

中央人民政府地質部推薦  
高等學校教材試用本

晶體

# 光學薄片研究法

契特維里科夫著

地質出版社

中央人民政府地質部推薦

高等學校教材試用本

# 晶體光學薄片研究法

契特維里科夫著

地質出版社

1954•北京

本書係根據蘇聯國立地質書籍出版社(Госгеоиздат) 1949年於莫斯科出版的“晶體光學薄片研究法”(Методика кристаллооптических исследований шлифов)一書而譯出的,原著者為蘇聯契特維里科夫(С.Д. Четвериков)。

原書經蘇聯高等教育部批准作為高等學校地質勘探專業的主要參考書。

本書由南京大學孫鼎、王德滋、韓同蓉、楊美娥四同志翻譯。

書後附的“重屈折率表”,原書是彩色圖,因印刷條件所限,改印成無色的,請讀者鑒諒。

書號0093 晶體光學薄片研究法 120千字

著者 契特維里科夫

譯者 孫鼎 王德滋  
韓同蓉 楊美娥

出版者 地質出版社

北京安定門外六鋪炕

北京市書刊出版業營業許可證出字第005號

發行者 新華書店

印刷者 北京市印刷一廠

北京西便門南大街一號

印數(京) 1—4,000 一九五四年十月北京第一版

定價10,000元 一九五四年十月第一次印刷

開本31"×45"  $\frac{1}{32}$  6  $\frac{9}{25}$ 印張

## 中央人民政府地質部推薦

### 高等學校 中等專業學校教材試用本說明

爲了實現國家在過渡時期的總路綫與總任務，依照國家建設需要，相應地培養地質人材，是一項重要而艱巨的任務。要求提高我們地質教育的現有水平，則學習蘇聯先進經驗，是最爲迫切需要的；而其中使用蘇聯教材更是對提高和改進教學內容有直接作用。一九五二年九月廿四日人民日報社論也曾經指出：「蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯系實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。」我們就是本着這一原則陸續翻譯了蘇聯的有關地質教材，作爲現階段我國高等學校、中等專業學校的教材試用本。

希望使用這一教材及今後我們陸續推薦的教材的教師和同學們，特別是各有關教研組或學科委員會，在教學過程中，對譯本的內容或譯文認真地研究，提出意見，作爲今後修訂的參攷。我們並希望各校的有關教研組或學科委員會在此基礎上使之能結合我國實際，逐步適當增刪，以求最後能編出完全適合我國需要的新教材來。

中央人民政府地質部

## 譯 者 的 話

本書是根據蘇聯國立地質書籍出版社出版的契特維里科夫授教所著“晶體光學薄片研究法”1949年版譯出。原書經蘇聯高等教育部批准作為高等學校地質勘探專業的主要參考書。

原書分三部：第一，結晶光學的基本知識；第二，晶體的光學研究法；第三，習題及解答。本書全文計154頁，附插圖69幅，原書中勘誤表部分，已在譯文中一一修改，故譯本中未列入勘誤表。

本書的翻譯工作，是由譯者四人分工，於一九五三年十月開始，因係在課餘進行，因此在一九五四年四月始初步完成，全部譯完後，曾經互相校正，系統校閱，騰清抄寫，於五月廿日全部完成，惟因業務繁重，譯時短促，錯誤難免，尚希讀者指正。

本書原書承李珥同志惠借，附此誌謝。

孫 鼎 王 德 滋

韓 同 蓉 楊 美 娥

一九五四·五·二十

於 南 京 大 學

# 目 錄

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 原 序.....                       | 1   |
| 緒 言.....                       | 3   |
| 一、晶體光學的基本概念 .....              | 4   |
| 折射率 .....                      | 4   |
| 晶體折射儀 .....                    | 5   |
| 非結晶介質和等軸晶系晶體的折射率面 .....        | 7   |
| 中級晶族（六方、三方、正方或四方）晶體的折射率面 ..... | 8   |
| 低級晶族（斜方、單斜、三斜）的晶體折射率面 .....    | 11  |
| 折射率橢圓體 .....                   | 13  |
| 單軸晶體的折射率橢圓體 .....              | 14  |
| 雙軸晶體的折射率橢圓體 .....              | 17  |
| 光軸角、光軸面和等分綫的色散 .....           | 22  |
| 固體的光學分類 .....                  | 27  |
| 二、晶體的光學研究法 .....               | 28  |
| 概 論 .....                      | 28  |
| 偏光顯微鏡 .....                    | 30  |
| 顯微鏡的準備工作.....                  | 34  |
| 一個偏光鏡下的觀察 .....                | 41  |
| 在正交偏光鏡下用平行光的觀察 .....           | 56  |
| 在正交偏光鏡下用聚斂光的觀察 .....           | 77  |
| 測定晶體的光性的系統程序 .....             | 99  |
| 岩石薄片研究方法 .....                 | 102 |

## 結晶光學的習題

### 問 題

1. 結晶光學的基本概念 ..... 104
2. 晶體的光學研究方法 ..... 112

### 答 案

1. 結晶光學的基本概念 ..... 123
2. 晶體的光學研究方法 ..... 136

參考文獻 ..... 153

附錄 雙折射干涉色圖

## 原 序

作者根據講授“晶體光學薄片研究法”的多年經驗，認為本國所有的參考書，遠不能達到我們的要求。一般所知道的參考書，如盧奇茨基的“岩石學”或勞多切尼可夫的“晶體光學原理”常常引起一系列的問題，並且有時使讀者得出不正確的結論。因此，促使作者編寫本書。第一版是由以奧爾忠尼啓則為名的莫斯科地質勘探學院用玻璃板印出，並且在多年來，它已成為地質勘探或其他院系的參考書。同時也出現了一系列的缺點和敘述不夠清楚的地方，這些在這次編本書時已加以注意。

有關應用聚斂光的問題，必須予以特別注意，因為這些問題完全被洛多奇尼科夫所忽視，而在盧奇茨基的敘述中，依我的看法，還是不夠透澈和詳細。

為了幫助學者更深刻地理解參考書中所敘述的材料，把關於晶體光性和“晶體光性在薄片中的研究法”的習題，列作章節。同時僅僅注意那些無需採用弗氏旋轉台，而能運用的方法。關於最近代的弗氏方法，將由附有習題的專門參考書加以介紹。組合習題過程中，作者在初期遇到極大的困難，因為無論在國內或國外的同類參考書中都無法找到，而必須新創立全部的習題。國立莫斯科大學物理教研室的講師，契特維里科娃給予作者巨大的幫助，擔負了演算性習題的公式和解答的主要工作。

實踐證明，上述習題的解答，可以幫助學者更明確地瞭解一些通常是純機械性的顯微鏡的操作。

作者希望這本著作在某些程度上，能够補充現有教材的缺點，並能對於所有要學習晶體光學研究方法的人，不論他是一個初學地質的人、製圖家、化學家，還是一個工藝技術人員，都可以作為一本參考書。

關心這本參考書的人們的一切意見、指示和希望，作者請你們寄至：莫斯科九區莫霍瓦雅11號莫斯科奧爾忠尼啓則地質勘探學院。

契特維里科夫

## 緒 言

晶體光學的研究方法，已日益廣泛地運用在研究成分複雜或者簡單的固體的實際工作中。有很多化學的和技術的工作，都和固體相，特別是和晶體有關。在這些工作中，相的分析也就是盡可能準確地和詳盡地測定被研究物的各固體相，是一個完全必要的部分。結晶光學的研究方法，往往是迅速而確切地解決問題的最簡單的方法，而且有時是唯一的方法。

在岩石學的研究工作中，晶體光學的方法已經明顯地佔了主要的地位，同時在近代的結晶光學中，已擬定了三個主要的方向：

1. 在通常的偏光顯微鏡下研究薄片，這種顯微鏡只能讓礦物的位置在同一平面內移動。
2. 弗氏薄片研究法，能允許被研究物的位置在空間變動。
3. 利用浸沒被研究物質於已知折射率的液體或可塑體中，來測定被研究物質的折射率。這種方法在近代特別發展，稱為油浸法。

為了順利地使用這種方法，需要精確和鞏固的晶體光學的基本知識，並熟練通常在實用上最普遍的偏光顯微鏡。

這種晶體光學的和岩石學方法的原理，將在本書中介紹。

## 一、晶體光學的基本概念

運用在本書中所提到的各種方法，必須有明確的晶體幾何和晶體光學的概念。因此，本書希望學者很好地熟悉幾何結晶學原理，和同時對於物理學中的幾何光學、物理光學及振動理論問題等部分，也都有相當基礎。

### 折 射 率

用光性方法鑑定被研究礦物時，必須明確物質的何種光性應當首先利用，其中那些是該物質的最顯著的特點。無疑地，折射率及與折射率有函數關係的一些數值，是最便於鑑定礦物的。

我們從基礎光學中已知，任何物質的折射率是空氣中（或真空中）的光速和在該介質中的光速之間的比率。

假如以數學表示這定理，取  $n$  為折射率的大小，而  $v_1$  和  $v_2$  為在空氣中和在該介質中的光速，那麼折射率定義得到如下表示：

$$\frac{v_1}{v_2} = n, \quad (1)$$

應當指出，光速應了解為光波的速度，而並不是光綫的速度。

大家都知道，光能的傳播方向稱做光綫，而光波是傳播在空間的電磁振動。對在基礎光學中被我們所研究的介質來講，這兩個向量互相重合，而在非均質介質中，兩者是彼此不同的。所以在第一種情況下，光波為球形，而在第二種情況下，是更為複雜的。

根據方向和速度方面講，光綫和光波之間是以極複雜的關係相互聯系着的，而在實際應用上，兩個向量都是能應用的。

採用任一種向量來作圖，對於不結晶的介質，在形態上是一樣的，而對結晶的介質，則以應用與光波性質有關的向量較為方便。

入射波法綫、折射波法綫和折射面垂綫位於同一個平面內。假如以光綫來代替波法綫，那麼入射光綫和折射光綫，不是和入射面垂綫在同一個平面內。這



$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_r}{n_i} \quad (3)$$

能寫成：

$$\sin r = \frac{n_i}{n_r} \sin i.$$

當臨界情況下，在較低折射性的介質中測得的  $i$  角將等於  $90^\circ$ ，因而  $\sin i = 1$ 。這樣求臨界角  $\varphi$  的公式(2)就得到了。

在晶體折射儀（見圖1）上測定折射率的方法，是把被研究物質的切片或磨光的面放置於由已知高折射率的玻璃所做成的半球  $\alpha$  上。在近代的儀器中，這種折射率達到近於 1.9 的數值。爲了除去能存在於半球和薄片間的空氣薄層，在半球上滴以任何高折射率的液體，例如  $\alpha$ -溴萘 ( $n=1.658$ )，碘化甲基 ( $n=1.756$ ) 或任何其他液體。同時，這種液體具有的折射率數值，應當介於折射半球和被測薄片的折射率之間。單色光線從裝置在半球一邊稍低於薄片水平的  $\sigma$  鏡射出；而在半球的另一邊，裝有觀察鏡筒  $\theta$ ，此鏡筒對準在無窮遠。

鏡筒能够這樣移動：它們的接物鏡  $\theta$  幾乎與半球表面接觸。通常它指向着半球中心。鏡筒向垂直方向的傾斜度，能在相應的刻度盤  $\theta$  和顯微尺  $\epsilon$  上測得，具有精確度到  $1'$  或甚至更精確。玻璃半球本身能够圍繞垂直軸  $ac$  迴轉，這樣被研究的薄片就能在任何方向都可以受到研究。

當薄片被自下而上從鏡面射出經過半球的光線照亮時，能有三種情況：

1. 光線以小於臨界角的角度入射就生折射，有可能從薄片表面射出。此時，鏡筒對於儀器垂直軸之關係無論怎樣安置，在全部視域中均看不到光線。
2. 全部光線以大於臨界角的角度入射。那時它們完全從薄片反射，並且能被鏡筒攝取。同時鏡筒的全部視域應現出明亮。
3. 光線入射在薄片上，使得它們一部分起折射並進入薄片，而另一部分發生內全反射。

在第三種情況下，視域的一部分為明亮，而另一部分為黑暗（圖2）。黑暗部分和明亮部分的界限位置符合於以臨界角投射的光線。

爲了在鏡筒視域中測定這種角度，張緊兩根交叉的十字絲，使其交點精確地位於視域中心。固定明暗界綫在十字絲中心後，就能在觀察鏡筒的刻度盤上讀出臨界角的數值，而後算出折射率的數值。利用晶體折射儀研究各種結晶和非結晶介質在空間的折射率的分佈是極為方便的。

測量所得的結果，能以立體模型表示出來，在被鑑定折射率的光波的傳播方向上，記下折射率的數值（以已知比例）。所得的面稱為折射率面。它的形狀與性質對不同的介質，特別對晶體是各不相同的。

因此，對於薄片在其平面之內的所有方向上，均可能測定折射率。

### 非結晶介質和等軸晶系晶體的折射率面

假如應用從被研究物上切下來的立方體或平行六面體，來研究非結晶介質和等軸晶系晶體的折射率面的形狀，可以在晶體折射儀上進行測定它們的折射率。

在這種情況下，在晶體折射儀的鏡筒視域中，有極明顯的明暗界綫，而且被研究物的平行六面體，不論以何面安放於折射儀的半球上，當半球任意轉動時，這種界綫不改變本身位置。

結論：同類介質的折射率，在一切方向永恆不變，且根據所得材料畫出的折射率面是一個球面。

折射率在一切方向上永恆不變的所有物體，稱為光性均質體，一切無定形（非結晶的）的物體，像玻璃樹脂等以及等軸晶系晶體是屬

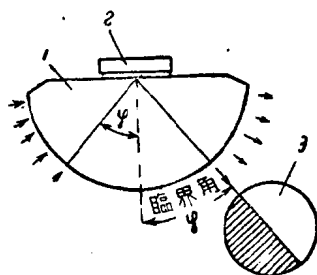


圖2. 當測定均質切片折射率時，晶體折射儀圖解  
1—半球；2—均質切片；  
3—視域

於光性均質體的。

因為等軸晶系具有三個相互垂直，且具有同樣性質的方向（三個四次或二次對稱軸），所以晶體的幾何性質和光學性質的明顯類似點被肯定起來。所差的僅是光學性質的對稱較高於幾何性質的對稱：折射率面的無窮次對稱軸，都與晶體的四次對稱軸相等。

### 中級晶族（六方、三方、正方或四方）晶體的折射率面

研究任何中級晶族晶體的光學性質，最方便的是以石英為例，從它上面切下一塊立方塊來，使其兩個面平行於柱體的稜，就是沿板面或底軸面(0001)的方向。

當在晶體折射儀上測量折射率時，在前者兩個面上顯示了被研究物的極重要特性。首先看到在折射儀的鏡筒視域中，存在的不是一個明暗界綫，而是兩個，並且有明亮，半明亮和完全黑暗的三個區域（圖3）。

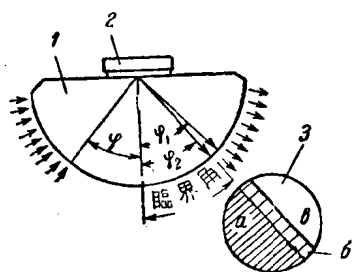


圖3. 當測定非均質切片的折射率時晶體折射儀圖解

1—半球；2—非均質切片；3—視域；a—暗，b—半暗，c—明亮區域

顯然，在這一類結晶介質中，對於同一方向傳播的光波，有兩個折射率數值。其中的一個等於當第一界綫（明亮與半暗）固定在鏡筒中心時所得到的值，另一個值，當第二界綫（半暗與全暗）固定時獲得。

爲了比較清晰地固定這種界綫，折射儀的鏡筒裝有偏光鏡（見圖13），當採用偏光鏡時，一個分界綫消失，而同時使另一個較清晰。這種現象是由於這兩個反射光波是已經被偏光，且他們的振動進行在兩個互相垂直的平面內。因為結晶的介質，照例是定向的，就是它的性質隨測定它們的方向而定，那就得出這樣的概念，在不同方向進行振動的光波，以不同的速度傳播。

因此，在中級晶族中有雙折射產生。這種現象的造成是由於光以兩個不同的速度在同一個方向傳播，進一步說，在這種介質中，每一個方向具有兩個折射率。具有雙折射的物體，稱為光性非均質體。

爲了鑑定光波的振動，一般採用電向量的方向來代表。因此，光波的振動方向是電向量的振動方向。

在中級晶族中我們所看到的第二個現象是當折射儀的半球圍繞它的軸轉動時，一個界綫能移動，而另一個界綫不能動。這證明了其中一個折射率與在晶體中的方向有關，而另一個則無關。

當半球轉動到各個一定角度時，測量薄片的折射率，可以得到一系列的數值，這些數值能表示在圖上，因此可以畫出在這種薄片或平行六面體的一定平面上的折射率的分佈圖。對於石英的平行六面體的具體情況，相當於折射率爲 1.544 的一個界綫，當半球旋轉一週時，保持不動。第二個界綫則變動自己的位置，在相當於極端值 1.553 和 1.544 的範圍內。這就是當半球旋轉一週時，第一第二兩個界綫兩次會合一起，並兩次表現出彼此間的最大距離。在其中看不到雙折射現象的方向是唯一的均一光性方向，稱為晶體的光軸。

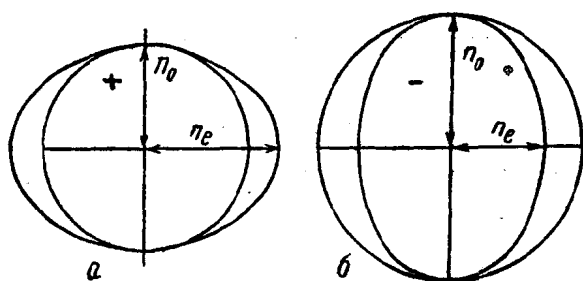


圖 4. 平行於中級晶族晶體光軸的切片中折射率數值的分佈圖

a—正光性；b—負光性

根據測定折射率所得的基本材料畫出的折射率圖，將有圓形及圍繞圓並切圓於直徑兩端的橢圓（圖 4a）。包含這兩端的直綫是光軸的方向。

假如垂直於上述的另一平面，安放平行六面體在晶體折射儀的半球上，並繞軸轉動半球，在視域中看到出現了兩個界綫，但當半球旋轉一週時，他們不移動。折射率數值的大小，保持着與原始情況相同。那時，折射率圖將有兩個同心圓形，其半徑成 1.553 與 1.544 之比。

在空間對照兩圖，能够獲得 折射率分佈或折射率面的立體模型圖。這個面有複雜的外形，它是由球體和圍繞球體描繪，並切球於兩緯的迴轉橢圓體組成。

因此在中級晶族的晶體中，當雙折射時，有一個光波以同一速度傳播，且與此速度相當的折射率，對晶體內一切方向都有同樣數值。這個折射率通常記爲  $n_o$ ，這裏字母 o (ordinaire) 表示它與基礎光學中被視察到的一般的折射率無異，進一步說，它同樣地與方向無關，且服從斯涅留斯-笛卡兒 (Снеллиуса-Декарта) 定律。

另一個變動的折射率，相當於隨方向而改變自己速度的光波，記爲  $n_e$ 。這裏字母 e (extraordinaire) 看重了他們的非常性質，就是與方向有關且不服從於斯涅留斯-笛卡兒定律<sup>①</sup>，這裏入射光綫和折射光綫不在同一平面內。

應當指出， $n_o$  是極限數值（最大的或最小的）的折射率與  $n_e$  有很大的區別。

細察折射率面，極易看出被稱爲雙折射率的折射率數值的差隨方向而改變。在光軸的方面上，這種差異數值等於零，而在垂直於光軸的方向，達到最大值，等於  $(n_e - n_o)$ 。以石英講，差異  $n_e - n_o = 0.009$ 。當測定薄片厚度時，應用這種數值極爲方便。

然而不是全部中級晶族的晶體都給予正常和非常折射率面具有上述的那種關係。極通常地能觀察到相反的關係：非常光折射率面，處於正常光折射率面之內。因此，折射率的整個表面具有迴轉橢圓體和

① 在較老的參考書中或國外的出版物中能够遇到 正常 折射率的記號爲  $n_o$  或簡略的  $\omega$ ，非常折射率記爲  $n_e$  或簡單的  $\varepsilon$ 。