

УДК 621.383

Фотоприемные модули с режимом ВЗН для мониторинга земной поверхности в ИК-диапазоне

П. А. Кузнецов, И. С. Мошев, В. В. Сало, Н. Ф. Кошанцев

Развитие оптико-электронных систем для мониторинга земной поверхности в ИК-диапазоне потребовало применения новых способов построения фотоприемных устройств: внедрение больших интегральных схем (БИС) обработки и считывания фотосигналов; изготовление фоточувствительных структур на основе материала КРТ, имеющих высокую обнаружительную способность ($10^{11} \cdot 10^{12}$ Вт·см·Гц^{1/2}) в спектральном диапазоне 2—12 мкм и работающих при температурах от 60 до 170 К; снижение шага следования каналов и увеличение формата ФПУ; применение режима временной задержки и накопления (ВЗН) непосредственно на кристалле БИС считывания. В данной работе представлены два типа фотоприемных модуля: многоспектральный (3—12 мкм) на шесть поддиапазонов формата 576×4; односпектральный (2—3 мкм) формата 1024×10.

PACS: 85.60.-q

Ключевые слова: БИС считывания, КРТ, ВЗН.

Введение

Применяемые для дистанционного мониторинга земной поверхности фотоприемные модули (ФПМ) сканирующего типа (рис. 1) имеют ряд преимуществ перед фотоприемными модулями «смотрящего» типа:

- возможность просмотра обширных участков земной поверхности без потерь информации;
- использование режима ВЗН, дающего улучшение пороговых характеристик, меньшую неравномерность чувствительности, полное исключение влияния дефектных элементов на качество изображения [1, 2];
- более высокое пространственное разрешение за счет применения безззорной топологии фоточувствительных элементов;
- возможность получения широкого ряда спектральных каналов (до 6—8) за счет комбинирования спектральных фильтров и состава материала фотоприемника [3].

Целью данной работы было рассмотрение характеристик и возможностей двух типов скани-

рующих фотоприемных модулей: многоспектральный модуль (диапазон 3—12 мкм) на шесть поддиапазонов формата 576×4 и односпектральный модуль (диапазон 2—3 мкм) формата 1024×10.

Конструктивные особенности сканирующих фотоприемных модулей

Режим ВЗН является эффективным способом увеличения времени накопления без ухудшения пространственно-временного разрешения фотоприемного устройства (ФПУ). Суть его состоит в запоминании и суммировании сигналов от n фотоприемников, расположенных в направлении сканирования изображения [4, 5]. В ФПУ, реализованных по этому принципу, появляется ряд следующих преимуществ:

- возрастает отношение сигнал/шум в раз независимо от вида шумового спектра, а также в условиях ограничения фоном;
 - уменьшается в раз разброс чувствительности по каналам ФПУ;
 - производится исключение дефектных фотоприемников в процессе суммирования сигналов.
- В ОАО «НПО «Орион» были разработаны и изготовлены два типа ФПМ. В состав ФПМ входят следующие основные элементы:
- матрица фоточувствительных элементов на основе КРТ фотодиодов с различным стехиометрическим составом;
 - большая интегральная схема считывания (БИС считывания) фотосигналов;
 - коммутирующий растр (основание).

Кузнецов Петр Александрович, главный специалист.

Мошев Иван Сергеевич, инженер.

Сало Владимир Васильевич, советник генерального директора.

Кошанцев Николай Федорович, главный научный сотрудник.

ОАО «НПО «ОРИОН».

Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.

Факс 8 (499) 373-68-62. E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 29 сентября 2014 г.

© Кузнецов П. А., Мошев И. С., Сало В. В., Кошанцев Н. Ф., 2014

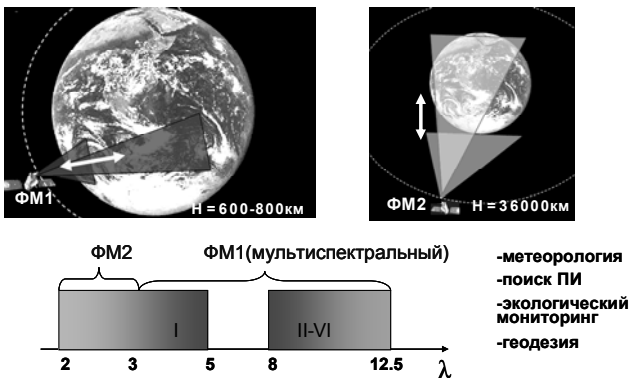


Рис. 1. Применение сканирующих фотоприемных модули с режимом ВЗН для мониторинга земной поверхности в ИК-диапазоне

В состав ФПМ могут входить сменные диафрагмы со спектральными фильтрами. ФПМ 1-го типа (рис. 2) содержит шесть многорядных линейек КРТ фотодиодов формата 576×4 с шагом поперек сканирования 28 мкм. Перекрываемый спектральный диапазон составляет 3—12 мкм при рабочей температуре 65 К. Режим накопления — IWR, с периодом считывания, равным периоду накопления 250 мкс.

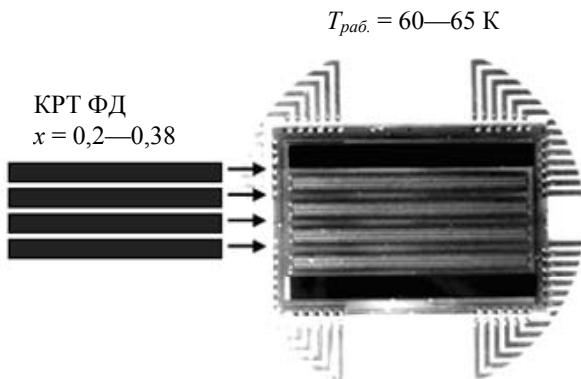


Рис. 2. Конструкция фотоприемного модуля 1-го типа

Вывод фотосигналов производится шестью мультиплексорами, интегрированными в едином кристалле БИС считывания. Мультиплексирование производится на 24 информационных выхода, по 4 выхода 576×1 на каждый спектральный канал. Такая организация позволяет производить внешнее (цифровое) запоминание и суммирование фотосигналов по четырем элементам, т. е. работать в режиме ВЗН. БИС считывания имеет две отличительные особенности:

- время накопления для каждого спектрального канала программируется через единый цифровой вход SERDAT;
- в каждой накопительной ячейке реализуется режим SFA (sub frame average) — усреднение 8-ми подкадров накопления [6], с коэффициентом

деления накопленного заряда, также программируемым через вход SERDAT.

Усреднение 8-ми подкадров позволяет увеличить в 8 раз зарядовую емкость входных ячеек без увеличения размера накопительной емкости, что особенно актуально для длинноволнового участка ИК спектра. Схемотехнически этот метод можно интерпретировать как совокупность операций:

- первичное накопление заряда с высокой частотой сброса $1/T_{int}$;
- деление накопленного заряда в k раз;
- перенос $1/k$ части накопленного заряда (подкадра) в схему суммирования (вторичного накопления);
- сброс $(1-1/k)$ части накопленного заряда;
- выборка сигнала, просуммированного по k подкадрам;
- сброс суммарного сигнала с частотой $1/kT_{int}$.

Период $T_{эф.} = kT_{int}$ характеризует эффективное время накопления фотосигнала, при этом отношение сигнал/шум растет как \sqrt{k} при условии линейности суммирования.

ФПМ 2-го типа (рис. 3) имеет формат 1024×10 и предназначен для детектирования сигналов в спектральном диапазоне 1—3 мкм (КРТ ФД с $x = 0,39—0,41$). Среднее значение удельной обнаружительной способности D^* в максимуме спектральной чувствительности по недефектным ФЧЭ находится на уровне лучших мировых образцов [7, 8]. При разработке БИС считывания 1024×10 применялась схема ВЗН шинно-адресного типа (рис. 4), которая дает следующие преимущества:

- возможность построения каналов ВЗН с малым шагом;
- отсутствие «размытия» коротких импульсов сигнала.



Рис. 3. Конструкция фотоприемного модуля 2-го типа

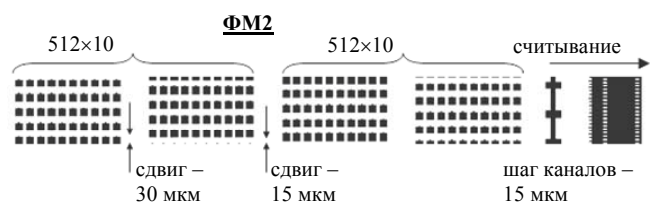


Рис. 4. Безззорная топология ФЧЭ 1024×10 с шагом 15 мкм

Для улучшения пространственного разрешения производится суммирование сигналов от накопительных ячеек с коэффициентом передискретизации 3. Отличительными особенностями этого ФПМ являются [9]:

- осуществление режима ВЗН по 10 элементам в аналоговом виде, на кристалле БИС считывания с шагом каналов 15 мкм;
- беззаярная топология фоточувствительных элементов (рис. 4);
- кристалл ФЧЭ располагается асимметрично относительно кристалла БИС считывания, что дает возможность каскадирования ФПМ при построении сверхмногоканального ФПУ (рис. 5).

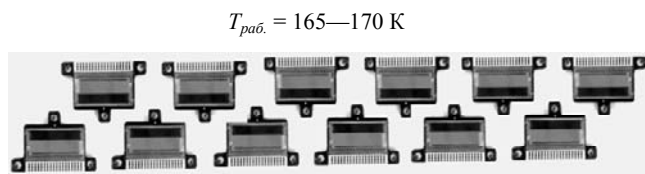


Рис. 5. Каскадирование фотоприемных модулей 2-го типа в составе сверхмногоканального ФПУ

Заключение

В статье представлены первые в отечественной практике сканирующие фотоприемные модули двух типов для дистанционного мониторинга поверхности Земли. ФПМ первого типа содержит шесть фоточувствительных линеек на спектральный диапазон от 3 до 12 мкм, расположенных на едином кристалле БИС считывания формата

6×(576×4). ФПМ второго типа функционирует в спектральном диапазоне 2—3 мкм и предназначен для получения ИК-изображения поверхности Земли с повышенным разрешением за счет каскадирования в составе сверхмногоканального ФПУ. Отмечен ряд преимуществ фотоприемных модулей сканирующего типа перед фотоприемными модулями «смотрящего» типа применительно к оптико-электронным системам дистанционного мониторинга земной поверхности.

Литература

1. Филачев А. М., Таубкин И. И., Тришенков М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды. — М.: Физматкнига, 2011.
2. Кузнецов П. А., Хромов С. С. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 3. С. 321.
3. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения. — М.: Университетская книга: Логос, 2007.
4. Зайцев А. А., Болтарь К. О., Кузнецов П. А. и др. // Прикладная физика. 2011. № 5. С. 92.
5. Зайцев А. А., Кузнецов П. А., Хромов С. С. // Прикладная физика. 2012. № 5. С. 95.
6. Radford W. A., Patten E. A., King D. F. // Proc. SPIE. V. 5783. P. 331.
7. Zimmermann P. H., Hairston A., Parados T., et. al. SW/MW FPAs with Extended Dynamic Range. / Lockheed Martin IR Imaging Systems.
8. Zimmermann H., Hairston A., Edwards R., et. el. Scanning and Starring HgCdTe FPA Technology for Space Surveillance Applications / In Proc. 1996 IRIS Detector Speciality Group Meeting.
9. Бочков В. Д., Дрожников Б. Н., Кузнецов П. А. и др. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 1. С. 65.

Photodetecting TDI modules for Earth surface monitoring in IR range

P. A. Kuznetsov, I. S. Moshchev, V. V. Salo, and N. F. Koshantsev

Orion R&P Association
46/2 Entuziastov shosse, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received September 29, 2014

Scanning photodetecting IR modules have a list of advantages in optical- electronic systems for Earth monitoring: an ability to view large areas of Earth surface without resolution loss; usage of Time-Delayed-Integration (TDI) mode, improving threshold characteristics; lower dispersion of sensitivity between channels; influence of defective elements on image quality is absolutely excluded (deselecting); higher spatial resolution thanks to overlapping topology of photodetectors elements; ability to obtain wide range of spectral channels (up to 6—8) by combining spectral filters and materials of photodetectors. Two types of IR modules were developed and created. IR module consists of some basic elements, such as: array of photo-detectors based on Cd_xHg_{1-x}Te photodiodes;

chip of readout integrated circuit (ROIC); commutating raster. Also, IR module can include changeable apertures with spectral filters.

PACS: 85.60.-q

Keywords: highly-integrated chip, readout, HgCdTe, Time-Delayed-Integration mode.

References

1. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Solid-State Photoelectronics. Photodiodes.* (Fizmatkniga, Moscow, 2011) [in Russian].
2. P. A. Kuznetsov and S. S. Khromov, *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **1**, 321 (2013).
3. V. V. Tarasov and Yu. G. Yakushenkov, *Double-and-Multirange Optical-Electronic Systems with FPA* (Logos, Moscow, 2007) [in Russian].
4. A. A. Zaitsev, K. O. Boltar, P. A. Kuznetsov, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 92 (2011).
5. A. A. Zaitsev, P. A. Kuznetsov, and S. S. Khromov, *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 95 (2012).
6. W. A. Radford, E. A. Patten, and D. F. King, *Proc. SPIE* **5783**, 331.
7. P. H. Zimmermann, A. Hairston, T. Parados, et al., *SW/MW FPAs with Extended Dynamic Range* (Lockheed Martin IR Imaging Systems).
8. H. Zimmermann, A. Hairston, R. Edwards, et al., *Scanning and Starring HgCdTe FPA Technology for Space Surveillance Applications*, in *Proc. 1996 IRIS Detector Speciality Group Meeting*.
9. V. D. Bochkov, B. N. Drazhnikov, P. A. Kuznetsov, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 65 (2014).