

УДК 621.315.593

СОЗДАНИЕ ФОТОДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОЧНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ p – CdTe–ZnSe С ГЛУБОКИМИ ПРИМЕСНЫМИ УРОВНЯМИ

Отажонов Салимжон Мадрахимович*, доктор физико-математических наук, профессор Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми, e-mail: otajonov_s@mail.ru

Жураев Нурмахамад Маматович, доцент кафедры Телекоммуникационный инжиниринг Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми, e-mail: juraev-n@mail.ru

Халилов Мухаммадмусо Мухаммадюнусович, преподаватель кафедры “Телекоммуникационный инжиниринг” Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми, e-mail musohon86@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются спектры фототоков в слоистой пленочной гетероструктуре CdTe – ZnSe с глубокими примесными уровнями. Из экспериментальных результатов следует, что в гетероструктуре CdTe – ZnSe наблюдается новый эффект при измерении спектров фотопроводимости в зависимости от приложенного направления электрического поля. При этом приложенное поле стимулирует возникновение фото-ЭДС.

Ключевые слова: фотопроводимость, полупроводниковая пленка, рекомбинация, генерация, фотонапряжение, фоточувствительность

CREATION OF PHOTODETECTORS BASED ON FILM HETEROSTRUCTURE MEMBRANOUS p – CdTe – ZnSe WITH DEEP IMPURITY LEVELS

Otajonov Salimjon Madrahimovich*, Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi. e-mail: otajonov_s@mail.ru

Juraev Nurmakhmad Mamatovich, Associate Professor of the Department of Telecommunication Engineering, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi. e-mail: juraev-n@mail.ru

Khalilov Muhammadmuso Muhammadyunusovich, Senior Teacher of the Department of Telecommunication Engineering of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi. e-mail: musohon86@mail.ru

Annotation. This article will analyze the spectrum of the photocurrent in a layered film heterostructure CdTe - ZnSe with deep impurity levels. As demonstrated by the experimental results that the heterostructure CdTe - ZnSe observed a new effect in the measurement of the photoconductivity spectra, depending on the direction of the applied electric field, and the applied field stimulates the emergence of photo-emf.

Keywords: photoconductivity, semiconductor film, recombination, generation, photovoltage, photosensitivity.

1. Введение

Тенденции развития современной электроники показывают, что использование поликристаллических полупроводников, особенно, в виде слоев или пленок, становится наиболее перспективным направлением приборостроения. Более того, в ряде поликристаллов и керамиках достигаются такие приборные реализации, которых просто невозможно наблюдать в устройствах на основе монокристаллов (напр., позисторный и варисторный эффекты). Простота технологии и относительная дешевизна получения поликристаллов является еще в большей степени важной в поиске новых поликристаллических материалов и реализации в них приборных применений.

Это даёт возможность рассматривать полупроводниковые соединения A^2B^6 как перспективные материалы для источников и приёмников света [1,3-7], а также для создания пленочных фотопреобразователей с низкой себестоимостью [8-10]. Эти очевидные потенциальные возможности полупроводниковых соединений A^2B^6 в настоящее время ещё не нашли широкого применения из-за трудности создания в них эффективных гетеропереходов.

Данная работа посвящена созданию эффективных гетеропереходов на основе двухслойной структуры монокристалл ZnSe – пленка *p*-CdTe и изучению их фотоэлектрических свойств.

2. Образцы и методика эксперимента

При создании преобразователей излучения с использованием сцинтилляторов или люминофоров важным является передача сигнала от кристалла преобразователя к фоточувствительному элементу. Известны оптоэлектронные пары ZnSe люминофор – фотосопротивление, которые обладают фоточувствительностью в области примесной люминесценции ZnSe. Однако, их эффективность невелика из-за отрицательного влияния отражения, излучаемого ZnSe света от поверхности фотосопротивления. Перспективным является создание фотоприемника непосредственно на преобразователе, что может увеличить фоточувствительность таких структур. Именно для этих целей изучалась пара ZnSe (люминофор) – *p*-CdTe, в которой, кроме прямой передачи световых сигналов, может обеспечиваться накопление, если поликристаллический слой будет обладать высокой фоточувствительностью.

Структуры получали по стандартной термовакuumной технологии напылением на монокристаллические пластинки ZnSe [3]. Пленка CdTe синтезировалась на поверхности ZnSe. Слои CdTe на ZnSe вырастали более крупноблочными, чем, например, на стекле. Это связано с тем, что монокристалл ZnSe в процессе синтеза оказывает структурно ориентирующую кристаллизацию.

При выборе пары руководствовались следующими соображениями. Вещества группы ZnSe нашли широкое применение при создании детекторов в ультрафиолетовой и рентгеновской части спектра. Люминесцентные свойства ZnSe позволяют конструировать на их основе различные устройства оптоэлектроники.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Целью данной работы было повышение фоточувствительности к излучению, вызывающему люминесценцию селенида цинка к ультрафиолетовым и рентгеновским лучам, путем прямой передачи фотосигнала от сцинтиллятора к фотоприемнику за счет накопления зарядов на его поверхности, а также исключения источника внешнего напряжения.

Расширение функциональных возможностей фотодетектора решается тем, что фотодетектор излучения, содержащий сцинтиллятор, снабжен фотоприемником, которые оптически связаны между собой. При этом фотоприемник выполнен на основе пленки теллурида кадмия, легированного серебром и медью, а сцинтиллятор выполнен в виде пластины из монокристалла селенида цинка [4].

На рис.1 представлена спектральная зависимость пленки CdTe, стрелками показаны энергии ионизации глубоких уровней, вызывающих фотонапряжение в пленке теллурида кадмия при её освещении. На вставке рис.1 показана схема пленочной структуры CdTe-ZnSe: 1-ZnSe, 2-CdTe: Ag, 3-контакты.

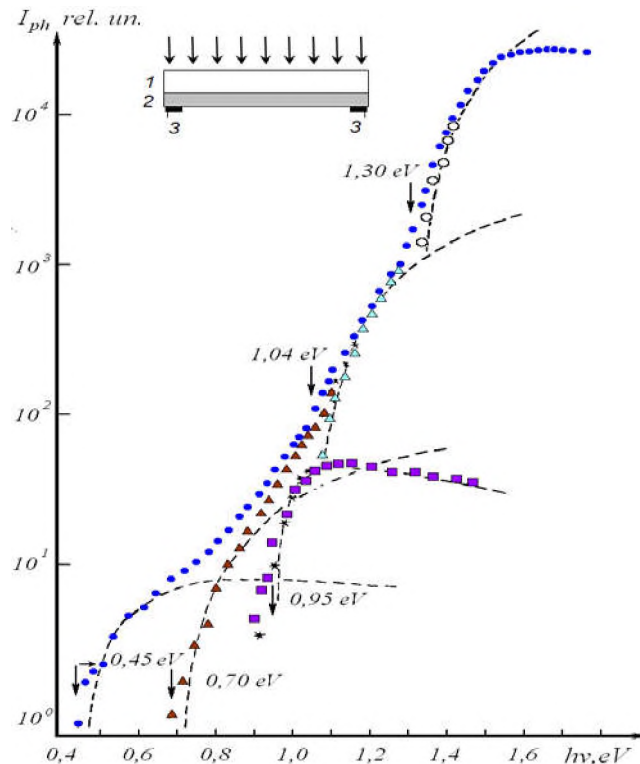


Рис.1. Спектры фотопроводимости пленок CdTe<Ag><Cu> при фронтальном освещении

Принцип излучения пленочной гетероструктуры заключается в следующем. Излучение проходит через сцинтиллятор, ионизирует атомы и молекулы. Возвращаясь в исходное состояние, ионизированные атомы и молекулы испускают фотоны, которые попадают на граничащую с ZnSe поверхность фотоприемника - пленку CdTe и вызывают в ней возникновение напряжения. Это напряжение снимают с контактов (3) и регистрируют электрометром (рис.1). Сигнал напрямую передаётся от сцинтиллятора 1 к фотоприемнику 2, так как они оптически связаны между собой. В экспериментах детектор освещают ультрафиолетом или рентгеновским излучением, вызывающим люминесценцию ZnSe.

Пленка CdTe является стимулятором возникновения люминесценции селенида цинка с малыми потерями на отражение от границы ZnSe – CdTe. На рис.2 показаны спектральные зависимости фототока через пленку при освещении сцинтиллятора видимым и ультрафиолетовым светом. При этом на пленку подавали внешнее напряжение $V_{outw} = 18$ В, меняя полярность. Ток, протекающий через пленку, можно представить в виде

$$I_{phl} = \frac{V_{EMF} + V}{R} \quad (1)$$

$$I_{Ph2} = \frac{V_{EMF} - V}{R} \quad (2)$$

$$I_{Ph} = \frac{I_{Ph1} + I_{Ph2}}{2} = \frac{V_{EMF}}{2R} \quad (3)$$

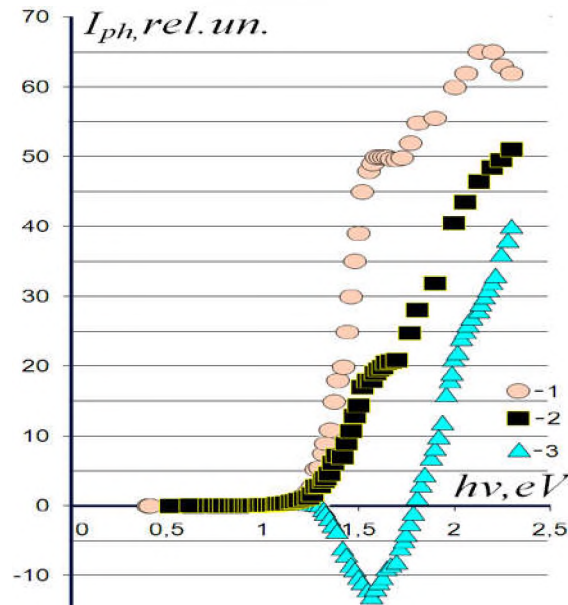


Рис.2. Спектры фототока пленки CdTe, полученной на ZnSe, при фронтальном освещении: 1 – когда полярность приложенного поля совпадает с полярностью фотонапряжения и противоположно – 3. $U_{outv}=18$ В, 2 - кривая, полученная по формуле (3).

В слоях CdTe фото-ЭДС возникает как при возбуждении зона – зона, так и из глубоких уровней. В этом случае охватываются практически все полосы люминесценции ZnSe. Как видно из рисунка 2, в данной структуре приложенное поле стимулирует возникновение фото-ЭДС. В области края поглощения CdTe возникает большая фото-ЭДС, приводящая к изменению знака фотопроводимости. Это обусловлено тем, что приложенное электрическое поле втягивает носители в области асимметричных барьеров, из-за чего возрастает фото-ЭДС. Не исключена перспективность данного эффекта для создания фотоприёмников, знак фототока которых зависит от длины волн света.

Под действием люминесценции ZnSe освещается пленка CdTe без потерь сигналов, в результате чего появляется фотосигнал в виде фото-ЭДС. На пленке CdTe значение фотосигнала в два раза больше сигнала от селенида цинка.

4. Заключение

Таким образом на основе полученных экспериментальных результатов следует отметить, что возможно создание фотоприемника прямо на преобразователе, который имеет высокую эффективность регистрации сигналов структуры на основе CdTe – ZnSe.

Созданная гетероструктура обладает чувствительностью к излучению ультрафиолетового света и мягкому рентгеновскому излучению. В CdTe – ZnSe гетероструктуре наблюдается новый эффект при измерении фотопроводимости в зависимости от направления приложенного электрического поля. При этом приложенное поле стимулирует возникновение фото-ЭДС. Это

позволяет создавать фоточувствительные приборы со спектральной характеристикой с принципиально новыми возможностями.

Литература

1. Мирсагатов Ш. А., Лейдерман А.Ю., Атабоев О.К. Механизм переноса тока в инжекционном фотодиоде на основе структуры $In-n^+-CdS-n-CdS_xTe_{1-x}-p-Zn_xCd_{1-x}Te-Mo$ // Физика твёрдого тела, 2013, том 55, вып.8. С.1525-1535.
2. Рыжиков В.Д., Гальчинецкий Л.П., Старжинский Н.Г. Свойства и применение полупроводниковых сцинтилляторов на основе селенида цинка // Поверхность Рентгеновские, синхронные и нейтронные исследования, 2002. № 3. С. 85 – 89.
3. Ильчук Г.А., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В., Бекимбетов Р.Н. Фоточувствительность структур на основе монокристаллов ZnSe // Физика и техника полупроводников, 2000. Т.34. вып. 7. -С. 809-813.
4. Отажонов С.М. Фотодетектор для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения на основе CdTe-ZnSe // Прикладная физика. Научно-технический журнал. Москва, 2005. №2. -С.42-45.
5. Трегулов В.В., Литвинов В.Г. Исследование механизмов токопрохождения в гетероструктуре CdS/por-Si/p-Si // Физика и техника полупроводников. 2018, том 52 вып. 7, -С. 751-755
6. Иванов Д.К., Стрельцов Е.А., Федотов А.К. Электроосаждение PbSe и CdTe на многокристаллы P-Si и в нанопористый слой в структуре Si-SiO₂ // Физика и техника полупроводников. 2012, Vol. 51, No. 7, pp. 416-419.
7. Гудовских А.С., Границы раздела в гетероструктурных фотоэлектрических преобразователях солнечного излучения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Санкт – Петербург – 2014
8. Музафарова С.А. Влияние внешних воздействий на эксплуатационные параметры солнечных элементов на основе поликристаллических пленок CdTe / Материалы конференции «Фотоэлектрические явления в полупроводниках 2004». Ташкент, 2004, 20-21 апреля.
9. Воронков, Э.Н. Шаронов А.Е., Колобаев В.В. // Физика и техника полупроводников. – 1999 - Т. 33, В. 4, - с. 481-483.
10. Попович, В.Д., Potera P., Вирт И.С., Билык М.Ф. // Физика и техника полупроводников. – 2009. - Т. 43, №. 6. - с. 759-763.

References

1. Mirsagatov SH. A., Leyderman A.YU., Ataboev O.K. *Mexanizm perenosa toka v injeksionnom fotodiode na osnove strukturi In- n⁺-CdS- n-CdS_xTe_{1-x}- p-Zn_xCd_{1-x}Te -Mo*. [The mechanism of current transfer in the injection photodiode based on the structure $In-n^+-CdS-n-CdS_xTe_{1-x}-p-Zn_xCd_{1-x}Te-Mo$.] *Fizika tvyordogo tela* [Solid state physics], 2013, vol. 55, no.8, pp.1525-1535. (In Russian)
2. Ryzhkov V.D., Gal'chinetskiy L.P., Starjinskiy N.G. *Svoystva i primeneniye poluprovodnikovix ssintillyatorov na osnove selenida tsinka* [Properties and applications of zinc selenide-based

semiconductor scintillators] *Poverxnost Rentgenovskie, sinxronnie i neytronnie issledovaniya* [Surface X-ray, synchronous and neutron research], 2002, no, 3, pp. 85 – 89. (In Russian)

3. Ilchuk G.A., Rud V.YU., Rud YU.V., Bekimbetov R.N. *Fotochuvstvitelnost struktur na osnove monokristallov ZnSe*. [Photosensitivity of single crystal structures ZnSe] *Fizika i texnika poluprovodnikov* [Semiconductors], 2000, vol.34, no. 7, pp. 809-813. (In Russian)

4. Otajonov S.M. *Fotodetektor dlya registratsii rentgenovskogo i ultrafioletogo izlucheniya na osnove CdTe-ZnSe* [X-ray and ultraviolet based photo detector CdTe-ZnSe]. *Prikladnaya fizika. Nauchno-texnicheskij jurnal*. [Applied Physics scientific and technical journal], 2005, no.2, pp.42-45. (In Russian)

5. Tregulov V.V., Litvinov V.G. *Issledovanie mexanizmov tokoproxojdene v geterostrukture CdS por-Si p Si* [Study of the mechanisms of current passage in a heterostructure CdS por-Si p Si] *Fizika i texnika poluprovodnikov* [Semiconductors], 2018, vol.52, no. 7, pp. 751-755. (In Russian)

6. Ivanov D.K., Strelsov E.A., Fedotov A.K., *Elektroosajdenie PbSe i CdTe na mnogokristalli P-Si i v nanoporisty sloy v strukture Si SiO₂* [Electrodeposition of PbSe and CdTe onto P-Si multocrystals and into a nanoporous layer in the structure Si-SiO₂]. *Fizika i texnika poluprovodnikov* [Semiconductors], 2012, Vol. 51, No. 7, pp. 416-419. (in Russian)

7. Gudovskix A.S., *Granitsi razdela v geterostrukturnix fotoelektricheskix preobrazovatelyax solnechnogo izlucheniya. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni doktora texnicheskix nauk* [Interfacial boundaries in heterostructured photoelectric solar radiation converters. Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences]. Sankt – Peterburg. 2014. p. 24 / (In Russian)

8. Muzafarova S.A. *Vliyanie vneshnix vozdeystviy na ekspluatatsionnie parametri solnechnix elementov na osnove polikristallicheskix plenok CdTe* [The influence of external influences on the operational parameters of solar cells based on polycrystalline CdTe films. *Materialy konferentsii «Fotoelektricheskie yavleniya v poluprovodnikakh 2004»*. [Conference: "Photoelectric phenomena in semiconductors], *Tashkent, 2004, 20-21 aprelya*. (In Russian)

9. Voronkov, E.N., Sharonov A.E., Koloboev A.E. *Fotopamyat v tonkoplnochnix solnechnix elementax na osnove CdTe* [CdTe Thin Film Solar Memory]. *Fizika i texnika poluprovodnikov* [Semiconductors], 1999, vol. 33, no. 4, pp. 481-483. (In Russian)

10. Popovich V.D. *Vliyanie primesi xloro na dlinnovolnoviy kray polosy poglouçeniya monokristallov CdTe* [The effect of chlorine impurities on the long-wavelength edge of the absorption band of CdTe single crystals]. *Fizika i texnika poluprovodnikov* [Semiconductors], 2009, vol. 43, No. 6. pp . 759-763. (In Russian)

The text of the article was translated by Editorial Team of journal of "Semiconductor Physics and Microelectronics". For more information contact: ispm_uz@mail.ru

1. Introduction

Development trends of modern electronics show that the use of polycrystalline semiconductors, especially in the form of layers or films, is becoming the most promising area of instrument engineering. Moreover, in a number of polycrystals and ceramics such instrumental implementations are achieved that it simply cannot be observed in devices based on single crystals (for example, resistor and varistor effects). The simplicity of the technology and the relative low cost of producing polycrystals is even more important in the search for new polycrystalline materials and the implementation of instrument applications in them.

This makes it possible to consider A^2B^6 semiconductor compounds as promising materials for light sources and detectors [1,3–7], as well as for creating film photoconverters with low cost [8–10]. These obvious potentialities of A^2B^6 semiconductor compounds have not yet found wide application because of the difficulty of creating effective heterojunctions in them.

This work is devoted to the creation of effective heterojunctions based on a two-layer structure of a ZnSe single crystal - p-CdTe film and the study of their photoelectric properties.

2. Samples and experimental technique

When creating radiation converters using scintillators or phosphors, it is important to transmit a signal from the crystal of the converter to the photosensitive element. Known optoelectronic pairs of ZnSe phosphor - photoresistance, which have photosensitivity in the region of impurity luminescence ZnSe. However, their efficiency is low due to the negative influence of reflection emitted by ZnSe light from the surface of the photoresistance. Promising is the creation of a photodetector directly on the converter, which can increase the photosensitivity of such structures. For these purposes, we studied a pair of ZnSe (phosphor) - p-CdTe, in which, in addition to direct transmission of light signals, accumulation can be provided if the polycrystalline layer has high photosensitivity.

The structures were prepared using standard thermal vacuum technology by sputtering on ZnSe single crystal plates [3]. The CdTe film was synthesized on the surface of ZnSe. Layers of CdTe on ZnSe grew larger block than, for example, on glass. This is due to the fact that the ZnSe single crystal during the synthesis process has a structurally oriented crystallization.

When choosing a pair were guided by the following considerations. Substances of the ZnSe group have found wide application in the creation of detectors in the ultraviolet and x-ray spectral regions. The luminescent properties of ZnSe make it possible to design various optoelectronic devices on their basis.

3. Results and discussion

The aim of this work was to increase the photosensitivity to radiation, causing the luminescence of zinc selenide to ultraviolet and x-rays, by direct transmission of the photo signal from the scintillator to the photodetector due to the accumulation of charges on its surface, as well as the elimination of the source of external voltage.

The expansion of the functionality of the photodetector is solved by the fact that the photodetector containing a scintillator is equipped with a photodetector, which are optically coupled to each other. In this case, the photodetector is made on the basis of a cadmium telluride

film doped with silver and copper, and the scintillator is made in the form of a plate of zinc selenide single crystal [4].

Figure 1 shows the spectral dependence of the CdTe film, the arrows show the ionization energies of deep levels that cause photovoltage in the cadmium telluride film when it is illuminated. The inset in Fig. 1 shows a diagram of the film structure of CdTe-ZnSe: 1-ZnSe, 2-CdTe: Ag, 3-contacts.

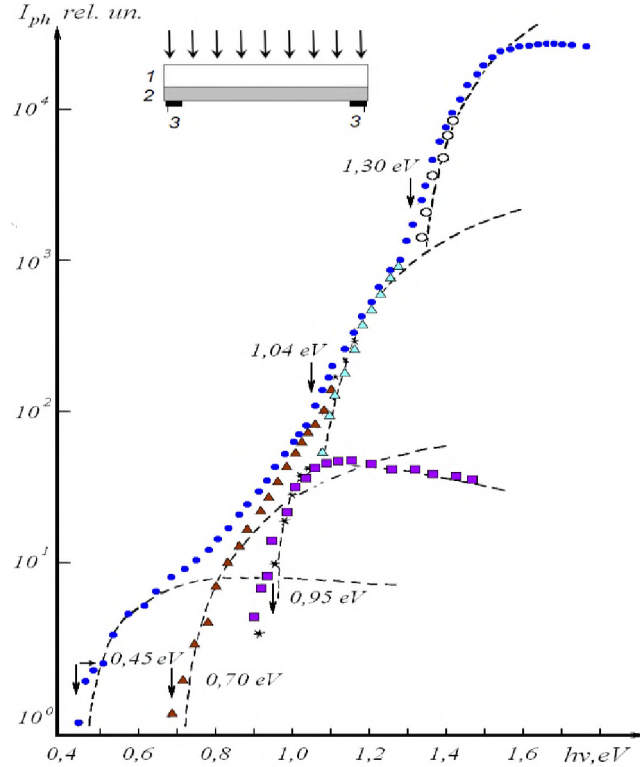


Fig. 1. Photoconductivity spectra of CdTe<Ag><Cu> films under frontal illumination

The principle of emission of a film heterostructure is as follows. Radiation passes through a scintillator, ionizes atoms and molecules. Returning to the initial state, ionized atoms and molecules emit photons that fall on the surface of the photodetector bordering ZnSe - the CdTe film and cause voltage in it. This voltage is removed from the contacts (3) and recorded with an electrometer (Fig. 1). The signal is directly transmitted from the scintillator 1 to the photodetector 2, since they are optically coupled to each other. In experiments, the detector is illuminated with ultraviolet or X-ray radiation, which causes luminescence of ZnSe.

The CdTe film is a stimulator of the appearance of luminescence of zinc selenide with low reflection losses from the ZnSe - CdTe boundary. Figure 2 shows the spectral dependences of the photocurrent through the film when the scintillator is illuminated with visible and ultraviolet light. In this case, an external voltage $V_{outw} = 18$ V was applied to the film, changing the polarity. The current flowing through the film can be represented as

$$I_{Ph1} = \frac{V_{EMF} + V}{R} \quad (1)$$

$$I_{Ph2} = \frac{V_{EMF} - V}{R} \quad (2)$$

$$I_{Ph} = \frac{I_{Ph1} + I_{Ph2}}{2} = \frac{V_{EMF}}{2R} \quad (3)$$

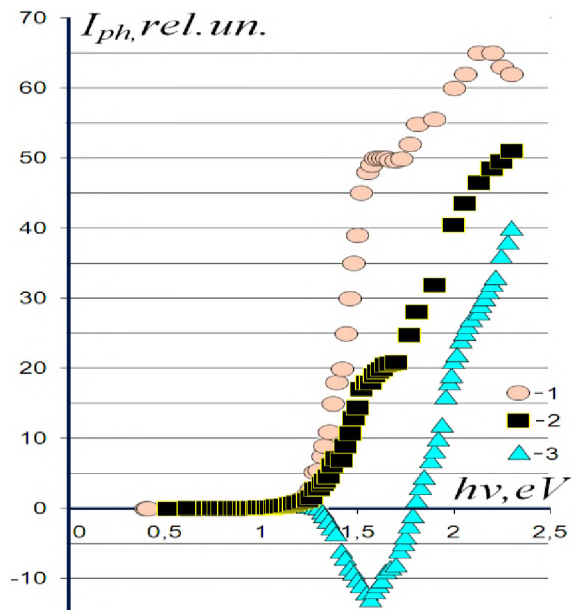


Fig. 2. Spectra of the photocurrent of a CdTe film obtained on ZnSe under frontal illumination: 1 - when the polarity of the applied field coincides with the polarity of the photovoltage and vice versa - 3. $U_{outw} = 18 V$, 2 - curve obtained by formula (3).

In the CdTe layers, photo-emf arises both upon excitation of the zone – zone, and from deep levels. In this case, almost all of the ZnSe luminescence bands are covered. As can be seen from Figure 2, in this structure, the applied field stimulates the occurrence of photo-emf. A large photo-emf appears in the region of the absorption edge of CdTe, which leads to a change in the sign of photoconductivity. This is due to the fact that the applied electric field draws carriers in the region of asymmetric barriers, due to which the photo-emf increases. The possibility of this effect for creating photodetectors, the sign of the photoresponse of which depends on the wavelength of light, is not ruled out.

Under the influence of ZnSe luminescence, the CdTe film is illuminated without signal loss, as a result of which a photo signal appears in the form of photo-emf. On a CdTe film, the value of the photo signal is two times the signal from zinc selenide.

1. Conclusion

Thus, on the basis of the obtained experimental results, it should be noted that it is possible to create a photodetector directly on the converter, which has a high efficiency of recording structure signals based on CdTe - ZnSe.

The created heterostructure is sensitive to ultraviolet light and soft x-ray radiation. A new effect is observed in the CdTe - ZnSe heterostructure when measuring photoconductivity depending on the direction of the applied electric field. In this case, the applied field stimulates the occurrence of photo-emf. This allows you to create photosensitive devices with spectral characteristics with fundamentally new features.