

# Модули с ФЭУ

## фирмы HAMAMATSU Photonics

**Фотоэлектронные умножители (ФЭУ) — это приемники оптического излучения, незаменимые при работе с малыми уровнями оптического сигнала и высокими скоростями считывания. Модули, созданные на основе ФЭУ, — это новая группа оптико-электронных устройств, включающая помимо высоковольтного источника питания такие функции, как обработка сигнала, охлаждение, связь с компьютером. В данной статье представлен краткий обзор по модулям ФЭУ фирмы HAMAMATSU Photonics (Япония). Компактность и механическая прочность корпуса, простота использования, возможность наиболее точного выбора под конкретное применение из большого разнообразия модулей — это, несомненно, может заинтересовать.**

**Сергей Орлов**

orlov@yeint.spb.ru

Фотоэлектронные умножители (ФЭУ) в своем роде долгожители из прошлого века. Еще в 1930 году инженер Л. А. Кубецкий изобрел и запатентовал электронный прибор, в котором явление вторичной электронной эмиссии используется многократно. Заложенные базовые принципы работают и в современных вариантах ФЭУ, хотя сейчас это совершенно другие устройства благодаря конструкциям, материалам, технологиям. Полупроводниковая эра оставила для ФЭУ неизменной определенную нишу оптикоэлектронных устройств, особенно для применений, где требуются работа с малыми уровнями света и высокими скоростями. Это прежде всего ряд разнообразных приложений в спектроскопии, медицине, биологии, физике. Вместе с тем ФЭУ — это приборы, приме-

нение которых не было простым из-за необходимости использования высоковольтного питания, дополнительных согласующих элементов и плюс к тому — их механическая хрупкость и возможность электрического повреждения.

Японская фирма HAMAMATSU Photonics хорошо известна специалистам в области оптикоэлектроники. Разработка и производство электровакуумных приборов (в большинстве своем это ФЭУ) — лишь одно из направлений ее деятельности, где она занимает лидирующие позиции в мире. Можно напомнить, что именно корпорация HAMAMATSU стала «соавтором» Нобелевской премии в области физики в 2002 году. Разработанная уникальная конструкция ФЭУ с размером фотокатода 20" (Ø508 мм) — самый большой ФЭУ в мире — была произведена в количестве 1100 штук. В подземной лаборатории (Kamiokande Neutrino Detector) в Японии, представляющей собой огромную емкость на глубине 1 км, заполненную водой, установленные специалистами HAMAMATSU 1100 ФЭУ участвовали в эксперименте результатом которого явилось в феврале 1987 года обнаружение нейтрино, путешествовавшего 170,000 световых лет от взрыва сверхновой звезды, зафиксированного как слабый сигнал в уникальных ФЭУ при взаимодействии этого слабого излучения с водой.

Не удивительно, что целый класс новых устройств — модулей на основе ФЭУ детально разработан и запущен в серийное производство именно фирмой HAMAMATSU. Как оптические чувствительные элементы, уникальные модули с ФЭУ позволяют проводить точные и быстрые измерения очень слабых световых потоков с чрезвычайным удобством использования. Их компактный корпус, приспособленный для простого крепления, содержит высоковольтный источник питания, что позволяет сосредоточиться непосредственно на измерениях, а не на настройке и монтаже ФЭУ и связанных цепей. Упрощенная конструкция ФЭУ расширяет



и спектр его применений, в том числе в промышленных приложениях и в условиях сложной внешней среды.

Модули с ФЭУ, предлагаемые фирмой HAMAMATSU (рис. 1), отвечают самым высоким требованиям, представляя собой большое разнообразие изделий, как для научных, так и для промышленных применений. Они созданы как на основе традиционных ФЭУ (рис. 1, а), так и на базе ФЭУ со структурой динодов с металлическим каналом (рис. 1, б). Среди их числа можно сделать правильный выбор по характеристикам и размерам, аналоговому и цифровому выходу, с процессором и интерфейсом для управления и связи с компьютером и даже со встроенным затвором.

По функциональным характеристикам модули с ФЭУ можно сгруппировать по схеме, приведенной на рис. 2.

Благодаря применению новейших материалов для фотокатода, модули с ФЭУ перекрывают уже спектральный диапазон от 185 до 900 нм (мультищелочной фотокатод). Фотокатод на основе материалов GaAs и GaAsP обеспечивает уникальные параметры по квантовой эффективности до 12% и 40%, соответственно (серия H7422, рис. 1, в). Время нарастания менее 0,78 нс может быть получено в модулях на базе ФЭУ типа R7400U с восьмиступенчатой структурой динодов (промежуточных электродов), изготовленных из травленной металлической фольги. ФЭУ, помещенный в корпус ТО-8, обеспечивает усиление 10<sup>6</sup>.

Для облегчения работы с ФЭУ, каждый модуль содержит высоковольтный источник питания (обычно питаемый от 15 В) и встроенный делитель напряжения. Таким образом, нет необходимости применять громоздкое отдельное питание, и пользователь вообще не имеет дела с высоким напряжением.

Корпус изделий рассчитан на удобное крепление, будь то лабораторная установка или прибор. Более того, в зависимости от применения, разнообразие конфигураций включает изделия со встроенным предусилителем, термоэлектрическим холодильником, дискриминатором или компьютерным интерфейсом. Эти же элементы имеются и как отдельные внешние блоки, применяемые совместно с другими устройствами с ФЭУ.

Благодаря этому широкому разнообразию изделий для аналоговых измерений и для счета фотонов, безусловно, есть возможность подобрать модуль, наилучшим образом подходящий для каждого из конкретных применений в физике, биологии и медицине, а также в полупроводниковом производстве и химической промышленности. Вот несколько типичных примеров применений: флуоресцентная корреляционная спектроскопия, чип-считыватель ДНК, многофотонная микроскопия, портативные устройства мониторинга сред, системы контроля в производстве подложек полупроводников.

Основные параметры производимых модулей с ФЭУ сведены в таблице.

Квантовая эффективность представляет собой отношение числа фотоэлектронов на фотон и является очень важным показателем, определяющим соотношение «сигнал —

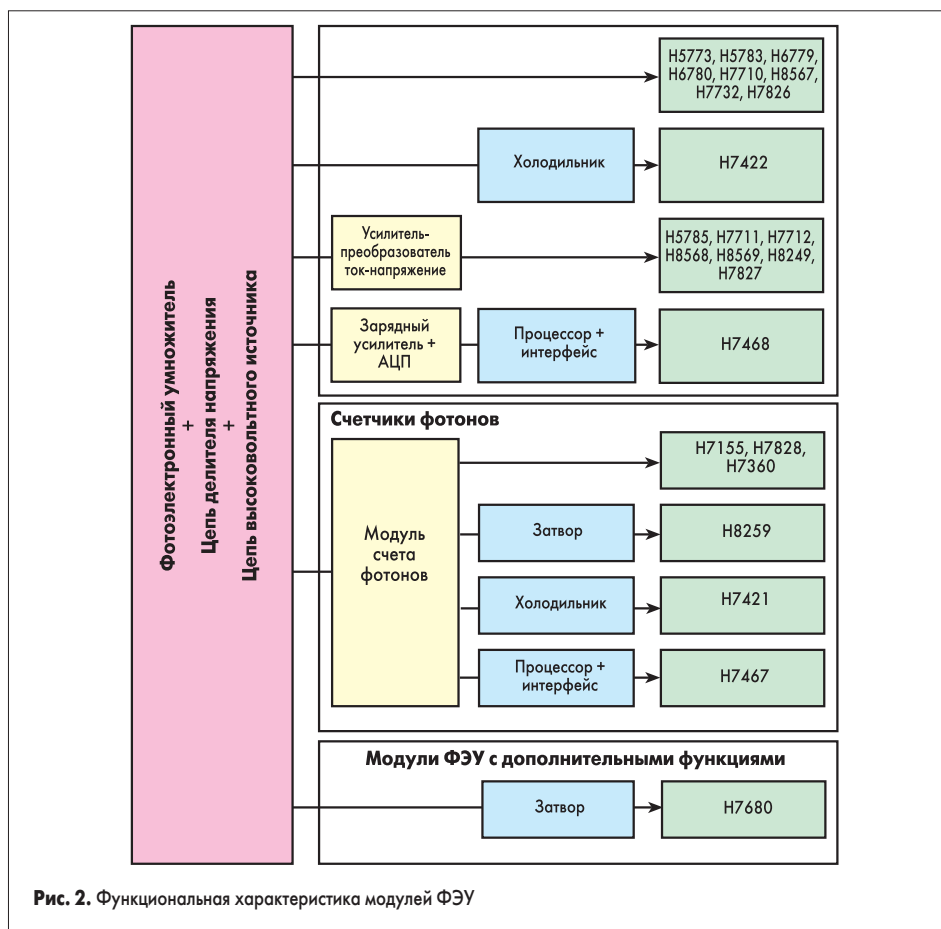
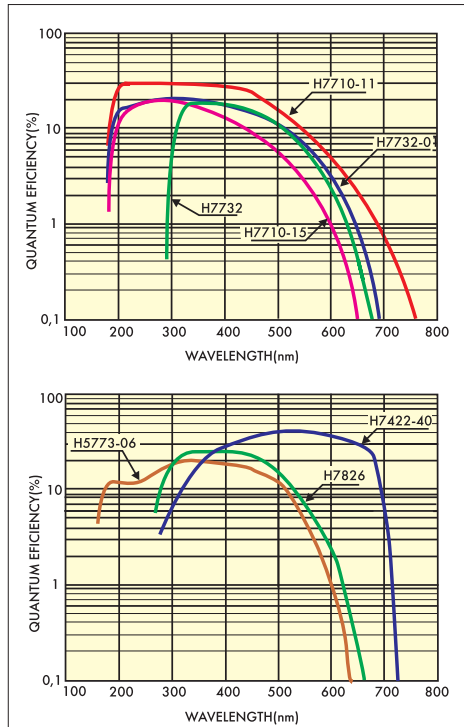


Рис. 2. Функциональная характеристика модулей ФЭУ

Таблица. Основные параметры модулей с ФЭУ

Тип	Номер серии ****	Спектральный отклик (нм)	Время отклика Тг (нс)	Размер чувствительной области (мм)	Габаритные размеры (мм)	Напряжение питания (В)			
Токовый выход	H5773 серия	185–900	0,78	диам. 8	50×25×18	15			
	H5783 серия				22×22×50				
	H6779 серия				50×25×18				
	H6780 серия	22×22×50	185–900	0,78	диам. 8	15			
	H7422 серия	300–890					0,78/1	диам. 5,7	56×36×104
	H7710 серия	185–900					1,4	3,7×13	19×53×51
	H8567 серия	185–900					2,2	4×20	38×95×50
H7732 серия	185–900	2,2	4×20	38×95×50	15				
H7826 серия	300–850	1,5	диам. 15	26×50×56	15				
Тип	Номер серии	Спектральный отклик (нм)	Частотный отклик (<kГц)	Размер чувствительной области (мм)	Габаритные размеры (мм)	Напряжение питания (В)			
Выход по напряжению	H5784 серия	185–900	20	диам. 8	22×22×60	+/-15			
	H7711 серия	185–900	20	3,7×13	19×53×51	+/-15			
	H8568 серия								
	H7712 серия	185–900	200	3,7×13	19×53×51	+/-15			
	H8569 серия								
	H8249 серия	185–900	20, 200	4×20	38×95×50	+/-15			
H7827 серия	300–850	20, 200	диам. 15	26×50×56	+/-15				
Тип	Номер серии	Спектральный отклик (нм)	Характеристики	Размер чувствительной области (мм)	Габаритные размеры (мм)	Напряжение питания (В)			
Внутренний процессор + Интерфейс	H7468 серия	185–900	Integration Time 40us to 500ms	диам. 8	35×50×60	5			
Тип	Номер серии	Спектральный отклик (нм)	Скорость счета (x 10 <sup>6</sup> s <sup>-1</sup> )	Размер чувствительной области (мм)	Габаритные размеры (мм)	Напряжение питания (В)			
Счетчик фотонов	H7155 серия	300–650	1,5, 10	диам. 8	22×50×50	5			
	H7421 серия	300–890	1,5	диам. 5	56×36×104	5			
	H8259 серия	185–900	2,5	4×20, 4×6 (-02 тип)	38×95×50	5			
	H7828 серия	300–850	1,5	диам. 15	26×50×56	5			
	H7360 серия	300–850	6	диам. 22	34dia.×114	5			
	H7467	300–650	1,5	диам. 8	35×50×60	5			
Тип	Номер серии	Спектральный отклик (нм)	Характеристика	Размер чувствительной области (мм)	Габаритные размеры (мм)	Напряжение питания (В)			
С доп. функциями	H7680 серия	300–650	Время нарастания 1,7 ns	диам. 24	58×84×170	15			

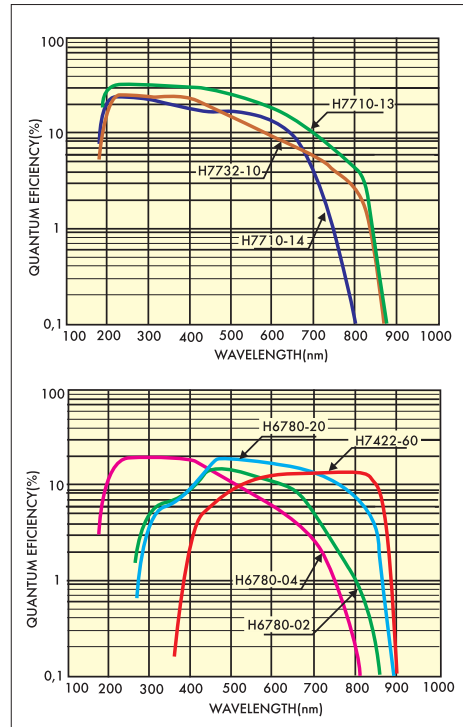


Типовая квантовая эффективность (%)

Длина волны, nm	H7732	H7732-01	H7710-11	H7710-15	H7826	H5773-06	H7422-40
200	—	14.9	27.3	11.8	—	12.4	—
300	4.1	20.2	28.9	19.5	20	18.5	6
400	18.6	18.6	27.3	13	25.7	18.9	28.2
500	11.6	11	16.4	5.8	17.3	12.4	40
600	2.2	3.5	5	0.9	2.4	1	36.1
700	—	0.1	0.7	—	—	—	7.7

Рис. 3. Спектральные зависимости квантовой эффективности для модулей с ФЭУ, чувствительных в диапазоне от ультрафиолета до видимого диапазона

шум». Важно подобрать модуль с ФЭУ, имеющий высокую квантовую эффективность на длине волны измеряемого света. Для получения низкого предела чувствительности с хорошим соотношением «сигнал — шум» при измерении слабых потоков света, наряду с квантовой эффективностью необходимо учитывать темновой порог и темновой ток. Сравнение модулей с ФЭУ по их спектральным параметрам представлено на рис. 3–5.



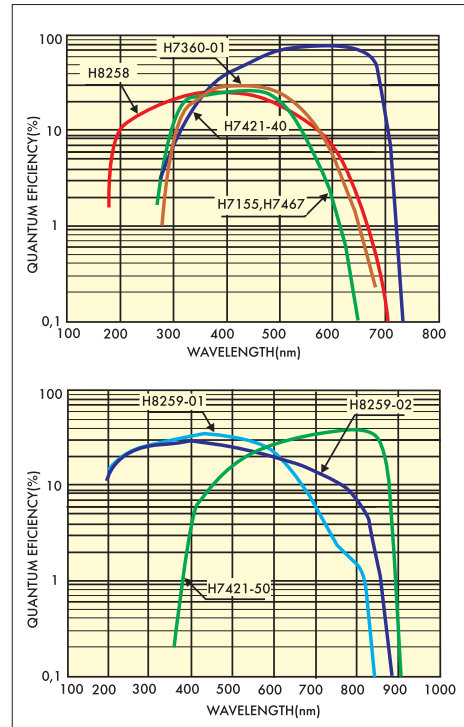
Типовая квантовая эффективность (%)

Длина волны, nm	H7710-13	H7710-14	H7732-10	H6780-02	H6780-04	H6780-20	H7422-60
200	29	21.3	15.8	—	11.5	—	—
300	32.9	22.3	23.8	5	20.1	3.4	—
400	31.3	18.3	22.9	9.6	18.6	8.9	2.3
500	25.7	16.6	15.4	14.4	11	18.3	8.8
600	18.6	12.9	9.3	11.1	6.1	15.9	12.9
700	9.7	3.5	5.7	5.2	2.6	12.8	13.7
800	4.3	0.1	2.7	1	0.2	7.4	13.9

Рис. 4. Спектральные зависимости квантовой эффективности для модулей с ФЭУ, чувствительных в диапазоне от ультрафиолета до ближнего ИК-диапазона

Резюмируя представленные материалы, можно дать следующую характеристику модулям ФЭУ по их параметрам:

- Спектральный диапазон 185–900 нм.
- Временная характеристика до 0,78 нс по фронту нарастания.
- Встроенные усилители и другие функциональные группы.
- Рабочее напряжение 15/5 В.



Типовая чувствительность счета фотонов (s<sup>-1</sup>pW<sup>-1</sup>)

Длина волны, nm	H7155	H7421-50	H7421-40	H7360-01	H8259	H8259-01	H8259-02
200	—	—	—	—	1.1×10 <sup>5</sup>	1.4×10 <sup>5</sup>	1.1×10 <sup>5</sup>
300	1.2×10 <sup>5</sup>	—	6.3×10 <sup>4</sup>	1.0×10 <sup>5</sup>	2.1×10 <sup>5</sup>	2.7×10 <sup>5</sup>	2.5×10 <sup>5</sup>
400	2.7×10 <sup>5</sup>	3.3×10 <sup>4</sup>	4.0×10 <sup>5</sup>	2.6×10 <sup>5</sup>	2.6×10 <sup>5</sup>	3.3×10 <sup>5</sup>	3.0×10 <sup>5</sup>
500	2.2×10 <sup>5</sup>	1.6×10 <sup>5</sup>	7.0×10 <sup>5</sup>	1.4×10 <sup>5</sup>	1.9×10 <sup>5</sup>	3.2×10 <sup>5</sup>	2.5×10 <sup>5</sup>
600	2.1×10 <sup>4</sup>	2.7×10 <sup>5</sup>	7.6×10 <sup>5</sup>	3.6×10 <sup>5</sup>	7.5×10 <sup>4</sup>	2.3×10 <sup>5</sup>	2.0×10 <sup>5</sup>
700	—	3.4×10 <sup>5</sup>	1.9×10 <sup>5</sup>	—	1.5×10 <sup>5</sup>	6.8×10 <sup>4</sup>	1.4×10 <sup>5</sup>
800	—	3.9×10 <sup>5</sup>	—	—	—	1.6×10 <sup>4</sup>	7.5×10 <sup>4</sup>
900	—	2.8×10 <sup>5</sup>	—	—	—	—	3.0×10 <sup>5</sup>

Рис. 5. Спектральные зависимости чувствительности счета фотонов для модулей с ФЭУ

- Возможность питания от батарей элементов благодаря малому потреблению.

Подобные модули ФЭУ могут найти применение в лазерных радарх, многофотонной микроскопии, мониторах гигиены окружающей среды, спектральной радиометрии, а также в любых измерениях излучения малого уровня для высоких скоростей считывания вплоть до подсчета фотонов.