

ОПТИКА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МИКРОСКОПА

аспирант Э.П. Мицкевич, канд. техн. наук, доцент Н.К. Артюхина

Белорусский национальный технический университет

В области микроскопии в последние десятилетия наблюдаются большие успехи в области микрофотографии по направлению визуализации изображения. Получать высокое качество изображения стало возможно благодаря новым сортам оптических стекол с равномерным спектральным диапазоном пропускания и кристаллов, используемых для ахроматизации. Кроме того, появились усовершенствованные методики расчёта и аберрационной коррекции оптических систем. В настоящее время в микрофотографии используются ахроматы, планахроматы и апохроматы, использующие CaF_2 для исправления вторичного спектра. Эти системы имеют существенное улучшение в контрасте и насыщенности цвета и хорошую резкость по краям изображения.

Следует отметить, что вышеприведенные достижения связаны с улучшением качества полировки поверхностей оптических деталей, а также с нанесением многослойных просветляющих покрытий. В связи с этим возникают мнения о возможности упростить осветительные системы в микроскопах и применять вместо системы освещения по принципу Кёлера систему освещения Нельсона, что является приемлемым лишь в некоторых случаях. Для реализации микроскопа с высоким контрастом и высоким разрешением (к примеру, микрофотографии) необходимо кёлеровское освещение.

К осветительным системам микроскопа предъявляются обычно требования максимально высокого и одновременно контрастного освещения объекта, но без избыточного освещения, при котором исчезают детали объекта. Равномерность освещения определяется совершенством коррекции сферической и хроматической аберрации, а также выполнением условия изопланатизма в линзах коллектора и конденсора осветительной системы.

Условно выделим четыре типа освещения: кёлеровское; критическое; косое освещение; освещение в тёмном поле.

Система освещения А. Кёлера позволяет осуществлять независимую регулировку диаметра освещённой зоны и числовой аперту-

ры. Обычно достаточно оптической конструкции из двух диафрагм и двух положительных линз, которые могут быть реализованы в трех вариантах (рис.1):

- а) коллекторная линза создаёт резкое изображение нити накаливания в плоскости апертурной диафрагмы. Фокусное расстояние коллектора определяется из выражения

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{o_1} + \frac{1}{b_1}.$$

- б) апертурная диафрагма устанавливается в передней фокальной плоскости конденсора, поэтому лучи, выходящие из каждой точки в плоскости апертурной диафрагмы, на выходе становятся параллельными;

- в) отрезок b_2 между конденсорной линзой и объектным столиком выбирается так, чтобы изображение полевой диафрагмы коллектора было резким в предметной плоскости. Фокусное расстояние конденсорной линзы определяется из выражения

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{o_2} + \frac{1}{b_2}.$$

При этом $o_2 = b_1 + f_2$ (формула не учитывает правило знаков).

Назначение полевой диафрагмы коллектора ограничивать световой поток от источника излучения и через своё изображение ограничивать входное отверстие объектива.

Таким образом, схема кёлеровского освещения строится по принципу двух независимых взаимно пересекающихся ходов лучей. Первый строит изображение объекта в плоскости изображения, и второй, осветительный, строит резкое изображение нити накаливания в области апертурной диафрагмы. Независимо варьируя диаметром апертурной диафрагмы и диаметром полевой диафрагмы, можно обеспечить оптимальное освещение объекта, ведущее к значительному улучшению качества изображения.

Принцип критического освещения осуществлен в системе освещения Нельсона (рис.2). Схема освещения основывается на том, что равномерно освещённое матовое стекло проецируется в область объекта.

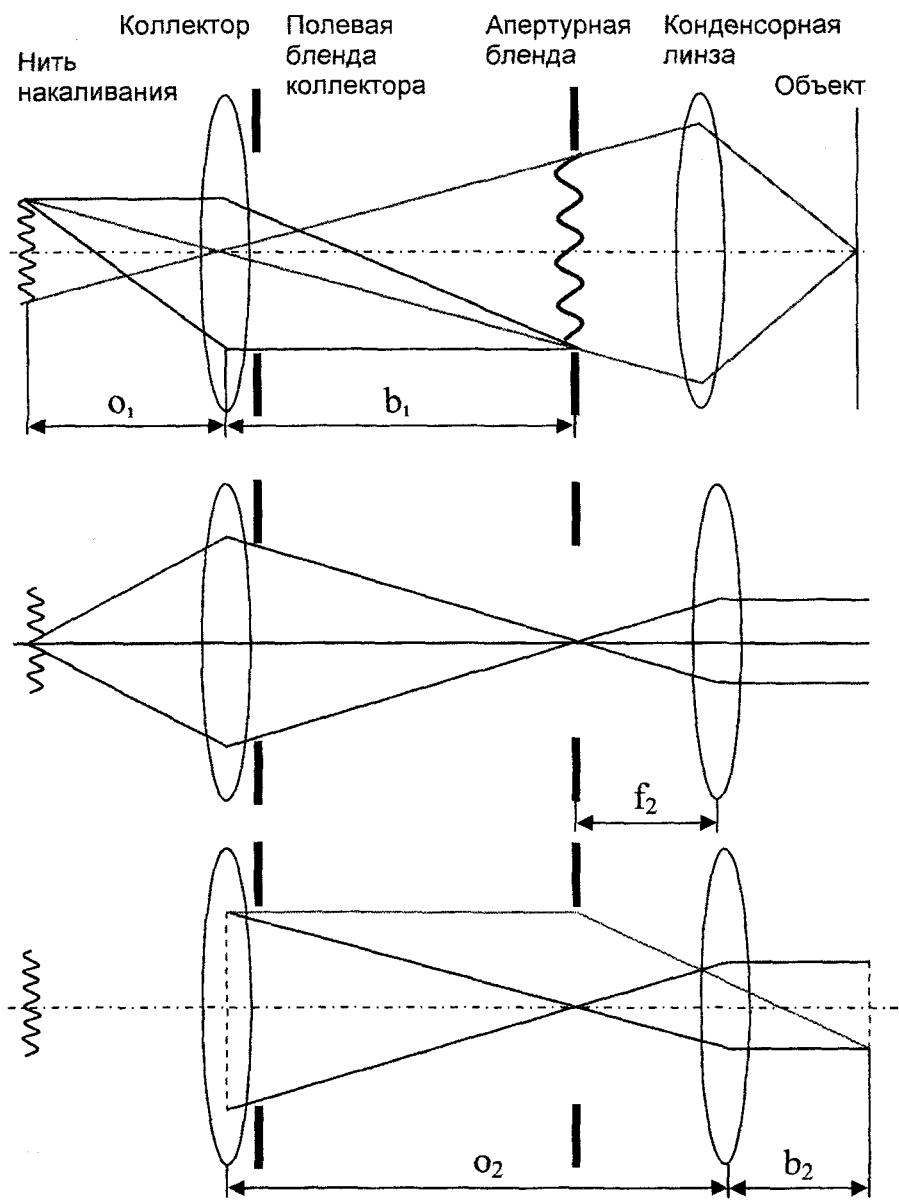
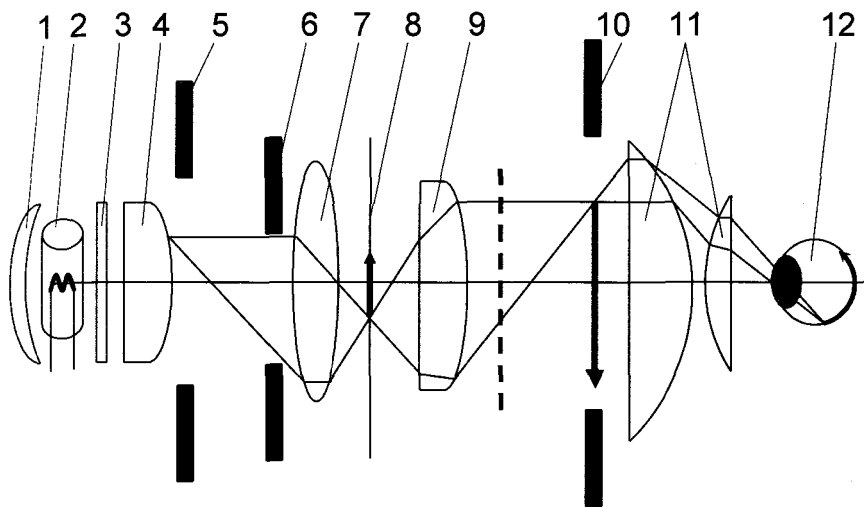


Рис.1. Три условия для реализации кёлеровского принципа освещения



*Рис.2. Система для реализации критического принципа освещения:
 1 – зеркало; 2 – галогенная лампа; 3 – матовое стекло;
 4 – плосковыпуклая линза; 5 – полевая бленда; 6 – апертурная бленда;
 7 – конденсор; 8 – плоскость объекта; 9 – объектив; 10 – плоскость
 промежуточного изображения; 11 – окуляр; 12 – глаз*

Схема критического освещения намного проще, чем система кёлеровского освещения. Изображение источника света проецируется в плоскость предмета. Вместо матовой пластинки может быть использована матовая поверхность галогенной лампы. В этой схеме отсутствуют чрезмерно высокие требования к качеству конденсора, а оптимальный контраст выставляется при помощи сменного объектива и регулируемой апертурной диафрагмы.

Косое освещение – один из видов освещения по принципу светлого поля, которое особенно хорошо освещает структуры объекта и его отдельные элементы. Такое освещение можно реализовать на базе системы освещения по принципу Кёлера и специального кольца в области апертурной диафрагмы, которая экранирует центральную часть падающего светового потока, либо с помощью других оптических элементов, ведущих к такому виду освещения в области апертурной диафрагмы, когда излучение не проходит через её центральную часть. В системах освещения для фотолитографии для этой цели используются дифракционные оптические элементы.

Косое освещение существенно повышает контраст. Эффект особенно заметен при работе с прозрачными биологическими объектами типа «планктон».

Освещение по принципу тёмного поля является особенным типом, используемым для наблюдения за живыми организмами (рис.3).



Рис.3. Принципиальная схема освещения по принципу тёмного поля

Прозрачные живые организмы освещаются наклонным излучением. При этом часть рассеянного от объекта света и свет, многократно отражённый от краев объекта, попадают в объектив. Благодаря рассеянному от объекта свету появляются светлые очертания объектов (микроорганизмов) на фоне тёмного поля, что необходимо для высокого контраста. На практике такое освещение реализуется либо с помощью бленды вблизи апертурной диафрагмы, либо с помощью специально сконструированных зеркально-линзовых или зеркальных конденсоров, которые позволяют избежать потери излучения.

Заключение. Выбор того или иного принципа системы освещения осуществляется с учётом особенностей работы будущего

прибора. Самой совершенной системой на сегодняшний день является система по принципу Кёлера, которая может быть реализована в различных модифицированных исполнениях.

Использованные источники

1. www.weihenstephan.org/~fsrklauehenk-fibel-Mikrofibel.pdf, Klaus Henkel «Mikrofibel», 2003. – 59-83 с.
2. Панов, В.А., Андреев, Л.Н. Оптика микроскопов. – М.: Машиностроение, 1976.
3. Иванова, Т.А., Кирилловский, В.К. Проектирование и контроль оптики микроскопов. – М.: Машиностроение, 1984.