

臺灣二〇〇四年國際科學展覽會

科 別：化學科

作品名稱：聚苯胺製備改良及其在防蝕應用研究

得獎獎項：化學科第二名
紐西蘭二〇〇四年科技展覽會正選代表

學 校：國立桃園高級中學

作 者：鍾茵竹

作者簡介



鍾茵竹－從懂事那天起就對生活週遭的事物充滿好奇，標準的好奇寶寶；對自然學科由是如此。小時後常常把自家陽臺當實驗室，喜歡解剖昆蟲及研發化學藥品（只是一向都很恐怖就是了）。高一下接觸了科展實驗，讓我深深愛上研究這個領域，並影響了我對未來志向的改變；最大願望是終其一生都泡在實驗室中做研究，成為一個快樂的科學家。有開明且支持我的家人做我的後盾，讓我在這一年半的研究無後顧之憂，也希望未來能一直研究下去，讓自然科學一直陪我走過我的一生。

誌謝

歷經一年半的研究，總算把這份報告完整呈現了。在研究期間我經歷的大大小的波折，承蒙了不少老師及學長們的幫助，首先我要謝謝帶領我走進這領域的陳孝誠老師及指導我中央大學的楊思明教授。雖然孝誠老師並沒有看到我完成研究，但我知道他對這份研究一直很用心，所以我要告訴他：老師，我完成了。我也很感謝楊教授願意指導一個和他完全無關的學生我，並且在研究過程給了我許多幫助。還要謝謝中原大學的葉瑞銘副教授，謝謝他願意把實驗室借給我做實驗。

在實驗進行部份，我要謝謝中央研究所的盧明德學長，幫我完成 AFM 的測量及實驗上的支援；也謝謝中原大學的陳啟倫學長，幫我在防蝕方面的實驗及數據的完成。

最後我要謝謝把我騙進這裡的好朋友標淑媛及一直支持我的家人們，謝謝你們的包容及鼓勵，讓我在忙亂到無暇顧他的支際體諒我。也沒忘那些辛苦為我這常請假的同學而努力抄筆記幫我補課的好同學們，謝謝你們。如果沒有大家鼎力相助，我想是無法完成這份研究。

僅將這份報告獻給所有關心我、支持我及幫助我的大家。

2004/2/15

鍾 茵 竹

目錄

誌謝.....	I
中、英文摘要.....	01
壹、 研究動機.....	02
貳、 研究目的.....	02
參、 文獻回顧.....	02
肆、 研究設備器材	09
伍、 實驗結果與討論	15
陸、 結論	17
柒、 參考文獻.....	18

聚苯胺製備改良及其在防蝕應用研究

中文摘要：

導電高分子在各面之應用非常廣泛，其中聚苯胺因價格便宜，製作簡便，使其應用潛力更為突出。聚苯胺在鐵系及非鐵系金屬之防蝕能力已被證實，但由於聚苯胺與金屬之附著力不良使其應用受到限制。本文以提高聚苯胺在有機溶劑中溶解度以達到和金屬有效附著增加其防蝕能力為主，而奈米粒子所具有的表面效應、小尺寸效應及宏觀量子隧道效應，可為研究目標之一。但由於高分子奈米微粒之製備仍屬有限，故仍在研究中。

關鍵字：聚苯胺、防蝕

Abstract：

The development and application of the conducting polymer poly-aniline is getting prosperous and popular. The capability of poly-aniline in corrosion protection has been proved. But due to the adhesion of poly-aniline on the metal is poor, the applications are restricted. In this paper, the authors utilized how advance the solubility of poly-aniline in organic solution to modify the adhesion of poly-aniline on the metal in order to improve the effect of the corrosion protection of poly-aniline in ferrous metal. And the nanoparticles have the special effects such as the surface effect, the small size effect and the macro-quantum channeling effect. It can be an object for research.

keywords： poly-aniline、anticorrosion

壹、研究動機：

聚苯胺的應用除了電致變色、抗靜電、發光二極體外，在非鐵系及鐵系金屬防蝕上的應用也愈趨廣泛。台灣本島由於四面環海，金屬腐蝕造成工業、建築、橋樑的腐蝕損失非常龐大，因此如何利用最新科技以減少腐蝕所造成的損害，也逐漸引起各界重視。

爲了探討導電高分子聚苯胺爲何可以防蝕？以及其防蝕效果與一般防蝕方法的優劣？本文首先研究聚苯胺的性能及合成方法。其次，探討金屬腐蝕機構及防蝕機構。最後，探討聚苯胺在金屬防止腐蝕的機構，並進行實驗以印證防蝕機構及比較防蝕效果。

化學合成法製備的聚苯胺與鐵系金屬的防蝕測試結果，顯示聚苯胺在有機溶劑中的溶解度不佳，且與鐵系金屬的附著力也不良，因此，如何改善前述缺點將是這次研究重點。

貳、研究目的：

- 一、聚苯胺的製備研究與顆粒大小分析
- 二、聚苯胺與金屬之防蝕能力測試

參、文獻回顧：

一、導電高分子：

高分子(Polymer)，望名思義就是分子結構龐大、分子量高的物質；換言之，在分子主鏈上具有單鍵、雙鍵(或參鍵)交替之共軛結構，使電荷或電子可沿著分子鏈或跨分子鏈運動，因而具導電性的高分子量物質，即謂之共軛導電高分子(Conjugated Conducting Polymer)。而所有的導電高分子都屬於所謂的”共軛高分子”。共軛高分子最簡單的例子是聚乙炔。它由長鏈的碳分子以 sp^2 鍵鏈結而成(見圖 1)。由於 sp^2 鍵結的特性，使得每一個碳原子有一個價電子未配對，且在垂直於 sp^2 面上形成未配對鍵。我們可以想像，相鄰原子的未配對鍵的電子雲互相接觸，會使得未配對電子很容易沿著長鏈移動。

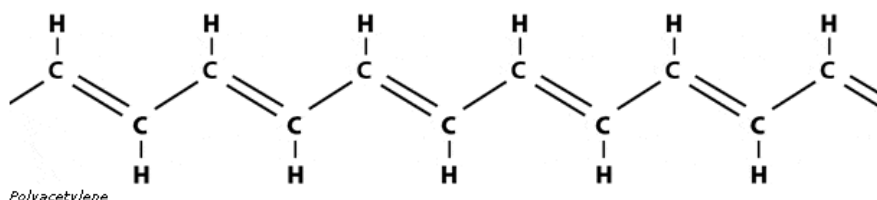


圖 1

爲了使共軛高分子導電，必須要做摻雜。這和半導體經過摻雜後可以經由荷電載子提高導電度類似。共軛導電高分子具本質導電性(Intrinsic Conductivity)，導電度的變化可由摻雜(Doping)前的 $10^{-12} \sim 10^{-9}$ S/cm 增加至摻雜後的 10^3 S/cm，或者更高。導電度的高低視共軛結構上非定域化(Delocalized)之 π 電子的濃度及其移動速度而定。換言之，共軛導電高分子主鏈結構的本質特性、規則性、分子量分佈，以及側鏈官能基的大小、立體形狀、推拉電子的能力等都是影響導電度高低的因素；這和傳統無機材料的導電機制不同。由於具有導電能力以及對光透明、薄、質輕、抗拉強度強、可在常溫加工等有機高分子材料的特性，使其正積極地被研發在前瞻且具創新性之光電及生化產業。

二、導電高分子聚苯胺性質及合成方法：

文獻中有很多有關聚苯胺研究的報告，包括合成方法，結構鑑定方法，氧化還原特性測定，導電度測定，發光強度測定等。本質性聚苯胺因在水及有機溶劑的溶解度不良，促使研究人員著手利用摻雜小分子無機酸、高分子有機酸，或在共軛高分子的主鏈或側鏈上接上官能基，或以共聚合的方式，試圖提高其溶解度及導電度。

聚苯胺性質與合成方法有關，其中化學合成法是先將苯胺單體溶於酸性溶液中，再加入氧化劑進行氧化聚合。將文獻資料整理如下所示：

(一)氧化劑：常用的氧化劑為 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 、 FeCl_3 、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 H_2O_2 。其中苯胺與過硫酸銨聚合時，兩者莫耳比造成聚苯胺氧化還原狀態及導電度之差異性如下表 1：

表 1 氧化劑對聚苯胺狀態及導電度的影響

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ /苯胺 莫耳比	聚苯胺氧化還原狀態	導電度
0.25-1.25	中間氧化態	
1.25-2.0	高氧化態	導電度降低，酸性中易水解劣化

我們獲得以下結論：1 M HCl， $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ /苯胺莫耳比 1：1 聚合所得為產物為頭對尾(氮-苯環聚合)鹽式中間氧化態聚苯胺。經丙酮及鹽酸水洗過濾乾燥後，為深綠色粉末產物；置於氨水或氫氧化鈉水溶液中，可得深藍色鹼式中間氧化態聚苯胺。

(二)摻雜酸：本質性聚苯胺進行酸摻雜可分成無機酸/小分子有機酸及高分子有機酸。本質性聚苯胺以無機酸/小分子有機酸摻雜後，加工性不佳，少有溶劑可溶解，室溫或以上蒸發，導電度下降；而以高分子酸摻雜後，可提高其在有機溶劑中的溶解度，甚至可溶於水。在 NMP、THF 及 Acetone 等有機溶劑的溶解度為：聚鄰甲基苯胺>聚苯胺>聚鄰乙基苯胺>聚鄰丙基苯胺。

表 2 聚苯胺酸摻雜效應比較表

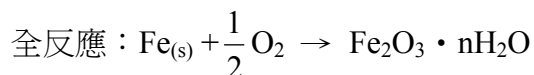
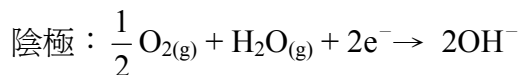
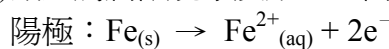
無機酸/小分子有機酸摻雜：加工性不佳，少有溶劑可溶解，室溫或以上蒸發導電度下降	強酸(苯環-苯環聚合)	HCl：聚合速率慢，平滑狀
		HClO_4 ：聚合速率慢，平滑狀
		H_2SO_4 ：聚合速率快，顆粒或網狀
		HBF_4 ：聚合速率快，顆粒或網狀
	弱酸/中性(氮-苯環聚合)	
	鹼性(氮-氮聚合)	
高分子酸：酸摻雜劑、聚電解質可溶於水。結合離靜電吸引力	聚苯乙烯磺酸、聚丙烯酸、PAMPSA、CSA、丙烯醯胺(AAm)、十二烷基苯磺酸、雙硫二苯胺、PAPSAH/ V_2O_5 、烷基衍生物、有機硫化物 DMcT、環上取代的 sulfonated polyaniline (SPAN)、氮上取代之 poly(aniline-co-N-propane sulfonic acid aniline) (PAPSAH)、o-sulfobenzoic anhydride PABSAH、PAPSAH poly(aniline-co-3-[(2-aminophenyl)sulfanyl]-1-propanesulfonic acid) (MPS-PAN)、負型摻雜(n-type 摻雜)、以 LiH、NaH、KH、 CaH_2 為摻雜物在聚苯胺的 DMSO(dimethyl sulfoxide,DMSO)溶液中進行摻雜	

註：PAMPSA：聚 2-丙磺胺-2-甲基-1-丙烯磺酸 poly(2-acrylamino-2-methyl-1-propanesulfonic acid)

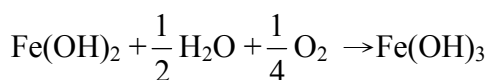
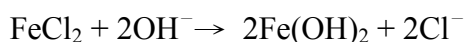
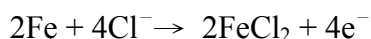
CSA：DL-10-Camphorsulfonic acid AAm：acrylamide

三、導電高分子聚苯胺之防蝕原理：

(一)鐵金屬腐蝕現象及原理：高中化學第三冊實驗二十三述及鐵生鏽之機構如下：



當外界存在氯離子時之腐蝕反應式如下：

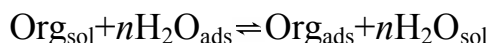


(二)陰極保護原理探討：犧牲陰極金屬的還原電位較陽極金屬為高，因此易放出電子造成氧化，使陽極金屬受到保護。

(三)聚苯胺防蝕機構及原理探討：

1.阻隔保護：如同傳統塗漆一般，聚苯胺高分子亦具有阻隔效應。但無法看出聚苯胺防蝕效果為何優於一般油漆。

2.腐蝕抑制劑：高分子有機物取代附著在鐵表面的水分子，如下式所示：



3.聚苯胺具有氧化還原催化的性質，因此會在高碳鋼的表面生成一鐵氧化物（ Fe_2O_3 及 Fe_3O_4 ）的惰性防護層，以避免腐蝕的繼續發生。聚苯胺催化 Fe 氧化成 Fe^{2+} 而本身則還原成 leucoemeraldine (LE)， Fe^{2+} 進一步氧化成 Fe_2O_3 ，而 O_2 則將聚苯胺的 LE form 再氧化成 emeraldine salt (ES)，如此地循環下去，而避免了鏽蝕的發生。

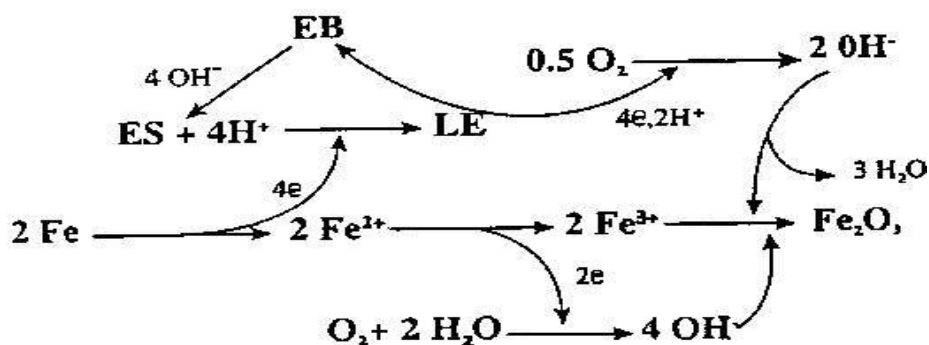


圖 2 聚苯胺防蝕反應機構

4.惰性化：為了達到保護效果，使腐蝕電位向陽極遷移，即減少鐵與溶氧及水之間的電位差，降低腐蝕驅動力，進而減緩腐蝕的速率。

5.形成保護性氧化物薄膜：當鐵表面塗上聚苯胺後會使鐵表面形成一層鐵氧化物薄膜。實驗顯示聚苯胺由透明轉為灰暗，且電荷傳送阻力也減小。

四、奈米粒子的特性：

(一)何謂奈米：

奈米為對一物質尺度的描述， $1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$ ，奈米粒子的定義即為介於 $1\text{ nm}\sim 100\text{ nm}$ 之間的的粒子，包括金屬、半導體、非金屬、有機、無機和生物等多種顆粒材料。此時的物質性質會呈現所謂的介觀現象，電子、光子、聲子自身和彼此的交互作用及其體積效應與表面效應所造成的電器、化學、熱傳、擴散、磁性和光學等性質，會呈現和相同材質的較大粒子全然不同的物理、化學及生物特性和現象。

(二)奈米的特性：

奈米粒子的特性如下：

- 【1】具有與一般固體晶體相或非晶質結構不同之原子結構。
- 【2】具有和其成分相同，但與傳統晶粒或非晶質不同的性質。
- 【3】可使原本無法混合的金屬或聚合物混合而成合金。由於其粒徑極小，可增大其表面效應，用以克服金屬與離子或金屬與聚合物無法在平常狀態下混合成體之困境。
- 【4】具有較大的表面能量和體積效應。
- 【5】交互作用：粒子內部因凡得瓦力、強磁性磁場、離子電場等，造成較易黏結及出現結晶構造改變或穿隧效應等現象。

(三)奈米粒子製備方法：

奈米粒子的化學製備方法係經控制化學反應生成固相成品之過程中的析出條件，以產生奈米粒子。其大致又分：

- 【1】沉澱法 【2】加水分解法 【3】氧化還原法 【4】雷射合成法
- 【5】水熱合成法 【6】溶劑乾燥法 【7】溶膠凝膠法 【8】微乳法
- 【9】化學氣相沉積法

以化學法製備奈米粒子時，常加入保護劑以控制粒徑成長及粒子聚集。

保護劑可分為三類：

- 【1】可溶性高分子 【2】界面活性劑 【3】偶合劑

五、微乳液法製備奈米

(一)微乳液和乳液：

由於油分子和水分子之間的高作用能（兩者不喜歡在一起），兩者的混合物通常會選擇分成油和水兩相以減少兩者間的接觸面積，並達到降低系統自由能的目的，所以們常稱油水不相容。但若在系統中加入具雙親性(同時親油和親水)，即界面活性劑，則油水便能混合成一均勻相。這種現象可能是乳液或微乳液。其兩者均由水、油、界面活性劑等至少三種成份以上所形成的混合物系統。從微觀的角度看，微乳液和乳液皆呈較複雜的組織結構，例如許多奈米大小的水滴分散在油相中。

微乳液和乳液在微觀結構上很相似，但微乳液是熱力學上穩定的，所以當系統受到一些干擾，如溫度和攪拌等，微乳液受到影響的改變不大，反之，乳液一旦受到干擾便無法回復互溶狀態。而穩定的微乳液有賴適當的界面活性劑配合。

(二)以微乳液製備奈米粒子：

奈米材料是目前材料科學研究的一個熱點，而奈米級超細顆粒是加工和製造奈米材料的原料，同時在催化、磁性材料、發光材料以及精密陶瓷等諸多領域得到了廣泛的應用。

微乳法製備奈米顆粒一般利用反膠束微乳液，反膠束微乳液是熱力學穩定體系，微乳內的水核實質上是一微型反應器，反應物於其中反應生成固相。微反應器控制反應物之成核、生長、聚結與團聚等過程，故形成外表被覆一層表面活性劑，且具一定凝聚形態結構之奈米微粒，而此表層可避免微粒間之相互再度凝結。可以通過選擇合適的微乳體系來控制水核的大小，且保證表面活性劑界面層有一定強度，從而控制微型反應器的尺寸，達到控制奈米微粒粒徑大小和分布的目的。同時表面活性劑包膜也解決了奈米微粒團聚的問題。此法可控制微粒之大小、結構與形態，且微粒之物化性較穩定，故頗受學者專家矚目。

肆、研究設備器材及實驗過程：

一、儀器：

(一)原子力顯微鏡 (Atomic Force Microscope : AFM)

(二)循環伏特安培儀

二、實驗藥品：如下表 3。

表 3 實驗藥品一覽

藥 品 名 稱	分 子 式	備 註	藥 品 名 稱	分 子 式	備 註
鹽 酸	HCl	摻雜劑	過硫酸銨	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	氧化劑
苯胺 Aniline	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$		十二烷基苯磺酸鈉		界面活性劑

三、實驗設備：

(一)電子秤

(二)磁石攪拌機

(三)水流抽氣過濾器

(四)真空乾燥箱

四、實驗過程：

(一)準備工作：

1.反應物秤取：苯胺， $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2=93$ ；過硫酸銨， $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8=228$ 。欲使兩者以莫耳數比 1：1 在酸中進行反應，可取苯胺 0.17 克（相當於 0.00183 莫耳），並取過硫酸銨 $0.00183 \times 228 = 0.417$ 克於酸中進行反應。

表 4 反應物與氧化用量表

反 應 物	分子量	莫耳數 (在酸中)	應取重量 (克)	莫 耳 數 (在水中)	應取重量 (克)
苯胺， $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	93	0.00183	0.17	0.01	0.93
過硫酸銨， $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	228	0.00183	0.417	0.01	2.28

2.配製 250 ml (1.2 M) 鹽酸：配製所需 HCl 莫耳數=0.3 莫耳，應取比重 1.19，37 %

HCl 體積 ($=0.3 \times 36.5 \div 0.37 \div 1.19$) 24.86 ml，以純水稀釋至 250 mL 即可。

表 5 鹽酸配製表

配製鹽酸 濃度 (M)	配製鹽酸 體積 (ml)	莫耳數	應取 1.19, 37% HCl 體積 (ml)
1.2	250	0.3	24.86
1.2	1000	1.2	99.44

3.界面活性劑用量：十二烷基苯磺酸鈉, $C_{12}H_{25} \cdot C_6H_4 \cdot SO_3Na$ ，分子量 348.98。取和反應物莫耳比 1：1 的質量。即：

在酸中： $348.98 \times 0.00183 = 0.6386$ 克

在水中： $348.98 \times 0.01 = 3.4898$ 克

4.苯胺單體的還原（純化）：苯胺單體在空氣中會逐漸氧化而呈紅棕色，使用前通常需要進行還原反應。以 9.3 g aniline (0.1 mol): 6.54 g Zn powder(0.1 mol)比例共同置入圓底燒瓶中還原並蒸餾純化，加溫至 $184^\circ C$ 後冷凝出透明無色液體即為純苯胺。實驗裝置圖如下：

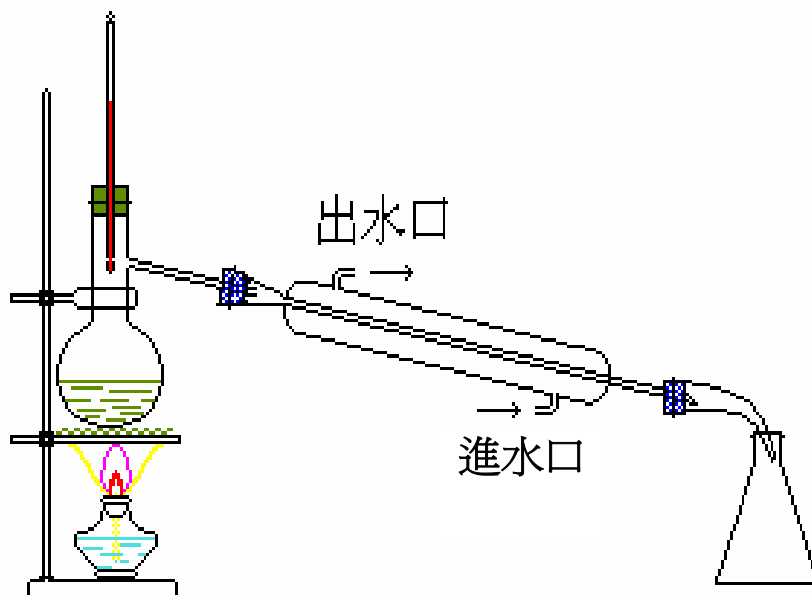


圖 3 純化苯胺單體裝置圖。

(二)實驗計畫：如下表 6。

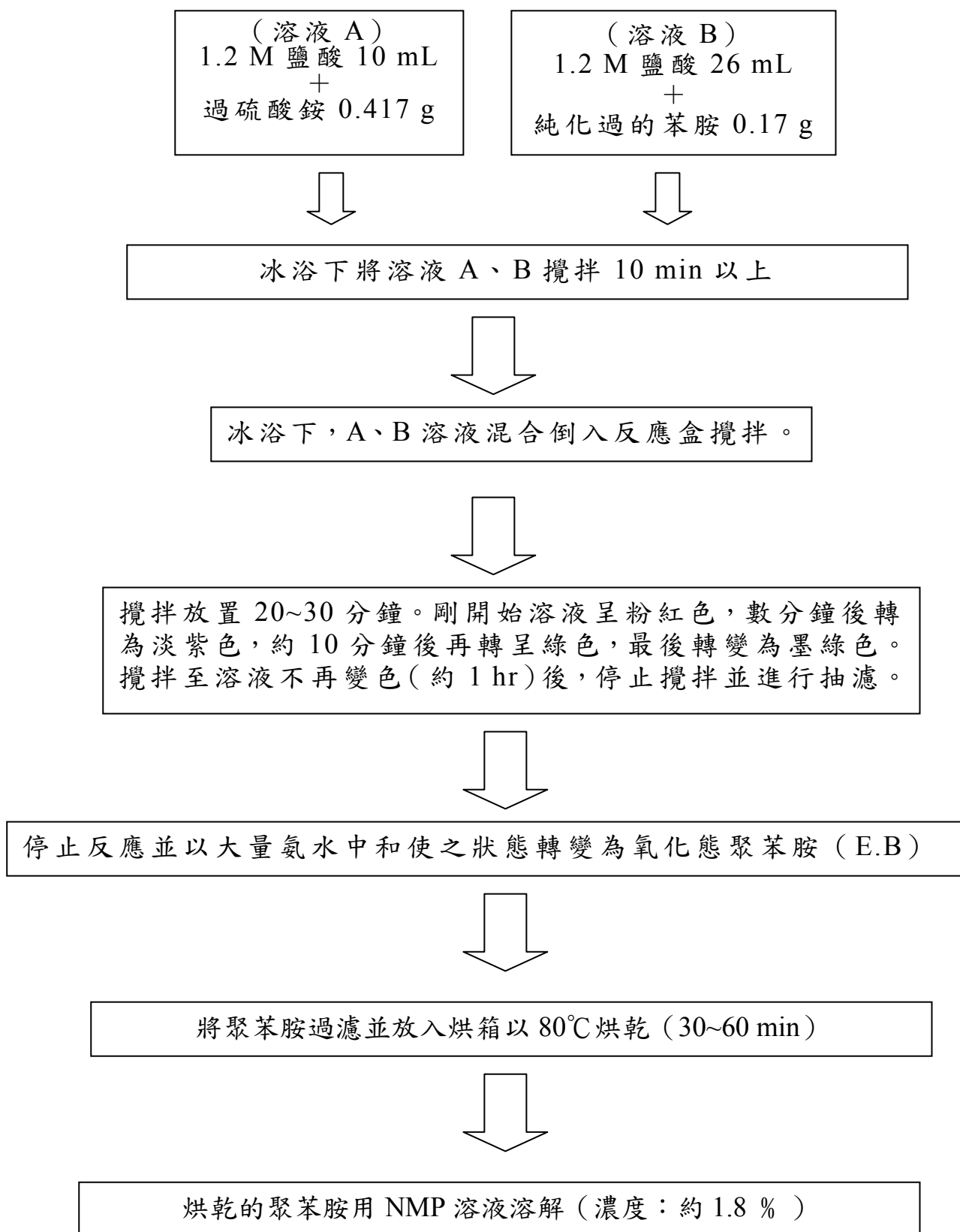
表 6 實驗計畫

實驗編號	反應條件	摻雜酸	界面活性劑	反應溫度 ($^\circ C$)
E1	在鹽酸中反應	HCl	十二烷基苯磺酸鈉	3-5
E2	在鹽酸中反應	HCl		3-5

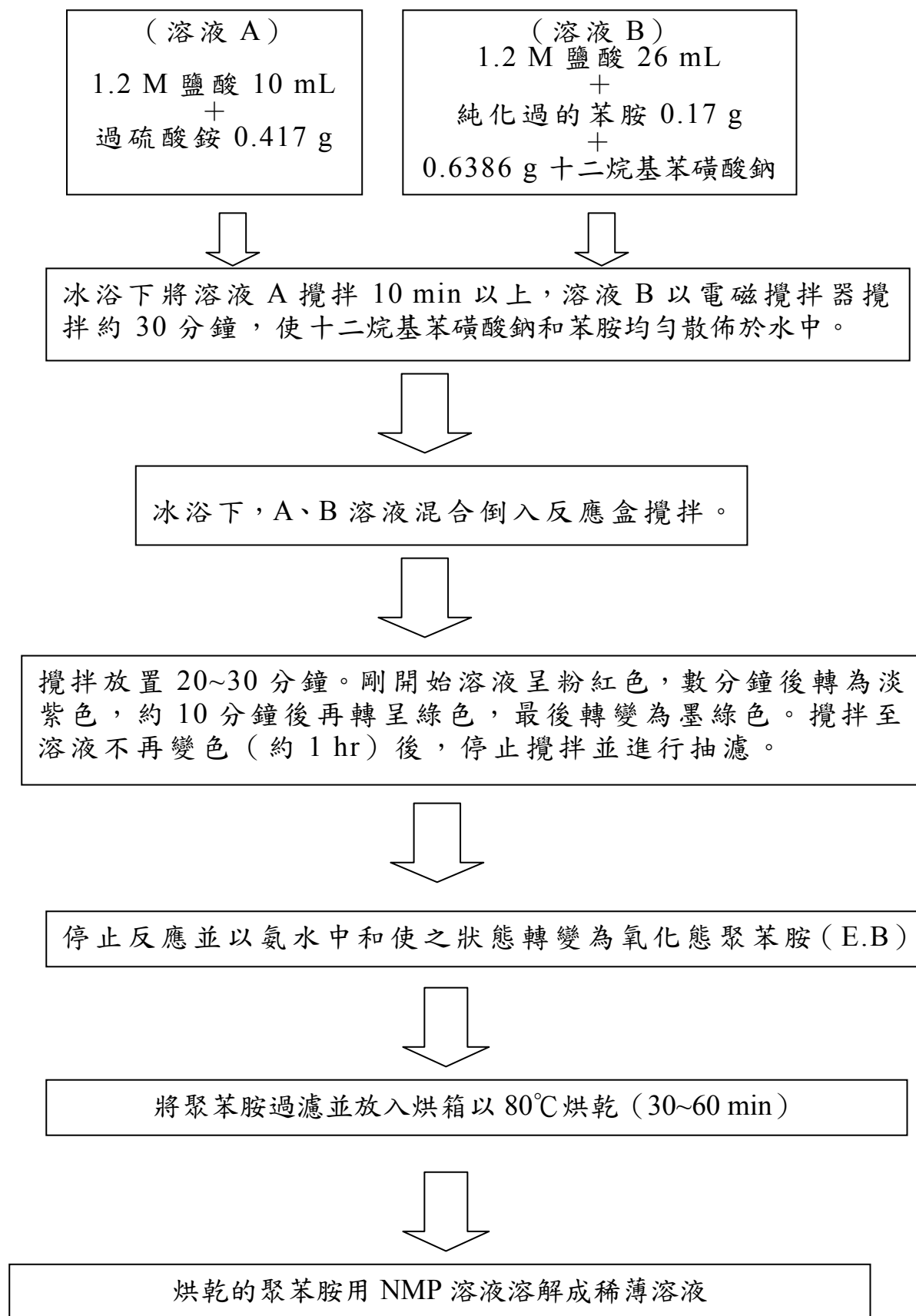
註：反應條件：①反應物：苯胺單體，②氧化劑：過硫酸銨，③界面活性劑：十二烷基苯磺酸鈉，④反應物/氧化劑/界面活性劑（莫耳數比）：1：1：1。

(三)實驗步驟：

1.製備聚苯胺（Poly-aniline，PAN）粒子：



2. 製備聚苯胺奈米 (non-polyaniline) 粒子



(三)PAN 顆粒大小分析：

將聚苯胺溶液以旋轉塗佈機塗佈於載玻片上，以 AFM 觀察其表面高低起伏狀況，以判定其顆粒大小。操作原理如圖 4：

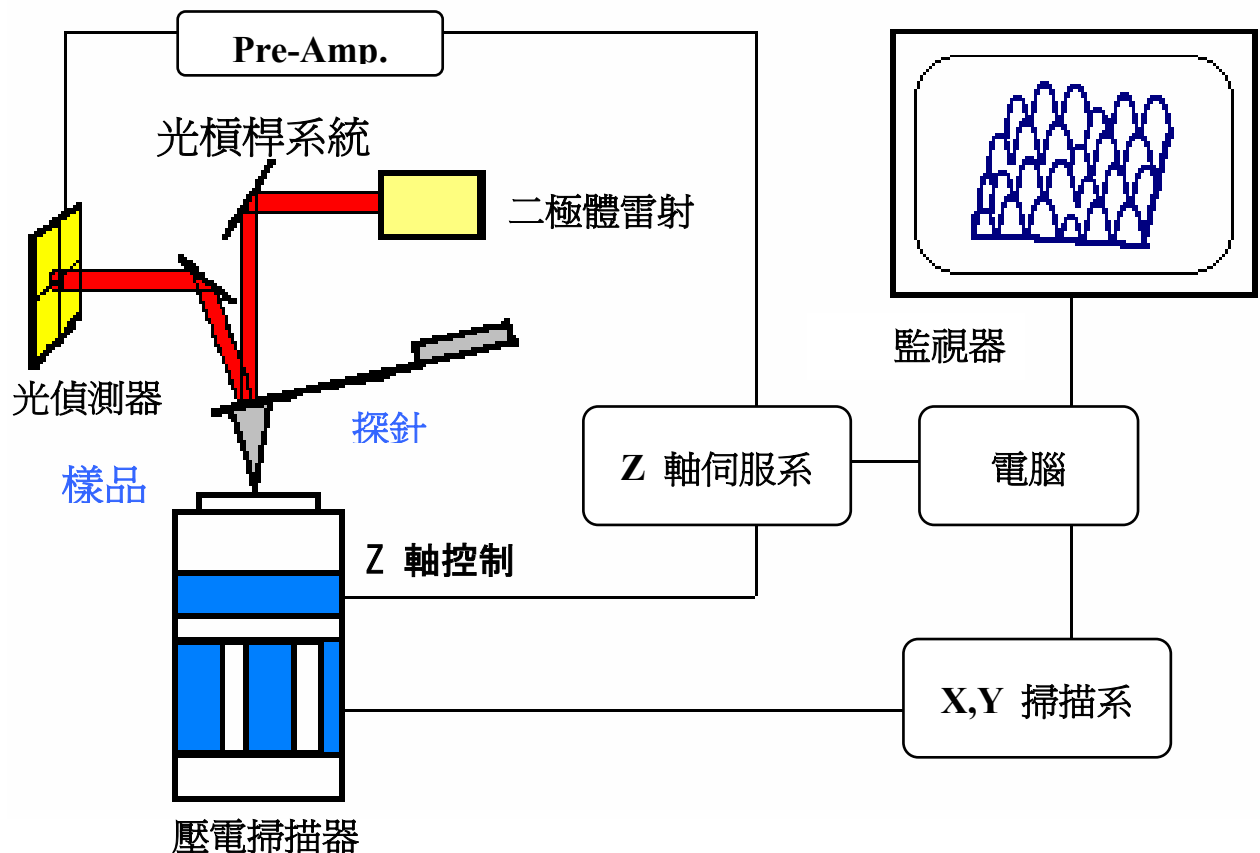


圖4 AFM的成像原理示意圖

(四)PAN 與金屬防腐蝕測試：

1.冷捲鋼（cold-rolled steel, CRS）處理：

- (1)以砂紙磨除鐵鏽。
- (2)將 CRS 裁成長寬各約 1 cm 的正方形。

2.將 PAN coating 在事前放置在加熱板上裁好之約 1 cm² 的冷捲鋼（cold-rolled steel，CRS），微微加熱至乾。量測 coating 的厚度後，將冷捲鋼片安置在自製的工作電極（Working Electrode）上，連接 CV 儀器，以飽和甘汞電極（Saturated Calomel Electrode, SCE）為參考電極（Reference Electrode），碳棒為輔助電極（Counter Electrode），並以 5 wt-% NaCl_(aq) 為電解質（Electrolyte）。其工作裝置如圖 5：

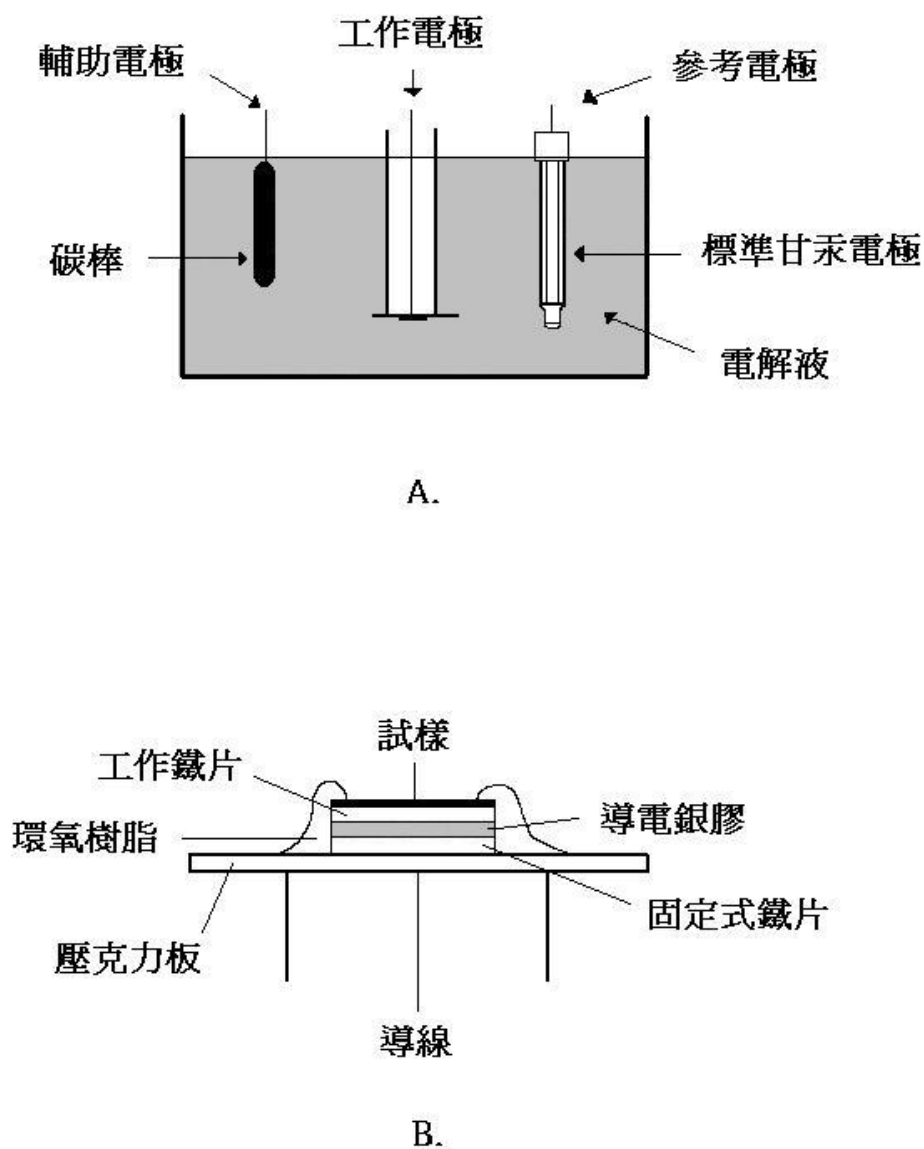


圖 5 A.循環伏特安培儀工作裝置圖；B.工作電極剖面圖

- 3.取另一片乾淨的 CRS，不經任何特殊處理以同樣方式進行量測，和步驟 2 作比較。
- 4.藉由量測腐蝕電位 (E_{corr})、極化電阻 (R_p)、腐蝕電流 (I_{corr}) 和腐蝕速率 (R_{corr}) 來印證 PAN 是否具有防蝕性。

伍、實驗結果與討論：

一、實驗結果：

(一)PAN 顆粒大小分析：如下圖 6～9。

PAN 粒子【參照實驗過程】

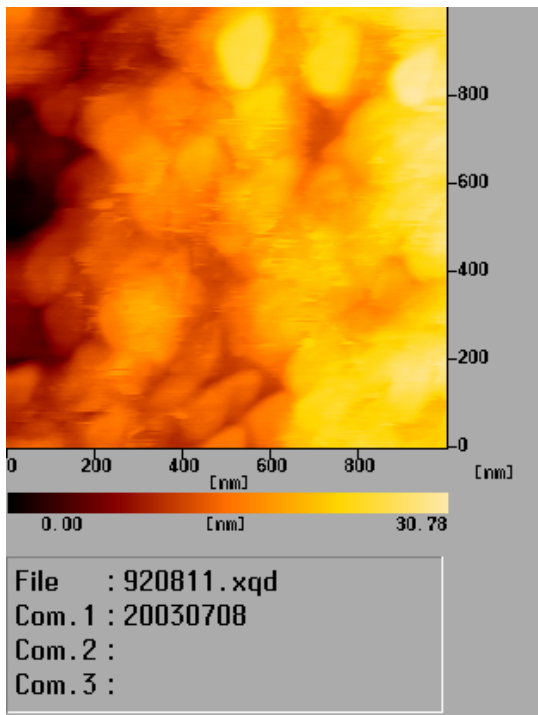


圖 6

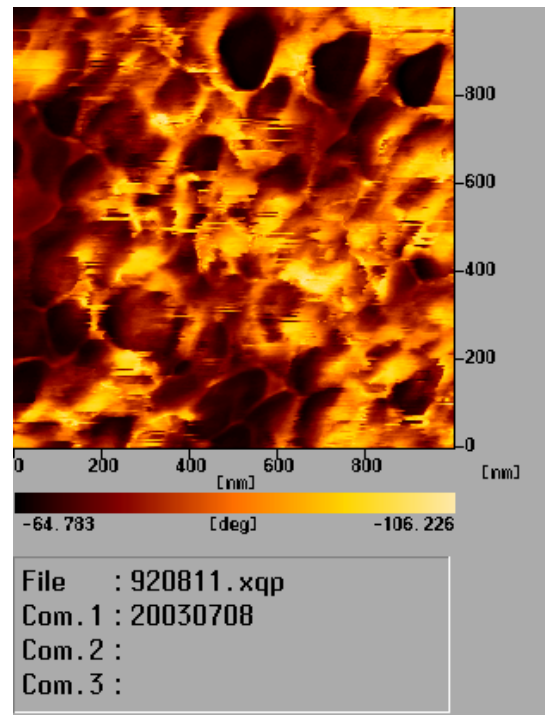


圖 7

聚苯胺奈米粒子【參照實驗過程】

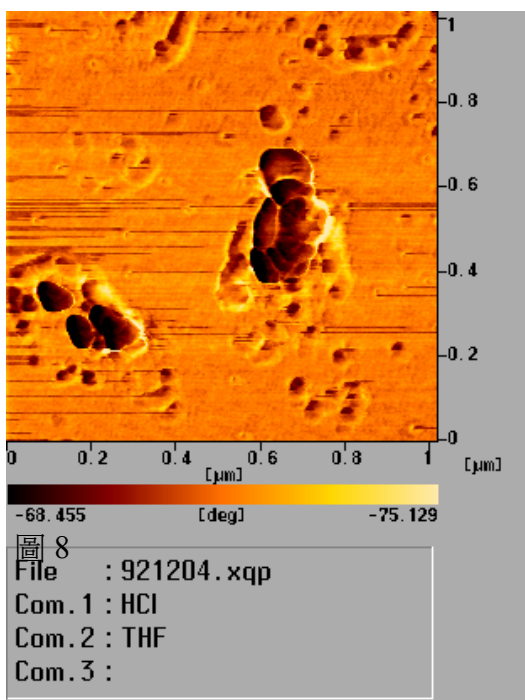


圖 8

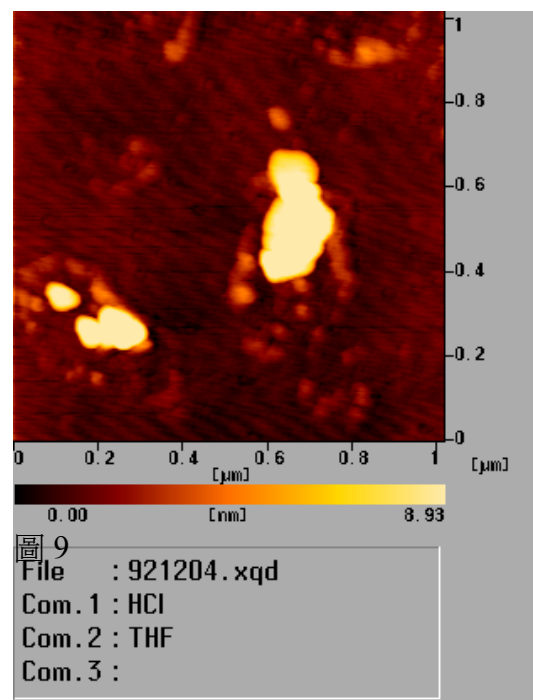


圖 9

(二)防蝕效果分析（腐蝕液：NaCl）：如下表 7 及圖 10。

表 7 防腐蝕測試結果

Compound Code	Coating thickness (mm)	Electrochemical Corrosion Measurement			
		E_{corr} (mV)	R_p ($k\Omega \cdot cm^2$)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	R_{corr} (MPY)
Bare	--	-641.0	0.80	44.4	20.72
PAN	0.006	-561.3	11.94	3.91	1.82

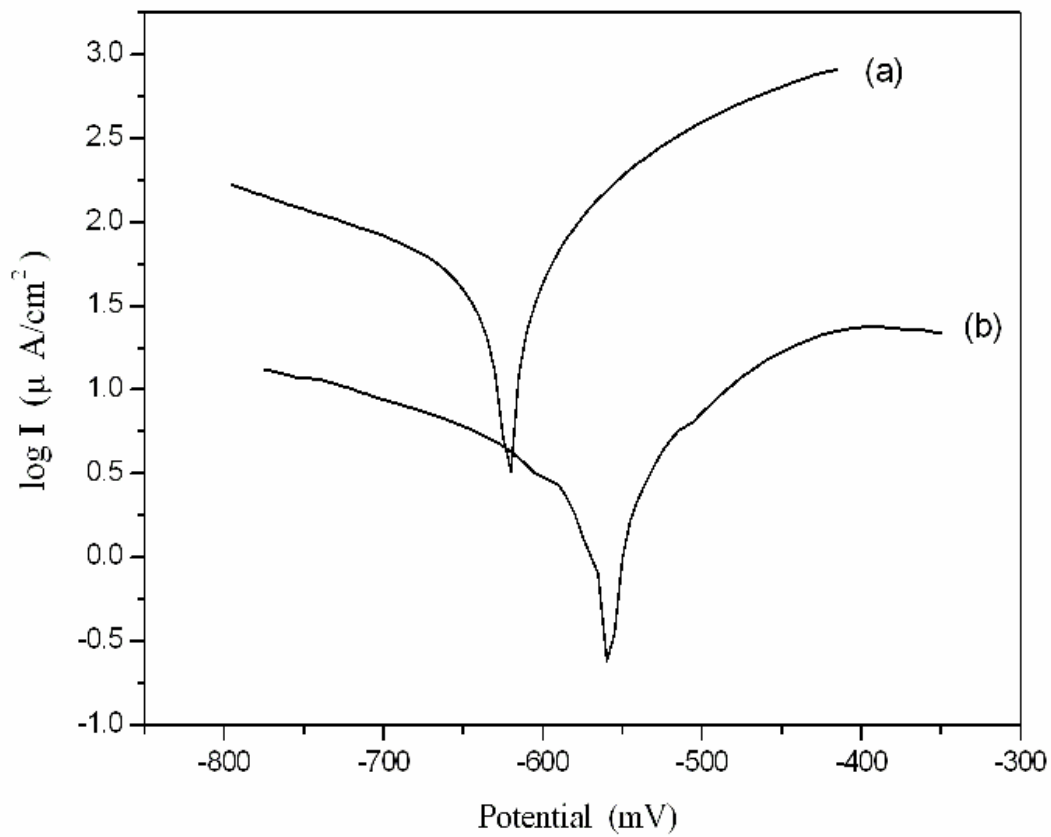


圖 10 Tafel Plot

註：Tafel Plot 中 (a)是空白鐵片；(b)是 coating polyaniline 的鐵片

二、討論：

(一)聚苯胺製備與溶解度：

一般化學合成法將苯胺單體置於水溶液中攪拌，利用機械力使苯胺單體分散成液滴，停止攪拌後苯胺單體液滴會再度凝聚，苯胺與水溶液形成兩連續相，故兩相在攪拌狀態中屬於動力學平衡。苯胺單體液滴大小隨攪拌力而變化。

由於實驗使用方法之原理為微乳液法，此法是利用界面活性劑特有的親水端與疏水端在溶液中形成微胞，使親油的苯胺在微胞中進行合成，使其成為顆粒較小的聚合物。目前所合成出來的聚苯胺粒徑約為 200 nm 左右，已經比純粹化學合成法所製備的聚苯胺顆粒小了很多。

本研究所製備出來的聚苯胺能有效溶解在水相溶液中。

(二)防腐蝕測試：

我們量測開放循環電位（Open circuit potential, OCP）待穩定平衡狀態時相對於 SCE 的電位即為腐蝕電位（ E_{corr} ）。極化電阻則是以 500 mV/min 的掃描速率掃描至超過 E_{corr} ，將變化以電位-電流為座標繪圖，所得到的斜率即為極化電阻（ R_p ）。而我們由 -250 mV 掃描至 +250 mV 所得到的數據以 $\log I$ 跟 E 作圖（此圖稱作 Tafel Plot），可得到兩條曲線（anodic plot & cathodic plot），這兩曲線的切線與 E_{corr} 的位置會交會於一點，那點外推出去所得到的電流值便是腐蝕電流（ I_{corr} ）。而腐蝕速率（ R_{corr} , in milli-inches per year, MPY）則須代入下列公式計算得之。

$$R_{corr} (MPY) = [0.13 I_{corr} (E.W.)] / [A \times d]$$

註：E.W. 為當量重（g / eq），A 為 CRS 之面積（ cm^2 ），d 為 CRS 之密度（g / cm^3 ）。

腐蝕電位愈高，極化電阻愈大，腐蝕電流愈小，則材料愈具有防蝕性。由表 7 中可得知，有 coating PAN 的 CRS 比未 coating 的 CRS 有較高的腐蝕電位，從圖的 Tafel Plots 中可看出由 anodic curve 和 cathodic curve 所組成的雙曲線有向右下延伸的趨勢，也就是說腐蝕電位有變大、腐蝕電流有變小的趨勢，亦表示防蝕性質的提升。

陸、結論：

因為聚苯胺的防蝕機制至今仍有很多種說法，故我們僅能以現有資料作為探討。根據文獻，聚苯胺的防蝕機制有阻隔保護這一層機制，因此我們還必須考慮到是否會受微胞影響，因為顆粒數越多，在表面形成的間隙相對於也更多，因此會影響其防蝕效果，實驗也證實此方法的防腐蝕效果並不如預期。故雖然形成微胞會增加其與金屬附著力，但我們最後仍選擇以較大的聚苯胺進行防腐蝕研究，其防蝕效果因此提高約 20 倍。

而在進行聚苯胺的合成及溶解部分則已有所突破，聚苯胺可有效的懸浮在水溶液中，且顆粒明顯縮小，以致幾乎達到奈米程度。

柒、參考文獻：

1. 王順程 曾文良 曹恆光，2000，微乳液簡介，化工，第 47 卷 第三期，P.53～67
2. 林鴻明，2002，奈米材料的發展趨勢，科技發展政策報導，SR9109，648～659
3. 李翌翠，張育雯，防蝕專家－聚苯胺，中華民國第四十一屆科展，應用科學科，91.7.23
4. 李祐慈，2002，加拿大二 OO 二年科學展覽會化學組第一名－界面活性劑對硫奈米微粒形成機制的影響
5. 吳茂昆，2002，美好的未來不是夢－簡介奈米國家型科技計畫，科技發展政策報導，SR9109，643～647
6. 周文俊，1999，度膜厚度對 TiN 薄膜結構及性質之影響研究，國立清華大學碩士論文，P.42～P.46
7. 陳壽安，導電高分子：新世代光電材料，物理雙月刊，23:2 民 90.04 頁 312-321
8. 喬慶東，王勝，王巍，雷良才，新型共混十二烷基苯磺酸摻雜的聚苯胺導電膠的合成，精細化工 FINE CHEMICALS，1999 年，第 16 卷，第 2 期
9. 喬慶東，王勝，王巍，雷良才，新型共混十二烷基苯磺酸摻雜的聚苯胺導電膠的合成，精細化工 FINE CHEMICALS，1999 年，第 16 卷，第 2 期
10. Moon Gyu Han, Seok Ki Cho, Seong Geun Oh, Seung Soon Im，2002，Preparation and characterization of polyaniline nanoparticles synthesized from DBSA micellar solution，Synthetic Metals 126，p.53～60

評語及建議事項

本件作品為去年(2003)的儲備作品，經過一年的努力，在中央大學楊思明教授指導下，雖然成果沒有預期：聚苯胺"奈米"防蝕之"具體"(和傳統方法比較)，但在本年度所有作品，本件是最具科學過程與技術的一件 fine art 的作品。