

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХТОНКОЙ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ЯЧЕЙКИ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ ИЗ КРЕМНИЯ ЛЕГИРОВАННОГО ПЛАТИНОЙ

З. Хайдаров

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

Поступила в редакцию 11.11.2011

В данной работе приводятся результаты исследований формирования изображений в инфракрасной области спектра в полупроводниковой ионизационной камере. Анализируются теоретическое и экспериментальное пороговые значения мощности излучения. Результаты исследования используются для разработки нового класса фотографической камеры, общий вид которой, показан в данной статье. Впервые сообщается о том, что в полупроводниковой ионизационной камере возможно эксплуатация монокристаллических полупроводников на основе тройных соединений. Это позволяет создать приборы ночного видения и пространственно-временной диагностический прибор для исследования радиационных излучений с “know-how”. **Ключевые слова:** приборы ночного видения, фотографическая регистрация, пространственно-временная диагностика, полупроводниковая ионизационная камера, инфракрасное излучение, фотоприемник, фотопроводимость, электронно-оптический преобразователь, фотографический процесс, дефектоскопическая материаловедения, область существования изображений, пороговый мощность излучения, кремний, платина, сера, плотность тока, температурные зависимости темного и фототоков, “know-how”, монополярная инжекция, нанотехнология.

У даній роботі приводяться результати досліджень формування зображень в інфрачервоній області спектра в напівпровідниковій іонізаційній камері. Анализуються теоретичні та експериментальні граничні значення потужності випромінювання. Результати дослідження використовуються для розробки нового класу фотографічної камери, загальний вид якої, наведений у даній статті. Уперше повідомляється про те, що в напівпровідниковій іонізаційній камері можлива експлуатація монокристалічних напівпровідників на основі потрійних з'єднань. Це дозволяє створити прилади нічного бачення та просторово-часовий діагностичний прилад для дослідження радіаційних випромінювань із “know-how”.

Ключові слова: прилади нічного бачення, фотографічна реєстрація, просторово-тимчасова діагностика, напівпровідникова іонізаційна камера, інфрачервоне випромінювання, фотоприймач, фотопровідність, електронно-оптичний перетворювач, фотографічний процес, дефектоскопічна матеріалознавства, область існування зображень, граничний потужність випромінювання, кремній, платина, сірка, щільність струму, температурні залежності темного та фотострумів, “know-how”, монополярна інжекція, нанотехнологія.

The results of the studies of formation of images in infrared area of the spectrum in ionization camera are given in this work. Theoretical and experimental radiation cut – off are also analyzed. The results of the researches come to the development of the new class of the photcamera. General type of this camera is given in this article. The usage of monocrystal semiconductors on the base of the triple conjunctions in semiconductor ionization camera is stated for the first time. It gives us the possibility to create the devices for night vision, and space – time diagnostic instruments to study radiation with “know-how”.

Keywords: Devices of night vision, photographic registration, existential diagnostics, semiconductor ionization the chamber, infra-red radiation, a photodetector, photoconductivity, the electron-optical converter, photographic process, дефектоскопическая materials technology, area of existence of images, threshold capacity of radiation, silicon, platinum, sulphur, current density, temperature dependences the darks and the photocurrents, the “know-how”, monopole injection, the nanotechnology.

В настоящее время создание приборов для фотографической регистрации изображений, в широком спектральном диапазоне включая инфракрасных, гамма и рентгеновских излу-

чений является актуальной проблемой. В приборах ночного видения, космическом фотографировании, пространственно-временной диагностике ИК излучений объектов в ближ-

ней и дальней области, для диагностики раковых заболеваний человека и в области дефектоскопической материаловедении нужны современные приборы с применением новых достижений.

Полупроводниковая ионизационная камера (ПИК), в этих отраслях оптической техники является перспективной [1 – 6].

В ПИК фотоприемником инфракрасного излучения в диапазоне длин волн $\lambda = 1.1 \div 4.2$ мкм используется кремний, легированный платиной [7], а в диапазоне длин волн $\lambda = 8 \div 11$ мкм – кремний, легированный серой [8]. Предлагаемой нами усовершенствованной камере волоконно-оптический элемент свободно состыкуется с электронно-оптическим преобразователем (ЭП-16 производство России) или видеоконтрольным устройством (ВКУ). Общие виды усовершенствованной полупроводниковой ионизационной камеры приведены на рис. 1а с охлаждением жидкого азота и на рис. 1б – термоэлектрическим охладителем.

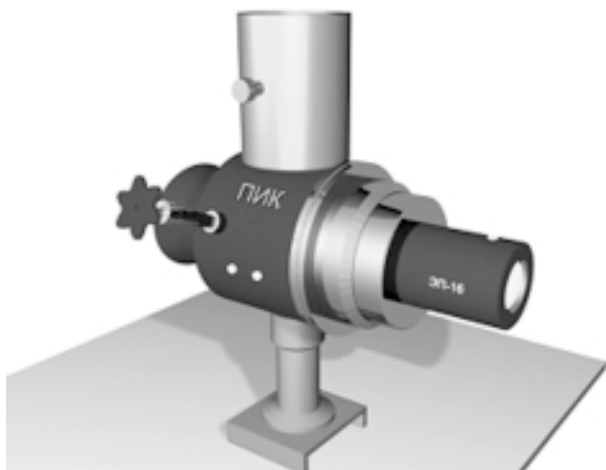


Рис. 1а. Полупроводниковая ионизационная камера с охлаждением жидкого азота.

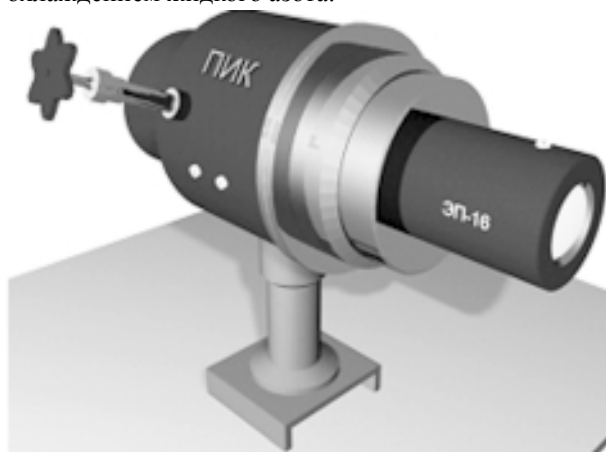


Рис. 1б. Полупроводниковая ионизационная камера с термоэлектрическим охладителем.

Изображение на выходе ионизационной камеры наблюдается визуально или фотографируется на фотопленку, например, типа РФ-3 (производство России), а также может быть передаваться на процессор компьютера, например, через устройства “AMJEON PRO UZB” (производство Корея).

Для получения изображений на выходе ПИК необходимо выполнения следующих условий [9]:

$$j_C \geq \alpha j_T \tag{1}$$

$$j_C + j_T \geq j_{\text{ПР}}, \tag{2}$$

где α – минимальная регистрируемая кратность фотоотклика, j_T и j_C – плотности, соответственно, темного и светового токов, $j_{\text{ПР}}$ – пороговая плотность тока, фиксируемая регистрирующим узлом или глазом. При монополярной примесной фотопроводимости в случае p -типа проводимости условия (1), (2) имеют следующий вид:

$$p_C \geq \alpha p_T \tag{3}$$

$$p_C + p_T \geq j_{\text{ПР}} / e \mu E_{\text{max}}, \tag{4}$$

где e – заряд электрона, p_T и p_C – концентрация, соответственно, равновесных и неравновесных носителей, μ – подвижность дырок в зоне, E_{max} – предельная допустимая напряженность электрического поля, которая в условиях монополярной инжекции записывается в виде

$$E_{\text{max}} = \frac{ep_T L}{\epsilon \epsilon_0} \left[1 + \frac{N_D P_{VM}}{(P_{VM} + p_T)} \right]. \tag{5}$$

Предельная регистрируемая системой мощность излучения $J_{\text{ПР}}$ может быть рассчитана по формуле [10]:

$$J = \frac{\gamma}{q} \frac{p_c (N_D + m_T + p_T + p_c + P_{VM})}{N_D - m_T - p_c}, \tag{6}$$

где

$$p_c = \frac{\epsilon \epsilon_0 j_{\text{ПР}}}{e^2 \mu L p_T \left[1 + \frac{N_D P_{VM}}{(P_{VM} + p_T)^2} \right]} - p_T,$$

$$m_T = N_D - \frac{N_D p_T}{P_{VM} + p_T},$$

$$P_{VM} = P_V \exp[-(\Delta E_g - \Delta E_D) / kT],$$

ϵ – диэлектрическая проницаемость полупроводникового материала, ϵ_0 – электрическая постоянная; ΔE_g – ширина запрещенной

зоны полупроводника; N_D – концентрация примеси; ΔE_D – энергия ионизации примеси; P_V – плотность состояний в валентной зоне полупроводника; γ – коэффициент рекомбинации; q – сечение фотоионизации примеси; L – толщина фотоприемника. В координатах $J_{\text{пр}}(p_T)$ из формулы (6) следует зависимость пороговой регистрируемой мощности излучения от уровня Ферми для данной глубины примесного уровня, а в координатах $J_{\text{пр}}(T)$ – зависимость пороговой регистрируемой мощности излучения от температуры.

Основная часть ПИК является газоразрядная ячейка, которая заключена между фотоприемником и контр электродом. Контрэлектрод изготавливается из стеклянной пластинки с проводящим прозрачным покрытием SnO_2 или из волоконно-оптической шайбы, то же с SnO_2 . При проецировании на поверхность фотоприемника инфракрасного (ИК) изображения объекта, в нем возникает распределение фотопроводимости, повторяющего интенсивность падающего ИК излучения. При приложении между фотоприемником и прозрачным контрэлектродом достаточного по величине напряжения происходит пробой газоразрядного промежутка, благодаря автоэлектронной эмиссии с внутренней поверхности фотоприемника по отношению последнего [8]. Распределение плотности тока и яркости свечения газоразрядной плазмы будет определяться распределением фотопроводимости полупроводникового фотоприемника.

На рис. 2а приведены зависимости пороговой регистрируемой минимального регистрируемого тока $j_{\text{пр}}$, рассчитанные по формуле (6) в случае кремния, легированного платиной [6].

Экспериментальное исследование зависимости порога чувствительности фотографической камеры от температуры приведены на рис. 2б. Полученная экспериментальная кривая находится в качественном согласии с теоретическим расчетом. Действительно, уменьшения $J_{\text{пр}}$ с уменьшением температуры до значения $T = 110$ К сменяется значительно более медленным уменьшением $J_{\text{пр}}$ при дальнейшем снижении температуры.

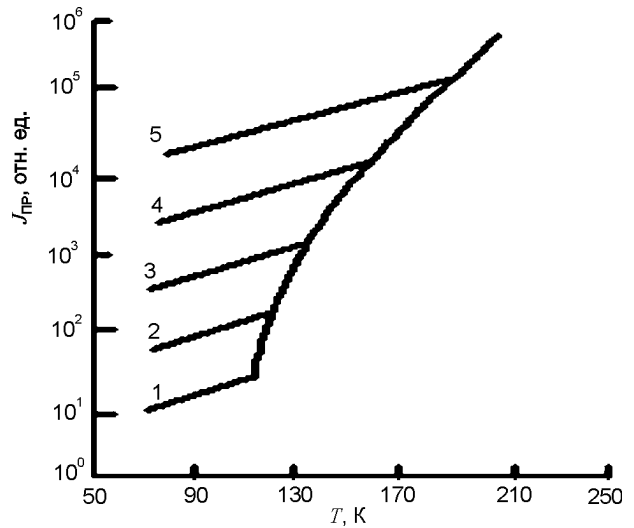


Рис. 2а. Температурные (теоретические) зависимости пороговой регистрируемой мощности ИК излучения при разных значениях предельной регистрируемой плотности тока $J_{\text{пр}}$: 1 – 10^{-9} А/см²; 2 – 10^{-7} ; 3 – 10^{-5} ; 4 – 10^{-3} ; 5 – 10^{-1} и $p_T = 10^{10}$ см⁻³.

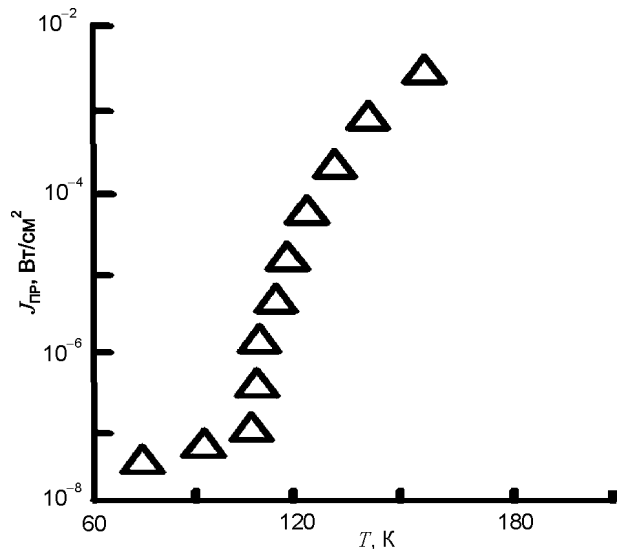


Рис. 2б. Температурные (экспериментальные) зависимости пороговой регистрируемой мощности ИК излучения в фотографической камере с фотоприемником из p -Si<Pt> при $T = 100$ К.

Полученный результат в совокупности с качественными оценками порога является существенным экспериментальным подтверждением проделанных теоретических расчетов. Характерными особенностями является наличие пологого участка практической независимости $J_{\text{пр}}$ от температуры.

Это весьма важное обстоятельство обуславливает надёжность и стабильность функционирования преобразователя (камеры) в области пороговых характеристик.

На рис. 3 приведены характеристические кривые фотографического процесса с исполь-

зованием фотографической регистрации фотокамерой с объективом, обладающим светосилой 1:2, на фотопленку, типа РФ-3. Кривая 1 соответствует фотографической регистрации без усиления инфракрасного изображения, а кривая 2 – фотографической регистрации усиленного инфракрасного изображения с экрана ЭП-16.

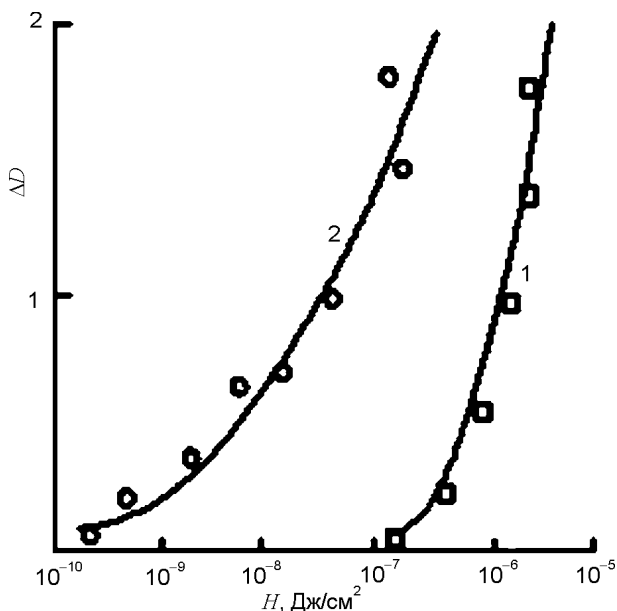


Рис. 3. Характеристическая кривая (абсолютной величины оптической плотности изображения от экспозиции) фотографического процесса в полупроводниковой ионизационной камере для спектрального диапазона длин волн $J = 2.6 \div 4.2$ мкм: 1 – без усиления инфракрасного изображения, $J = 10^{-4}$ В/см²; 2 – усиленное инфракрасное изображение с помощью электронно-оптического преобразователя, $J = 10^{-6}$ В/см². Рабочая температура $T = 110$ К.

Как следует из приведенных характеристических кривых, фотографическая чувствительность определяется величиной порядка $(0.4 \div 0.5) \cdot 10^7$ см²/Дж без усиления, а с усилением на ЭОП, это величина составляет $(0.4 \div 0.5) \cdot 10^{10}$ см²/Дж. Для выше указанного спектрального диапазона длин волн достигнутая фотографическая чувствительность является достаточно высокой. Заметим, что при этом на экране ЭП-16 визуально наблюдается достаточно четкое изображение.

Разработанная усовершенствованная ионизационная камера позволяет достичь повышения фотографической чувствительности до $5 \cdot 10^9$ см²/Дж и снижения регистрируемой мощности подающего на фотоприёмник излучения до $2 \cdot 10^{-8}$ Вт/см². Данная камера (рис. 1а) уменьшает расход хладагента – жид-

кого азота до 3 литров при 6 часовой ее эксплуатации.

Фотоприёмники из кремния, легированной серой [7], в этой камере, обеспечивает расширение спектрального диапазона длин волн до 11 мкм.

Проведенные последние исследования показывают, что возможности ПИК далеко не исчерпаны.

Нами был проведен ряд исследований в полупроводниковой ионизационной камере, результаты которых привели к know-how, так как ПИК остается работоспособной при температуре термоэлектрического охладителя (рис. 1б) в далекой инфракрасной области спектра. Теперь можно использовать наноструктурных кристаллов с фотопроводимостью. До этого момента в ПИК невозможно была эксплуатация полупроводников на основе тройных соединений для длинноволновых областей спектра, по причине относительно малых удельных сопротивлений фотоприемников. Предварительные исследования показывают, что использование монокристаллического $\text{Ng}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ в ПИК с know-how, при ином расположении фотоприемников, чем ранее, охватывает камерой инфракрасную область $\lambda = 0.8 \div 30$ мкм. Можно предположить, что использование кристаллов полученных нанотехнологией, расширяет спектральный диапазон в сторону рентгеновских и гамма излучений. Таким образом можно создать приборы ночного видения и пространственно-временной диагностический прибор для исследования ИК излучений объектов в ближней области длин волн при температуре термоэлектрического охладителя и дальней области длин волн при температуре жидкого азота. ПИК также можно применять для диагностики раковых заболеваний, при этом производится фотографическая регистрация инфракрасных излучений в ближней области отраженных от слюны, капли крови или другой части тела человека. Применение ПИК для обнаружения дефектов и неоднородностей твердых и жидких веществ делает ее еще более современной, то есть этот метод является, не сравнено дешевым и простым. Необходимо отметить, что полученные результаты исследований в ПИК всегда надежны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хайдаров З. Особенности автоэлектронной эмиссии в сверхтонком зазоре газоразрядной ячейки в полупроводниковой ионизационной камере//Физическая инженерия поверхности. – 2006. – Т. 4, № 1-2. – С. 217-220.
2. Хайдаров З. и др. Исследование инфракрасной фотографической системы на основе кремния, легированного платиной//Узбекский научно-технический журнал. – 2001. – № 3. – С. 3-8.
3. Хайдаров З. и др. Фотоэлектрические явления на контакте полупроводник – плазма газового разряда//Узбекский научно-технический журнал. – 2001. – № 4. – С. 3-10.
4. Haydarov Z. Advanced Semi-Conductor Ionization Chamber on the Basis of an Image Intensifier at the Thermoelectric cooling//Abstracts on XVIII International Scientific and Engineering Conference on Photo electronics and Night Vision Devices. – 2004. – P. 109.
5. Haydarov Z. Research of Background Radiation and Possibility of its Restriction in Semi-Conductor Ionization System//Abstracts on XVIII International Scientific and Engineering Conference on Photo electronics and Night Vision Devices. – 2004. – P. 173.
6. Хайдаров З. Фотоэлектрический эффект в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом//Тезисы докладов в XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. – 2006. – С. 212.
7. Хайдаров З. и др. – Ав. свид. России № 1672879 от 22.04.1991.
8. Хайдаров З. и др. – Ав. свид. России № 1697572 от 8.08.1991.
9. Хайдаров З. и др. Об оптимальном легировании фотоприемника изображений. В кн.: Бессеребряные и необычные фотографические процессы//Тез. док. IV Всес. конф. – 1984. – Т. 2. – С. 213.
10. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. – М.: Наука, 1963.

LITERATURA

1. Khaydarov Z. Osobennosti avtoelektronnoy emissii v sverkh-tonkom zazore gazorazryadnoy yacheyki v poluprovodnikovoy ionizatsionnoy kamere//Fizicheskaya inzheneriya poverkhnosti. – 2006. – Т. 4, № 1-2. – S. 217-220.
2. Khaydarov Z. i dr. Issledovaniye infrakrasnoy fotograficheskoy sistemy na osnove kremniya, legirovannogo platinoy//Uzbekskiy nauchno-tekhnicheskii zhurnal. – 2001. – № 3. – S. 3-8.
3. Khaydarov Z. i dr. Fotoelektricheskiye yavleniya na kontakte poluprovodnik – plazma gazovogo razryada//Uzbekskiy nauchno-tekhnicheskii zhurnal. – 2001. – № 4. – S. 3-10.
4. Haydarov Z. Advanced Semi-Conductor Ionization Chamber on the Basis of an Image Intensifier at the Thermoelectric cooling//Abstracts on XVIII International Scientific and Engineering Conference on Photo electronics and Night Vision Devices. – 2004. – P. 109.
5. Haydarov Z. Research of Background Radiation and Possibility of its Restriction in Semi-Conductor Ionization System//Abstracts on XVIII International Scientific and Engineering Conference on Photo electronics and Night Vision Devices. – 2004. – P. 173.
6. Khaydarov Z. Fotoelektricheskiy effekt v sverkh-tonkoy gazorazryadnoy yacheyke s poluprovodnikovym elektrodom//Tezisy dokladov v XIX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po fotoelektronike i priboram nochnogo videniya. – 2006. – S. 212.
7. Khaydarov Z. i dr. – Av. svid. Rossii № 1672879 ot 22.04.1991.
8. Khaydarov Z. i dr. – Av. svid. Rossii № 1697572 ot 8.08.1991.
9. Khaydarov Z. i dr. Ob optimalnom legirovaniy fopriyemnika izobrazheniy. V kn.: Besserebryanyye i neobychnnyye fotograficheskiye protsessy//Tez. dok. IV Vses. konf. – 1984. – Т. 2. – S. 213.
10. Ryvkin S.M. Fotoelektricheskiye yavleniya v poluprovodnikakh. – М.: Nauka, 1963.