

磁性顆粒應用於晶背研磨廢水凝絮處理之研究

徐啟銘，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系教授
萬騰州，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系副教授
徐亞麟，國立雲林科技大學防災與環境資源工程研究所研究生
林福地，國立雲林科技大學防災與環境資源工程研究所研究生
蕭勝涵，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系碩士
黃崇輔，國立雲林科技大學工程科技研究所博士生

摘要

晶背研磨廢水處理過程通常需添加大量化學藥劑且會產生大量污泥，增加後續處理負荷。本研究前期利用自製磁種顆粒(Fe_3O_4)處理晶背研磨廢水中不易沉降之研磨磁粒及懸浮微粒。探討不同 pH(5~9)、外加磁場(0~2000Guass)對沉澱時間及磁種顆粒與 Polyaluminum chloride(PAC)混凝劑(0~0.06g/L)搭配加藥量之影響。最後評估磁種微粒回收再利用之可行性。

研究結果顯示，晶背研磨廢水之濁度經磁種凝絮處理後濁度明顯下降。在磁種添加量 3.74 g/L、pH=5 及外加磁場強度 1,000G 條件下可使晶背研磨廢水濁度降至 23NTU；而不同混凝條件對於磁種搭配混凝劑之凝絮有不同結果，若使用連續快混二階段加藥《快混(加磁種)→快混(加 PAC)→慢混》效果比一階段加藥《快混(同時加磁種及 PAC)→慢混》有較佳處理效果；此外，若搭配混凝劑 0.01g/L，則磁種使用劑量可降低至 2.49g/L 和 1.24g/L，而不影響其處理效果。與傳統 PAC 混凝劑處理相較下可減少至 6 倍(0.06g/L)；磁種 2.49g/L 使用至第三次時其濁度去除率仍高達 87%。當磁種 1.24g/L 第二次使用時濁度去除率僅有 70%。推測磁種顆粒吸附廢水濁度微粒達飽和，而影響其回收成效。

關鍵字：晶背研磨廢水、磁性顆粒、外加磁場、凝絮、回收再利用

一、前言

晶背研磨(Backside Grinder, BG)廢水中含多量極微細的顆粒雜質，這些顆粒雜質具有高穩定分散狀態之特性且不易沉降造成廢水濁度過高。若後續處理不當直接排放，將對於環境造成相當程度的污染。

目前半導體產業對於研磨廢液多採用化學混凝沉澱方式處理(Michael J et al., 1995; C. Touris et al., 2001)，另外也有部份業者利用薄膜技術(如：MF 微過濾法、UF 超過濾...等等)來處理，但薄膜處理應用於半導體廢水處理會使孔洞阻塞現象，造成使用年限縮短，故不是很適用於處理半導體廢水(Tom Weigert et al., 1999 ; Gordon C.C.

Yang et al., 2003 ; Sheng H. Lin et al., 2004)。於研磨過程之後需採用大量的超純水來洗淨晶圓表面所殘的懸淨微顆粒或金屬離子污染物，而產生研磨廢液及後段清洗廢水，半導體廠商對廢水處理方式，多利用混凝藥劑進行混凝，促使水中奈米級粒子凝集進粒徑變大，再以過濾方式(如：砂濾或 MF)加以濾除，並將薄膜分離處理後的放流水加以回收，作為冷卻水塔的補充水、洗滌塔清洗水或一般清洗用途等次級用水。在處理上常需添加不同化學藥劑，而加藥量有時難以控制，對於奈米級且界達電位極強、極穩定之研磨顆粒，若顆粒之反應不完全時，易造成混凝成效不佳，無法確保處理效果，而超量加入混凝藥劑雖可有效提升去除效率，但產生之大量污泥仍會增加後續處理負荷(張俊彥,1996；劉訓瑜,1999)。

近年來磁種凝絮技術逐漸被應用於廢水處理領域，例如化學機械研磨廢水(Ching-Ju Monica Chin et al.,2006)及高濁度廢水(Shang-Lien Lo et al.,2008)皆有用這方面技術處理廢水。其主要是利用鐵氧磁體經磁化後，於廢水中吸附水中懸浮污染物，可使濁度降低，若在處理階段同時加入混凝劑形成之膠羽粒子也受磁場磁力作用，最後置於外加磁場待沉澱其處理效果會因外加磁場強度增強而提高。(陳珮紋,2004，王永立,2006)。

二、 研究方法與儀器設備

2.1 實驗設備及藥品

氯化鐵($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)和氯化亞鐵($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)提供製備磁種來源。氫氧化鈉(NaOH)作為鹼性反應環境及調整 pH 值。硫酸(H_2SO_4)調整 pH 值。晶背研磨廢水取自國內某半導體製造場。

瓶杯試驗器(Cherng Huei, CG-8277)使反應務能夠均勻混合反應。蠕動式泵浦(MANOSTA VEAR)控制加藥速度。粒徑量測儀(MALVERN NANO-ZS ZEN3600)及界達電位分析儀(MALVERN NANO-ZS ZEN3600)量測顆粒粒徑分佈範圍及界達電位範圍。掃描式電子顯微鏡觀察顆粒外觀。X 光繞射分析儀量測顆粒之晶型結構加以定性。濁度計(U.S.A/Modle, 2100 P/HACH)量測溶液之濁度值。

2.2 晶背研磨廢水水質分析檢測

晶背研磨廢水採樣取回後，進行外觀、組成分析(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES)、pH 值、導電度、濁度、SS、TDS、界達電位及其它物化性質之量測，以了解基本研磨廢水之水質特性。

2.3 研究流程

本研究的主要內容為磁種具有磁性，靜置於外加磁場提高處理效率及減少沉澱時間。本研究主要分成三大階段，第一階段主要為磁種配置實驗，藉由不同操作條件，製備最適用之磁種顆粒。第二階段為磁性凝絮實驗，探討不同劑量、水質條件、外加磁場強度因子及不同磁種劑量與混凝劑之加藥量搭配，探討其磁種凝絮處理晶背研磨廢水可行性。第三階段為探討其磁種有效利用之效益。以期望藉由不同於傳統混凝處理方法及磁種凝絮之特性，達到水資源回收再利用之最終目的。實驗進行步驟如下列說明：

(1). 製備不同濃度之磁種劑量

首先配置不同濃度(如表 1 所示)之 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 混和溶液逐滴

加入 NaOH 鹼液中並以 300rpm 攪拌合成，此時溶液會變黑色。最後以逆滲透(RO)水清洗磁種。其磁種合成程序如圖 1 所示。

表 1 配置不同磁種濃度

	FeCl ₂ · 4H ₂ O	FeCl ₃ · 6H ₂ O	NaOH (50ml)	Fe ²⁺ : Fe ³⁺	磁種理論 生成量 (g)
	O (100ml)	₂ O (100ml)			
1.	1.24g	2.5g	1.62g	2:3	1.24
2.	2.47g	5g	3.23g	2:3	2.49
3.	3.70g	7.5g	4.84g	2:3	3.74
4.	4.93g	10g	6.45g	2:3	4.99
5.	6.16g	12.5g	8.06g	2:3	6.23
6.	7.39g	15g	9.67g	2:3	7.49
7.	8.62g	17.5g	11.28g	2:3	8.72

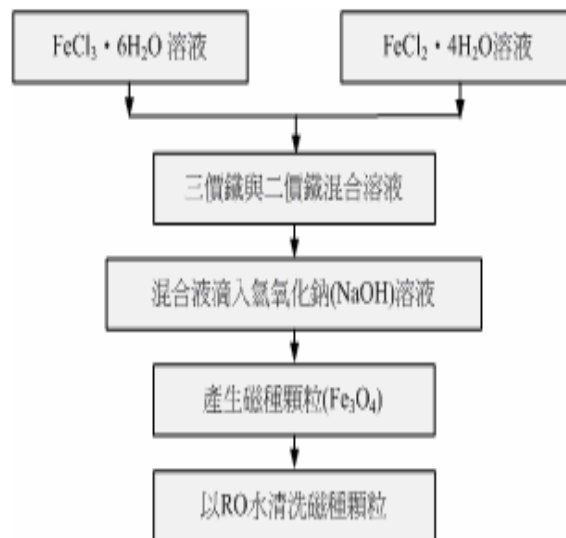


圖 1 磁種合成步驟

(2). 磁種凝絮實驗

磁性凝絮實驗，探討不同劑量、水質條件(pH)、外加磁場強度及不同磁種劑量及混凝劑之加藥量，探討其磁種凝絮處理晶背研磨廢水可行性。實驗凝絮流程如圖 2 所示。

磁種顆粒泥漿加入晶背研磨廢水中進行瓶杯試驗步驟如下：

(a). 不同濃度磁種顆粒泥漿

取 1000 mL 晶背研磨廢水與不同濃度磁種顆粒泥漿混合，而混合溶液快混 100rpm(3min)及慢混 30rpm(20 min)後，靜置於外加磁場沉澱 30min 且每 5min 量測其上層液之濁度。並觀察其磁種顆粒泥漿與晶背研磨廢水混合上層液變化情形。

(b). 不同因子對磁種顆粒泥漿凝絮作用之影響

加入不同濃度之磁種顆粒泥漿(表 1)，探討其初步實驗劑量、調整不同 pH 值之晶背研磨廢水(pH=5,6,7,8,9)，探討凝絮之最佳 pH 值及靜置於外加磁場強度(0、500G、1000G、1500G、2000G)，探討其最適之外置磁場。最後藉由添加混凝劑(0~0.06g/L)與磁種之添加量於凝絮程序中，尋求最經濟之加藥組合。

(3). 磁種有效利用實驗

本研究有效利用之磁種污泥，因磁種微粒與晶背研磨廢水中磁粒凝絮，以致表面電位特性及凝絮效果可能因此改變，造成其處理效果降低。而磁種有效利用實驗為直接再利用污泥中磁種，即為處理晶背研磨廢水後，沉澱之磁種污泥，不經任何處理且再次處理晶背研磨廢水，故本磁種有效利用實驗主要探討不同濃度磁種及不同劑量之混凝劑，探討其有效再利用之次數與去除率。磁種污泥有效利用流程，如圖 3 所示。

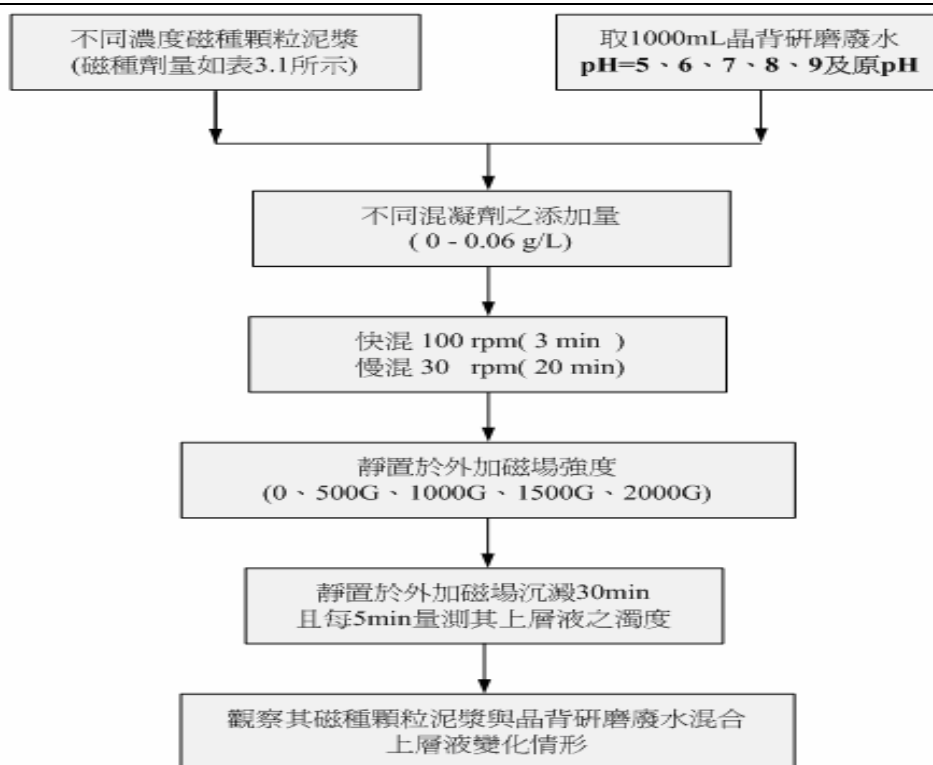


圖 2 磁種凝絮實驗流程圖

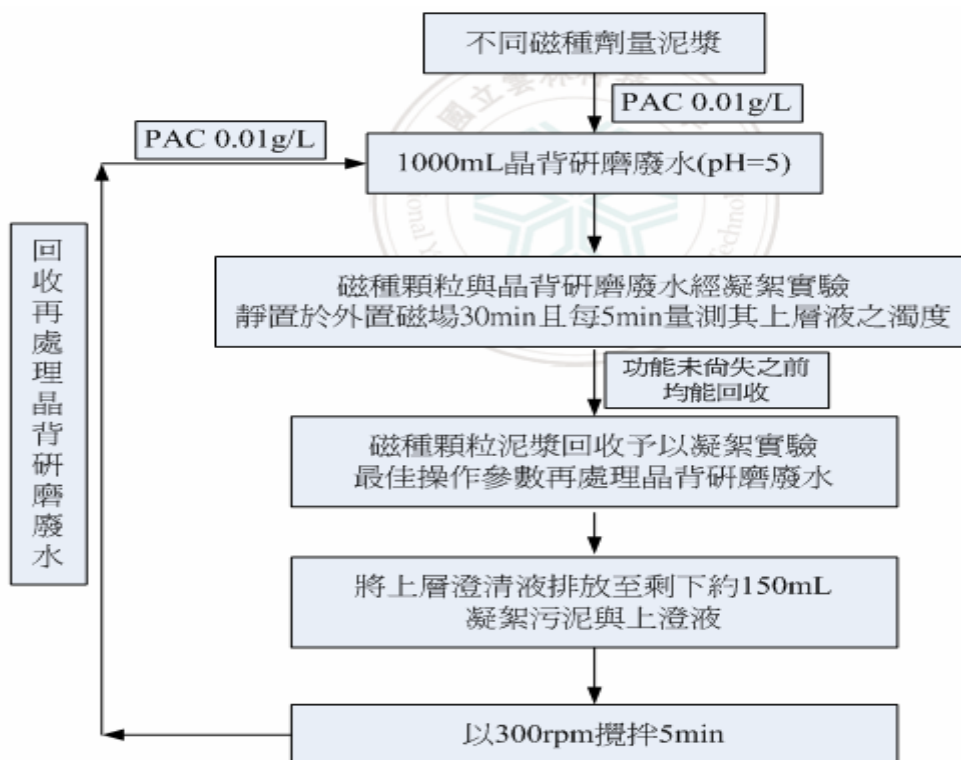


圖 3 磁種污泥有效利用流程圖

三、 結果與討論

3.1 晶背研磨廢水水質特性及分析

本實驗廢水取自某半導體廠之晶背研磨廢水，屬於中後段晶圓切割製程時加工研磨過程所產生之晶背研磨液，該廠每天約產 200 m³，其中包括 8 吋晶圓 120 m³，12 吋晶圓 80 m³；晶背研磨廢水外觀呈黑褐色，主要成分為研磨過程中所產生之矽粉末，經超純水沖洗後所產生不易沉澱且具高穩定性的研磨矽微粒(二氧化矽)與超純水及少許微量金屬。

本實驗每次取樣回來，針對晶背研磨廢水進行各項基本水質檢測包括：pH 值、SS、濁度、導電度、TDS、外觀及研磨砥粒粒徑等。晶背研磨廢水基本水質分析實驗結果得知其 pH 值接近於中性(6.3-8.1)，呈現黑褐色。係因為 IC 構裝製造廠於晶圓背面切割研磨過程中所產生之晶圓碎屑。此外，該廠所產生之廢水濁度變異頗大，濁度介於 1,900~2,500 NTU，係因每批晶圓初成品的不同，因此造成不同差異的濁度，水樣中之懸浮固體屬奈米級之超微粒，具有不易沉降及穩定性強之特性，而廢水組成大多是超純水及二氧化矽，所以廢水導電度並不高，而其它相關水質基本特性如表 2 及表 3 所示，由表可知晶背研磨廢水水質變化頗大。

表 2 晶背研磨廢水水質特性

水質項目	數值
pH 值	6.3-8.1
SS (mg/L)	150-250
TDS (mg/L)	910-1,350
濁度(NTU)	1,900-2,500
導電度(μS/cm)	46.1-56.4
界達電位(mV)	-29.5±5
粒徑(nm)	310-450
廢水外觀型態	黑褐色

表 3 晶背研磨廢水 ICP-AES 元素分析結果

元素成分	數值 mg/L
Si	232.1-258.6
Ca	31.9-35.86
Mg	3.4-7.2
Pb	0.80-0.64
Zn	3.2-2.1
Cu	0.32-0.60
Fe	2.5-11.9

(以上數據分析三次範圍)

3.2 磁種顆粒製備與鑑定

當反應發生完全時，會有雜質殘留在膠體溶液中，所以要予以水洗(製備完成後經有水洗後的pH 為5.5±0.5且微粒粒徑大小平均200nm-300nm)，可將上殘留雜質去除，留下Fe₃O₄為主之膠體顆粒。靜置一段時間後，由於重力作用Fe₃O₄會沈澱於瓶底，上層則為清澈透明液；然而，當我們稍微搖晃一下分層的膠體溶液時，下層的沈澱顆粒又會重新分散於溶液中。

將製備好之磁種分析其粒徑分布，如圖4。而圖5為自行製備之磁種待烘乾後經X光繞射分析儀(X-ray Diffraction, XRD)分析之繞射圖。由(Deng et al.,2003)及JCPDS(Joint Committee on Powder Diffraction Standards)資料庫之圖譜進行比對得知，磁種(Fe₃O₄)晶型會出現在2θ= 30°、35°、43°、57°和63°左右，可判定製備合成物為磁

種(Fe_3O_4)顆粒。再由圖6為利用掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)得到磁種(Fe_3O_4)之外觀。

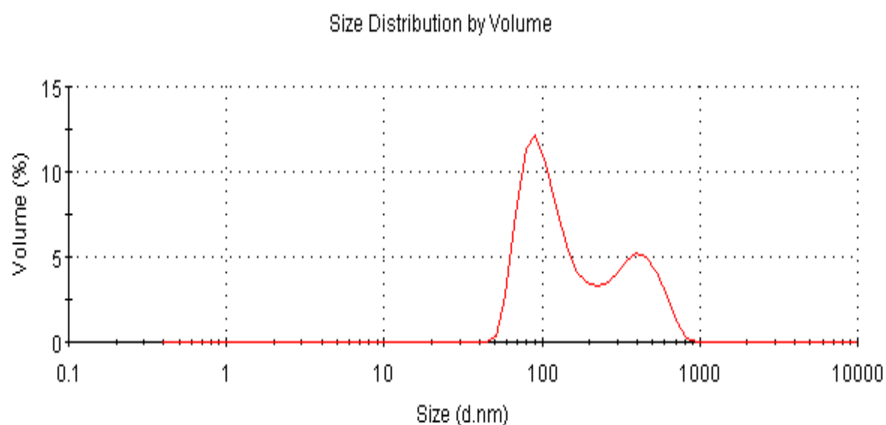


圖 4 自行配置磁種之粒徑分布圖

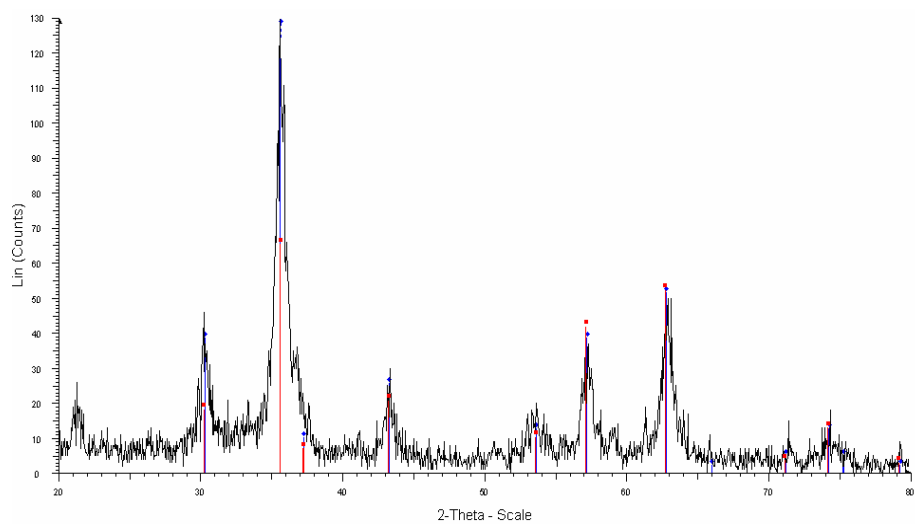


圖 5 自行配置磁種 XRD 光譜圖

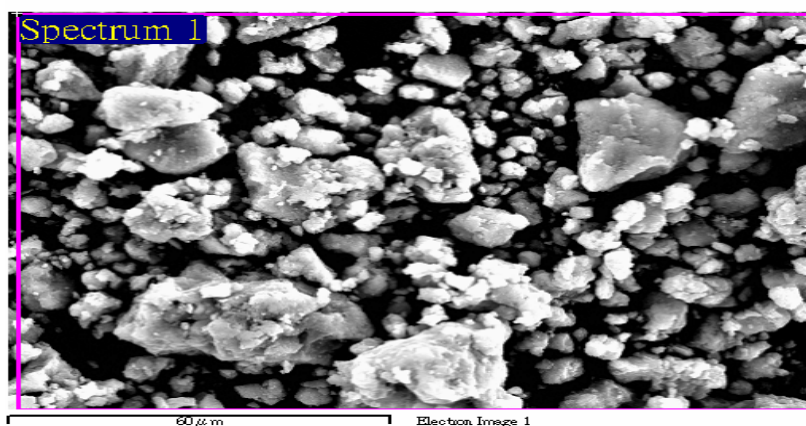


圖 6 自行配置磁種 SEM 觀察(60µm)

3.3 磁種顆粒(Fe_3O_4)與晶背研磨廢水凝絮作用

(1). 磁種顆粒(Fe_3O_4)初步實驗量的決定

晶背研磨廢水中的懸浮顆粒呈現高穩定的狀態，在加入不同劑量磁種顆粒泥漿均勻混合後，其濁度會急遽的升高，使得磁種顆粒與廢水中顆粒彼此的距離變近。當其進行凝絮實驗時，磁種劑量太少會造成去除效果不理想，然而要達到良好效果此時所耗用的磁種顆粒量很大。如此增加了磁種藥劑費用且同時會增加大量污泥，使得產生之污泥處理上又是一個問題。

由表 4 及圖 7 發現，當磁種添加量從 3.74 g/L 增加至 4.99 g/L 或加入更多磁種劑量，其濁度去除差異不大，其水中殘留濁度由 179NTU 上升至 192NTU，推測此時水中殘留懸浮物為加過量之磁種及較穩定之微粒，因濁度會隨靜置時間增長而降低。另外磁種添加量從 2.49 g/L 增加至 3.74 g/L，水中殘留濁度由 768NTU 降低至 179NTU，此時水中殘留懸浮物為較穩定微粒。由此可知，3.74 g/L 的磁種劑量為此批廢水最適加藥量，本研究後續實驗皆以此劑量進行。圖 8 及圖 9 為晶背研磨廢水凝絮前後之影像。

表 4 不同磁種劑量對凝絮效果影響表(無外加磁場情況下) 單位：NTU

磁種濃度(g/L)	1.24	2.49	3.74	4.99	6.23	7.49	8.72
沉澱時間							
0 min	3060	3335	4165	5200	6230	7190	8425
5 min	1360	795	232	245	451	529	479
10 min	1343	787	213	219	444	496	441
15 min	1340	782	196	215	402	450	387
20 min	1338	779	193	198	391	447	383
25 min	1331	773	188	194	384	430	376
30 min	1316	768	179	192	375	420	369

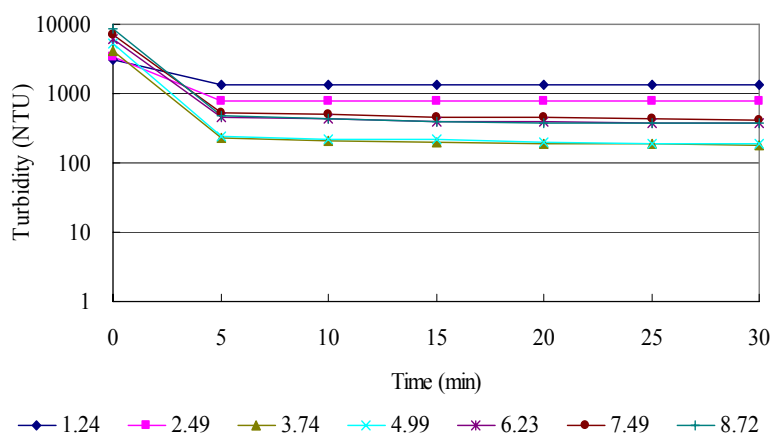


圖 7 不同磁種劑量對凝絮效果影響



圖 8 晶背研磨廢水水樣影像

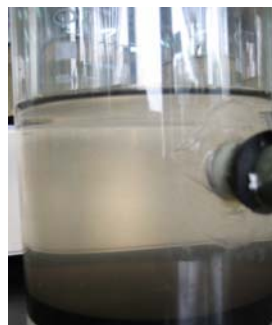


圖 9 磁種凝絮後水樣影像

(2). pH 值對磁種凝絮處理之作用

膠體顆粒的帶電種類及大小不僅只受膠體顆粒本身物種的影響，同時也會隨著系統環境的 pH 值不同而改變。由於膠體顆粒表面所帶電荷的大小無法直接測量，只能從其剪力面之電位得之，稱為界達電位 (zeta potential, ξ)。圖 10 及 11 分別為利用界達電位儀量測所得到的晶背研磨廢水中 SiO_2 顆粒和磁種顆粒泥漿在不同 pH 下之界達電位。由圖 10 及 11 可知晶背研磨廢水在 $\text{pH}>3$ 時其電位均為負電，而磁種顆粒在 $\text{pH}<7$ 其電位為正電。在 $\text{pH}=2.8$ 時為晶背研磨廢水之等電位點，另外磁種之等電位點約為 $\text{pH}=7.5$ 時。然而因為磁種與晶背研磨廢水表面電位特性不同，顆粒間相互吸引達到凝絮之目的。

由圖 12 及表 5 可發現在 $\text{pH}=5$ 附近(即偏酸性)會有比較好的效果，但磁種顆粒在 $\text{pH}<4.5$ 的環境時會微溶出 Fe^{2+} 或 Fe^{3+} (Zhong-Xi Sun et al.,1998)。而在 $\text{pH}>7$ 後，磁種凝絮效果變差，主要為磁種顆粒與晶背研磨廢水帶相同電位，說明成核效應主要為帶相異電所產生。另推估另一原因 pH 在中性時其磁種電量較低影響其分散性，使其凝絮效果不佳。

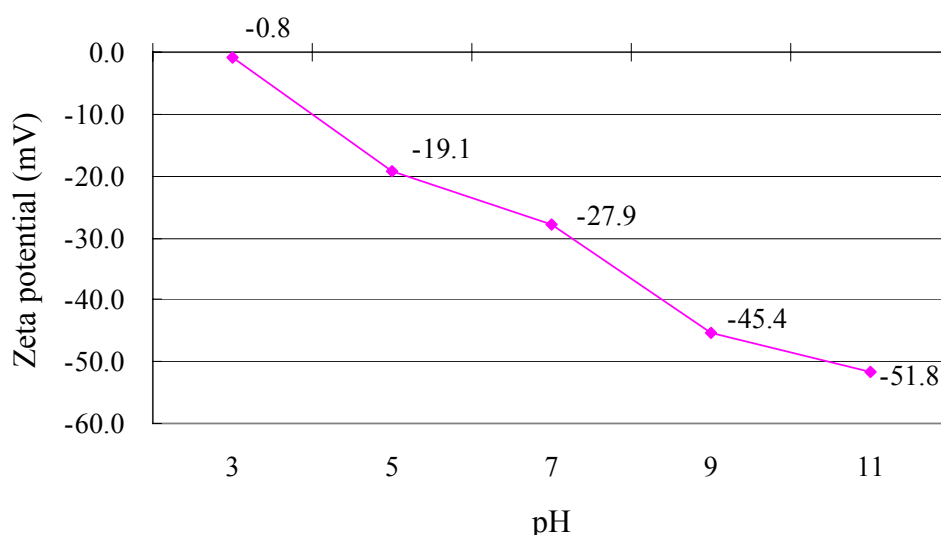


圖 10 不同 pH 值對晶背研磨廢水界達電位之影響

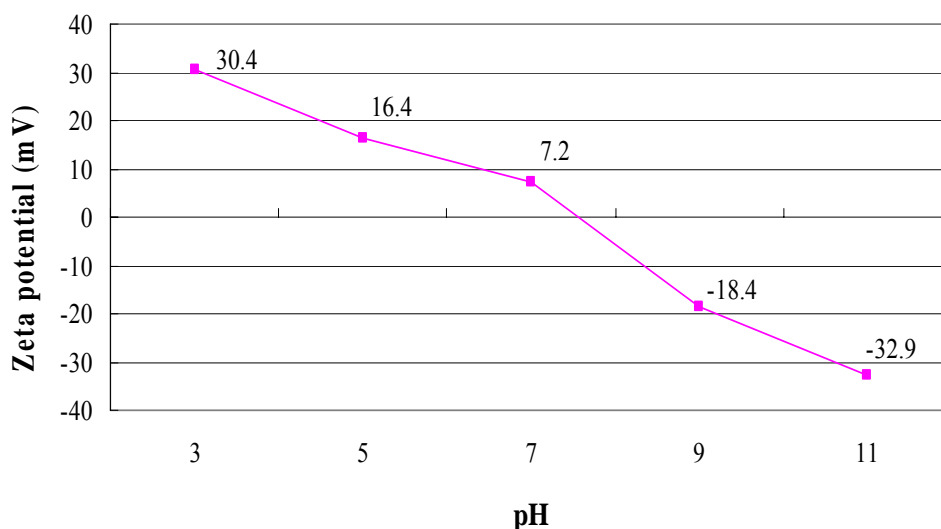


圖 11 不同 pH 值對磁種顆粒界達電位之影響

表 5 不同 pH 值凝絮後殘餘濁度與沉澱時間之關係
 (磁種劑量 3.74g/L、無外加磁場情況下) 單位：NTU

不同pH	不同pH				
沉澱時間	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
0 min	4350	4385	4450	4440	4590
5 min	288	762	1129	1310	3725
10 min	209	741	1113	1284	3480
15 min	174	730	1106	1258	3270
20 min	168	721	1078	1248	3135
25 min	163	716	1054	1250	2875
30 min	159	705	1051	1245	2670

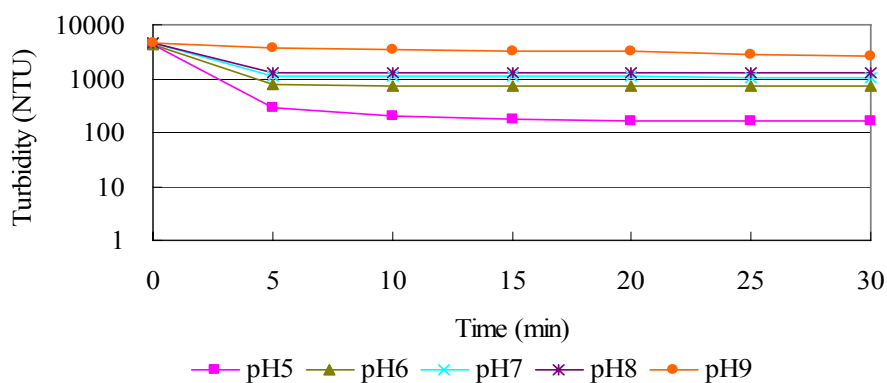


圖 12 不同 pH 值凝絮後殘餘濁度與沉澱時間之關係
 (磁種劑量 3.74g/L、無外加磁場情況下)

(3). 外加不同磁場強度

磁性凝絮原理，主要是利用磁種與水中懸浮顆粒做結合，再利用磁場對磁種顆粒磁力吸引作用將水中懸浮吸附快速去除，得到水中懸浮微粒較少的乾淨水。因此在外加磁場情況下，讓磁種與懸浮微粒結合後受重力沉降作用及磁力吸引作用，加速沉降減少沉澱時間，在此外加不同磁場觀察期變化情況。

由表 6 及圖 13 為不同外加磁場強度對磁種凝絮實驗之結果，可以得到在外加磁場強度提高其濁度去除相對提高，當沉澱時間為 30min、外加磁場強度為 500G 時其濁度為 70NTU，而在外加磁場 1,000G 時其處理效果可將殘餘濁度降至 23NTU 與外加磁場 2,000G 處理達到殘留濁度 17NTU 效果差異不大。可知當外加磁場 1,000G 以上時，不同沉澱時間的殘留濁度差異不大，藉此得到有否外加磁場對於凝絮沉澱有顯著之影響。本研究的後續實驗，外加磁場強度皆固定為 1,000G。

表 6 外加不同磁場強度對磁種凝絮效果影響
 (磁種劑量 3.74g/L、pH=5)

單位：NTU

磁場強度 沉澱時間	0G	500G	1000G	1500G	2000G
0 min	4275	4255	4265	4275	4275
5 min	288	183	88	107	53
10 min	209	140	65	71	35
15 min	174	106	49	59	24
20 min	168	93	33	53	20
25 min	163	81	31	46	17
30 min	159	70	23	42	17

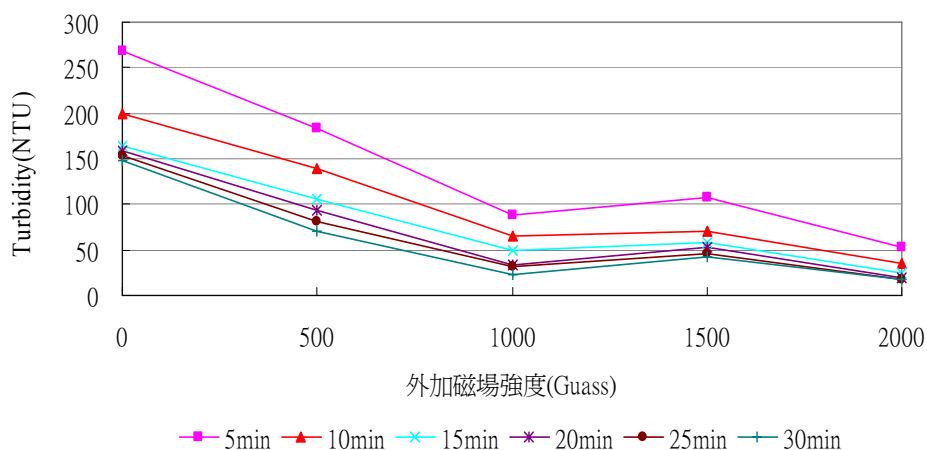


圖 13 外加不同磁場強度對磁種凝絮效果影響圖(磁種劑量 3.74g/L、pH=5)

(4). 不同磁種與混凝劑添加量實驗

根據上述實驗可知，磁種應用於處理晶背研磨廢水可有效降低其濁度，不過磁種的製備成本高於一般混凝劑之使用，如應用於處理大量廢水其處理成本必然會提高，如果能將混凝劑與磁種搭配做處理，降低磁種使用量，將可提高其經濟效益。由(J. Gregory and V. Dupont,2001)得知鋁之聚合比明礬為更易凝絮且形成膠羽強度較強。再由(Christian Desjardins et al,2002)得到混凝中若加入高比重之細小微粒可使膠羽更穩定及加速膠羽之沉降。本研究藉由加入混凝劑提高磁種與晶背研磨廢水中微粒之碰撞機會，降低藥劑成本且能維持磁種之去除率。

表 7 及圖 14 為不同混凝條件對殘留濁度之影響，由圖可知連續快混二階段加藥《快混(加磁種)→快混(加 PAC)→慢混》效果比一階段加藥《快混(同時加磁種及 PAC)→慢混》有較佳處理效果。因二階段系統當中，先利用第一次磁種凝絮作為核種，給予第二次添加混凝劑時更多沉澱吸附位置，可有利於細小顆粒能在第二次添加中被吸附以達到去除效果。

表 8 及圖 15、16 及 17 可知當磁種劑量為 2.49g/L(最佳劑量 2/3)或 1.24g/L(最佳劑量 1/3)搭配 PAC 混凝劑 0.01g/L，濁度可降至 19NTU 和 14NTU 且達到磁種最佳劑量(3.74g/L)之處理結果及單純加入 PAC 0.06g/L 處理晶背研磨廢水之效果。綜合上述結果可知，減少磁種劑量及減少 PAC 混凝劑添加量皆可達到濁度去除之成效，大大提高磁種凝絮之可行性。

表 7 不同混凝條件對殘留濁度之影響
 (PAC 0.01 g/L、外加磁場 1000G、pH=5) 單位：NTU

磁種劑量 沉澱時間	2.49 g/L (一階段)	2.49 g/L (連續快混)	1.24 g/L (一階段)	1.24 g/L (連續快混)
0 min	3435	3490	2940	3020
5 min	311	66	433	75
10 min	296	43	420	61
15 min	286	29	403	38
20 min	277	23	401	24
25 min	272	21	398	17
30 min	269	19	395	14

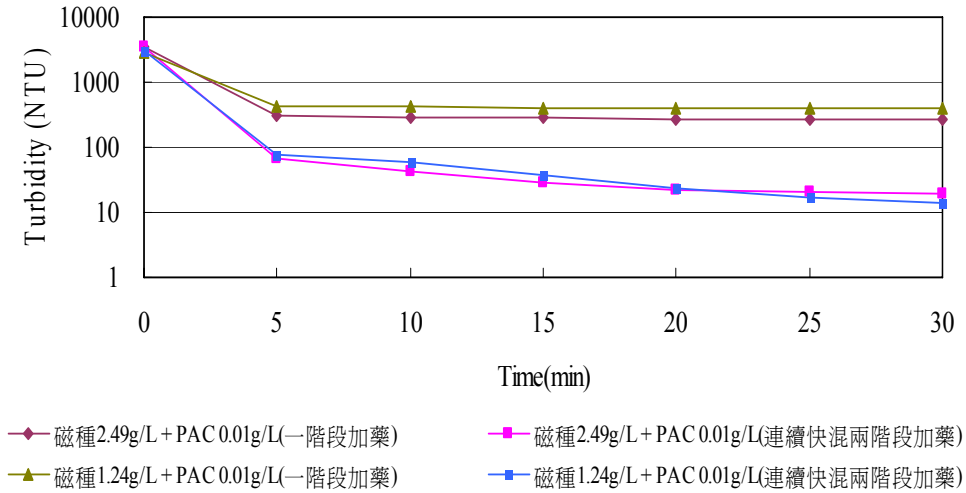


圖 14 不同混凝條件對殘留濁度之影響
 (PAC 0.01 g/L、外加磁場 1000G、pH=5)

表 8 不同磁種劑量與 PAC 凝絮效果影響
 (外加磁場 1000G、pH=5、沉澱 30min)

單位：NTU

PAC 劑量(g/L)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
磁種劑量							
0 g/L	2300	2260	2250	2270	1810	93	31
1.24g/L	1470	14	6.2	5.1	7.6	12	9.0
2.49g/L	559	19	15	7.5	6.3	9.7	14

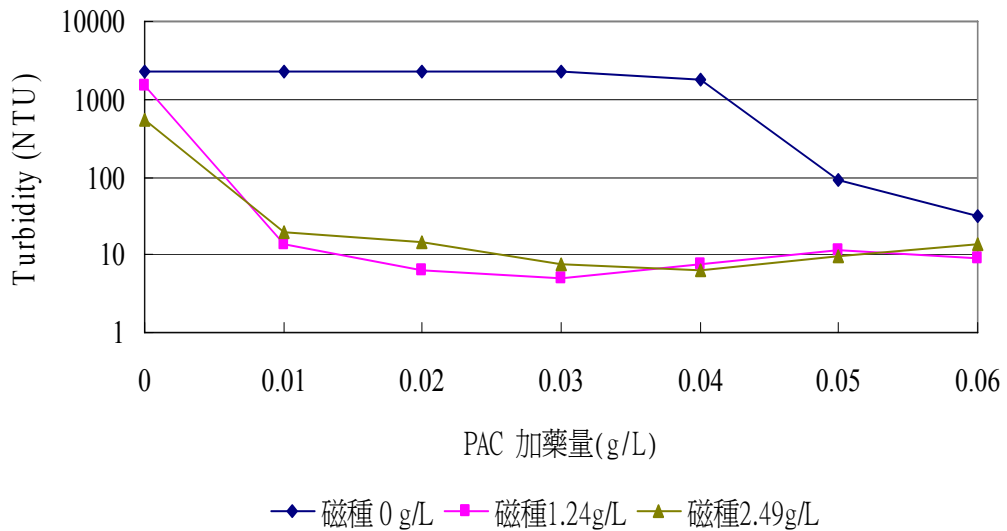


圖 15 不同磁種劑量與 PAC 凝絮效果影響
 (外加磁場 1000G、pH=5、沉澱 30min)



圖 16 磁種 2.49 g/L 及 PAC
 0.01g/L 凝絮後水樣之影像



圖 17 磁種 1.24 g/L 及 PAC
 0.01g/L 凝絮後水樣之影像

(5). 磁種有效利用實驗

磁種有效利用實驗為直接再利用磁種，即為處理晶背研磨廢水後，待沉澱之磁種污泥，不經任何處理再次處理晶背研磨廢水，因本凝絮實驗為磁種微粒與晶背研磨廢水中微粒互相碰撞吸引沉澱達到去除成效，而沉澱之污泥有廢水濁度物質還包含加入之磁種。故本磁種有效利用實驗主要探討不同濃度磁種所產生之沉澱污泥及不同劑量之混凝劑，評估其最有效利用之次數與去除率。

表 9 及圖 18 及與表 10 及圖 19 為磁種使用次數對於處理廢水之殘留濁度與去除率之關係圖。可得知，磁種之凝絮效果會隨使用次數增加而降低其去除效率，但還是有相當之去除效果。圖 18 可見磁種 2.49g/L 使用至第三次時其濁度去除率仍有 87%，水樣濁度為 226NTU。圖 19 磁種 1.24g/L 使用第二次時其濁度去除率僅有 70%，水樣濁度為 525NTU。其有效利用次數使用有限，推測其原因有兩點，第一可能為磁種吸附濁度微粒以達飽和。另一可能為磁種在有氧環境下會被氧化且造成凝絮效果漸漸變差。(王永立，2006)

表 9 磁種 2.49 g/L 之使用次數對於殘留濁度與去除率之關係
 (外加磁場 1000G、pH=5、PAC 0.01g/L) 單位：NTU

回收次數 沉澱時間	第一次	第二次	第三次
0 min	3290	4080	5167
5 min	37	48	262
10 min	29	28	250
15 min	22	22	239
20 min	19	13	229
25 min	17	9.0	226
30 min	16	7.4	226
濁度去除率(%)	99.12	99.58	87.39

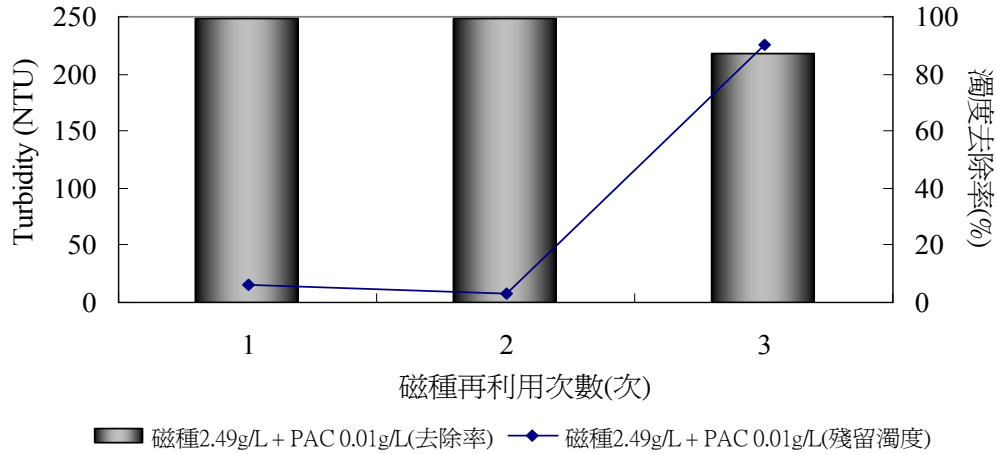


圖 18 磁種 2.49 g/L 之使用次數對於殘留濁度與去除率之關係圖
 (外加磁場 1000G、pH=5、PAC 0.01g/L)

表 10 磁種 1.24 g/L 之使用次數對於殘留濁度與去除率之關係表
 (外加磁場 1000G、pH=5、PAC 0.01g/L) 單位：NTU

回收次數 沉澱時間	第一次		第二次	
	0 min	2827	3390	
5 min	28	555		
10 min	18	538		
15 min	11	537		
20 min	9.3	532		
25 min	8.5	529		
30 min	7.1	525		
濁度去除率(%)	99.56	70.19		

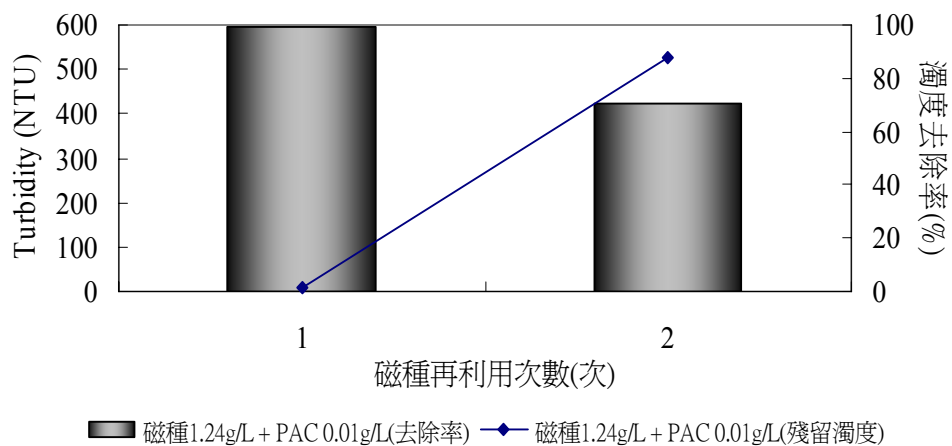


圖 19 磁種 1.24 g/L 之使用次數對於殘留濁度與去除率之關係圖
 (外加磁場 1000G、pH=5、PAC 0.01g/L)

四、 結論與建議

1. 結論

- (1.) 磁種劑量並非添加越多越好，當加入太多磁種，造成磁種本身成為濁度來源，若沒有外加磁場亦不易被除去。
- (2.) 本研究處理此批晶背研磨廢水其最佳磁種加藥量濃度為3.74 g/L。
- (3.) 磁種凝絮在pH=5附近(即偏酸性)會有比較好的效果。另一方面在pH>7後，磁種凝絮效果變差，主要為磁種顆粒與晶背研磨廢水帶相同電位。此點亦證明成核效應主要為帶相異電所產生。
- (4.) 外加磁場強度1,000G與外加磁場強度2,000G之處理效果差異不大。
- (5.) 研究結果顯示當外加磁場強度1,000G以上時，不同沉澱時間的殘留濁度差異不大。
- (6.) 外加磁場對於凝絮沉澱有顯著之影響。當外加磁場1,000G可將濁度由無磁場殘留濁度159NTU降低至23NTU。
- (7.) 連續快混二階段加藥《快混(加磁種)→快混(加PAC)→慢混》效果比一階段加藥《快混(同時加磁種及PAC)→慢混》較佳處理效果。
- (8.) 若搭配PAC混凝劑0.01g/L，則磁種使用劑量可降低至2.49g/L和1.24g/L，而不影響其處理效果。若傳統PAC混凝劑處理要達到此效果，則混凝劑需加至6倍(0.06g/L)。
- (9.) 磁種2.49g/L使用至第三次時其濁度去除率仍高達87%。當磁種1.24g/L使用第二次時其濁度去除率僅有約70%左右。推測磁種顆粒吸附濁度微粒已達飽和超過其吸附產量，而影響其回收成效。

2. 建議

- (1.) 半導體廠濁度差異甚大，若需以此技術處理廢水，需依各廠廢水特性調整，以達最佳處理效果。
- (2.) 磁種配置成本高，可探討配搭其他回收方法，增加其回收使用量，因而降低藥劑成本。
- (3.) 可針對廢水水質顆粒穩定性及變化大難以處理之水樣，當作適當前處理，減少為達到廢水處理效果而過量加藥。

參考文獻

1. 王永立，利用外加磁場降低暴雨期濁度之研究，國立台灣大學環境工程研究所，碩士論文，2006。
2. 徐毓蘭、巫鴻章，“化學機械研磨廢水處理與回收技術簡介”，財團法人生物技術開發中心，台灣環保產業雙月刊，第29期，第13-16頁，2005。
3. 林鴻偉，磁化效應對晶背研磨廢水處理效能影響之研究，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所，碩士論文，2005。

4. 王立仁，自磁種凝絮污泥回收再利用奈米磁性顆粒—以化學機械研磨廢水為例，國立中央大學環境工程研究所，碩士論文，2005。
5. 陳珮紋，利用 Fe₃O₄ 磁性顆粒處理化學機械研磨廢水，國立中央大學環境工程研究所，碩士論文，2004。
6. 林佳蓉，自來水二階段凝膠處理之研究，國立台灣科技大學化學工程系，碩士論文，2002。
7. 劉訓瑜，化學機械研磨廢水凝沉效能之評估，國立交通大學環境工程研究所，碩士論文，1999。
8. 張俊彥，積體電路製程及設備技術手冊，中華民國經濟部技術處，1996。
9. Ching-Ju Monica Chin, Pei-Wen Chen and Li-Jen Wang, "Removal of nanoparticles from CMP wastewater by magnetic seeding aggregation", *Chemosphere*, Volume: 63, Issue: 10, Pages: 1809-1813, 2006.
10. Christian Desjardins, Boniface Koudjonou, Raymond Desjardins, "Laboratory study of ballasted flocculation", *Water Research*, pp. 744-754, 2002.
11. C. Touris, D.W. DePaoli, J.T. Shor, M.Z.-C. Hu, T.-Y. Ying, "Electrocoagulation for magnetic seeding of colloidal particles", *Colloids and Surfaces A*, pp.233-233, 2001.
12. Deng, Y., L. Wang, W. Yang, S. Fu, and A. Elaïssari, "Preparation of magnetic polymeric via inverse microemulsion polymerization process," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 257, pp. 69-78, 2003.
13. Gordon C.C. Yang and Chi-Ming Tsai, "Performance evaluation of a simultaneous electrocoagulation and electrofiltration module for the treatment of Cu-CMP and oxide-CMP wastewaters", *Journal of Membrane Science*, Volume:286, Issue:1-2, pp. 36-44, 2006.
14. J. Gregory and V. Dupont, "Properties of flocs produced by water treatment coagulants," *Water Science and Technology*, Volume:44 ,pp 231–236,2001.
15. Michael J. Matteson, Regina L. Dobson, Robert W. Glenn, Jr., Nagesh S. Kukunoor, William H. Waits III. Eric J. Clayfield, "Electrocoagulation and separation of aqueous suspensions of ultrafine particles", *Colloids and Surfaces A*, pp.101-109, 1995.
16. Shang-Lien Lo, Yung-Li Wang, Ching-Yao Hu, "High turbidity removal by magnetite particles", *Journal of Chemistry and Environment* ,Volume: 12, Issue: 1,Pages: 40-45,2008.
17. Sheng H. Lin and Chung R. Yang, "Chemical and physical treatments of chemical mechanical polishing wastewater from semiconductor fabrication", *Journal of Hazardous Materials*, Volume:108, Issue:1-2, pp. 103-109, 2004.
18. Tom Weigert, Justus Altmann, Siegfried Ripperger, "Crossflow electrofiltration in pilot scale", *Journal of Membrane Science* , Volume:159, pp.253-262, 1999.
19. Zhong-Xi Sun, Fen-Wei Su, Willis Forsling, and Per-Olof Samskog, "Surface Characteristics of Magnetite in Aqueous Suspension," *Journal of Colloid and Interface Science*, Volume:197, pp. 151-159, 1998.