

光纤传感器

第9章

光纤传感器

光导纤维传感器（简称光纤传感器）是20世纪七十年代迅速发展起来的一种新型传感器。光纤最早用于通讯，随着光纤技术的发展，光纤传感器得到进一步发展。

与其它传感器相比较，光纤传感器有如下特点：

- 1. 不受电磁干扰，防爆性能好，不会漏电打火；**
- 2. 可根据需要做成各种形状，可以弯曲；**
- 3. 可以用于高温、高压，绝缘性好，耐腐蚀。**

9.1.1 光纤的结构

基本采用石英玻璃，
主要由三部分组成

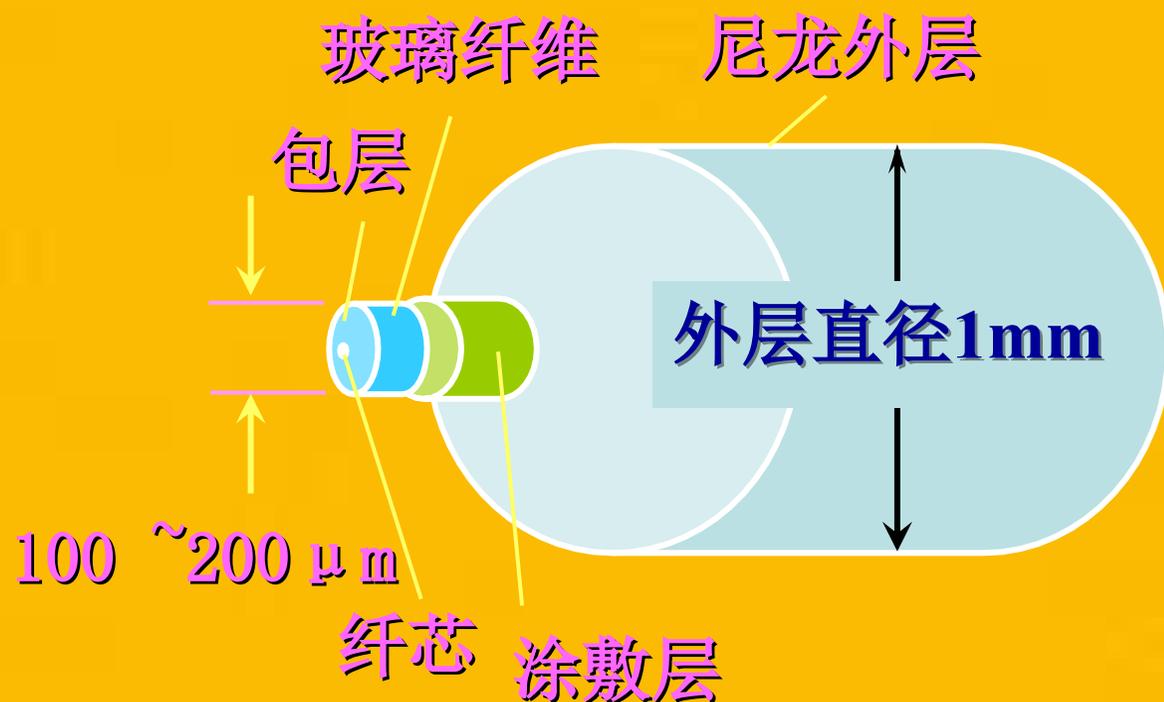
中心——纤芯；

外层——包层；

护套——尼龙料。

光导纤维的导光能力取决于纤芯和包层的性质，

纤芯折射率 n_1 略大于包层折射率 n_2 ($n_1 > n_2$)。



光纤的传播基于光的全反射。当光线以不同角度入射到光纤端面时，在端面发生折射后进入光纤；

- v 光线在光纤端面入射角 θ 减小到某一角度 θ_c 时，光线全部反射。**
- v 只要 $\theta < \theta_c$ ，光在纤芯和包层界面上经若干次全反射向前传播，最后从另一端面射出。**

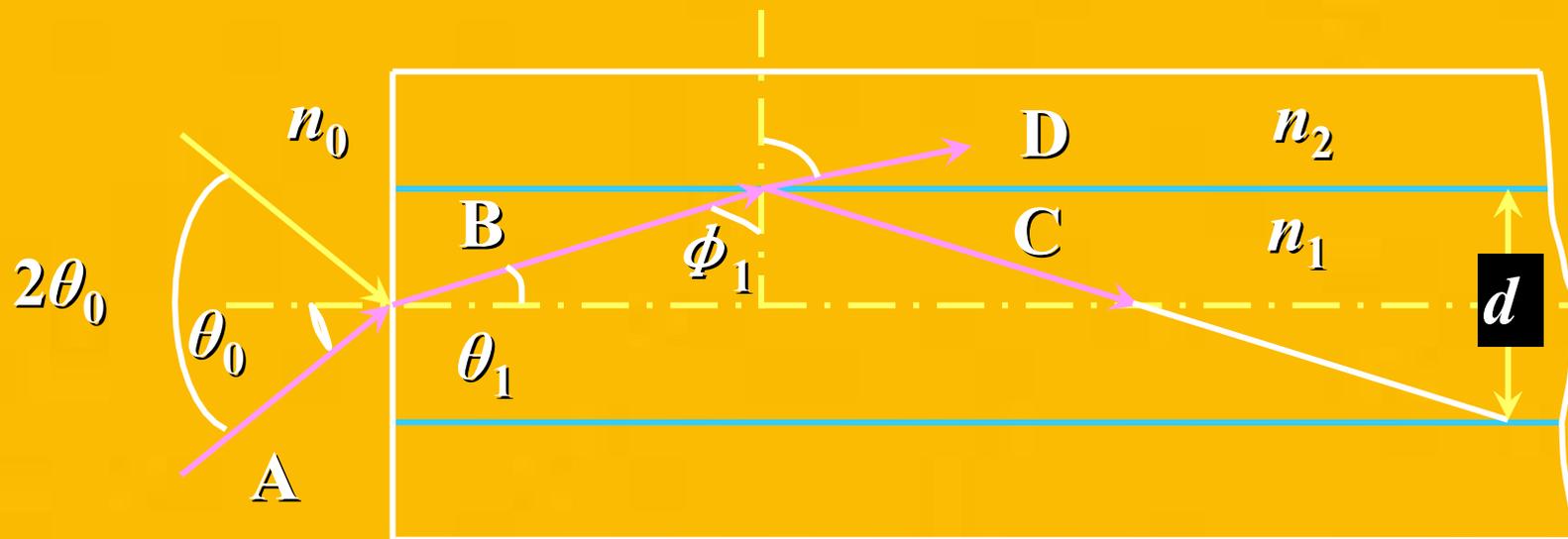


图9-2 光纤导光示意图

由斯奈尔 (Snell) 定律:

$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1 = n_1 \cos \phi_1$$

若满足

$$\sin \phi_1 \geq \frac{n_2}{n_1}$$

即
$$\sin \theta_0 \leq \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

v就能产生全反射。可见，光纤临界入射角的大小是由光纤本身的性质 (n_1 、 n_2) 决定的，与光纤的几何尺寸无关。

入射角的最大值为:

$$\sin \theta_0 = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

将 $\sin \theta_0$ 定义为光导纤维的数值孔径,用**NA**表示,则

$$\text{NA} = \sin \theta_0 = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- **NA表示光纤的集光能力，无论光源的发射功率有多大，只要在 $2\theta_c$ 张角之内的入射光才能被光纤接收、传播。若入射角超出这一范围，光线会进入包层漏光。**
- **一般NA越大集光能力越强，光纤与光源间耦合会更容易。但NA越大光信号畸变越大，要选择适当。**
- **产品光纤不给出折射率N，只给数值孔径NA。**

光纤按纤芯和包层材料的性质分类，有**玻璃光纤**和**塑料光纤**两类；按折射率分有**阶跃型**和**梯度型**二种。

光纤的另一种分类方法是按光纤的传播模式来分，可分为 **单模** 和 **多模** 两类。

单模 多用于非功能型（NF）光纤传感器；

多模 多用于功能型（FF）光纤传感器。

9.2.1 光纤传感器结构原理

光纤传感器是一种把被测量的状态转变为可测的光信号的装置。由光发送器、敏感元件（光纤或非光纤的）、光接收器、信号处理系统以及光纤构成。

由光发送器发出的光经源光纤引导至敏感元件。这时，光的某一性质受到被测量的调制，已调光经接收光纤耦合到光接收器，使光信号变为电信号，最后经信号处理得到所期待的被测量。

光是一种电磁波：

$$E = A \sin(\omega t + \varphi)$$

式中 A ——电场 E 的振幅矢量;

ω ——光波的振动频率;

φ ——光相位;

t ——光的传播时间。

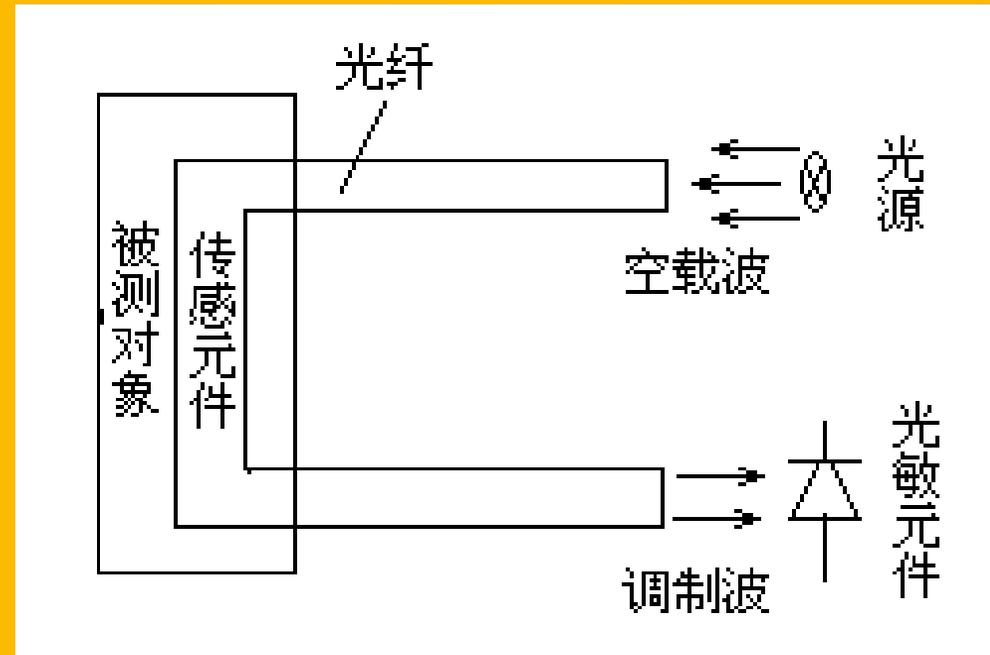
可见，只要使光的强度、偏振态（矢量 A 的方向）、频率和相位等参量之一随被测量状态的变化而变化，或受被测量调制，那么，通过对光的强度调制、偏振调制、频率调制或相位调制等进行解调，即可获得所需要的被测量的信息。

光纤传感器一般可分为两大类：一类是功能型传感器，又称FF型光纤传感器；另一类是非功能型传感器又称NF型光纤传感器。



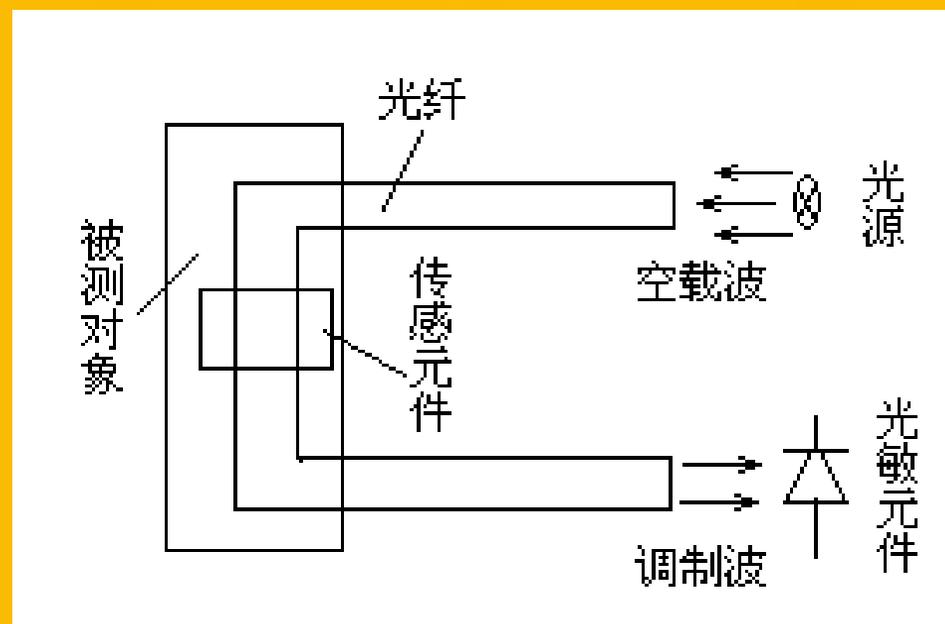
功能型光纤传感器

这类传感器利用光纤本身对外界被测对象具有敏感能力和检测功能，光纤不仅起到传光作用，而且在被测对象作用下，如光强、相位、偏振态等光学特性得到调制，调制后的信号携带了被测信息。



非功能型光纤传感器

传光型光纤传感器的
光纤只当作传播光的
媒介，待测对象的调
制功能是由其它光电
转换元件实现的，光
纤的状态是不连续的，
光纤只起传光作用。



光纤传感器的发展方向主要有以下几个方面：

- ① 以传统传感器无法解决的问题作为光纤传感器的主要研究对象。**
- ② 集成化光纤传感器。**
- ③ 多功能全光纤控制系统。**
- ④ 充分发挥光纤的低传输损耗特性，发展远距离监测系统。**
- ⑤ 开辟新领域。**

传感器		光学现象	被测量	光纤	分类	
干涉型	相位调制光线传感器	干涉（磁致伸缩）	电流、磁场	SM、PM	a	
		干涉（电致伸缩）	电场、电压	SM、PM	a	
		Sagnac效应	角速度	SM、PM	a	
		光弹效应	振动、压力、加速度、位移	SM、PM	a	
非干涉型	强度调制光纤温度传感器	干涉	温度	SM、PM	a	
		遮光板遮断光路	温度、振动、压力、加速度、位移	MM	b	
		半导体透射率的变化	温度	MM	b	
		荧光辐射、黑体辐射	温度	MM	b	
		光纤微弯损耗	振动、压力、加速度、位移	SM	b	
		振动膜或液晶的反射	振动、压力、位移	MM	b	
		气体分子吸收	气体浓度	MM	b	
	光纤漏泄膜	液位	MM	b		
	干涉型	偏振调制光纤温度传感器	法拉第效应	电流、磁场	SM	b,a
			泡克尔斯效应	电场、电压、	MM	b
双折射变化			温度	SM	b	
干涉型	频率调制光纤温度传感器	光弹效应	振动、压力、加速度、位移	MM	b	
		多普勒效应	速度、流速、振动、加速度	MM	c	
		受激喇曼散射	气体浓度	MM	b	
干涉型	频率调制光纤温度传感器	光致发光	温度	MM	b	

注：MM多模；SM单模；PM偏振保持；a,b,c功能型、非功能型、拾光型

9.3.1 强度调制

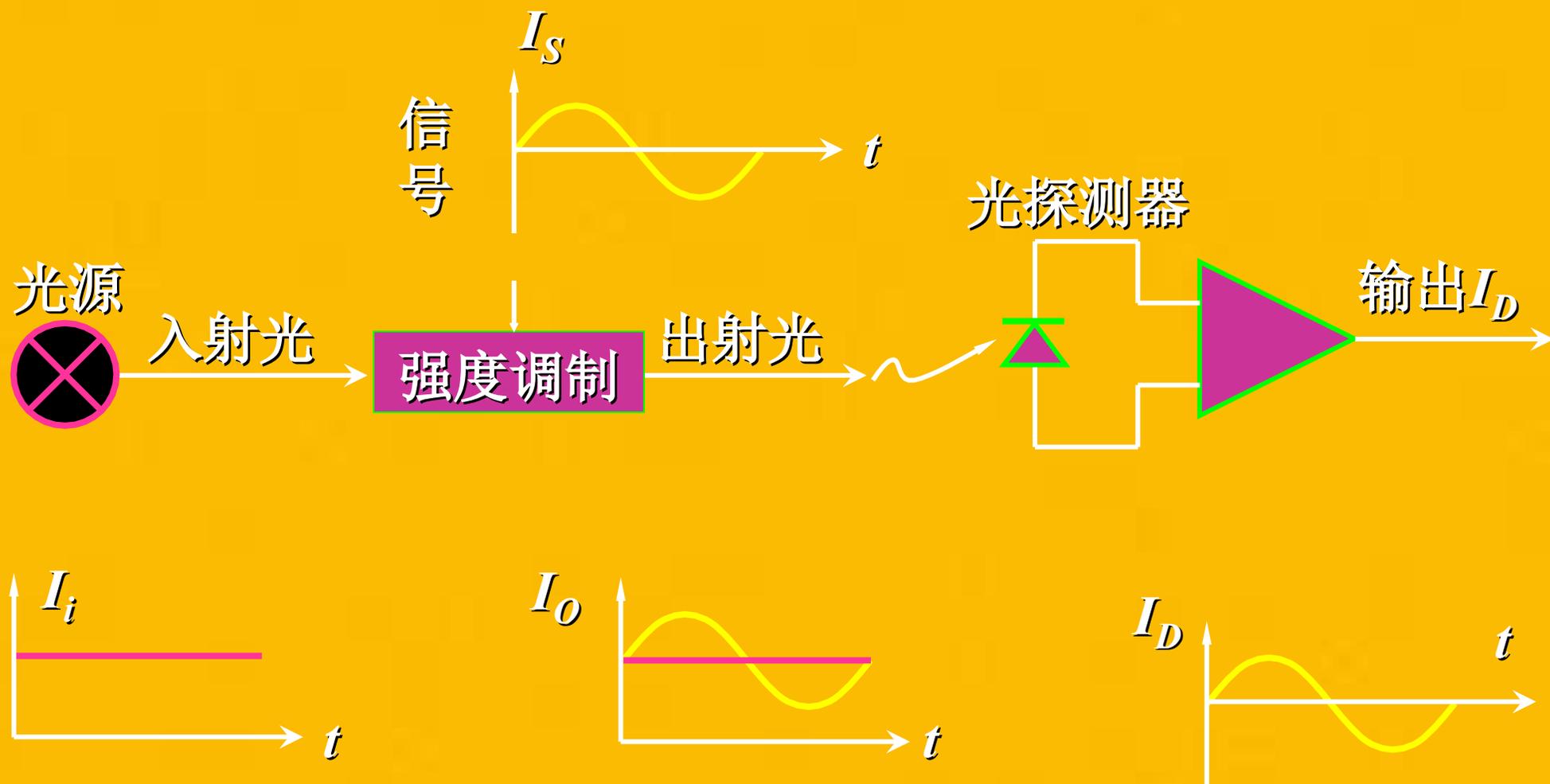


图9-4 强度调制原理

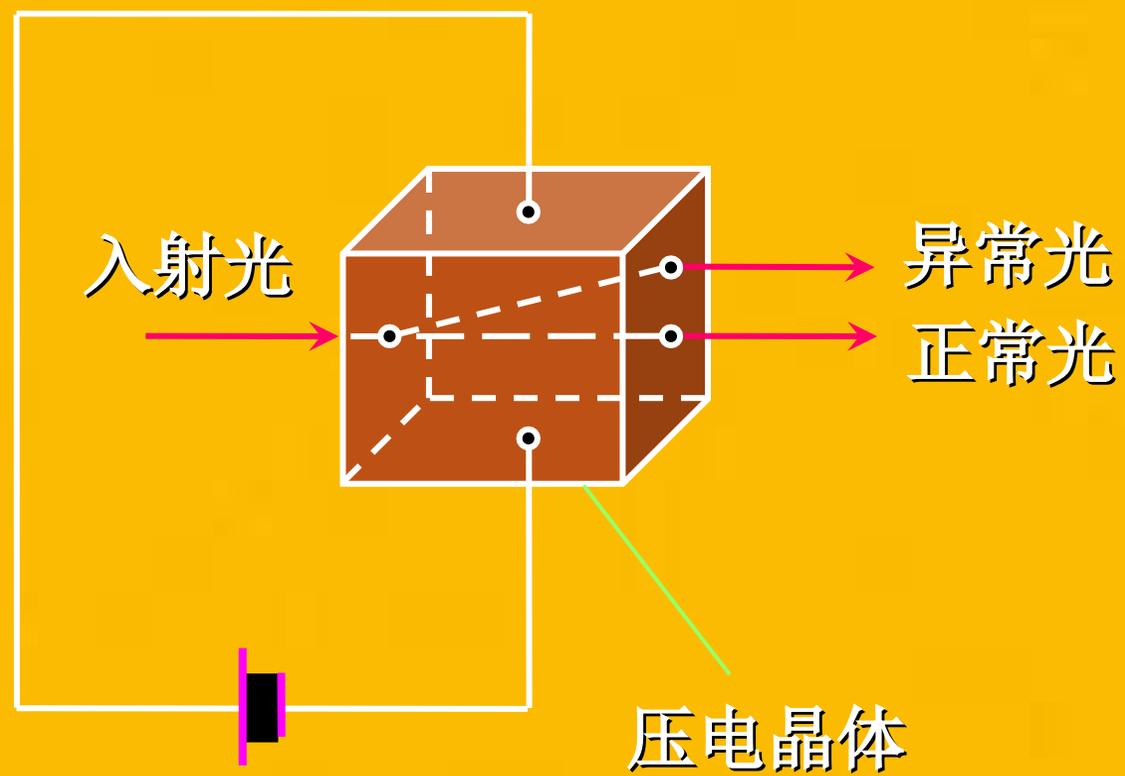
9.3.2 偏振调制

1. 普克耳 (Pockels) 效应

当压电晶体受光照射并在其正交方向上加高压，晶体将呈现双折射现象，这种现象称为 **普克耳效应**。

在晶体中，两正交的偏振光的相位变化为：

$$\varphi = \frac{\pi n_0^3 r_G U}{\lambda_0} \cdot \frac{l}{d}$$



平面偏振光通过带磁性的物体时，其偏振光面将发生偏转，这种现象称为**法拉第磁光效应**。

光矢量旋转角：

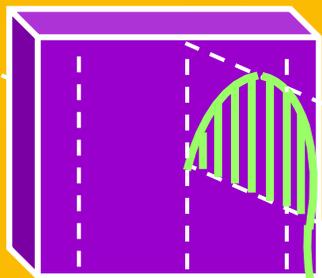
$$\theta = V \int_0^L H \cdot dl$$

式中 V ——正常光折射率；

L ——物质中的光程；

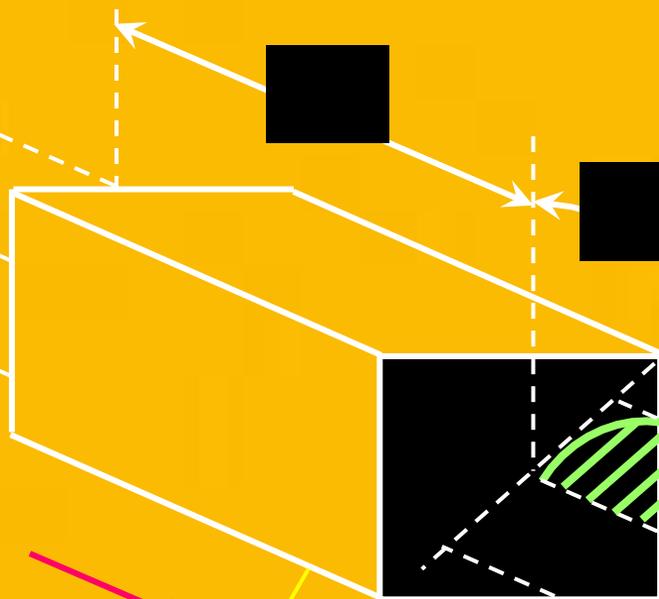
H ——磁场强度。

光源



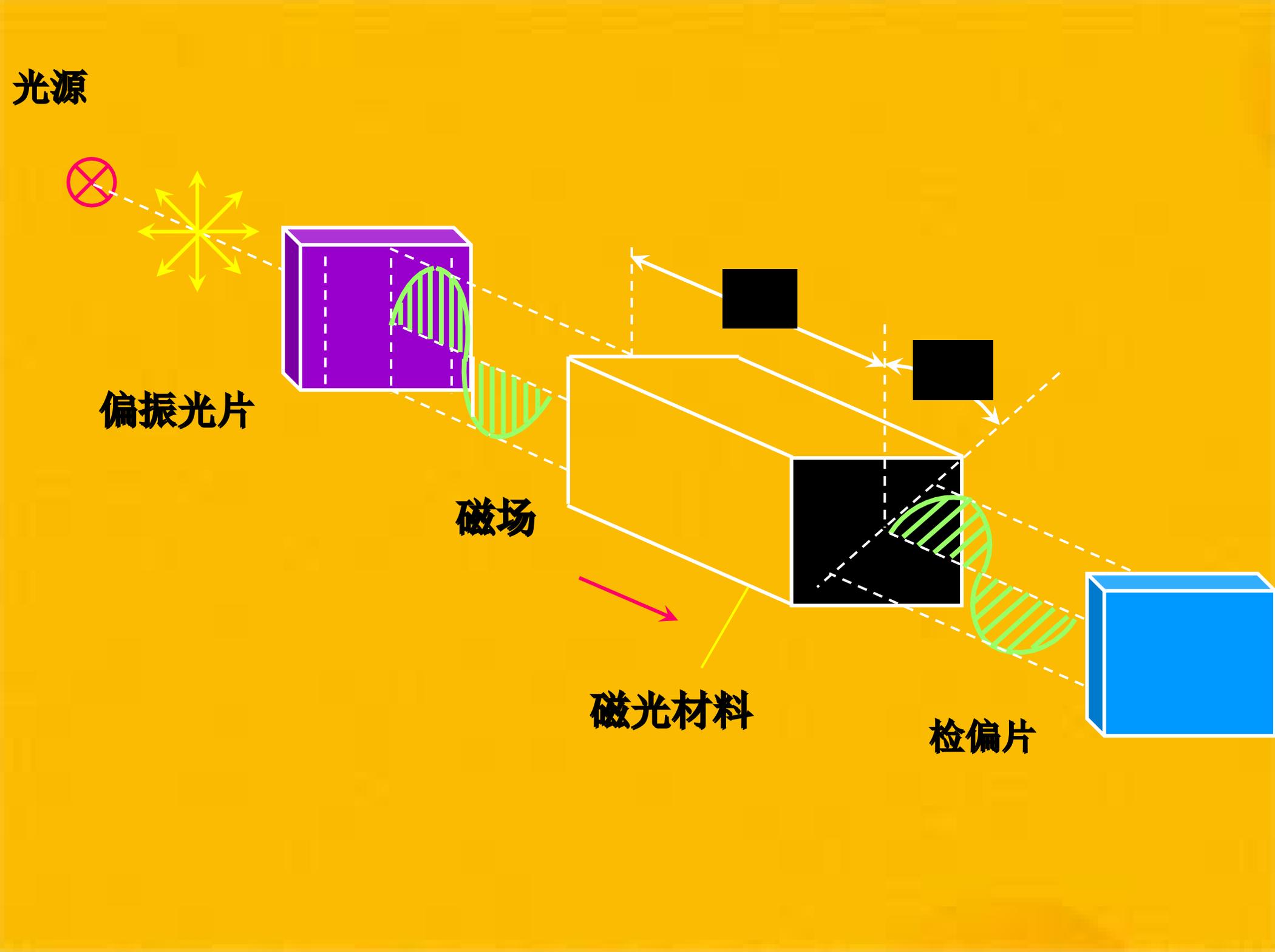
偏振光片

磁场



磁光材料

检偏片



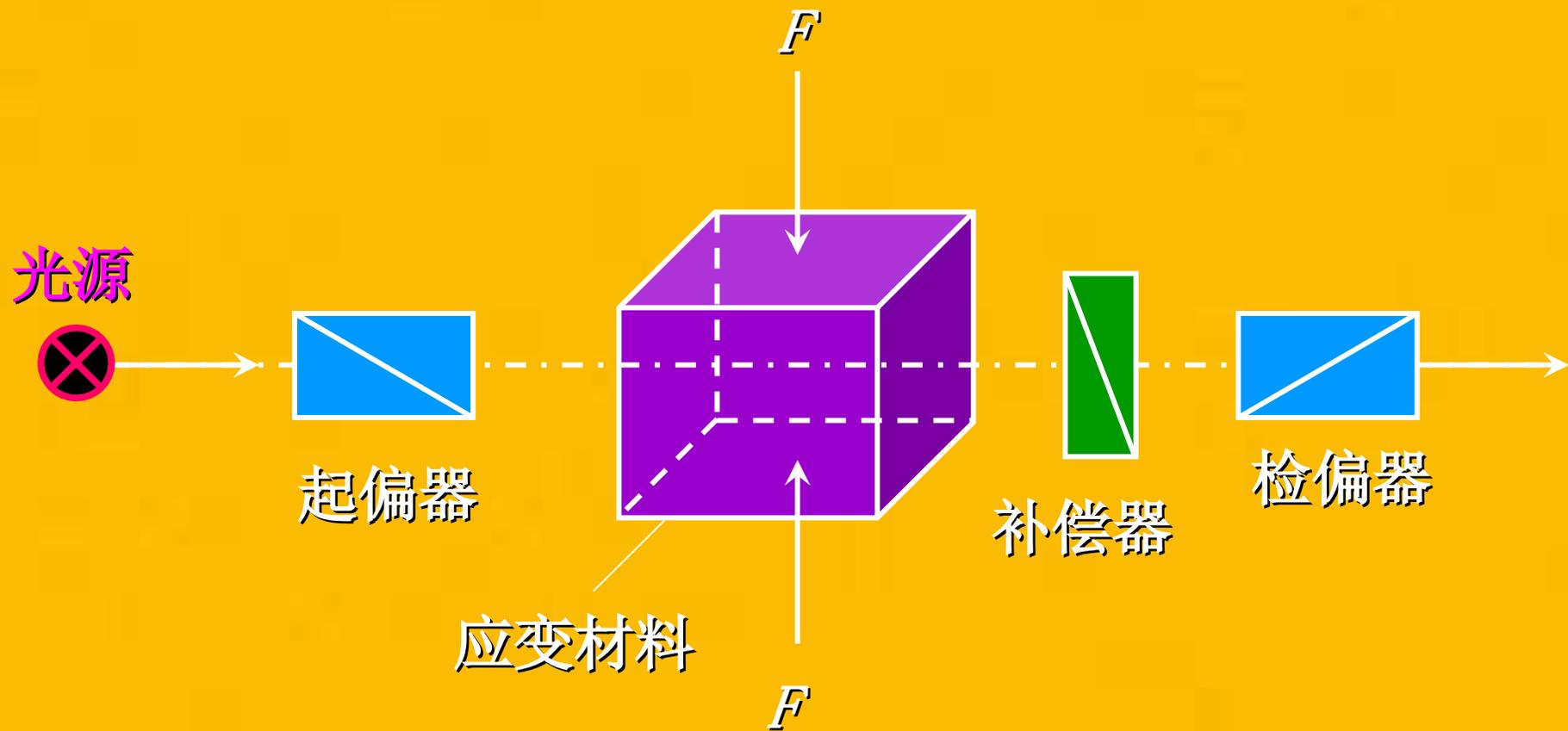
在垂直于光波传播方向施加压力，材料将会产生双折射现象，其强弱正比于应力。这种现象称为**光弹效应**。

偏振光的相位变化为 $\varphi = 2\pi kpl / \lambda_0$

式中 k ——物质光弹性系数；

P ——施加在物体上的压强；

l ——光波通过的材料长度。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/966114223025011010>