

УДК 535.317, 681.7

## ВЫСОКОАПЕРТУРНЫЙ ОБЪЕКТИВ С ЗЕРКАЛОМ МАНЖЕНА ДЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Аспирантка Э.П. Мицкевич, канд. техн. наук, проф. Н.К. Артюхина

*Белорусский национальный технический университет*

Для создания высокоапертурных апланатических микрообъективов, работающих в ультрафиолетовой области спектра, является целесообразным конструирование систем с применением отражательных поверхностей. Применение отражательных поверхностей началось уже в 17 веке. Зеркально-линзовые объективы Д.Д. Маскутова (1932 г.) возвратили к жизни зеркальные микроскопы.

В данной статье рассматривается конструкция катадиоптрического объектива с двумя зеркальными поверхностями. Система имеет плоскость промежуточного изображения.

Приведённый катадиоптрический дизайн микрообъектива для коротковолновой области спектра (240–280 нм) даёт объектив с исправленным хроматизмом положения третьего порядка и хроматизмом увеличения первого порядка. На рис. 1 представлена принципиальная оптическая схема высокоапертурного иммерсионного объектива и показан ход его светового луча.

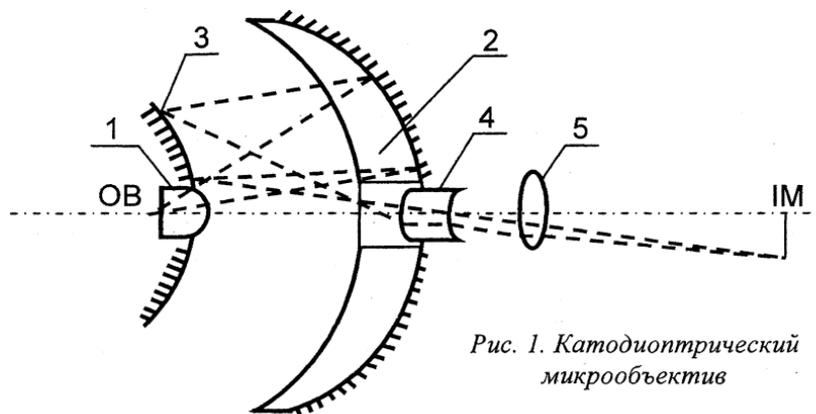


Рис. 1. Катадиоптрический микрообъектив

В качестве материала используется только кварцевое стекло фирмы «SCHOTT». Кварц является практически единственным материалом, который даёт хорошее пропускание в дальней ультрафиолетовой области

спектра. Использование других материалов – флюоридных стёкол, таких как  $\text{CaF}_2$  и  $\text{LiF}$  не является целесообразным, так как эти материалы создают большие трудности при их обработке, так как это «мягкие» стёкла. Другие стёкла, которые так же могут использоваться для дальнего ультрафиолета, такие как  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{SrF}_2$ ,  $\text{LaF}_3$  и  $\text{LiF}$  стёкла могут создавать двойное лучепреломление, если они не полностью аморфны или содержат микрокристаллы. В качестве зеркального покрытия рекомендуется использование оксида алюминия с защитным слоем  $\text{MgF}_2$ . Оксид алюминия реализует для широкого спектра ультрафиолетового излучения отражение на уровне минимум 92%. Другие металлы даёт отражение в этой области спектра лишь порядка 60%, к этим металлам относятся *молибден, вольфрам и хром*. Так же использование этих металлов в качестве зеркального покрытия в оптических системах работающих с высоко мощным лазером ведёт оплавлению этих покрытий.

Катодиоптрическая группа, состоит из двух отражателей. Первый отражатель является сферическим зеркалом, второй отражатель – мениск,

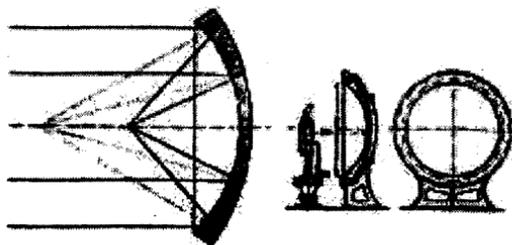


Рис.2. Зеркало Манжана

который имеет на второй поверхности по ходу луча зеркальное покрытие – зеркало Манжана. Зеркало Манжана впервые использовали в качестве пожарного оповещателя (рис.2), а в 1934 г. Джонсон разработал свой первый ультрафиолетовый микроскоп, в

котором использовал кварцевую менискообразную линзу, алюминированную с внутренней стороны.

Предлагаемая схема катодиоптрического объектива состоит из иммерсионной линзы 1, далее расположено по ходу луча зеркало Манжана 2, затем отражённый луч попадает на вторичное (вогнутое) зеркало 3, которое формирует на первой поверхности зеркала Манжана промежуточное изображение (рис.1). Далее луч света проходит через компенсатор, состоящий из мениска 4 и двояковыпуклой линзы 5, строящий уже реальное изображение, компенсатор имеет положительную оптическую силу. Оба зеркала имеют центральное отверстие: зеркало Манжана 2 при этом с отверстием 7 мм и вторичное зеркало 3 с центральным отверстием 11 мм. Объект находится на расстоянии  $s = -0,1$  мм по ходу луча, а изображение на расстоянии  $s' = 300$  мм.

По данной принципиальной схеме рассчитан объектив с фокусным расстоянием  $f' = -5,4756$  мм, относительным отверстием  $D/f' = 15$ ,

угловым полем зрения в пространстве предметов  $2\omega = 5...2^\circ$ ; линейное увеличение системы 50 мм.

Расчёт объектива (в обратном ходе) базируется на принципе Шупманна, когда виртуальное изображение, создаваемое ахроматической линзовой системой, трансформируется в реальное изображение, при помощи системы отражателей. Несмотря на то, что нельзя добиться исправления вторичного спектра при помощи системы линз из одного материала, использование в данном варианте расчёта компенсатора, состоящего только из двух компонентов с минимально возможными толщинами, исходя из требований технологичности, а так же использование формул Чуриловского [1], позволило получить компенсатор с минимальными хроматическими аберрациями. Так же к преимуществам этого дуплета относится хорошее исправление комы и сферической аберраций. Остальные аберрации, кроме остаточного астигматизма, компенсируемые положительной иммерсионной линзой, исправляются зеркалами катодиоптрической группы, которые корригируют друг друга. Система формирует достаточно плоское изображение.

В таблице представлены остаточные аберрации рассчитанного варианта объектива, проведённые на программном продукте «OPAL».

Таблица

*Аберрации третьего порядка, рассчитанные в обратном ходе луча*

| Сферическая аберрация | Неизопланатизм | XТ       | XS       | Дисторсия | Хроматизм положения | Хроматизм увеличения |
|-----------------------|----------------|----------|----------|-----------|---------------------|----------------------|
| -0,072                | 0,007          | -0,00024 | -0,00016 | 0,0172    | -0,038              | 0,051                |

Данный вариант может быть и далее оптимизирован в зависимости от требований к апертуре и величине поля зрения.

*Использованные источники*

1. Чуриловский, В.Н. Теория оптических приборов / В.Н. Чуриловский. – М: Машиностроение, 1966. – С.138 – 143.
2. Patent No.: US 6,894,834 B2 May 17, 2005 OBJEKTIVE WITH PUPIL OBSCURATION.
3. Patentschrift DE 197 31 291 C2 22.07.1996 US Katadioptrisches Abbildungssystem für breites Ultraviolett-Spektrum und dessen Verwendung.
4. Панов, В. А. Оптика микроскопов. Расчёт и проектирование / В. А. Панов, Л.Н. Андреев. – Л: Машиностроение, 1976.