

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

高中組

化學科

科別：化學科

組別：高中組

作品名稱：明礬抑制鐵生鏽原因之探討

關鍵詞：腐蝕、生鏽、明礬

編號：040209

學校名稱：

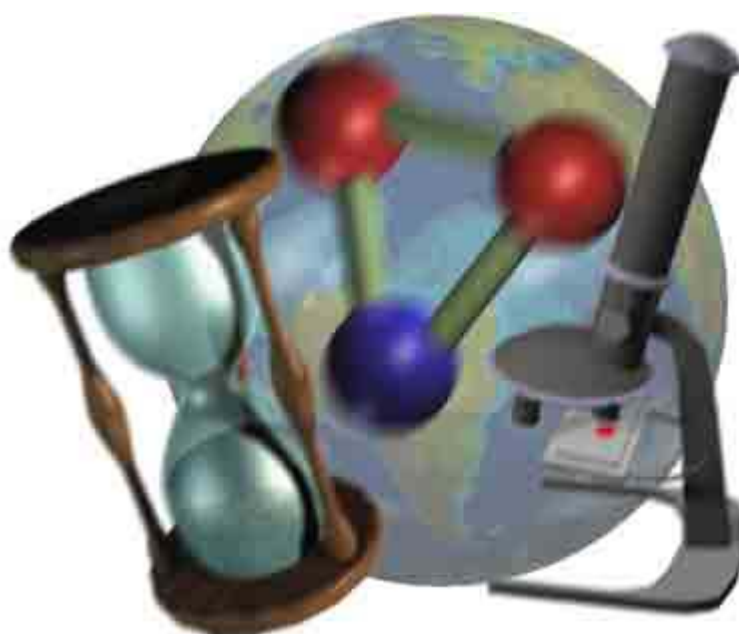
高雄市立高雄高級中學

作者姓名：

賴泓吉、陳奕廷、尤虹叡、毛士軒

指導老師：

柳信榮、郭廷洋



摘要

我們在無意中的觀察發現明礬能抑制鐵生鏽，於是我們更進一步去觀察鐵片在相同濃度不同鹽類溶液中的生鏽的情形，接著觀察鐵片在不同濃度不同鹽類溶液中生鏽的狀況，發現含鋁離子溶液不易生鏽。我們觀察明礬溶液中鐵生鏽的情形發現，明礬在特定低濃度（ $0.005\text{M}\sim 0.0005\text{M}$ ）時有較好的防鏽蝕效果，於是我們進一步探究其原因。經由鋁離子在會使鐵生鏽的食鹽溶液中對鐵生鏽的防護情形，利用鋁試劑、X 光晶體繞射以及紅外線光譜儀檢驗鐵上的薄膜物質，確定其為氫氧化鋁，再用解剖顯微鏡觀察鐵上薄膜附著的情形知，明礬水溶液確實有抑制鐵生鏽的效果，其機制為鐵腐蝕產生二價亞鐵離子溶出後，在鐵的表面會形成緻密的氫氧化鋁保護膜，而且鋁離子濃度在 $0.005\text{M}\sim 0.0005\text{M}$ 時效果最卓越。

壹、研究動機

鐵鏽是一個極為嚴重的問題，英國為產鐵的大國，其每年產鋼（2000 萬噸）的 $\frac{1}{8}$ 都因鐵鏽而損失，我國因屬於海島型氣候，損失也相當可觀，約每年可造成千億以上的經濟損失。我們在偶然的機會中發現明礬溶液竟能防止鐵片不生鏽，於是做了一系列的觀察，發現含有鋁離子的溶液大多也相同的情形，引起我們探討的興趣。

貳、文獻探討

一、腐蝕之定義：

腐蝕(corrosion)金屬與周圍環境起化學性(chemical)或電化學性反應(electrochemical reaction)而破壞性的侵蝕。

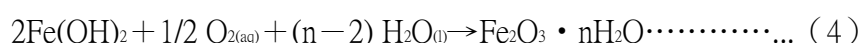
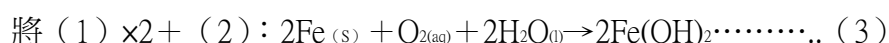
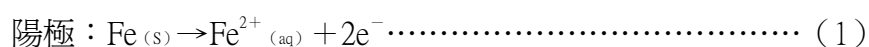
二、生鏽之定義：

生鏽(rusting)僅用來表示鐵或鐵合金之腐蝕，並且其腐蝕生成物大部分是由水合氧化鐵(hydrous ferric oxides)所組成。

三、鐵生鏽：

1. 鐵鏽是水合氧化鐵(III) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，發生鐵鏽需要（1）水（2）氧氣 兩

個條件。鐵生鏽是電化學過程，鐵不可能是純鐵，表面會有些雜質或活性較小的金屬會吸引電子。鐵表面一處電子移至另一處成為陽性，得到電子處為陰性，就如同一小型的賈法尼電池(galvanic cell)。反應機制如下：



2. $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 是紅褐色鐵銹的主要成分，由鐵生鏽反應機制可以得知酸和鹽增加水的導電性，因而加速鐵鏽蝕過程。

四、防止鐵生鏽的方法：

1. 可用保護膜來隔絕氧氣和水。
2. 大件之物件可塗油漆或油脂。
3. 鍍鋅和錫，有些汽車零件鍍上錫，合金化也是防止鐵生鏽的一種方法。
4. 若以一塊氧化電位高於鐵的金屬與鐵連接在一起，始鐵成為陰極就不會被氧化，就能保持完整。此一技術稱為犧牲性保護法。鐵船在海中或鐵管在地下會腐蝕，如果利用氧化電位比鐵高的金屬如鋁、鎂、鋅，再以導線與它們相連接，則可以達到防蝕的目的，此乃因鎂等金屬在環境中構成新腐蝕電池的陽極而被腐蝕，相對的鐵則構成陰極而被保護。

五、明礬水溶液：

明礬 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 亦稱為鉀鋁礬，簡稱明礬，為一種複鹽，溶於水可產生單鹽離子，所產生之離子相當於硫酸鉀和硫酸鋁溶在水中所產生的離子。



因為 $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 起於水解反應，使溶液呈酸性



參、研究目的

探討明礬為何能防止鐵生鏽的原因

肆、研究主要設備及器材

一、紫外光-可見光光譜儀(Hitachi U-3501)

二、pH 計

三、電磁加熱攪拌器(PMC)

四、電子天秤(AND HF-400)

伍、主要藥品及試劑

一、明礬（石津製藥株式會社 試藥級）

二、甲醛（島久藥品株式會社 試藥級）

三、鹽酸 12M（NIHON SHIYAKU INDUSTRIES 日本試藥工業株式會社 試藥級）

四、鋁試劑（Panreac 特級試藥）

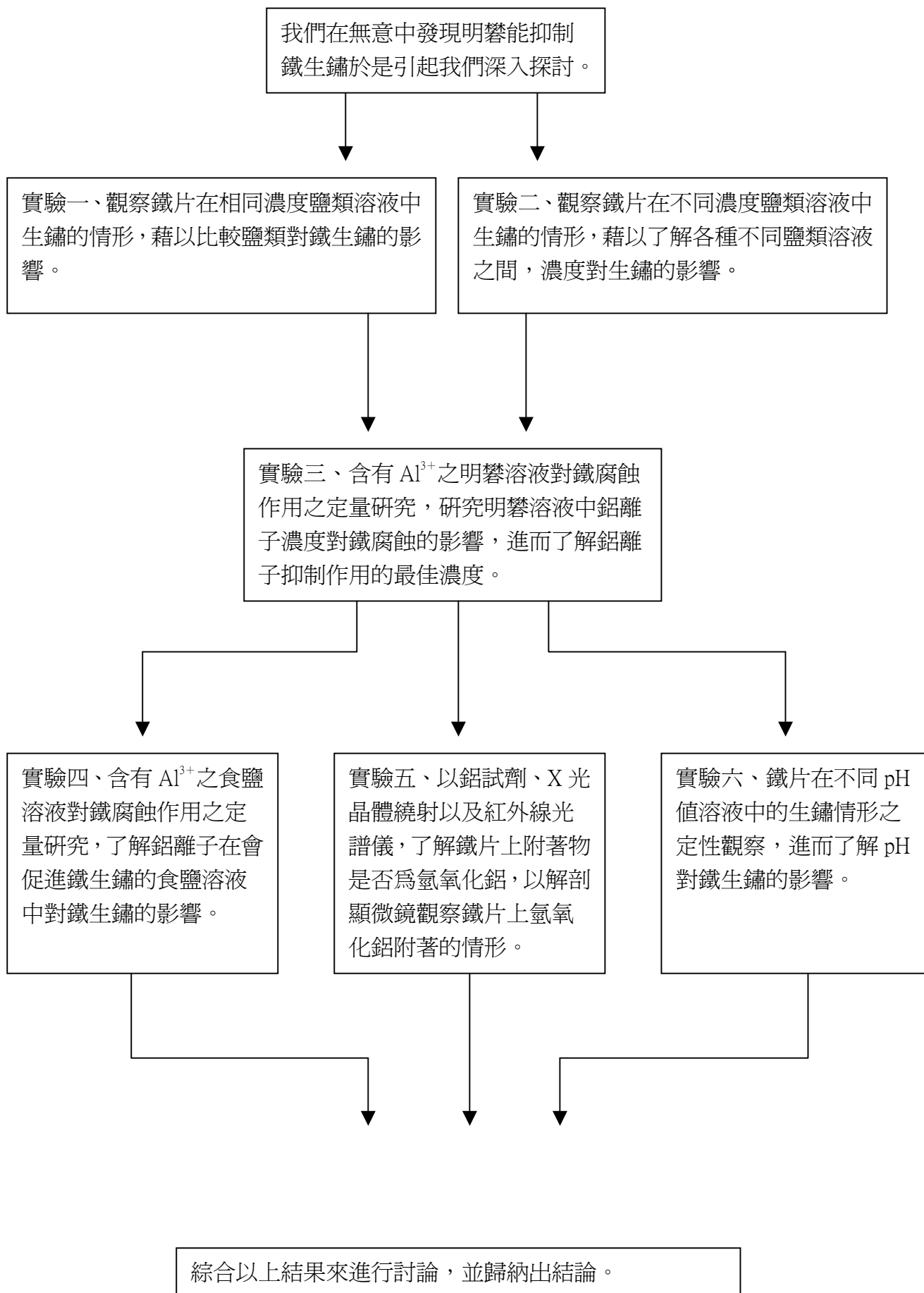
五、氯化鈉（NIHON SHIYAKU INDUSTRIES 日本試藥工業株式會社 試藥級）

六、氯化鋁（NIHON SHIYAKU INDUSTRIES 日本試藥工業株式會社 試藥級）

七、鐵片(1 cm×6 cm)

八、丙酮（NIHON SHIYAKU INDUSTRIES 日本試藥工業株式會社 試藥級）

陸、研究實驗流程



柒、研究過程、結果與討論

一、實驗一：鐵片在相同濃度鹽類溶液中生鏽之定性觀察

※實驗目的：觀察鐵片在相同濃度的鹽類溶液中的生鏽情形

※實驗器材：試管、試管架、硫酸鈉、硫酸銨、硫酸鎂、硫酸鋅、氯化鈣、氯化鉀、氯化鎂、硝酸鉀、硝酸鈉、硝酸鋁、鋁鉍礬、鐵鉍礬、明礬、鹽基式醋酸鋁等鹽類、黃血鹽、赤血鹽、pH 計、電磁加熱攪拌器、量瓶、電子天秤、鐵片(1 cm×6 cm)

※實驗步驟：

- 1.配製 0.1M 的硫酸鈉、硫酸銨、硫酸鎂、硫酸鋅、氯化鈣、氯化鉀、氯化鎂、硝酸鉀、硝酸鈉、硝酸鋁、鋁鉍礬、鐵鉍礬、明礬、鹽基式醋酸鋁等溶液，並測其 pH 值。
- 2.將鐵片（經砂紙磨光→鹽酸洗鏽→氫氧化鈉去油漬→以蒸餾水洗淨→丙酮除水→用衛生紙擦乾）置入各溶液中靜置。
- 3.連續觀察三天，每天測 pH 值並記錄生鏽的情況。
- 4.第三日每支試管取出 1ml 溶液，加入 0.1M 赤血鹽五滴（檢驗亞鐵離子）及 0.1M 黃血鹽五滴（檢驗鐵離子）

※實驗結果：

表 1-1（0.1M 鹽類之 pH 值）

溶液	硫酸鈉	硫酸銨	硫酸鎂	硫酸鋅	氯化鈣	氯化鉀	硝酸鉀
原 pH 值	6.947	5.687	6.530	5.858	6.619	7.130	6.890
溶液	硝酸鈉	硝酸鋁	鋁鉍礬	鐵鉍礬	明礬	鹽基式醋酸鋁	氯化鎂
原 pH 值	6.869	2.390	2.771	1.720	3.074	2.490	6.560

表 1-2、鐵片在 0.1M 鹽類溶液第一日觀察紀錄

觀察現象 溶 液	pH 值	鐵片觀察	溶液觀察	沉澱觀察
硫酸鈉	6.084	失去金屬光澤	澄清	些微沉澱
硫酸銨	5.553	黃色	深黃色	紅棕色鐵銹沉澱
硫酸鎂	5.299	略為生鏽	澄清	鏽黃色沉澱
硫酸鋅	4.050	失去金屬光澤	澄清	極微量的鏽黃色沉澱
氯化鈣	4.090	失去金屬光澤	澄清	極微量的鏽黃色沉澱
氯化鉀	5.830	失去金屬光澤	澄清	鏽黃色沉澱
氯化鎂	5.890	失去金屬光澤	澄清	鏽黃色沉澱
硝酸鉀	5.520	失去金屬光澤	澄清	極微量的鏽黃色沉澱
硝酸鈉	5.840	失去金屬光澤	澄清	極微量的鏽黃色沉澱
硝酸鋁	2.021	鐵片呈黑色	黃色溶液	鏽黃色沉澱
鋁鉍礬	3.333	無生鏽略呈紅色	澄清	無沉澱
鐵鉍礬	2.496	失去金屬光澤	黃色溶液	鏽黃色沉澱
明礬	3.430	有物質附著在鐵片	澄清	無沉澱
鹽基式醋酸鋁	3.081	有物質附著在鐵片	澄清	無沉澱

表 1-3、鐵片在 0.1M 鹽類溶液第二日觀察紀錄

觀察現象 溶 液	pH 值	鐵片觀察	溶液觀察	沉澱觀察
硫酸鈉	6.613	略失金屬光澤	澄清	微量
硫酸銨	5.641	鐵片呈紅銅色	鏽沉澱	中量

硫酸鎂	5.615	失金屬光澤	微黃	微量
硫酸鋅	5.375	失金屬光澤	微黃	微量
氯化鈣	4.507	失金屬光澤	微黃	微量
氯化鉀	6.534	失金屬光澤	微黃	微量
氯化鎂	6.904	失金屬光澤	微黃	微量
硝酸鉀	6.683	失金屬光澤	微黃	微量
硝酸鈉	6.983	失金屬光澤	微黃	微量
硝酸鋁	3.228	鐵片呈黑色	黃色	多量的黃色沉澱物
鋁鉍礬	3.568	鐵片呈鐵灰色	澄清	無沉澱
鐵鉍礬	2.902	鐵片呈黑色	黃色	中量的黃色沉澱物
明礬	3.552	有物質附著在鐵片	澄清	無沉澱
鹽基式醋酸鋁	3.352	有鐵灰色物質附著	澄清	無沉澱

表 1-4、鐵片在 0.1M 鹽類溶液第三日觀察紀錄

觀察現象 溶 液	pH 值	鐵片觀察	溶液觀察	沉澱觀察
硫酸鈉	6.814	微黑	微黃	微量
硫酸鉍	5.933	紅銅	微黃	有中量紅棕色鐵銹
硫酸鎂	5.949	微黃	微黃	微量
硫酸鋅	6.273	微黃	微黃	微量
氯化鈣	5.136	微黃	微黃	微量
氯化鉀	6.629	微黑	微黃	微量
氯化鎂	7.113	微黑	微黃	微量

硝酸鉀	7.721	生鏽	微黃色	少量黃色沉澱
硝酸鈉	7.946	生鏽	微黃色	少量黃色沉澱
硝酸鋁	3.359	全黑	深褐色	大量沉澱
鋁鉍礬	3.612	有物質附著在鐵片上	澄清	澄清
鐵鉍礬	3.179	生鏽近 100%	黃色	少量黃褐色沉澱
明礬	3.672	有物質附著在鐵片上	澄清	澄清
鹽基式醋酸鋁	3.410	微黑有物質附著	澄清	澄清

表 1-5、鐵片在 0.1M 鹽類溶液第三日加赤血鹽和黃血鹽觀察紀錄

試液 劑	硫酸鈉	硫酸鉍	硫酸鎂	硫酸鋅	氯化鈣	氯化鉀	硝酸鉀
加赤血鹽	深藍色	深藍色	深藍色	白色沉澱	深藍色	深藍色	深藍色
加黃血鹽	綠色	綠色	綠色	白色沉澱	綠色	綠色	綠色
試液 劑	硝酸鈉	硝酸鋁	鋁鉍礬	鐵鉍礬	明礬	鹽基式醋酸鋁	氯化鎂
加赤血鹽	深藍色	深藍色	深藍色	深藍色	深藍色	深藍色	深藍色
加黃血鹽	綠色	綠色	綠色	綠色	綠色	綠色	綠色

※實驗結果討論：

1.pH 值的討論（見表 1-1 紀錄）：

（1）鐵鉍礬溶液中產生 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 、 NH_4^+ 使溶液呈酸性，硫酸鉍溶液中產生 NH_4^+ 亦使溶液呈酸性，pH 值均小於 7。

（2）硝酸鋁、鋁鉍礬、明礬、鹽基式醋酸鋁溶液中產生 $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ，使溶液呈酸性，pH 值亦較其他溶液低，呈酸性。

- (3) 硝酸鉀、氯化鉀、硫酸鈉、硝酸鈉、氯化鎂等溶液近似中性，因為 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 K^+ 、 Na^+ 在水中不起水解作用。

2. 紀錄第一日的討論（見表 1-2）

- (1) 因為第一天時間不久，只有硫酸銨、鐵銨礬、硝酸鋁因其溶液中有酸性離子的關係而有變化。
- (2) 含氯離子的溶液可能因氯離子呈中性，且陽離子 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 較近似中性的關係故鐵片在其中均失去金屬光澤，未見鐵鏽產生。
- (3) 含鋁離子的溶液可能因鋁離子的關係雖有物質附著上鐵片但溶液澄清。

3. 紀錄第二日的討論（見表 1-3）

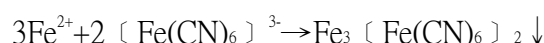
- (1) 含氯離子的溶液鐵片均失去金屬光澤，且溶液呈現微黃色。
- (2) 含鋁離子的溶液如：明礬、鋁銨礬，可能因鋁離子的關係溶液仍然澄清。
- (3) 鐵銨礬可能因 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 、 NH_4^+ 的作用而有紅棕色的鐵鏽物質生成，尤其是鐵銨礬鏽蝕更為明顯。

4. 紀錄第三日的討論（見表 1-4）

- (1) 因時間拉長僅有明礬、鋁銨礬、鹽基式醋酸鋁溶液仍然澄清，其他溶液呈黃色或深褐色有鐵鏽生成

5. 赤血鹽和黃血鹽試劑的討論（見表 1-5）：

- (1) 表 1-5 中加赤血鹽有深藍色沉澱者表示溶液中有亞鐵離子(Fe^{2+})與鐵氰錯離子 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 產生反應生成深藍色沉澱，此沉澱稱為騰氏藍 (Turnbull's blue)
- (2) 表 1-5 中加黃血鹽若亞鐵離子(Fe^{2+})存在，會生成藍綠色沉澱。
- (3) 騰氏藍 (Turnbull's blue) 生成反應：



二、實驗二 鐵片在不同濃度鹽類溶液中生鏽之定性觀察

※實驗目的：定性觀察鐵片在不同濃度鹽類溶液中的生鏽情形。

※實驗器材：試管、試管架、鐵片、硝酸鋁、鹽基式醋酸鋁、氯化鋁、硫酸鋁、明礬、鋁鉍礬、鐵鉍礬、氯化鉀、硫酸鉀、硫酸鉍、電子天秤、量瓶、電磁加熱攪拌器、鐵片(1 cm×6 cm)

※實驗步驟：

- 1.配製 1M、0.5M、0.1M、0.05M、0.01M、0.005M、0.001M 之下列各鹽的溶液：
硝酸鋁、鹽基式醋酸鋁、氯化鋁、硫酸鋁、明礬、鋁鉍礬、鐵鉍礬、氯化鉀、硫酸鉀、硫酸鉍。
- 2.將鐵片（經砂紙磨光→鹽酸洗鏽→氫氧化鈉去油漬→以蒸餾水洗淨→丙酮除水→用衛生紙擦乾）置入各溶液中靜置
- 3.連續觀察三日做紀錄並拍下照片

※實驗結果：

表 2-1、鐵片在不同濃度鹽類溶液中第一日到第三日的觀察紀錄

溶液	紀錄
鋁鉍礬	鋁鉍礬溶液中，鐵片較不易生鏽三日後只有鐵片表面略為失去金屬光澤並無明顯生鏽現象。(參見照片 1 和 2)
鐵鉍礬	鐵片在鐵鉍礬溶液中一天過後即有鏽產生，三天後鐵鏽的量不斷增加，試管底部有一些鐵鏽的沉澱。(參見照片 3 和 4)
明礬	鐵片在明礬溶液中，較不易生鏽，三日後亦無明顯生鏽現象。(參見照片 5 和 6)
硫酸鋁	鐵片在硫酸鋁溶液中，較不易生鏽三日後只有鐵片表面略為失去金屬光澤並無明顯生鏽現象。(參見照片 7 和 8)
硝酸鋁	鐵片在硝酸鋁溶液中，經過一日後溶液即變為深褐色，經過三日溶液分別變的更深，且顏色深淺與濃度有關，濃度愈大顏色愈深。(參見照片 9 和 10)
氯化鉀	鐵片在氯化鉀溶液中，試管底有黑褐色沉澱，鐵片亦呈深褐色，其生鏽情形較硫酸鉀嚴重。

	(參見照片 11 和 12)
硫酸鉀	鐵片在硫酸鉀溶液中產生生鏽，但其生鏽量較氯化鉀為少。(參見照片 13 和 14)
硫酸銨	鐵片在硫酸銨溶液中，生鏽較嚴重，鐵片上有紅棕色的物質生成。(參見照片 15 和 16)
鹽基式醋酸 鋁	鐵片在鹽基式醋酸鋁溶液中，生鏽量較少(參見照片 17 和 18)
氯化鋁	鐵片在氯化鋁溶液中，較不易生鏽，三日後只有鐵片表面略為失去金屬光澤並無明顯生鏽現象。(參見照片 19 和 20)



照片一、鋁鉸簪第一天的生鏽情形



照片二、鋁鉸簪第三天的生鏽情形



照片三、鐵鉸簪第一日的生鏽情形



照片四、鐵鉸簪第三日的生鏽情形



照片五、明礬第一日的生鏽情形



照片六、明礬第三日的生鏽情形



照片七、硫酸鋁第一日的生鏽情形



照片八、硫酸鋁第三日的生鏽情形



照片九、硝酸鋁第一日的生鏽情形



照片十、硝酸鋁第三日的生鏽情形



照片十一、氯化鉀溶液第一日的生鏽情形



照片十二、氯化鉀溶液第三日的生鏽情形



照片十三、硫酸鉀第一日的生鏽情形



照片十四、硫酸鉀第三日的生鏽情形



照片十五、硫酸銨第一日生鏽的情形



照片十六、硫酸銨第三日的生鏽情形



照片十七、鹽基式醋酸鋁第一天生鏽的情形



照片十八、鹽基式醋酸鋁第三天生鏽的情形



照片十九、氯化鋁第一日的生鏽情形



照片二十、氯化鋁第三日的生鏽情形

※實驗討論:

- 1.從我們的主題明礬中，可能抑制鐵生鏽的離子為： K^+ 、 Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 。

根據含有 K^+ 的溶液有硝酸鉀、氯化鉀都有明顯的鐵銹產生。含有 SO_4^{2-} 離子的溶液有硫酸鈉、硫酸銨、硫酸鎂、硫酸鋅都有明顯生鏽。而含有 Al^{3+} 離子的溶液有硝酸鋁、鋁鉍礬、鐵鉍礬、明礬等，都沒有鐵銹的生成。由以上可以推論， Al^{3+} 可以抑制鐵的生鏽。

- 2.鐵片在硫酸鉀、氯化鉀、硫酸銨等溶液中較易生鏽，因為此等溶液為電解質溶液，故鐵生鏽較嚴重。

- 3.硫酸銨因呈酸性，故鐵片在其中生鏽情形較為嚴重。

三、實驗三：(一) Fe^{3+} 之光譜分析

(二) 含有 Al^{3+} 之明礬溶液對鐵腐蝕作用之定量研究



→此圖為明礬溶液置入鐵片後的情形

※實驗目的：(一) 找出二價亞鐵離子和三價鐵離子的 UV 光譜範圍

(二) 研究明礬溶液中鋁離子濃度對鐵腐蝕的影響

※實驗器材：(一) 硫酸鐵、硫酸亞鐵、紫外光-可見光光譜儀 (UV-VIS3501)

(二) 試管、試管架、明礬、甲醛、鐵片(1 cm×6 cm)、鹽酸 (12M)、
紫外光-可見光光譜儀 (UV-VIS3501)

※實驗步驟：

Part (一)

1. 配製 0.0001M 的硫酸鐵、硫酸亞鐵，在以紫外光-可見光光譜儀測其吸收光譜。

Part (二)

1. 取飽和、0.1M、0.05M、0.01M、0.005M、0.001M、0.0005M 七種不同濃度的明礬溶液。

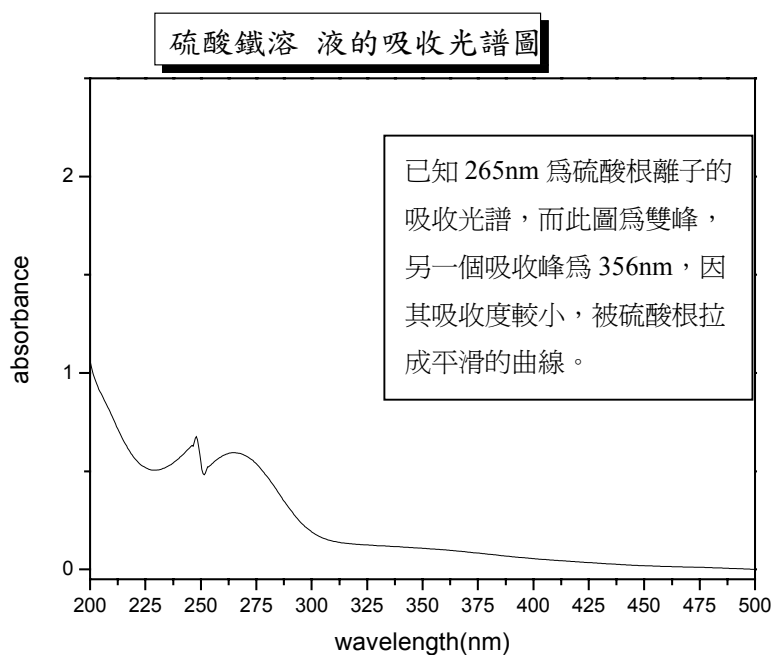
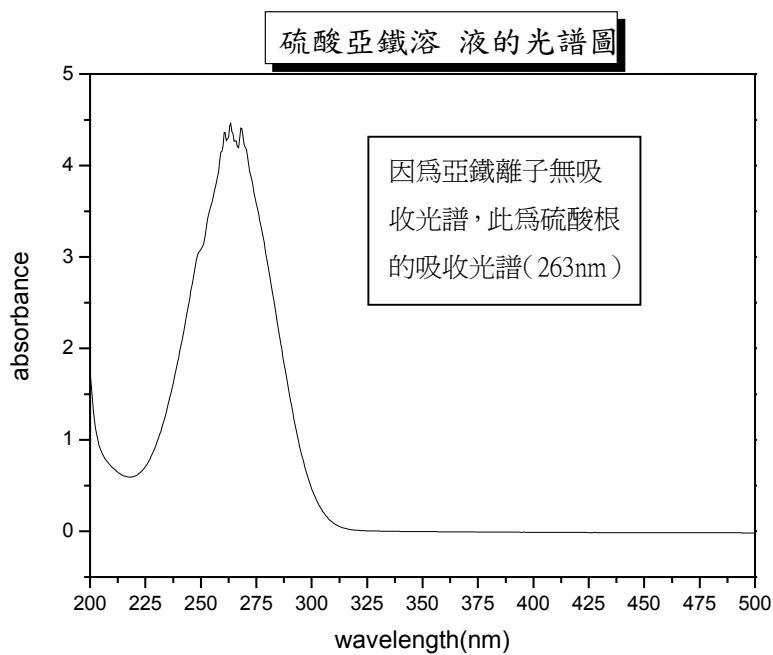
2. 將鐵片 (經砂紙磨光→鹽酸洗鏽→氫氧化鈉去油漬→以蒸餾水洗淨→丙酮除水→用衛生紙擦乾) 置入各溶液中靜置。

3. 每天拿出一組，將鐵片取出加入甲醛和鹽酸 1：1 相混合之溶液進行酸洗。

4.將酸洗後的溶液加入原溶液中，將此溶液用紫外光-可見光光譜儀測其吸收光譜。

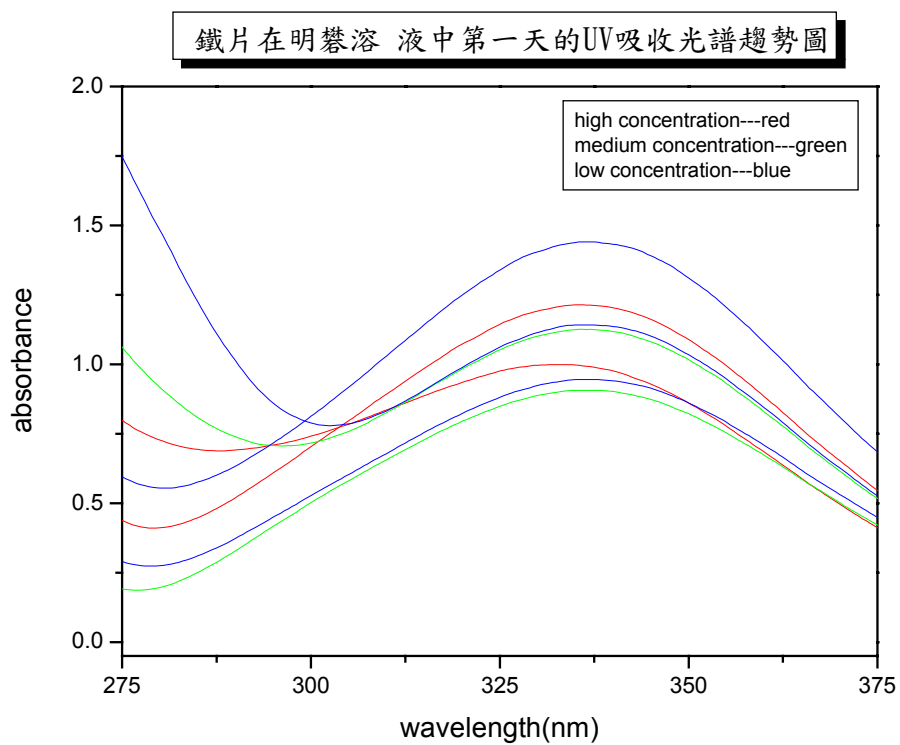
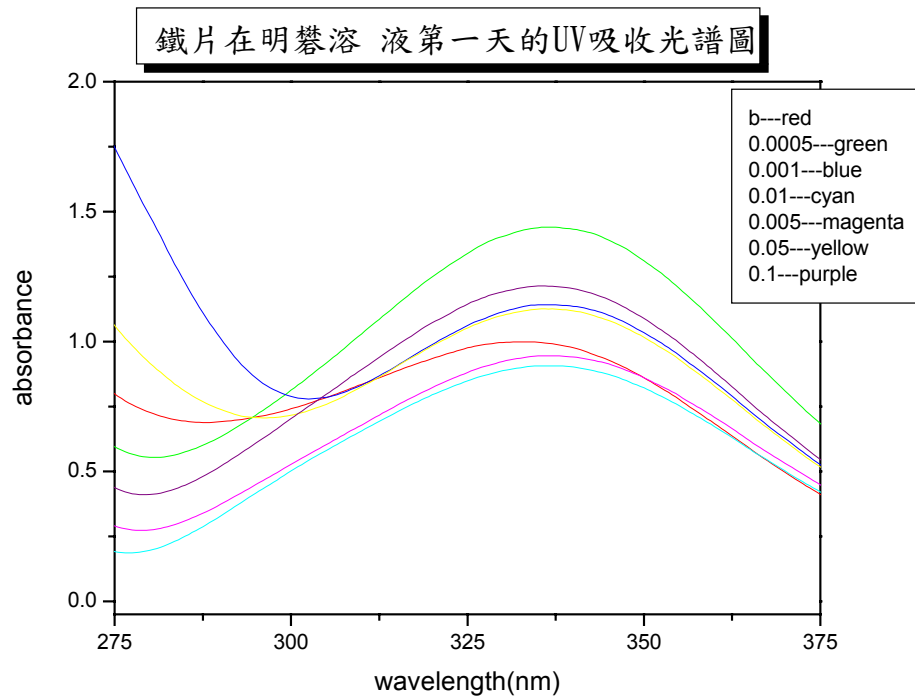
※實驗結果：

Part (一)

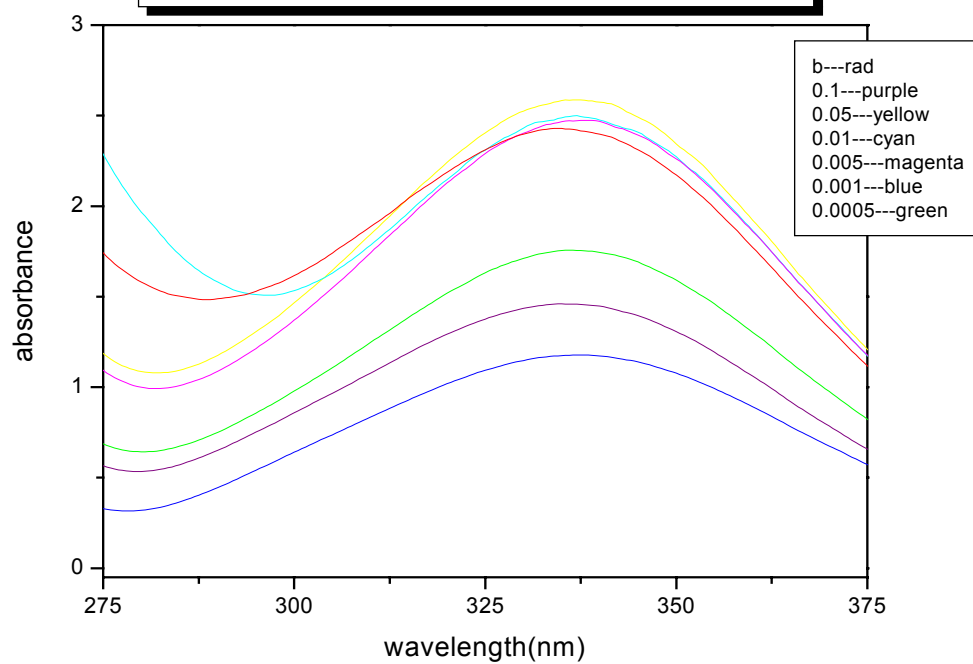


【由此即可推得，356nm 即為鐵離子的吸收光譜】

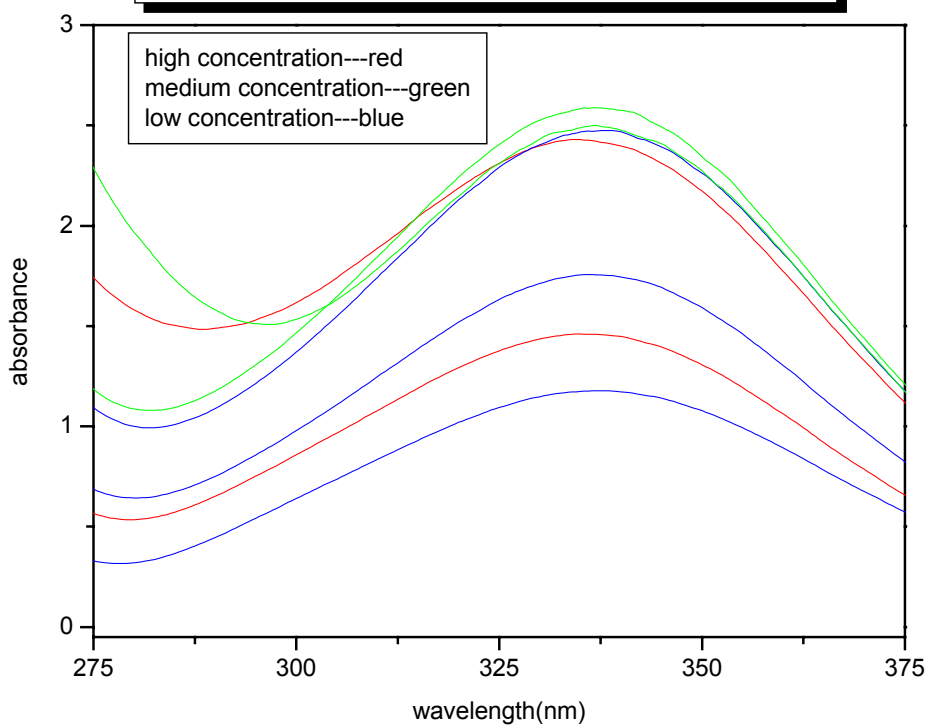
Part (二)

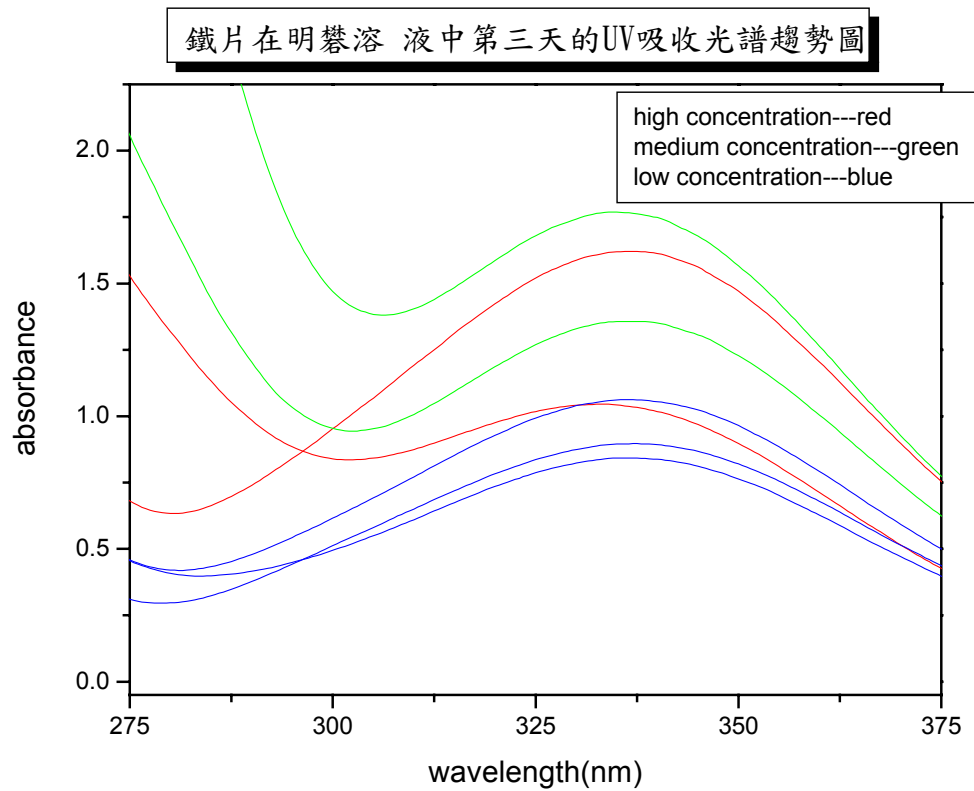
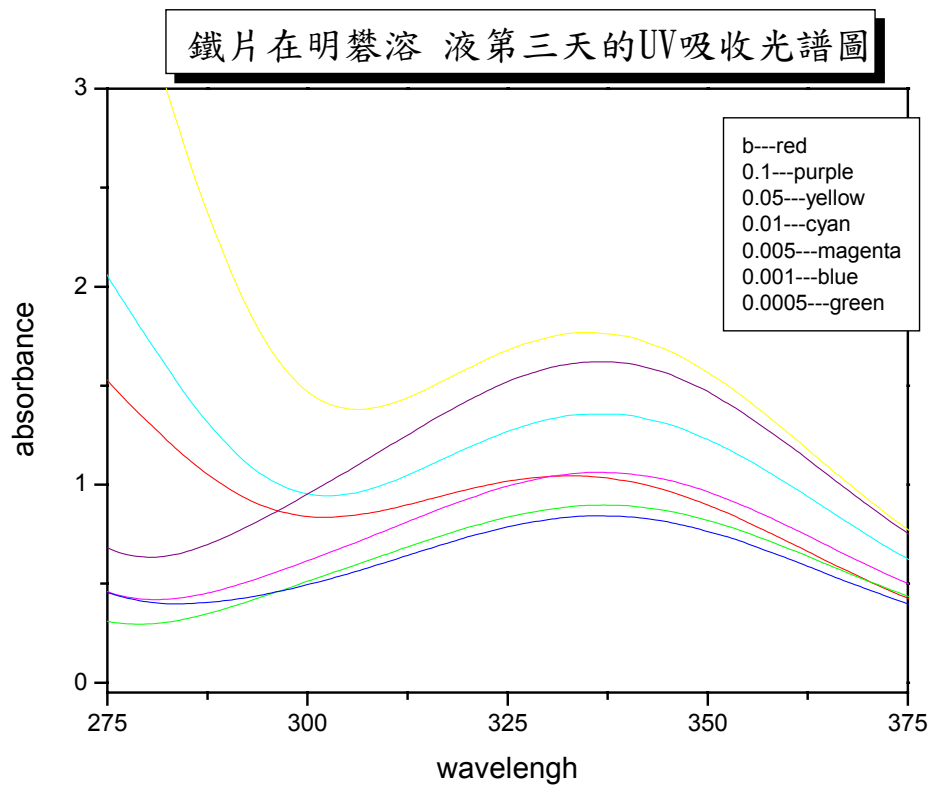


鐵片在明礬溶 液第二天的UV吸收光譜圖

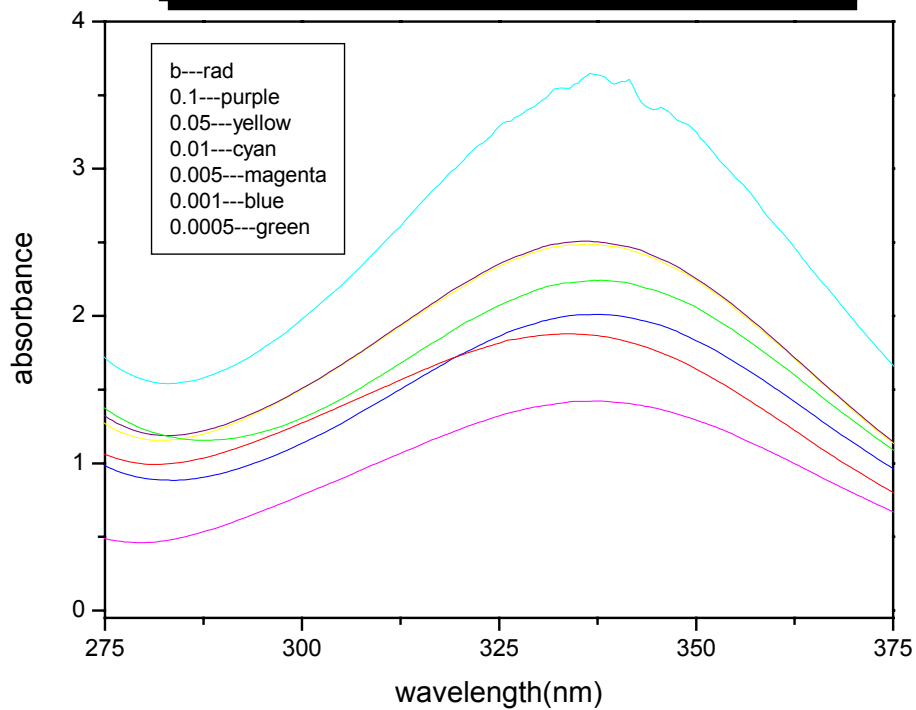


鐵片在明礬溶 液中第二天的UV吸收光譜趨勢圖

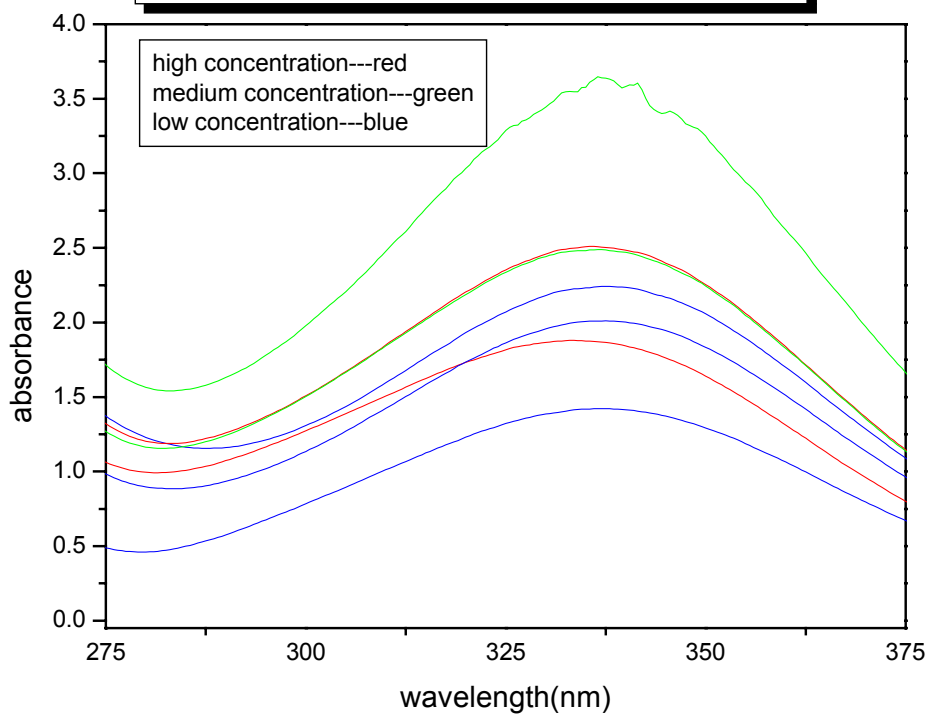


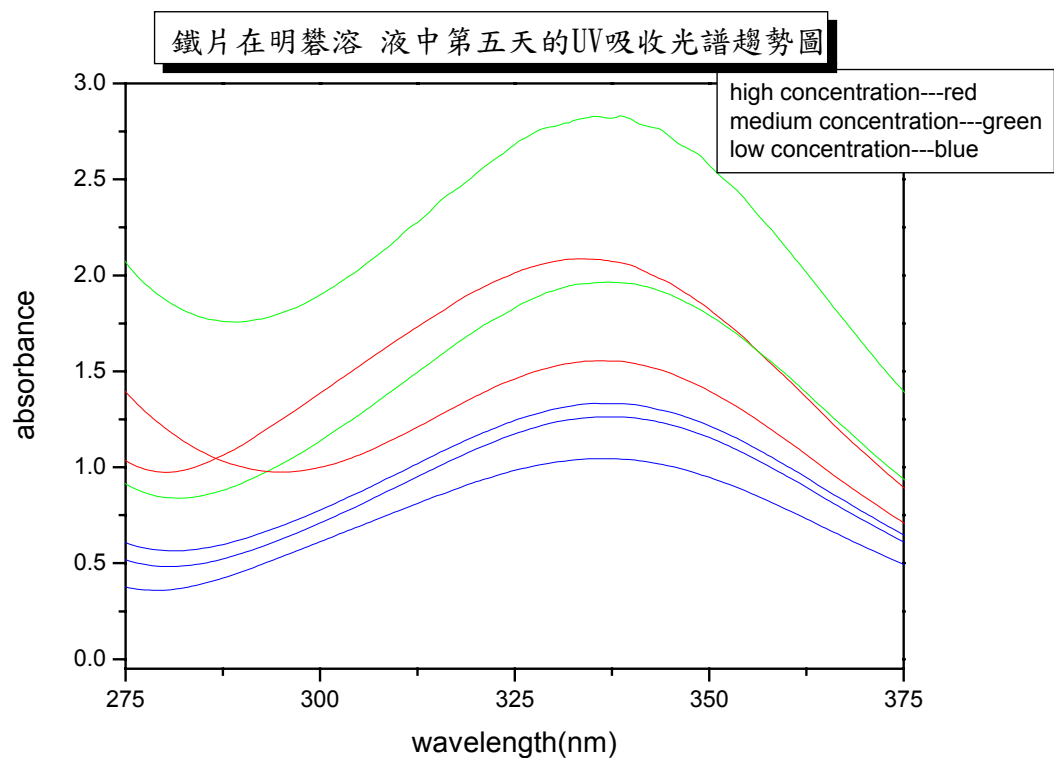
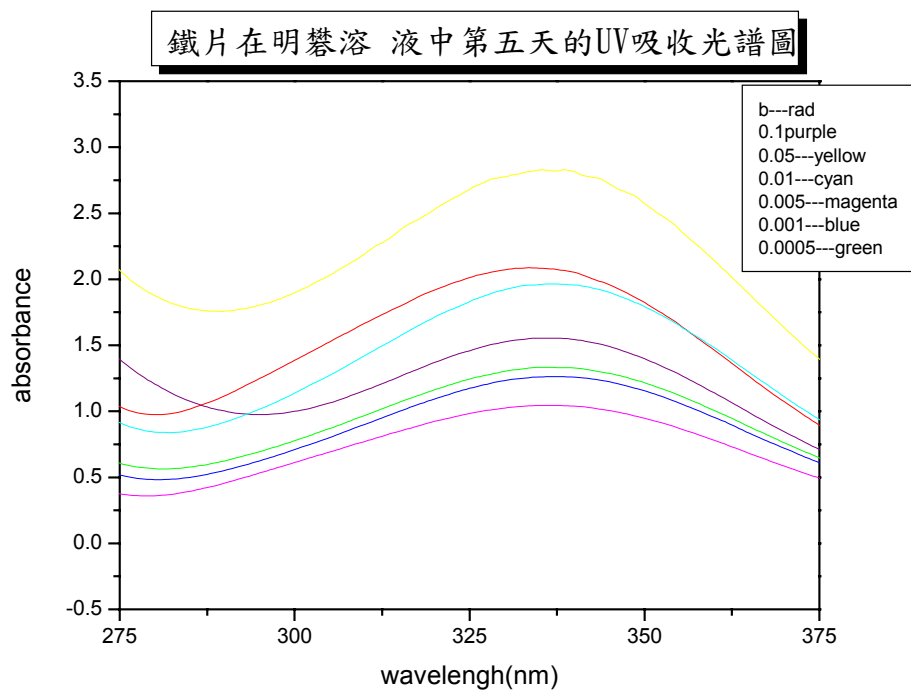


鐵片在明礬溶 液第四天的UV吸收光譜圖



鐵片在明礬溶 液第四天的UV吸收光譜趨勢圖





※實驗討論：

Part (一)

1.由實驗結果中發現鐵離子的吸收光譜為 356nm。

Part (二)

我們將濃度介於飽和~0.1M 之間的範圍定為高濃度，0.05M~0.01M 定為中濃度，0.005M~0.0005M 定為低濃度。

- 1.明礬中高濃度在第一天時生鏽量明顯少於低濃度，根據理論鋁離子溶入水中應為酸性，中高濃度鋁離子含量多應為酸性所以應該生鏽較多，但實驗結果第一天正好相反。
- 2.第二天時低濃度的 UV 吸收光譜圖曲線逐漸下降而中高濃度逐漸上升，好像低濃度受到保護一般，反觀中高濃度 UV 吸收光譜圖的曲線逐漸上升，隨著時間的拉長中高濃度第一天的保護好像逐漸消失了。
- 3.到第五天時，整個圖的情況十分明顯：中高濃度在上方，生鏽量明顯較多；而低濃度生鏽量明顯較少。於是我們根據觀察到明礬的情況提出兩個假設：
【A】二價亞鐵離子溶入溶液中而鋁離子抑制其變為鐵鏽【B】二價亞鐵離子溶出後，鋁離子在表面形成保護膜而抑制其繼續被腐蝕。為要進一步瞭解，因此進行下列實驗。

四、實驗四、含有 Al^{3+} 之食鹽溶液對鐵腐蝕作用之定量研究

※實驗目的：觀察鋁離子在易促進鐵腐蝕的食鹽溶液中對鐵生鏽的防護情形。

※實驗器材：試管、試管架、氯化鈉、氯化鋁、甲醛、鐵片(1 cm×4 cm)、鹽酸(12M)、紫外光-可見光光譜儀(UV-VIS3501)

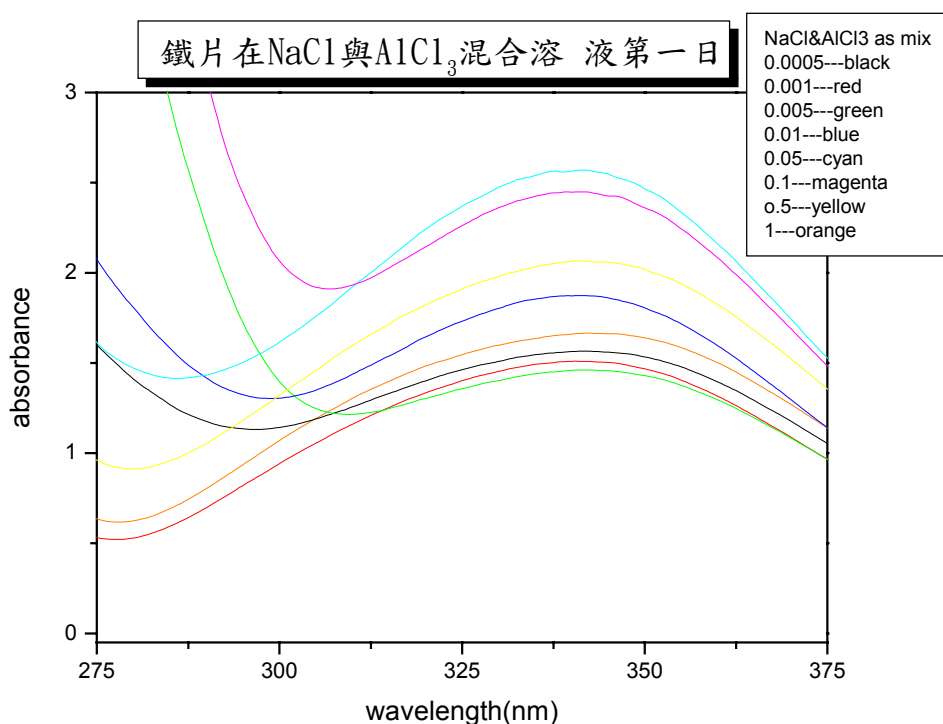
※實驗步驟：

- 1.先配製 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 1.0M、0.5M、0.1M、0.05M、0.01M、0.005M、0.001M、0.0005M 八種水溶液各 10ml 裝入試管並置入鐵片(經砂紙磨光→鹽酸洗鏽→氫氧化鈉去油漬→以蒸餾水洗淨→丙酮除水→用衛生紙擦乾)觀察三天。
- 2.每天拿出一組，將鐵片取出加入甲醛和鹽酸 1：1 的混合溶液進行酸洗。
- 3.在將酸洗後的溶液加入原溶液中，將此溶液用紫外光-可見光光譜儀測其吸收光譜來比較。
- 4.取 0.5M 10ml 之 NaCl 溶液加入等體積各種不同濃度之 AlCl_3 (1M、0.5M、0.1M、

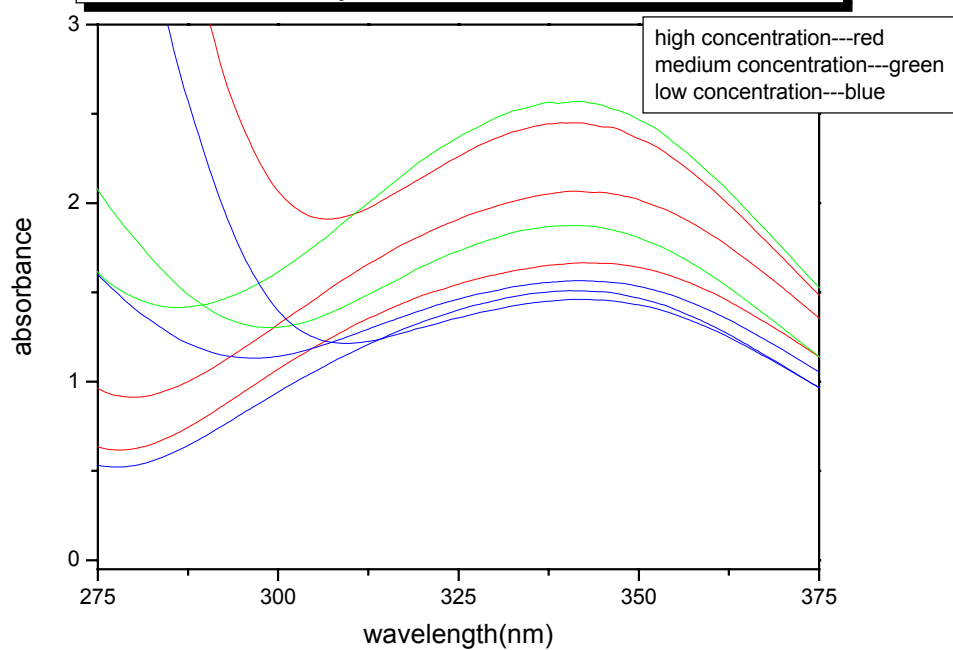
0.05M、0.01M、0.005M、0.001M、0.0005M)，並將鐵片置入（經砂紙磨光→鹽酸洗鏽→氫氧化鈉去油漬→以蒸餾水洗淨→丙酮除水→用衛生紙擦乾），紫外光-可見光光譜儀測其吸收光譜來比較生鏽的程度。

※實驗結果：

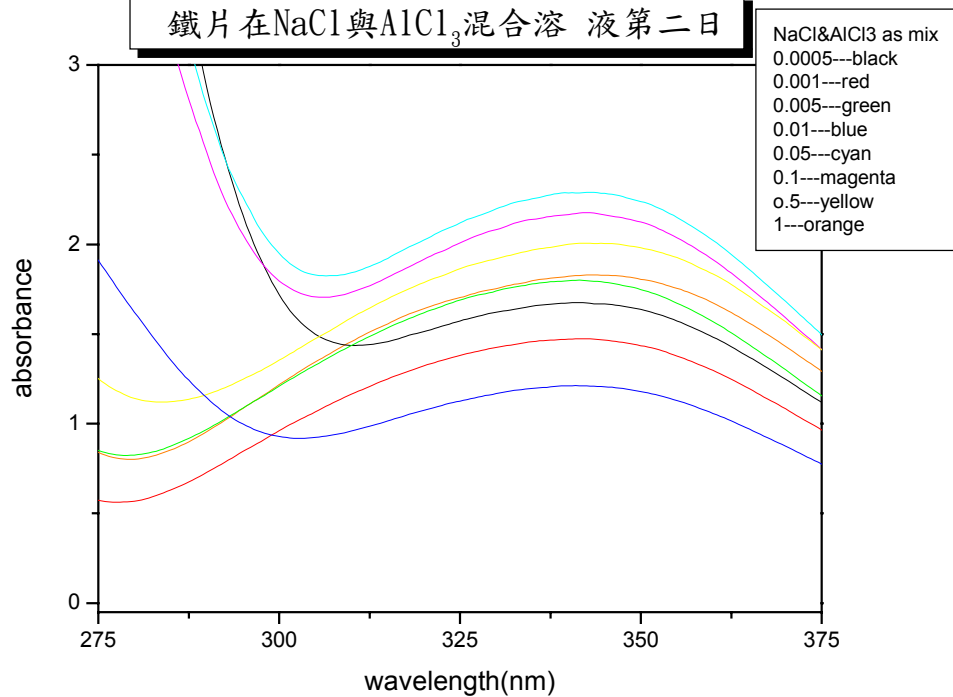
- 1.在 Al^{3+} 濃度為 0.005M 與 0.0005M 之食鹽溶液鐵腐蝕的量最少，由此可知含有此濃度之 Al^{3+} 溶液抑制腐蝕的效果最好。
- 2.在 AlCl_3 與 NaCl 混合溶液中鋁離子的濃度為 0.05M~0.01M 時，鐵片在其中被腐蝕量最大。
- 3.在 NaCl 溶液中, Al^{3+} 濃度 0.005M 或 0.0005M 時之腐蝕量最少,很明顯可知 Al^{3+} 在此濃度時,無論是在水或食鹽的水溶液中都可以觀察到有防腐蝕的效果。
- 4.本實驗觀察結果與上述實驗三之結果相符合。



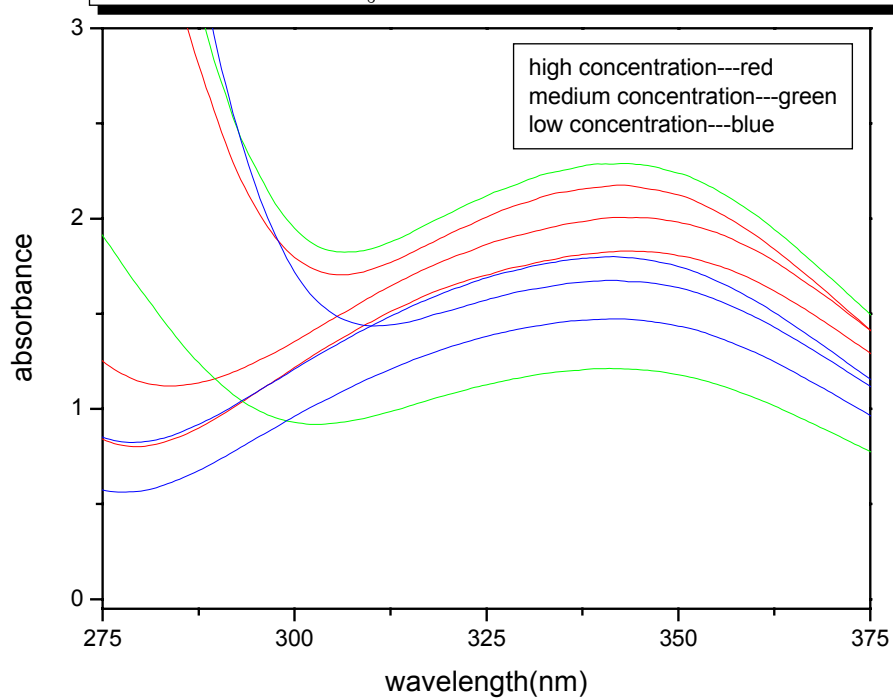
鐵片在NaCl與 AlCl_3 混合溶液第一日的UV吸收光譜趨勢圖



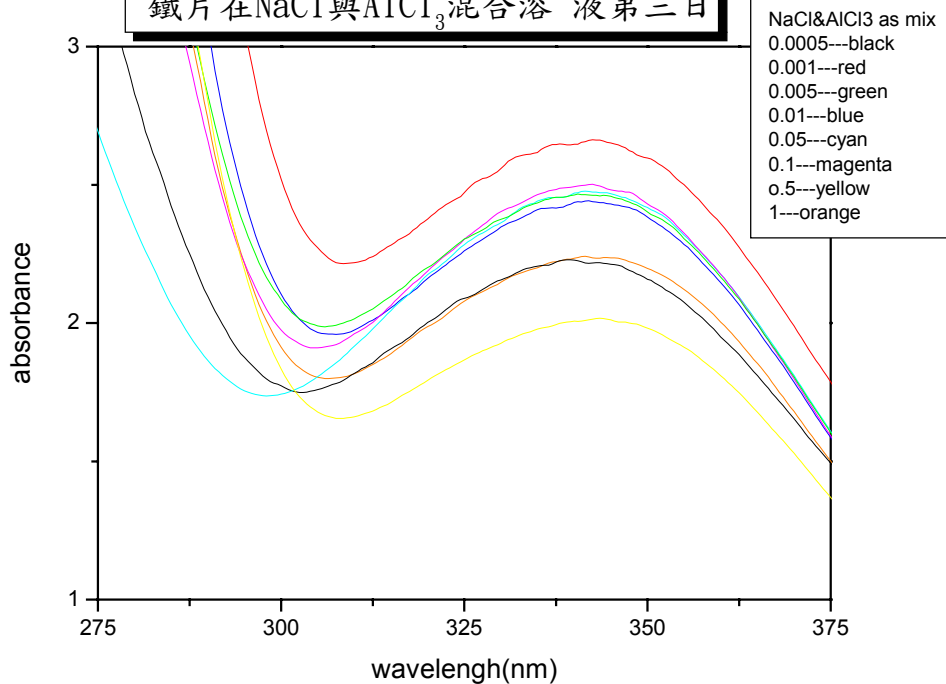
鐵片在NaCl與 AlCl_3 混合溶液第二日

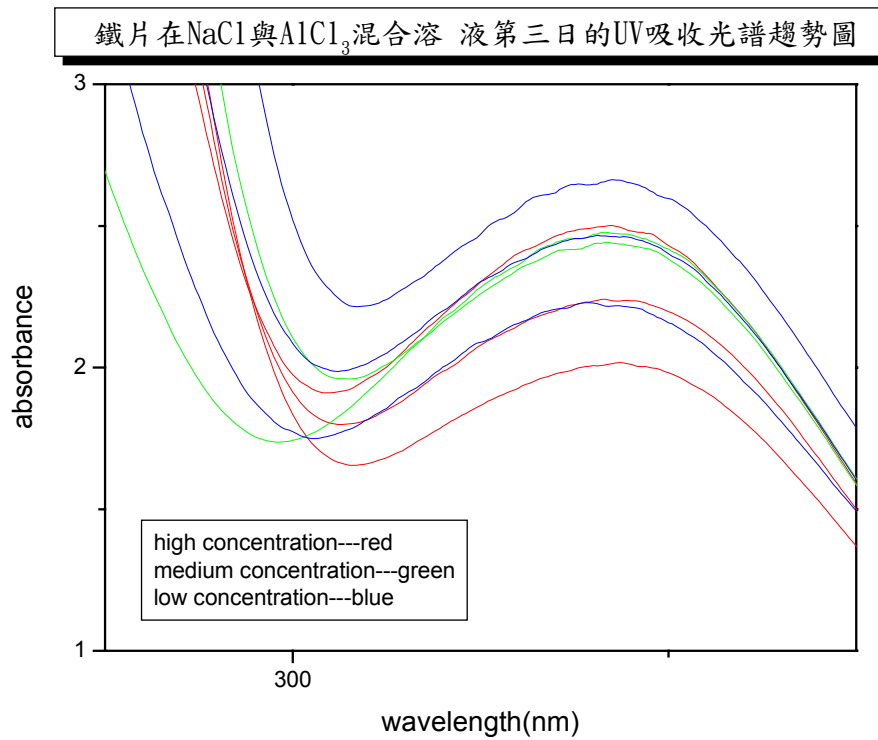


鐵片在NaCl與 AlCl_3 混合溶液第二日的UV吸收光譜趨勢圖

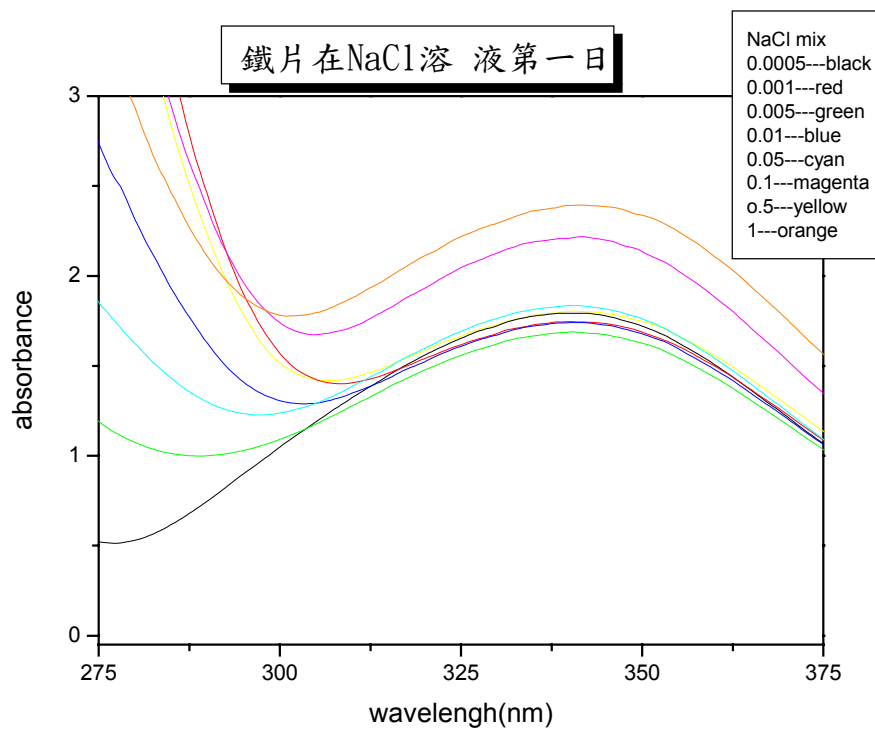


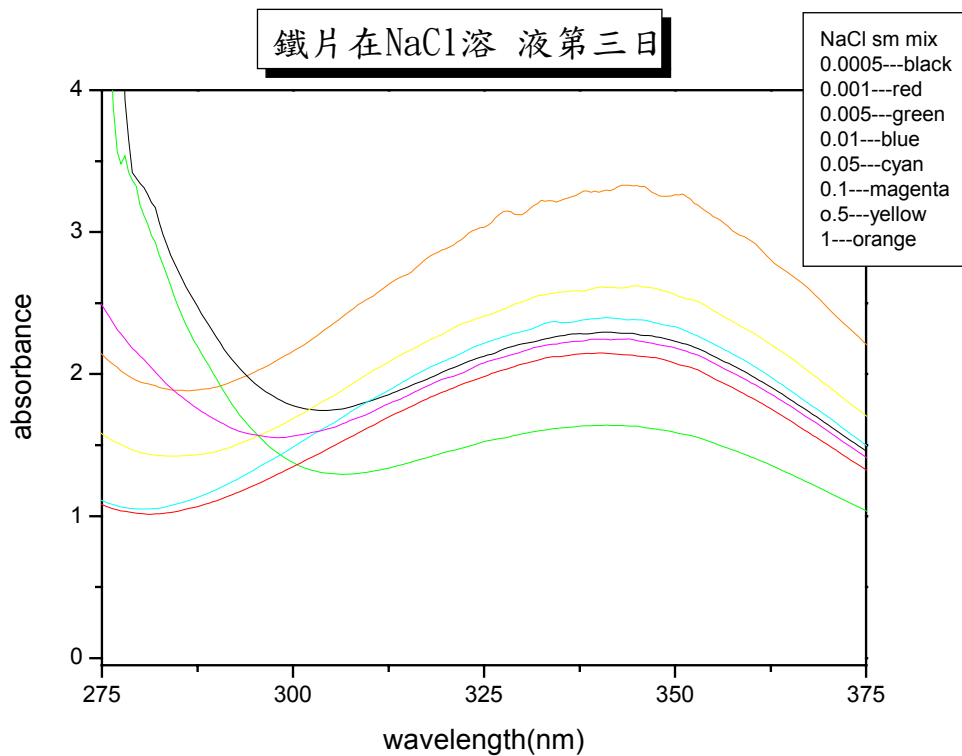
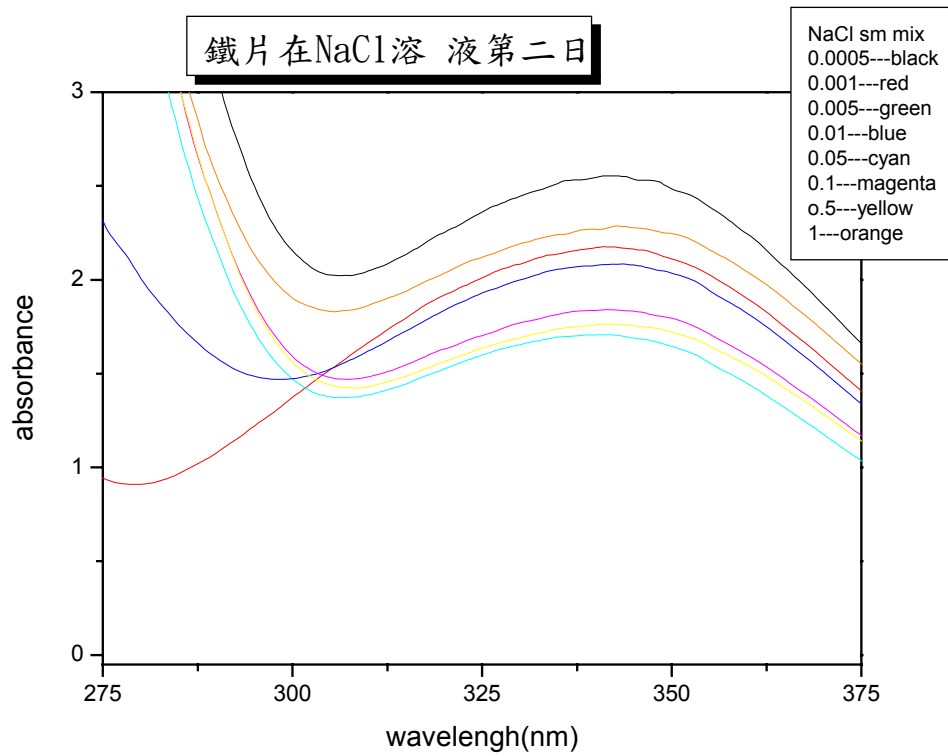
鐵片在NaCl與 AlCl_3 混合溶液第三日





【以上圖來看，中高濃度和低濃度鋁離子分的特別明顯，低濃度明顯生鏽較少。】





五、實驗五、鐵片上薄膜之定性檢驗、紅外光光譜測定、顯微觀察及 X 光

繞射光譜

※實驗目的：分析鐵片是否形成氫氧化鋁薄膜，以及觀察鐵片上氫氧化鋁薄膜附著的情形

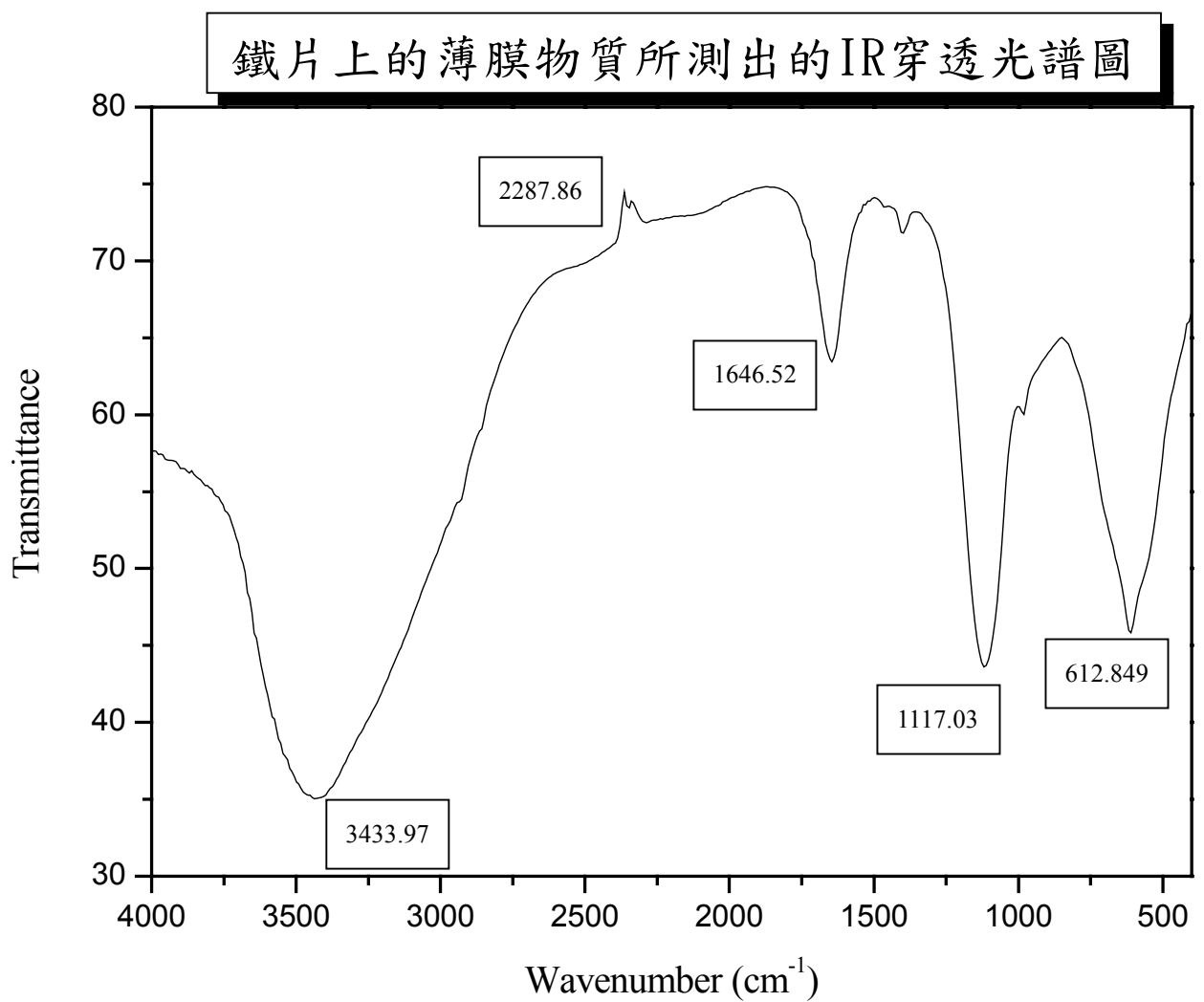
※實驗器材：試管、試管架、鐵片(1 cm×6 cm)、鋁試劑（含有 aurin tricarboxylic acid 的銨鹽）、乙酸、乙酸銨、解剖顯微鏡、電子顯微鏡、紅外光光譜儀。

※實驗步驟：

- 1.將鐵片上的物質溶於乙酸溶液（6M），在滴入乙酸銨溶液（3M）作為緩衝。
- 2.加入數滴鋁試劑（含有 aurin tricarboxylic acid 的銨鹽）攪拌，再加入過量的氨水。
- 3.取另一片鐵片裁成小於十元硬幣的大小，放入電子顯微鏡內以 X 光繞射求其光譜。
- 3.取高濃度（飽和 0.1M）、中濃度（0.05M~0.01M）、低濃度（0.005M~ 0.0005M）明礬溶液中置鐵片各一片，放在解剖顯微鏡下觀察並拍照。
- 4.將薄膜刮下，以紅外光光譜儀測光譜。

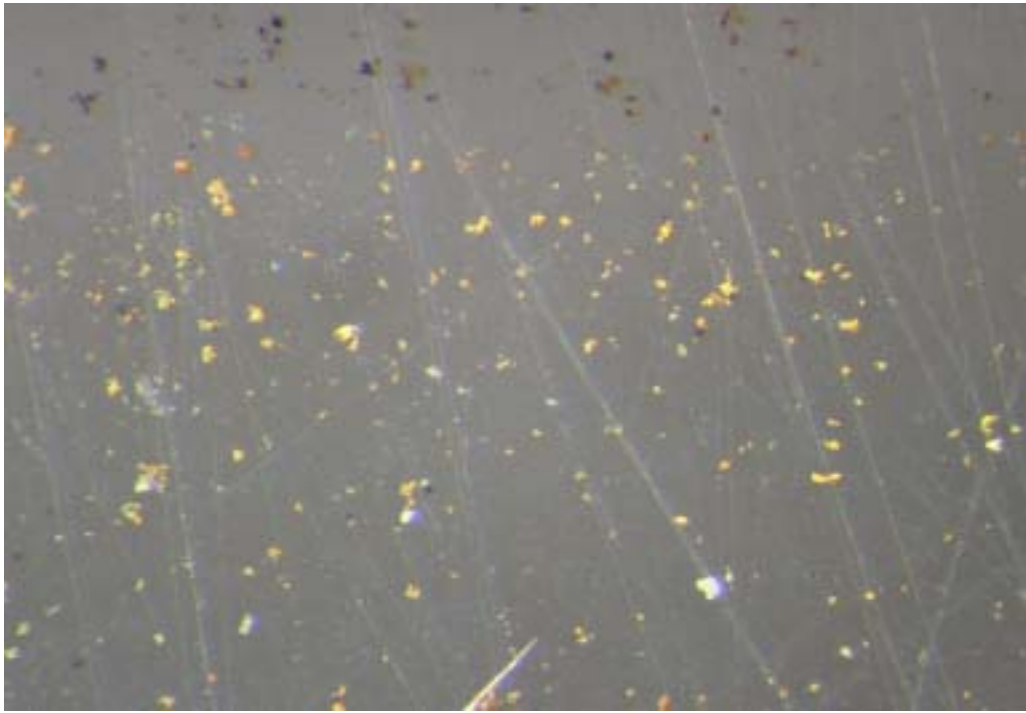
※實驗結果：

- 1.鐵片上物質經鋁試劑檢驗在試管底部形成鮮明紅色沉澱，即氫氧化鋁吸收鋁試劑的顏色；加上用電子顯微鏡以 X 光繞射後，由光譜推測知鐵片上的薄膜含有鋁離子。在以紅外光光譜測鐵片上薄膜，發現其含有 OH⁻ 離子，即可證實鐵片上薄膜為氫氧化鋁。

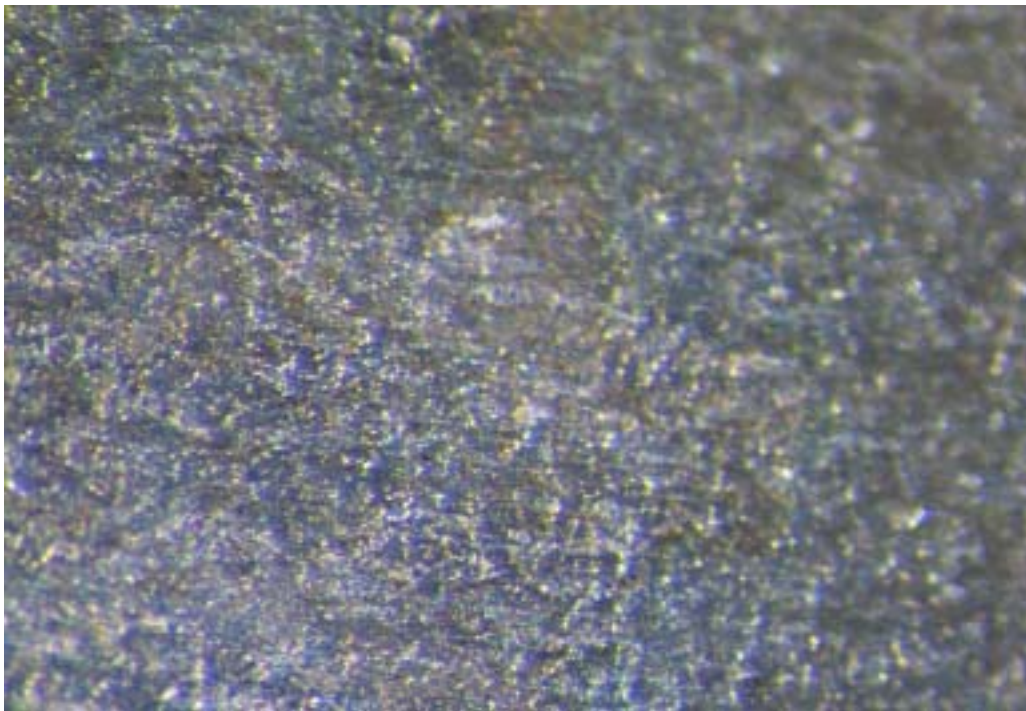


上圖為鐵片上薄膜所測出的紅外線光譜圖，其中 3433.97 cm^{-1} 為氫氧根；而 1646.52 cm^{-1} 為二氧化碳，由此可推知鐵片上薄膜含有氫氧根

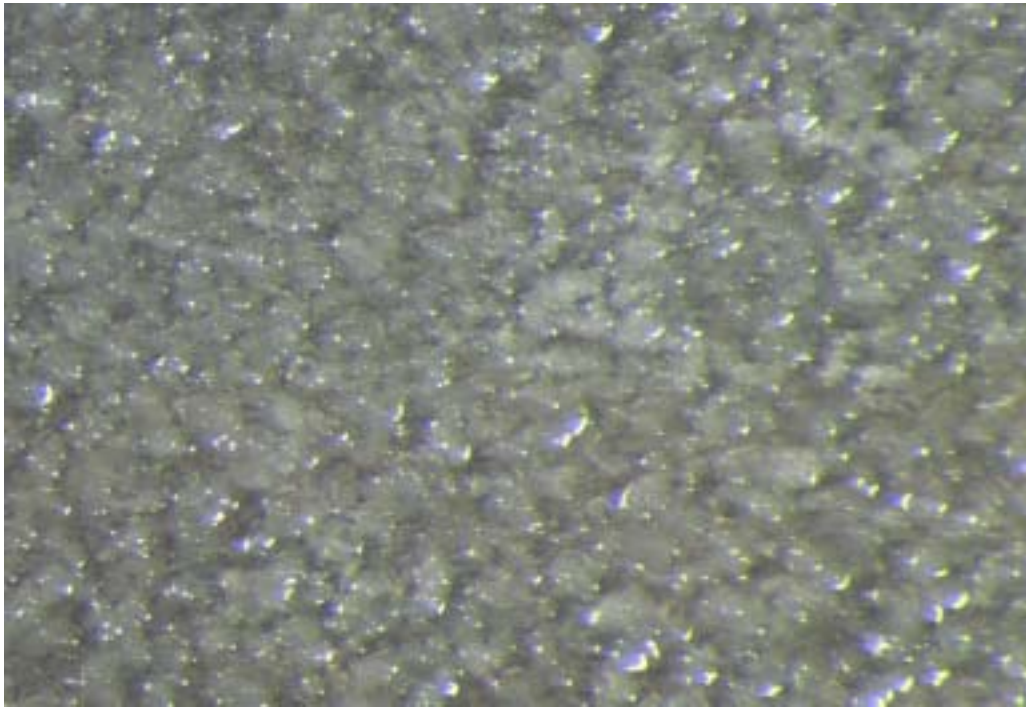
2. 下列為鐵片上氫氧化鋁薄膜附著的情形(在解剖顯微鏡下的情形)：



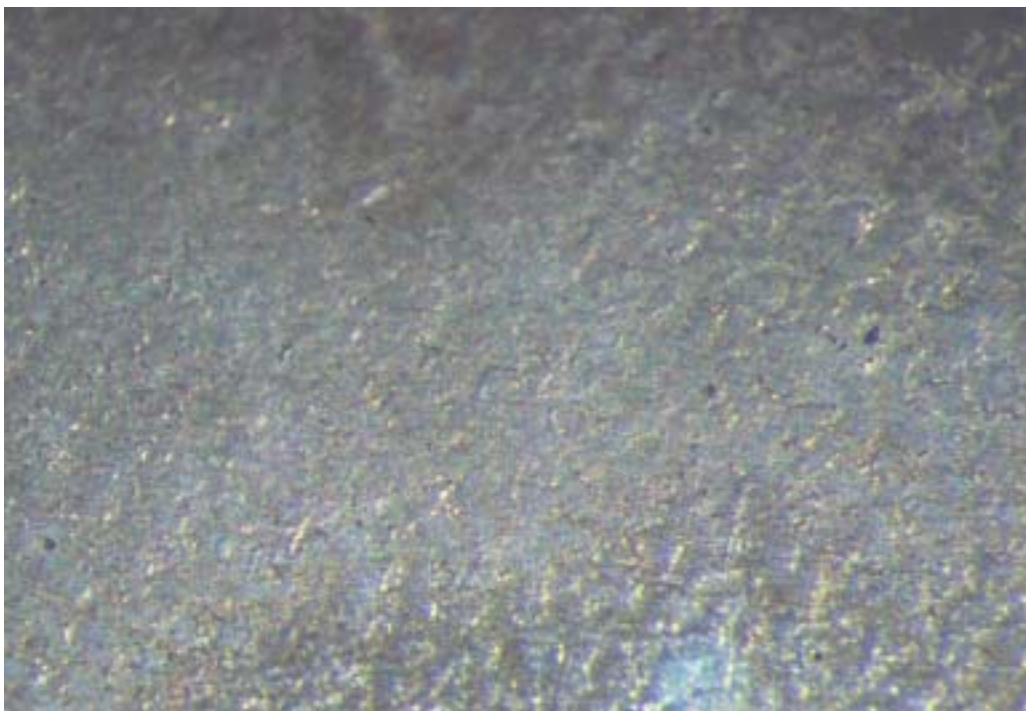
此圖為鐵片經砂紙磨光→鹽酸洗鏽→氫氧化鈉去油漬→以蒸餾水洗淨→丙酮除水→用衛生紙擦乾。圖上橘色點為未洗掉的鐵鏽，而刮痕為砂紙磨過的痕跡。



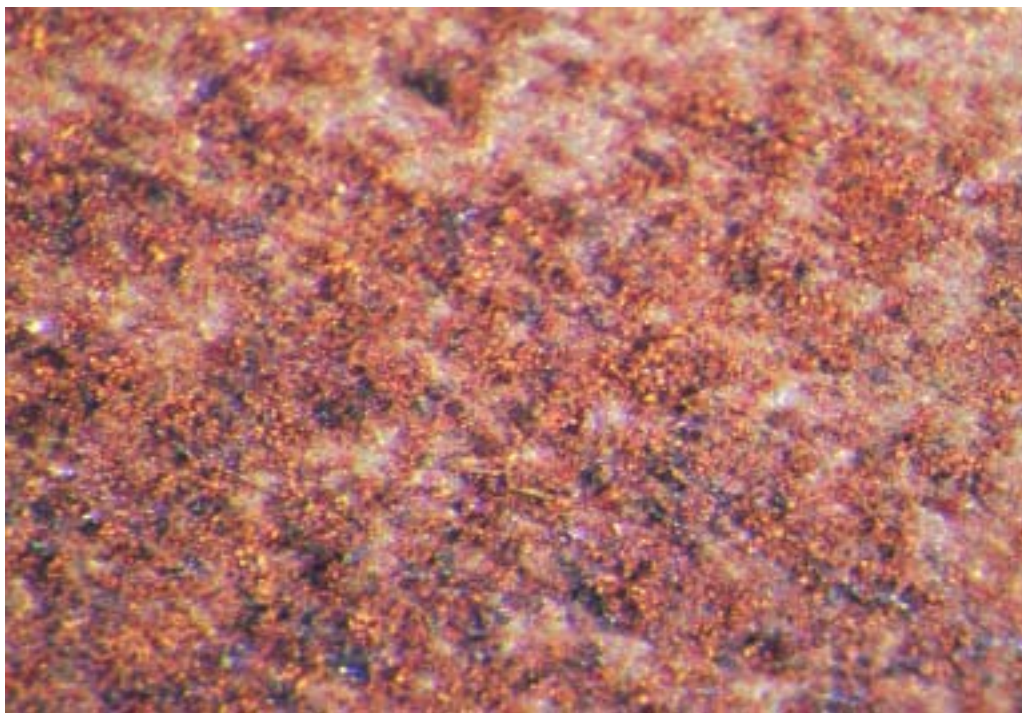
此圖為鐵片在高濃度明礬溶液中，鐵片表面氫氧化鋁薄膜附著的情形，由圖知其較中濃度緻密，較低濃度稀疏。



此圖為鐵片在中濃度明礬溶液中，鐵片表面氫氧化鋁薄膜的附著情形。由圖知相較於其他濃度，其排列為最稀疏。



此圖為鐵片在低濃度明礬溶液中，鐵片表面氫氧化鋁薄膜的附著情形。由圖知，相較於其他濃度，其排列為最緻密。



此圖為生鏽的鐵片表面鐵鏽附著的情形

※實驗討論：

雖然大略控制酸洗時間，但因酸洗為一多變化複雜的化學反應，變因不好控制所以仍以吸收光譜最大吸收度的相對位置的圖來討論。

1. 氯化鈉為生活中常見的鹽類，且氯離子為容易導致鐵生鏽的離子，故選用氯化鈉作為對照組。
2. 根據實驗三中我們提出兩個假設：【A】二價亞鐵離子溶入溶液中而鋁離子抑制其變為鐵銹【B】二價亞鐵離子溶出後，鋁離子在鐵片表面形成保護膜而抑制其繼續被腐蝕。根據實驗四中氯化鈉加三氯化鋁的實驗的結果來進行討論，氯離子為增進鐵生鏽的離子，如果假設 A 成立則鐵片因氯離子的作用不斷溶入溶液中形成二價亞鐵離子而我們使用的氯化鈉溶液均為 **0.5M**，即可推得溶液中的亞鐵離子量應越來越多，且每支試管因鐵片相同所以溶液中的鐵離子量應均相同，即可推得所測 UV-VIS 吸收光譜圖的吸收峰應相同，而非不同。但這個不同有可能是因鋁離子濃度不同所致，若果真如此，鋁離子濃度大小不同會影響鐵鏽的生成量，意即鋁離子濃度愈高，則鐵片生鏽量愈少。

但實驗結果得知，鋁離子的濃度低者生鏽量最少，高濃度生鏽量次之，而中濃度生鏽量最多。由以上論證即可證明 A 假設為錯的。

【我們將濃度介於飽和~0.1M 之間的範圍定為高濃度，0.05M~0.01M 定為中濃度，0.005M~0.0005M 定為低濃度。】

- 3.經由鋁試劑即 X 光繞射證明鐵片上附著物質含有鋁離子，加上紅外線光譜儀所測出的光譜圖可證明鐵片上附著物含有氫氧根，即可推得鐵片上的物質為氫氧化鋁。並經由顯微鏡觀察原鐵片及鐵片上形成的氫氧化鋁，緻密的附著在於其上，即可推得假設【B】成立。
- 4.【參照實驗三的實驗結果】因為中高濃度鋁離子的含量大，所以容易在鐵片上形成保護膜但濃度太高形成保護膜之速率快無法非常緻密，所以第一天時僅有少量的鐵鏽生成，反觀低濃度因為鋁離子的含量較低無法迅速形成保護膜，且溶液因鋁離子的影響呈弱酸性，可以促進侵蝕所以第一天的結果低濃度的亞鐵離子含量較大。
- 5.【參照實驗三的實驗結果】第二日時低濃度的亞鐵離子含量相對於高濃度逐漸降低，而中高濃度逐漸上升，因為時間一久，低濃度形成緻密保護膜，鐵鏽不再生成也不易受弱酸腐蝕而中高濃度因保護膜不緻密，不斷受酸侵蝕，亞鐵離子濃度不斷上升，進而生成鐵鏽。
- 6.【參照實驗三的實驗結果】直到第五日時，因時間拉長結果更加顯著，中高濃度亞鐵離子含量均較多，低濃度因保護膜的關係從第二天即不再溶出亞鐵離子，而不會生成鐵鏽。
- 7.【參照實驗三的實驗結果】中濃度和高濃度無明顯分界但中濃度中亞鐵離子的量有大於高濃度的趨勢，觀察結果中，中濃度原溶液試管中有白色沈澱物（經鋁試劑檢驗為氫氧化鋁），亦有點綠色，推測為氫氧化亞鐵，而高濃度則無，因為高濃度 Al^{3+} 的含量極大，形成的保護膜雖不緻密，但量大，有較差的防鏽和防腐蝕力（相較於低濃度），而中濃度由於 Al^{3+} 的量相較於高濃度較小，又加上因保護膜不夠緻密且溶液呈酸性的作用，故被腐蝕最為嚴重。

- 8.由實驗四我們可發現明礬在低濃度（ $0.005\text{M}\sim 0.0005\text{M}$ ）時有最好的防護效果，雖然前面定性觀察已確定和鋁離子有關，因為明礬為複鹽會解離而產生鋁離子，於是我們取 NaCl 作為背景溶液加入氯化鋁結果發現與明礬溶液結論相符，證明鋁離子存在可加速鐵生鏽的氯離子溶液中，鋁離子依然可以有抑制鐵生鏽的作用。
- 9.因為鋁離子溶在溶液中會改變溶液的 pH 值，於是我們做了下面的實驗，來看 pH 值對鐵生鏽的影響。

※實驗結論：

- 1.經由實驗討論所得的結論是無論明礬溶液或是 NaCl 與 AlCl_3 混合溶液，鐵片在其中當二價亞鐵溶出後，鋁離子在其表面形成氫氧化鋁保護膜而抑制其繼續被腐蝕。
- 2.鋁離子在不同濃度時，抑制鐵生鏽的能力有所不同：
 - （1）高濃度（飽和和 0.1M ）：較差的防腐蝕能力。
 - （2）中濃度（ $0.05\text{M}\sim 0.01\text{M}$ ）：最差的防腐蝕能力。
 - （3）低濃度（ $0.005\text{M}\sim 0.0005\text{M}$ ）：有最佳的防鏽防蝕效果。

六、實驗六：鐵片在不同 pH 值溶液中的生鏽情形之定性觀察

※實驗目的：了解 pH 值對鐵生鏽的影響

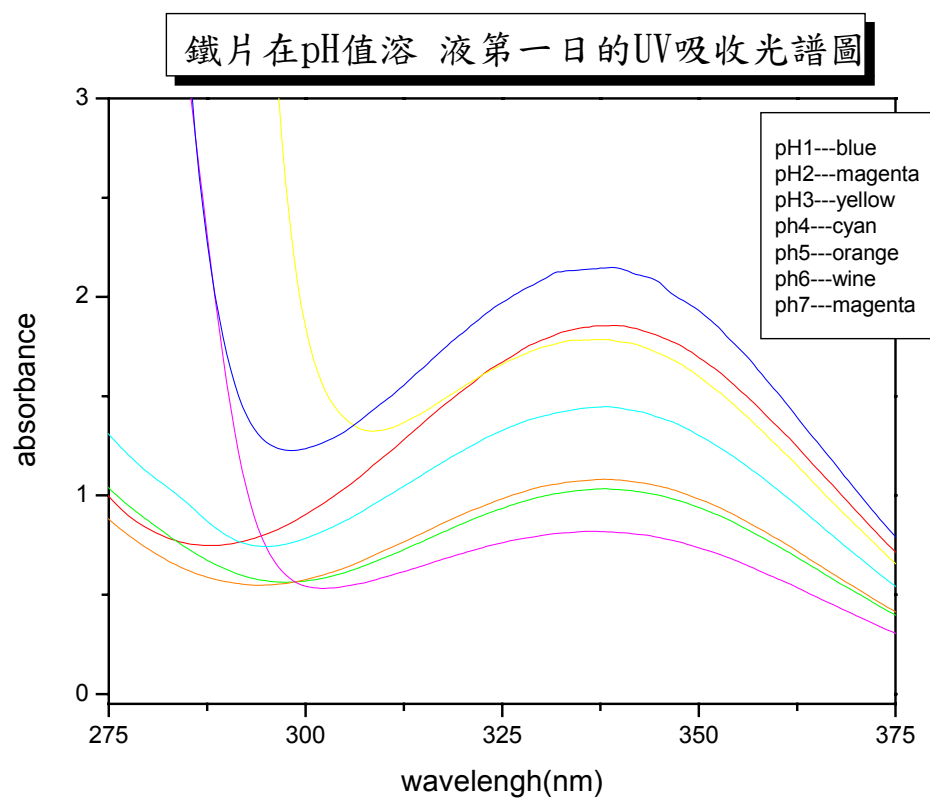
※實驗器材：試管、試管架、甲醛、鐵片(1 cm×4 cm)、鹽酸（12M）、紫外光-可見光光譜儀（UV-VIS3501）、pH 計

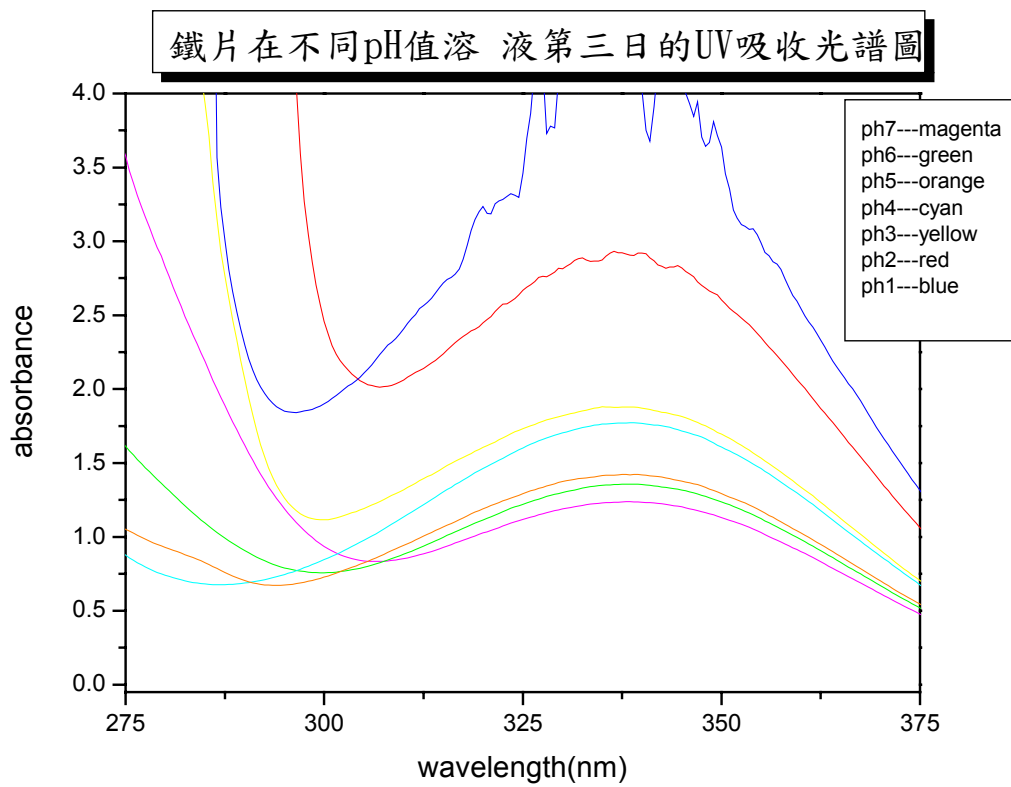
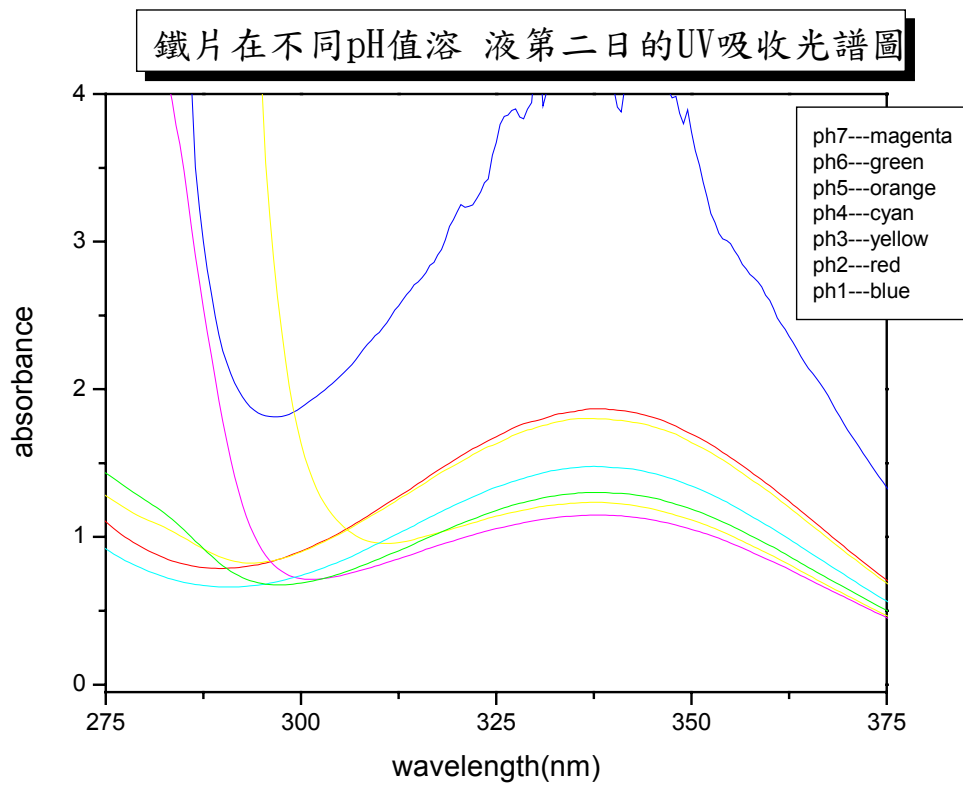
※實驗方法：

- 1.配製 pH1~7 範圍的溶液取二十毫升裝入試管中，製作三組並放入鐵片（經砂紙磨光→鹽酸洗鏽→氫氧化鈉去油漬→以蒸餾水洗淨→丙酮除水→用衛生紙擦乾），每天作定性的觀察。
- 2.每天取出一組來做鹽酸加甲醛的酸洗，並以原溶液加酸洗出溶液做紫外光-可

見光光譜儀測其吸收光譜。

※實驗結果：





※實驗討論：

- 1.由實驗結果來看，鐵在酸性較易生鏽，因為 H^+ 會使溶液更易導電，鐵生鏽本來即是一種電化學反應，因而加速其反應速率。
- 2.弱酸性正符合低濃度明礬溶液的 pH 值，故可證明明礬溶液中的酸鹼度對鐵生鏽的影響。
- 3.由實驗的三張 UV 吸收光譜圖發現：生鏽的程度與 pH 值有關，弱酸性最不易生鏽；酸性愈強則愈易生鏽，應證到我們的推論：鋁離子低濃度（ $0.005M \sim 0.0005M$ ）時，鋁離子含量低呈弱酸性（ $pH5.6 \sim pH6.7$ ），加上保護膜緻密所以防鏽效果最好；中濃度（ $0.05M \sim 0.01M$ ）因鋁離子含量高，呈較強的酸性（ $pH4.3 \sim pH5.1$ ），加上保護膜最不緻密，所以防鏽效果最差；高濃度（ $0.005M \sim 0.0005M$ ）鋁離子含量大，呈最強的酸性（ $pH2.1 \sim pH3.9$ ），但其保護膜雖不緻密但量較中濃度大，所以防鏽效果居中。

捌、實驗結論

經過這次實驗，我們不僅獲得許多重要的實驗結論，同時使我們的實驗基本步驟更臻純熟與實驗相關的基本概念更清楚，實驗報告撰寫邏輯更清晰，培養我們正確的實驗態度。

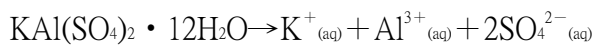
一、經由文獻探討鐵生鏽之反應機制發現有 Fe^{2+} 生成，可用赤血鹽產生 $[Fe(CN)_6]^{3-}$ 檢驗之。溶液之酸性、中性、鹼性會影響鐵鏽之生成的反應速率，酸性溶液會加速鐵生鏽，中性溶液會緩和鐵生鏽的速率，而鹼性溶液則有抑制其生鏽的能力。在實驗一，鐵片在硫酸銨、鐵銨礬溶液中靜置一天即產生生鏽的情形，相較於其他溶液，生鏽速率較快。經 pH 值測定，硫酸銨、鐵銨礬溶液呈酸性，因溶液中有 NH_4^+ 和 $Fe(H_2O)_6^{3+}$ 存在；硫酸鈉、硝酸鉀、硝酸鈉溶液近似中性，鐵片在其中，經一天僅失去金屬光澤。如此之實驗結果非常符合鐵生鏽之反應機制。

二、鐵片在硫酸鉀、氯化鉀、硫酸銨等溶液中較易生鏽，因此等溶液均為電解質溶液，符合文獻探討中鐵生鏽反應機制所記載「溶於水中之鹽類或酸形成電解質溶液會增加水的導電性」因而加速生鏽腐蝕的過程。

三、實驗一鐵片在相同濃度的鹽類溶液中生鏽之定性觀察中，含有鋁離子的溶液如：明礬、鋁鉍礬、鹽基式醋酸鋁等經過三日後，觀察溶液仍然澄清，表示 Al^{3+} 有抑制鐵生鏽的作用。

四、實驗二鐵片在不同濃度鹽類溶液中之定性觀察中，其他含有鋁離子的溶液如硫酸鋁、氯化鋁經三日觀察紀錄，鐵表面均無明顯生鏽，更確定 Al^{3+} 有抑制鐵生鏽的作用。而從不同濃度中發現防腐的效果與濃度有特別的關係。

五、實驗三含有 Al^{3+} 之明礬溶液對鐵腐蝕作用之定量研究，明礬是複鹽在水溶液中能解離產生 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Al^{3+} 其性質相當於硫酸鋁、硫酸鉀所形成之溶液。明礬在水中的反應：



因為 Al^{3+} 水解而使溶液呈酸性，鐵片在其中應更容易生鏽，而結果恰好相反，明顯地 Al^{3+} 有抑制鐵生鏽的功能從紫外光-可見光光譜圖分析， Al^{3+} 濃度在 0.005M~0.0005M 有最佳的防腐蝕效果。

六、根據實驗四含有 Al^{3+} 之食鹽溶液對鐵腐蝕作用之定量研究， Al^{3+} 對抑制鐵產生鐵鏽的機制是當二價亞鐵離子溶出時，鋁離子會在鐵片表面形成薄膜抑制其繼續被腐蝕。而 Al^{3+} 最有效的濃度在 0.005M~0.0005M 與實驗三結果相同。

七、經由實驗五鐵片上薄膜之定性檢驗、紅外光光譜測定、顯微觀察及 X 光繞射光譜得知，鋁離子抑制鐵生鏽之機制在鐵片表面形成保護膜，是氫氧化鋁薄膜。且經由顯微觀察發現，溶液在低濃度（0.005M~0.0005M）形成薄膜非常緻密，而高濃度（飽和~0.1M）所形成的薄膜緻密程度次之，中濃度（0.05M~0.01M）所形成的薄膜緻密程度最差。

八、經由研究可以證實明礬水溶液確實有抑制鐵生鏽的效果，其機制為鐵腐蝕產生二價亞鐵離子溶出後，在鐵的表面會形成緻密的氫氧化鋁保護膜，而且鋁離子濃度在 0.005M~0.0005M 時效果最卓越，而此結論與文獻探討中所述防止鐵生鏽的方法之一可用保護膜隔絕氧氣和水之論述不謀而合。

玖、參考資料

- 一、化學探究中冊 無機化學 E.N.Ramsden 著 江彬 編譯 P.261
- 二、高級中學化學 國立台灣師範大學主編 國立編譯館出版 P.83
- 三、高級中學化學實驗手冊第三冊國立台灣師範大學主編 國立編譯館出版
- 四、金屬腐蝕及其控制 編譯者鮮祺振 徐氏基金會出版
- 五、介面活性化學原理及應用 刈米孝夫原著 王鳳英編譯 萬利圖書有限公司出版 新科技書局經銷

拾、附錄

一、在實驗三、四及六不使用比爾定律求出 Fe^{3+} 濃度而用相對濃度比較法之原因

※實驗目的：找出酸洗時，當鐵銹洗完時，鹽酸侵蝕造成鐵離子溶入的量

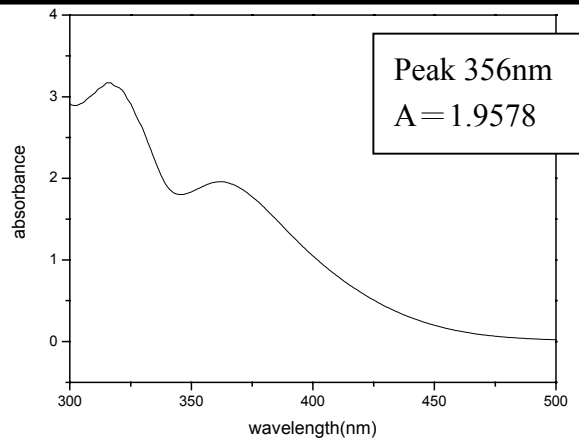
※實驗器材：鐵片、鹽酸(12M)、甲醛、碼錶、紫外光-可見光光譜儀

※實驗步驟：

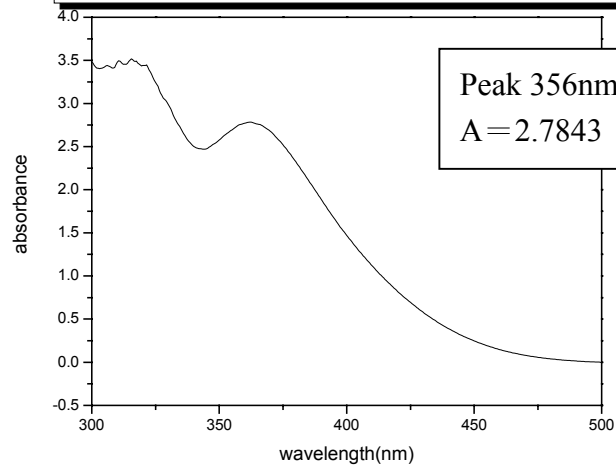
- 1.配製甲醛加鹽酸溶液(1：1) 30ml 分裝成 10ml 裝入試管。
- 2.將鐵片置入，一支 3 分鐘取出鐵片、一支 6 分鐘、一支九分鐘。
- 3.用紫外光-可見光光譜儀測出溶液中鐵離子的含量。

※實驗結果：

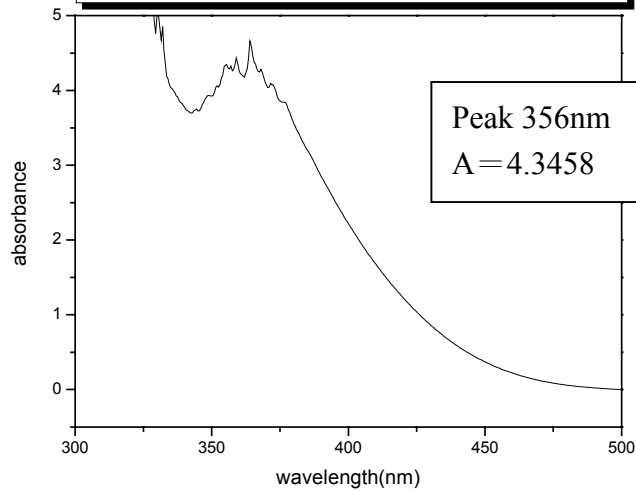
鐵片在甲醛+鹽酸的酸洗液中空洗三分鐘所測出的吸收光譜圖



鐵片在甲醛+鹽酸的酸洗液中空洗六分鐘的吸收光譜圖



鐵片在鹽酸+甲醛的酸洗液中空洗九分鐘的吸收光譜圖



置入時間	三分鐘	六分鐘	九分鐘
Absorbance	1.9578	2.7843	4.3458

※實驗討論：

- 1.一片暴露空氣中一個月以上，其上長滿鐵鏽的鐵片酸洗一片約需十五分鐘，為保證其確實洗淨，本實驗中鐵片的酸洗皆洗十五分鐘，但也因此造成誤差。
- 2.如果第一日的鐵片生鏽較少，一分鐘即可洗淨，剩餘的十四分鐘即在空洗鐵片，導致鐵離子溶入；而第二日的鐵片生鏽較多，需洗三分鐘，剩餘的十二分鐘即在空洗鐵片，導致鐵離子溶入溶液中。因為空洗鐵片的時間有差，導致誤差。
- 3.但此種誤差有一種特性，及每天同一組所造成的誤差皆相當。所以可以用每天的圖來做相對量的比較；縱然用比爾定律求出濃度也因誤差的影響而變的無很大的意義，因此本實驗接採用以吸收光譜圖的最高點來做相對位置的比較，而不求出濃度。

評語

本研究探討明礬抑制鐵在鹽類溶液中生鏽的可能機制，中規中矩，堪稱佳作。若能在反應速率及成膜程序上提供更明確的証據，將更具完整性。