

# 2009 年臺灣國際科學展覽會

## 優勝作品專輯

編號： 150008

### 作品名稱

鑽石石墨化及氧化速率之研究

### 得獎獎項

地球科學科大會獎第一名

新加坡正選代表：新加坡第 32 屆青年科學節

學校名稱： 臺北市立第一女子高級中學

作者姓名： 郭可青 許力權

指導老師： 鄧茂華 周家祥

關 鍵 字： 鑽石、石墨化、氧化速率

## 作者簡介



我是許力權，目前高三。我喜歡有充實的週末，最愛和朋友一起看電影、逛街、吃飯，但如果是下雨天就會懶惰得賴在家不出門，有時也喜歡讀自一人在書店待上一整天，閱讀的觸角很廣泛，特別偏愛金庸的武俠小說和外國文學。

我在高一時修的是生物專研，至高二才轉入地科專研。我很享受做實驗的過程，雖然這次的專題實驗中充滿著很多潛在的危險，對一向很粗魯的我和可青是一大考驗，但再怎麼可怕，我相信都比在教授前面榨乾腦汁想題目、分析結果來得好=) 這次專題培養了我的實驗精神，讓不太細心、反應又慢又遲鈍的我學會了嚴謹，希望能在這條實驗之路繼續學習成長。



我叫郭可青，目前就讀於北一女中，今年高三，我對於不同的事都有興趣嘗試，也很喜歡動手實作跟觀察。我凡事並不刻意要求完美，比較注重過程。平時最喜歡的運動包括打籃球、跆拳道(目前是黑帶一段)，有空時也很喜歡一個人四處閒晃拍照，課餘也會閱讀各種課外書籍。

高二每個禮拜六節的專研課讓我們到台大做實驗，過程新鮮又有趣，當然也學會了不同實驗的技巧和觀念，在實驗室做實驗的下午過得總是特別快，經過了高三煩悶又枯燥的生活之後開始想起那段時光，原來當初實驗過程的繁複和追趕進度的十萬火急是如此的令人懷念！

## **Abstract**

Diamonds form in environments of high temperature and pressure. They are easy to transform back into graphite due to rapid drop of the temperature and pressure. However, diamonds can still be found in Kimberlite. The following are our inferences. 1. The rising speed is too fast for diamonds to transform into graphite. 2. Diamonds are being surrounded by the Kimberlite so that they can maintain in high temperature during the rising process. We designed two experiments in order to understand the relation between diamond's graphitization and oxidation. From high- temperature and vacuum testing we estimate that Kimberlite rises at a speed of 4.68km/hr during the simulate mantle temperature of 1500°C to 1400°C.

From the high-temperature without vacuum test, we can estimate the oxidation rate by using the MCM model.

According to experiences above, we can infer the instability of diamond and apply to problems about the phase-changing of carbon.

## 摘要

鑽石在高溫高壓的環境下生成，因此地表的常溫常壓對鑽石是屬於相當不穩定的環境。根據碳的相圖，鑽石在溫度和壓力下降時會轉換成石墨，然而在從地函上升的角礫雲母橄欖岩仍可看到鑽石的存在，代表鑽石以極快的速度上升，因此未轉變為石墨。針對鑽石未石墨化的現象，做了兩組實驗：1. 高溫真空爐實驗，使用微米級鑽石粉末放入爐子中加熱，再用酸溶處理，測得在不同溫度下鑽石石墨化的比率。以此比率可以推得鑽石在地函溫度 1500°C 至 1400°C 之間的距離大約是以速率為 4.68km/hr 上升。2. 箱型爐實驗，使用微米級金剛粉末放入爐子中燃燒，代入鑽石氧化 MCM 模型推算在不同溫度中鑽石的氧化速率。可以得知在同一溫度下，燃燒的時間不影響鑽石的反應速率。因此一般火場 600°C 高溫燃燒的情況下，鑽石變成石墨化的機率極低，且反應時間需極長，鑽石才會有明顯的變化。綜合兩組實驗，我們可以知道鑽石的不穩定性以及相變的相關問題。

# 鑽石石墨化及氧化速率研究

## 一、前言

### (一)、研究動機

鑽石在高溫高壓環境下生成，容易在壓力、溫度快速下降時轉成石墨，然而在從地函上升至地面的角礫雲母橄欖岩中仍可看到鑽石的存在。因此提出推論—1. 角礫雲母橄欖岩的上升速率極快，快到鑽石無法轉變成石墨。2. 鑽石在角礫雲母橄欖岩的包覆內，所以在從地函上升至地表的過程中仍能維持高溫不石墨化。於是我們嘗試以真空爐製造高溫環境，從不同溫度下鑽石石墨化的比率，藉以推想角礫雲母橄欖岩的上升速率。

既然鑽石在常溫常壓下應該是處於不穩定的狀態，因此我們另外以高溫直接加熱，觀察將鑽石氧化速率，所來了解碳的鑽石相在地表環境中是否穩定。

### (二)、研究目的

1. 探討鑽石的不穩定度和石墨之間的相變關係。
2. 藉由高溫真空環境，測得加熱鑽石變成石墨的比率，取得不同溫度、時間下鑽石相變之數據並加以分析。
3. 以高溫模擬地表環境，搭配鑽石氧化動力學模型測得鑽石燃燒成二氧化碳的速率，由此可了解一般火災鑽石變成石墨的可能性。

### **(三)、文獻探討**

#### **1.鑽石特性及石墨化：**

鑽石在高壓高溫的環境下才能生成，常溫常壓下應以石墨形態存在。在真空或惰性氣體中加熱到某一高溫便發生石墨化現象。

在高壓高溫環境生成的物質，其穩定相若仍可在常溫常壓下存在，是因為  $\Delta G_a$ （活化自由能）相較於平均自由能而言大很多，因而無法發生相變。催化劑就是改變了  $\Delta G_a$ ，提供了更低活化自由能的反應途徑，才使得相變的屏障去除。許多礦物的相變極為緩慢，是因為只有一小部分原子具有足夠的自由能可以克服活化能障。

#### **2.以酸溶技術可清除鑽石表面生成的石墨：**

當進行石墨化反應後，鑽石表面會包覆一層石墨，必須加以清除，才能測量未反應鑽石的重量，從而得知鑽石被石墨化的比率。根據 Davies 與 Evans（1972）的研究結果，以 40%  $\text{HClO}_4$ 、10%  $\text{HNO}_3$ 、50%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的混和酸液可溶去鑽石表面的石墨，由於文獻中並未標示濃度的單位，因此我們自行決定以體積百分比作為調配酸液的依據。酸溶完成之後，再用蒸餾水沖洗鑽石，乾燥後即可稱重。

#### **3.真空管型爐的加熱原理：**

碳化矽加熱棒用鋁帶連結形成高電阻的串連，當電流通過此串聯體便能產生大量的熱，而將氧化鋁管內的溫度升高。

#### 4. 主導曲線的應用：

使用陶瓷與材料科學實驗室之 MCM 鑽石氧化主導曲線，該曲線可預測反應的速度時間與反應變化量的關係：

$$\frac{dy}{dt} = k(T)f(y)$$

移項 
$$\frac{dy}{f(y)} = k(T)dt$$

兩邊同時積分 
$$\int_0^\alpha [f(y)]^{-1} dy = k_0 \int_0^t \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) dt$$

由左上式得反應變化量  $\alpha$  由右上式得時間  $t$

移項 
$$\frac{1}{k_0} \int_0^\alpha [f(y)]^{-1} dy = \int_0^t \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) dt$$

令左上式為反應變化量的函數  $\Phi(y)$  令右上式為溫度與時間的函數  $\Sigma[t, T(t)]$

$$\therefore \Phi(y) = \frac{1}{k_0} \int_0^\alpha [f(y)]^{-1} dy$$

$$\Sigma[t, T(t)] = \int \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) dt$$

左上式積分得  $\log(\Sigma) \rightarrow$  對應  $\Phi(y)$  作圖可得一曲線



## 二、 研究方法及過程

### (一)、研究器材

#### 1.使用樣本：微米級鑽石粉末（粒徑 $100-120\ \mu\text{m}$ ）

#### 2.高溫真空管型爐實驗（石墨化實驗）

真空管型爐：Lindberg Tube Furnace STF54453C，最高可達  $1,500^{\circ}\text{C}$

氧化鋁（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）管：內圈半徑  $r = 7.6\text{cm}$

混和酸液原料： $\text{H}_2\text{SO}_4$  95-97%、 $\text{HClO}_4$  69-75%、 $\text{HNO}_3$  69-70%

#### 3.箱型爐實驗（氧化實驗）

箱型爐：Lindberg Box Furnace，最高可達  $1,100^{\circ}\text{C}$

XRD X 光繞射儀：X'PERT，繞射溫控範圍  $193\sim 450^{\circ}\text{C}$ 。由於操作需有執照，因此須在實驗室專業人員的協助之下進行實驗。

#### 4.其它配合器材

溫控儀：Lindberg UP150

四維天平：Precisa 205A

數位相機：Panasonic DMC-FX9

## (二)、實驗步驟

### 1. 鑽石石墨化先期確認測試

為確認鑽石在真空中不使用催化劑仍可石墨化，之後的實驗確可進行，先進以下兩組測試：

- (1). 以高溫  $1,400^{\circ}\text{C}$  加熱 2 小時，置於顯微鏡下觀察鑽石粉末是否出現石墨化現象。
- (2). 使用  $1,500^{\circ}\text{C}$  持溫 4 小時，置於顯微鏡下觀察鑽石粉末是否全部均已石墨化。

### 2. 高溫真空管型爐實驗（石墨化實驗）

- (1). 實驗樣本分組：

鑽石生成的溫度約  $1,100\sim 1,500^{\circ}\text{C}$ ，高溫爐的溫度極限為  $1,500^{\circ}\text{C}$ ，因此實驗設定  $1,500^{\circ}\text{C}$  為最高溫，如此才能最快速的達到石墨化。樣本分組如表 1 所示。

表 1 鑽石石墨化實驗樣本分組

編號	最高溫( $^{\circ}\text{C}$ )	持溫時間(min)	反應鑽石重量(g)	全部實驗時間 (min)
A	1,500	40	2	150+40
B	1,500	60	2	150+60
C	1,400	90	2	140+90
D	1,400	120	2	140+120

- (2). 實驗操作步驟：

1. 秤微米鑽石放入氧化鋁製小舟中
2. 將小舟放入管形爐中段
3. 放置冷卻水並開啓幫浦

4. 管形爐抽真空

5. 設定溫度參數：升溫速率→持溫溫度→持溫時間→降溫速率

6. 取出樣本，置於燒杯中

7. 按比例調配混和酸液：95-97%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、69-75%  $\text{HClO}_4$ 、69-70%  $\text{HNO}_3$

8. 將取自真空高溫爐中的已反應樣本，加入酸液攪拌並且加熱至沸騰

9. 待石墨已漸溶去，回復粉末原先顏色後，取出將酸液洗掉，並放入  $50^\circ\text{C}$  的烘箱內把水蒸乾。

10. 以甲醇沖杯底，同時以刮勺將酸溶後附著在杯底的鑽石粉末刮下，放入烘箱，待甲醇完全揮發後，將鑽石粉末取出秤重。

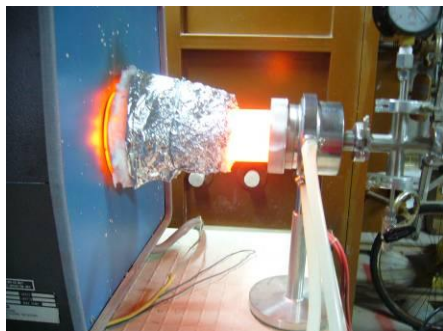


圖 1 加熱至  $1,500^\circ\text{C}$  時的管形爐



圖 2 溫控儀



圖 3 調配混和酸液



圖 4 酸液加熱後因硫酸產生顏色改變



圖 5 酸溶前的樣本表面覆有石墨



圖 6 酸溶後的樣本回復原本色澤

### 3.箱型爐實驗（氧化實驗）

#### (1).實驗樣本分組：

鑽石燃點約為  $720^{\circ}\text{C}$ ，為確認燃點，同時了解若加熱溫度低於燃點，但加熱時間延長是否也能燃燒，因此實驗溫度設計為  $700\pm 100^{\circ}\text{C}$ ，實驗先放入兩組樣本(每組約 2g)，待  $600^{\circ}\text{C}$  燃燒 60min 後取出其一，燃燒 90min 後取出另一，再放入另兩組，以此步驟重複，秤重，得反應後鑽石粉末所剩餘之重量。

後因鑒於鑽石粉末成本問題，以及不影響觀察氧化速率，我們將反應樣本改為 1 克。全部樣本分組參見如表 2 所示。

表 2 鑽石氧化實驗樣本分組

編號	反應鑽石重量(g)	溫度( $^{\circ}\text{C}$ )	持溫時間(s)
0210A	2	600	1800
0201A	2	600	3600
0210B	2	600	4800
0201B	2	600	5400
0210C	2	600	7200
0210D	2	700	1800
0201C	2	700	3600
0210E	2	700	4800

續下頁

表 2(接前頁)

0201D	2	700	5400
0210F	2	700	7200
0316A	1	700	9000
0316B	1	700	12600
0316C	1	700	14400
0316D	1	800	600
0316E	1	800	1200
0210G	1	800	1800
0201E	1	800	3600
0210H	1	800	4800
0201F	2	800	5400
0210I	2	800	7200
0319A	1	800	9000
0319B	1	900	600
0319C	1	900	1200
0319D	1	900	1800
0319E	1	900	3600
0319F	1	900	5400

(2).實驗操作步驟：

1. 將樣本置於箱型爐中
2. 設定升溫速率→持溫點→持溫時間
3. 取出樣本→秤重測量氧化比率
4. 若反應中產生雜質，利用 XRD 粉末分析以確認雜質來源

### 三、研究結果與討論

#### (一)、鑽石石墨化先期確認測試

1. 以高溫  $1,400^{\circ}\text{C}$  加熱 2 小時，置於顯微鏡下觀察：鑽石粉末的確會出現石墨化現象（如圖 7、圖 9 所示）。
2. 使用  $1,500^{\circ}\text{C}$  持溫 4 小時，置於顯微鏡下觀察：以肉眼觀察，微米鑽石幾乎全已石墨化（如圖 7 所示），但使用顯微鏡仔細翻找，找到表面看不出石墨化的微米鑽石（如圖 10 所示），由此可得知並非全部的鑽石粉末都石墨化。

透過上述測試，我們可得知鑽石確實在高溫之下不需催化劑即可石墨化。

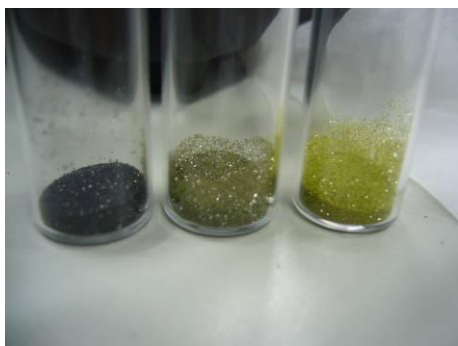


圖 7 鑽石石墨化先期確認測試圖中由左而右依序為： $1,500^{\circ}\text{C}/4$  小時、 $1,400^{\circ}\text{C}/2$  小時、原材料



圖 8 固定在 AB 膠的石墨化樣本



圖 9  $1,400^{\circ}\text{C}/2$  小時，45X 倍率其中有一顆石墨化的鑽石，其它鑽石亦有部分石墨化現象

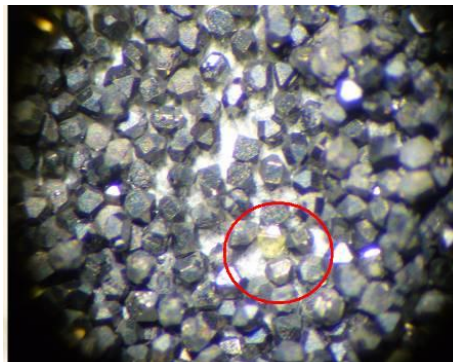


圖 10  $1,500^{\circ}\text{C}/4$  小時，45X 倍率其中有一顆看不出石墨化的鑽石

## (二)、高溫真空管型爐實驗（石墨化實驗）

實驗結果如表 3 所示。

表 3 鑽石石墨化實驗結果

編號	實驗控制	取用比例	取用量(g)	酸溶後重量(g)	石墨化比例
A	1,500°C/40min	40%	0.3288	0.2476	24.696%
B	1,500°C/60min	25%	0.5090	0.3320	34.774%
C	1,400°C/60min	25%	0.5206	0.4952	4.879%
D	1,400°C/90min	25%	0.5372	0.4253	20.830%

依照 1,500°C/40min 的石墨化速率，對照地溫 1,500~1,400°C 的平均深度，算出若要不完全石墨化，在此段深度內上升速率至少需要 4.68km/hr。

## (三)、箱型爐實驗（氧化實驗）

實驗數據如表 4 所示。

表 4 鑽石氧化實驗數據

編號	小舟重 (g)	反應前 實重(g)	溫度(°C)	持溫 時間(s)	反應後 實重(g)	反應量 (g)	反應比率 (%)
0210A	39.5971	2.0001	600	1,800	1.9967	0.0034	0.17
0201A	38.7715	1.9991	600	3,600	1.9937	0.0054	0.27
0210B	39.2260	2.0002	600	4,800	1.9925	0.0077	0.38
0201B	39.2259	1.9834	600	5,400	1.9603	0.0110	0.55
0210C	39.2266	2.0002	600	7,200	1.9892	0.0231	1.12
0210D	40.3434	2.0009	700	1,800	1.9288	0.0721	3.60
0201C	40.1185	2.0064	700	3,600	1.8921	0.1143	5.70
0210E	40.5286	2.0006	700	4,800	1.7509	0.2048	10.24
0201D	40.3437	2.0042	700	5,400	1.7994	0.2497	12.46
0210F	39.5221	2.0002	700	7,200	1.5131	0.4876	24.38
0316A	39.5977	0.9937	700	9,000	0.7860	0.2077	20.90

續下頁

表 4 (接前頁)

0316B	39.2254	0.9980	700	12,600	0.7559	0.2421	24.26
0316C	38.7715	1.0003	700	14,400	0.6938	0.3065	30.64
0316D	40.3427	0.9994	800	600	0.8643	0.1351	13.52
0316E	40.1184	0.9997	800	1,200	0.7512	0.2485	24.85
0210G	40.1215	2.0007	800	1,800	1.1696	0.8311	41.54
0201E	40.2572	2.0394	800	3,600	1.3646	0.8748	42.89
0210H	38.7724	2.0007	800	4,800	0.6384	1.3623	68.09
0201F	39.5989	1.8215	800	5,400	0.7283	1.0932	60.02
0210I	38.6623	2.0009	800	7,200	0.5091	1.4918	74.56
0319A	39.5965	1.0000	800	9,000	0.1653	0.8347	83.47
0319B	39.5171	1.0003	900	600	0.7051	0.2949	29.48
0319C	40.1164	1.0006	900	1,200	0.5706	0.4294	42.91
0319D	39.2248	0.9980	900	1,800	0.3659	0.6341	63.53707
0319E	40.3422	0.9990	900	3,600	0.2492	0.7508	75.15515
0319F	38.7720	1.0007	900	5,400	0.0795	0.9205	91.98561

氧化速率以反應比率排序如表 5 所示。表中相同溫度的氧化速率（sigma 值）大致可視為同一範圍。

表 5 鑽石氧化速率數據（依反應比率排序）

Temp(°C)	time(sec)	Reaction percentage%	sigma	log(sigma)	fitting
600	1800	0.17	6.46E-15	-14.19	0.179212
600	3600	0.27	1.73E-13	-12.7617	1.193036
600	4800	0.38	2.84E-13	-12.5463	1.594800
600	5400	0.55	3.4E-13	-12.4688	1.770377
600	7200	1.12	5.06E-13	-12.2955	2.236039
700	1800	3.60	3.02E-13	-12.5195	1.653296
700	3600	5.70	7.71E-12	-11.1131	10.80939
700	4800	10.24	1.27E-11	-10.8979	14.24970
700	5400	12.46	1.51E-11	-10.8205	15.71220
800	600	13.52	2.27E-12	-11.6431	5.370353
700	7200	24.38	2.25E-11	-10.6473	19.46480

續下頁



表 5(接前頁)

800	1200	24.86	5.64E-11	-10.2486	30.85933
700	14400	30.64	5.21E-11	-10.2828	29.73126
800	1800	41.54	1.11E-10	-9.95639	41.45467
800	3600	42.89	2.73E-10	-9.5641	56.93238
900	1200	42.91	6.21E-11	-10.2068	32.27193
900	1800	63.54	7.63E-10	-9.11748	72.24177
800	4800	68.09	3.81E-10	-9.41893	62.38976
800	7200	74.56	5.98E-10	-9.22351	69.04804
900	3600	75.16	2.86E-09	-8.5431	84.02419
800	9000	83.47	7.6E-10	-9.11911	72.19513
900	5400	91.99	4.96E-09	-8.30416	86.63785

將表 5 所示數據代入實驗室 MCM 鑽石氧化主導曲線模型，繪出主導曲線如圖 11 所示：

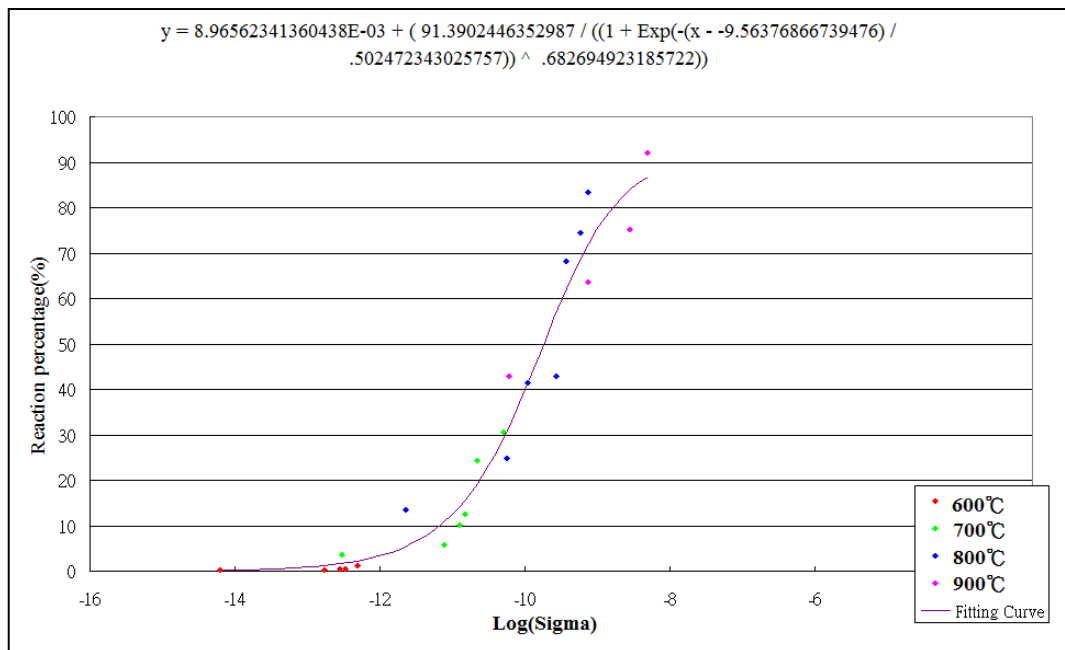


圖 11 鑽石氧化速率主導曲線

此外，在 800°C 或以上的溫度氧化之後的鑽石，質量除了變少之外，還可觀察出明顯的黑色物質附著在容器底（如圖 12 所示），經顯微鏡觀察之後可發現和石

墨化實驗產生的石墨相似，推測應為石墨，不過 900°C 的有氧環境下，鑽石不應出現石墨化現象，由於係微量，經過 XRD 粉末繞射儀的鑑定之後，我們的樣本(900 °C/90min)所產生的峰值和石墨應有的峰值並不相符（如圖 13 所示）。

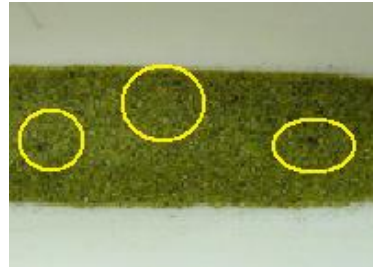


圖 12 疑似出現石墨化的鑽石粉末

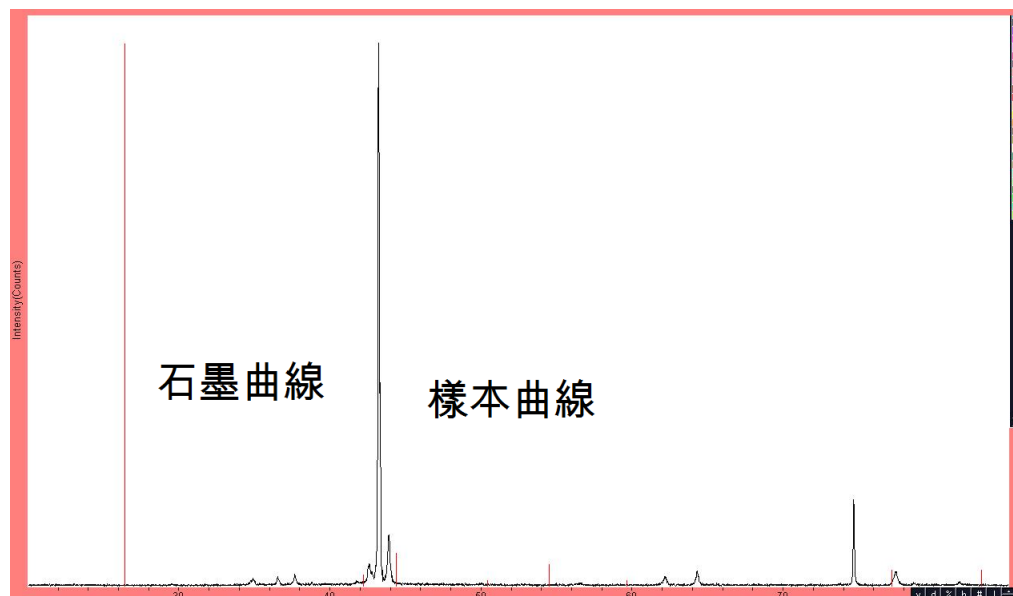


圖 13 XRD 粉末分析圖

#### (四)、討論

##### 1.研究的發現

- (1).鑽石在地表由於高活化能的關係處於亞穩定狀態，根據鄧茂華（2006）的研究表示，鑽石石墨化反應需要金屬催化劑鐵、鈷、鎳，在真空或惰性氣體的情況下則並未發現石墨化現象，但實驗初步結果顯示不論在真空或者惰性氣體中，不需催化劑，經過 1,400 °C 左右的高溫即有明顯表面石墨化現象。
- (2).當爐內打入氫氣並加熱至高溫時氣壓計逐漸上升，而降溫之後氣壓則回到原本狀態，以理想氣體方程式  $PV=nRT$  來看此問題，當  $V$ 、 $nR$  固定不變， $T$  上升  $P$  也隨之上升，因此推測氣壓計的上升現象出自此一原因。
- (3).實驗過程曾嘗試打入氫氣和氮氣的混合氣的加熱，結果，石墨化程度比未打入氣體來得少，宋健民（2000）提到合成鑽石時氮氣的濃度會影響到鑽石的生成，氮氣的存在可抑制石墨化，即穩定鑽石的生成，因此在鑽石加熱石墨化的過程中打入氮氣，或許同時抑制了石墨的生成。
- (4).依照 1,500°C/40min 的石墨化速率，對照地溫 1,500-~1,400°C 的距離平均深度，算出若鑽石於上升的過程中要不完全石墨化，在此段距離深度內上升速率至少需要 4.68km/hr 的高速，才能不完全石墨化，而有部分存留於地表。由於無法取得同時具備高溫高壓的設備，因此無法正確模擬地函環境，扣除掉壓力之後，只能大略估算。一般而言壓力和溫度對反應成反向作用，因此若加上壓力，實際上並不需要如此快速，因此前述所推算出的速率數值未來還可再商榷，但至少證明了角礫雲母橄欖岩的確是以很快的速度上升。
- (5).由氧化實驗可知，鑽石在 600°C 左右即可開始燃燒反應，當溫度升高，反應速率隨之提升，至於燃燒時間則對反應速率無顯著影響。因此，若要氧化鑽石，改變溫度較時間來的較有效率。若以 800°C 時的氧化速率計算，1 克拉鑽石約

11.9 小時即可燃燒完畢，一般火災通常不會燃燒如此長的時間，火災若保持在此溫度下，整顆鑽石消失的可能性很低。

- (6).鑽石在 800°C 或以上的溫度氧化之後殘餘的黑色物質，經 XRD 粉末繞射儀鑑定並非石墨，所以此黑色物質應只是碳雜質，也有可能是因量過少而無法分析出來。

## 2.研究的限制與未來發展的建議

- (1).採用酸溶技術仍有許多缺點，當然最好能使用 XRD 分析，但由於 XRD 繞射儀主要針對結晶分析，而我們鑽石粉末的石墨化之後結晶並不完整，因此無法使用 XRD 來鑑定，不過推算角礫雲母橄欖岩上升速率此一想法我們認為仍具有發展性。至於箱型爐實驗所做出的氧化速率所獲只是初步結果，未來還可再做更詳細的研究。
- (2).酸溶處理對於石墨化較多的鑽石粉末需要經過多次反覆換酸，才能具有效力。同樣的酸經過沸騰後，色澤逐漸消失，代表酸中的 N、S 元素以氣體  $\text{NO}_2$   $\text{SO}_2$  的方式散失，對溶除石墨的效能也會變差。此外，目測也較無法精確看出是否石墨都已溶除，這些都易造成誤差產生。
- (3).MCM 模型主導曲線應該四段溫度的點各形成成一條曲線並且三條曲線重合，但又因為 600、700°C 時氧化速率過慢，資料點十分集中，若要使他們各自成為一條曲線，則需要氧化相當久的一段時間，較有困難。

#### 四、 結論與應用

- (一)、鑽石在地表由於高活化能的關係處於亞穩定狀態，但是在高溫真空環境下，仍可將之還原為石墨。
- (二)、鑽石由地函上升，都可能石墨化，若以地溫梯度來算，以 2g 鑽石計算，在地溫 1400~1500°C 的深度，上升速度至少需達 4.68km/hr 的高速，才能有部分存留於地表。但若考慮地底壓力因素，則不需如此快速，因此此速率數值未來還可再商榷。
- (三)、鑽石在 600°C 左右即可開始燃燒反應，當溫度升高，反應速率將隨之提升，至於燃燒時間則對反應速率無顯著影響。因此，若要氧化鑽石，改變溫度較時間來的較有效率。若以 800°C 時的氧化速率計算，1 克拉鑽石約 11.9 小時即可燃燒完畢，一般火災通常不會燃燒如此長的時間，火災若保持在此溫度下，整顆鑽石消失的可能性很低。

#### 五、 參考文獻

宋健民 (2000)：鑽石合成。臺北市：全華。

鄧茂華(2006)：行政院國家科學委員會專題研究計畫—奈米與微米級鑽石之氧化與石墨化反應之化學動力學。

Changsha Xiangyu company (2008)：技術文章-1.1.2 鑽石的化學性質。取自 <http://www.china-superabrasives.com/information/1.1.2.htm>

Davies.G, & Evans.T. (1972). Graphitization of diamond at zero pressure and at a high pressure. Proc. R. Soc. Lond. A. 328 pp. 413-427.

Putnis Andrew (1992). Introduction to Mineral Sciences. Cambridge, Cambridge University Press.

## 評語

本作品探討鑽石石墨化及氧化速率，作者利用高溫實驗及 X 光繞射發現鑽石在高溫及真空狀態下石墨化之速率會加速，在南非金伯利岩中的鑽石所以能夠在地表環境下保持穩定是由於岩漿噴發（上升）速率較大（ $\geq 4.68\text{KM/hr}$ ），本作品具有學術及應用價值，作者表達能力佳，參考文獻適當。