

Гибридные высокочувствительные цифровые телевизионные приборы для УФ и ИК спектральных диапазонов

М. Р. Айнбунд, А. В. Гарбуз, А. А. Дементьев, Е. Е. Левина, Д. Е. Миронов,
А. В. Пашук, К. Я. Смирнов, О. В. Чернова

Разработаны гибридные цифровые телевизионные детекторы для УФ и ИК спектральных диапазонов на основе электронно-чувствительной матрицы ППЗ с числом элементов 768×580, размер чувствительного элемента 17×34 мкм, размер изображения ~13×10 мм. Пороговая облучённость УФ-образца составила 8×10^{-11} Вт/см² на $\lambda = 280$ нм, ИК-образца составила 5×10^{-8} Вт/см² на $\lambda = 1000$ –1500 нм.

Ключевые слова: гибридный фотоэлектронный прибор, гибридный телевизионный прибор, ЭОП, УФ, ЭЧППЗ, гетероструктура InP/InGaAs/InP, фотокатод с переносом электронов.

Ссылка: Айнбунд М. Р., Гарбуз А. В., Дементьев А. А., Левина Е. Е., Миронов Д. Е., Пашук А. В., Смирнов К. Я., Чернова О. В. // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6. № 6. С. 514.

Reference: M. R. Ainbund, A. V. Garbuz, A. A. Dement'ev, E. E. Levina, D. E. Mironov, A. V. Pashuk, K. J. Smirnov, and O. V. Chernova, Usp. Prikl. Fiz. 6 (6), 514 (2018).

Введение

АО «ЦНИИ «Электрон» разрабатывает гибридные цифровые телевизионные сенсоры для областей спектра от УФ до ближнего ИК. Конструкция сенсоров включает полупрозрачный фотокатод и расположенную проксимити, т. е. параллельно на близком расстоянии, чувствительную к электронам «backside» матрицу приборов с переносом заряда (ППЗ) (англ. EBCCD). Эмитированные фотокатодом электроны разгоняются высоким электрическим полем до энергий в несколько килоэлектронвольт и далее тормозятся в поверхностном слое матрицы. При их торможении на каждые ~3,6 эВ энергии первичного фотоэлектрона в кремниевой матрице генерируется новая пара свободных носителей. Таким образом, происходит

усиление первичного фотоэмиссионного тока от нескольких сотен до тысячи и более раз [1, 2].

Целью данной работы является представление обзора основных характеристик гибридных высокочувствительных цифровых телевизионных приборов для УФ и ИК спектральных диапазонов, разработанных в АО «ЦНИИ «Электрон».

Ультрафиолетовое направление

На базе сенсора с Cs₂Te-фотокатодом создано фотоприемное устройство (ФПУ), а именно, камера, которая позволяет производить наблюдения в УФ-области 190–320 нм и в «расширенной» видимой области 320–1060 нм. Спектральная характеристика камеры изображена на рис. 1.

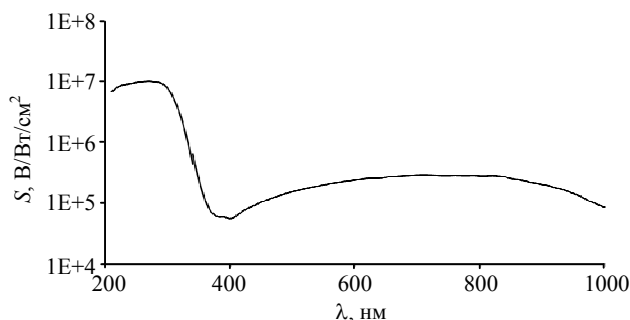


Рис. 1. Спектральная характеристика ФПУ УФ-камеры.

Чувствительность камеры в УФ-области определяется эффективной эмиссией фотоэлектронов

Айнбунд Михаил Рувимович, нач. лаб., к.т.н.
Гарбуз Андрей Валерьевич, нач. лаб.
Дементьев Артем Андреевич, инженер.
Левина Елена Евгеньевна, вед. специалист.
Миронов Денис Евгеньевич, в.н.с.
Пашук Андрей Владимирович, вед. специалист.
Смирнов Константин Яковлевич, инженер.
Чернова Ольга Васильевна, инженер.

АО «ЦНИИ «Электрон».
Россия, 194223, Санкт-Петербург, пр. Тореца, 68, лит Р.
E-mail: m.ainbund@mail.ru, eelev@mail.ru, 918@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27 июля 2018 г.

© Айнбунд М. Р., Гарбуз А. В., Дементьев А. А., Левина Е. Е., Миронов Д. Е., Пашук А. В., Смирнов К. Я., Чернова О. В., 2018

из фотокатода Cs_2Te , чувствительность в области 400–1060 нм связана с реакцией матрицы ППЗ на кванты, прошедшие сквозь фотокатод (чувствительность в области 350–400 нм связана с совместным действием обоих факторов). В УФ-области чувствительность камеры в 50–100 раз превосходит чувствительность аналогичных твердотельных ППЗ- и КМОП-камер [3]. В области 400–1060 нм их чувствительности близки. Для подавления сигнала в видимой и ИК-области спектра возможно применение специальных оптических УФ-фильтров; для локальных задач используются непронускающие свет боксы с облучением объекта исследований в нужном спектральном диапазоне. Камера позволяет в больших пределах регулировать чувствительность в УФ-области путём изменения напряжения между фотокатодом и матрицей, что увеличивает до пяти порядков динамический диапазон её облученности.

Основные параметры камеры: число элементов матрицы – 768×580 шт.; размер элемента 34×17 мкм; размер изображения ~13×10 мм; разрешение 50 лин/мм; максимальный квантовый выход Cs_2Te фотокатода 18–20 % при $\lambda = 210\text{--}260$ нм. Гибридный телевизионный прибор имеет более низкий фактор шума $\leq 1,1$ по сравнению с сочлененными телевизионными приборами на основе ЭОП с МКП и ФППЗ, у которых фактор шума 1,6–2. Поскольку темновой ток и шумы Cs_2Te фотокатода очень малы, пороговая облученность камеры в основном определяется шумами регистрирующей аппаратуры.

Разработанная камера оснащена блоком электронной обработки сигнала с собственным шумом 6,5 мВ, с которым пороговая облученность камеры на $\lambda = 280$ нм достигла 8×10^{-11} Вт/см². В настоящее время проводятся испытания на долговечность: при облученности 3×10^{-8} Вт/см² камера наработала уже более 2500 ч.

Размеры ФПУ и объектива: 140×80×80 мм и 120×Ø65 мм, вес 940 гс и 460 гс соответственно. Внешний вид УФ-камеры изображен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид УФ-камеры.

Благодаря уникальным свойствам УФ-камера может найти применение в новых областях, в которых требуется очень высокая чувствительность в УФ-области спектра 190–320 нм, а также позиционирование источника УФ-сигнала относительно изображения в видимой и ИК-областях. Возможные области применения: полупроводники, машиностроение, криминалистика, УФ-микроскопия, медицина (визуализация в различных областях спектра); энергетика – выявление мест разряда, контроль изоляторов ЛЭП.

На рис. 3 демонстрируется УФ-вспышка при электрическом разряде, зафиксированная камерой с расстояния трёх метров в условиях обычной дневной комнатной освещенности. Без использования камеры эта вспышка не видна. Некоторая размытость изображения связана с режимом съёмки на видео. Из рисунка видно, что место УФ-излучения можно хорошо идентифицировать.



Рис. 3. УФ-вспышка от электрического разряда.

Инфракрасное направление

В гибридном сенсоре для ИК-диапазона используется фотокатод с приложением электрического поля (Transferred electron – TE photocathode) [2, 4]. Физические принципы работы ТЕ-фотокатода изложены в ряде работ [4–6, 8]. В нашей конструкции ИК-фотокатода применена аналогичная гетероструктура $\text{InP}/\text{InGaAs}/\text{InP}$, разработанная для обеспечения чувствительности в диапазоне 0,95–1,65 мкм. Изготовление структур осуществлялось в АО «НИИ «Полнос» им. М. Ф. Стельмаха». Технология данных фотокатодов требует использование вакуума на уровне 10^{-9} Па и выше.

Достижение высокого квантового выхода является одной из наиболее трудных задач. В результате проведенных исследований удалось получить в камере установки при комнатной температуре квантовый выход в режиме на просвет более 5 % в диапазоне 1–1,55 мкм при напряжении смещения на фотокатоде 5 В и темновом

эмиссионном токе фотокатода ~ 200 нА/см². Разработанные ТЕ-фотокатоды показали удовлетворительную стабильность и работоспособность после их герметизации в корпусах прибора.

На рис. 4 изображен внешний вид образца гибридного телевизионного ИК-сенсора, на котором при комнатной температуре при непрерывном облучении измерена пороговая облученность на уровне 5×10^{-8} Вт/см² для $\lambda = 1-1,5$ мкм.

Габариты сенсора: $\varnothing 59$ мм, высота 23 мм. Электронно-чувствительная матрица сенсора такая же, как у УФ-сенсора.



Рис. 4. Гибридный телевизионный ИК-сенсор.

Камеры с ИК-сенсором должны найти применение для ряда задач по наблюдению за дальними объектами, особенно в условиях плохой видимости (туман, дождь, снег, дымка, пыль) при освещении зоны наблюдения лазером на $\lambda = 1,06$ мкм или $1,54$ мкм.

Заключение

Разработаны гибридные цифровые телевизионные детекторы для УФ и ближнего ИК спектральных диапазонов на основе электронно-чувствительной матрицы ППЗ с числом элементов 768×580 , размер чувствительного элемента 17×34 мкм, размер изображения $\sim 13 \times 10$ мм. Пороговая облученность УФ-образца составила 8×10^{-11} Вт/см² на $\lambda = 280$ нм, ИК-образца 5×10^{-8} Вт/см² на $\lambda = 1000-1500$ нм.

Чувствительность УФ-камеры в 50–100 раз превосходит чувствительность в УФ-области аналогичных твердотельных ППЗ- и КМОП-камер [3]. Камера позволяет в больших пределах регулировать чувствительность путём изменения напряжения между фотокатодом и матрицей, что увеличивает до пяти порядков динамический диапазон её облученности в УФ-диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айнбунд М. Р., Алымов О. В., Андреева Е. Б., Васильев И. С., Левина Е. Е., Пауук А. В., Плахов С. А., Свищёв И. С., Чернова О. В. // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. 2015. Вып. 1 (235). С. 13.
2. <http://www.intevac.com/intevacphotonics/livar-506/>
3. <http://www.intevac.com/intevacphotonics/cameras/>
4. Айнбунд М. Р., Васильев И. С., Гомин И. Н., Кудряшова С. Н., Левина Е. Е., Пауук А. В. / Тезисы докладов «XX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения» (М.: ФГУП «НПО «Орион». 2008). С. 218.
5. Bell R. L., James L. W., Moon R. L. // Appl. Phys. Lett. 1974. Vol. 25. No. 11. P. 645.
6. Escher J. S., Gregory P. E., Hyder S. B. // IEEE Trans. Electron Devices Lett. 1981. Vol. EDL-2. P. 123.
7. <https://www.cameraiq.ru/catalog/series/364-Seria-OWL>
8. Айнбунд М. Р., Миронов Д. Е., Зубков В. И. // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6. № 5. С. 401.

PACS: 68.65.Fg, 73.21.Fg, 73.40.Cg, 81.07.St

Hybrid high sensitive digital TV devices for UV and IR spectral ranges

M. R. Ainbund, A. V. Garbuz, A.A. Dement'ev, E. E. Levina, D. E. Mironov, A. V. Pashuk, K. J. Smirnov, and O. V. Chernova

Central Research Institute "Electron", JSC
68 Toreza pr., St. Petersburg, 194223, Russia
E-mail: m.ainbund@mail.ru, eelev@mail.ru, 918@mail.ru

Received July 27, 2018

Hybrid digital TV detectors for UV and IR spectral ranges based on EBCCD with 768×580 pixels have been developed. The pixel size is 17×34 μ m, the size of an image is $\sim 13 \times 10$ mm. The threshold

irradiance of the UV sample has reached $8 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$ at $\lambda = 280 \text{ nm}$, the IR sample – $5 \times 10^{-8} \text{ W/cm}^2$ at $\lambda = 1000\text{--}1500 \text{ nm}$.

Keywords: hybrid photoelectronic device, hybrid TV device, image intensifier tube, EBCCD, InP/InGaAs/InP heterostructure, TE photocathode.

REFERENCES

1. M. R. Ainbund et al., *Elektronnaya Tekhnika*, Ser. 2, No. 1 (235), 13 (2015).
2. <http://www.intevac.com/intevacphotonics/livar-506/>
3. <http://www.intevac.com/intevacphotonics/cameras/>
4. M. R. Ainbund et al., in *Proc. XX International Scientific and Technical Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices, Abstracts* (Moscow, Orion Research and Production Association, 2008), p. 218.
5. R. L. Bell, L. W. James, and R. L. Moon, *Appl. Phys. Lett.* **25** (11), 645 (1974).
6. J. S. Escher, P. E. Gregory, and S. B. Hyder, *IEEE Trans. Electron Devices Lett.* **EDL-2**, 123 (1981).
7. <https://www.cameraiq.ru/catalog/series/364-Seria-OWL>
8. M. R. Ainbund, D. E. Mironov, and V. I. Zubkov, *Usp. Prikl. Fiz.* **6** (5), 401 (2018).