

# История развития и обзор современной продукции компании Hamamatsu.

## Особенности и параметры ПЗС- и InGaAs-датчиков изображения

Юрий ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ

Статья представляет собой обзор продукции японской компании Hamamatsu Photonics К. К., в частности ПЗС- и InGaAs-сенсоров из категории оптоэлектронных приборов.

### Введение

Компания Hamamatsu Photonics К.К. основана в 1953 году, ее штаб-квартира находится в г. Хамамацу, в префектуре Сидзуока (рис. 1). Основателем фирмы был Хейхачиро Хориучи (Heihachiro Horiuchi) — ученик профессора Кениро Такаянаги (Kenjiro Takayanagi, 1899–1990 гг., рис. 2). Такаянаги мало знают на Западе, однако он создал первый в мире полностью электронный телевизор. 25 декабря 1926 года Такаянаги успешно продемонстрировал телевизор на электронно-лучевой трубке в средней промышленной школе г. Хамамацу (в настоящее время инженерный факультет университета Сидзуока), в которой он тогда преподавал. На рис. 3 показан первый телевизор Такаянаги в музее вещания компании NHK в Токио. Кениро Такаянаги называют отцом японского телевидения: он сыграл ключевую роль в развитии телевидения в компании NHK, затем в JVC, вице-президентом которой он стал впоследствии [1].

Изначально компания называлась Hamamatsu TV Co., Ltd и производила фотоэлек-



Рис. 1. Штаб-квартира Hamamatsu Photonics



Рис. 2. Профессор Кениро Такаянаги



Рис. 3. Первый электронный телевизор Такаянаги

тронные трубки, а также занималась разработкой гамма-сцинтилляторов по заданию Агентства наук и технологий по мирному использованию атомной энергии. Уже через два года после основания компания получила государственное финансирование для проведения значимого проекта в области атомной энергетики. В 1957 году началось производство трубок для приборов ночного видения, а в 1961–1963 гг. — производство инфракрасных видеокамер и серебряно-висмутовых фотоумножителей. В 1969 году в США создана Hamamatsu Corporation USA, действующая (до настоящего времени) как аффилированная компания. Она участвовала в освоении космического пространства (зонд для отслеживания кометы Галлея). В 1970-е годы началось сотрудничество с западногерманской фирмой Heiapan и концерном Philips, в эти годы созданы трубка для наблюдения фемтосекундных процессов, видеоконды для компьютеров, GaAsP и Si PIN фотодиоды, ультрафиолетовая видеокамера (“Kuokkou”). В 1980–2000 гг. объем исследований и производства резко нарастает, и фирма получает широкое международное признание.

По состоянию на январь 2011 г. в компании работали 2834 сотрудника. Объем продаж составил 79 235 млн йен. Фирма располагает шестью заводами и тремя научно-исследовательскими лабораториями, а также пятью дочерними компаниями и организациями. Президент и главный исполнительный директор Hamamatsu Photonics K.K. — Акира Хирума (Akira Hiruma) [1, 2].

В 2011 году Hamamatsu Photonics выпускает продукцию следующих категорий:

- оптоэлектронные полупроводниковые приборы (15 видов продукции);
- светочувствительные электронные трубки (9 видов);
- светодиоды, лазерные диоды, источники света (14 видов);
- видеокамеры и измерители параметров изображения (10 видов);
- оборудование для медицины (8 видов);
- полупроводниковые анализаторы: микроскопы, плазменные мониторы и др. (8 видов);
- оптические измерительные системы (12 видов);
- рентгеновское оборудование (12 видов);
- другие продукты и сервисы (3 вида).

В состав каждого вида продукции, в свою очередь, входят несколько подвидов продукции. Например, к категории оптоэлектронных приборов относятся:

- кремниевые фотодиоды (11 линеек приборов);
- лавинные диоды (3 линейки);
- мультитипсельные счетчики фотонов (2 линейки);
- датчики изображения (7 линеек);
- фотомикросхемы (10 линеек);
- датчики видимого света и освещенности (5 линеек);

- датчики цвета и модули для ЖК-мониторов (2 линейки);
- детекторы положения (4 линейки);
- детекторы инфракрасного излучения (8 линеек);
- светодиоды (6 линеек);
- плоскочастотные сенсоры рентгеновского излучения (3 линейки);
- мини-спектрометры (6 линеек);
- приборы для оптокоммуникаций (4 линейки);
- приборы для автомобилей (8 линеек);
- модули для различных приложений (9 линеек).

В других категориях продукции в состав каждого вида также входят несколько линеек, поэтому даже краткое описание столь широкой номенклатуры изделий, выпускаемой фирмой, займет несколько журнальных статей. В предлагаемой статье рассмотрены особенности и приведены параметры ПЗС- и InGaAs-сенсоров из категории оптоэлектронных приборов Hamamatsu Photonics. О других категориях продукции Hamamatsu Photonics мы расскажем в последующих публикациях.

### Датчики изображения

Датчики изображения Hamamatsu нашли широкое применение в различных областях науки и промышленности. Компания выпускает датчики изображения следующих типов:

- ПЗС-сенсоры. Приборы имеют очень низкий уровень шума, что позволяет получать сигналы с высоким отношением сигнал/шум.
- МОП-сенсоры. Приборы характеризуются высокой чувствительностью в ультрафиолетовой области и высокой линейностью, что необходимо для спектрофотометрии. МОП-сенсоры широко используются в промышленных приложениях невысокой стоимости, отличаются низким энергопотреблением и малыми размерами.
- InGaAs-сенсоры. Приборы используются для научных измерений, в промышленности, в системах со спектральным уплотнением DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), работающих в ближней инфракрасной области (до 2,6 мкм).
- ПЗС-сенсоры типа Back-thinned TDI (Time Delay Integration). Приборы, освещаемые с обратной стороны подложки с временной задержкой и уплотнением. Эти сенсоры обеспечивают четкие и яркие изображения даже при низкой освещенности и высокоскоростной съемке.
- Рентгеновские датчики изображения. Приборы построены на основе ПЗС-сенсоров или массивов фотодиодов.
- Фотодиодные массивы с усилителями.
- Схемы и узлы для датчиков изображения.

По рекомендациям фирмы ее датчики изображения и камеры на их основе могут быть использованы в следующих приложениях (краткое изложение):

- Науки о жизни — наблюдение флуоресценции, люминесценции в клетках организмов, внешнего вида генов, белковых взаимодействий, скрининг лекарств и патологий.
- Анализ отказов полупроводниковых приборов и микросхем, инспекция печатных плат, измерение квантового выхода органических светодиодных материалов.
- Высокоточное бесконтактное измерение толщины образцов от 20 нм до 50 мкм.
- Измерения оптических характеристик светодиодов, лазеров и других источников света (распределение яркости, астигматизм).
- Автомобильные приложения — датчики, используемые в системах, контролирующей расстояние между транспортными средствами.
- Высокоскоростные камеры для наблюдения плазменных процессов.
- Медицина — мониторинг кислорода в мозге, сканирование патологий с созданием слайдов.
- Многоканальный мониторинг плазменных выбросов при травлении и напылении при производстве полупроводников.
- Оптическая связь — измерение параметров лазерного луча, инспекция оптического волновода, фильтров и муфт.
- Спектроскопия — наблюдение и измерения параметров высокоскоростных оптических явлений (комбинационное рассеяние света, электрические разряды и др.).
- Рентген — панели для рентгенографии, неразрушающий контроль, осмотр трещин и др.
- Наблюдение за процессами сварки, обработки и склеивания материалов.

### ПЗС-сенсоры

В номенклатуру ПЗС-сенсоров, предлагаемых компанией в 2011 году, входят 20 типов сенсоров с фронтальным освещением и 46 типов сенсоров, освещаемых с обратной стороны подложки [3]. Классификационные параметры ПЗС-сенсоров приведены в таблице (за исключением некоторых позиций).

Рассмотрим особенности и основные параметры некоторых серий ПЗС-сенсоров Hamamatsu, работающих при температуре 25 °С.

Серия S9736. Приборы выполнены на однотипном сенсоре с полнокадровым переносом заряда в различных конструктивных исполнениях. Их внешний вид показан на рис. 4.

Сенсоры разработаны для научных приложений при работе в условиях низкой освещенности. Приборы отличаются низким уровнем шума и малым темновым током в режиме MPP (Multi pinned phase), при этом режиме можно обнаружить объекты с очень низкой освещенностью и большим временем интегрирования. Исполнение S9736-02 за счет термоэлектрического охлаждения может снизить температуру сенсора до –70 °С при

Таблица. Параметры ПЗС-сенсоров компании Hamamatsu

Тип прибора	Число активных пикселей	Размер пикселя, мкм	Размер активной зоны, мм	Охлаждение	Корпус
ПЗС с фронтальным освещением					
S9736-01	512×512	24×24	12,288×12,288	Нет	DIP24
S9736-02	512×512	24×24	12,288×12,288	4 ТЭ-элемента	DIP28 металл
S9736-03	512×512	24×24	12,288×12,288	Нет	Плоский
S9737-01	1024×1024	12×12	12,288×12,288	Нет	DIP24
S9737-02	1024×1024	12×12	12,288×12,288	4 ТЭ-элемента	DIP28 металл
S9737-03	1024×1024	12×12	12,288×12,288	Нет	Плоский
S9970-0906	532×64	24×24	12,288×1,44	Нет	DIP24
S9970-1006	1044×64	24×24	24,576×1,44	Нет	DIP24
S9970-1007	1044×128	24×24	24,576×2,976	Нет	DIP24
S9970-1008	1044×256	24×24	24,576×6,048	Нет	DIP24
S9971-0906	532×64	24×24	12,288×1,44	1 ТЭ-элемент	DIP24
S9971-1006	1044×64	24×24	24,576×1,44	1 ТЭ-элемент	DIP24
S9971-1007	1044×128	24×24	24,576×2,976	1 ТЭ-элемент	DIP24
S9971-1008	1044×256	24×24	24,576×6,048	1 ТЭ-элемент	DIP24
S9972-1007	1044×128	24×24	24,576×2,976	Нет	DIP24 керамика
S9972-1008	1044×256	24×24	24,576×6,048	Нет	DIP24 керамика
S9972-1007	1044×128	24×24	24,576×2,976	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S9972-1008	1044×256	24×24	24,576×6,048	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S9978	512×512	24×24	12,288×12,288	Нет	DIP24 керамика
S9979	1536×128	48×48	73,728×6,144	Нет	DIP28 керамика
ПЗС Back-thinned FFT					
S7030-0906	512×58	24×24	12,288×1,392	Нет	DIP24 керамика
S7030-0907	512×122	24×24	12,288×2,928	Нет	DIP24 керамика
S7030-1006	1024×58	24×24	24,576×1,392	Нет	DIP24 керамика
S7030-1007	1024×122	24×24	24,576×2,928	Нет	DIP24 керамика
S7031-0906S	512×58	24×24	12,288×1,392	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S7031-0907S	512×122	24×24	12,288×2,928	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S7031-1006S	1024×58	24×24	24,576×1,392	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S7031-1007S	1024×122	24×24	24,576×2,928	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S7033-0907	512×122	24×24	12,288×2,928	Нет	DIP24 керамика
S7033-1007	1024×122	24×24	24,576×2,928	Нет	DIP24 керамика
S7034-0907S	512×122	24×24	12,288×2,928	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S7034-1007S	1024×122	24×24	24,576×2,928	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S7170-0909	512×512	24×24	12,288×12,288	Нет	DIP24 керамика
S7170-0900-01	512×512	24×24	12,288×12,288	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S7986-01	658×490	14×14	9,212×6,86	Нет	DIP24 керамика
S7987-01	658×490	14×14	9,212×6,86	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S9037-0902	512×4	24×24	12,288×0,096	Нет	DIP24 керамика
S9037-1002	1024×4	24×24	24,576×0,096	Нет	DIP24 керамика
S9038-0902S	512×4	24×24	12,288×0,096	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S9038-1002S	1024×4	24×24	24,576×0,096	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S10140-1007	1024×122	12×12	12,288×1,464	Нет	DIP24 керамика
S10140-1008	1024×250	12×12	12,288×3	Нет	DIP24 керамика
S10140-1009	1024×506	12×12	12,288×6,072	Нет	DIP24 керамика
S10140-1107	2048×122	12×12	24,576×1,464	Нет	DIP24 керамика
S10140-1109	2048×250	12×12	24,576×3	Нет	DIP24 керамика
S10141-1007S	1024×122	12×12	12,288×1,464	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S10141-1008S	1024×250	12×12	12,288×3	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S10141-1009S	1024×506	12×12	12,288×6,072	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S10141-1107S	2048×122	12×12	24,576×1,464	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S10141-1108S	2048×250	12×12	24,576×3	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S10141-1109S	2048×506	12×12	24,576×6,072	1 ТЭ-элемент	DIP24 керамика
S10747-0909	512×512	24×24	12,288×12,288	Нет	DIP24 керамика
S11071-1004	1024×16	14×14	14,336×0,224	Нет	DIP24 керамика
S11071-1006	1024×64	14×14	14,336×0,896	Нет	DIP24 керамика
S11071-1104	2048×16	14×14	28,672×0,224	Нет	DIP24 керамика
S11071-1106	2048×64	14×14	28,672×0,896	Нет	DIP24 керамика
S1115-2048 NEW	2048×1	14×500	28,672×0,5	Нет	DIP24 керамика
S1116-2048 NEW	2048×1	14×1000	28,672×1	Нет	DIP24 керамика
S11500-1007	1024×122	24×24	24,576×2,928	Нет	DIP24 керамика
S11510-1006	1024×64	14×14	14,336×0,896	Нет	DIP24 керамика
S11510-1106	2048×64	14×14	28,672×0,896	Нет	DIP24 керамика

Примечание. Здесь и далее ТЭ-элемент — термоэлектрический элемент.

комнатной температуре. Основные области применения сенсоров: астрономия, научные измерения, флуоресцентные спектрометры, раман-спектрометры, оптические и спектрофотометрические анализаторы, приборы для работы в условиях низкой освещенности.

Основные типовые параметры сенсоров S9736:

- Чувствительность — 3,5 мкВ/е<sup>-</sup>.
- Темновой ток (е<sup>-</sup>/пиксель/с). При снижении температуры чувствительность сенсоров существенно возрастает, например при -70 °С она составляет 0,001 мкВ/е<sup>-</sup>.

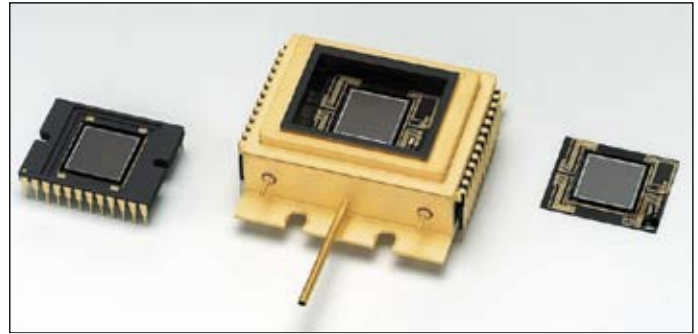


Рис. 4. Внешний вид приборов серий S9736, S9737

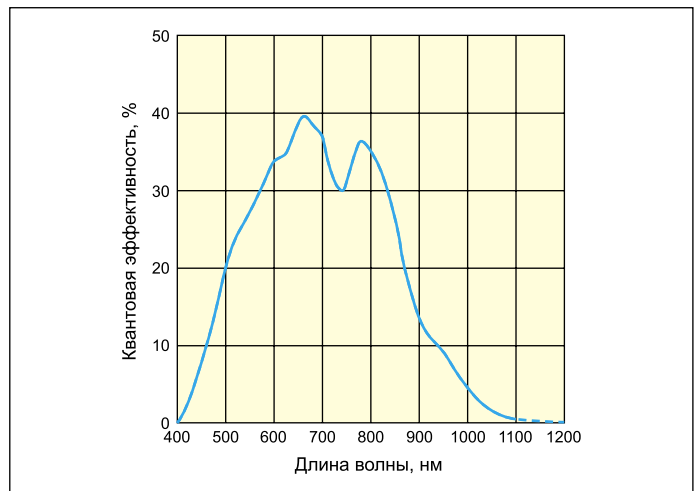


Рис. 5. Спектральная характеристика сенсоров S9736, S9737

- Спектральный диапазон — 400–1100 нм. Соответствующая спектральная характеристика приведена на рис. 5.

Следует отметить, что разные производители датчиков изображения используют различные единицы измерений отдельных параметров выпускаемых приборов. В статье использованы единицы измерения, используемые компанией Hamamatsu в технической документации. Их определения приведены в информационных материалах фирмы [4].

Серия S9737. Эти приборы также выполнены на однотипном сенсоре с полнокадровым переносом заряда, в таких же конструктивных исполнениях, как и приборы серии S9736 (рис. 4). Они предназначены для использования в тех же областях применения.

Отличающиеся параметры сенсоров S9737:

- чувствительность ПЗС — 4,5 мкВ/е<sup>-</sup>;
- темновой ток — 100 е<sup>-</sup>/пиксель;
- динамический диапазон — 15 000.

Серии S7030, S7031, S7033 и S7034. Приборы этих серий выполнены на сенсорах с полнокадровым переносом заряда, освещаемых с обратной стороны подложки. Внешний вид приборов показан на рис. 6. ПЗС-сенсоры типа Back-thinned FFT более эффективны, чем сопоставимые сенсоры с фронтальным освещением, их квантовая эффективность достигает 90% на пике спектральной чувствительности. Приборы этих серий отличаются высокой чувствительностью в ультрафиолетовой области спектра. Спектральная характеристика сенсоров и сопоставимая характеристика сенсоров с фронтальным освещением приведены на рис. 7.

Основные области применения приборов этих серий: флуоресцентные спектрометры, масс-спектрометры с индуктивно-связанной плазмой, промышленная инспекция продукции, инспекция полупроводниковых приборов, анализаторы ДНК, раман-спектрометры, приборы для обнаружения слабых источников света.

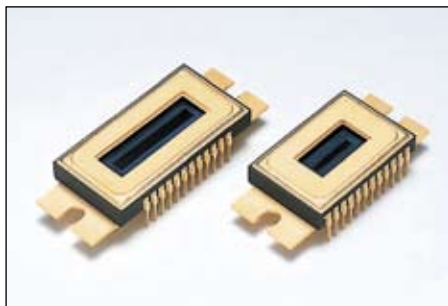


Рис. 6. Внешний вид приборов серий S7030–S7034

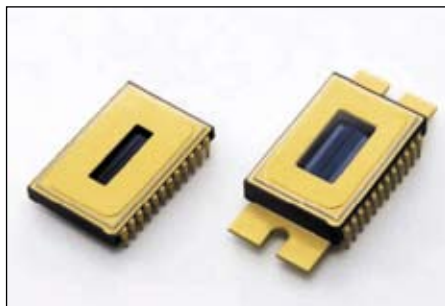


Рис. 9. Внешний вид приборов серий S9037 и S9038

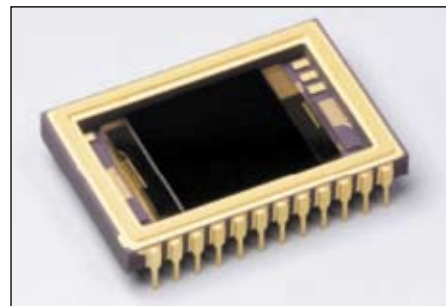


Рис. 10. Внешний вид прибора S10747-0909

Основные параметры сенсоров серий S7030, S7031 (в скобках — отличающиеся параметры серий S7033, S7034):

- чувствительность — 2,2 (0,6) мкВ/е<sup>-</sup>;
- темновой ток — 100 е<sup>-</sup>/пиксель/с;
- шум считывания — 8 (30) е<sup>-</sup> rms;
- динамический диапазон:
  - 125 000 (113 300) — сканирование строк;
  - 40 000 (10 700) — сканирование всей площади сенсора.

Темновой ток сенсоров практически линейно зависит от температуры. Соответствующая характеристика приведена на рис. 8. Для обеспечения малых значений темнового тока предпочтительнее использовать приборы серии S7031.

Серии S9037, S9038. Приборы этих серий выполнены на сенсорах Back-thinned FFT и предназначены для высокоскоростной съемки. Их внешний вид показан на рис. 9. Основные области применения приборов этих серий: мониторы эксимерных лазеров (широко применяются в глазной хирургии и полупроводниковой промышленности) и высокоскоростные видеокамеры с линейным сканированием. Квантовая эффективность сенсоров достигает 90% и более.

Основные параметры приборов серий S9037 и S9038:

- скорость потока данных — 10 МГц;
- чувствительность — 1,2 мкВ/е<sup>-</sup>;

- темновой ток — 100 е<sup>-</sup>/пиксель/с;
- шум считывания — 100 е<sup>-</sup> rms;
- динамический диапазон — 6000;
- спектральный диапазон — 200–1100 нм.

Серии S10140, S10141. Приборы высокого разрешения этих серий выполнены на сенсорах Back-thinned FFT, отличаются низким шумом считывания и высокой квантовой эффективностью. Внешний вид приборов приведен на рис. 6. Области применения приборов такие же, как и сенсоров серий S7030, S7031, S7033, S7034.

Основные параметры приборов серий S10140 и S10141:

- чувствительность — 5 мкВ/е<sup>-</sup>;
- темновой ток — 100 е<sup>-</sup>/пиксель/с;
- шум считывания — 4 е<sup>-</sup> rms;
- динамический диапазон:
  - 37 500 — сканирование строк,
  - 18 500 — сканирование всей площади сенсора;
- спектральный диапазон — 200–1100 нм;
- разность реакций пикселей PRNU (Photo response non-uniformity) — ±3%.

S10747-0909 (рис. 10) — сенсор с высокой чувствительностью в ближней инфракрасной области спектра. Этот прибор применяют в телескопах для наблюдения за космосом.

Основные параметры S10747-0909:

- чувствительность — 1,7 мкВ/е<sup>-</sup>;
- шум считывания — 30 е<sup>-</sup> rms;

- динамический диапазон:
  - 26 667 — сканирование строк;
  - 6666 — сканирование всей площади сенсора;
- PRNU — ±3%;
- спектральный диапазон — 300–1100 нм.

Спектральная характеристика прибора и сопоставимая характеристика сенсоров Back-thinned приведены на рис. 11.

Одна из последних разработок фирмы — линейные ПЗС-сенсоры типа Back-thinned с электронными затворами S11155-2048 и S11156-2048 (рис. 12). В приборах использована структура с резистивным затвором (Resistive gate structure), обеспечивающая высокоскоростное преобразование и малое запаздывание изображения. Особенности устройства и функционирования ПЗС-сенсоров с резистивными затворами приведены в технической документации фирмы [5]. Области применения сенсоров — спектрометры различных типов и линейные сканеры изображений.

Основные параметры приборов S11155-2048 и S11156-2048:

- чувствительность — 8 мкВ/е<sup>-</sup>;
- темновой ток — 50/4 ке<sup>-</sup>/пиксель/с (с выключенным и включенным режимом MPP соответственно);
- шум считывания — 30 е<sup>-</sup> rms;
- динамический диапазон — 6670;

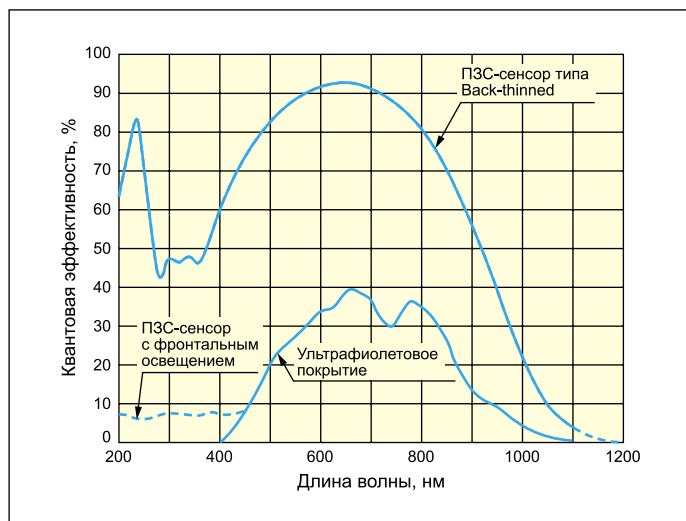


Рис. 7. Спектральная характеристика сенсоров S7030–S7034

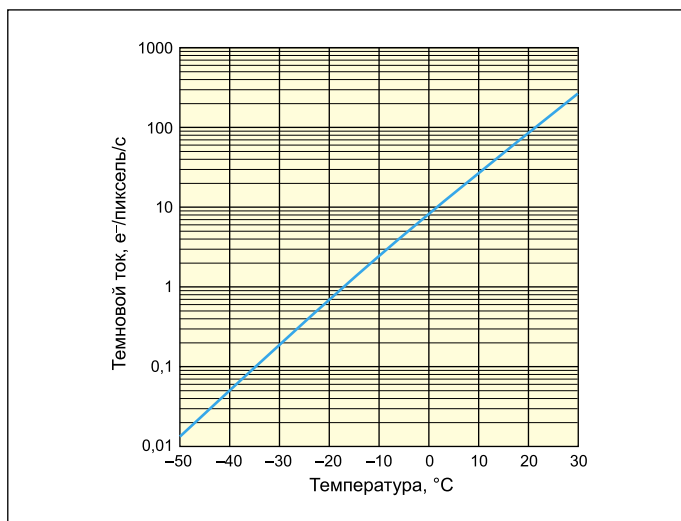


Рис. 8. Зависимость темнового тока сенсоров S7030–S7034 от температуры

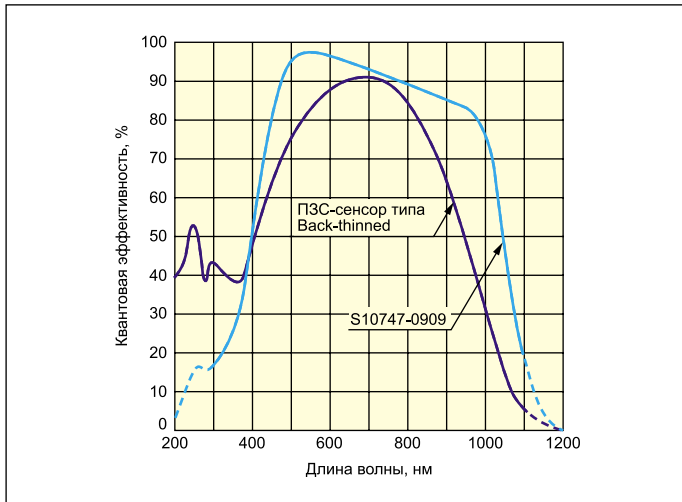


Рис. 11. Спектральная характеристика сенсора S10747-0909

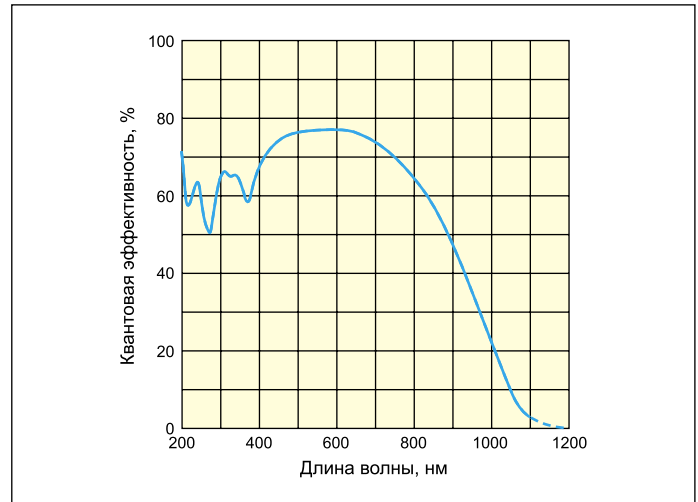


Рис. 13. Спектральная характеристика сенсоров S11155/S11156

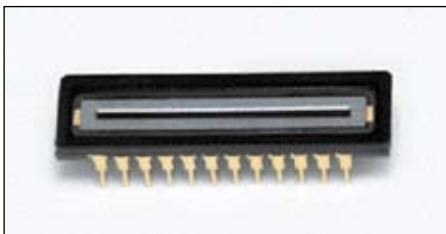


Рис. 12. Внешний вид сенсоров S11155 и S11156

- спектральный диапазон — 200–1100 нм, соответствующая характеристика приведена на рис. 13;
- запаздывание изображения — 0,1%.

Компания выпускает также плату драйвера C11165 (рис. 14) для использования рассматриваемых линейных сенсоров в спектрометрах.

### InGaAs-сенсоры

Сенсоры на основе InGaAs, выпускаемые фирмой, используются для научных исследований и в промышленности в качестве оптических анализаторов спектра и в системах со спектральным уплотнением в ближней инфракрасной области спектра. В каталоге Hamamatsu 2011 года предлагается 18 типов InGaAs-сенсоров. Рассмотрим особенности некоторых из них.

Серии G9201–G9204 — в состав серий входят 6 типов линейных сенсоров (рис. 15):



Рис. 15. Внешний вид приборов серий G9201–G9204



Рис. 14. Внешний вид платы C11165

- G9201-256S — 256-пиксельный прибор с одним термоэлектрическим элементом охлаждения;
- G9202-512S — 512-пиксельный прибор с одним ТЭ-элементом охлаждения;
- G9203-256D — 256-пиксельный прибор без элементов охлаждения;
- G9203-256S — 256-пиксельный прибор с одним ТЭ-элементом охлаждения;

- G9204-512D — 512-пиксельный прибор без элементов охлаждения;
- G9204-512S — 512-пиксельный прибор с одним ТЭ-элементом охлаждения.

Все перечисленные сенсоры работают в диапазоне длин волн 0,9–1,67 мкм (при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ ), 0,9–1,7 мкм (при температуре  $+25^{\circ}\text{C}$ ), соответствующие спектральные характеристики приборов приведены на рис. 16.

Основные особенности InGaAs-сенсоров:

- широкий динамический диапазон;
- низкий уровень шума и малый темновой ток;
- 2 коммутируемых режима преобразования;
- встроенная схема антинасыщения;
- встроенная схема компенсации смещения.

G10768-1024D/DB — неохлаждаемые линейные сенсоры с числом пикселей 1024. Размеры пикселей:  $25 \times 25$  мкм (исполнение D) и  $25 \times 25$  мкм (исполнение DB). Внешний вид сенсоров показан на рис. 17. Основные области применения приборов: обнаружение и классификация дефектов объектов, оптическая когерентная томография, спектроскопия в ближней инфракрас-

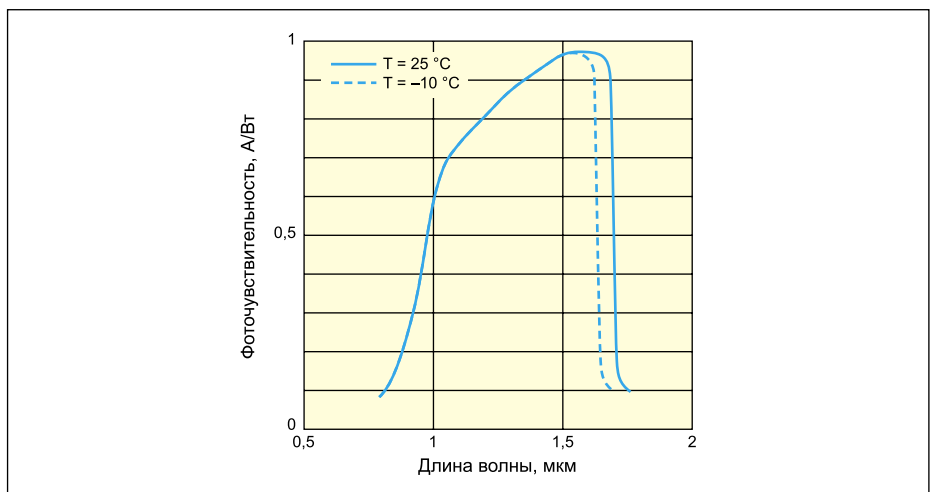


Рис. 16. Спектральная характеристика сенсоров G9201–G9204

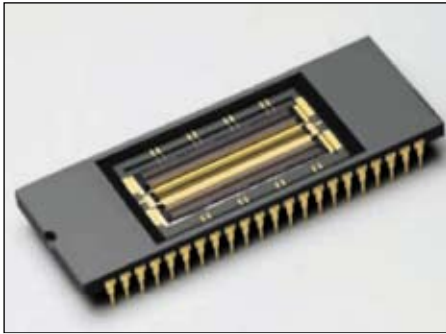


Рис. 17. Внешний вид приборов G10768-1024D/DB

ной области. Соответствующая спектральная характеристика приведена на рис. 18.

Основные особенности приборов G10768-1024D/DB:

- высокая скорость считывания строк (39 000 линий/с);
- высокая скорость потока данных (5 МГц, максимум 6,67 МГц);
- 4 коммутируемых режима преобразования;
- встроенный тактовый генератор;
- низкий темновой ток ( $\pm 1$  пА);
- работа при комнатной температуре.

### Заключение

Компания Hamamatsu Photonics выпускает широкую номенклатуру ПЗС-датчиков изображения со средним и высоким разрешением: от  $512 \times 58$  пикселей (S7030-0906) до  $2048 \times 250$  пикселей (S10140-1109). Наибольшей чувствительностью —  $1,2\text{--}1,7$  мкВ/е<sup>-</sup>

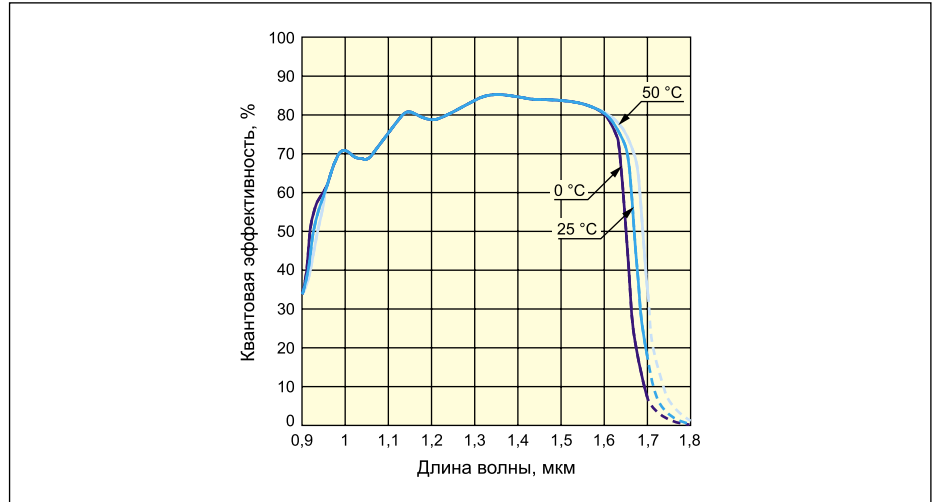


Рис. 18. Спектральные характеристики сенсоров G10768-1024D/DB

и квантовой эффективностью — до 90% обладают ПЗС-сенсоры, освещаемые с обратной стороны подложки (серии S9037, S9038, S10140 и S10141). ПЗС-сенсоры компании могут быть использованы в различных приборах для научных исследований и промышленности, в высокоскоростных видеокамерах, медицинском оборудовании и других приложениях.

InGaAs-сенсоры Hamamatsu можно применять для приборов, работающих в красной и ближней инфракрасной области спектра (0,9–1,7 мкм). Они предназначены для использования в дефектоскопии, оптических когерентных томографах, спектрометрах,

оборудовании для научных исследований и других приложениях. ■

### Литература

1. <http://jp.hamamatsu.com/en/hamamatsu/history/index.html>
2. <http://jp.hamamatsu.com/en/hamamatsu/corporate/index.html>
3. [http://jp.hamamatsu.com/products/sensor-ssd/pd101/pd102/index\\_en.html](http://jp.hamamatsu.com/products/sensor-ssd/pd101/pd102/index_en.html)
4. [http://sales.hamamatsu.com/assets/applications/SSD/Characteristics\\_and\\_use\\_of\\_FFT-CCD.pdf](http://sales.hamamatsu.com/assets/applications/SSD/Characteristics_and_use_of_FFT-CCD.pdf)
5. [http://jp.hamamatsu.com/resources/products/ssd/pdf/tech/resistive\\_gate\\_ccd\\_e.pdf](http://jp.hamamatsu.com/resources/products/ssd/pdf/tech/resistive_gate_ccd_e.pdf)