

中央人民政府地質部介紹
高等學校教材試用本

幾何結晶學 實習指導

弗林特著

地質出版社

中央人民政府地質部介紹

高等學校教材試用本

幾何結晶學實習指導

弗 林 特 著

地 質 出 版 社

本書是根據蘇聯國立地質書籍出版社(Госгеолиздат)出版的弗林特(Е.Е. Флинт)教授所著“幾何結晶學實習指導”(Практическое руководство по геометрической кристаллографии) 1948年版而譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為高等學校結晶學實習的主要參考書。

本書的翻譯是在北京地質學院結晶礦物教研室的領導下進行的。

參加翻譯工作者有北京地質學院助教彭志忠及研究生蘇明迪和張本仁，由黃素珍擔任校對，全書最後校訂者為彭志忠。

原譯稿中有少數譯名如四方晶系、極射基平投影、菱方柱等，由地質出版社根據1953年中國科學院編印的“礦物學名詞草案”，改為通用很久的譯名：正方晶系、極射赤平投影、斜方柱等。

這本書包含了幾何結晶學原理的實習部分：

- (1) 定對稱的方法；
- (2) 藉吳氏網用圖解法計算晶體常數和指數；
- (3) 用單圈和經緯測角儀測量晶體的技術。

較簡短地敘述了由勞埃圖定對稱的方法、定面間距離的方法和繪正投影的技術。

對於主要的章節作了理論的補充，對於自學作出了一些計算和定對稱的習題。

本書供進行完備的結晶學課程的地質勘探系和專科學校的學生之用，也供給那些希望在這一方面提高自己技能的技術工程師們之用。

號書0046 **幾何結晶學實習指導** 150千字

著 者	弗 林 特
譯 者	北京地質學院結晶礦物教研室
出 版 者	地 質 出 版 社 北京安定門外六鋪炕
經 售 者	新 華 書 店
印 刷 者	北 京 市 印 刷 一 廠

印數(京)1——7000一九五四年三月北京第一版
定價13500元 一九五四年三月第一次印刷

第二版序

這本實習指導的第一版出版於1937年，曾為我和我的同事們在進行結晶學實習課程時廣泛地利用過。經驗指出，這本書必須作若干修改，這些在第二版中也就實現了。

主要的修改和增添歸納如下：

1. 實踐證明，附於書中的投影網和個別的具有圖畫的表格是不合理的。所有這些遺漏逐漸地使這本書幾乎不可能被利用。因此我決定在書中引用所有的圖解性質的附件。為此，我把吳氏網的直徑縮小一半，我深信，按照十厘米的投影網是完全可以學會應用圖解計算的方法，但是對於實際工作則應該利用通常的二十厘米的投影網。

2. 鑒於當把吳氏網作為赤式的網而利用時，常常在讀坐標上引起誤解，因此在第二版中只給與一個讀數的方法，這個方法採用在大多數現時的實習指導中，其中把吳氏網看作極式網而利用。

3. 當多次地解習題時，說明了習題№16(堇青石)是不恰當的，因為對其中晶面之一(u)得到可能性很少的指數(171)，——那個習題代之以新的、含有相同的基本圖案之鎂橄欖石。除此之外，某些三斜的有機化合物晶體的習題用計算礦物(鈉長石、薔薇輝石、斧石)的習題所代替了。習題的總數達到30個。

4. 在有關對稱的章節中，把那些對於實習指導不是必須的材料作了縮減。

5. 在第五章中作了一些補充，這些補足涉及到一種新的儀器，這種儀器是按照我的設計在以奧爾忠尼啓哲命名的莫斯科地質勘探學院的工廠中作的。

6.關於按德拜圖確定面間距離,也作了一些簡短的說明,因為現在在學生的實習中有這一類的作業。

7.添加在結晶學的事有名詞中碰到的同義字表。

在結束這個序言的時候,我認為要向我所有的同事們表示熱忱的感謝,由於他們指出了在第一版中所犯的錯誤和不確切的地方,並且首先得感謝安舍列斯(О.М.Аншелес)教授。

莫斯科

Е. Е. 弗林特

1940年9月

目 錄

第二版序

緒論：結晶物質的基本性質·····	I
第一章 極射赤平投影和極射赤平網·····	10
第二章 晶體的對稱及其確定·····	34
第三章 確定晶體的空間格子常數和晶面符號·····	88
第四章 晶體圖解計算的例子和習題·····	106
第五章 測量晶體的技術·····	144
第六章 鑾琴照片分析的簡短介紹·····	175
第七章 晶體正投影的繪圖·····	184
鑑定對稱和單形的習題·····	190
鑑定對稱習題的答案·····	195
最主要的結晶學名詞同義語表·····	201
自然正弦與餘弦表·····	206
參考文獻·····	208

緒 論

結晶物質的基本性質

結晶物質的特徵是自己內部有規律的斷續的構造。組成結晶物質的質點是按一定秩序而排列的；它們沒有充滿整個的空間，而是彼此之間相距有若干距離。對於每一個方向，這些距離是完全固定的。

爲了得到關於結晶物質構造的顯明概念，我們可以想像一個具有同一形狀，而彼此相互平行緊密疊着的平行六面體系統（圖1）。

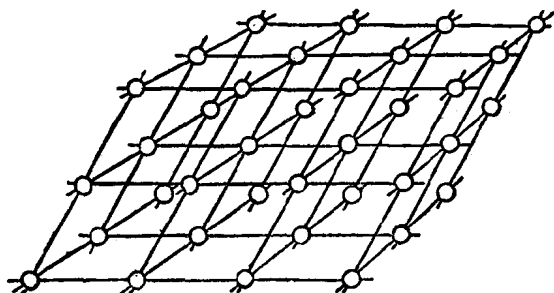


圖1.空間格子

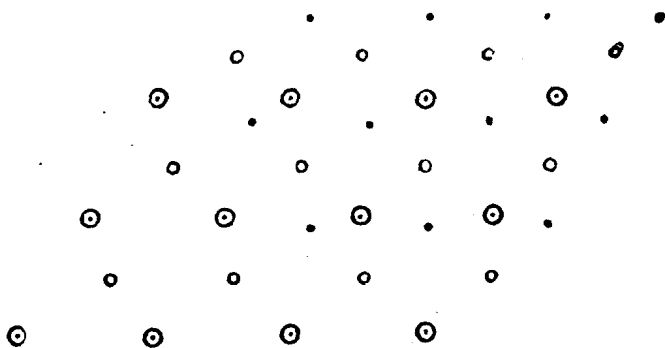


圖2.沒有平行六面體的空間格子（圖1所示的）。最前面一層的結點是用帶點的圓來表示，第二層是用圓來表示，第三層用點子表示

每一個平行六面體，都被相同的平行六面體從各方面所包圍着。八個平行六面體以角頂交會於一點。如果我們想像地拋開平行六面體，使這些點的位置留下之後，那麼我們就得到了表示在圖 2 上的建造。這個建造被叫做空間格子 (пространственная решетка)。

爲了顯明和便於描畫格子，通常用平行六面體來表示；然而我們應



圖3. 格子行列

a —行列間距

該記牢，空間格子是點的建造。我們想像空間格子是無限延伸的幾何圖形，也就是在任何方向上都沒有始端和末端的。在應用到實

際晶體時，這一點可能會感到很奇怪，因爲晶體不僅是有末端，而且也比較小。然而，如果把晶體中相鄰二質點之間的實際距離與晶體大小相比擬，則可發現在一厘米中就有幾千萬個這樣的距離。因此，這種說法在實際上出入是不大的。

空間格子是每一個晶體的骨架，它不決定於晶體的外形。這個原則，在許多年以前還是作爲假說，今天它已經被實驗所證明了。

組成空間格子的個

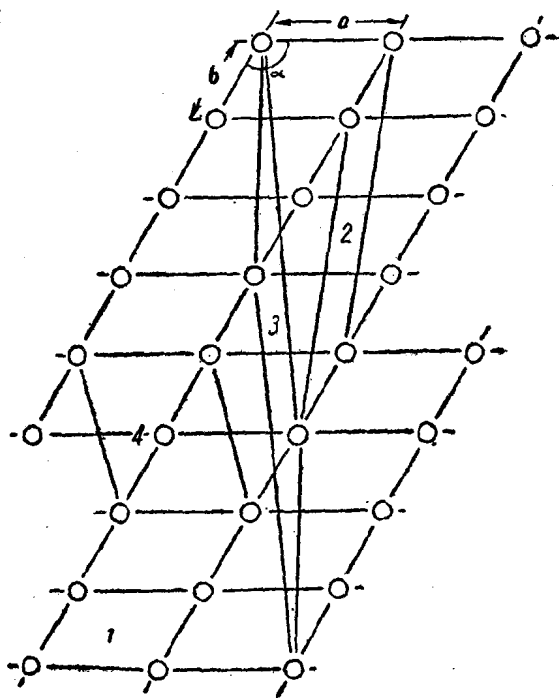


圖4. 面網，在面網中引出了單位的(1,2,3)和非單位的(4)平行四邊形

別的點稱為結點 (узел)。經過兩個結點所引的直線可以通過無數的結點；這樣的方向就稱為格子行列 (ряд)；行列的特徵是：在相鄰兩點之間具有相同的距離——行列間距 a (圖 3)。兩個行列就確定了空間格子平面或面網 (плоская сетка)。面網上結點的排列是被三個數值所確定：兩個行列間距 a 、 b 和該二行列之間的角度 α (圖 4)。面網是被結點這樣覆蓋的，就是這些結點可能看作是無數個無間隙的彼此相貼的平行四邊形頂點。任何一個面網，只要知道了一個平行四邊形的大小和形狀，就可能作出。如果我們祇是需要知道形狀，那麼知道兩個數值就足够了，即 $a:b$ 的比值和角 α 。我們可以看出同樣排列的結點可以造成各種各樣的平行四邊形。所有各種平行四邊形，我們都稱為單位的平行四邊形 (элементарные параллелограммы)，而格子的結點只是位於它們的頂點。在圖 4 上用 1、2、3 所表示的平行四邊形就是單位平行四邊形；而 4 所表示的就已不是單位的平行四邊形。同一面網上所有的單位平行四邊形的面積是相等的，但周長不等。具有最小周長的單位平行四邊形，稱為該面網的基本組成平行四邊形 (основной образующий параллелограм)。

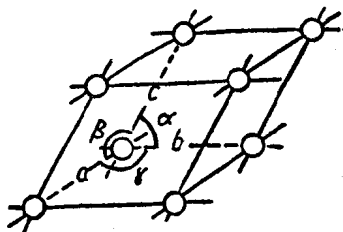


圖 5. 格子的單位平行六面體
 a, b, c —行列間距； α, β, γ —
軸之間的角度

兩個沿着行列相交的面網就確定了空間格子。如前所述，空間格子可以看作是由毫無間隙的彼此平行累疊着的相同平行六面體所組成的無限延伸的構造。爲了要作出這樣的平行六面體，必需要知道六個數值：三個稜 a, b, c 和三個角度 α, β, γ (參看圖 5)。爲了鑑定平行六面體的形狀，有 5 個數值就足夠了—— $a:b$ 和 $b:c$ ($a:b:c$) 的比值和三個稜間的夾角。

如果我們考慮到增加第三個量度方向，則上面我們研究過的面網特性就可以運用到空間格子上來了，就是：(1) 同一個空間格子可能由

無數種的平行六面體建造而成；(2)如果格子結點只是位於平行六面體頂點上的話，那麼這些平行六面體就稱為單位平行六面體；(3)所有單位平行六面體的體積都相等，但晶面面積的總合不等；(4)包圍單位平行六面體之平行四邊形的面積為最小者，則該單位平行六面體稱為基本組成平行六面體 (основной образующий параллелепипед)。

空間格子的概念，應用到結晶多面體上去之後，我們可以想像此多面體的頂點就相當於結點，晶稜相當於行列，晶面相當於面網(圖6)。

由晶體(或結晶質)這個概念，很容易就演譯出晶體很重要的特性來。

1. 直稜性 (прямоугольность) 和 平面性 (плоскогранность)。在理論上一貫是這樣，就是具有斷續的、階梯狀構造的物質將趨向於被平行的晶面所包圍；晶面彼此相交就構成了直的晶稜。這種物質，原則上決不會有輪廓的成圓性 (закругленность)。

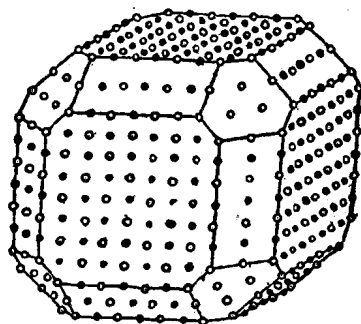


圖6. 格子結點在晶面上分佈的圖解

2. 異向性 (анизотропность)。結晶物質的特性，通常都稱為異向性。因為結晶物質的某些性質是隨方向的改變而改變的。這樣，例如，不同晶面的生長速度不同^①，在不同方向透過結晶物質的光線的折射率也不相同。在平行方向上所測出的這些性質，顯示了相同的大小。如果自晶體內部任取一點O(圖7)，從這一點向各個方向截取與單位時間內任何作用的大小

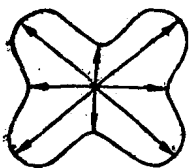


圖7. 表示晶體彈性的圖形

^①所謂晶面生長速度，是指當晶體生長時(當固定的生長環境)，該晶面在其垂線方向的運動速度。

或比例的截距，則截距端點將擬定出各種不同的圖形。異向性應該是具有規律的斷續構造的物質的必然性質。很清楚， Ok 方向（圖8）不能與 Ob 方向相同，因為這種情形下，在同一間距上我們所遇見的結點數目完全不相同。我們可以指出，不結晶的所謂非晶質的物體是不具有規律的斷續構造的。在非晶質體中質點的安排是無規則的：在任一方向上我們都可能遇到質點的某一種平均數。這個就很清楚的說明了在這種情形下它的性質不隨方向的改變而改變。在非晶質體中，像圖7那樣作的圖形，將是在所有的方向是以等向性為特點的球形。

3. 在限制要素中面角恒等（постоянство углов в элементах ограничения）。上面已經說明，實際晶體的晶面與晶稜相當於空間格子的

行列與面網。顯然地，在任何空間格子中，都有無數個各種各樣的行列和面網。可是它們在晶體上出現的機會並不相同。例如（圖8），在4.5單位長度上，行列 Ob 有9個結點，而在行列 Oc 中，在同樣距離內結點是6個。如取行列 Ok ，則此行列中在同樣的4.5單位長度上，我們將遇到的結點總共只有3個。因此在同一空間格子中，根據結點分佈的稠密，行列是有很大大區別的。所以研究面網時，我們發現了這些面網在單位面積上是具有不同的結點數目的。換句話說，就是面網具有不同的密度，又因為物

質的質點就分佈在結點上，所以實際晶體的晶面同樣是具有大的或小的密度。很自然的可以推想到，密度較大的晶面也應當具有較大的機械穩固性。觀察證明，晶體上可能生成的無數平面中，只可能有少數的最稠密的晶面出現。因為這些晶面是空間格子中的網狀平面，在空間格子中，它們彼此的關係上是具有固定的位置（傾斜）。所以，由於晶體晶面

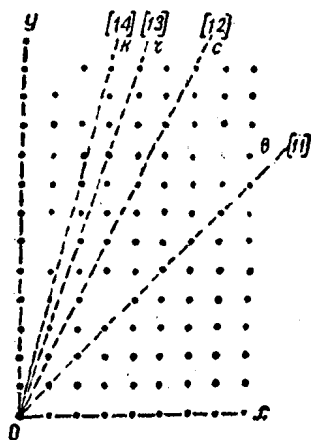


圖8. 面網，在其中表示出了不同符號的行列

相交而形成的晶面間的角度，對該物質（格子）來說，也應該是恒定的。由於規律斷續的結晶物質構造所得出的這個重要結果，被稱為面角恒等定律。在生長過程中，由於各種因素的影響，晶體可能具有很奇怪的形狀；但是，如果我們把晶體定得使得它們的格子處於平行的位置，則由於面角恒等定律的緣故，我們將可以找到某一晶體的晶面相當於另一晶體上的晶面，雖然在外形上這些晶體是完全不同的（圖9）。

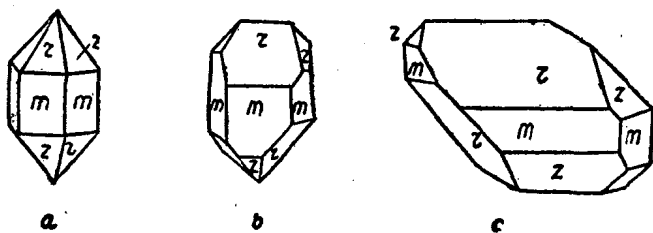


圖9. 石英晶體的三種不同的外形，同樣的字母表示相當的晶面

4. 現在我們談到結晶物質的規律斷續構造的問題，這問題也很重要。取與圖8上相同的圖解，研究這個構造之後，我們很容易就得到了後面的結論。假如以兩個行列的方向，例如 OX 和 OY ，取作坐標軸，同時以兩行列的間距作為測量單位（比例尺），則位於此坐標平面上的所有其他行列的方向，總是可以以整數來表示。例如，行列 Ob 得到 (11) 的符號；行列 Oc (12) ；行列 Ok (14) 等等。晶稜在一般位置的情況下，它不是屬於兩個，而是屬於三個坐標軸，因此晶稜的符號中所包括的就不是兩個而是三個數字。必須指出，因為空間格子是無限的，同時坐標原點又可能取在空間格子的任意一結點上，因此我們可以給平行的行列同一的符號。對於行列——晶稜理論上的必然的結論，對晶面來講也應當是正確的。因此，轉向三度空間之後，我們應該得出了結論：如果取三個晶稜（行列）的方向作為坐標軸，而取此三行列中的每個的間距作量度的單位，則晶體任何晶面的位置都可以用三個整數來表示。這樣就定出了和結晶學上面角恒等定律一樣重要的有理比例定律或整數定律。這

個定律，以後再詳細研究(參看87—105頁)。在圖10上，晶面 AEC 和 ABD 的位置完全被數值 $2a:3b:3c$ 和 $2a:5b:2c$ 所確定。在坐標軸上被晶面所截取的截段稱為綫標軸，晶面的標軸係數為2.3和其他的。下面我們將要看到現代我們所採用的另外一些晶面位置的表示法。

5. 對稱。上面已經說過了空間格子單位平行面體(晶胞)的形狀是為五個數值所決定：三個晶稜的比值和三個角度。這個數值可能具有不同的值： a 、 b 和 c 的截段彼此之間可能是不等的、完全相等或兩個相等。角度的數值可能有變化，但有時為定值。這樣由立方體所建造成的格子，將被下面的常數所確定： $a=b=c$ ； $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ (圖11)；空間格子的晶胞具有直角平行六面體的形狀，則將有： $a \neq b \neq c$ ； $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ ；最後，斜的晶胞(圖13)是被常數 $a \neq b \neq c$ ； $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ 所確定。

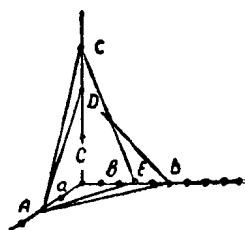


圖10. 整數定律的圖解，晶面通過結點

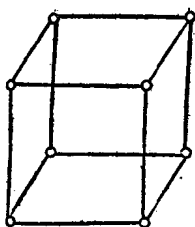


圖11. 成立方體形的平行六面體

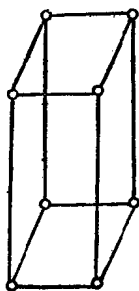


圖12. 具有不等晶稜的直角平行六面體

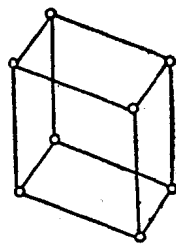


圖13. 斜角的平行六面體

比較上面所舉出的三個晶胞，我們就可以看出，在立方體中所有的晶面和晶稜都相等，兩晶面夾角和立體角也同樣相等。在圖13上的晶胞中，平行而相對的晶面是相等的，相鄰的晶面不等，在角度上同樣可以見到：直徑反向角相等。圖12上的平行六面體居於以上二情況之間。由

以上所述我們可以作出結論：晶體由於自己的內部構造，根據空間格子的原則，應該顯露個別因素的規律重複性；換句話說，就是應該有或多或少程度的對稱構造。很自然，對稱將是不同的，這種不同決定於該晶體基本構造空間格子的晶胞的對稱程度。在自然界中，任何地方對稱都不呈現像在晶體上那樣的多樣性；當鑑定晶體時，對稱是很重要的鑑定特徵，同時，晶體的分類也以對稱作為基礎。

6. 均勻性。理論上所有未被破壞的晶體，都應該是均勻的；這個結論是由空間格子整個的部分都具有同樣的構造這點得出的。在實際上，完全均勻的晶體幾乎在任何地方都不會遇到。空間格子也只能看作是構造的圖解。

歸納上面所說的：

1. 具有規律斷續內部構造的固體稱為晶體。

2. 空間格子是點的系統，這個系統是由無數相等且平行排列的平行六面體的頂點所組成；這些平行六面體是無間隙地充填於空間^①。

作為結晶物質構造基礎的空間格子的概念得出：

(1) 結晶物質的某些性質是隨方向的改變而改變；

(2) 自由生長時，晶體力求趨向於平的晶面和直的晶稜；

(3) 這些晶面和晶稜的相互傾斜，對該物質來講是固定不變的；

(4) 若取空間格子綫要素——行列作為坐標軸，以這些軸上的相當的間距（在行列上格子結點之間的距離）作為比例尺，則晶體限制要素（即面、稜、角——譯者）的位置，完全可能用整數來確定；

(5) 晶體必須具有對稱；對稱的程度決定於空間格子平行六面體對稱的程度；

(6) 具有很完整格架的結晶物質，必須是均勻的。

上面所說過的原理，也就確定了擺在我們面前研究晶體的任務，同

①當然，不僅取頂點，同樣取平行六面體的任何相當點都可以建造一個空間格子。

時這些任務也就組成了實用結晶學的內容。這些任務歸結如下：

1. 確定被研究物質的空間格子的常數。
2. 解釋該空間格子可能平面中那些平面能够發育成晶面或者是發育成那種類型的晶體。
3. 確定該物質晶體所特有的對稱程度，並由此找出該物質在我們採用的結晶物質分類系統中所佔的位置。

當更深一步研究時，還應該增加：

4. 確定平行六面體的實際大小，
5. 解釋空間格子晶胞內部原子的排列情況，
6. 研究物理性質（光學性質、熱學性質、電學性質、力學性質）。

在這本簡單的實習指導書中，只能解決前面三個任務。從方法上考慮，我們是從第三個任務開始，然後再轉向第一和第二個。它們在一塊比較容易解決，預先必需熟習實際結晶學的基本操作方法——投影方法。

第一章

極射赤平投影和極射赤平網

直接地研究晶體，我們不能觀察到格子構造，但格子構造的後果我們看得很清楚：晶體為平的表面所包圍，這些平面相交後形成一定的角度。測量了這些角度之後，我們可以解釋，當空間格子晶胞有如何之形狀，這些角度才可能出現在晶體上。下面的三個略圖說明了對晶面——面網的這種依賴性。在圖14中我們有不同形狀的三個晶面。在第一種情況下(14a)，自然地推測為正方面網，因為角度各處都等於 90° 和 45° ；在第二種情況中(14b)，面網必須由正三角形組成，它的角度(60°)完全與

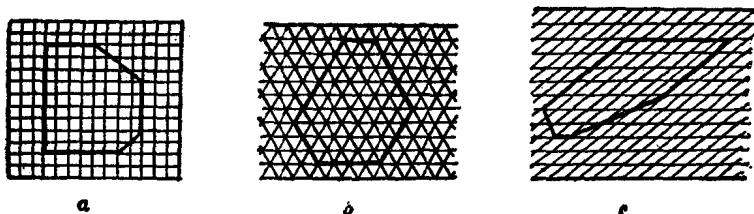


圖14. 略圖，表示晶面的形狀反映面網的特點的圖解

a—具有正方網孔；b—具有三角形網孔；c—具有平行四邊形網孔

圖形的外圍相符合；最後，第三個面網(14c)必須是由一般形狀的平行四邊形所組成。在較複雜外圍時，分析這種依賴性較為困難，但總是能夠的。適合於面網的現象，對格子也應該是適用的。這樣，在晶體上所觀察到的角度是有關晶體構造的原始材料，這是我們的結論。

用來測量晶體上的角度之儀器稱為測角儀；而包含這種測量方法的結晶學的章節，則稱為測角術。它的原理闡明於下面，在第五章(144頁)。這裏我們僅僅只指出這種測量的一般原則和給與測量結果的處理方法。這種處理可以使得由測量結果而求出對我們感興趣的有關晶胞

形狀的問題的答案。

所有多數型式的測角儀可以分爲兩類：

(1)接觸測角儀——粗略的工具，準確度大約到 $1/2^\circ$ ；

(2)反射測角儀——精密的儀器，可以讀到 $1'$ 至 $5''$ ，決定於儀器的裝置和儀器製造者之工作質量。

在這兩類的每一類中包含有單圈式——帶有一個刻度圈，以及雙圈式——帶有數個，通常是兩個刻度圈。最後一種測角儀也稱爲經緯測角儀。

單圈測角儀和經緯測角儀之間本質上的區別如下：當用單圈式的時候，則直接地測量晶面之間或者晶面法線(晶面垂線)之間的角度，而測量的結果，則獲得一些角度值。當用雙圈式的時候，則測量晶面法線的球面坐標，測量結果爲方位角和極距角的表。這些名詞將在下面解釋(參看23頁)。這樣一來，所提供的必須處理或計算的資料，可以是一些角度，或者是坐標表。

上面兩種情況中都可以用下面兩種方式進行計算，或者是：(1)純三角學，或者是(2)圖解。

用第一種方法得到較爲準確的結果，然而計算過程本身極複雜，並且在某些情況下要佔去很多的時間。進行圖解計算則簡單和方便得多，特別是在這種情況下，當準確到小數點後二位(對線的長度)和到 $30'$ (對角度)就是足夠了的時候。

這本實習指導目的就是要使從事學習者熟悉圖解法，在用圖解法時，機械的操作和直接的讀數代替了計算。

爲了應用這種方法，必須從數目字(測量記錄)轉爲那樣的圖形，它使得利用圖解法成爲可能，換句話說——應該求得一種圖，它必須同時是：

(1)準確的；

(2)嚴格地用一定的依賴關係與所表示的晶體聯繫起來的，這種