

Chapter

12

固體溶解度與再結晶

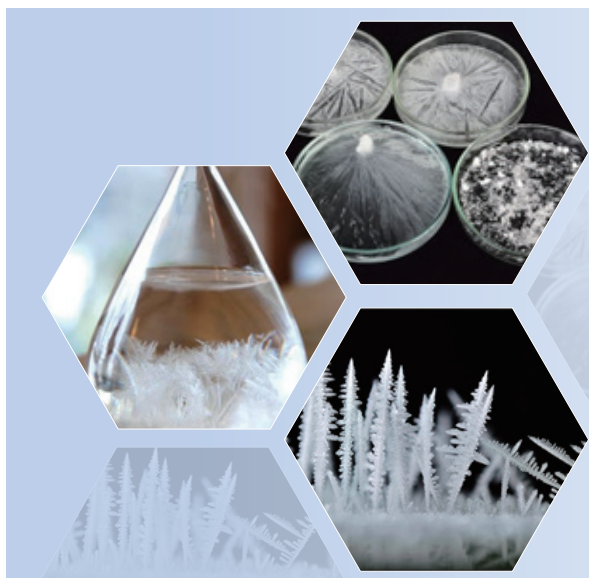
學習目標

1. 認識溶解度的定義及表示方法。
2. 認識氯化鉀的溶解度與溫度之關係。
3. 認識再結晶法的原理與操作。

授課節數 8

本章綱要

- 12-1 理論基礎
 1. 氯化鉀的溶解度
 2. 氯化鉀的溶解度與溫度的關係
 3. 氯化鉀的再結晶
- 12-2 實習活動 I - 氯化鉀的溶解度
- 12-3 實習活動 II - 氯化鉀的再結晶



網路上廣為流傳的天氣瓶，其結晶量可隨著溫度變化而改變，而各種物質的溶解度亦隨著溫度改變而有不同的趨勢變化。換句話說，藉由各物質溶解度與溫度的變化關係不同，即可使各成分分離純化。雖然這是一個常見的分離技術，但操作上有許多細節應注意，方可使純化效益提高，故本章將介紹固體的溶解度與溫度關係並學習如何利用再結晶分離出氯化鉀。

12-1 理論基礎

氯化鉀的溶解度

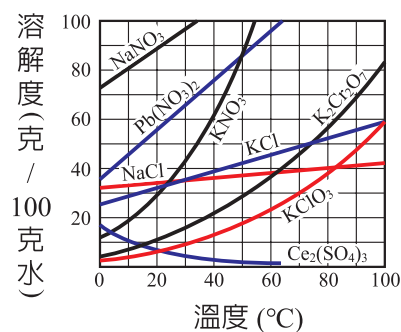
溶質加入溶劑中，溶質逐漸消失而與溶劑均勻混合成一相的現象即稱為「溶解」。定溫下，定量溶劑所能溶解溶質的最大量，即稱為該溶質在該溶劑中的「溶解度」。一般溶解度常以 100 克水中所能溶解溶質克數來表示，如氯化鈉於 25°C 時的溶解度為 36 g/100 g 水，有時候溶解度亦用重量百分率或體積莫耳濃度等方式表示。

一、溶液類型

1. 未飽和溶液：溶劑溶解溶質尚未達最大量，此時溶液濃度小於該溫度下之溶解度，故再加入溶質可繼續溶解。
2. 飽和溶液：溶劑溶解溶質達最大量，此時溶液濃度等於該溫度下之溶解度，故再加入溶質無法溶於溶劑。
3. 過飽和溶液：溶劑溶解溶質超過最大量，此時溶液濃度大於該溫度下之溶解度，此時不穩定，很容易析出沉澱。

二、影響溶解度的因素

1. 本性：溶質與溶劑性質相近或彼此有強作用力者較易互溶，如碘難溶於水但易溶於四氯化碳。
2. 溫度：大部分物質隨著溫度增加，溶解度會增加，如硝酸鉀、氯化鉀等；少部分物質則隨著溫度增加而降低溶解度，如氫氧化鈣、硫酸銻等，溶解度與溫度的關係如圖 12-1 所示。
3. 壓力：壓力主要影響氣體，對於固體或液體的影響較小。



▲圖 12-1 物質的溶解度與溫度關係

三、氯化鉀的溶解度測量方式

製備氯化鉀的飽和溶液，將該飽和溶液過濾取得濾液，稱量濾液重 (W_0)，將濾液完全蒸乾後所剩下重量即為氯化鉀重 (W_1)，故可求出氯化鉀的溶解度 (S)，如公式 12-1 所示。

$$S = 100 \times \frac{W_1}{W_0 - W_1}$$

公式 12-1

W_0 ：溶液重量 [g]
 W_1 ：溶質重量 [g]
 S ：溶解度 [g/100 g 水]

氯化鉀的溶解度與溫度的關係

自然界中大部分物質隨著溫度增加，於水中溶解度會增加，但是影響程度會隨著固體性質不同而異，如表 12-1 所示。以氯化鉀為例，從 20°C 加熱到 80°C，其於水中溶解度可從 34.2 g/100 g H₂O 提高到 51.3 g/100 g H₂O，但以氯化鈉為例，從 20°C 加熱到 80°C，其於水中溶解度僅從 35.9 g/100 g H₂O 提高到 37.9 g/100 g H₂O，可以明顯看出氯化鉀的溶解度隨著溫度的改變而有較大幅度的變化。

▼表 12-1 常見物質於不同溫度下的溶解度 (g/100 g H₂O)

溫度 (°C)	0	20	40	60	80
NH ₄ Cl	29.4	37.2	45.8	55.3	65.6
KCl	28.0	34.2	40.1	45.8	51.3
NaCl	35.6	35.9	36.4	37.0	37.9
KNO ₃	13.3	31.6	63.9	110.0	169.0
KBr	53.6	65.3	75.4	85.5	94.9
AgNO ₃	122.0	216.0	311.0	440.0	585.0

氯化鉀的再結晶

一、結晶法

將溶液中的溶劑利用加熱蒸發溶劑或冷卻以降低溶解度的方式，使結晶析出而與液體分離，這種方法即稱為**結晶法** (crystallization)。

二、再結晶法

為了得到較結晶法更高純度之物質，可將析出之結晶再以少量溶劑重新溶解後，利用各成分溶解度受溫度的影響不同，再重複進行一次蒸發或冷卻工作後過濾除去溶劑，使物質結晶再析出，此稱**再結晶** (recrystallization)。通常再結晶的步驟如下。

1. 選擇易溶解欲純化物質且不與其反應的適當溶劑。
2. 加入溶劑至混合物中加熱以溶解溶質。
3. 加入活性碳或矽藻土吸附雜質、脫色。
4. 趁熱過濾不溶性雜質。
5. 使濾液靜置冷卻析出結晶。
6. 利用抽氣過濾收集及清洗結晶。
7. 繼續抽氣以使產物乾燥或烘乾。

以氯化鉀 - 氯化鈉的混合物為例，爲了使其提高純度，可以少量水溶解並加熱，由於氯化鈉的溶解度隨著溫度的升高而變化較小，但氯化鉀溶解度則隨著溫度升高而明顯增加，故氯化鈉會有部分無法溶於水而可經過濾與氯化鉀溶液分離，若再將高濃度之氯化鉀溶液冷卻，則氯化鉀因低溫時的溶解度較氯化鈉低，故會析出氯化鉀而與溶液中的氯化鈉分離，如此重複操作即可得到純度極高的氯化鉀。

12-2 實習活動 I- 氯化鉀的溶解度

實驗目的

1. 熟悉溶解度的定義及表示方法。
2. 熟悉氯化鉀的溶解度與溫度關係之測定方法。

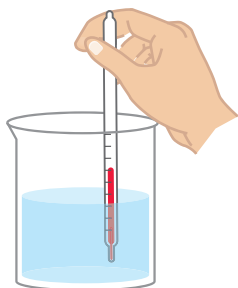
器材藥品

名稱	規格	數量	名稱	規格	數量
燒杯	250 mL	2 個	鐵架	含鐵環	1 組
量筒	10 mL	1 個	陶瓷纖維網		1 個
攪拌棒		1 支	稱量紙		數張
刮勺		1 支	試管	Ø3×20 cm	1 支
溫度計	150°C	1 支	試管夾		1 個
蒸發皿		1 個	電子天平	精密度 0.01 g	1 臺
滴管		1 支	氯化鉀		5 g
本生燈		1 組	氯化鉀飽和溶液		50 mL

實驗步驟

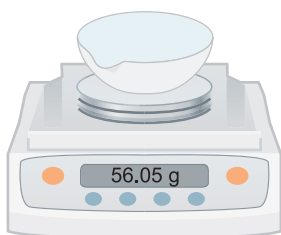
一、氯化鉀的溶解度

步驟 1



測量飽和氯化鉀溶液溫度並記錄。

步驟 2



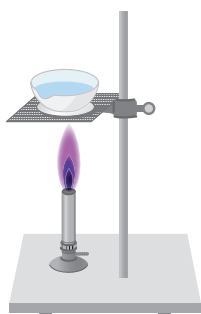
準備一乾淨蒸發皿，稱量其重量並記錄。

步驟 3



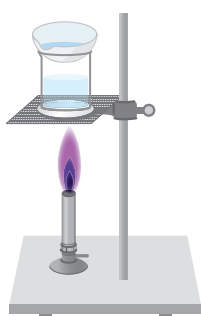
以滴管吸取飽和氯化鉀溶液加至約半滿，稱量其重量並記錄。

步驟 4



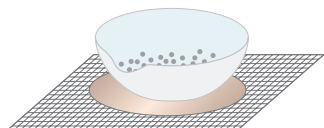
將蒸發皿置於陶瓷纖維網上，以小火加熱至剩少許水分。

步驟 5



當蒸發至快乾時，蒸發皿可移到正在沸騰的燒杯上，以蒸氣將水分蒸乾。

步驟 6



將蒸發皿置於陶瓷纖維網上冷卻後，稱量其重量並記錄。

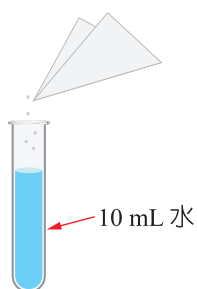
二、氯化鉀的溶解度與溫度的關係

步驟 1



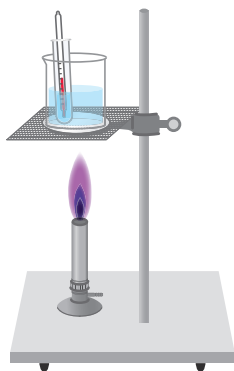
分別以稱量紙稱量 3 g、0.5 g、0.5 g、0.5 g、0.5 g 氯化鉀備用。

步驟 2



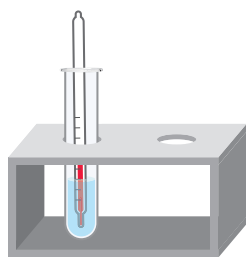
取一支試管加 10 mL 蒸餾水，並倒入前述之 3 g 氯化鉀。

步驟 3



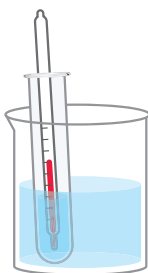
以水浴法間接加熱試管至氯化鉀全部溶解便停止加熱，若已溶解則不需加熱。

步驟 4



- (1) 將溫度計插入試管中，並以攪拌棒攪拌，待其冷卻至固體析出後，記錄溫度。
- (2) 冷卻方式為將試管置於空氣中降溫。

步驟 5



- (1) 若降溫至 30°C 仍未析出，則將試管置於冰水中冷卻使固體析出。
- (2) 同一支試管中再加入備用的 0.5 g 氯化鉀，重複步驟 3 ~ 5，直到測得試管內總量達 5.0 g 之溶解溫度。

實驗數據記錄與分析

一、氯化鉀的溶解度

1. 飽和氯化鉀溶液溫度，T：_____ °C
2. 乾淨蒸發皿重， W_0 ：_____ g
3. 蒸發皿 + 飽和氯化鉀溶液重， W_1 ：_____ g
4. 蒸發皿 + 氯化鉀結晶重， W_2 ：_____ g
5. 飽和氯化鉀溶液重， W_3 ：_____ g ($W_3 = W_1 - W_0$)
6. 氯化鉀結晶重， W_4 ：_____ g ($W_4 = W_2 - W_0$)
7. 溫度為 T 時，氯化鉀溶解度，S：_____ $\frac{\text{g KCl}}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$

計算過程：

$$S = 100 \times \frac{W_4}{W_3 - W_4}$$

二、氯化鉀的溶解度與溫度的關係

1. 試管中蒸餾水
 - (1) 體積：_____ mL
 - (2) 相當於質量：_____ g (利用純水密度表、密度 = $\frac{\text{質量}}{\text{體積}}$)

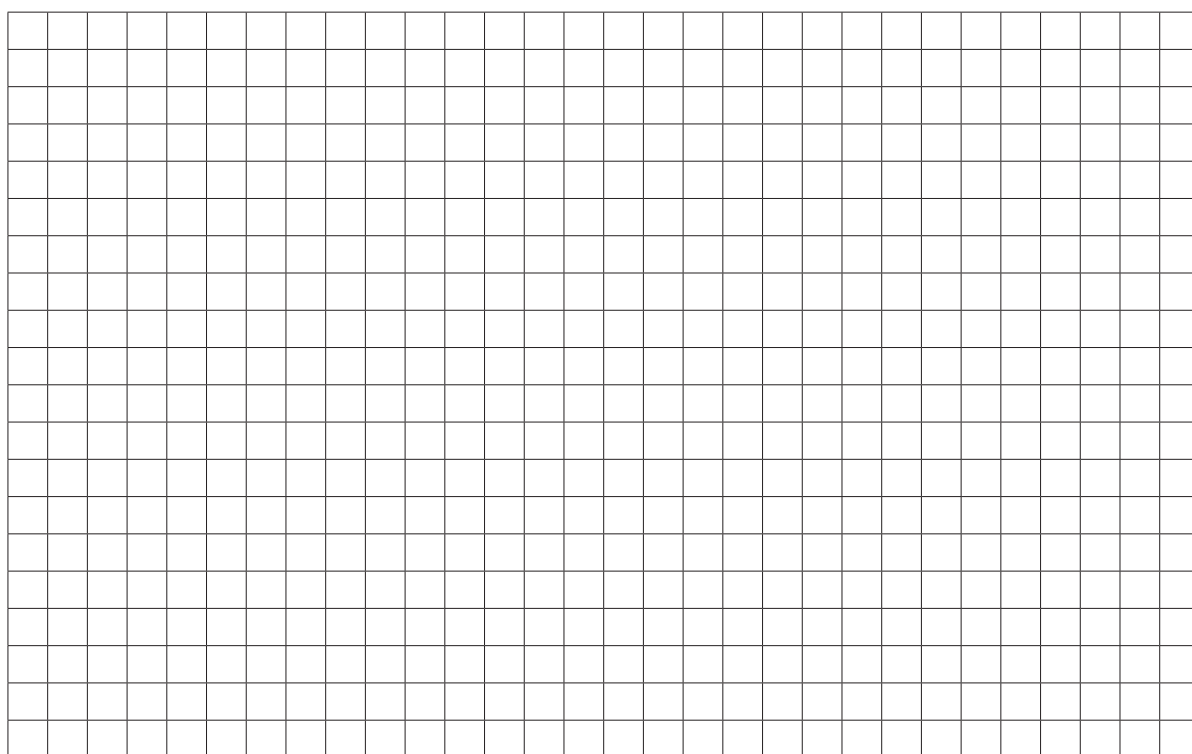
計算過程：

2. 氯化鉀溶解度與溫度關係

試管中氯化鉀質量 (g)	固體析出溫度 (°C)	溶解度 (g KCl/100 g H ₂ O)
3.0		
3.5		
4.0		
4.5		
5.0		

計算過程：

3. 氯化鉀溶解度與溫度之關係曲線。(x 軸為溶解度、y 軸為溫度)



問題與討論

1. 影響溶解度的因素有哪些？
2. 請說明什麼是溶解度？
3. 請說明未飽和溶液、飽和溶液、過飽和溶液的溶液濃度與溶解度的關係。

12-3 實習活動 II- 氯化鉀的再結晶



實驗目的

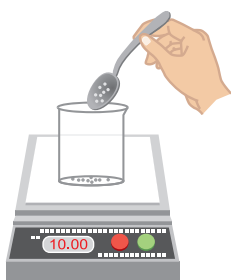
1. 能夠利用再結晶法純化氯化鉀。
2. 熟悉抽氣過濾與濾紙的折疊方法。

器材藥品

名稱	規格	數量	名稱	規格	數量
刮勺		1 個	漏斗		1 個
燒杯	100 mL	2 個	漏斗架		1 個
量筒	100 mL	1 個	濾紙		2 張
攪拌棒		1 支	錶玻璃		1 個
溫度計	150°C	1 支	抽氣過濾裝置		1 組
滴管		1 支	烘箱		1 臺
本生燈		1 組	電子天平	精密度 0.01 g	1 臺
鐵架	含鐵環	1 組	混合物	氯化鉀 + 少許氯化銅	10 g
陶瓷纖維網		1 個	冰塊		適量
稱量紙		數張			

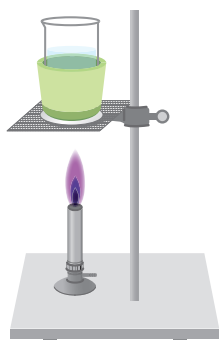
實驗步驟

步驟 1



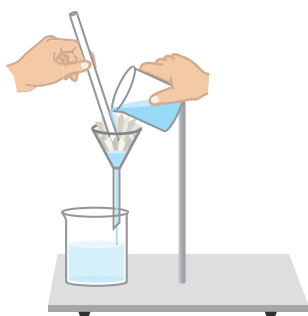
- (1) 稱量混合物 10 克置於 100 mL 燒杯中並記錄。
- (2) 觀察混合物顏色並記錄。

步驟 2



以量筒取 20 mL 水加入燒杯中並以水浴法加熱至約 80°C 使混合物溶解。

步驟 3



趁熱過濾除去不溶性雜質並將濾液收集於燒杯中。

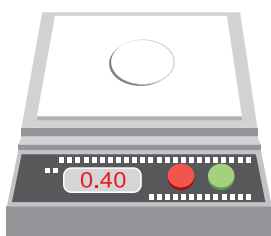
- (1) 濾紙可用凹槽形摺疊法以加快過濾速度。
- (2) 漏斗須以熱水浸泡預熱再使用，以避免氯化鉀過濾過程中析出結晶而無法收集。
- (3) 若無不溶性雜質則可省略此步驟。

步驟 4



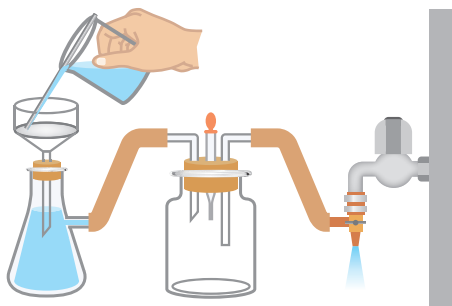
將燒杯置於空氣中冷卻至室溫後，置於冰浴中冷卻，使氯化鉀晶體析出。

步驟 5



稱量濾紙重並記錄。

步驟 6



- (1) 利用抽氣過濾收集晶體，以少量冰水沖洗晶體至無色。
- (2) 將結晶物與濾紙置於 105°C 烘箱內乾燥後稱重並記錄。

實驗數據記錄與分析

1. 混合物氯化鉀含量，C：_____ % (教師提供)
2. 混合物重， W_0 ：_____ g
3. 混合物顏色：_____
4. 濾紙重， W_1 ：_____ g
5. 烘乾後的濾紙與氯化鉀重， W_2 ：_____ g
6. 氯化鉀重， W_3 ：_____ g ($W_3 = W_2 - W_1$)
7. 氯化鉀回收率，H：_____ % ($H = \frac{W_3}{W_0 \times C} \times 100\%$)

計算過程：

8. 氯化鉀晶體顏色：_____

問題與討論

1. 什麼是「再結晶法」？
2. 以再結晶法純化氯化鉀結晶時，最後回收率無法達 100% 的可能原因有哪些？
3. 進行氯化鉀的再結晶實驗，除去不溶性雜質時，為何要趁熱過濾？
4. 進行氯化鉀的再結晶實驗，除去不溶性雜質時，可否使用抽氣過濾法？為什麼？

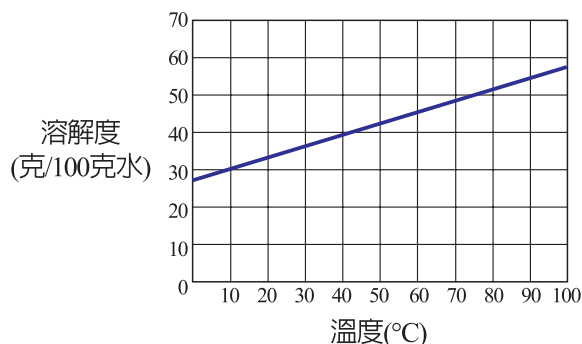


重點整理

1. 定溫下，定量溶劑所能溶解溶質的最大量，即稱為該溶質在該溶劑中的「溶解度」。
2. 影響溶解度的因素有物質的本性、溫度、壓力。
3. 大部分物質隨著溫度增加，溶解度會增加。少部分物質則隨著溫度增加而降低溶解度，如氫氧化鈣、硫酸鈾等。
4. 為了得到較結晶法更高純度之物質，可將析出之結晶再以少量溶劑重新溶解後，再重複進行一次蒸發或冷卻工作後過濾除去溶劑，使物質結晶再析出，此稱再結晶。

學後評量

- () 1. 於 20°C 下，關於氯化鉀的過飽和水溶液之敘述，下列何者正確？
(A) 氯化鉀濃度 $>$ 氯化鉀溶解度
(B) 氯化鉀濃度 $=$ 氯化鉀溶解度
(C) 氯化鉀溶於水的速度 $>$ 水溶液中氯化鉀的析出速度
(D) 氯化鉀溶於水的速度 $=$ 水溶液中氯化鉀的析出速度
- () 2. 於一瓶氯化鉀溶液中加入少量氯化鉀，結果溶液中析出大量氯化鉀結晶，故可判斷此溶液為下列何者？
(A) 未飽和溶液 (B) 飽和溶液 (C) 過飽和溶液 (D) 無法判斷
- () 3. 下列物質中，何者的溶解度隨著溫度的增加而下降？
(A) 硝酸鉀 (B) 氯化鉀 (C) 硝酸銀 (D) 硫酸鈾
- () 4. 大多物質由於溶解度隨著溫度降低而下降，故可利用冷卻方式使其結晶析出。請問下列相同濃度的不飽和溶液，若冷卻至相同的溫度，何者析出的結晶會最少？
(A) 氯化鈉 (B) 氯化鉀 (C) 氯酸鉀 (D) 氯化銨
- () 5. 已知氯化鉀的溶解度與溫度之關係如下圖。現在有一氯化鉀溶液，已知其氯化鉀濃度為 23%，請問將此溶液降溫至多少 $^{\circ}\text{C}$ 會開始析出氯化鉀？



- (A) 5°C (B) 10°C (C) 15°C (D) 20°C
- () 6. 已知氯化鉀於 20°C 下的溶解度為 $34.2 \text{ g}/100 \text{ g H}_2\text{O}$ ，現在有一含 35% 氯化鉀的 100 g 水溶液，將此溶液降溫至 20°C ，請問應可析出多少克氯化鉀？
(A) 0.80 (B) 12.77 (C) 22.23 (D) 34.20
- () 7. 有一氯化鈉 - 氯化鉀的混合物，兩者的質量比為 1:1，現在以少量水溶解並加熱至高溫，再趁熱過濾，請問濾紙上若有析出晶體，其氯化鉀的含量可能為？
(A) 40% (B) 50% (C) 60% (D) 70%
- () 8. 以再結晶法純化氯化銨，下列何者非溶劑的考慮因素？
(A) 無毒性 (B) 不易燃燒 (C) 沸點與氯化銨接近 (D) 不與氯化銨發生反應

- () 9. 以再結晶法純化氯化鉀時，過程中會利用加熱溶液使氯化鉀溶解而與不溶性雜質利用過濾法分離，關於此分離過程的敘述，下列何者錯誤？
- (A) 需趁熱過濾
 - (B) 常使用抽氣過濾分離雜質
 - (C) 過濾用的漏斗需預熱
 - (D) 濾紙可用凹槽形摺疊法使過濾速度加快
- () 10. 承上題，分離後的濾液給予冷卻，即可使氯化鉀結晶再析出。請問關於此過程的敘述，下列何者錯誤？
- (A) 析出結晶的過程中切勿搖晃或攪拌
 - (B) 晶體顆粒愈大，其純度愈高
 - (C) 冷卻過程若一直無晶體析出則可以攪拌棒輕刮器壁使晶體析出
 - (D) 以上皆正確

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.