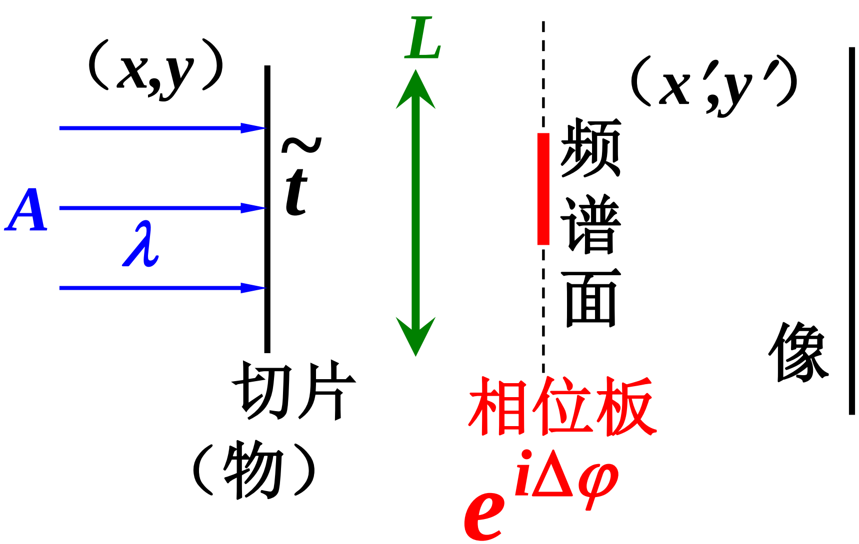
▲ 相衬显微镜 — 提高待测样品的衬比度

样品是无色透明的生物切片或晶片时，其透过率函数是相位型 $\tilde{t}(x,y)=e^{i\varphi(x,y)}$， φ 很小。



用普通显微镜观察样品，衬比度极小。<u>泽尼克(Zernike)</u>提出**相位反衬法**：在玻璃片中心滴一小滴液体（厚h），放到频谱面上引起 0 级相移：

$$\Delta\varphi=\frac{2\pi nh}{\lambda}$$

0级

$$\tilde{U}_{物}(x,y)=A\tilde{t}(x,y)=Ae^{i\varphi(x,y)}=A\left[1+i\varphi-\frac{1}{2!}\varphi^2+\cdots\right]$$

经相位板后， **0级相移了$\Delta\varphi$，** 其它变化不大。

$$\tilde{U}_{像}(x',y') = A\left[e^{i\Delta\varphi} + i\varphi - \frac{1}{2!}\varphi^2 + \cdots\right]$$

$$= A\left[(e^{i\Delta\varphi} - 1) + e^{i\varphi(x,y)}\right]$$

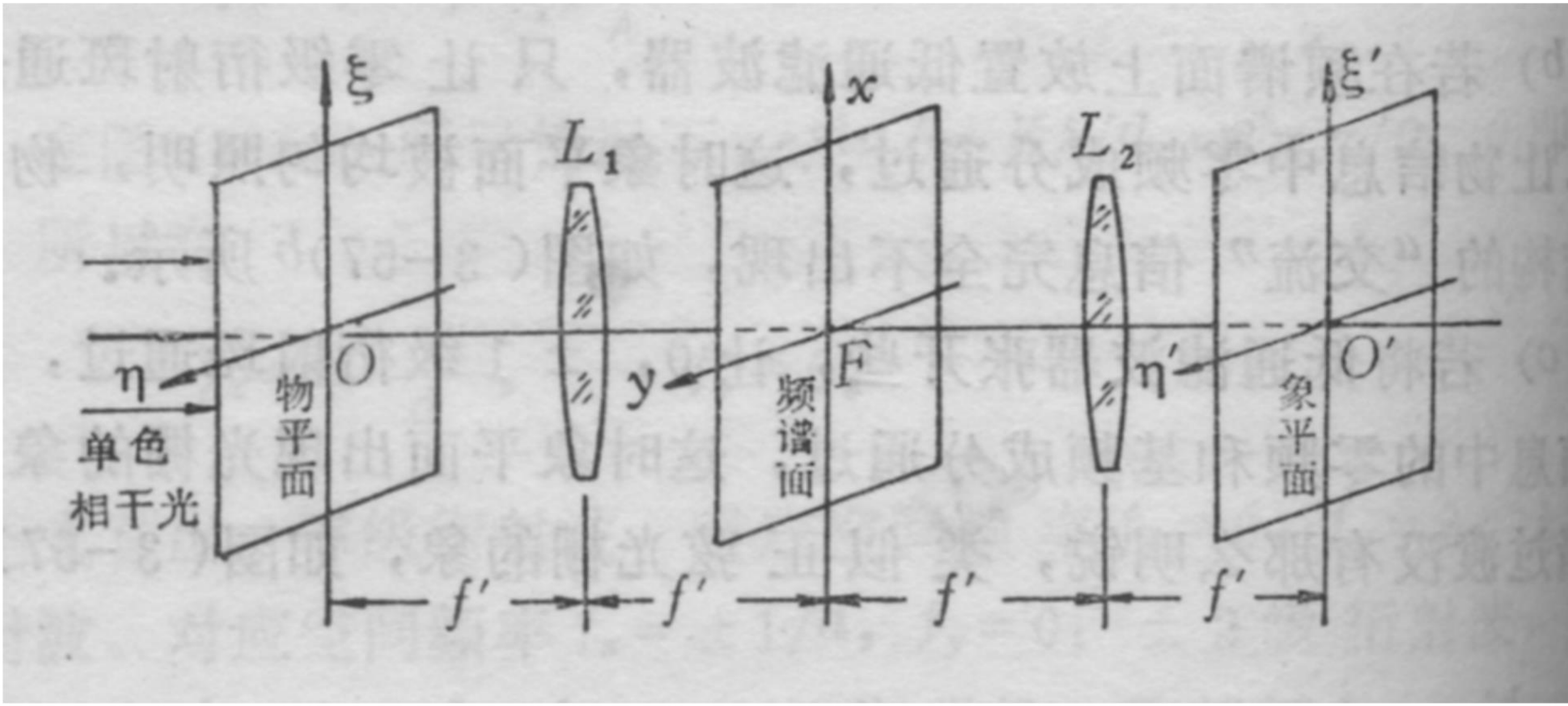
像的光强 $$I(x',y') = \tilde{U}_{像}(x',y')\cdot\tilde{U}^{*}_{像}(x',y')$$

$$\approx A^2\left[1 + 2\sin\Delta\varphi\cdot\varphi(x',y')\right] \qquad (\varphi << 1)$$

为了突出相位变化，通常选 $\Delta\varphi = \dfrac{\pi}{2}$，即 $h = \dfrac{\lambda}{4n}$ ，

这样就有了 $I(x',y') = A^2\left[1 + 2\varphi(x',y')\right]$

4F系统



假设物函数$E_o(\xi, \eta)$，经过一个透镜在焦点F处

$$E_F(x,y)=\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}E_0(\xi,\eta)\exp\{-i2\pi[(\frac{x}{\lambda f'})\xi+(\frac{y}{\lambda f'})\eta]\}d\xi d\eta$$

再经过第二个透镜，不考虑透镜的衍射效应

$$E_i(\xi',\eta')=\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}E_F(x,y)\exp\{-i2\pi[(\frac{\xi'}{\lambda f'})x+(\frac{\eta'}{\lambda f'})y]\}dxdy$$

物像共轭 $\eta = -\eta'$

放大率为-1 $\xi = -\xi'$

$$E_i(\xi', \eta') = E_i(-\xi, -\eta)$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} E_F(x,y)\exp\{i2\pi[(\frac{\xi}{\lambda f'})x + (\frac{\eta}{\lambda f'})y]\}dxdy$$

$$E_F(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} E_0(\xi,\eta)\exp\{-i2\pi[(\frac{x}{\lambda f'})\xi + (\frac{y}{\lambda f'})\eta]\}d\xi d\eta$$

$$E_i(\xi', \eta') = E_i(-\xi, -\eta) = (\lambda f')^2 E_o(\xi, \eta)$$

设用振幅为A的平行相干光束正入射放在物平面上的透明位相物体，物函数

$$E_o(\xi, \eta) = At(\xi, \eta) = A[1 + i\phi(\xi, \eta)]$$

若物的频谱全部都参加了综合，在像平面上得到的像函数为

$$E_i(\xi', \eta') = (\lambda f')^2 E_o(\xi, \eta)$$
$$= (\lambda f')^2 A[1 + i\phi(\xi, \eta)]$$

在像平面上的光强分布为

$$I_i(\xi', \eta') = E_i(\xi', \eta') E^*_i(\xi', \eta')$$
$$= (\lambda f')^4 A^2 [1 + \phi^2(\xi, \eta)]$$

由于 ϕ^2是一个二级小量，所以像的反衬是**很小**的

加了泽尼克变相板，在像平面上得到的像函数为

$$E_i(\xi',\eta')=(\lambda f')^2 A[\pm i\beta+i\phi(\xi,\eta)]$$

在像平面上的光强分布为

$$I_i(\xi',\eta')=E_i(\xi',\eta')\,E^*_i(\xi',\eta')$$

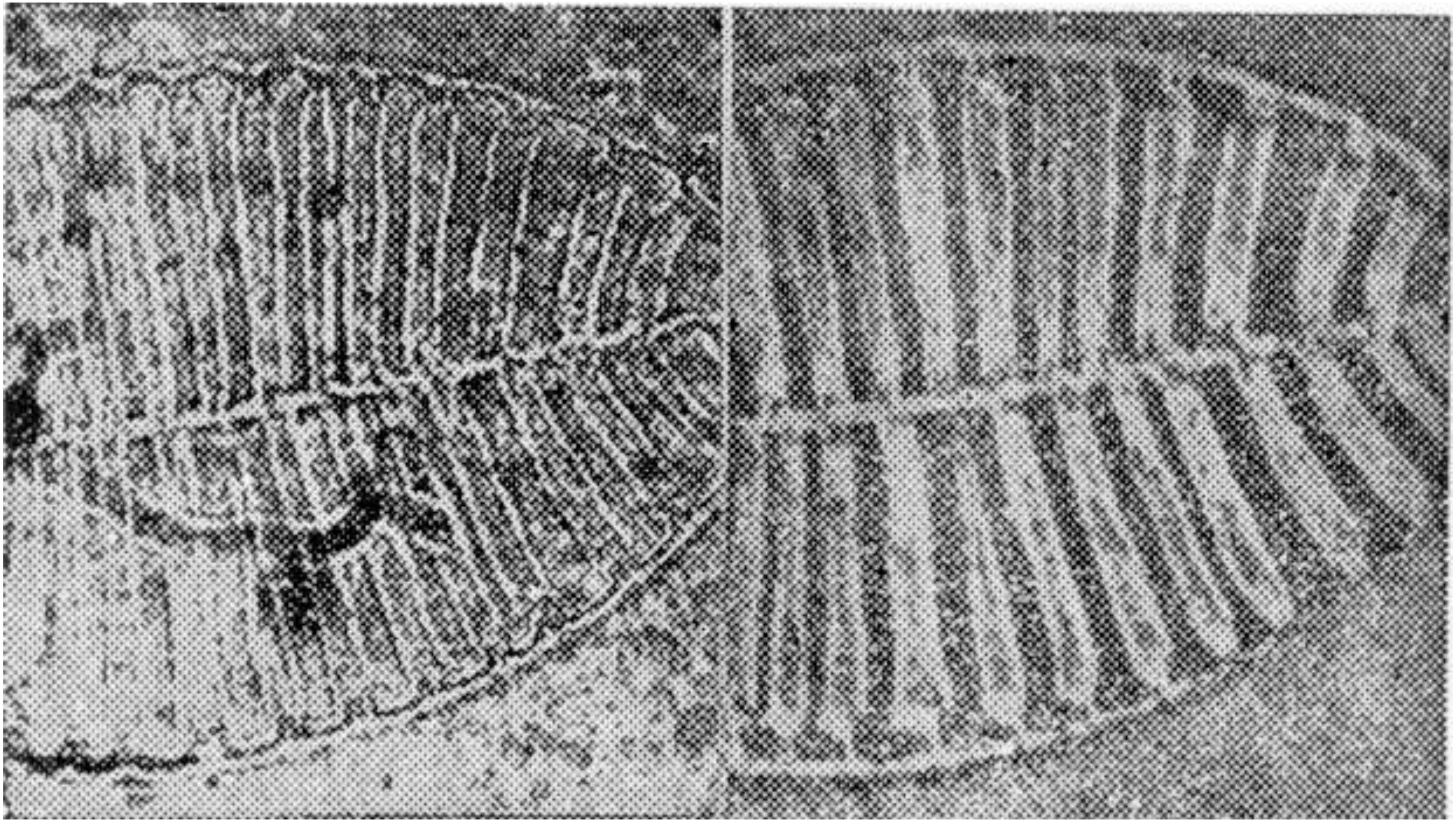
$$=(\lambda f')^4 A^2[\beta^2\pm 2\beta\phi(\xi,\eta)+\phi^2(\xi,\eta)]$$

上式表明当ϕ很小时，像的强度与位相$\phi(\xi,\eta)$成线性关系，

注意 $\xi'=-\xi$， $\eta'=-\eta$。

当本底位相被延迟$\pi/2$时，取“+”号，称为正的位相反衬，

或亮场相衬；而位相延迟$3\pi/2$时，取“—”号，称为负的位相反衬，或暗场相对。



普通显微镜（左）和相衬显微镜拍摄的硅藻照片

Zernike 因此获得了**1953年诺贝尔物理奖。**

总之，信息处理的关键在于研究清楚信息的**频谱特征**，然后针对它研制相应的**空间滤波器**，从而按照需要改变频谱，以达到对图象信息进行处理的目的。

Frits (Frederik) Zernike

Born: 16 July 1888 in Amsterdam, Netherlands
Died: 10 March, 1966 in Groningen