

[Cu(NH₃)₄]SO₄·H₂O的定性定量分析暨分析儀器之自製

高中組化學第一名

高雄市立高雄中學

作者：林永雅

指導老師：柳信榮

一、提綱：

1. 定量分析：以實驗導出其化學式

- (1) 製備晶體
- (2) Cu²⁺之定量——電解法
- (3) NH₃之定量——滴定法
- (4) SO₄²⁻之定量——電解測量法
- (5) H₂O之定量——紅外線輻射
- (6) 總結論

2. 定性分析：以實驗闡明其性質

- (1) 配位化學式之證明
- (2) 解離反應
- (3) 酸鹼度
- (4) 熱分解
- (5) 總結論

3. 分析儀器之製作：自製儀器來分析[Cu(NH₃)₄]SO₄·H₂O

- (1) 穩壓限流 DC 電源供給器
- (2) 電子溫度器
- (3) 電導計
- (4) 紅外線產生器

二、前言：

所謂「實驗乃科學之母」，一切實驗科學莫不建立在實驗的基礎上，而實驗和觀念更是互為因果，不可或缺。在高中課程中曾介紹了一些定性及定量分析的方法，於是我嘗試以此為基礎，再配合較深入的方法，利用自製的分析儀器來對[Cu(NH₃)₄]SO₄·H₂O作嚴密之定性及定量分析，經過一年多的努力，終於

如願以償，今將內容及結論詳述如下，誠摯的希望閣下的批評，指教。

三、目的：

1. 將高中課程所介紹的定性，定量分析法，作綜合性的應用。
2. 學習更深入之分析方法。
3. 利用自修所學之電學，電子學來製作化學分析儀器，以達學以致用。
4. 瞭解錯鹽之鍵結情形及配位化學式之意義。
5. 熟悉各種實驗之技術。

四、內容：

第一部份：定量分析

1 [$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4$] $\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 之製備：

步驟：

- (1) 將 8ml 之 15M 氨水置於蒸發皿中，以 5ml $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 稀釋。
- (2) 將 0.02 mole (4.99g) 之 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ ，置於 $\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq})$ 中，攪拌直到全部溶解。
- (3) 沿燒杯壁緩緩傾入 8ml 之 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(95\%)$ 使其覆蓋於水溶液表面，蓋上錶面皿，靜置至翌日。
- (4) 至翌日，徐徐微緩攪拌混合後，俟晶體沈澱，傾出上層澄清液，再將晶體移至「減壓過濾裝置」過濾之。
- (5) 以 3 ~ 5ml 之氨水 (15M) 與等體積酒精之混合液洗滌裝置上的晶體，最後再以 5ml 之酒精洗滌之。
- (6) 依同法重覆洗滌，乾燥各兩次。
- (7) 取出晶體置於乾燥器內乾燥之。
- (8) 以分析天平精密稱量生成物。

2 數據處理：

實驗次數	NH ₃ 用量	CuSO ₄ ·5H ₂ O 用量	生成物乾燥後之重量
1	0.12 mole	0.02 mole	4.4175 g
2	0.12 mole	0.02 mole	4.4187 g
3	0.12 mole	0.02 mole	4.4204 g
4	0.12 mole	0.02 mole	4.4160 g
5	0.12 mole	0.02 mole	4.4213 g
6	0.12 mole	0.02 mole	4.4168 g
7	0.12 mole	0.02 mole	4.4193 g
8	0.12 mole	0.02 mole	4.4177 g
9	0.12 mole	0.02 mole	4.4154 g
10	0.12 mole	0.02 mole	4.4221 g
平均	0.12 mole	0.02 mole	4.4186 g

3. 銅之定量分析：應用自備之穩壓限流DC電源供給器。

(1) 原理：利用電解法。

(2) 步驟：

a. 配製電解液：

(a) 稱取 1.0000g 之晶體溶入 100ml H₂O 中。

(b) 加入足量 NaOH (aq) 則 NH₃ (g) 逸出並產生沈澱，再加入 H₂SO₄ (6M) 使沈澱溶解。

b. 陰極銅網之洗淨與乾燥：

(a) 配置洗滌：於 490ml H₂O 中加入 435ml H₂SO₄ (18M)，再加入 72ml HNO₃ (6M) 及 3ml HCl (12M)。

(b) 將銅網置入洗液 5 秒，觀察表面是否光亮，如果不是的

話，再置入至光亮為止。

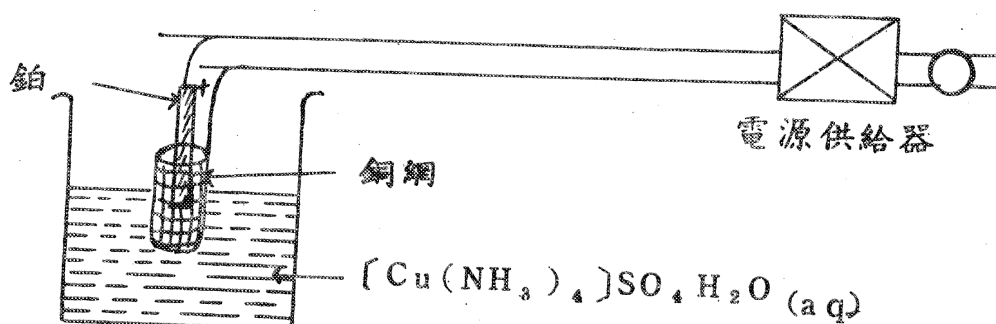
(c)取出銅網，置入丙酮中以脫去表面附著之水分。

(d)再置於錶玻璃上，在 110°C 乾燥 $5\sim 10$ 分鐘。

(e)以分析天平精密測量其重量。

c. 電解的操作：

(a)裝置如下圖：



(b)穩壓限流DC電源供給器見第三部分。

(c)以鉑金為陽極，銅網為陰極，置入電解液中；並使銅網有 $1/4$ inch 露於液面。

(d)以 3.0V 之DC電流電解之。

(e)終點之判斷

△電解液藍色消失

△加入 H_2O ，再以 0.5A 之電流電解 15 分鐘，觀察新浸入溶液之銅網是否有 Cu 析出。

(f)終點之處理

△暫勿切斷電源，將陰極銅網逐步提出液面，並以蒸餾水清洗（NB勿使析出之銅掉落）直至整個銅網皆提出液面。

△將陰極銅網置入丙酮中，脫去表面水分。

△再置於錶玻璃上在 110°C 乾燥 $5\sim 10$ 分鐘（NB避免 CuO 或 Cu_2O 生成）。

△冷卻後以分析天平精密，稱其重量。

(3)數據處理：

	1	2	3	4	5
電解前銅網重	4.5540g	4.5642g	4.5662g	4.5603g	4.5612g
電解後銅網重	4.8098g	4.8147g	4.8210g	4.8136g	4.8148g
析出銅重	0.2558g	0.2505g	0.2548g	0.2533g	0.2536g

(4)結論：

析出 Cu 重平均值為 0.2536g，所以 1.0000g 晶體中含 Cu, 0.2536g，即 0.003999mole 或 3.999 毫 mole。

4. NH₃ 之定量分析——利用滴定法

(1)步驟：

- 用 KHC₈H₄(COO)₂ 標定 NaOH(aq)，再以標定所得之 0.10N 之 NaOH(aq) 標定 H₂SO₄(aq) 得 H₂SO₄(aq) 為 0.23N。
- 稱取 1.0000g 之晶體，溶入 150ml，NaOH(0.10N) 立即產生淡藍色膠狀之 Cu(OH)₂ 沈澱。
- 將 30ml 之 H₂SO₄(0.23N) 置入錐形瓶中，並加入 2 滴酚酞指示劑。
- 以 70 ~ 80°C 之水浴加熱 b. 中之溶液 45 分，(NB: 將晶體置入蒸餾瓶中之 NaOH(aq) 後，須立刻將塞子蓋住，以防 NH₃(g) 散失)。
- 加熱 45 分後 Cu(OH)₂ 沈澱已完全變為黑色，經定性分析知為 CuO。
- 將蒸餾瓶置於冰水中，冷卻至 5°C，再將瓶內混合液置於「減壓過濾裝置」過濾之。
- 以 H₂SO₄(0.23N) 滴定濾液。
- 以 NaOH(0.1N) 滴定錐形瓶中之溶液。

(2)數據處理：

- 晶體溶於 NaOH(aq) 中有淡藍色 Cu(OH)₂ 沈澱產生，經加熱後產生如下之反應：



b. 因產生 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 須消耗 OH^- 故混合液中所剩 OH^- 之毫 mole，為 $150 \times 0.10 - 3.9991 \times 2 = 7.02$ 毫 mole (由銅之定量知 1.0000g 晶體中含銅 3.9991 毫 mole，而在 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 中， $1 \text{ Cu} \rightarrow 2\text{OH}^-$)。

c. 以 H_2SO_4 (0.23N) 滴定濾液之數據如下：

實驗次數	消耗 H_2SO_4 之 ml	消耗 H_2SO_4 之毫 mole	所得 NH_3 之毫 mole
1	100.57	23.13	16.11
2	100.00	23.00	15.98
3	99.67	22.92	15.90
4	99.96	22.99	15.67
5	100.13	23.03	16.01
平均	100.07	23.01	15.93

d. 以 NaOH (0.1N) 滴定錐形瓶中 H_2SO_4 之數據如下：

實驗次數	消耗 NaOH 之 ml 數	消耗 NaOH 之毫 mole	所得 NH_3 毫 mole
1	68.54	6.85	0.05
2	68.02	6.80	0.10
3	67.84	6.78	0.12
4	67.65	6.76	0.14
5	67.80	6.78	0.12
平均	67.97	6.79	0.12

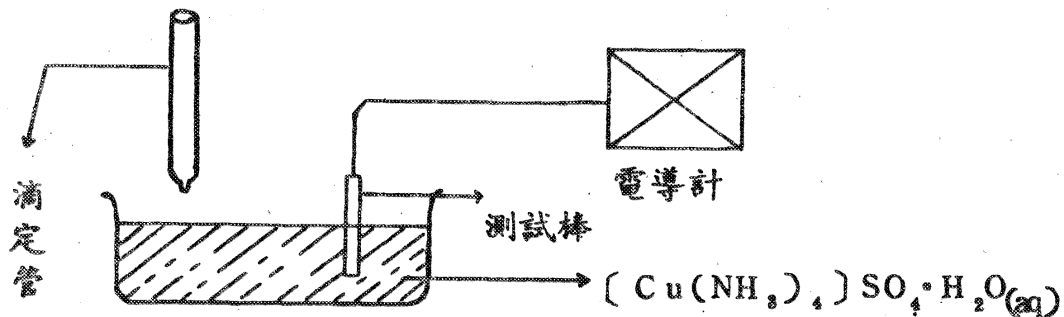
(3) 結論：綜合(2)之 c, d. 知 NH_3 毫 mole 數為：

實驗次數	NH ₃ 之毫mole 數
1	16.16
2	16.08
3	16.02
4	16.11
5	16.13
平 均	16.10

故知 1.0000 g 之晶體含 NH₃ 16.10 毫mole

5. SO₄²⁻ 之定量分析——利用自製之電導計測量

(1) 裝置：如下圖所示：



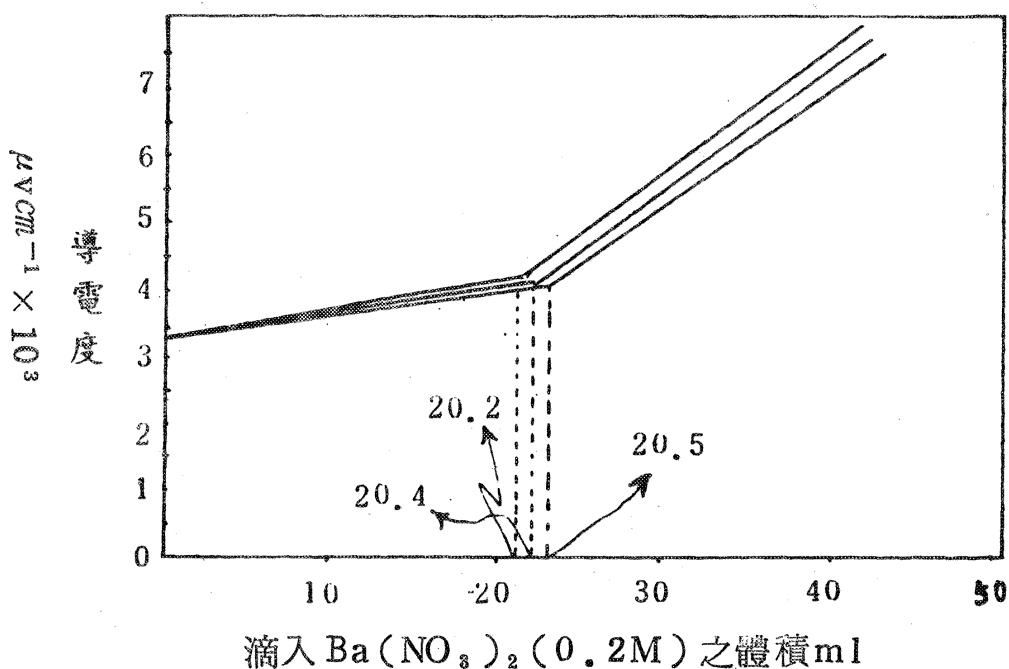
(2) 步驟：

- 取晶體 1.0000 g 溶於 250 ml H₂O 中，置於燒杯內。
- 配製 Ba(NO₃)₂ (0.2 M)
- 將 Ba(NO₃)₂ (0.2 M) 逐漸滴加入溶液中，待 1 ~ 2 分，測其電導度並記錄之。

(3) 數據處理：(註： $\nu = \frac{1}{\nu}$)

滴數	導電度 $\text{cm}^{-1} \times 10^3$			滴數	$\text{cm}^{-1} \times 10^3$		
	(1)	(2)	(3)		(1)	(2)	(3)
1	3.25	3.25	3.25	20	4.21	4.19	4.18
2	3.30	3.29	3.30	21	4.30	4.30	4.27
3	3.33	3.34	3.34	22	4.41	4.39	4.36
4	3.38	3.39	3.38	23	4.49	4.49	4.47
5	3.43	3.43	3.42	24	4.59	4.58	4.58
6	3.49	3.49	3.47	25	4.70	4.69	4.67
7	3.56	3.55	3.53	26	4.78	4.77	4.76
8	3.60	3.60	3.58	27	4.88	4.87	4.85
9	3.66	3.64	3.63	28	4.97	4.97	4.94
10	3.69	3.68	3.68	29	4.08	5.06	5.03
11	3.75	3.73	3.72	30	5.17	5.15	5.13
12	3.80	3.79	3.77	31	5.27	5.26	5.24
13	3.86	3.85	3.83	32	5.38	5.36	5.34
14	3.89	3.89	3.89	33	5.47	5.47	5.43
15	3.94	3.94	3.93	34	5.58	5.57	5.54
16	4.00	4.00	3.98	35	5.68	5.68	5.65
17	4.05	4.06	4.02	36	5.78	5.78	5.75
18	4.11	4.11	4.08	37	5.86	5.87	5.83
19	4.15	4.14	4.13				

(4)圖形：



(5) 結論：

由(1)(2)(3)三次實驗數據，故知 SO_4^{2-} 平均值為 4.07 毫mole ($\frac{20.2 \times 2 + 20.4 \times 2 + 20.5 \times 2}{3}$) \Rightarrow 即 1.0000 g 之晶體含 SO_4^{2-} 4.07 毫mole。

6. H_2O 之定量分析——利用自製之紅外線產生器。

(1) 步驟：

將 1.0000 g 之晶體置於分析天平上，以紅外線照射之，將其散失之重量（即為 H_2O 及 NH_3 之重量）記錄之。

(2) 數據處理：

a. 散失氣體之情形如下：

實驗次	照射前	照射後	散失氣體重
1	1.0000g	0.655g	0.345g
2	1.0000g	0.647g	0.353g
3	1.0000g	0.657g	0.343g
4	1.0000g	0.658g	0.342g
5	1.0000g	0.649g	0.351g
6	1.0000g	0.649g	0.351g
平均	1.0000g	0.652g	0.347g

b. 由前述NH₃之定量知NH₃為16.10毫mole \Rightarrow 0.2742 g，所以H₂O重為散失氣體重 - NH₃重，其結果如下：

實 驗 次	N ₂ O重	實 驗 次	H ₂ O重
1	0.071g	4	0.068g
2	0.079g	5	0.077g
3	0.069g	6	0.077g
平 均	0.074 \Rightarrow 4.08毫mole		

(3)結論：

由(2)的 a. b. 知 1.0000 g 之晶體含有H₂O 4.08毫mole。

7. 總結論：

綜合上述 2. 3. 4. 5. 四個定量實驗知每 1.0000 g 晶體之含量為：

實 驗	分析物種	1.0000 g 晶體所含之毫mole
(一)	Cu ²⁺	3.9991
(二)	NH ₃	16.10
(四)	SO ₄ ²⁻	4.07
(五)	H ₂ O	4.08

$$\begin{aligned} \text{所以 Cu}^{+2} : \text{NH}_3 : \text{SO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{O} \\ &= 3.9991 : 16.10 : 4.07 : 4.08 \\ &= 1 : 4 : 1 : 1 \end{aligned}$$

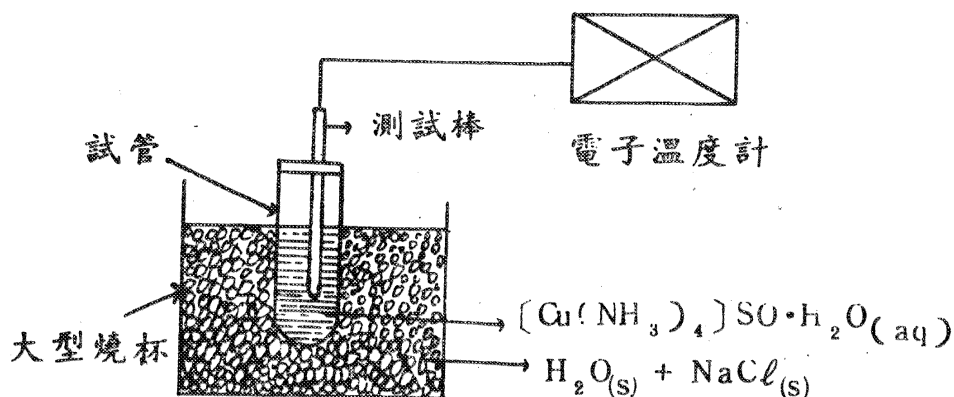
故知錯鹽之化學式為 [Cu(NH₃)₄]SO₄·H₂O

第二部分：定性分析

1 配位化學式之證明：

利用自製之電子溫度計測其凝固點下降

(1)裝置：如圖所示



(2)步驟：

- 取 50g 之 $\text{H}_2\text{O}(\ell)$ 置入試管中。
- 將電子溫度計之測試棒插入試管中。
- 於燒杯中放入冰，並加入適當之 $\text{NaCl}(\text{s})$ 使溫度維持在 -5°C 。
- 在試管中加入 0.3683g 之 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 使形成 0.03m 之溶液，再置入大型燒杯中央。
- 當試管中之溶液稍微有結冰之跡象，即記錄其溫度，後取出試管使其溫度回昇至室溫，再置入測其凝固點，如此反覆操作。
- 取 0.2490g 之 KI 及 0.2393g 之 $\text{CuSO}_4(\text{s})$ 作同樣處理，測定其水溶液之凝固點。

(3)數據處理：

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ ， $\text{KI}(\text{aq})$ ，
 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 之凝固點如下：

實驗次數	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$	$\text{KI}(\text{aq})$	$\text{CuSO}_4(\text{aq})$
1	0.17	0.17	0.17
2	0.17	0.18	0.18
3	0.16	0.17	0.17
4	0.17	0.17	0.17
5	0.17	0.16	0.17
6	0.15	0.17	0.16
7	0.17	0.16	0.16
8	0.16	0.18	0.18
9	0.17	0.17	0.15
10	0.17	0.17	0.17
11	0.18	0.17	0.17
12	0.16	0.17	0.16
平均	0.17 ⁺	0.17 ⁺	0.17 ⁺

(4)結論：

由凝固點下降度數相同，故知 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 KI 、 CuSO_4 三者在水中解離之離子數目相同，而又已知：



故亦知 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 在水中亦產生兩個離子，由此可見化學式中的 4 個 NH_3 分子，並非游離狀態，而為 Cu^{2+} 之配位體，故其配位化學式可確定為 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

2. 解離反應——利用自製之電導計測試。

(1)原理：

利用自製之電導計測試 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，KI， CuSO_4 之電導來推測 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 之解離。

(2) 步驟：

a. 配製各 0.01M，0.03M，0.05M 之 $\text{KI}_{(aq)}$ ， $\text{CuSO}_{4(aq)}$ ，及 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_{(aq)}$ 。

b. 測量其電導度。

(3) 數據處理：

a. $\text{KI}_{(aq)}$ (單位： $\text{cm}^{-1} \times 10^3$)

次導電度 數 \ 濃度	0.01M	0.03M	0.05M
1	1.9	5.2	8.8
2	2.1	5.4	8.8
3	2.0	5.3	8.9
4	2.0	5.2	8.7
平均	2.0	5.3	8.8

b. $\text{CuSO}_{4(aq)}$ (單位： $\text{cm}^{-1} \times 10^3$)

次導電度 數 \ 濃度	0.01M	0.03M	0.05 M
1	1.9	5.2	8.8
2	2.0	5.2	8.8
3	2.0	5.3	8.6
4	2.0	5.4	8.6
平均	2.0	5.3	8.7

c. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (單位： $\text{cm}^{-1} \times 10^3$)

次 數 \ 濃 度 導 電 度	0.01M	0.03M	0.05M
1	1.8	4.9	8.6
2	1.9	5.3	8.5
3	1.8	5.1	8.5
4	1.8	5.1	8.4
平 均	1.8	5.1	8.5

(4)結論：

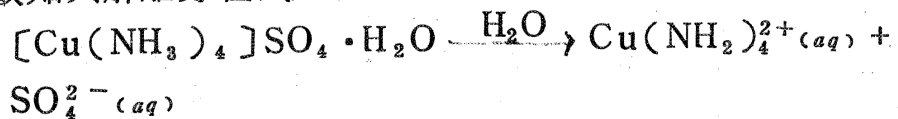
a. 由測定 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$, $\text{KI}(\text{aq})$, $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 導電度之實驗值甚為接近在實驗誤差範圍內，可推知兩者在同濃度解離之離子數目必相等。

b. 由 $\text{KI} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{K}^+ + \text{I}^-$



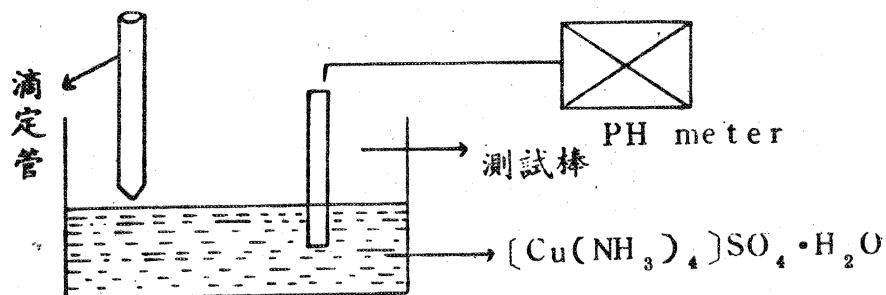
故知 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 亦可解離出二個離子， $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ 及 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

c. 故知其解離方程式為：



3. 酸鹼度——利用 PH 測量儀 (PH meter)

(1)裝置：如圖所示：



(2) 步驟：

a. 配製 H_2SO_4 (0.05M) 120ml 分三次裝入滴定管。

b. 取 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 2.4550g 溶於 $\text{H}_2\text{O}(\ell)$ 至總體積為 1000ml。

c. 調整滴定管使 1ml = 20 滴

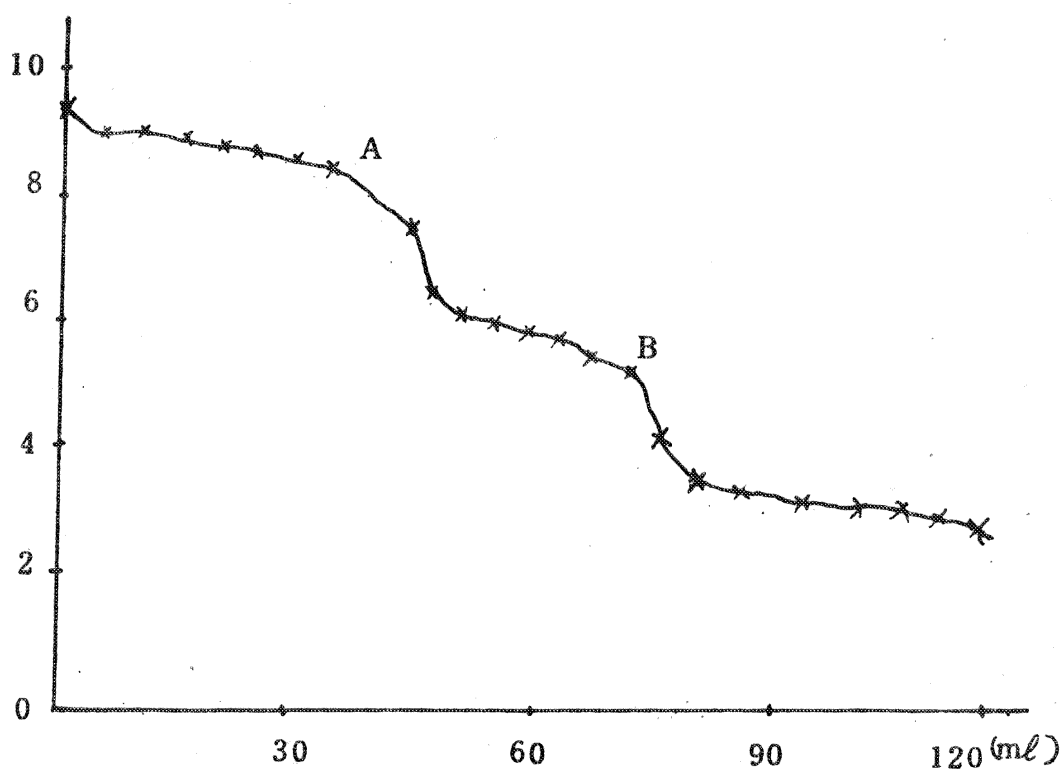
d. 每隔 1 滴記錄其 PH 值。

(3) 數據處理：(因數據極為繁雜，故僅整理部分列表於下：)

ml 數	(1)	(2)	(3)	平均
0	9.2	9.2	9.3	9.2
5	9.0	9.0	9.1	9.0
10	8.8	8.9	8.9	8.9
15	8.7	8.7	8.7	8.7
20	8.5	8.6	8.6	8.6
25	8.4	8.4	8.5	8.4
30	8.2	8.2	8.3	8.2
35	8.0	8.1	8.1	8.1
40	7.3	7.2	7.2	7.2
45	6.2	6.3	6.2	6.2
50	6.0	6.1	6.0	6.0
55	5.8	5.9	5.9	5.9
60	5.7	5.7	5.7	5.7
65	5.5	5.5	5.5	5.5
70	5.2	5.4	5.3	5.3
75	5.0	5.2	5.0	5.1
80	3.9	4.1	4.0	4.0
85	3.2	3.3	3.2	3.2
90	3.1	3.2	3.1	3.1
95	3.0	3.1	3.1	3.1
100	2.9	3.0	3.0	3.0

105	2.9	2.9	2.9	2.9
110	2.8	2.8	2.7	2.8
115	2.7	2.7	2.6	2.7
120	2.7	2.7	2.5	2.5

(4)圖形：



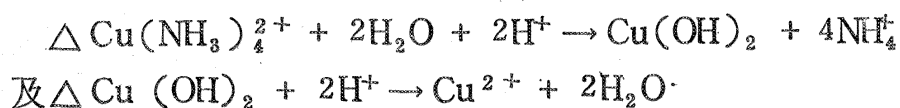
$\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) (0.05 \text{ M})$

(5)分析：

- 由此圖形可得兩個突降處 A, B, 當開始加入 $\text{H}_2\text{SO}_4 (0.05 \text{ M})$ 時, 溶液顏色由深藍轉變為淺藍色膠狀之沈澱, 知為 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 。
- 當超過 A 處繼續滴定时, 溶液之淺藍色膠狀沈澱逐漸復溶, 並變為藍綠色, 由定性分析知為 Cu^{2+} , 而達到 B 處時, $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 全部復溶。

(6)結論：

由上可知 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 加 H^+ 之反應為：



附記：本實驗儀器方面，感謝高雄工職之大力協助，謹此致謝。

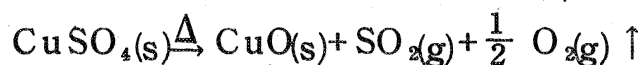
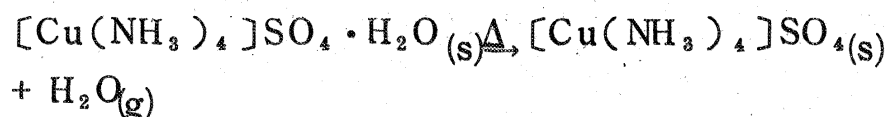
4. 熱分解：

(1) 晶體受熱之定性觀察：

- 用煤氣燈直接加熱至高溫，將少許晶體置於試管中加熱。
- 首先產生有特殊臭味之氣體，並使潮濕廣用試紙變為藍色，故知其為 $\text{NH}_3(g)$ 。
- 繼 NH_3 後有白霧狀氣體產生，具強烈刺激性，並能使潮濕廣用試紙呈紅色，故知其為 SO_3 或 SO_2 ($\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$)。
- 試管底部有類似沸騰現象，並且晶體顏色由深藍而黃而紅（或黑），故知有銅之氧化物 Cu_2O 及 CuO 產生。
- 加熱後器壁有液凝結，經氯化亞鈷試紙檢驗，知其為 H_2O 。

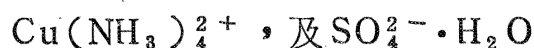
(2) 結論：

綜合上述定性觀察知其熱分解之反應如下：

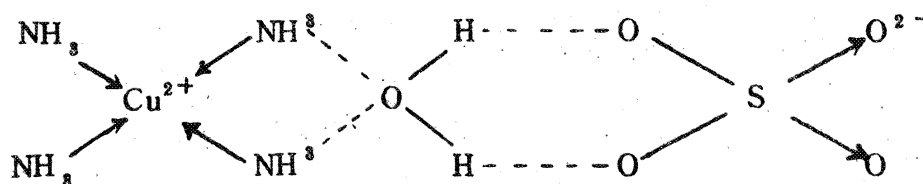
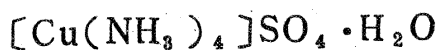
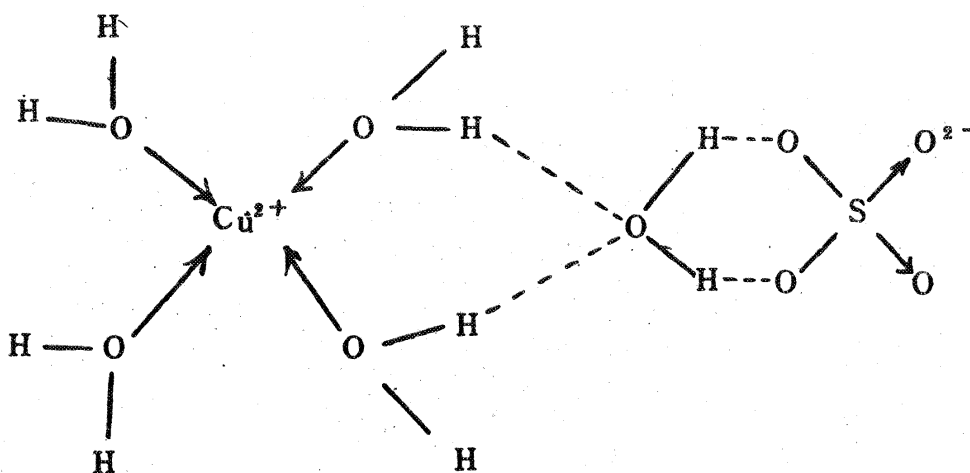
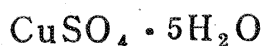


5. 總結論：

- 由 A、B 之凝固點測定及導電度比較實驗推知，一水四氨硫酸銅為錯鹽，而其配位化學式為： $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 為深藍紫色晶體，其顏色與 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 之藍綠色不同，由實驗證實該晶體構成單元離子物種為：



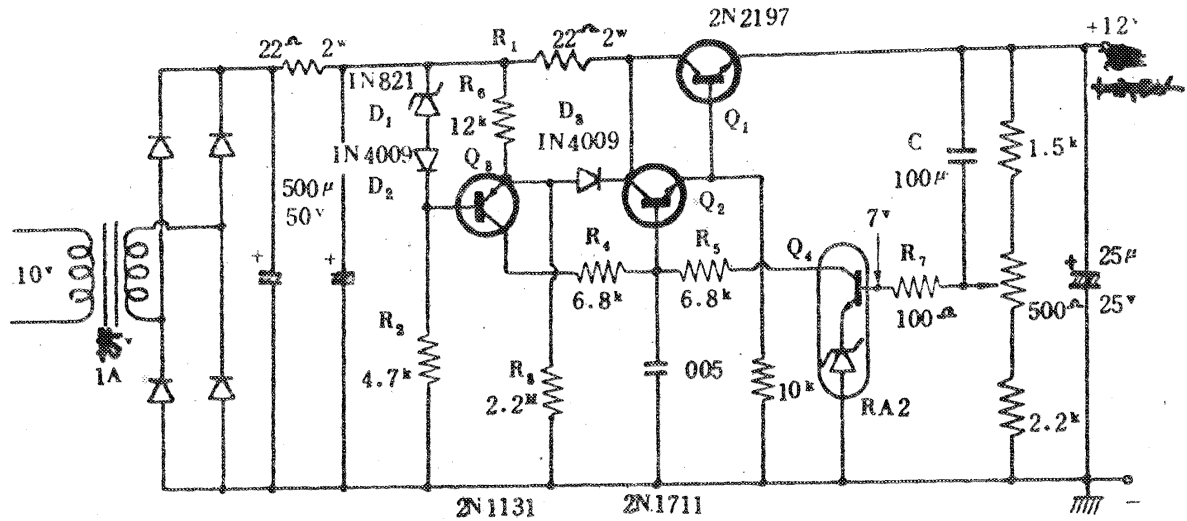
(3)當 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 與 NH_3 合成 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 知晶體中 4 個 H_2O 被 4 個 NH_3 取代，而在 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 晶體中知 4 個 H_2O 與 Cu^{2+} 相連合，第五個 H_2O 與 SO_4^{2-} 中兩個氧原子相鄰，藉 H-bond 結合，且該 H_2O 分子同時與形成配位體之兩個 H_2O 分子相鄰，其晶體結構可略示如下：



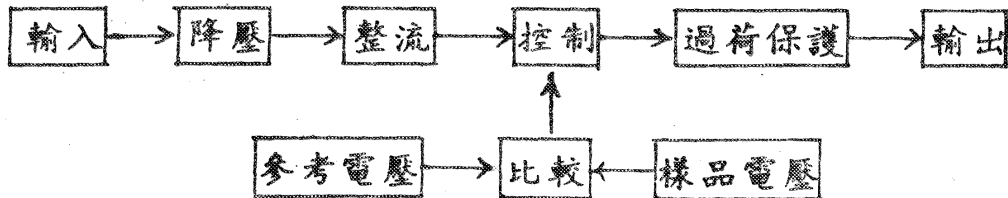
第三部分：分析儀器之自製

1. 穩壓限流 D、C 電流供給器。

(1)線路圖：



(2)結構方塊圖：



(3)特性：

- a. 輸入電壓：110V, AC, 60HZ
 輸出電壓：2.5 V ~ 12 V D.C
 輸出電流 0 ~ 1.2 A
- b. 電源電壓變動 $\pm 10\%$ 時，輸出電壓只變動 $\pm 0.001\%$ 至 0.0001% 。
- c. $\Delta I_o = 0.1 \text{ A}$ 時 $\Delta V_o = 0.01\%$ ，即輸出電阻為 0.012Ω 。
- d. 溫度係數： $\pm 0.002\%$ 。

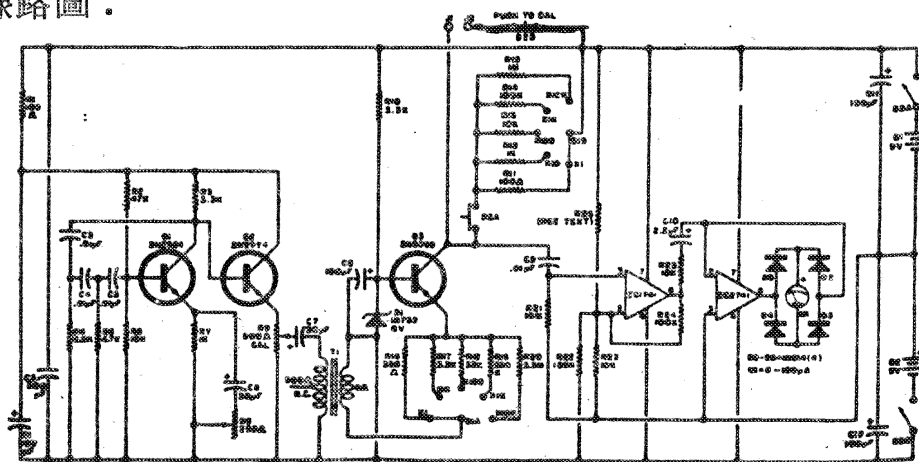
- e. 本機輸出幾近於平滑直流，紋波極小，且輸出電壓，電流穩定，可做嚴密之化學定量分析。
- f. 對負載變化的抑制度極佳，故輸出電壓電流不易因電解時濃度的改變而改變。

(4)分析：

一般市售之電源供給器之電流，電壓極不穩定且濾波不完全，無輸出保護裝置，故極易損毀且不適於做精密之分析實驗用，針對此點，我自己改良製作了此部穩壓限流DC電源供給器，其特性參數極佳，精密度及穩定性均非市售之電源供給器所能比擬。

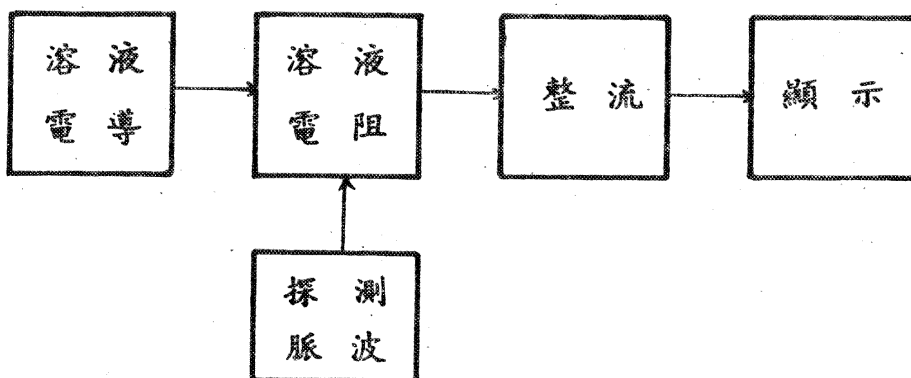
2. 電子溫度計兼電導計：

(1)線路圖：

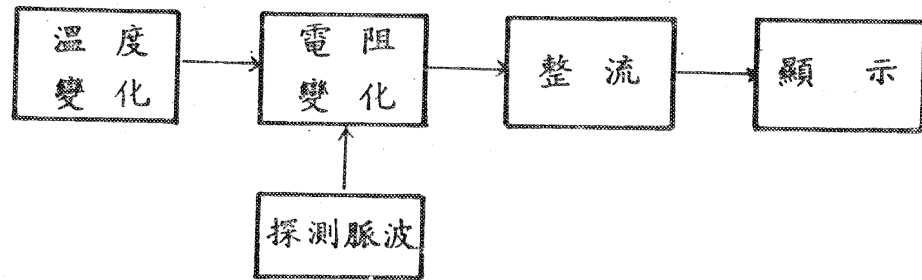


(2)原理：

a. 電導計：



b. 電子溫度計：



(3)特性：

- a. 電導測試範圍： $0 \sim 100 \Omega$
(以電阻表示) $0 \sim 1 \text{ K}\Omega$
 $0 \sim 10 \text{ K}\Omega$
 $0 \sim 100 \text{ K}\Omega$
 $0 \sim 1 \text{ M}\Omega$
- b. 溫度測試範圍： $-5^\circ\text{C} \sim 5^\circ\text{C}$
 $0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$
- c. 本儀器使用熱電阻器，故對溫度測量之精密度極高，可達 0.01°C ，極適合做凝固點下降之實驗。
- d. 電導計部分使用 1000 Hz 之 AC 探測脈波，可避免因使用 DC，探測電流，引致電解液電解之弊端。
- e. 電導計之測試範圍極廣，可由 0Ω 至 $1 \text{ M}\Omega$ ($10^6 \Omega$)，適合於任何溶液電導之測量。

(4)分析：

市售之電導計及電子溫度計價格極為昂貴各約數萬元之鉅，且市售之電導計因使用 DC 探測電流，故極易引起溶液電解導致誤差，而市售電子溫度計之測試範圍極有限，很難至 0°C ，使凝固點下降度數無法測知，針對此弊端，我乃改良製作了此儀器，經使用結果，發現效果極佳，然製作費用僅及市售成品之十分之一（約二千元），其特性及測試範圍見(3)。

3. 紅外線產生器：

Number 9, September 1965 / 469)。

5. Coordination Chemistry J.V. Ouagbiano L.M
Vallarino 。

6. 基本無機化學(周良翰先生譯)徐氏基金會出版。

7. 晶體管穩壓電源電路(馮永森先生譯)華聯出版社。

8. 電子儀表原理與製作(葉振明先生編著)全華科技圖書公司。

評語：方法正確，參考資料與實驗數值豐富，自行設計之測量，儀器
為其優點，值得鼓勵。