

# Оптическая микроскопия

- Увеличительные свойства наполненных водой стеклянных сосудов упоминались ещё древними римлянами (Сенека).
- Увеличительные линзы уже **производились** с 1500-х годов
- Кто изобрёл микроскоп?
- - ? - голландский мастер очков Ханс Янссен и его сын Захария Янссен изобрели **первый микроскоп в 1590**, (?)
- -?- **Галилео Галилей**. Он разработал «occhiolino» («оккиолино»), или составной микроскоп с выпуклой и вогнутой линзами в 1609 г. Изображение трёх пчел Франческо Стеллутти было частью печати Папы Урбана VIII и считается первым опубликованным микроскопическим символом. Недостаток-несколько линз такого микроскопа удваивали дефекты изображения
- **Кристиан Гюйгенс**- изобрел простую **двухлинзовую систему окуляров** в конце 1600-х, которая ахроматически регулировалась..

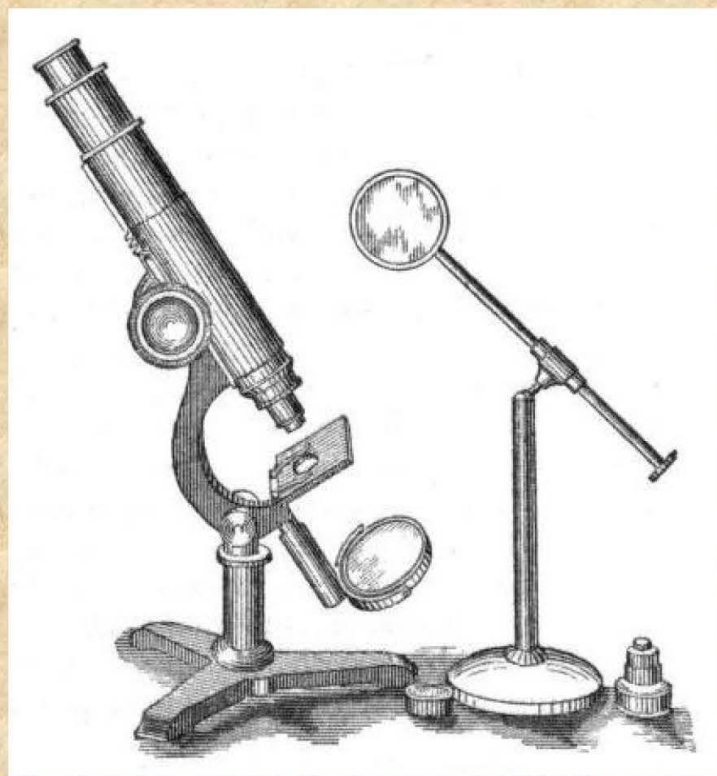
Окуляры Гюйгенса производятся по сей день,

- **Антон Ван Левенгук (1632—1723)** первый обнаружил и исследовал **микроорганизмы**

Ван Левенгука: изготовленные вручную, микроскопы очень небольшие изделия с одной очень сильной линзой. позволяли очень детально рассматривать изображения, не имели недостатков составного микроскопа

- Разработка нем. физиком Э. Аббе (1872—73) **теории образования изображений несамосветящихся объектов** в микроскопе. способствовала развитию разнообразных методов микроскопических исследований.

## Микроскоп - 1875 год



# Принципиальная схема микроскопа

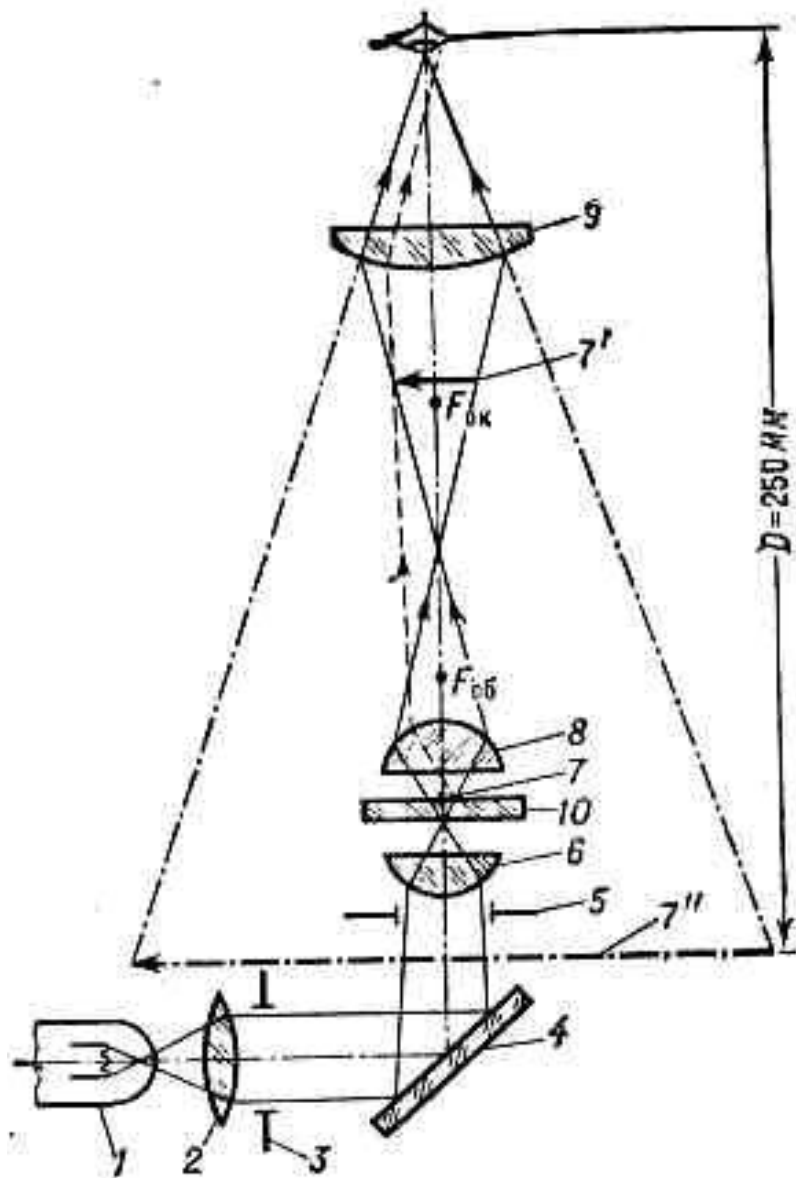


Рис. 1.

Объект 7, расположенный на предметном столике 10, освещается обычно искусств. светом от осветителя (лампа 1 и линза-коллектор 2) с помощью зеркала 4 и конденсора 6. **Для увеличения объекта служит объектив 8 и окуляр 9.**

**Объектив создаёт действительное перевёрнутое и увеличенное изображение 7'** объекта 7.

**Окуляр образует вторично увеличенное мнимое изображение 7''** обычно на расстоянии наилучшего видения  $D = 250 \text{ мм}$ .

Если окуляр сдвинуть так, чтобы изображение 7' оказалось перед передним фокусом окуляра  $F_{ок}$ , то **изображение, даваемое окуляром, становится действительным** и его можно получить на экране или фотоплёнке.

**Полевая диафрагма 3 и апертурная 5** служат для ограничения светового пучка и уменьшения рассеянного света.

# Основные узлы микроскопа



**Механическая часть:** штатив, тубусодержатель, тубус и револьвер для крепления и смены объективов, предметный столик приспособления для крепления конденсора и светофильтров, встроенные в штатив механизмы для грубого (макромеханизм, макровинт) и тонкого (микромеханизм, микровинт) перемещения предметного столика или тубусодержателя.

**Оптическая часть :** объективы, окуляры и осветительная система, которая в свою очередь состоит из расположенных под предметным столиком конденсора Аббе и встроенного осветителя с низковольтной лампой накаливания и трансформатором.

**Тип применяемого конденсора** зависит от выбора метода наблюдения. (Светлопольные конденсоры или конденсоры для наблюдения по методу фазового или интерференционного контраста - двух или трехлинзовые системы)

### 3. Оптический микроскоп Zeiss Axio Imager A1 (Германия, 2008 г.)

монокулярные ,  
бинокулярные  
тринокулярные



**Объективы** в большинстве современных М. сменные и выбираются в зависимости от конкретных условий наблюдения. Несколько объективов закрепляются в одной вращающейся (т. н. револьверной) головке;

Оборудованный для всех методов контрастирования и исследования как в проходящем, так и отраженном свете: светлое поле, темное поле, фазовый контраст, переменный контраст (varel-контраст), дифференциально-интерференционный контраст (DIC), поляризация, люминесценция. **Увеличение от x5 до x1000.**

Световые лучи, отраженные от ровных участков поверхности шлифа, попадают в объектив.

Лучи, отраженные от микронеровностей в объектив не попадают.

Конечное изображение формируется окуляром.

Ровные участки шлифа, перпендикулярные оптической оси микроскопа на конечном изображении оказываются светлыми, а участки, наклоненные к оси – темными. Благодаря этому выявляются границы зерна, частицы второй фазы, поры, другие <sup>уры</sup> материалы.

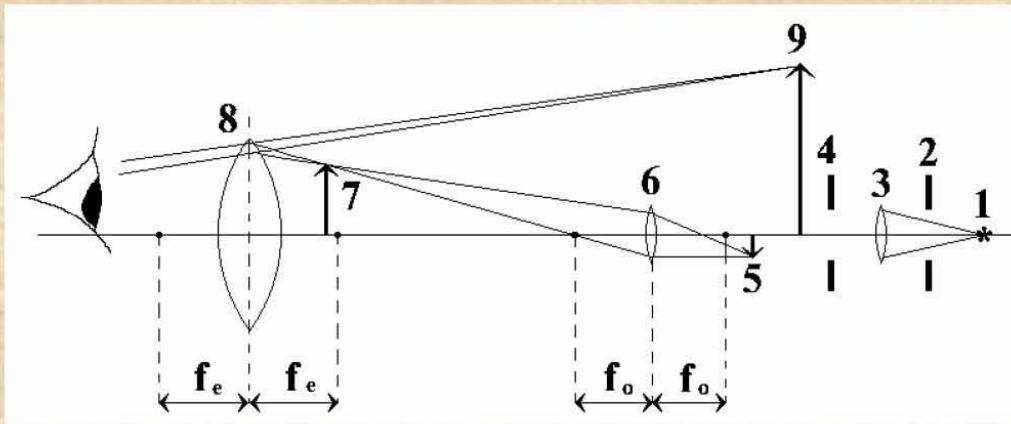
Бериллиевая бронза (для пружин измерительных приборов).

Крупные зерна альфа-твердого раствора на основе меди с большим количеством двойников; внутри них видны выделения бета-фазы



# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## ОСНОВЫ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ



Оптическая схема трехлинзового оптического микроскопа. 1-источник света, 2-апертурная диафрагма конденсора, 3-конденсорная линза, 4-полевая диафрагма, 5-объект, 6-объективная линза, 7-первое увеличенное действительное изображение, 8-окулярная линза, 9-второе увеличенное мнимое изображение

$$K = \frac{H}{h} = \frac{D \cdot \Delta}{f_1 \cdot f_2}$$

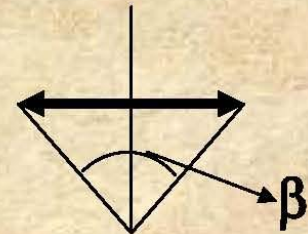
Здесь  $f_1$ ,  $f_2$  - фокусные расстояния объективной и окулярной линз, - расстояние между фокусами этих линз,  $D$  - расстояние наилучшего зрения. Например, если для типичного случая  $f_1=2mm$ ,  $f_2=15mm$ ,  $D=250mm$ , коэффициент увеличения такого микроскопа  $K=1335$ .

$$\epsilon = \frac{0.61\lambda}{A}$$

Дифракционное разрешение

$$A = n \cdot \sin\beta$$

Числовая апертура





## Разрешающая способность

**Разрешающая способность прибора характеризует минимальное расстояние между двумя соседними деталями структуры объекта, которые еще могут быть отдельно различимы.**

Ограничения разрешающей способности оптических приборов обусловлены дифракционными явлениями и абберациями элементов оптических систем.

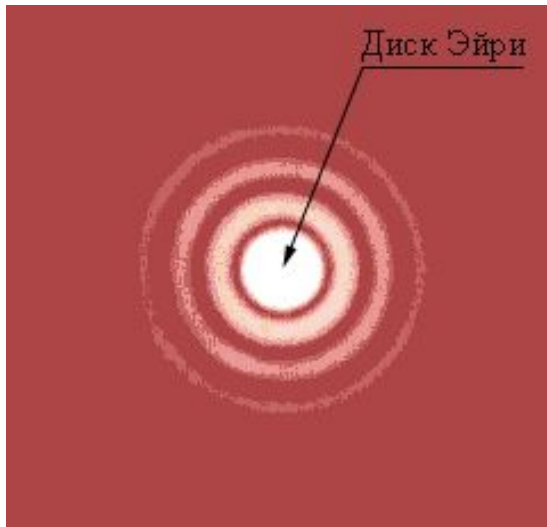
Вследствие **дифракции** изображение бесконечно малой светящейся точки, даваемое объективом **имеет вид не точки, а круглого светлого диска** (окружённого тёмными и светлыми кольцами), диаметр которого равен:

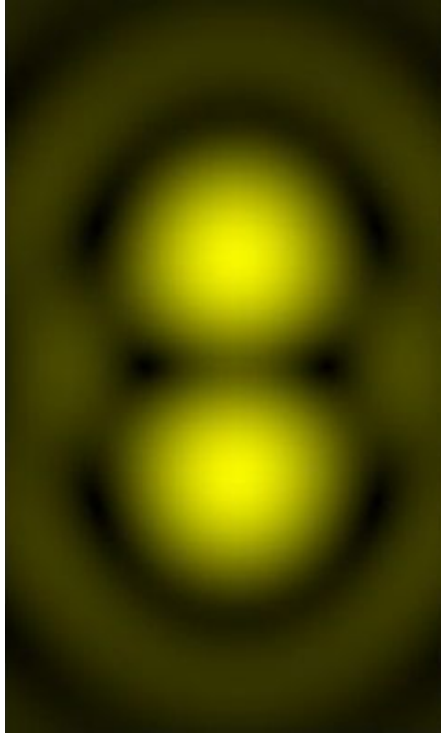
$$d = 1,22 \lambda / A,$$

где  $\lambda$  — длина волны света и  $A$  — т. н. **числовая апертура объектива**, равная:

$$A = n \times \sin \alpha / 2$$

( $n$  — показатель преломления среды, находящейся между предметом и объективом,  
 $\alpha$  — угол между крайними лучами конического светового пучка, выходящего из точки предмета и попадающего в объектив).



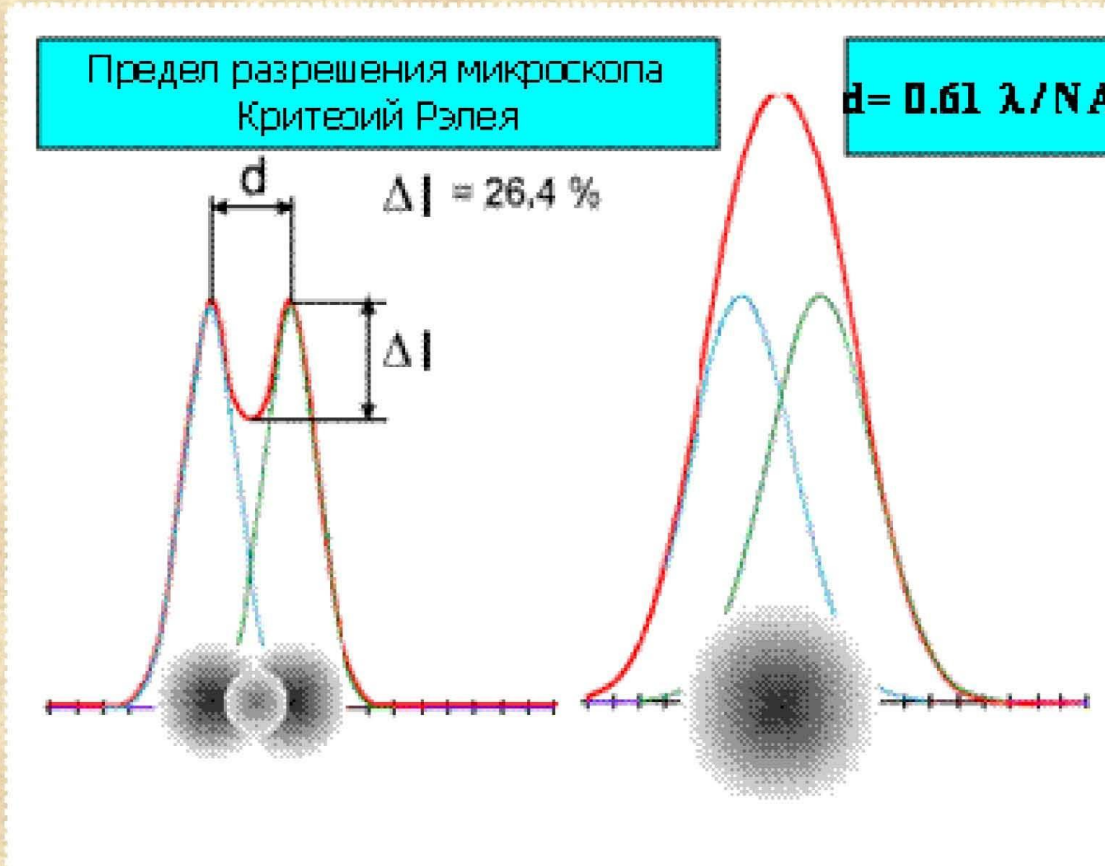


Если две светящиеся точки расположены близко друг от друга, их дифракционные картины накладываются одна на другую, давая в плоскости изображения сложное распределение освещённости. Наименьшая относительная разница освещённостей, которая может быть замечена глазом, равна 4%.

определяет минимальное угловое расстояние между точками

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

## Разрешающая способность оптической системы



определяет минимальное **угловое** расстояние между точками  
 $\sin \theta = 1.22 \lambda / D$

$\theta$  — угловое разрешение (минимальное угловое расстояние),  $\lambda$  — длина волны,  
 $D$  — диаметр входного зрачка оптической системы (часто он совпадает с  
диаметром объектива).

**Максимальная разрешающая способность оптического микроскопа** соответствует условию:

$$d = \lambda / 2n \sin\alpha = \lambda / 2A,$$

(1)

где  $\lambda$  - длина волны света;

$n$  – показатель преломления среды между объектом и объективом (для воздуха  $n = 1$ );

$\alpha$  - **угловая апертура объектива**, равная половине угла, под которым виден зрачок объектива из точки предмета, лежащей на оптической оси (*угол между крайними лучами конического светового пучка, выходящего из точки предмета и попадающего в объектив*).

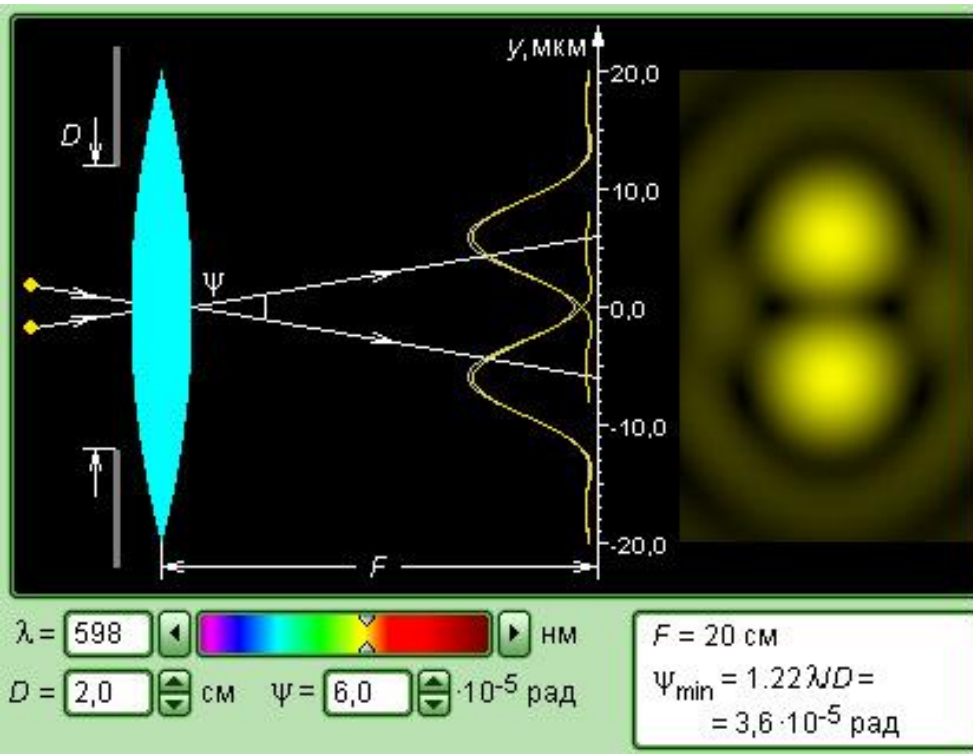
Величина  $A = n \sin\alpha$  называется **числовой апертурой объектива**.

Для освещения объектов в металлографических микроскопах наиболее часто применяется **белый свет**. Длина волны  $\lambda = 0,55$  мкм. **Максимальная разрешающая способность металлографического микроскопа равна:**

$$d \approx 0,55 \div 2 \div 1,44 \approx 0,2 \text{ мкм} .$$

**Числовую апертуру объектива можно увеличить, заполняя пространство между объективом и исследуемым шлифом**

## Предел разрешения светового микоскопа



Первый предел разрешения объектива светового микроскопа был определен в 1874 г. немецким физиком г. Гельмгольцем

Формула Гельмгольца:

$$\lambda_{\min} = \frac{0,61\lambda}{n \sin \alpha}$$

$\lambda$  – длина волны,

$n$  – показатель преломления среды, иммерсионной жидкости,

$\alpha$  – апертурный угол

Величина  $n \sin \alpha$  – **числовая апертура**.

## Имерсионные системы

- Т. о., разрешающая способность ( $=1/d$ ) прямо пропорциональна **апертуре объектива и для её повышения пр-во между предметом и объективом заполняется жидкостью с большим показателем преломления).**
- Апертуры иммерсионных объективов большого увеличения достигают **величины  $A = 1,3$**  (у обычных «сухих» объективов  $A = 0,9$ ).

В качестве иммерсионной среды - **кедровое масло**, имеющее показатель преломления  $n = 1.52$  (+ специальные иммерсионные объективы)

- **Метод наблюдения в ультрафиолетовых (УФ) лучах позволяет увеличить предельную разрешающую способность  $M$ , т. е. понизить его предельное разрешение, которое зависит (см. выше) от длины волны  $\lambda$  применяемого излучения (для используемых в микроскопии УФ лучей**

$\lambda = 400—250 \text{ нм}$ , тогда как для видимого света  $\lambda = 700—400 \text{ нм}$ ).

Этот метод расширяет возможности микроскопических исследований за счёт того, **что частицы многих веществ, прозрачные в видимом свете, сильно поглощают УФ излучение определённых длин волн и, следовательно, легко различимы в УФ изображениях.**

(пуриновые основания, пиримидиновые основания, большинство витаминов, ароматические аминокислоты, некоторые липиды, тироксин и др.) - применение УФ микроскопии в качестве одного из методов цитохимического анализа.

- Ультрафиолетовые лучи невидимы для человеческого глаза. Изображения в УФ микроскопии регистрируют либо фотографически, либо с помощью **электронно-оптического преобразователя** или люминесцирующего экрана: объект фотографируется в трёх длинах волн УФ области спектра; каждый из полученных негативов освещается видимым светом определённого цвета (например, синим, зелёным и красным), и все они одновременно проектируются на один



# Выбор увеличения микроскопа

- . Увеличение  $N$  называют полезным, если разрешаемые детали структуры можно **наблюдать под углом зрения 2-4 минуты**. Полезное увеличение находится в пределах

$$N \approx 500A - 1000A.$$

- С учетом максимального значения числовой апертуры можно определить **максимальное полезное увеличение** металлографического микроскопа. Оно составляет примерно **1500**. Применение увеличений, превышающих  $1000A$ , нецелесообразно, поскольку оно не дает новых деталей в изображении структуры, а лишь приводит к ухудшению качества изображения.

При выполнении металлографических исследований **объектив выбирают, исходя из необходимого полезного увеличения микроскопа  $N$** . Величину  $N$  определяют из выражения  $N = 200/d$  где  $d$  – минимальный размер интересующих исследователя деталей структуры (например, частиц какой-либо фазы), мкм; 200 – разрешаемое расстояние для глаза наблюдателя, мкм. Зная величину  $N$ , можно по формуле (2) определить соответствующую числовую апертуру  $A$  и выбрать объектив, а затем окуляр.

## Увеличение металлографического микроскопа

- Общее увеличением, равно произведению увеличения объектива на увеличение окуляра:

$$Г = b \times \text{ок.}$$

**Увеличение объектива :  $b = D / f'_{\text{об}}$ ,**

- где  $D$  — расстояние между задним фокусом объектива  $f'_{\text{об}}$  и передним фокусом окуляра  $F_{\text{ок}}$  (т. н. оптич. длина тубуса  $M.$ );  $f'_{\text{об}}$  — фокусное расстояние объектива.
- **Увеличение окуляра**, подобно увеличению лупы, выражается формулой:

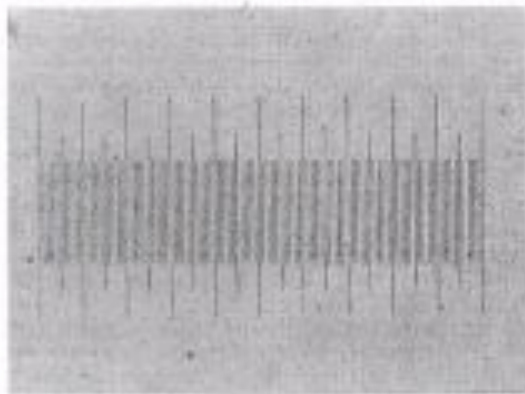
$$Г_{\text{ок}} = 250 / f'_{\text{ок}},$$

где  $f'_{\text{ок}}$  — фокусное расстояние окуляра.

- Обычно объективы имеют увеличения от 6,3 до 100, а окуляры от 7 до 15. Поэтому **общее увеличение  $M.$  лежит в пределах от 44 до 1500.**

# Средства измерения

нанесена микро-метрическая шкала общей длиной 1 мм. Цена одного деления на **объект-микрометре** составляет 0,1 мм.



Шкала объект-микрометра



Объект-микрометр проходящего света

Для измерения размеров объекта необходимо предварительно **определить цену деления окуляр-микрометра** при данной комбинации объектива и окуляра.

На предметный столик микроскопа помещают объект-микрометр и определяют скольким делениям объект-микрометра соответствует определенное количество делений **окуляр-микрометра**. После этого определяют цену деления окуляр-микрометра по формуле

$$L_{ок} = \frac{n_{об} \cdot l_{об}}{n_{ок}}$$

$l_{ок}$  - цена деления окуляр-микрометра,

$n_{об}$  - количество делений объект-микрометра,

$l_{об}$  - цена деления объект-микрометра,

$n_{ок}$  - количество делений окуляр-микрометра,

соответствующее  $n$  делений объект-микрометра

( $n$ )

## Дефекты изображения

- К дефектам изображения относятся:
- хроматическая аберрация
- и сферическая аберрация,
- астигматизм,
- кома,
- дисторсия
- кривизна изображения.

- **Хроматическая аберрация** обусловлена тем, что при использовании **немонохроматического света** лучи с **меньшей длиной волны преломляются линзой сильнее, чем лучи с большей длиной волны.**

В результате возникают изображения разной величины, располагающиеся в различных плоскостях.

- **Сферическая аберрация** связана с различным преломлением монохроматических лучей, проходящих через различные участки линзы.

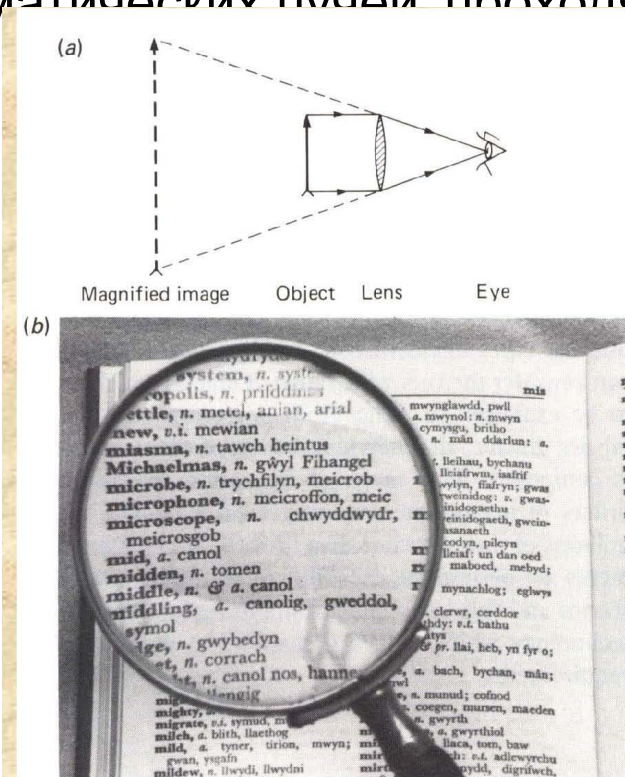


Схема построения изображения при помощи двояковыпуклой линзы (лупа) –а); Изображение фрагмента страницы текста – (б) На изображении наблюдаются искажения связанные со сферической Аберрацией.

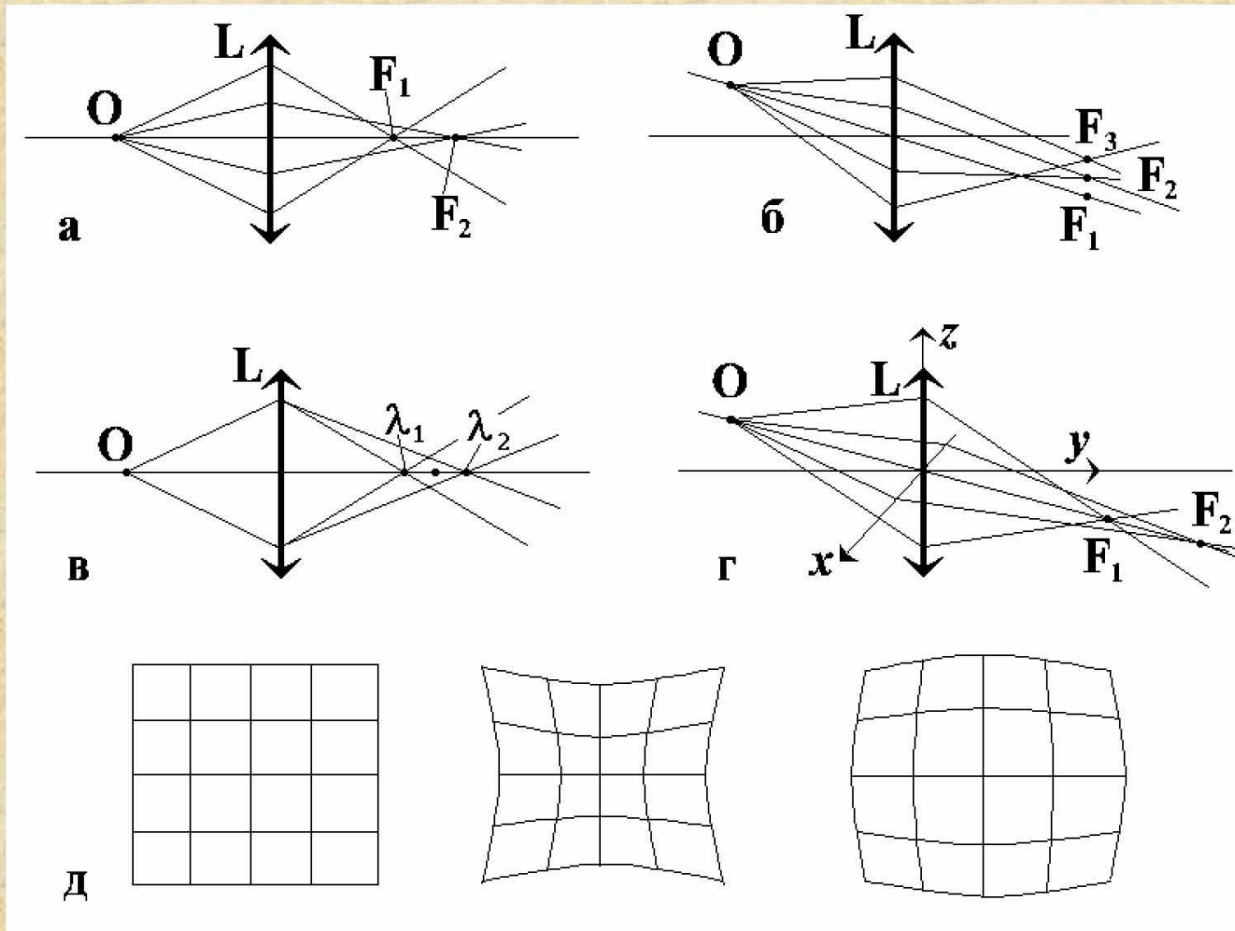
использовании световых пучков большого диаметра. В результате проявления комы изображение отдельных деталей образца, располагающихся на некотором расстоянии от оси линзы, получается размытым.

- Вследствие **астигматизма** при прохождении через линзу пучка лучей от светящегося точечного источника, расположенного ***вне оптической оси***, **образуются две фокусные линии, находящиеся в разных плоскостях.**

При наличии астигматизма изображение точки в промежуточных плоскостях имеет форму круглого или эллиптического пятна рассеяния.

- **Дисторсия** связана с различным увеличением деталей объекта, находящихся на разном расстоянии от оптической оси. ***При наличии дисторсии изображения прямых линий оказываются искривленными.***

## Аберрации оптических систем



Аберрации линз. а)-сферическая аберрация, б)-кома, в)-хроматическая аберрация, г)-астигматизм, д)-дисторсия.

## **Объективы и окуляры для металлографических микроскопов**

В зависимости от степени исправления дефектов изображения и рабочей области спектра **объективы** металлографического микроскопа делятся на **ахроматы, апохроматы, планахроматы и планапохроматы**.

У **ахроматических** объективов исправлена сферическая аберрация, кома и

хроматическая аберрация для двух цветов, наиболее важных для визуального наблюдения.

**Апохроматические объективы** отличаются более высокой степенью исправ-

ления сферической аберрации и комы, а также обеспечивают более правильную цветопередачу. Они особенно подходят для работы на больших увеличениях и микрофотографирования.

**Планахроматы и планапохроматы** скорректированы также как ахроматиче-

ские и апохроматические объективы. Кроме того у них исправлена кривизна изображения.



Окуляры характеризуются собственным увеличением и степенью коррекции изображения. Современные металлографические микроскопы оснащаются окулярами с увеличением от 5 до 20.

По роду и степени коррекции дефектов изображения различают простые окуляры, компенсационные окуляры, фотоокуляры и гомали.

**Простые окуляры** (окуляры Гюйгенса) обычно используются при визуальной работе с объективами – ахроматами с малой и средней апертурой.

Компенсационные окуляры специально рассчитаны на исправление остаточных aberrаций объективов – апохроматов и применяются вместе с ними.

**Фотоокуляры и гомали** предназначены для микрофотографирования и проецирования изображения на экран.

# Микроскопия

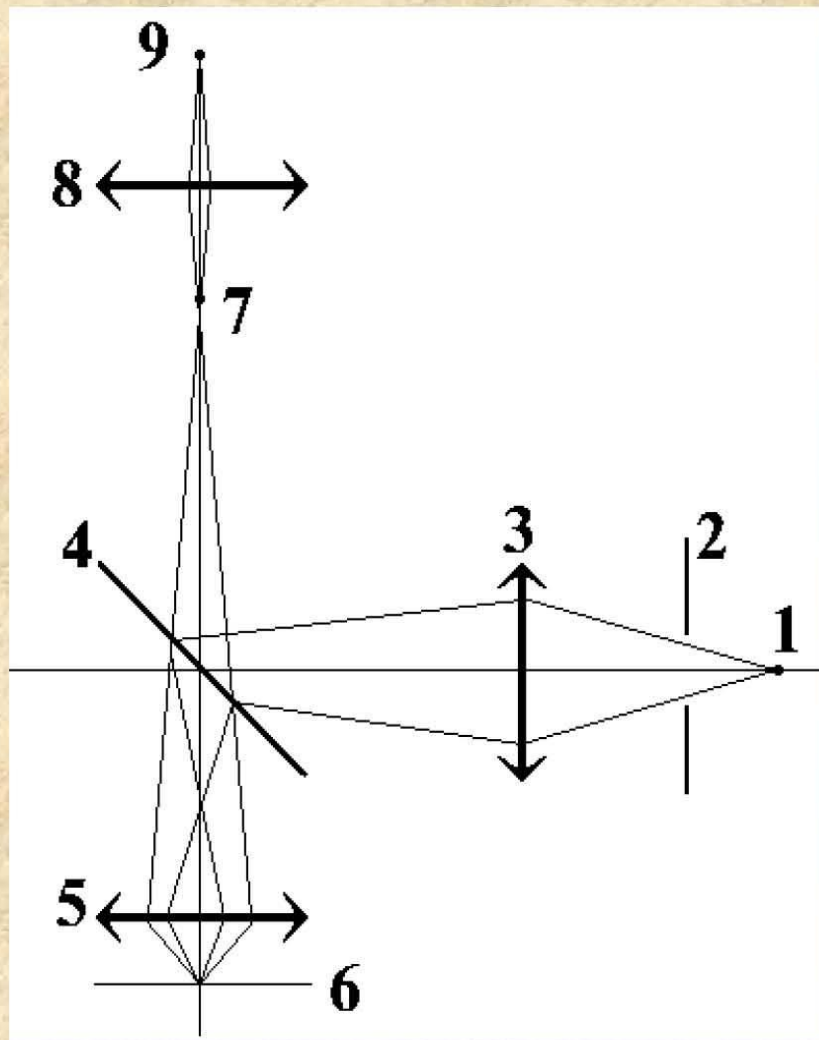
- Структуру объекта можно различить, если разные его участки по-разному поглощают и отражают свет либо отличаются показателями преломления.
- **Эти свойства обуславливают разницу амплитуд и фаз световых волн**, отраженных от разных участков объекта, от чего, в свою очередь, зависит **контрастность изображения**.  
Поэтому методы наблюдения, применяемые в микроскопии, выбираются в зависимости от характера и свойства в изучаемого объекта.
- **Подготовка образцов:**
  - механическое шлифование
  - электро-химическая или ультразвуковая полировка
  - химическое травление: степень травления зерен разной ориентации различна, в сплаве, имеющем две или несколько фаз, эти фазы могут различаться по величине электрохимического потенциала- зерна каждой фазы по-разному ведут себя при травлении.

## **Методы микроскопического исследования**

В основном металлографические исследования проводятся с использованием светлопольного (вертикального) освещения.

**Для дополнительного повышения контрастности** применяют другие виды освещения. В частности используются :

- **метод косого освещения,**
- **метод темнопольного освещения,**
- **исследование материала в поляризованном свете,**
- **метод фазового контраста,**
- **метод интерференционного контраста,**

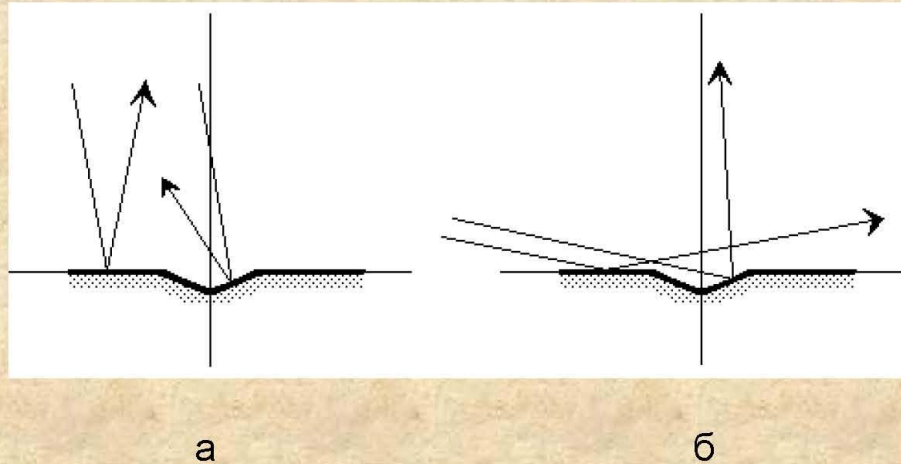


## Схема металлографического микроскопа

1-источник света; 2-апертурная диафрагма конденсора; 3-конденсорная линза; 4-полупрозрачное зеркало; 5-объектив; 6-плоскость объекта; 7-плоскость первого изображения; 8-окуляр; 9-плоскость второго изображения.

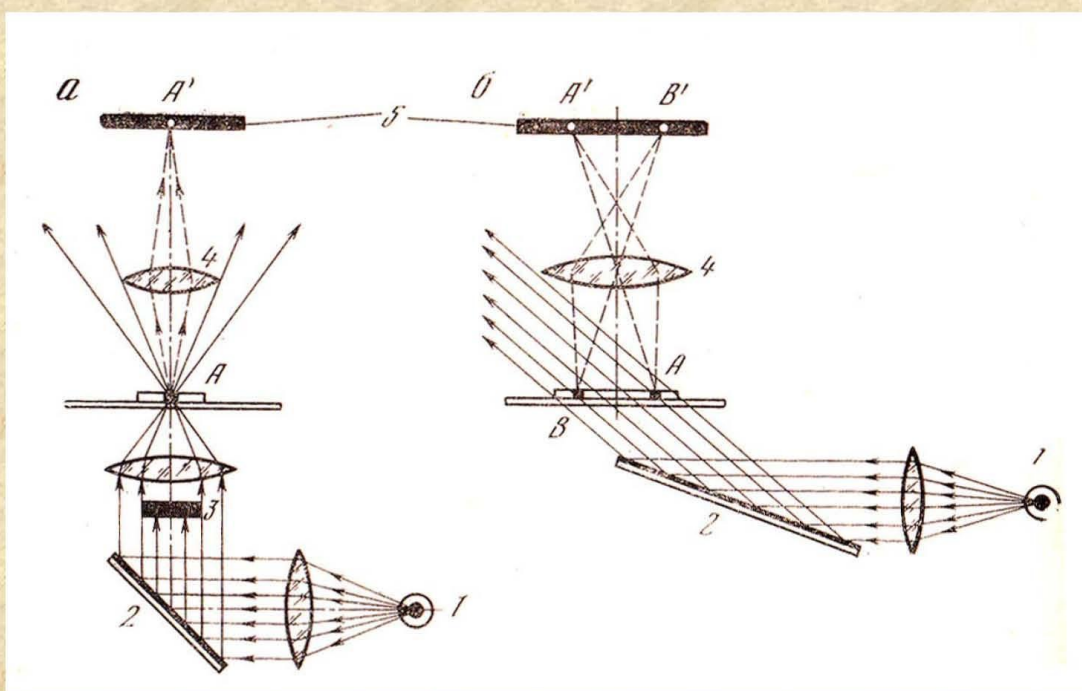
Структура объекта видна **из-за различия в отражающей способности её элементов**; на светлом поле выделяются неоднородности, рассеивающие падающий на них свет

## Способы освещения объекта а-прямое освещение, б-наклонное (косое) освещение



Схема, иллюстрирующая образование а-светлопольного и б-темнопольного контраста

**Метод косо́го освещения:** в создании изображения преимущественно участвуют *косые лучи*, не параллельные оптической оси системы. **Повышение контраста** при этом обусловлено увеличением роли дифрагированных на разных элементах структуры лучей и образованием **теней** от рельефа поверхности объекта. Поэтому косое освещение целесообразно применять при достаточно резком рельефе поверхности шлифа.



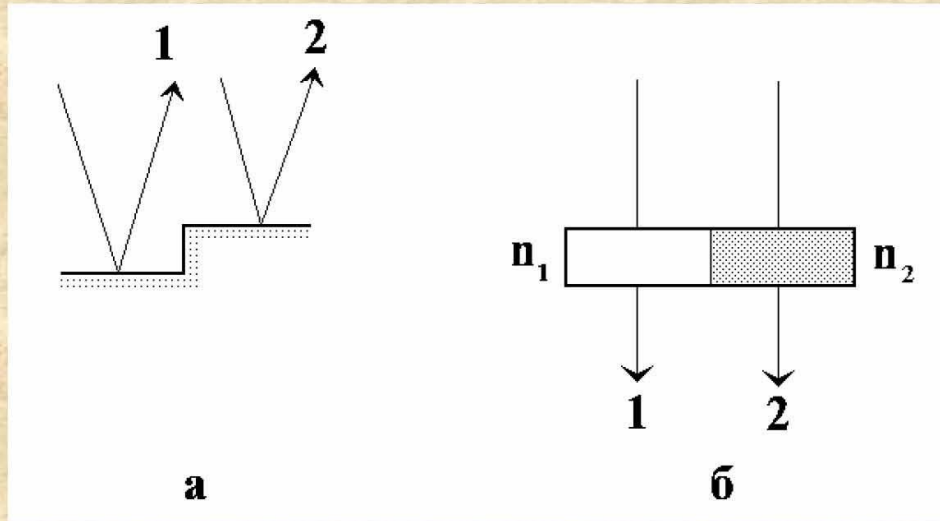
## Схема образования темнопольного изображения при прямом (а) и косом (б) освещении

1-источник освещения, 2-зеркало, 3-затемняющая пластина (экран)

4-объектив, 5-темное поле

**Метод темнопольного освещения** основан на том, что объектив выключается из системы осветителя. Объект освещают сверху — через специальную кольцевую систему, расположенную вокруг объектива и называемую эikonденсором. В этом случае прямые лучи через объектив не проходят. Изображение формируется рассеянными лучами. При использовании метода темнопольного изображения гладкие участки выглядят темными, а рельефные — светлыми и яркими

## АМПЛИТУДНЫЙ КОНТРАСТ



$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}$$

$$I_1 = |A_1 \mathbf{E}_1 \cdot A_1 \mathbf{E}_1^*| = A_1^2 \cdot E_0^2$$

$$I_2 = |A_2 \mathbf{E}_2 \cdot A_2 \mathbf{E}_2^*| = A_2^2 \cdot E_0^2$$

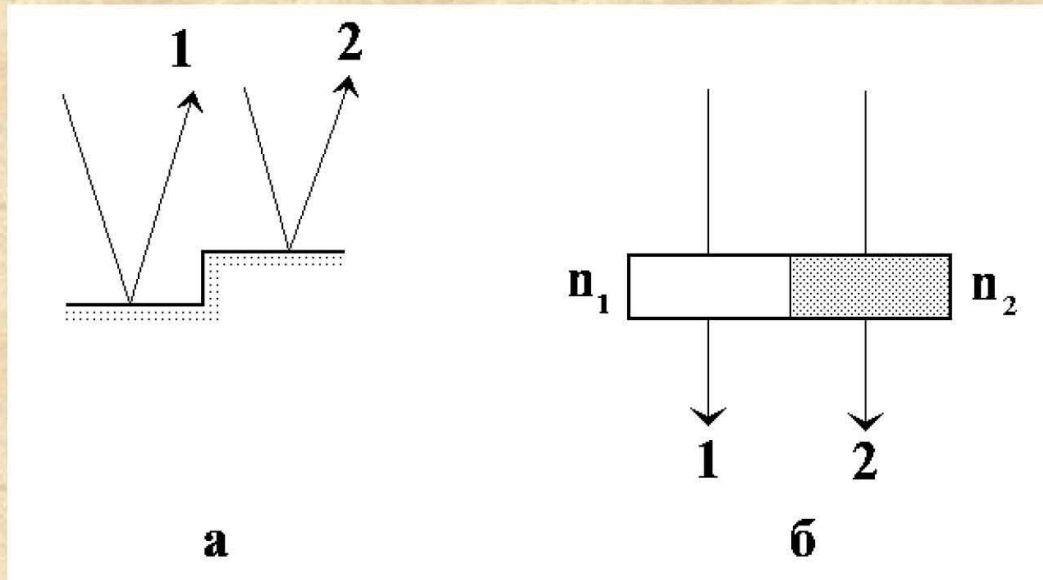
$$\mathbf{E}_1 = A_1 \cdot \mathbf{E}_0 \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}$$

$$\mathbf{E}_2 = A_2 \cdot \mathbf{E}_0 \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}$$

$$\mathbf{E} = A(x, y) \cdot \mathbf{E}_0 \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}$$

$$I(x, y) = |\mathbf{E} \times \mathbf{E}^*| = A^2(x, y) \cdot E_0^2$$

## ФАЗОВЫЙ КОНТРАСТ



$$E = E_0 \cdot \sin \omega t$$

$$E_1 = E_0 \cdot \sin \omega t$$

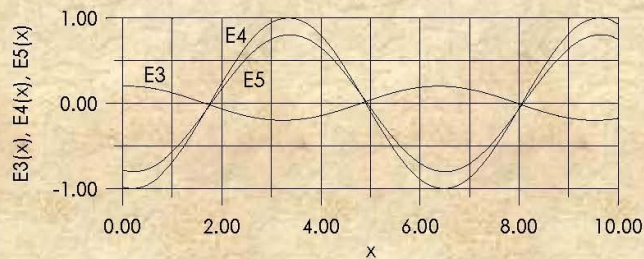
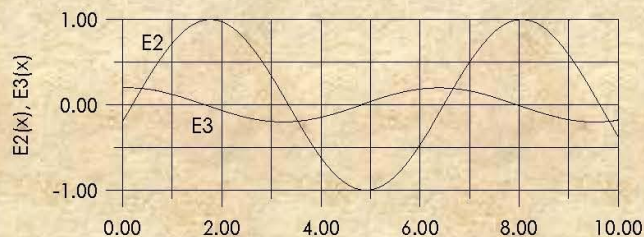
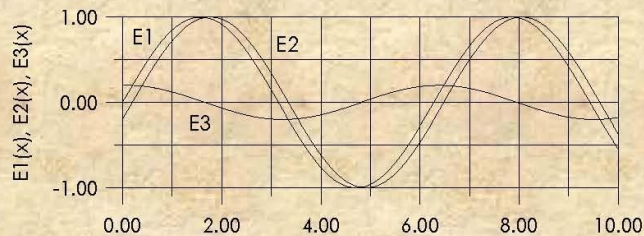
$$E_2 = E_0 \cdot \sin(\omega t - \Delta \varphi)$$

$$I = |E|^2$$

$$\Delta \varphi(x, y) \ll 1$$

Тонкий фазовый объект

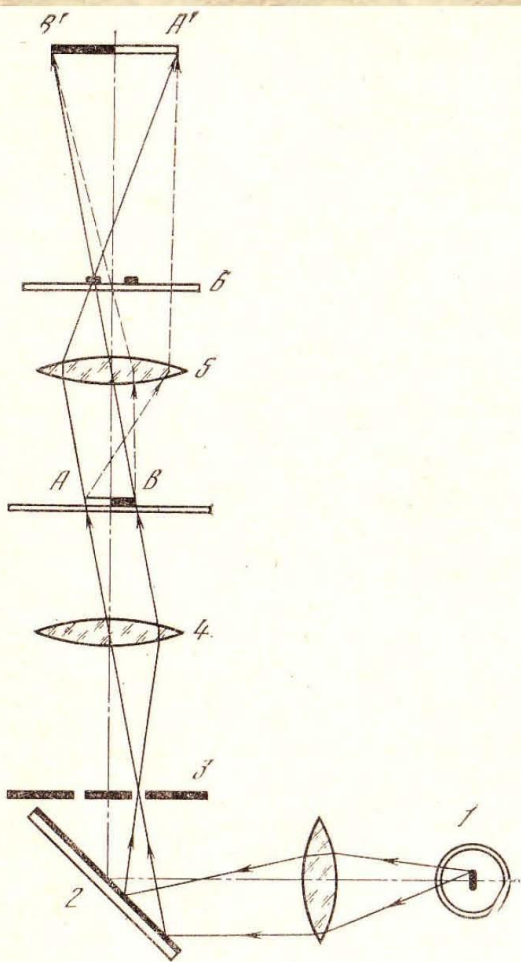




$$E_1(x) = \sin(x), \quad E_2(x) = \sin(x - \phi), \quad E_3(x) = E_1(x) - E_2(x), \\ E_4(x) = E_2(x - p), \quad E_5(x) = E_3(x) + E_4(x)$$

*Фазовый сдвиг волн,  
возникающий при рассеянии  
на фазовом объекте.*

**Этот способ фазового детектирования микроскопического изображения был разработан Ф.Цернике в 1935 году. Для его реализации необходимо разностную волну сдвинуть по фазе на четверть длины волны**

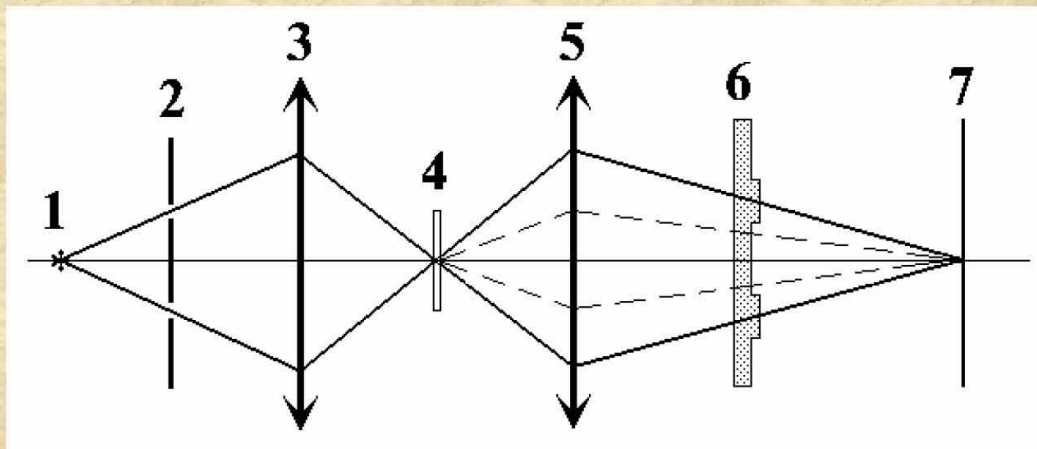


## Получение фазового контраста в светлпольной микроскопии

1-источник света, 2-зеркало, 3-апертурная диафрагма,  
4-конденсор, 5-объектив,  
6-четвертьволновая фазовая пластинка

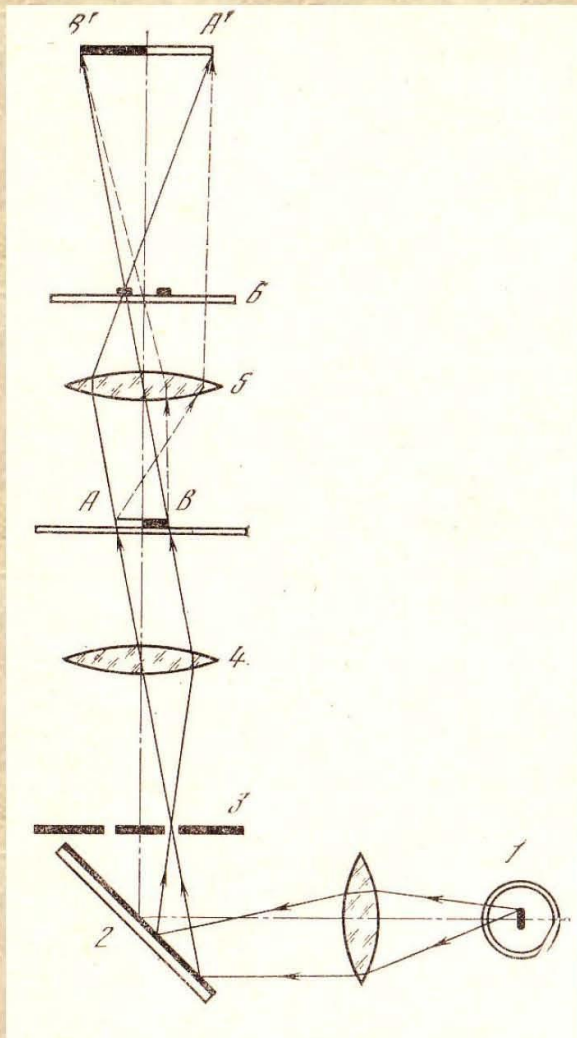
Способ фазового детектирования микроскопического изображения был разработан Ф. Цернике в 1935 году. Для его реализации необходимо разностную волну сдвинуть по фазе на четверть длины волны

**Метод фазового контраста** позволяет обнаружить разность в уровнях рельефа поверхности до  $\sim 5$  нм. Его рекомендуется использовать для изучения границ зерен, двойников, линий скольжения и дисперсных выделений. Метод основан на том, что неровности поверхности шлифа создают разность фаз отраженных световых лучей. В микроскопах эта разность усиливается системой, состоящей из кольцевой диафрагмы и фазовой пластинки.



## Ход лучей в фазово-темнопольном микроскопе.

1-источник света; 2-кольцевая апертурная диафрагма; 3-конденсорная линза;  
4-фазовый объект; 5-объектив; 6-четверть-волновая пластинка; 7-фазово-  
темнопольное изображение объекта



## Получение фазового контраста в светлпольной микроскопии

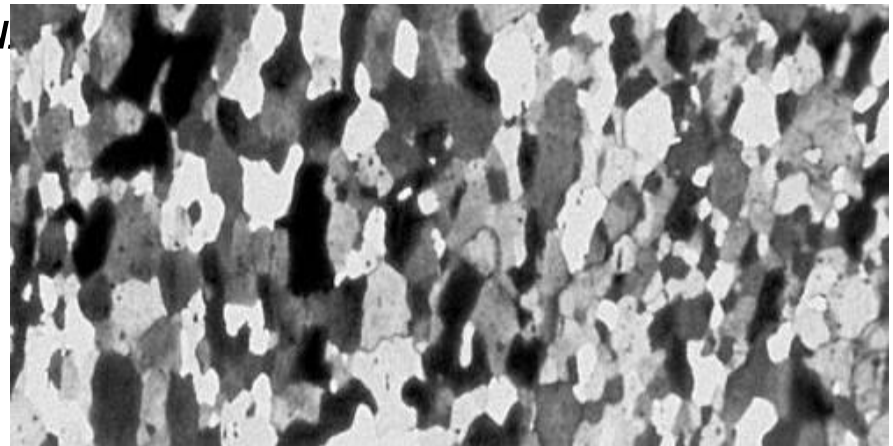
1-источник света, 2-зеркало, 3-апертурная диафрагма,  
4-конденсор, 5-объектив,  
6-четвертьволновая фазовая пластинка

- **Метод поляризованного света.**

-перед коллекторной линзой помещают поляризатор. Создающийся в поляризаторе плоскополяризованный свет после отражения от объекта проходит через анализатор, расположенный между объективом и окуляром или над окуляром. Если объект оптически изотропен, то при соответствующем взаимном положении поляризатора и анализатора можно добиться полного поглощения света. **Однако если какие-либо фазы оптически анизотропны**, то при скрещенных полярофильтрах полного поглощения лучей не происходит и **отдельные кристаллы оказываются светлыми, т.е. получается видимое контрастное изображение.**

- Наиболее часто поляризованный свет применяют для идентификации неметаллических включений в сталях а также мартенситные пластины. двойники). *Конструкция микроскопа должна предусматривать включение и выключение полярофи.*  
*пределах от 0 до 90 градусов.*

Микроструктура алюминия после рекристаллизации, наблюдаемая с помощью светового микроскопа в поляризованном свете.



***Количественный структурный анализ*** при проведении металлографических исследований является весьма трудоемким. Эта операция существенно облегчается с помощью автоматических анализаторов изображений. Анализаторы типа «Квантимет», «Эпиквант». Современные анализаторы изображений являются многофункциональными автоматизированными системами, обработка данных на которых осуществляется с помощью ЭВМ.

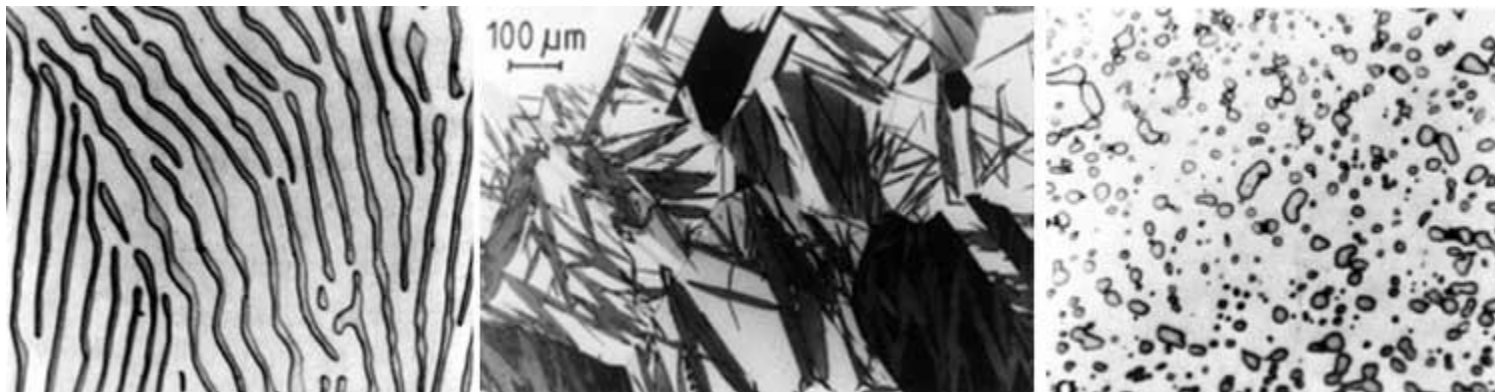
(SIAMS 600, Эта система позволяет проводить распознавание и классификацию объектов на изображениях, определять геометрические, цветовые и яркостные параметры объектов, выполнять статистический анализ и отчет по результатам исследований).

## Металлография

Зерна чистых металлов или твердых растворов имеют неодинаковую кристаллографическую ориентировку. Поэтому на приготовленную плоскость микрошлифа приходятся зерна, срезанные по разным кристаллографическим направлениям и имеющие в этих направлениях неодинаковые свойства.

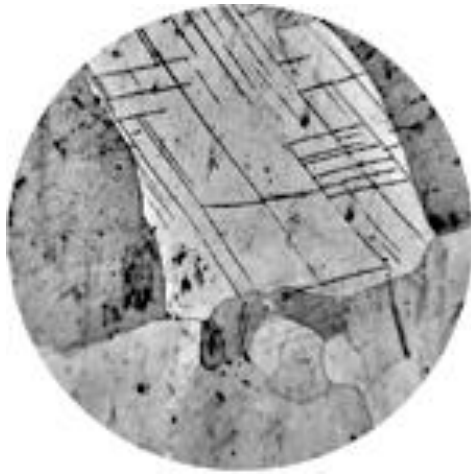
. Световой поток, направленный через объектив на микрошлиф, отражается различно от разных зерен; на участках стыков зерен возникает значительное рассеяние, и отраженные лучи не попадают в поле зрения, поэтому по границам зерен возникают темные линии, которые и воспроизводят картину действительных стыков между зернами. Этот эффект в значительной степени возрастает также и потому, что по границам зерен сосредоточиваются многие примеси, имеющиеся в металле или сплаве; протравливаемость по границам зерен вследствие образования гальванических пар увеличивается, и темные линии, указывающие на границы зерен, выступают весьма отчетливо.

# Примеры металлографических исследований

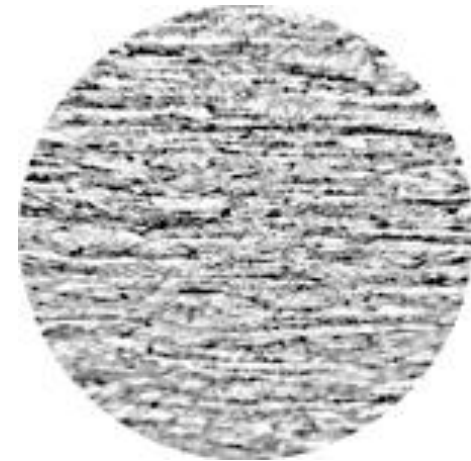


- *МИКРОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ перлита (а), мартенсита (б) и распределения частиц цементита в феррите (в).*
- . Вследствие наличия некоторого количества косых световых лучей, выступающие фазы отбрасывают тень на более сильно протравленные и расположенные ниже фазы, в результате чего образуются теневые картины. Этот эффект усиливается из-за рассеяния лучей, отраженных более глубоко расположенными и более сильно протравленными фазами.



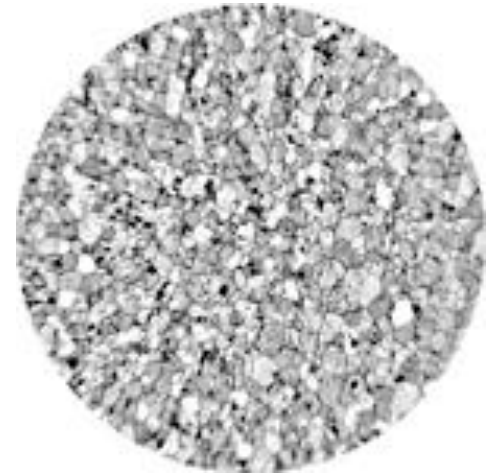
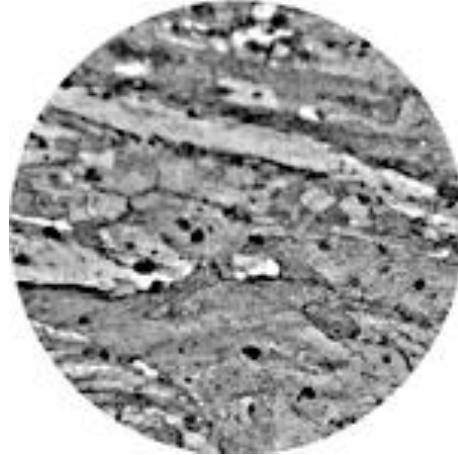


**Сталь 0,5.**  
феррит  
травление в 3%-  
ре азотной  
кислоты



обжатие 80%, Зерна сжаты в  
направлении обжатия. Травимость зерен  
высокая и приближается к травимости  
границ.

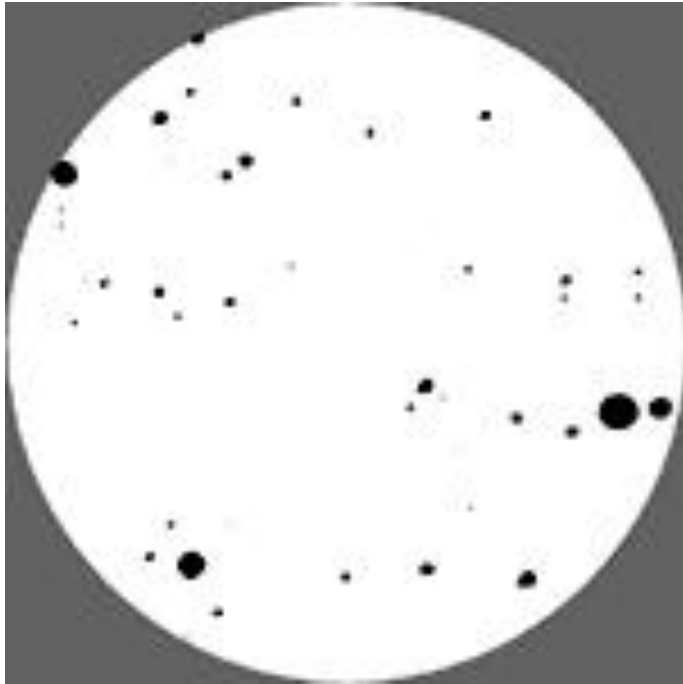
обжатие 5%. **составляющие:** феррит  
**Субструктура:** Однородная с линиями  
сдвига



обжатие 30%.  
Зерна сжаты в направлении  
обжатия.

обжатие 80% и отжиг  
при 550°C, Начало  
первичной  
рекристаллизации.

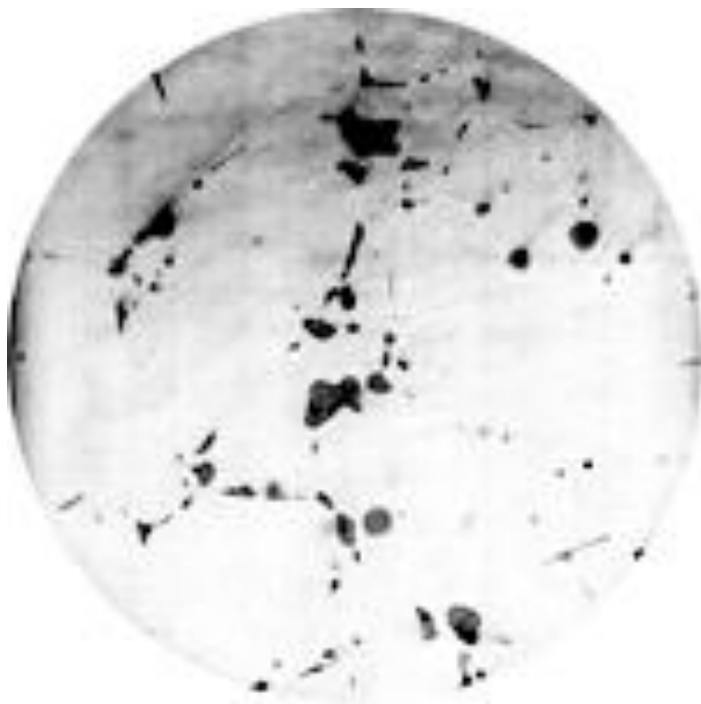
Сталь, обжатие 80% и отжиг  
при 600°C. Первичная  
рекристаллизация  
окончилась



Оксиды в литой стали.  
Участок вблизи усадочной раковины с особо большой концентрацией оксидов.



Оксиды в литой стали в ПОЛЯРИЗОВАННОМ свете. *Оксиды образуют характерный светлый крест на темном фоне скрещенных поляроидов.* Участок вблизи усадочной раковины с особо большой концентрацией оксидов.

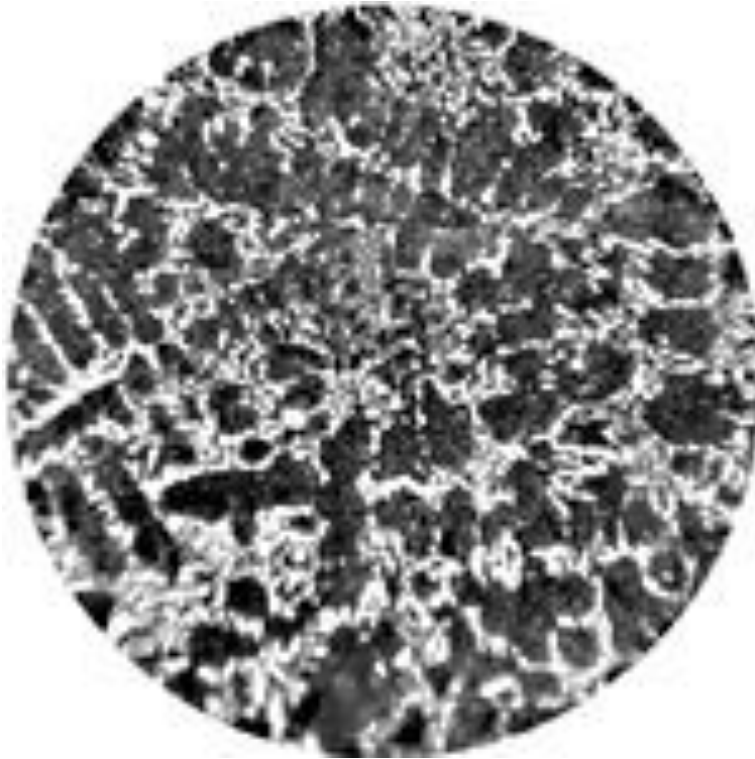


Сульфиды марганца и железа .  
образовавшиеся в конце  
кристаллизации, из жидкости  
обогащенной серой. Таким  
образом сульфиды  
расположены по границам  
зерен аустенита,  
существовавшего при высоких  
температурах.



сталь 45, ускоренное охлаждение после  
длительного отжига  
БРАК. Видманштетовая структура. Кроме  
пограничных выделений избыточного  
феррита имеются игольчатые  
ориентированные выделения, хорошо  
видные на фоне темного перлита

## Pb+Sb, литье

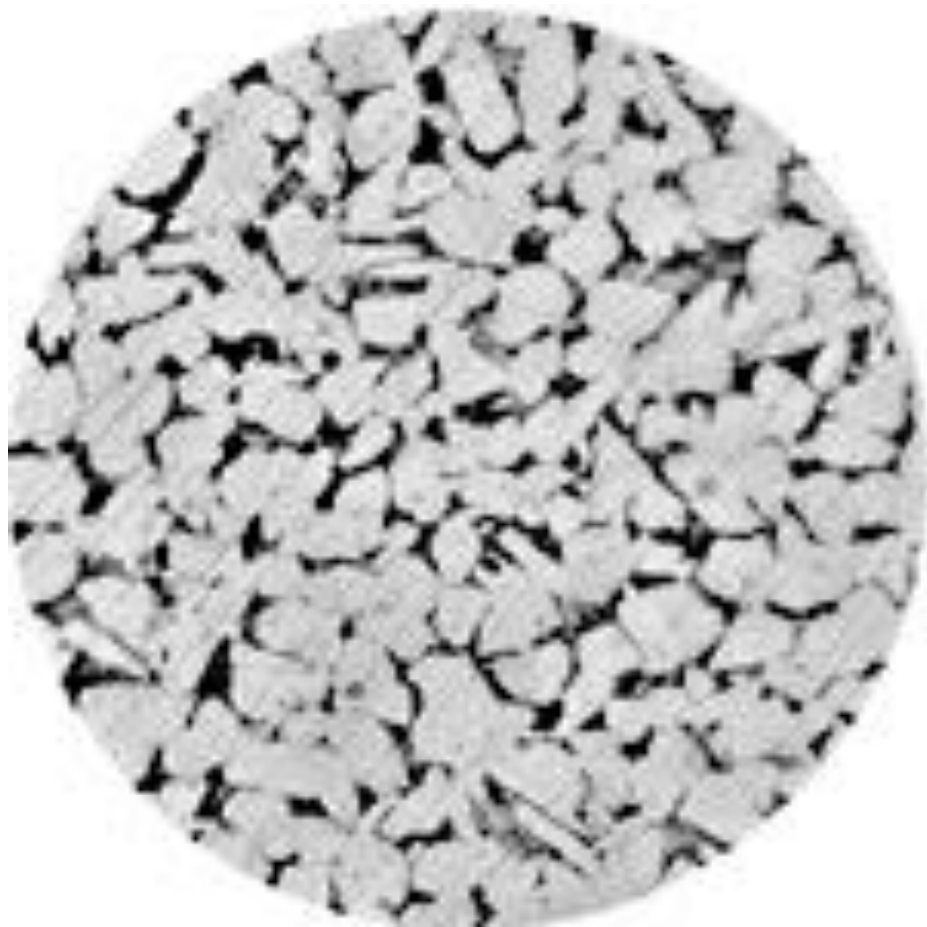


Дендриты избыточных кристаллов твердого раствора на основе Pb (темные) и эвтектика (смесь кристаллов твердых растворов на основе Pb и Sb) в роли матрицы.



Дендриты избыточных кристаллов твердого раствора на основе Sb (светлые, оgranенные) и эвтектика (смесь кристаллов твердых растворов на основе Pb и Sb).

**Медный сплав,  
компоненты:**



Zn (41 масс%) , Pb (1 масс%) . Литье

Свинцовистая двухфазная латунь (автоматная). Темная матрица бета-фазы (интерметаллид  $\sim\text{CuZn}$ ) и образовавшиеся из нее светлые выделения альфа-твердого раствора на основе меди. Внутри некоторых из них обнаруживаются частицы не растворимого в меди свинца, который затвердел в последнюю очередь. Эти частицы служат зародышами, на которых начинают образовываться кристаллы альфа-фазы. Включения свинца увеличивают хрупкость латуни настолько, насколько необходимо для обламывания стружки при обработке сплава на автоматических металлорежущих станках.



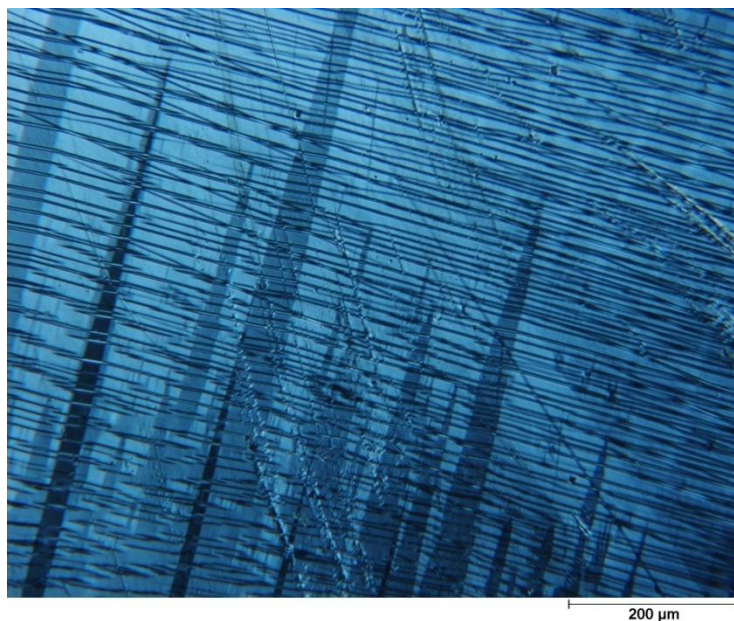
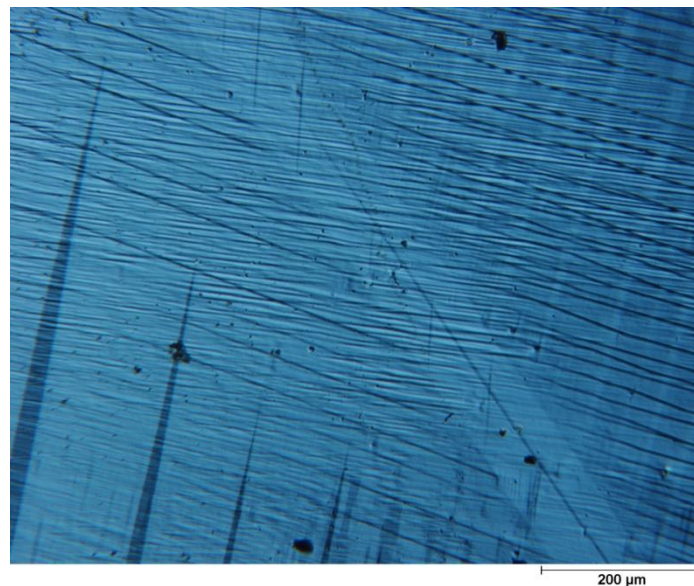
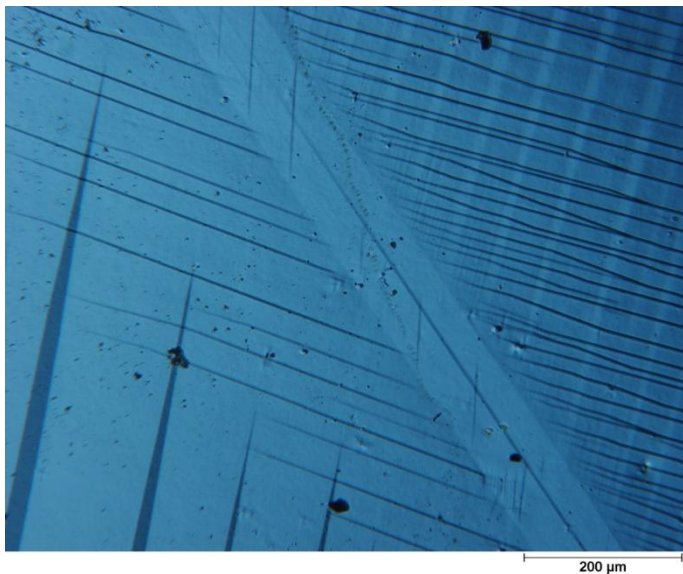
a)



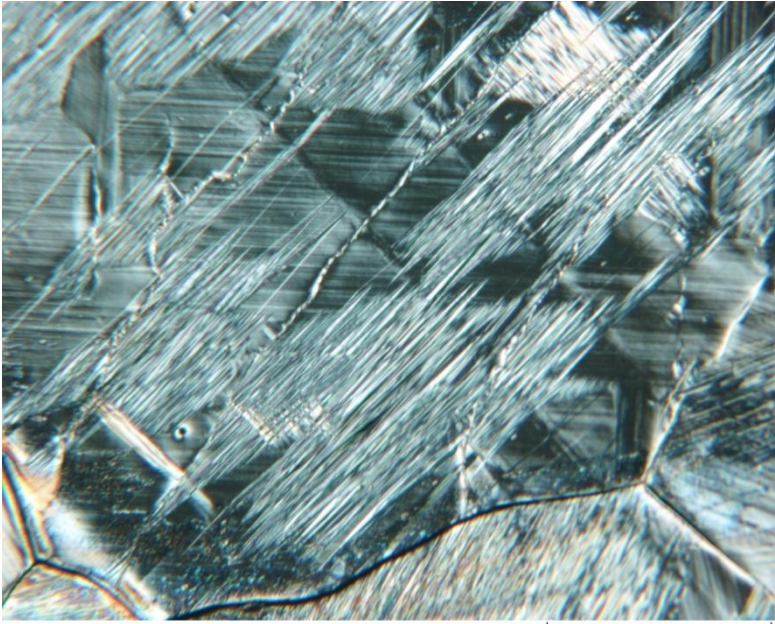
b)

углеродистая сталь.  
Микроструктура  
мартенсита при 1000  
увеличении

# Исследование кинетики мартенситного превращения в интерметаллиде Ni-Mn-Ga



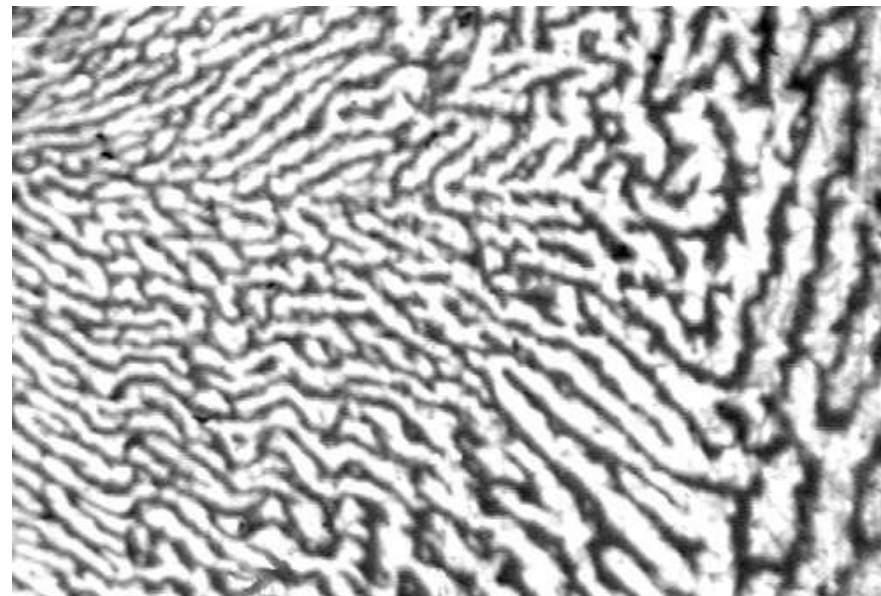
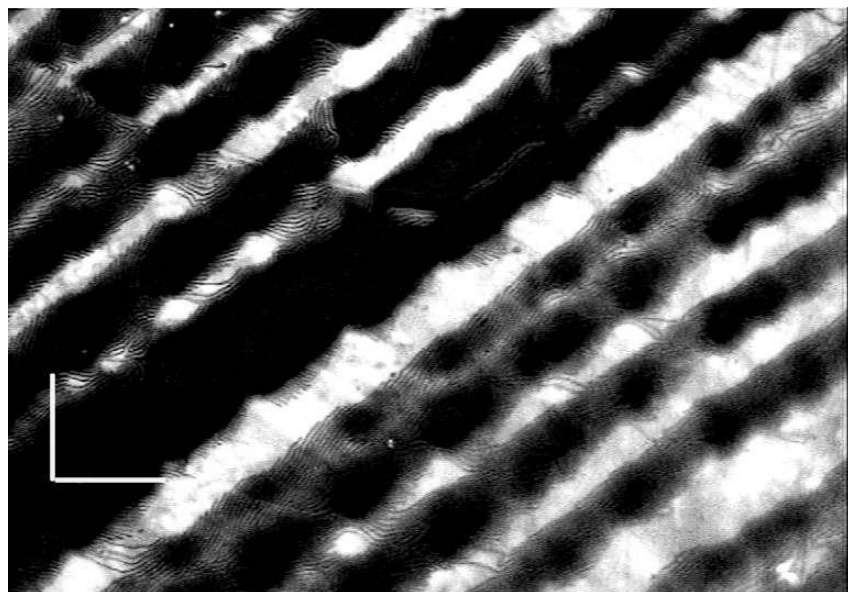
Интервал между  
съемками 2,5 сек



500  $\mu\text{m}$



Исследование магнитной доменной структуры с использованием феррит-гранатовых пленок (Эффект Керра)



## Самостоятельно повторить:

- условие дифракции Фраунгофера.
- Дифракционная решетка
- формула линзы
- функция размытия точки (функции импульсного отклика дифракционно-ограниченной системы)
- пятно Эйри.
- Разрешающая способность микроскопа, критерий Релея.
- поляризованный свет, поляризаторы
- интерференция

## **.Список литературы**

- 1. **Металловедение и термическая обработка стали. В 3-х т./ Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г.- Т.1. Методы испытаний и исследования.- В 2-х кн. Кн. 1.- М.: Металлургия, 1991.- 304 с.**
- 2. **Богомолова Н.А. Практическая металлография.- М.: Высшая школа, 1982.- 272 с.**

