

# 第卅八屆 2006 年國際化學奧林匹亞競賽(III) —理論競賽試題(2)

## 臺灣代表隊的表現與參考解答、評分標準

臺灣國際化學奧林匹亞競賽委員會

國立臺灣師範大學 化學系

### 6. 電化學 (5 分)

水是一種非常穩定的分子，早年甚至被認為是一種元素。直到電池在 1800 年被發明出後，Nicholson、Carlyle 兩人才將水電解分解為  $H_2$  和  $O_2$ 。

6-1. 水可看成是氫被氧氣氧化，所以氫氣可以由還原水而得。以白金為電極，電解  $Na_2SO_4$  水溶液時，在負極就可以得到氫氣，同時電極附近會呈現鹼性。寫出此平衡半反應式。

6-2. 水也可以看成是氧被氫還原，氧化水可在正極得到氧氣。以白金為電極時，在正極就可以得到氧氣。寫出此平衡半反應式。

6-3. 當改用銅作為成正、負極時，只有一個電極旁邊會產生氣體。寫出沒有氣體產生的電極處所發生的半反應式。

鈉離子也可以由電解而得，當然在水溶液中無法得到金屬鈉，因為水會先被還原。Humphrey Davy 在 1807 年電解熔融態的  $NaCl$  而得到金屬鈉。

6-4. 由以上的反應，在答案紙上連接下列半反應之電位（單位為伏特，volts）。

|               |       |        |
|---------------|-------|--------|
| $Cu^{2+}$ 的還原 | ----- | +0.340 |
| 氧的還原          |       | -2.710 |
| 水的還原          |       | -0.830 |
| $Na^+$ 的還原    |       | 0.000  |
| 氫離子的還原        |       | +1.230 |

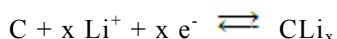
電極的電位會受其他在電極附近的反應影響，例如  $Cu^{2+}/Cu$  的電位在  $0.1\ M\ Cu^{2+}$  溶液中，會因有無  $Cu(OH)_2$  的沉澱而影響。下面三小題都在  $25^\circ C$  的條件下，且水在  $25^\circ C$  時的  $K_w=1.00\times 10^{-14}$ 。(答案都需要三位有效數字)

6-5.  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  會在  $\text{pH}=4.84$  時開始沉澱。求  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  的  $K_{\text{sp}}$ 。

6-6. 計算  $\text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{s})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}_{(\text{s})} + 2\text{OH}^-$  的標準電位。

6-7. 計算此電極在  $\text{pH} = 1$  時之電位。

鋰鈷氧化物是鋰電池中的正極，石墨為負極，在充電/放電過程中，發生下列可逆反應：

$$\text{LiCoO}_2 \rightleftharpoons \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$$


電池可儲存的總能量是用 mAh 來表示。一電池若為 1500 mAh，表示它可以讓一需要 100 mA 的電器連續使用 15 小時。

6-8. 鋰可以進入石墨的層與層間。假設每 6:1 是碳/鋰結合的最大比值，那麼 1.00 g 的石墨最多可以儲存多少鋰？答案需用 mAh 做單位。假設所儲存的鋰都可以轉變為電流。

6-1. (5 分)

$$4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + 4\text{OH}^- \text{ (or } 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-)$$

6-2. (5 分)

$$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \quad \text{(or } \text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-)$$

6-3. (5 分)

$$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$$

6-4. (20 分)

鈉離子的還原很少發生，因為它的還原電位很高(−2.710 V)。

水分解為氫的還原電位為負的(水非常的穩定)，但是並沒有鈉離子那麼負，只有 −0.830 V。

銅離子和氧的還原是很快的，其還原電位是正的。

在目前的系統，逆反應(氧化)發生在正極。銅比水先被氧化。

氫的還原電位被定義為 0.000 V。

|                                            |  |        |
|--------------------------------------------|--|--------|
| Reduction of oxygen                        |  | −2.710 |
| Reduction of water                         |  | −0.830 |
| Reduction of sodium ion (Na <sup>+</sup> ) |  | 0.000  |
| Reduction of hydrogen ion                  |  | +1.230 |

**6-5.**

$$\text{pOH} = 14.00 - 4.84 = 9.16$$

$$[\text{OH}^-] = 6.92 \times 10^{-10}$$

$$K_{\text{sp}} = [\text{Cu}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = 0.100 \times (6.92 \times 10^{-10})^2 = 4.79 \times 10^{-20}$$

**6-6.**

$$E = E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} + (0.0592/2) \log [\text{Cu}^{2+}]$$

$$= +0.340 + (0.0592/2) \log [\text{Cu}^{2+}]$$

$$= +0.340 + (0.0592/2) \log (K_{\text{sp}} / [\text{OH}^-]^2)$$

$$= +0.340 + (0.0592/2) \log (K_{\text{sp}}) - (0.0592/2) \log [\text{OH}^-]^2$$

$$= +0.340 + (0.0592/2) \log (K_{\text{sp}}) - 0.0592 \log [\text{OH}^-], \quad \Rightarrow \quad 3 \text{ 分}$$

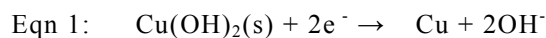
依照定義， $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) + 2\text{OH}^-$  在  $[\text{OH}^-] = 1.00\text{M}$  時的標準電位

$$E = E^\circ_{\text{Cu}(\text{OH})_2/\text{Cu}} = +0.340 + (0.0592/2) \log (K_{\text{sp}})$$

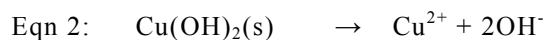
$$= +0.340 + (0.0592/2) \log (4.79 \times 10^{-20})$$

$$= +0.340 - 0.572, \quad \Rightarrow \quad 2 \text{ 分}$$

$$= -0.232 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad 10 \text{ 分}$$

**6-6.** 另一種解法：

$$E_+^\circ = E^\circ_{\text{Cu}(\text{OH})_2/\text{Cu}} = ?$$



$$E^\circ = (0.05916/n) \log K_{\text{sp}} = (0.05916/2) \log (4.79 \times 10^{-20})$$

$$= -0.5715 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad 3 \text{ 分}$$



$$E_-^\circ = E_+^\circ - E^\circ = E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = 0.34 \text{ V}$$

$$\text{Therefore, } E_+^\circ = E_-^\circ + E^\circ = +0.34 + (-0.5715) \quad \Rightarrow \quad 2 \text{ 分}$$

$$= -0.232 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad 10 \text{ 分}$$

6-7.

pH = 4.84 以下，因為無沉澱物， $\text{Cu}(\text{OH})_2$  不能生成。

因此  $E = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = +0.340 + (0.0592/2) \log [\text{Cu}^{2+}]$

$$= +0.340 + (0.0592/2) \log 0.100 \quad \Rightarrow \quad 3 \text{ 分}$$

$$= +0.340 - 0.0296 = +0.310 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad 7 \text{ 分}$$

6-8.

1.00 g 石墨 = 0.0833 mol 碳

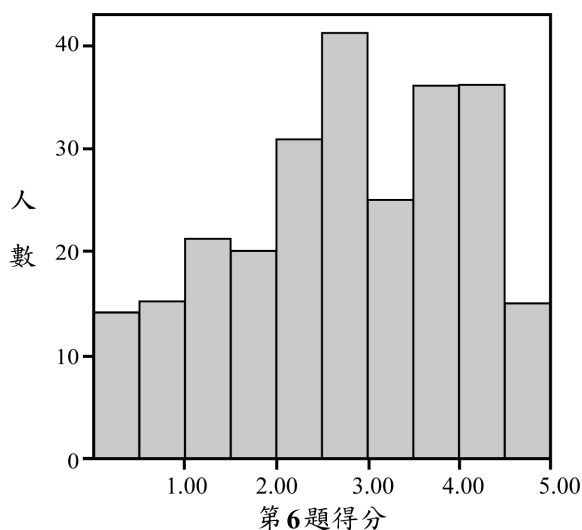
6 mol 碳 生成 1 mol 鋰; 1 g 石墨 生成 0.0139 mol 鋰

生成 1 mol 鋰，需要 96487 庫倫。

因此，1 g 石墨 含有  $96487 \times 0.0139 = 1340$  庫倫。  $\Rightarrow \quad 5 \text{ 分}$

1340 庫倫 / 克 = 1340 安培-秒 / 克 =  $1340 \times 1000 \text{ mA} \times (1 / 3600) \text{ h}$

$$= 372 \text{ mA h / g} \quad \Rightarrow \quad 5 \text{ 分}$$



## 7. 氫經濟 (4 分)

氫每單位質量所儲存之能量比碳高。因此，從歷史的發展來看，燃料有往高氫含量的方向發展的趨勢：煤 → 石油 → 天然氣 → 氫。能夠便宜生產氫氣和安全的儲存方法，是宣告氫經濟來臨最大的兩個關鍵。

7-1. 有一圓柱形容器中，含有溫度 25 °C、壓力 80 MPa 的氫氣。利用理想氣體定律，估計在此容器中氫氣的密度（單位用 kg/m<sup>3</sup>）。

7-2. 計算等重量的氫氣與碳個別燃燒時，所釋放熱量之比例。 $\Delta H_f^\circ [\text{H}_2\text{O}(\text{l})] = -286 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H_f^\circ [\text{CO}_2(\text{g})] = -394 \text{ kJ/mol}$ 。

7-3. 計算下列兩種方式燃燒 1 kg 的氫所能產生理論上的最大功：(a) 使用燃料電池驅動電動馬達，(b) 使用工作於 25°C 與 300°C 間的熱機 (heat engine)。熱機的效率為所作之功除以所吸收之熱量。工作於溫度為  $T_{\text{cold}}$  與  $T_{\text{hot}}$  兩個熱源間的理想熱機之效率為  $[1 - T_{\text{cold}}/T_{\text{hot}}]$ 。

$$S_{298}^\circ[\text{H}_2(\text{g})] = 131 \text{ J/K mol}$$

$$S_{298}^\circ[\text{O}_2(\text{g})] = 205 \text{ J/K mol}$$

$$S_{298}^\circ[\text{H}_2\text{O}(\text{l})] = 70 \text{ J/K mol}.$$

如果燃料電池在 1W 與標準電位下運作，計算電動馬達可以運作多久？其電流大小為何？

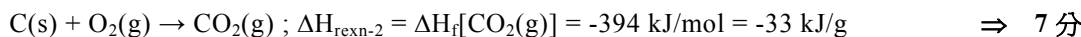
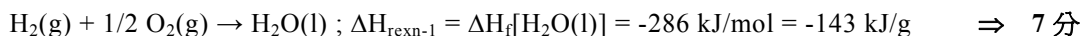
7-1. (10 分)

$$n/V = P/RT = (80 \times 10^6 / 1.013 \times 10^5 \text{ atm}) / [(0.082 \text{ atm L/mol/K})(298\text{K})] = 32 \text{ mol/L} \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

$$\text{密度} = \text{質量/體積} = d = 32 \times 2 \text{ g/L} = 64 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

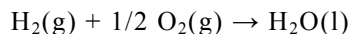
|                      |
|----------------------|
| 64 kg/m <sup>3</sup> |
|----------------------|

7-2.



$$(-\Delta H_{\text{rexn-1}})/(-\Delta H_{\text{rexn-2}}) = 4.3 \text{ or } (-\Delta H_{\text{rexn-2}})/(-\Delta H_{\text{rexn-1}}) = 0.23 \Rightarrow 6 \text{ 分}$$

7-3.



$$\Delta H_c = -286 \text{ kJ/mol} = -143 \text{ kJ/g} = -143 \times 10^3 \text{ kJ/kg} \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$\Delta S_c = 70 - 131 - 205/2 = -163.5 \text{ J/K/mol} \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

$$\Delta G_c = -286 \text{ kJ/mol} + 298 \text{ K} \times 163.5 \text{ J/K/mol} = -237 \text{ kJ/mol} = -1.2 \times 10^5 \text{ kJ/kg} \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

$$(a) \text{ 電動馬達 } W_{\max} = \Delta G_c \times 1 \text{ kg} = -1.2 \times 10^5 \text{ kJ} \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

$$(b) \text{ 熱機 } W_{\max} = \text{efficiency} \times \Delta H_c \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

$$= (1 - 298/573) \times (-143 \times 10^3 \text{ kJ}) = -6.9 \times 10^4 \text{ kJ} \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

$$19 \times 10^3 \text{ kJ} = 1 \text{ W} \times t(\text{sec})$$

$$t = 1.2 \times 10^8 \text{ sec} = 3.3 \times 10^4 \text{ hr} = 1.4 \times 10^3 \text{ days} = 46 \text{ month} = 3.8 \text{ yr} \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

$$\Delta G = -nFE \quad n = \text{參與反應的電子}$$

$$F = 96.5 \text{ kC/mol}$$



$$E = -\Delta G/nF = 237 \text{ kJ/mol} / 2 / 96.5 \text{ kC/mol} = 1.23 \text{ V} \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

$$I = W/E = 0.81 \text{ A} \Rightarrow 5 \text{ 分}$$

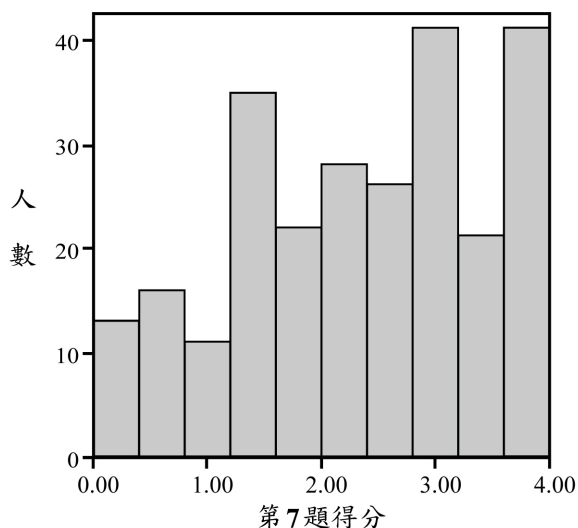
$$(a) (-)1.2 \times 10^5 \text{ kJ},$$

$$(b) (-)6.9 \times 10^4 \text{ kJ}$$

$$1.2 \times 10^8 \text{ sec or } 3.3 \times 10^4 \text{ hr or } 1.4 \times 10^3 \text{ days}$$

$$\text{or } 46 \text{ month or } 3.8 \text{ yr}$$

$$I = 0.81 \text{ A}$$



## 8. 氧化鐵的化學 (5 分)

鐵的原子核是最穩定的原子核組態，所以在可以孕育生命的大紅星中，累積很多，這導致鐵在宇宙的含量很多，地球也含有很多鐵。

8-1. 發現並能夠有效的還原氧化鐵，是人類文明進步的重要一環，在煉鐵爐中的主要反應如下：



8-1-1. 寫出上述各反應的還原劑。

8-1-2. 平衡反應式  $\textcircled{3}$ ，並計算此反應在  $1200^\circ\text{C}$  時的平衡常數。

(其中， $\Delta H_f^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3\text{(s)}) = -824.2 \text{ kJ/mol}$ ,  $S^\circ(\text{J/mol/K})$ :  $\text{Fe(s)} = 27.28$ ,

$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{(s)} = 87.40$ ,  $\text{C(s)} = 5.74$ ,  $\text{CO(g)} = 197.674$ ,  $\text{CO}_2\text{(g)} = 213.74$ )

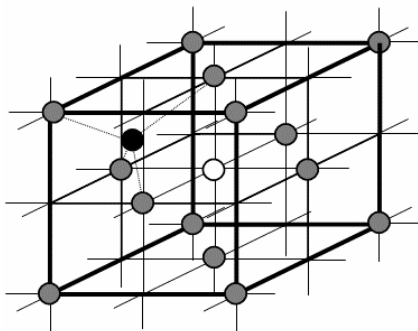
8-2. 在製作青灰瓷時， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  被部份還原，產生  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  和  $\text{FeO}$  的混合物，這些不同氧化鐵化合物的存在，造成了青灰瓷的特殊色彩。

磁石 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 是含  $\text{Fe}^{2+}$  與  $\text{Fe}^{3+}$  離子的氧化物，通式為  $\text{AB}_2\text{O}_4$ 。其中氧離子 ( $\text{O}^{2-}$ ) 形成面心立方，下圖中灰色球是所有氧離子所形成的面心立方架構。黑色球僅代表一個正四面體的中心位置，白色球僅代表一個正八面體的中心位置。



8-2-1. 在一個  $\text{AB}_2\text{O}_4$  的單位晶格中，共有幾個正八面體的中心位置(當中心和別的單位晶格共用時，要以比例計算)？

$\text{AB}_2\text{O}_4$  可形成正旋轉和反旋轉的結構，在正旋轉中，兩個 B (三價離子) 都在正八面體中心，而 A (二價離子) 在一個正四面體的中心。在反旋轉中，A 在正八面體中心，B 只有一個可在正八面體中心，另一個必須填到正四面體中心。



8-2-2. 在  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  中，有多少正四面體中心被  $\text{Fe}^{2+}$  或  $\text{Fe}^{3+}$  填入？用百分比表示。

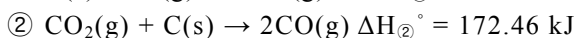
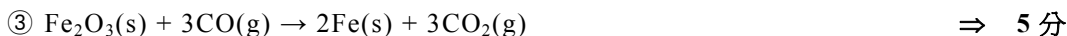
8-2-3. 磁石 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 是屬於反旋轉式結構，畫出  $\text{Fe}^{2+}$  在八面體結晶場中  $d$  軌域的分裂，並填入電子。(在此結晶場中，氧化物是屬於弱場)

8-1-1. (一個 5 分)

① C

② C

③ CO

**8-1-2.**

由 ①、②,

$$\Delta H_f^\circ(\text{CO}(\text{g})) = (1/2)\{172.46 + (-393.51)\} = -110.525 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3) = -824.2 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\textcircled{3}}^\circ = 3 \times \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) - \Delta H_f^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 3 \times \Delta H_f^\circ(\text{CO}(\text{g}))$$

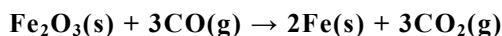
$$= 3 \times (-393.51) - (-824.2) - 3 \times (-110.525) = -24.8 \text{ kJ} \quad \Rightarrow \quad 7 \text{ 分}$$

$$\Delta S_{\textcircled{3}}^\circ = 2 \times 27.28 + 3 \times 213.74 - 87.4 - 3 \times 197.674 = 15.36 \text{ J/K} \quad \Rightarrow \quad 3 \text{ 分}$$

$$\Delta G_{\textcircled{3}}^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ = -24.8 \text{ kJ} - 15.36 \text{ J/K} \times 1 \text{ kJ/1000J} \times 1473.15 \text{ K} = -47.43 \text{ kJ} \quad \Rightarrow \quad 5 \text{ 分}$$

$$K = e^{(-\Delta G^\circ/RT)} = e^{(47430 \text{ J}/(8.314 \text{ J/K} \times 1473.15 \text{ K}))} = 48 \quad \Rightarrow \quad 5 \text{ 分}$$

③ 的平衡反應方程式:



$$K = 48$$

**8-2-1. (20 分)**

$\text{AB}_2\text{O}_4$  單元有有效的 4 ( $= 1 + (1/4) \times 12$ ) 個八面體位置。

4

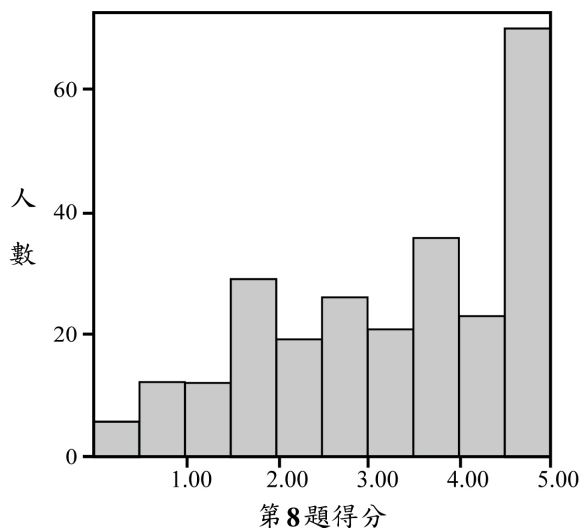
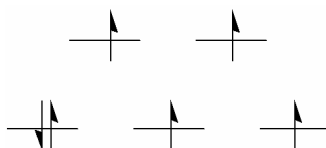
**8-2-2. (20 分)**

在這個例子，面心立方體  $\text{AB}_2\text{O}_4$  用來表示  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  單元有 8 個有效的四面體位置。

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  單元，1 個四面體位置應該被  $\text{Fe}^{2+}$  (正旋轉) 或  $\text{Fe}^{3+}$  (反旋轉) 佔據。

因此， $(1/8) \times 100\% = 12.5\%$

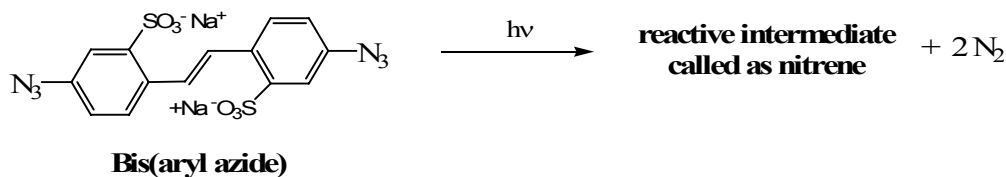
12.5%

**8-2-3. (10 分 for d-orbital splitting, 10 分 for elec. distribution)**

## 9. 光蝕刻製程 (5 分)

光蝕刻用於半導體元件製作時，以光罩的方式將元件線路形態，移轉至元件表面的載質。通常在一標準光蝕刻製程，以光投射的方式直接穿過光罩，從而有一薄層光阻劑覆蓋的矽晶片上勾勒出特定元件線路。

- 9-1. 最早的光阻劑是以光化學的原理利用雙芳香基疊氮化合物[bis(aryl azide)] 生成一活性中間體，元件線路的定型可經由疊氮化合物所產生的亞氮 (nitrenes) 活性中間體 (reactive intermediate) 進行交連 (cross-linking) 反應來達成。

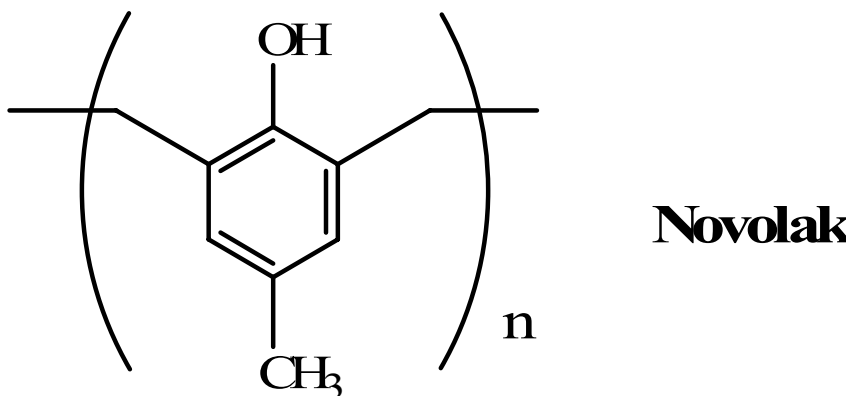


- 9-1-1.  $\text{CH}_3\text{-N}_3$  是具疊氮官能基的最簡單化合物，畫出其兩種可能的路易士 (Lewis) 結構，記得標示形式電荷 (formal charges)。

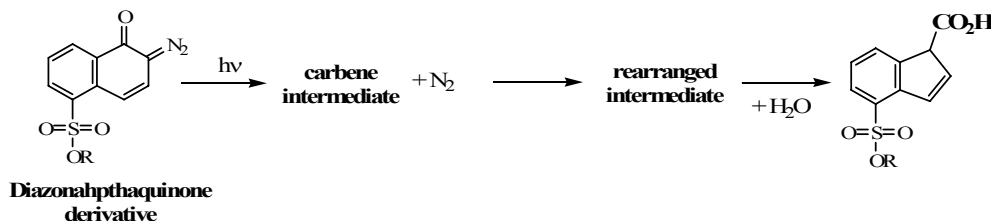
- 9-1-2. 畫出  $\text{CH}_3\text{-N}_3$  經照光後產生的亞氮 (nitrenes)，活性中間體之路易士結構記得標示形式電荷 (formal charges)。

- 9-1-3. 畫出 9-1-2 所述的亞氮 (nitrenes) 活性中間體與乙烯 ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) 氣體反應，其所產生的兩種可能的產物結構。

- 9-2. 以 Novolak 所組成的光阻劑，可用有機酸來改變其溶解度；有機酸的來源是藉由重氮萘醌 (diazonaphthoquinone) 的光化學重排反應產生。事實上“Novolak”是現代微積電改革中最具代表性的正向光阻劑。



當重氮萘醌以光照射時，其經由光化學分解產生亞碳基中間體 (carbene intermediate) 和氮氣，然後經重排反應再與水反應後產生有機酸，反應如下。

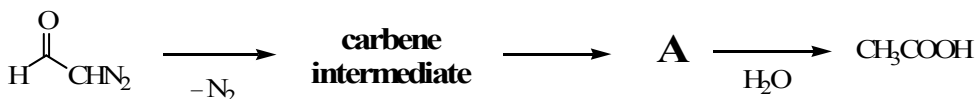


9-2-1. 重氮乙醛 (下圖) 為與重氮萘醌 (diazonaphthoquinone) 有相同活性官能基團的最簡單的化合物，**畫出**重氮乙醛的三種路易士結構。

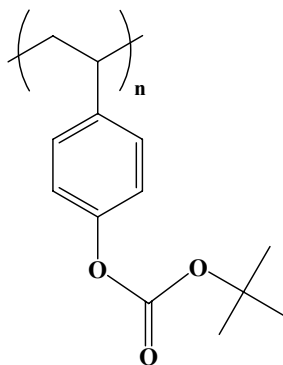


Diazoacetaldehyde (重氮乙醛)

9-2-2. 下圖顯示，當重氮乙醛經分解脫氮氣時，產生的亞碳中間體 (carbene intermediate)，再經重排反應會得到重排中間體-A，**畫出**重排中間體-A 的路易士結構；重排中間體-A 必須滿足路易士八隅體 (octet) 定理，且 A 會與水反應產生醋酸 ( $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ )。

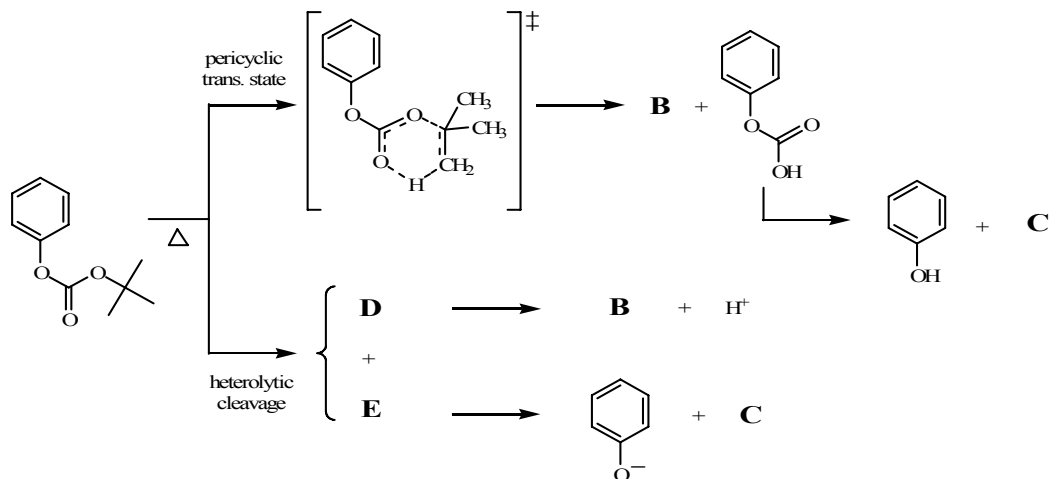


9-3. 更為先進的光阻劑發明於 1982 年，是以化學放大 (chemical amplification) 的方式為基礎。最為普遍用於正向光阻的化學放大技術，是以酸催化的方式分解，用酸保護的聚對氫氧基苯乙烯 (poly(*p*-hydroxystyrene)) 的高分子進行去保護反應。(可用酸去保護的保護基，可為第三丁氧羰基 (*t*-butoxycarbonyl; *t*-BOC; *t*-( $\text{CH}_3$ )<sub>3</sub>COC(O))。

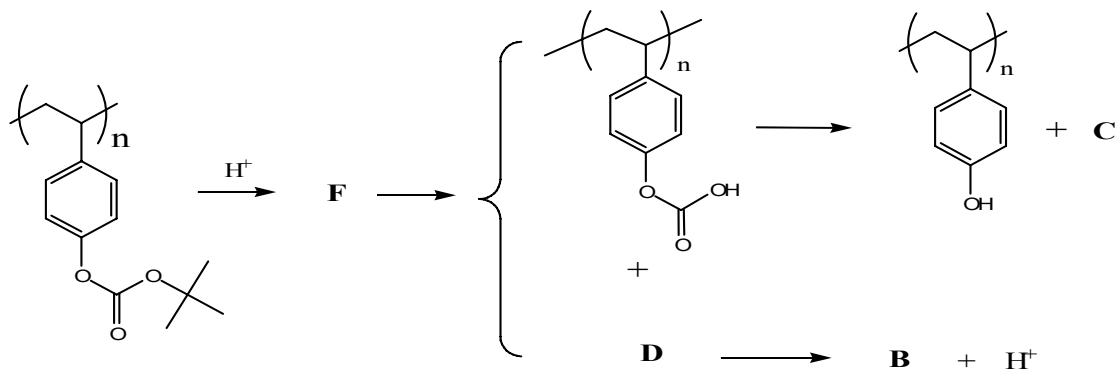


此種以 *t*-BOC 保護的碳酸酯高分子之熱裂解溫度通常都超過 150 °C。

9-3-1. 此以 *t*-BOC 保護的碳酸酯高分子，具有高活化能的熱裂解反應，有兩種可能的反應機構 (如下圖)。**畫出**此反應預期的中間體和產物 (B、C、D、E)。



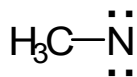
9-3-2. 當有微量的酸存在時，此以 *t*-BOC 保護的碳酸酯高分子之去保護裂解反應的溫度可降到 100 °C 以下，畫出以下化學放大製程中預期的中間體-**F**。



9-1-1. 答對一個得 8 分，二個得 15 分

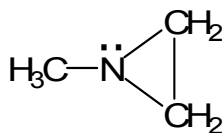


9-1-2.

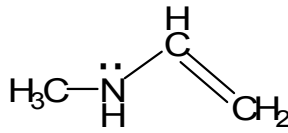


$\Rightarrow$  10 分

9-1-3.

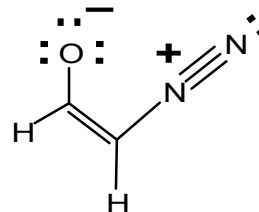
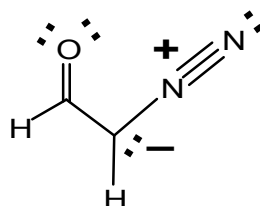
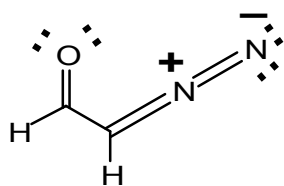


$\Rightarrow$  10 分

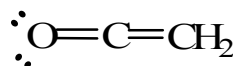


$\Rightarrow$  10 分

9-2-1. 一個答案 5 分

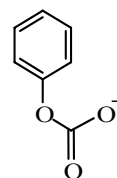
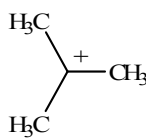
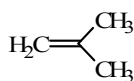


9-2-2.



⇒ 10 分

9-3-1. (40 分)



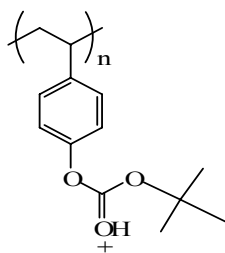
**B**

**C**

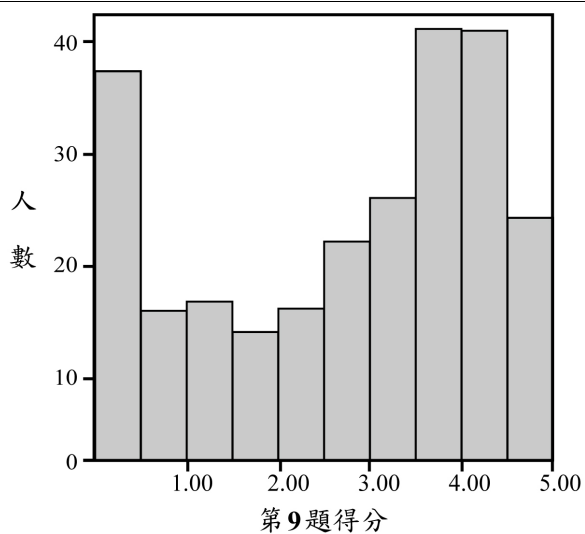
**D**

**E**

9-3-2. (10 分)



**F**



## 10. 天然物-結構分析 (9 分)



甘草樹



甘草樹根 (食用部分)

在甘草中萃取出的甜味物質，可以比一般糖甜上 50~150 倍。而這甜味的主要物質是 *glycyrrhizin* ( $C_{42}H_{62}O_{16}$ )。此酸 *Glycyrrhizin* 需要 3 當量的 NaOH 來完全中和其酸性，當 *Glycyrrhizin* 以酸進行水解時，會產生 1:2 莫耳數比的 *Glycyrrhizinic acid A* ( $C_{30}H_{46}O_4$ ) 和 **B** ( $C_6H_{10}O_7$ )，見下圖 1。

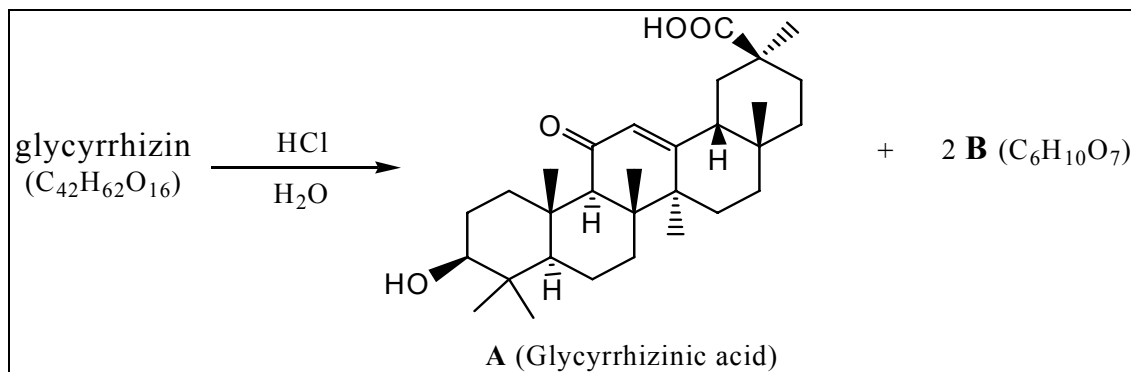


圖 1

當以碘化甲烷 (methyl iodide;  $CH_3I$ ) 對 *Glycyrrhizin* 上所有可能基團進行甲基化反應後再進行水解，會產生 **A'** (methyl glycyrrhizinate)、**C** 和 **D** (如圖 2)。注意 **B**、**C** 和 **D** 都有反構體 (anomers)。

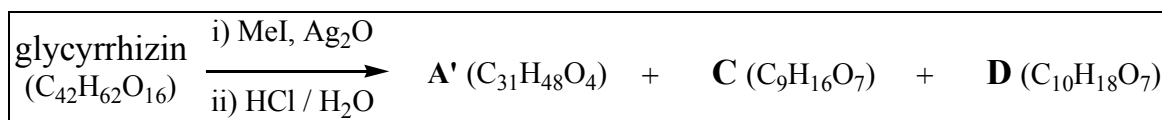


圖 2

### 參、參考資料

1. 台灣參加 2006 第卅八屆國際科化學奧林匹亞競賽總報告(下冊:競賽經過與成果) 附錄 1 IChO 2006 理論競賽試題-(pp.31-73); 附錄 2 IChO 2006 實作競賽試題-(pp.75-96), (教育部), Sept. 2006 (2006 IChO 總報告)
2. 方泰山,台灣參加 2006 第卅八屆國際科化學奧林匹亞競賽獲世界亞軍始末—3 金 1 銀與最佳實作獎破 15 年參賽紀錄-, 總報告(下冊:競賽經過與成果) (教育部),pp.1-29, Sept. 2006 (2006 IChO 總報告)
3. 第卅八屆國際科化學奧林匹亞競賽南韓官方網站: 最後結果 [Final Results](http://icho2006.ksnet.or.kr/main/i_problems/i_p_finalresults.htm?qpage=i_p_en_finalresults) 與統計  
[http://icho2006.ksnet.or.kr/main/i\\_problems/i\\_p\\_finalresults.htm?qpage=i\\_p\\_en\\_finalresults](http://icho2006.ksnet.or.kr/main/i_problems/i_p_finalresults.htm?qpage=i_p_en_finalresults)