

Мини-спектрометры серии MS фирмы Hamamatsu

Игорь КОНЮШЕНКО
9322817@mail.ru

В статье рассматриваются особенности и возможности применения ультракомпактных спектрометров Hamamatsu серии MS. В свете достигнутых производителем оптических и электронных характеристик прибора обсуждаются вероятные области его применения. Надеемся, что статья будет полезна при разработке аппаратуры для оптико-спектральных и колориметрических измерений.

Одним из направлений развития современной оптоэлектроники является внедрение в широкую практику технологий оптического спектрального анализа. Эти методы, бывшие долгое время уделом исключительно лабораторного оборудования — спектрометров и спектрофотометров, в настоящее время активно развиваются как элементы промышленного оборудования и даже бытовой техники. Такое направление их развития определяется двумя аспектами. С одной стороны — стремлением быстро и эффективно производить “on-line” контроль большого количества технологических параметров, связанных с измерением спектральных характеристик, на различных этапах производства или в различных точках технологического оборудования. С другой — развитием микроэлектроники и связанных с ней технологий, позволяющих наладить серийное производство сравнительно недорогих миниатюрных спектрометрических датчиков с хорошо воспроизводимыми параметрами.

Концепция миниатюрных (для обеспечения встраиваемости в оборудование) и недорогих (для обеспечения незначительного удорожания этого оборудования) спектрометрических датчиков при всей внешней привлекательности не лишена значительных недостатков. Размеры спектрального прибора (по отношению к длине волны измеряемого излучения) определяют величину aberrаций. В небольших и миниатюрных приборах очень сложно добиться хорошего разрешения при достаточной светосиле. Таким образом, миниатюризация оптических спектральных датчиков неизбежно связана с компромиссом между разрешающей способностью и светосилой с одной стороны и размерами и массой — с другой. Уменьшение размеров и стоимости сопровождается ухудшением оптических характеристик, в первую очередь — разрешающей способности прибора.

Современный спектрометр для встраиваемых приложений, как правило, представляет собой небольшой прибор с характер-

ными геометрическими размерами 5–10 см, имеющий в своем составе раздельно смонтированные нерегулируемую входную щель, диспергирующий элемент (в подавляющем большинстве случаев — дифракционную решетку) и приемник излучения (ПЗС или фотодиодную линейку). Электронная часть, обрабатывающая сигнал с линейки и формирующая протокол передачи данных во внешнюю среду, может размещаться в корпусе спектрометра, представлять собой внешний подключаемый модуль или отсутствовать, предоставляя пользователю свободу в схемотехнических решениях. Для ввода измеряемого излучения и формирования соответствующего апертурного угла на входе в спектрометр зачастую используется оптоволокно.

Такого рода приборы выпускают Ocean Optics (серия STS), Horiba (серия CP), Ibsen (серия Rock), Hamamatsu (серия RC), Avantes (серия AvaBench), HeadWall (серия NanoSpec), StellarNet (несколько типов) и др. Названные приборы, в зависимости от числа штрихов решетки и фотоприемника, перекрывают спектральный диапазон от ближнего УФ (200 нм) до ближнего ИК (2 мкм и далее) и имеют типичное разрешение в видимом диапазоне от 1 до 10 нм (в зависимости от ширины щели). Диапазон приложений таких приборов широк и включает в себя как научные исследования (в составе сложных установок, где возможность быстрого перемещения небольшого прибора или его входного световода в нужную точку делает мини-спектрометры практически незаменимыми), так и промышленные применения.

Эти приборы, однако, могут быть избыточны для таких приложений, где спектральные особенности имеют значительную ширину (полосы в десятки нм), и речь идет не о спектрофотометрии, а о колориметрии. Это может касаться, например, измерения параметров технологических процессов при работе с красителями в пищевой, легкой, лакокрасочной промышленности, исследовании покрытий и цветопередачи мониторов, постро-

ения компактной химико-аналитической аппаратуры и т. д. В этом случае интерес могут представлять ультракомпактные недорогие спектрометрические датчики с величиной разрешения свыше 10 нм, рабочим диапазоном, включающим исключительно видимую область. Среди таких приборов — устройства серии Spectro³ фирмы Horiba, а также серий RC и MS фирмы Hamamatsu. И если Spectro³ и RC при небольших размерах и разрешении 5–10 нм ближе к спектрофотометрам, то серия MS, по всей видимости, является пограничной при переходе к собственно колориметрическим методам измерений.

Поскольку приборы серии MS считаются новой разработкой Hamamatsu и занимают особое место среди миниатюрных встраиваемых спектрометров, рассмотрим их подробнее.

Семейство на данный момент представлено двумя миниатюрными спектрометрами — C10988MA и C11708MA, отличающимися спектральным диапазоном и разрешением. Внешний вид спектрометров представлен на рис. 1. Как можно заметить, приборы помещены в DIP-корпус с шагом выводов 2,54 мм. Учитывая размеры корпуса 27,6×13×16,8 мм и вес 9 г, можно ввести для этого семейства определение «сверхминиатюрный спектрометр». В качестве возможных применений производитель указывает для C10988MA «контроль цвета для печатающих машин

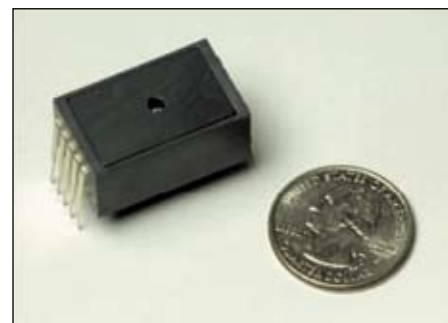


Рис. 1. Внешний вид спектрометров C10988MA и C11708MA

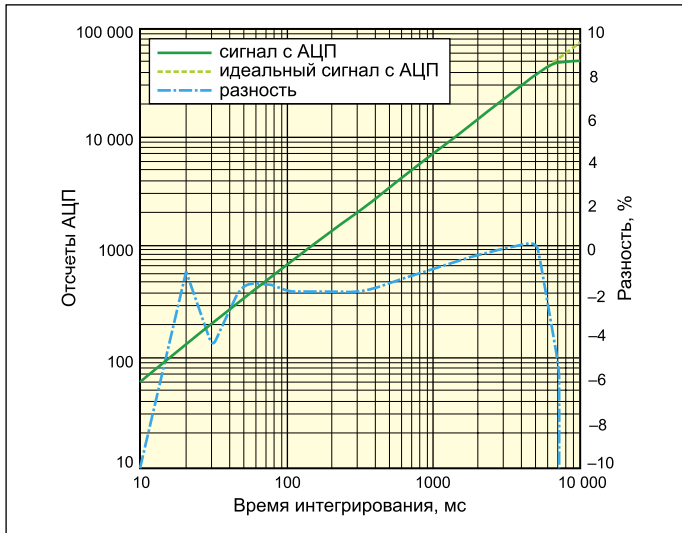


Рис. 2. График зависимости воспроизводимости по длине волны и линейности

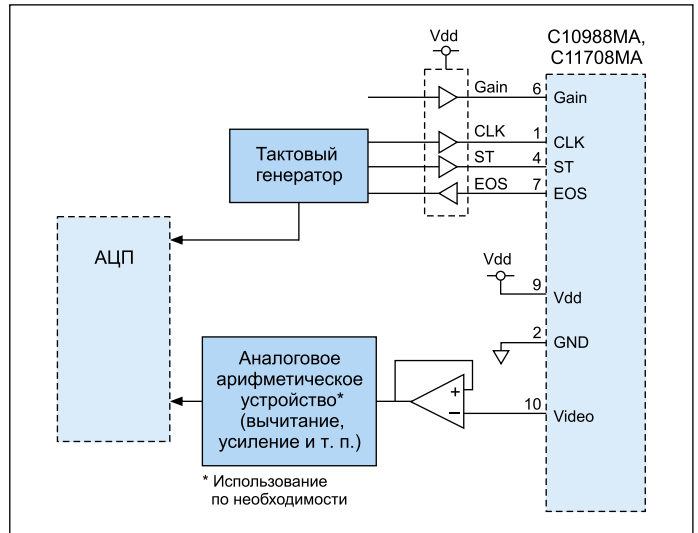


Рис. 4. Схема включения мини-спектрометра серии MS

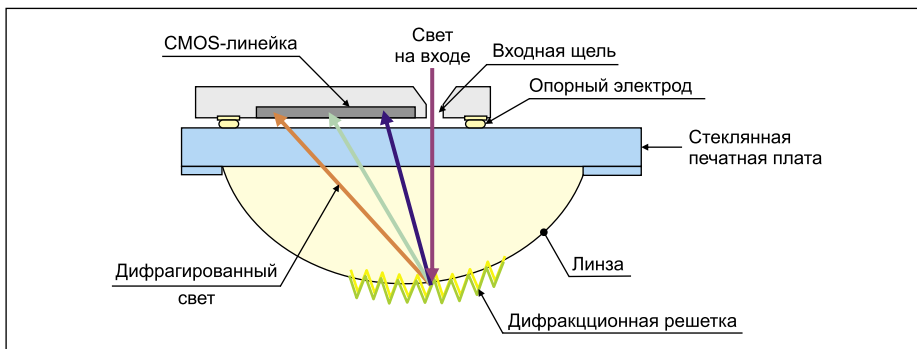


Рис. 3. Структура мини-спектрометра серии MS

Таблица 1. Оптико-спектральные характеристики спектрофотометров C10988MA и C11708MA

Параметр	C10988MA	C11708MA
Спектральный диапазон, нм	340–750	640–1050
Разрешение, нм	14	20
Воспроизводимость по длине волны, нм	±0,5	
Температурный уход спектра, нм/°C	±0,05	
Уровень рассеянного света*, дБ	-25	

Примечание. * Измеряется на расстоянии ±40 мм от одиночной линии.

Таблица 2. Оптико-спектральные характеристики спектрофотометра UVmini-1240

Параметр	Значение
Спектральный диапазон, нм	190–1100
Разрешение, нм	5
Воспроизводимость по длине волны, нм	±0,3
Уровень рассеянного света, дБ	-33

спектр, в результате чего появляется значительная зависимость спектра от температуры, что и видно, судя по данным таблицы 1.

Схема включения прибора представлена на рис. 4. Интерфейс предусматривает управление внутренним усилителем (вход “Gain”) в режиме «Высокое/низкое усиление».

Таблица 3. Электрические и оптические характеристики

Параметр	Значение	
Тип линейки	Диодная	
Число пикселей	256	
Размер пикселя, мкм	12,5×1000	
Размер щели, мкм	75×750	
Темновой ток, пА	Усиление высокое	0,01
	Усиление низкое	0,01
Выходной сдвиг, В	0,3	
Насыщение*, В	Усиление высокое	1,7
	Усиление низкое	2,7
Шумы считывания, мВ rms	Усиление высокое	0,3
	Усиление низкое	0,2

Примечание. * Относительно напряжения сдвига.

и принтеров» и «установку в дисплеи большого размера для контроля цветности». В свою очередь прибор C11708MA можно применять при измерении числа Брика и качества злаковых культур в пищевой промышленности. Вывод: основные области применения — те, в которых измерения проводятся на широких спектральных полосах и не требуется значительная разрешающая способность.

Основные оптико-спектральные характеристики приведены в таблице 1. Для сравнения в таблице 2 даны характеристики недорогого стационарного спектрофотометра UVmini-1240 производства компании Shimadzu. Стационарный лабораторный спектрофотометр, как можно ожидать, превосходит миниатюрный по всем основным параметрам (спектральный диапазон, разрешающая способность, уровень рассеянного света), однако необходимо иметь в виду, что спектрометры серии MS представляют собой чрезвычайно компактные (размером с микросхему) встраиваемые и сравнительно недорогие приборы, тогда как даже небольшой стационарный спектрофотометр имеет массу около 10 кг, соответствующие размеры и стоимость несколько тысяч евро. В этом смысле рассматриваемые спектрометры совершенно вне конкуренции. Что же касается воспроиз-

водимости по длине волны и линейности (данные о которой приведены на рис. 2), то их величины вполне достаточно для предлагаемых или подобных применений.

Прибор выполнен по схеме, представленной на рис. 3. В качестве основы для нанесения вогнутой дифракционной решетки использована выпуклая линза. Линза жестко связана с кристаллом, на котором выполнена как входная щель, так и регистрирующая линейка. Все вместе формирует жесткую оптическую схему, обладающую свойствами монолитной. Вместе с тем следует учесть, что использование линзы и связанной с ней стеклянной платы, расположенной между входной щелью и линзой, должно приводить к значительной чувствительности измеренного спектра к положению источника излучения относительно входной щели. Специальных мер, снижающих такую зависимость, в конструкции не предусмотрено. Следовательно, для проведения надежных и воспроизводимых спектральных измерений схема установки спектрометра должна предусматривать точное позиционирование источника излучения на перпендикуляре к входной щели. Кроме того, температурный ход коэффициентов преломления элементов оптической системы влияет на измеряемый

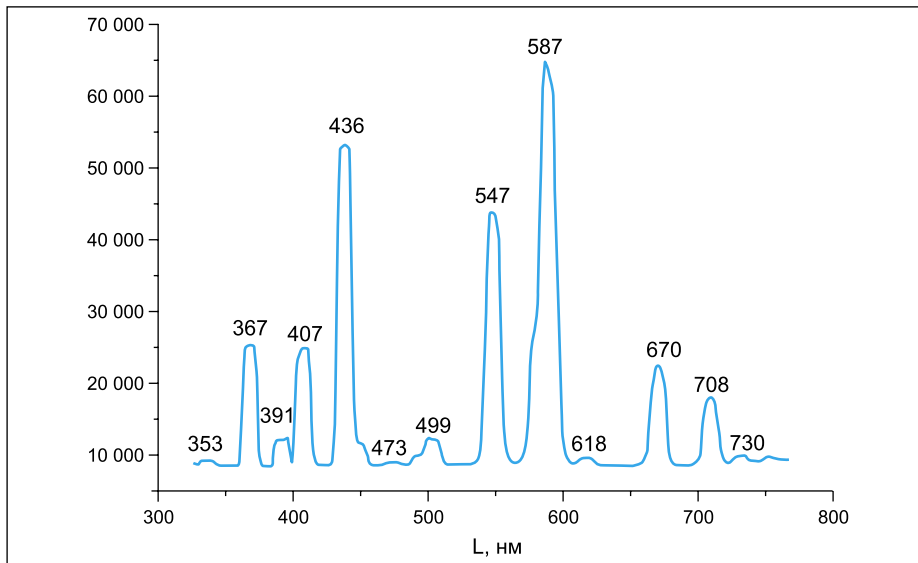


Рис. 5. Спектр ртутной лампы низкого давления

Сдвиговой регистр линейки и схема преобразования позволяют получать на выходе «Video» сигнал напряжения, который затем может быть подан на АЦП (напрямую или после соответствующего преобразования). Электрооптические характеристики представлены в таблице 3.

Для описываемых миниспектрометров фирма Hamamatsu выпускает отладочную плату С11351. Плата позволяет оцифровывать сигнал с разрешением 16 бит, управлять временем интегрирования линейки в пределах от 5 до 10000 мс, регулировать усиление как внутреннего усилителя спектрофотометра, так и усилителя на отладочной плате. Связь платы с компьютером и питание платы осуществляются по интерфейсу USB 2.0. Поставляемое с платой программное обеспечение, являясь, по существу, программой управления настоящим спектрофотометром, обладает широким

набором функций. В частности, программа позволяет проводить калибровку прибора по длинам волн, устанавливать параметры измерения (усиление, время интегрирования), измерять темновой, опорный и собственно аналитический спектр. Темновой и опорный спектры могут быть затем использованы программой в автоматическом режиме (по желанию оператора). Темновой спектр вычитается из сигнала, а на опорный производится нормировка. Существует возможность одновременного отображения аналитического и опорного спектров. Предусмотрена также возможность аппроксимации выделенной части спектра гауссовой кривой. В общем, характеризуя программное обеспечение, можно сказать, что его функций вполне достаточно для проведения несложных спектральных измерений, на какие и рассчитан предлагаемый спектрометр. Основным недостатком предлагаемой

отладочной платы, а вернее — ее программного обеспечения, является невозможность построения собственных программных средств, так как функции управляющей библиотеки скрыты от пользователя и описание их отсутствует.

На рис. 5 приведен спектр ртутной лампы низкого давления, полученный на спектрофотометре С10988МА с помощью отладочной платы и поставляемого программного обеспечения. Числами на графике обозначены длины волн, соответствующие максимумам линий. Измерение проводилось с использованием заводской калибровки по длинам волн. Ширина линий на полувысоте составляет 12–14 нм, что согласуется с заявленной производителем величиной разрешения.

Из приведенного описания можно сделать следующие выводы. Во-первых, диапазон измеряемого излучения и величина разрешения вынуждают, как уже указывалось, рекомендовать приборы этой серии в основном для колориметрических приложений. Во-вторых, оформление входа прибора в виде щели требует проявлять внимание к углам ввода излучения в спектрометр. Следует помнить, что даже небольшие вариации этого угла могут вызвать значительные изменения измеренного спектра. Может быть, вход прибора, выполненный в виде волокна, уменьшил бы эту проблему, однако такое решение уже не вполне вписывается в концепцию сверхминиатюрности. Третьим замечанием может служить то, что «интегральная» конструкция прибора, основанная на линзе, может привести к значительной температурной зависимости измеренного спектра.

Автор надеется, что приведенный анализ будет полезен при выборе встраиваемого спектрометра с соответствующим соотношением между ценой и характеристиками, как оптико-спектральными, так и электрическими. ■