

ВСТУПЛЕНИЕ

С момента издания в 2007 г. книги о микроскопах для технических целей и по практике работы с ними из серии «С микроскопом на „ты“» прошло более 10 лет.

За это время изменилась не только номенклатура выпускаемых в мире микроскопов, но и появились новые группы микроскопов, элементная база, технологии. Постепенное развитие отечественного производства и таких направлений, как аэро-космическое, машиностроение и приборостроение приводит к необходимости повышения уровня и качественного состава специалистов на предприятиях, в высших учебных заведениях в России. Это требует определенного представления о возможности световой микроскопии первой четверти XXI в., представленной на отечественном и мировом рынке. Тем более это важно, когда создаются центры коллективного пользования, закупается сложное оборудование и необходимо понять, как его использовать для решения конкретной задачи.

В 2004 г. было написано приложение к книге Д. Брандон, У. Каплан «Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля» (М.: Техносфера). Идея написать Приложение была связана с тем, что в процессе технического редактирования части, посвященной микроскопии, стало ясно, что теория и технология в книге были описаны хорошо, но вот методы микроскопического исследования явно отставали от современных (перевод книги 1980-х гг.).

При консультировании специалистов, желающих открыть новое или развивать старое производство и для этих целей приобрести новое современное оборудование, чувствуется затруднение при выборе не столько моделей и фирмы (в конце концов, это уровень коммерческий, где, к сожалению, не всегда учитываются пожелания специалистов), сколько тип, класс и метод исследования.

С 1990-х гг. у нас в стране идёт определённое сокращение оптико-механических производств микроскопов и специалистов-расчетчиков, конструкторов, технологов-микроскопистов. Однако естественным в наше время является рост потребности в разработке высокотехнологичных установок на базе оптических элементов с расчетным дифракционным качеством, которое соответствует объективам микроскопа, и требуются элементарные знания технологии производства и контроля высококачественных оптических узлов и приборов.

Работа в ГОИ им. С. И. Вавилова в лаборатории микроскопии и на ОАО «ЛОМО» в КБ микроскопии в качестве исследователя и разработчика новой оптики микроскопов, а также диссертация, посвященная технологичности оптических конструкций, работа консультантом на фирме ООО «Карл Цейсс» и экспертом в фирме «ТКС-оптика» (Санкт-Петербург), занимающейся сертификацией продукцией, участие в выставках и конференциях дают возможность поделиться знаниями в области микроскопии, как в части информации о возможностях современных микроскопов, так и практики работы с микроскопом, в том числе и контроля качества изображения.

«Меньше теории (хотя без нее тоже нельзя), больше практики» — таков девиз этой книги. Данное издание, как и предыдущее, не носит характер фундаментального труда и не претендует на абсолютную полноту информации.

Книга условно разделена на три части: первая часть посвящена обзору и классификации микроскопов для технических целей с учётом соотношения «цена — качество», а также основным тенденциям развития данного направления.

Во второй части рассмотрены основные методы контрастирования с точки зрения принципов формирования оптико-механической конструкции специальных модулей, а также представлен номенклатурный ряд объективов и окуляров современных микроскопов для технических целей. Рассмотрены основные проблемы комплектации микроскопов и сочетание элементов. Предложена методика «чтения» основных оптических узлов с учётом производства в разных странах. В этой же части рассмотрены правила работы и настройки микроскопов разных типов с учётом методов контрастирования, а также уход за микроскопом.

В третьей части рассмотрены вопросы объективных и субъективных методов оценки качества изображения объективов. В этой же части представлена краткая информация по геометрической и волновой оптике.

В Приложении вы сможете найти интересную справочную информацию как для работы, так и с познавательной точки зрения. Это и словарь микроскописта, связанный с глазом, поляризацией и люминесценцией, а также формулы и таблицы микроскопии. В Приложении 3 вынесены вопросы, связанные с поляризационной микроскопией. В Приложении 4 приведены основные положения стандартов по эргономике и безопасности.

Эта книга создавалась как информационный материал, связанный с достижениями современного, (в большей степени) зарубежного микроскопостроения для технических целей. В качестве примеров рассмотрены интересные номенклатурные ряды микроскопов, а также конструкции узлов и реализации методов контрастирования ведущих фирм «Carl Zeiss» (Германия), «Olympus» (Япония), «Leica» (Германия), «Nikon» (Япония), «Meiji Techno» (Япония), «Motic» (Китай). С другой стороны, в книге рассмотрены вопросы, связанные с отечественными микроскопами, которые до сих пор есть на местах и в продаже.

Надеюсь, что издание будет полезным и интересным для широкого круга специалистов, студентов и начинающих микроскопистов.

Егорова Ольга Владимировна,
кандидат технических наук,
член Нью-Йоркской академии наук,
эксперт Госстандарта РФ

Санкт-Петербург,
2019 г.

ЧАСТЬ I

Глава 1

МИКРОСКОПЫ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Мир микроскопии делится на две части. Первым стал микромир биологии и медицины, мир клетки, биологической ткани, мир хромосом, бактерий — живой природы. Именно для них в первую очередь были разработаны микроскопы — микроскопы проходящего света.

В 1866 г. с учётом применения в микроскопе осветительной системы проходящего света, состоящей из источника света, коллекторной и конденсорной частей, немецким физиком и энтузиастом своего дела Эрнстом Аббе была создана и опубликована теория образования изображения. Для этих микроскопов были рассчитаны первые объективы плоского поля, ахроматической и апохроматической коррекции; разработаны первые методы исследования и контрастирования в проходящем свете — светлое и темное поле, фазовый контраст. В XX в. был разработан новый тип приборов на основе люминесценции (свечения объектов), ультрафиолетовые и контактные микроскопы. Работа с живыми клетками привела к созданию методов рельефного контраста. Микроскопия проходящего света до сих пор является авангардом для развития микроскопостроения.

Однако уже в конце XIX — начале XX в. развитие промышленности потребовало создания микроскопов для исследования микромира неживой природы — металла и руд, разнообразных материалов, при поиске полезных ископаемых и археологических находках. Это привело к разработке микроскопов отражённого света и практическому применению теории поляризации света. Так появились металлографические и поляризационные микроскопы. В XX в. благодаря развитию источников света и новых материалов это были уже инфракрасные микроскопы.

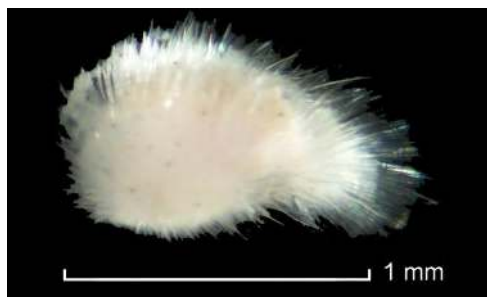
К концу XX в. оба направления стали развиваться динамично и синхронно, чему способствовало развитие лазерной, электронной и вычислительной техники. Микроскопы проходящего и отражённого света, соединённые в одной модели, уже не экзотика, а вопрос бюджета и целесообразности.

1.1. Особенности микроскопии для технических целей

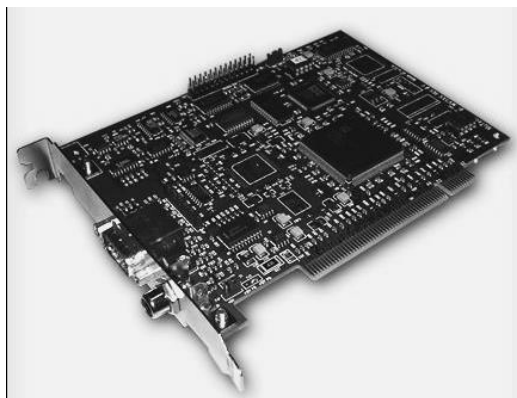
Деление микроскопов для медико-биологических исследований и технических целей на самом деле является условным. И среди биологических объектов есть такие, которые не пропускают, полностью поглощая, свет, например животные (рис. 1.1а), и среди промышленных предметов есть технологии, требующие изучения прозрачного или полупрозрачного препарата¹, расположенного на предметном стекле и покрытого покровным стеклом (например, в микрералогии). Однако в любом случае есть отличия, связанные с тем, что в неживой

¹ **Препарат** (*praeparatus* — приготовленный) — это искусственно приготовленный по специальной технологии объект исследования. Препарат может быть химическим и фармацевтическим продуктом лабораторного или фабричного изготовления. Препарат помещается на предметное стекло и может быть закрыт покровным стеклом или использоваться без него.

вой природе объекты обладают высоким коэффициентом отражения или, с другой стороны, коэффициентом поглощения света, а также незначительным проникновением света внутрь предмета.



a



б



в



г

Рис. 1.1
Объекты:

a — зоология; *б* — микроэлектроника; *в* — материаловедение; *г* — машиностроение.

Порошок, полимерный материал или битум относятся к высокопоглощающим объектам. И подчас для их визуализации требуется не только микроскоп отраженного света, но и проходящего. Некоторые методики технической микроскопии, как в медико-биологических исследованиях, требуют применения масляной или водной иммерсии. Однако отличия состоят, скорее всего, в том, что в большинстве своём объекты не окрашивают или фиксируют, а используют в естественном состоянии, даже если они подвергаются влиянию температуры, давления, воздействию агрессивных сред и т. д. (рис. 1.1б–г).

В отличие от живых подвижных объектов, неживые являются стационарными, неподвижными, если только они не исследуются в процессе технологических операций. С нативными, живыми объектами следует обращаться акку-

ратно, особенно работая в свете люминесценции (выгорают), в то время как предметы неживой природы не боятся света, если, конечно, не обладают специфическими свойствами фотоэффекта.

Все перечисленные выше свойства влияют на расчёт и конструкцию микроскопов. Прежде всего это сказывается на таких оптико-механических узлах, как объективы, окуляры, а также на таких механических узлах, как штативы, предметные столы, модульные конструкции для реализации методов контрастирования.

Микроскопы для технических целей изначально обладают повышенной точностью, связанной с измерением объектов. Чаще всего именно эта составляющая определяет класс приборов.

1.2. Классификация объектов по физико-химическим свойствам

Разница в объектах² порождает разницу в конструкциях световых микроскопов.

Предмет микроскопического исследования в общем случае представляет собой сильно структурированный коллоид, который существует в реальном времени и может быть обнаружен органами осязания и обоняния (срез, мазок крови, водоросль, мышь, руда, деталь). Отличие предметов неживой природы связано с тем, что они обладают устойчивостью, слабой изменчивостью; неспособностью к размножению, но умеют переходить из одного состояния в другое (твёрдое, жидкое, газообразное), а также обладают неспособностью к движению и росту.

Предмет — это то, что существует помимо нас, это можно потрогать, а главное, взять и сделать с ним то, что поможет оценить его состояние, размеры, свойства.

Изображение, которое мы видим глазами, на расстоянии наилучшего видения (250 мм) для наблюдения или исследования микроструктур, дефектов, микронных артефактов, скорее всего, будет недостаточным. Необходимо сделать так, чтобы объект и его элементы (структуру) можно было рассмотреть более детально, или измерить, или провести определённое действие над ним. Это можно сделать с помощью очков, под лупой или микроскопом.

В зависимости от задач, которые необходимо решить, предмет может превратиться в препарат и объект исследования³. Объект обладает определёнными физико-химическими свойствами, которые классифицируются следующим образом (рис. 1.2).

Тип 1. Непрозрачные объекты характеризуются тем, что максимально отражают световую волну, падающую на них (например, зеркальная поверхность), или полностью поглощают ее (например, «абсолютно черное тело», ко-

² **Объект** (*objectum* — предмет) — предмет, явление, на который направлена какая-либо деятельность.

³ В процессе микроскопических исследований корректно говорить «устанавливаем препарат», но «рассматриваем объект» и «изображение объекта».

ра дерева, камень). Мы видим изображение того, что отражается от предмета. При этом цвет определяется теми длинами световых волн, которые отразились от него.



Рис. 1.2
Типы объектов

Другими словами, световая волна распространяется в среде с одним показателем преломления, попадает на границу раздела со средой, показатель преломления которой больше, чем первый, при этом энергия переносимой волны максимально отразится от поверхности раздела.

Объекты этого типа являются определяющими для технической микроскопии (см. цв. вкл., рис. 1.3)⁴.

Рассмотрим особенности объектов производства, например группы металлов и сплавов. Если от поверхности непрозрачного объекта свет различных длин волн отражается практически одинаково, то при освещении его белым светом объект кажется белым или серым. Если при освещении объекта белым светом в большей степени поглощается, например, длинноволновая часть спектра (красная), то объект приобретает сине-зеленую окраску; при освещении красным светом такой объект будет выглядеть черным. Окраска объектов, обусловленная селективным (избирательным) поглощением света, имеет большое значение при контрастировании. Практически цвет объекта при отражении сильно зависит от его состояния: из-за явления интерференции тонкие пленки вещества окрашиваются по-разному.

⁴ Практически все приведенные фотографии объектов в этой главе и во всех остальных были сняты в период с 2002 по 2006 г. на современном оборудовании фирмы «Carl Zeiss». Часть фотографий (2007–2018) была сделана в офисе на демонстрационном оборудовании для специалистов — материаловедов, геологов, судебных экспертов. Приношу благодарность всем специалистам-микроскопистам, кто предоставил возможность разместить эти фотографии как иллюстрации высокого качества изображения и возможностей современной микроскопии.

Особенностью металлических объектов является их высокая отражательная способность. Например, коэффициент отражения такого металла, как натрий, составляет порядка 99,8%, железа — 30–40%. В таблице 1.1 приведены коэффициенты отражения для металлов при длине волны $\lambda = 589$ нм.

Таблица 1.1

Коэффициенты отражения некоторых металлов

Металл	Fe	Ni	Cu	Au	Ag	Na
R, %	32,6	62,0	70,0	85,1	95,0	99,7

В коротковолновой области спектра у металла проявляются оптические свойства, характерные для неметаллических веществ: ухудшение отражательной способности и увеличение прозрачности. Например, в видимой области спектра ($\lambda = 500$ – 600 нм) коэффициент отражения серебра составляет 90–95%, в УФ диапазоне отражательная способность снижается до 4% (при $\lambda = 320$ нм), т. е. соответствует отражению от стекла. Данные, приведенные выше, относятся к образцам с чистой и ровной (полированной) поверхностью. Наличие на поверхности образца рельефа, загрязнений или механических искажений тончайших поверхностных слоев (под действием механической полировки) вызывает существенное изменение оптических свойств и приводит к возникновению особых оптических явлений. При отражении света от гладкой и чистой поверхности металла или сплава возможности создания заметного оптического контраста ограничены. В результате специальной металлографической подготовки на поверхности образца (шлифа) или создается рельеф, или остаются продукты травления (в виде тонких пленок), характер которых на разных участках шлифа и обеспечивает различие в физико-химической природе этих участков.

В реальных образцах на отдельных элементах структуры (зернах или кристаллах) часто в результате травления создается тонкий и правильный рельеф. В случае однофазного металла это могут быть мельчайшие фигуры травления; в случае сплавов — тонкий и закономерный рельеф в результате кристаллографически ориентированного образования фаз.

Для повышения контраста изображения объектов для исследования строения границ зерен, блоков, а также внутреннего строения самих зерен применяют специальное травление, создающее необходимый рельеф микроструктуры. Наилучший контраст металлографического шлифа достигается при разности в уровнях порядка 100 – 1000 Å, но можно обнаружить различия в уровнях до 50 Å.

Рельеф отражающей поверхности имеет значение в формировании изображения объекта в поляризованном свете в связи с качеством изображения поверхности объектов, содержащих оптически анизотропные детали структуры, а также с возможностью повышения контраста в изображении рельефных структур.

Тип 2. Полностью прозрачные или полупрозрачные объекты имеют свои особенности. Объекты можно отнести к прозрачным, если часть энергии световой волны, попадающая на него, отражается от поверхности, т. е. от границы раздела двух сред.

При этом большая часть света проникнет во вторую среду с минимальным поглощением. В зависимости от соотношения прошедшей и отразившейся

части световой энергии говорят о полностью прозрачных или полупрозрачных объектах.

Одним из примеров объектов данного типа могут служить фотошаблоны⁵ — стеклянная или иная пластина или полимерная пленка со сформированным на её поверхности рисунком элементов схем из материала, не пропускающего актиничное⁶ излучение. Несмотря на то что сам нанесённый рисунок может являться непрозрачным, общая структура образца представляет собой прозрачную основу.

Фотошаблон является одним из основных элементов технологической цепочки создания заданного рельефного защитного покрытия при проведении фотолитографии в планарной технологии. Фотолитографический метод получения определённого рисунка на поверхности материала широко используется в микроэлектронике, в том числе в производстве печатных плат. В зависимости от материала пленочного покрытия различают фотошаблоны на основе:

- а) фотографической эмульсии (эмульсионные фотошаблоны);
- б) металлической пленки (металлические фотошаблоны);
- в) окиси железа (цветные фотошаблоны).

Фотошаблоны бывают следующих видов:

1) негативный фотошаблон (темнопольный) имеет изображение элементов схемы, представленное в виде светлых участков на непрозрачном фоне;

2) позитивный фотошаблон (светлопольный) имеет изображение элементов схемы в виде непрозрачных для актиничного излучения участков на светлом прозрачном фоне;

3) металлизированный фотошаблон имеет изображение элементов схемы, сформированное тонкой металлической пленкой;

4) транспарентный (цветной) фотошаблон имеет изображение элементов схемы, полученное покрытием, не пропускающим актиничное излучение и пропускающим неактиничное⁷ для фоторезиста излучение;

5) эмульсионный фотошаблон имеет изображение элементов схемы, образованное галоидо-серебряной фотографической эмульсией.

Тип 3. Амплитудные объекты — это объекты, которые поглощают свет, в физическом смысле меняют амплитуду или интенсивность световой волны, проходящей через этот объект.

Однако в «чистом виде» они встречаются крайне редко. В качестве примера можно назвать «абсолютно черное тело».

Тип 4. Фазовые объекты — это объекты, которые могут иметь определенное светопоглощение на разных участках и при этом отличаться по оптической плотности.

При прохождении света через такие объекты амплитуда его не меняется, а изменяется фаза колебания, что не фиксируется глазом. Причем величина это-

⁵ <https://ru.wikipedia.org>.

⁶ Электромагнитное излучение, обладающее способностью оказывать воздействие на конкретный светочувствительный материал предусмотренным способом.

⁷ Неактиничное излучение — излучение в видимой области спектра.

го изменения зависит от показателя преломления объекта и его толщины. К фазовым объектам относятся живые неокрашенные микроорганизмы, изображение которых в обычном микроскопе отличается малой контрастностью. К этим же объектам можно отнести и сталь, если рассматривать отраженный, а не проходящий свет.

Тип 5. Фазово-амплитудный объект — это любой объект, который пропускает хоть немного света, имеет показатель преломления и, следовательно, вызывает фазовые изменения в световой волне.

Это приводит к одновременному изменению световой волны по фазе и амплитуде после взаимодействия с объектом.

Примером такого материала могут служить композиты с неметаллической матрицей⁸, в основе которой имеются полимеры, углерод или керамика. Среди полимерных матриц популярными являются эпоксидная, полиамидная и фенолформальдегидная. Форма композиции придается за счет матрицы, которая выступает своеобразным связующим веществом. Для упрочнения материалов используются волокна, жгуты, нити, многослойные ткани.

Тип 6. Люминесцирующие объекты — объекты, основное свойство которых связано с особой способностью некоторых их частиц к самосвечению.

При поглощении света одной длины волны объект начинает испускать свет другой длины волны. Иными словами, возбуждаясь под действием света определенной длины волны, частицы объекта при исследовании их в другой длине волны начинают светиться. При этом частицы испускают свет с длиной волны обычно большей, чем длина волны возбуждающего света.

Существует собственное и наведенное свечение объектов. Свечение, при котором объекты сами светятся, называется собственным. Наведенное свечение объекта возникает под действием света или вещества. Объекты, не обладающие собственной видимой люминесценцией, превращают с помощью специальных красителей — флюорохромов, в объекты, способные светиться под воздействием света.

Если рассматривать объекты технической микроскопии, то, например, нефтепродукты в виде различных смол люминесцируют желтым, оранжевым или бурым свечением, веретенное масло — фиолетовым, бензины — синим или сине-фиолетовым. В то же время под светом люминесценции по-разному светятся синтетические ткани и шерсть. Разные стадии готовности битума хорошо различимы в зелёном свечении.

Тип 7. Анизотропные объекты — это объекты, скорость распространения света в которых различна по различным направлениям, или же это объекты, показатели преломления которых изменяются в зависимости от направления распространения световой волны и плоскости ее колебаний.

Иными словами, это объекты, у которых оптические свойства не одинаковы по различным направлениям. Если плоскополяризованный свет попадет на подобный объект, то, упрощенно говоря, он может разделиться на два луча, поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях. Эти лучи имеют

⁸ <http://fb.ru>.

разные показатели преломления, а значит, и разные скорости распространения. Как мы уже выяснили, это приводит к разности фаз колебаний световой волны. Разность фаз пропорциональна показателю преломления и толщине объекта. Величина поворота плоскости поляризации зависит от длины волны, что говорит о способности поляризованного света к разложению по спектру (дисперсионное свойство). Поляризующее свойство объекта наиболее характерно выражено, когда речь идет об обыкновенном и необыкновенном лучах.

Существует понятие «анизотропия поглощения» (плеохроизм). В анизотропном объекте свет поглощается по-разному в зависимости от плоскости поляризации и направления распространения. Свет различной длины волны поглощается в разной степени. Это ведет к изменению окраски объекта при изменении направления распространения света. Возможно различное поглощение для света, поляризованного по кругу вправо, и для света, поляризованного по кругу влево.

К анизотропным объектам можно отнести кристаллы и волокна.

Тип 8. Изотропный объект — это объект, который не поляризует свет, прошедший через него.

Однако при отражении от изотропного объекта свет может поляризоваться (когда он падает под углом полного внутреннего отражения — закон Брюстера).

Перечисленные свойства в значительной мере определяют конструкции микроскопов и применяемые в них методы исследования и контрастирования (см. цв. вкл., рис. 1.4).

В таблице 1.2 рассмотрены как пример объекты 1-го типа живой и неживой природы, краткая характеристика их внешних особенностей, варианты приготовления объекта (препарата) перед микроскопированием, предлагаемые типы микроскопов.

Таблица 1.2

Пример исследования объектов 1-го типа и рекомендуемое оборудование

№	Группа 1 (описание объекта, пример)	Краткая внешняя характеристика объекта	Основные требова- ния к объектам при проведении микро- скопирования	Возможный тип микроскопа (методы исследования и кон- трастирования)
1	Непрозрачные объекты жи- вотного проис- хождения (рач- ки, клешни, моллюски и т. д.)	– Неровная поверх- ность с достаточно высокой долей по- глощения света; – гладкая поверх- ность округлой фор- мы с определенной долей поглощения и высокой долей отра- жения	Неразрушающие действия над объек- тами (в целом или по частям)	Стереомикроскоп с осветителем падаю- щего света или сме- шанного (с проходя- щим светом) освеще- ния; люминесцентный осветитель; контрастирующие светофильтры

№	Группа 1 (описание объекта, пример)	Краткая внешняя характеристика объекта	Основные требова- ния к объектам при проведении микро- скопирования	Возможный тип микроскопа (методы исследования и кон- трастирования)
2	Непрозрачные объекты нежи- вотного проис- хождения (кауч- чук, резина, подшипники, пластмассовые и металлические детали и т. д.)	– Неровная поверх- ность с достаточно высокой долей по- глощения света; – неровная поверх- ность с высокой до- лей отражения; – гладкая округлая (плоская) поверх- ность высокого от- ражения; – гладкая округлая (плоская) поверх- ность с определенной долей поглощения		Стереомикроскоп и осветители: – осветитель падаю- щего света; – коаксиальный освеще- тель; – отраженного света; – круговые осветите- ли; – осветители падаю- щего света с поляри- заторами; – отражающие мато- вые экраны
3	Непрозрачные объекты (окаме- нелости)	Гладкая или неров- ная (в пределах не- скольких микрон) поверхность с доста- точно высокой долей поглощения света	Специально приго- товленный препара- т/образец (разру- шение целостности предмета)	Микроскоп отра- женного света свет- лого поля, люминес- ценция. Стереомикроскоп
4	Непрозрачные объекты (петро- графия, материа- ловедение)	Гладкая поверхность с достаточно высокой долей отражения света		Микроскоп отра- женного света свет- лого и темного поля, поляризация

1.3. Тенденции развития современных микроскопов для технических целей

За последние 10 лет такого бурного развития в световой микроскопии давно не наблюдалось. Этому способствовало развитие цифровых технологий. Наряду с традиционными микроскопами технического назначения всё большее место занимают лазерные сканирующие микроскопы, цифровые микроскопы, ZOOM-микроскопы (рис. 1.5). Последние три группы обеспечивают новое направление в микроскопии — ВИРТУАЛЬНУЮ МИКРОСКОПИЮ.

Основные продукты исследования техническими микроскопами:

- металлы/сплавы;
- композиционные материалы;
- керамика;
- стекло;
- пластмассы/резина;
- минералы/руды;
- краски/лаки;
- порошок/гранулы;

- природные волокна/волосы;
- химические волокна;
- жидкие кристаллы;
- дерево/бумага;
- цемент/бетон/камни;
- масло/смазка/уголь.



Рис. 1.5

Пирамида, символизирующая основные направления световых микроскопов, применяемых в науке и производстве

Свойства материалов, которые могут быть исследованы с помощью микроскопических методов:

1) **оптические свойства** (*например*, преломление, двулучепреломление, поглощение, отражение, цвет, блеск);

2) **морфологические свойства** (*например*, форма зерна, размер зерна, однородность, поры, слои, поверхность);

3) **конкретные свойства вещества** (*например*, температура плавления, поведение при травлении, точка отрыва, микротвёрдость, динамика роста, растворимость).

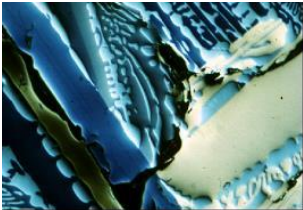
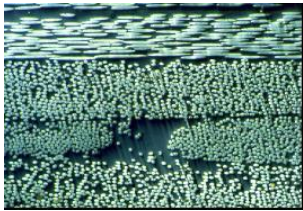
Целевые группы:

- судебная экспертиза;
- материаловедение;
- геология/минералогия;
- строительные материалы;
- химия;
- физика;
- точная механика/оптика;
- реставрация;
- электроника;
- производство интегральных систем;
- микроэлектроника;
- микросистемы.

В таблице 1.3 представлены основные направления в промышленности, где применяются световые микроскопы. Как видно из таблицы, в основном это производство, поиск полезных ископаемых, исследования и контроль.

Таблица 1.3

Основные области применения световых микроскопов технического назначения

№	Целевые группы	Материал	Назначение	Методы	Пробо- подготовка	Примеры
1	<p>Машинострое- ние. Инструменталь- ная промышлен- ность. Автомобиле- строение.</p> <p>Учреждения: исследователь- ские центры. Промышлен- ность. Университеты</p>	<p>Металлы/металлические сплавы. Стали, чугун. Легкие металлы: – плотность $<4,5 \text{ г/см}^3$; – Li, Mg, Be, Al, Ti. Цветные металлы: – Cu, Zr. Металлические сплавы. Бронза/латунь</p>	<p>Контроль качества. Анализ дефектов. Разработка новых материалов</p>	<p>Отраженный свет (ОС): светлое поле; темное поле; поляризация; DIC; люминесценция</p>	<p>Полировка + травление. Полировка</p>	 <p>Алюмомолибденовый сплав, DIC, отраженный свет</p>
2	<p>Пластмасса пере- рабатывающей промышленно- сти. Автомобиле- строение. Точная механика.</p> <p>Учреждения: исследователь- ские центры пластмассового производства</p>	<p>Полимеры. Фасонные части пленок и волокон. Отливки и плёнки. Частично кристаллические термопласты, аморфные термопласты. Композиционные материалы. Углеродные волокна, арми- рованный пластик (CFRP). Стекловолокно, пластик (GFRP). Стекловолокно смолы, ар- мированный пластик</p>	<p>Контроль каче- ства. Дефектоскопия</p>	<p>Проходящий свет (ПС) и отраженный свет (ОС): светлое поле (ПС, ОС); тёмное поле (ПС, ОС); поляризация (ПС); DIC (ОС); люминесценция (ОС)</p>	<p>Микротоми- рование тон- ких срезов. Полировка</p>	 <p>Композитный материал, DIC, отраженный свет</p>

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru