

■ 光学相干CT — 断层扫描成像新技术

(Optical Coherence Tomography , 简称OCT)

计算机断层成象 (CT-Computed Tomography)

第一代: X射线 CT
 γ 射线 CT—工业CT

第二代: NMR CT—核磁共振成象

第三代: 光学相干CT—OCT

空间分辨率达微米的量级

1. 原理

(1) 样品反射光脉冲的延迟时间

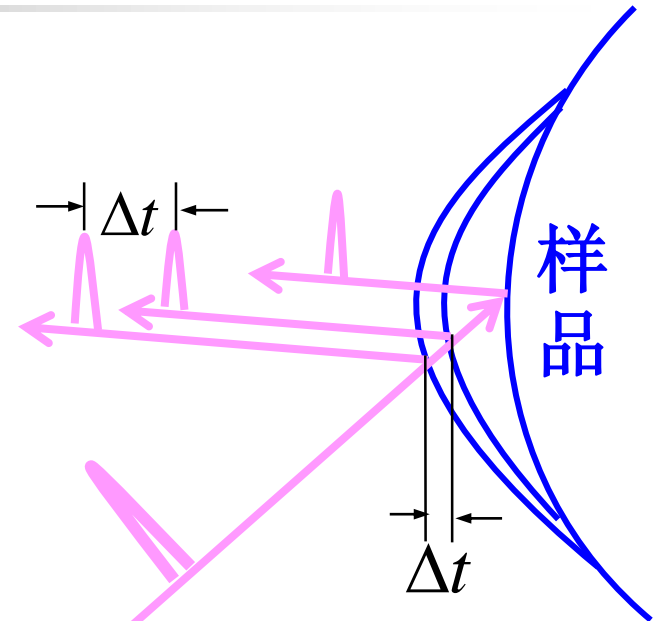
样品中不同位置处反射的光脉冲延迟时间也不同：

$$\Delta t \approx \frac{2n\Delta d}{c} = \frac{2n\Delta d}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

数量级估计： $\Delta t \approx 10^{-8} \Delta d \cdot \text{s/m} = 10^{-14} \Delta d \cdot \text{s}/\mu\text{m}$

要实现微米量级的空间分辨率（即 $\Delta d \sim \mu\text{m}$ ），就要求能测量 $\Delta t \leq 10^{-14}$ 秒的时间延迟。

激光器的脉冲宽度要很小 $\sim 10^{-15}$ 秒 — 飞秒

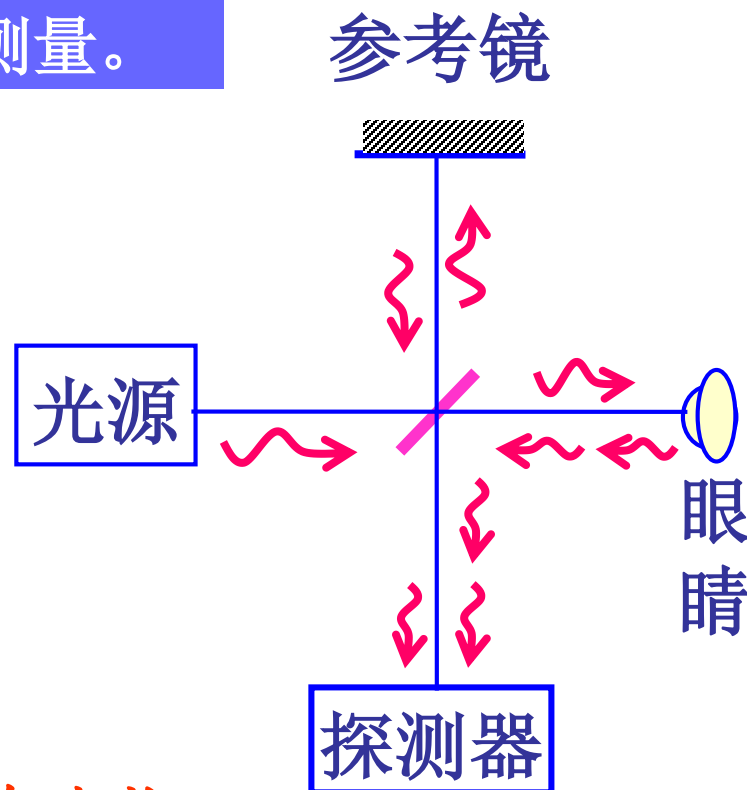


§ 3.7 迈克尔逊干涉仪

时间延迟短至 $10^{-14} \sim 10^{-15} \text{s}$ ，电子设备难以直接测量，
可利用迈克尔逊干涉仪原理测量。

当参考光脉冲和信号光脉冲序列中的某一个脉冲**同时**到达探测器表面时，就会产生光学干涉现象。这种情形，只有当参考光与信号光的这个脉冲经过**相等光程**时才会产生。

因为 10^{-15} 秒的光脉冲大约只有一个波长。



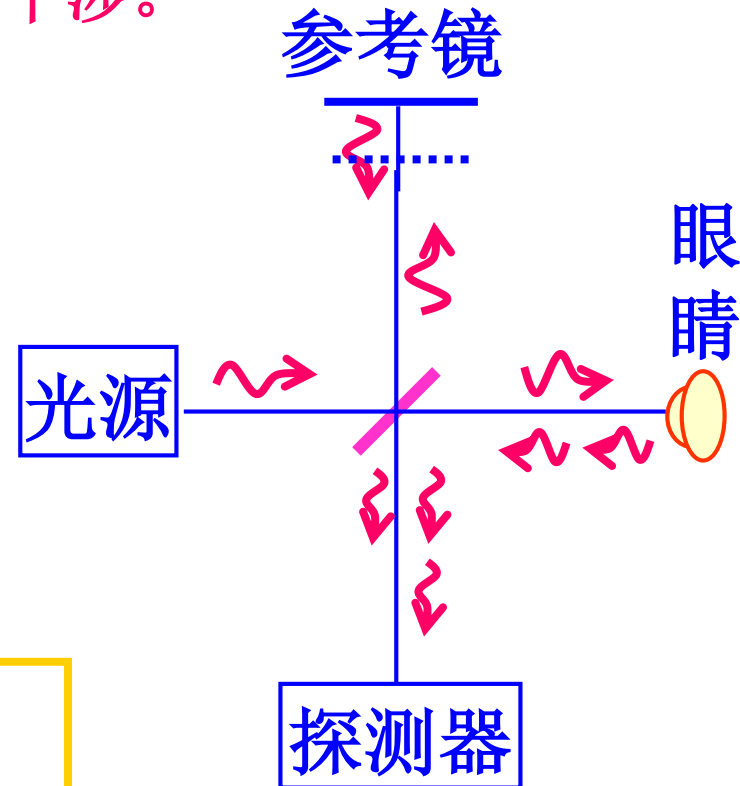
§ 3.7 迈克尔逊干涉仪

测量不同结构层面返回的光延迟，只须移动参考镜，使参考光分别与不同的信号光产生干涉。

分别记录下相应的参考镜的空间位置，这些位置便反映了眼球内不同结构的相对空间位置。

参考臂扫描可得到样品深度方向的一维测量数据。光束在平行于样品表面的方向进行扫描测量，可得到横向的数据。

将得到的信号经计算机处理，便可得到样品的立体断层图像。



(2) 样品反射光脉冲强度的处理

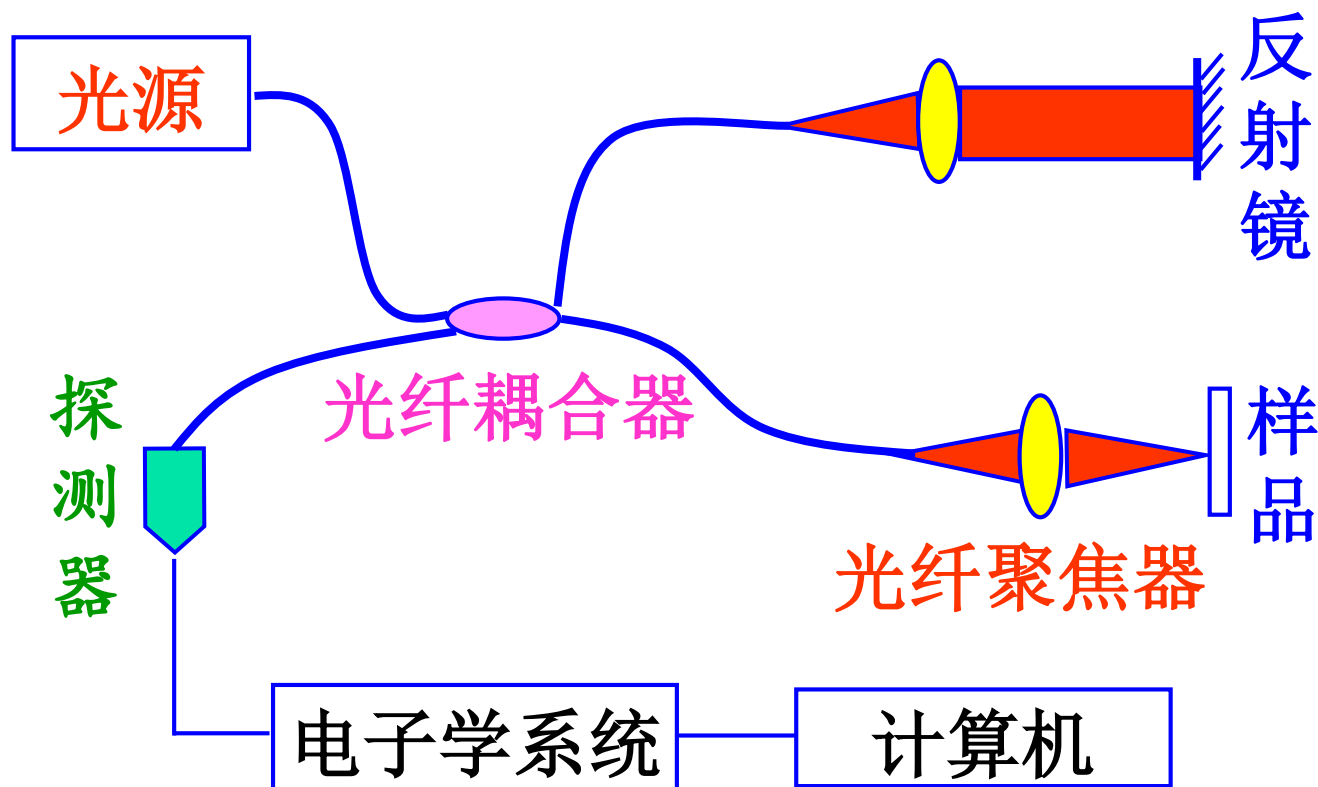
不同材料或结构的样品反射光的强度不同。根据反射光信号的强弱，赋予其相应的色彩，这样便得到样品的假彩色图。

(3) OCT成像的特点：

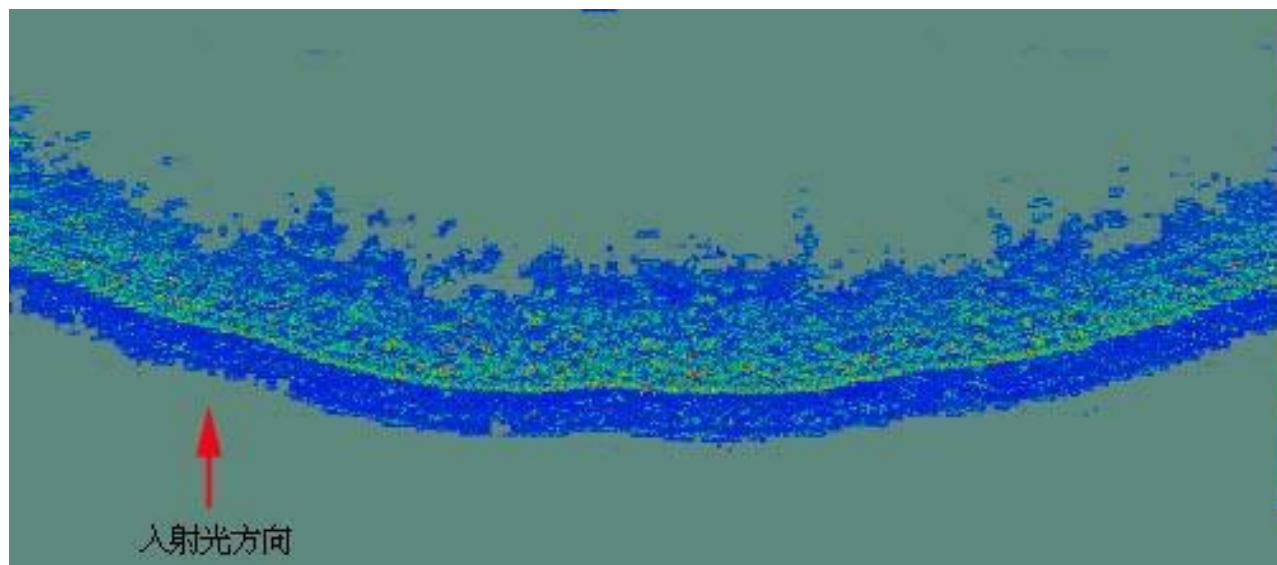
- * 对光程较长的多次散射光有极强的抑制作用。即使透明度很差的样品，仍可得到清晰的图像。
- * 图象的断层分辨率由光的脉宽决定。
- * 图象的横向分辨率由光束的直径决定

2. 实验装置

——光纤化的迈克尔逊干涉仪

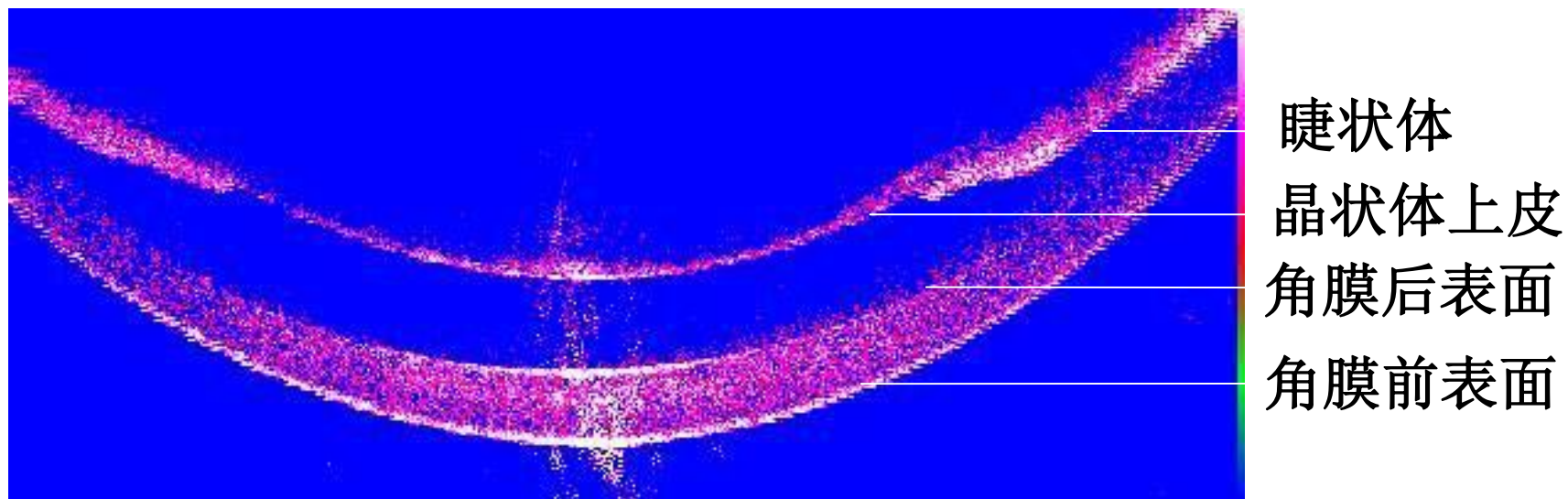


3. 应用 生物 医学 材料科学



大葱表皮的 OCT 图像

实际样品大小为 $10\text{mm} \times 4\text{mm}$ ，图中横向分辨率约为 $20\mu\text{m}$ ，纵向分辨率约为 $25\mu\text{m}$ 。



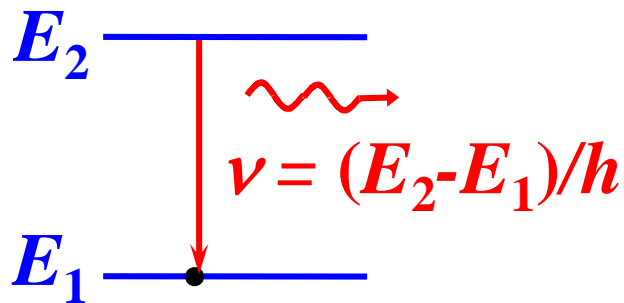
兔子眼球前部的OCT图像

§ 3.8 时间相干性

- 薄膜干涉时对光源要求不高，但强调“薄”，为什么？多薄？

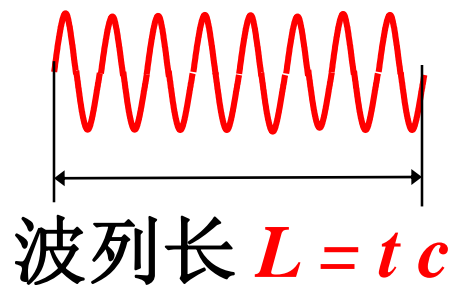
普通光源

自发辐射跃迁



发光时间 $t \approx 10^{-8} \sim 10^{-10} \text{ s}$

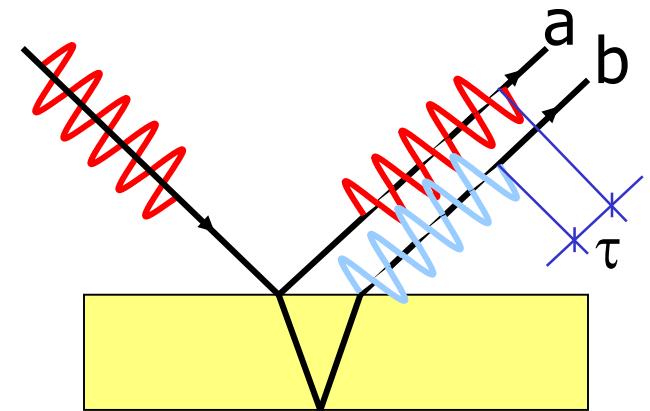
波列 \longrightarrow



- 由光程差造成反射光**a**与折射光**b**的时间差 τ

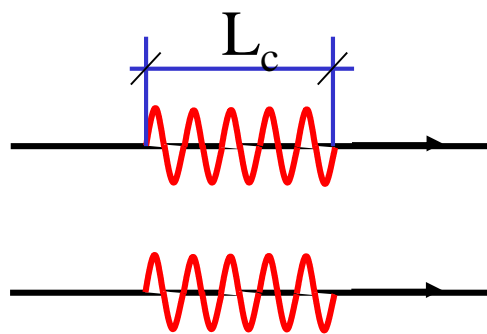
$$\tau = \Delta L / c$$

光程差 ΔL 越大，折射光**b**越落后于反射光**a**。若 ΔL 过大，则**b**光落后**a**光将超过列波长度 L 。这时**a**、**b**光将无法进行相干叠加。



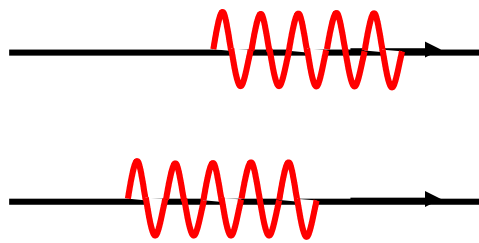
§ 3.8 时间相干性

- 把列波 L 称为**相干长度**，记为 L_c
- 传播 L_c 距离所花的时间 τ_c 称为**相干时间**， $\tau_c = L_c/c$



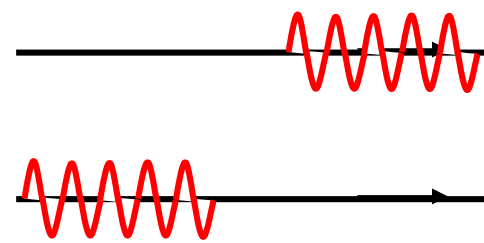
$$\Delta L = 0$$

完全相干



$$0 < \Delta L < L_c$$

部分相干



$$\Delta L > L_c$$

完全不相干

§ 3.8 时间相干性

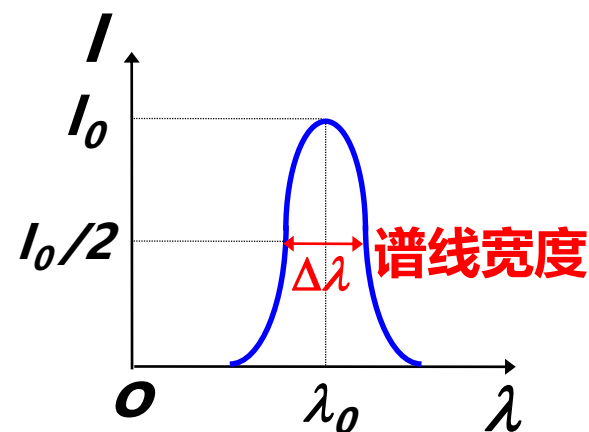
- 光源发出的列波越长，即相干时间越长，两波相互叠加的部分就越多，干涉条纹越清晰，时间相干性越好

时间相干性与光源的单色性相关。

相关长度 L_c 与谱线宽度 $\Delta\lambda$ 有关系：

$$L_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t = \hbar$$



光谱的单色性越好，相干长度越长，时间相干性越好。