

第六章 光在晶体中的传播

第三节 偏振光的干涉与应用

6.3 偏振光的干涉与应用

6.3.1 偏振光干涉的基本原理

6.3.2 偏振光干涉的现象

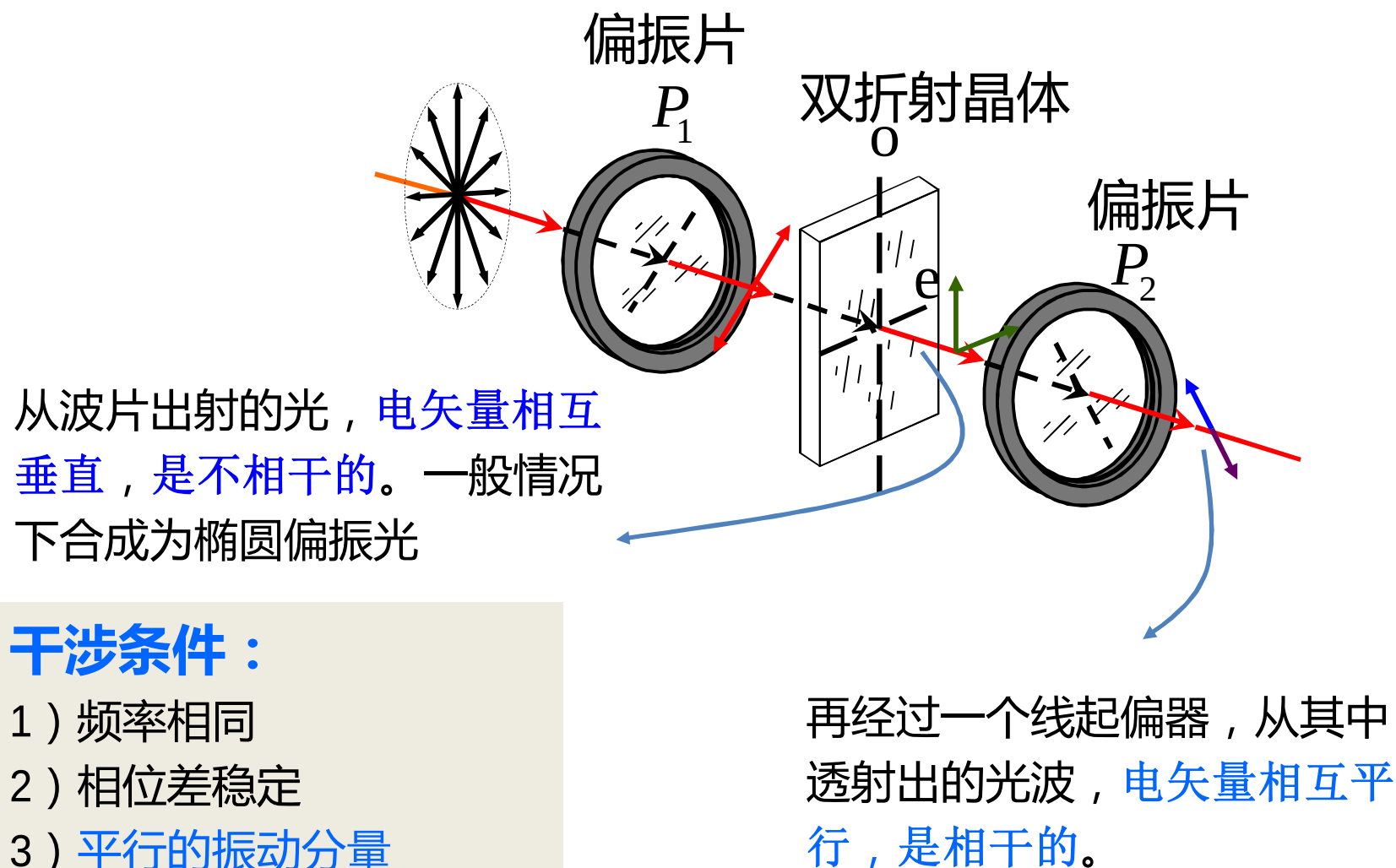
6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：

液晶、3D显示

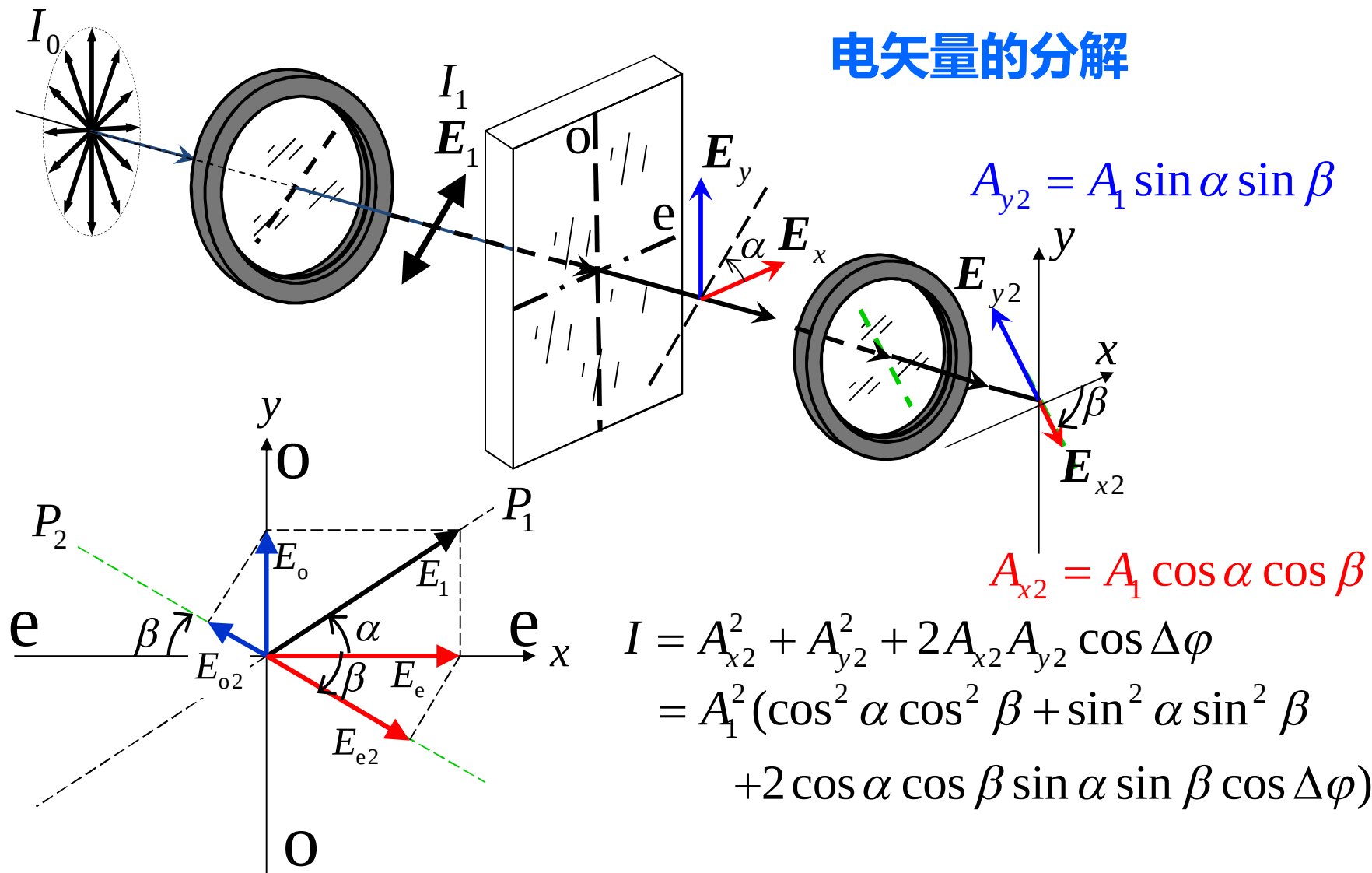
6.3.1 偏振光干涉的基本原理

在偏振片之间放置波片时的分析



6.3.1 偏振光干涉的基本原理

在偏振片之间放置波片时的分析

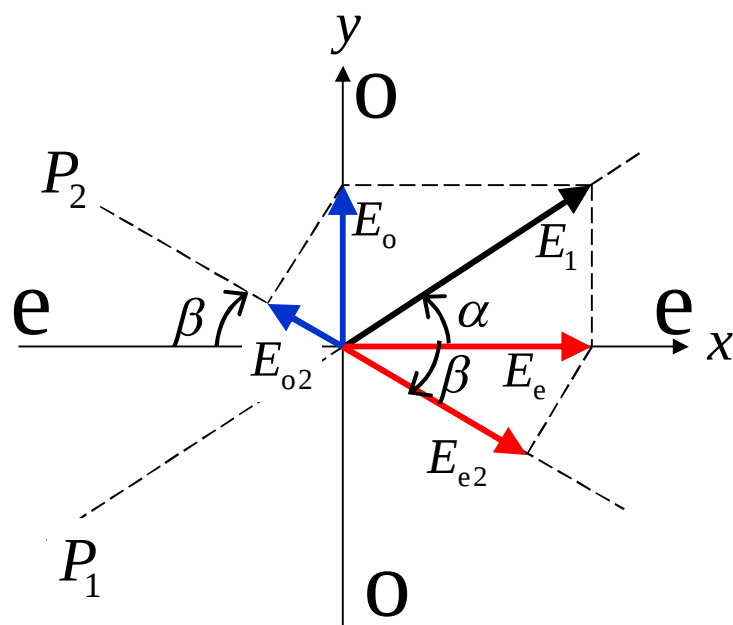


6.3.1 偏振光干涉的基本原理

在偏振片之间放置波片时的分析

相位差的确定

除了晶体产生的相位差之外，还要考虑在坐标系中由于偏振片取向而产生的相位差。



(1) 双折射晶体产生的相位差

$$\Delta\varphi_c = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$$

(2) 偏振片P1、P2取向不同带来的相位差 $\Delta\varphi_1$ ， $\Delta\varphi_2$

偏振片 P_1

在 I、III 象限	$\Delta\varphi_1 = 0$
在 II、IV 象限	$\Delta\varphi_1 = \pi$

偏振片 P_2

在 I、III 象限	$\Delta\varphi_2 = 0$
在 II、IV 象限	$\Delta\varphi_2 = \pi$

E_{o2} 与 E_{e2} 之间总的相位差

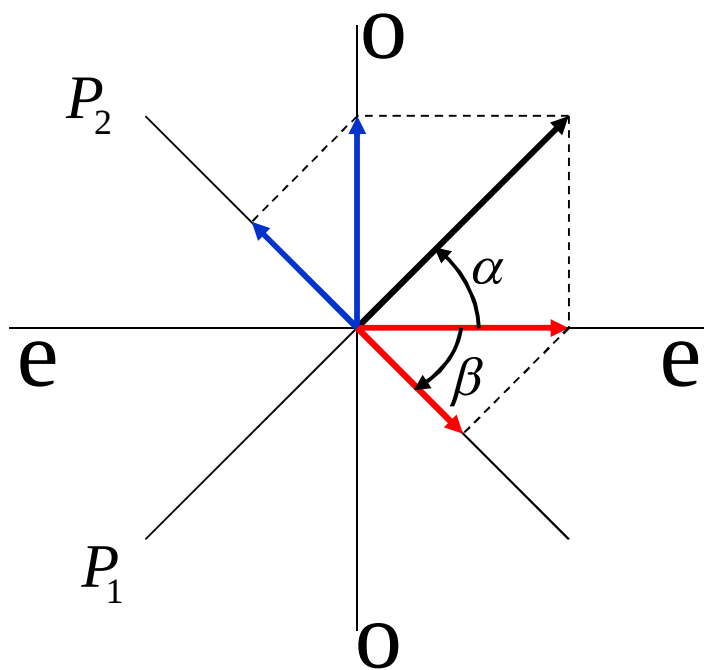
$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_c + \Delta\varphi_2$$

6.3.1 偏振光干涉的基本原理

在偏振片之间放置波片时的分析

两种特例

1. 偏振片相互**垂直**，且与晶体光轴成 45° 角



$$\begin{aligned}\Delta\varphi_1 &= 0 \\ \Delta\varphi_2 &= \pi\end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \Delta\varphi = \pi + \Delta\varphi_c$$

$$\alpha = \beta = \frac{\pi}{4}$$

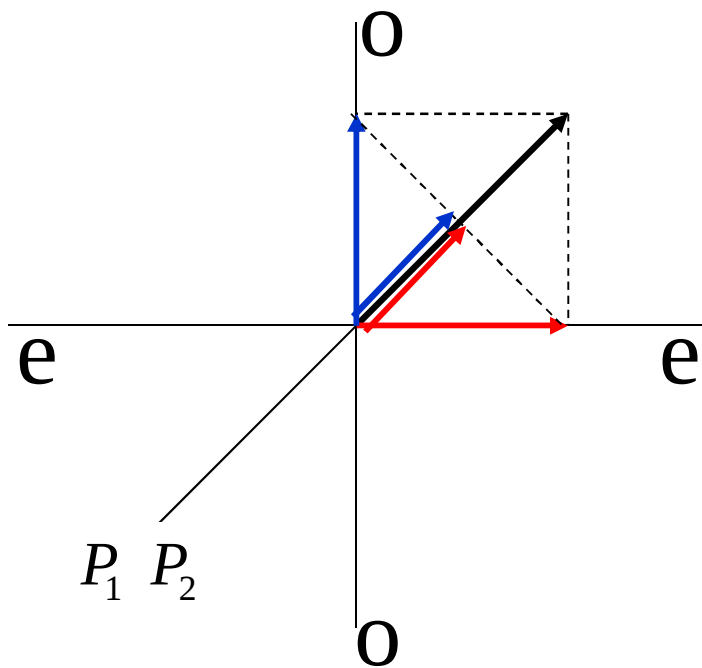
$$\begin{aligned}I &= A_1^2 (\cos^2 \alpha \cos^2 \beta + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \\ &\quad + 2 \cos \alpha \cos \beta \sin \alpha \sin \beta \cos \Delta\varphi) \\ &= \frac{A_1^2}{2} (1 - \cos \Delta\varphi_c) = \frac{I_0}{2} \sin^2 \frac{\Delta\varphi_c}{2}\end{aligned}$$

6.3.1 偏振光干涉的基本原理

在偏振片之间放置波片时的分析

两种特例

2. 偏振片相互**平行**，且与晶体光轴成45°角。



$$\Delta\varphi_1 = 0$$

$$\Delta\varphi_2 = 0$$

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_c$$

$$\alpha = \beta = \frac{\pi}{4}$$

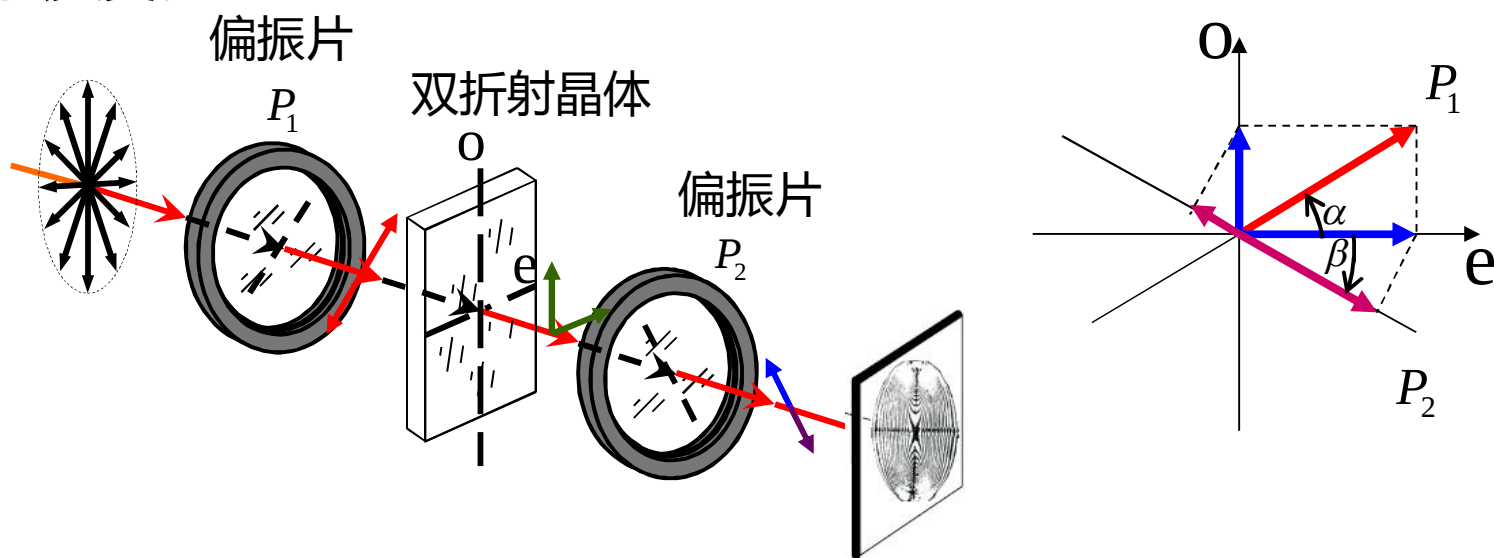
$$\begin{aligned} I &= A_1^2 (\cos^2 \alpha \cos^2 \beta + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \\ &\quad + 2 \cos \alpha \cos \beta \sin \alpha \sin \beta \cos \Delta\varphi) \\ &= \frac{A_1^2}{2} (1 + \cos \Delta\varphi_c) = \frac{I_0}{2} \cos^2 \frac{\Delta\varphi_c}{2} \end{aligned}$$

6.3.2 偏振光干涉的现象

(1) 厚度均匀的晶体

单色光入射

转动晶体或偏振片 P_1 、 P_2 ，振幅改变，光强改变；若引起 π 的相位差，屏上光强突变。



转动各个元件，光强逐渐改变，相位差突变会引起光强突变。

$$I = A_1^2 (\cos^2 \alpha \cos^2 \beta + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta + 2 \cos \alpha \cos \beta \sin \alpha \sin \beta \cos \Delta \varphi)$$

6.3.2 偏振光干涉的现象

(1) 厚度均匀的晶体

白光入射—显色偏振

不同波长的光，相位差不同，因而光强也不同，屏上呈现彩色，转动晶体或偏振片 P_1 、 P_2 ，光强改变，色彩改变。

$$(a) \quad \Delta\varphi_c = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d = 2k\pi \quad \text{时}$$

$$P_1 \perp P_2 \quad I_2 = 0 \quad \lambda_1 \text{的互补色}$$

$$P_1 \parallel P_2 \quad I_2 = A_1^2 \quad \lambda_1 \text{的颜色}$$

$$(b) \quad \Delta\varphi_c = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d = (2k+1)\pi \quad \text{时}$$

$$P_1 \perp P_2 \quad I_2 = A_1^2 \quad \lambda_2 \text{的互补色}$$

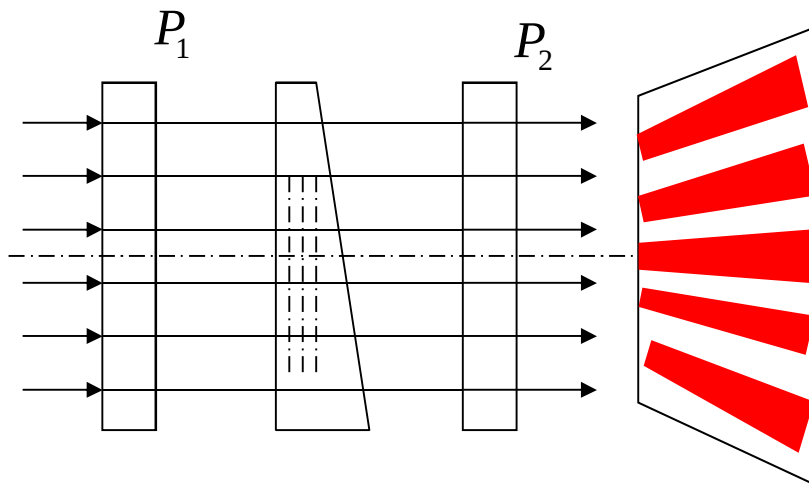
$$P_1 \parallel P_2 \quad I_2 = 0 \quad \lambda_2 \text{的颜色}$$

6.3.2 偏振光干涉的现象

(2) 厚度不均匀的晶体

白光入射—显色偏振

经过不同厚度的光，相位差不同，屏上出现干涉条纹



白光入射，将出现彩色条纹

$P_1 \perp P_2$ 且与光轴成 45° 角

$$I = \frac{I_0}{2} \sin^2 \frac{\Delta\varphi_c}{2}$$

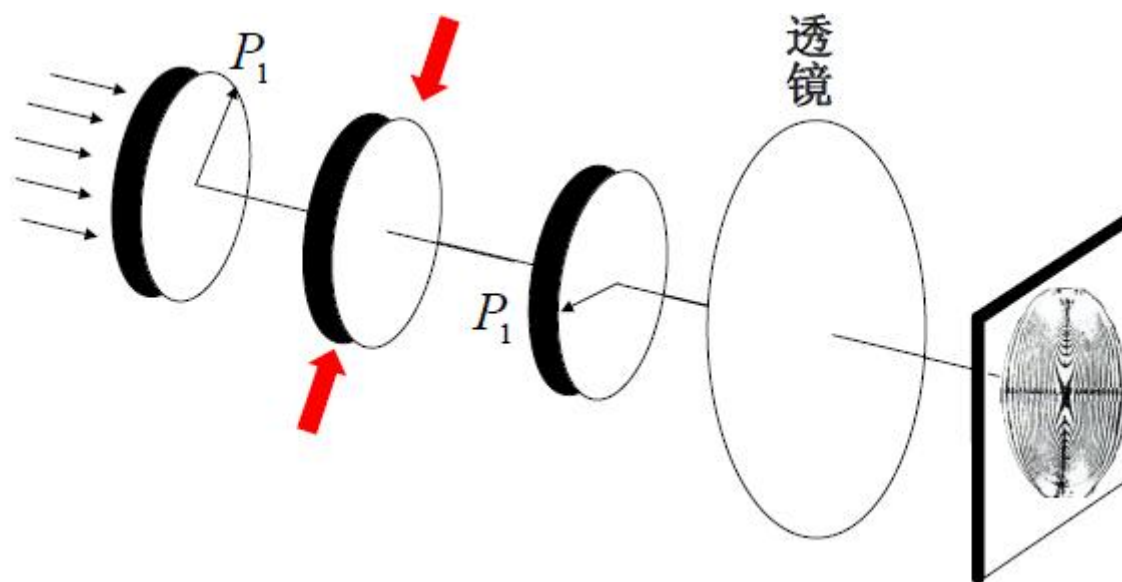
$$\Delta\varphi_c = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d = \begin{cases} 2k\pi & \text{暗纹} \\ (2k+1)\pi & \text{亮纹} \end{cases}$$

6.3.3 偏振光干涉的应用

显色偏振的演示实验

6.3.3 偏振光干涉的应用

光测弹性



- 无应力时，A 为各向同性透明介质，自然光经过 P_1, P_2 后，照度均匀。
- 加应力后，有应力处排列出现各向异性，实验发现：

$$n_o - n_e = KP(\text{压强 (应力)})$$

$$\delta_{\text{内}} = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d = \frac{2\pi}{\lambda} KPd \quad P = P(x, y)$$

6.3.3 偏振光干涉的应用

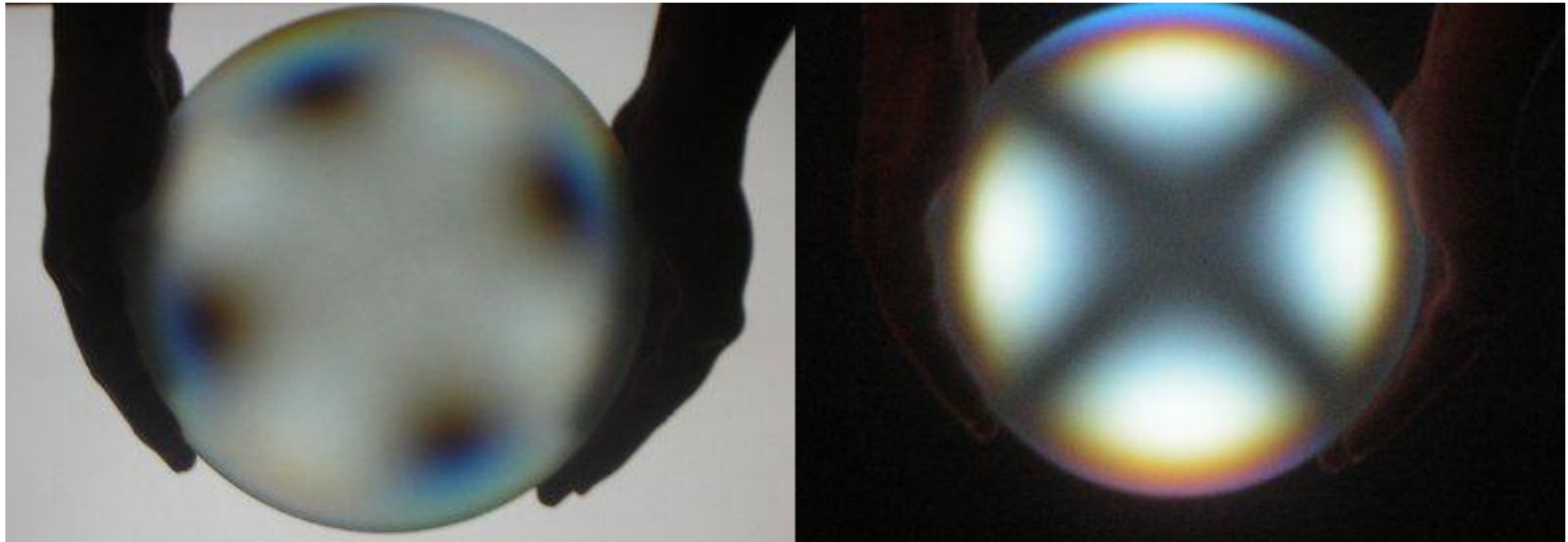
光测弹性

- 一些各向同性的透光介质，例如玻璃、塑料，当内部有应力时，就是各向异性的，也会产生双折射效应
- 利用偏振光的干涉装置，可以观察到干涉条纹或者显色偏振现象。
- 可以用作应力分析。
- 可以用塑料制成金属部件的形状，则可用于分析金属部件内部的应力。



6.3.3 偏振光干涉的应用

光测弹性



Visualisation of Strain in a glass blank (here a 200mm f/2.5 telescope mirror) using a Polarizer in front of a LCD monitor.

6.3.3 偏振光干涉的应用

光测弹性

有机玻璃由于应力的显色偏振



6.3.3 偏振光干涉的应用

光测弹性

应用

- 玻璃退火是否均匀

可用于检测透镜的品质

- 检查建筑、桥梁的结构中的应力分布

透明介质做成缩小的模拟构件，将其置于含有偏振片的光测弹性仪中，施加同倍率缩小的模拟外力，观测干涉条纹。

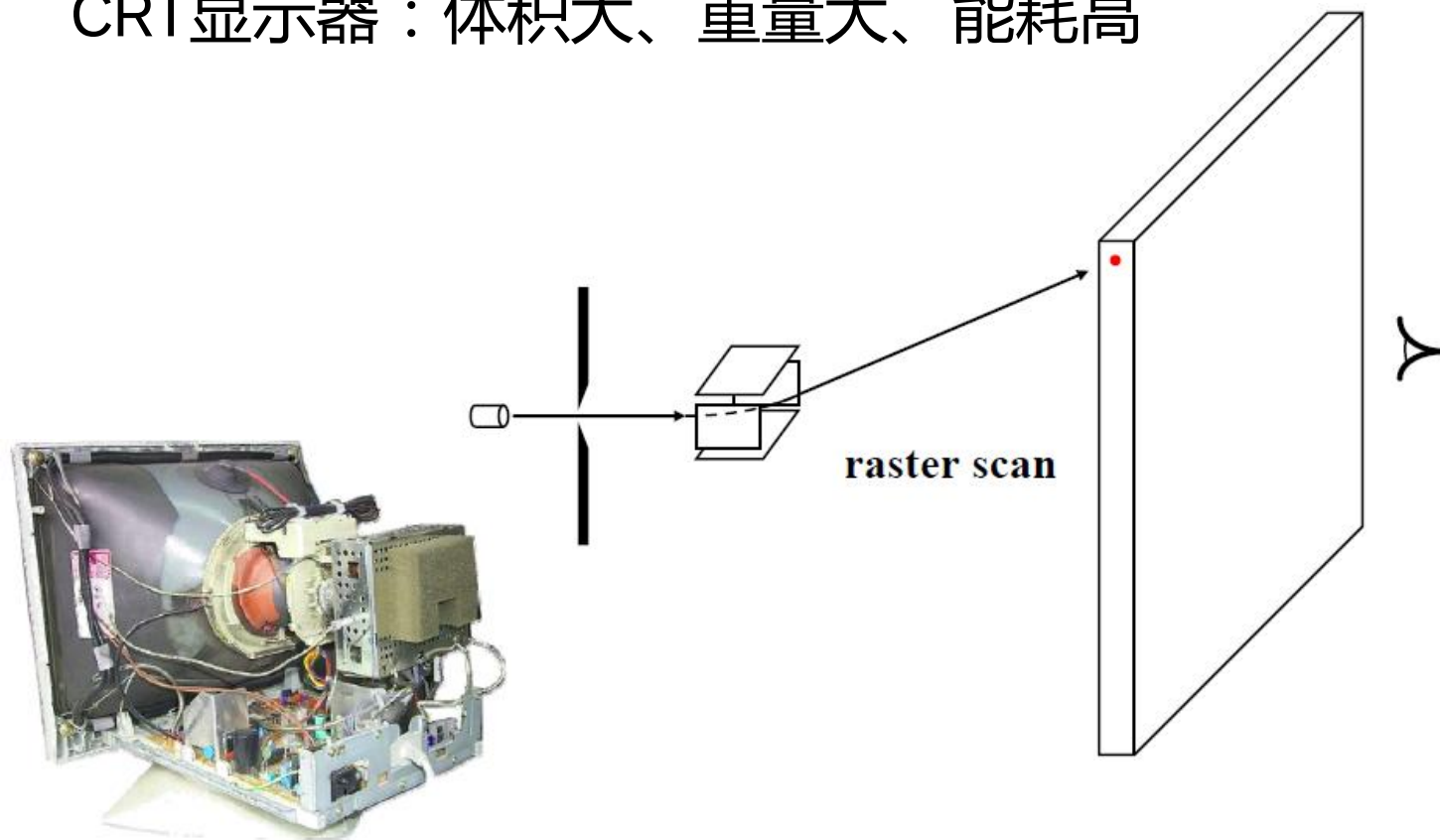
- 煤矿防塌

坑道壁上镶嵌玻璃镜子，镜子前放偏振片

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

CRT显示器：体积大、重量大、能耗高



6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

液晶

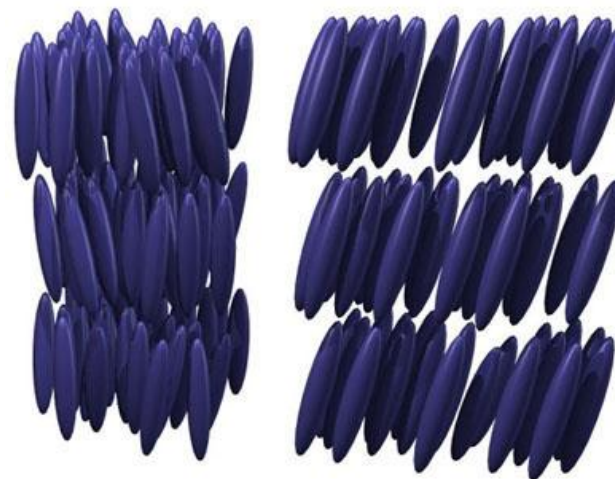
1. 最初由奥地利植物生理学家弗里德里希·莱尼泽（Friedrich Reinitzer , 1858-1927) 在1888年合成。
2. 具有两个熔点， 145.5°C （云雾状）、 178.5°C （清亮液体）。
3. 从成份和出现中介相的物理条件来看，液晶大体可分为热致液晶和溶致液晶两大类。
4. 液晶的相：分子序列可以在某一方向上有序排列，而在其他方向上仍然保持无序排列。液晶可能存在多种排列方式，称为液晶的“相”。
5. 液晶的相可分为：向列相（nematic）、近晶相（smectic）、胆甾相（cholesteric）、碟型（discotic）等。

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器



向列相 nematic phase



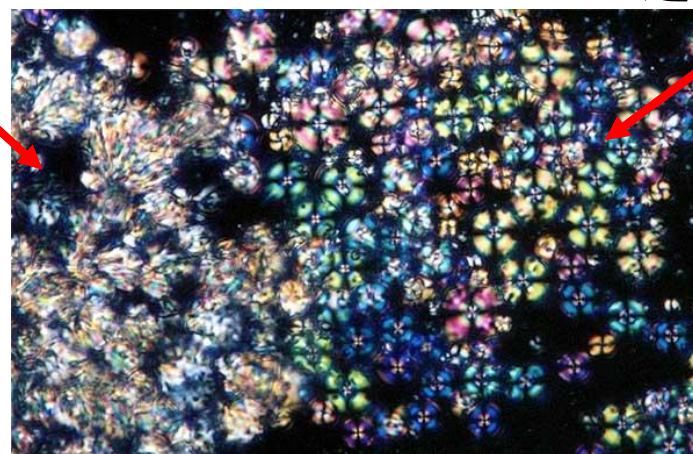
近晶相 smectic A 近晶相 smectic C



胆甾相 cholesteric

向列相

近晶相A



向列相转变为近晶相A的过程

6.3.3 偏振光干涉的应用

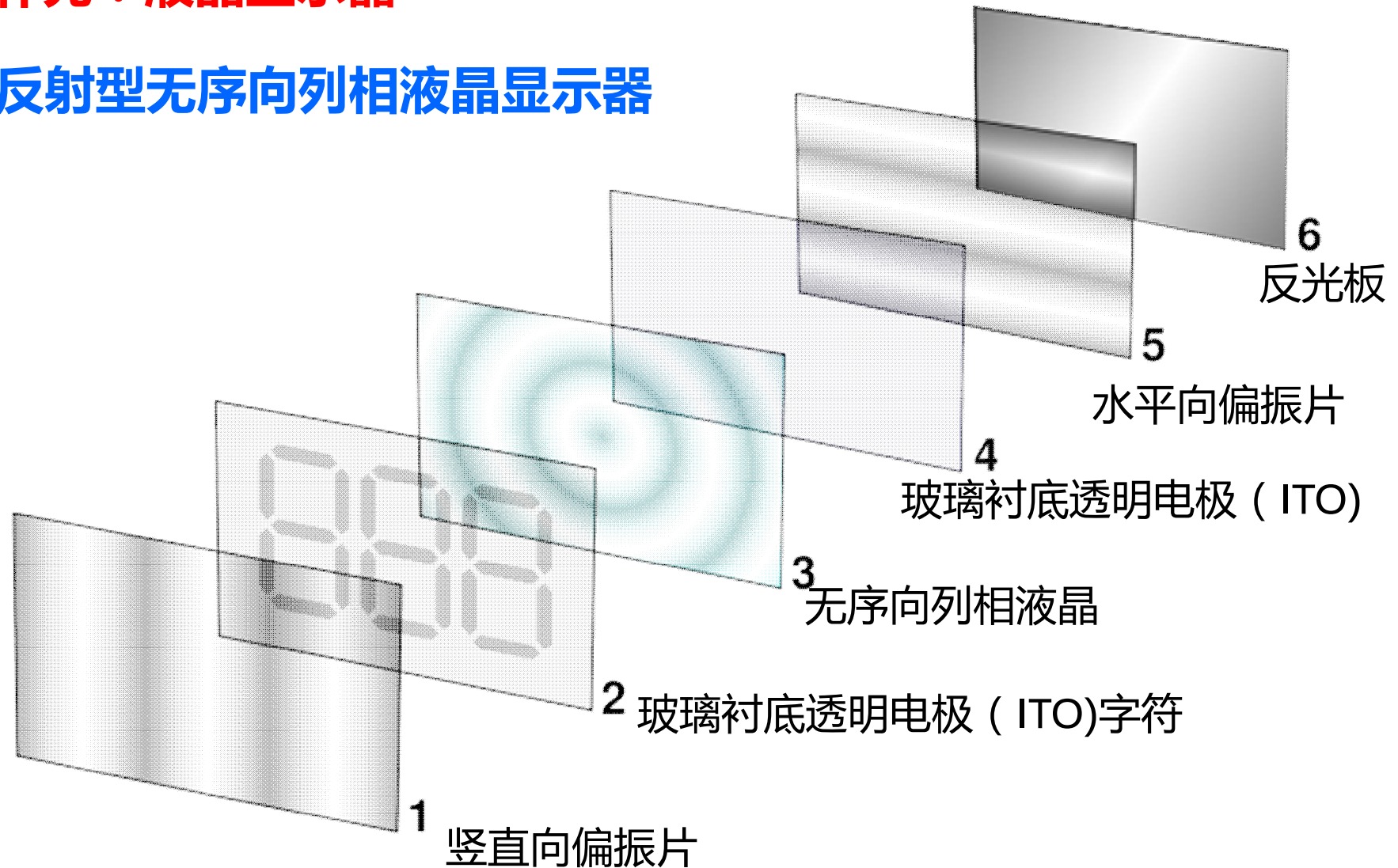
补充：液晶显示器

- 液晶分子无序排列时，例如，无序向列相液晶，可以改变光的偏振态，可以使线偏光振动面旋转
- 当液晶分子有序排列时，对光的偏振态影响程度减小
- 液晶分子可以沿着电场方向有序排列
- 因而通过控制施加在液晶上的电场可以改变其光学性质
- 用作平面显示器

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

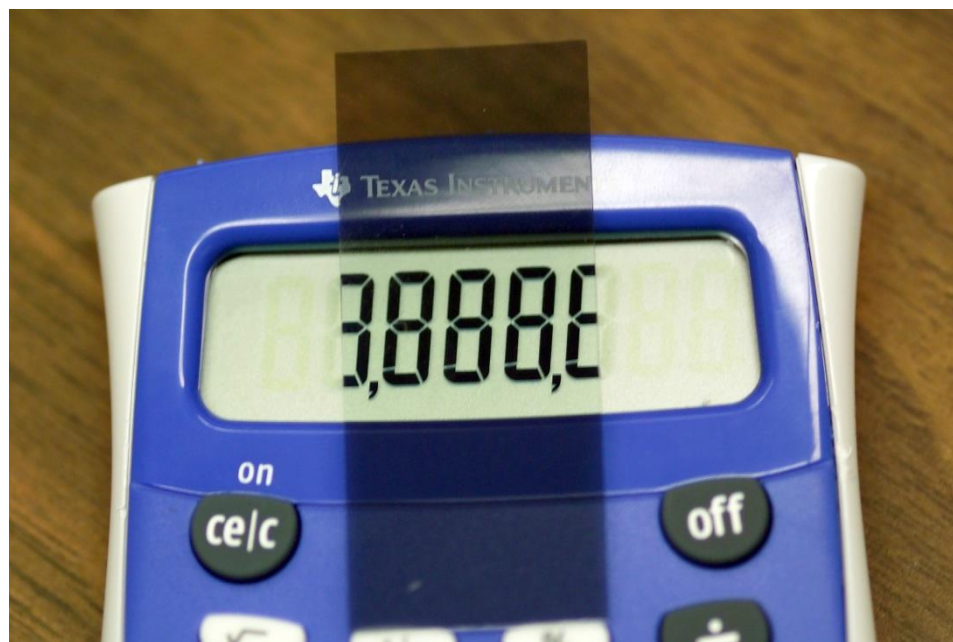
反射型无序向列相液晶显示器



6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

将液晶表面的偏振片取出



与底层偏振片正交



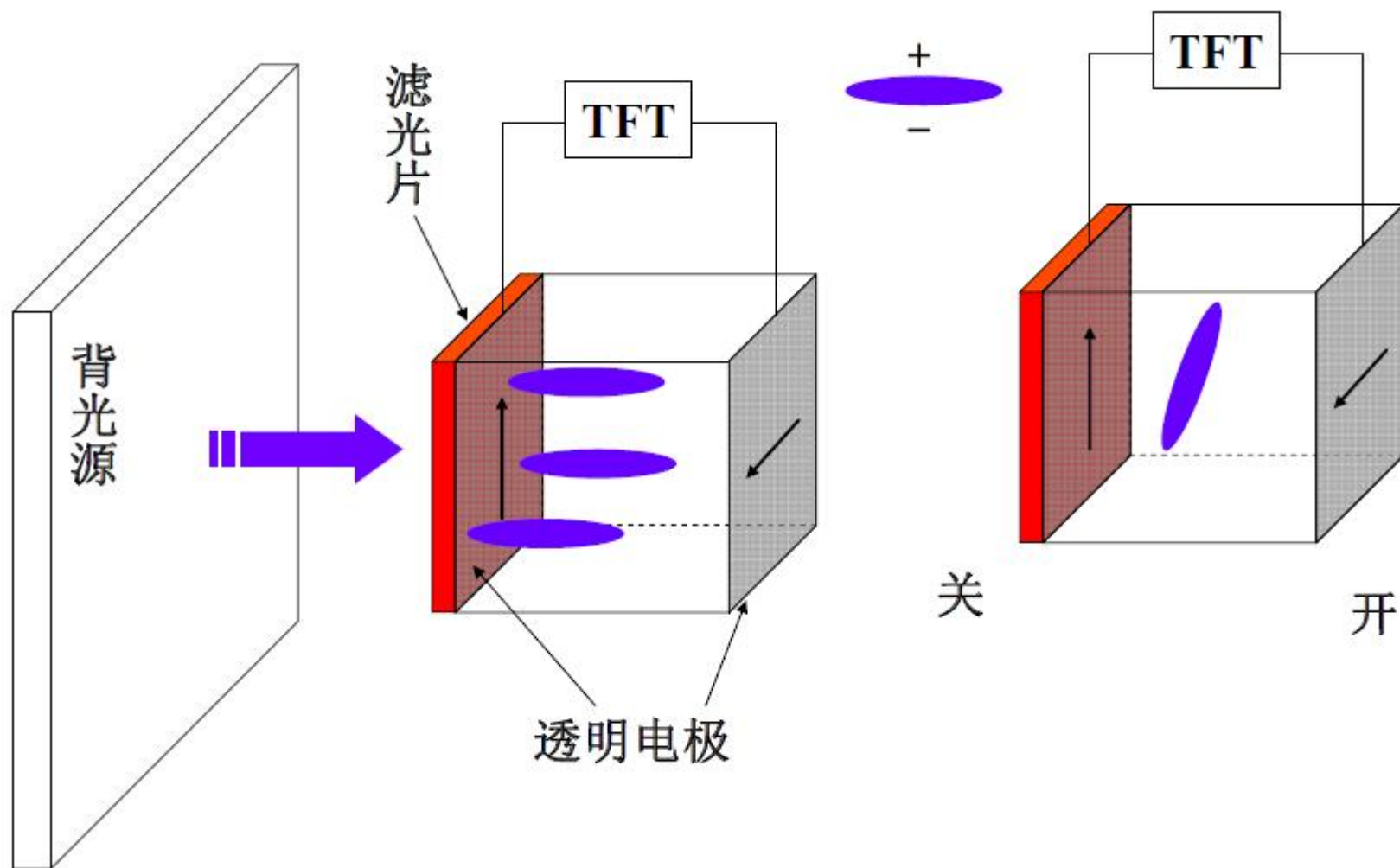
与底层偏振片平行

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

液晶的工作原理

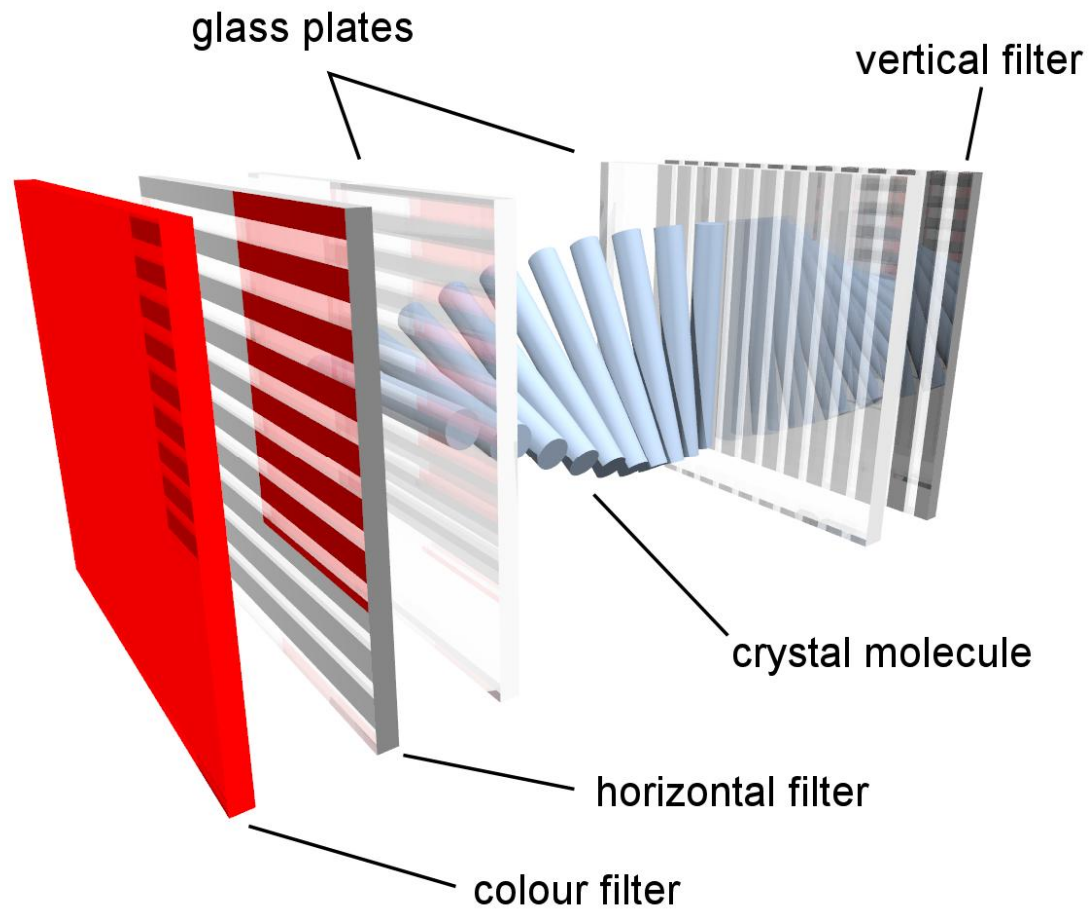
TFT薄膜场效应晶体管 (Thin Film Transistor)



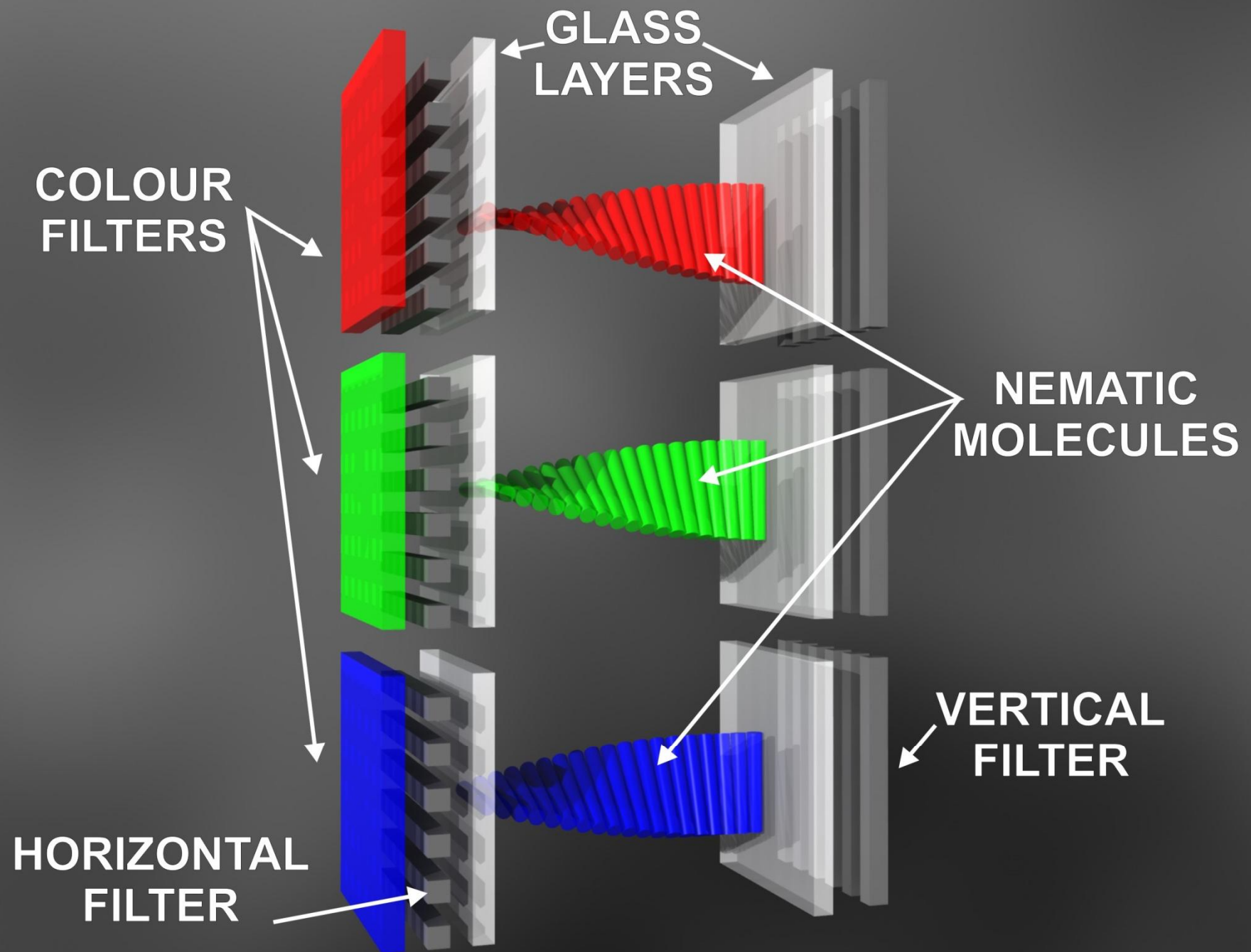
6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

透射式彩色液晶显示器



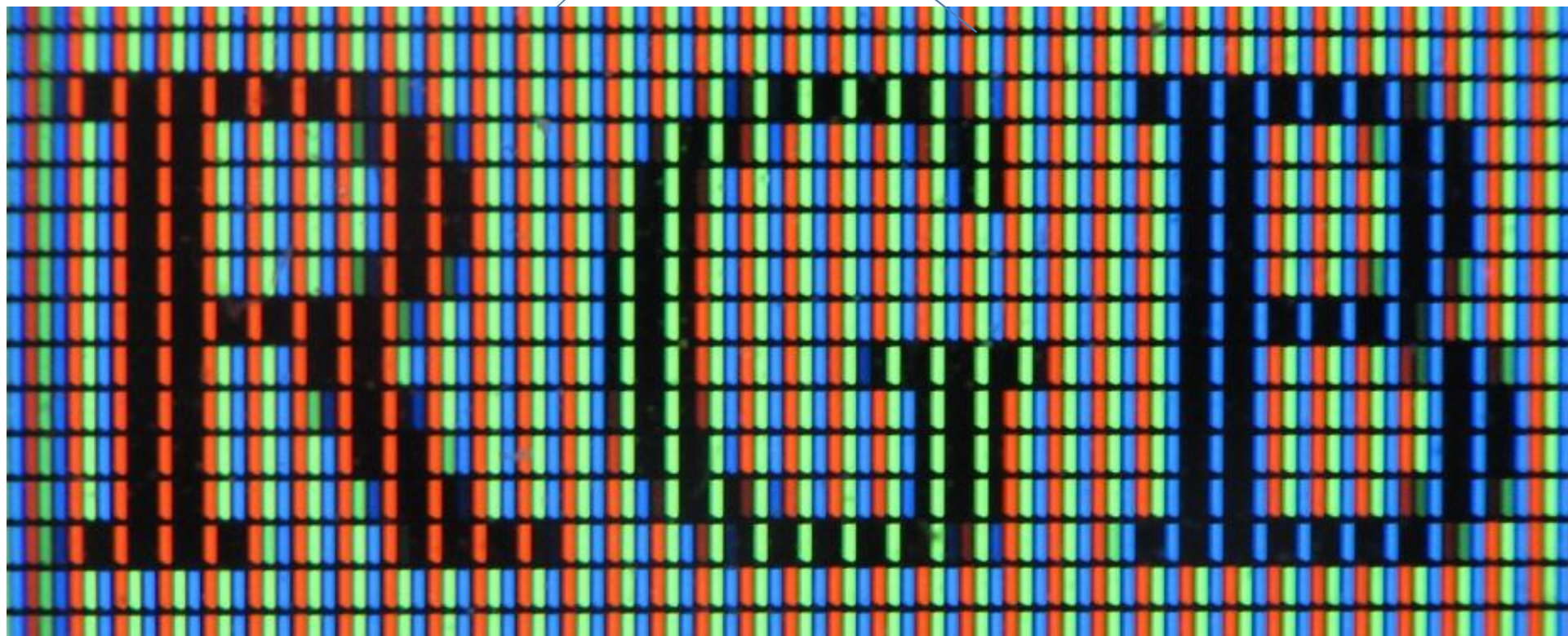
一个单色显示单元



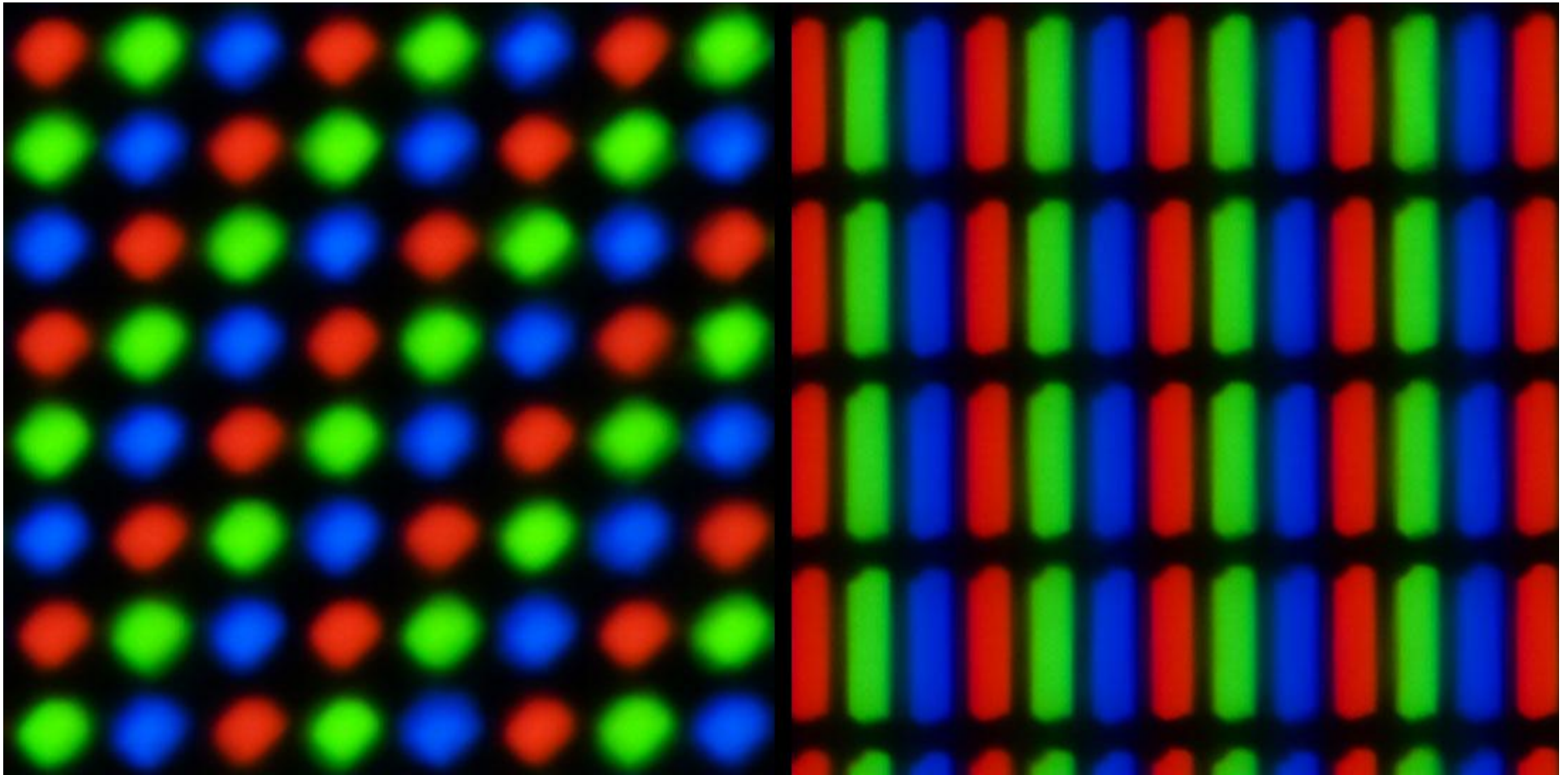
6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

RGB



6.3.3 偏振光干涉的应用



OLPC XO-1 显示器 (left) 与典型 LCD显示器比较. 1×1 mm内像素
LCD addresses groups of 3 locations as pixels.
The XO-1 display addresses each location as a separate pixel.

6.3.3 偏振光干涉的应用

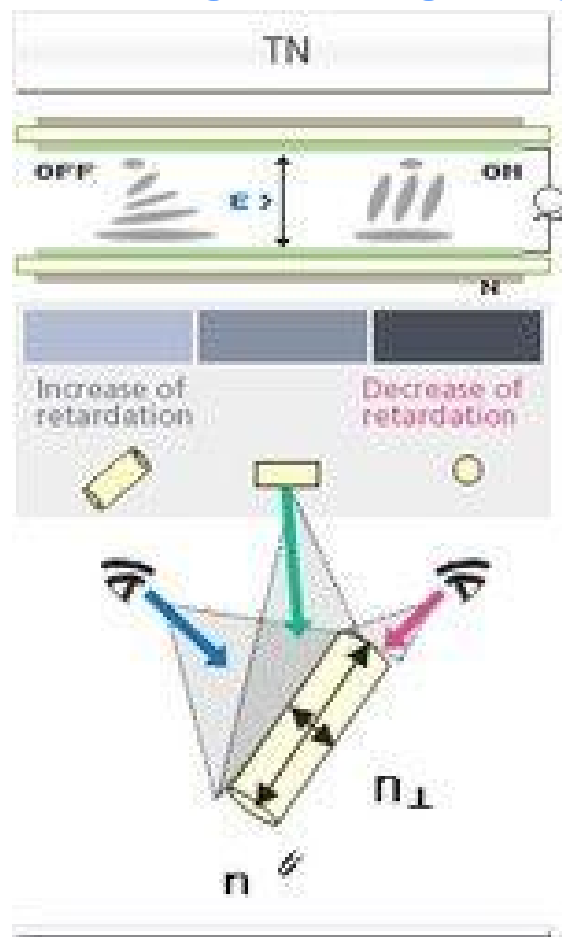
补充：液晶显示器

一个演示实验

6.3.3 偏振光干涉的应用

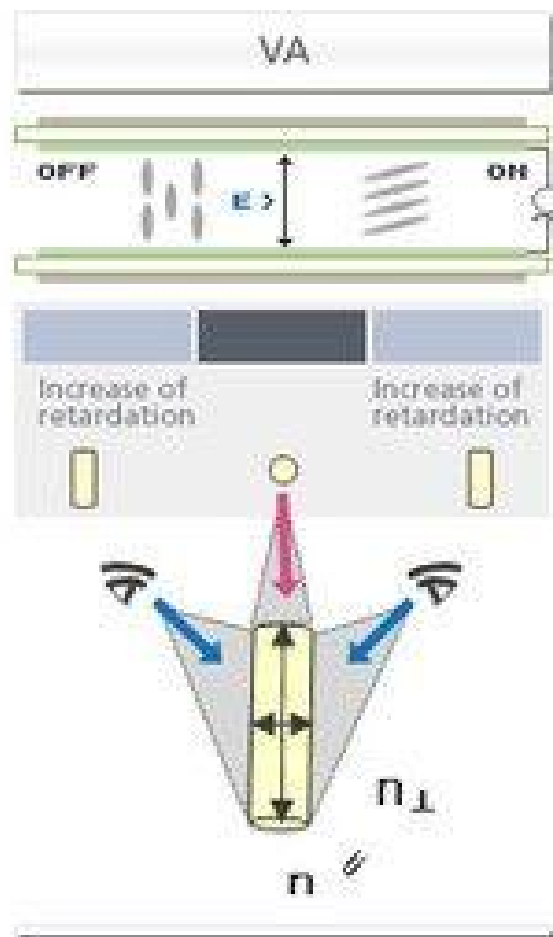
补充：液晶显示器

TN vs. VA vs. IPS



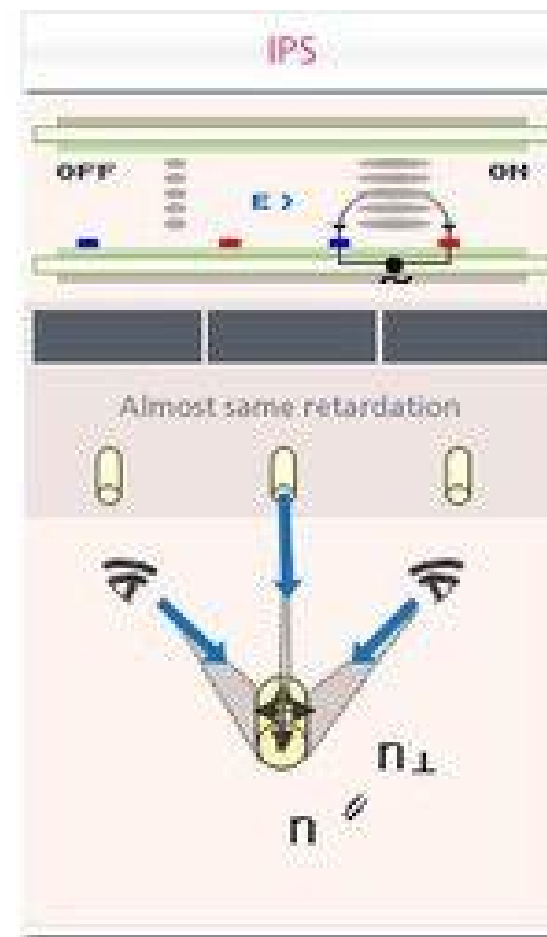
TN

(Twisted Nematic, 扭曲向列型)



VA

(Vertical Alignment, 垂直配向)



IPS

(In-Plane Switching, 平面转换)

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

TN vs. VA vs. IPS—可视角度对比



左侧为广视角屏右侧
为TN屏（45°视角）

左侧为广视角屏右侧
为TN屏（下偏20°）

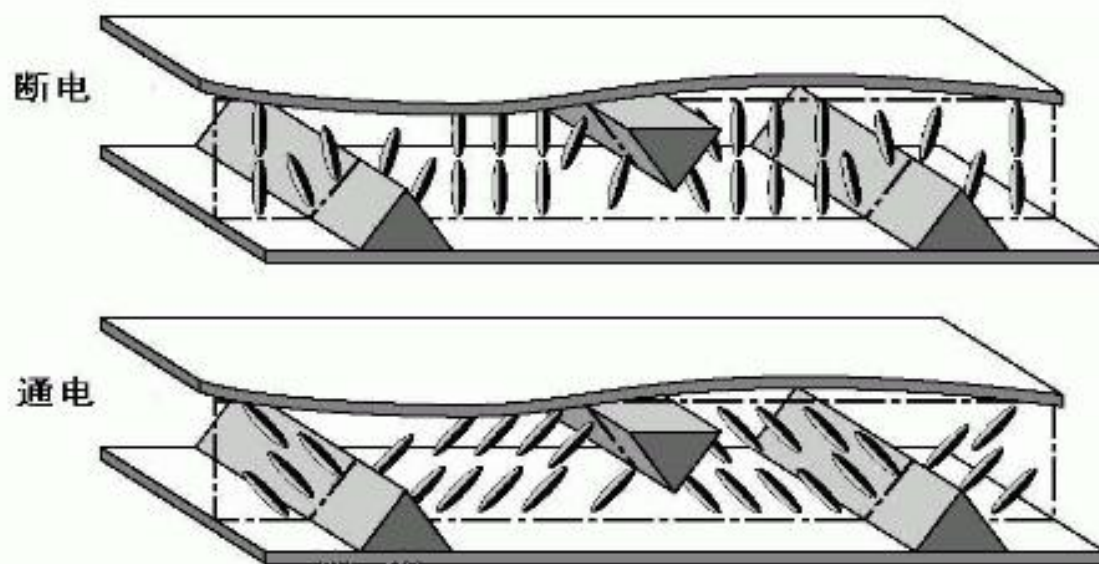
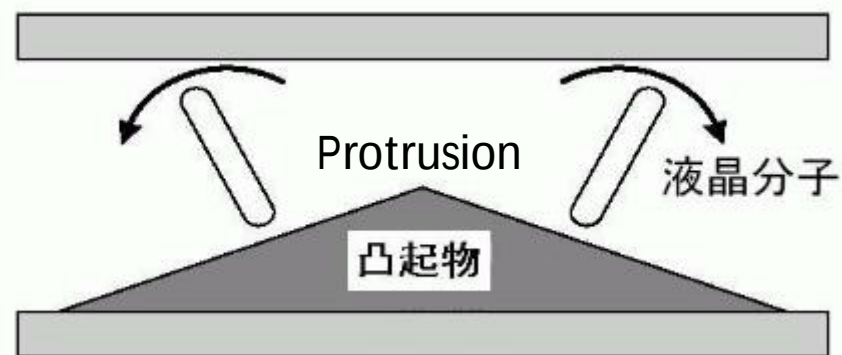


6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

MVA原理

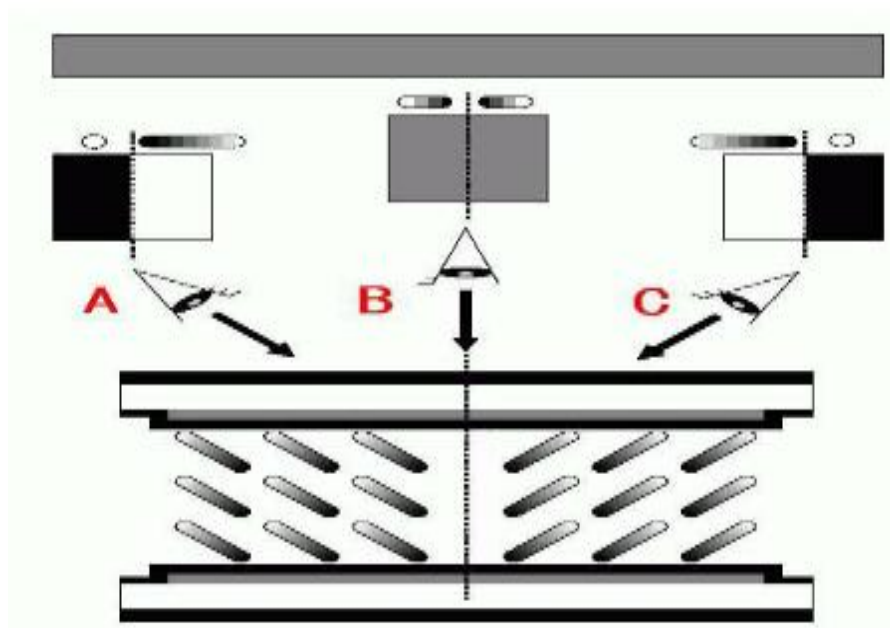
脊状物会引起液晶分子倾斜，此时光线无法穿过。当加电后，由于分子间的牵引力作用，凸起物附近的液晶分子迅速带动其他分子转动到垂直于凸起物的表面状态，从而实现提高屏幕透射率、调制光线的目的。



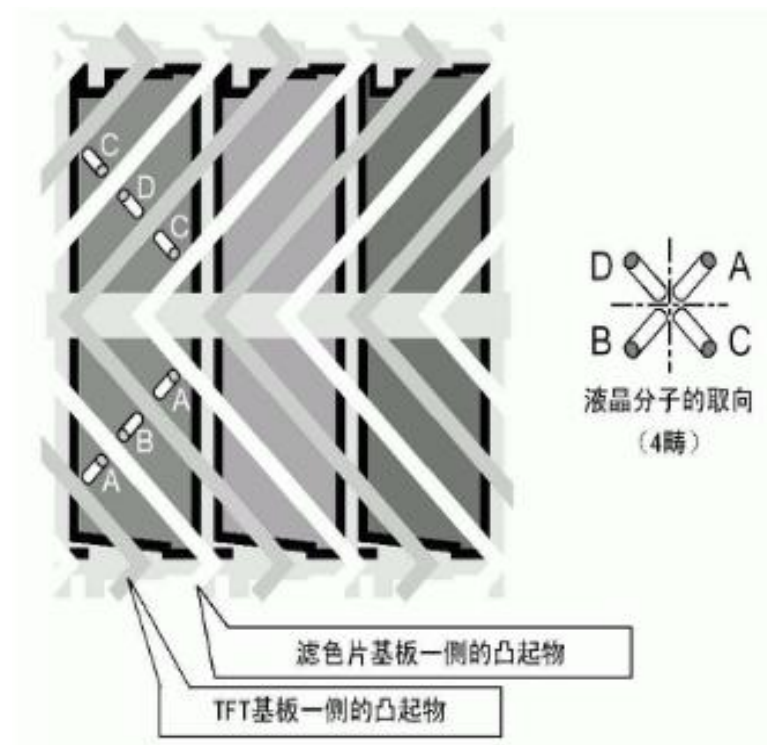
6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

MVA原理



屏幕中间显示的是中灰阶，从两侧看显示的是高灰阶和低灰阶，高灰阶和低灰阶混合后正好是中灰阶。



四畴模式液晶在受电后，A、B、C、D各畴的液晶分子分别朝四向转动，因而可以补偿各方视角。

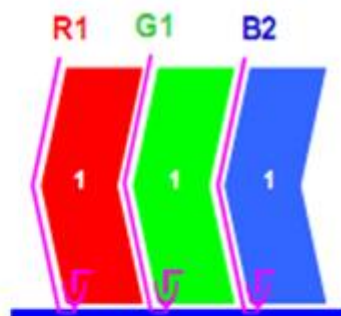
6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

VA vs. IPS

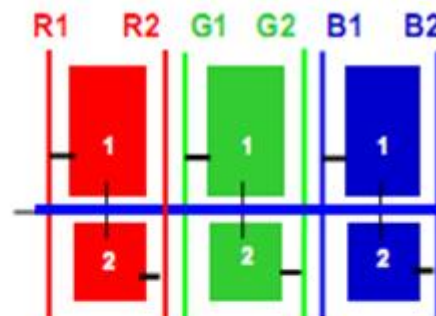
像素结构

IPS mode



of data line : 5,760 (1,920xRGB)

VA mode



of data line : 11,520 (1,920xRGBx2)

材料

材料	Cu
电阻系数 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	1.7
厚度 ($\text{\AA}$)	2,000

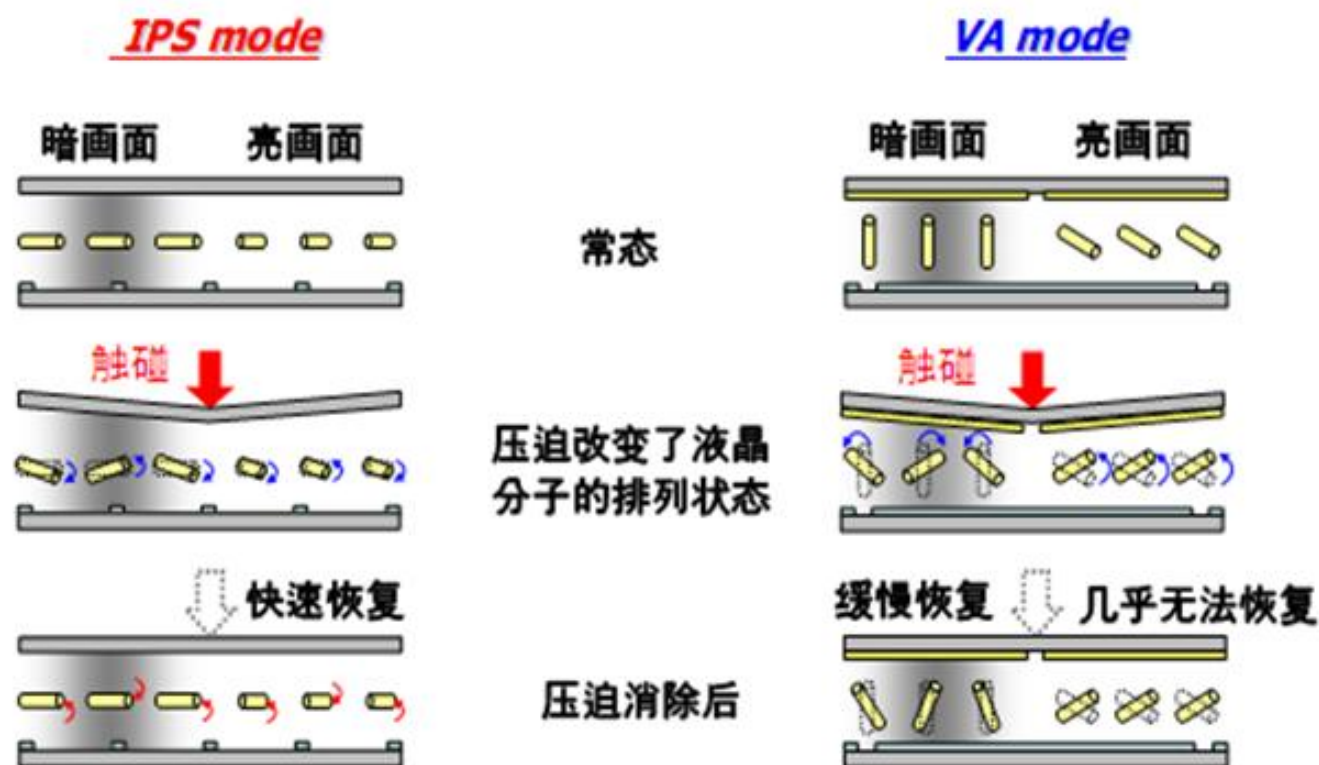
材料	Mo/Al/Mo
电阻系数 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	2.8
厚度 ($\text{\AA}$)	3,200

IPS简单的像素构造，低电阻的材料(Cu)应用，
造就了逼真,清晰的动态画面

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

VA vs. IPS



IPS 相对VA具有大约10倍的恢复能量

* polar anchoring energy : IPS ~ order of 10^{-4}J/m^2 , VA ~ order of 10^{-5}J/m^2

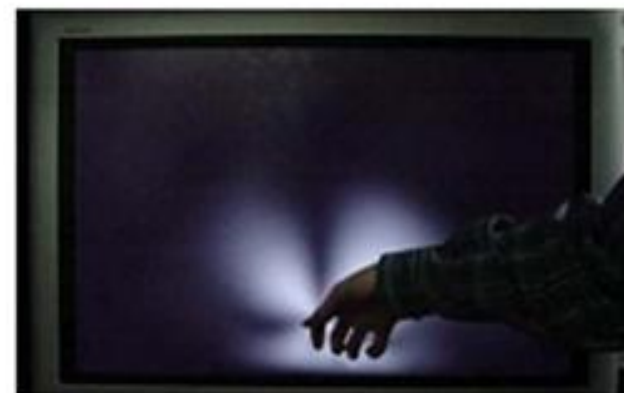
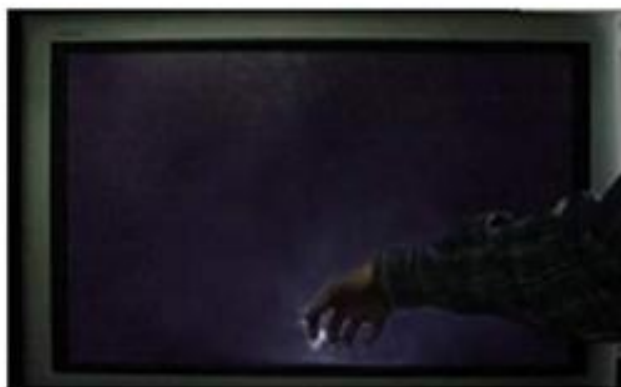
6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

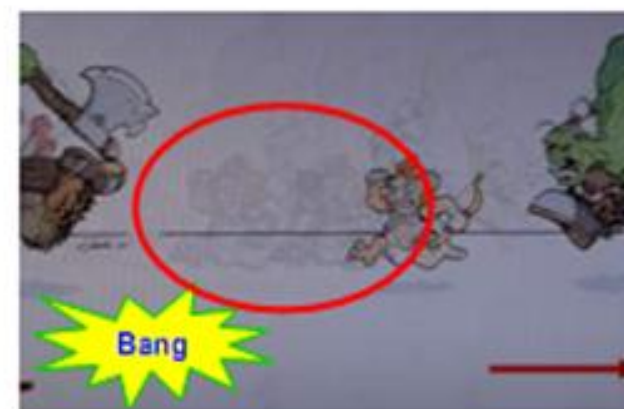
IPS mode

VA mode

暗画面



亮画面

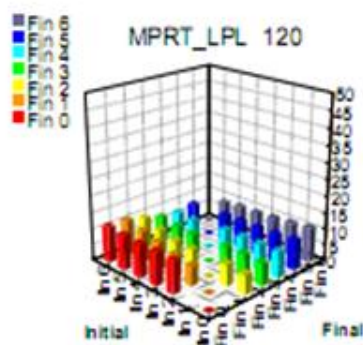
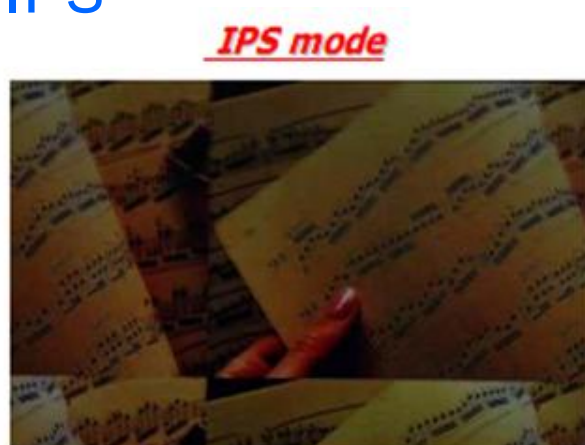


VA在暗画面下出现闪烁的斑纹，在亮画面下运动图像出现残影

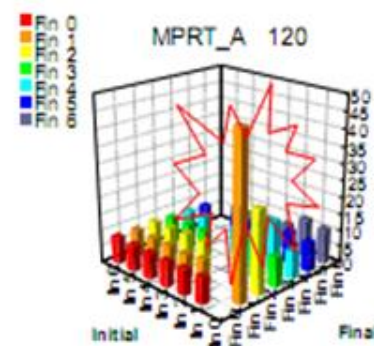
6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

VA vs. IPS



	MPRT (ms)
Ave.	8.44
Max.	11.12
Min.	5.93



	MPRT (ms)
Ave.	10.30
Max.	48.67
Min.	7.22

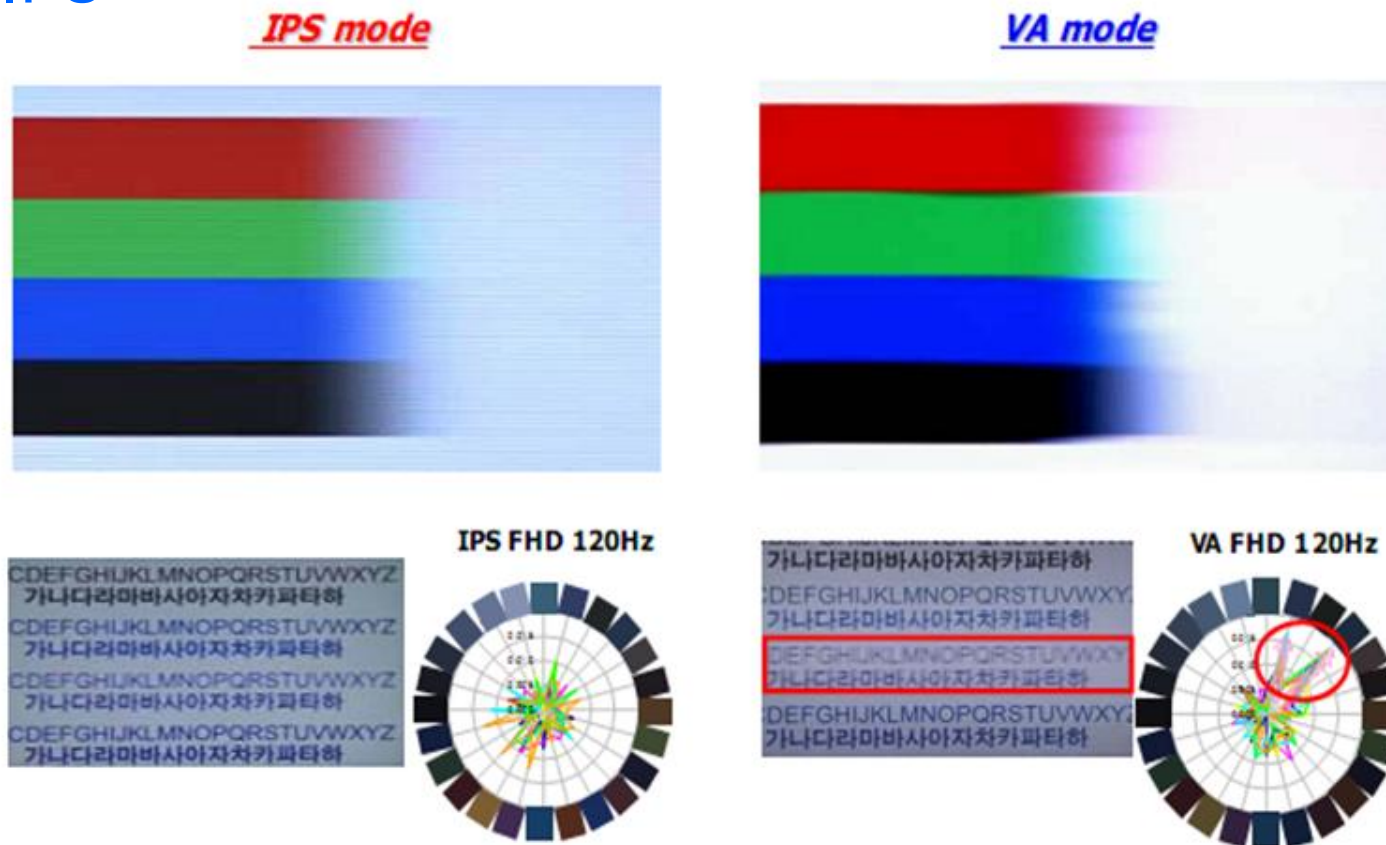
IPS具有更快的动态画面响应时间(MPRT)

MPRT：Moving Picture Response Time（动态画面响应时间）

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

VA vs. IPS



IPS在动态画面下，颜色偏移少(MPCS)

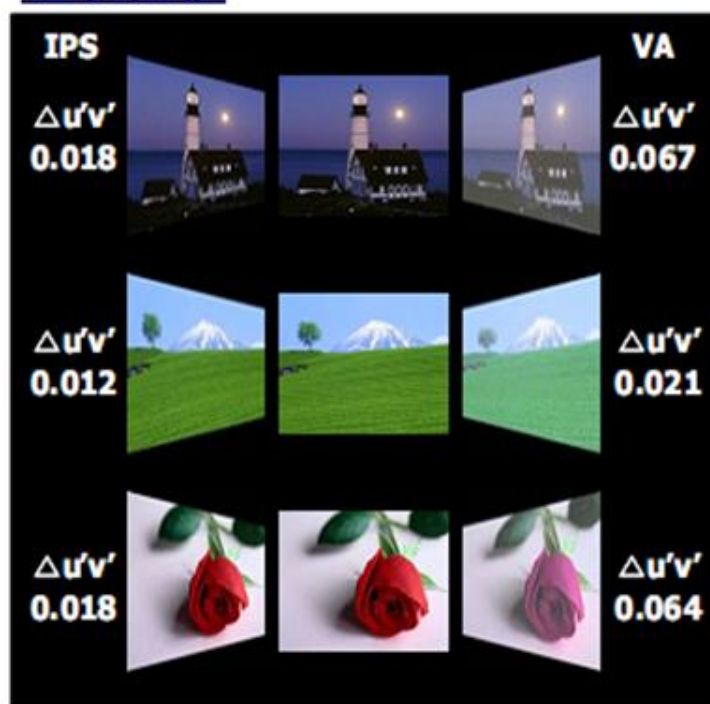
MPCS : Moving Picture Color Shift(动态画面颜色偏移)

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

VA vs. IPS

色彩偏移



Gamma偏移



@ 60°	IPS	VA
Color shift ¹⁾ ($\Delta u'v'$)	0.018	0.037
GSR ²⁾ (%)	0.78	43.5

1) Average of 24-color patches of Macbeth color checker

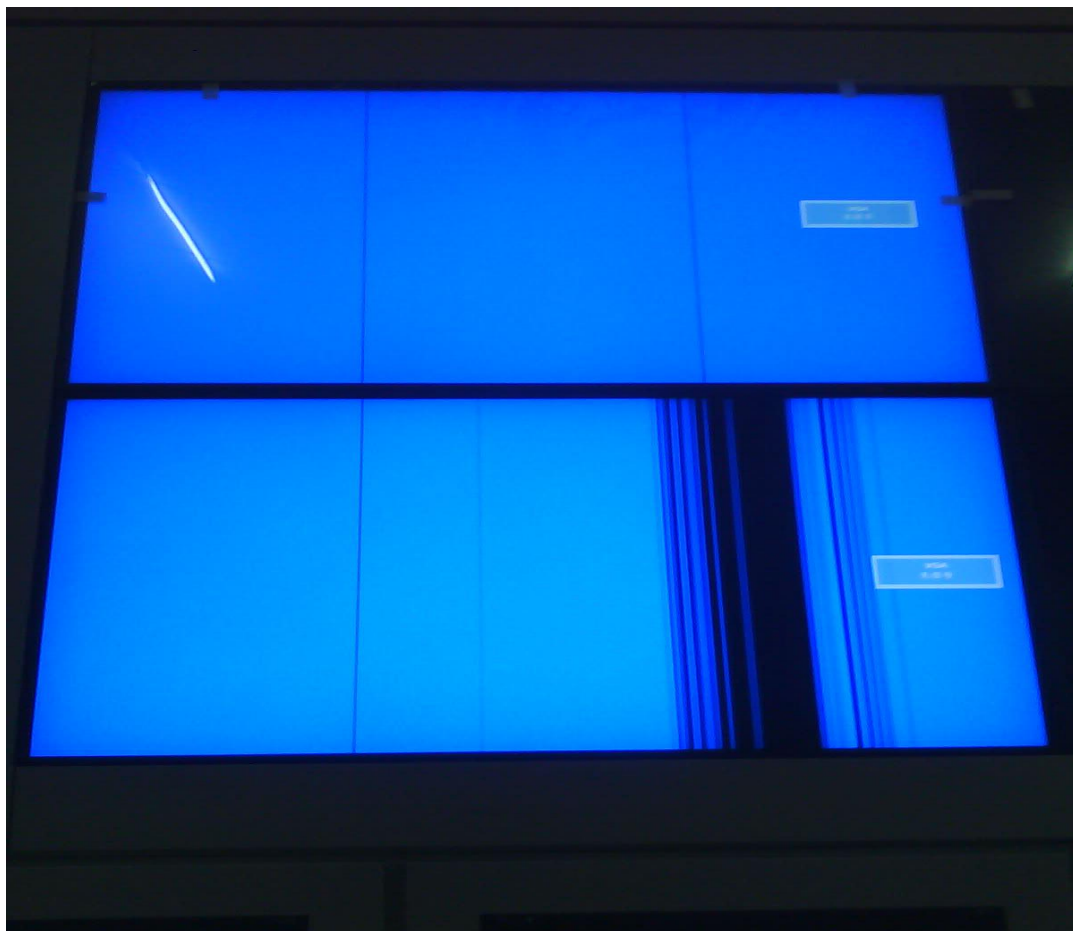
2) Gamma Shift Ratio : $(|60^\circ \gamma - 0^\circ \gamma| / 0^\circ \gamma) \times 100$

IPS没有色彩畸变的现象，具有更少的色彩偏移(颜色改变)，和更少的伽马偏移(亮度改变)。

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

VA vs. IPS



软屏更易受运输振动的影响



按压VA屏幕会出现梅花印
(TN则是水波纹)

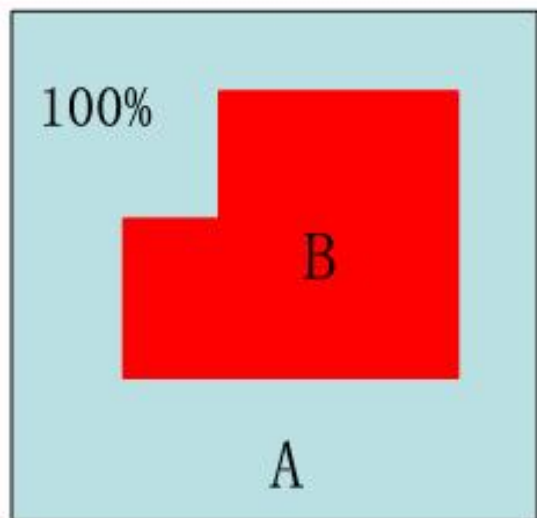
6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：液晶显示器

TFT-LCD的穿透率

TFT-LCD的光学穿透率不佳

开口率：液晶分子中光线能透过的有效区域与全部区域的比值。



$$\text{开口率} = (B/A) * 100\%$$

光学穿透率不佳的原因：

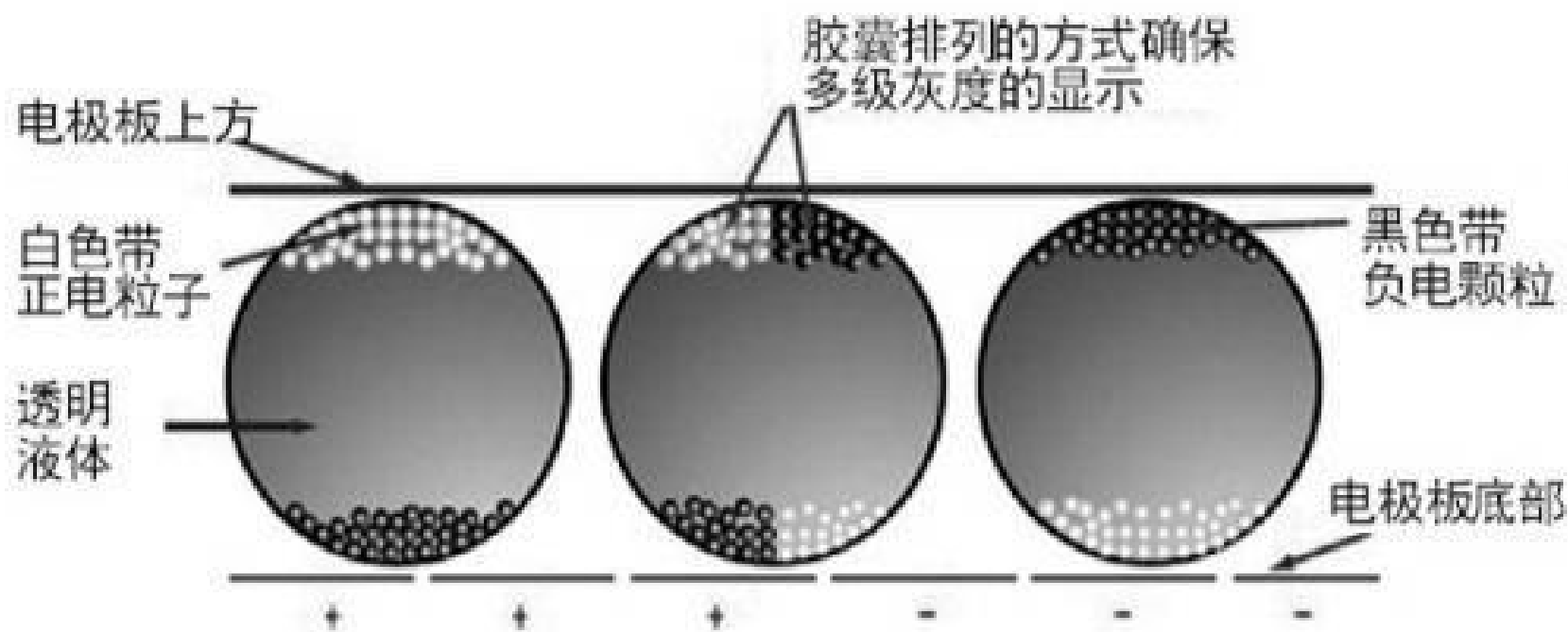
1. TFT的开口率：60%
2. CF（滤色板）的滤光效率：<1/3
3. 偏光板的极化效率（含吸收）：40%

三项相乘约为8%

设计中尽量提高开口率 -> 节约能源

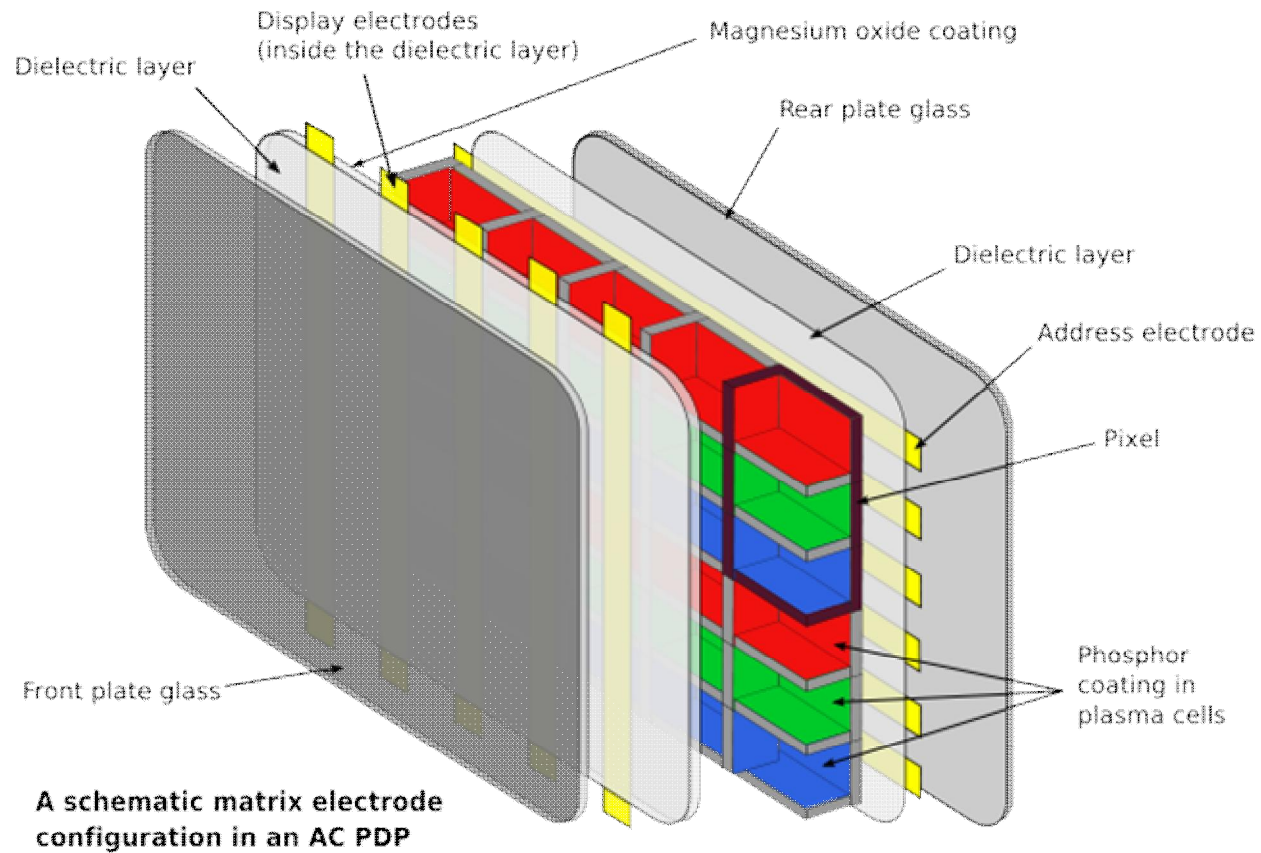
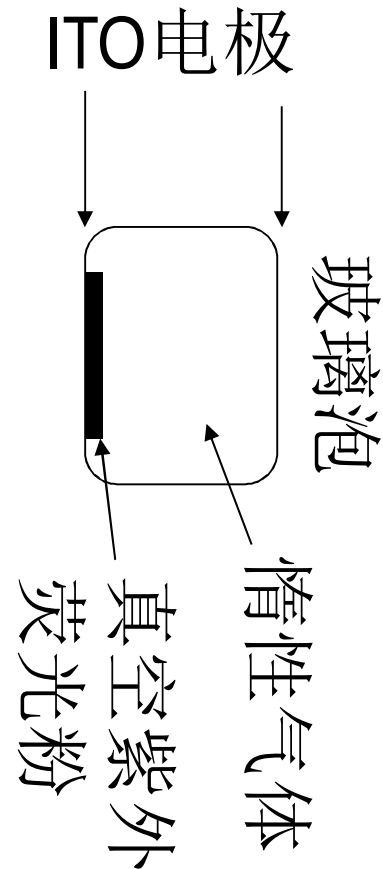
6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：E-ink显示



6.3.3 偏振光干涉的应用

等离子显示器



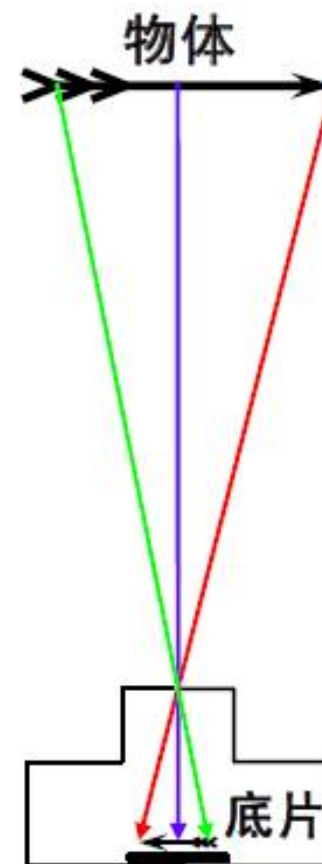
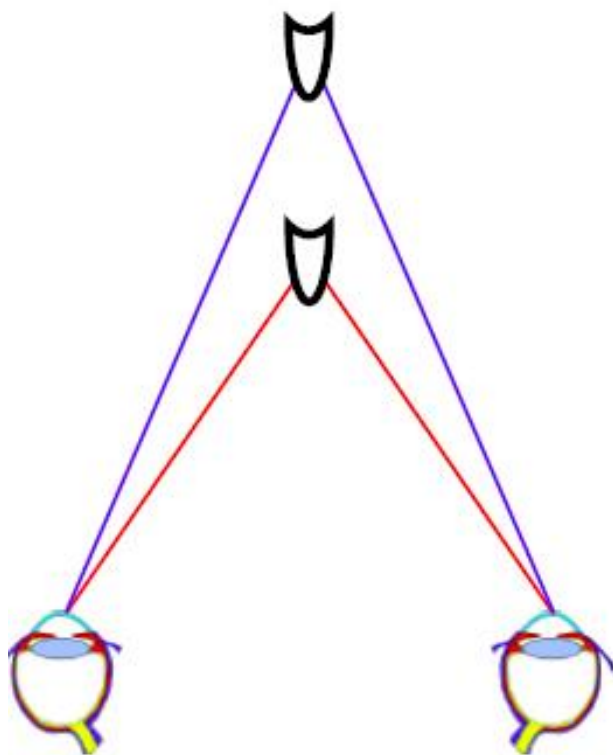
plasma display panel (PDP)

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

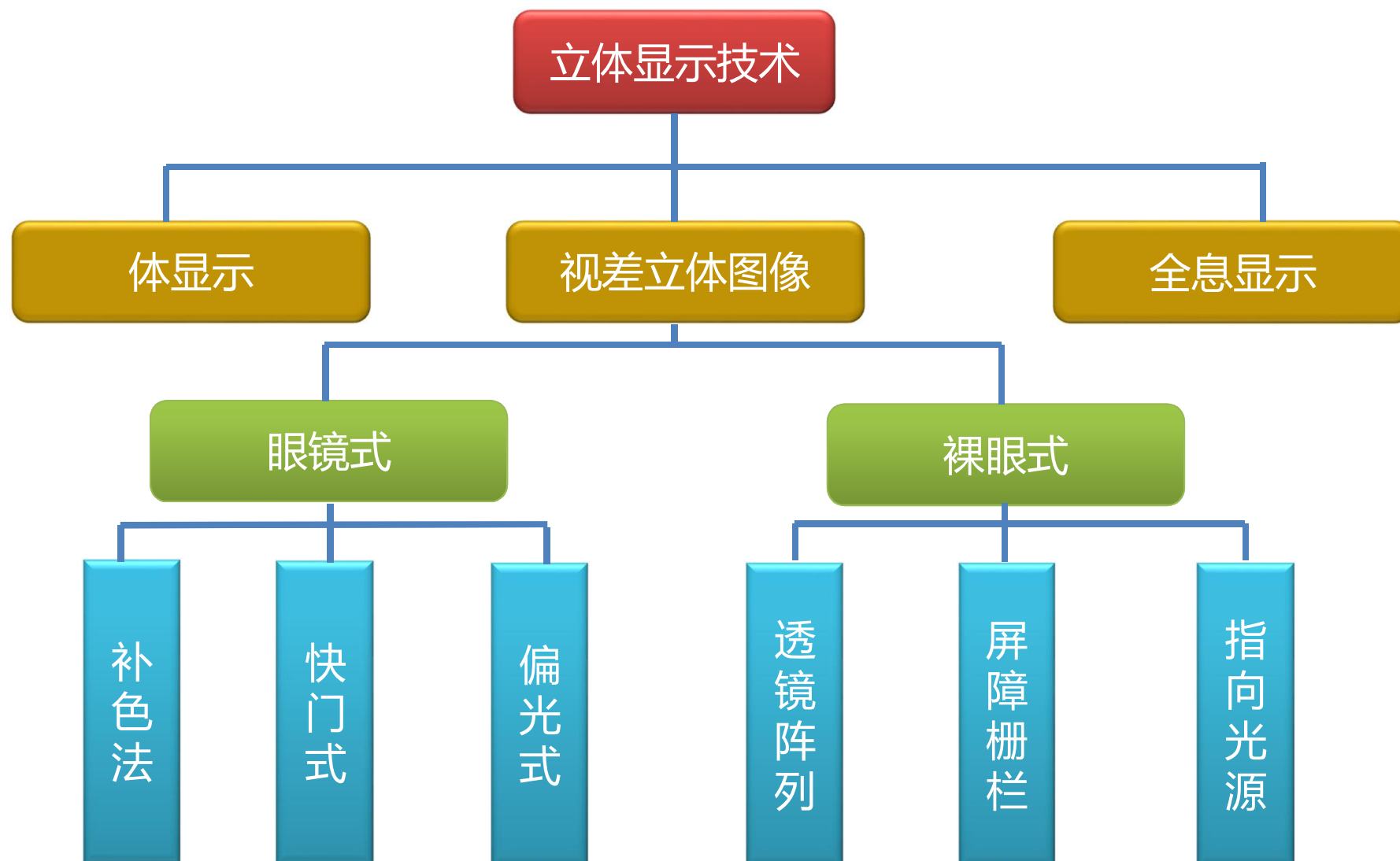
立体视觉的形成机理

双眼观察时，物在两眼眼中各自成像。不同距离的物在两眼视网膜上成像的位置和夹角不同——也即视差，该视差经过大脑处理，用来分辨物体的远近。一般拍摄、显示没有视差，失去立体视觉。



6.3.3 偏振光干涉的应用

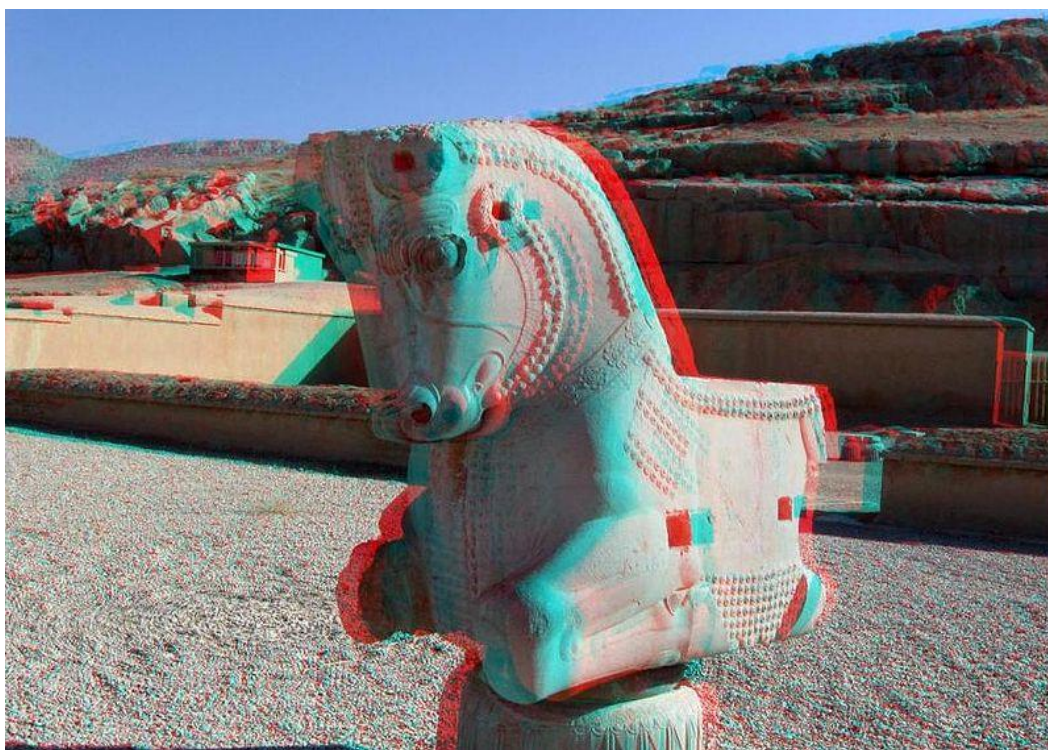
补充：立体视觉与立体显示



6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

红蓝、红绿补色视差立体显示



[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Persepolis_\(By_Abdolazim_Hasseli\).jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Persepolis_(By_Abdolazim_Hasseli).jpg)

1852年，由德国Wilhelm Rollmann首次创作成功。



色轮的相对位置即为互补色

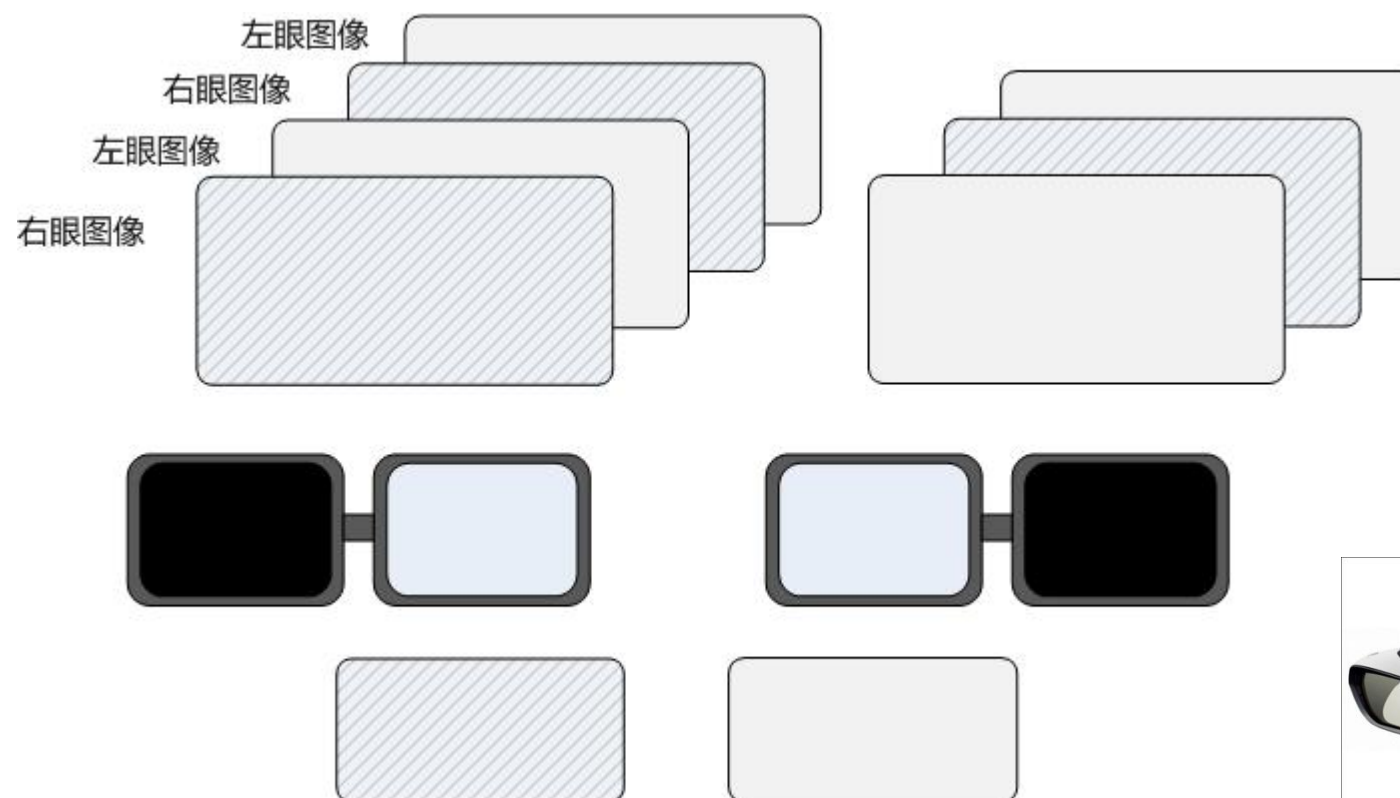
<http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Colorwheel.svg>



6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

分时快门立体显示



包括：120Hz显示器、DLP等



快门式立体眼镜

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

分时快门立体显示

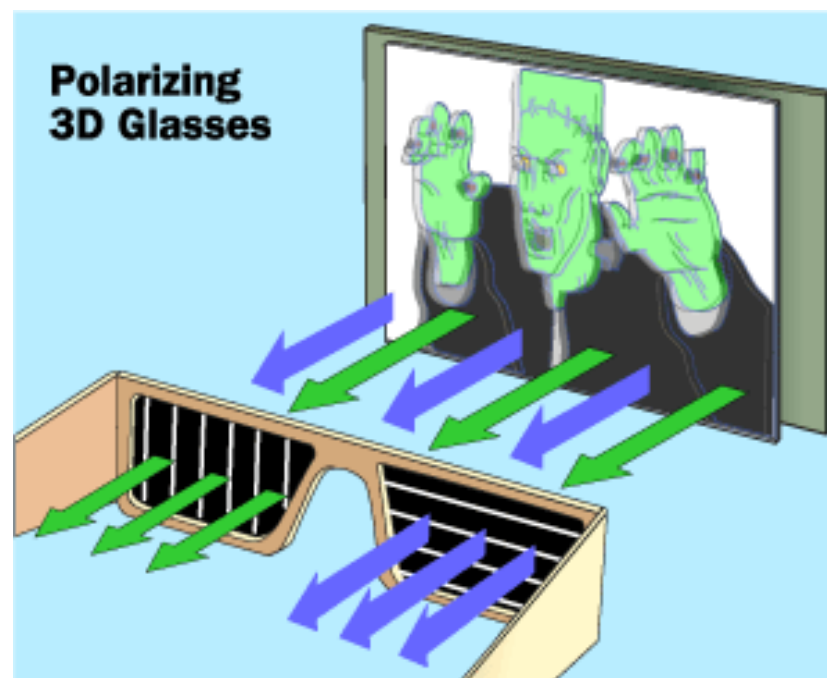
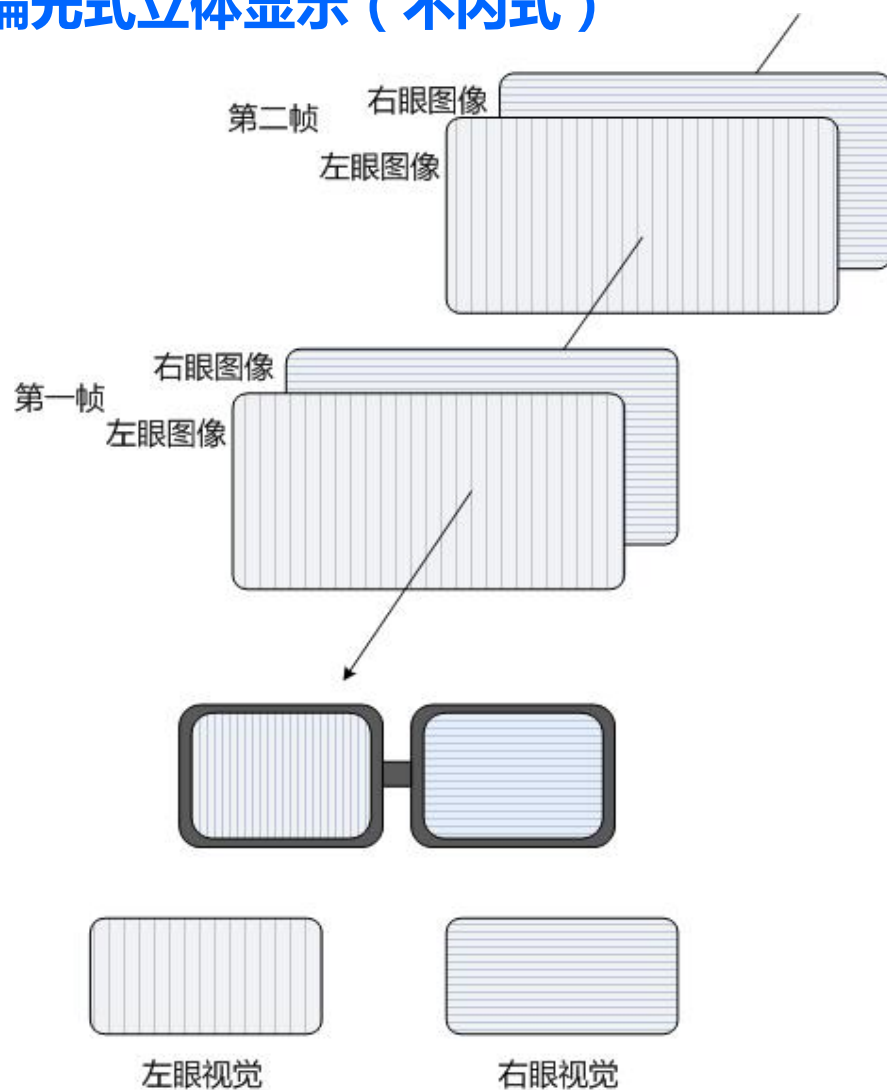


CRT时代的快门3D显示—需要120Hz以上刷新率的显示器

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

偏光式立体显示（不闪式）

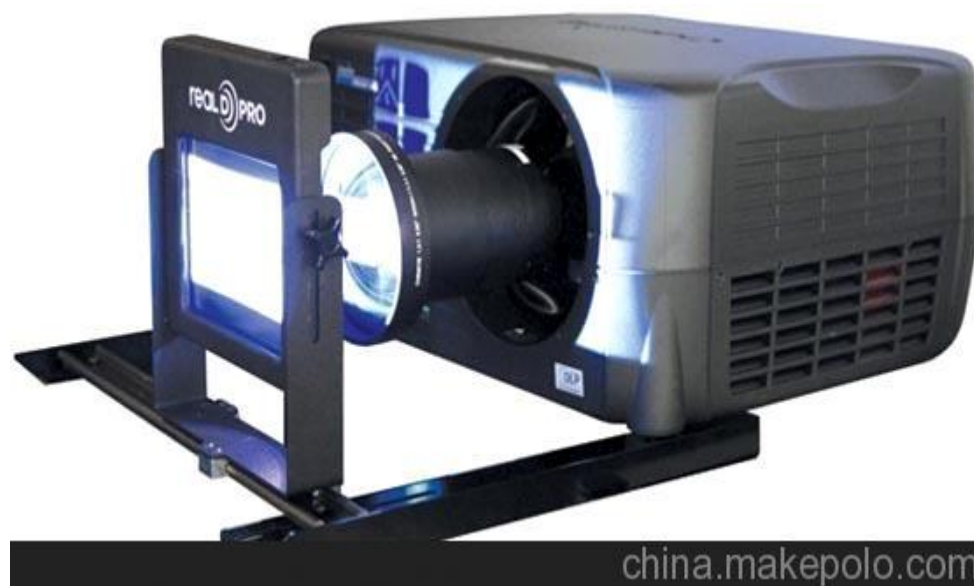
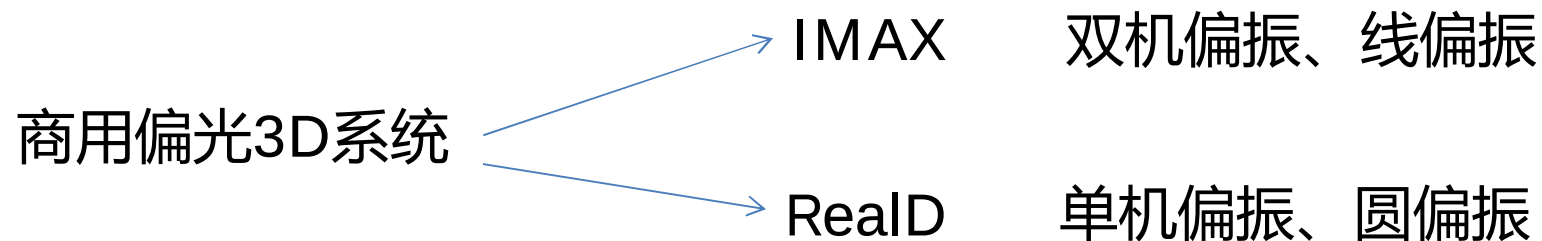


偏光式立体眼镜

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

偏光式立体显示（不闪式）



china.makepolo.com

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

视频头盔

SONY索尼 HMZ-T3 Personal 3DViewer



价格：¥3000~6000

1280 × 720 双 OLED

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

虚拟现实（VR）



¥ 10

OR

+



¥ 50~300



6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

虚拟现实（VR）

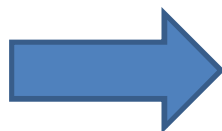


辅以智能手机的陀螺仪、加速度计等，实现虚拟现实

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

虚拟现实（VR）



Sony Morpheus虚拟现实头盔
Playstation VR

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

虚拟现实（VR）



Oculus Rift DK2

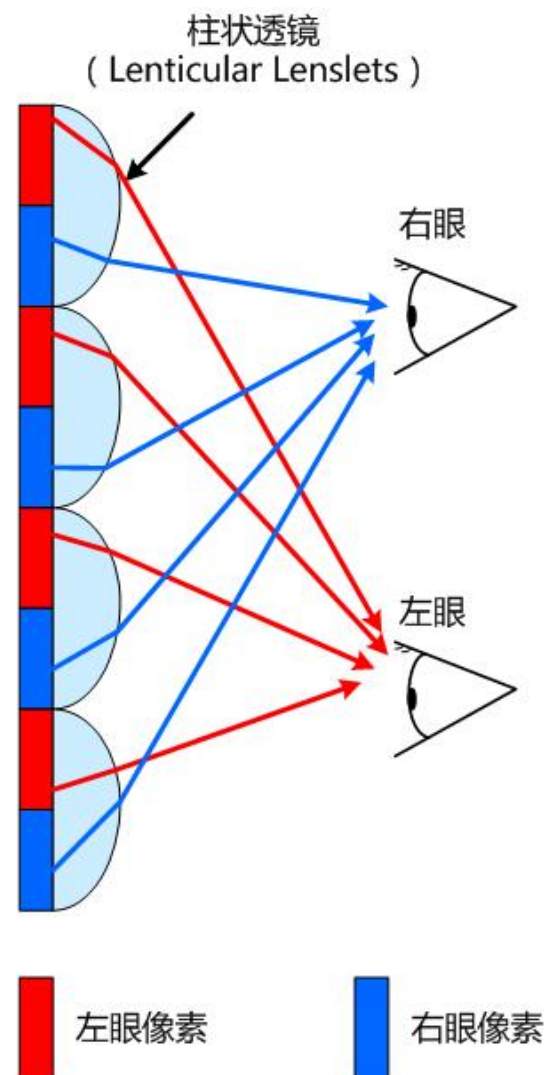
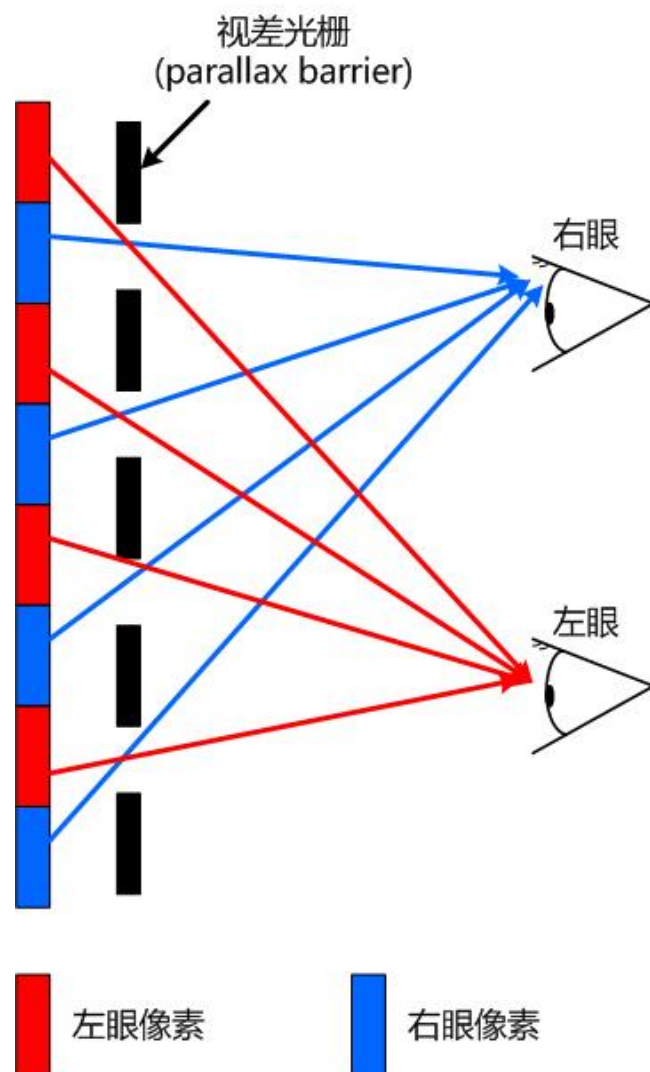


微软的黑科技HoloLens

6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

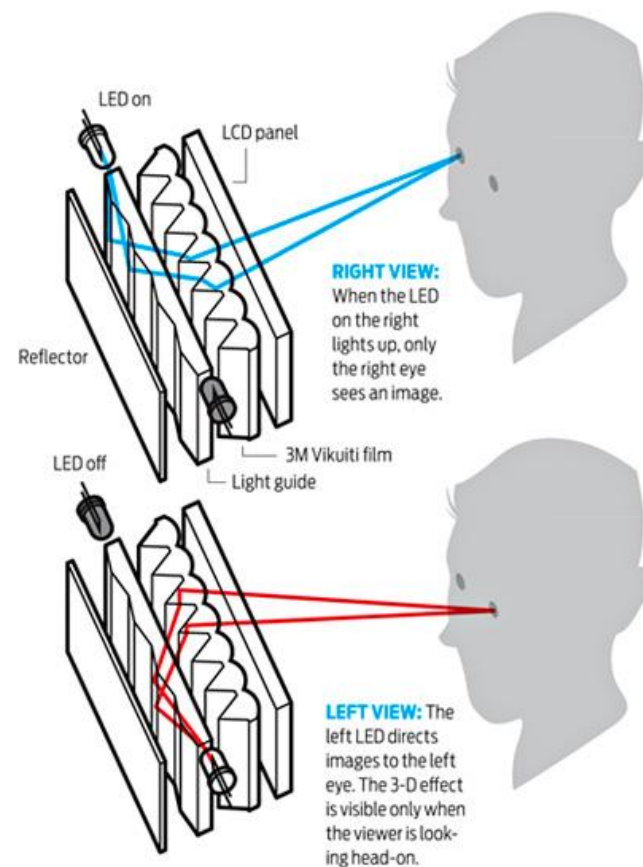
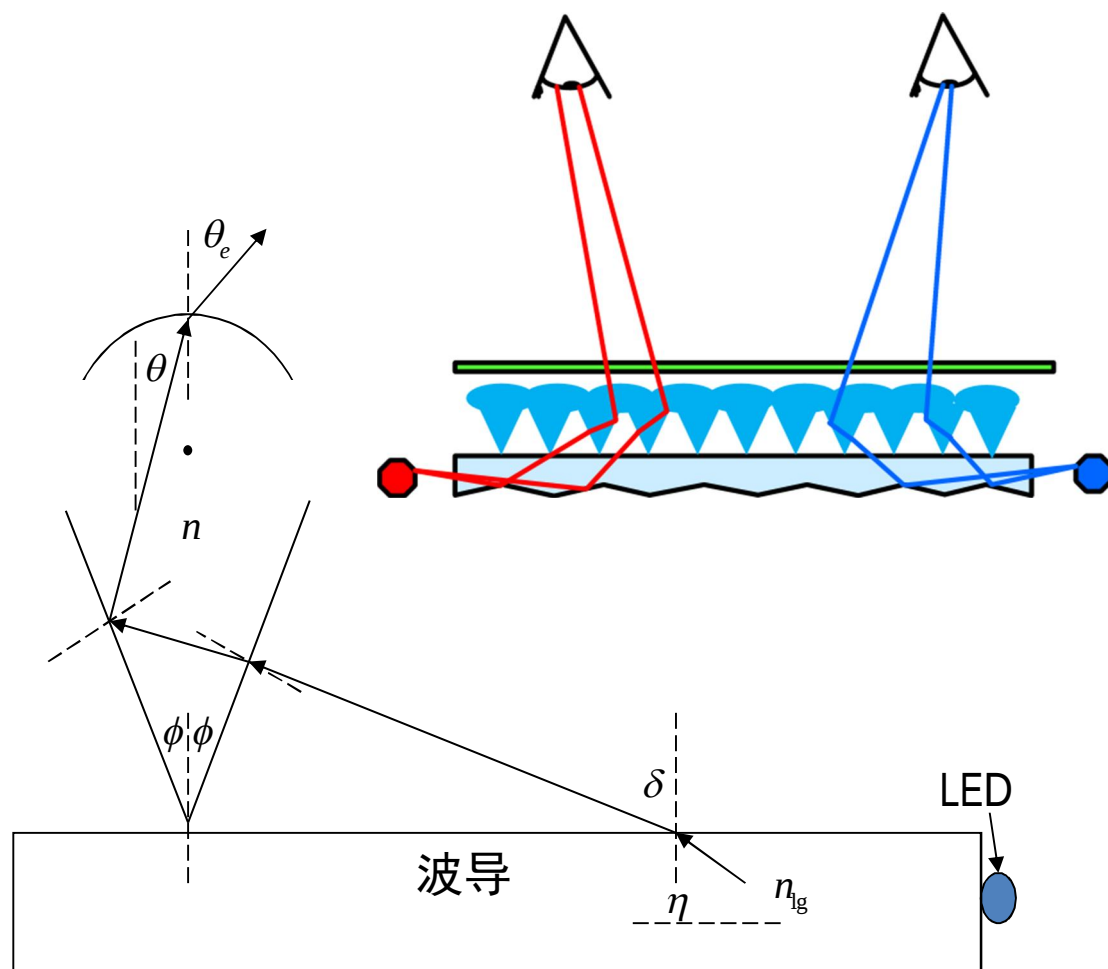
裸眼3D



6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

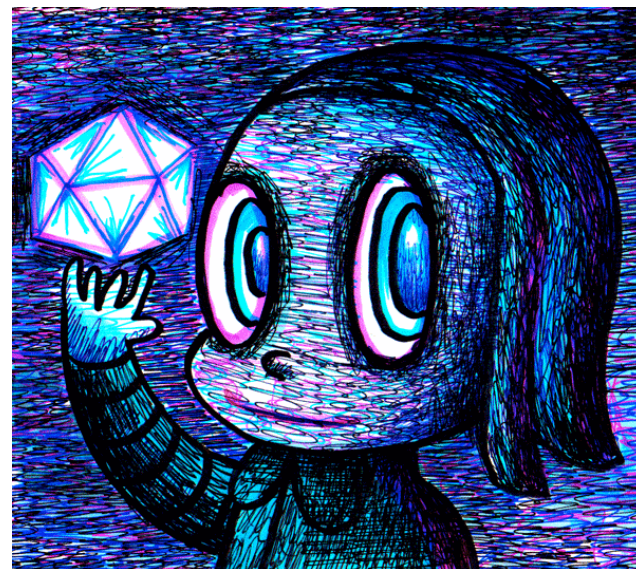
裸眼3D-指向背光裸眼3D显示



6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

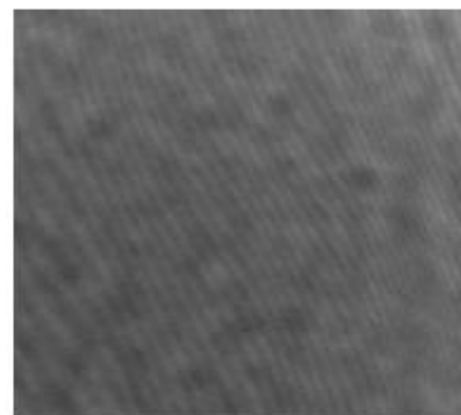
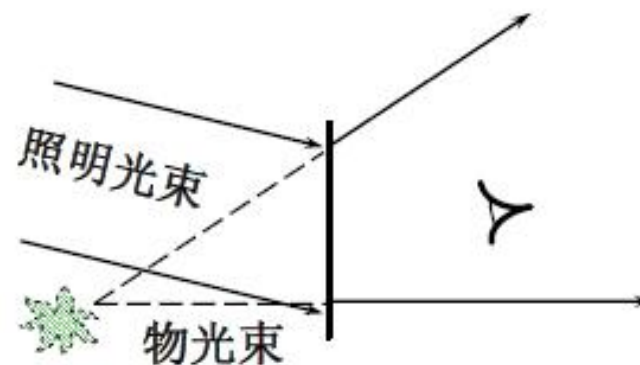
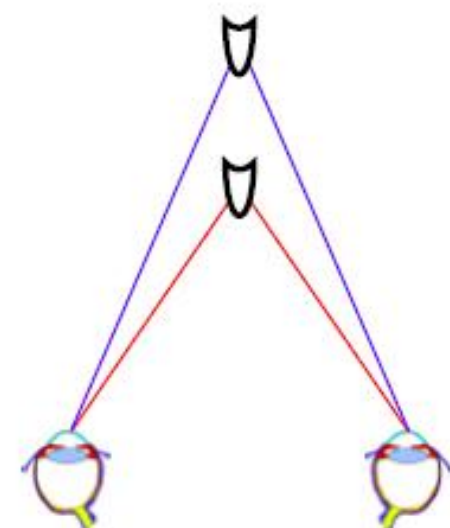
图像对人心理暗示造成的三维效果



6.3.3 偏振光干涉的应用

补充：立体视觉与立体显示

立体显示与全息显示的区别



本节重点

1. 圆偏振光的干涉（理解、计算）。
2. 偏振光的应用（理解）。

作业

P214- 1, 3, 4 ,6