

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

以薄膜分離含次微米顆粒廢水之臨界通量研究-理論與應用

(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-009-032-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

計畫主持人：黃志彬

計畫參與人員：江萬豪、顏士閔

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 21 日

以薄膜分離含次微米顆粒廢水之臨界通量研究-理論與應用(II)
Critical flux of membrane filtration for submicron particle separation: theory and practical approaches (II)

計畫編號：NSC-92-2211-E-009-032

執行期間：2003/08/01 - 2004/07/31

主持人：黃志彬 交通大學環境工程研究所教授

一、摘要

中文摘要 (關鍵字：研磨廢水、Colloidal Silica、Activated Silica、PAA、NaOCl、薄膜過濾、臨界通量)

半導體業為我國重要的入超來源之一，隨著線寬不斷的地加，晶圓尺寸的不斷擴大，用水量也隨之倍增，然而，研磨製程用水又佔半導體廠用水量之 30-40%，如何妥善處理回收此股廢水，為一迫切的問題。

對含奈米顆粒的廢水，適當的混凝前處理攆取奈米顆粒，才能大致確保後續薄膜處理的大通量及避免嚴重內部結垢。然而，除了顆粒的問題物，溶解性有機物的存在可能會導致薄膜內部的嚴重結垢。

本實驗以多元氯化鋁、硫酸鋁、硫酸鐵進行瓶杯試驗，發現最佳操作 pH 區間分別是 4-7、4-6、4-5，且大部份的濁度去除皆肇因於 Colloidal Silica 的去除。溶解矽酸(Activated silica)的去除隨著 pH 增加而增加，但效果有限。在本實驗中，最低濃度為 20-25 mg/l。膠凝實驗中以陽電性、陰電性、中性 PAA、Epi-DMA、DADMAC's 進行試驗，發現過濾效果以陽電性 PAA 效果最好，與最小粒徑分布的結果也相吻合，另外發現上澄液濁度與過濾良窳並非正比，較差之上澄液濁度有可能因緻密濾餅導致較佳濾液水質；此外；膠凝劑的存在對 Activated Silica 的移除會造成干擾。NaOCl 的使用對過濾確實有幫助，在本實驗中，5 mg/l 的 NaOCl 劑量即可提升過濾通量近乎兩倍，此一氧化有機物對薄膜之臨界通量提升亦有幫助。

英文摘要(keyword: CMP, PACl, PAA, Coagulation, NaOCl, Critical flux, Activated silica, Colloidal silica)

Semiconductor Industry is the major financial input in Taiwan. However, along with the evolution from 200 to 300 mm generation, the water consumption growth follows with this trend. It is a critical issue to solve the problem of water saving in IC industry growth.

CMP process (Chemical Mechanical Polishing) occupies 30-40% of total water consumption and hence the wastewater production is huge, too. This research is to find an appropriate treatment for CMP wastewater treatment and reclamation.

For wastewater containing submicron to nano scale particles, appropriate coagulation, prior to membrane filtration, can capture most of the colloidal particles. Therefore, high flux and low fouling extent almost can be then confirmed. However, dissolved organic matter will caused serious fouling within the membrane.

In this study, PACl, Alum and Ferrous sulfate was used to examine the effect of coagulation on CMP wastewater. Optimal pH operation range for the three coagulants was 4-7, 4-6, 4-5, respectively and most of the depletion in turbidity results from the removal of colloidal silica. The removal of activated Silica was found to be increase with pH elevation. However, the effect was unobvious. Even 60 mg/l of alum was used, the residual activated silica was still around 20 mg/l. In flocculation test, five flocculants, (+)PAA, (-)PAA, neutral PAA, (+)Epi-DMA and (+)DADMAC, was used. The result showed (+)PAA had a best performance in

membrane filterability and this was consistent with the result in minimum particle analysis. The compact cake governed the filtrate quality if no particle penetrates through the membrane. All of the flocculants interfered the adsorption of activated silica onto floc. The usage of NaOCl actually enhanced the membrane filtration. In this study, 5 mg/l would raise permeation flux virtually two folds. Obviously, critical flux will be raised in this operation.

二、計畫緣由與目的

目前國內由行政院所提出的兩兆雙星計畫，包括了半導體、LCD、數位內容、生物技術，其中，半導體產業在台灣紮根已久，2001年產業產值達新台幣5,269億元，居全球第四位。為了增加產出效益，國內各大廠紛紛設立12吋晶圓廠，如台積電、聯電、茂矽、茂德、力晶、旺宏等，甚至，在一向被視為以石化業為主的台塑集團，其子公司南亞科也打算投資2700億圓在桃園投資四座12吋晶圓廠。

在可見的未來中，IC線寬將不斷縮減，從早期的0.25、0.18 μm 到現在主流的0.13 μm ，未來更會進展到90甚至70奈米，所衍生的問題是，台灣有限的水資源將被大量的消耗，法規對新廠廢水製程回收率的要求也高達85%，在水旱頻仍的台灣，如何有效率地將廢水排放回收，是極為迫切的一大問題。

CMP廢水排放佔了總廠排放量約40% (Corlett, 2000)，CMP廢水排放量1998年為225百萬加侖，預估2006年將會超過450百萬加侖(Corlett, 1999)，而CMP漿液在研磨時固體濃度可達30%(W/W)，但排放時因大量超純水稀釋，固體濃度平均僅剩0.02% (Corlett, 2000)，由此可知，所謂的CMP廢水，絕大部份乃是由超純水所組成，具有回收的價值，何況，自來水進入各廠純水系統的轉換率約為60%，可知自來水的消耗更為巨大。

目前CMP廢水的處理，國內外在實廠應用上仍以混凝為主(Krulik et al., 2001, Allen and Lyman, 1999-a and 1999-b, and Allen et al., 2002)，至於後續的固液分離傳統採取沉澱單元，目前則是以薄膜為主流。沉澱單元操作較為單純，但需前段混凝效果需確保良好，否則上澄液出流SS無法達到標準(300 mg/l)，若是採薄膜分離，則出流水水質較佳，不受前段混凝處理的影響，但在前處理不佳的情形下，濾液通量將大受影響。目前國內外文獻中，對CMP廢水處理之最佳混凝及膠凝劑之使用尚無定論。

CMP廢水因商業配方而各廠不同，無法窺其全貌，主要組成為Abrasive, Oxidants, Complexing Agents, dispersants及一些未知的添加物，其中，分散劑(dispersants)的存在(Kemp et al., 2002)，不僅干擾顆粒聚集(aggregation)，且有可能造成薄膜的不可逆結垢(Irreversible Fouling, Ri)。

本研究將先找出最佳之混凝劑種類，繼而探討不同膠凝劑對過濾的影響，最後將以添加氧化劑的方式觀察濾液通量的改善。

三、實驗設備方法

CMP廢水來源：園區某半導體大廠，水樣以塑膠桶保存於4度C之冷藏庫，原水水質試驗於當天試驗完畢。

混凝試驗：採用瓶杯試驗，以試劑級的Poly-aluminum chloride (PACl, SHOWA, Corp., Japan)、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (Alum, Merck Corp., USA)、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (藥理純藥, Japan)、分別配製成1000 mg/l的儲備溶液以瓶杯實驗使用。

膠凝試驗：採用五種不同性質膠凝劑以供使驗，包括陽電性Poly-acrylamide(PAA, Zimmite Ltd., TW)、陰電性PAA(Acros, USA)、中性PAA(Acros, USA)、四級胺正電性Epi-DMA (poly-dimethylamine-co-epichlorohydrin, Aldrich Chemical Company, Inc., USA)、四級胺正電性DADMAC's

(poly-diallyldimethylammonium chloride, Aldrich Chemical Company, Inc., USA), 加藥方式為快混結束後加入, 慢混20分鐘。其中過濾試驗為以膠凝懸浮混合液(MLSS) 250 ml, 通過0.45- μ m濾紙(Advantec MFS, Inc., Japan), 並以馬錶計算時間。

氧化試驗：使用 NaOCl (Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Japan) 作為氧化劑, 為慢混結束後加藥, 氧化時間20分鐘。

薄膜過濾：Dead-End 上流式薄膜過濾, TMP 0.65 bar、0.5- μ m PTFE membrane (Gore Inc.)

水質分析

濁度量測以低濁濁度計為之, 量測範圍為 0.0001~10⁵NTU(Turb555, WTW Inc., Germany), 膠羽粒徑分析以靜態光散射法(Mastersizer 2000, Malvern Inc., UK)為之, 其粒徑分析範圍為, 總 Silica 濃度以 ICP 法(JY24, Jobin-Yvon corp., France)量測, 溶解矽酸以 Molybdosilicate 法染色, 再以分光光度計量測(DR/4000U, Hach Inc, USA), 其偵測到的矽酸為 monosilicic acid, 在本報告中一律稱為 Activated silica.

四、結果討論

4.1 水質分析結果

如表 1 所示, 原水 pH 為 8.8, 離 silica slurry 原始的 pH 10.5 有一段差距, 可視為超純水稀釋後的結果, 一般 Silica slurry 濃度在研磨時可達 30%(w/w), 但所排放廢水之固體物含量僅剩 0.02% (Corlett, 2000), 因此 pH 也跟著往中性靠近。電導度(Electrical Conductivity, EC)104.9 μ S/cm 是相當乾淨的值, 以新竹地區為例, 自來水的 EC 值為 350-400 μ S/cm, 可知 CMP 廢水水質除其中懸浮固體外, 溶解性離子要較自來水為少。濁度 340.38 NTU, 一般而言, 氧化層研磨廢水之濁度和總 Silica 濃度會成線性正比, 本批廢水總 Silica 濃度為 894.6 mg/l, 在園區廢水排放中算中等, 其範圍約在 300~1800 mg/l 之間, 與各廠接管混流狀況有關。

Activated Silica 的濃度 57.0 mg/l, 如果僅為移除廢水中固體物而未能降低 Activated Silica 的濃度, 作為 cooling tower 用水或純水設置進水均不適合, 很容易導致 silica scaling。TOC 的值為 33.86 mg/l, 這在氧化層研磨廢水中是常見的, 反而, 在金屬層研磨廢水中, TOC 值反而低(5-10 mg/l), 可能與分散劑或添加物有關, 也會隨著各廠所使用研磨液不同而改變。

4.2 不同混凝劑在不同 pH 對 CMP 廢水處理

由圖 1-a、圖 1-b、及圖 1-c 可知, PACl、Alum、Ferrous sulfate 三者對 CMP 廢水的最適 pH 操作區間差異甚大, PACl 呈現最寬廣的操作範圍, pH 4-7 之間的濁度及總二氧化矽去除率均佳, 而 Alum 則是在 pH 4-6 時呈現較佳的處理效果, 硫酸鐵則是 4-5, 可知, 在操作 pH 上, PACl 較廣, Alum 較窄、硫酸鐵最窄, 且硫酸鐵最偏酸性。此外, 濁度和總二氧化矽的移除可說完全成正比, 可知濁度的貢獻可說幾乎全由 Colloidal Silica 提供。

由於 Colloidal Silica 的第一 pKa 值為 9.5(Ning, 2003), 當操作 pH 在 9 時, 已有 50% 的 Colloidal Silica 轉變為 Activated Silica (此處 Activated Silica 定義為 monosilicic acid), 故 pH 9 處理效果極差, 總 Silica 和濁度幾乎都回復到和原水一樣的狀況。此外, 矽酸對顆粒聚集也會造成重大影響, 高濃度矽酸會干擾膠羽形成, 且 pH 越高越明顯(Duan and Gregory, 1997)。

Colloidal Silica 的 pH_{iep} 值約在 2-3 之間(Bergna, 1994), 但最佳的混凝 pH 操作點卻不是落在 4-7 之間, 可知混凝劑膠羽和 Colloidal Silica 之間的電荷平衡扮演了一個重要的角色, 同時, 最適 pH 也不能偏離各混凝劑的最低溶解度 pH 太遠。

由圖 2-a、圖 2-b 及圖 2-c 可知, Activated Silica 的濃度隨操作 pH 的上升而下降, 但幅度極小, 且移除的 Silica, 幾乎全是 Colloidal Silica, 可見 Colloidal Silica 的移除所需要的量, 是不足以有效

移除 Activated Silica 的，同時，兩者的有效操作 pH 也大不相同，這在工程上，暗示了兩者或應分段處理才有效率。

4.3 不同劑量對 CMP 處理的影響

由上節可得知各混凝劑對 CMP 廢水的最佳操作 pH 區間，由圖 3-a 圖 3-b 圖 3-c 可知，各混凝劑在其最佳 pH 操作點的劑量越高，Activated Silica 的濃度就越低，而 Colloidal Silica 在 20 mg/l 的時候幾乎就大部份都被移除，以莫耳移除比來看，PACl 的 Al:Si 約為 1:28，Alum 約為 1:27，硫酸鐵的 Fe:Si 約為 1:42，從莫耳移除比來看，似乎鐵鹽的表現是最好的，但那是因為 Fe 的分子量為 55.85 幾乎是而 Al 鹽分子量 27.0 的兩倍，因此計算上鐵鹽顯示的移除效率較好。如果單從加藥重量計算，那 Alum 及 PACl 都比鐵鹽好是無庸置疑的，此外，就 Activated Silica 的移除來看，鐵鹽在 pH 5 時可說效果極差，而 Alum 和 PACl 的效果在伯仲之間，大約都能將原水的 57.2 mg/l 移除至 20-25 mg/l 左右。而硫酸鐵相同劑量下的 Activated Silica 濃度仍在 35-40 mg/l。

此外，在固定 pH 下，即使加藥量高達 60 mg/l，並未有濁度再揚起的現象發生，這顯示了工程應用上的便利性，只要 pH 在合適的區間，加藥過量(在某種範圍內)對混凝不致產生電性逆轉的負作用。

根據其他學者的整理(Ning, 2003)，一般天然水中的矽酸的含量為：湖水 1-3 mg/l，河水 3-15 mg/l，海水 1-10 mg/l，井水 2-60 mg/l，地熱區湧泉 50-300 mg/l。以此觀之，矽酸處理到 20-25 mg/l 可說差強人意，不算太高，但比起一般的地表水體而言又嫌稍高。後續的 MF 篩除對溶解矽酸的移除可說完全沒有效果，若要進一步地降低水中矽酸含量，RO 或 IE 的處理是必需的。

對一般的半導體產業的純水製造設施而言，最末段是 RO + IE 的組合，RO 可將 Activated Silica 降至 1-3 mg/l，再由 IE 將矽酸進一步降至 < 1 ppb。此時，進流的

矽酸濃度越高，RO 的處理效率及可濃縮倍數就會受影響。

假設濾液流量為進流流量的 X%，進流矽酸濃度為 20 mg/l，濾液的溶解矽酸濃度假設為 1 mg/l，則由質量平衡可求得濃縮液端的矽酸濃度則為 $(20-X)/(1-X\%)$ ，當濾液流量為進流流量的 60% 時，X% 為 0.6，濃縮液端的矽酸濃度則為 48.5 mg/l，此值算不算高要視水中 Ca, Cu, Al, Fe, Mg 等多價金屬離子濃度而定，以 Ca 離子為例，其在高 pH 下時，會與矽酸形成 CaSiO_3 的固體物。進而使 RO 膜阻塞。因此，如果考量濾液後續處理，溶解矽酸的進一步移除端視回收用途而定。

雖然越低的進流矽酸濃度是越好的。但要將矽酸以混凝方式移除，文獻上的資料顯示不論鋁鹽還是鐵鹽，300-500 mg/l 的高劑量加藥不可免(Roque, 1996)。

4.4 不同膠凝劑對 CMP 混凝處理的影響

由圖 3-a、圖 3-b 及圖 3-c 可知，PACl 對總濁度的移除之最佳的(Alum 稍遜於 PACl)，此節擬以五種不同的混凝劑，同以 0.1 ppm (Active Solid) 的濃度膠凝，觀察其對 CMP 廢水處理的效果。

由表 1 可知，就上層液濁度而言純以 PACl 混凝即可低達 2.26 NTU，美國自來水的平均值為 0.75 NTU(Corlett, 2000)，而以 PAA(+)及 PAA(neutral)兩者膠凝後，上澄液濁度可低達 1.22 及 1.38 NTU，其他膠凝劑皆高達 3-4 NTU，較混凝後更差，可知除 PAA(-)外，正電及中性 PAA 對 CMP 廢水膠凝均有不錯效果。

由濾液濁度來看，只混凝及 Epi-DMA 兩者的濁度分別為 0.19 及 0.12，然而，此兩者上澄液濁度均不佳，尤其是 Epi-DMA，更高達 4.38 NTU，這樣的結果其實並不令人意外，一般而言，薄膜過濾最後的主導者反而是濾餅，最佳的出流水濁度常常是因濾餅的過濾而非薄膜的過濾。由 50 ml 的 MLSS 過濾測試可知，只混凝及 Epi-DMA 的過濾時間均不甚佳，可知濾液濁度和上澄液濁度不成正比，或許可說具某種反比關係。

由 MLSS 的過濾時間來看，幾乎所有的膠凝劑對薄膜過濾均為不利，除了 PAA(+)以外，其他五種膠凝劑均對薄膜過濾有負面效應，儘管 PAA(n)在沉降上對處理是有幫助的(上澄液濁度 1.38 NTU)，但這並不表示對過濾也會有幫助(過濾時間 1 min 42 sec)，理由是，不同有機膠凝劑對薄膜材質可能會造成嚴重阻塞，像膠水般吸附在孔洞內部，進而造成上澄液濁度低但過濾時間長的結果。

PAA(+)在過濾上效果絕佳，過濾時間尤其突出，僅 33 秒，其他膠凝劑均遠不如，甚至不如純混凝的狀況。我們以靜態光散射法對各膠凝劑下的 MLSS 的粒徑作一調查，同時列出其平均粒徑(Volume equivalent diameter)及最小粒徑，可以發現，平均粒徑與過濾時間無明顯關係，但最小粒徑卻能反映過濾時間，唯有 PAA(+)膠凝下的 MLSS 最小粒徑為 6-7 μm ，其他都在 3-5 μm 之間，但如前所述，膠凝劑所造成薄膜的內部結垢也是影響過濾的重要因子，不能純粹由粒徑大小來看，若要進一步分析，黏滯度的檢驗是必要的。

關於矽酸的移除，很明顯的，所有有機膠凝劑對矽酸移除均有負面影響，這可能是矽酸的吸附位址被膠凝劑佔據的緣故。

4.5 不同 NaOCl 劑量對過濾的影響

由於考量抵消 CMP 廢水中有機物及有機膠凝劑的使用影響薄膜過濾，本節對 NaOCl 對薄膜過濾的影響作一初步探討。

由圖 4 可知，NaOCl 的加入對過濾是有明顯幫助，前面的研究已顯示 PACl 混凝下，以 0.1 ppm PAA(+)膠凝的效果最好，然而，在 NaOCl 加入後，顯示了更佳的濾液通量，實驗結果顯示隨著 NaOCl 加藥量的增加，平均通量有上升的趨勢。而大於 5 mg/l 後的效果就差不多了。

關於氧化劑的影響，國外有學者曾提及可採用 H_2O_2 、NaOCl、過錳酸鉀、甚至重鉻酸鉀(Allen and Lyman, 1999-a and 1999-b)，但對於劑量與水中有機物含量的關係，卻沒有提一個關係式，此部份的研

究，有待進一步的深入探討。

五、結論

三種混凝劑的最適操作區間不同，都在 pH 7 以下的偏酸，以 PACl 操作區間最廣，硫酸鋁較窄且偏酸(pH 4-6)，硫酸鐵最窄(pH4-5)。

濁度的移除和總 Silica 的移除完全成正比，可知大部份被移除的均是 Colloidal Silica，溶解矽酸的移除隨著 pH 上升而微微增加，但效果不佳，尤以硫酸鐵為最，幾無效果。

膠凝劑在過濾效果上以 PAA(+)最佳，但在出流水濁度上，並非最佳，反而 Epi-DMA 及純 PACl 混凝的出流水濁度最低，這顯示濾餅過濾是水質主要決定因子。最小粒徑的量測，顯示了在不考慮其他化學因素之下，過濾可能受此項影響最大。NaOCl 的使用對薄膜過濾有明顯幫助，在本實驗中，大於 5 ppm 就有相當不錯的效果，但最佳加藥量其與水中有機物的關係，有待進一步探討。

六、參考文獻

- Allen, S. D. and Lyman, L. R., (1999-a). Wastewater treatment process and apparatus for high flow silica removal, *US Patent*, No.5904853
- Allen, S. D. and Lyman, L. R., (1999-b). Process for removing silica from wastewater, *US Patent*, No.5965027
- Allen; S. D. and Golden; J. H., (2002). Process and apparatus for high flow and low pressure impurity removal, *US Patent*, No.6428705
- Bergna, H. E., (1994). *The Colloid Chemistry of Silica*, American Chemical Society, Washinton ,DC, pp.19
- Corlett, G. L., (1999). CMP Water Reduction and Waste Treatment Overview, *Semiconductor on line*, <http://www2.semicondutoronline.com>
- Gary Corlett, (2000). Targeting water use for chemical mechanical polishing, *Solid State Technology*, pp.201-204
- Krulik, G. A., Kramasz, K., Golden, J. H., Small, R. J., Shang, C. and Pagan, L., (2001). Semiconductors:

copper CMP wastewater chemistry and treatment,
Ultrapure Water, pp.29-38

Kemp, P. M., Filson J. L.; Kaars, S. R. and Sassaman
F. L., (2002). Ion exchange removal of metal ions
from wastewater, *US patent*, No.2002/104803

Ning RY. (2003). Discussion of silica speciation,
fouling, control and maximum reduction.
DESALINATION, 151(1), pp. 67-73

Roques, H., (1996). *Chemical Water Treatment :
Principles and Practice*, VCH Publisher Inc., Ner
York, pp. 332-336

Ueda A, Kato K, Mogi K, Mroczek E, Thain IA.
(2003). Silica removal from Mokai, New Zealand,
geothermal brine by treatment with lime and a cationic
precipitant. *GEOTHERMICS*, 32(1), pp. 47-61

表 1 園區某半導體廠 CMP 廢水

Item	Value
pH	8.82
Turbidity	340.38 NTU
Electrical Conductivity	104.9 μ S/cm
TOC	33.86 ppm
Total silica	894.6 mg/L as SiO ₂
Activated silica	57.0 mg/L as SiO ₂

表 2 不同膠凝劑 0.1 ppm 劑量下 CMP 廢水處理的影響

種類	Only Coag.	PAA(+)	PAA(n)	PAA(-)	EPI-DMA's	DADMAC's
上層液 Turbidity(NTU)	2.26	1.22	1.38	4.04	4.38	3.05
濾液 Turbidity(NTU)	0.19	0.41	0.26	0.68	0.12	0.37
濾液 SiO _{2(aq)} (ppm)	29.1	32.7	32.1	31.0	29.5	29.6
過濾時間	1 min 10 sec	33 sec	1 min 42 sec	1 min 44 sec	1 min 36 sec	1 min 50 sec
Vol. Weighted Mean (μ m)	99.951	296.77	435.921	411.033	94.906	198.515
最小顆粒範圍 (μ m)	2.825 ~ 3.170	6.325 ~ 7.096	4.477 ~ 5.024	3.991 ~ 4.477	3.557 ~ 3.991	3.991 ~ 4.477

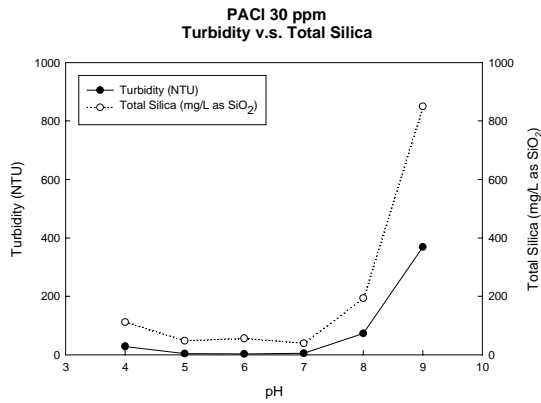


圖 1-a 聚氯化鋁凝時濁度和 Total Silica 與操作 pH 的關係

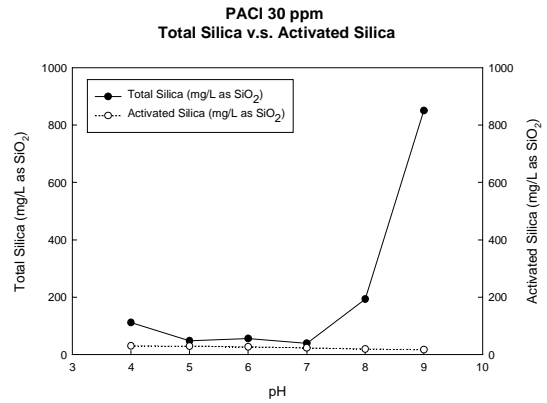


圖 2-a 聚氯化鋁凝時 Total Silica 和 Activated Silica 與操作 pH 的關係

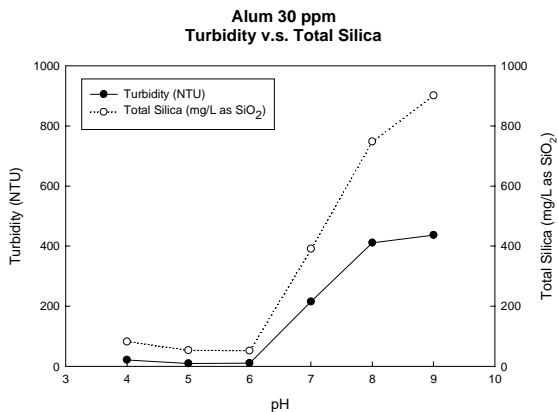


圖 1-b 硫酸鋁凝時濁度和 Total Silica 總二氧化矽與操作 pH 的關係

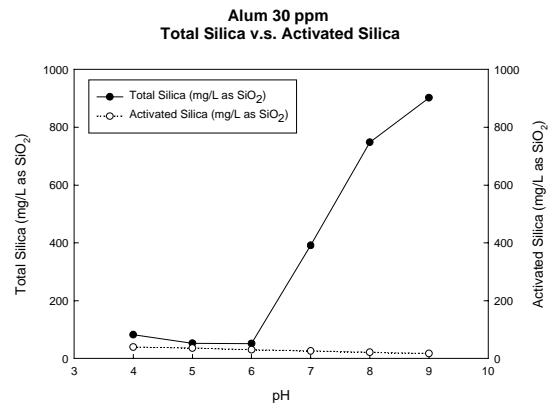


圖 2-b 硫酸鋁凝時 Total Silica 和 Activated Silica 與操作 pH 的關係

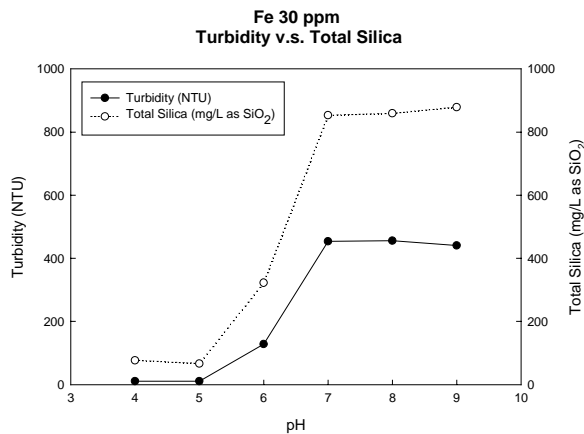


圖 1-c 硫酸鐵凝時濁度和 Total Silica 與操作 pH 的關係

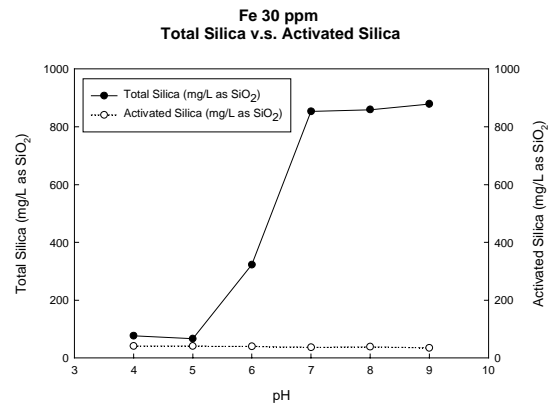


圖 2-c 硫酸鐵凝時 Total Silica 和 Activated Silica 與操作 pH 的關係

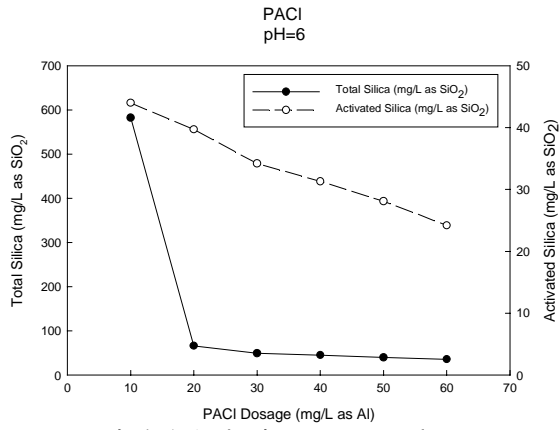


圖 3-a 聚氯化鋁混凝時 Total Silica 和 Activated Silica 與加藥劑量的關係

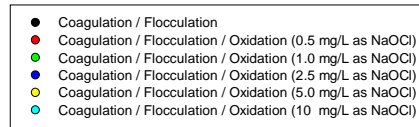
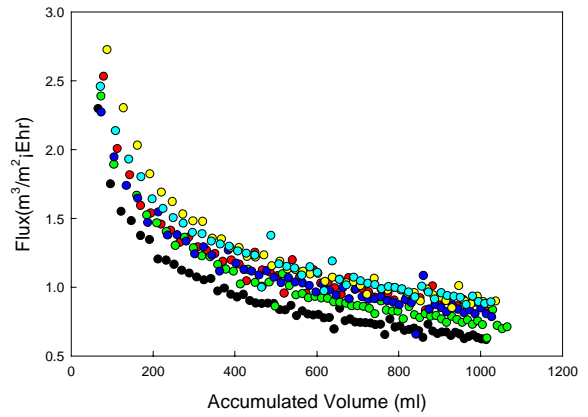


圖 4 混凝-膠凝-氧化程序下不同氧化劑量下薄膜濾液通量的變化

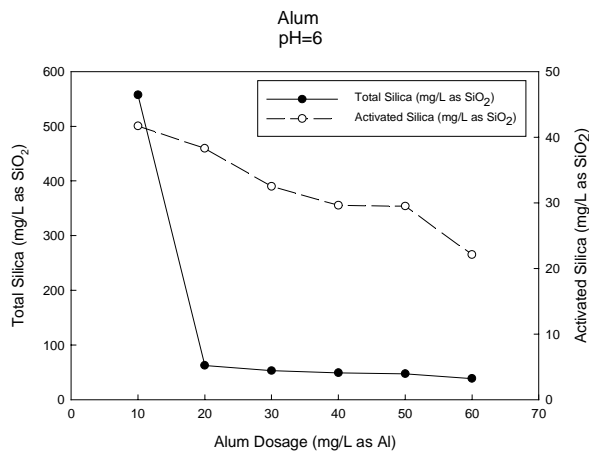


圖 3-b 硫酸鋁混凝時 Total Silica 和 Activated Silica 與加藥劑量的關係

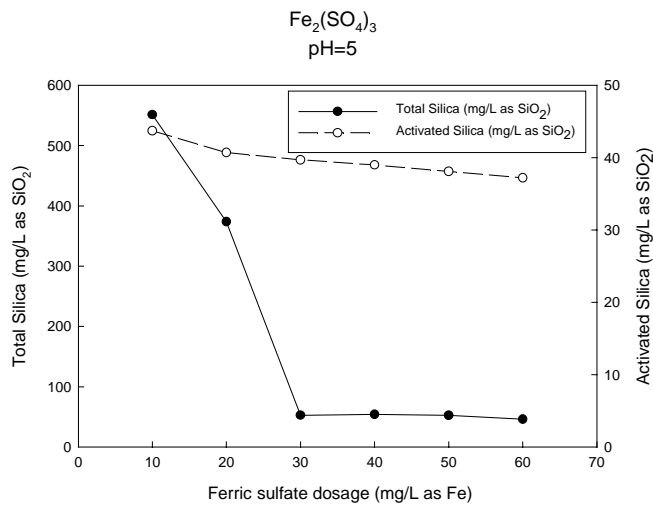


圖 3-c 硫酸鐵混凝時 Total Silica 和 Activated Silica 與加藥劑量的關係

