科學 · 寶石學

# 藍色藍寶石

從剛玉的晶體結構，到深淺不一的藍色、藍綠色、變色效應與螢光。



寶石學圖解專文 · 共 14 節

1.287 克拉枕形藍綠色藍寶石附 Bellerophon A31949 號報告。0.935 克拉八角形藍寶石呈現可見光與 365 nm 長波紫外光下的不同表現。第 13 節另收錄 0.967 克拉變色藍寶石及 Bellerophon T8549 號檢測結果。

# 閱讀導覽

01 導言
02 結晶學與分類
03 形成環境與晶形
04 物理與光學性質
05 色彩、變色與螢光
06 內含物
07 礦床與產地圖集
08 馬達加斯加
09 處理狀態
10 稀有性與產出
11 鑑定
12 光譜學
13 細看館藏標本
14 方法、結論與參考文獻

01 · 藍寶石

# 導言

藍色藍寶石是剛玉的藍色變種，化學式為 $Al_2O_3$，屬氧化鋁。它的顏色來自光線與晶格內微量元素的交互作用，而非沉積在寶石內的顏料。同一原子骨架可以呈現淺藍至深藍等截然不同的藍色，也可帶有次要的綠調或紫調。商業用語 藍綠色 指介於藍與綠之間的顏色，並不代表特定礦物種或地理產地。

理解這種多樣性，需要連結原子排列、生長條件、內含物、切工與照明等不同尺度的因素。單靠視覺印象不足以鑑定。一顆藍綠色藍寶石可在不同光源下維持穩定色澤；另一些藍寶石則會隨光源改變，由藍轉紫。多色性又是另一種現象，變化取決於觀察方向。

本文綜述藍寶石。典藏中的兩顆寶石分別說明不同的觀察結果：其中一顆是枕形藍綠色藍寶石，重量為 1.287 克拉，附有 Bellerophon GemLab 報告；另一顆是八角形藍寶石，重量為 0.935 克拉 ，分別於兩種光源及長波紫外光下拍攝。兩顆寶石的性質不可混為一談。

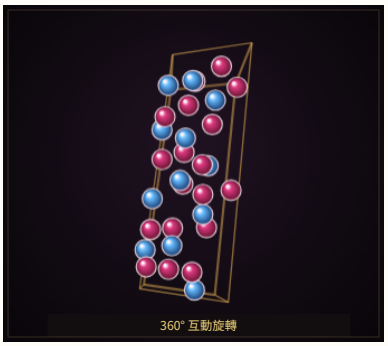
參考資料： [1], [4], [5].

02 · 藍寶石

# 結晶學與分類

剛玉屬三方晶系，晶類 −3m，空間群 R3̄c（第 167 號）。其菱方布拉菲晶格 R 通常以慣用六方軸設定描述。採用菱方原始晶胞時，晶胞角 α 約為 55.28°，指的是晶格幾何，與肉眼所見菱面體晶形的傾角有別。$O^{2-}$ 陰離子構成略微扭曲的緊密堆積，$Al^{3+}$ 占據其中三分之二的八面體空隙。變形的 $AlO_6$ 八面體以共面與共稜方式相連。鐵、鈦的置換會局部擾動此結構，礦物仍為剛玉。顏色既取決於元素總濃度，也取決於其電荷狀態與彼此的組合。

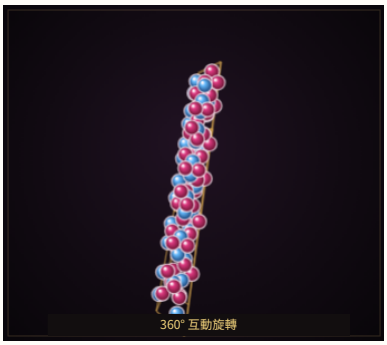
| 分類依據 | 分類 |
| --- | --- |
| 化學式 | $Al_2O_3$ · 簡單氧化物 |
| 晶系／布拉菲晶格 | 三方晶系 · 菱方 R 晶格 |
| 晶類／空間群 | −3m · R−3c（第 167 號） |
| 慣用晶胞 | a ≈ 4.75 Å · c ≈ 12.97 Å · Z = 6 |
| 晶體學位置 | Al：12c，(0,0,z)，z ≈ 0.352；O：18e，(x,0,¼)，x ≈ 0.306 |
| Strunz | 04.CB.05 |
| Dana | 04.03.01.01 |



以 Al 12c 與 O 18e 晶位計算的剛玉慣用晶胞



AlO6 的實際局部八面體配位



根據晶體學位置計算得到的三個剛玉慣用晶胞堆疊圖

拖曳即可旋轉；點選「暫停」或「繼續播放」控制轉動。視圖採用 R3̄c 空間群的 Wyckoff 位置 12c 與 18e。第一個晶胞含 12 個 Al 與 18 個 O；第三個視圖堆疊三個完整晶胞，共 36 個 Al 及 54 個 O。

參考資料： [1], [2], [14].

模型採用四捨五入的位置參數：Al 12c，z = 0.3522；O 18e，x = 0.3064。R 心平移在慣用晶胞中生成 12 個 Al 與 18 個 O 位置，相當於六個 $Al_2O_3$ 化學式單位。八面體由一個鋁原子周圍最近的六個氧原子構成；第三個模型以三個晶胞重複排列，未額外添加裝飾性原子。粉紅色代表 O，藍色代表 Al。

03 • 藍寶石

# 形成環境與晶形

氧化鋁活度高而二氧化矽活度夠低時，剛玉才能穩定存在。達平衡時，石英與剛玉通常難以共存：富矽系統中的鋁優先進入長石、雲母、矽線石、藍晶石或堇青石。寶石級剛玉的形成因此需要特定成岩條件，可由變質作用、交代作用、脫矽作用，或二氧化矽不飽和的鹼性岩漿演化所造成。

嚴格定義下的變質礦床。 不純大理岩、富鋁片麻岩、麻粒岩，以及部分變質基性至超基性岩中，脫碳與再結晶反應可形成剛玉、尖晶石、金雲母、方柱石、透輝石與碳酸鹽礦物。富鋁岩層與鄰近岩石之間的交換影響鉻、鐵、鎂及鈦的供應。

變質－交代礦床。 流體循環及岩石與流體的反應，可使偉晶岩或圍岩失去二氧化矽，形成剛玉斜長岩（plumasite）、金雲母岩或黑雲母岩、矽卡岩與剛玉岩。在高級變質作用下，分帶、內含物與微量元素化學特徵可記錄原岩、流體與圍岩之間的反應。大理岩與侵入體接觸帶所發育的含藍寶石矽卡岩，即屬此類環境。

岩漿礦床與玄武岩環境。 剛玉可在二氧化矽不飽和的岩漿系統中結晶。然而，在鹼性玄武岩區，許多藍寶石是捕獲晶，或來自玄武岩自地殼或地函深處挾帶的捕獲岩。玄武岩在此扮演快速搬運的角色，而非剛玉的結晶母岩。這類與玄武岩相關的剛玉，鐵含量常高於變質成因的剛玉。

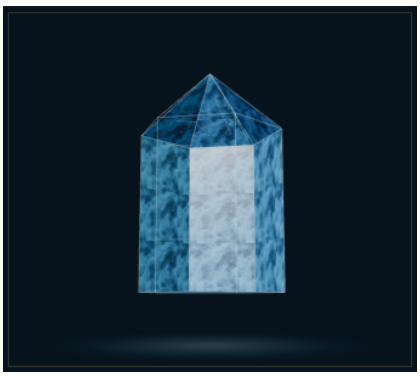
次生礦床。 殘積層、坡積層、沖積層與古砂礦皆為寶石結晶後聚集的環境。剛玉的硬度、密度與化學穩定性，有利於它在風化和搬運後富集。現代砂礦由近期地質作用形成或改造；古砂礦則是較早期的沉積層，仍可能再受現代侵蝕作用影響。同一層位中可能混有多個原生來源及不同時期搬運的物料。

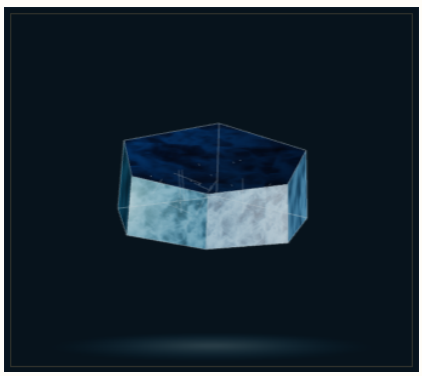
| 成因類型 | 母岩與地質作用 | 礦物組合或實例 |
| --- | --- | --- |
| 原生岩漿型 | 矽不飽和的鹼性岩漿；正長岩、煌斑岩及相關系統 | 含鐵剛玉；部分晶體後來成為捕獲晶 |
| 原生變質型 | 大理岩、片麻岩、麻粒岩、角閃岩及鎂鐵質至超鎂鐵質岩石 | 尖晶石、雲母、金紅石、鋯石、碳酸鹽 |
| 原生交代型 | 脫矽作用與岩石－流體反應；剛玉斜長岩與矽卡岩 | 金雲母、方柱石、透輝石、尖晶石、碳酸鹽 |

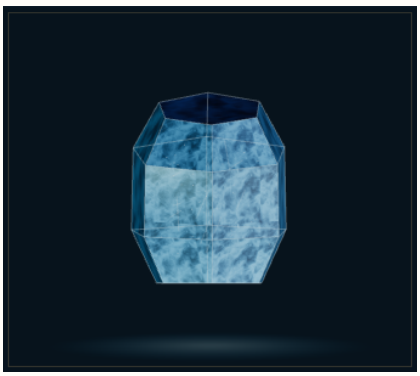
| 成因類型 | 母岩與地質作用 | 礦物組合或實例 |
| --- | --- | --- |
| 次生 | 風化、搬運與水力分選 | 殘積物、坡積物、沖積砂礦與古砂礦 |

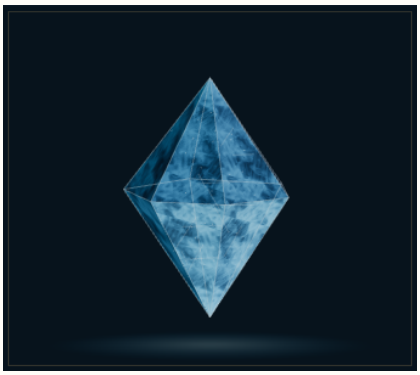
## 可旋轉 360° 的理論晶習模型

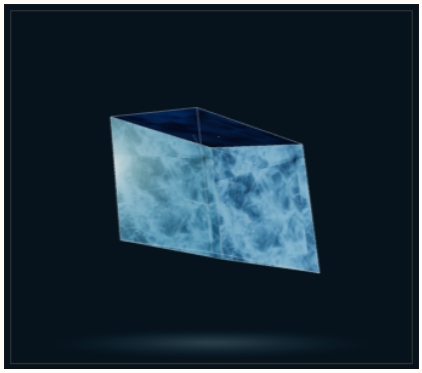
晶體外形取決於各種晶面的相對發育程度，包括底面平行雙面 c {0001}、柱面 a {11-20}、菱面體 r {10-11} 與雙錐面。六個模型分別示範單形及聚形，表面質感模擬天然晶體，標籤標出主要晶面。第五個模型以 r {10-11} 晶面的倒晶格法向量建構，藉此區別晶面夾角與原始晶胞的晶軸夾角。

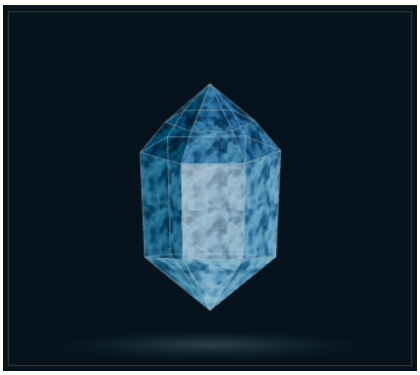

柱面 {11-20}，末端呈菱面體形


板狀晶面 c {0001} ＋ 柱面 a {11-20}


桶狀晶形：a + r 聚形


六方雙錐


菱面體 r {10-11}：8 個頂點、12 條稜、6 個面


c + a + r 聚形

參考資料： [1], [2], [14].

六個模型的紋理均為模擬製作，並固定於晶面上，用以呈現剛玉原石可能具有的生長面、條紋與不規則處；這些模型並未重建這顆藍綠色藍寶石原先所屬的晶體。描述晶體外形的晶習，也不可與描述壓力及溫度條件的變質相混淆。

04 • 藍寶石

# 物理與光學性質

| 性質 | 參考值 |
| --- | --- |
| 折射率 | nω ≈ 1.767–1.772；nε ≈ 1.759–1.763 |
| 雙折射率 | 約 0.008–0.010 |
| 光性與光性符號 | 一軸負晶。內應力或雙晶可造成異常二軸干涉圖，晶體本身仍屬一軸晶。 |
| 光軸角 2V | 理想一軸晶狀態下不適用 |
| 多色性 | 二色性隨方向變化：通常可見藍至藍綠色，以及藍至藍紫色兩組分色。 |
| 色散 | 低，約 0.018 |
| 相對密度 | 約 3.98–4.10 |
| 硬度 | 莫氏硬度 9 |
| 解理／裂理 | 無解理；可能出現底面或菱面體裂理。 |
| 斷口／韌性 | 貝殼狀至不規則斷口；材料具韌性，但邊緣仍可能崩缺。 |
| 光澤 | 玻璃至次金剛光澤 |

原石相對於光軸的方向會影響所見色調、二色性、暗區及切磨成品率。莫氏硬度 9 表示抗刮能力強，但仍可能因裂理、內應力或裂隙而在撞擊下崩角或斷裂。

參考資料： [1], [2], [14].

05 · 藍寶石

# 色彩、變色與螢光

## 藍色的成因：電荷轉移與原子周圍環境

許多藍色藍寶石的主要致色中心是 $Fe^{2+}$ 與 $Ti^{4+}$ 離子對。相鄰離子之間的電荷轉移造成吸收，激發態通常表示為 $Fe^{2+} + Ti^{4+} \rightarrow Fe^{3+} + Ti^{3+}$。這條寬廣的吸收帶削弱部分與藍色互補的波長。離子對的幾何配置與光的電場方向均會影響反應，因此尋常光與非尋常光的光譜各異。

$Fe^{3+}$ 在紫光與藍光區產生吸收，與鐵－鈦吸收帶疊加時，可使色調偏向藍綠。電荷供體與受體的平衡、其他雜質及氧化條件也會參與其中。因此無法從一張藍綠色照片計算鐵含量或量化鐵－鈦離子對。晶體的生長分帶及光穿過寶石的路徑，也會影響外觀。

參考資料： [4].

## 三種應加以區分的解讀方式

| | |
|---|---|
| 參考指標解讀藍綠色調帶綠調的藍色：此為色彩描述，並不必然表示具有變色效應。多色性光源不變時，觀察方向與偏振方向不同，所見顏色也不同。變色／色調偏移在盡可能維持觀察幾何條件的情況下，因照明光譜改變而產生的感知色彩變化。 | |
| | |
| | |
| | |

## 從藍色到紫色：照明的影響

部分藍寶石具有兩個透射窗口；在富含短波長的光與暖光下，兩者的相對貢獻不同。釩可能參與其中，有時亦有鉻與鐵的作用。這些機制已見於經分析的藍寶石，卻不能因此認定本頁照片中標本的化學組成。

這組對照圖顯示 0.935 克拉八角形藍寶石在 6000 K（左）與 2700 K（右）下的表現。Ultra Rare 觀察到顏色由藍轉紫，此處稱為 色調偏移（color shift）。色溫不足以完整描述燈具光譜；兩盞同為 6000 K 的 LED 燈也可能有差異。對照照片記錄的是觀察結果，無法據此計算變色百分比或得出實驗室的色度分級。



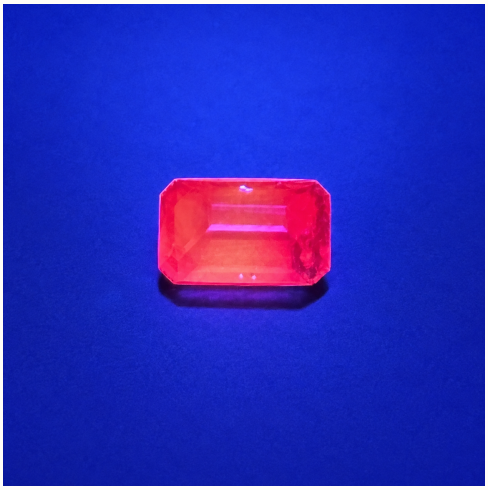

八角形藍寶石，0.935 克拉 · VS · 6.7 × 4.1 × 3 毫米。左：6000 K；右：2700 K。Ultra Rare 典藏，即將推出。此標本與藍綠色藍寶石不同。

參考資料： [5].

## 螢光：由寶石發出的光，與透射光有別

螢光是物質受激發時產生的發光現象。在剛玉中，$Cr^{3+}$ 可產生紅色螢光，譜線接近 694 nm。鐵可能透過非輻射弛豫途徑削弱發光。因此，螢光微弱不一定代表無鉻，紅色螢光也不足以區分天然與合成剛玉。激發波長、濾光片與曝光設定都會大幅影響影像。

照片 B 記錄 Ultra Rare 在以下條件下觀察到這顆 0.935 克拉八角形藍寶石呈紅色反應： 365 nm 長波紫外光。無法由這張照片推算鉻濃度。至於 1.287 克拉的藍綠色藍寶石，Bellerophon 報告另行記載：「Fluorescence : None」（螢光：無）.



0.935 克拉八角形藍寶石，365 nm 長波紫外光下拍攝 · Ultra Rare 觀察 · 即將推出。此處的螢光表現並非來自 1.287 克拉的藍綠色藍寶石。

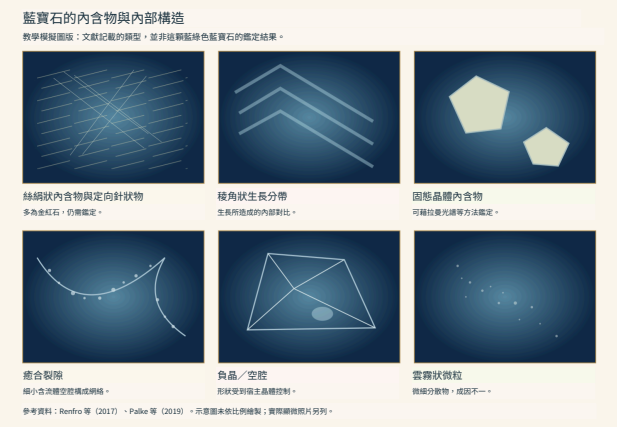
參考資料： [6].

06 • 藍寶石

# 內含物

內含物記錄了晶體生長與後續變化。可能見到針狀或絲狀金紅石、固態晶體、雲霧狀微粒、負晶與癒合裂隙留下的紋理。相較於單一特徵，分布、方向及其與分帶的關係往往更具判讀價值。若針狀物沿三個方向排列，密度與弧面切磨亦合宜，就可能出現星光效應；並非所有絲狀內含物都會形成肉眼可見的星光。

內含物組合取決於形成環境。與玄武岩相關的藍寶石可含長石、氧化物及矽酸鹽熔體包裹體。變質成因的藍寶石則可能出現流體內含物或其他礦物組合。這些都是一般例子，須經適當觀察，才能確認本顆藍綠色藍寶石是否具備。條件許可時，顯微拉曼光譜可直接檢驗被包裹晶體的礦物種類，無須將其取出。




教學用綜合示意圖：文獻所記載的藍寶石內部結構類型。此圖並非藍綠色標本的照片或內含物分布記錄。

參考資料： [7], [3].

## 藍綠色藍寶石的高倍率觀察

高倍率顯微照片 C 顯示 1.287 克拉的藍綠色藍寶石。藍綠色視野中可見明亮點狀細節及邊界清楚的暗部。解讀這些特徵時，須考慮對焦平面、光源及各刻面間的反射。其淨度描述為 肉眼無瑕（eye clean） 指以肉眼檢視的結果；顯微鏡下仍可能觀察到內部構造。



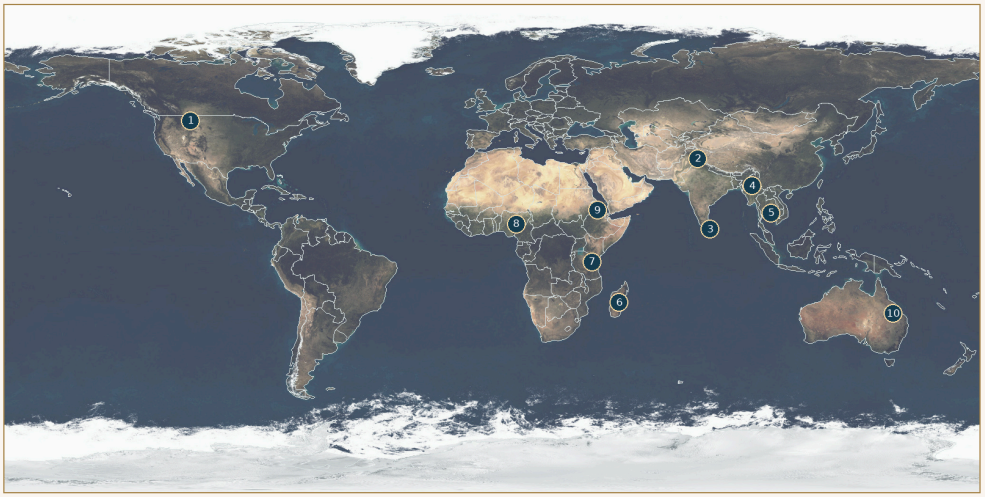
1.287 克拉藍綠色藍寶石 • Ultra Rare 高倍率顯微照片。

07 · 藍寶石

# 礦床與產地圖集

藍色藍寶石分布於數個大洲，地質歷史各異。斯里蘭卡、緬甸、喀什米爾與馬達加斯加是變質或交代環境相關藍寶石的代表產地。澳洲、泰國、柬埔寨、奈及利亞及衣索比亞則有與玄武岩相關的例子。蒙大拿州與坦尚尼亞展示了其他地質環境，難以用簡單的二分法涵蓋。

礦床 · 藍寶石產地圖集







文獻記錄的代表地區（非完整名錄）

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 01 蒙大拿州 | 02 喀什米爾 | 03 斯里蘭卡 | 04 緬甸 | 05 泰國／柬埔寨 |
| 06 馬達加斯加 | 07 坦尚尼亞 | 08 奈及利亞 | 09 衣索比亞 | 10 澳洲 |

馬達加斯加

標示指出文獻所載的地區，不代表目前正在營運的礦場，也不能據此認定這顆藍綠色藍寶石的來源。

地形底圖：NASA／Three.js；國界：Natural Earth。寶石學參考資料：Palke 等（2019）、Giuliani 與 Groat（2019）。

藍色藍寶石產地文獻圖：陸地與國界為底圖，右側附馬達加斯加全圖。選列文獻所載地區，未依產量排名。

同一國家可包含多種礦床。部分產地樣品的化學成分範圍與內含物會重疊，因此不能單靠色澤推知來源。產地圖用來定位文獻記載的地點；交易來源的追溯及實驗室產地鑑定，仍各有其作用。行政界線僅供定位，並不代表地質分界。

參考資料： [2], [3].

08 · 藍寶石

# 馬達加斯加

## 一座島嶼，多段剛玉成因史

馬達加斯加的前寒武紀基盤，經歷了與岡瓦納大陸形成有關的大陸碰撞與重組。高變質度地體、侵入作用與流體運移，營造出適合剛玉形成的環境。後來的侵蝕作用使晶體從母岩中釋出，並在次生沉積物內富集。因此，寶石最初結晶的岩石與實際採出寶石的礫層之間，可能相隔漫長的搬運歷程。

Ilakaka–Sakaraha 以砂礦與古砂礦聞名。Andranondambo 則與產藍寶石的矽卡岩系統有關。東部的 Bemainty、Didy 等礦區反映與基盤相關的多種剛玉群。GIA 研究的 Bemainty 藍寶石呈現多樣特徵與不同含鐵量，說明產地歸屬並不容易。北部 Ambondromifehy 的火山環境，則是玄武岩相關藍寶石的例子。




馬達加斯加：Ultra Rare 參考地圖，顯示地形、植被與剛玉礦區。標記代表區域；不能因圖上標有某地便將此藍綠色藍寶石歸於該處。

這顆藍綠色藍寶石由 Ultra Rare 直接在島上購得，馬達加斯加產地的說明來自 Ultra Rare。檔案未記錄確切採礦地點。Bellerophon 報告描述其成因背景為「Basaltic Related Deposit」（與玄武岩相關的礦床），未列國名。兩項資訊分別保留各自來源；地圖不會使其成為經認證的具體礦區產地。

參考資料： [8], [9], [2].

09 · 藍寶石

# 處理狀態

加熱可改變電荷狀態、元素分布及部分內含物。影響依原始成分、溫度、時間與氣氛而異，可能使藍色調變淡或增強、改變絲狀內含物，或影響透明度。沒有一套適用於所有藍寶石的固定反應模式。

Hughes 與 Perkins 對馬達加斯加藍寶石的實驗顯示，即使加熱溫度相對低，也可能留下細微跡象。判讀須結合顯微觀察與光譜；內含晶體外觀完整，仍不足以排除加熱。FTIR 特徵亦須依藍寶石類型解讀：部分與玄武岩相關的藍寶石本來就具有某些吸收帶，單憑這些吸收帶不能判定經過處理。

| 類別 | 解讀 |
| --- | --- |
| 加熱處理 | 以加熱改變既有材料；效果取決於材料的化學組成及處理氣氛。 |
| 鈦或鈹擴散處理 | 在熱處理期間導入元素；須檢視化學分析結果與顏色分布。 |
| 充填／浸漬 | 將物質填入裂隙，可能影響淨度判讀與保養方式。 |
| 人工合成 | 以人工方式生長剛玉，與處理天然寶石屬不同類別。 |

參考資料： [8], [10], [12].

10 • 藍寶石

# 稀有性與產出

## 產出

剛玉礦床雖多，寶石級剛玉卻未必同樣豐富。岩石中的晶體可能不透明、有裂隙，或小到無法切磨。從發現礦物、取得可切磨原石到完成寶石，還需經過回收、分選、定向及切磨損耗等多重篩選。針對單一礦床或一批材料所得的數字，若無適當方法，不能推論至整個市場。

## 珍稀之中的珍品

令人賞心悅目的寶石須兼具討喜的色澤、合宜的透明度、均衡的切工與完好的石體。若限定未經加熱，同時滿足這些條件的門檻更高。藍綠色（teal）還講究細微色調：藍色須清晰，綠色從旁襯托，整體依然明朗。這是寶石學與美感上的判斷，並非統計頻率。

參考資料：[11].

## 評估

藍色藍寶石：就地質稀有度而言，為鑽石的 10 倍。

超過 1 克拉且肉眼乾淨的藍寶石，比同重量、同樣肉眼乾淨的鑽石稀有 50 至 100 倍。

逾 1 克拉、肉眼潔淨且未經加熱的藍綠色藍寶石：稀有程度為同淨度、同重量鑽石的 100 至 150 倍。

11 • 藍寶石

# 鑑定

鑑定首先測量與剛玉一致的性質，包括折射率、雙折射率、光性、比重與顯微特徵。多項結果相互符合，比單一數值更有辨識力。合成剛玉同樣具有 $Al_2O_3$ 化學式及相近物理性質，故確認礦物種後，仍須判斷其是否天然形成。

| 參考指標解讀 | |
|---|---|
| 折射儀／偏光鏡折射率與光學異向性；觀察受刻面狀態、取向及測量條件限制。顯微觀察色帶、生長構造、內含物與受熱跡象；在多種光源下檢視。拉曼光譜鑑定寶石材料，並在條件允許時鑑定固態內含物。FTIR振動特徵、涉及氫等元素的缺陷，以及有助於探討部分受熱歷史的資訊。紫外–可見–近紅外光譜與微量元素化學分析吸收特徵與成分，再與參照樣本群比較，藉以探討形成背景與產地。 | |
| | |
| | |
| | |
| | |

地理產地須藉由與參考樣品審慎比對來判定，沒有任何單一檢測能直接讀出國名。當特徵相互重疊時，產地可能無法確定。此時，礦床類型仍是有用的線索，但無法代替國別產地。至於肉眼潔淨（eye clean），須依特定條件以裸眼觀察，不能只憑報告上所載的透明度推論。

參考資料： [10], [3].

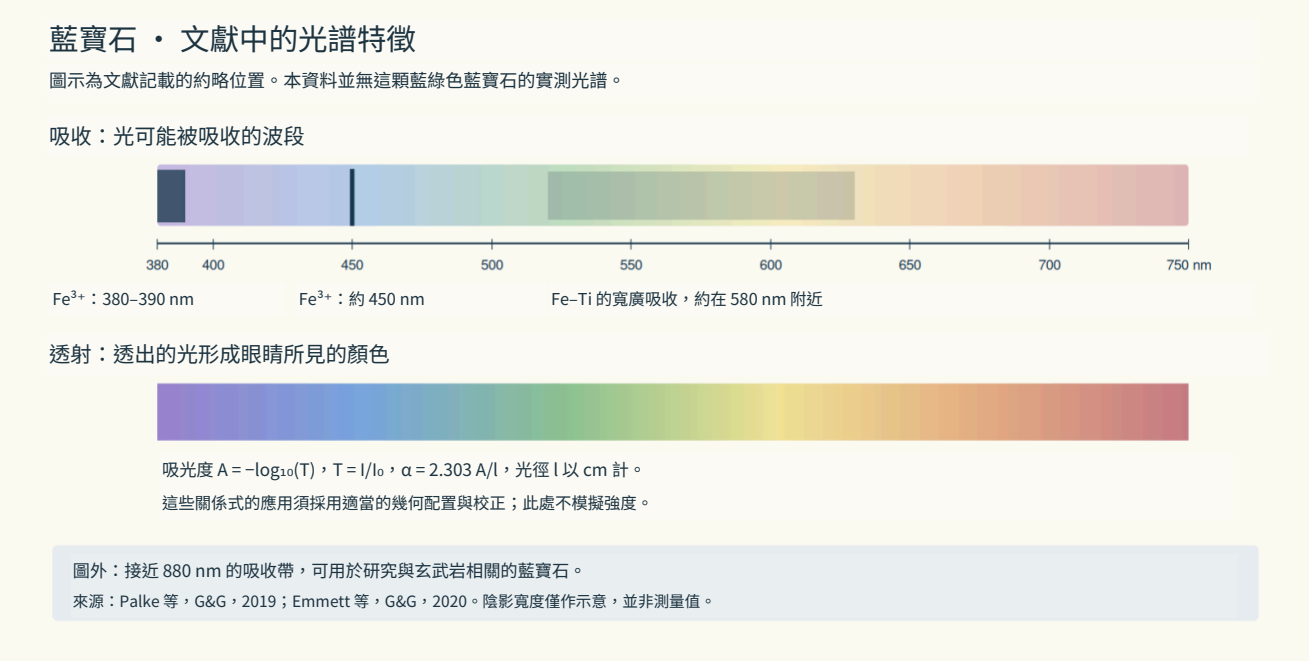
12 • 藍寶石

# 光譜學

## 解讀吸收與透射

紫外－可見－近紅外光譜將顏色與不同波長的吸收聯繫起來。在幾何條件受控的情況下，吸光度 $A = -\log_{10}(T)$，其中 T 為校正後的相對透射率；吸收係數 $\alpha = 2.303\ A / l$，l 以公分計。刻面寶石內有多重光路與反射，因此由照片推得的曲線或裝飾性圖形不能視為定量光譜。

文獻中的參考特徵包括約 380–390 nm 與 450 nm 處的 $Fe^{3+}$ 吸收，以及多數藍色藍寶石在約 580 nm 處與鐵、鈦相關的寬吸收帶。約 880 nm 的吸收帶超出下圖的可見光範圍，可用於研究與玄武岩相關的樣品群，判讀時仍須參照文獻及整套分析資料。各吸收帶的強度、寬度與偏振特性均會變動；這些參考特徵並非本顆藍綠色藍寶石的實測結果。




380–750 nm 的文獻參考位置：標示吸收帶約略位置，不虛構曲線或強度。可對照吸收與透射兩種解讀方式；接近 880 nm 的訊號超出圖示範圍。

## 用途互補、意義各異的檢測方法

拉曼光譜研究非彈性散射與晶格振動；傅立葉轉換紅外光譜（FTIR）測量紅外吸收；光致發光則量測受激後的發射訊號。三者的橫軸、訊號與分析目的各異。光致發光可檢出微弱的發光中心，即使這些中心的發光並未主導寶石體色。因此，紫外光下的紅色螢光不足以解釋白光下的全部色彩。

參考資料： [3], [4], [6].

13 · 藍寶石

# 細看館藏標本

## 1.287 ct 藍綠色枕形寶石

這顆天然藍寶石的商品重量標示為 1.29 克拉，是 Bellerophon 於 2026 年 1 月 7 日出具的 A31949 報告所載 1.287 克拉的四捨五入值。尺寸為 6.43 × 6.39 × 3.81 毫米。實驗室記載其為枕形（Cushion），顏色為帶綠的藍色（Greenish Blue），顏色穩定，未見處理跡象。報告的商業名稱備註允許使用 teal（藍綠色）一詞；螢光欄記載 None（無）。

Ultra Rare 將這顆寶石描述為肉眼無瑕（eye clean），並標示來源為馬達加斯加。Bellerophon 的微距照片呈現回光與藍綠色調，不能當作光譜分布圖解讀。日光影片則記錄轉動過程中反光的變化。本枕形標本並未宣稱在兩種光源間產生變色，也未宣稱具有紅色螢光。



天然藍綠色藍寶石，1.287 克拉 · Bellerophon GemLab 微距照片 · 報告 A31949。查看標本頁面。

欣賞這顆藍綠色藍寶石

## 0.935 ct 八角形藍寶石

第二顆標本經 Ultra Rare 評為 VS，尺寸為 6.7 × 4.1 × 3 mm。照片呈現其在 6000 K 與 2700 K 光源下由藍至紫的變化，以及 365 nm 長波紫外光下的紅色螢光。即將加入典藏系列。

13 · 藍寶石

# 馬達加斯加變色藍寶石

## 0.967 克拉｜從濃紫到鮮明洋紅



同一顆寶石實拍。左：6,000 K LED 白光。右：2,800 K 白熾燈。

在 6,000 K LED 白光下，這顆藍寶石呈濃郁紫色；轉到 2,800 K 白熾燈下，則顯出鮮明的洋紅色。並列照片可直接比較兩種色調。365 nm 紫外光下可見強烈的橙色螢光，與可見光下的變色屬不同現象。

這顆枕形藍寶石的尺寸為 6.1 × 5 × 3 毫米，通透度出色。按 Ultra Rare 的淨度準則，寶石屬肉眼潔淨（Eye clean）。Bellerophon GemLab 於 2026 年 1 月 6 日出具的 T8549 號檢測結果確認其為天然藍寶石，未見加熱跡象。

查看這顆 0.967 克拉變色藍寶石

14 · 藍寶石

# 方法、結論與參考文獻

## 判讀方法

本文區分四類證據：文獻所載藍寶石的一般性質、A31949 原始報告資料、Ultra Rare 提供的觀察與產地資訊，以及教學示意圖和模型。照片保留寶石的色彩、淨度與細節。日光影片僅以保守方式清理背景，旋轉全程均以保護區覆蓋寶石及其影子。珠寶效果圖為創意構想，並非成品照片。

原子模型沿用剛玉主模型的座標，六種晶習採用其幾何構形。模擬紋理隨晶面配置。世界地圖以地球點陣影像為底圖，搭配 Natural Earth 的國界；標記代表礦區或國家，並非礦場座標。馬達加斯加地圖沿用 Ultra Rare 的參考資料。光譜帶為已發表的參考位置，未虛構強度或曲線。撰寫本文時，未對兩顆標本新增化學分析或 FTIR、拉曼、UV-Vis-NIR 測量。

## 結論

藍色藍寶石的晶格十分穩定，色彩卻對微量元素相當敏感。要理解其顏色，須區分吸收、發光、光學方向與照明；要探討產地，則須連結實驗室檢驗、現地觀察與礦床歷史。藍綠色（teal）正是這份多樣性的一種表現。將每張照片、每項數據與每個結論對應到實際來源，才能更準確地鑑賞一顆寶石。

## 主要參考文獻與延伸閱讀

本文資料來源：Bellerophon GemLab 報告 A31949 與 Ultra Rare 提供的媒體、所有人於 2026 年 10 月 8 日提供的說明、V71 規範與粉紅藍寶石主版本。地圖資料：Natural Earth 公眾領域資料；Three.js 發布的地球底圖（NASA）。參考文獻查閱日期為 2026 年 10 月 8 日。

# 科學參考文獻

1. Mineral Data Publishing (2001–2005). Corundum — Handbook of Mineralogy . 來源 ↗

2. Giuliani, G. & Groat, L. A. (2019). Geology of Corundum and Emerald Gem Deposits: A Review . 來源 ↗

3. Palke, A. C. et al. (2019). Geographic Origin Determination of Blue Sapphire . 來源 ↗

4. Emmett, J. L. et al. (2020). A Quantitative Description of the Causes of Color in Corundum . 來源 ↗

5. GIA (2019). Low-Fe, High-V Color-Change Burmese Sapphire . 來源 ↗

6. D’ Haenens-Johansson, U. F. S. et al. (2024). Glowing Gems: Fluorescence and Phosphorescence of Diamonds, Colored Stones, and Pearls . 來源 ↗

7. Renfro, N. D. et al. (2017). Chart: Inclusions in Natural, Synthetic, and Treated Sapphire . 來源 ↗

8. Hughes, E. B. & Perkins, R. (2019). Madagascar Sapphire: Low-Temperature Heat Treatment Experiments . 來源 ↗

9. Pardieu, V. et al. (2017). Sapphires from the Gem Rush Bemainty Area, Ambatondrazaka (Madagascar) . 來源 ↗

10. Groat, L. A. et al. (2019). A Review of Analytical Methods Used in Geographic Origin Determination of Gemstones . 來源 ↗

11. GIA (查閱日期：2026 年 10 月 8 日). Sapphire Quality Factors . 來源 ↗

12. GIA (查閱日期：2026 年 10 月 8 日). Sapphire Care and Cleaning Guide . 來源 ↗

13. GIA (查閱日期：2026 年 10 月 8 日). September Birthstone — History and Location . 來源 ↗

14. Maslen, E. N. et al. (1993 · 參考文獻 [1] 所引用的晶體結構資料). Synchrotron X-ray study of the electron density in α-$Al_2O_3$, Acta Crystallographica B49, 973–980 . 來源 ↗