

Опыт и качество разработок — на службе физики высоких энергий

Фирма Hamamatsu является признанным лидером в производстве приборов для генерирования и измерения в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах. Изделия Hamamatsu включают фотоумножители (ФЭУ), источники света для научного применения, приемники изображений и другие. Сегодня мы хотим познакомить читателей с новейшими разработками фирмы Hamamatsu.

Благодаря своим достижениям в области технологий производства оптических датчиков Hamamatsu была выбрана в качестве поставщика приборов для научных экспериментов в области физики высоких энергий, которые проводятся сейчас в Европейской лаборатории элементарных частиц (CERN) на так называемой установке LHC (большой адронный коллайдер).

Одна из главных экспериментальных камер, монтируемых на установке, переназначена для эксперимента АТЛАС. В этом эксперименте задействовано более 1850 ученых из 150 различных академических учреждений со всего мира. На установке LHC физики собираются изучать протон-протонные взаимодействия с целью углубления познаний в области фундаментальной структуры материи. Основная цель эксперимента АТЛАС — более полно понять природу массы.

Сердцем эксперимента АТЛАС является внутренний трековый детектор, регистрирующий прохождение частиц, родившихся в протон-протонных взаимодействиях. Часть этого внутреннего трекового детектора — полупроводниковый трековый детектор (SCT, Semi-Conductor Tracker), содержащий в общей сложности более 20 тыс. кремниевых микрополосковых детекторов, большую часть которых изготовит Hamamatsu. Особенно сложным моментом в разработке датчиков является высокий уровень излучения в экспериментальной камере АТЛАС и очень короткое время (25 наносекунд) между моментами пересечения луча. Проект осуществляется при поддержке Исследовательского совета по астрономии и физике элементарных частиц и является самым большим из тех, с которыми сейчас работают британские физики, в том числе сотрудники 10 университетских факультетов и Лаборатории Резерфорда. Британская группа будет отве-

чать за приобретение и монтаж примерно четверти SCT. Примерно такая же часть работы приходится еще на две большие группы — швейцарскую (CERN) и японскую (КЕК).

Конструкция кремниевых микрополосковых детекторов разрабатывалась и испытывалась с участием многих промышленных компаний в течение нескольких лет, чтобы удовлетворить жестким требованиям LHC. Hamamatsu выиграла тендер на поставку SCT-детекторов, который проводился в 1999 г., и заключила контракты с Лабораторией Резерфорда, CERN и КЕК.

Сейчас в счет заказа уже поставлены первые детекторы, и их испытания завершились успешно. На рис. 1 показаны детекторы, собранные в один из первых SCT-модулей.

Фотоумножитель диаметром 13 дюймов R8005

Фотоумножители широко применяются в физике элементарных частиц, в частности в нейтринных экспериментах, где от них требуются такие характеристики, как большая площадь фотокатода, быстродействие, высокая стабильность и низкий темновой ток.

Новая модель R8005 удовлетворяет всем этим требованиям. Она представляет собой полусферический ФЭУ с эффективным диаметром 13 дюймов, 10 каскадами усиления и временем переходной характеристики 2,8 нс (изменной с порогом детектирования 0,25 р. е.). При напряжении 1500 В (макс. 2200 В) обеспечивает коэффициент усиления 1×10^7 и отношение пика к паузе для одиночного фотоэлектрона 2,7 (См. табл. 1).

Таблица 1

Параметр	Значение	Ед.
Спектральный диапазон	300–600	нм
Длина волны максимума	420±30	нм
Эффективный диаметр	Ш325	мм
Темновой ток	10	тыс. отсчетов/с

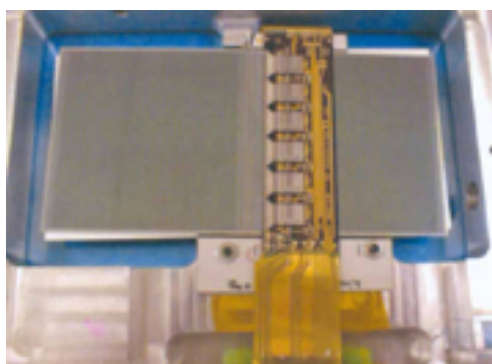


Рис. 1. SCT-модуль, содержащий 4 детектора Hamamatsu; 2 на верхней поверхности и 2 — внизу, повернуты на некоторый угол. На мостике над детектором видны 6 заказных ИС

Взгляд на неразрушающие испытания (НРИ) в новом тысячелетии

Национальные и международные стандарты качества, например ISO 9000, требуют от руководства компаний организации системы контроля качества, определяющей все действия компании, влияющие на качество продукции, в том числе НРИ.

Там, где появляются новые материалы или новые методы разработки, НРИ весьма важны для контроля в процессе эксплуатации: все чаще электростанции, нефтехимические предприятия, самолеты проектируются в одной стране, а строятся в другой, при этом оборудование и сырье приобретает по всему миру.



Рис. 2

Прошедшая 15-я Международная конференция по неразрушающим испытаниям (Рим, 15–21 октября 2000 г.) показала увеличившиеся значения НРИ и областей их применения. В преддверии конференции компания Namamatsu расширила линейку своих изделий и предлагает полный спектр устройств для применений в области неразрушающих рентгеноскопических испытаний.

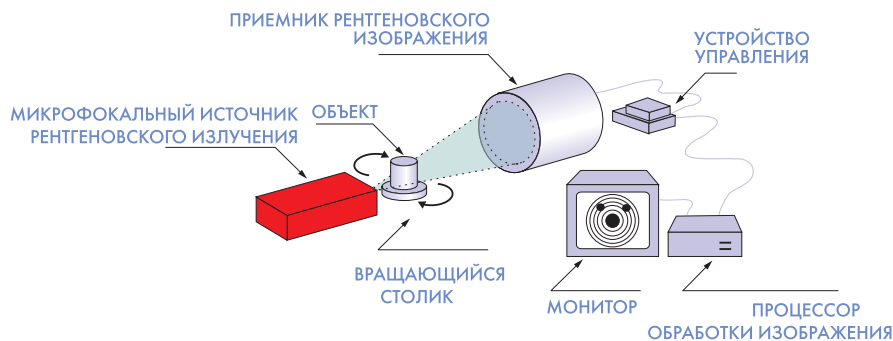
При рентгеноскопическом анализе увеличение и разрешение определяют размером фокального пятна источника излучения. Namamatsu может предложить микрофокальные источники различного типа с диаметром фокального пятна от 5 мкм (на низких уровнях мощности рентгеновского излучения) до 50 мкм.

Выпускается также компактный источник рентгеновского излучения (С4870), в который входят рентгеновская трубка для мягкого диапазона, работающая в режиме проходящего излучения (transmission mode), и высоковольтный источник питания. Источник рентгеновского излучения не требует сложной экранировки, поскольку трубка питается низким напряжением — 9,5 кВ. Это делает С4870 хорошим выбором для измерения толщины и распределения осажденных из паровой фазы пленок, особенно для пластиков.

Материал мишени можно выбирать из следующих: как стандартные материалы предлагаются титан, кальций, вольфрам и медь и в зависимости от требуемых характеристик рентгеновского излучения — никель, железо и хром.

Для двухмерных рентгеновских приемников Namamatsu представляет новейшее устройство отображения рентгеновских изображений — «плоскопанельный» сенсор типа

Пример применения: рентгеновская компьютерная томография



Для восстановления томографического изображения прохождение рентгеновских лучей через объект обрабатывается в компьютере.

ром. В этих камерах возможна интеграция функций на уровне кристалла и можно применять такие операции, как накопление изображений, вычитание фона или пространственная фильтрация. Более того, в новой рентгеновской гибридной ПЗС-камере С6086-30 используется сочленение усилителя яркости с фоконом.

Односекционные ПЗС с четырехкаскадным охладителем Пельтье S7017/S7847

Опираясь на свой опыт в производстве высококачественных ПЗС, компания Namamatsu приступила к выпуску односекционных ПЗС с освещением с фронтальной стороны и четырехкаскадным термоэлектронным охладителем. Namamatsu представляет ПЗС типа S7017 для применения в стандартном спектральном диапазоне и ПЗС типа S7847 с расширенным диапазоном ИК-чувствительности (700–1200 нм).

В этих двух типах ПЗС получено охлаждение кристалла до -70 °С при использовании принудительного обдува герметичного корпуса вместо осушенной атмосферы. Благодаря этому они проще в обслуживании и в большей степени соответствуют промышленным требованиям.

Охлаждение существенно снижает темновой ток, составляющий при комнатной температуре примерно 1000 электронов на ячейку в секунду (e/яч./с). При охлаждении до -70 °С ток падает до примерно 0,003 e/яч./с для ПЗС стандартного типа и 0,03 e/яч./с — для ПЗС с увеличенной ИК-чувствительностью.

Время накопления при необходимости может быть легко увеличено с нескольких часов до одних суток без ухудшения отношения сигнал/шум.

С7410, формирующий высококачественное изображение на телевизионной частоте. Это устройство является ключевым компонентом цифровых систем получения изображения в таких областях, как неразрушающие испытания и биомедицинский анализ. Основные технические характеристики С7410:

- кадровая частота внутренняя (внешняя) — 30 (1...30) Гц;
- размер элемента — 200 x 200 мкм;
- разрешение — 2,5 пар линий/мм;
- активная область — 51,2x51,2 мм.

Начав с обычного ПЗС-кристалла, Namamatsu закончила создание нового рентгеноскопического модуля размером 5x5 см. Модуль Н7586 состоит из рентгеночувствительного скintиллятора, нанесенного на волоконно-оптический фокус с масштабированием 1:4, непосредственно сочлененным с ПЗС формата 512x492. Благодаря такому решению получение рентгеновских изображений с высоким разрешением (5 пар линий/мм) стало столь же простым делом, как и использование обычного ПЗС-приемника.

Помимо этого простого модуля, Namamatsu предлагает законченное решение — серию С6086 с прямым сочленением со скintиллято-

Таблица 2

Модель	Напряжение на мишени, кВ	Ток мишени, мкА	Размер фокусного пятна, мкм	Тип выхода	Угол луча, °
L6731-01	20–80	0–100	8	С торца	39
L7901-01 Новинка	20–100	0–250	7 (5 при 4 Вт)	С торца	39
L8031-01 Новинка	20–100	0–250	7 (5 при 4 Вт)	Сбоку	39
L6622-01	20–130	0–300	10, 40	С торца	43
L8121-01 Новинка	40–150	0–500	5 (при 4 Вт), 7 (при 10 Вт изоватт), 20 (при 30 Вт изоватт), 50 (при 75 Вт)	С торца	43

Для прибора S7847 (с увеличенной ИК-чувствительностью) шум в 10 раз выше, чем у S7017 (стандартная версия), но квантовая эффективность на 900 нм составляет 40 % вместо 15 % для стандартного прибора.

Оба прибора имеют широкий динамический диапазон (75 000 в режиме биннирования и 37 500 в режиме полного разрешения) и низкий шум считывания (менее 12 е⁶).

Приборы разработаны в двух версиях — 1024x124 и 1024x256 элементов при размере элемента 24 x 24 мкм².

Эти ПЗС предназначены для научного применения при низком уровне освещенности. Для работы при низкой облученности в ИК-области, например в Раман-спектроскопии, очень хорошо подходят односекционные ПЗС, такие как S7847.

Режим биннирования чаще всего используется в области спектроскопии, однако эти ПЗС могут использоваться и в режиме полного разрешения, особенно хорошо подходящем для астрономических задач, где требуется длительное время накопления.

Таблица 3

Номер модели	Охлаждение	Формат	Число ф/ч элементов	Размер ф/ч области (м гор. x м верт.)	Прим.
S7010-1007	4-каскад. Пельтье-охладитель	1044x128	1024x124	24576 x 2976	Стандартный
S7010-1008		1044x256	1024x252	24576 x 6048	
S7847-1007		1044x128	1024x124	24576 x 2976	С увелич. ИК чувствит.
S7847-1008		1044x256	1024x252	24576 x 6048	

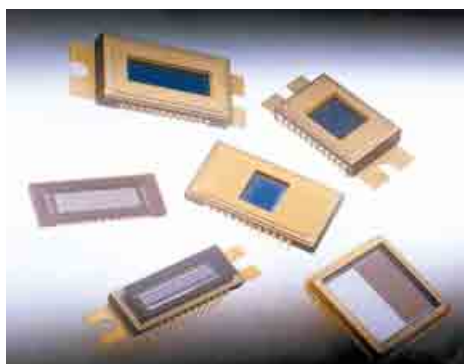


Рис. 3

Односекционные ПЗС с освещением с обратной стороны подложки для высокоскоростного применения S7960/S7961-1008

Эти односекционные ПЗС разработаны специально для высокоскоростных применений, за счет использования широкополосных выходных усилителей и низкоомных металлических межсоединений. Устройства имеют широкий спектральный диапазон.

Работа в режиме биннирования позволяет значительно увеличить отношение сигнал/шум и скорость обработки сигнала изображения. При работе с полным разрешением прибор можно использовать в высокоскоростных камерах. Размер элемента — 24x24 мкм².

В корпус вмонтирован встроенный однокаскадный охладитель Пельтье (S7961-1008), и

Таблица 4

Тип/Число элементов	S7960-1008	S7961-1008
Охлаждение	Неохлажд.	Однокаскад. (опц. — 2-каскад.)
Число элементов	1044x256	1044x256
Число активных элементов	1024x250	1024x250

поскольку корпус прибора герметичен, не требуется специальной осушенной атмосферы.

Квантовая эффективность более 90 %. Имеется быстродействующий усилитель на кристалле ПЗС.

Односекционные ПЗС применяются в высокоскоростной спектроскопии, высокоскоростной УФ-съемке, а также в оптических и спектрометрических анализаторах.

Односекционные приемники изображений на ПЗС для научного применения S7963, S7964, S7965

Серия односекционных приемников изображений с фоточувствительной областью малого размера отличается низким уровнем шума и низким темновым сигналом при работе в режиме МРР (фиксации поверхностного потен-

циала под всеми тактовыми электродами). Это позволяет регистрировать изображения при малых уровнях и длительном времени накопления, достигая тем самым широкого динамического диапазона. Работа в режиме биннирования строк и/или суммирования элементов позволяет значительно улучшить отношение сигнал/шум. Благодаря малому выходному усилителю ПЗС сочетание полного биннирования и полного суммирования обеспечивает очень низкий шум считывания.

Встроенный в корпус трехкаскадный охладитель Пельтье охлаждает кристалл до -50 °С при наружной температуре, равной комнатной.

ПЗС работают в режиме МРР. Квантовая эффективность составляет 90 %.

Устройства применяются для регистрации изображений при слабой освещенности, съемки с малым размером изображения и для работы в УФ-диапазоне.

Таблица 5

Тип/Число элементов	S7963	S7964	S7965
Охлаждение	Трехкаскадный охладитель Пельтье		
Полное число элементов	80x72	124x56	232x56
Число активных элементов	64x64	108x48	216x48

Новые игольчатые экраны CsI (TI) для детектирования рентгеновских изображений ACS, ALS

Опыт Hamamatsu по осаждению CsI на различные подложки использован для выпуска двух новых изделий с особыми свойствами.

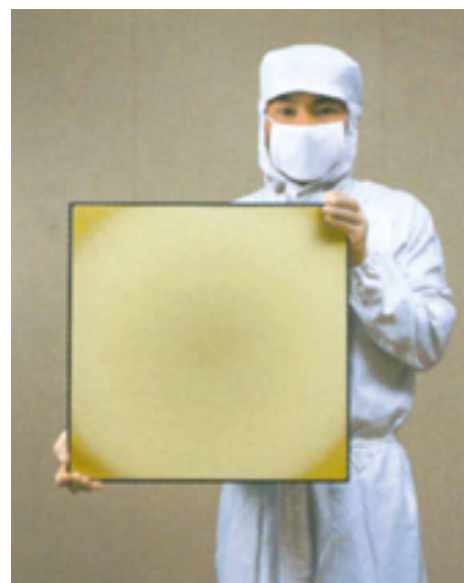


Рис. 4

ACS (аморфный углерод с добавками сцинтиллятора) особенно хорошо подходит для работы в тех случаях, когда требуется высокое разрешение. Его пропускание в рентгеновском диапазоне при низких энергиях (10–15 кэВ) значительно превосходит этот показатель для других подложек, что делает его хорошим решением для применения в мягкой рентгенографии, например в маммографии.

ALS (алюминий с добавками сцинтиллятора) отличается высоким выходом по свету в сочетании с хорошим разрешением.

Оба типа подложек покрыты CsI (TI) и по сравнению с экранами Гадокс (на основе окиси гадолиния) или пленками имеют благодаря высокой тормозной способности, превосходную дифференциальную квантовую эффективность (ДКЭ). Толщина покрытия CsI и размер ACS/ALS (до квадрата размером 17 на 17 дюймов) могут подбираться по требованию заказчика.

Новое поколение рентгеновских экранов в основном предназначено как для медицины, так и для сектора неразрушающих испытаний. Экраны защищены от воздействия влаги специальной защитной пленкой, что гарантирует высокие параметры в течение длительного времени. Кроме того, экраны имеют следующие специфические преимущества:

- высокое значение ДКЭ позволяет существенно снизить дозу облучения пациента в таких областях, как флюорография, маммография, дентальная рентгеновская съемка;
- высокое разрешение расширяет возможности диагностики при небольших телесных повреждениях;
- высокий выход по свету в сочетании с низкой инерционностью позволяет осуществлять промышленный контроль в реальном времени.

Современный уровень камер сверхскоростной съемки

Стрик-камеры — самые важные устройства при измерении сверхкоротких световых сигналов с пикосекундным и фемтосекунд-

Компоненты и технологии, № 3'2001

ным разрешением. С помощью стрик-камеры, сочлененной с выходной щелью спектрофотометра, можно измерять спектральный состав и длительность импульсов света. За исключением автокорреляторов (для которых требуется априорная информация о форме сигнала), ни один из коммерческих приборов не обеспечивает лучшего временного разрешения, чем стрик-камеры.

Основные области применения:

- нелинейная оптика и исследования новых материалов;
- измерения времени люминесценции и флуоресценции;
- сверхскоростная спектроскопия;
- измерения расстояния;
- измерение параметров, определяющих взаимодействие лазерного излучения с веществом (например, изучение переходов энергии между электронами и фотонами и термализации кристаллической решетки);

- исследование процессов энергетической релаксации в квантовой яме в полупроводниках;
- контроль распределения пучка частиц в линейных ускорителях и синхротронных установках;
- временная зависимость переизлучения в тканях (например, при маммографии);
- воздушная флуоресцентная разведка для обнаружения нефти, водорослей и загрязнений в акваториях;
- пикосекундная и фемтосекундная фотохимия/фотобиология;
- контроль индуцированного лазером разряда;
- оптическая связь;
- измерение хроматической дисперсии в одномодовых оптических волокнах;
- контроль стабильности солитонов;
- исследование динамики лазерных диодов;
- диагностика стабильности пикосекундных и фемтосекундных лазеров.

Компоненты



Рис. 5