

## 趣味化學玩具：神奇合金與彩焰蠟燭

邱姿蓉\*、黃維靜

國立大甲高級中學

\*[cmnfish2@gmail.com](mailto:cmnfish2@gmail.com)

### ■ 影片觀賞

本文介紹神奇合金與彩焰蠟燭兩樣趣味的化學玩具，購買於東京科學技術館，適用於年齡 10 歲以上的對象，本影片提供兩項玩具演示的詳細過程，並在文章中介紹其中成分、使用步驟及其科學原理。



### ■ 簡介

神奇合金玩具所採用的合金是屬於一種低熔點合金，生活中常用於

影片網址：趣味化學玩具：神奇合金與彩焰蠟燭，

<http://youtu.be/CpM58k2DEuk>。

熔斷式保險絲的伍德合金 (Wood's alloy or

Wood's metal) 就屬於此種合金，熔點為  $70^{\circ}\text{C}$ 。由於其成分中含有鉛、鎘等有毒重金屬，因此不適合當作玩具的材料。低熔點合金由鉍 (Bi)、錫 (Sn)、銦 (In) 三種金屬所組成，熔點只有  $78.8^{\circ}\text{C}$ ，可藉由溫度高於  $78.8^{\circ}\text{C}$  的熱水就能讓合金熔化，利用黏土和準備的模型，創造出自製化獨一無二的金屬別針。焰色玩具是有五種不同顏色的蠟燭，因為蠟燭裡所含的金屬成分不同，所以可產生不同顏色的火焰。這兩樣玩具操作簡易，且富含



圖 1：產品外包裝盒，神奇合金 (左)，彩焰蠟燭 (右)。

化學知識，只要注意安全，年齡 10 歲以上的小孩就可以玩。

## ■ 藥品與器材

神奇合金玩具裡含鉍 (Bi) 錫 (Sn) 銻 (In) 合金一袋、黏土一條、別針一支、說明書一份。焰色玩具裡含 5 色蠟燭共 12 支、塑膠插座 12 個、說明書一份。包裝外觀如圖 1 所示。



圖 2：合金隔水加熱

## ■ 實驗步驟

### 一、神奇合金玩具

#### A. 合金融化

1. 取些許合金放入一個玻璃瓶中，並蓋緊瓶蓋。
2. 於 250 mL 燒杯中，裝 78.8 °C 以上的熱水。放此玻璃瓶到燒杯中，隔水加熱使合金熔化。加熱過程如圖 2 所示。



圖 3：灌模製作金屬別針

#### B. 金屬別針的製作

1. 壓入欲製作的模型於黏土中，使其形狀固定後拿出。倒入熔化的合金溶液於黏土中，並放置別針於熔化的合金上。灌模製作如圖 3 所示。
2. 靜置等待合金凝固，就可以將其從黏土中取出，便是一個自製化的金屬別針。



圖 4：別針與模型

### 二、彩焰蠟燭

#### A. 觀察不同顏色蠟燭的焰色

1. 取不同顏色的蠟燭各一支，以塑膠插座插在保麗龍上點燃。

2. 根據觀察到的不同火焰顏色，推想不同顏色的蠟燭裡各含有什麼金屬。蠟燭燃燒如圖 5



圖 5：不同彩焰蠟燭的焰色

## ■ 原理與概念

### 一、神奇合金玩具

合金是溶液的一種，為具金屬特性的元素混合物，其中至少有一種主要成分為金屬，根據混合的狀況，可區分為均相合金與非均相合金。青銅、黃銅為均相合金，成份元素的原子分布均勻；非均相合金例如汞齊，為不同比例晶相組成的混合物。不同的合金依據其成份產生不同的性質，故合金通常為因應適用於特定用途而設計。例如：鎂鋁合金由於其輕巧又具有如鋼鐵般的強度，廣泛應用於 3C 電子產品的外殼、腳踏車架等各項產業。各種金

屬與合金的熔點的比較如圖 5 所示。

本次實驗可用熱水熔化的神奇合金，是由鈹 (Bi)、錫 (Sn)、銻 (In) 三種金屬按一定比例混合而成，熔點為 78.8°C。這三種金屬的熔點分別是鈹 (Bi) 271.4°C、錫 (Sn) 231.9°C、銻 (In) 156.6°C，用熱水是無法單獨熔化。當鈹、錫、銻以特定比例量混合時，由於各成分原子半徑的差異，因此原本各成分獨特有序的晶體排列方式遭受扭曲破壞而

使彼此間引力變弱，混合溶液的熔點因此降低。圖 6 即表示兩固態成分混合溶液的相圖，當兩 A、B 成分以的特定的比例混合時（又稱共晶組成），低溫下固體成兩固體相，隨著溫度上

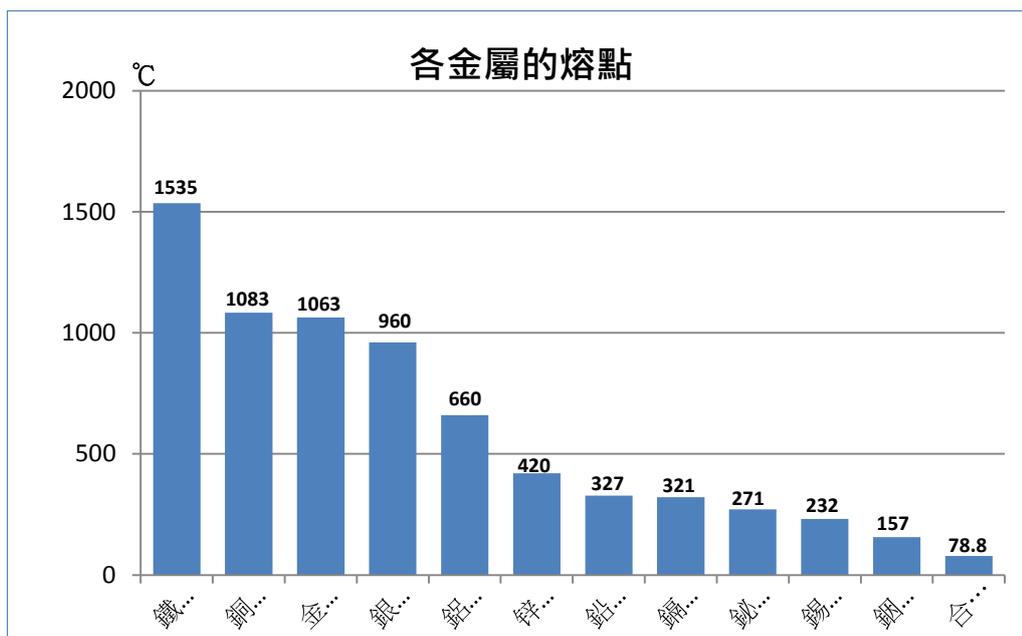


圖 5：各種金屬與神奇合金的熔點比較

升至共晶溫度時，固體混合物開始熔化，最後形成均勻的混合物。反之若兩成分非共晶組成時，圖左自高溫冷卻時，均勻混合的溶液會有一段時間經過固液兩相共存的狀態 ( $L+\alpha$ )，最後才轉變成固相 ( $\alpha+\beta$ )。

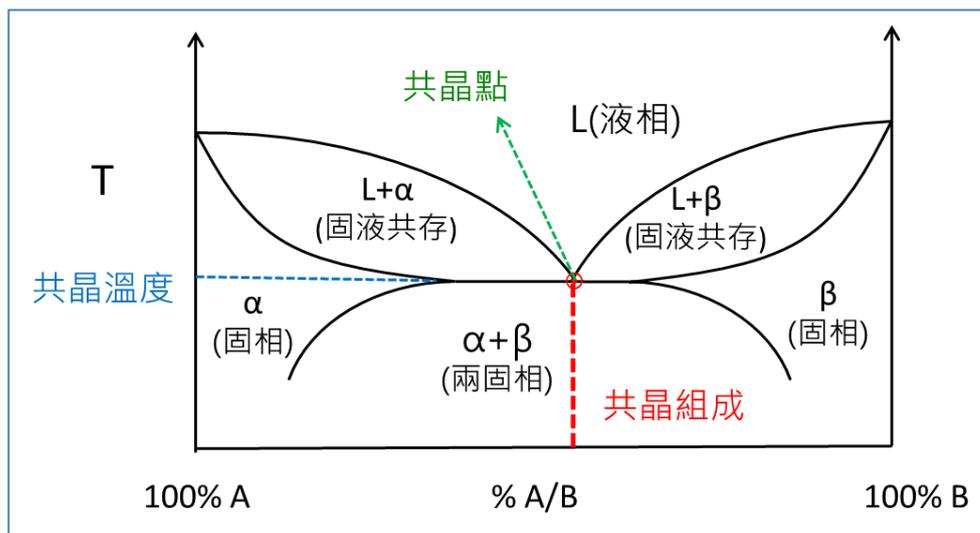


圖 6：二種化學混合物的相圖

易熔合金是相對熔點低的金屬，如鉍、鉛、錫、鎘、銦、銻等兩種以上的組合形成。例如伍德合金是由 50% 鉍 (Bi)、26.7% 鉛 (Pb)、13.3% 錫 (Sn)、10% 鎘 (Cd) 混合的合金。它的熔點  $70^{\circ}\text{C}$  比四個純金屬的熔點都低，常用於電路中的保險絲和防火簾的開關，也適用於消防系統中控制灑水器，當火災發生時，熱度會很快融化合金讓灑水器開始灑水。

還有菲爾德金屬 (field's metal)，熔點只有  $62^{\circ}\text{C}$ ，是鉍 (Bi)、銦 (In)、錫 (Sn) 的共晶合金。三者重量上所佔比例分別為 32.5%、51%、16.5%。由於菲爾德金屬中的

銦 (In) 能吸附放射性物質碘、銫、中子，防止核輻射外洩，因此在日本福島核災時曾被建議應向反應爐注入此液態金屬，代替直接注入冷卻水，從源頭防止放射物洩漏。表 1 為神奇合金成分金屬的性質簡介：

## 二、彩焰蠟燭

為什麼蠟燭火焰顏色會不同？為什麼煙火有紅色、黃色、綠色等各式各樣的顏色？這是因為有些金屬或金屬化合物在燃燒時能使火焰呈特殊顏色，原理是當原子受熱時，其中的電子會被激發到較高能量的狀態，稱

表 1：神奇合金的性質介紹

金屬	熔點	比重	外觀	用途
鉍 (Bi)	$274.1^{\circ}\text{C}$	9.88	帶有紅色的白色金屬	易熔合金及醫療藥品
錫 (Sn)	$231.9^{\circ}\text{C}$	7.269	外觀是灰銀色有點軟的金屬	藝術品、焊接、電鍍等
銦 (In)	$156.6^{\circ}\text{C}$	7.31	偏軟的銀白色的金屬	半導體等電子材料合金



圖 7：銫離子的放射光譜，是第一個用光譜儀發現的原子（截自 <http://webmineral.com/>）

電子的激發態 (electronic excited state)。處於激發態的外層電子不穩定，會躍遷到能量較低的基態 (ground state)。這時就會將多餘的能量以光的形式放出。放出的光其波長若在可見光範圍內 (波長為 380 nm ~ 760 nm)，就能使火焰呈現顏色。由於不同元素的外層電子具有不同能量的基態和激發態，所以在這個過程中就會產生不同的波長的光，發出不一樣的焰色。

利用元素的此性質，可以判斷某種元素的存在，這就是物質檢驗中的焰色反應。例如青綠色焰色表示含有銅元素，黃色焰色含有鈉元素，紫色焰色含有鉀元素，磚紅色焰色則含有鈣元素等。當觀看煙火時，想一下含有什麼物質加在裡面，這也是很有趣的。

焰色玩具說明書上所載的焰色與實際觀察到的焰色有所落差，除了鋰、鈉、銅鹽的顏色相符外，銫、鉀鹽的藍紫色焰色不明顯，應該與蠟燭燃燒的溫度不夠高，蠟燭不完全燃燒產生的黃色火焰蓋過藍紫光有關，此部分與噴霧式酒精式焰色試驗或固態燃料式焰色反應的實驗的結果相仿，如何突破黃光的干擾，是以後很好的研究課題。圖 7 為銫離子的放射光譜。

## ■ 安全注意及廢棄物處理

- 操作過程中要戴手套避免燙傷。

## ■ 參考資料

1. 黃海宴、蔡大翔、謝立身，物理化學，第五版，1988，129-136，台北：科技圖書。
2. 張育唐，合金 (Alloys)，科技部高瞻自然科學教育資源平台，<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=28118>。
3. Flame tests, <http://webmineral.com/>.
4. Flame test, [http://en.wikipedia.org/wiki/Flame\\_test](http://en.wikipedia.org/wiki/Flame_test).
5. Solid solution, [http://en.wikipedia.org/wiki/Solid\\_solution](http://en.wikipedia.org/wiki/Solid_solution).
6. Eutectic system, [http://en.wikipedia.org/wiki/Eutectic\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Eutectic_system).