

Таблица 2

Зависимость слоевой концентрации электронов в ионно-имплантированном слое от температуры изохронного отжига (образец 2), время отжига — 1 ч в инертной среде

Температура отжига, °С	Слоевая концентрация электронов, см ⁻²
Исходный	$3,96 \cdot 10^{13}$
90	$3,94 \cdot 10^{13}$
100	$3,70 \cdot 10^{13}$
110	$3,66 \cdot 10^{13}$
115	$3,43 \cdot 10^{13}$

Таким образом, термические отжики диодов, изготовленных с помощью ионной имплантации бора на образцах ГЭС МЛЭ КРТ, приводят к существенному улучшению их параметров.

Авторы выражают благодарность
С. А. Дворецкому и В. С. Варавину
за предоставление образцов ГЭС МЛЭ КРТ
для исследований.

Литература

1. Igras E., Piotrowski I., Zimnoch-Higersberger I.// Electron Techn. 1977. V. 10. № 4. P. 63.
2. Pitcher P. G., Hemment P. L. F., Davis Q. V.// Electronics Letters, 1982. V. 18. № 25. P. 1090.
3. Овсюк В. Н., Талипов Н. Х.// Прикладная физика, 2003. № 5. С. 87.
4. Bubulac L. O.// J. of Cryst. Growth, 1988. V. 86. P. 723.
5. Пат. 2035801 РФ, С1 6 Н 01 L 21/265. 1995/ Мищенко А. М., Талипов Н. Х., Шашкин В. В.
6. Пат. 2023326 РФ, С1 5 Н 01 L 21/425.1994/ Мищенко А. М., Талипов Н. Х., Шашкин В. В.
7. Vasilyev V. V., Klimenko A. G., Marchishin I. V., Ovsyuk V. N., Talipov N. Ch., Zahar'yash T. I., Golenkov A. G., Derkach Yu. P., Reva V. P., Sizov F. F., Zabudsky V. V.// Infrared Physics and Technology. 2004. V. 45. P. 13.
8. Бовина Л. А., Стафеев В. И., Болтарь К. О., Лакеенков В. М., Лощина М. А.// Прикладная физика. 1999. № 3. С. 41.
9. Akira Ajisawa, Naoki Oda// J. of Electronic Materials. 1995. V. 24. № 9. P. 1105.
10. Soo-Ho Bae, Yaung-Ho Kim, Hee Chul Lee, Choong-Ki Kim// SPIE Proc. 1997. V. 3061. P. 104.
11. White J. K., Antoszewski J., Pal R., Musca C. A., Dell J. M., Faraone L., Piotrowski J.// J. of Electronic Materials. 2002. V. 31. № 7. P. 743.
12. Матричные фотоприемные устройства инфракрасного диапазона/ Под ред. С. П. Синицы. — Новосибирск: Наука, 2001.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Heart treatment influence on the parameters of photodiodes obtained by the boron ion implantation into the p-type MBE grown HgCdTe heterostructures

V. V. Vasilyev, V. N. Ovsyuk, D. Yu. Protasov, N. Kh. Talipov
Institute of Semiconductor Physics, Novosibirsk, Russia

The heart treatment influence on the parameters of photodiodes fabricated by the boron ion implantation on the MBE grown HgCdTe heterostructures (MBE MCT) was investigated. The photodiodes structures have been isothermal and isochronal annealed at temperature 60–115 °C under inert gas atmosphere or vacuum. No degradation of the photodiodes parameters for the annealing temperature up to 115 °C was found. Moreover the significant dark current decreasing and increasing of the dynamical resistance R_d , R_0A product and photocurrent at the annealing temperature 90–115 °C.

УДК 621.315.593

Фотодетектор для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучений на основе гетеоструктур CdTe—ZnSe

С. М. Отажонов
Ферганский государственный университет, г. Фергана, Узбекистан

Создана перспективная пара полупроводников CdTe—ZnSe, в которой, кроме прямой передачи световых сигналов, будет обеспечено накопление зарядов. Фотодетектор данного типа будет работать без внешнего источника, если поликристалличе-

ский слой CdTe имеет аномально большое фотонапряжение (АФН). При этом повышена эффективность собирания излучения люминофора на 80 %.

Один из недостатков известных фотодетекторов — пониженная фоточувствительность из-за потерь, образующихся при передаче сигнала от сцинтиллятора к фотоприемнику, а также уменьшенная фоточувствительность к излучению, вызывающему люминесценцию селенида цинка к ультрафиолетовым и рентгеновским лучам и необходимость подключения внешнего источника напряжения [1].

Цель работы — повышение фоточувствительности к излучению, вызывающему люминесценцию селенида цинка (ZnSe) к ультрафиолетовым и рентгеновским лучам, путем прямой передачи фотосигнала от сцинтиллятора к фотоприемнику за счет накопления зарядов на поверхности фотоприемника и исключения источника внешнего напряжения.

Расширение функциональных возможностей фотодетектора по сравнению с известными [1] решается тем, что фотодетектор излучения содержит сцинтиллятор и фотоприемник, которые оптически связаны между собой, причем фотоприемник выполнен в виде АФН-пленки на основе поликристалла теллурида кадмия, легированного серебром, а сцинтиллятор выполнен в виде пластины из монокристалла селенида цинка.

Изготовление сцинтилляционного фотодетектора излучения заключается в следующем. Пластины из селенида цинка помещают в камеру при вакууме $133,32 \cdot (10^{-4} - 10^{-5})$, а под углом $40 - 45^\circ$ к направлению молекулярного пучка и нормально к подложке, нагревают до температуры 260°C , затем термическим напылением на нее наносят слой теллурида кадмия (толщиной 1,2 мкм) со скоростью конденсации 0,35 нм/с, проводят легирование серебром из отдельного тигля (для компенсации электропроводности теллурида кадмия и создания глубоких уровней в запрещенной зоне, участвующих в возникновении фотоЭДС). Масса легирующей примеси при этом составляет $0,3 \pm 0,1$ ат. % Ag от массы полупроводникового материала.

На рис. 1 приведена схема сцинтилляционного фотодетектора излучения, принцип действия которого заключается в следующем. Заряженная частица проходит через сцинтиллятор, ионизирует атомы и молекулы и возбуждает их. Возвращаясь в исходное состояние, ионизированные атомы и молекулы испускают фотоны в виде квантов света и попадают на поверхность фотоприемника 2 — АФН-пленку теллурида кадмия за счет накопления зарядов и возникновения на ней напряжения без приложения внешнего поля. Этот фотосигнал напрямую передается от сцинтиллятора 1 к фотоприемнику 2, так как они оптически связаны между собой. Для определения фотосигнала сцинтилляционный

фотодетектор излучения освещают ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами, вызывающими люминесценцию ZnSe. Ультрафиолетовый свет или рентгеновский луч, проходя через сцинтиллятор, переводит электроны из валентной зоны в зону проводимости или с глубоких уровней в зону проводимости.

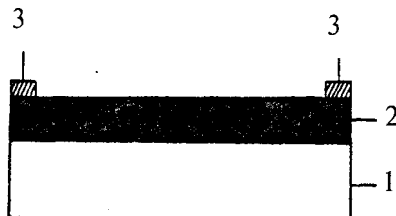


Рис. 1. Схема сцинтилляционного фотодетектора излучения на основе CdTe—ZnSe:

1 — ZnSe; 2 — CdTe:Ag; 3 — контакты

Возвращаясь в исходное состояние (происходит излучательная рекомбинация), они испускают фотоны в виде квантов света и прямо попадают на АФН-пленку CdTe, при этом возникает фотосигнал, который снимают с контактов и регистрируют электрометром.

АФН-пленка CdTe детектирует люминесценцию селенида цинка с малыми потерями на отражение от границы ZnSe—CdTe.

Коэффициент отражения рассчитывают по формуле

$$R = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} = \frac{3,4 - 2,6}{7} = \frac{0,8}{7} \approx 0,1,$$

где R — коэффициент отражения от границы раздела между ZnSe и CdTe;

n_1 — показатель преломления ZnSe;

n_2 — показатель преломления CdTe.

Коэффициент отражения известных сцинтилляционных фотодетекторов учитывает отражение на границе ZnSe и воздуха ($n_0 = 1$), тогда $R = 0,5$. В нашем случае потеря фотосигналов на отражение незначительна по сравнению с известными фотодетекторами. Оценим изменение эффективности фотодетектора с АФН-пленкой:

$$L_R = R L_0,$$

$$L'_R = (R - \Delta R) L_0,$$

где R — коэффициент отражения;

L_0 — интенсивность падающего света,

$$T = \frac{L_0 - L_R}{L_0} = 1 - R,$$

T — коэффициент пропускания.

Тогда

$$T' = \frac{L_0(R - \Delta R)L_0}{L_0} = 1 - (R - \Delta R),$$

$$x = \frac{T'}{T} \cdot 100\% = \frac{1 - (R - \Delta R)}{1 - R} \cdot 100\% = \left(1 + \frac{\Delta R}{1 - R}\right) \cdot 100\%.$$

$$\text{Отсюда } \Delta x = \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta R}{1 - R}; \quad \Delta x = \frac{0,4}{1 - 0,5} = 0,8,$$

т. е. эффективность на 80 % увеличивается.

Для определения значения фотосигнала фотодетектор на основе АФН-пленки теллурида кадмия освещают ультрафиолетовым светом со стороны сцинтиллятора ZnSe, и спектрометром СФ-26 измеряют фотоЭДС, она была равна 200 мВ (без АФН-слоя — 120 мВ). Затем сцинтиллятор возбуждают мягкими рентгеновскими лучами (УРС-60 с трубкой 0,4 ВСВ-4С, напряжение на трубке равно 20 кВ), при этом оказалась, что амплитуда сигнала равна 500 мВ (без АФН-слоя — 280 мВ). Фотосигнал между контактами измеряют электрометром.

Для определения фоточувствительности структуры CdTe—ZnSe рассчитывают оптическую энергию ионизации глубоких уровней, измеряют спектральную характеристику тока короткого замыкания слоя теллурида кадмия, легированного серебром, которая в интервале энергии квантов света $h\nu = 0,45\text{--}2,7$ эВ обусловлена АФН-пленкой теллурида кадмия (рис. 2, кривая 1). В слое теллурида кадмия фотоЭДС возникает как при возбуждении зона—зона, так и из глубоких уровней с энергией оптической ионизации, равной 1,04; 1,15; 1,32 эВ, чем охватываются практически все полосы люминесценции селенида цинка (см. рис. 2, кривая 2).

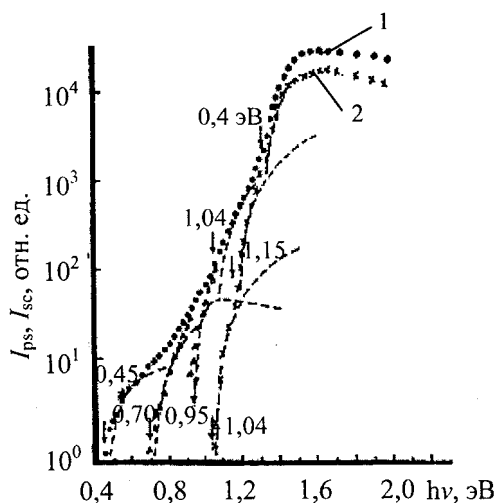


Рис. 2. Спектры I_{ps} (1) и I_{sc} (2) АФН-пленок CdTe:Ag на гетероструктуре CdTe—ZnSe при фронтальном освещении

Для определения фоточувствительности АФН-пленки теллурида кадмия, легированного серебром (CdTe:Ag), измеряют спектры в режимах фотопроводимости при фронтальном освещении. Кривая 1 на рис. 3 характеризует полярность приложенного поля, которая совпадает с полярностью АФН-пленки теллурида кадмия; кривая 2 — когда полярность приложенного поля противоположна. Аномальное фотонапряжение пленки теллурида кадмия определяют путем измерения фотопроводимости в зависимости от направления приложенного извне электрического поля. Приложенное электрическое поле стимулирует возникновение АФН-эффекта. В области края поглощения теллурида кадмия возникает большой АФН, приводящий к изменению знака фотопроводимости.

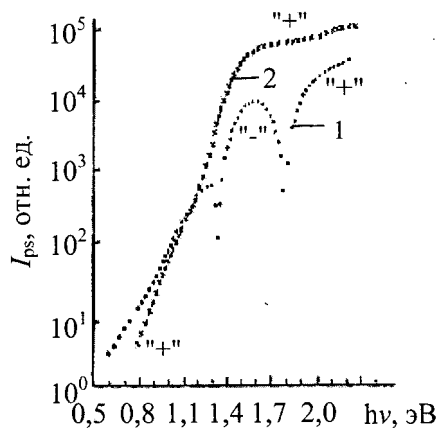


Рис. 3. Спектры I_{ps} АФН-пленок CdTe:Ag, полученных на ZnSe, при фронтальном освещении:

1 — когда полярность приложенного поля совпадает с полярностью АФН; 2 — противоположно, $U_{ex} = 14$ В

Выделенный фотосигнал АФН совпадает со знаком фотоЭДС (см. рис. 2, кривая 1). Это обусловлено тем, что приложенное электрическое поле втягивает носители в область асимметричных барьеров, из-за чего возрастает фотоЭДС.

Управляя влиянием барьеров на поверхности CdTe и у поверхности ZnSe, можно получать как одинаковые, так и разные знаки фотоЭДС в двух областях энергии квантов света, равных 1,4—1,7 и 1,9—2,3 эВ (см. рис. 3).

Важной особенностью АФН-пленки на основе теллурида кадмия является ее автономный характер. Это представляет особый интерес в пленочной оптоэлектронике в качестве преобразователя излучения при ультрафиолетовых и рентгеновских излучениях в широком диапазоне принимаемого электромагнитного излучения.

Литература

1. Пат. Япония 59-21185 кл. Н О 2 L 31/00, 05.1984.
2. Рыжиков В. Д., Гальчинецкий Л. П., Старжинский Н. Г.// Поверхность. Рентгеновские, синхронотронные и нейтронные исследования, 2002. № 3. С. 85—89.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Photodetector for registration of X-rays and ultraviolet irradiations on the base of CdTe–ZnSe heterostructures

S. M. Otajonov

Fergana State University, Ferghana, Republic of Uzbekistan

It is creteda perspective couple CdTe–ZnSe semiconductors, in which charge accumulation will be provided, expert light signals direct transimition. This photodetector will work with out an external source, if polycrystall CdTe film has anomal large photoresistance (APV), besides the effectivity of luminophor irradiation gathering up to 80 % is increaged.

УДК 621.384.326.2:621.362.1

Анизотропный координатно-чувствительный термоэлектрический приемник лазерного излучения

А. А. Ащеулов, В. Д. Фотий, А. Х. Дунаенко

КТБ “Фотон-Кварц”, г. Черновцы, Украина

Приведены описание конструкции и характеристики разработанного анизотропно-го координатно-чувствительного термоэлектрического приемника лазерного излучения на область спектра 0,4–30,0 мкм.

Создание приборов для определения координат излучающих объектов предполагает широкое применение различных приемников ИК-излучения [1]. Работа чувствительных элементов известных приемников основана на использовании фото- или пироэффекта и требует наличия модуляции регистрируемого излучения. Конструкции безмодуляционных приемников квадрантного типа с применением различных отражающих пирамид и призм [2, 3], а также приемников на основе фотоэффекта характеризуются селективностью своих спектральных характеристик.

Вопрос создания координатно-чувствительного термоэлектрического приемника лазерного излучения в настоящее время решен только для матричных конструкций [4], недостатком которых является малая разрешающая способность по площади.

Теоретическое исследование распределения термоэлектрических полей в анизотропных средах [5] для случая, когда площадь поперечного сечения падающего излучения меньше площади рабочей грани анизотропного термоэлемента (АТ), показывает, что величина и знак его поперечной составляющей характеризуются как геометрией нахождения теплового пятна, вызванного излучением, так и местом расположения токосъемных контактов. Полученные результаты показывают, что при наличии четырех электрических выводов, расположенных в углах верхней рабочей грани, АТ может служить реальной

основой для создания координатно-чувствительных датчиков лазерного излучения, работающих в режимах как внешнего оптического поглощения [6], так и оптического пропускания [7, 8] АТ.

На рис. 1 приведена конструкция анизотропного безмодуляционного термоэлектрического координатно-чувствительного приемника лазерного излучения, работающего в режиме внешнего оптического поглощения. Приемник состоит из оптического фильтра 1 из монокристаллического кварца, прозрачного в области 0,2–5,0 мкм, прикрепленного к металлическому корпусу 2, с диафрагмирующим квадратным отверстием со стороной 0,5 а. Неселективный поглощающий слой 3 на основе платиновой черни расположен на верхней рабочей грани АТ 4 размерами $a = c > b$ из направленно-закристаллизованной эвтектики CdSb–MnSb [7]. Нижняя грань АТ через электроизоляционную прокладку 5 большой теплопроводности из керамики 22ХС приведена в тепловой контакт с металлической ножкой 6, в которой расположены электровыводы. Электрическая коммутация точечных контактов 7 в точках А, В, С, D (на рис. 1 не показаны), принадлежащих соответствующим углам верхней рабочей грани АТ 4, осуществляется распайкой проводников. Верхняя рабочая грань условно разделена на четыре одинаковых квадранта, ориентированных аналогично диафрагме своими сторонами параллельно соответствующим осям лабораторной системы координат ХОУ. При