

УДК 621.385.832.56

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ПЕРЕДАЮЩИЙ ПРИБОР ДЛЯ ОБЛАСТИ СПЕКТРА 0,4—2,0 мкм

Г. И. Коршунова, Р. М. Степанов, Ю. В. Наумов, К. П. Андреева

Центральный научно-исследовательский институт "Электрон", С.-Петербург, Россия

Сообщается о неохлаждаемом ИК-телевизионном передающем приборе диаметром 26 мм с магнитным управлением электронным лучом. Отличительные особенности прибора — широкий спектральный диапазон (от 0,4 до 2,0 мкм), низкая инерционность (не более 40 %), а также небольшой темновой ток (не более 40 нА). Мишень прибора изготовлена на основе PbO—S. Технология ее изготовления обеспечивает высокую интегральную чувствительность (ток сигнала не менее 200 нА при освещенности 5 лк на фильтре из ИКС-2, установленном перед входным окном), а также высокую спектральную чувствительность в ИК-области спектра (не менее 200 нА/мкВт на длине волны 1,0 мкм). Прибор предназначен для передающих телевизионных систем вещательного режима разложения, работающих в видимом и (или) ближнем ИК-диапазонах спектра и может применяться в тепловидении при наблюдении нагретых объектов, а также позволяет вести наблюдение в неосвещенном помещении с ИК-подсветкой. Другими областями применения прибора являются медицина, охранные системы, экспертиза документов и произведений искусства, контроль технологических процессов при производстве полупроводников и приборов на их основе.

Перспективы развития и возможности применения передающих телевизионных систем в значительной степени определяются характеристиками телевизи-

онных передающих приборов (ТПП). На параметры телевизионной (ТВ) камеры влияют чувствительность ТПП, его рабочий спектральный диапазон, инерционность и разрешающая способность, а также эксплуатационные качества ТПП, такие как необходимость его охлаждения и дополнительной подстройки системы после замены ТПП.

Расширение спектральной области чувствительности ТПП от видимого до инфракрасного (ИК) диапазонов позволяет вести наблюдение с помощью ТВ передающей камеры в различных условиях освещенности без замены ТПП.

Преимущества работы в инфракрасном диапазоне спектра демонстрируются при решении таких технических задач, как:

контроль подлинности произведений живописи по скрытому под слоем красок изображению [1];

криминалистическая экспертиза документов, испорченных краской, копотью и плесенью;

тепловидение объектов, нагретых до температур более 150 °С;

контроль технологических процессов изготовления микросхем сквозь непрозрачную для глаза подложку, например полупроводниковую;

скрытое наблюдение, проводимое с целью охраны в неосвещенном видимым светом помещении (с ИК-подсветкой или без нее);

исследование кожных покровов и подкожных кровеносных сосудов, проводимое в медицинских целях (например для контроля новообразований, которые в ближнем ИК-диапазоне имеют отличительные от здоровых тканей характеристики отражения);

создание устройств технического зрения для предотвращения столкновений на транспорте [2], так как в условиях дымки, копоти и тумана пропускание атмосферы в области 0,8—3,0 мкм в 2—4 раза выше, чем в видимой области спектра (при дальнейшем увеличении длинноволновой границы до 14 мкм пропускание атмосферы растет незначительно) [3];

контроль состояния растительных объектов (посевов, лесных массивов и т. п.), проводимый в целях экологии, так как в ближней ИК-области спектра более заметна разница в коэффициентах отражения и поглощения хлорофилла для здоровых и больных растений [4].

Широко применяемые в настоящее время ФППЗ на основе кремния имеют спектральный диапазон чувствительности, лишь частично перекрывающий инфракрасную область спектра. Со стороны больших длин волн их спектральная характеристика ограничена длиной волны 1,1 мкм, что существенно снижает возможность применения ТВ-камер. Из современных ТПП, чувствительных в ИК-области, известны фоточувствительные матричные приборы на основе халькогенидов свинца (PbS, PbSe) [5] или на основе силицидов металлов [6].

Однако вследствие низкоомности этих материалов возникает необходимость снижения темнового тока в приборах путем их глубокого охлаждения. Поэтому передающие ТВ-камеры и системы на их основе энергоемки и дороги.

Существующие потребности рынка в недорогих телевизионных передающих приборах, чувствительных в ближнем инфракрасном диапазоне спектра, могут быть удовлетворены разработанной телевизионной передающей трубкой — видиконом с мишенью на основе PbO/PbS (или Pb—O—S). Видикон диаметром 26,2 мм и длиной 132 мм с магнитным отклонением и фокусировкой электронного луча предназначен для работы в стандартном режиме разложения (625 строк, 25 кадров в секунду, чересстрочная развертка). Размер рабочей площади мишени 9,5 x 12,7 мм.

По устройству электронно-оптической системы указанный видикон аналогичен видикону ЛИ 474. Сигнальный электрод выведен на контактное кольцо, остальные электроды — на девятипроводную ножку. Максимальное сеточное напряжение не превышает 550 В, а мощность, потребляемая маломощным катодом, составляет 0,6 Вт.

Основные свойства нового видикона определяются свойствами мишени, построенной на основе измененного *p-i-n*-перехода и являющейся комбинацией PbS и PbO. В такой мишени удалось без специального охлаждения получить сочетание свойств PbS и мишени на основе PbO: чувствительность в широком спектральном диапазоне, включающем весь видимый спектр и ближний инфракрасный до 1,8—2,0 мкм, при достаточно высоком сопротивлении мишени, делающем возможным процесс накопления заряда, малом темновом токе и инерционности.

Измерение параметров и характеристик предлагаемого видикона проводилось в соответствии с ГОСТ 18720-85. При этом чувствительность в ближней ИК-области спектра определялась с установленным перед мишенью видикона инфракрасным фильтром из стекла ИКС-2 толщиной 3 мм. Коэффициент пропускания фильтра на длине волны 0,8 мкм соответствует 8 %, на длине волны 1,0 мкм — 50 %, а в диапазоне от 1,4 до 2,5 мкм — 80 %.

Характеристика спектральной чувствительности экспериментального видикона измерена методом "равных сигналов" на инфракрасной спектральной телевизионной установке ИКСТ-1. Источником излучения для области спектра 0,45—1,1 мкм служила ленточная лампа накаливания ТРШ-2850, а для 1,0—2,5 мкм — стержень из карбида кремния (глобар). Значения монохроматического потока излучения (при спектральной ширине щели спектрометра не более 0,04 мкм) калибровались с помощью рабочего средства измерения — термоэлемента типа РТН-30С, установленного на место фоточувствительной мишени.

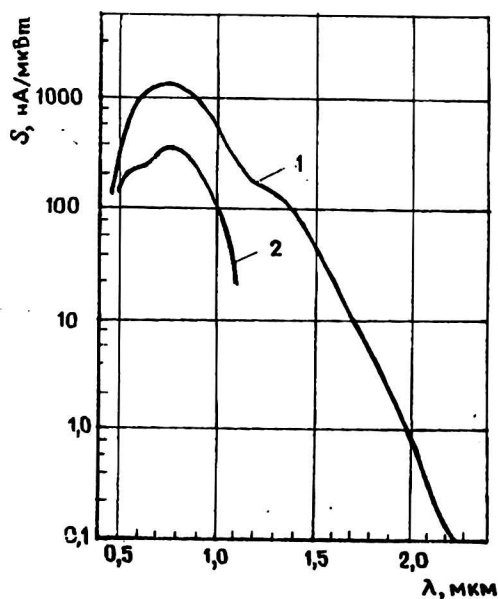


Рис. 1. Абсолютная спектральная характеристика чувствительности неохлаждаемых ТПП:

- 1 — разработанный прибор № 7869;
- 2 — твердотельный передающий прибор на основе кремния — ФППЗ с виртуальной фазой ISDO 15A [7]

Как видно из рис. 1, прибор имеет более высокую спектральную чувствительность и более широкий спектральный диапазон, чем известные неохлаждаемые передающие телевизионные приборы на основе кремния, и не уступает по чувствительности и спектральному диапазону аналогичным зарубежным приборам

№ 2606 фирмы Hamamatsu и XQ 1610 фирмы EEV [8—10] (рис. 2). Диапазон чувствительности прибора со стороны больших длин волн ограничен длиной волны $\lambda_{гр} = (1,8-2,0)$ мкм в зависимости от требований, предъявляемых телевизионной аппаратурой к темновому току.

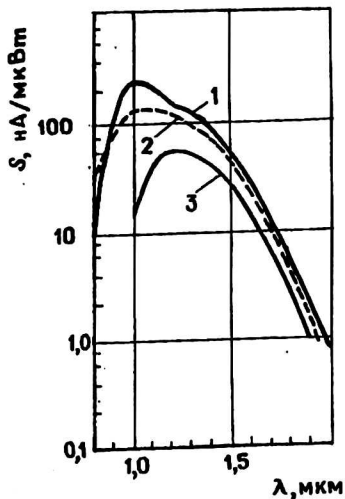


Рис. 2. Абсолютная спектральная характеристика чувствительности неослаждаемых ИК-видиконов с ИК-фильтрами:
 1 — разработанный прибор № 7869 с фильтром ИКС-3 толщиной 3 мм; 2 — видикон № 2606 фирмы Hamamatsu с ИК-фильтром [8]; 3 — видикон XQ 1610 фирмы EEV с ИК-фильтром Ноуа RM 100 [9]

Зависимость тока сигнала, темнового тока и инерционности от напряжения на сигнальной пластине (рис. 3) позволяет управлять этими параметрами. Оптимальным является такое значение напряжение на сигнальной пластине, при котором темновой ток составляет (20—40) нА. При этом интегральная чувствительность характеризуется током сигнала не менее 0,2 мкА при условии, что на поверхности фильтра ИКС-2 (толщиной 3 мм), установленного перед прибором и отсекающего видимую область спектра, создается освещенность 5 лк от источника излучения типа А.

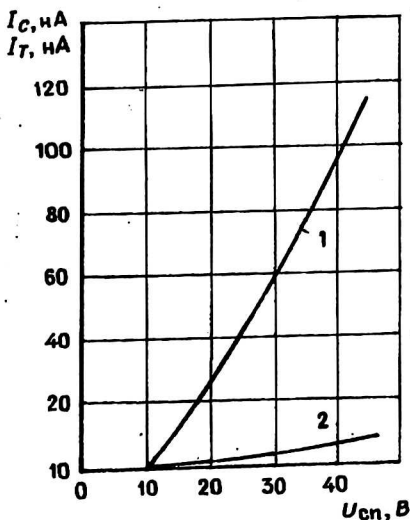


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики прибора:
 1 — с освещенной мишенью; 2 — с неосвещенной мишенью

Указанные выше значения чувствительности и темнового тока прибора соответствуют значениям аналогичных параметров видиконов серии XQ 1610 фирмы

ЕЕV. В то же время инерционность у него значительно меньше (40 %), чем у зарубежных видиконов серии XQ 1610 фирмы ЕЕV (50 %) и № 2606 фирмы Hamamatsu (60 %) [8—10].

Прибор имеет линейную световую характеристику $c\gamma = 0,6$ (рис. 4), а его динамический диапазон чувствительности превышает два порядка по шкале освещенности, что соответствует аналогичным параметрам видиконов серии № 2606 фирмы Hamamatsu. На рис. 4 представлена зависимость тока сигнала от освещенности, соответствующая прибору с наиболее высокой чувствительностью. Для приборов, соответствующих более низким номинальным значениям чувствительности, световые характеристики располагаются между зависимостями 1 и 2 (см. рис. 4). Разрешающая способность прибора составляет 600 телевизионных линий. Глубина модуляции на отметке 400 телевизионных линий не менее 30 %, что соответствует значению этого параметра для видикона серии XQ 1610 фирмы ЕЕV.

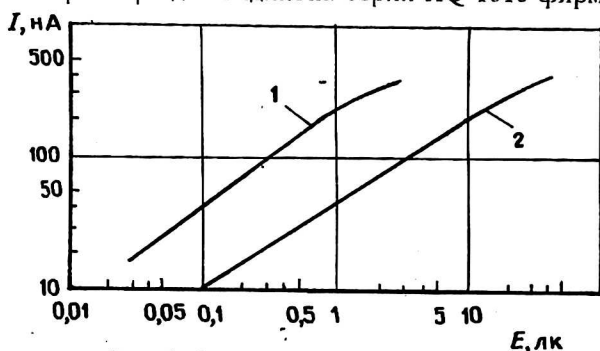


Рис. 4. Световые характеристики:

1 — разработанного прибора; 2 — ИК-видикона фирмы Hamamatsu [8]

Разработанный прибор с указанными параметрами успешно применен в телевизионной установке для контроля процессов прецизионной сборки полупроводниковых приборов на базе пластин из монокристаллического кремния. Установка работает в ИК-спектральном диапазоне (от 1,1 до 1,8 мкм). Кроме того, разработанный видикон применен в телевизионной передающей ИК-подсветки, а также в телевизионном устройстве для экспертизы документов (рис. 5) и для изучения равномерности нагрева тел с температурой более 150 °С (рис. 6).



Рис. 5. Экспертиза фотографии на служебном пропуске, испорченной непрозрачной краской

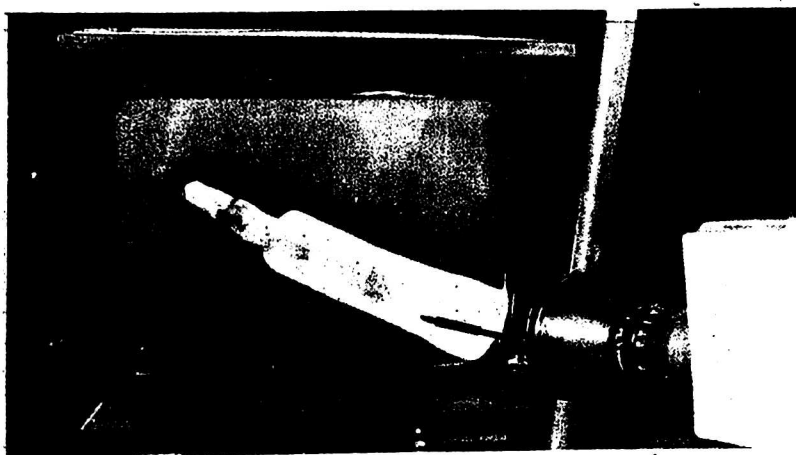


Рис. 6. Наблюдение распределения температуры на поверхности нагретого тела (паяльника)

Литература

1. Колосова Ю. Л., Наумов Ю. В., Степанов Р. М. Отечественные ИК-видиконы для реставрации произведений живописи // Петербургский журнал электроники. 1993. № 3. С. 29—34.
2. Мачтовой И. А., Михеев А. С. Принципы построения системы технического зрения для предотвращения столкновений железнодорожного транспорта // Оптический журнал. 1994. № 2. С. 58—62.
3. Лазарев Л. П. Оптико-электронные приборы наведения. — М.: Машиностроение, 1989. — 509 с.
4. Hudson R., Hudson J. The military applications of remote sensing by Infrared // Proc. IEEE. 1995. V. 63.1. P. 104—128.
5. Lead chalcogenides IR photosensitive array detectors with coordinate addressing. / Агранов Г. А., Новоселов С. К. et al. Proceeding of an ESA Symposium on Photon Detectors for Space Instrumentation // ESA SP-356, 1992. P. 191—195.
6. Богомолов П. А., Сидоров В. И., Усольцев И. Ф. Приемные устройства ИК-систем. — М.: Радио и связь, 1987. — 208 с.
7. Khvilivitsky A. G. et al. Vertical-phase charge-coupled device image sensors for industrial and scientific applications // Proc. SPIE. 1991. V. 1447. P. 184—190.
8. Computer Compatible Video Camera C 1000, C 1145: Catalog Hamamatsu Photonics K. K. No. TV-116-02. — Jul/88.
9. Electron Tube Products: Condensed Catalog, 92 Hamamatsu, 1992.
10. Leddicons. EEV Product Data, 1990.

CAMERA TUBE FOR 0,4—2,0 μm SPECTRAL REGION

G. I. Korshunova, R. M. Stepanov, Y. V. Naumov, K. P. Andreeva
Electron Central Research Institute, St.-Peterburg, Russia

The paper describes non cooled television camera tube of 25 mm diameter with magnetic focusing and deflection. The device features are: wide spectral region (from 0,4 to 2,0 μm), low lag (not more than 40 %) and small dark current (not more than 40 nA). The target of the device is based on PbO—S compound. Manufacturing technology provides high overall sensitivity (signal current is more than 200 nA under illumination of 5lx behind IKS-2 filter) and high IR spectral sensitivity (more than 200 nA/mkW at $\gamma = 1,0 \mu\text{m}$). The device intended for broadcasting standard TV-systems operating in visual and (or) near IR spectral region. Their applications include: thermovision of heated objects, observation in dark conditions with use IR illumination, medicine, security, expertise of documents and art works, control of processing technologies in manufacturing of semiconductors and devices, based on them.