

显微镜大全

原理 · 结构 · 应用 · 选型指南

从可见光成像到电子与扫描探针技术，系统理解九类常见显微镜的成像机制、样品要求、关键参数与适用场景。



READING GUIDE

如何阅读这份手册

“显微镜”不是单一设备，而是一组围绕不同对比机制和空间尺度发展的成像技术。选择显微镜时，最重要的不是只比较放大倍率，而是先回答三个问题：要观察什么信息、样品能接受什么条件、希望达到什么空间尺度。

先区分五个经常被混淆的概念

放大倍率	图像“看起来多大”。超过系统真实分辨能力后的继续放大属于空放大，并不会产生新的细节。
分辨率	区分两个相邻细节的能力。它比最高倍率更能代表显微系统的真实细节能力。
数值孔径 NA	决定物镜收光锥角和分辨能力的重要参数。高 NA 通常意味着更强的集光与更高的分辨潜力。
工作距离 WD	物镜前端到样品焦面的距离。培养皿、厚样品和显微操作往往需要更长工作距离。
对比机制	明场依赖吸收/透射，相差依赖相位，偏光依赖双折射，荧光依赖光谱标记，电子显微和 STM 则使用完全不同的信号机制。

九类技术所处的位置

技术路线	代表方法	典型尺度	主要信息
常规光学	普通光学、相差、偏光、倒置、暗视野	μm 级	形貌、对比、活样品
荧光光学	荧光、激光共聚焦	亚 μm 到 μm	分子特异性、三维层析
电子光学	TEM / SEM	nm 到亚 nm	内部超微结构 / 表面形貌
扫描探针	STM	原子级	导电表面形貌与局域电子态

没有一种显微镜适合所有任务

常规光学强调快速与易用；荧光和共聚焦强调特异性与层析；电子显微强调纳米尺度结构；STM 则面向导电表面的原子级信息。选型的核心是让“样品条件、信息类型和空间尺度”三者匹配。

CONTENTS

目录

01	普通光学显微镜
02	相差显微镜
03	偏光显微镜
04	倒置显微镜
05	暗视野显微镜
06	荧光显微镜
07	激光共聚焦扫描显微镜
08	电子显微镜：TEM / SEM
09	扫描隧道显微镜
10	九种显微镜综合对比
11	如何选择合适的显微镜
12	术语速查与操作维护

01

光学显微镜 / Optical

普通光学显微镜

Optical Microscope · OM

最基础、最通用的显微成像平台。利用可见光和玻璃透镜形成放大像，适合透明或经过染色的生物样品，也可通过反射照明观察材料表面。其真正决定细节能力的不是“倍率越大越好”，而是物镜数值孔径、照明波长、光学质量与样品制备共同决定的分辨率。

工作原理

光源经聚光器形成合适的照明锥角，透过样品后由物镜收集并形成一次放大的中间像，再由目镜或相机观察。现代无限远校正系统通常在物镜后设置管镜，使不同附件更容易插入平行光路。阿贝衍射理论表明，横向分辨率可近似用 $d \approx 0.61\lambda/NA$ 理解：波长越短、数值孔径越高，越有利于分辨相邻细节。

典型结构

照明系统包括 LED/卤素灯、视场光阑、孔径光阑与聚光器；成像系统以物镜为核心，并配合目镜、管镜或相机接口；机械系统负责样品定位、粗调焦与微调焦。高倍油浸物镜通过提高介质折射率获得更高 NA，但也要求正确使用浸油并注意清洁。

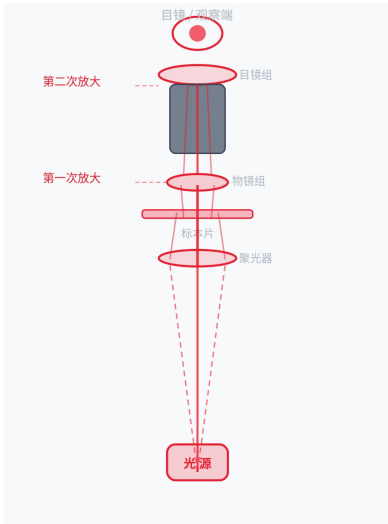


图 1 普通光学显微镜原理/结构示意图

关键参数

最高分辨率	放大倍率	光源波长	数值孔径
0.2 μm	40–1000×	400–700 nm	0.1–1.4

典型应用

- 常规细胞和组织切片观察
- 微生物与血液样本初筛
- 教学与实验室基础观察
- 材料表面、颗粒与缺陷检查（配反射照明）

优势

- 结构成熟、操作直观、成本覆盖范围广
- 配套物镜、相机和附件丰富
- 容易与明场、暗场、偏光、荧光等模块组合

局限

- 衍射极限限制了普通可见光显微镜的细节能力
- 透明未染色样品常常对比度不足
- 高倍观察对样品平整度、盖玻片厚度和照明调节更敏感

选型提示

优先看物镜体系和 NA，而不是只看“最高放大倍数”。如果需要拍照与定量，应确认三目接口、相机像元与视场匹配；如果经常在不同样品之间切换，科勒照明调节、机械载物台行程和物镜转换器手感同样重要。

02

特种光学 / Phase Contrast

相差显微镜

Phase Contrast Microscope · PCM

相差显微镜专门解决透明、未染色样品“有结构但看不清”的问题。它把样品造成的相位变化转化成亮暗变化，因此非常适合活细胞、微生物和动态培养观察。

工作原理

透明样品对光的吸收很弱，但折射率和厚度差异会改变光程，从而产生相位差。相差系统利用环状光阑形成特定角度的直射光，并在物镜后焦面用相板对直射光进行相位移动和适度衰减；直射光与衍射光重新叠加后发生干涉，原本不可见的相位信息便表现为明暗对比。

典型结构

普通显微镜基础上增加环状光阑聚光器、相差物镜中的相板，以及用于调中环形光阑和相环的望远镜或相位调中功能。不同倍率物镜通常需要匹配对应的 PH 环位，若环形光阑与相环不同心，图像对比度会明显下降。

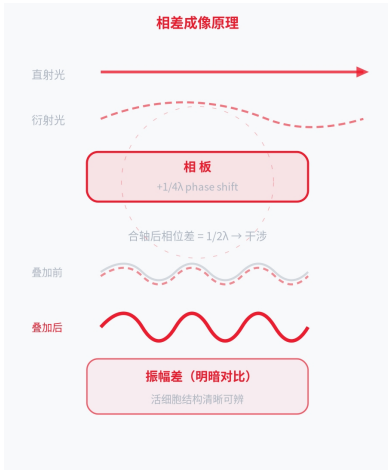


图 2 相差显微镜原理/结构示意图

关键特征

核心转换	关键组件	样品特点	典型对象
相位差 → 振幅差	环状光阑 + 相板	透明 / 未染色	活细胞

典型应用

- 未染色活细胞形态与运动
- 细胞培养状态检查
- 原生动物、酵母与细菌观察
- 细胞核、核仁和胞质颗粒对比增强

优势	局限
• 无需染色即可获得较高对比度 • 适合连续、动态地观察活样品 • 对常规细胞培养 workflow 友好	• 厚样品容易产生光晕和阴影伪影 • 相差环与物镜必须正确匹配和调中 • 并不直接提供分子特异性信息

选型提示

用于细胞培养时，相差通常与倒置显微镜组合最实用。采购时要确认常用 10×、20×、40× 物镜是否均有相差版本，并检查相环调中方式是否方便。

03

偏振光学 / Polarizing

偏光显微镜

Polarizing Microscope · PLM

偏光显微镜通过控制光的偏振态来显示材料的各向异性和双折射特性。它不仅“看形貌”，还可以通过消光位置、干涉色和锥光图等现象判断晶体取向、应力和光学性质。

工作原理

自然光经过起偏镜后变为线偏振光。各向异性样品会将其分解为传播速度不同、振动方向不同的光分量；经检偏镜重新投影后，两束光因相位差产生干涉。在正交偏光条件下，各向同性区域趋于暗，而双折射区域根据厚度、双折射量与取向呈现不同亮度和干涉色。

典型结构

典型配置包括起偏镜、检偏镜、360°可旋转载物台、无应力物镜、补偿器或相位片，以及用于锥光观察的伯特兰透镜。对定量工作，载物台中心、刻度精度和物镜残余应力都十分关键。

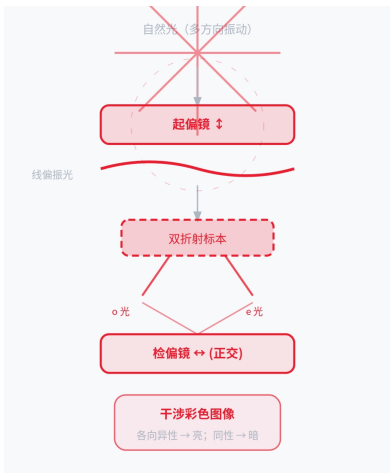


图3 偏光显微镜原理/结构示意图

关键参数

载台旋转范围	测量精度	检测对象	制片厚度
0–360°	±0.1°	各向异性	>0.03 mm

典型应用

- 岩矿与晶体鉴定
- 聚合物、纤维和复合材料分析
- 液晶和薄膜光学性质观察
- 玻璃、塑料和透明件内应力检查

优势	局限
• 能直接显示普通明场难以观察的双折射信息 • 可结合旋转载台与补偿器进行半定量/定量判断 • 样品制备相对直观	• 各向同性材料在正交偏光下信息有限 • 镜片应力、载玻片和安装方式可能引入伪双折射 • 定量分析需要更严格的光轴调中与厚度控制

选型提示

若目标是材料和晶体研究，应优先选择无应力物镜、可精确居中的旋转载台和补偿器接口；如需要锥光图，应确认系统支持伯特兰透镜与中心可调。

04

倒置光学 / Inverted

倒置显微镜

Inverted Microscope · IM

倒置显微镜把物镜放在样品下方，让培养皿、培养瓶和微流控芯片可以直接放在较大的载物平台上，因此成为细胞培养、活细胞实验和长期动态记录的主流结构。

工作原理

其基本成像机理与普通光学显微镜相同，但机械和光路布局上下翻转：照明和聚光系统通常位于样品上方，物镜从容器底部向上观察。这样既避免了大型培养容器与物镜机械干涉，也便于在样品上方布置加液、显微操作、电极或环境控制装置。

典型结构

核心是下置物镜、长工作距离聚光器和宽大的载物台。实际系统常集成相差、荧光、微分干涉、自动 XY 载台、Z 轴电动调焦、恒温恒湿/CO₂ 培养装置与相机，用于长时间活细胞实验。

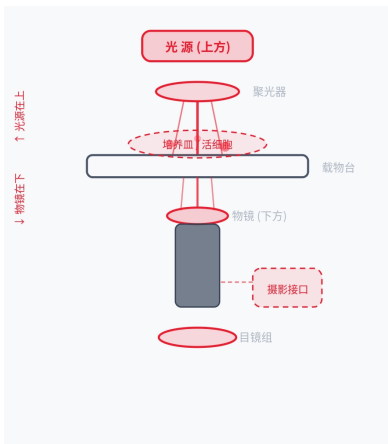


图 4 倒置显微镜原理/结构示意图

关键参数

工作距离	适配容器	放大倍率	记录方式
1–10 mm	培养皿/瓶	4–100×	缩时摄影

典型应用

- 培养皿/培养瓶中的活细胞
- 细胞增殖与迁移的时间序列记录
- 微流控、器官芯片和细胞共培养
- 显微操作、显微注射与电生理配合

优势

- 大型培养容器直接上机，操作空间大
- 特别适合活细胞和长时间动态实验
- 容易集成环境控制和自动化平台

局限

- 容器底厚度会影响像差与工作距离
- 高 NA 物镜对底板厚度、折射率更敏感
- 整机通常比常规正置显微镜更复杂、成本更高

选型提示

先确认常用耗材的底厚与物镜校正范围；若要做活细胞荧光，应同时考虑恒温、CO₂、自动对焦和低光毒照明。高通量实验还要关注自动载台重复定位精度与软件多点采集能力。

05

散射成像 / Dark Field

暗视野显微镜

Dark Field Microscope · DFM

暗视野通过阻断直射光，让只有被样品散射或衍射的光进入物镜，于是背景接近黑色，微小颗粒、边缘和散射体呈现高亮。它强调的是“可见性和检测灵敏度”，非常适合寻找明场中几乎没有对比度的微小对象。

工作原理

暗视野聚光器利用中央遮光结构形成空心锥形照明。对理想无样品区域，照明光以大角度掠过物镜接收锥，因此视场保持暗；样品存在时会把一部分光散射到物镜数值孔径范围内，从而形成亮点或亮轮廓。高倍暗视野常需油浸聚光器，以维持足够大的照明 NA。

典型结构

关键部件是暗视野聚光器、中央遮光板以及 NA 合适的物镜。低倍系统可使用干式暗视野聚光器，高 NA 观察往往需要油浸暗视野聚光器，并严格控制载玻片、浸油和聚光器调中。

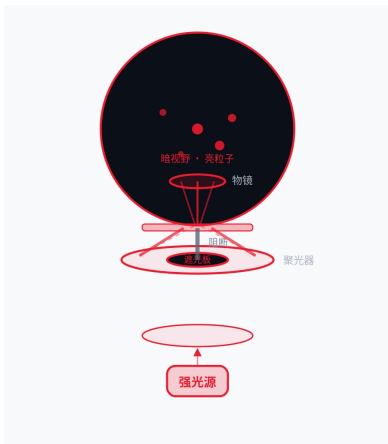


图 5 暗视野显微镜原理/结构示意图

关键参数

可检微粒 4–200 nm	最小分辨 0.004 μm	分辨提升 ~50×	成像原理 散射光
-------------------------	-------------------------	---------------------	--------------------

技术说明：检测尺度 ≠ 空间分辨率

“可检微粒 4–200 nm、最小分辨 0.004 μm”。更准确的理解是：暗视野可以让远小于衍射极限的散射颗粒以亮点形式被检测到，但这不等于能够分辨其真实几何尺寸或相邻纳米结构。

典型应用

- 细菌、鞭毛和微生物运动观察
- 胶体、纳米颗粒或散射颗粒存在性检查
- 透明边缘、划痕和微小缺陷增强
- 颗粒运动与布朗运动演示

优势

- 无需染色即可获得非常强的颗粒/边缘对比
- 对小散射体的“发现能力”很强
- 光路概念直观，可作为常规光镜附件实现

局限

- 容易受到灰尘、划痕和杂散光干扰
- 亮点尺寸并不等于颗粒真实尺寸
- 不适合解析透明颗粒内部精细结构

选型提示

如果目标是“找颗粒、看散射、观察运动”，暗视野很有效；如果目标是精确测量小于衍射极限的结构尺寸，应选择电子显微镜、扫描探针或其他超分辨方法，而不是仅依据暗视野亮点大小判断。

06

荧光成像 / Fluorescence

荧光显微镜

Fluorescence Microscope · FM

荧光显微镜利用荧光分子的光谱选择性来实现“在哪里、是什么”的特异性成像。与明场主要依赖形貌不同，荧光可对特定蛋白、细胞器、离子、纳米材料或化学组分进行标记和定位。

工作原理

激发光经激发滤片选择波段，再由二向色镜反射进入物镜并照射样品；荧光分子吸收光子后发射波长更长的荧光，发射光由同一物镜收集并透过二向色镜和发射滤片到达目镜或相机。激发与发射之间的波长差称为斯托克斯位移，是滤光分离的基础。

典型结构

核心是光源、激发滤片、二向色镜、发射滤片和高透过率物镜。光源可为汞灯、金属卤化物灯、高功率 LED 或激光；现代系统常搭配高灵敏度相机、自动滤光转轮和多通道软件，用于多色叠加和定量分析。

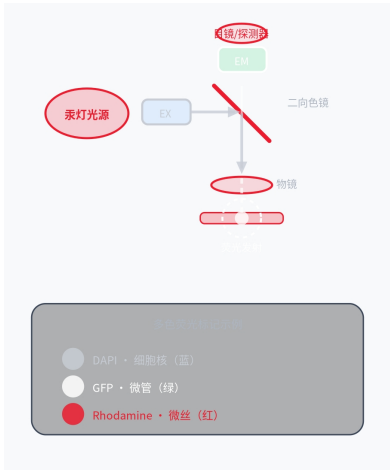


图 6 荧光显微镜原理/结构示意图

关键参数

DAPI (核)	GFP (微管)	Rhodamine (肌动蛋白)	光源寿命
蓝色荧光	绿色荧光	红色荧光	200–300 h

典型应用

- 免疫荧光与蛋白定位
- GFP 等荧光蛋白活细胞成像
- 细胞器、多色共定位与动态追踪
- 荧光纳米材料、缺陷发光和生物探针

优势

- 分子/结构特异性强，可进行多色成像
- 与明场、相差和共聚焦高度兼容
- 可通过相机实现定量、时间序列和自动化

局限

- 光漂白与光毒性会影响长时间实验
- 不同通道可能发生串色与光谱重叠
- 背景自发荧光和滤光片匹配会显著影响信噪比

选型提示

先从目标荧光团的激发/发射谱出发选择滤光组，再确定光源和相机。弱光样品优先关注相机量子效率、读出噪声和光路透过率；活细胞实验应优先选择可控 LED/激光与较低光毒的采集策略。

07

激光共聚焦 / CLSM

激光共聚焦扫描显微镜

Confocal Laser Scanning Microscope · CLSM

激光共聚焦扫描显微镜在荧光显微镜基础上增加“点照明 + 针孔点探测”，通过抑制焦外光获得光学切片。连续采集不同 Z 高度的切片后，可以重建样品的三维结构。

工作原理

激光被物镜聚焦到样品中的一个小光斑，荧光沿返回光路进入探测端。与焦点共轭位置的针孔允许焦平面信号通过，而大量焦外光被阻挡。扫描振镜让光斑在 XY 平面逐点扫描；再配合 Z 轴步进，就能形成具有层析能力的三维数据堆栈。针孔越小，轴向选择性越强，但同时信号也会降低。

典型结构

典型系统包括多波长激光器、扫描振镜、二向色镜、共聚焦针孔、PMT/HyD 等点探测器、精密 Z 轴和控制软件。除传统点扫描外，还有高速共振扫描和旋转盘共聚焦等路线，用于提高活细胞成像速度。

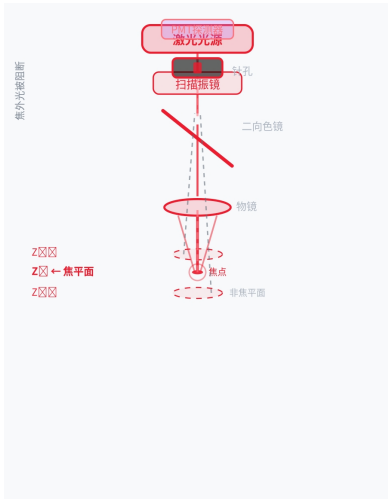


图 7 激光共聚焦扫描显微镜原理/结构示意图

关键参数

横向分辨率 <200 nm	轴向分辨率 <500 nm	Z 轴步进精度 ±10 nm	vs 普通光镜 分辨率×3
----------------------------	----------------------------	--------------------------	-------------------------

典型应用

- 细胞与组织三维荧光成像
- 厚样品光学切片和层析重建
- 共定位、FRAP 与动态过程分析
- 材料表面/薄膜的共聚焦反射或荧光表征

优势 • 有效抑制焦外背景，层析能力明显优于普通宽场荧光 • 可获得高质量 Z-stack 与三维重建 • 多通道和定量分析能力成熟	局限 • 点扫描速度和光剂量之间需要权衡 • 系统价格、调试和数据量明显增加 • 高质量三维成像依赖合适的采样间距、针孔和物镜 NA
---	---

选型提示

如果重点是厚样品、三维结构和焦外背景抑制，共聚焦通常优于宽场荧光；如果重点是极高速活细胞动态，可进一步比较共振扫描、旋转盘或其他高速架构。

08

电子光学 / Electron Microscopy

电子显微镜

Transmission EM (TEM) · Scanning EM (SEM)

电子显微镜以电子束代替可见光。由于电子德布罗意波长远短于可见光，可实现纳米甚至原子尺度表征。TEM 强调电子穿透样品后的内部结构与衍射信息，SEM 强调扫描表面产生的电子信号和形貌。

工作原理

TEM 中，高能电子束经过聚光系统照射超薄样品，透射与散射电子经物镜和投影系统形成图像或衍射图；SEM 中，细聚焦电子束在样品表面逐点扫描，次级电子、背散射电子等信号被探测并同步映射为空间图像。两者都依赖真空系统和电磁透镜，但样品要求、信号机制和使用目标不同。

典型结构

TEM 主要由电子枪、聚光镜、样品杆、物镜、投影镜、荧光屏/相机与真空系统组成；SEM 则包含电子枪、扫描线圈、物镜、样品室以及次级电子/背散射电子等探测器。实际设备还可扩展能谱、电子衍射和原位附件。

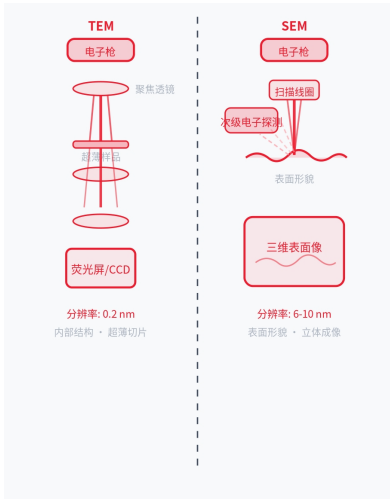


图 8 电子显微镜原理/结构示意

关键参数

TEM 分辨率	TEM 放大倍率	SEM 分辨率	SEM 放大倍率
0.2 nm	>5000 万×	6–10 nm	~20000×

典型应用

- TEM：晶格、缺陷、界面、纳米颗粒内部结构
- TEM：病毒和细胞超微结构
- SEM：材料表面形貌、断口、颗粒与微纳器件
- SEM：半导体、涂层、粉体和失效分析

优势

- 空间分辨率远高于普通光学显微镜
- TEM 可提供内部结构和衍射信息，SEM 景深大、表面形貌直观
- 可与成分和晶体学分析模块组合

局限

- 样品制备、真空环境和操作复杂度较高
- 电子束可能造成辐照损伤、充电或污染
- TEM 超薄制样具有较高技术门槛

选型提示

需要“内部晶格/界面/超薄结构”优先考虑 TEM；需要“表面形貌、断口、微纳结构和较大景深”优先考虑 SEM。若还要做元素分析，要进一步确认能谱探测器和样品室几何条件。

09

量子探针 / Quantum Tunneling

扫描隧道显微镜

Scanning Tunneling Microscope · STM

扫描隧道显微镜不依赖透镜成像，而是用原子级尖锐导电探针在样品表面扫描，通过量子隧道电流反馈重建表面电子态和原子尺度形貌，是扫描探针显微技术的代表。

工作原理

当导电针尖接近导电样品到亚纳米距离并施加偏置电压时，电子可穿过经典力学意义上的势垒形成隧道电流。隧道电流对针尖—样品间距呈指数敏感，因此微小的 Z 向高度变化就会引起明显电流变化。恒流模式通过反馈调节 Z 高度并记录高度轨迹；恒高模式固定 Z，直接记录电流变化。

典型结构

STM 核心包括原子级尖锐针尖、XYZ 压电扫描器、低噪声电流前置放大器、偏置源、反馈控制器和隔振系统。高分辨成像还要求良好的热稳定性、机械稳定性、针尖状态与洁净表面。

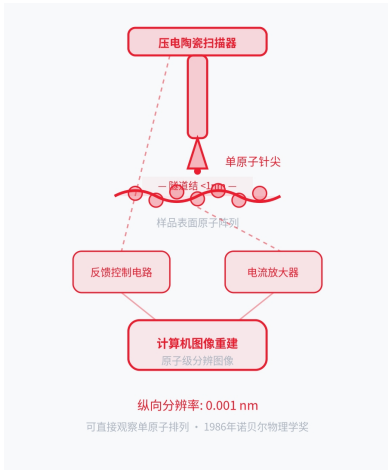


图9 扫描隧道显微镜原理/结构示意图

关键参数

横向分辨率	纵向分辨率	偏置电压	针尖高度
0.1–0.2 nm	0.001 nm	2mV – 2V	< 1 nm

典型应用

- 导电/半导体表面原子排列观察
- 表面缺陷、台阶和吸附原子研究
- 局域电子态与扫描隧道谱（STS）
- 纳米尺度表面物理与量子材料研究

优势

- 可实现极高的纵向灵敏度和原子级表面成像
- 可在真空、气体、液体等多种环境工作（取决于系统）
- 不仅能看形貌，还能研究局域电子态

局限

- 样品必须具有足够导电性
- 对振动、温漂和针尖状态极为敏感
- 扫描范围和速度通常小于常规光学/电子显微成像

选型提示

如果样品绝缘，应优先考虑 AFM 等非隧道电流型扫描探针方法；如果目标是导电材料的表面原子结构或局域电子态，STM 才能发挥其核心优势。

10

COMPARISON / 选型总览

九种显微镜综合对比

Comprehensive Comparison

下表用于快速建立“成像信号—样品要求—空间尺度—核心优势”的对应关系。由于不同厂家的物镜、电子光学系统、探测器和样品制备条件差异很大，表中数值应理解为网页所列的典型量级，而不是所有设备的统一规格。

显微镜类型	光源	最高分辨率	最大放大倍率	样品要求	核心优势	主要应用
普通光学显微镜	可见光	0.2 μm	1000×	薄切片/活体	操作简单，成本低	教学、基础生物
相差显微镜	可见光（绿色滤光）	0.2 μm	1000×	无需染色活细胞	相位→振幅，活细胞成像	细胞生物学
偏光显微镜	偏振可见光	0.2 μm	1000×	各向异性材料	鉴别双折射性质	矿物、材料、液晶
倒置显微镜	可见光（上置）	0.2 μm	400×	培养皿/瓶中活细胞	无需取出，缩时记录	细胞培养、活体观察
暗视野显微镜	强可见光（斜射）	0.004 μm	1000×	液体悬浮微粒	纳米颗粒存在性检测	微生物、纳米材料
荧光显微镜	汞灯/LED 激发光	0.2 μm	1000×	荧光标记样品	多色标记，特异性成像	细胞生物、免疫标记
激光共聚焦	激光	<200 nm	1000×+ZOOM	荧光标记样品	光学切片，三维重建	细胞三维结构
电子显微镜 TEM	高能电子束	0.2 nm	5000 万×	超薄切片，需真空	原子级内部结构	材料科学、病毒
扫描隧道显微镜	量子隧道电流	0.001 nm	原子级	导电/半导体样品	单原子成像，三态均可	表面物理，纳米科技

读表提示

“最高分辨率”和“最大放大倍率”不能直接等价比较。例如暗视野对亚衍射散射体具有很强的检测能力，但这不等于能够以相同尺度解析相邻结构；STM 的原子级能力又建立在导电样品、极近针尖距离和高稳定性反馈之上。

11

APPLICATION-DRIVEN / 从任务反推技术

如何选择合适的显微镜

Selection Guide

实际选型最有效的方法，是从“样品状态”和“希望获得的信息”反向选择，而不是从设备名称正向堆功能。下面的矩阵可以作为第一次技术筛选。

样品/约束	想得到的信息	优先技术	选型关注点
活细胞，不能染色	细胞轮廓、核与胞质对比	相差显微镜 / 倒置相差	优先考虑环境控制与长时间成像
活细胞，有荧光标记	特定蛋白/细胞器动态	倒置荧光；三维需求用共聚焦	关注光毒性、相机灵敏度、自动对焦
组织或厚荧光样品	光学切片、三维结构	激光共聚焦	关注物镜 NA、Z 采样和通道配置
晶体、矿物、薄膜	双折射、取向、应力	偏光显微镜	使用无应力物镜和旋转载台
透明小颗粒/细菌	散射体存在性与运动	暗视野	对灰尘和杂散光敏感
常规切片/教学	形貌、颜色、基本结构	普通光学显微镜	优先保证物镜质量与科勒照明
材料表面微纳形貌	表面粗糙、断口、颗粒	SEM	考虑导电性、镀膜和能谱需求
超薄样品内部结构	晶格、界面、纳米结构	TEM	制样难度和束流损伤是关键
导电表面原子结构	原子排列、局域电子态	STM	隔振、温漂和针尖状态决定最终质量

四步选型法

1	1. 先定样品条件 是否活体？是否允许真空、染色、镀膜、超薄切片？样品是否导电？
2	2. 再定信息类型 要形貌、分子特异性、三维层析、内部晶格，还是表面电子态？
3	3. 再定空间尺度 μm 级需求不必直接上电子显微镜；原子级需求也不是简单提高光学倍率可以实现。
4	4. 最后看系统工程 物镜、光源、探测器、载台、软件、环境控制和样品制备共同决定最终可用性。

术语速查与操作维护

Glossary & Practical Notes

常用术语速查

Magnification 放大倍率	像尺寸与物尺寸的比列；不是分辨率的同义词。
Resolution 分辨率	区分相邻细节的能力，是判断“能否看清细节”的核心指标。
NA 数值孔径	与分辨率、集光能力和景深相关的物镜关键参数。
WD 工作距离	物镜前端到焦面的距离，厚样品或操作空间大时尤为重要。
FOV 视场	一次图像覆盖的样品范围；倍率越高，视场通常越小。
DOF 景深	样品沿 Z 方向保持可接受清晰度的范围。
SNR 信噪比	有效信号与噪声的关系，弱荧光和高速成像尤其重要。
Pinhole 针孔	共聚焦系统用于滤除焦外光的空间光阑。
Secondary Electron 次级电子	SEM 中常用于显示表面形貌的主要信号之一。
Tunneling Current 隧道电流	STM 中对针尖—样品距离极为敏感的量子隧穿电流。

日常操作与维护建议

光学表面：物镜、目镜和滤光片只使用适合光学表面的清洁方法；油浸物镜使用后及时去除浸油，避免长期残留。

照明调节：常规透射观察尽量建立稳定的科勒照明；更换物镜后检查孔径光阑与聚光器高度，避免对比度和分辨率同时损失。

样品与盖玻片：高 NA 物镜对盖玻片厚度和折射率敏感；倒置显微镜还要关注培养皿/芯片底板厚度。

荧光系统：尽量降低不必要的激发时间，使用合适曝光、增益和通道顺序，减少光漂白与光毒性。

电子显微镜：严格遵守真空、样品装载和束流操作流程；对绝缘样品要评估充电效应和是否需要导电处理。

STM / 扫描探针：隔振、热平衡、针尖质量和样品洁净度常比单纯的软件参数更决定最终图像质量。

— END —