

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

遼寧寬甸火山岩中一種柘榴子石的發現

黃勘資

(地質部瀋陽地質局)

一. 序 言

於世界上許多火山岩中含有柘榴石已數見不鮮。關於火山岩中的柘榴石成因，過去學者研究有種種議論，但多以為捕虜變質岩而被火山岩混染之說頗佔優勢。本人於1953年特為研究此問題親往寬甸縣黃椅山採集礦物岩石標本，此柘榴石呈紡錘狀巨晶，實屬罕見。據過去文獻所載，於世界任何地方未曾發現如此情況。茲提出此論文的目的供岩石學和礦物學家作更進一步的研究其生成的原因，作者認為是目前岩石學上最富有興趣的問題之一。

二. 位置、地形及地質概要

黃椅山位於寬甸盆地中央部，且寬甸縣城西方是一個小型的火山。

寬甸盆地東西長約20公里，南北寬約10公里，形成了橢圓形的山間盆地。其周圍被海拔500—900米的羣峯所繞，構成此山岳地帶主要以震旦紀花崗岩及一部分片麻岩及石灰岩。此盆地內有黃椅山、土門嶺、雙嶺、青椅山、太平山等火山，而黃椅山呈不完全的圓鐘狀，火山口呈馬蹄形面向南方，海拔為513米，山體南北直徑約4公里，東西約3公里。現尚難確定此火山噴出時代的準確時期，據前人資料所載，屬於第三紀末。

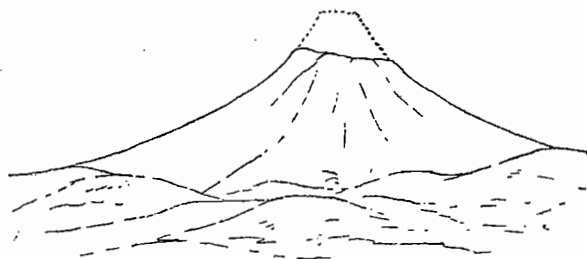


圖1. 由西方觀察黃椅火山火山口呈馬蹄形狀

三. 熔岩分佈及火山活動

黃椅山是一個比較小規模的火山，但火山活動是比較有興趣的。火山的形式為克

尼帝火山,但在北、西兩側傾斜比較急,南及南東兩側傾斜比較緩。熔岩的流出可分下列順序:(1)塊狀灰黑色緻密熔岩;(2)塊狀灰色多孔質熔岩;(3)赫色層狀熔岩;(4)塊狀灰黑色熔岩(局部具有多孔質);(5)浮石狀熔岩及火山彈(bomb)、火山礫(lapillus)、火山灰(ash)。

第一回塊狀灰黑色緻密熔岩,因為岩漿的黏度小,因此分佈範圍比較廣。第二回所流的塊狀灰色多孔質熔岩,在岩性方面與上稍有不同。從肉眼觀察其特徵,具有浮石狀不含斑晶,是屬於玄武岩,但其黏性與上無大差異。因此水平分佈比較廣,未能形成火山體。在此熔岩中不含鈉微斜長石(anorthoclase)和橄欖石團塊(olivine nodules)。

第三、四回火山又活動,因在當時岩漿黏性較大,由於相繼重複地流出而形成如今所見的山容。此熔岩中含有鈉微斜長石斑晶及橄欖石團塊。熔岩岩漿性質與前兩次的有所不同,在成分上應屬粗面安山質玄武岩。第五回由於火山猛烈的爆發,於山頂南側形成了火山口。此時期的主要噴出物為浮石狀熔岩及火山彈、火山灰、火山礫等堆積在火口附近。在浮石狀熔岩中及火山礫中,除含有橄欖石團塊外,尚含有巨晶黑曜岩狀鈦輝石及紡錘狀石榴石,而火山活動就此休止迄今。

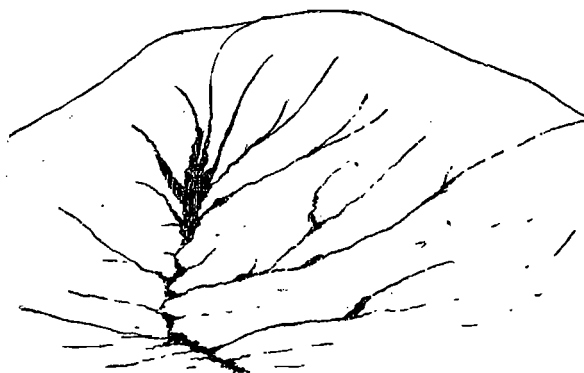


圖2. 由南方觀察黃椅山大致呈圓錐狀火山體

四. 橄欖石團塊的性質

橄欖石團塊所組成的礦物成分如下:

- (1) 橄欖石——呈橄欖綠色,透明,為組成橄欖石團塊的主要礦物。
- (2) 頑火輝石——灰褐色,呈樹脂光澤,含量次於橄欖石。
- (3) 鉻透輝石——呈油綠色,細粒,含量次於頑火輝石。
- (4) 鉻尖晶石(picoite)——黑色,不透明,呈細粒狀,含量很少。

以上四種礦物中,將(3)、(4)兩種礦物與硼砂球反應試驗結果,知鉻透輝石的反應比鉻尖晶的反應很微弱,而鉻尖晶石的反應形成特有的綠色。

橄欖石薄片無色,其粒大小多呈1毫米左右。橄欖石的主折光率 $n_m = 1.669 \sim$

1.671。其成分為 Fay 10% 左右，在礦物學上屬貴橄欖石 (chrysolite)。

頑火輝石——大小約 3 毫米左右。鏡下呈直消光，其主折光率 $n_m = 1.669 - 1.670$ 。

鉻透輝石——薄片觀察稍呈綠色，其大小約在 1 毫米左右。光學性質如下：

$$n_m = 1.679 - 1.681, \quad \text{分散 (dispersion)}$$

$$z \wedge c \quad 39^\circ - 41^\circ, \quad r > v,$$

$$2V = 54 \sim 56.$$

鉻尖晶石——薄片，呈褐色。

於橄欖石中只包裹着鉻尖晶石，並在其周圍生成橄欖石、頑火輝石。而鉻透輝石常伴生在鉻尖晶石的周圍。關於鉻尖晶石和鉻透輝石的成因，過去 N. L. Bowen 曾詳細論述過，可見二者在成因上是有聯帶關係的。

五．粗面安山質玄武熔岩中紡錘狀柘榴石及 黑曜岩狀輝石的礦物學的研究

1. 黑曜岩狀輝石少量出現在赫色層狀熔岩和塊狀灰黑色熔岩中，主要伴隨有火山礫、火山彈的同時產出。有時被包藏於火山彈中，在熔岩中好似形成了斑晶。

肉眼觀察特徵呈漆黑色，玻璃光澤，很易被人誤認為黑曜岩。但在許多標本中，若仔細觀察，還可以觀察劈紋。此輝石均不顯示固有的晶體，雖具有稜角，但均代有渾圓狀。其晶體大小常可達 10 厘米，最大有時可達 20 厘米。根據晶體光學，其性質為：

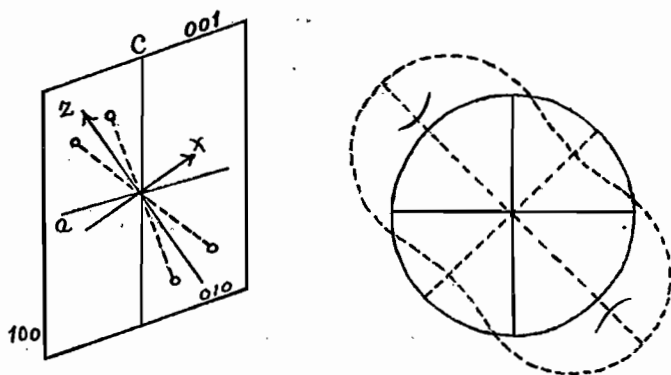


圖 3. 鈦輝石 (titanaugite) (010) 面光性方位及分散圖

薄片觀察稍顯示多色性 (preochloism)，在邊緣有烘烤的痕跡在 (001) 面內光學主軸 y 方向稍帶赤褐色，不如一般所謂鈦輝石的多色性顯著，但經化學分析， TiO_2 為 1.01%，因此定為鈦輝石，多色性不顯著，由於含鈦較少所致。主折光率測定方法是用 Fuess 製全反射晶體折光儀 (total crystal-refractometer) 來測定，光源為鈉光燈。其測定結果如下：

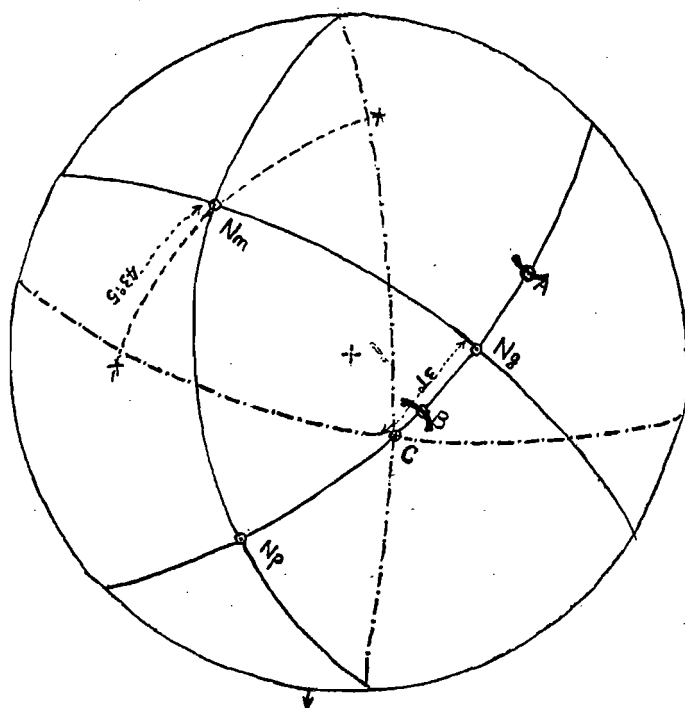


圖 4. 鈦輝石光性方位、光軸及劈紋角的平射投影圖(stereographic projection)

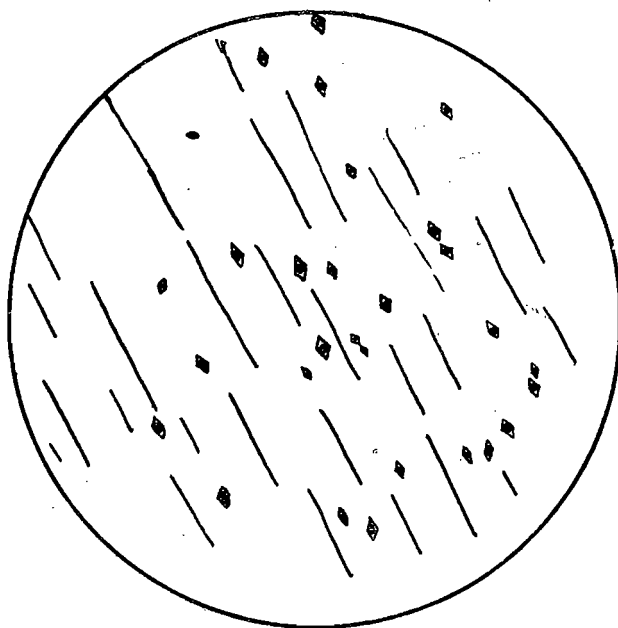


圖 5 a. 於鈦輝石(100)中磁黃鐵礦具有定向排列並垂直於(001)方向,似希勒氏構造

$$\begin{aligned}
 \theta n_p &\dots\dots 62^\circ 27' = 1.6878, \\
 \theta n_m &\dots\dots 62^\circ 25' = 1.6925, \\
 \theta n_g &\dots\dots 63^\circ 55' = 1.7150, \\
 \text{折光率} \begin{cases} n_p(\alpha) = 1.6878, \\ n_m(\beta) = 1.6925, \\ n_g(\gamma) = 1.7150, \end{cases} & \quad \begin{aligned} \gamma - \alpha &= 0.0282, \\ z \wedge c &= 37^\circ - 39^\circ; \end{aligned} \\
 \text{光軸角 } 2V &= 48 - 50^\circ, & \text{分散 } \rho > \nu, \\
 \text{劈紋角 } &87^\circ, & G = 3.4621.
 \end{aligned}$$

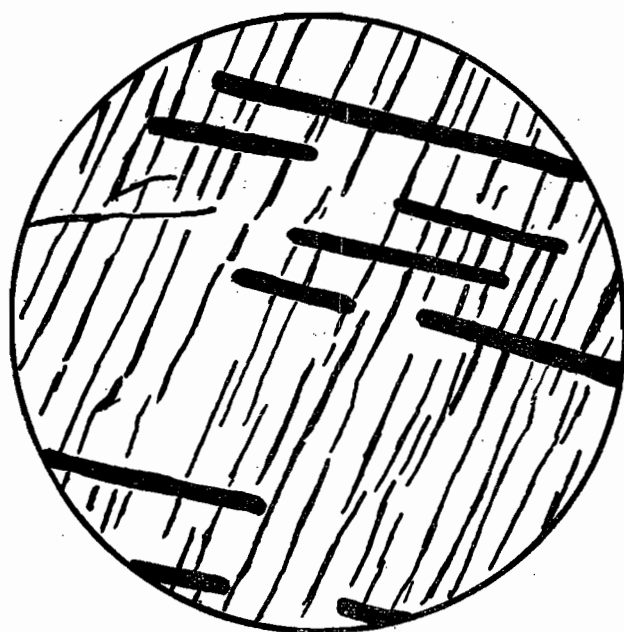


圖 5b. 鈦輝石中板狀磁黃鐵礦，有規則的排列於與劈紋所交的角度近於直交

用弗氏旋轉台 (universal stage) 測定光軸角時，發現薄片有不均消光現象，葉片狀連晶的輪廓很不清晰。其原因係溫度冷卻比較緩慢，因此稍發生不混溶 (exsolution)。按其礦物成分的變化，在此鈦輝石中也可分為兩個相，即富有鈣的和少鈣的連晶。並在此輝石中包裹着具有定向排列的磁黃鐵礦，且帶有稜形的輪廓可能為斜方輝石，因晶體過小，尚難確定。輪廓中心為磁黃鐵礦 (圖 5a)。另一種輝石中磁黃鐵礦呈板狀排列，並垂直劈紋方向。論其成因，毫無疑問是由於熔融體中分出來磁黃鐵礦。此足以證明其生成當時伴隨着硫的揮發份存在。按一般具有結晶方向的共生，彼此的晶格應具相適性，相差不多，才有可能互相規則的共生。關於此問題也就從紫蘇輝石中具有希勒氏構造 (Schiller structure) 原因相同，直到現在還不清楚。

2. 紡錘狀柘榴石 柘榴石也同樣被包在浮石狀熔岩中，但不呈晶體，呈紡錘狀，外

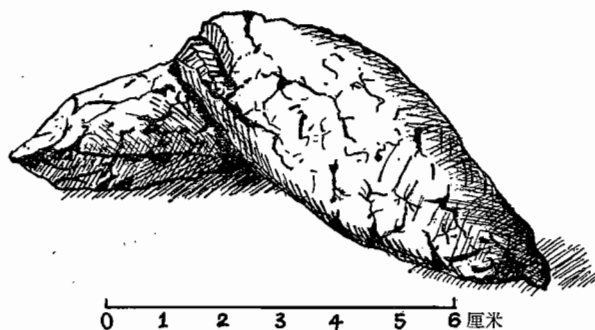
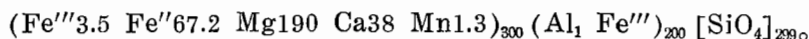


圖 6. 紡錘狀柘榴石(與實物大小相同)

觀呈火山彈(如圖 6 所示), 雖然大致如紡錘狀, 但在大多數標本中可看到, 由於很平滑的稜所構成, 好像有結晶面似的。柘榴石的表面上富有龜裂, 其顏色為赤褐色; 但在透過日光來觀察, 形成美麗的暗紅色, 頗似紅寶石的顏色。斷口為貝殼狀, 玻璃光澤, 其硬度與一般柘榴石的硬度相同。於顯微鏡下觀察, 其顏色呈粉紅色, 為均質光性, 折光率 $n_D = 1.7528$ 。根據化學分析, 其結果如下:

	Wt%	Mol. prop		Atomic ratio	ditto when O = 1200
SiO ₂	40.95	682	Si	682	296
Al ₂ O ₃	23.20	227	Al	455	198
Fe ₂ O ₃	1.05	6.5	Fe ^{III}	13	5.5
FeO	11.15	155	Fe ^{II}	155	67.2
MgO	17.99	437	Mg	437	190
CaO	4.92	87.8	Ca	87.8	38
TiO ₂	0.48	6	Ti	6	2.61
H ₂ O(+)	—	3	Mn	3	1.3
Total	99.96		O	2766	1200

由分析中可以看出, 金屬原子總計為 302。如果將 Fe^{III} 原子中取出二個, 則金屬原子恰為 300。可得如下化學式:



按柘榴石的 RO: R₂O₃: RO₂ 正好成 3:1:3 的比例, 換算為 *py*(Mg₃ Al₂ Si₃ O₁₂)、*Alm*(Fe₃ Al₂ Si₃ O₁₂) *Gr*(Ca₃ Al₂ Si₃ O₁₂) 的分子百分比如下:

py(Mg₃ Al₂ Si₃ O₁₂).....64.26 Mol %,

Alm(Fe₃ Al₂ Si₃ O₁₂).....24.94 Mol %,

Gr(Ca₃ Al₂ Si₃ O₁₂).....15.76 Mol %。

又根據樂琴射綫分析, 其晶胞 $a_0 = 11.50$, 比重 $G = 3.7825$ 。總括其物理性質及其分子百分比如下:

$n_D = 1.7528$, $py = 64.26 \text{ Mol } \%$,

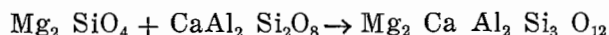
$$G = 3.7825, \quad Alm = 24.94 \text{ Mol } \%,$$

$$a_0 = 11.50, \quad Gr = 15.76 \text{ Mol } \%.$$

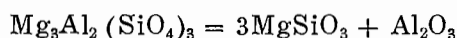
六． 黑曜岩狀輝石及紡錘狀巨晶柘榴石的成因

橄欖石團塊的成因在此處不擬多述。但首先提出決不像一般所想像那樣，是由於其他基性或超基性岩石的岩塊，後來受玄武岩漿的熔融而形成的。作者認為主要在先期的岩漿中，在化學成分上屬於超基性，可以當作 $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ 三成分。由於岩漿分異作用而形成了橄欖石團塊，按其形狀頗似早期岩漿異離體狀的鉻鐵礦礦巢。至於巨晶黑曜岩狀鈦輝石的成因，首先應考慮到火山岩漿主要分為兩個相，即易揮發成分 (easily volatile component) 及難揮發成分 (difficultly volatile component)。促成巨晶的原因，一般與礦物結晶生長速度很大和長時間的結晶作用、晶體發達很大與初期自發晶核數目有關。衆所週知，當溫度低於平衡溫度不太懸殊時，才能減少晶核數目。與此有關的尚有火山體形狀，為最主要的原因，這可用尼格利 (Niggli) 及毛雷 (Morey) 兩氏所研究的 $H_2O-AgNO_3$, $H_2O-K_2SiO_3$ 兩個相圖來解釋其成因。原因如上所述，火山岩漿中的易揮發分大部為水份及熔融狀矽酸鹽。此處假定鈦輝石為難揮發成分，而鈦輝石的晶出相當於 Morey 氏的相圖第 3 區域 [fluid + [B] 第一沸騰點 (first boiling point) 及第二沸騰點 (second boiling point)] 與流體 (fluid) 共存區域。但此流體的黏性比其他區域流體的黏性要小得多，因此結晶作用的速度也最大。在此區域時當溫度到達第一沸騰點附近時，難揮發分開始晶出，伴隨結晶作用，不斷的揮發分的富集，引起了內壓急劇增大。又根據 Morey 的實驗， K_2SiO_3 當溫度由 $500^\circ C$ 降至 $420^\circ C$ 時，內壓由 50 氣壓增至 340 氣壓。火山爆發原因亦為此。以上說明了熔漿中易揮發成分越多，則蒸氣壓也越高；相反的，在熔漿中含有多量的易揮發成分，則所需要的壓力也越高。由於揮發物質的存在，一方面使結晶溫度降低，同時也降低了黏性。在這過程中又可分為三個階段，即定容積冷卻和等溫及等壓條件，但在聯系火山岩漿活動整個過程中時，不是孤立相割的。我們可以設想，定容積可以假定為火山體，最初的外壓力假定為等壓，而等溫冷卻條件也就說明了當火山岩漿侵入過程比較暫短時，可將溫度當成為恆定的。或是溫度變化比較緩慢，而內壓力變化確是巨大，促成了巨晶的生長。當外壓力小於內壓力時，則發生了爆發現象，隨着浮石狀熔岩一起噴出。此鈦輝石在外觀上形成黑曜岩狀，可能是由於當時高壓條件下，受高溫熔漿的烘烤，由於火山爆發溫度下降比較快，所以形成了黑曜岩狀的鈦輝石。如果用長時間的結晶作用來解釋巨晶的形成，於此處稍有一些躊躇。因為是長時間的結晶作用，相對的說，在斜長石應當增加 Ab 的分子，易形成累帶構造。但是於此處斜長石並未發現具有累帶構造，可以想像到礦物結晶速度之非常大是佔主導作用的。

關於柎榴石的成因,在國外過去有很多研究,例如 Burri 及 Parga-ponlal 兩氏於 1936 年研究西班牙 Hoyazo 地方的安山岩中含有柎榴石,且含有堇青石、矽線石。其成因係由於安山岩捕虜了柎榴石-黑雲母-矽線石-片麻岩,且柎榴石還保持着原來的晶體。又根據 Bergeat 於 1910 年研究 lipari 島上安山岩中含有柎榴石的成因,係由於捕虜了鋁質變質岩而形成了柎榴石。日入神津倣祐 (Shukusuké Kôzu) 及八木健三 (Kenzô Yagi) 兩氏於 1941 年研究了兩瀧山 (Amataki) 產柎榴石的成因,知道也是由於原來安山質岩漿捕虜了多量的柎榴石-矽線石-黑雲母片岩,由於同化,結果形成了柎榴石。另一種議論是當壓力增高時,橄欖石與鈣長石發生反應,則產生柎榴石。其反應式如下:



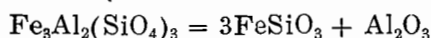
作者結合以上事實與黃椅山浮石狀熔岩中柎榴石的成因,在研究橄欖石團塊中曾經發現於柎榴石中包裹着橄欖石。雖然在很多標本中只有一個有此現象,但在解釋成因上是一個極其有力的證據。另外除了捕虜花崗片麻岩和極少量的橄欖石輝綠岩,根據以上事實,作者認為由於第五次火山岩漿捕虜了先期生成的橄欖石團塊和花崗片麻岩,也就是說橄欖石團塊為鎂、鐵的來源,而花崗片麻岩為鋁的主要補給來源。其反應式如下:



Pyrope

Enstatite

(鎂鋁柎榴石) (頑火輝石)



Almandite

Ferrosilite

(鐵鋁柎榴石)

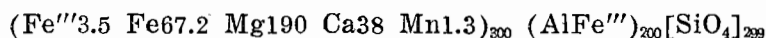
及引用如前所述橄欖石與鈣長石的反應。因鋁為初期結晶的主導元素,由於外來的供給生成柎榴石的鋁的不足,因而促使了柎榴石易於晶出。至於巨晶紡錘狀柎榴石的原因,在生成物理條件與鈦輝石幾乎是相同的。火山岩漿未爆發以前,由於高溫高壓形成了凝固不十分完全的柎榴石。其後又由於蒸氣壓力激增,引起了火山爆發,而將處於熾熱狀態的柎榴石隨浮石狀熔岩塊被拋棄於天空中。因為旋轉保持最小的表面張力及冷卻比較快,在柎榴石表面生成了很多的龜裂,因此形成了如今所見的紡錘狀具有龜裂的柎榴石。

七. 結 語

1. 鈦輝石的生成係在高溫高壓情況下生成的。於此輝石中發現特殊包裹物為磁黃鐵礦。

2. 紡錘狀柎榴石的成因，係由於在高溫高壓條件下，頑火輝石與橄欖石及鋁的元素加入而形成了柎榴石。其後由於火山爆發，將熾熱狀柎榴石拋棄於天空中，生成如今所見的具有龜裂紡錘狀的柎榴石。考查世界其他產地，並未發現如本文所述的柎榴石，實屬罕見。

3. 柎榴石化學成分及物理性質為：



分子比 $py = 64.26$ $Alm = 24.94$ $Gr = 15.76(\text{mol}\%)$

$n_D = 1.728$ $a_0 = 11.50$ $G = 3.7825$

參 考 文 獻

- [1] Burri, C. and Parga-Pondal I, 1936. *Schweitz Min, Pet, Mitt.*, **16**, 226—262.
- [2] Bergeat, A. N., 1910. *Jb. B—B.* **30**, 575—627.
- [3] Fleisher, M., 1937. *American Mineralogist*, **22**, 751—759.
- [4] Shukusuki Kôzu, Kenzô Yagi, 1941. Chemical studies of garnet and its mother rock from Amataki. Reprinted from the *Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists*, Vol. 26, No. 3.