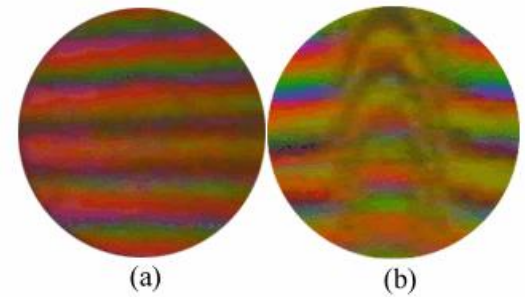
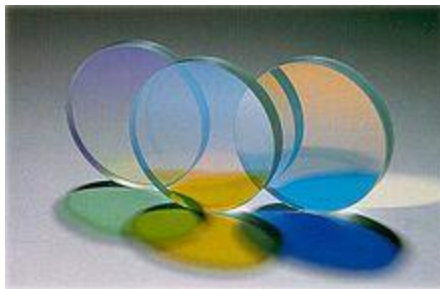


3-03 薄膜干涉 等厚条纹 等倾条纹

Optical film



薄膜干涉：等厚条纹、等倾条纹

薄膜干涉（一）：等厚条纹

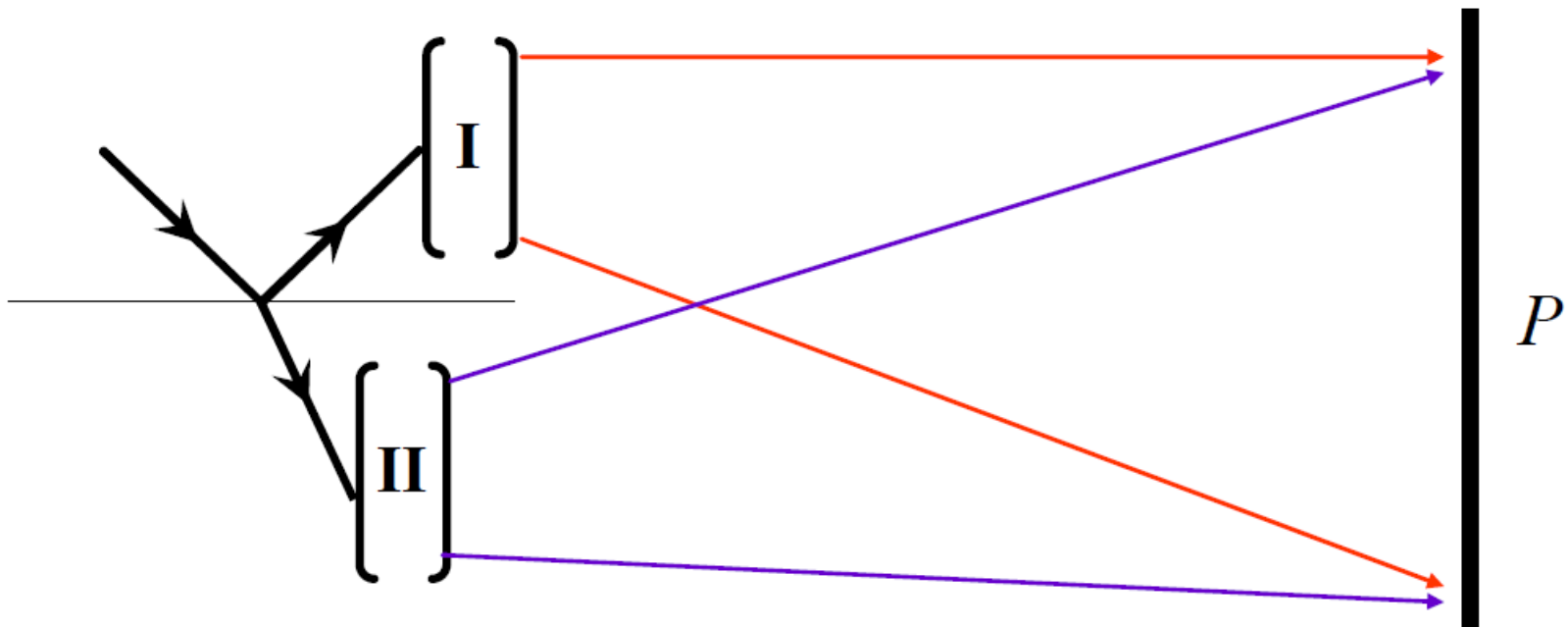
- 1 薄膜干涉概述 等厚条纹 等倾条纹
- 2 薄膜表面的等厚条纹（ i 固定， h 变化）
- 3 楔形薄膜的等厚干涉测量：细丝、滚珠直径、表面光洁度、热胀系数
- 4 牛顿圈
- 5 等厚干涉条纹的观测方法及倾角的影响
- 6 薄膜的颜色、增透膜和高反膜

利用光具组将同一列波分解，使它们经过不同的途径后重新相遇，由于这样的两列波由同一列波分解而来，它们频率相同，位相差稳定，振动方向也可做到基本平行，因而满足相干条件，能产生干涉图样。实际的干涉装置按分解波列的方法不同分为两种：

i) **分波前法**将点光源的波前分割为两部分的波列分解法称为分波前法，杨氏双缝是分波前法的典型代表

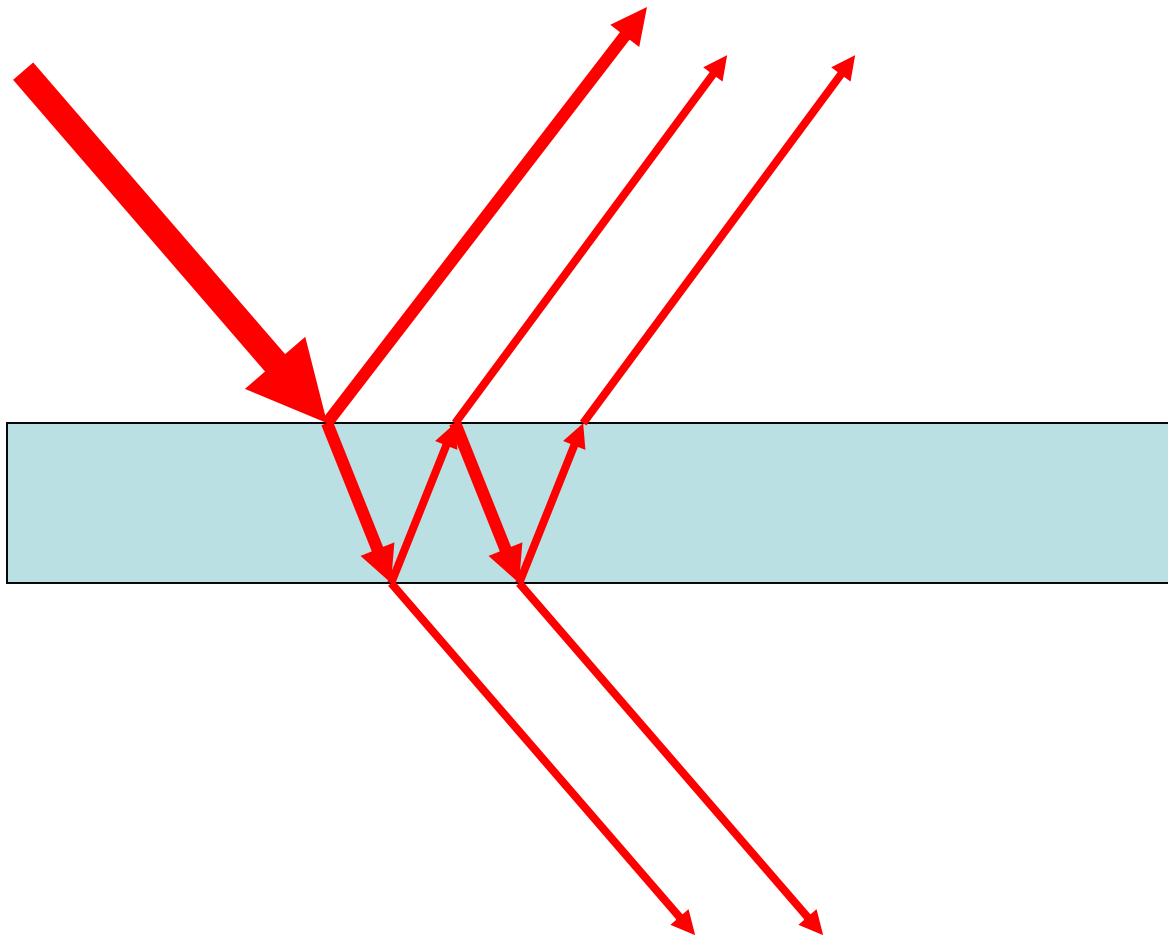
ii) **分振幅法**利用两种媒质的界面将振幅分解为反射和透射两部分的波列分解法称为分振幅法。分振幅法的典型代表是薄膜干涉和迈克尔逊干涉仪。

分振幅干涉装置



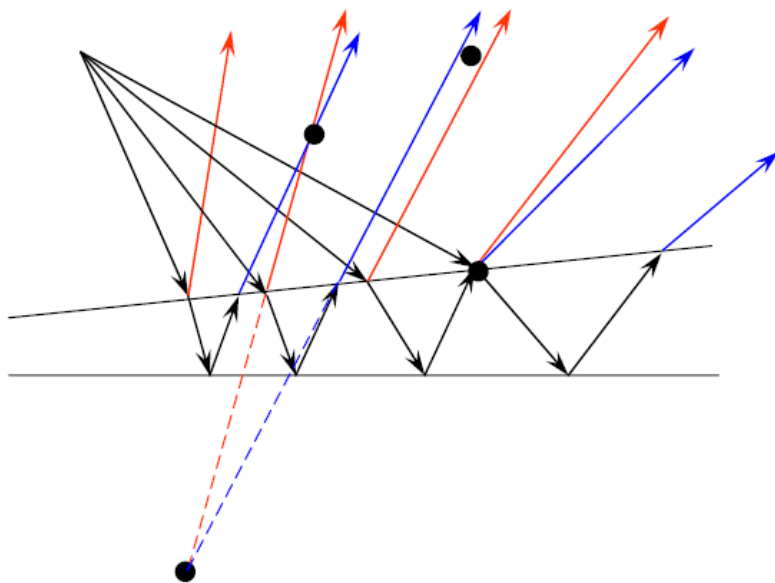
1.薄膜干涉概述

1. 光波在介质的界面处分为反射和折射两部分，折射部分再经下界面反射，然后又从上界面射出。
2. 由于这些光都是从同一列光分得的，所以是相干的。
3. 这些光是将原入射光的能量（振幅）分为几部分得到的，被称为**分振幅的干涉**



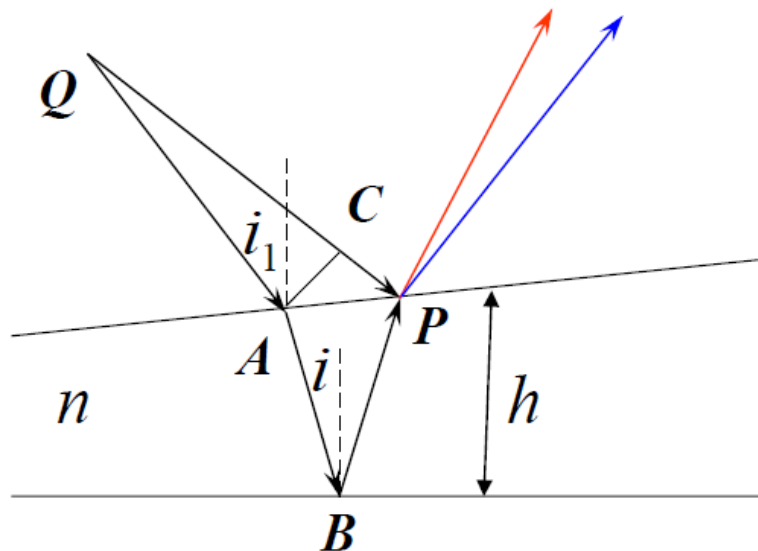
薄膜干涉存在于折射光和反射光交迭的所有区域，但有实际意义的主要有两种，分别定位于薄膜表面和无限远：

- i) 等厚条纹：厚度不均匀薄膜表面的干涉场**
- ii) 等倾条纹：厚度均匀薄膜无穷远处的干涉场**



2. 薄膜表面的等厚条纹 (i 固定 h 变化)

光程差计算：



$$\begin{aligned}\Delta L(P) &= (QABP) - (QP) = (QA) - (QP) + (ABP) \\ &= (ABP) - (CP) \approx (ABP) - 2h \tan i \sin i_1 \\ &\approx 2nh / \cos i - 2nh \sin^2 i / \cos i \\ &\approx 2nh \cos i\end{aligned}$$

干涉条纹:

$$\begin{cases} \Delta L = k\lambda \\ \Delta L = (k + 1/2)\lambda \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} h = \frac{k\lambda}{2n \cos i} & \text{极大} \\ h = \frac{(2k + 1)\lambda}{4n \cos i} & \text{极小} \end{cases}$$

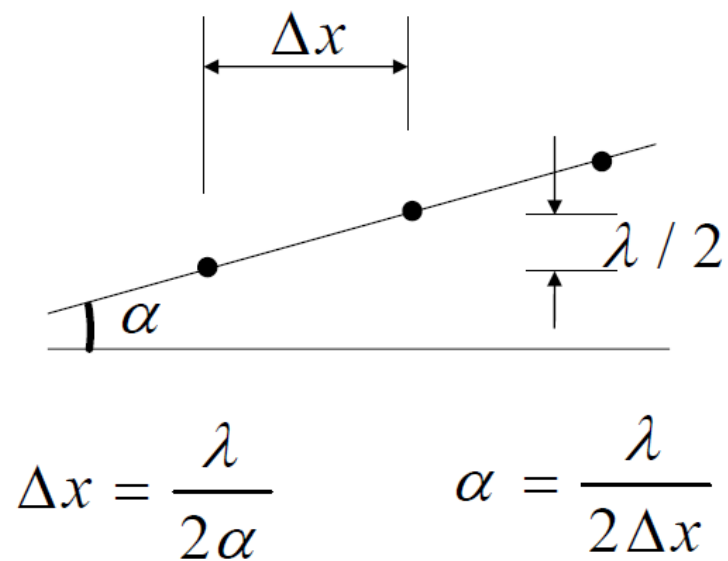
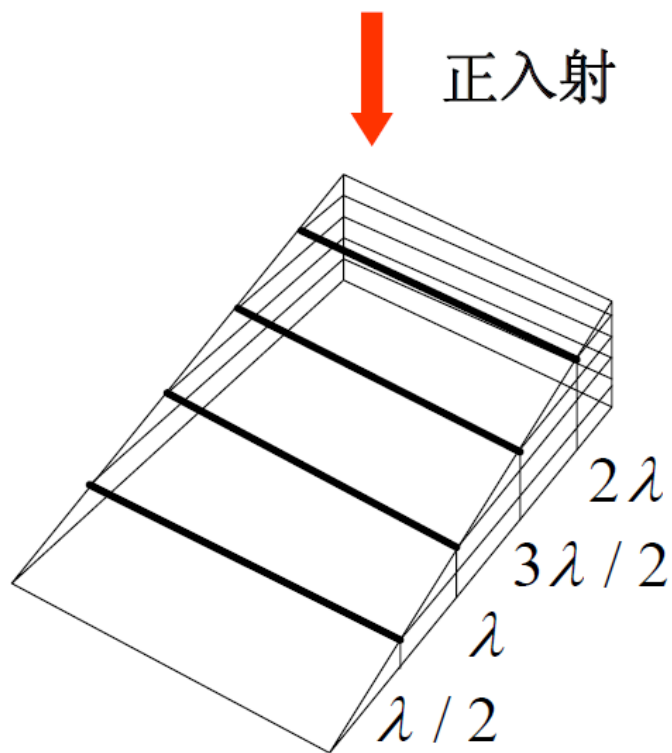
薄膜表面沿等厚线分布的干涉条纹称为等厚干涉条纹

正入射 $i = i_1 = 0$ $\cos i = \cos i_1 = 1$

$$\Delta L(P) = 2nh$$

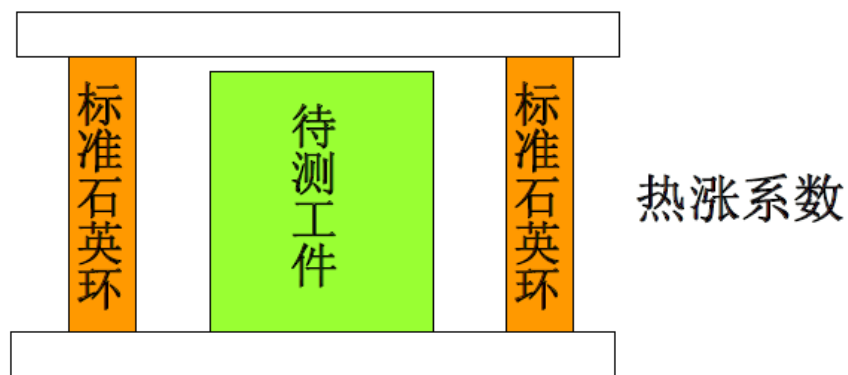
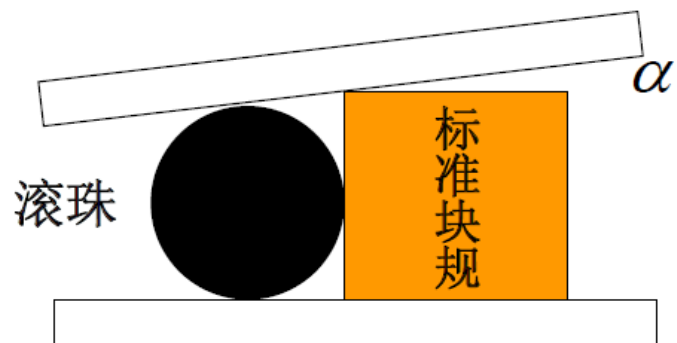
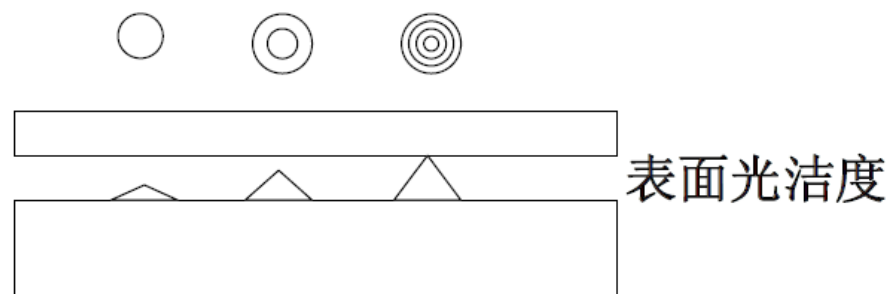
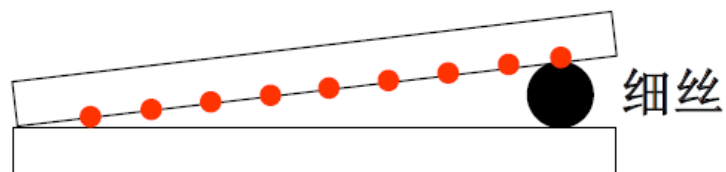
也即: 相邻条纹间的光程差 $\Delta L = \lambda$
厚度差 $h = \frac{\lambda}{2n}$

3. 楔形薄膜的等厚干涉

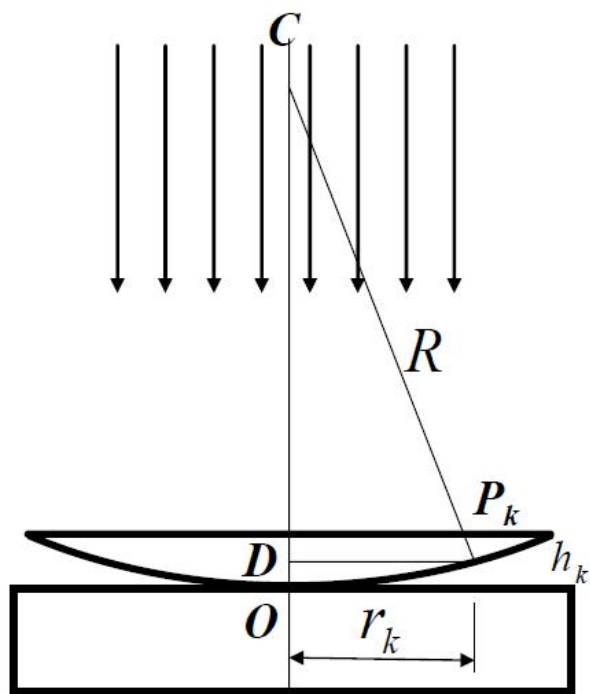


用于各种精密测量

测量：细丝、滚珠直径、表面光洁度、热胀系数



4. 牛顿圈 (环)

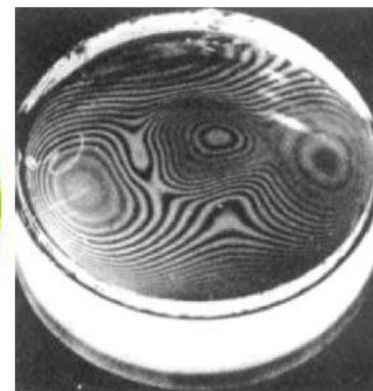
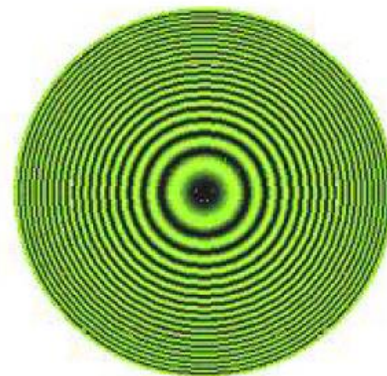


$$r_k^2 = kR\lambda$$

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}$$

$$R = \frac{r_{k+m}^2 - r_k^2}{m\lambda}$$

由于半波损失，中心是暗纹。



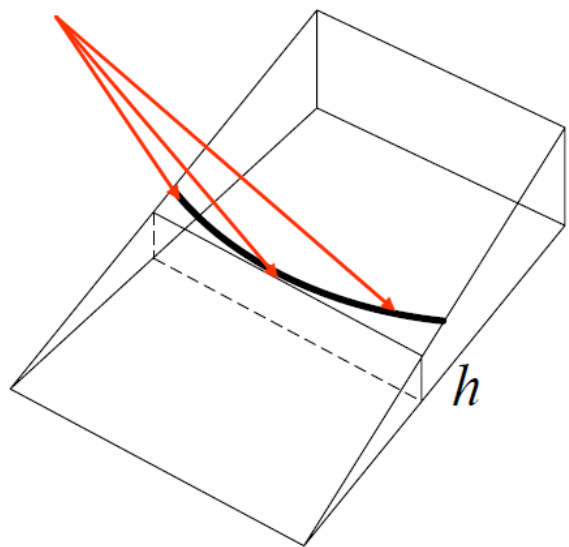
$$DP_k^2 = CP_k^2 - CD^2$$

$$r_k^2 = R^2 - (R - h_k)^2 = 2Rh_k - h_k^2$$

5.等厚干涉条纹的观测方法及倾角的影响

严格的等厚干涉要求点光源、正入射。但扩展光源、斜入射，用眼睛也能观察到干涉现象。主要是眼睛的瞳孔对光束进行了限制，只是干涉的结果会受到一定的影响。

i) 条纹偏离等厚线：



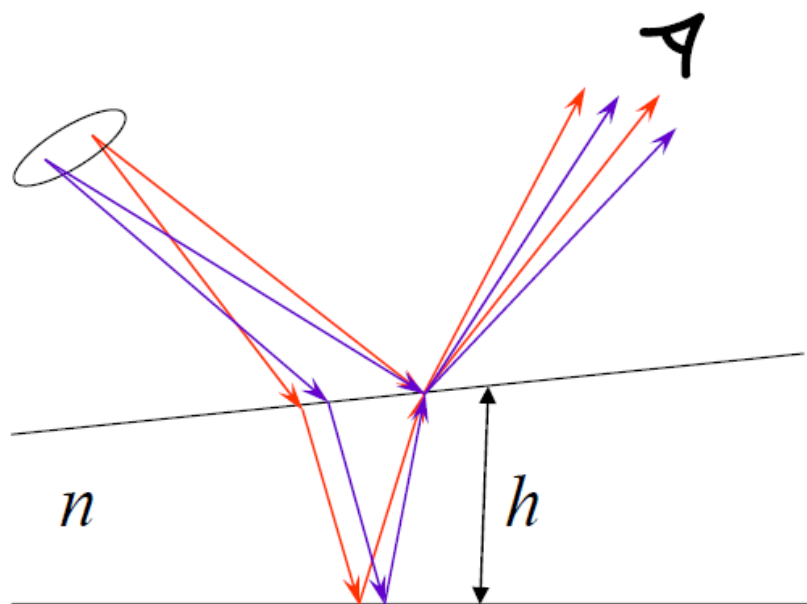
干涉条纹：

$$2nh \cos i = \text{const} .$$

满足：

$$\delta(\Delta L) = -2nh \sin i \delta i + 2n \cos i \delta h = 0$$

ii) 反衬度下降：

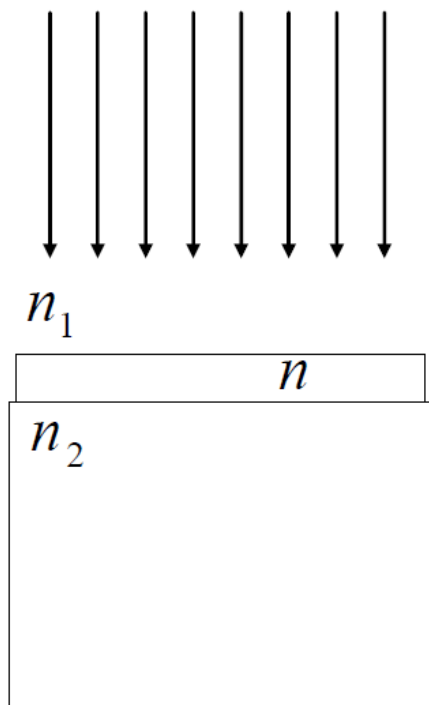


眼睛瞳孔限制扩展光源参与干涉的区域。光源不同处的 i 不同， h 越大，反衬度越低。

$$\delta(\Delta L) = -2nh \sin i \delta i$$

6. 薄膜的颜色、增透膜和高反膜

薄膜的颜色：干涉导致不同波长光的反射率不同。



增透膜：

$$n_1 < n < n_2$$

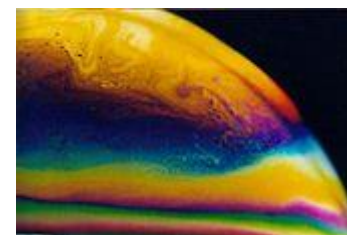
$$nh = \lambda/4, \quad 3\lambda/4, \quad \dots$$

$$n = \sqrt{n_1 n_2} \text{ 时完全消光}$$

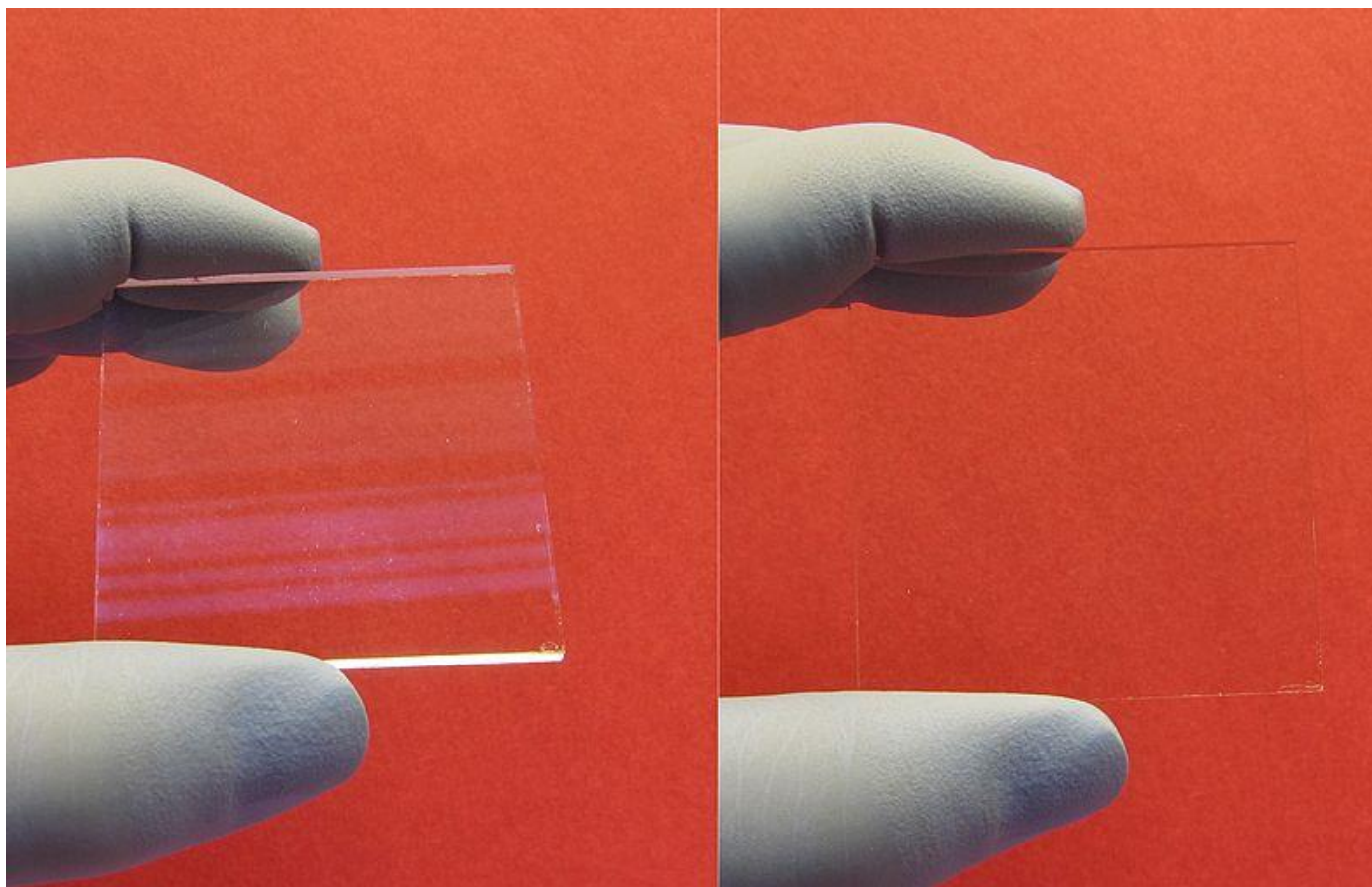
例： $n_1 = 1, \quad n_2 = 1.52, \quad \rightarrow n_0 = 1.23$

实际： $n_{MgF_2} = 1.38$

$$R = 1.2\%$$



增透膜



高反膜:

$$n_1 < n > n_2$$

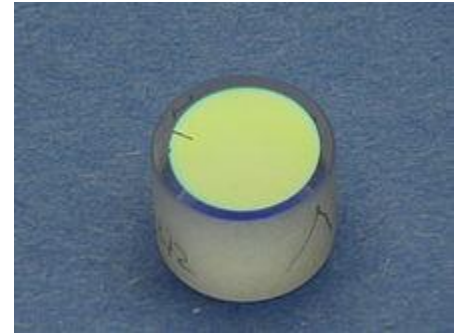
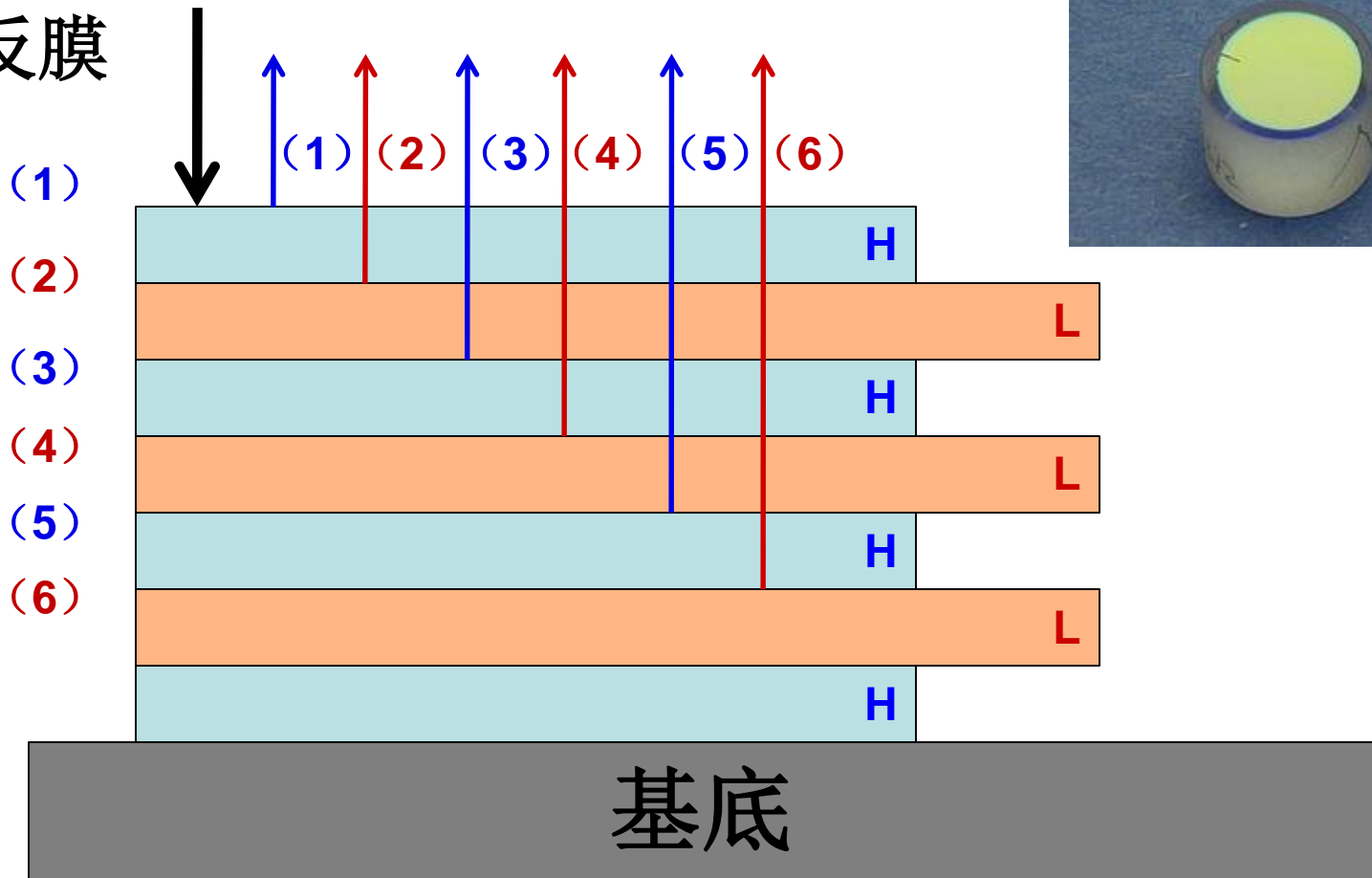
$$nh = \lambda/4, \quad 3\lambda/4, \quad \dots$$

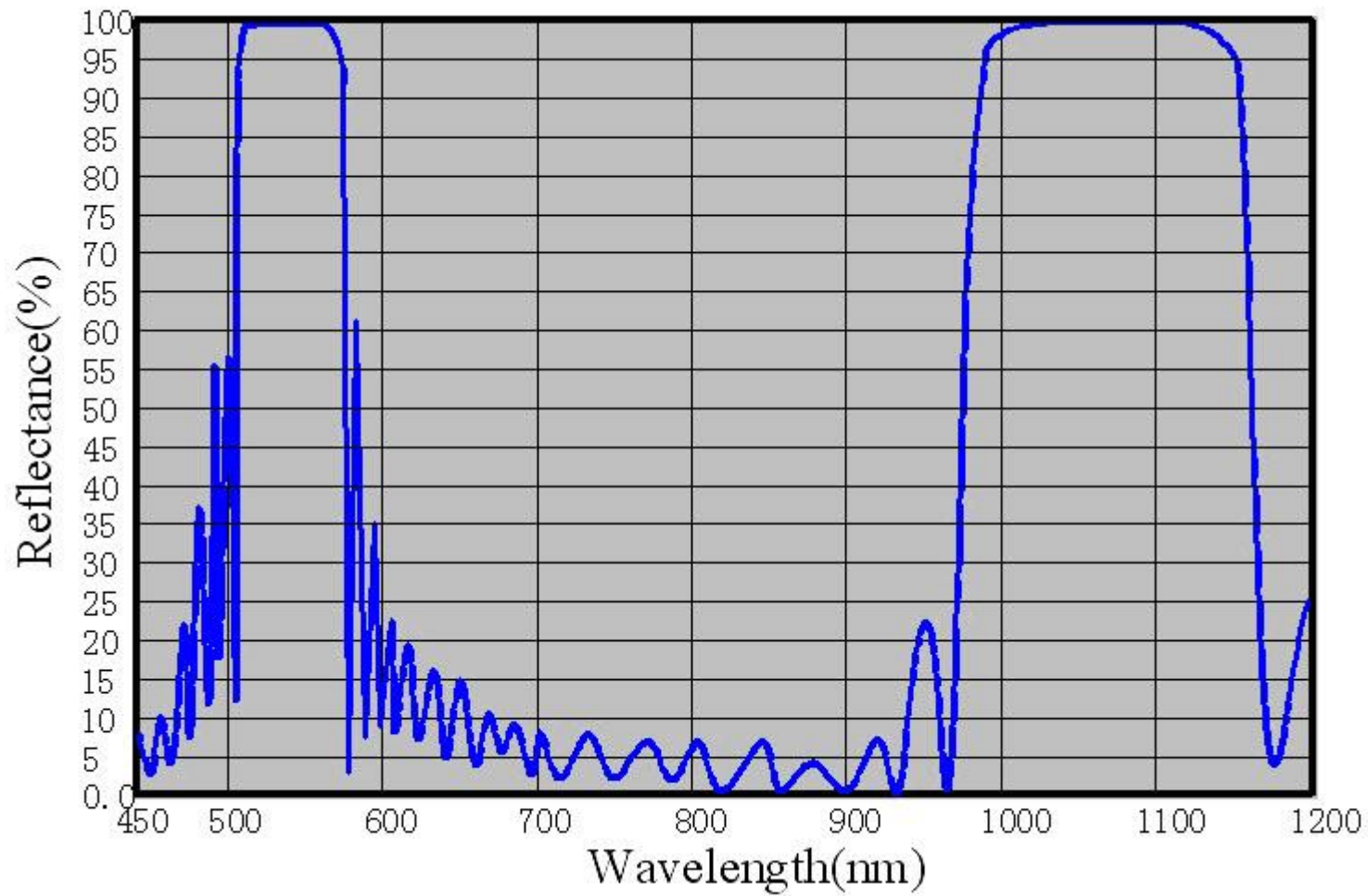
例: $n_1 = 1, \quad n_2 = 1.52,$

实际: $n_{ZnS} = 2.4$

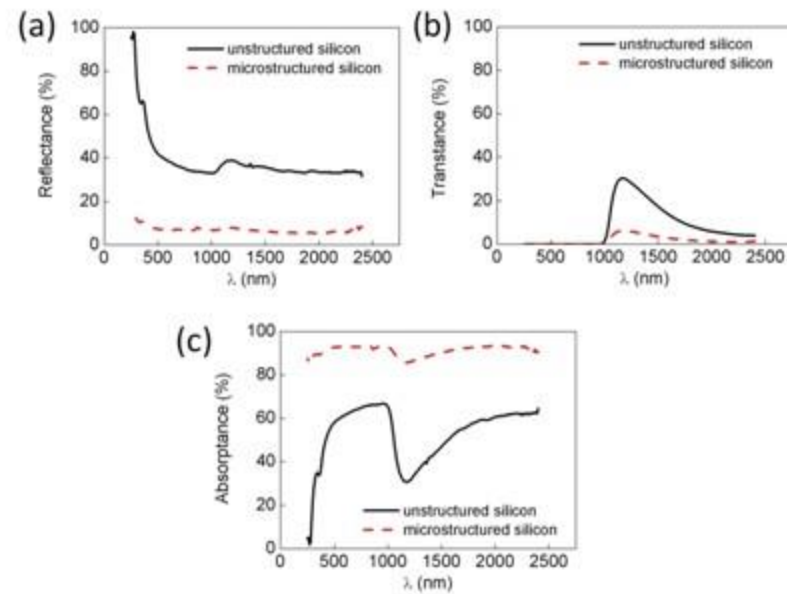
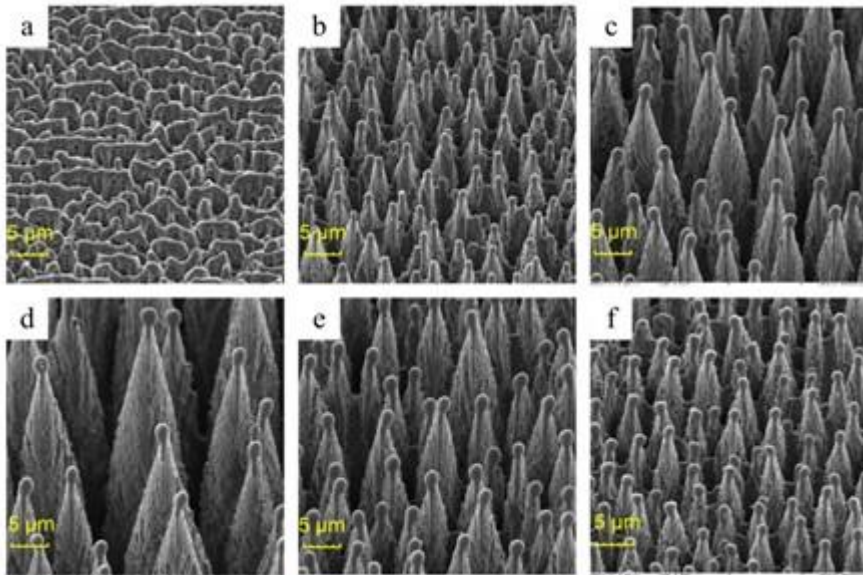
$$R = 33.8\%$$

高反膜

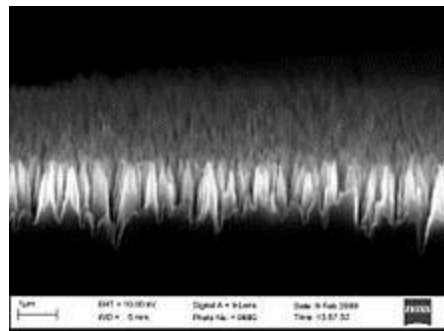




降低反射率



黑硅



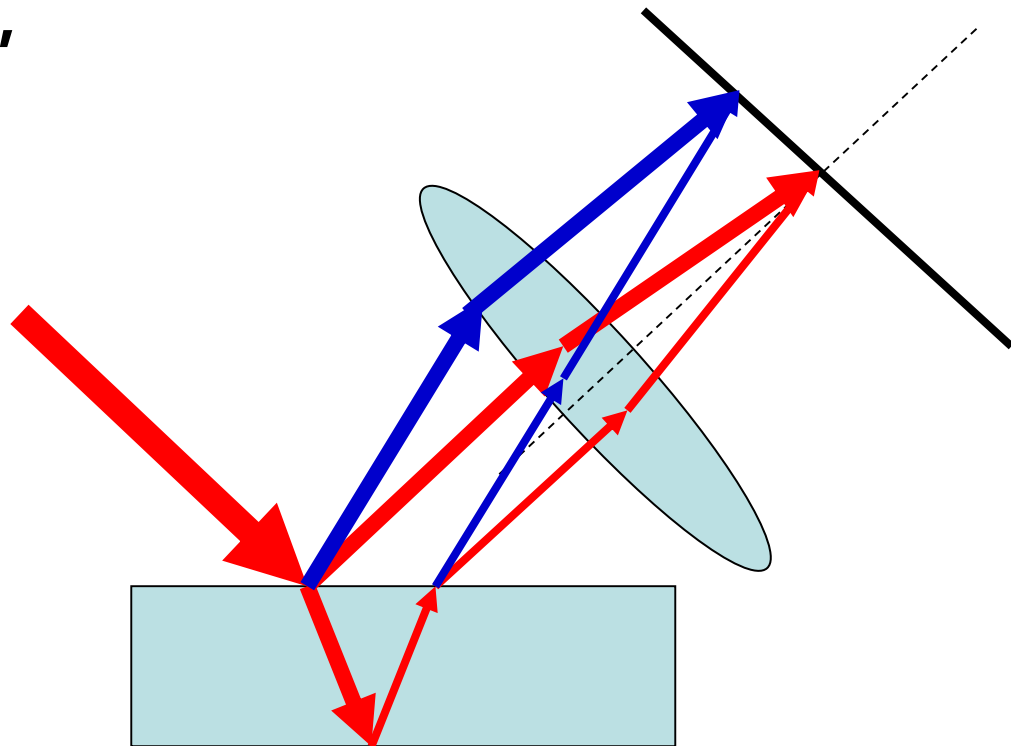
作业 : P300 , 2, 3, 5, 6

薄膜干涉（二）——等倾条纹

- 1 无穷远处的等倾干涉条纹（ h 固定， i 变化）
- 2 观察等倾条纹时扩展光源的作用
- 3 薄膜干涉的定域问题

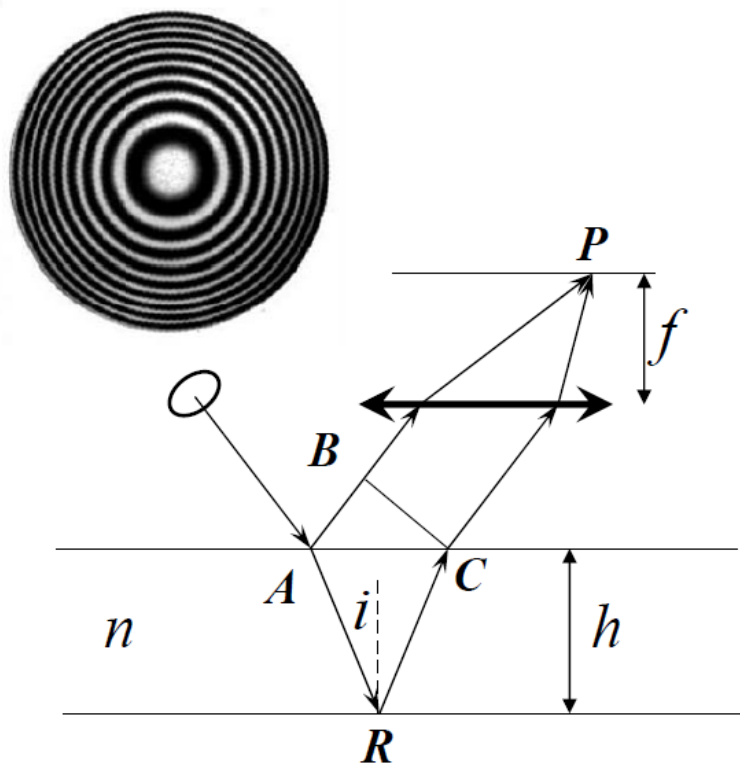
等倾干涉

1. 在薄膜上方放置一凸透镜，在凸透镜的像方焦平面观察干涉条纹。
2. 此时只有相互平行的光才能相遇，进行叠加。
3. 相互平行的光有相同的倾角，故称**等倾干涉**。



1. 无穷远处的等倾干涉条纹 (h 固定, i 变化)

光程差计算:



$$\Delta L = 2nh \cos i$$

极大条件: $\Delta L = k\lambda$

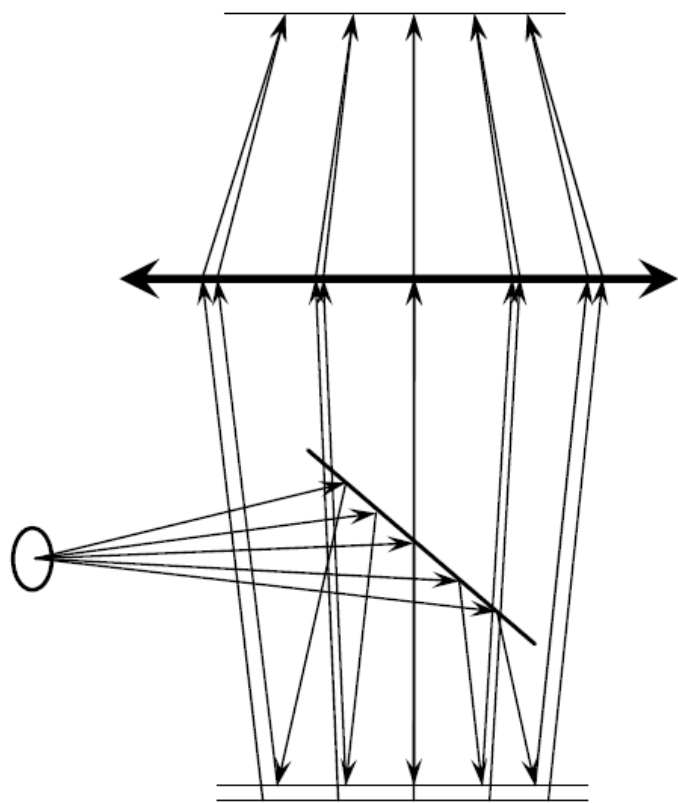
或 $\cos i_k = \frac{k\lambda}{2nh}$

由薄膜表面等倾角光线形成的干涉条纹称为等倾干涉条纹

条纹间距:

$$i_{k+1} - i_k = - \frac{\lambda}{2nh \sin i_k}$$

$$r_{k+1} - r_k = - \frac{\lambda f}{2nh \sin i_k}$$



中心级次高、边缘级次低

h 增大，条纹从中心生出并向外扩展

h 减小，条纹向中心会聚并消失于中心

第k级亮条纹

$$2n_2 h \cos i_2 = k\lambda$$

中心处级数最高

相邻条纹间的角距离

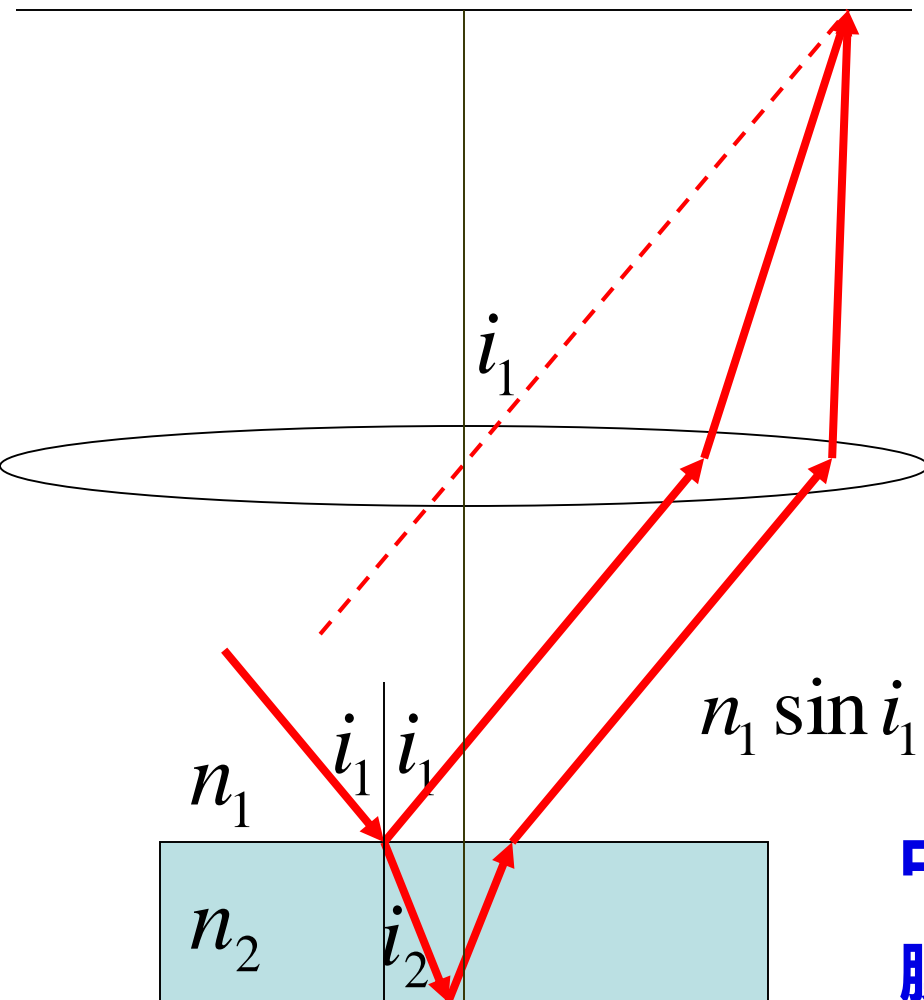
$$2n_2 h \sin i_2 \Delta i_2 = \lambda$$

$$\Delta i_2 = \frac{\lambda}{2n_2 h \sin i_2}$$

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad \Delta i_1 = \frac{n_2 \cos i_2}{n_1 \cos i_1} \Delta i_2$$

中心处条纹较稀疏。

膜厚增大，条纹变密。



条纹的角宽度（亮条纹中心到相邻暗条纹中心的角距离）

亮纹 $2n_2h \cos i_2 = k\lambda$

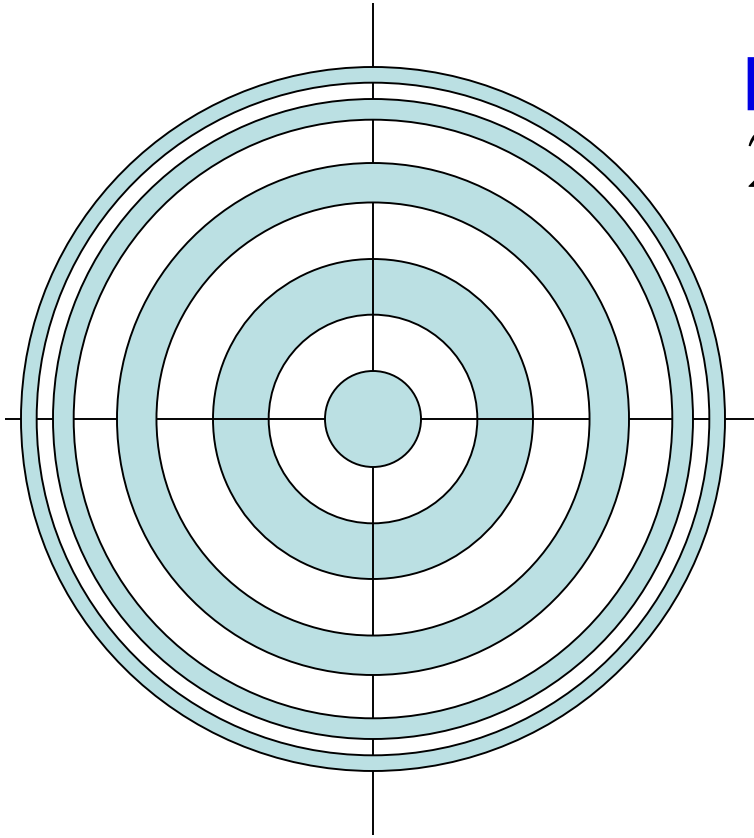
暗纹 $2n_2h \cos(i_2 + \delta i_2) = (2j + 1)\lambda / 2$

$$2n_2h \sin i_2 \delta i_2 = \lambda / 2$$

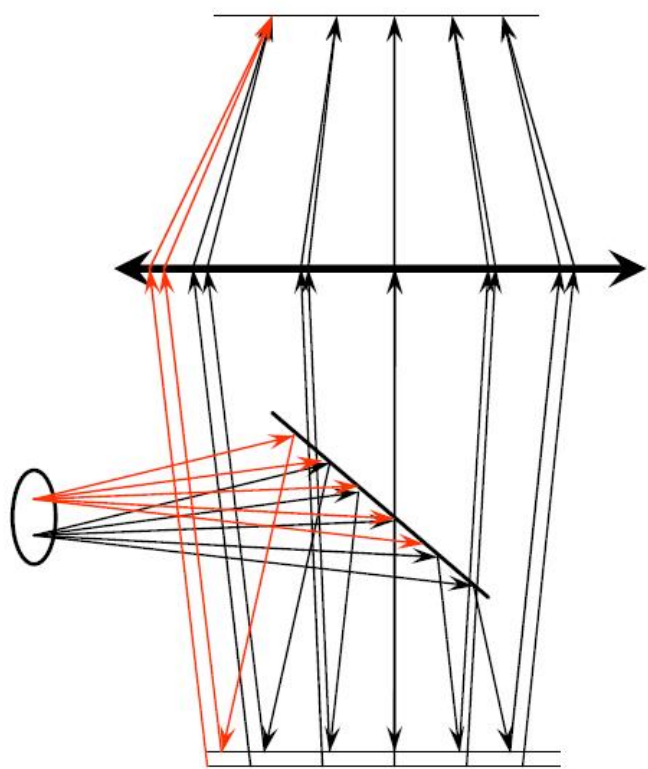
$$\delta i_2 = \lambda / (4n_2h \sin i_2)$$

膜厚增大，条纹细锐

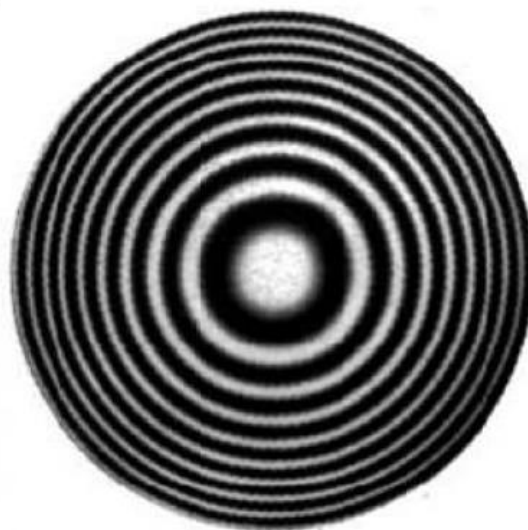
中心条纹没有周围细锐



2.观察等倾条纹时扩展光源的作用

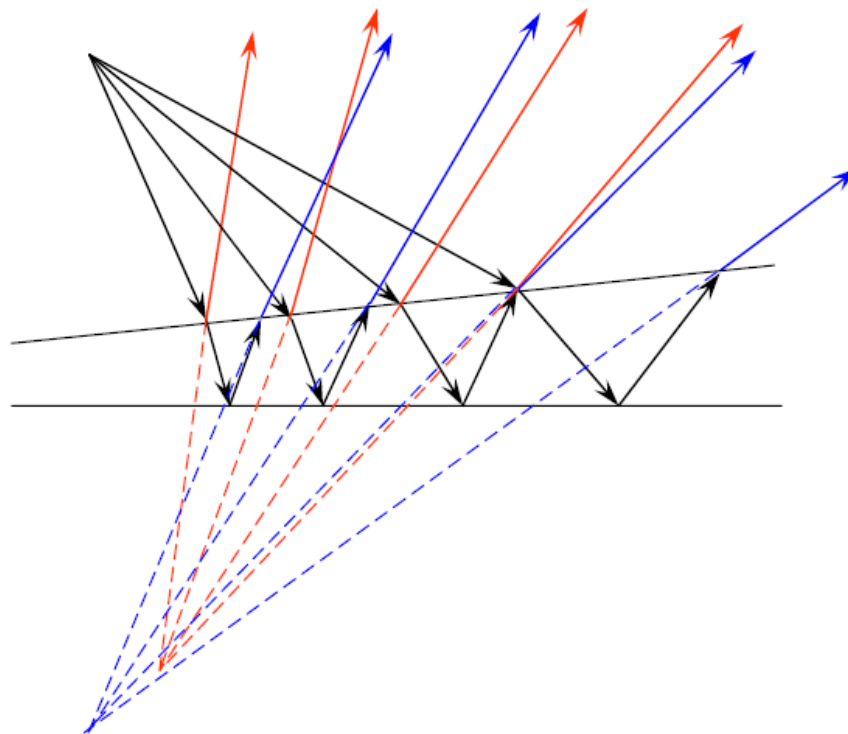


光源上各点形成完全一样的干涉图样，其效果是提高干涉图样的亮度，有益无害。

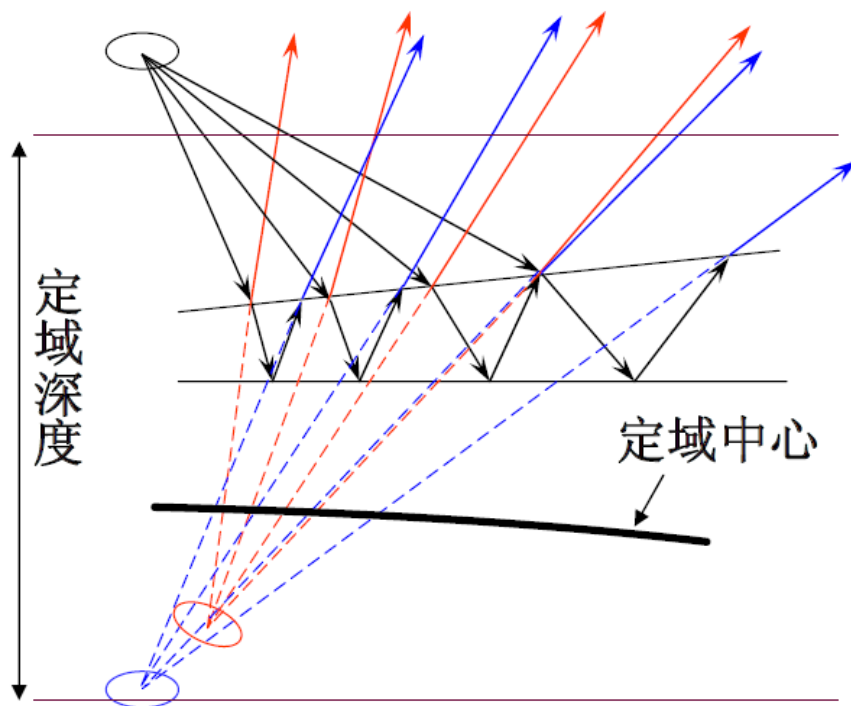


3.薄膜干涉的定域问题

- i) 点光源照明：上下两束光交迭的任何区域都有干涉条纹存在，干涉条纹是非定域的



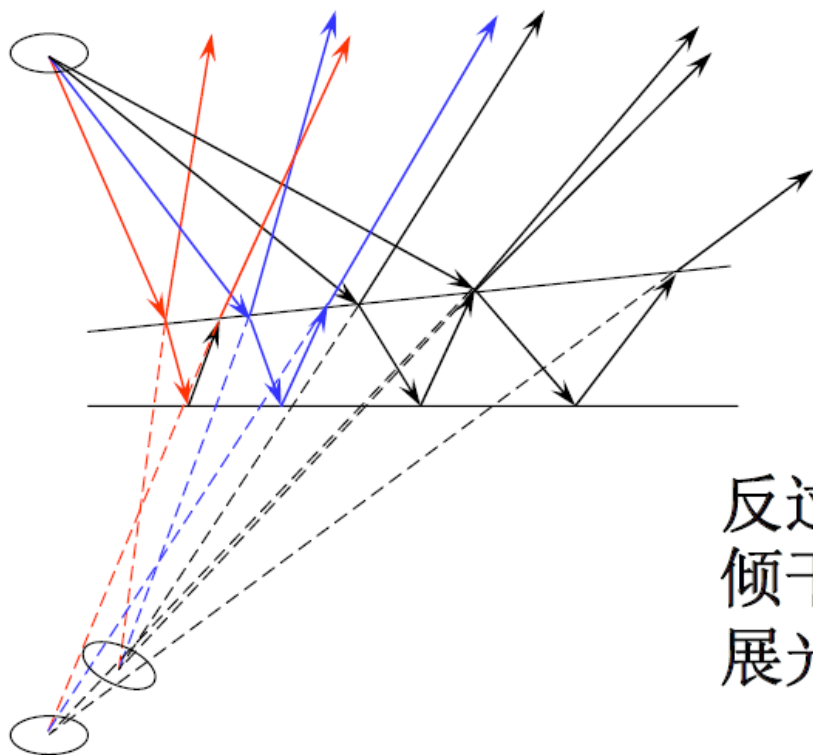
ii) 扩展光源照明：只在上下表面反射的两束光交迭的部分区域内可看到干涉条纹，这种条纹称为定域干涉条纹。



定域条纹的范围称为定域深度，定域深度内有一曲面，在此曲面上干涉条纹的反衬度最大。该曲面称为定域中心。

干涉条纹的反衬度随偏离定域中心而逐步下降，直至超出定域范围，反衬度降为0而无法辨认。

光源的空间相干性: $\Delta\theta b \sim \lambda$



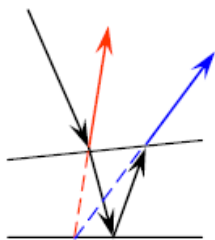
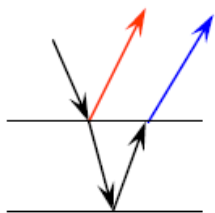
因此，
定域中心由 $\Delta\theta = 0$ 决定，
也就是由同一光线经上下表面反射的交点组成。
定域深度由 $\Delta\theta_0 = \lambda/b$ 决定，
与光源的宽度成反比。

反过来，如果仅仅考察平行光（等倾干涉），允许 $b \rightarrow \infty$ （即使用扩展光源），且反衬度始终接近1。

厚度均匀的薄膜，定域中心在无限远；

厚度不均匀的薄膜，定域中心在上下表面附近。

只要对光源宽度有一定的限制（如肉眼观察时眼睛的瞳孔），即可使薄膜表面进入定域深度之内。



无论是等厚干涉，还是等倾干涉，既可在薄膜的上方，也可在薄膜的下方观察到干涉条纹，只是反衬度不同（通常为互补），在讨论了法布里-珀罗干涉仪后会清楚这个问题。