6, pp. 825–830. DOI: 10.1134/S106378261306016X.
2. Witsey.wp.txstate.edu/files/2018/Bandgapworkfn-Heavens-3.8.pdf.
3. Берченко Н.Н., и др. Полупроводниковые твердые растворы и их применение: Справочные таблицы. М.: Воениздат, 1982. 208 с.
4. S.M. Sze, K.Ng. Kwok. *Physics of Semiconductor Devices*”, 3rd ed., Hoboken-New Jersey: Wiley-Interscience Publication, 2007, p. 823.
5. R. R. Kabulov, S. Yu. Gerasimenko and F. A. Akbarov. Effect of Solar Radiation of Different Power on the Internal Amplification of the Primary Photocurrent in Heterostructures Based on Cadmium Telluride. *Applied Solar Energy*, 2023, Vol. 59, No. 2, pp. 118–124. © Allerton Press, Inc., 2023. DOI: 10.3103/S0003701X22601065