

高等学校教材

晶体光学与造岩矿物

■ 林培英 主编



地质出版社



晶体光学与造岩矿物

林培英 主编

地质出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书由三部分组成：第一部分主要介绍了晶体光学的基本原理和基础知识，偏光显微镜的构造与使用方法，单偏光、正交偏光和锥光系统下的晶体光学性质；第二部分重点介绍了最主要的七种造岩矿物（橄榄石、辉石、角闪石、黑云母、斜长石、钾长石和石英）的分类、光性方位及光性特征；第三部分为实验任务及指导，应用晶体光学原理及方法，通过偏光显微镜对晶体光学性质进行基本技能的训练，加深对晶体光学中抽象概念的理解。

本书加强了晶体光学性质与化学成分、结构、光性方位之间的结合；加强了晶体光学在宝石学方面的应用；将晶体光学、造岩矿物、实验任务及指导集于一书，并附有习题、思考题，便于查找、学习与应用；全书共附插图 300 余幅及彩图 7 版，醒目、直观、易懂。

本书除了作为地质专业、能源专业、珠宝专业、地球化学专业、材料专业的教材外，也适合于岩矿鉴定、珠宝鉴定人员及广大地质工作者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

晶体光学与造岩矿物/林培英主编.

北京:地质出版社,2005.9

ISBN 7-116-04540-6

I. 晶... II. 林... III. 晶体光学-应用-造岩矿物-高等学校-教材 IV. P585.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 092300 号

JINGTI GUANGXUE YU ZAOYAN KUANGWU

责任编辑:李凯明

责任校对:郑淑艳

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部);(010) 82324576 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京朝阳区小红门印刷厂

开 本:787 mm × 1092 mm^{1/16}

印 张:14.5 图版:4 页

字 数:320 千字

印 数:1—3000 册

版 次:2005 年 9 月北京第一版·第一次印刷

定 价:20.00 元

ISBN 7-116-04540-6/P·2600

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

晶体光学是研究可见光通过透明矿物晶体时所引起的反射、双折射、全反射、偏光、吸收、干涉、色散等现象及其规律的一门科学。简单地说，就是研究矿物晶体的光学性质的一门科学。它不仅应用于岩石中矿物成分及其成因的研究，而且在冶金、建材、化工、医药、农业、陶瓷等领域也得到广泛应用。不同矿物具有不同的光学性质，因此晶体光学是研究和鉴定透明矿物的基础，它既是一门方法课，又是一门理论联系实际很强的学科。

晶体光学也是鉴定宝石的技术基础。晶体光学中的几何光学三大定律是制造宝石鉴定仪器的理论基础。另外在宝石鉴定中也常用到晶体光学中的均质体、非均质体，单折射、双折射、多色性，一轴晶、二轴晶，正晶、负晶等基本概念。

造岩矿物是组成岩石的矿物，它的鉴定需应用光性矿物学的知识。光性矿物学是应用晶体光学原理和方法对透明矿物的光学性质进行研究的一门学科，是矿物学的一个分支。它的理论基础是晶体光学，晶体光学的基本理论是光率体，应用的仪器是偏光显微镜，主要研究途径是将矿物或岩石标本磨制成薄片，在偏光显微镜下，测定矿物的光学性质，确定矿物成分，最后定出岩石名称。

本书是根据编者及中国地质大学（北京）岩矿教研室三十多年来积累的教学实践体会，并参阅、吸收了近年来国内外出版的晶体光学教材和宝石学及各种有关宝石鉴定的书籍编写而成，并通过学校批准，列入学校“地学专业基础课和专业教材专项建设规划”。该书可作为地质、宝玉石、硅酸盐材料等专业的教材，也可作为岩矿鉴定人员、宝玉石鉴定人员、地质科研人员等的参考用书。

本书具有如下的特点：

- (1) 将晶体光学、造岩矿物及其实验任务、指导集于一书。
- (2) 加强了晶体光学性质与化学成分、晶体结构、光性方位的结合。
- (3) 为了学科拓宽和互相交叉的需要，加强了晶体光学在宝石学上的

应用。

(4) 全书共插图 300 余幅及彩图 7 版, 醒目、直观、易懂。

(5) 各章节后附有习题、复习思考题, 最后还附有总复习题, 便于学生对晶体光学中抽象概念的理解和提高记忆, 并有助于自学。

(6) 全书共附有 9 张常见矿物光性特征表, 简明、实用。

本书第一部分第二章由赵志丹、林培英编写, 第三章由莫少龙、林培英编写; 第二部分由林培英、田成编写; 第三部分由田成、苏尚国、赵志丹编写; 其他章节由林培英编写。全书彩版由莫少龙、罗照华、苏尚国提供; 全书最后由林培英统一修改定稿。初稿完成后, 莫宣学教授审阅了全书并提出了宝贵的修改意见; 该书也得到了岩矿教研室赵崇贺教授、罗照华教授、孙岱生教授及物理教研室张自力副教授的大力支持与帮助; 本教材的编写和出版得到中国地质大学(北京) 副校长张汉凯教授、教务处处长王果胜教授、地球科学与资源学院院长王训练教授的大力支持与关心。在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促和水平有限, 书中定有遗误和不妥之处, 敬请读者批评指正。

编者

2005 年 6 月于中国地质大学(北京)

本书使用的缩写符号

一、晶体光学中常用的缩写符号

a 、 b 、 c ——晶体结晶轴（相当于结晶学中的 X 、 Y 、 Z 轴）

N 、 n ——折射率、均质体折射率

N_o 、 N_e ——一轴晶常光、非常光的折射率（也用作一轴晶光率体两个主轴的名称）

N_g 、 N_m 、 N_p ——二轴晶最大、中等、最小主折射率（也用作二轴晶光率体三个主轴的名称）

$|N_e - N_o|$ ——一轴晶最大双折射率 (ΔN_{\max})

$N_g - N_p$ ——二轴晶最大双折射率 (ΔN_{\max})

Δ 、 ΔN ——双折射率

M ——光轴出露点

() ——晶面符号；[] ——晶带；{ } ——单形符号、也可用作解理方向和解理组数

\perp ——垂直； \parallel ——平行； \times ——斜交

OA ——光轴

$O.A.P$ 、 AP ——光轴面

$2V$ ——光轴角

$2r$ ——红光光轴角

$2v$ ——紫光光轴角

Bxa ——两光轴所夹锐角等分线

Bxo ——两光轴所夹钝角等分线

PP ——下偏光振动方向

AA ——上偏光振动方向

R ——光程差

d ——薄片厚度

λ ——光波波长

+、(+) $2V$ 、 $2V_{N_g}$ ——正光性、正光符、正晶

-、(-) $2V$ 、 $2V_{N_p}$ ——负光性、负光符、负晶

二、造岩矿物常用代号

Ab 钠长石

Aeg 霓石

Act 阳起石

Amp 角闪石

An	钙长石	Kf	钾长石
And	红柱石	Kp	钾霞石
Ap	磷灰石	Ky	蓝晶石
Aug	普通辉石	Lc	白榴石
Bi	黑云石	Ms	白云母
Cc	方解石	Mt	磁铁矿
Chl	绿泥石	Ne	霞石
Chr	铬尖晶石	Ol	橄榄石
Cm	铬铁石	Opx	斜方辉石
Cpx	单斜辉石	Or	正长石
Di	透辉石	Phl	金云母
Do	白云石	Pig	易变辉石
En	顽火辉石	Pl	斜长石
Ep	绿帘石	Py	辉石
F	萤石	Qz	石英
Fa	铁橄榄石	Ru	金红石
Fo	镁橄榄石	Sep	蛇纹石
Ga	石榴子石	Sil	矽线石
Gl	蓝闪石	Sp	尖晶石
Hb	普通角闪石	Sub	榍石
Hem	赤铁矿	Tr	透闪石
Hm	钛铁矿	Tur	电气石
Hy	紫苏辉石	Zr	锆石
Jd	硬玉		

目 录

前 言	(I)
本书使用的缩写符号	(III)

第一部分 晶体光学

第一章 晶体光学基础	(3)
第一节 光的性质	(3)
第二节 自然光和偏光	(5)
第三节 几何光学的三大定律	(7)
第四节 光波在均质体与非均质体中的传播特征	(13)
复习思考题	(15)
第二章 光率体与光性方位	(17)
第一节 光率体	(17)
第二节 光性方位	(31)
习题	(35)
复习思考题	(36)
第三章 偏光显微镜	(38)
第一节 偏光显微镜的构造	(38)
第二节 偏光显微镜的使用和校正	(41)
第三节 偏光显微镜的保养及使用守则	(44)
第四节 岩石薄片磨制方法简介	(44)
复习思考题	(45)
第四章 单偏光镜下的晶体光学性质	(46)
第一节 单偏光镜的装置及特点	(46)
第二节 矿物的形态	(47)
第三节 矿物的解理	(48)
第四节 矿物的颜色、多色性和吸收性	(51)
第五节 矿物的边缘、贝克线、糙面和突起	(55)
习题	(60)
复习思考题	(61)
第五章 正交偏光镜下的晶体光学性质	(62)
第一节 正交偏光镜的装置及特点	(62)
第二节 消光和消光现象	(63)
第三节 光的干涉现象和光程差	(65)

第四节	干涉色及干涉色色谱表	(70)
第五节	补色法则和补色器	(73)
第六节	正交偏光镜下主要光学性质的观察和测定方法	(76)
	习题	(85)
	复习思考题	(86)
第六章	锥光镜下的晶体光学性质	(87)
第一节	锥光镜的装置及特点	(87)
第二节	一轴晶干涉图及光性正负的测定	(89)
第三节	二轴晶干涉图及光性正负的测定	(97)
第四节	透明矿物薄片的系统鉴定	(109)
第五节	晶体的旋光性	(113)
第六节	色散	(114)
	小结	(120)
	习题	(120)
	复习思考题	(121)

第二部分 造岩矿物

第七章	最主要的造岩矿物	(125)
第一节	橄榄石类 (Olivine group)	(125)
第二节	辉石类 (Pyroxene group)	(128)
第三节	角闪石类 (Amphibole group)	(135)
第四节	云母类 (Mica group)	(140)
第五节	长石类 (Feldspar group)	(143)
第六节	石英、方解石及霞石的光性特征	(151)
附1	常见宝石、矿物的光性方位图	(154)
附2	晶体光学与造岩矿物总复习题	(167)

第三部分 晶体光学实验

实验一	偏光显微镜使用, 单偏光镜下观察矿物的解理、多色性	(173)
实验二	单偏光镜下观察矿物的突起、边缘、糙面及贝克线	(178)
实验三	正交偏光镜下观察矿物消光、干涉色级序	(180)
实验四	正交偏光镜下观察测定光率体椭圆半径名称、消光类型、消光角、延性及双晶	(183)
实验五	锥光镜下观察一轴晶矿物干涉图	(188)
实验六	锥光镜下观察二轴晶矿物干涉图	(191)
实验七	透明矿物薄片的系统鉴定	(194)
实验八	光性矿物(一)	(197)
实验九	光性矿物(二)	(199)
实验十	斜长石成分鉴定	(203)

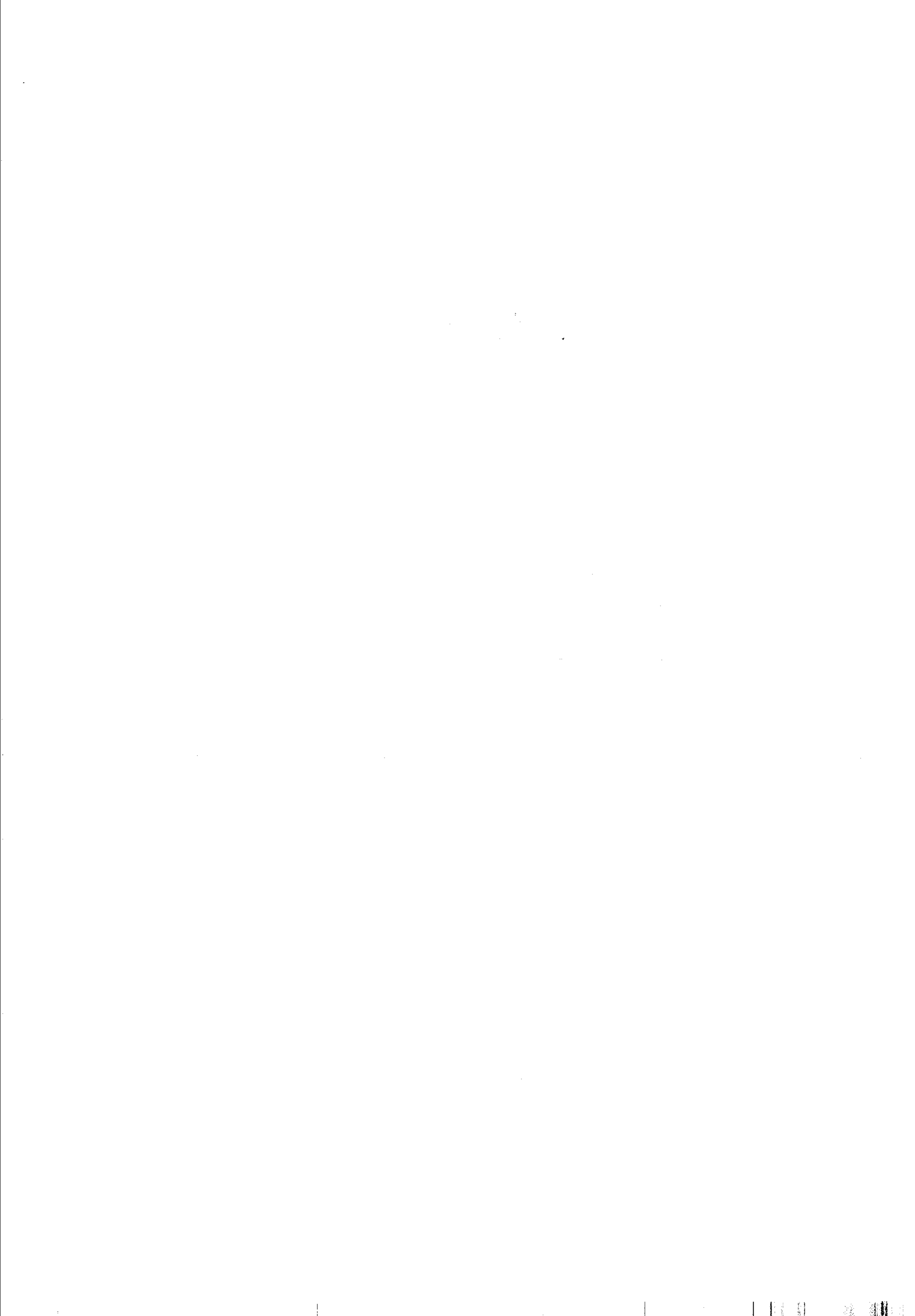
附表一	常见的透明造岩矿物光性鉴定检索表	(205)
附表二	常见矿物光性特征表	(206)
附表三	常见矿物光性特征表	(207)
附表四	常见矿物光性特征表	(208)
附表五	常见矿物光性特征表	(209)
附表六	常见矿物光性特征表	(210)
附表七	常见矿物光性特征表	(211)
附表八	常见矿物光性特征表	(212)
附表九	常见不透明矿物光性特征表	(213)
主要参考文献	(214)

第一部分

晶体光学

基本要求

1. 熟练掌握光率体的类型及应用光率体解释晶体中各种光学现象。
2. 掌握各晶系的光性方位。
3. 了解偏光显微镜构造, 熟练掌握偏光显微镜使用方法。
4. 掌握折射定律所导出三点结论、解释贝克线成因、贝克线色散成因、突起、糙面的成因。
5. 掌握判断突起正负及突起等级的方法。
6. 掌握消光、干涉原理、光程差公式、补色法则三大理论, 解释黑十字成因, 干涉色色圈的成因, 测定光率体轴名, 确定光性正负。
7. 掌握干涉色级序、正确判断干涉色升降, 确定光率体切面长短轴的位置。
8. 掌握消光角的测量步骤及表示方法。
9. 灵活判断矿物的定向切面, 测定轴性和光性符号。



第一章 晶体光学基础

第一节 光的性质

光是什么？它在空间是怎样传播的？它在真空中的传播速度有多大？这些问题对晶体光学来说都是非常重要的。关于光曾经有两种学说：一种是牛顿的微粒说，认为光是沿直线高速传播的粒子流；另一种是惠更斯的波动说，认为光是某种振动以波的形式向外传播。

直到19世纪后期随电磁学的发展，麦克斯韦和赫兹分别从理论和实验上证明了光的电磁性，确定了光实际上是一种电磁波。电磁波是电磁振动（变化的电磁场）在空间的传播。光波和无线电波一样，都是电磁波，它们在真空中的传播速度均为 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，即每秒30万千米。

到了20世纪初，许多有关光和物质相互作用的现象，如光电效应，不能用波动说来解释，这促使爱因斯坦在1905年提出了光子假说，光子假说成功地解释了光电效应：把光当作一种电磁波，又把光看作由光子组成，由此认识到光既有波动性，又具粒子性，得出光具有波粒二象性的结论。光的粒子性可以用光子能量 (E) 和动量 (P) 来表征，光的波动性则用电磁波的频率 (f) 和波长 (λ) 来描述。

光作为电磁波，可以用两个相互垂直振动的电矢量与磁矢量来表示，电磁波的传播方向为 E 和 H 的垂线方向 C (图1-1)，光学中一般只考虑电矢量的振动（因为人眼对电矢量敏感），称光振动。

电磁波的振动方向与传播方向互相垂直，即电磁波是横波，故光波亦是横波（图1-2）。光波是横波，在晶体光学中不少现象（单偏光、正交偏光、干涉）都与此相关。

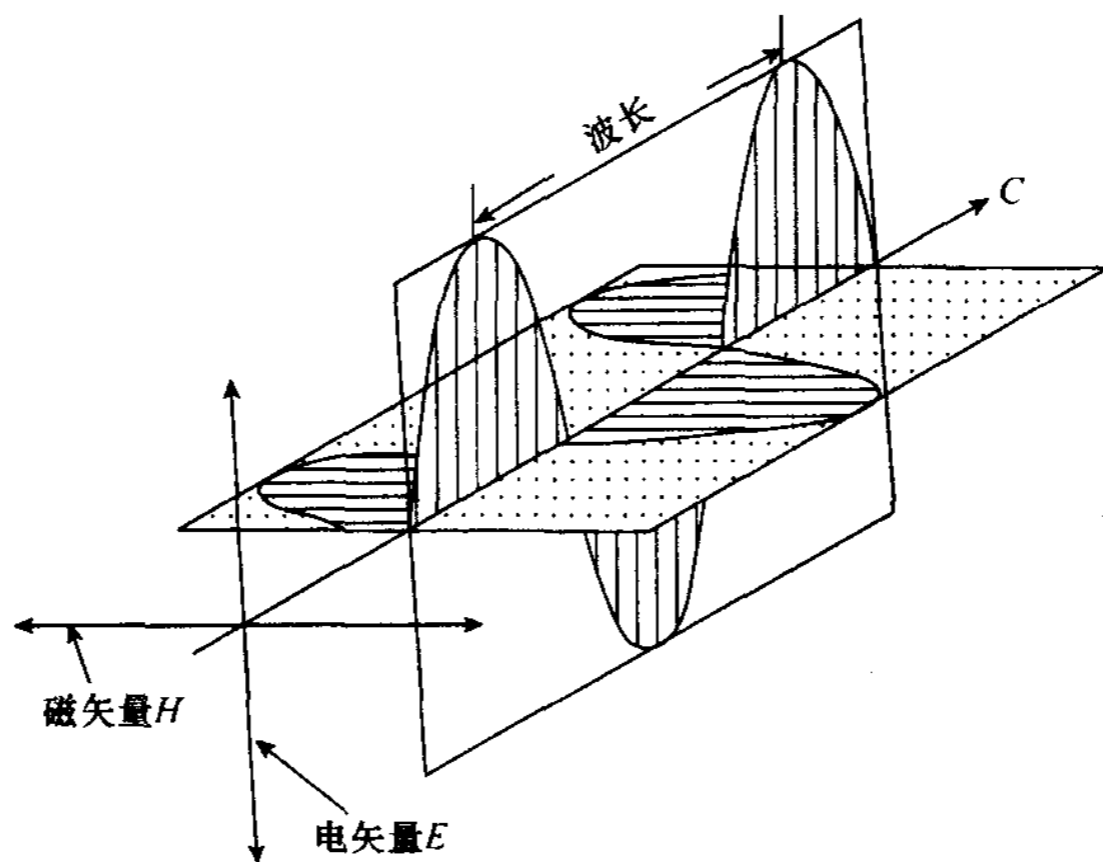


图1-1 电磁波的电矢量和磁矢量与传播方向的关系
(据 Wahlstrom, 1979)

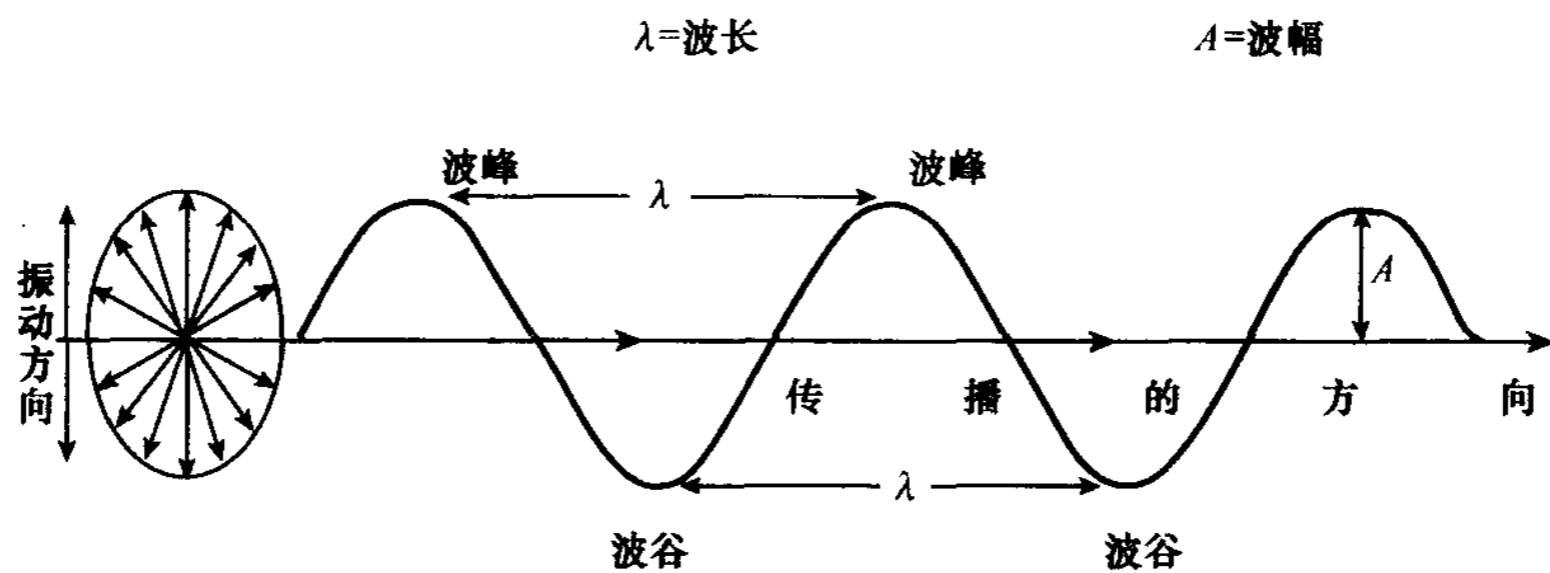


图 1-2 自然光的振动方向与传播方向相互垂直

电磁波谱具有一个广阔的区域，根据其波长大小可依次划分为：无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线、 γ 射线、宇宙射线（图 1-3）。

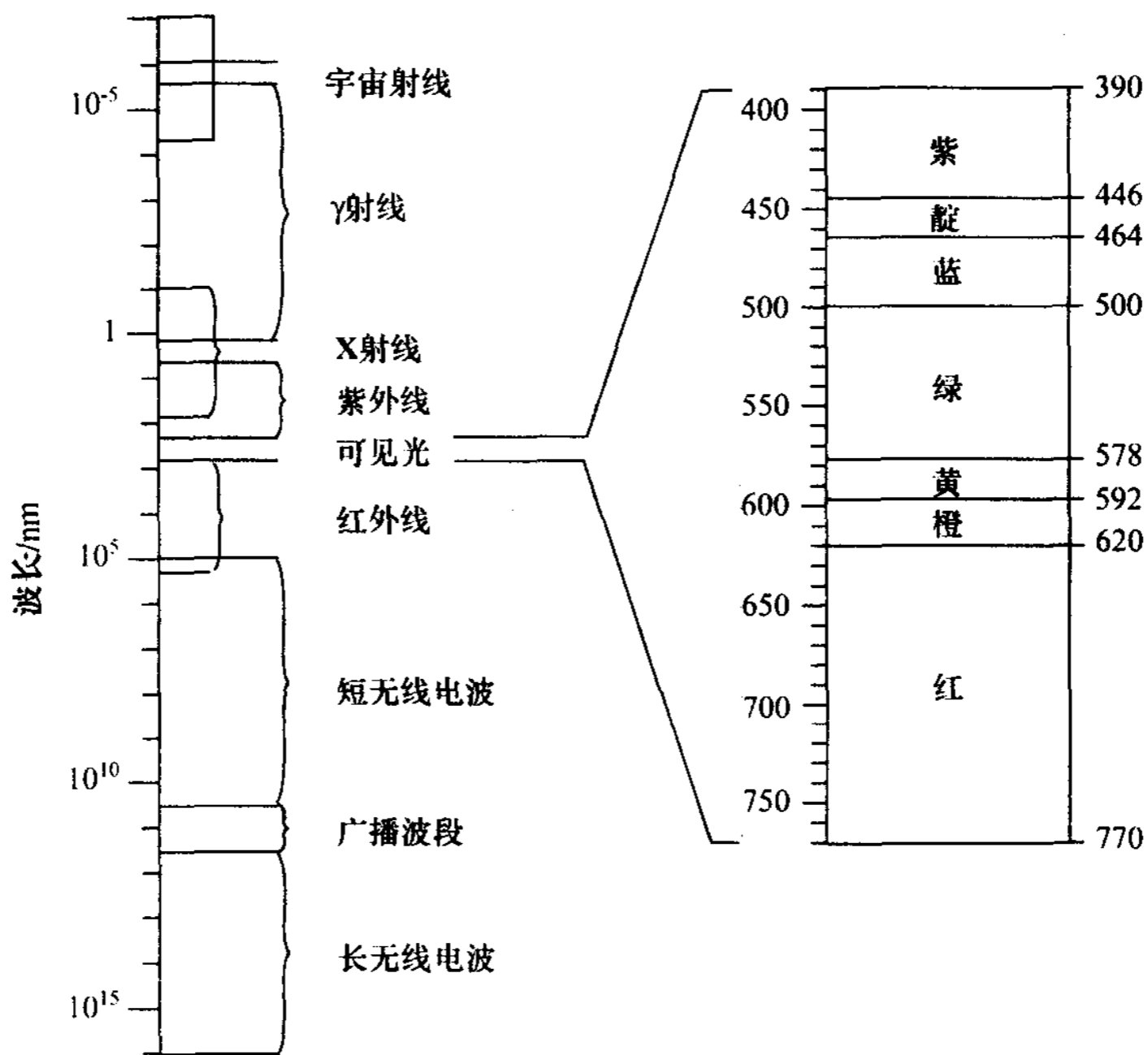


图 1-3 电磁波谱与可见光谱波长比较
(据 Bloss, 1961)

从电磁波谱中可看出，可见光谱在电磁波谱中是一个很窄的区段，其波长范围大致为 390 ~ 770 nm，波长由短至长相应的颜色次序为：紫、靛、蓝、绿、黄、橙、红七色。通常所见的“白光”没有一定的波长，它是七色光按比例组成的混合光。每一种单色光都有其特定波长，如 580 nm 的光是一种黄光(图 1-3)。

从一个颜色到另一个颜色，并不是截然分开的，而是逐渐过渡的，因此这些波段分法只是一个大概的数字。如果光谱中各个波长的强度大致相等，那么我们看见的就是白光，如太阳光。

描述光波的基本物理量有光速、波长、周期、频率和振幅。

光速 (Velocity): 真空中光速用 c 表示, 是一个常数: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

在介质中光速 (V) 与介质折射率 N 有关: $V = \frac{c}{N}$ 。

波长 (Wavelength): 波在一个振动周期内传播的距离。也就是沿光的传播方向, 两个相邻的同位相点 (如波峰或波谷) 间的距离, 以 λ 表示。波长等于光速和周期的乘积, 即: $\lambda = c \times T$ 。波长单位通常用纳米 (nm) 或埃 (\AA) 表示。它们与其他长度单位的换算关系为: $1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-7} \text{ cm} = 10 \text{ \AA}$ 。

周期 (Periods): 波源完成一次振动所需的时间称为周期, 以 T 表示。

频率 (Frequency): 波源在 1 秒内振动的次数称为频率, 以 f 表示 ($f = c/\lambda$)。例如紫外线波长 $\lambda = 3000 \text{ \AA}$, 其频率 $f = 3 \times 10^{18} / (3 \times 10^3) \text{ Hz} = 1 \times 10^{15} \text{ Hz}$ 。

振幅 (Amplitude): 质点在振动方向上距平衡位置的最大位移距离, 称为振幅, 以 A 表示。

位相 (Phase): 是描述物体振动状态的物理量, 它与物体离开波源的距离及时间有关:

$$\Phi = 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \phi_0$$

ϕ_0 ——初相位 (与波源有关); x ——距离;
 t ——时间。

位相差 (Phase difference): 是指两束波长、振幅、传播方向相同的相干波到达空间某点时, 两光波的位相之差。

另外, 光谱颜色除用波长表示外, 还可用频率及能量表示, 例如黑色火钳放在火中, 随温度升高, 它的颜色便会发生变化, 从黑色经历红与黄到蓝白色, 这个序列必然相应于光能的增加。物质越热, 物体中的原子振动能就越大, 能量也就越高, 有相应的光的频率与之对应。这种对应关系表示在图 1-4 中。图 1-4 说明了光谱以许多方式中的三种方式来标志颜色: 频率, 单位为赫兹 (Hz); 波长, 单位为纳米 (nm); 能量, 单位为电子伏 (eV)。波长和能量成反比, 即能量越大, 波长越短。

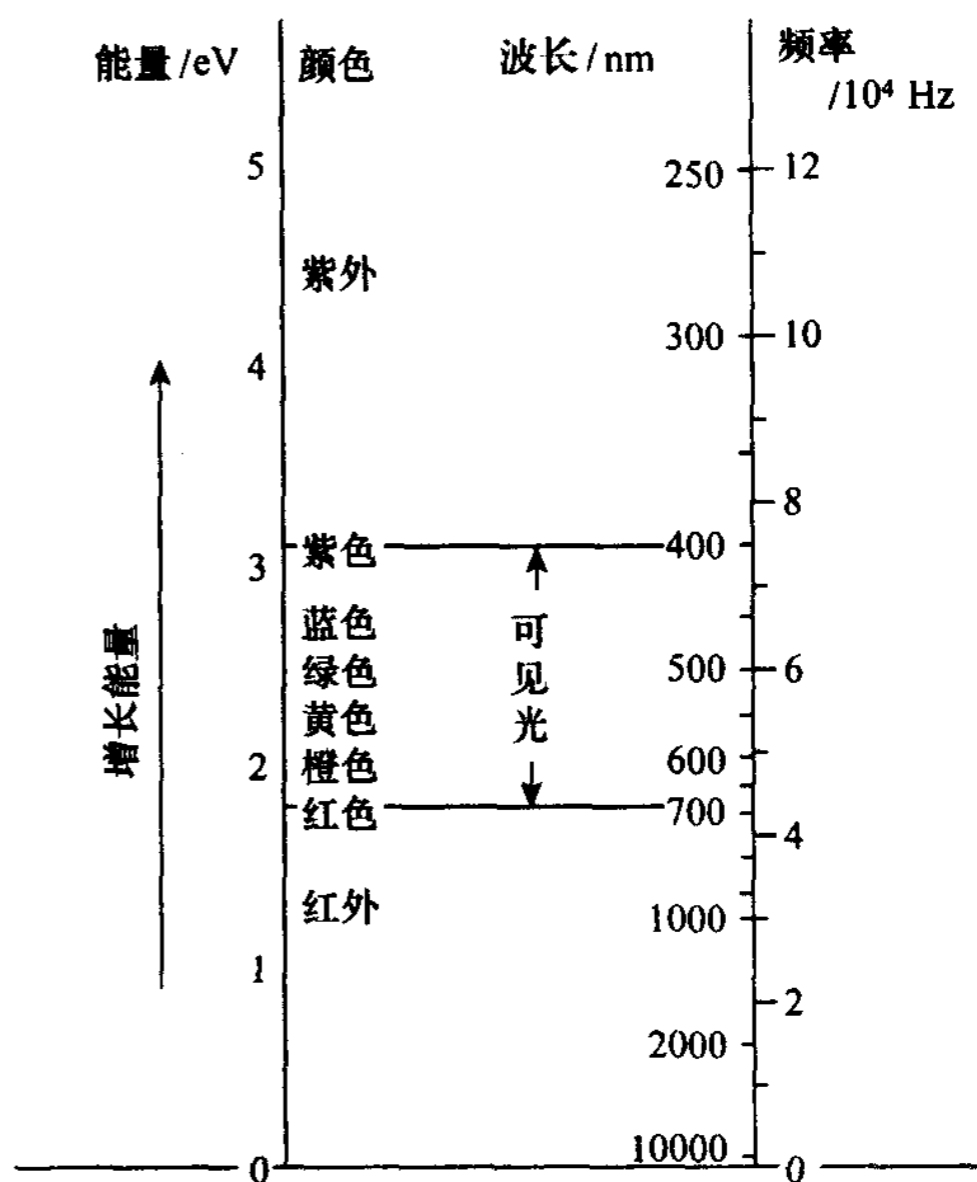


图 1-4 光谱以三种数字方式标志颜色 (据拿骚, 1991)

第二节 自然光和偏光

一、自然光、偏光

光是一种横波, 它的振动方向与传播方向是互相垂直的。根据光波振动的特点, 把光分为自然光和偏光。

1. 自然光 (Light)

自然光是指直接由光源发出的光，如太阳光、灯光等。自然光的光波振动方向在垂直于光波传播方向的平面内，做任何方向等振幅的振动（图1-5A）。

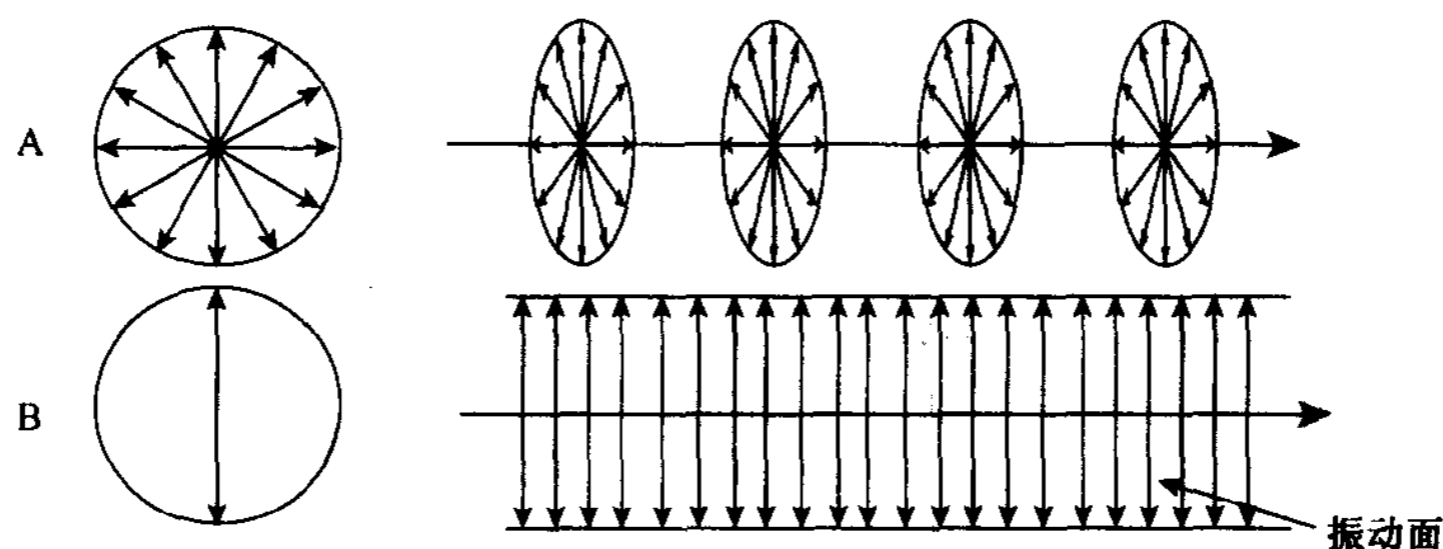


图1-5 自然光 (A) 和偏振光 (B) 的振动方向特点示意图

2. 偏光 (Polarizing light)

自然光经过反射、折射、双折射或选择性吸收等作用后，可以转变为只在一个方向上振动的光波，称为平面偏振光或偏光（图1-5B，图1-6）。偏光振动方向与传播方向所构成的平面称为振动面。自然光转变为偏光的作用称为偏光化作用（图1-6）。

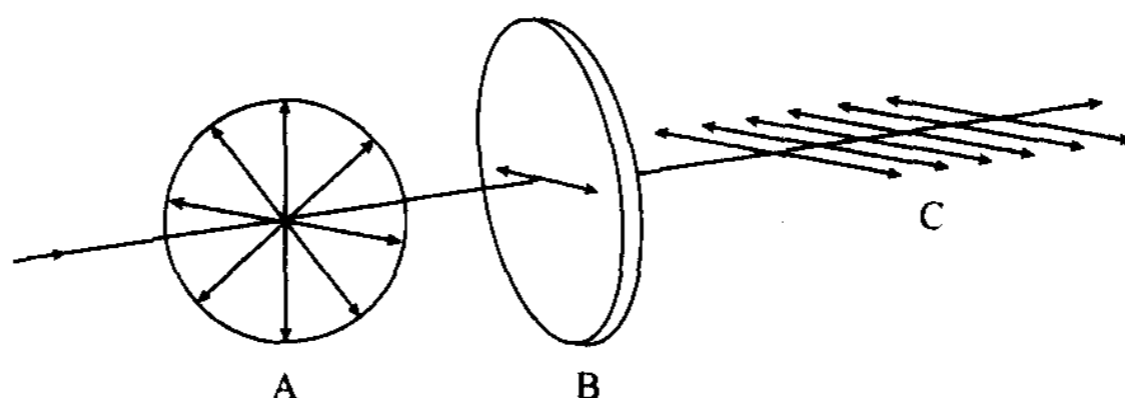


图1-6 自然光 (A) 通过偏光片 (B) 变成了偏光 (C)

晶体光学研究中主要是应用偏光，研究使用的仪器主要是偏光显微镜。被限制在一个平面上振动的光束也可称为平面偏光，偏光显微镜的设计就是建立在这个概念基础上的，它装有把自然光变为偏振光装置的下偏光镜（称起偏器），它主要是利用双折射（尼科尔棱镜）或选择性吸收（偏光片）产生的偏振光。

二、获取平面偏光常见的两种方法

在垂直光波传播方向的平面内，光振动限于某一固定方向，则这种光称为“线偏振光”或“平面偏振光”。获取平面偏光的常见方法有：尼科尔棱镜法、偏振片（偏光片）法。

1. 尼科尔棱镜法

该方法是由英国物理学家尼科尔（William Nicol, 1768 ~ 1851）于1828年发明的，是将长度约为宽度3倍的透明的冰洲石晶体沿对角线方向锯开后磨光，再用加拿大树胶粘合制成。自然光从镜的一端射入后，分成振动方向互相垂直的两束偏光，即常光（ N_o ）和非常光（ N_e ）（其中常光 $N_o = 1.658$ ），被加拿大树胶（ $N = 1.54$ ）的表面全反射（全反射后偏向一边，被涂黑的侧面吸收），非常光（ $N_e = 1.486$ ）仍沿原方向从镜内射出，是平面偏光，见图1-7。

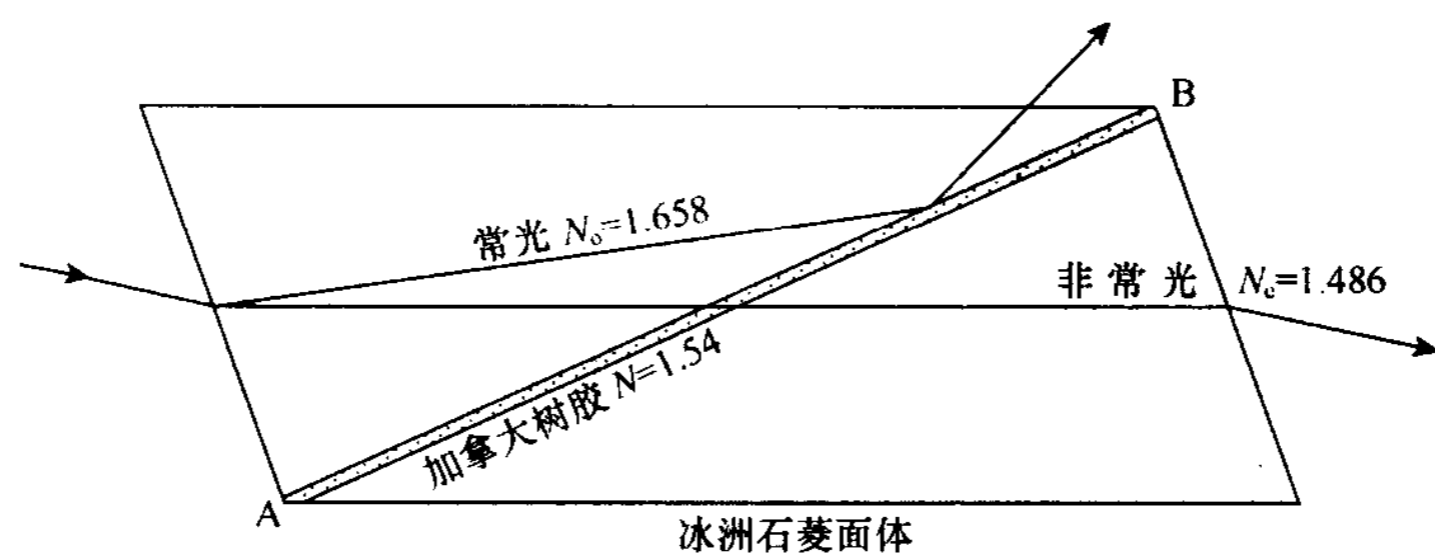


图 1-7 尼科尔棱镜

优点：获得偏光较纯净。

缺点：冰洲石较易受振动，而产生裂纹，引起光的反射、折射或受温差变化而脱胶。

2. 偏振片（偏光片）法

偏振片是一种使自然光变为“线偏振光”的人造透明薄片。一般用具有网状分子结构的高分子化合物——聚乙烯醇薄膜作为片基，将这种薄膜浸染在碘溶液中，经硼酸水溶液还原稳定后，再将其单向拉伸 4~5 倍以上而制成。拉伸后聚乙烯醇薄膜的分子便由网状结构变为线性结构，碘分子被吸附在单向排列的聚乙烯醇分子上，而使光只能沿平行线状结构的方向通过而具有起偏或检偏性能，这种偏振片称为 H—偏振片。

优点：人造偏振片工艺简单，可以大面积拉伸，偏振度高达 99.5%，又适用整个可见光范围，装置仪器简便，价格较便宜。

缺点：不能受潮，容易老化，发生脱偏光化现象。

第三节 几何光学的三大定律

抛开光的波动性质，仅以光的直线传播性质为基础，研究光在透明介质中的传播问题的光学称为几何光学。几何光学的三大定律为：①光的直线传播定律；②光的反射定律；③光的折射定律。它们是各种光学仪器设计的理论基础，也是研究晶体光学重要的理论基础。

一、光的直线传播定律

光在同一介质中是直线传播的，称为光的直线传播定律。例如：阳光照进屋里，夜间手电筒的亮光，其传播路线都是直的。这些现象说明，光在空气里是直线传播的（像空气这样能够传播光的物质称光的介质），实验表明，光在水、玻璃介质中也是直线传播的。

光在真空中（或空气中）光速为 3.0×10^8 m/s，光在水中的速度约为真空中的 $3/4$ ，而光在玻璃中的速度比在水中小，这表明光在不同介质中的传播速度是不同的。

光在其中传播速度比较快的介质称为光疏介质，传播速度比较慢的介质称为光密介质。光疏、光密是相对的，例如，水相对空气来说为光密介质，而水相对玻璃或晶体则为光疏介质。一般空气为低密度、低折射率、高光速的，而矿物则为高密度、高折射率、低