

Технологии объективов EF

1 Непрерывное стремление к лучшему: концепция разработки объективов Canon

Основная задача объектива для фотосъемки – максимально четкое и точное воспроизведение изображения объекта на пленке или матрице при цифровой фотосъемке. Однако эта задача не проста, так как в элементах объектива непременно содержатся неоднородности и особенности, которые не позволяют им собирать лучи света точно в одну точку и вызывают рассеяние света вблизи краев. Эти свойства, которые не позволяют лучам света, выходящим из одной точки объекта, попадать в одну точку идеального изображения или приводят к рассеиванию лучей, проходящих через объектив, называются аберрациями.

Проще говоря, основная цель при конструировании объектива состоит в том, чтобы «определить параметры конструкции объектива для минимизации аберраций». Однако, хотя и не существует единого идеального решения для проектирования объективов определенного типа, существует бесчисленное множество решений, близких к идеальному. Возникает проблема выбора решения, а способ выбора в значительной степени определяет характеристики объектива. Начиная с XIX века используется метод конструирования объективов, который называется трассировкой лучей. Хотя этот метод позволяет определить аберрации, он дает возможность выполнять вычисления только в одном направлении (т.е., вычисления аберраций для объектива с заданной конструкцией) и не позволяет определить параметры конструкции объектива по заданным характеристикам аберраций.

В середине 1960-х годов компания Canon впервые разработала реально работающее компьютерное программное обеспечение для аналитического определения детальных конструктивных параметров объективов с почти идеальными конфигурациями для достижения минимальных аберраций (целевых значений), а также компьютерное программное обеспечение для автоматического направления процедуры анализа.

С тех пор компания Canon продолжает разрабатывать множество других компьютерных программ для проектирования объективов. В настоящее время использование этого программного обеспечения позволяет компании Canon постоянно производить точные объективы и получать конечное изделие, не внося почти никаких изменений в исходную концепцию. Если сравнить конструирование объектива с ночным восхождением на гору, то переход от обычных технологий разработки объективов к современным компьютерным методам проектирования Canon аналогичен переходу из состояния, когда в

непроницаемом мраке ночи вспышка света на мгновение позволила увидеть лишь площадку под ногами, но приходится продолжать движение, в состоянии, когда ясно видна не только дорога, но и пункт назначения, что позволяет спокойно и уверенно двигаться к намеченной цели.

(Представления компании Canon об идеальном объективе)

Существуют три основных требования к формированию изображения идеальным фотографическим объективом:

- ① Лучи света, выходящие из одной точки объекта, после прохождения через объектив должны сходиться в одну точку.
- ② Изображение плоского объекта, перпендикулярного оптической оси должно оставаться плоским за объективом.
- ③ Форма плоского объекта, перпендикулярного оптической оси, должна точно и без искажения воспроизводиться на изображении. В дополнение к этим трем общим требованиям компания Canon добавляет еще одно:
- ④ На изображении должны точно воспроизводиться цвета объекта.

Хотя перечисленные выше четыре требования являются «идеальными» и поэтому не могут быть полностью соблюдены, всегда можно внести улучшения, приближающие результат к этим идеалам. Постоянная цель компании Canon состоит в производстве объективов, относящихся к наивысшему рыночному классу с точки зрения характеристик и качества. Для достижения этой цели устанавливаются очень высокие требования. Для создания объективов с максимально возможным качеством изображения и максимально возможной простотой конструкции используются современные технологии в сочетании с многолетним опытом и накопленными знаниями.

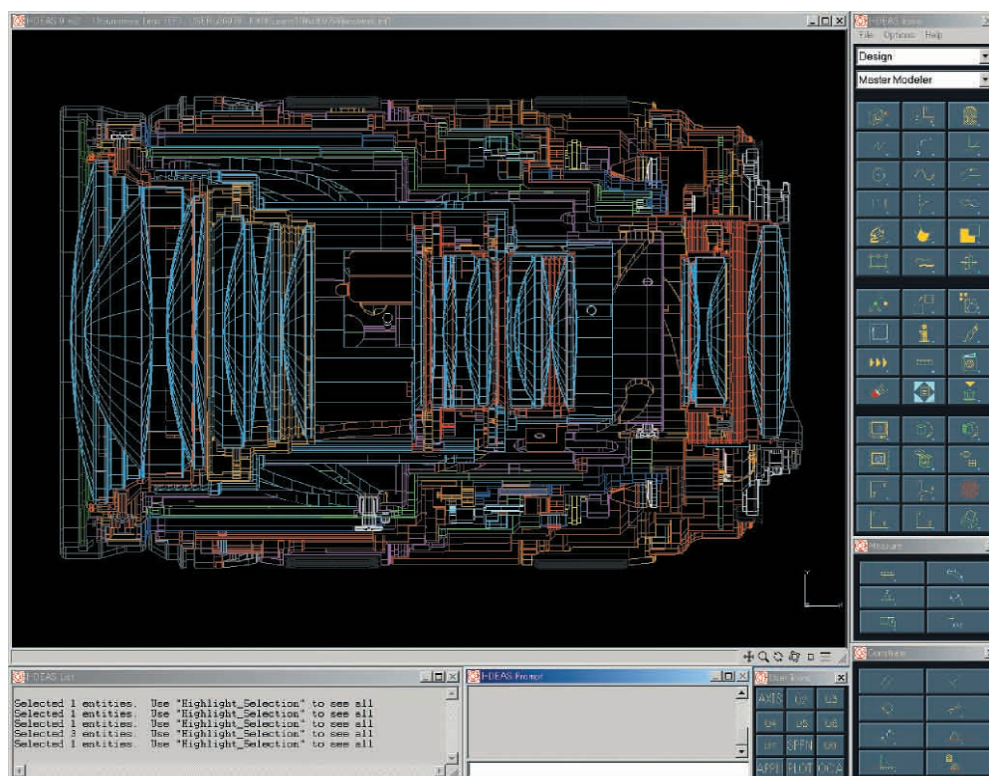


Фото 1. Автоматизированное проектирование объективов

(Основы проектирования объективов Canon EF)

Для того чтобы предлагать объективы EF, соответствующие потребностям всех пользователей, сформулировано шесть основных целей проектирования Canon, которые описаны ниже. Для объективов Canon EF все эти условия имеют важнейшее значение и должны выполняться для запуска объективов в производство.

Высокое качество по всей площади изображения

Нельзя сказать, что объектив дает высокое качество изображения, если он обеспечивает только высокое разрешение или высокую контрастность. Он должен обеспечивать и то, и другое. Однако, в зависимости от типа объектива, разрешение и контрастность обычно связаны обратной зависимостью, то есть, улучшение одного параметра приводит к ухудшению другого. Для одновременного достижения обеих целей компания Canon активно использует такие элементы, как асферические линзы, флюорит, стекло UD, стекло «super UD» и стекло с высоким коэффициентом преломления, которые обладают замечательными оптическими показателями, обеспечивают резкость, четкость и непревзойденные характеристики изображения (высокое качество фотографий).

Единые для всех объективов характеристики точной цветопередачи

Цветопередача (цветовой баланс) – это традиция Canon и одна из важнейших характеристик объективов EF. Требуется не только оптимизация цветового баланса каждого объектива, но и единство цветового баланса для всех сменных объективов. Компания Canon очень рано создала и начала использовать множество надежных технологий однослойного и особого многослойного покрытия и осуществляет тщательный контроль цветового баланса, начиная с момента разработки серии объективов FD. Для серии объективов EF также используются самые современные компьютерные технологии моделирования, позволяющие определить оптимальный тип покрытия для каждого элемента объектива, как для подавления паразитных изображений, так и для достижения наилучшей цветопередачи, обеспечивая при этом единство цветового баланса для всех объективов.

Эффект естественного размытия

Так как фотографические объективы записывают трехмерные объекты в виде плоских изображений на пленке или датчике изображений, для достижения трехмерного эффекта необходимо получить не только резкое изображение в фокусе, но и естественное размытие объектов, находящихся впереди и позади сфокусированного изображения. Хотя наивысший приоритет состоит в повышении качества изображения в фокальной плоскости, компания Canon также анализирует эффекты корректировки аберраций и другие соображения на этапе проектирования объектива для того, чтобы части изображения, находящиеся не в фокусе, выглядели естественно и приятно для глаз. Для получения эффекта естественного размытия уделяется внимание также и факторам, не относящимся к оптическому проектированию, в том числе разрабатываются круглые диафрагмы, что привело к созданию диафрагм, форма которых очень близка к круговой.

Максимальное удобство в работе

Вне зависимости от оптических характеристик объектива следует всегда помнить о том, что объектив – это инструмент для фотосъемки и поэтому он должен быть удобен и прост в использовании. Конструкция всех объективов EF обеспечивает точную фокусировку вручную, плавное зумирование и выдающееся удобство работы в целом. Начиная со стадии разработки оптической схемы объектива, конструкторы объективов Canon активно включаются в создание оптических систем (таких, как системы задней и внутренней фокусировки) для ускорения автофокусировки, улучшения характеристик ручной фокусировки, бесшумной работы, а также систем зумирования с использованием нескольких групп для создания более компактных объективов.

Бесшумная работа

В последние годы камеры и объективы стали более шумными, оказывая влияние на снимаемый объект и зачастую приводя к тому, что фотограф пропускает ценные возможности для фотосъемки. С самого начала при разработке объективов EF компания Canon активно работает над новыми технологиями снижения шума приводов автофокусировки с целью производства объективов, по бесшумности и характеристикам похожих на объективы с ручной фокусировкой. С тех пор компания Canon независимо разработала два типа и четыре модели ультразвуковых двигателей (USM) и вплотную приблизилась к цели: внедрить бесшумно работающие USM во все объективы EF.

Надежность

Для обеспечения полной надежности (качества, точности, прочности, ударопрочности, вибропрочности и долговечности) каждой модели во всех группах объективов EF, для каждого объектива на этапе разработки предполагаются и учитываются различные эксплуатационные условия. Более того, каждый успешный прототип подвергается строгим испытаниям, пока не сформируется окончательное изделие. В процессе производства проводится полный контроль качества на основе фирменных стандартов Canon. Более того, список соображений, учитываемых в стандартах Canon, постоянно пополняется новыми показателями автофокусировки и цифровыми коэффициентами, на основе стандартов Canon для объективов FD, имеющих хорошую репутацию.

Эти шесть положений проектирования являются основами разработки современных объективов EF. Поддержка этих основ – это и есть «пульс Canon», который с момента основания компании создает постоянный поток новых технологий и продолжает биться в непрекращающихся попытках компании Canon, направленных на создание объектива с непревзойденным качеством, приближающимся к идеалу.

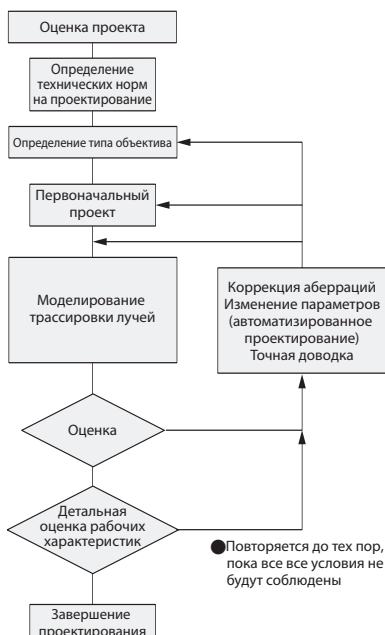
2 Разработка высокоскоростных объективов EF

1 Проблема создания идеального объектива: — Разработка высокоскоростных объективов EF —

Разработка объектива EF начинается с внимательного выслушивания отзывов и запросов фактических пользователей объективов EF.

Хотя запросы профессиональных пользователей очень важны, Canon разрабатывает изделия для других типов пользователей: любителей, опытных любителей и полупрофессионалов любого возраста, пола и сферы деятельности. Короче говоря, изделия Canon предназначены «для тех, кто влюблен в фотографию». Поэтому в головном офисе компании Canon собираются запросы, поступающие различными путями от пользователей всех типов. Отдел планирования изделий и конструкторский отдел совместными усилиями тщательно анализируют эти запросы и внимательно изучают рыночные качества требуемых объективов. Если на определенный объектив ожидается достаточный спрос, определяется ясная концепция изделия, которая понравится широкому кругу пользователей. Затем эта концепция внимательно изучается, как с точки пользователя (фокусное расстояние, диапазон зумирования, светосила, минимальное съемочное расстояние, требуемые характеристики изображения, размер, вес, стоимость и т. д.), так и с точки зрения разработчика и изготовителя и, тем самым, уточняется до конкретного плана. По завершении этого этапа начинается проектирование фактической оптики объектива. Так как в объективах EF сочетаются оптика, механика и электроника, конструкторы, отвечающие за различные области (конструкция оправы объектива, проектирование привода объектива, разработка электронной схемы управления, промышленный дизайн), начиная с этапа начального проектирования и в течение всего процесса работают в тесном сотрудничестве для создания оптимального объектива на основе исходной конструкторской концепции.

Рис. 1 Последовательность проектирования объектива (общая процедура проектирования)



(Фактические процессы проектирования и) разработки объектива EF

Разработка оптической схемы объектива

На рис. 1 показан процесс разработки оптической схемы объектива, который используется в компании Canon. После выбора основных характеристик, таких как фокусное расстояние и максимальная диафрагма, определяется «тип объектива». На этом этапе принимается решение о так называемой «структуре объектива». Структура, выбранная на этом этапе, является во всех смыслах предварительной догадкой о предполагаемой структуре объектива, но, так как она существенно влияет на весь последующий процесс, то для поиска всех возможных типов объективов применяется специальное программное обеспечение, использующее оригинальный алгоритм оценки для выбора оптимального решения. Затем процесс продолжается до этапа начального проектирования, на котором оптимальное решение анализируется с использованием собственной теории компании Canon о лучах, близких к оси, и алгоритмов aberrаций, и определяется исходная форма каждого элемента объектива. Так как этот этап начального проектирования является наиболее важной частью процесса проектирования, компания Canon использовала аналитические решения, основанные на теории, обширный банк накопленных данных и многолетний опыт проектирования и создала систему, которая позволяет определить идеальную окончательную конфигурацию за короткое время.

После определения исходной конфигурации объектива сверхмощная вычислительная машина многократно выполняет следующий цикл проектирования: трассировка лучей → оценка → автоматизированное проектирование → изменение типа или формы → трассировка лучей. В этом процессе, показанном на рис. 2, компьютер последовательно изменяет каждый параметр, например, кривизну поверхности каждой линзы, расстояние между поверхностями (толщину) каждой линзы, зазоры между линзами и характеристики материала каждой линзы для

Рис. 2 Последовательность автоматизированного проектирования объектива

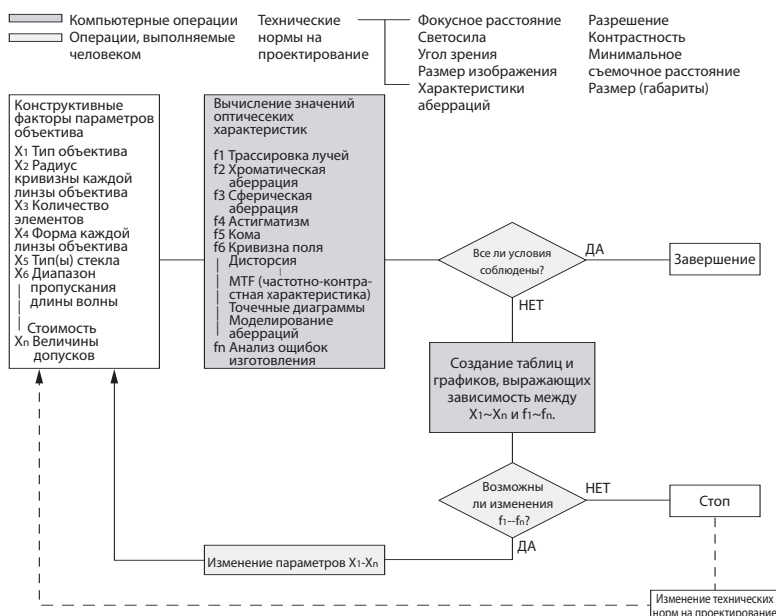
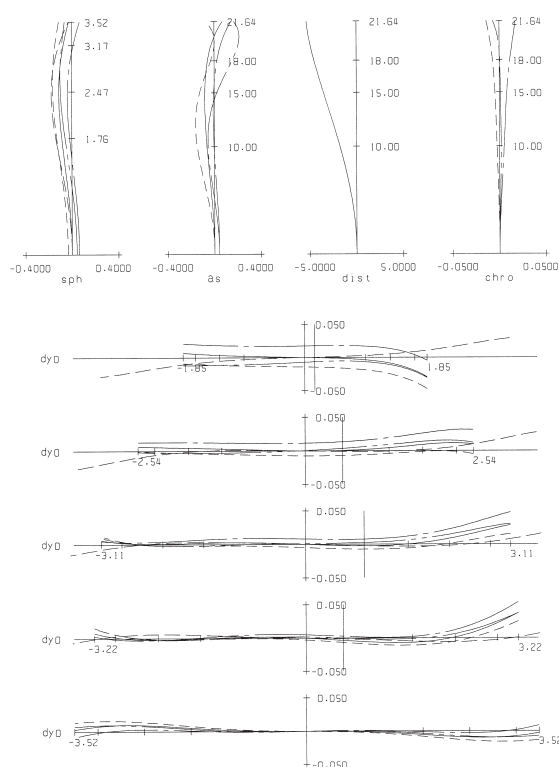


Рис. 3 Компьютерное моделирование характеристик абберации



постепенного приближения к оптимальной конфигурации, при которой абберации всех типов сведены к минимуму. Для выполнения этой части проектирования требуются самые сложные и объемные вычисления. Однако, фирменное программное обеспечение Canon для оптического проектирования предусматривает среду, в которой процедуры проектирования можно выполнять в интерактивном режиме и с высокой эффективностью.

Программное обеспечение для автоматизированного проектирования, которое используется в этом процессе, было разработано независимо компанией Canon на основе собственных теорий автоматизированного проектирования Canon. Достаточно ввести целевые значения, и за короткое время можно получить оптимальное решение для этих значений.

Поскольку ход мыслей наших разработчиков не прерывается повседневными процедурами, они могут без помех искать оптимальные значения для окончательной конструкции: устанавливать начальные данные и целевые значения для ввода в систему автоматизированного проектирования, оценивать результаты моделирования и устанавливать оптимальные значения для минимизации аббераций. Таким образом, разработчики взаимодействуют с компьютером, многократно оценивая точность, что в конце концов приводит к почти идеальным значениям конструкции. Во время этого процесса можно также всесторонне оценить эффект использования асферических линз или специальных материалов, таких как флюорит или стекло UD, что позволяет разработчикам принять решение о необходимости их использования.

На примере сверхкомпактного зум-объектива 28–105 мм ниже описан фактический процесс проектирования.

На рис. 4 показана структура типа зумирования для этого объектива. Объектив состоит из 4 групп линз – выпуклая-вогнутая-выпуклая-выпуклая, причем для зумирования все группы взаимосвязанно перемещаются, а 2-я группа используется для фокусировки. Оптимальный тип объектива и распределение оптической силы для сверхкомпактного зум-объектива определяется с помощью программного обеспечения. На этом этапе можно оценить различные характеристики, такие как форма кулачка зумирования, степень изменения фокусного расстояния, общая длина объектива, диаметр входной линзы объектива и расстояние до заднего фокуса.

На следующей диаграмме (рис. 5) показана конструкция с минимальным количеством элементов и использованием толстых линз. Форма каждой линзы была выбрана исходя из оптимального решения для указанных условий. На этом этапе выполняется моделирование прохождения света через объектив и оценивается минимальное число необходимых элементов в каждой группе, исходя из отклонения лучей света и с использованием различных алгоритмов вычисления аббераций.

Компьютерная трассировка лучей

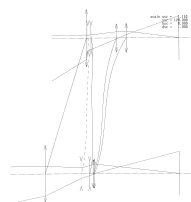


Рис. 4

Точечная диаграмма

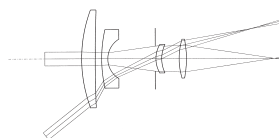


Рис. 5

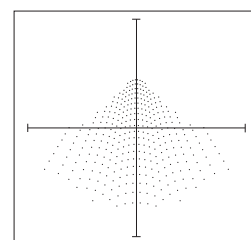


Рис. 8

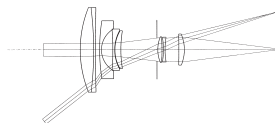


Рис. 6

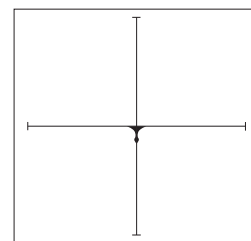


Рис. 9

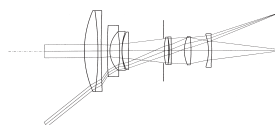


Рис. 7

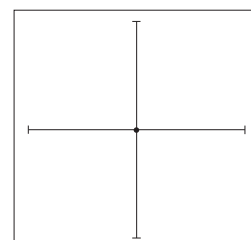


Рис. 10

Фото 2. Пример проектирования тубуса объектива (структура).



Фото 3. Пример автоматизированного проектирования объектива (оптическая схема).



Затем для этого объектива необходимо устранить абберационные отклонения, вызванные фокусирующими движениями 1-й группы. Для этого в 1-ю группу добавляется один элемент. Так как 2-я группа несет основное бремя увеличения, она должна быть мощной, а так как она является также и фокусирующей группой, абберационные отклонения, вызванные зумированием и фокусировкой, должны быть полностью устранены. Для превращения этой группы в группу, состоящую из трех элементов, добавляются две линзы: одна собирающая и одна рассеивающая. 3-я группа собирает свет, рассеянный 2-й группой, поэтому добавляется рассеивающая линза для корректировки осевой хроматической абберации и сферической абберации, превращая ее в группу, состоящую из двух элементов. Таким способом определяется минимальное число элементов объектива, и результат нескольких циклов автоматизированного проектирования можно видеть на рис. 6. На нем видно, что сходимость лучей света значительно улучшилась. Наконец, для лучшей корректировки астигматической комы при больших углах в 4-ю группу добавляется асферический элемент со стороны поверхности, формирующей изображение, где группы световых лучей находятся сравнительно далеко от оси.

После определения окончательной конструкции объектива в уравнение добавляются все необходимые характеристики, такие как съемочное расстояние, апертура и фокусное

расстояние; затем многократно повторяется цикл автоматизированного проектирования с небольшими изменениями факторов проектирования, таких как материал стекла и распределение оптической силы. Глядя на окончательный результат (рис. 7 и рис.10), можно видеть, что группы световых лучей сходятся чрезвычайно хорошо.

Разработка тубуса объектива

Теперь, когда проектирование оптической системы завершено, процесс переходит к проектированию тубуса объектива, который должен удерживать элементы

объектива в точных положениях в соответствии со значениями оптической схемы и обеспечивать перемещение различных групп линз с высокой точностью при зумировании и фокусировке. Тубус должен соответствовать нескольким основным условиям, а именно:

- ① Тубус объектива при любых обстоятельствах должен удерживать элементы объектива в точном соответствии со значениями оптической схемы для постоянного сохранения оптимальных оптических характеристик.
- ② Механизмы должны быть расположены так, чтобы обеспечить максимальное удобство в работе.
- ③ Размер и вес должны соответствовать максимальной портативности.
- ④ Конструкция должна обеспечивать максимальную стабильность при серийном производстве.
- ⑤ Внутренние стенки тубуса объектива должны предотвращать нежелательные отражения.
- ⑥ Тубус должен обладать достаточной механической прочностью, долговечностью и устойчивостью к погодным условиям.

Перечисленные выше факторы следует принимать во внимание при разработке тубусов для полностью электронных объективов EF.

- Электронное крепление и различные электрические схемы необходимо встроить внутрь объектива.
- Конструкция должна обеспечивать быструю автофокусировку

Рис. 11.
Сечение объектива EF 24-70mm f/2.8L USM.

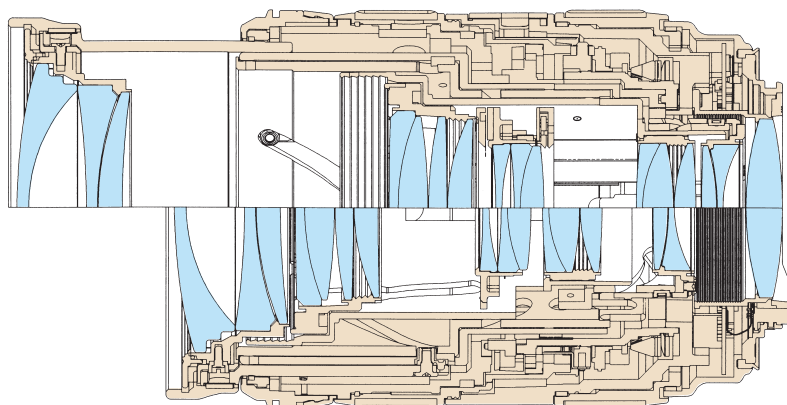


Фото 4. Тубус точного кулачкового механизма зум-объектива.



и выдающееся удобство работы при фокусировке вручную.

- Внедрение новых приводов, таких как USM, EMD и IS.
- Зумирование с участием нескольких групп, а также схемы объективов с задней и внутренней фокусировкой.
- Небольшой вес, компактность и низкая стоимость.

С каждым годом разработка тубусов объективов, объединяющая все эти факторы, усложняется и требует все более высокой точности, но даже при возрастающей сложности можно достичь оптимальной конструкции за счет использования систем CAD (автоматизированного проектирования), которые позволяют выполнять проектирование с использованием трехмерного представления конструкции объектива, а также с помощью различных методов компьютерного моделирования для анализа и оптимизации конструкции. Для уменьшения размера и веса объективов активно применяются конструкционные пластмассы. Такое использование конструкционных пластмасс стало возможным только после многих лет анализа характеристик материалов, создания сверхточных технологий литья и бесчисленных суровых испытаний, разработанных для обеспечения достаточной долговечности и надежности изделий.

Всесторонняя проверка характеристик прототипа и оценка надежности

После создания прототипа на основе эскизных чертежей объектив проходит строгую проверку соответствия его фактических характеристик целям проекта. Проводится множество различных испытаний, в том числе сравнение с существующими изделиями того же класса; выполняются точные измерения таких характеристик, как фокусное расстояние, светосила объектива, уровень исправления аберраций, коэффициент использования апертуры, разрешающая способность, MTF (частотно-контрастная характеристика) и цветовой баланс; проводятся эксплуатационные испытания при различных условиях съемки; испытания на наличие посторонних/паразитных пятен; испытания удобства и простоты использования; испытания на устойчивость к воздействию температуры и влажности, испытания на устойчивость к вибрациям, испытания на долговечность и ударные испытания. Результаты этих испытаний возвращаются в группу разработчиков для доработки объектива, если результаты некоторых из этих испытаний не соответствуют стандартам Canon.

В настоящее время даже объективы, относящиеся к известной группе EF, должны проходить испытания на соответствие исходным целям в процессе разработки прототипа, прежде чем начнется серийное производство и объектив попадет на рынок под маркой Canon. Для поддержания стабильного качества изделий на этапе серийного производства важными факторами являются анализ производственных погрешностей и установка соответствующих уровней допусков, полученных в результате анализа с использованием компьютерных моделей, начиная с исходной разработки. Таким способом обеспечиваются наилучшие характеристики и высокое качество объективов Canon EF за счет объединения усовершенствованных технологий, которые включают в себя алгоритмы исправления аберраций и их применение, улучшенную технологию автоматизированного проектирования с использованием высокопроизводительных компьютеров и специализированного программного обеспечения, технологии высокоточных измерений и оценки характеристик, технологии анализа производственных погрешностей и установки допусков и технологии точного литья. Только после этого объективы выходят в мир, с гордостью нося имя Canon.

2 Взгляд в будущее: проектирование улучшенной электронной системы управления

Выбор новой системы с учетом будущего развития

Почему в электрооптических системах дальномер остается в корпусе фотокамеры, а движение объектива выполняется приводом, встроенным в сам объектив?

Для ответа на этот вопрос вернемся в 1985 год, когда возикла новая тенденция встраивания систем полной автофокусировки в зеркальные камеры. Тогда многие изготовители фотоаппаратов, кроме Canon, решили размещать дальномер и привод в корпусе (системы, в которых двигатель привода автофокусировки встроен в корпус фотоаппарата, а движение объектива выполняется через механическое сочленение). Эта система хорошо работает со стандартными зум-объективами и объективами со стандартными фокусными расстояниями, однако, учитывая главное достоинство зеркальных камер – использование объективов любого типа, от объективов «рыбий глаз» до супер-телеобъективов, – компания Canon приняла решение отказаться от использования этой системы по следующим причинам:

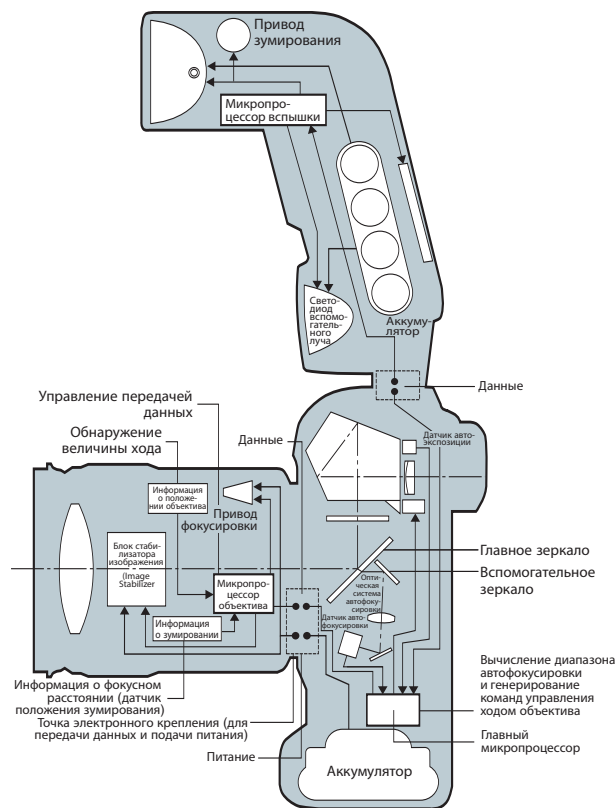
- ① Система имеет низкую эффективность, так как один и тот же двигатель должен работать со сменными объективами всех типов (у которых крутящий момент фокусировки может отличаться в 10 раз).
- ② При установке экстендера между объективом и корпусом разрывается механическая связь привода автофокусировки, что затрудняет дальнейшее развитие системы в будущем.
- ③ С точки зрения устойчивости к воздействию окружающей среды и долговечности недопустимо полагаться на один двигатель для всех объективов в камере, который должен обеспечивать постоянные характеристики при любых условиях окружающей среды, от холода Арктики до тропической жары.

В дополнение к этим фундаментальным техническим недостаткам, система со встроенным двигателем не соответствует базовым представлениям Canon о разработке фотокамер с использованием мехатроники, в которых особое внимание уделяется эффективности и гибкости системы: для этого идеальный привод для решения каждой задачи располагается вблизи соответствующего перемещаемого блока, а для всех операций передачи данных и команд перемещения используется электронная система управления.

Более того, компания Canon также сочла, что тенденция к автоматизации – это не простое добавление автофокусировки в зеркальные камеры, это сигнал о наступлении периода инноваций, который будет продолжаться какое-то время и в будущем. В компании Canon следили за разработанными тогда улучшенными технологиями, такими как USM, BASIS (датчик изображения на основе хранения) и технологиями компонентов EMD и, внимательно изучив их с точки зрения слияния инновационных технологий и новых функций (автофокусировка) и с точки зрения будущего потенциала для технологического развития, решили, что как для пользователей, так и для Canon лучше всего было бы избавиться от старых, сдерживающих развитие технологий и создать новую систему, которая, в конечном счете, опередит все остальные системы. Поэтому в компании Canon было принято решение о разработке электрооптической системы EOS на основе оригинальной концепции корпусов для фотокамер Canon с приводом фокусировки, встроенным в объектив, и полностью электронной системой крепления.

Убедившись в правильности решения Canon, другие изготовители фотоаппаратов начали встраивать системы привода в объективы и отказываться от механически подключаемых систем передачи данных.

Рис. 12. Основная структура системы управления



Основная структура системы управления электрооптических систем EOS

Электрооптическая система EOS концентрируется вокруг корпусов обычных и цифровых фотокамер и состоит из различных компонентов, таких как полный набор вспышек и объективов EF. С точки зрения управления всей системой различные датчики, микропроцессоры, приводы, источники света, электронные шкалы, входные переключатели и источники питания мастерски переплетены: множество функций и всевозможных компонентов работает вместе, как единый инструмент для создания выразительных фотографий, позволяя запечатлеть и отображать избранные моменты в потоке времени. Эта система характеризуется тремя основными возможностями:

- ① **Управление многопроцессорной системой**
Высокоскоростной сверхминиатюрный компьютер, расположенный в корпусе фотокамеры, взаимодействует с микрокомпьютерами, расположенными в объективе и вспышке (для высокоскоростной обработки данных, вычислений и передачи данных), поддерживая управление системой на высоком уровне.
- ② **Система со множеством приводов**
Рядом с каждым подвижным блоком расположен идеальный привод для этого блока, что создает встроенную систему со

множеством приводов, которая обеспечивает высокий уровень автоматизации, эффективности и производительности.

③ **Полностью электронный интерфейс**
Передача данных между корпусом, объективом и вспышкой выполняется электронным способом без каких-либо механических связей. При этом не только повышаются функциональные возможности современной системы, но также формируется сеть, способная включить в себя будущие усовершенствования системы.

Полностью электронное крепление и система передачи данных

Ключевым элементом при реализации полностью электронной системы передачи данных между корпусом и объективом является крепление EF. Это большое крепление имеет угол поворота 60° и расстояние от фланца опорной поверхности крепления до фокальной плоскости 44,00 мм.

Передача информации между корпусом и объективом выполняется мгновенно через 8-разрядный двунаправленный канал цифровой связи с использованием трех пар контактов из восьми контактов, расположенных на креплении корпуса, и семи контактов (в состав которых входят общие контакты) на креплении объектива. Высокоскоростной сверхминиатюрный компьютер посылает в объектив команды четырех типов:

- ① Передать указанные данные объектива.
- ② Переместить объектив указанным образом.
- ③ Закрыть диафрагму на указанное число шагов.
- ④ Открыть диафрагму полностью.

Первичные данные, передаваемые из объектива в ответ на команду, показаны в табл. 1. Передача данных выполняется сразу после прикрепления объектива к корпусу камеры и впоследствии при выполнении операций любого типа. Данные приблизительно 50 типов передются в реальном масштабе времени в соответствии с ситуацией.

Таблица 1. Содержимое передаваемых данных

Тип информации	Цель		
	Точность авто-фокусировки	Управление авто-фокусировкой	Управление авто-экспозицией
① Тип объектива (код-идентификатор)			
② Состояние объектива		●	
③ Информация о замере			
1. Число F при полностью открытой диафрагме		●	●
2. Минимальная диафрагма			●
④ Информация о фокусном расстоянии	●	●	●
⑤ Информация о приводе автофокусировки			
1. Степень хода кольца фокусировки (позиция объектива)	●	●	
2. Коэффициент чувствительности выдвигания объектива		●	
3. Коэффициент коррекции чувствительности выдвигания объектива		●	
4. Постоянная хода кольца фокусировки		●	
5. Степень максимальной расфокусировки		●	
6. Степень компенсации оптимальной фокусировки	●		

Преимущества полностью электронной системы крепления

К возможностям полностью электронного крепления большого диаметра относятся следующие:

- ① Реализация бесшумной, высокоскоростной автофокусировки с высокой точностью. Благодаря возможности выбора и встраивания привода, оптимального для каждого объектива, можно реализовать бесшумную, быструю и точную автофокусировку для всех объективов, от объективов «рыбий глаз» до супер-телеобъективов.
- ② Реализация бесшумного и точного управления диафрагмой. Цифровое управление диафрагмой с высокой точностью реализуется за счет встраивания идеальной системы EMD в каждый объектив.
- ③ Встроенная система EMD позволяет закрывать диафрагму для проверки глубины резкости при касании кнопки. Более того, встроенная система EMD повышает свободу управления последовательностью съемки, позволяя затемнять линзу диафрагмой во время непрерывной съемки для повышения скорости.
- ④ Полностью электронная система управления диафрагмой позволила разработать объективы TS-E – первые в мире объективы, выполняющие наклон и сдвиг при полностью автоматической работе диафрагмы.
- ⑤ Успешное создание объектива EF 50mm f/1.0L USM с большой апертурой. (Это стало возможным только благодаря электрооптической системе крепления большого диаметра EOS.)
- ⑥ Реализация видоискателя, отображающего весь кадр. (В камерах серии EOS-1 реализована практически 100% область съемки.)
- ⑦ Исключение ситуации, когда супер телеобъектив заслоняет видоискатель и зеркало.
- ⑧ При использовании зум-объектива, у которого максимальная апертура изменяется при изменении фокусного расстояния, значения диафрагмы, которые вычисляются в фотокамере или устанавливаются вручную (за исключением максимальной диафрагмы) автоматически компенсируются так, чтобы значение диафрагмы не изменялось при зумировании. Например, при использовании объектива EF 28-300mm f/3.5-5.6L IS USM с диафрагмой f/5,6 или менее, установленной вручную, параметр диафрагмы не изменяется при зумировании, хотя максимальная апертура объектива изменяется. Это означает, что при использовании ручного экспонометра или экспонометра вспышки для определения соответствующих параметров камеры при съемке определенной сцены можно просто установить значение диафрагмы вручную в соответствии с показаниями экспонометра, не беспокоясь о зумировании.
- ⑨ Благодаря тому, что при установке экстендера выполняется автоматическая компенсация и отображается измененное эффективное фокусное расстояние объектива, при настройке камеры в соответствии с измеренными показаниями дополнительная компенсация не требуется даже при использовании ручного экспонометра.
- ⑩ Возможность сделать заднюю апертуру объектива больше, чем ранее, позволяет увеличить предельную светосилу оптической системы. Также возникают преимущества с точки зрения улучшения оптических характеристик при использовании экстендера с супер-телеобъективом.
- ⑪ Благодаря полностью электронной системе крепления, в которой отсутствуют толчки, эксплуатационный шум, механический износ, люфт, потребность в смазке, плохая реакция, снижение точности, вызванное работой рычага, или ограничения конструкции, связанные с механизмами

сочленения, присущие системам с механическими соединениями для передачи данных, надежность работы значительно возрастает.

- ⑫ В корпусе камеры не требуется устанавливать механизм связи автоматической диафрагмы или механизм управления диафрагмой, что позволяет делать корпус более легким и компактным, одновременно повышая надежность работы системы.

⑬ Высокую надежность обеспечивает система самопроверки работы объектива с помощью встроенного в объектив микропроцессора (который в случае неполадки отображает предупреждение на жидкокристаллическом дисплее камеры).

- ⑭ Так как все управление выполняется электронным способом, разработчики могут проявлять исключительную гибкость и включать новые технологии, например технологии стабилизации изображения, и улучшать характеристики камеры.

Совместимость с новыми технологиями и возможности обновления системы в будущем уже доказаны улучшенными функциями автофокусировки (более высокие скорости, улучшенное прогнозирование автофокусировки для движущихся объектов, совместимость с многоточечной автофокусировкой), уже упомянутыми достижениями в объективах TS-E с автоматической корректировкой апертуры, использованием USM в большинстве объективов EF, разработкой первого в мире объектива со стабилизацией изображения (Image Stabilizer) и созданием системы цифровой зеркальной камеры, которая может работать со всеми объективами EF.

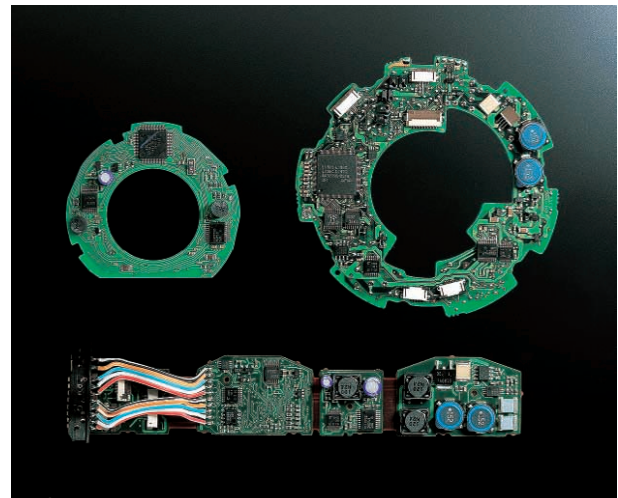
Фото 5. Электронная система крепления –
Со стороны корпуса



Фото 6. Электронная система крепления –
Со стороны объектива



Фото 7. Электронные платы системы крепления объектива



3 Шестнадцать технологий, используемых в объективах EF высокого качества

1 Преодоление теоретического предела сферических линз: сверхточные асферические линзы

Большинство объективов, использующихся для фотосъемки, состоят из нескольких сферических линз. Радиус кривизны и тип оптического стекла каждого элемента, воздушный зазор между элементами разрабатывается так, чтобы в окончательной комбинации линз сократить aberrации различных линз до уровня, достаточного для достижения требуемых характеристик. Сегодня компьютеры предоставляют технологии автоматизированного проектирования и моделирования, которые позволяют быстро разрабатывать высококачественные объективы. Однако использование только сферических линз представляет собой фундаментальную проблему: параллельные тучи света, проходя через сферическую линзу, теоретически не сходятся в одной точке, что приводит к ограничениям следующих параметров:

- качество объективов с большой апертурой,
- компенсация искажений в сверхширокоугольных объективах и
- минимальный размер компактных объективов.

Для того чтобы снять эти ограничения и создавать объективы даже с более высокими характеристиками, снизить искажения и уменьшить размер, остается один путь – использование технологии асферических линз.

Компания Canon начала разработку технологий асферических линз в середине 60-х годов XX века, а теории проектирования и технологии точной обработки и измерений создала в начале 70-х. В 1971 году компания Canon выпустила коммерчески успешный объектив для зеркальных камер, содержащий асферическую линзу, – FD 55mm f/1.2AL. Этот успех явился следствием следующих двух пунктов:

① Создание технологии сверхточных измерений

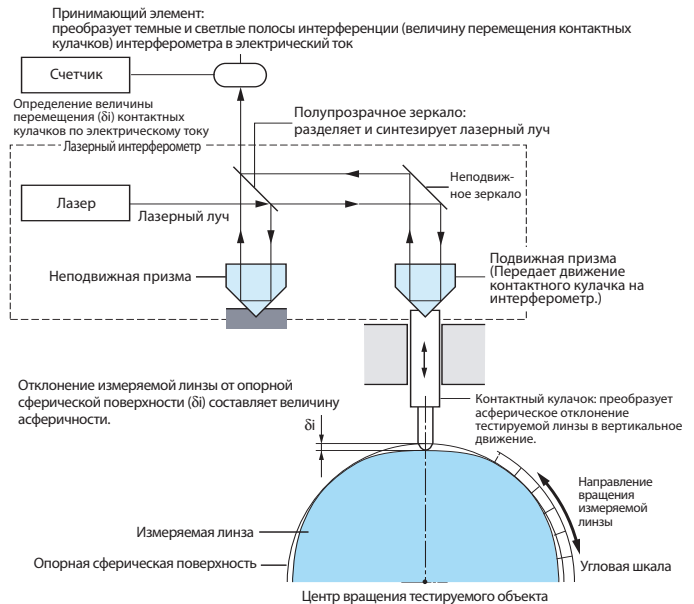
Для измерения поверхностей асферических линз в компании Canon была самостоятельно разработана «измерительная система с преобразованием в полярные координаты», в которой измеряемый объект помещается на вращающийся стол и вращается относительно своего центра кривизны. При этом отклонение поверхности объекта от опорной сферической поверхности измеряется с помощью интерферометра. Затем результаты измерений обрабатываются компьютером для определения формы поверхности. При такой методике достигается сверхвысокая точность: 1/32 часть длины волны света, или 0,02 микрона (20 миллионных частей миллиметра). Эта технология измерений сформировала необходимую основу для последующего развития различных технологий обработки асферических линз.

② Создание систем обработки асферических линз, использующих особые приемы шлифовки и равномерной полировки. Для точной обработки асферических линз в компании Canon была создана особая система обработки асферических линз, которая шлифует линзу асферической формы с высокой точностью и затем полирует линзу

Фото 8. Высокоточные асферические линзы



Рис. 13. Измерительная система с преобразованием в полярные координаты компании Canon



для получения однородной поверхности с сохранением асферической формы.

Изначально этапы обработки асферической поверхности и сверхточного

измерения формы необходимо было многократно повторять, так что каждая линза фактически изготавливалась вручную.

Затем, в 1974 году, в компании Canon был разработан особый станок, который позволял производить более 1000 асферических линз в месяц и тем самым проложил путь для серийного производства.

Фото 9. Пример сферического объектива



Фото 10. Пример асферического объектива



Рис. 14. Оптическая система объектива EF 85mm f/1.2L II USM – диаграмма трассировки лучей

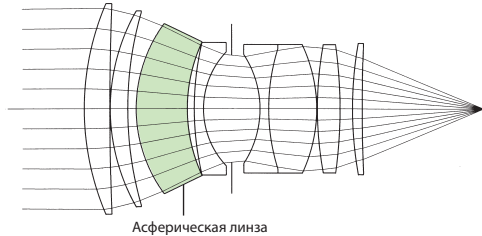


Рис. 15. Оптическая система объектива EF 14mm f/2.8L USM – диаграмма трассировки лучей

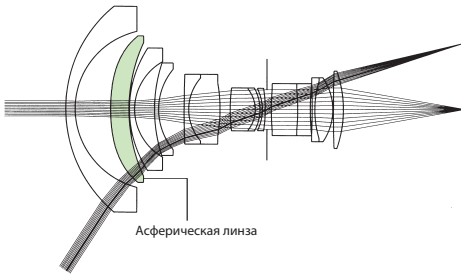


Рис. 16. Сравнение размеров зум-объективов EF и FD

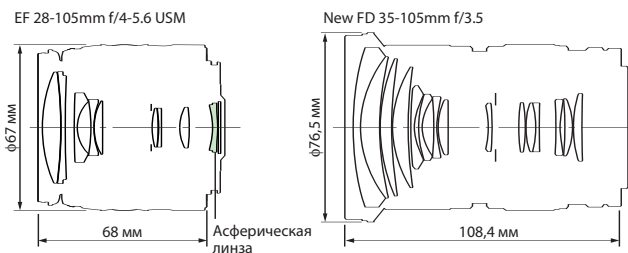
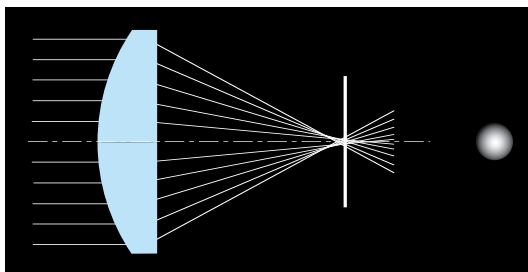
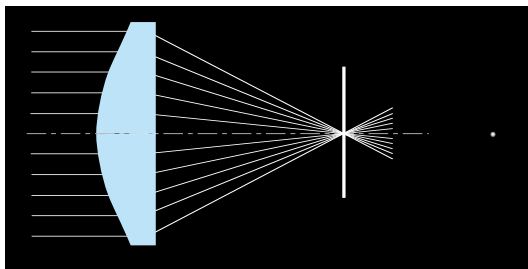


Рис. 17. Принцип действия асферической линзы
Сферическая абберация сферической линзы



Корректировка фокуса с помощью асферической линзы



Однако существовали пределы серийного производства шлифованных асферических линз, поэтому около 1978 года компания Canon успешно применила эту технологию асферической обработки к формам для литья и разработала практичную и высокоточную систему формования пластмасс для производства асферических линз с малой апертурой в серийных объемах и по низкой стоимости. Линзы, изготовленные с помощью этой системы нашли применение в компактных камерах в системе дальномера автофокусировки и в некоторых объективах для фотосъемки (Snappy/AF35MII). В начале 1980-х годов компания Canon продолжила исследования и разработки в области литья стеклянных асферических линз с большой апертурой и в 1985 году успешно разработала действующую производственную систему.

Эти стеклянные асферические линзы производятся прямым литьем стекла в формовочной машине с использованием асферической металлической формы ультравысокой точности. При этом обеспечивается высокая точность, удовлетворяющая требованиям к качеству сменных объективов для зеркальных камер, а также возможность серийного производства при относительно низких затратах. В 1990 году компания Canon добавила в свой арсенал четвертую технологию производства асферических линз, разработав технологию копирования асферических линз с использованием смолы, застывающей под действием ультрафиолетового облучения, для формирования асферического слоя на поверхности сферической линзы. При разработке объективов EF эти четыре типа асферических линз обеспечили конструкторам компании Canon исключительную гибкость, позволяя выбирать наилучший тип линз для каждого применения. Асферические линзы особенно полезны для

- компенсации сферических aberrаций в объективах с большой апертурой,
- компенсации искажений в широкоугольных объективах,
- производства высококачественных компактных зум-объективов. Реальные примеры таких применений показаны на рис. 14

Рис. 18. Результаты точных измерений формы асферической поверхности



Фото 11. Формы для литья стеклянных асферических линз ультравысокой точности



рис 16.

Объектив EF 85mm f/1.2L II USM, показанный на рис. 14, разработан с использованием асферических элементов, которые заставляют все лучи, проходящие через объектив, собираться в одной точке. Изображение, сформированное лучами света, которые входят в объектив вдоль сечения, перпендикулярного к поверхности бумаги, будет размываться при максимальной апертуре. Асферические элементы объектива устраняют это размытие и компенсируют кому. Для достижения хорошей компенсации по всей площади изображения, от центра до краев, в этом объективе используются два асферических элемента.

Сверхширокоугольный объектив на рис. 15 содержит асферическую линзу с поверхностью в форме свободной кривой и углом прохождения лучей света, который оптимизирует характеристики изображения, формируемого объективом, по всей площади изображения. При использовании этой асферической линзы значительно компенсируются искажения и размывания изображения по краям, ранее неизбежно возникавшие в ультраширокоугольных объективах.

На рис. 16 приводится сравнение предыдущего зум-объектива FD, состоящего только из сферических линз, с новым зум-объективом EF того же класса, в котором используется асферическая линза. Использование асферической линзы привело к сокращению общей длины объектива и значительному снижению искажений и кривизны поля.

2 Объективы из флюорита и UD – резкость, достаточная даже для съемки воздуха

Профессиональные фотографы во всем мире неизменно хвалят серию L супертелеобъективов Canon с белым тубусом за сверхвысокое качество и непревзойденную резкость. Разгадка такого качества состоит в полном исключении вторичного спектра за счет активного использования линз из флюорита и стекла UD.

Флюорит

● Для супертелеобъективов существует предел возможного улучшения характеристик при использовании стеклянных линз.

Уровень остаточных хроматических aberrаций оказывает существенное воздействие на степень резкости изображения, получаемого с помощью телеобъективов и супертелеобъективов. Как показано на примере призмы с подавлением цвета (рис. 19), для коррекции хроматических aberrаций используются различные характеристики дисперсии, присущие разным типам оптического стекла: лучи света с разными длинами волн посылаются в одном направлении.

В фотографических объективах также можно привести лучи двух разных длин волн (например, красный и синий) в одну точку фокуса, объединив в выуклую линзу с низкой дисперсией и

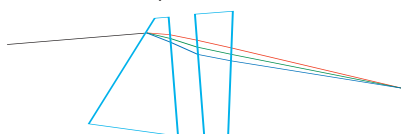
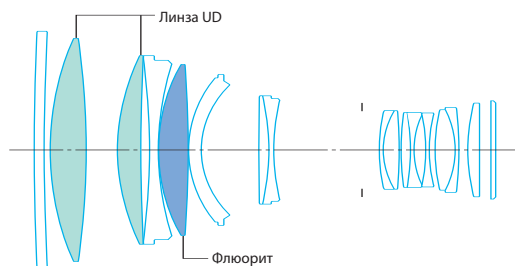


Рис. 20. Оптическая система объектива EF 300mm f/2.8L USM



вогнутую линзу с большой дисперсией. Объектив, в котором выполняется такая корректировка двух цветов (длин волн), называется ахроматическим объективом или просто ахроматом. Однако, хотя два цвета встречаются в одной фокусной точке, промежуточные цвета (например, зеленый) фокусируются в другой точке. Эти хроматические aberrации, которые остаются даже после принятия мер по коррекции хроматической aberrации, называются вторичными хроматическими aberrациями или вторичным спектром. При использовании линз, изготовленных только из оптического стекла, теоретический предел не позволяет снизить этот вторичный спектр ниже, чем величина «фокусное расстояние $\times 2/1000$ мм». Это происходит вследствие того, что даже для различных типов стекла, имеющих разные коэффициенты дисперсии, относительная дисперсия для всех длин волн стремится к постоянной величине.

● Использование флюорита для изготовления линз сверхвысокого качества

Флюорит (плавиковый шпат) – это материал, который позволяет преодолеть теоретический предел, налагаемый оптическим стеклом, и добиться практически идеальной коррекции хроматических aberrаций.

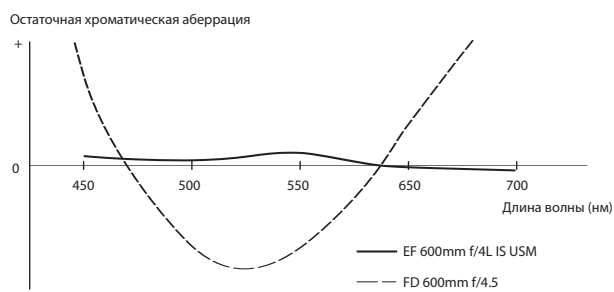
Оптическое стекло изготавливается из окиси кремния с примесью, например, лантана и оксида бария. В процессе изготовления эти вещества смешиваются в печи, сплавляются при высокой температуре 1300° – 1400°С и затем медленно охлаждаются.

Флюорит, с другой стороны, имеет кристаллическую структуру и обладает исключительными характеристиками, недоступными для оптического стекла – низким коэффициентом преломления и низкой дисперсией (рис. 23). Более того, дисперсионные характеристики флюорита почти совпадают с характеристиками оптического стекла при длинах волн в диапазоне от красного до зеленого света, но существенно отличаются для длин волн в диапазоне от зеленого до синего (такая характеристика называется необыкновенной парциальной дисперсией). Использование этих особых свойств позволяет значительно повысить качество изображения супертелеобъективов, как показано ниже.

① Полное исключение вторичного спектра

При объединении выпуклой флюоритовой линзы с вогнутой стеклянной линзой с большой дисперсией по правилам корректировки красных и синих длин волн необыкновенная парциальная дисперсия флюорита эффективно компенсирует также и зеленые длины волн, снижая вторичный спектр до исключительно низкого уровня и сводя все три длины волны (красную, зеленую и синюю) в одну фокусную точку, что делает возможной практически

Рис. 21. Вторичный спектр



идеальную компенсацию хроматической aberrации (апохроматическая характеристика), как показано на рис. 21.

② Улучшение качества изображения по всей площади изображения. Полная длина телеобъективов, в которых используется схема распределения оптической силы с передней собирающей и задней рассеивающей линзой, может быть меньше фокусного расстояния. Для достижения высокого уровня резкости по всему изображению от центра до краев для этого типа объективов желательно, чтобы коэффициент преломления передней собирающей группы линз был как можно меньше. Соответственно, при использовании флюорита с его низким коэффициентом преломления качество изображения эффективно повышается по всей площади изображения.

③ Уменьшение общей длины объектива

Для уменьшения общей длины телеобъектива желательно максимально увеличить совместную оптическую силу собирающей-рассеивающей конструкции.

Однако при использовании обычного оптического стекла повышение общей оптической силы затрудняет корректировку кривизны поля и ухудшает качество изображения. С другой стороны, низкий коэффициент преломления флюорита в условиях, сформулированных Петцвалем, позволяет достичь значительного снижения длины объектива, сохранив высокое качество изображения.

Хотя необыкновенные оптические свойства флюорита известны с 1800-х годов, мелкие размеры кристаллов природного флюорита позволяли использовать его только для изготовления первых линз микроскопов. Хотя разработчики объективов давно хотели использовать флюорит в фотографических объективах, в большинстве случаев было исключительно сложно или даже невозможно получить природные кристаллы, размер которых позволял бы применять их в объективе. Для решения этой проблемы компания Canon усердно трудилась над разработкой технологии изготовления искусственных кристаллов флюорита и, наконец, успешно внедрила реальную технологию производства флюорита (технология искусственного выращивания кристаллов фтористого кальция CaF_2) к концу 1960-х годов. Это один из примеров неугасающего стремления Canon к тому, чтобы, используя наши собственные способности, создавать все необходимое для достижения идеала. Искусственно выращенный кристаллический флюорит впервые был применен в фотографических объективах FL-F 300mm f/5.6 в 1969 году, и с тех пор он используется в объективах Canon FD, New FD, EF и многих

Фото 12. Кристаллы искусственного флюорита и флюоритовые линзы



Рис. 22. Сравнение коррекции хроматических aberrаций

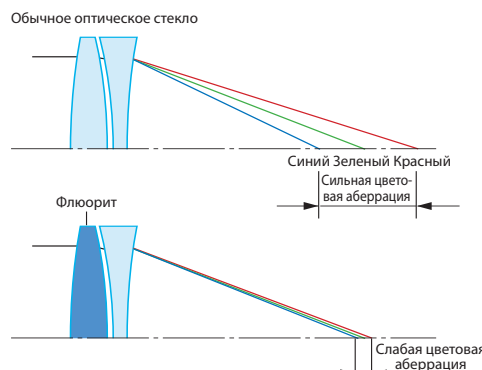


Рис. 23. Оптические характеристики оптического стекла и флюорита

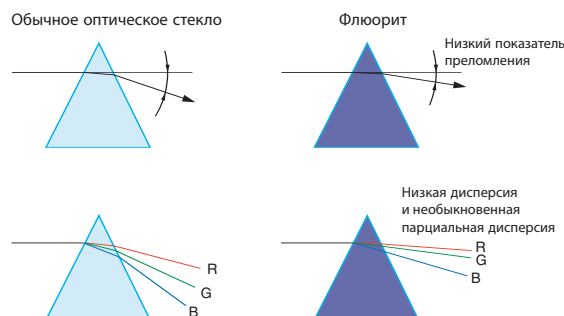


Фото 13. Объективы EF с оптимальным просветлением



других. Сегодня единственными сменными объективами для зеркальных камер, в которых используется флюорит, являются объективы EF.

Объективы UD

Использование флюорита для повышения качества супертелеобъективов стало общепризнанным, но еще осталась проблема, связанная с использованием флюорита в объективах других типов. Эта проблема состоит в чрезвычайно высокой стоимости процесса искусственного выращивания кристаллов флюорита. Вследствие этого разработчики объективов давно мечтали о специальном оптическом стекле, которое обладало бы свойствами флюорита, но стоило бы дешевле.

Это желание окончательно сбылось в последней половине 1970-х годов после разработки стекла UD (с ультра-низкой дисперсией). Коэффициент преломления и дисперсия стекла UD не такие низкие, как у флюорита, но все же значительно ниже, чем у остальных типов оптического стекла. Более того, стекло UD обладает необыкновенной парциальной дисперсией. Соответственно, стекло UD может дать почти такой же эффект, как и флюорит (две линзы UD эквивалентны одной флюоритовой), при правильном выборе сочетания линз и с учетом различных факторов, таких как фокусное расстояние.

Флюорит и/или стекло UD используются в различных объективах: EF 135mm f/2L USM и EF 600mm f/4L IS USM (группа телеобъективов и супертелеобъективов), а также EF 28-300mm f/3.5-5.6L IS USM, EF 70-200mm f/2.8L IS USM, EF 70-200mm f/4L IS USM, EF 70-200mm f/4L USM и EF 100-400mm f/4.5-5.6L IS USM (зум-телеобъективы). Кроме того, линзы из стекла UD используются в широкоугольных объективах EF 24mm f/1.4L USM, EF 16-35mm f/2.8L USM, EF 17-40mm f/4L USM и EF 24-70mm f/2.8L USM для исправления хроматических aberrаций. В 1993 году, после значительного повышения качества линз из обычного стекла UD, были разработаны линзы из улучшенного стекла «super UD», обеспечивающие почти такие же характеристики, как у флюорита, и использованные в объективе EF 400mm f/5.6L USM.

Быстрое развитие цифровой фотографии также привлекло внимание к исправлению хроматических aberrаций фотографических объективов. Для решения этой задачи в будущем линзы из флюорита, стекла UD и «super UD» будут использоваться даже в большем количестве объективов EF, от широкоугольных до супертелеобъективов.

3 Непревзойденная четкость, идеальная передача цвета, покрытие Super Spectra

Просветление линз – это технология формирования сверхтонкой прозрачной пленки вакуумным напылением на поверхности линзы. Причины нанесения покрытия на линзы:

- ① повышение коэффициента пропускания и минимизация бликов и паразитных изображений,
- ② достижение оптимального цветового баланса,
- ③ окисление («обжиг») поверхности линзы, которое эффективно для изменения или улучшения свойств линзы и улучшения защиты поверхности линзы.

Когда свет входит в объектив, около 4–10% света отражается на поверхности каждой линзы (на границе стекло-воздух), приводя к значительным световым потерям в объективах, состоящих из нескольких элементов. Кроме того, повторные

Рис. 24. Поверхностное отражение стекла без покрытия

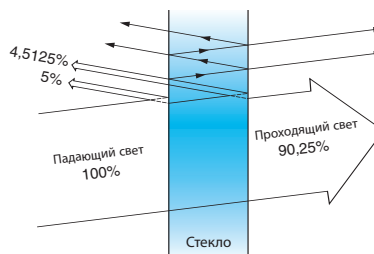


Рис. 25. Поглощение света и поверхностное отражение объектива

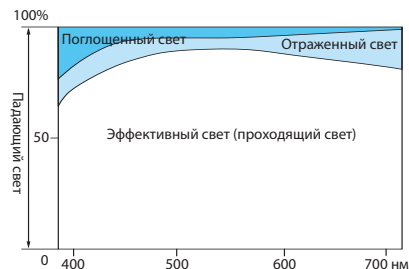
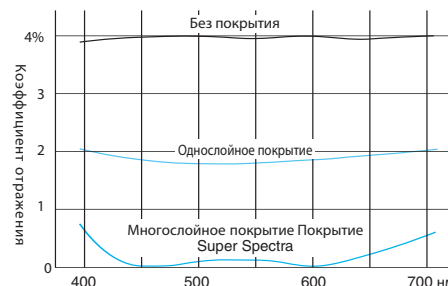


Рис. 26. Характеристики покрытия Super Spectra (коэффициент отражения)



отражения между поверхностями линз могут достигать фокальной плоскости и вызывать блики или паразитные изображения на фотографии. Эти вредные отражения можно заметно снизить в широком диапазоне длин волн, нанося на каждую поверхность линзы многослойное покрытие, состоящее из нескольких тонких пленок с различными коэффициентами преломления. В компании Canon используются несколько типов многослойных покрытий, которые оптимизированы в соответствии с коэффициентом преломления просветляемой линзы.

Кроме того, некоторые типы стекол, особенно стекла с высокими коэффициентами преломления, при изготовлении которых используются присадки, поглощают синий свет, что приводит к желтоватому оттенку формируемого изображения. Если на это желтоватое стекло нанесено такое же многослойное покрытие, как и на другие линзы, свет, проходя через линзу, желтеет и придает желтый оттенок изображения. Для нейтрализации этого эффекта на поверхности с незначительными бликами и отражениями наносятся однослойные покрытия соответствующего цвета, например желтого, красного, пурпурного и синего, для обеспечения

Рис. 27. Конструкция короткого зум-объектива (EF 28-80mm f/3.5-5.6 V USM)

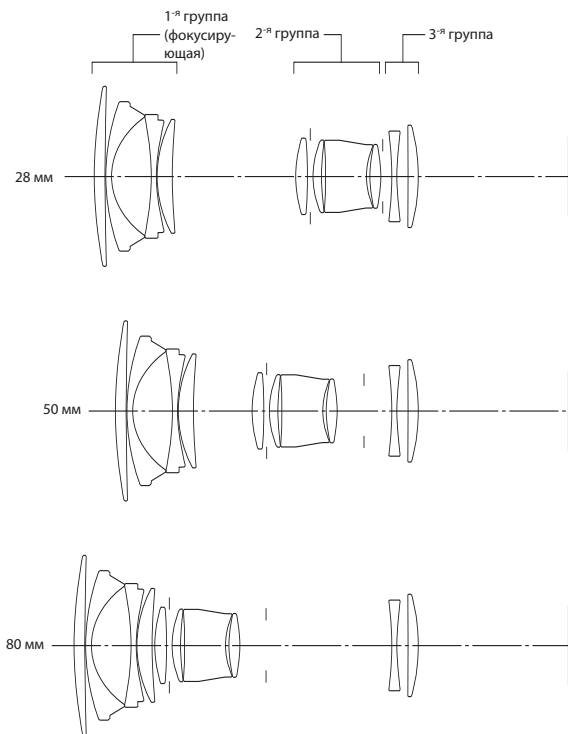
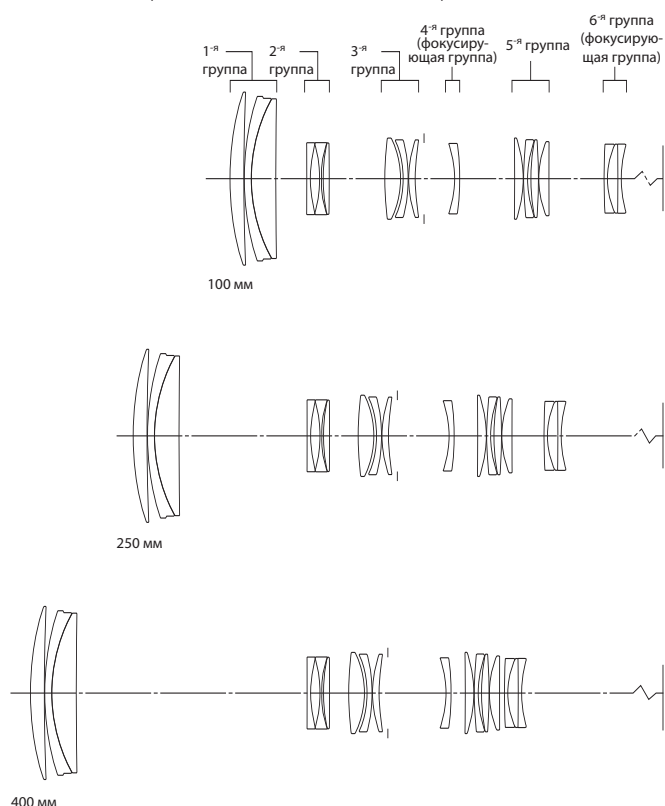


Рис. 28. Конструкция зум-объектива с несколькими группами (EF 100-400mm f/4.5-5.6L IS USM)



одинакового цветового баланса всех сменных объективов EF. Все объективы EF просветляются в соответствии с фирменными стандартами, более строгими, чем поле допуска CCI (индекс цветового вклада), установленное ISO (Международная организация по стандартизации). Этот процесс просветления называется в компании Canon покрытием Super Spectra и реализует такие возможности, как высокий коэффициент пропускания, фильтрация ультрафиолетовых лучей, долговечная поверхностная твердость и стабильность характеристик.

Благодаря этим строгим процедурам нанесения покрытий объективы EF отличаются превосходными характеристиками изображения, такими как

- ① резкость, высокая контрастность, яркость изображений;
- ② одинаковый цветовой баланс всех объективов EF;
- ③ правильное воспроизведение цвета, не изменяющееся со временем.

4 Рожденные инновациями: зум-объективы с несколькими группами

Зум-объективы позволяют непрерывно изменять фокусное расстояние в определенном диапазоне и поддерживать фокусировку во время зумирования. (Зум-объективы, в которых фокус изменяется при изменении фокусного расстояния, называются «объективами с переменным фокусом».) В зум-объективах часть системы перемещается вдоль оптической оси для изменения фокусного расстояния, а другая часть одновременно перемещается, компенсируя смещение фокуса.

Поэтому в зум-объективах должно быть не менее двух групп линз, которые можно перемещать вдоль оптической оси. На рис. 27 показана конструкция объектива EF 28-80mm f/3.5-5.6 V USM, типичного короткого зум-объектива с двумя перемещающимися группами (короткими называются зум-объективы длиной не более 40 мм в положении с минимальным фокусным расстоянием).

2-я группа называется «вариатором»; эта группа перемещается для изменения фокусного расстояния. 1-я группа на конце объектива перемещается одновременно со 2-й группой, компенсируя смещение фокуса, и поэтому называется «компенсатором». 2-я группа также служит для фокусировки путем

Фото 14.

Кулачковое кольцо для зумирования с высокой точностью (EF 100-400mm f/4.5-5.6L IS USM)

регулировки фокусной точки. В коротком положении зумирования 1-я группа обеспечивает отрицательное преломление (расхождение лучей), 2-я группа – положительное преломление (схождение), а весь объектив относится к типу конструкций с задним фокусом. Этот тип оптических схем особенно хорошо подходит для широкоугольных зум-объективов, так как обладает следующими характеристиками:

- ① Передняя линза имеет малый диаметр, упрощая получение



компактной и недорогой конструкции.

② В положении кратчайшего фокусного расстояния бочкообразная дисторсия невелика.

③ Конструкция с 1-й фокусирующей группой позволяет выполнять фокусировку вплоть до очень малых расстояний.

Этот тип конструкции, однако, представляет проблему: если коэффициент масштабирования короткого зум-объектива становится слишком большим, возрастает диапазон перемещения 2-й группы, тем самым увеличивая как длину объектива, так и максимальное изменение апертуры. При большом коэффициенте зумирования необходимо также увеличить преломляющую силу 2-й группы, а это, соответственно, увеличивает число линз, необходимых для компенсации аберраций, и общий размер объектива, поэтому весьма сложно достичь большого коэффициента зумирования при компактном размере объектива. Решение этой проблемы лежит в области разработки объективов с несколькими группами. Эта технология разработана для преодоления ограничений, присущих небольшим зум-объективам, и достижения большого коэффициента зумирования при малом размере объектива.

В коротких зум-объективах изменение фокусного расстояния (зумирование) выполняется одной только 2-й группой; в зум-объективах с несколькими группами эта задача распределяется между несколькими группами линз. Таким образом, зум-объектив с несколькими группами – это зум-объектив, содержащий три и более подвижных групп линз.

Схема зумирования с несколькими группами имеет следующие преимущества:

① Так как для изменения фокусного расстояния перемещается несколько групп линз, диапазон перемещения каждой группы линз можно сделать небольшим, что позволяет создать компактную конструкцию объектива. Более того, требуемые изменения апертуры можно выполнять без использования сложных механизмов диафрагм.

② Благодаря тому, что зумирование распределено между несколькими группами линз, каждая группа может иметь относительно слабое преломление, позволяя компенсировать аберрации с использованием сравнительно небольшого числа линз.

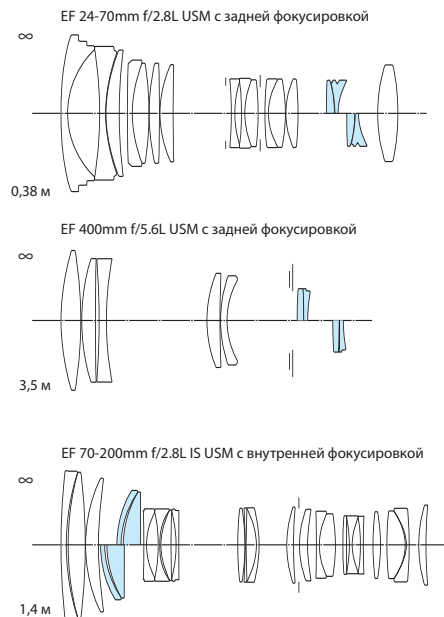
③ Так как используется несколько групп линз, возрастает степень свободы выбора оптической схемы и для компенсации аберраций можно использовать большее число вариантов, например разрабатывать группы линз, которые совместно нейтрализуют соответствующие аберрации (кросс-компенсация).

Технология зумирования с несколькими группами является оптической технологией высокого уровня, которая может отвечать широкому набору требований при проектировании объективов, но она возможна только при наличии технологий проектирования, обработки и производства улучшенных тубусов объективов, позволяющих выполнять совместное перемещение нескольких групп. В настоящее время в конструкциях объективов EF 28-90mm f/4-5.6 III, EF 24-85mm f/3.5-4.5 USM, EF 100-400mm f/4.5-5.6L IS USM и всех остальных зум-объективах EF используется технология зумирования с несколькими группами, обеспечивающая большой коэффициент зумирования, компактный размер и выдающееся качество фотографий одновременно.

5 Быстрая и плавная фокусировка: системы с задней и внутренней фокусировкой

Обычные фотографические объективы выполняют фокусировку методом фокусировки всеми группами, при котором все группы линз совместно перемещаются вдоль оптической оси, либо методом фокусировки передней группой, при котором

Рис. 29. Системы с задней и внутренней фокусировкой



перемещается только передняя группа линз. Метод фокусировки всеми группами имеет преимущество – относительно небольшое изменение аберраций при изменении расстояния съемки – и поэтому он наиболее часто используется в объективах с фиксированным фокусным расстоянием. В телеобъективах и супертелеобъективах, однако, этот метод менее пригоден, так как приводит к увеличению размера и веса объектива.

Фокусировка передней группой, с другой стороны, в основном используется в зум-объективах: преимущество этого метода состоит в том, что он приводит к относительно простой конструкции объектива. Однако этот метод имеет и недостатки, так как он сужает диапазон зумирования и ограничивает возможность сокращения размеров объектива. Для преодоления слабых мест этих двух методов компания Canon разработала идеальный метод фокусировки, который называется задней фокусировкой (или внутренней фокусировкой), для использования в телеобъективах и супертелеобъективах. В этом методе система объектива делится на несколько частей и для выполнения фокусировки перемещается задняя или средняя группа линз. Помимо телеобъективов и супертелеобъективов EF, в настоящее время задняя фокусировка используется в объективе EF 16-35mm f/2.8L USM и других зум-объективах. В методе задней фокусировки используется плавающий эффект, который также разрабатывался для использования в широкоугольных объективах, таких как EF 14mm f/2.8L USM, EF 20mm f/2.8 USM и EF 24mm f/2.8.

Кроме того, Canon также успешно использует заднюю фокусировку в зум-объективах.

Конструкция с задней/внутренней фокусировкой имеет следующие преимущества:

① Так как при фокусировке перемещается легкая группа линз, ручная фокусировка выполняется очень легко. Более того, возможна автофокусировка с высоким быстродействием.

② При фокусировке длина объектива не изменяется. Кроме того, можно разработать цельную конструкцию объектива с более высокой жесткостью.

- ③ Так как кольцо фокусировки можно поместить в положение, оптимальное для фокусировки, и благодаря тому что кольцо не перемещается туда и обратно во время фокусировки, удается достичь великолепной балансировки объектива.
- ④ Можно создать более компактную конструкцию объектива.
- ⑤ Можно сократить минимальное расстояние фокусировки, по сравнению с обычными методами фокусировки.
- ⑥ Так как при выполнении фокусировки кольцо крепления фильтра не вращается, повышается удобство работы с поляризационными фильтрами.
- ⑦ Так как при выполнении фокусировки передняя рамка не перемещается, в режиме автофокусировки можно использовать не только лепестковые козырьки с хорошей защитой, но также и такие аксессуары, как держатели желатиновых фильтров.
- В компании Canon объективы, в которых перемещаются группы линз, расположенные за диафрагмой (в направлении к поверхности пленки), называются объективами с задней фокусировкой, а объективы, в которых перемещаются группы, расположенные между диафрагмой и передней линзой, называются объективами с внутренней фокусировкой.

6 Значительное повышение качества изображения на малых расстояниях: плавающая система

Обычные объективы позволяют достичь оптимальной компенсации aberrаций только для одного или, возможно, двух расстояний до точки съемки в том диапазоне расстояний, который обычно используется при съемке с помощью данного объектива. Поэтому, хотя aberrации хорошо компенсируются при оптимальном расстоянии до объекта, при других расстояниях aberrации возрастают и ухудшают качество изображения. Степень этого ухудшения качества изображения зависит от типа

Рис. 30. Плавающая система объектива EF 24mm f/1.4L USM

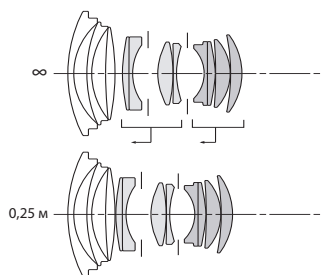


Рис. 31. Плавающий эффект (на расстоянии 0,25 м)

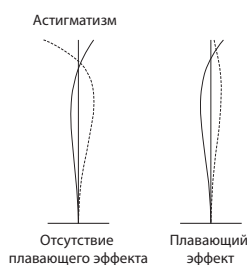


Рис. 32. Плавающая система объектива EF 85mm f/1.2L II USM

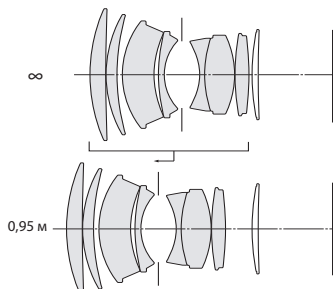
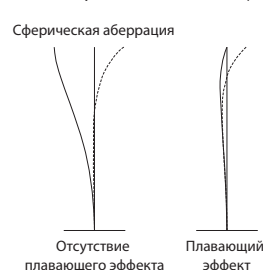


Рис. 33. Плавающий эффект (на расстоянии 0,95 м)



объектива и размера диафрагмы: ухудшение изображения относительно мало в симметричных объективах, но относительно велико в несимметричных объективах, таких как объективы с задним фокусом. В объективах с задним фокусом, в частности, aberrации возрастают при уменьшении фокусного расстояния и при увеличении диафрагмы. В широкоугольных сменных объективах для зеркальных камер (в большинстве которых обязательно используется конструкция с обратным фокусом вследствие необходимости использования заднего фокуса) aberrации малы при фокусировке на большие расстояния, но кривизна поля становится значительно более выраженной на малых расстояниях фокусировки, приводя к расфокусировке по краям изображения или к расфокусировке центра при настройке резкости по краям изображения.

Для обеспечения идеальной коррекции aberrаций во всем диапазоне расстояний фокусировки компания Canon разработала плавающую систему, в которой та часть объектива, которая используется для корректировки aberrаций, перемещается («плавает») при регулировке фокуса. Эта система работает в объективе EF 24mm f/1.4L USM и других широкоугольных объективах с большой апертурой, а также в объективе EF 180mm f/3.5L Macro USM для улучшения качества при малых расстояниях. Компания Canon также разработала метод добавления плавающего эффекта в объективы с задней фокусировкой. Например, в объективе EF 14mm f/2.8L USM система объектива разделена на переднюю и заднюю группы, и для фокусировки используется только задняя группа. Если рассматривать систему объектива в целом, это перемещение задней группы для фокусировки изменяет расстояние между линзами в соответствии с расстоянием съемки и, тем самым, создает плавающий эффект. Так как оптика объектива разрабатывалась с самого начала с учетом этого плавающего эффекта, обеспечивается высокая степень коррекции aberrаций при съемке с близких расстояний. Другое применение плавающего эффекта состоит в предотвращении сферической aberrации, которая значительно возрастает при съемке на малых расстояниях с помощью объективов с большой апертурой. Это является основной причиной использования плавающей системы в таких объективах, как EF 50mm f/1.2L USM, EF 85mm f/1.2L II USM и EF-S 60mm f/2.8 Macro USM. Плавающая система этих объективов отличается от плавающей системы широкоугольных объективов, где задняя группа линз остается неподвижной, а оставшаяся часть объектива раздвигается при фокусировке. Эта схема позволяет добиться почти полного отсутствия бликов и высокого качества изображения на всех расстояниях съемки.

7 Максимально возможное качество объектива: исключение внутренних отражений

Паразитные изображения и блики вызываются вредными отражениями света внутри объектива, нанося ущерб качеству изображения. Поэтому при проектировании объективов EF исключаются отражения, как от линз, так и от тубуса. На каждую линзу наносится специальное покрытие, которое предотвращает появление вредных отражений света путем подавления поверхностного отражения линзы. Отражение в тубусе объектива снижается выбором наилучшего метода просветления для каждой линзы в списке различных методов, перечисленных на следующей странице.

Рис. 34. Флокирование деталей для исключения внутренних отражений в объективе EF 300mm f/2.8L IS USM

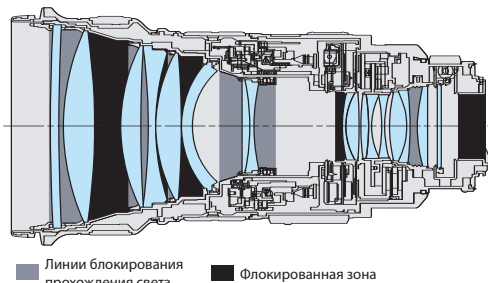


Рис. 35. Перемещаемая диафрагма для отсекаания бликов в объективе EF 28-135mm f/3.5-5.6 IS USM
Диафрагма для отсекаания бликов

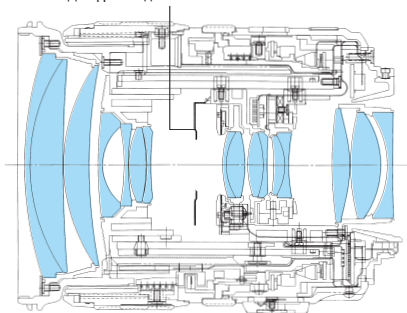
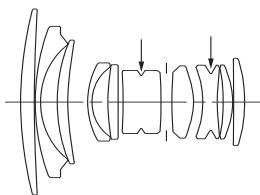


Фото 15. Процесс осаждения в объективе EF 300mm f/4L IS USM



Рис. 36. Внутренние насечки, блокирующие прохождение света в объективе EF 24mm f/2.8



① Методы антиотражающего покрытия

В этом методе специальная краска наносится на угловые поверхности и соединительные поверхности в местах крепления линз, а не на весь тубус объектива, для остановки света, входящего в объектив в результате отражения от этих частей. При использовании стандартного покрытия отражения фактически возрастают вследствие большого размера частиц красителя и того факта, что покрытие имеет более низкий коэффициент преломления, чем стекло. Поэтому компания Canon разработала несколько типов специальных антиотражающих покрытий, имеющих более высокий коэффициент преломления и микроскопические размеры частиц красителя, и могут использоваться в соответствии с местом и целью, обеспечивая превосходный антиотражающий эффект.

② Метод электростатического осаждения

В этом методе используется технология электростатического осаждения для прямого нанесения микроскопических ворсинок на поверхности, требующие антиотражающего покрытия. Так как ворсинки встают перпендикулярно поверхностям стенки, этот метод очень эффективен, особенно для покрытия длинных секций тубуса телеобъективов и супертелеобъективов с постоянным фокусным расстоянием, а также зум-объективов и

внутренних бленд.

③ Методы антиотражающих элементов конструкции

В дополнение к методам специального покрытия и нанесения ворсинок для предотвращения внутренних отражений можно также использовать различные конструктивные элементы, например блокирующие прохождение света насечки и острые края для уменьшения площади отражающей поверхности (рис. 34 и 35), блокирующие прохождение света бороздки на широких боковых краях линз (бороздки заполняются антиотражающим материалом и действуют в качестве постоянной диафрагмы: рис. 36), фиксированные и перемещаемые диафрагмы (в зум-объективах), которые играют вторую роль устройств для устранения бликов. Эти меры также распространяются на лепестки диафрагм: поверхности лепестков диафрагмы в блоке EMD (изготовленных из пластмассы или металла) обрабатываются специальным антиотражающим покрытием, которое также играет роль смазки, для предотвращения возникновения паразитных изображений в форме максимальной апертуры.

8

Ключевые элементы бесшумной, быстрой и плавной автофокусировки: Система с полностью электронным креплением и двигателем привода, встроенным в объектив

Полностью электронная система крепления и система привода, встроенная в объектив, – это ответ компании Canon на проблемы, присущие системам привода, встроенным в корпус фотокамеры, а также ключевой пункт при реализации бесшумной, плавной и быстрой автофокусировки с высокой точностью, которая принесла известность системе EOS. Эта система представляет правильную реализацию концепции Canon по разработке фотоаппаратов с использованием мехатроники, суть которой – «размещение привода вблизи соответствующего перемещаемого блока и полностью электронное управление всеми операциями передачи данных и сигналов управления». Эта исключительно рациональная и логичная система обладает следующими преимуществами над обычными системами.

● Функции

① Так как каждый объектив EF можно оснастить оптимальным приводом, соответствующим определенным характеристикам автофокусировки, то можно создать высокоскоростной привод объектива без перегрузок для всего диапазона объективов: от объектива «рыбий глаз» до супертелеобъектива. Преимущество этой системы над системами привода, встроенного в корпус, возрастает по мере удаления перемещаемого блока от корпуса камеры в длинных супертелеобъективах, что позволяет компании Canon встраивать автофокусировку во все супертелеобъективы, включая EF 600mm f/4L IS USM.

② Так как привод находится рядом с перемещаемым блоком, то энергия привода передается эффективно, с минимальными потерями и шумами.

③ Использование электронной системы крепления предоставляет разработчикам объективов широкий выбор типов приводов.

④ Система позволяет с легкостью встраивать новые высокопроизводительные приводы по мере их разработки, обеспечивая замечательный потенциал для усовершенствования в будущем.

В настоящее время Canon использует пять типов приводов, выбирая лучший тип в соответствии с характеристиками объективов.

● Кольцевой USM

● Micro USM

- AFD (Привод дуговой формы: круговая деформация бесщеточного двигателя)
- Микродвигатель постоянного тока общего назначения без сердечника
- Микродвигатель постоянного тока общего назначения с сердечником

К другому типу приводов, используемых в объективах EF, относится EMD (электромагнитная диафрагма), в которой объединен шаговый двигатель деформации управляемой диафрагмы и блок лепестковой диафрагмы. Подробные сведения см. на стр. 182.

9 В согласии с системой EOS: усовершенствованный ультразвуковой двигатель

USM (ультразвуковой двигатель) – это новый тип двигателей, впервые примененный в фотографических объективах Canon EF. Кольцевой USM, дебютировавший в 1987 году в объективе EF 300mm f/2.8L USM, поразил мир своей беззвучной и сверхскоростной автофокусировкой. Затем, в 1990 году, компания Canon внедрила новую технологию серийного производства на основе усовершенствованного кольцевого USM для использования в объективах массового спроса. В 1992 году последовала успешная разработка Micro USM, нового типа USM, позволяющего использовать методы автоматизированного производства, а в 2002 году был разработан сверхкомпактный Micro USM II, вдвое короче Micro USM. С таким арсеналом USM недалек тот день, когда Canon реализует свою мечту: использовать USM во всех объективах EF.

■ Описание кольцевого USM

Существует множество различных типов и конструкций обычных двигателей; в их основе лежит преобразование электромагнитных сил в крутящий момент. Ультразвуковые двигатели, с другой стороны, используют абсолютно новый принцип, когда сила вращения формируется из энергии

ультразвуковых колебаний. В настоящее время известны три типа USM, включая USM, находящиеся в стадии исследования и разработки, классифицируемые по способу преобразования энергии колебаний в крутящий момент: стоячая волна, бегущая волна и вибрирующий язычок. По этой классификации все USM, используемые в объективах Canon, относятся к типу бегущей волны. Базовая конструкция двигателя очень простая, она состоит из эластичного статора и вращающегося ротора. Нижняя часть статора состоит из эластичного металлического кольца с прикрепленным к нему пьезоэлектрическим керамическим элементом, а верхняя часть состоит из множества равноотстоящих выступов с поперечным сечением трапецевидной формы. Статор изготовлен из особого материала с коэффициентом теплового расширения, близким к коэффициенту теплового расширения пьезоэлектрического керамического элемента, что минимизирует искривления кольца, возникающие при изменении температуры. Этим обеспечивается стабильная работа в широком диапазоне температур. Ротор представляет собой алюминиевое кольцо с пружиной в форме фланца в месте контакта со статором, поэтому ротор прижат к статору. Так как алюминий – довольно мягкий материал, в месте контакта ротора со статором поверхность покрыта особым износостойким материалом.

■ Возможности кольцевого USM

Основные возможности ультразвуковых двигателей состоят в следующем:

- ① Можно легко реализовать выходные характеристики с низкой скоростью и высоким крутящим моментом (USM может генерировать большее количество энергии на более низких скоростях, чем обычный двигатель, который вращается электромагнитной силой), что позволяет выполнять прямое перемещение без использования понижающей зубчатой передачи.
- ② Большой момент вращения удержания. Другими словами, когда двигатель останавливается, объектив автоматически удерживается на месте тормозом диска.

Рис. 37. Различные приводы двигателей

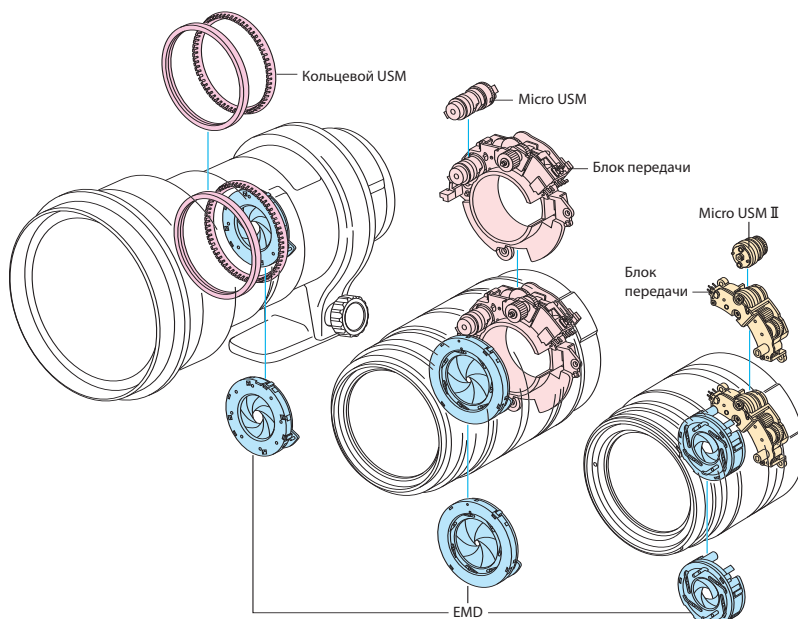
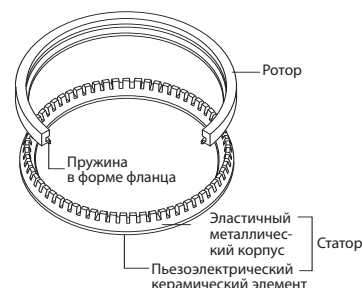


Рис. 38. Объектив EF 28-135mm f/3.5-5.6 IS USM, показывающий USM



Рис. 39. Конструкция кольцевого USM



- ③ Конструкция предельно проста.
 - ④ Хорошая управляемость и реакция при запуске и отстановке. (Возможен быстрый запуск и остановка, точное управление.)
 - ⑤ Предельно тихая работа (практически бесшумная). В добавление к вышесказанному кольцевые USM компании Canon обладают также следующими возможностями:
 - ⑥ Высокая эффективность и низкое энергопотребление позволяют приводить USM в действие от элементов питания фотокамеры.
 - ⑦ Кольцевая форма двигателя является оптимальной для встраивания в тубус объектива.
 - ⑧ Низкая скорость вращения оптимально подходит для привода объектива.
 - ⑨ Возможно непрерывное изменение скорости вращения в широком диапазоне от 0,2 об/мин (один оборот за пять минут) до 80 об/мин, что обеспечивает высокую точность и высокую скорость управления приводом объектива.
 - ⑩ Стабильность работы достигается в самых жестких условиях, при использовании в широком диапазоне температур от -30°C до $+60^{\circ}\text{C}$.
- Для любого двигателя система управления двигателем привода является важной подсистемой, необходимой для полного достижения конкретных характеристик двигателя. Это верно и для ультразвуковых двигателей. В объективах Canon USM такие функции, как обнаружение ультразвукового резонанса при изменении температуры, генерация двух напряжений переменного тока с разными фазами, управление запуском и остановкой, электронное регулирование скорости ручной фокусировки, управляются микрокомпьютером, встроенным в объектив.

Фото 16. Кольцевой USM



■ Принцип вращения кольцевого USM

Принцип действия кольцевого USM состоит в следующем: вибрация воздействует на эластичное тело, называемое статором, в результате чего в статоре возникают вибрации. Эта энергия колебаний через плотный контакт между ротором и статором вызывает непрерывное вращение ротора. Говоря более технически, сила трения, порожденная бегущей волной изгиба в статоре, является источником силы вращения. Рис. 40 иллюстрирует способ передачи силы бегущих волн изгиба, сформированных в статоре, на ротор. Если рассмотреть движение конца штырька P при распространении волны слева направо, видно, что он движется в направлении, противоположном движению волны. Ротор сдвигается под действием силы трения в каждой точке P, таким образом

выполняя рабочий цикл. Как показано на рис. 41 и 42, бегущие волны изгиба формируются с помощью пьезоэлектрического керамического элемента (элемент, который расширяется и сжимается под действием переменного напряжения), который прикреплен к основанию статора и управляется электронной схемой. Этот пьезоэлектрический керамический элемент попеременно поляризуется в направлении толщины, к нему прикладывается напряжение переменного тока с частотой, близкой к резонансной частоте колебаний изгиба и приблизительно равной 30 000 Гц (эта частота находится в ультразвуковом диапазоне, откуда и произошло название USM). Прикладываемое напряжение порождает колебания в статоре (с амплитудой всего лишь около 0,001 мм), которые объединяются со сдвинутыми по фазе колебаниями, создаваемыми другим пьезоэлектрическим элементом, прикрепленным к основанию статора в другом месте, смещенном на одну четвертую часть периода. Эта порождает волну – бегущую волну изгиба (7 колебаний волны за цикл), движущуюся вдоль статора, которая и является источником энергии вращения двигателя.

■ Описание и возможности Micro USM

Кольцевой USM является ультразвуковым двигателем, который с самого начала разрабатывался для встраивания в объективы с крупным тубусом. Micro USM, напротив, является новым двигателем, который разрабатывался как «многоцелевой миниатюрный ультразвуковой двигатель». Micro USM обладает следующими возможностями:

- Так как отсутствует ограничение, связанное с диаметром объектива, Micro USM можно встраивать в различные объективы, независимо от конструкции оптической системы.
- Статор, ротор и выходная зубчатая передача встроены в единый компактный блок, размер и вес которого

Рис. 40. Вращение ротора под действием распространения волн изгиба

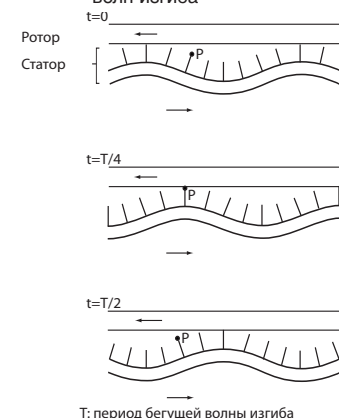
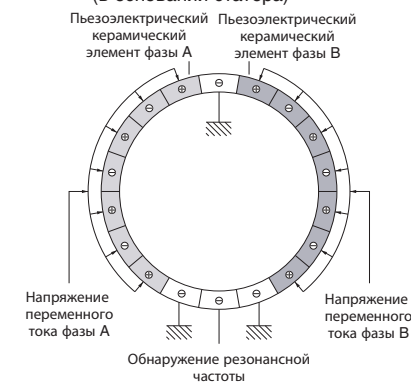


Рис. 41. Колебания, создаваемые пьезоэлектрическими керамическими элементами



Рис. 42. Схема расположения пьезоэлектрических керамических элементов (в основании статора)



Шестнадцать технологий, используемых в объективах EF высокого качества

Фото 17. Micro USM (слева) Micro USM II (справа)



приблизительно вдвое меньше кольцевого USM.

● Поскольку его цена меньше цены кольцевого USM, его можно использовать в недорогих объективах.

Основная конструкция Micro USM

Как показано на рис. 43, Micro USM имеет совмещенную конструкцию, в которой пьезоэлектрический элемент, статор и ротор соединены вертикально и объединены с выходной зубчатой передачей в одном компактном блоке. Статор состоит из 5 слоев пьезоэлектрических элементов, причем сверху и снизу от каждого слоя проложены диски металлических

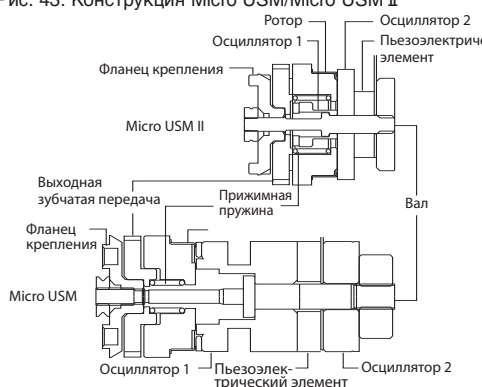


Рис. 44. Характеристики пьезоэлектрического элемента

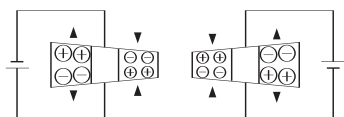
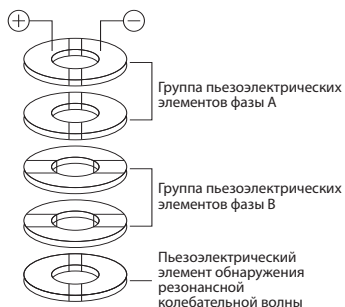


Рис. 45. Конструкция пьезоэлектрического элемента Micro USM



вибраторов. В целом блок статора работает как эластичный цилиндрический стержень.

Ротор, который объединен с корпусом пружины, прижимается к статору под давлением пружин, встроенных во внутренний цилиндр корпуса пружины. Вращение ротора передается прямо на выходную зубчатую передачу с передаточным соотношением 1:1. Различные компоненты двигателя – статор, ротор и выходная зубчатая передача – объединены в единый блок Micro USM с помощью вала статора, который проходит через центр всех компонентов, и фланца сверху, который удерживает их вместе. Двигатель встраивается в объектив, как показано на рис. 37.

Принцип действия Micro USM

Ультразвуковые вибрации, являющиеся источником энергии вращения, создаются с помощью электронной цепи для движения четырех слоев пьезоэлектрических элементов, которые имеют характеристики, показанные на рис. 44. Каждый из четырех пьезоэлектрических слоев состоит из двух пьезоэлектрических элементов, разделенных на две фазы, фазу А и фазу В, которые сдвинуты друг относительно друга на 90°. В самом основании пакета находится пятый слой пьезоэлектрических элементов, который используется для обнаружения волны резонансного колебания (рис. 45).

Рис. 46. Принцип вибрации статора Micro USM

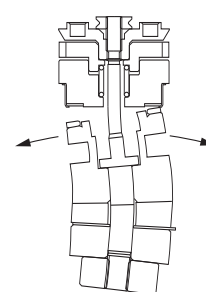


Рис. 47. Принцип вращения ротора привода Micro USM

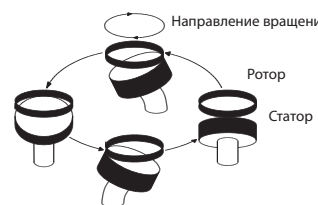


Таблица 2. Типы USM и оснащенные ими объективы

Позиция	Micro USM	Micro USM II	Кольцевой USM (типа MI)		Кольцевой USM (типа LI)
Соответствующие объективы	EF 50mm f/1.4 USM	EF 28-105mm f/4-5.6 USM	EF 14mm f/2.8L USM	EF 16-35mm f/2.8L USM	EF 85mm f/1.2L II USM
	EF 28-90mm f/4-5.6 II USM	EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 II USM	EF 20mm f/2.8 USM	EF 17-40mm f/4L USM	EF 300mm f/2.8L IS USM
	EF 28-200mm f/3.5-5.6 USM		EF 24mm f/1.4L USM	EF 20-35mm f/3.5-4.5 USM	EF 400mm f/2.8L IS USM
	EF 55-200mm f/4.5-5.6 II USM		EF 28mm f/1.8 USM	EF 24-70mm f/2.8L USM	EF 500mm f/4L IS USM
	EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM		EF 35mm f/1.4L USM	EF 24-85mm f/4-5.6 USM	EF 600mm f/4L IS USM
	EF 75-300mm f/4.5-5.6 III USM		EF 50mm f/1.2L USM	EF 24-105mm f/4L IS USM	
	EF 90-300mm f/4.5-5.6 USM		EF 85mm f/1.8 USM	EF 28-105mm f/3.5-4.5 II USM	
			EF 100mm f/2 USM	EF 28-135mm f/3.5-5.6 IS USM	
			EF 100mm f/2.8 Macro USM	EF 28-300mm f/3.5-5.6L IS USM	
			EF 135mm f/2L USM	EF 70-200mm f/2.8L IS USM	
Наружный диаметр (мм)			EF 180mm f/3.5L Macro USM	EF 70-200mm f/2.8L USM	
			EF 200mm f/2.8L II USM	EF 70-200mm f/4L IS USM	
			EF 300mm f/4L IS USM	EF 70-200mm f/4L USM	
			EF 400mm f/4 DO IS USM	EF 70-300mm f/4.5-5.6 DO IS USM	
			EF 400mm f/5.6L USM	EF 100-300mm f/4.5-5.6 USM	
			EF-S 60mm f/2.8 Macro USM	EF 100-400mm f/4.5-5.6L IS USM	
				EF-S 10-22mm f/3.5-4.5 USM	
				EF-S 17-55mm f/2.8 IS USM	
				EF-S 17-85mm f/4-5.6 IS USM	
Длина (мм)	26,7	13,4	10	10	45
Масса (г)	11	6	26	26	45

Эти пять слоев встроены в основание статора. Если напряжение переменного тока прикладывается только к фазе А группы пьезоэлектрических элементов, то расширение и сжатие пьезоэлектрических элементов вызывает небольшие колебания верхней части статора влево-вправо (рис. 46). Если напряжение переменного тока прикладывается к фазе В, то расширение и сжатие пьезоэлектрических элементов вызывает небольшие колебания верхней части статора вперед-назад. Наконец, если приложить к фазе А и к фазе В переменный ток со сдвигом на 90° по фазе, то сумма колебаний обеих фаз порождает небольшую волну вращения (1 колебание за цикл с амплитудой 0,002 мм), которая вызывает небольшое круговое движение верхней части статора, как показано на рис. 47. В свою очередь, ротор, который прижат к статору благодаря дополнительной энергии пружины, также начнет вращаться из-за силы трения, порождаемой волной вращения. Вращение ротора, в свою очередь, вызывает вращение прикрепленной прямо к нему выходной зубчатой передачи. В Micro USM сохраняется принцип действия кольцевого USM, в котором фрикционные колебания, порожденные сформированными в статоре бегущими волнами изгиба, причем ротор вращается в направлении, противоположном направлению движения волн.

■ Micro USM II

Micro USM II – ультракомпактный ультразвуковой двигатель, разработанный в качестве привода автофокусировки для встраивания в еще меньшее пространство, обусловленное уменьшением размеров тубусов объективов. Он обладает следующими возможностями.

В обычных Micro USM статор и ротор расположены последовательно. Если просто сократить длину блока без изменения порядка, то резонансная частота колебаний изгиба в статоре становится слишком высокой, не позволяя достичь достаточной амплитуды колебания. Для разрешения этой проблемы часть статора была расположена внутри ротора, а также был разработан абсолютно новый формат колебаний для Micro USM II, что позволило сократить длину блока, не повышая резонансной частоты. В результате был разработан ультракомпактный блок приблизительно вдвое короче и легче двигателя Micro USM, но с почти такими же характеристиками. Привод Micro USM II был впервые установлен в объектив EF 28-105mm f/4-5.6 USM, и разрабатываются планы расширения его использования и в других объективах, в основном, в ультракомпактных зум-объективах.

10 Непревзойденная точность цифрового электронного управления: EMD

Каждый объектив EF содержит EMD (электромагнитную диафрагму), которая электронным способом управляет диаметром апертуры объектива и предназначена для использования с полностью электронной системой крепления и передачи данных EOS. EMD – это привод управления движением диафрагмы, имеющий удобную форму для круглых тубусов объективов и объединяющий шаговый двигатель деформации и лепестковую диафрагму в одном блоке. (Фото 18.)

Управление диаметром диафрагмы выполняется импульсным электрическим сигналом, в соответствии со значением,

Фото 18. Блок EMD



Рис. 48. Конструкция EMD

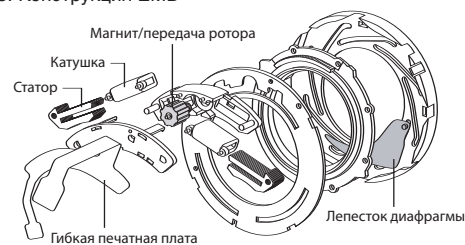
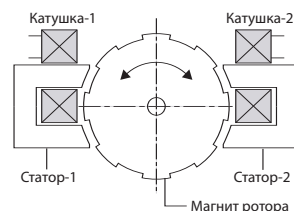


Рис. 49. Конструкция шагового двигателя



которое установлено вручную с помощью электронного диска камеры, или автоматически определено ее микрокомпьютером.

Особенности EMD состоят в следующем:

- ① Так как управление выполняется электронным способом, точность управления значительно повышается.
- ② Достигается высокая скорость реакции при запуске и остановке, так как перемещение выполняется шаговым двигателем.
- ③ Работает почти бесшумно, так как исключены удары, присущие рычажным механизмам.
- ④ Диафрагму можно полностью закрыть для проверки глубины резкости простым нажатием кнопки в любой момент независимо от того, какой режим управления экспозицией установлен в камере – автоматический или ручной.
- ⑤ Реализуется максимальная долговечность и надежность благодаря уменьшению нагрузок во время перемещения.
- ⑥ При увеличении мощности двигателя система может работать с диафрагмами большого диаметра.
- ⑦ Отсутствие механической связи с корпусом камеры предоставляет большую свободу при выборе компоновки диафрагмы.

В действующей конструкции EMD (рис. 48) используется шаговый двигатель и шестеренка для управления вращением кольца, сцепленного с лепестками диафрагмы. В шаговом двигателе деформации, который является источником движения, используются силы отталкивания и притяжения магнитов, прикрепленных к статору и ротору, которые расположены, как показано на рис. 49, для поворота ротора на один шаг при каждом электрическом импульсе. Когда сигнал управления диафрагмой поступает из фотокамеры в объектив, микрокомпьютер, встроенный в объектив, преобразует сигнал в соответствующее число импульсов и осуществляет цифровое управление для точной установки требуемого диаметра диафрагмы. Таким образом, управление диафрагмой в объективах EF, оснащенных EMD, полностью осуществляется внутри самого объектива после получения электрического управляющего сигнала от камеры. Преимущества этой системы учитывают бурное развитие в будущем и уже позволили компании Canon разработать первые в мире объективы с наклоном и сдвигом (объективы TS-E), оборудованные автоматической диафрагмой, а также использовать объективы EF в другом оборудовании, таком как видеокамера Canon XL2 со сменными объективами. В последних моделях EMD используется диафрагма, у которой форма лепестков оптимизирована для достижения наилучшего эффекта размытия.

11 Объединение автофокусировки и постоянной ручной фокусировки

Система EOS была построена для обеспечения полностью автоматической съемки, но одновременно она оставляет в руках фотографа возможность окончательного управления всеми элементами, которые определяют его представления об изображении. Она создана на основе фундаментальной концепции, которая состоит в том, чтобы выполнять автоматизацию в соответствии с пожеланиями фотографа. Эта концепция отражается также и на работе объективов EF: функция постоянной ручной фокусировки позволяет выполнять окончательную регулировку фокуса после автоматической фокусировки.

● Постоянная механическая ручная фокусировка

Эта функция позволяет фотографу выполнять ручную фокусировку объектива сразу после завершения работы автофокусировки одного кадра, не переводя переключатель

режима фокусировки в положение ручной фокусировки. В объективе EF 85mm f/1.2L USM и других ранних моделях EF для постоянной ручной фокусировки изначально использовался метод электронной фокусировки, но сегодня почти во всех объективах с USM, таких как EF 24-85mm f/3.5-4.5 USM, EF 16-35mm f/2.8L USM и EF 300mm f/2.8L IS USM, используется механическая система, оснащенная кольцом ручной фокусировки и шкалой расстояний.

Этот механизм постоянной механической ручной фокусировки относится к типу дифференциальных механизмов, содержащих три кольца и ролик, встроенный в одно из колец. Описание конструкции приведено ниже.

Кольцо 1 поворачивается вокруг оптической оси с помощью USM, кольцо 2 поворачивается вокруг оптической оси вручную. Ролик располагается между кольцами 1 и 2, и его ось вращения закреплена на выходном кольце.

Вращение кольца 1 или 2 в режиме автофокусировки или ручной фокусировки приводит к движению ролика вокруг оптической оси, вызванному вращением любого из колец. Так как ось вращения ролика закреплена на выходном кольце, движение ролика, в свою очередь, приводит к вращению выходного кольца, заставляя выходное кольцо поворачиваться вокруг оптической оси. Вращение выходного кольца передается на геликоид или кулачковый механизм, перемещая фокусирующую группу.

Постоянная ручная фокусировка также реализована в объективе EF 50mm f/1.4 USM, который оснащен Micro USM, благодаря дифференциальному механизму, встроенному в блок передачи.

Фото 19. Блок фокусировки, содержащий механизм постоянной механической ручной фокусировки



Рис. 50. Механизм передачи выходной мощности

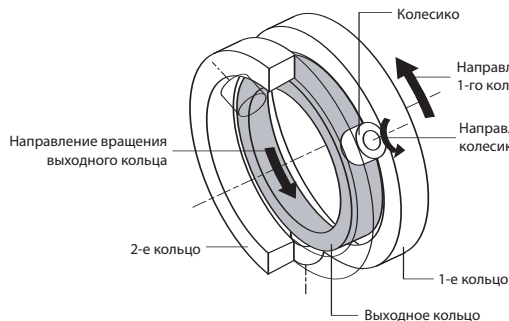
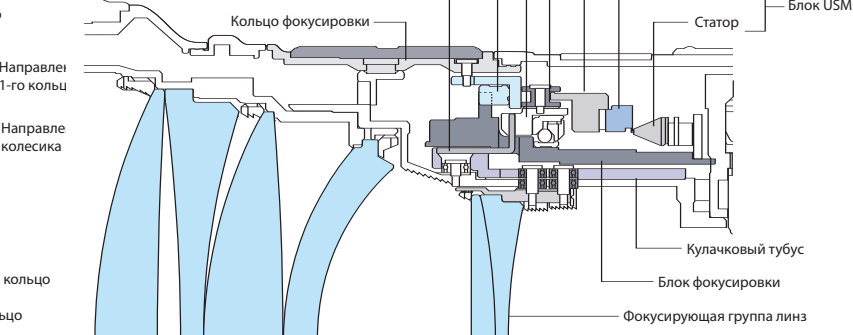


Рис. 51. Механизм ручной фокусировки



12 Управляемая микрокомпьютером электронная предварительная фокусировка

Рис. 52. Съемка с предварительной фокусировкой

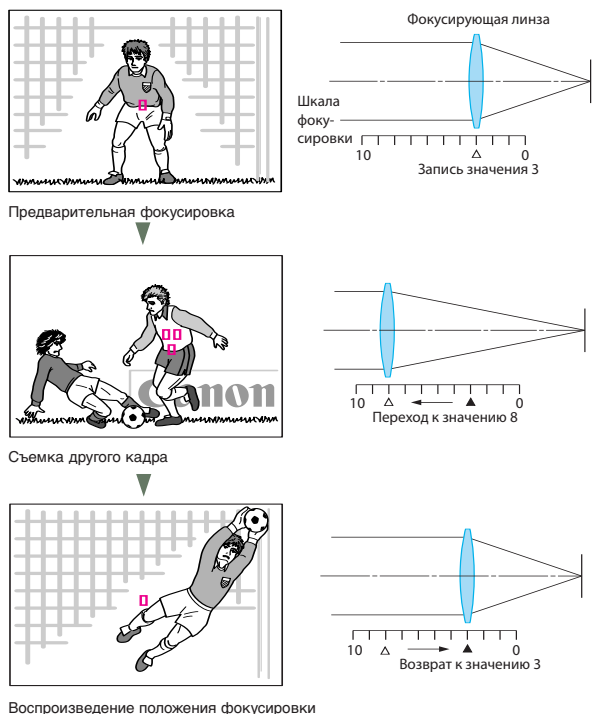


Фото 20. Блок управления предварительной фокусировкой объектива EF 300mm f/2.8L IS USM



Предварительная установка фокуса – это функция, представленная в настоящее время в четырех супертелеобъективах (EF 300mm f/2.8L IS USM, EF 400mm f/2.8L IS USM, EF 500mm f/4L IS USM и EF 600mm f/4L IS USM), которая электронным способом запоминает положение произвольно выбранного фокуса и позволяет фотографу при необходимости мгновенно установить объектив в это положение фокуса. При

нажатии переключателя предварительной установки на панели переключателей микрокомпьютер, встроенный в объектив, запоминает текущее положение фокусировки объектива. На этом этапе можно выполнять автофокусировку, как обычно. Затем, в любой необходимый момент, при повороте кольца воспроизведения объектив переходит в сохраненное в памяти положение фокусировки за 0,5 секунды. Эту функцию можно эффективно использовать в следующих ситуациях:

① Частая фотосъемка с определенного фиксированного расстояния

Предварительная установка фокуса удобна при съемке спортивных соревнований, когда большинство фотографий снимается с определенного расстояния, а обычная автофокусировка используется время от времени, или наоборот, когда чаще всего используется обычная автофокусировка, но иногда требуется снять фотографию с определенного фиксированного расстояния. Выполнив предварительную установку фокуса, не требуется изменять фокусировку объектива в это положение для каждого снимка. Более того, благодаря тому что микрокомпьютер объектива запомнил положение фокуса, восстановление предварительно установленной фокусировки можно выполнять даже в том случае, когда объект не попадает в рамку автофокусировки видоискателя.

② Запоминание «бесконечности»

При частой съемке фотографий на расстоянии съемки «бесконечность» удобно можно значительно повысить, используя для фокусировки объектива для каждого снимка функцию предварительной установки фокуса, а не ручную или автоматическую фокусировку. (Вследствие колебаний температуры положение бесконечности супертелеобъективов устанавливается с некоторым отклонением или «дрейфом». Поэтому положение фокуса, установленное при повороте кольца ручной фокусировки до упора в направлении бесконечности, в действительности не соответствует бесконечности.)

③ Минимизация потерь времени, вызванных неправильной автофокусировкой

Во время автофокусировки AI Servo объектив может значительно отклоняться от фокуса, если на пути между объективом и объектом появляется препятствие. Установив положение предварительной фокусировки на расстояние, которое обычно занимает главный объект, можно использовать кольцо воспроизведения в любой момент для быстрого восстановления фокуса объектива на обычное расстояние до объекта, минимизируя затраты времени на перефокусировку.

13 Функция остановки автофокусировки: временное отключение автофокусировки

Функция остановки автофокусировки применяется в объективе EF 300mm f/2.8L IS USM и других супертелеобъективах типа L серии IS с большой апертурой.

Она позволяет фотографу временно отключить автофокусировку, когда при автофокусировке в режиме AI Servo между камерой и объектом проходит препятствие, поэтому объект останется в фокусе и не произойдет переключение фокуса с объекта на препятствие. Кнопки остановки автофокусировки находятся в четырех положениях вокруг кольца в передней части объектива, которое используется для удержания объектива при съемке с руки. При нажатии на кнопку AF Stop автофокусировка временно отключается, а при отпускании – вновь включается.

14

Превосходные пылезащитные и каплезащитные конструкции выдерживают даже в самых суровых условиях съемки.

Супертелеобъектив EF 300mm f/2.8L IS USM, объектив EF 24-70mm f/2.8L USM и другие зум-объективы серии L сконструированы так, чтобы их можно было использовать в суровых условиях профессиональной фотосъемки, и содержат пылезащитные и каплезащитные муфты на внешних частях.

① Промежуток между объективом и камерой в месте крепления закрывается резиновым кольцом.

② Подвижные кольца ручной фокусировки, зумирования и воспроизведения имеют пылезащитную и каплезащитную форму. Пылезащитная и каплезащитная конструкция также используется в зум-удлинении объектива EF 24-70mm f/2.8L USM.

③ Кнопки отключения автофокусировки и предварительной фокусировки отличаются пылезащитной и каплезащитной конструкцией.

④ В разъемах панели переключателей и других внешних частей используются пылезащитные и каплезащитные резиновые материалы.

⑤ В отверстия для заднего держателя вставного фильтра установлены резиновые заглушки, которые закрывают промежуток между корпусом объектива и держателем вставного фильтра и не пропускают капли воды и частицы пыли.



В камерах EOS-1V/HS, EOS-1Ds Mark II, EOS-1Ds, EOS-1D Mark II N, EOS-1D Mark II и EOS-1D используются пылезащитные и каплезащитные корпуса.

15

Прорыв в технологии объективов: Image Stabilizer (стабилизатор изображения)

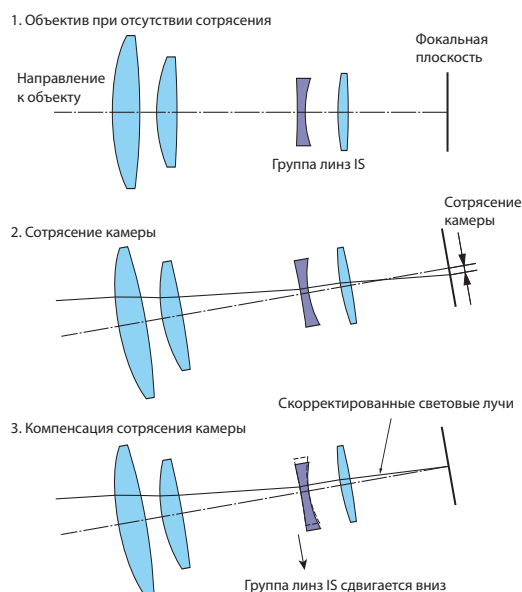
Основная причина смазанных изображений – сотрясение камеры, особенно при использовании телеобъективов. Обычно, установив выдержку затвора не более чем величина, обратно пропорциональная фокусному расстоянию объектива (например, 1/300 с для объектива с фокусным расстоянием 300 мм), можно предотвратить смазывание изображения, вызванное сотрясением камеры. Однако в условиях недостаточного освещения или при использовании низкочувствительной пленки необходимо использовать более длительную выдержку, что приводит к смазыванию изображений при съемке с рук. Для разрешения этой проблемы компания Canon разработала Image Stabilizer (IS – стабилизатор изображения).

■ Как работает Image Stabilizer (стабилизатор изображения)

Image Stabilizer (IS – стабилизатор изображения) сдвигает группу линз параллельно фокальной плоскости.

В результате толчков объектива, вызванных сотрясениями камеры, лучи света от объекта наклоняются относительно

Рис. 53. Принцип стабилизации изображения (Image Stabilizer) параллельным перемещением.

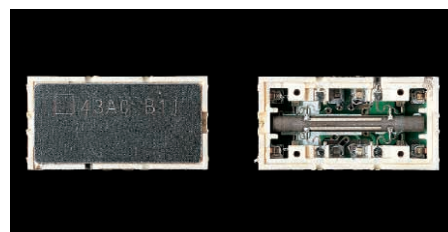


оптической оси, приводя к смазыванию изображения. При смещении объектива от центра лучи света отклоняются. Сдвигая группу линз IS в плоскости, перпендикулярной оптической оси, в соответствии со степенью сотрясения изображения, можно стабилизировать лучи света в фокальной плоскости.

На рис. 53 показано, что происходит при толчке объектива вниз. Центр изображения перемещается вниз в фокальной плоскости. Когда группа линз IS смещается в вертикальной плоскости, лучи света отклоняются так, чтобы вернуть центр изображения в центр фокальной плоскости. Так как сотрясения камеры происходят и в вертикальной и в горизонтальной плоскости, группа линз IS может сдвигаться вертикально и горизонтально в плоскости, перпендикулярной оптической оси, для компенсации сотрясений изображения.

Сотрясения камеры определяются двумя гироскопическими датчиками (по одному для горизонтальной и вертикальной плоскости). Как показано на фото 21, гироскопические датчики определяют угол и скорость смещения камеры, вызванного ручной съемкой. Для предотвращения выходных ошибок датчика, вызванных перемещением зеркала или затвора, гироскопические датчики в объективе защищены корпусом.

Фото 21. Гироскопический датчик для определения сотрясений



Группа линз IS приводится в движение непосредственно подвижной катушкой. Она представляет собой небольшую, легкую катушку с высоким быстродействием и замечательной управляемостью. Она может работать в широком диапазоне частот (приблизительно от 0,5 Гц до 20 Гц). Положение группы линз IS определяется с помощью IRED (инфракрасных светодиодов) на тубусе группы линз IS и PSD (датчиков положения) на печатной плате. Для точной регулировки используется управление с обратной связью. В блоке IS также содержится механизм блокировки, который фиксирует группу линз IS в центральном положении при выключении функции IS или камеры (рис. 54).

■ Система стабилизации изображения (Image Stabilizer)

Image Stabilizer (стабилизатор изображения) работает следующим образом.

- ① Когда кнопка спуска затвора камеры нажимается наполовину, блокировка оптической системы стабилизатора отпускается и одновременно запускаются гироскопические датчики вибраций.
- ② Гироскопические датчики вибраций определяют компоненту угловой скорости движения объектива, вызванного дрожанием рук, и передают полученный сигнал в микрокомпьютер.
- ③ Обнаруженный сигнал преобразуется микрокомпьютером в сигнал перемещения оптической системы стабилизатора, который затем передается на схему привода оптической системы стабилизатора.
- ④ В ответ на сигнал управления привод оптической системы стабилизатора выполняет параллельное перемещение системы.
- ⑤ Состояние привода оптической системы стабилизатора преобразуется в сигнал обнаружения с помощью датчика положения и схемы обнаружения, установленных в блоке стабилизатора изображения (Image Stabilizer). Затем этот сигнал передается в микрокомпьютер.

Рис. 54. Система Image Stabilizer (стабилизатор изображения) объектива EF 70-200mm f/2.8L IS USM

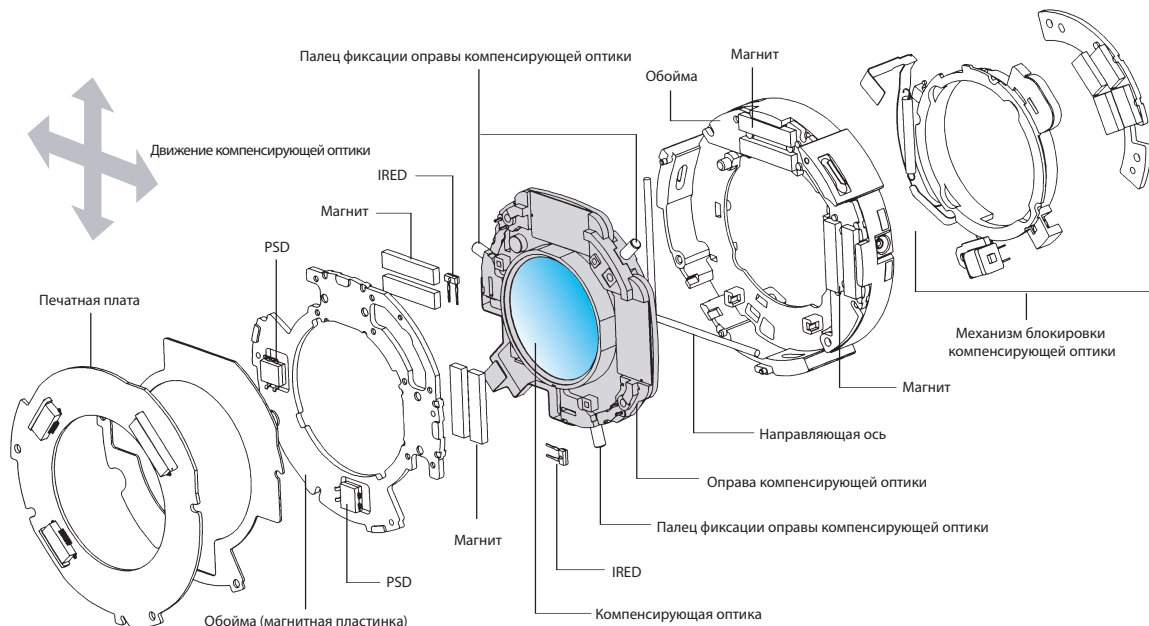
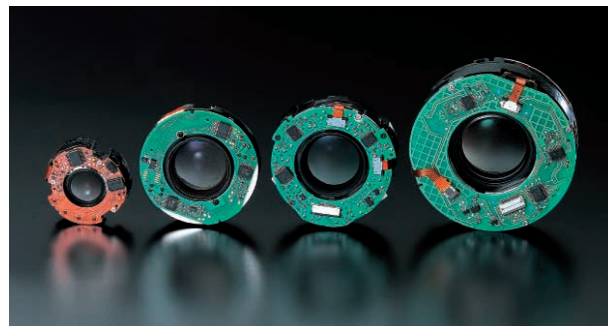


Фото 22. Блок Image Stabilizer (стабилизатор изображения)



- ⑥ Микрокомпьютер сравнивает сигнал перемещения, полученный на шаге 3, с сигналом обнаружения, полученным на шаге 5, и выполняет управление с обратной связью, повышая тем самым управляемость оптической системы стабилизатора. Этот микрокомпьютер, первый высокоскоростной 16-разрядный компьютер в объективах EF, может одновременно управлять стабилизацией изображения, двигателями USM и EMD. (рис. 56.)

■ Режим 2 Image Stabilizer (стабилизатор изображения)

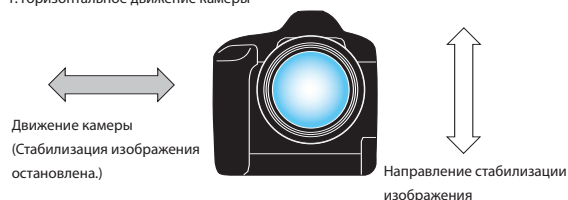
Описанные выше характеристики стабилизатора изображения (Image Stabilizer) настроены таким образом, что он наиболее эффективен при съемке неподвижных объектов, но при попытке панорамирования движущегося объекта система компенсации сотрясений может повлиять на изображение в видоискателе, мешая выполнять кадрирование. Это происходит потому, что движение камеры при панорамировании воспринимается как сотрясение, что приводит к включению стабилизатора изображения (Image Stabilizer).

Для решения этой проблемы компания Canon разработала режим 2 Image Stabilizer (стабилизатор изображения). В этом режиме, если движение, например панорамирование, продолжается определенное время, стабилизация изображения в направлении движения отключается. Так как при этом изображение в видоискателе стабилизируется во время движения, становится возможным точное кадрирование. В режиме 2 Image Stabilizer (стабилизатор изображения) при выполнении панорамирования сохраняется стабилизация изображения в вертикальном направлении относительно движения камеры, что позволяет компенсировать вертикальные сотрясения во время панорамирования. (рис. 55.)

Режим 2 Image Stabilizer (стабилизатор изображения) был впервые представлен в объективе EF 300mm f/4L IS USM. С тех пор он устанавливается и в другие объективы, в основном в телеобъективы и зум-телеобъективы.

Рис. 55. Управление стабилизацией в режиме 2 Image Stabilizer (стабилизатор изображения)

1. Горизонтальное движение камеры



2. Вертикальное движение камеры



Рис. 56. Схема процесса работы системы Image Stabilizer (стабилизатор изображения)

Блок Image Stabilizer (стабилизатор изображения)

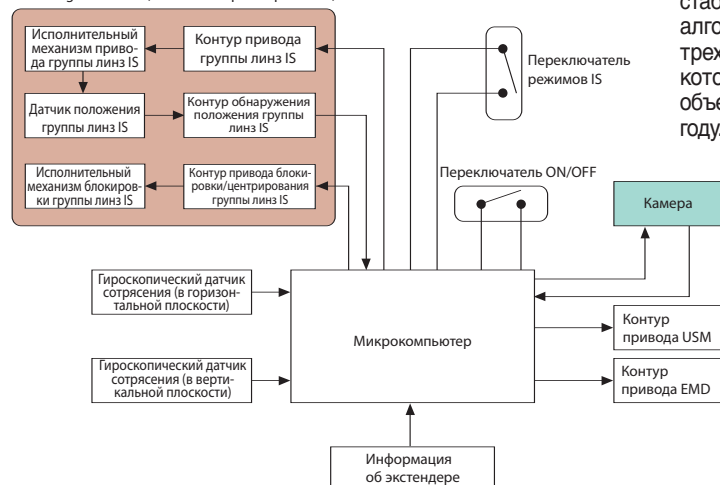


Рис. 57. График эффективности Image Stabilizer (стабилизатор изображения) для объектива EF 70-200mm f/2.8L IS USM

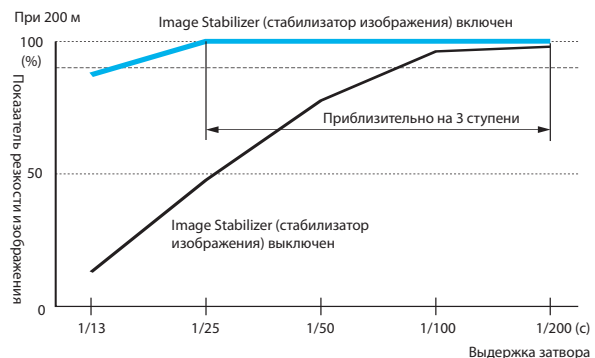


Image Stabilizer (стабилизатор изображения), совместимый со штативом

Когда первые объективы IS использовались со штативом, стабилизатор изображения (Image Stabilizer) работал неправильно, заставляя фотографа отключать функцию стабилизации изображения (Image Stabilizer). Однако объектив EF 300mm f/2.8L IS USM и другие новые модели супертелеобъективов типа L серии IS оснащены стабилизатором изображения (Image Stabilizer), который допускает работу со штативом и предотвращает неправильное срабатывание. Так как с помощью гироскопических датчиков вибрации система автоматически определяет, когда камера установлена на штатив, фотограф может сконцентрироваться на съемке, не беспокоясь о включении и выключении стабилизатора. А когда с каким-либо объективом серии IS используется штатив с одной опорой, стабилизация изображения работает так же, как и при съемке с рук.

Результат стабилизации изображения

Впервые функция стабилизации изображения для объективов EF была использована в 1995 году в объективе EF 75-300mm f/4-5.6 IS USM. При переводе в выдержку затвора результат стабилизации изображения соответствует приблизительно двум ступеням. С телеобъективом 300 мм она позволяет выполнять съемку с рук при выдержке 1/60 секунды. Позже, с развитием конструкции блока стабилизации изображения (Image Stabilizer) и используемых алгоритмов, качество результата еще больше возросло: до трех ступеней с объективом EF 70-200mm f/2.8L IS USM, который поступил в продажу в 2001 году, и до 4 ступеней с объективом EF 70-200mm f/4L IS USM, выпущенным в 2006 году. Таким образом, верхний предел выдержки затвора при съемке с рук был значительно повышен.

Когда установлен экстендер и режим 2 Image Stabilizer (стабилизатор изображения) включен, он обеспечивает такие же результаты стабилизации изображения. Функция стабилизации изображения (Image Stabilizer) также эффективна при съемке крупным планом и съемке в движении. Функция стабилизации изображения (Image Stabilizer), которая дает фотографам столько преимуществ, будет устанавливаться на многие объективы EF и станет стандартной функцией технологии объективов EF, включая дальнейший рост использования в еще большем числе объективов в будущем.

Дифракционные оптические элементы, как следует из их названия, используют явление дифракции. Они привлекли большое внимание за способность устранять хроматические aberrации лучше, чем флюоритовые линзы или линзы из стекла UD, несмотря на свою асимметричную форму. Тем не менее, встраивание таких элементов в фотообъективы было затруднено, в основном из-за проблем дифракционных бликов. Компания Canon решила эту проблему, разработав так называемую линзу DO, имеющую уникальную структуру, и став первым в мире производителем объективов, который встроил эту линзу в фотообъектив. Первая модель объектива с использованием этой линзы, EF 400mm f/4 DO IS USM, – является супертелеобъективом, в котором компактность и малый вес сочетаются с выдающимся качеством изображения.

■ Дифракция

Это явление, при котором световые волны попадают в тень объекта после прохождения рядом с краем этого объекта. Дифракционный блик является общим дифракционным явлением и наблюдается в фотообъективах при малом диаметре диафрагмы. Это явление – следствие волновой природы света.

П о с к о л ь к у дифракционные блики представляют собой действительно нежелательные световые лучи, которые ухудшают качество изображения проходя за диафрагму, то этот же принцип можно использовать для управления направлением лучей света. Например, при прохождении света через две щели, расположенные очень близко друг к другу, возникают блики такого же типа, что и при использовании маленькой диафрагмы. В этом случае, как показано на рисунке

внизу, существует определенное направление, вдоль которого световые волны распространяются легче. Направление, в котором волны распространяются более интенсивно, – это направление, при котором совпадают фазы световых волн, рассеянных на двух щелях. Поэтому световые волны распространяются, взаимно усиливая друг друга в нескольких направлениях: в одном направлении они сдвигаются на один

Рис. 58. Дифракция

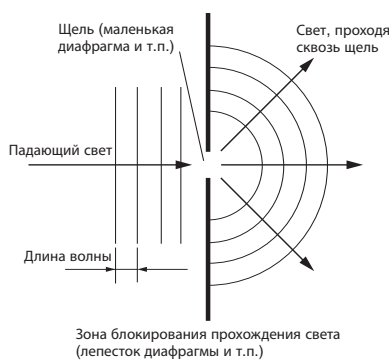
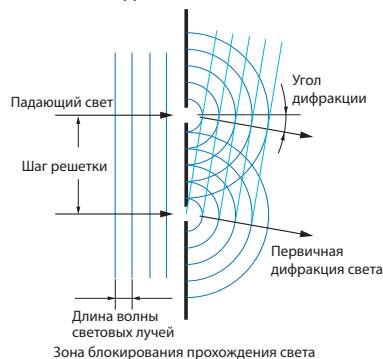


Рис. 59. Принцип формирования дифракции света



период и накладываются, в другом направлении они сдвигаются на два периода и накладываются и т.д. Направление, в котором волны сдвигаются на один период (на одну длину волны) и накладываются, называется первичной дифракцией, а эта конструкция со щелями называется дифракционной решеткой. Особенности дифракционной решетки:

- ① При изменении расстояния между щелями (периода решетки) изменяется направление дифракции.
- ② Чем больше порядок дифракции, тем больше степень дифракции («угол дифракции»).
- ③ Свет с большими длинами волн отклоняется на больший угол дифракции.

■ Однослойные дифракционные оптические элементы

Поскольку щелевые дифракционные решетки (дифракционные решетки амплитудного типа) перекрывают свет для формирования дифракции света, они не могут использоваться в оптических системах. Были предложены дифракционные решетки фазового типа, в которых решетка имела бы пилообразную форму и не преграждала путь свету. Дифракция создавалась бы с помощью дифракционной решетки в форме концентрических окружностей, как с помощью линзы Френеля. Из-за частичного изменения периода решетки (шага решетки), можно было бы достичь эффекта, идентичного действию асферической линзы, позволяя решать различные проблемы, в том числе исправлять сферические aberrации.

Как указано выше, угол дифракции света, выходящего из дифракционной решетки, увеличивается при больших длинах волн. Другими словами, свет с большей длиной волны создает изображение ближе к дифракционной решетке, в то время как свет с более короткой длиной волны создает изображение дальше от нее. В противоположность этому, при прохождении через преломляющую линзу (выпуклую линзу) с положительной оптической силой, свет с более короткой длиной волны создает изображение ближе к линзе, в то время как свет с большей длиной волны создает изображение дальше от нее. Это означает, что хроматические aberrации преломляющей линзы и дифракционного оптического элемента расположены в обратном порядке. Если их объединить, они могут взаимно нейтрализовать и эффективно корректировать хроматические aberrации. В отличие от предыдущих методов компенсации хроматических aberrаций, в которых сочетались собирающие и рассеивающие линзы, в новом методе используется только собирающая линза, что позволяет снизить оптическую силу каждой группы линз в объективе и, следовательно, более эффективно исправлять другие aberrации помимо хроматической.

Фото 23. Линза DO



Рис. 60. Конструкция линзы DO (иллюстрация)

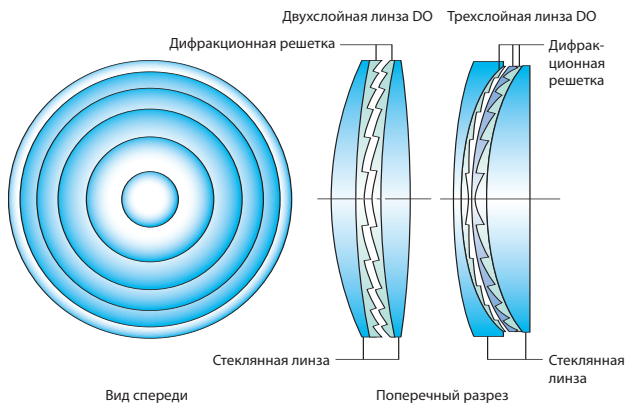


Рис. 61. Принцип коррекции хроматической аберрации с помощью линзы DO

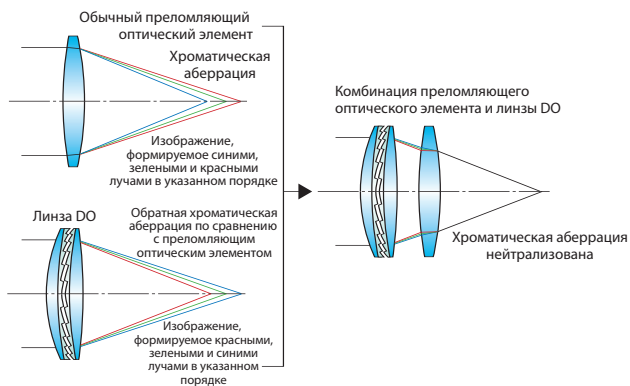
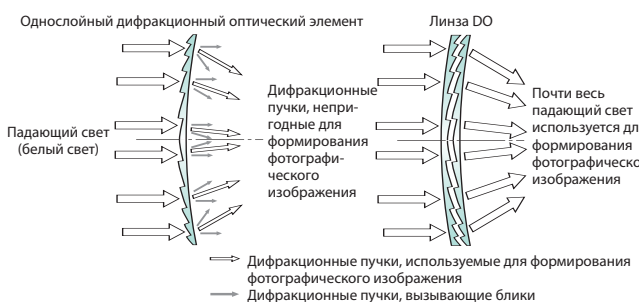


Рис. 62. Разница в дифракции света на однослойном дифракционном оптическом элементе и на линзе DO



Разработка линз DO

Однослойные дифракционные оптические элементы, хотя и используются в оптических устройствах считывания для проигрывателей CD и DVD, в которых применяются лазеры, не пригодны для фотографических объективов. Это вызвано тем, что, в отличие от лазерного света, свет в фотографических объективах (видимая область) состоит из большого числа волн различной длины. Для использования дифракционного оптического элемента в фотообъективе весь свет, попадающий в объектив, должен на 100% дифрагировать. Линза DO с ее

Фото 24. С установленной линзой DO



многослойной дифракционной структурой разрабатывалась как метод преобразования всех диапазонов видимого света в фотографический свет. В случае объектива EF 400mm f/4 DO IS USM линза DO содержит два однослойных дифракционных оптических элемента с концентрическими круговыми решетками, которые обращены друг к другу (рис. 62). Так как свет, входящий в линзу, не формирует нежелательных дифракционных лучей, линза DO использует почти весь свет как фотографический свет, что позволяет использовать ее в фотообъективах. Реальная линза DO изготавливается из стеклянной сферической линзы, а дифракционная решетка формируется в шаблоне из специального пластика. Толщина дифракционной решетки составляет всего несколько микрон, а период решетки постепенно изменяется от нескольких миллиметров до нескольких десятков микрон. Для формирования этой дифракционной решетки период дифракционной решетки, высота и позиционирование должны контролироваться с погрешностью не более микрона. Для достижения такой точности использовались различные технологии, в том числе технология трехмерной микрообработки сверхвысокой точности, разработанная специально для этих целей, а также технология производства опорных асферических линз, развитая при разработке объективов EF, технология сверхточного позиционирования и многие другие.

Создание более компактных объективов

Используя объектив EF 400mm f/4 DO IS USM в качестве примера, рассмотрим процесс уменьшения размеров телеобъектива за счет применения линз DO.

При использовании дифракционных оптических элементов изображения с длиной волны 400 нм, 500 нм и 600 нм формируются на одинаковых расстояниях друг от друга вдоль оптической оси. Однако при использовании преломляющих оптических элементов изображения с этими же длинами волн формируются на разных расстояниях друг от друга, так как оптическое стекло обладает нелинейными характеристиками дисперсии. Соответственно, для максимальной компенсации хроматических аберраций с использованием линзы DO использовались следующие методы.

На рис. 63-① показан объектив 400mm f/4, разработанный с использованием только обычных преломляющих

Рис. 63. Принцип уменьшения оптики с использованием дифракционной линзы

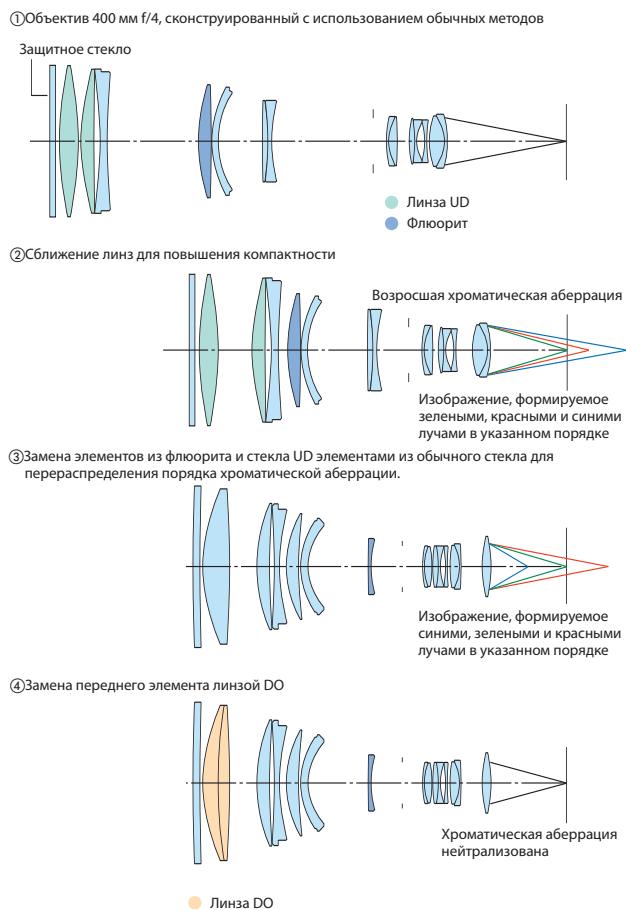
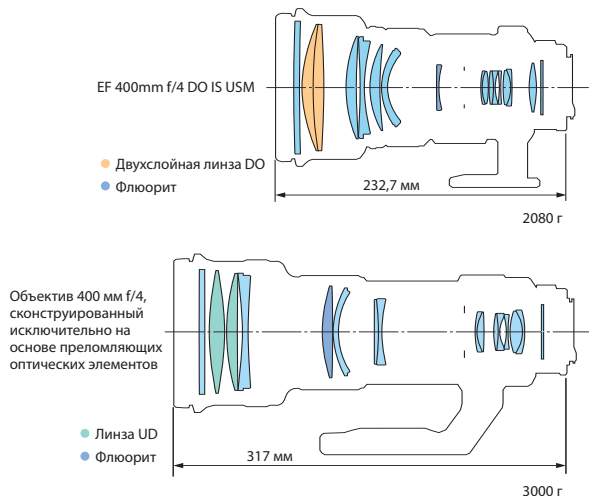


Рис. 64. Компактный объектив с фиксированным фокусным расстоянием благодаря использованию дифракционной линзы



преломляющих оптических элементов. Если, как показано на рис. 63-②, оптическая сила каждой линзы возрастает и линзы располагаются ближе друг к другу для создания более компактного объектива, то хроматические aberrации (в особенности для синего света) ухудшаются в значительной степени. Это означает, что для компенсации хроматической aberrации использования элемента дифракционной оптики не достаточно. Поэтому, как показано на рис. 63-③, дисперсия каждого элемента объектива была оптимизирована таким образом, чтобы выровнять величину хроматической aberrации по длинам волн. Наконец, как показано на рис. 63-④, для завершения исправления хроматической aberrации линза DO с соответствующей оптической силой была помещена перед передней линзой объектива. Таким образом, по сравнению с оптическими системами, содержащими только обычные преломляющие оптические элементы, в объективе EF 400mm f/4 DO IS USM на 27% сокращена длина (317 мм → 232,7 мм) и на 31% снижен вес (3000 г → 2080 г), что превращает его в действительно компактный легкий объектив (Рис. 64).

Улучшенное качество изображения

Так как линза DO, расположенная в передней группе, почти полностью нейтрализует хроматические aberrации, формирующиеся в группе преломляющих линз, остаточные хроматические aberrации подавляются до исключительно низкого уровня. А вследствие того, что дифракционные оптические элементы также отличаются асферическими свойствами, сферические aberrации также эффективно исправляются, позволяя достичь исключительного качества изображения с высоким разрешением и контрастностью. В будущем линзы DO будут использоваться во многих объективах EF как новые оптические элементы, которые превосходят флюоритовые, UD и асферические линзы.

Трехслойная линза DO

В принципе, линза DO позволяет также создавать более компактные зум-объективы. Однако использование двухслойной линзы DO, примененной в объективе

Рис. 65. Компактный зум-объектив с использованием дифракционной линзы

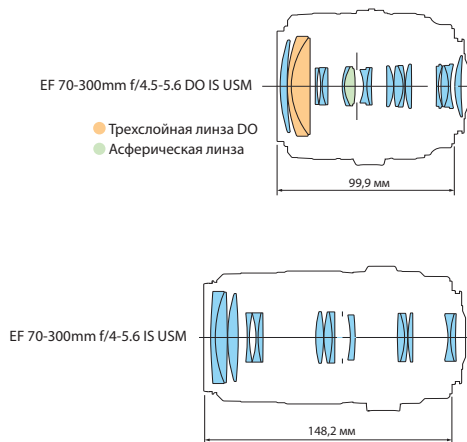
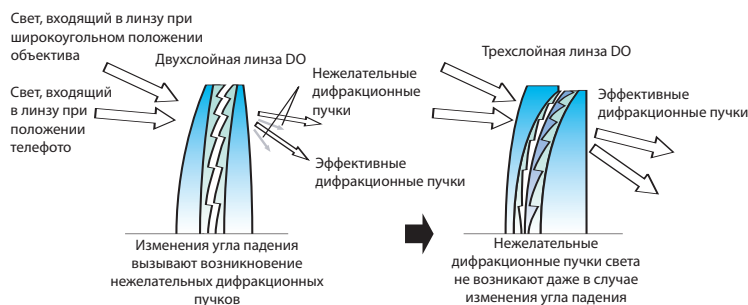


Рис. 66. Отличия в дифракции на двухслойной и трехслойной дифракционной линзах



EF 400mm f/4 DO IS USM, в зум-объективах затрудняется следующими причинами.

В объективах с фиксированным фокусным расстоянием, таких как EF 400mm f/4 DO IS USM, свет входит в объектив, в основном, под определенным углом (угол падения). В зум-объективах, однако, угол зрения изменяется при изменении фокусного расстояния, поэтому угол падения также подвергается значительному изменению. При использовании обычных линз DO изменение угла падения привело бы к формированию дифракционных пучков света, которые не пригодны для формирования фотографии, вызывают блики и значительно снижают качество фотографии. Для решения этой проблемы компания Canon разработала трехслойные линзы DO, новый тип линз DO с тремя дифракционными решетками, расположенными на оптической оси, которые могут компенсировать изменения фокусного расстояния.

При использовании трех слоев дифракционных решеток дифракционные пучки не возникают даже при изменении угла входа света в линзу DO, поэтому практически весь падающий свет можно использовать для формирования фотографического изображения (рис. 66).

Трехслойная линза DO была впервые применена в объективе EF 70-300mm f/4.5-5.6 DO IS USM. Ниже приведено описание процесса, с помощью которого удалось изготовить этот компактный объектив.

① Преломление каждой линзы в базовой оптической схеме объектива (EF 75-300mm f/4-5.6 IS USM) было увеличено, а расстояние между отдельными линзами было сокращено.

② Хроматические и сферические аберрации, которые ухудшились при уменьшении объектива, одновременно были скомпенсированы трехслойной линзой DO, расположенной перед передней линзой.

В результате объектив EF 70-300mm f/4.5-5.6 DO IS USM стал на 30% короче (142,8 мм→99,9 мм), чем обычный объектив EF 75-300mm f/4-5.6 IS USM (рис. 65), в котором использовались только преломляющие оптические элементы; в нем скомпенсированы все остаточные хроматические и сферические аберрации и достигнуто высокое качество изображения, сравнимое с качеством объективов типа L.

EF LENS WORK III Глаза EOS

Сентябрь 2006 г., восьмая редакция

Публикация и планирование

Canon Inc. Lens Products Group

Изготовление и редакция

Canon Inc. Lens Products Group

Печать

Nikko Graphic Arts Co., Ltd.

Благодарим за сотрудничество:

Brasserie Le Solferino/Restaurant de la Maison Fouraise,
Chatou/ Hippodrome de Marseille Borely/Cyrille Varet
Creations, Paris/Jean Pavie, artisan luthier,
Paris/Participation de la Mairie de Paris/Jean-Michel
OTHONIEL, sculpteur

© Canon Inc., 2003 г.

Изделия и характеристики могут быть изменены без предварительного уведомления.
Фотографии, содержащиеся в этой книге, являются собственностью корпорации Canon Inc.
или использованы с разрешения фотографа.

CANON INC. 30-2, Shimomaruko 3-chome, Ohta-ku, Tokyo 146-8501, Japan