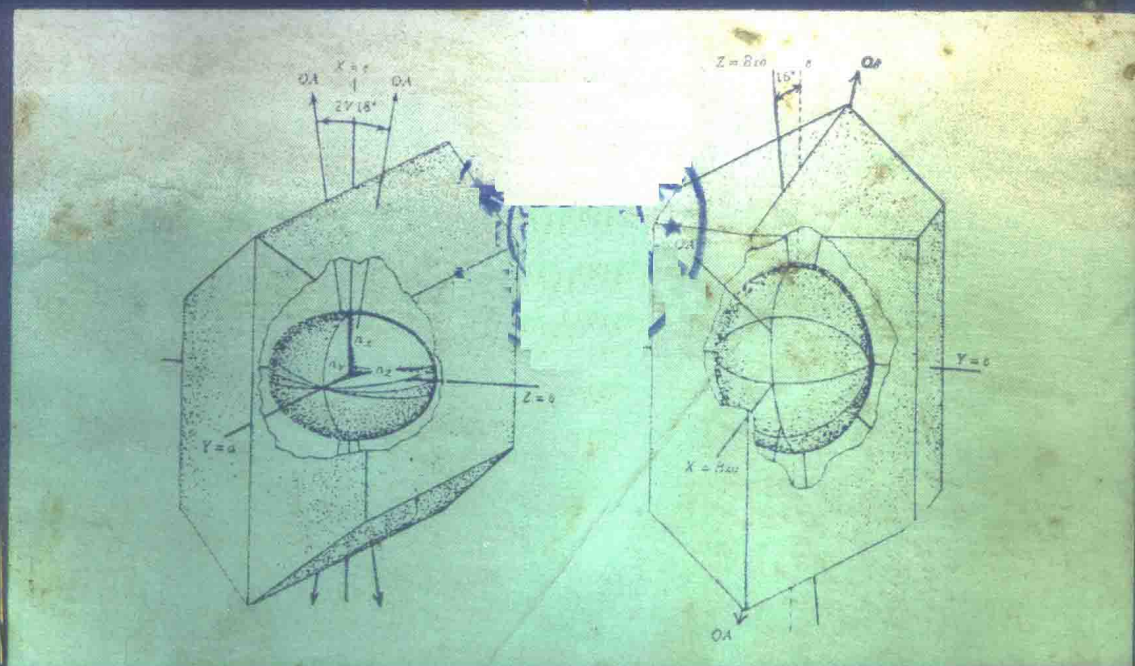


高等学校教材

晶体光学

成都地质学院 李德惠 主编



地质出版社

高等学校教材

晶 体 光 学

成都地质学院 李德惠 主编

地 质 出 版 社

※ ※ ※

本书由地质矿产部岩石学教材编审委员会岩浆岩编审小组委托路风香、杨承运主审，同意作为高等学校教材出版。

※ ※ ※

高等学校教材

晶体光学

成都地质学院 李德惠 主编

地质矿产部教材编辑室编辑

责任编辑 李家振

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆。印张：8 字数：182,000

1984年4月北京第一版·1984年4月北京第一次印刷

印数：1—24,690册 定价：1.30元

统一书号：15038·教175

前 言

晶体光学主要是研究可见光通过透明晶体所产生的一些光学现象及其规律的一门科学。不同的晶体其光学性质不相同，因此，晶体光学是研究鉴定透明矿物的重要方法。目前，晶体光学的应用范围已不局限于矿物、岩石方面，在玻璃、陶瓷、药品、盐类、化肥、铸石及建筑材料等生产和科研部门，也广泛地应用晶体光学原理和方法进行研究鉴定，而且日益引起人们的重视。

本书主要阐述在偏光显微镜下研究鉴定透明矿物的基本方法和原理。因为晶体光学鉴定法是鉴定透明矿物和岩石最基本的和最广泛应用的方法，所以它是学习岩石学的重要基础之一。在教学计划中，它是岩石学课程的一个组成部分。

本书根据一九八二年三月在北京召开的岩石学教材编审委员会通过的编写大纲编写而成。在编写过程中，以一九七九年“晶体光学”统编教材为基础，结合我院使用过程中发现的问题，吸取了兄弟院校教材及国外有关教科书的优点，并注意了加强基础理论和反映现代科学成果、理论联系实际及提高分析问题和解决问题的能力。

本书的内容和份量适用于地质学、地质矿产调查及石油地质等专业。也可供岩矿专业及岩矿鉴定人员参考。

书中一、二、五、七章及附录由李德惠编写（附录中有一部分由刘岫峰编写），三、四、六章由陈之萱编写，全书由李德惠统一修定。其中有部分插图由张云震设计绘制，彩色照片由周述和摄制。本院绘图室清绘全部插图。

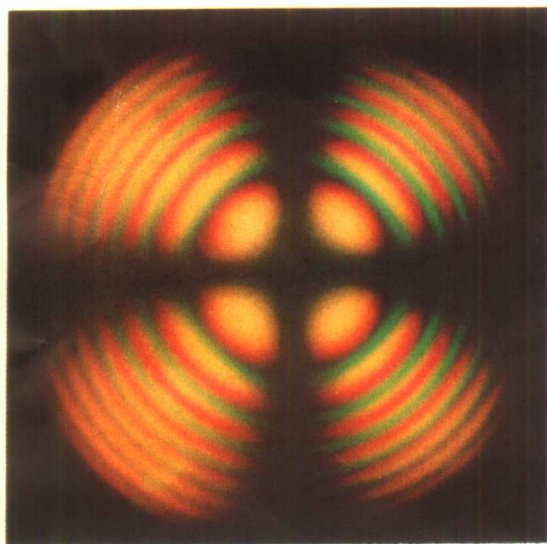
初稿由路凤香、杨承运二同志审查并提出了十分宝贵的修改意见。此后由李德惠根据他们的意见进行修改和补充。审阅同志所提的意见，促进本书质量的提高，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

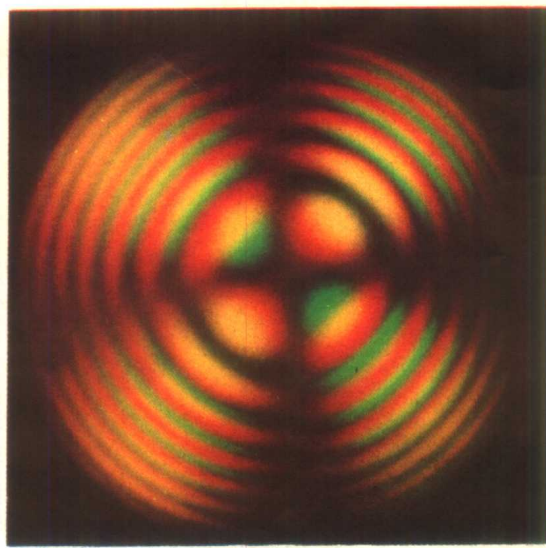
编者

1983年4月10日

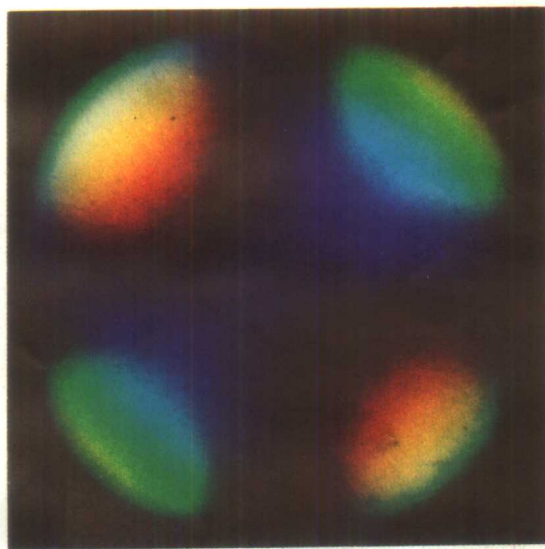
彩色图版 I



照片1. 一轴晶垂直光轴切片干涉图
(双折率大, 干涉色色圈多)

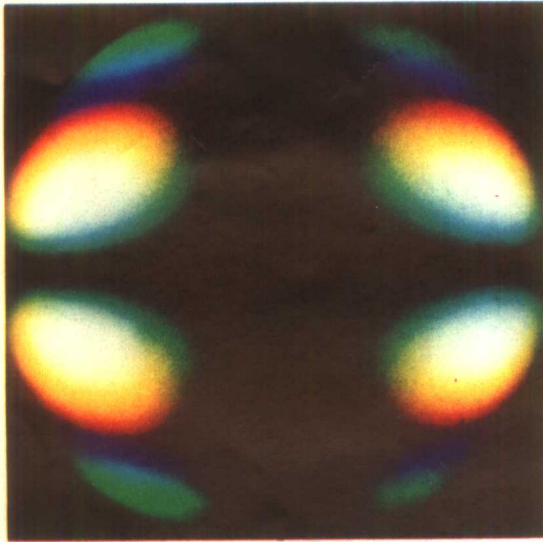


照片2. 一轴晶垂直光轴切片干涉图(色圈多), 加入石膏试板后, 干涉图变化情况
(试板上 N_g 方向平行1,3象限, 负光性)

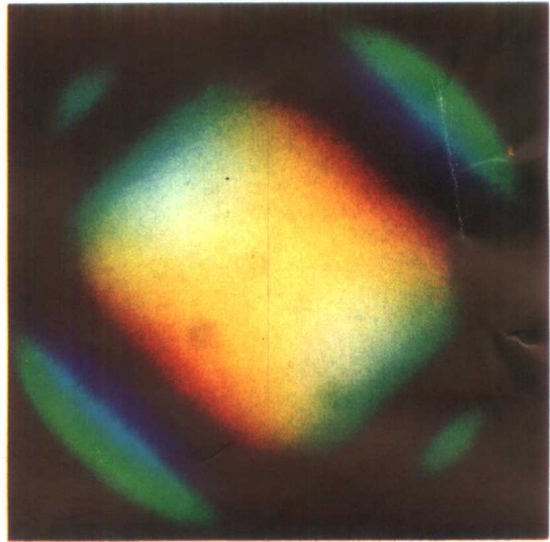


照片3. 一轴晶垂直光轴切片干涉图(双折率小, 仅见一个干涉色圈), 加入石膏试板后, 干涉图变化情况
(试板上 N_g 方向平行1,3象限, 正光性)

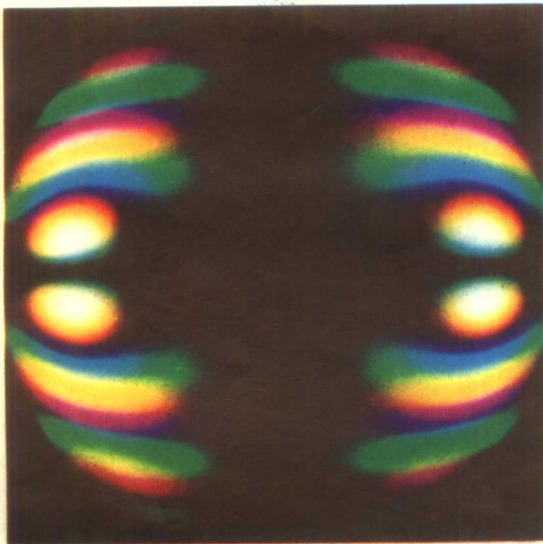
彩色图版 II



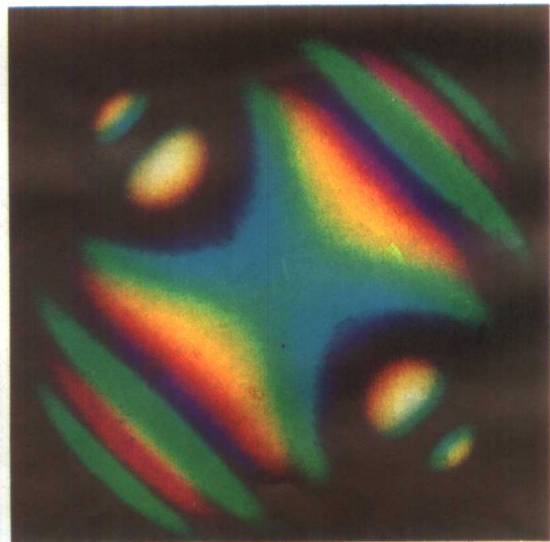
照片4. 二轴晶垂直 Bxa 切片, 当 $Ap \parallel AA$ 时的干涉图 (色圈较少)



照片5. 二轴晶垂直 Bxa 切片, 当 Ap 与 AA 、 PP 成 45° 夹角时的干涉图 (色圈较少)

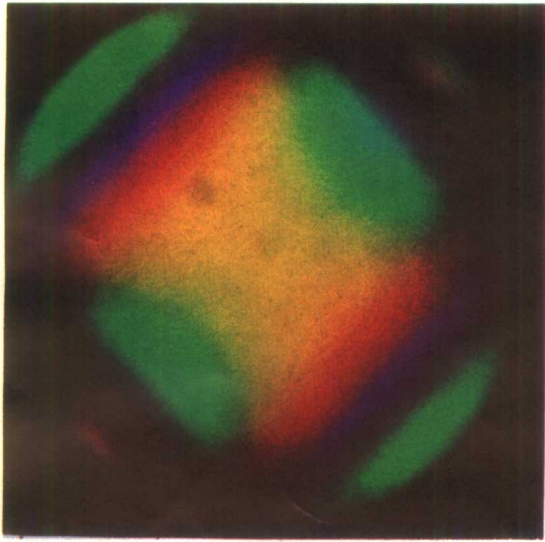


照片6. 二轴晶垂直 Bxa 切片, 当 $Ap \parallel AA$ 时的干涉图 (色圈多)



照片7. 二轴晶垂直 Bxa 切片, 当 Ap 与 AA 、 PP 成 45° 夹角时的干涉图 (色圈多)

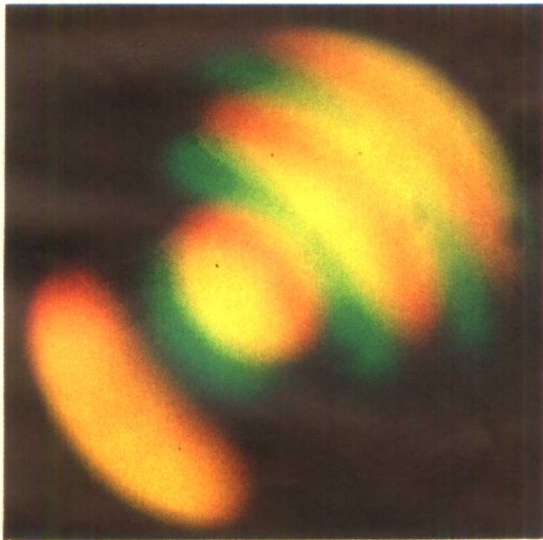
彩色图版 III



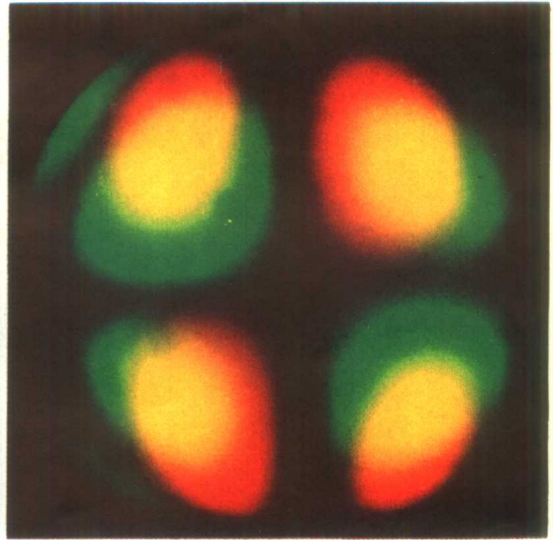
照片8. 二轴晶垂直 Bxa 切片, 当 Ap 与 AA 、 PP 成 45° 夹角时的干涉图 (色圈较少), 加入石膏试板后, 干涉图变化情况 (试板上 N_g 方向平行 1.3 象限, 负光性)



照片9. 二轴晶垂直 Bxa 切片, 当 Ap 与 AA 、 PP 成 45° 夹角时的干涉图 (色圈较多), 加入石膏试板后, 干涉图变化情况 (试板上 N_g 方向平行 1.3 象限, 负光性)

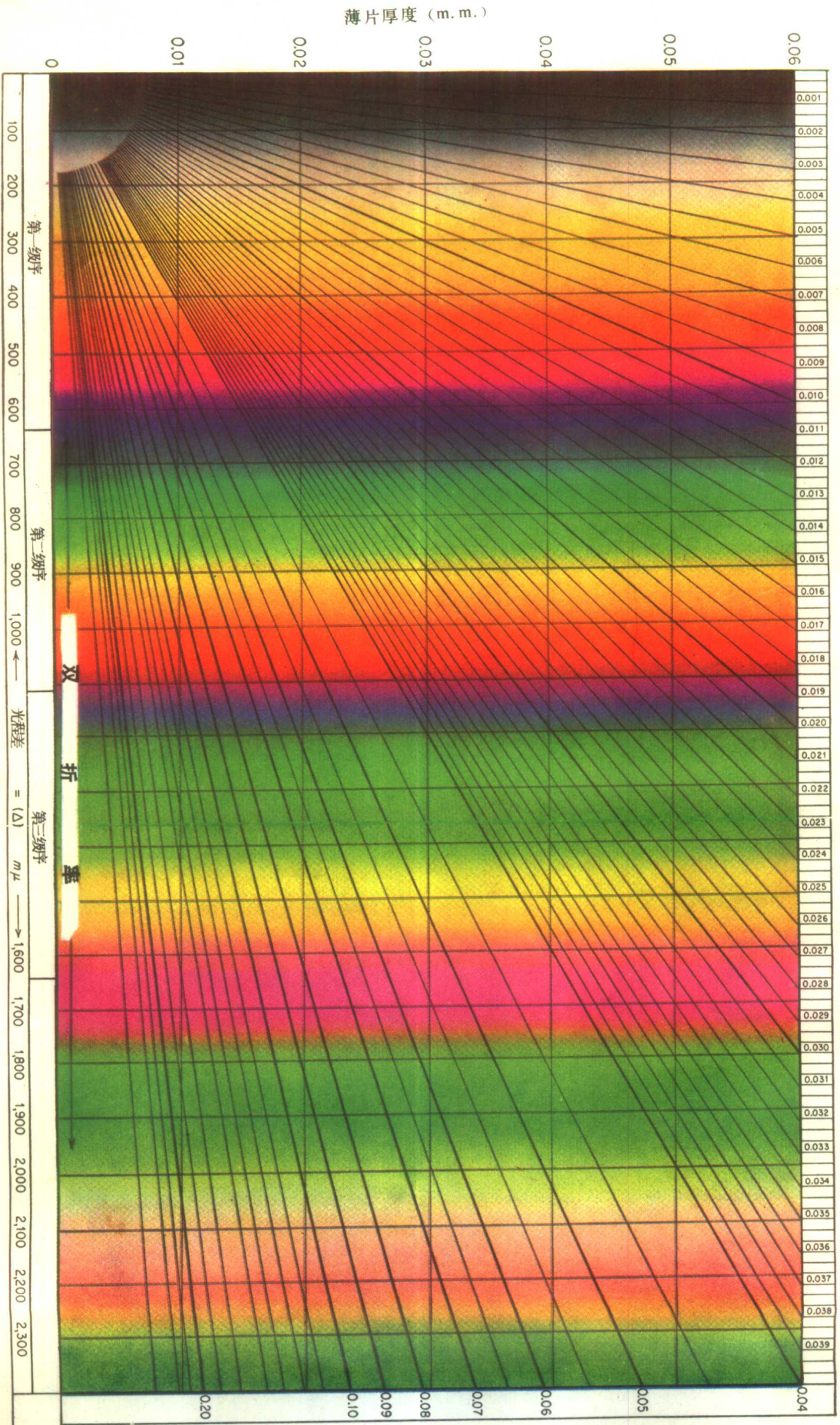


照片10. 榊石的色散现象 (近于垂直光轴切片, $\gamma > \nu$)



照片11. 板钛矿的正交光轴面色散 (垂直 Bxa 切片, 红光光轴面在 AA 方向, 紫光光轴面在 PP 方向)

干涉色谱表



目 录

前言

第一章 晶体光学基础	1
第一节 光的波动性	1
第二节 光的折射及全反射	2
一、光的折射及折射率	2
二、光的全反射及全反射临界角	3
第三节 自然光和偏振光	4
第四节 光波在均质体和非均质体中的传播特点	4
第五节 光率体	6
一、均质体的光率体	6
二、一轴晶光率体	6
三、二轴晶光率体	9
第六节 光性方位	13
一、中级晶族晶体的光性方位	13
二、低级晶族晶体的光性方位	14
第七节 色散	15
一、均质体的光率体色散	15
二、一轴晶的光率体色散	15
三、二轴晶的光率体色散	16
第二章 偏光显微镜	19
第一节 偏光显微镜的构造	19
第二节 偏光显微镜的调节与校正	22
一、装卸镜头	22
二、调节照明（对光）	22
三、调节焦距（准焦）	22
四、校正中心	23
五、视域直径的测定	25
六、目镜十字丝的检查	25
七、偏光镜的校正	25
第三节 岩石薄片磨制法简介	26
第三章 单偏光镜下的晶体光学性质	28
第一节 单偏光镜的装置及特点	28
第二节 矿物的形态及解理	28
一、矿物的形态	28
二、解理	30
三、解理夹角的测定	31

第三节 薄片矿物的颜色与多色性、吸收性	32
一、矿物的颜色	32
二、多色性与吸收性	33
第四节 薄片矿物的边缘、贝克线、糙面及突起	35
一、矿物的边缘与贝克线	35
二、矿物的糙面	36
三、矿物的突起	36
四、闪突起	38
第四章 正交偏光镜间的晶体光学性质	40
第一节 正交偏光镜的装置及光学特点	40
第二节 正交偏光镜间矿片的消光现象及消光位	40
第三节 正交偏光镜间矿片的干涉现象	41
第四节 干涉色及干涉色色谱表	44
一、干涉色及其成因	44
二、干涉色级序及各级序的特征	45
三、干涉色色谱表	47
四、异常干涉色	47
五、平行偏光镜间的干涉色	48
第五节 补色法则及补色器	49
一、补色法则	49
二、几种常用的补色器	50
三、几种其它的补色器	53
第六节 正交偏光镜间主要光学性质的观察与测定	54
一、非均质体矿片上光率体椭圆半径方向和名称的测定	54
二、干涉色级序的观察和测定	55
三、双折率的测定	56
四、消光类型与消光角的测定	57
五、晶体延性符号的测定	80
六、双晶的观察	81
第五章 锥光镜下的晶体光学性质	64
第一节 锥光镜的装置及光学特点	64
第二节 一轴晶干涉图	65
一、垂直光轴切片的干涉图	65
二、斜交光轴切片的干涉图	70
三、平行光轴切片的干涉图	71
第三节 二轴晶干涉图	74
一、垂直锐角等分线 ($Bx\alpha$) 切片的干涉图	74
二、垂直一个光轴切片的干涉图	84
三、斜交光轴切片的干涉图	86
四、垂直钝角等分线 ($Bx\omega$) 切片的干涉图	87
五、平行光轴面切片的干涉图	89

IV

第四节 锥光镜下色散现象的观察	89
一、斜方晶系矿物的色散	89
二、单斜晶系矿物的色散	92
三、三斜晶系矿物的色散	94
第六章 透明矿物薄片的系统鉴定	97
一、透明矿物薄片系统鉴定的内容	97
二、定向切片的选择及其特征	97
三、透明矿物薄片系统鉴定的程序	98
四、半圆柱坐标鉴定系统简介	99
第七章 油浸法简介	102
第一节 浸油的配制及测定浸油折射率的方法	102
一、浸油的配制	102
二、浸油折射率的测定	103
第二节 油浸法测定折射率的方法	105
一、碎屑油浸薄片的制备方法	105
二、碎屑油浸薄片, 比较矿物碎屑与浸油折射率相对大小的方法	106
三、油浸法测定折射率的具体步骤	107
附录	
岩石薄片矿物颗粒大小及含量的测定	111
一、岩石薄片矿物颗粒大小的测定	111
二、岩石薄片矿物百分含量的测定	112
彩色干涉色色谱表 (插页)	
彩色照片图版 (插页)	
主要参考文献	121

第一章 晶体光学基础

第一节 光的波动性

大量物理学的科学实验早已证明，光和无线电波一样是一种电磁波。电磁波是电磁振动（变化的电磁场）在空间的传播过程。电磁振动方向垂直其传播方向，即它们是横波。

整个电磁波是一个广阔的区段。它包括波长较长的无线电波，直至波长最短的 γ 射线。将各种波长的电磁波按其波长顺序排列，即构成电磁波谱（图1）。

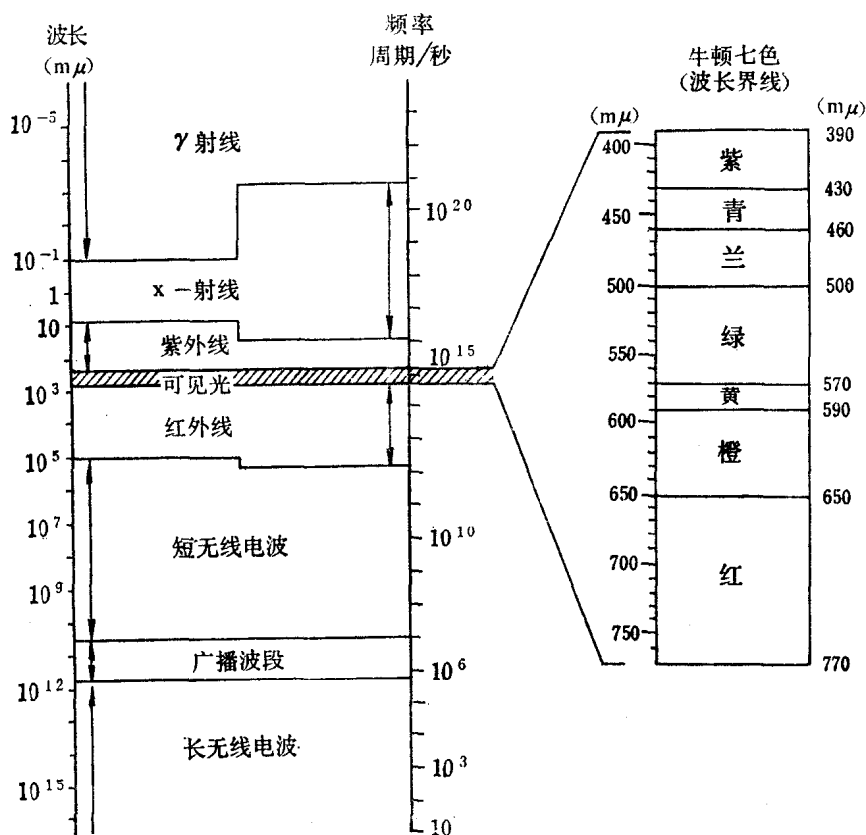


图1 电磁波谱

(据 E. E. Wahlstrom, 1979年, 修改)

从电磁波谱可看出，可见光波仅仅是电磁波谱中很窄的一个小区段，其波长范围大致为390—770 $m\mu$ 。可见光波中频率不同的光波呈现不同的颜色。图1右侧表示各种色光波长的大致范围。波长由长至短，相应的颜色由红经过橙、黄、绿、蓝、青连续过渡到紫色。

我们通常所见的“白光”，实质上是各种色光组成的混合光。

光波的波长单位通常用毫微米 ($m\mu$) 或埃 (\AA)。它们与其它常用长度单位的换算关系为：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 毫微米}(m\mu) &= 10 \text{ 埃}(\text{\AA}) = 10^{-3} \text{ 微米}(\mu) \\ &= 10^{-6} \text{ 毫米}(mm) = 10^{-7} \text{ 厘米}(cm) \end{aligned}$$

第二节 光的折射及全反射

一、光的折射及折射率

当光波从一种介质传到另一种介质时，在两种介质的分界面上将发生反射及折射现象。反射光按反射定律返回原介质，折射光按折射定律折射进入另一介质。透明矿物的研究，主要涉及折射光。因此，我们着重介绍折射光所遵循的规律。下面介绍根据惠更斯原理证明折射定律。

图 2 中 AB 代表两种不同介质的分界面（垂直纸面），界面的垂线称法线。设有一平行光束倾斜射向界面， R_1 、 R_2 为该光束中的两条代表光线。设 i 代表入射光与法线的夹角（入射角）， r 代表折射光与法线的夹角（折射角）。设 V_1 代表光波在入射介质中的传播速度， V_2 代表光波在折射介质中的传播速度。设在 t_1 瞬间，入射光束的波前到达 ON 面。根据惠更斯原理，波前 ON 面上的每一点均可视为发射子波的新波源。当光线 R_1 从 O 点进入折射介质时，光线 R_2 仍在原入射介质中传播。至 t_2 瞬间， R_2 到达界面上的 M 点， R_1 已在折射介质中传播了 OS 距离， $OS = V_2(t_2 - t_1)$ ，即 R_1 从 O 点发出的子波已在折射介质中形成以 OS 为半径的一个半圆波面。从 M 点向此半圆波面作一切线与波面相切于 S 点。MS 即为 t_2 瞬间折射光束的波前，OS 为折射光束的传播方向。

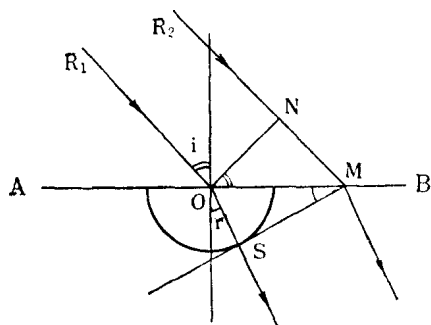


图 2 光的折射

图 2 的 $\triangle OMN$ 中 $\angle NOM = i$

$$MN = OM \sin i \quad (1)$$

$\triangle OSM$ 中 $\angle OMS = r$

$$OS = OM \sin r \quad (2)$$

以 (2) 式除 (1) 式：
$$\frac{MN}{OS} = \frac{OM \sin i}{OM \sin r}$$

因 $MN = V_1(t_2 - t_1)$ ， $OS = V_2(t_2 - t_1)$

代入上式即得：

$$\frac{V_1(t_2 - t_1)}{V_2(t_2 - t_1)} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

即

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sin i}{\sin r} = N \quad (3)$$

(3) 式即为折射定律。当两个介质一定时， N 为一常数，称为第二介质（折射介质）对第一介质（入射介质）的相对折射率。如果入射介质为真空（或空气），则 N 值称为折

射介质的绝对折射率，简称折射率。

从(3)式可以看出，光波在介质中的传播速度愈大，该介质的折射率愈小；反之，光波在介质中的传播速度愈小，其折射率愈大。即介质的折射率值与光波在该介质中的传播速度成反比（即 $V_i/V_r = N_r/N_i$ ）。

一般说来，光在真空中的传播速度最大。光在空气中的传播速度与真空中的传播速度几乎相等，通常把空气的折射率视为1。严格说来，空气的折射率为1.0003或1.00029。光在其它液态和固态介质中的传播速度总是小于真空中的传播速度，因此，它们的折射率总是大于1。

介质的折射率大小取决于光波在该介质中的传播速度。光波的传播速度又取决于光与介质的相互作用。一定特征（波长，振动方向等）的某种光波在介质中的传播速度最终取决于该介质的组成成分及其微观结构（离子排列、键性及堆积的紧密程度）。因此，折射率值是反映介质（尤其是晶体）的成分及微观结构的重要常数。实践证明，折射率值是鉴定透明矿物较可靠的光学常数之一。

二、光的全反射及全反射临界角

由折射定律可知，当光由折射率较小的介质（光疏介质）射入折射率较大的介质（光密介质）时，其 $V_r < V_i$ ，相对折射率大于1，即 $\sin i / \sin r > 1$ ， $i > r$ ，其折射线更靠近法线。反之，当光由折射率较大的介质射入折射率较小的介质时，其 $V_r > V_i$ ，相对折射率小于1，即 $\sin i / \sin r < 1$ ， $i < r$ ，其折射线更远离法线。

设一玻璃块的折射率大于空气（图3），玻璃块底部的光波O向各方向发出OA，OB，OC，OD，OE等一系列光线。其中OA垂直界面， $i = 0^\circ$ ，故 $r = 0^\circ$ ，不发生折射，光线AA'沿OA的原方向射入空气。OB光线入射角 $i = 10^\circ$ ，在界面上的B点折射形成折射线BB'（为清楚起见未表示反射线），其折射角大于入射角（ $r > i$ ），BB'比OB更远离法线。随着入射角的逐渐增大，折射角必将不断增大，折射线愈来愈远离法线。至OD光时， $i = 30^\circ$ ，算得其 $r = 90^\circ$ ，表示相应的折射线DD'将沿界面进行。此后，如果光线的入射角继续增大，如图3中的OE光线， $i = 40^\circ$ ，其折射角 r 大于 90° ，表示“折射线”已经不在折射介质中，而这是不可能的。这一矛盾的结果意味着折射线已不复存在，折射现象亦不复存在。入射光的能量将只能全部变为反射光的能量，即入射光的全部能量将以反射光形式按反射定律（入射角=反射角）全部反回入射介质中（如图3的EE'光线）。此时观察到的反射线强度随着折射线的消失而出现一突变性的飞跃增强。这一现象称全反射。与 $r = 90^\circ$ 相应的人射角称全反射临界角（如图3中玻璃块的全反射临界角为 30° ）。设图3中玻璃块上方介质的折射率为 n ，玻璃块的折射率为 N （ $N > n$ ），以 ϕ 角代表全反射临界角，则得下式：

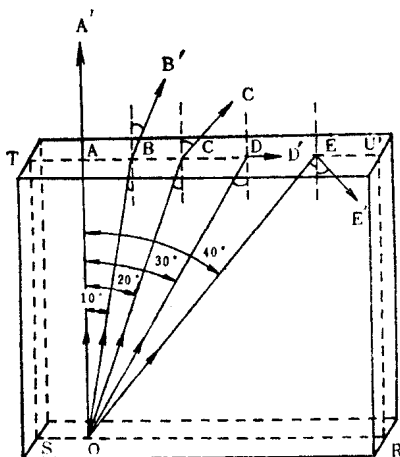


图3 全反射及临界角示意图

$$\sin \phi / \sin 90^\circ = n / N$$

$$n = N \cdot \sin \phi$$

由上式可知，如果大折射率介质的 N 值为已知值时，则可根据全反射临界角计算出小折射率介质的 n 值。测定折射率值的阿贝折射仪就是利用全反射原理设计制成的（油浸法一章中介绍）。如果已知两个介质的 N 和 n ，即可计算其全反射临界角。

第三节 自然光和偏振光

根据光波的振动特点，可分为自然光及偏振光。从光源直接发出的光，一般都是自然光，如太阳光、灯光等。自然光是由无数方向横振动合成的复杂混合波。其振动特点是：在垂直光波传播方向的平面内，各个方向上都有等振幅的光振动（图4 A）。

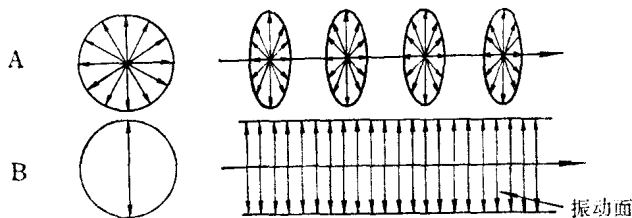


图4 自然光和偏振光振动特点示意图
A—自然光；B—偏振光

只在垂直传播方向的某一固定方向上振动的光波，称平面偏振光，简称偏振光或偏光（图4 B）。偏光振动方向与传播方向所构成的平面称振动面。

自然光经过反射、折射、双折射及选择吸收作用可以转变为偏光，使自然光转变为偏光的作用称

为偏光化作用。晶体光学研究中主要是应用偏光。研究的主要工具是偏光显微镜，其中装有使自然光转变为偏光的偏光镜。偏光镜通常是利用双折射作用（尼科尔棱镜等）或选择吸收作用（偏光片）产生偏光的原理制成的。自然光通过偏光镜（起偏镜）后即转变成振动方向固定的偏光。

第四节 光波在均质体和非均质体中的传播特点

根据透明物质的光学性质，可划分为均质体和非均质体两大类。等轴晶系矿物和非晶物质的光学性质各方向相同，称为光性均质体，简称均质体，如石榴石、萤石、火山玻璃、加拿大树胶等都是均质体。中级晶族和低级晶族矿物的对称程度低于等轴晶系矿物，其光学性质随方向而异，称为光性非均质体，简称非均质体，如石英、长石、橄榄石等。绝大多数造岩矿物属于非均质体，是我们研究的重点。

光性均质体（各向同性介质）：特定频率的光波在均质体中传播时，其传播速度不因光波在晶体中的振动方向不同而发生改变。也就是说，均质体的折射率值不因光波在晶体中的振动方向不同而发生改变，其折射率值只有一个。光波射入均质体中发生单折射现象（如第二节所述），基本不改变入射光波的振动特点和振动方向（图5）。也就是说，自然光射入均质体后，基本上仍为自然光，偏光射入均质体后仍为偏光，而且其振动方向基本不改变。

光性非均质体（各向异性介质）：特定频率的光波在非均质体中传播时，其传播速度随光波在晶体中的振动方向不同而发生改变。因此，非均质体的折射率值亦随光波在晶体中的振动方向不同而发生变化，即非均质体的折射率值有许多个。光波射入非均质体，除特殊方向外，都要发生双折射，分解形成振动方向不同、传播速度不同、折射率值不等的两

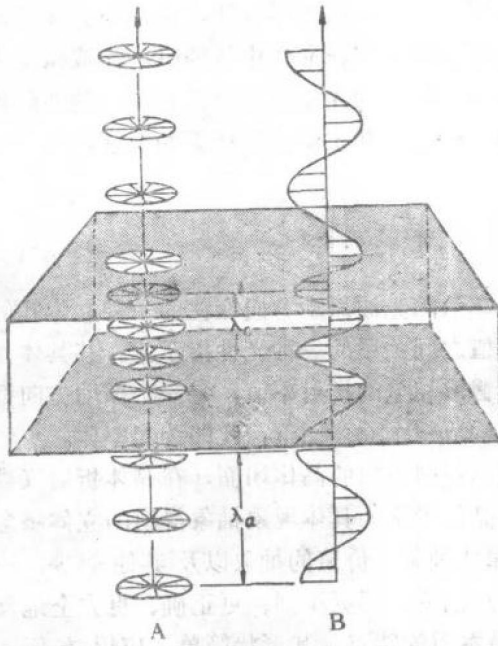


图 5 光波垂直均质体薄片入射示意图
A—自然光，B—偏振光
(据 F. D. Bloss, 1961, 修改)

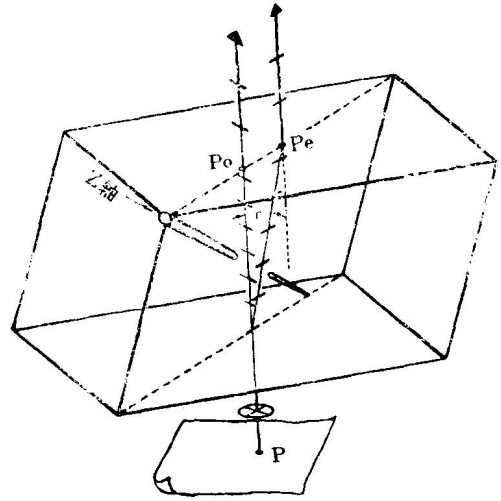


图 6 冰洲石的双折射现象
(据 F. D. Bloss, 1961, 修改)

种偏光 (如图 6 中的 P_o 与 P_e)。两种偏光的折射率值之差称为双折率。当入射光波为自然光时，非均质体能改变入射光波的振动特点。当入射光波为偏光时，也可以改变入射光波的振动方向。

是不是光波沿任何方向射入都要发生双折射呢？实验证明，光波沿非均质体的特殊方向射入时（如沿中级晶族晶体的 Z 轴方向），不发生双折射，基本不改变入射光波的振动特点和振动方向。非均质体中，这种不发生双折射的特殊方向称为光轴。中级晶族晶体只有一个光轴方向，称为一轴晶；低级晶族晶体有两个光轴方向，称为二轴晶。

特定频率的光波射入一轴晶矿物，发生双折射分解成两种偏光（图 6）。一种偏光的振动方向永远垂直 Z 晶轴，其传播速度及折射率值不变，称为常光，以符号“ o ”表示（图 6 中的 P_o ）。另一种偏光的振动方向平行于 Z 晶轴与光波传播方向（波法线）所构成的平面，其传播速度及折射率值随振动方向不同而改变，称为非常光，以符号“ e ”表示（图 6 中的 P_e ）。

光波在非均质体中的传播速度为什么与光波在晶体中的振动方向有关呢？根据电磁波理论，组成物质的原子或离子受电磁波扰动将极化成偶极子，可见光在物质中的传播主要是通过偶极子的感应振动进行的。在晶体中，使振动偶极子回复到平衡位置的回复力强度控制光波的传播速度。也就是说光波在晶体中的传播速度随振动偶极子回复力的增强而加大。偶极子的振动及其回复力是横切光波传播方向的。因此，光在晶体中的传播速度取决于光波的振动方向而不决定于传播方向。同理，晶体的折射率值取决于光波的振动方向，即非均质体的折射率值随光波在晶体中的振动方向不同而改变。

晶体中感应振动偶极子的回复力强度取决于组成晶体的离子种类、键性、离子排列形

式及堆积的紧密程度。

实验证明，透明矿物薄片在偏光显微镜下所显示的一些光学性质，大都与光波在晶体中的振动方向及相应折射率值有密切联系。为了反映光波在晶体中传播时，光波振动方向与相应折射率值之间的关系，我们使用物理学中所建立的光率体概念。在探讨透明矿物薄片的光学性质之前，必须了解各类晶体的光率体特征及其主要方向切面的特征。

第五节 光率体

光率体是表示光波在晶体中传播时，折射率值随光波振动方向变化的一种立体几何图形。也可以说它是光波振动方向与相应折射率值之间关系的一种光性指示体。其具体作法是设想自晶体中心起，沿光波振动方向按比例截取相应的折射率值，每一个振动方向都能作出一个线段，把各个线段的端点连接起来便构成一个立体图形，此即为光率体。

晶体中不同振动方向的折射率值，可以利用不同方向的晶体切面，在晶体折射仪或油浸法中测出。因此，光率体不是臆造的，而是从晶体光学的具体现象抽象得出的立体概念。伟大导师列宁曾说过：“物质的抽象，自然规律的抽象，价值的抽象以及其他等等，一句话，一切科学的（正确的、郑重的、非臆说的）抽象，都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”因而光率体反映了晶体光学性质中最本质的特点。其形状简单，应用方便。在以后各章中都将应用光率体解释各种晶体光学现象。用偏光显微镜鉴定造岩矿物时，也是以光率体在每种矿物中的方位为依据。

各类晶体的光学性质不同，所构成的光率体形状也不相同，兹分述如下：

一、均质体的光率体

光波在均质体中传播时，向任何方向振动，其传播速度不变，折射率值相等。因此，均质体的光率体是一个圆球体（图7）。均质体光率体任何方向的切面都是圆切面，圆切面的半径代表均质体的折射率值（ N ）。

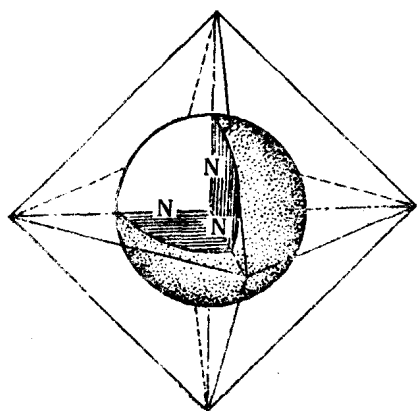


图7 均质体的光率体

晶轴为旋转轴的旋转椭球体，而且有正负之分。兹以石英和方解石为例，分别加以说明。

二、一轴晶光率体

中级晶族矿物晶体的水平结晶轴单位相等，其水平方向上的光学性质相同。根据测定，这类矿物有最大和最小两个主折射率值，分别以符号 N_e 和 N_o 表示。光波振动方向平行 Z 轴时，相应的折射率值为 N_e ；光波振动方向垂直 Z 轴时，相应的折射率值为 N_o 。光波振动方向斜交 Z 轴时，相应的折射率值大小递变于 N_e 与 N_o 之间，以符号 N_e' 表示。 N_e' 值大小随光波振动方向与 Z 轴的夹角大小而变化。光波振动方向与 Z 轴夹角小时， N_e' 接近于 N_e ；随着夹角的逐渐加大， N_e' 逐渐向 N_o 靠近，至等于 90° 时即为 N_o 。显然，一轴晶光率体是一个以 Z

当光波平行石英 Z 轴方向射入晶体时（图8A），不发生双折射，在晶体折射仪上测得