

晶 体 光 学

美國E.E.瓦尔斯脫姆 著

王 大 純 等 譯

地 質 出 版 社

1959 • 北 京

Optical Crystallography
ERNEST E. WAHLSTROM
*Department of Geology and
Mineralogy,*
University of Colorado
Second Edition

1953

本書講解深入淺出，插圖較多，許多有关晶体光性的插圖舉目易懂，是其他晶体光学書中所沒有的，因此特別适用于初學者。譯者過去在教學過程中指定此書作為學生參考書時，曾針對此書編寫了“晶体光学實驗指導”的講義，我們認為這部分實驗講義目前仍可供學習光性礦物學課程的同學們參考，所以一併印在此書後邊。另外譯者還編寫了偏光顯微鏡應用守則，也一併印出，以供學者參考。

晶体光学

著者	美國 E. E. 瓦爾斯脫姆
譯者	王大純等
出版者	地質出版社
	北京宣武門外永光寺西街3號
	北京市書刊出版業營業許可證出字第050號
發行者	新華書店
印刷者	崇文印刷廠

印數(京)1—4,800册	1959年2月北京第1版
開本31"×43 ¹¹ / ₂₅	1959年3月第1次印刷
字數30,000	印張10 ¹⁴ / ₂₅
定價(10)1.40元	

譯 者 序

在目前資本主义國家出版的有关光性礦物学的書中，美國E.E.瓦尔斯脫姆的“晶体光学”一書是比較深入淺出，易为初学者所接受的。全書簡明扼要，形象化的圖解也較多。原書出版于1943年，1953年出版了修正本。

、1950—1952年間譯者在北京大学担任光性礦物学的实验課，当时曾把本書1943年出的原文版作为学生的主要参考書，1950年并譯成中文，交給商务印書館付印。后以他事延擱，未能出版。原譯稿擱置了將近六年，近以地質出版社拟印此書，囑譯者根据1953年修正本重新校譯，乃改訂原譯稿付印。

需要說明的是譯文虽根据原書修正版校正，但个别地方譯者認為意义尚不如旧版明确者，仍采用旧版本的譯文。少数地方譯者还加上附注或說明。

書末附有“光性礦物学”課程理論部分的“实验指導書”，这是1951—1952年譯者在北京大学任教时編的講义，对于光性礦物学原理部分的实验室作業，今天也許还有参考意义。

原書名直譯为“光性結晶学”，为簡明起見改譯为“晶体光学”。

書中有关光学的名詞術語参考了科学院出版的“物理学名詞”的譯名。

譯文如有錯誤，欢迎讀者指出。

譯者1956年11月于北京地質学院

原 序

晶体光学是發展迅速的一門科学。晶体光学研究已不限于礦物学家与岩石学家了。虽然基本理論已为那些完成偏光顯微鏡來研究岩石薄片的早期的晶体光学者們所發展；其他許多研究領域中的科学家們也已开始認識这些有力工具在研究时的价值。

晶体光学在各化学分科的研究中貢獻也很大。主要是用在有机或无机的固体的迅速鑑定工作上。冶金学家，陶瓷学家以及有关部門的工作者，都开始接受光学理論和光学仪器，作为他們研究装备中所不可缺少的仪器。医藥上也利用偏光顯微鏡來与許多工業疾病如石末沉積症（silicosis）等進行搏斗。工程师在研究許多材料的結構时，也从偏光顯微鏡下得到重要的資料。

本書目的是在將晶体光学的理論作一介紹。实际的应用法所佔篇幅不多，因为著者覺得，倘学者能一旦坚固地掌握基本观念后，他就能夠解决与此有关的任何問題。有一部分篇幅是叙述折射率的測定技術的。而尤其着重在折射率的油浸測定法，因为这一方法目前已經比較別的方法应用更广。

自“晶体光学”在1943年出版了第一版后，我曾从大批的不同背景和素养的学生中得到应用此書的宝貴經驗。在这期間，我也从同学及專業的工作者中得到許多意見和批評，为了某种原因他們曾嚴格而詳細地檢查了這本書。

讀者可以看出，本書附圖甚多。立体形象对于渴望掌握晶体光学理論的学生是需要的。基于这一看法，我已排棄了許多平面圖示，而采用立体断塊圖。

所有立体圖解都用斜射投影法繪出；这种投影对于結晶学者是熟悉的，但对習慣于繪成透視断塊圖解的人們在形态上会有少許歪曲。

本書并不打算包括礦物或別的結晶化学品的叙述表格。大部分自

然的及人造的化合物的光学性質，都可在礦物学及化学的标准参考書中找到。

此書材料是从多方面搜集得來的，其中較重要的列于書后的参考書中。附圖大部系著者創造，但自然很多圖解也是参照了別的已出版的晶体光学方面著作中的附圖。

我应当感謝許多對本書提出批評和建議的人們。本版中的許多改進是我和我的學生及同事們友誼合作的結果。我必須深深感謝給了我不可缺少的幫助的同事，K.K.瓦爾斯脫姆，在準備并編輯本書手稿的整個時期中他一直是在我身邊耐心地工作。

瓦爾斯脫姆 (Ernest E. Wahlstrom.)

目 次

譯者序	3
原 序	4
第 一 章 結晶学概要	7
第 二 章 晶体的物理性質	9
第 三 章 光学原理簡說	23
第 四 章 均質体光学	34
第 五 章 偏光顯微鏡	44
第 六 章 折光率的測定	50
第 七 章 一軸晶光性指示圖	70
第 八 章 光的偏極化	87
第 九 章 一軸晶在平面偏光下的光性	92
第 十 章 一軸晶在聚斂偏光下的光性	110
第十一章 光学仪器附件	125
第十二章 一軸晶光性正負的測定	130
第十三章 二軸晶——二軸晶光性指示圖	138
第十四章 聚斂偏光下的二軸晶晶体	167
第十五章 二軸晶晶体光性的測定	180
第十六章 二軸晶晶体的色散	200
第十七章 透明物質在顯微鏡下的鑑定	212
附錄一 費氏旋轉台法	218
附錄二 “晶体光学”实验指導書	225
附錄三 偏光顯微鏡应用守則	259
附錄四 选讀参考書	261

第一章 結晶学概要

晶体的性質 晶体是外面由平面包圍着的多面形的固体 (polyhedral solids), 这些面是内部原子和分子具有規則排列的一种表現。用 X-射綫技術研究物質内部結構时, 对于晶面并不非常強調; 而晶体是被当作一种具有特殊内部構造單位在多少穩定的三度空間延展的特徵的物体。結晶物質与非晶質物質間有区别, 非晶質物質中原子或分子的排列顯示出沒有一定次序。

如果強調是否具有晶面, 那么可以有如下的区别: 全晶形晶体具有完全發育的晶面; 次晶形晶体只發育了一部分晶面; 沒有晶面者为无定形顆粒。

面角恒等定律 大部分晶体都是不端正的。生長条件引起了晶体的不对称發育。从同一溶液中同时沉淀下來的晶体很少有完全相象的。但無論怎样, 同一化学成分的晶体或同一种礦物, 不管晶体不端正到如何程度, 选择相邻或投影相似的晶面中間所成的角度是不变的。

晶軸与晶系 为了便于叙述一个晶面或一組晶面在空間的位置, 常設想几条直綫或方向。这些直綫或方向称为晶軸 (圖1)。根据晶軸最簡單的六种几何組合, 所有的晶体都可以归納在六个系統中。这六个系統如下:

I. **等軸晶系** 属于这一晶系中的晶体有三个互相垂直而等長的晶軸。这三个晶軸以 a_1 、 a_2 及 a_3 表示之。

II. **正方晶系** 这一系的晶体有三个互相垂直的晶軸, 两个晶軸等長, 另一个晶軸可長可短。这三个晶軸以 a_1 、 a_2 及 c 表示之。

III. **六方晶系** 这一晶系包括有些結晶学家所指的三方晶系在內。它具有四个晶軸, 其中的三个在一平面內, 相交成60度或120度, 長度相等; 第四軸与这三个軸所在的平面垂直, 比其它三軸或長或短。晶軸的符号以 a_1 、 a_2 、 a_3 与 c 表示之。

IV. 斜方晶系 这一晶系包括所有三个晶轴互相垂直而不等长的晶体。晶轴符号为 a 、 b 与 c 。根据习惯，斜方晶系的定位是这样的，即在 a 轴上的单位截距称为短轴，在 b 轴上的单位截距称为长轴，前者较后者要短一些。

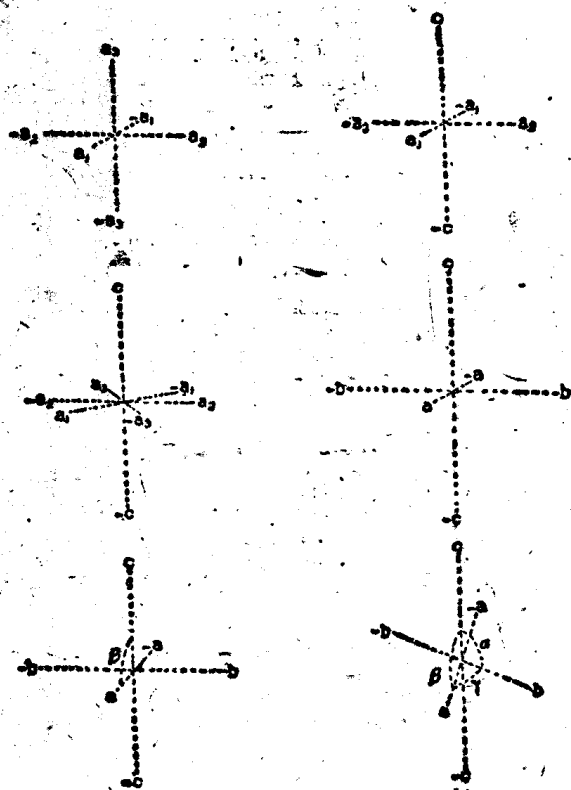


圖 1. 六个晶系的轴

V. 单斜晶系 在这一晶系中三个晶轴长度不等，两轴在一平面内以锐角与钝角相交，另一轴垂直于包含此二轴的平面。晶轴符号为 a 、 b 与 c 。 a 及 b 轴相应地称为斜轴及正轴， a 轴与 c 轴正端之间的钝角称为 β 。

VI. 三斜晶系 不属于上述五个晶系中的晶体都包括在这一晶系内。三轴不等，且均互相以锐角及钝角相交。以 a 、 b 与 c 表示晶轴， a 轴称为短轴， b 轴称为长轴。 b 与 c ， c 与 a ， a 与 b 轴正端所成的夹角

相应地以 α 、 β 、 γ 表示。

轴率 (axial ratio) 每一种矿物或结晶化学品，都有其特别的轴率。选择一个与三个晶轴相交的显著的晶面，然后计算其与晶轴相交的相对长度，即可求得轴率。选择来计算轴率用的晶面若为锥面，就称为单位锥面 (unit pyramid)。近代伦琴射线技术帮助解决了选择计算轴率的晶面的问题。事实上对于某些物质，其轴率可以伦琴射线法求得，而毋须考虑晶体外形。

在等軸系晶体中，所有晶軸均相等，因此一切等軸系晶体的軸率都相同。在正方系晶体中，水平軸相等，直立軸較長或較短。須要說明的是与直立軸相交長度和与水平軸相交長度的比率；如 $c=1.1321$ 表示与 c 軸相交長度跟与水平軸相交長度間的比是 $1.1321:1$ 。六方晶系中也是这样。在斜方晶系中設与 b 軸相交長度为單位長，則軸率可以下式表示： $a:b:c=0.8131:1:1.2034$ 。

在單斜系与三斜系中，除了必需說明軸率以外，还得說明晶軸之間的角度关系。

截距的有理数定律 (Law of Rational Intercepts) 只要單位軸率長度決定，則晶体任意面的位置均可以其与晶軸的截距对單位軸率的关系來確定。在作这种計算时，截距有理数定律是非常有用的。这一定律說：晶面与各軸相交長度的比率必定是有理数，如 $1:2$ ， $3:\frac{1}{2}$ ， $4:\frac{1}{3}$ 等，而决不会有 $1:\sqrt{2}$ 等。

标軸率与指数 (Parameters and Indices) 标軸率是用晶面与各晶軸相交的相对截距的数目表示的。而相对截距又以單位截距做單位。例如斜方晶系中單位錐面的标軸率是 $a:b:c$ ，而另外一錐面可能为 $\frac{1}{2}a:\frac{1}{3}b:c$ 。

取标軸率的倒数，并將其中的分数約去即得密勒指数 (Miller indices)。标軸率与指数的关系可从下例中說明。

标軸率	密勒指数
$a_1:a_2:a_3$	111
$\infty a_1:\infty a_2:c$	001
$a_1:\infty a_2:-a_3:c$	10 $\bar{1}$ 1
$\frac{1}{2}a:\frac{1}{3}b:c$	432
$\infty a:\frac{2}{3}b:c$	053
$\frac{1}{3}a_1:\frac{1}{3}a_2:c$	331
$a_1:a_2:3c$	331

用指数代表晶面要比用标軸率代表晶面簡易得多。因此平常总是用指数來代表晶面。指数的一般形式可用字母 h 及 l 表示；在六方晶系中則以 h 、 k 、 i 及 l 表示。

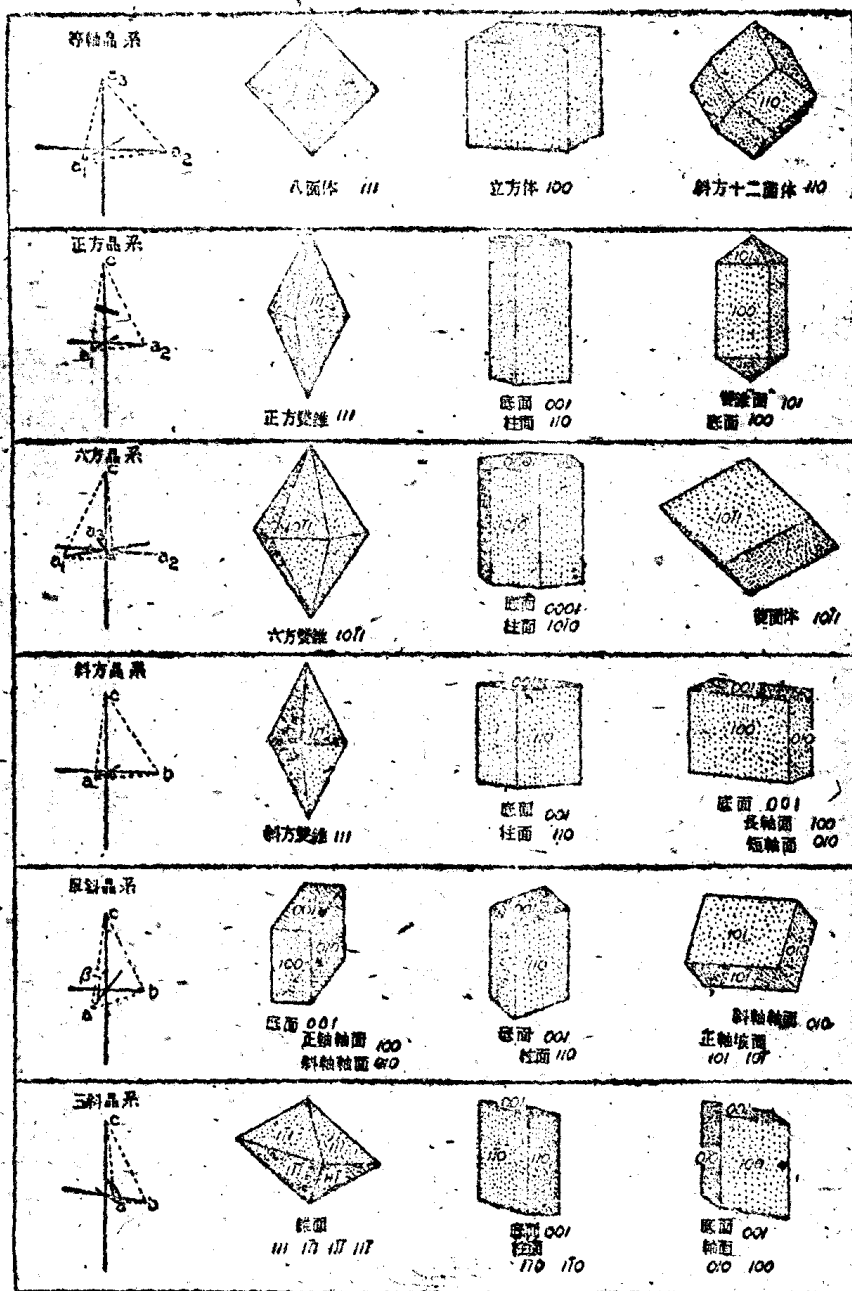


圖 2. 六个晶系的轴, 单形, 和聚形

晶形 在結晶學上，所謂晶形是指一個晶面或是一組與結晶軸有着相同關係的晶面而說的。例如立方體，是由六個相似面組成的形體，每一個面都與等軸晶系的一個晶軸垂直，而與另外兩個晶軸平行。在一個晶體上具有兩種或兩種以上的晶形時稱為聚形。

圖 2 表示六個晶系中的幾種單形和聚形。

如以指數表示一個晶面時，此指數須寫於圓括弧內。例如 (121) 、 $(h0l)$ 、 (hkl) 是代表三個不同的晶面。如將指數寫在大括弧中，例如 $\{0kl\}$ 、 $\{120\}$ 、 $\{hkl\}$ 、 $\{hkil\}$ ，這就不單表示個別的晶面，而且表示由這種晶面組成的完全的晶形。

為了方便計，在晶體圖形中的晶形均以字母或標準符號表示。

對稱要素 對稱要素包括對稱中心，對稱面和對稱軸。自晶面上任意一點連直線至中心，然後向相反方向延長至同樣距離，若能於相似晶面上得到一相似點，則此晶體謂之具有一對稱中心。如果通過晶

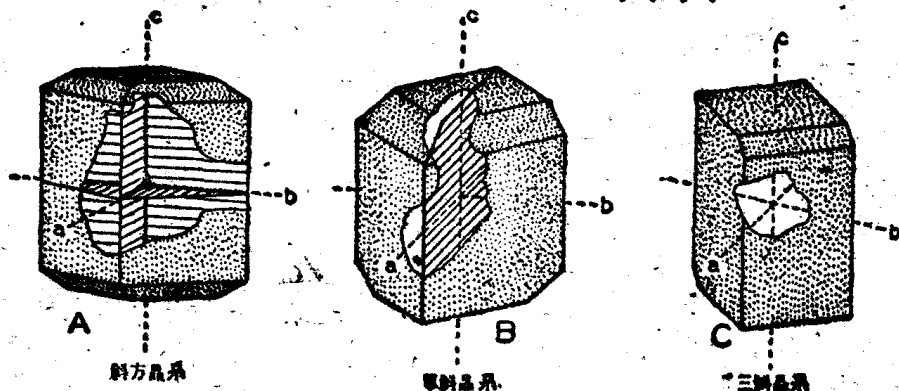


圖 3. 某些晶體的對稱要素

- A. 斜方晶系晶體有 3 個對稱面，三個二次對稱軸和 1 個對稱中心，每個對稱軸都和結晶軸平行。
- B. 單斜晶系晶體只有一個對稱面，1 個二次對稱軸和 b 軸平行，和 1 個對稱中心。
- C. 三斜晶系晶體只有一個對稱中心。

體能作一想象平面，此平面將晶體分成兩半，互成鏡面對稱，則謂此晶體具有一對稱面。所謂對稱軸，是指通過晶體的一條想象直線，繞此直線將晶體旋轉一週時，同樣的面、綫或角等至少可以出現兩次。對稱要素在發育完整對稱的晶體中表現得最清楚（圖 3）。

对称要素的可能组合一共有三十二种，这是把晶体分成三十二类的基础。

晶体习性 晶体所成的形状决定于许多因素，如温度、压力、和溶液的化学成分。并且，杂质、溶剂的移动、溶液浓度的不均匀和沉淀的速率都引起晶体的变化。但对一定的化合物，当其沉淀时，一般均具有其代表性的晶形或轮廓，或叫“晶体习性”。普通用来表示晶体习性的名词有下列几个：板状、片状、云母片状、粒状、矩柱状、柱状、针状、纤维状等。

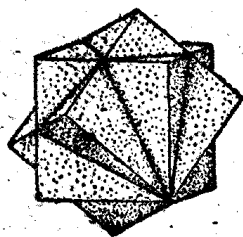


圖4.貫穿雙晶，立方體，雙晶面 $\{111\}$ ，等軸晶系

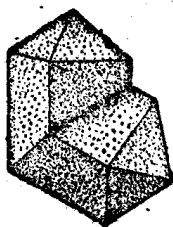


圖5.膝狀雙晶，雙晶面 $\{101\}$ ，正方晶系

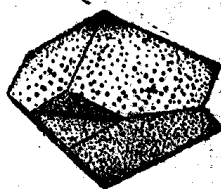
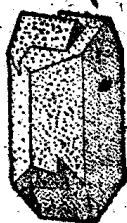


圖6.菱體雙晶，雙晶面 $\{0001\}$



圖7.貫穿雙晶；雙晶面， $\{082\}$ 斜方晶系



單斜雙晶

圖8.長石的卡式貫穿雙晶，雙晶面 $\{100\}$ ，單斜晶系



圖9.鈉長石的三晶，雙晶面 $\{010\}$ ，三斜晶系

雙晶 雙晶是兩個或兩個以上的晶体按照一定規律共生在一起而成的。在雙晶中，這一部分跟另一部分的关系，正如這一部分是另一部分繞二者的某一共同結晶學方向旋轉 180° 而成的。這一共同方向

称为双晶轴；垂直于双晶轴的平面称为双晶面。两部分接合的平面称为接合面 (*composition plane*)。

双晶可以是接触双晶，也可以是贯穿双晶。简单双晶只重复一次重复双晶或复合双晶，可以重复两次或多次，因此可区分为三晶 (*trills*)，四晶 (*fowlings*)，五晶 (*fiwelings*) 等。

圖4到9表示六个晶系中标准的双晶。

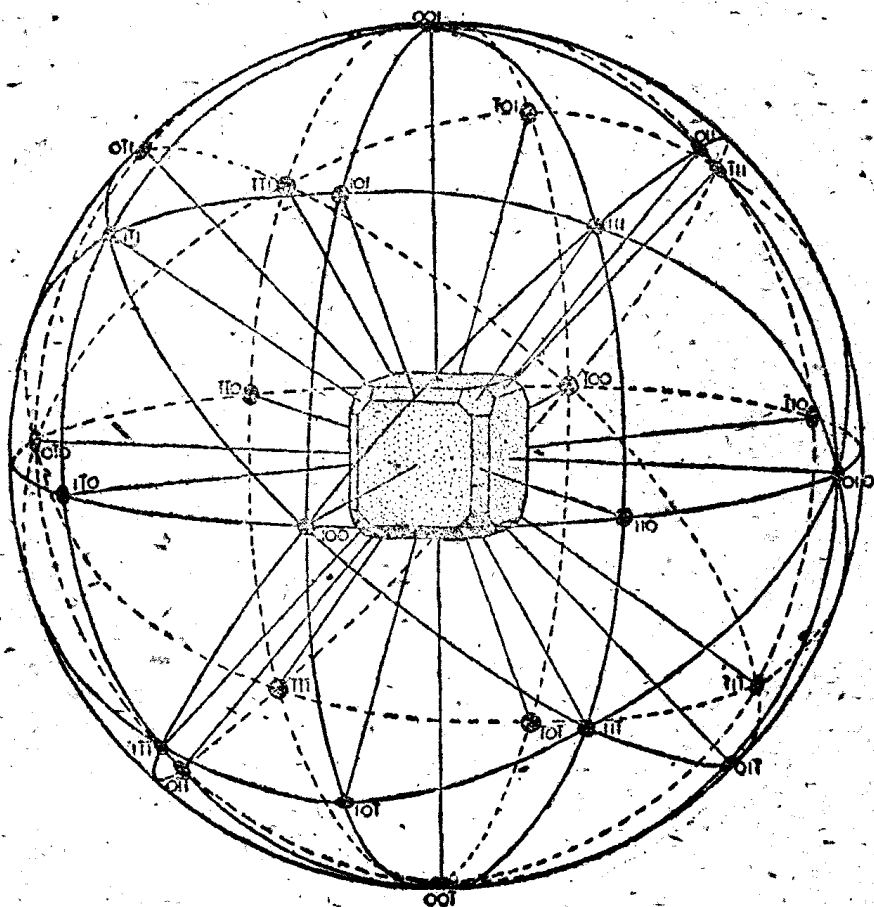


圖10.立方体{100}，八面体{111}和斜方十二面体{110}的球面投影

投影 在用圖解法來表示晶面及方向的空間关系时，投影是很重要的。在晶体光学中，投影的应用也日趋重要。投影的方法甚多，

視个别目的如何各有其最好的投影方法。

圖10表示一个等軸晶系晶体的球面投影, 这一晶体由立方体、八面体及斜方十二面体組合而成的。球面投影的方法是这样: 將晶体置于圓球中, 使圓球中心与晶体中心相合, 然后自中心向各晶面作垂直綫, 延長到球面; 球面与此垂直綫相交的点, 为晶面的極点 (poles) 所在。凡晶稜平行的一組晶面, 在球面投影圖中, 其極点必在一大圓上。

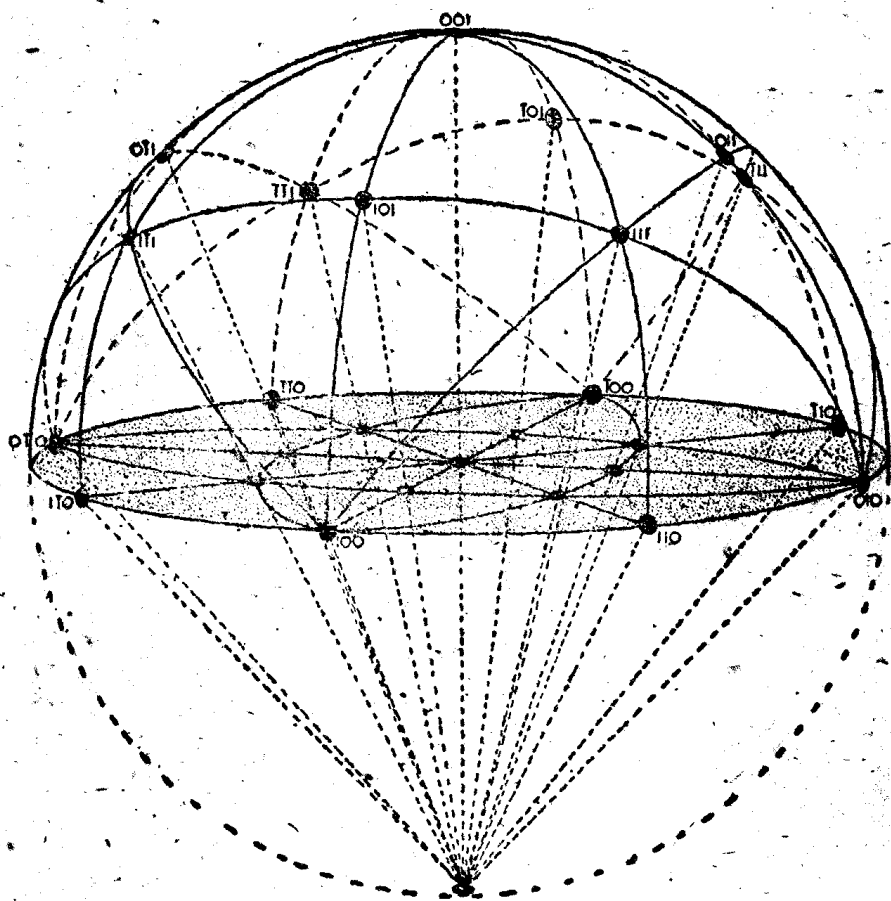


圖11. 球面投影和極射赤平投影 (陰影面) 之間关系的圖示

包含兩個或兩個以上的極点的大圓称为晶帶 (zone)。球面投影是立体的, 平时要描繪晶面或方向时, 方法甚为麻煩。

在普通工作中又把極点投影到一特定平面上去, 关于投影平面和

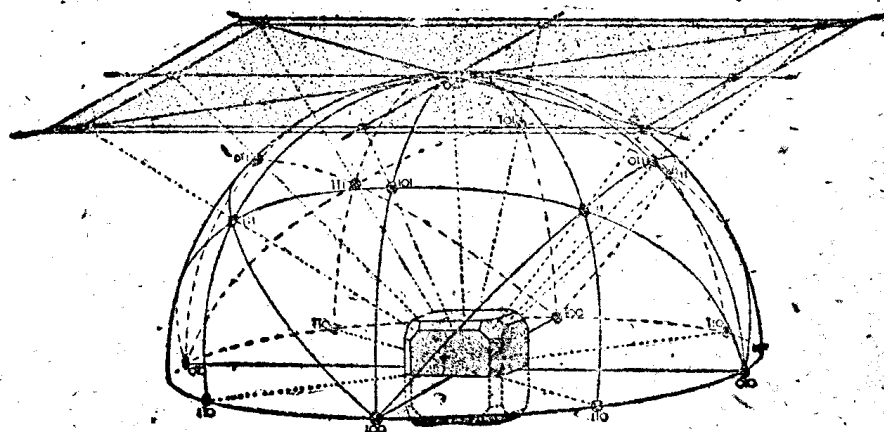


圖 13. 球面投影和心射極平投影（陰影面）之間关系的圖示

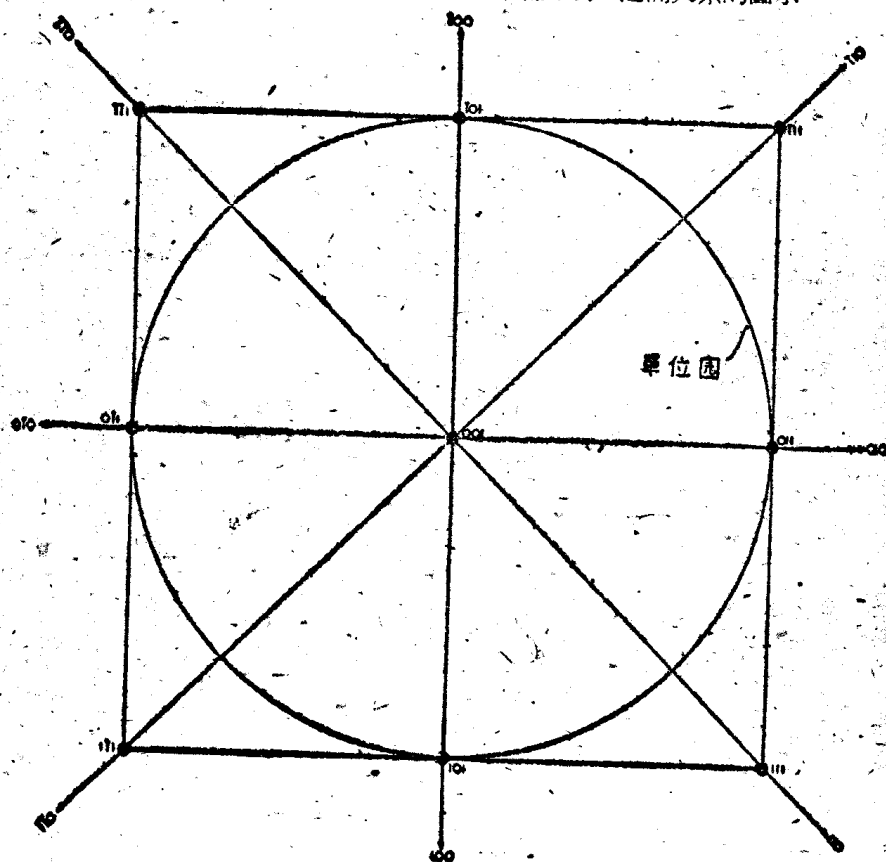


圖 14. 立方體、八面體和斜方十二面體極點的心射極平投影

極射赤平投影对表示結晶学方向与光学性質間的几何关系特別有用。如三斜晶系中，其光性指示图的方位与某些晶面的結晶軸之間的关系，就可以用極射赤平投影法表示出來。

心射極平投影 (*gnomonic projection*) 与極射赤平投影一样，也是从球面投影衍化出來的。不过投影面是与北極相切的一个平面。圖13表示心射極平投影与球面投影的关系。在心射極平投影中，所有

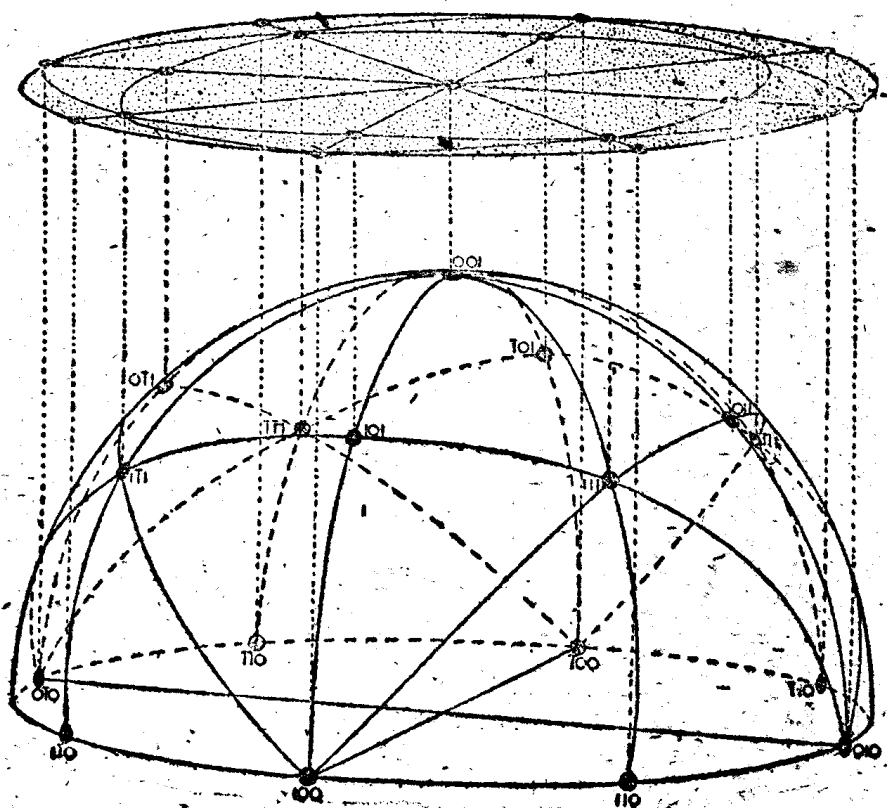


圖 15. 球面投影和直射投影 (陰影面) 間相互关系的圖示

代表晶帶的綫均成了直綫；凡平行于圓球直立軸的晶面，其極点投影于无限远处，在圖中只能以直綫的末端加箭头表示。圖14表示立方体、八面体和斜方十二面体的心射極平投影。

心射極平投影的最大用途是处理以双圈測角仪測算晶体所得的材料料上。利用心射極平投影可以計算軸率，并繪出晶体圖。