



經濟部能源科技研究發展計畫

九十三年度執行報告

高效率能源技術研究發展計畫
—潔淨室省能技術與半導體製程省能技術
(第五年度)

全程計畫：自 89 年 03 月 01 日至 93 年 12 月 31 日

年度計畫：自 93 年 01 月 01 日至 93 年 12 月 31 日

委辦機關：經濟部能源局

執行單位：國立交通大學

中 華 民 國 九 十 三 年 十 二 月

93 年度「高效率能源技術研究發展-潔淨室省能技術與半導體製程省能」(5/5)期末審查綜合意見及回覆表

| 序號 | 審查意見 | 回覆意見 |
|----|--|---|
| 1 | 潔淨室省能對流場及污染物之分析量測非常仔細，可信度高，惟宜利用該技術對半導體廠商作技術服務，以驗證實用性。 | 感謝評審的建議 事實上本計畫執行這5年來，一直積極尋求與廠商進行交流合作，無奈受限學校的環境、法規限制、能源會的意見以及廠商的意願，加上本計畫經費不多，因此只能以本中心實驗室作初步的驗證，事實上也證明這個技術是確實可應用的，我們很期待能有後續的支援，能讓我們這個計畫更加圓滿。 |
| 2 | 潔淨室省能係以本身改善前後作比較，建議在與一般半導體工廠之狀況作分析比較，較具實用性。 | 感謝評審的建議 事實上我們也在積極的與廠商接觸，但是理由同問題1，受限比較多，因此很難在短短5年計畫中達成。 |
| 3 | 報告中對「潔淨室省能技術研發」與「室溫液相沈積絕緣膜及設備之研發推廣」二子項說明較詳細，對「低溫製程之研究」及「12吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術開發」則說明不夠清楚。 | 『低溫製程之研究』中，為了降低BST薄膜之製程溫度，除了採用不同電極外也使用多種不同之添加物加以改善，而『12吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術開發』亦採用許多方法以增進溫度均勻性。此次報告只針對改善效果最好之幾種情況有詳加描述，以後將改進將所有改善之參數及結果一一詳列。 |
| 4 | 潔淨室省能技術與機台省能技術於能源效率之貢獻已有計算說明，但對實際應用情形仍有待加強。(目前只有12吋RTP機台轉移震生機械)。 | 感謝評審的建議 理由同問題1 |
| 5 | CFD 模擬已經可取代實驗，但本計畫使用 STAR-CD 軟體亦有相同的功能，為避免替廠商宣傳，宜於期末報告中修正。 | 感謝評審的建議 CFD 軟體很多，而我們使用 Star-CD 的原因是本研究團隊對此軟體的使用已有近 10 年的經驗，因此掌握性較佳，我們也很期待能有機會使用其他 CFD 軟體作交叉驗證，以使此報告更加完備。至於報告中提及 Star-CD 名稱，是為顧及軟體差異性，必須對使用軟體及條件作詳細說明的必須程序，我們在報告第 32 頁加上清楚說明，以避免廣告嫌疑。 |

| 序號 | 審查意見 | 回覆意見 |
|----|---|---|
| 6 | <p>計畫執行之目標達成之節能效率有些太低，如 潔淨室排氣省能最適化設計省能1%。迷你環 境潔淨室設計省能1%，蓄熱式燃燒 新立設計 熱效率提昇2%，半導體製程省能技 術，12晶 圓快速加熱製程省能0.5%，清洗製 程省能 2%.....等。若能在技術提昇及成本降 低加強， 否則本研究之技轉誘因不足，推 廣及應用 困難。</p> | <p>分項答覆如下： 「低溫製程之研究」：低溫製程可減少材料使用經 費達20%，且可達到高溫製程時相同之結果，可 提供業界做為技術上改良之參考。 「12吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術 開發」：省能0.5%此為第一年之計畫目標，於第 四年度成果之能源消耗部分發現，單獨使用燈源加 熱時需要長時間改善均溫性，如此會造成較多的能 源消耗，如果加上主動式控溫板則可使的加熱時間 縮短且能源消耗減少，所節省之能量遠超過5%。 「室溫液相沈積絕緣膜及設備之研發推廣」：在審 查會中，委員對於「室溫液相沈積絕緣膜技術」是 否具備競爭力的相關疑問，我們將在期末報告內有 關能源效益分析一節加以說明，修正後的計算將把 單位晶圓的省能效益列入比較。請參考期末報告第 30頁及31頁中間。 「潔淨室省能技術研發」：本年度雖然節能效率只 有5%，但因為本計畫是5年計畫，每年的研究成 果，都將是下一年度計畫之基礎，因此綜合潔淨室 省能技術研究成果。在每一年度雖然只有1%-5% 的進步，但累積起來亦是相當可觀。</p> |
| 7 | <p>報告中實驗分析的結果，如果是彩色的，宜於期末報告修正時以彩色圖呈現。</p> | <p>謝謝評審委員意見，已於期末報告中修正。</p> |

| 序號 | 審查意見 | 回覆意見 |
|----|---|---|
| 8 | <p>量化成果方面在期刊論文方面成效良好，但業界合作及技術服務方面則偏差，本計畫並非學術研究，應在業合及技術方面有所貢獻。</p> | <p>分項答覆如下： 「低溫製程之研究」：低溫製程之結果已經和華邦等公司開始進行研發之工作。 「12 吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術開發」：12 吋 RTP 機台已轉移震生機械 「室溫液相沈積絕緣膜及設備之研發推廣」：對於「室溫液相沈積絕緣膜」子計畫的研究內容而言，單純幾個百分比的省能成果對於半導體業界的誘因不足，但對於光電產業而言，因為有必要在玻璃甚至塑膠基板表面沈積氧化膜，故室溫沈積技術有其吸引力，但僅有實驗型機台的實驗成果無法吸引廠商引進此項技術，尚須結合設備廠商加入開發。另外本子計畫已獲得一項國內專利，相關低溫沈積氧化層的研究近幾年也獲得多項國內與美國專利，證明此技術有其新穎及實用性。 「潔淨室省能技術研發」：感謝評審的意見，理由同問題 1 的回答，受限較多，因此未竟其功，希望未來能有更多資源，能讓此計畫之執行更加完滿。</p> |
| 9 | <p>計畫之經濟效益及能源效益應就有計畫技術推廣後之衍生效益作分析，而非本計畫實際產生的能源效益，否則耗電量少 318W 對資源投入而言效益太低。</p> | <p>本計畫使用本中心的潔淨室作為研究的標的，事實上此潔淨室只有 38.22m² 的面積與 1-2 台實驗機台的設置，與廠商動輒數千平方公尺面積與數 10 台機台的潔淨室比較，不可同日而語，因此耗電量雖然在數字上看來減少不多，但若放大到工業上實際的廠房設施，我們相信數字絕對數十倍甚至數百倍於此。我們也曾希望以 π theory 作因次分析來估計放大後的節能成果，但因已知條件過少而放棄，希望評審鑑察。</p> |
| 10 | <p>五年全程告一段落，如何落實成果技術轉移及擴散？未來計畫方向希在結論中有所敘述，絕不可隨計畫結束即所有成果也告一段落而失去「先趨性」。</p> | <p>雖然 5 年計畫告一段落，但寶貴研究成果，自然不可輕言廢棄，例如低溫製程之結果已經和華邦等公司開始進行研發之工作，用於記憶體方面之研究，將本計劃之成果和業界合作繼續研發下去。此外各項子計畫之未來計畫方向與技術轉移等相關討論，已於「執行檢討與建議」一節加以討論。</p> |
| 11 | <p>本研究計畫成果，著重於人才培育與產業合作互動性似乎少一些，依計畫之一般授權金、權利金、技術服務費等之達成率偏低。建請偏低原因於期末報告上詳述，列為未來計畫參考。</p> | <p>已補充於期末報告第 114 頁。</p> |

目錄

| | |
|--------------------------------|-----|
| 九十三年度政府部門科技計畫期末摘要報告..... | I |
| 一、前言 | 1 |
| 1.1 研究背景..... | 1 |
| 1.2 研究目的..... | 6 |
| 二、計畫執行狀況檢討..... | 11 |
| 2.1 與計畫符合情形..... | 11 |
| 2.1.1 進度符合情形 | 11 |
| 2.1.2 目標達成情形..... | 16 |
| 2.1.3 計畫延長或變更執行情形..... | 17 |
| 2.2 資源運用檢討..... | 18 |
| 2.2.1 人力運用情形 | 18 |
| 2.2.2 設備購置情形..... | 18 |
| 2.2.3 經費運用情形..... | 19 |
| 2.2.4 人員出國統計表..... | 20 |
| 2.2.5 計畫收入繳庫數..... | 21 |
| 2.2.6 保留款項執行情形..... | 21 |
| 三、成果說明..... | 22 |
| 3.1 重要研究成果統計表 | 22 |
| 3.2 重要研究成果清單 | 23 |
| 3.3 經濟效益分析（量化及非量化）..... | 27 |
| 3.4 能源效益分析（量化及非量化）及估算方式說明..... | 29 |
| 四、結論與建議..... | 32 |
| 4.1 研究結果 | 32 |
| 4.2 執行檢討與建議 | 112 |
| 附件一、重要成果照片及說明..... | 115 |
| 附件二、分包計畫摘要說明..... | 119 |
| 附錄一、節能與環保成效自評說明..... | 119 |
| 附錄二、政府部門研究計畫基本資料表(GRB)..... | 122 |

圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖 1. PECVD 製程機台..... | 34 |
| 圖 2. 真空實驗機台..... | 34 |
| 圖 3. TITANUS PRO-SENS2 偵測主機..... | 35 |
| 圖 4 超音波風速計校正曲線圖..... | 36 |
| 圖 5.METONE 2100C..... | 37 |
| 圖 6.潔淨室幾何尺寸..... | 41 |
| 圖 7.潔淨室內放置一機台時之流場量測點位置..... | 41 |
| 圖 8.潔淨室內放置兩機台時之流場量測點位置 (A) 機台之間距離 1 公尺 (A) 機台之間距離 0.5 公尺..... | 42 |
| 圖 9.潔淨室內發熱機台..... | 43 |
| (A) 流場量測點位置 (B) 溫度場量測點位置..... | 43 |
| 圖 10.潔淨室內擺設兩發熱機台之流場量測點位置..... | 44 |
| 圖 11.在 X=3.5 公尺平面 (A) 機台周圍流場的分佈 (B) 機台周圍的紊流動能圖..... | 54 |
| 圖 12.在 X=3.5 公尺平面,機台之間不同距離與流場分佈的情形 (A)0.1M (B) 0.2M (C) 0.3M (D) 0.5M (E) 0.7M (F) 0.9M..... | 55 |
| 圖 13.在 X=3.5 公尺平面,機台之間的紊流動能圖,機台之間距離: (A) 0.1M (B) 0.2M (C) 0.3M (D) 0.5M (E) 0.7M (F) 0.9M..... | 56 |
| 圖 14 .兩機台之間距離不同時之速度分佈圖..... | 57 |
| 圖 15.兩機台之間距離與機台之間最大速度之關係..... | 58 |
| 圖 16.在 Y=2.73 公尺平面,機台周圍的流場分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬..... | 59 |
| 圖 17.在 Y=2.73 公尺平面, (A) 實驗量測機台周圍的紊流強度 (B) 數值模擬的紊流動能..... | 60 |
| 圖 18. 速度隨 X 方向的分佈圖 (Y=2.73M, Z=1.5M)..... | 61 |
| 圖 19.在 Y=2.73 公尺平面,機台之間距離 1 公尺的流場分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬..... | 62 |
| 圖 20.在 Y=2.73 公尺平面,機台之間距離 1 公尺 (A) 實驗的紊流強度 (B) 模擬的紊流動能..... | 63 |

| | |
|--|----|
| 圖 21.在 Y=2.73 公尺平面，機台之間距離 0.5 公尺的流場分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬 | 64 |
| 圖 22.在 Y=2.73 公尺平面，機台之間距離 0.5 公尺 (A) 實驗的紊流強度 (B) 模擬的紊流動能 | 65 |
| 圖 23. 速度在兩機台之間隨 X 方向的分佈情形 (Y=2.73M, Z=0.8M) | 66 |
| 圖 24.入口風速 0.2M/S, 在 X=3.5M 平面機台頂面積發熱量 100W (A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖 | 67 |
| 圖 25.入口風速 0.2M/S, 在 X=3.5M 平面機台頂面積發熱量 200W (A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖 | 68 |
| 圖 26.入口風速 0.2M/S, 在 X=3.5M 平面機台頂面積發熱量 300W (A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖 | 69 |
| 圖 27.入口風速 0.2M/S, 在 X=3.5M 機台頂面積發熱量 400W (A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖 | 70 |
| 圖 28.入口風速 0.2M/S, 在 X=3.5M 平面機台周圍之溫度分佈圖 機台頂面積發熱量 (A) 100W (B) 200W..... | 71 |
| 圖 29.入口風速 0.2M/S, 在 X=3.5M 平面機台周圍之溫度分佈圖 機台發熱量 (A) 300W (B) 400W..... | 72 |
| 圖 30.入口風速 0.35M/S, 在 X=3.5M 機台頂面積發熱量 1000W (A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖 | 73 |
| 圖 31.入口風速 0.2M/S, 在 X=3.5M 機台頂面積發熱量 1600W (A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖 | 74 |
| 圖 32.入口風速 0.2M/S, 在 X=3.5M 平面機台周圍之溫度分佈圖 機台發熱量 (A) 1000W (B) 1600W..... | 75 |
| 圖 33.入口風速 0.2M/S, Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 200W 時 機台上方的流場分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬 | 76 |
| 圖 34.入口風速 0.2M/S, Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 200W 時 機台上方的溫度分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬 | 77 |
| 圖 35.入口風速 0.2M/S, Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 400W 時 機台上方的流場分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬 | 78 |
| 圖 36.入口風速 0.2M/S, Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 400W 時機台上方的溫度分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬 | 79 |
| 圖 37.入口風速 0.2M/S, 在 Y=2.73 平面 兩機台頂面積發熱量均為 400W 時之流場分佈圖 | 80 |

| | |
|--|-----|
| 圖 38.入口風速 0.35M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 200W (A) 機台上方的流場分佈圖 (B) 機台上方的溫度分佈圖 | 81 |
| 圖 39.入口風速 0.35M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 400W (A) 機台上方的流場分佈圖 (B) 機台上方的溫度分佈圖 | 82 |
| 圖 40.入口風速 0.35M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 900W 時 機台上方的流場分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬 | 83 |
| 圖 41.入口風速 0.35M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 900W 時 機台上方的溫度分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬 | 84 |
| 圖 42.速度隨 X 方向的分佈圖(Y=2.73M,Z=1.45M) (A)入口風速 0.2M/S 發熱量 200W (B) 入口風速 0.35M/S 發熱量 900W | 85 |
| 圖 43.(A)氧氣及(B)氧化氮中快速熱退火處理加上室溫液相沉積矽氧絕緣之電流-電場特性圖。 | 90 |
| 圖 44.兩種不同快速熱退火製程之電流-電場特性圖比較。 | 91 |
| 圖 45.(A)氧氣及(B)氧化氮中快速熱退火處理加上室溫液相沉積矽氧絕緣之崩潰電場分布圖。 | 91 |
| 圖 46.兩種不同快速熱退火製程之崩潰電場分布圖比較。 | 92 |
| 圖 47.電子顯微鏡圖(A)無成長、(B)選擇性成長及(C) 全面性成長。 | 94 |
| 圖 48.接面二極體製作流程圖，選擇性液相沉積技術(左圖)及傳統活性離子蝕刻方式(右圖)。 | 94 |
| 圖 49.量測出之二極體元件電流及電壓特性圖。 | 95 |
| 圖 50.兩種不同接觸孔製程的接觸電阻。 | 95 |
| 圖 51.蕭特基二極體的特性曲線。 | 96 |
| 圖 52.奈米閘極製作流程圖及對應的掃瞄式電子顯微鏡截面圖 | 98 |
| 圖 53.、經過不同化學藥品蝕刻後之鍍金屬矽化物的片電阻變化 | 100 |
| 圖 54.電漿蝕刻後之鍍矽化物的片電阻變化..... | 100 |
| 圖 55.使用不同接觸孔製程之蕭基二極體的製作流程圖 | 102 |
| 圖 56.經過不同接觸孔製程之蕭基二極體的理想常數變化 | 103 |
| 圖 57.改變接觸孔面積與接觸孔製程對於蕭基二極體之理想常數的影響 | 103 |
| 圖 58.單獨燈源加熱，晶圓溫度設定在 200°C 時之晶圓溫度分布圖，總耗能 252KJ..... | 109 |

- 圖 59.使用燈源配合六段電阻絲加熱時，晶圓溫度設定於 200°C 時之晶圓溫度分布圖，燈源所消耗能量為 186KJ 以及主動式控溫板所消耗能量為 723KJ，總耗能為 909KJ。..... 110
- 圖 60.使用燈源配合六段電阻絲加熱時，晶圓溫度設定於 200°C 時之晶圓溫度分佈圖，燈源所消耗能量為 180KJ 以及主動式控溫板所消耗能量為 720KJ，總耗能為 900KJ。..... 111

表目錄

- 表 1. 變數及誤差值.....40
- 表 2. 室溫液相沉積矽氧絕緣膜不同製程溫度下之沉積速率.....88
- 表 3. 室溫液相沉積矽氧絕緣膜不同加水量之沉積速率.....89
- 表 4. 各種樣本實驗之條件.....89
- 表 5. 兩種接觸孔製程的電性參數.....96

九十三年度政府部門科技計畫期末摘要報告

計畫名稱：高效率能源技術研究發展計畫—潔淨室省能技術與半導體製程省能技術 (5/5)

| | | | | | | | |
|---------|------------------------------------|------------|------------|--------|--------|---------|-------|
| 審議編號： | 93-1405-13-03-04 | 部會署原計畫編號： | 93-D0218 | | | | |
| 主管機關： | 經濟部能源委員會 | 執行單位： | 國立交通大學 | | | | |
| 計畫主持人： | 陳俊勳 | 聯絡人： | 陳俊勳 | | | | |
| 電話號碼： | (03)5712121 轉 55130 | 傳真號碼： | 03-5721091 | | | | |
| 全程期程： | 自民國 89 年 3 月 1 日至民國 93 年 12 月 31 日 | | | | | | |
| 研究經費： | [全程] 新台幣 34,803 仟元 | [年度] 新台幣 | 5,800 仟元 | | | | |
| 1.執行進度： | | 預定(%) | | 實際(%) | | 差異比較(%) | |
| | 年度 | A | 100 | B | 100 | A-B | 0 |
| | 全程 | C | 100 | D | 100 | C-D | 0 |
| 2.經費支用： | | 預定(仟元) | | 實際(仟元) | | 支用率(%) | |
| | 年度 | E | 5,800 | F | 5,800 | F/E | 100 |
| | 全程 | G | 34,803 | H | 34,557 | H/G | 99.29 |

【註】A：100 B：當年度至期末實際進度 C：全程計畫累計至當年度之預定進度 D：全程計畫累計至當年度之實際進度 E：當年度預算數

F：當年度實際支用數 G：全程計畫累計至當年度之預算數 H：全程計畫累計至當年度之實支數

壹、主要執行成果：〔約 2,000 字以內〕

本年度計畫為五年期計畫之第五年，今年度執行日乃從一月一日起至十二月三十一日止。各項研究項目皆按預定之進度完成，並無落後之情形。

本年度在研究成果方面的重要成果統計如下

- | | |
|---------|------|
| 1) 論文 | 14 篇 |
| 2) 技術報告 | 4 篇 |
| 3) 專利 | 1 項 |
| 4) 技術授權 | 1 項 |
| 5) 研討會 | 1 場 |

所完成的工作包括：

- (1) 完成以本中心潔淨室為基礎，完成含 PVD 製程機台之 7×5.46×2.6m 潔淨室省能設計，合乎 209E 之 Class10 規範，並與未改善前比較省能達 5%。
- (2) 完成開發計算流體力學模擬之潔淨室設計技術，建立以本中心潔淨室為基礎之 7×5.46×2.6m 潔淨室設計資料庫。
- (3) 完成潔淨室研究成果與業界共同開發或移轉。
- (4) 完成 12 吋晶圓快速加熱爐各子系統設計，對燈源系統及主動高溫控溫板進行測試及改進。
- (5) 達到晶圓表面均溫性±1.6°C 同時能源消耗可減少 5%。
- (6) 完成 12 吋晶圓省能快速加熱爐各子系統之系統整合及可靠度測試，並加以推廣。
- (7) 開發完成 450°C 以下低溫成長於氧化物。

- (8) 電極上 BST 基薄膜，其具有良好的結晶性，且具優選方向。
- (9) 開發成長於氧化物電極上 BST 基薄膜，介電常數在 450 以上，漏電流在 $10^{-9}\text{A}/\text{cm}^2$ 以下。
- (10) 利用室溫液相沉積技術成長超薄閘極氧化層，預計達到氧化層厚度 100\AA 。
- (11) 利用選擇性室溫液相沉積技術，製作無電漿破壞之金屬接觸孔製程，預計達到接面漏電流 $10^{-9}\text{A}/\text{cm}^2$ 。
- (12) 利用選擇性室溫液相沉積技術，製作奈米尺寸之閘極，預計達到線寬 100nm 。
- (13) 將省能室溫液相沉積設備推廣並技術轉移給產業界。

貳、計畫變更說明：〔300 字以內之說明〕

- 1) 博士生蕭智文由於已修畢學位，因此自九十二年度七月一日起改由博士生王碩成接任。
- 2) 博士生謝瑞青由於已修畢學位，因此自九十二年度八月一日起改由博士生謝汎君接任。

參、落後原因：〔300 字以內之說明〕

本計畫所有研究項目皆按預期之工作進度進行，並無任何落後之情形。

肆、主管機關之因應對策(檢討與建議)：

一、前言

1.1 研究背景

自從積體電路發明以來，半導體元件相關製程一直都是在高溫環境下進行，包括利用高溫熱氧化成長絕緣氧化層、利用低壓化學氣相沉積法沉積複晶矽膜或氮化矽膜、離子佈植後之熱退火處理等，大部份都需要高溫高耗能的儀器設備，以製作高品質的元件。在成本降低及功能提升的要求下，元件開極尺寸持續不斷地微縮，許多元件製程也跟著調整以製作出更高性能的元件，此時高溫製程面臨一些難以克服的問題，包括熱預算、熱應力等，於是大量的低溫製程及快速製程的研究被提出，其最主要的目標便是降低元件製程中的熱預算，以製作出尺寸更小性能更好的元件。在這些製程當中，大致上分為電漿製程及快速熱退火製程兩種，電漿製程主要利用各種方式(如平行板、電子迴旋共振、電感耦合等)產生高能量電漿源，再以此電漿源在低溫環境下激發化學反應進行沉積，目前電漿製程可以進行的包括絕緣膜沉積、複晶矽沉積及各種金屬沉積等，由於電漿製程可以在低溫環境下進行，所以可以大大地降低製程的熱預算。另外在快速熱退火製程方面，它保有傳統的高溫製程，為了降低熱預算，只好降低製程的時間，如此便可達到同時保有高溫高品質以及較低熱預算的製程，缺點是只能進行少部份的製程(包括熱退火處理及超薄氧化層成長等)。

為了達到省能的效果，本實驗室開發了室溫成長二氧化矽絕緣膜的技術，此技術在室溫下進行，主要使用到的是過濾及循環化學藥品的管線和濾材，不需牽涉到昂貴且高度耗電的真空幫浦或高電壓電漿產生器。經過多年的研究，本實驗室已充分掌握矽氧絕緣膜的成長機制、物性、化性跟電性等等，包括使用溫度差導致化學平衡方程式反應速度改變的特性來沈積二氧化矽膜，減少 25% 之純水的使用量，若需要進一步提升室溫絕緣膜的特性，則可進行氧氣環境的快速退火處理或是 300°C 左右的 N₂O 電漿

處理，將室溫沈積之二氧化矽薄膜的品質提升到近似高溫 (1000°C 以上) 乾氧化層的水準；此外，臭氧水的前處理亦能夠避免硫酸/雙氧水等化學藥品的使用及去除步驟，進一步減少高污染性化學藥品的使用與純水清洗花費；最後，透過成長槽內部妥善的溫度控制，液相沈積法能夠批次沈積厚度極為均勻的二氧化矽薄膜在大面積的晶圓上，充分滿足業界量產的需求。

在 BST 薄膜文獻報導中，大多數的研究以貴金屬 Pt(鉑)或複晶矽 (poly-Si) 為電極，但如此欲得到高介電常數的良好結晶鈦酸鋇鉬(BST)鐵電薄膜，需要較高的製程溫度(>600°C)，如此高的製程溫度，使得鈦酸鋇鉬(BST)鐵電薄膜在應用上增加取許多困難且損耗較多的能源。因此，本計畫擬以利用與鈦酸鋇鉬(BST)結構相同的鈣鈦礦結構導電氧化物為電極，可以降低其結晶成核之活化能，而大幅降低鈦酸鋇鉬(BST)鐵電薄膜的製程溫度，並可控制薄膜之結晶優選方向(prefer orientation)而進一步改善薄膜的介電性質。另一方面，利用射頻磁控式濺鍍法可得成份均勻的氧化物電極和 BST 基薄膜，而且設備及製程控制較簡易，原材料亦較便宜適合材料系統之開發與研究。當使用氧化電極時，較易得到高介電常數的具優選方向 BST 薄膜，但於漏電流的性質來說，因氧化物電極有較小的工作函數(work function)，易導致氧化物電極/BST 界面的蕭基發射(Schottky emission)的漏電流，因此要從 BST 薄膜本身減少漏電流來著手，藉由添加物的使用，來降低缺陷濃度和電子的濃度，因而可減少薄膜的漏電流。目前文獻上報導的 BST 薄膜之漏電流約 10^{-7} - 10^{-8} A/cm²，介電常數約 200，本年度的計劃在採用與 BST 薄膜匹配的氧化物薄膜電極下，希望 BST 薄膜的製程溫度降到 450°C 左右，而且能同時增強 BST 薄膜的性能，使漏電流達 10^{-9} A/cm² 而介電常數為 450 以上。

在晶圓快速加熱製程 (RTP) 方面，目前微電子製程主要發展之重點

是將積體電路的尺寸縮到最小，以及材料和製程的多樣性。在這同時，晶圓的尺寸增大到 12 吋，所以薄膜厚度均勻性就顯的更重要，而單一晶圓製程能提供最好的薄膜均勻性與再重現性，特別是在大尺寸晶圓。快速加熱製程(RTP)探討的就是在單一晶圓熱製程中除了利用降低製程溫度外並且減少加熱時間，可將製程熱預算降到最低，除此之外單一晶圓的製程比整批式爐管在先天上有幾項優點：(1) 單一晶圓製程的晶圓溫度較容易控制、(2) 晶圓表面溫度分佈較多晶圓均勻、(3) 製程溫度範圍大以及(4)環境控制較簡單。

RTP 原本是使用在晶圓退火(annealing)製程中，雖然此應用仍然是最普遍，但快速加熱方法已經延伸到氧化、化學汽相沉積(CVD)與磊晶，而快速加熱製程會遇到的幾個問題，其中分別是：晶圓的加熱及冷卻過程時溫度之均勻性、在製程中如何能夠保持大晶圓之均溫性以及晶圓溫度的量測。本計畫主要的研究重點在於設計新的晶片加熱及控溫系統，提昇 12 吋晶圓溫度之均勻性。我們同時採用 lamps 加熱及傳統的電阻式加熱方法，並加入等溫板，以得到較佳的晶片溫度均勻性。

針對近幾年來興起的半導體工業而言，潔淨室已是其不可或缺的重要設施。主要因為積體電路對於空氣中的浮游粒子、粉塵等之污染極為敏感，且對於產品的品質、可靠性及良率高低有著極大的影響。晶圓製作過程中，造成晶圓缺陷因素甚多。因微塵粒子污染所造成的缺陷佔非常高的比例，同時，還必須對其內部各項參數做極為嚴格的控制，其中包括氣流速度、氣流分佈、壓力和濕度大小、污染源分佈等等，相對的也耗費了大量的電力，因此，如何設計最佳化的控制參數以減少能源的消耗是一個很重要的課題。

多年來，以數值方法做二維或三維空間流體的熱流場分析一直都是學

術界或工業界所努力的方向。早在 70 年代就有 Hirt 和 Cook 求算三維空間突起物四週的流場分佈。接著 Brown 和 Solvason 則討論矩形隔板兩側的自然對流。近年來，由於電腦科技的進步，更有不少的學者積極投入此方面的研究，例如 Weathers 和 Spilter 即以實際尺寸對室內空氣做實驗和數值法的比較，並同時以層流，壁函數的 $K-\epsilon$ 模型、低雷諾數的 $K-\epsilon$ 模型，在空間表面設計不同位置的氣流的入出口，做速度場的分析。而 Chen 及 Van Der Kooi 則以有限元素法陸續對室內空氣的品質、氣流的流場、空調耗能等做多項討論，並以不同數值模式、不同邊界條件來看室內氣流的變化。Murakami 等人更在紊流對流型式的潔淨室內擺設不同位置的障礙物及污染源，研究污染物在室內的濃度大小分佈。Garrison 等人對這通風設計問題，以 N_2 、 CO_2 、 SF_6 等不同的氣體進行模擬量測有害氣體在室內不同位置的濃度，所測量得到的實驗數據，建立一資料庫，並推導一簡單之數學模式，求得在不同時間，有害氣體的濃度變化。同時，在有關供氣式進排氣口的位置排列及不同位置的室內污染源的研究方面，Woods 在 1983 年以實驗方法找出室內有害氣體濃度最高位置，並以相對暴露指數評估何處是屬高危險區域或安全區域。1988 年 Kuenh、對於 10 級的全面層流型式潔淨室作風速和污染粒子擴散的研究，其指出風速的分佈雖然可以用數值模擬的技巧有效地掌握，但是污染粒子的擴散係數卻因不易確定而失去準確性。1993 年 Fujita 利用數值與實驗的方法，討論直管型空氣艙的潔淨室氣流特性，並提出使用此型式的潔淨室可得到潔淨度為 100 級的均勻流場。1994 年 Lang 等人利用數值方法，討論多區潔淨室內，因某特定區域機台發熱，造成室內流場與濃度場的變化，並且建議，當室內有高溫熱源時，可考慮使用向上垂直層流方式通風，以避免因自然對流與強迫對流的衝突，而造成紊流現象。Nishioka 等人以實驗的方式，用 1:10 尺寸的模型，找出影響 HEPA 過濾器的氣流均勻性之參數。

目前，在潔淨室設備之研發及製造方面，工研院能資所及各大空調設備廠商均已投入大量人力物力，從事相關產品之研發改良。以能資所而言，目前已完成低噪音離心式風機研製、風機濾網機組（Fan-Filter Unit, FFU）開發、全熱換氣窗型機開發及管排與板片冷卻水塔分析等研發項目，均已獲致豐碩之成果，因此以單一設備而言，其能源使用效率已提升不少。不過，潔淨室之目的在於提升製程之良率，雖然增加換氣量可以提高潔淨度，使得良率提高，但相對的其耗能也增加許多，因此以經濟觀點，建立通風條件與製程良率之曲線，求得各種製程環境下之最佳化通風控制條件，以及流場的進一步設計，控制污染粒子的流動方向，才能降低能源成本，提升能源使用效率。去年我們針對整個通風系統、半導體製程與耗能之間關係的釐清，並研究污染粒子的控制，前四年的研究也獲致良好的成果，本年度將以對 CFD 軟體模擬的誤差做確實的實驗與修正，提供廠商做為設計上的參考。

1.2 研究目的

近十年來我國的經濟由於半導體相關產業的發展而持續進步，但也由於其需要高容量及高品質的電力供應，使得我國的能源供應浮現了一些問題，加以環境保護意識的抬頭，更使得能源政策受到了前所未有的挑戰，因此，除了增設電廠等開源的方法外，如何提升半導體相關產業的能源使用效率，降低其能源消耗更是重要的課題。其中，半導體廠普遍使用的環境潔淨室部分，由於需要極穩定的溫度及流場控制，且必須控制空氣中之微粒子數量，對能源的需求量相當大。除此之外，半導體製程中的快速加熱製程及各項鍍膜長膜製程中均需加熱至一定溫度，也耗費了相當多的電力。所以，本計畫針對『半導體製程省能相關技術』進行探討及研究，以期提升相關產業之能源使用效率，降低生產成本，進而促進經濟發展。

由於高科技技術之創新進步，製造技術的發展不僅要求關鍵技術的突破，對於製造環境的要求也愈來愈嚴格。在這樣的背景下，潔淨室的應用也就更加普及，除了大家所熟知的半導體廠，封裝測試廠、光電產業使用外，在生化科技及醫藥科技的發展上，潔淨室也扮演不可或缺的角色。

雖然潔淨室在控制環境條件和排除微塵粒子的能力及效率，已比初期大大地改善增加，但隨著半導體工業持續朝著增加 IC 密度的方向發展，也日益精密，晶圓製造將從八吋進入到十二吋，元件的最小線徑將由目前的 $0.25\mu\text{m}$ ~ $0.18\mu\text{m}$ 進入 $0.11\mu\text{m}$ ~ $0.07\mu\text{m}$ 深次微米世紀，而同時 DRAM 容量亦將從 64MB~128Mb 前進至 256MB~1GB 左右的領域，相對於生產環境溫度、濕度和粒子控制的條件，必須有著更嚴格的要求。而潔淨室的建造成本也是水漲船高，為了降低潔淨室的構造成本，新的潔淨室構造概念應運而生。也就是說，在基於成本花費的考量之下，必須研究發展出新的技術方法。

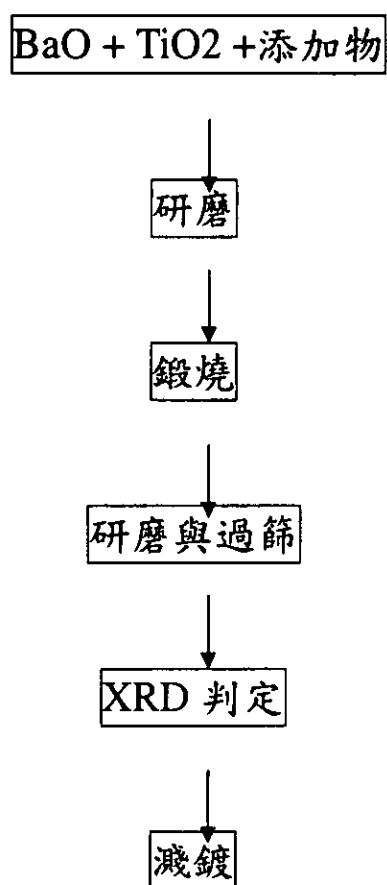
本年度將以過去研究成果為基礎，進一步驗證過去的實驗結果，並縮短計算流體力學軟體與真實實驗之間結果的差異，提供一個新的設計工具與設計概念。同時建立相關的設計資料庫，提供業界參考。最後對這5年計畫作一總結，並將研究成果轉移至業界，以達成本計畫之技術應用導向之目標。

當 MOSFET 元件製程技術進入奈米世代後，元件尺寸不斷微縮，其中，閘極氧化層也必須遵循微縮的公式予以薄化，以保持主動層當中相等的電場強度，利用本實驗室的室溫液相沉積技術，可以成長高品質的超薄氧化層，提供低漏電及高性能的薄閘極氧化層，應用於快閃記憶體上，則可以改善寫入效能。另外，傳統上利用活性離子蝕刻的方式來製作金屬接觸孔，由於在電漿環境中進行，因此很容易造成矽基板之損傷，導致元件漏電流增大，若採用本實驗室新開發的選擇性液相沈積技術來製作金屬接觸孔，即可以避免電漿所造成的損傷，降低元件的漏電流；此外，針對目前 MOSFET 廣泛採用之金屬矽化物製程而言，選擇性液相沈積技術是否適用於此類製程（如六氟矽酸溶液是否會侵蝕金屬矽化物），對逆偏漏電流的改善又是如何，也有必要深入探討。最後，對於利用光學曝光方式已遇到最小曝光尺寸之瓶頸及價格昂貴等問題，更先進的光學曝光機以及 e-beam 等不同光源的曝光方式雖然開始被採用，但仍無法克服產率太低及價格昂貴等問題。因此，若使用本實驗室新開發的選擇性液相沈積氧化膜技術，可以突破光學曝光技術之限制，定義出奈米尺寸的閘極。此技術只需利用現有的薄膜沈積及蝕刻設備即可製作出奈米閘極，不需額外購買昂貴的光學曝光設備。

最後，我們欲綜合歷年計畫之研發成果，針對室溫液相沉積技術之省能效益，對環保改善之評估，以及此技術對半導體產業技術之改進與助益，做一整體性之介紹，並將其實際應用於產業界之優點及效益之提升，

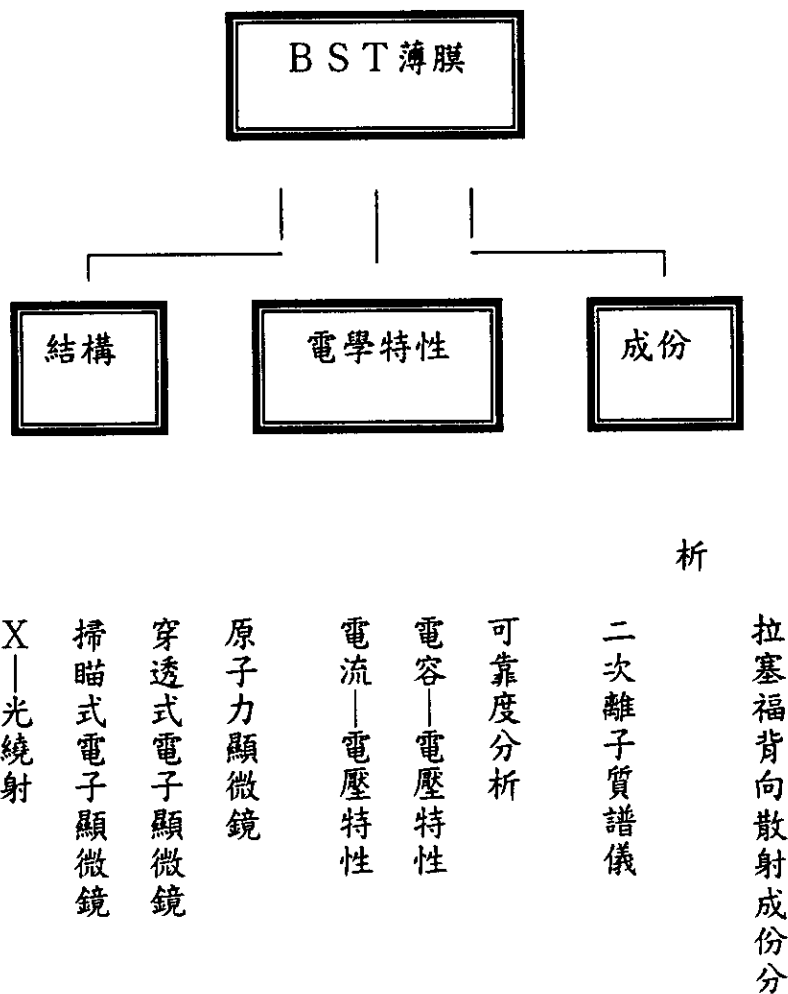
對產業界做說明，以進一步推廣給產業界。

本計畫的低溫製程之研發項目，其研究目的以達成低溫製作鈦酸鋇鉀 (BST) 基高介電薄膜且具有高介電常數與低漏電流密度的特性。氧化物電極將採用射頻濺鍍法沈積的鎳酸鋁 (LNO) 薄膜，因相較於其它的氧化膜，LNO 不僅有與 BST 匹配的晶體結構且價格上較便宜，符合節省能源的目的。LNO 電極沈積在 SiO_2/Si 上，再使用 X-光繞射法確定具有良好的鈣鈦礦結構與優選方向後，於其上再濺鍍有適當添加物之 BST 薄膜，相關 BST 標靶的製程步驟如下：



其中的添加物可能為與鈦離子離子半徑相近的二價離子，藉其加入可減少氧空位與電子濃度，而來降低 BST 的漏電流密度，濺鍍 BST 薄膜時可能的製程參數包括基板溫度、濺鍍功率、腔體壓力、氧壓分量、工作距離與時間，退火溫度、時間與氣氛將尋求適當的組合，以得到品質優良的 BST 薄膜。薄膜的結構與特性的量測包括 X-光繞射、SIMS 的成份分析，掃描式電子顯微鏡與原子力顯微鏡的表面觀察，穿透式電子顯微鏡的薄膜厚度分析，利用 HP 儀器進行電流-電壓與電容-電壓特性的量測來決定薄膜的介電常數及漏電流密度的大小。量測結果再與薄膜製程變數相互比較分析，尋求具有優良特性薄膜的低溫製程條件。

相關薄膜的成份，結構與特性分析的流程如下：



12 吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術研發部分，其主要目的是建立快速加熱爐 12 吋晶圓加熱技術，並改良目前的加熱方式以提升晶圓表面之均溫性，同時亦可減少能源使用，達到節省能源的目標。

由於目前實際製程中著重於如何將晶圓表面溫度快速加熱至設定溫度及加熱過程中之晶圓表面溫度均勻性，甚至到達設定溫度後不可有 overshooting 的情形產生，以免燒壞原本沉積在晶圓表面上的 Patterns；目前有些許的製程需要在晶圓到達設定溫度後，持續保持晶圓表面溫度並開始進行反應，但此時要單獨利用燈源將晶圓維持在設定之溫度，且晶圓表面須有良好的均溫性，不容易達到所需之標準。為了要到達晶圓表面溫度均勻性，單獨使用燈源則必須花較長的時間對晶圓進行溫度控制，此時，能源損耗也較大。本研究的主要目的是建立快速加熱爐中 12 吋晶圓均溫加熱技術，提昇晶圓之均溫性，同時亦可減少能源使用，達到節省能源的目標。

二、計畫執行狀況檢討

2.1 與計畫符合情形

2.1.1 進度符合情形

1. 實際進度與預定進度比較

(1) 潔淨室省能技術研發

| 工作項目 | 年 | | 93 | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|----------------|----------|------------------|----|------------------|----|----|---|--------------|--------------|------------|------------|----|
| | 預定 工作 比重 (%) | 月 進度 (%) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 架設 PVD 實驗機台 | 10 | 本期進度 | ████████ | | 1* | | | | | | | | | |
| | | 實際 | ████████ | | 1* | | | | | | | | | |
| 建立物理模型及數 值模型，並完成驗證 | 15 | 本期進度 | | ████████████████ | | | 2* | | | | | | | |
| | | 查核點 | | ████████████████ | | | 2* | | | | | | | |
| 執行實驗，並修正數 值模擬結果。 | 30 | 本期進度 | | | | ████████████████ | | | | | 3* | | | |
| | | 查核點 | | | | ████████████████ | | | | | 3* | | | |
| 完成實驗及模擬驗 證 | 15 | 本期進度 | | | | | | | | ████████████ | | 4* | | |
| | | 查核點 | | | | | | | | | ████████████ | | 4* | |
| 建立以本中心潔淨 室為基礎之潔淨室 設計資料庫 | 15 | 本期進度 | | | | | | | | | | ██████████ | | 5* |
| | | 查核點 | | | | | | | | | | | ██████████ | |
| 撰寫結案報告，提出 建議。 | 15 | 本期進度 | | | | | | | | | | ██████████ | | 6* |
| | | 查核點 | | | | | | | | | | | ██████████ | |
| 合計 | 100 | 預定累 計進度 | 20 | | 40 | | | 70 | | | 100 | | | |

(2) 室溫液相沉積絕緣膜及設備之研發與推廣

| 工作項目 | 年 | | 93 | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|----------|---|----|----------|---|----|----------|---|-----|----|----------|----------|-----|
| | 工作 比重 (%) | 工作 進度 (%) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 利用室溫液相沉積技術成長超薄閘極氧化層。 | 20 | 預定進度 | ████████ | | 7* | | | | | | | | | | |
| | | 查核點 | ████████ | | 7* | | | | | | | | | | |
| 利用選擇性室溫液相沉積技術，製作無電漿破壞之金屬接觸孔製程。 | 35 | 預定進度 | | | | ████████ | | | 8* | | | | | | |
| | | 查核點 | | | | ████████ | | | 8* | | | | | | |
| 利用選擇性室溫液相沉積技術，製作奈米尺寸之閘極。 | 35 | 預定進度 | | | | | | | ████████ | | | 9* | | | |
| | | 查核點 | | | | | | | ████████ | | | 9* | | | |
| 將省能室溫液相沉積設備推廣並技術轉移給產業界。 | 10 | 預定進度 | | | | | | | | | | | ████████ | | 10* |
| | | 查核點 | | | | | | | | | | | | ████████ | |
| 合計 | 100 | 預定累計 進度 | 25 | | 50 | | | 75 | | | 100 | | | | |

(3) 低溫製程之研發

| 工作項目 | 年 | | 93 | | | | | | | | | | | |
|----------------|----------|----------|----|---|-----|----|---|-----|----|-----|---|-----|----|-----|
| | 工作比重 (%) | 工作進度 (%) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| BST 薄膜與氧化電極的製作 | 25 | 預定進度 | | | 11* | | | | | | | | | |
| | | 查核點 | | | 11* | | | | | | | | | |
| 物性與電性之量測 | 25 | 預定進度 | | | | | | 12* | | | | | | |
| | | 查核點 | | | | | | 12* | | | | | | |
| 製程的最佳化處理 | 25 | 預定進度 | | | | | | | | 13 | | | | |
| | | 查核點 | | | | | | | | 13* | | | | |
| 數據分析與報告的撰寫 | 25 | 預定進度 | | | | | | | | | | | | 14* |
| | | 查核點 | | | | | | | | | | | | 14* |
| 合計 | 100 | 預定累計進度 | 25 | | | 50 | | | 75 | | | 100 | | |

(4) 12吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術開發

| 工作項目 | 年 | | 93 | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----|---|-----|----|---|-----|----|---|-----|-----|----|-----|
| | 工作比重 (%) | 工作進度 (%) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 根據去年測試結果，完成爐體設備修改。 | 20 | 預定進度 | | | 15* | | | | | | | | | |
| | | 查核點 | | | 15* | | | | | | | | | |
| 進行最後測試，均溫性可達 $\pm 1.6^{\circ}\text{C}$ 。 | 25 | 預定進度 | | | | | | 16* | | | | | | |
| | | 查核點 | | | | | | 16* | | | | | | |
| 能源消耗可減少 5% | 25 | 預定進度 | | | | | | | | | 17* | | | |
| | | 查核點 | | | | | | | | | 17* | | | |
| 提高設備的穩定性及可靠性 | 30 | 預定進度 | | | | | | | | | | | | 18* |
| | | 查核點 | | | | | | | | | | | | 18* |
| 合計 | 100 | 預定累計進度 | 25 | | | 50 | | | 75 | | | 100 | | |

2.查核點說明(請填寫有無差異若有請說明)

| 查核點 | 預定時間 | 查核點概述 | 實際時間 | 差異說明 |
|-----|--------|---|--------|------|
| *1 | 93年3月 | 架設PVD實驗機台 | 93年3月 | 無差異 |
| *2 | 93年5月 | 建立物理模型及數值模型，並完成驗證 | 93年5月 | 無差異 |
| *3 | 93年9月 | 執行實驗，並修正數值模擬結果 | 93年9月 | 無差異 |
| *4 | 93年11月 | 完成實驗及模擬驗證 | 93年11月 | 無差異 |
| *5 | 93年12月 | 建立以本中心潔淨室為基礎之7x5.46x2.6m潔淨室設計資料庫 | 93年12月 | 無差異 |
| *6 | 93年12月 | 撰寫結案報告，提出建議 | 93年12月 | 無差異 |
| *7 | 93年3月 | 利用室溫液相沉積技術成長超薄閘極氧化層，達到氧化層厚度100Å。 | 93年3月 | 無差異 |
| *8 | 93年6月 | 利用選擇性室溫液相沉積技術，製作無電漿破壞之金屬接觸孔製程，預計達到界面漏電流 10^{-9} A/cm ² 。 | 93年6月 | 無差異 |
| *9 | 93年9月 | 利用選擇性室溫液相沉積技術，製作奈米尺寸之閘極，預計達到線寬100nm。 | 93年9月 | 無差異 |
| *10 | 93年12月 | 將省能室溫液相沉積設備推廣並技術轉移給產業界。 | 93年12月 | 無差異 |
| *11 | 93年3月 | 完成濺鍍標靶與薄膜的製作 | 93年3月 | 無差異 |
| *12 | 93年6月 | 完成具有良好結晶性與優選方向薄膜製作 | 93年6月 | 無差異 |
| *13 | 93年9月 | 微量添加物之調整與製程最佳化處理 | 93年9月 | 無差異 |
| *14 | 93年12月 | 完成製程溫度450°C以下，介電常數450以上，漏電流在 10^{-9} A/cm ² 的BST膜與報告的撰寫。 | 93年12月 | 無差異 |
| *15 | 93年3月 | 根據去年測試結果，完成爐體設備修改 | 93年3月 | 無差異 |
| *16 | 93年6月 | 進行最後測試，晶圓均溫性可達±1.6°C | 93年6月 | 無差異 |

| | | | | |
|-----|--------|--------------|--------|-----|
| *17 | 93年9月 | 能源消耗可減少5% | 93年9月 | 無差異 |
| *18 | 93年12月 | 提高設備的穩定性及可靠性 | 93年12月 | 無差異 |

2.1.2 目標達成情形

| 計畫目標 | 達成狀況 | 差異檢討 |
|--------------------------|--|---------------|
| 潔淨室送風系統與機台配置最佳化設計 | <ul style="list-style-type: none"> • 以本中心潔淨室為基礎，完成含 PVD 製程機台之 7×5.46×2.6m 潔淨室省能設計，合乎 209E 之 Class10 規範，並與未改善前比較省能達 5%。 • 開發計算流體力學模擬之潔淨室設計技術，建立以本中心潔淨室為基礎之 7×5.46×2.6m 潔淨室設計資料庫。 • 潔淨室研究成果與業界共同開發或移轉。 | 完全符合進度，無差異情形。 |
| 室溫液相沉積絕緣膜及設備之研發與推廣 | <ul style="list-style-type: none"> • 利用室溫液相沉積技術成長超薄閘極氧化層，預計達到氧化層厚度 100Å。 • 利用選擇性室溫液相沉積技術，製作無電漿破壞之金屬接觸孔製程，預計達到接面漏電流 10⁻⁹A/cm²。 • 利用選擇性室溫液相沉積技術，製作奈米尺寸之閘極，預計達到線寬 100 nm。 • 將省能室溫液相沉積設備推廣並技術轉移給產業界。 | 完全符合進度，無差異情形。 |
| 低溫製程之研發 | <ul style="list-style-type: none"> • 開發完成 450°C 以下低溫成長於氧化物。 • 電極上 BST 基薄膜，其具有良好的結晶性，且具優選方向。 • 開發成長於氧化物電極上 BST 基薄膜，介電常數在 450 以上，漏電流在 10⁻⁹A/cm² 以下。 | 完全符合進度，無差異情形。 |
| 12 吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術研發 | <ul style="list-style-type: none"> • 完成 12 吋晶圓快速加熱爐各子系統設計，對燈源系統及主動高溫控溫板進行測試及改進。 • 達到晶圓表面均溫性±1.6°C 同時能源消耗可減少 5%。 <p>完成 12 吋晶圓省能快速加熱爐各子系統之系統整合及可靠度測試，並加以推廣。</p> | 完全符合進度，無差異情形。 |

2.2.5 計畫收入繳庫數

| 科 目 | | 金額(新台幣元) | 備 註 | |
|------------------|-------------------------|----------|--------|--------|
| 財 產 收 入 | 不動產租金 | --- | | |
| | 動產租金 | --- | | |
| | 廢舊物資售價 | --- | | |
| | 權 利 售 價 | 技術授權 | 80,000 | 80,000 |
| | | 權利金 | --- | |
| | | 先期技術授權 | --- | |
| | | 製程使用 | --- | |
| 其他 | | --- | | |
| 罰金罰鍰收入 | | --- | | |
| 其 他 收 入 | 供應收入— 資料書刊費 | --- | | |
| | 服務收入— 教育學術服務 技術服務 | --- | | |
| | | --- | | |
| | 業 界 合 作 廠商配合款結餘 | --- | | |
| | 收回以前年度歲出 | --- | | |
| | 孳息收入 | --- | | |
| | 其他什項 | --- | | |
| 合 計 | | --- | | |

【備註】

- 一、本表所列金額係指實際繳庫數，已扣除營業稅、印花稅...等必要支出。
- 二、備註欄內請註明項數及家數。
- 三、本表中之橫短線(---)表示原計畫書中並無該項預估值。

2.2.6 保留款項執行情形

本年度無前一度保留款項之執行。

三、成果說明

3.1 重要研究成果統計表

| 成 果 項 目 | 預 定 | 實 際 達 成 | 成 果 項 目 | 預 定 | 實 際 達 成 | | | | |
|---------------------------|---------------|---------|---------|--|--|---------|---------|---|---|
| 專 利 權 (項數) | 申 請 | 國 內 | 0 | 0 | 研 究 技 術 報 告 調 查 (篇數) | 4 | 4 | | |
| | | 國 外 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | |
| | 獲 得 | 國 內 | 0 | 1 | | 0 | 0 | | |
| | | 國 外 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | |
| | 運 用 | 國 內 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | |
| | | 國 外 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | |
| 論 文 (篇數) | 期 刊 | 國 內 | 0 | 1 | 技 術 進 件 一 般 件 廠 家 數 技 術 授 權 金 權 利 金 其 他 | 100,000 | 100,000 | | |
| | | 國 外 | 3 | 10 | | | | 0 | 0 |
| | 研 討 會 | 國 內 | 3 | 3 | | | | 0 | 0 |
| | | 國 外 | 1 | 0 | | | | 0 | 0 |
| 業 界 合 作 (一) 合 作 研 究 | 件 數 | 0 | 0 | 技 術 服 務 件 數 項 數 金 額 | 0 | 0 | | | |
| | 廠 家 數 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | | |
| | 配 合 款 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | | |
| | 先 期 技 術 授 權 金 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | | |
| | 權 利 金 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | | |
| 業 界 合 作 (二) 先 期 參 與 | 件 數 | 1 | 1 | 分 包 研 究 學 界 件 數 金 額 業 界 件 數 金 額 | 0 | 0 | | | |
| | 廠 家 數 | 1 | 1 | | 0 | 0 | | | |
| | 技 術 服 務 費 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | | |
| | 先 期 技 術 授 權 金 | 100 | 100 | | 0 | 0 | | | |
| | 權 利 金 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | | |
| 促 進 投 資 生 產 | 項 數 | 0 | 0 | 研 討 會 (座 談 會、 示 範 觀 摩 會) | 場 次 | 1 | 1 | | |
| | 件 數 | 0 | 0 | | 人 數 | 100 | 100 | | |
| 宣 導 手 冊 | 數 量 | 0 | 0 | 推 廣 活 動 | 金 額 | 0 | 0 | | |
| | 金 額 | 0 | 0 | | 場 次 | 0 | 0 | | |
| | | | | | 金 額 | 0 | 0 | | |

備註：1. 「預定」係指本計畫本年度預定目標。

2. 「實際達成」請填寫本計畫本年度開始至本期期間之累計統計數字。

3. 技術服務之件數係指服務之廠家數；項數係指本計畫各項技術之名稱。

4. 凡金額數字皆以仟元計。

3.2 重要研究成果清單

(1) 表 A：專利申請一覽表

| 項次 | 申請編號 | 專利名稱 | 申請日期 | 國家 | 類別 |
|----|------|------|------|----|----|
| 1 | (無) | | | | |

(2) 表 B：專利獲得一覽表

| 項次 | 專利證號 | 專利名稱 | 獲證日期 | 國家 | 類別 | 發明人 | 專利時間 |
|----|--------|------------|---------|----|----|---------|-------------------------|
| 1 | 205748 | 低溫沉積氧化層的方法 | 93/11/4 | 台灣 | 發明 | 葉清發、王碩晟 | 2004/11/4~ 2014/11/4 |

(3) 表 C：專利運用一覽表

| 項次 | 專利證號 | 專利名稱 | 運用廠商 | 效益說明 |
|----|------|------|------|------|
| 1 | (無) | | | |

(4) 表 D : 論文一覽表-1(期刊類)

| 項次 | 論 文 名 稱 | 刊出日期 | 期刊名稱 / 期別 | 國 家 | 起迄頁數 |
|----|---|--------|--|-----|----------------|
| 1 | S.S. Tsa, C.C. Chang and C.H. Chen, 2004 "Experimental Visualizations of Counterflow Flame over Porous Cylinder" (in revision) | | CSME | 台灣 | |
| 2 | C.W. Chiu, C.H. Chen and C.H. Wang, 2004, "Evaluation of Downward Desmoke System in A Cleanroom" (in press) | | International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes | 英國 | |
| 3 | K.K. Wu and C.H. Chen, 2004, "Radiation Effects for Downward Flame Spread Over A Thermally-Thin Fuel in A Partial-Gravity Environment | 2004 | Combustion Science and Technology, Vol.176, | 英國 | pp. 1909-1933. |
| 4 | Impact of Air Filter Material on Metal Oxide Semiconductor (MOS) Device Characteristics in HF Vapor Environment | 2004 | Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 43, No. 5B | 美國 | L659 – L661 |
| 5 | The Removal of Airborne Molecular Contamination in Cleanroom Using PTFE and Chemical Filters | 2004/5 | IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 17, No. 2 | 美國 | pp. 214-220 |
| 6 | Effects of grain boundaries on performance and hot-carrier reliability of excimer-laser annealed polycrystalline silicon thin film transistors | 2004/5 | Journal of Applied Physics, vol. 95 | 美國 | pp. 5788-5794 |

| | | | | | |
|----|---|-----------|---|----|-------------|
| 7 | High Performance Polysilicon Thin Film Transistors Fabricated by Excimer Laser Crystallization of Edge-thickened a-Si Islands | 2004/6 | IEEE Electron Device Letters, Vol. 25, No. 6 | 美國 | pp. 396-398 |
| 8 | Dielectric characteristics of nanocrystalline Ag-Ba0.5Sr0.5TiO3 composite thin films | 2004/8/16 | APPLIED PHYSICS LETTERS | 美國 | 1211-1213 |
| 9 | Deep depletion phenomenon of SrTiO3 gate dielectric capacitor | 2004/5/15 | JOURNAL OF APPLIED PHYSICS | 美國 | 5602-5607 |
| 10 | Stabilization and elimination of transient unstable mixed convective vortex flow of air in a bottom heated horizontal flat duct by top plate heating | SEP 2004 | INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND MASS TRANSFER 47 (19-20) | 美國 | 4137-4152 |
| 11 | Suppression of buoyancy-driven vortex flow resulting from a low speed jet impinging onto a heated disk in a vertical cylinder by cylinder top tilting | JUL 2004 | INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND MASS TRANSFER 47 (14-16) | 美國 | 3031-3045 |

(5)表D：論文一覽表-2(會議)

| 項次 | 論 文 名 稱 | 刊出日期 | 會議名稱 / 期別 | 國 家 | 起迄頁數 |
|----|--|---------|--|-----|------|
| 1 | NH3 Plasma Treatment and Defect Passivation on the Electrical Characteristics of Poly-Si TFT | 2004/12 | International Electron Device Meeting Symposia | 台灣 | |
| 2 | High-Performance Poly-Si Thin-Film Transistors Fabricated Using Excimer Laser Crystallization of Edge-thickened a-Si Islands | 2004/12 | International Electron Device Meeting Symposia | 台灣 | |
| 3 | Contact Resistance of Poly(3-hexylthiophene) Organic Thin-Film Transistors with Various Contact Metal | 2004/12 | International Electron Device Meeting Symposia | 台灣 | |

(6)表E：報告一覽表

| 項次 | 報 告 名 稱 | 類 別 | 完成日期 | 語 言 | 機密等級 | 頁數 |
|----|---|------|----------|-----|------|----|
| 1 | 低溫製程鈦酸鋇銀添加 MgO 及 MnO 薄膜之電性及介電性質研究 | 技術報告 | 93/12/15 | 中文 | | 25 |
| 2 | Applications of Liquid-Phase Deposited SiO2 for Thin-Gate Dielectric and Plasma-Free Contact Hole Process | 技術報告 | 93/12/20 | 英文 | | 9 |
| 3 | 12 吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術研發 | 技術報告 | 93/11/30 | 中文 | | 14 |
| 4 | 國內外潔淨室節能現況及研究 (三) | 技術報告 | 93 | 中文 | | 10 |

3.3 經濟效益分析（量化及非量化）

潔淨室省能技術研發

1. 潔淨室模擬技術之掌握。
2. 完成存在 PVD 機台之 FFU 型潔淨室流場省能設計，掌握污染物控制之相關設計技術及數據。
3. 以實際狀況研究潔淨室省能設計，可降低耗電量 5%。
4. 建立以本中心潔淨室為基礎之 7×5.46×2.6m 潔淨室設計資料庫，可供未來進一步研究，並提供業界設計之參考。
5. 與廠商進行技術合作或授權等方式，吸引廠商參與投資，並將本中心研究成果擴散，以達成本計畫之應用技術導向之目標。

室溫液相沉積絕緣膜及設備之研發與推廣

1. 以新式溫差法來沉積矽氧絕緣膜的技術取代舊式加水法進行液相沉積矽氧絕緣膜，由於減少水的添加量，估計可達到省水 25%。
2. 以最佳化之溫差液相沉積矽氧絕緣膜技術來沈積閘極絕緣層（以 10 nm 估算），與傳統爐管加熱式長膜法比較，可達到節省電能 7.2%。
3. 利用選擇性液相沈積法取代電漿蝕刻法來形成半導體元件的接觸孔，除了可有效地將 p-n 接面處的漏電流從對照組的 10^{-7} A/cm² 降低至 10^{-9} A/cm²，同時省去以電漿輔助型化學氣相沈積機台沈積二氧化矽膜與反應性離子蝕刻機台蝕刻出接觸孔等兩道製程步驟，估計可以節省電能約 81%。
4. 使用選擇性液相沈積法來形成 100 nm 以下的閘極，需配合額外之氧化層、氮化矽層的沈積步驟，以及氮化矽側壁層的蝕刻步驟，但是應用此製程，將能夠省去電子束微影設備、新型電子束微影專用光

阻、相轉移光罩、DUV 微影機台在內的設備與耗材投資，對於奈米元件的先期開發與試產方面有其貢獻，也可避免錯誤的生產設備投資所形成的成本增加與浪費。

低溫製程之研發

1. 利用氧化物電極和 5 mol% MgO 添加的 BST 可提高介電膜的介電常數 從約 200 提高至 599
2. 利用氧化物電極和 5 mol% MnO 添加的 BST 可提高介電膜的介電常數從約 200 提高至 500.
3. 採用氧化鎂添加的 BST 可有效的降低介電膜的漏電流密度從 10^{-6}A/cm^2 降至 10^{-9}A/cm^2 .
4. 使用氧化物/鉑雙層電極，因結構與介電膜匹配可降低製程溫度，且因為鉑功函數較高可較有效降低漏電流

12 吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術研發

「一度電」就是 1,000(W)瓦耗電的用電器具，使用一小時所消耗的電量。RTP 爐設計時須考量晶圓溫度 ramp up 之速率，所以通常需要較大的能量，從文獻數據得知熱通量約為 100 W/cm^2 。在單晶圓熱製程中以長氧化層為例，晶圓必須要較長時間加熱，估計整個晶圓約需 72900W(其中包括了晶圓所吸收的熱量與散失到外界的熱量)，若此 RTP 設備使用一小時需要 72.9 KWH，大約為 73 度電，每日加熱時間若為 12 小時，一年總共消耗了 $73*12*365=319590$ 度電。若製程中加熱與控制晶圓溫度均勻性時間可節省 1 小時就可省 8.3%的用電量。

3.4 能源效益分析（量化及非量化）及估算方式說明

潔淨室省能技術研發

本研究中，顯示經由 FFU 風速之控制，在 class 10 的條件下，其電力之消耗可降低達 2.8%。

估算方式：以本中心之潔淨室而言，機台運作時，機台表面溫度 32-53 度，並設定入口風速 0.4m/s，其未加改善之耗電量為 $220V \times 34A = 7480W$ 。但當改善後，入口風速可降低至 0.4-0.3m/s，電壓不變，但電流減少為 32.1A，則耗電量為 $220V \times 32.1A = 7062W$ ，其將低耗電量可達 $(7480-7062)/7480 = 5.58\%$ ，達成預定目標。

室溫液相沉積絕緣膜及設備之研發與推廣

我們評估溫差液相沉積矽氧絕緣膜技術的省能效益，以下列出溫差液相沉積技術(A)與常見高溫長膜技術(B)的比較：

A. 以溫差液相沉積矽氧絕緣膜機台成長 10 奈米 (nm) 矽氧絕緣膜，恆溫機輸出功率 500W，攪拌機輸出功率 26W，真空馬達輸出功率 400W。

1. 藥品配置：

溶液攪拌耗能 $24 \text{ hrs} \times 26 \text{ W} = 0.624$ (千瓦-小時)

恆溫機耗能 $24 \text{ hrs} \times 500 \text{ W} = 12$ (千瓦-小時)

2. 藥品過濾：

真空馬達耗電 $1 \text{ hr} \times 400 \text{ W} = 0.4$ (千瓦-小時)

3. 成長矽氧絕緣膜：

恆溫機耗能 $0.5 \text{ hrs} \times 500 \text{ W} = 0.25$ (千瓦-小時)

總耗能： $0.624 + 12 + 0.4 + 0.25 = 13.274$ (千瓦-小時)

B. 以高溫熱氧化機台成長 10 奈米 (nm) 矽氧絕緣膜，高溫爐加熱設備最大輸出功率 11760 W，流量控制器輸出功率 4 W。

1. 加熱升溫及降溫:(以最大功率輸出)

$$1 \text{ hr} \times 11760 \text{ W} = 11.76 \text{ (千瓦-小時)}$$

2. 高溫成長:(假設平均以 70% 最大輸出功率輸出)

$$0.3 \text{ hr} \times 8232 \text{ W} = 2.47 \text{ (千瓦-小時)}$$

3. 流量控制器耗能:

$$1 \text{ hr} \times 4 \text{ W} = 0.004 \text{ (千瓦-小時)}$$

$$\text{總耗能: } 11.76 + 2.47 + 0.004 = 14.234 \text{ (千瓦-小時)}$$

以溫差液相沉積矽氧絕緣膜技術成長矽氧絕緣膜節能效益:

$$\text{效益 } (14.234 - 13.274) / 13.274 = 7.2 \%$$

所以利用溫差液相沉積技術成長矽氧絕緣膜可節省能源約 7.2%。由於液相溫差絕緣膜機台與爐管都能夠批次 (batch process) 成長,兩種機台每一次所能成長的晶圓數目原則上也是相同的(視設備設計規格而定),因此單位晶圓省能的效益差距仍為 7.2%。

接下來我們評估使用液相沈積法與傳統電漿蝕刻法之間的耗能差異:

A. 以溫差液相沉積矽氧絕緣膜機台成長 300 奈米 (nm) 矽氧絕緣膜,恆溫機輸出功率 500W,攪拌機輸出功率 26W,真空馬達輸出功率 400W。

1. 藥品配置:

$$\text{溶液攪拌耗能 } 24 \text{ hrs} \times 26 \text{ W} = 0.624 \text{ (千瓦-小時)}$$

$$\text{恆溫機耗能 } 24 \text{ hrs} \times 500 \text{ W} = 12 \text{ (千瓦-小時)}$$

2. 藥品過濾:

$$\text{真空馬達耗電 } 1 \text{ hr} \times 400 \text{ W} = 0.4 \text{ (千瓦-小時)}$$

3. 成長矽氧絕緣膜:

$$\text{恆溫機耗能 } 7 \text{ hrs} \times 500 \text{ W} = 3.5 \text{ (千瓦-小時)}$$

$$\text{總耗能: } 0.624 + 12 + 0.4 + 3.5 = 16.524 \text{ (千瓦-小時)}$$

B. 以電漿輔助氣相沈積法成長 300 奈米氧化層，再以活性離子蝕刻機台蝕刻出接觸孔，電漿輸出功率皆為 200 W，真空馬達 (RP, TMP) 共四顆，每顆馬達輸出功率 500W。

1. 氧化層沈積耗能 $0.5 \text{ hr} \times 1200\text{W} = 0.6$ (千瓦-小時)
2. 氧化層蝕刻耗能 $0.5 \text{ hr} \times 1200\text{W} = 0.6$ (千瓦-小時)
3. 每片晶圓耗能 $0.6 + 0.6 = 1.2$ (千瓦-小時)，液相沈積系統可批次處理晶圓，視成長槽大小，每次可沈積至少 25 片晶圓 (以目前設計之系統容量來估算)，故若以 25 片晶圓計算，傳統製程需耗能 $1.2 \times 25 = 30$ (千瓦-小時)。

故使用選擇性液相沈積法製作接觸孔可省能 $(30 - 16.524) / 16.524 = 81.55\%$ 。由於液相沈積系統有批次處理能力的優勢，因此儘管沈積速度緩慢，但一次可成長至少 25 片晶圓，如果將設備的槽體容量增加，則單位晶圓所能節省的能量可以進一步提升。

低溫製程之研發

- 1 由於採用價格較便宜的鎳酸銅氧化物電極，可節省材料費約 20%。
- 2 降低了介電膜的漏電流密度，則可降低待命電量消耗 (stand-by power consumption) 而節省能源。

12 吋晶圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術研發

在本實驗模擬研究中熱通量為 40 W/cm^2 (12 吋晶圓面積為 729.66 cm^2 ，加熱燈源熱量為 29000W)，一般業界之晶圓溫度上升速率為 100°C/s 所需的熱通量大約為 100 W/cm^2 ，故要節省能源則必須縮短製程時間以及有良好的絕熱，以減少熱散失。若在進行反應時，必須將晶圓溫度準確控制在設定溫度，其溫度均勻性誤差不超過 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，如此燈源必須反覆開關以控制晶圓溫度，故必須花費較多的時間以控制溫度之均勻性(因延長加熱時間可藉由晶圓內部之熱傳導機制來改善晶圓溫度之均勻性)。

四、結論與建議

4.1 研究結果

4.1.1 潔淨室省能技術研發

目標：以本中心潔淨室為基礎，完成含 PVD 製程機台之 7×5.46×2.6m 潔淨室省能設計，合乎 209E 之 Class10 規範，並與未改善前比較省能達 5%。

去年之研究內容為針對 FFU 型潔淨室，我們對機台發熱的問題作進一步探討，希望達成更平穩的空氣流動以降低污染，並研究污染粒子排放，以更進一步接近真實狀況。

由去年結果，我們瞭解污染粒子的控制，因此今年我們針對真實狀況與模擬之間的誤差做一研究，並調整模擬的各項參數，以更進一步接近真實狀況。

採用計算流體力學 (Computed Fluid Dynamics, CFD) 套裝軟體及聲明：

CFD 套裝軟體很多，每套軟體的功能也略有差異，但只要經市場考驗，其正確性必能讓研究者信服。本研究採用 Star-CD 套裝軟體，作為本研究計算流場變化之主要工具，採用理由為本研究團隊使用此軟體已有近 10 年經驗，比較嫻熟，故採用此軟體，但並不表示此軟體優於其他軟體，或為此軟體背書、廣告，相信其他 CFD 軟體亦能達到相同或相似成果。

(1) 建立實驗設備

去年我們希望能進一步研究更接近實際狀況的潔淨室氣流場與污染粒子變化，故我們與參與本計畫之另兩位交通大學電子工程系教授合作，

在本中心潔淨室中建立一套 PECVD 的製程機台，並利用污染粒子產生器產生適量之污染粒子，以模擬真實實驗室之狀況。因為 PECVD 的機台有許多的管路及氣體，因此我們延續去年的結果，到今年把許多配備都安裝完成，其機台樣式如圖 1 所示。



圖 1. PECVD 製程機台

此機台為 Applied Materials. INC. 之 PECVD 700series，主要作為介電質（Dielectric thin film）沈積之用，尤其近年來極為重要的高介電質薄膜製程均可完成。

安裝此機台包含管路施工等，共花了約半年的時間完成，其工程極為浩大。

針對兩台機台是否影響氣流變化，我們安裝了一台真空實驗機台如圖 2，此機台為 Heraeus 公司之 Hera Safe 與 Hera Cell 機台，選擇此機台原因是在學校的環境限制下，取得較方便，而其形狀與前述 PECVD 機台差不多，且玻璃內可以置放高溫實驗儀器，所以實驗結果可與 PECVD 機台做對照。為了與 PECVD 機台比較，下方的空隙將以塑膠板覆蓋。

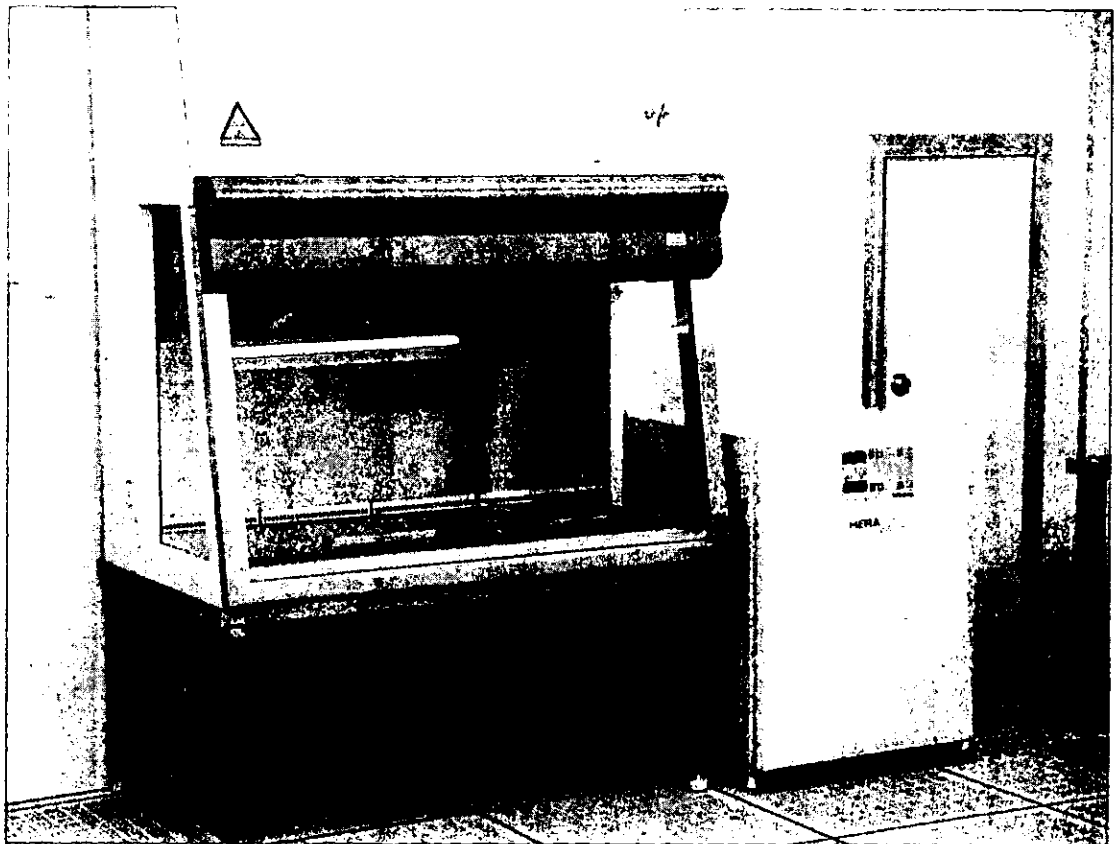


圖 2. HERA SAFE 與 HERA CELL 機台

對於此兩台機台發熱量問題，我們以 PECVD 機台的操作方式，控制

PECVD 製程之各項氣體流速與電壓電流，並以 3D 風速計量測值做計算，可以算出發熱量，並以發熱量 200W-1200W 作為實驗變因，Hera Safe 機台也是類似的控制方式。

此外，我們在去年已經加裝了 WAGNER UK Limited 之 Titanus PRO-SENS 2 偵煙系統，以作為大量污染粒子產生之偵測背景值控制。其設備如圖 3 所示：

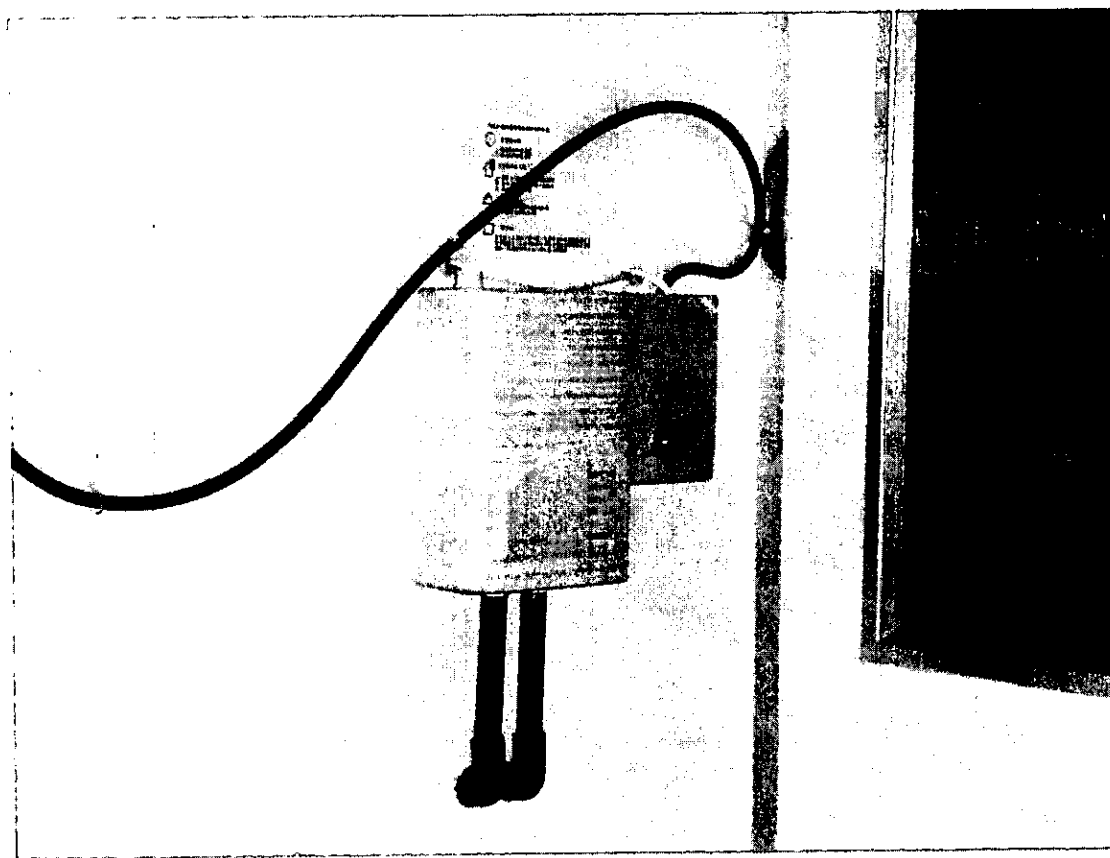


圖 3. TITANUS PRO-SENS2 偵測主機

(2)儀器校正

超音波風速計校正

超音波風速計的校正實驗是利用工研院設計之均勻風源供應器，只要量測出受測當時的溫度及壓力，經由比較標準狀態結果，就能夠求出出口的速度大。整個均勻風源供應器是一段風道所形成，最後出口是 3 次曲線

的噴嘴，因此能夠提供均勻流。均勻風源供應器的流量由一台離心式泵浦提供，經過多次的整流網之後，最後靠著 3 次曲線的漸縮管，因而能夠供給均勻的出口速度，漸縮管出口為直徑 8 公分的圓形。

量測噴嘴提供的穩定風源，藉由穩定風源的風速與超音波風速計量測的實驗值相比較，再根據統計學的回歸分析可以得到超音波風速計的校正曲線，如圖 4 所示。圖中的橫軸為超音波風速計的量測值，縱軸為噴嘴的出口速度值，由這些量測點可知，超音波風速計量測的速度值與噴嘴的速度值差異性小，幾乎可以不用修正，但是為了能更精準地掌控流場變化情況，利用線性的回歸分析找出兩者間的關係，將來量測值只要在代入關係式中，就能馬上求出修正後的速度值。

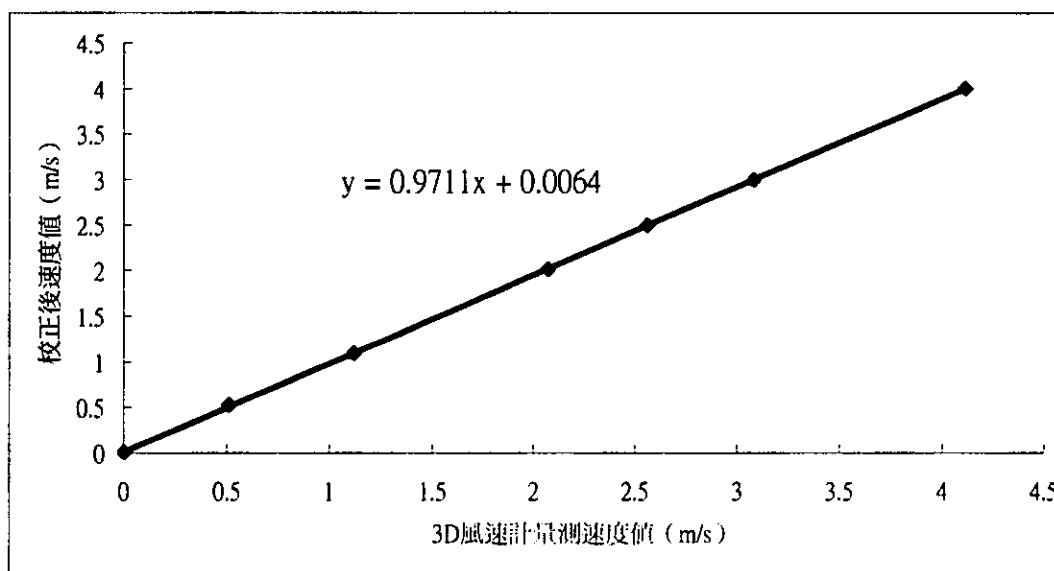


圖 4 超音波風速計校正曲線圖

微粒子計數器校正

微粒子計數器部分，我們採用美國 MetOne 公司之 2100C，以作為量測污染粒子數量之用，並與 3D 風速計配合，可量測出污染粒子之運動方向。其設備如圖 5 所示：

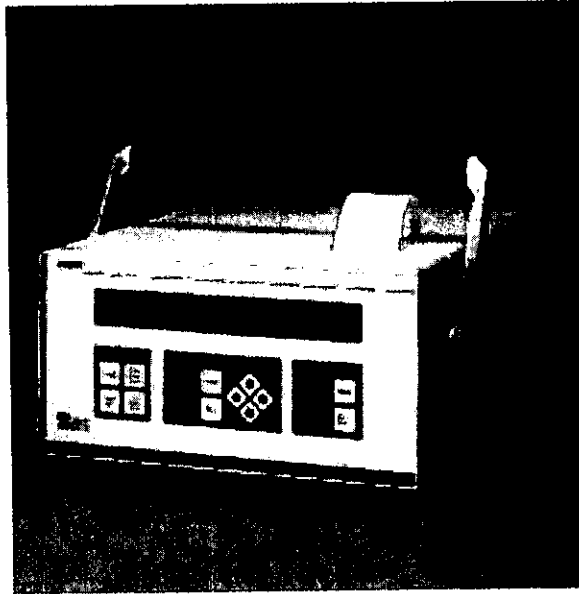


圖 5.METONE 2100C

其規格如下：

2100C/2200C | Data Sheet

- 2100 6 ch: 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0
- 2200 6 ch :0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 3.0, 5.0
- Light Source: HeNe laser
- Data Storage: 400 samples
- 內鍵印表機
- 0.1 or 0.2 micron sensitivity at 1 cfm
- Counts 6 sizes simultaneously
- 209E calculations
- FMS: Supports manifold, up to 32 ports
- Zero Count: Less than 1 count every 5 minutes

此部儀器因為是新進，原廠商已做了校正，故在每次操作前執行一次 detector 清潔工作即可。

(3)不準度分析

任何的實驗量測都會有誤差的產生，這是在工程上被大家所接受的概念，因為不可能找到一個量測儀器，使得量測結果與實際完全吻合。誤差的定義是指量測值與實際值的差距大小，再者，誤差可分為兩個部分：一個是偏移誤差，另一個是精準誤差。如下所示

$$\delta_k = \beta + \varepsilon_k$$

其中 δ_k 表示總誤差值， β 表示偏移誤差值， ε_k 精準誤差值。

精準誤差可以經由重複性的量測得到，是經由 N 次的重複性量測結果，得到一個變數的分佈情形，根據統計概念即可分析出分佈的特性，也就是將各別的精準誤差值定義為

$$S = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (X_k - \bar{X})^2}{N-1} \right]^{1/2}$$

其中 \bar{X} 為 X 的平均值，關於平均的精準誤差值定義為

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

依據這樣的定義，平均精準誤差值會比各別精準誤差值小。

偏移誤差是儀器本身的誤差值，通常為固定的常數，因此在重複性的測量中，都會有相同的偏移誤差值存在於每次量測值內。對於偏移誤差值並沒有辦法像精準誤差值一樣，利用統計方法加以分析而獲得，因此，還必須對實驗儀器進行儀器校正的工作，經過校正後，可將偏移誤差值視為零。

為了更清楚地表示出誤差值的極限，可以用區間來表示實際值一定會落在這個範圍之內，如下所示

$$\bar{X} \pm U$$

其中 U 為最大誤差值，U 在 95% 的信心指數下，可以表示為

$$U = [B^2 + (tS_{\bar{x}})^2]^{1/2}$$

其中 STUDENT t 值是一個自由度 (ν) 的函數，當樣本數目大於 30 個，t 值等於 2，否則根據 Welch-Satterthwaite 準則來計算自由度如下

$$\nu = \frac{\left(\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^K \frac{S_{ij}^2}{N} \right)^2}{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^K \frac{S_{ij}^4}{N^2 \nu_{ij}}}$$

其中 S_{ij} 表示各種誤差源的精準誤差率， ν_{ij} 表示各相同誤差源的自由度大小。根據這樣的誤差分析方法的結果如表 1 所示。

表 1. 變數及誤差值

| 變數名稱 | 誤差值 |
|----------------|-------------|
| 潔淨室溫度 T (°C) | ±0.247069°C |
| 潔淨室相對濕度 RH (%) | ±0.57149% |
| 風機轉速 (RPM) | ±2.86RPM |
| 潔淨室速度 U (m/s) | ±0.018m/s |

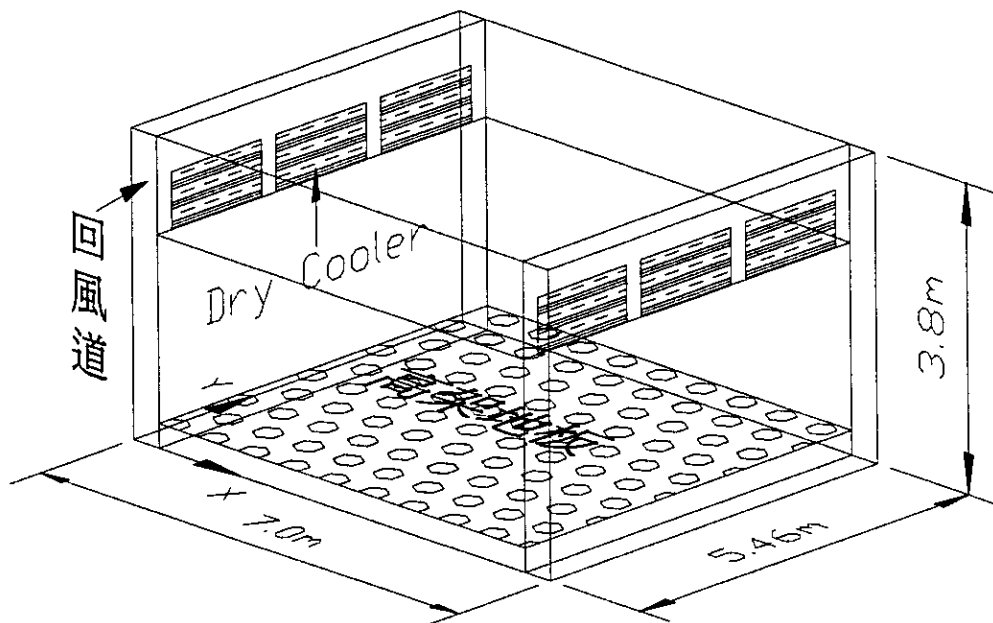


圖 6.潔淨室幾何尺寸

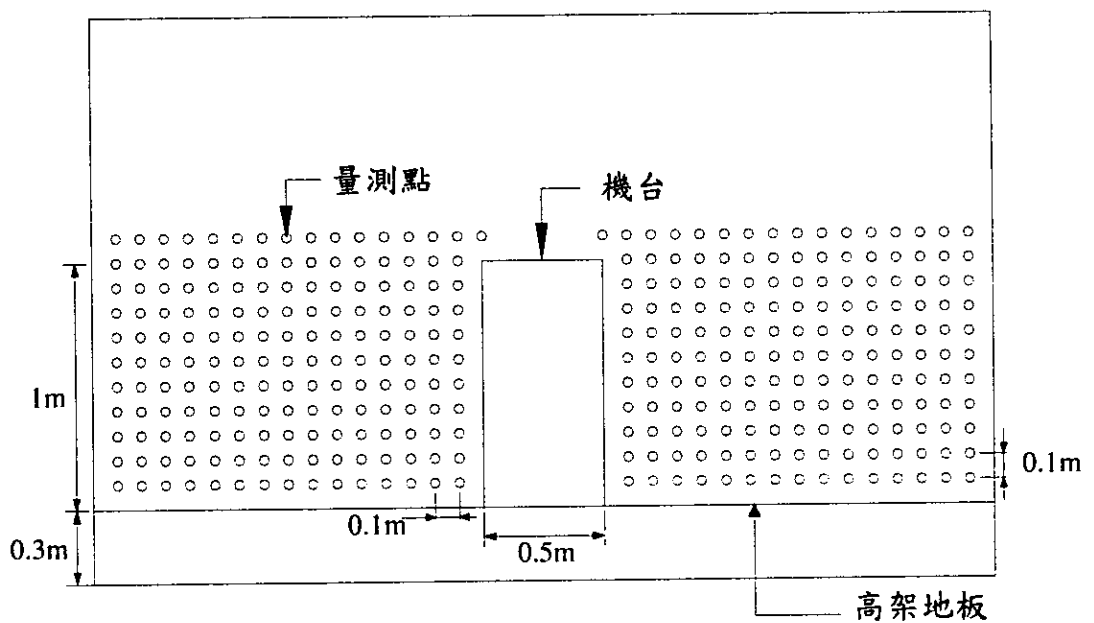
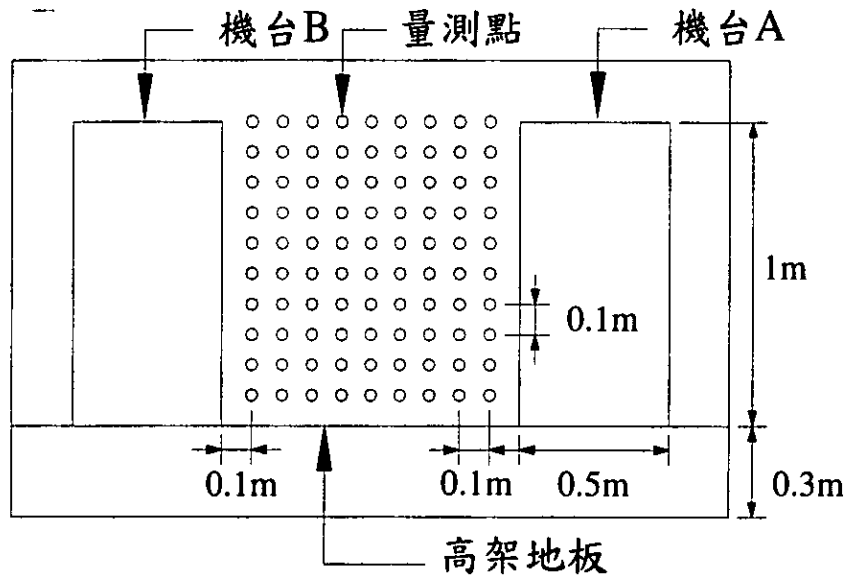
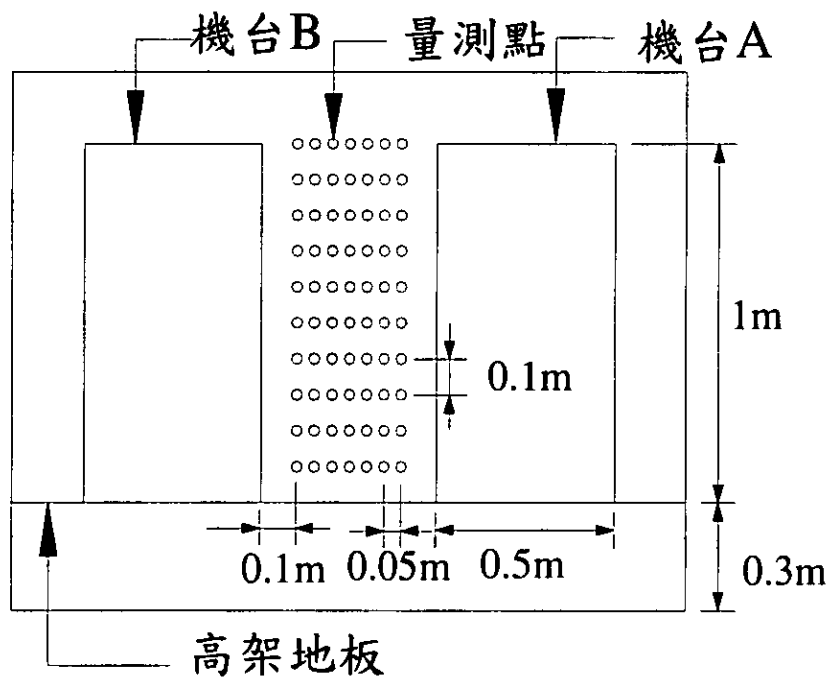


圖 7.潔淨室內放置一機台時之流場量測點位置



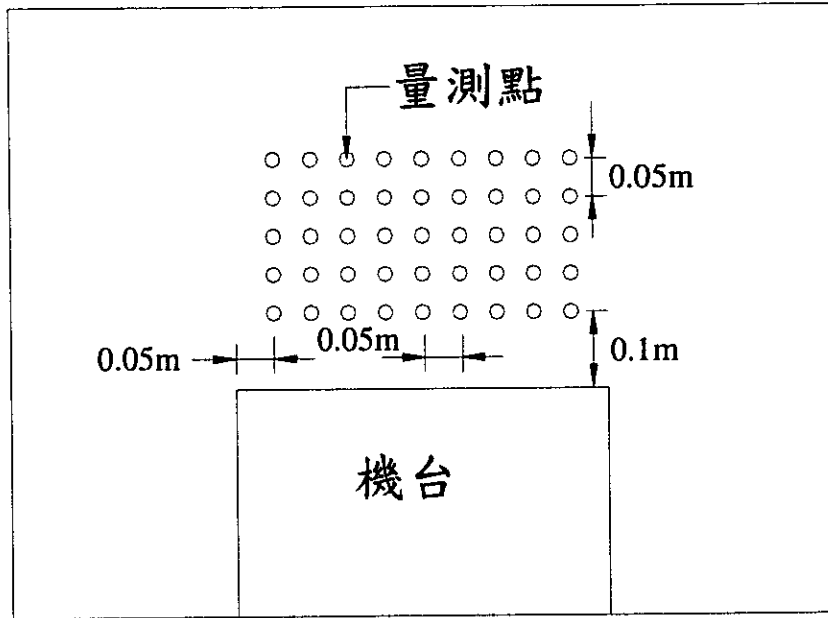
(a)



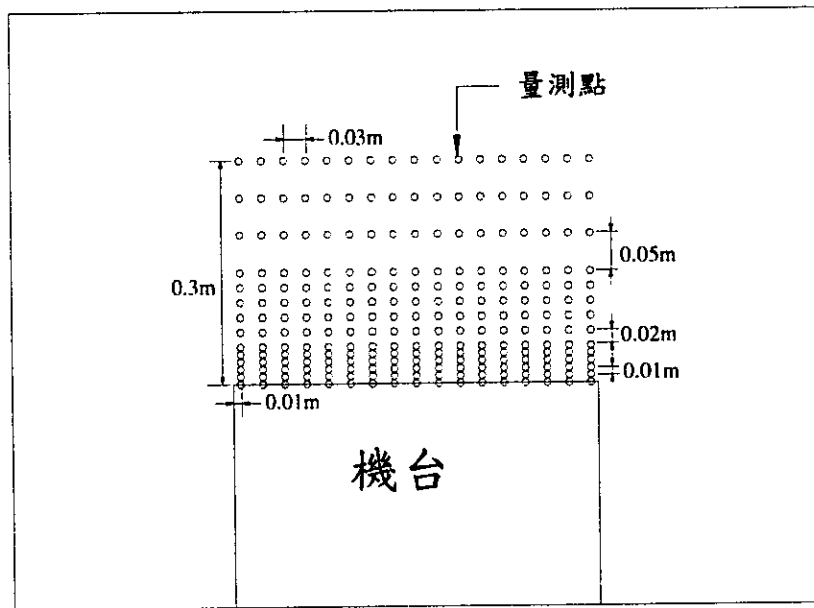
(b)

圖 8.潔淨室內放置兩機台時之流場量測點位置

(A) 機台之間距離 1 公尺 (A) 機台之間距離 0.5 公尺



(a)



(b)

圖 9.潔淨室內發熱機台

(A) 流場量測點位置 (B) 溫度場量測點位置

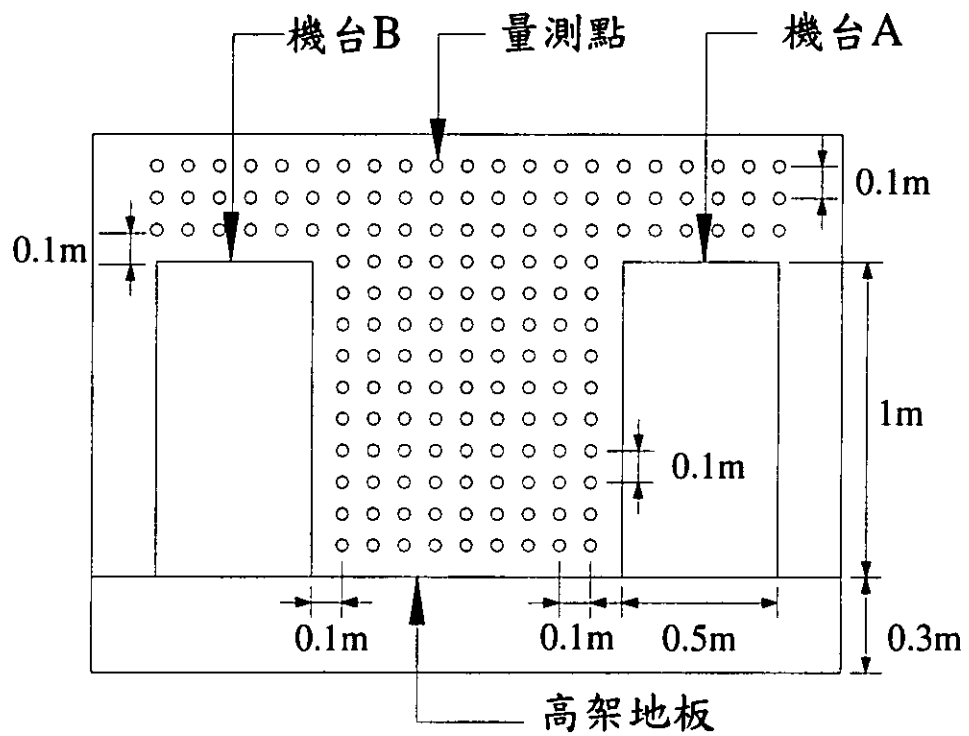


圖 10.潔淨室內擺設兩發熱機台之流場量測點位置

(4)結果分析

潔淨室內擺設機台時之數值結果

圖 11. (a) 為在潔淨室內放置一機台，其機台周圍流場的分佈情形，圖中之箭頭長短代表速度大小，箭頭之方向代表流向。因為機台正上方的空氣衝擊機台表面所形成的橫向流的影響，使得流場產生偏向，導致機台周圍產生低速的迴流區，若潔淨室內有汙染物產生，則極易在迴流區中造成汙染物的堆積。圖 11. (b) 為其紊流動能圖，由紊流動能圖中可看出流場紊亂的程度，紊流動能值愈大表示流場愈亂，由圖中可以清楚看出在機台的周圍的區域其紊流動能值很大，這是因為在機台周圍會產生低速迴流區的關係。而機台上方亦有高紊流動能值的區域，這是因為機台上方的流場受到機台阻礙，而使流向發生角度的偏移，所以由紊流動能值是判斷流場是否為均勻單向流動的重要參數。

圖 12. 為潔淨室內放置兩機台時，其機台之間不同距離對其周圍流場的影響，由圖中可看出當機台之間距離愈近時，因為機台之間會產生整流的作用，而使流向發生偏移的角度變小，所以其機台之間相對兩個面附近的低速迴流區會變小。圖 13. 為其機台之間不同距離的紊流動能圖，由圖中可以清楚看出在機台的周圍的高紊流動能區域，隨著機台之間距離減少而變小，這表示機台之間的迴流區隨著機台距離的減少而變小，而在機台距離為 0.1 公尺與 0.2 公尺時，則完全沒有迴流區。圖 14. 為兩機台之間距離為 1 公尺、0.5 公尺與 0.3 公尺時，速度的分佈圖，由圖中可看出，機台之間距離 0.5 公尺之速度明顯比機台之間距離 1 公尺快，但機台之間距離 0.3 公尺之速度卻比機台之間距離 0.5 公尺來得慢，這是因為機台之間的流速會隨著距離的減少而增加，而由圖 12. (a-c) 可看出，當機台更靠近時則會因為兩機台上方的空氣衝擊機台表面所形成的橫向流，在兩機台之間互相影響，

導致機台之間速度會變慢，這也代表著雖然機台距離 0.1 公尺與距離 0.2 公尺時，在機台之間相對兩個面附近沒有迴流區，但其實整個機台之間的區域都是低速區，所以污染物會容易在機台之間的區域中堆積。機台之間的速度愈快，在單向流的潔淨室中表示流場可以很快的流向高架地板，即污染物可以很快的被帶離潔淨空間。圖 15.為機台之間的最大速度與機台之間距離之關係圖，其中速度的負號代表流場是向下吹，由圖中可看出，當機台之間距離為 0.5 公尺時，其機台之間的流速最快，即當潔淨室內有污染物產生時，可以很快的被流場帶走而不會影響到製程。由於上述等原因，機台之間距離為 0.5 公尺可視為機台之間最佳的距離。不過一般在擺設機台時，因為機台之間必須要留有能讓機台設備維修的空間、人員走動的空間、和人員操作機台空間等，所以一般不會擺設的這麼近，由圖 15.亦可看出機台之間距離超過 1.7 公尺後，機台之間的最大速度幾乎相同，即機台之間流場不再受到機台之間距離的影響，所以一般擺設機台時會距離 1.7 公尺左右；而如果沒有前述之維修空間等問題，機台之間距離 0.5 公尺可最迅速的將機台間的污染物帶離潔淨空間，且低速迴流區也較小。將其對潔淨室空間高度 2.3 公尺做無因次化，則機台高度為 0.435，機台之間距離 0.5 公尺為 0.217，機台之間距離 1.7 公尺為 0.783。而潔淨室內當然不會只擺設兩台機台設備，但是可以由兩台機台設備的研究來延伸。

潔淨室內擺設機台時之實驗結果

圖 16. (a) 為在 $Y=2.73$ 公尺平面，實驗量測機台周圍的流場分佈圖，其箭頭長短代表其速度大小，箭頭之方向代表其流向，由圖可看出在機台周圍有低速的迴流區產生。圖 16. (b) 為代入本研究實驗量測所使用之潔淨室的邊界條件，其數值模擬所得之流場分佈圖，由兩圖比較可看出實驗的流場分佈與使用數值模擬的流場分佈幾乎相同。圖 17. (a) 為實驗量測機台附近的紊流強度 (Turbulence Intensity) 分佈圖，紊流強度是描述流場

紊亂程度很方便的參數，紊流強度的定義為 $TI = \sqrt{((\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)/3)/\bar{u}}$ ，其中 σ_i 為速度變動標準差；由圖中可看出在 $X=2.85$ 公尺~ 3.15 公尺與 $X=3.85$ 公尺~ 4.15 公尺兩區域有很大的紊流強度，這是因為機台周圍低速迴流區的關係；在 $X=2.45$ 公尺~ 2.75 公尺與 $X=4.2$ 公尺~ 4.5 公尺兩區域間，則是因為潔淨室上方的燈具，而造成這兩個區域有很大的紊流強度；在 $X=1.8$ 公尺~ 2.2 公尺與 $X=4.85$ 公尺~ 5.15 公尺兩區域間的高紊流強度，則是因為支撐 FFU 的支架所造成的。圖 17. (b) 為數值模擬之紊流動能分佈圖，圖中的高紊流動能區域出現在機台上方、機台周圍、燈具下方與支架下方，結果與實驗幾乎相同。

圖 18. 為在 $Y=2.73$ 公尺， $Z=1.5$ 公尺，其速度隨 X 方向的分佈圖，其中實線是數值模擬之速度，實心圓是實驗量測的數據，實心圓上的直線是速度隨時間的平均變動值，速度的負號代表流場是向下吹，由圖中可看出實驗與模擬的結果幾乎是相同的；而不論是實驗還是數值模擬的結果，在 $X=1.5$ 公尺、 2.7 公尺、 4.3 公尺與 5.5 公尺處，其風速絕對值較小，這是因為潔淨室上方的燈具的關係，在 $X=2.2$ 公尺與 4.8 公尺處則是因為支撐 FFU 的支架所造成風速絕對值較小，而在 $X=3.5$ 公尺附近，風速絕對值很小的原因是因為在機台的上方。

圖 19. (a) 為在 $Y=2.73$ 公尺平面，實驗量測兩機台距離 1 公尺時，其機台中間區域的速度分佈圖，圖中右邊可明顯的看出有低速迴流區，但左邊卻沒有，這是因為本研究所使用的潔淨室天花板上方由 45 個 FFU 所組成，每一個 FFU 的性能難免會有所差異，而由圖 18. 可看出潔淨室左半側的風速比右半側來的低，所以潔淨室內空氣的流動方向會向左偏，所以導致左方機台的右側區域 ($X=2.25$ 公尺附近區域) 沒有低速迴流的產生。圖 19. (b) 為數值模擬的流場分佈圖，其結果與實驗幾乎相同。圖 20. (a) 為實驗量驗兩機台距離 1 公尺時，其中間區域的紊流強度分佈圖，由圖中可

看出在 $X=2.55$ 公尺到 $x=2.85$ 公尺這個區域，因為潔淨室上方的燈具，而造成這個區域有很大的紊流強度；在 $X=3$ 公尺到 $x=3.15$ 公尺這個區域的高紊流強度，則是因為機台周圍的低速迴流區所造成的。圖 20. (b) 為數值模擬的紊流動能圖，其結果與實驗幾乎相同。

圖 21. (a) 為在 $Y=2.73$ 公尺平面，實驗量測兩機台距離 0.5 公尺時，其機台中間區域的速度分佈圖，圖中並未能明顯看出機台周圍的低速迴流區；圖 21. (b) 為數值模擬的流場分佈圖，由圖可看出在機台周圍會確實會產生低速迴流區，而迴流區的區域在實驗量測的點之外，但因為三維超音波風速計在探測頭向外展開 5 公分的原因，所以無法更靠近機台來量測。圖 22. (a) 為實驗量驗兩機台距離 0.5 公尺時，其機台中間區域的紊流強度分佈圖，由圖中可看出在 $X=2.85$ 公尺到 $X=2.95$ 公尺這個區域的高紊流強度，是因為機台周圍的低速迴流區與潔淨室上方的燈具所造成的；在 $X=3.05$ 公尺到 $X=3.15$ 公尺這個區域的高紊流強度，則是因為空氣流經機台轉角處，造成流向改變與機台周圍的低速迴流區所造成的。圖 22. (b) 為數值模擬的流場分佈圖，其結果與實驗幾乎相同。

圖 23. 為在 $Y=2.73$ 公尺， $Z=0.8$ 公尺，兩機台之間距離 1 公尺與距離 0.5 公尺，其速度隨 X 方向的分佈情形，由圖中可看出機台之間距離為 0.5 公尺時，其機台流速較機台之間距離為 1 公尺時快，這個實驗的結果與之前的數值模擬的結果（圖 14. 與圖 15.）相同，印証之前數值模擬結果的正確性；而在 $X=2.7$ 公尺處則是因為潔淨室上方的燈具，所以使得風速的絕對值較小。

機台設備發熱量對周圍流場的影響

本節針對潔淨室製程設備在操作時會產生熱量，首先將潔淨室入口風速設定為 0.2m/s ，分別在 0.25 平方公尺的機台頂面積產生 100W 、 200W 、 300W

與 400W 的熱通量，然後將潔淨室入口風速設定為 0.35m/s，在 0.25 平方公尺的機台頂面積產生 1000W 與 1600W 的熱通量，探討潔淨室入口速度與機台發熱量對流場的影響，並與實驗比對。

一般來說，判斷流場為強制對流或自然對流效應時，是以 G_r / Re^2 的大小來判斷，其中 G_r 數 (Grashof Number) 為浮力和黏滯力的比值 ($G_r = g\beta (\Delta T) L^3 / \nu^2$)，在自然對流中相當於雷諾數在強制對流的地位。若流場有強制對流和自然對流效應同時發生，則以 G_r / Re^2 的值來決定其效應的強弱。當 G_r / Re^2 遠小於 1，表示流場幾乎都是強制對流效應，可以忽略自然對流效應；而 G_r / Re^2 若遠大於 1，則流場以自然對流的效應為主。

潔淨室入口風速為 0.2m/s 時之數值結果

圖 24. (a) 為機台頂面積的發熱量 100W 時，在 X=3.5m 平面機台周圍之流場分佈圖，與圖 11. (a) 機台無發熱量的情況相比，其機台周圍的流場分佈幾乎是相同的，在機台上方尚未明顯的產生自然對流效應，圖 24. (b) 為紊流動能圖，圖中機台周圍的高紊流動能值區域表示機台迴流區。圖 28. (a) 為在 X=3.5m 平面機台頂面積的發熱量 100W 時之溫度分佈圖，圖中溫度變化相當快速，在距機台上方約 10 公分，其溫度就降至潔淨室的設定溫度 296k，這是因為本研究的潔淨室流場是由上往下吹且發熱量不大所造成的。

圖 25. (a) 為機台頂面積的發熱量 200W 時，在 X=3.5m 平面機台周圍之流場分佈圖，由圖中可看出在機台上方的空氣有受熱而上升的趨勢，又因為潔淨室流場是由上往下吹，所以會在機台上方產生兩個迴流區。由無因次參數 G_r / Re^2 比值來解釋，因為機台加熱面為 0.25 平方公尺的正方形平面，所以計算 G_r 數的特徵長度取 0.5 公尺，由潔淨室內與機台表面最高溫差為 53.7k，算出 G_r 數為 1.089×10^{10} 。 G_r / Re^2 為 1.16，所以可以看出來有自

然對流效應也有強制對流效應。圖 25. (b) 顯示機台上方有一高紊流動能值的區域，這表示機台上方空氣流動方向已有受溫度影響而偏向。圖 28.

(b) 為在 $X=3.5\text{m}$ 平面機台頂面積的發熱量 200W 時之溫度分佈圖，由圖中可看出機台上方中間部份的溫度向上擴散的範圍變大。

圖 26. (a) 與圖 27. (a) 為機台頂面積的發熱量為 300W 與 400W 時，在 $X=3.5\text{m}$ 平面機台周圍之流場分佈圖，由圖中可發現其機台發熱量為 400W 的自然對流效應較機台發熱量較 300W 時更明顯，且由於自然對流效應的影響，使得機台上方周圍產生很大的迴流區，若潔淨室內有污染物產生，則極易在迴流區中造成污染物的堆積。機台頂面積的發熱量為 300W 時，潔淨室內與機台表面最高溫差為 73k ，算出 G_r 數為 1.48×10^{10} ， G_r/Re^2 為 1.57 ；而機台頂面積的發熱量為 400W 時，潔淨室內與機台表面最高溫差為 93.7k ，算出 G_r 數為 1.9×10^{10} ， G_r/Re^2 為 2.01 。由 G_r/Re^2 的比值可看出不論是機台頂面積的發熱量為 300W 或是 400W ，自然對流效應均較強制對流效應強烈，而且機台頂面積的發熱量為 400W 的自然對流效應較機台頂面積的發熱量為 300W 時更強烈。圖 26. (b) 與圖 27. (b) 為其紊流動能圖，由圖中可明顯發現，在機台上方及機台周圍有高紊流動能區存在，且機台頂面積的發熱量為 400W 時，機台上方的高紊流動能區較機台頂面積的發熱量為 300W 時大，其中左右不對稱的原因是因為機台並非擺設在正中央的關係。由圖 29. (a) 與圖 29. (b) 可看出溫度向上擴散的範圍隨著機台頂面積發熱量的增加而變大。

潔淨室入口風速為 0.35m/s 時之數值結果

圖 30. (a) 為機台頂面積的發熱量為 1000W 時，在 $X=3.5\text{m}$ 平面機台周圍之流場分佈圖，配合圖 30. (b) 紊流動能圖來看，可看出機台上方已經產生自然對流效應，只是自然對流效應比強制對流效應小很多。圖 32. (a) 為其溫度分佈圖，由圖中可看出潔淨室內與機台表面最高溫差為

181.8k，算出 G_r 數為 3.686×10^{10} ， G_r/Re^2 為 0.99。

圖 31. (a) 為機台頂面積的發熱量為 1600W 時，在 $X=3.5m$ 平面機台周圍之流場分佈圖，圖中可看出在機台上方有兩個因自然對流效應所產生的迴流區，圖 31. (b) 為其紊流動能圖，圖中顯示機台上方與周圍有很大的高紊流動能區，這表示機台上方與周圍的流場都非常的亂，其中不對稱的原因是因為機台並非擺設在潔淨室正中央的緣故。圖 32. (b) 為其溫度分佈圖，由圖中可看出溫度擴散的範圍較機台頂面積的發熱量為 1000W 時大，即當產生自然對流效應後，溫度擴散的範圍隨著機台頂面積的發熱量增加而變大。圖中亦顯示潔淨室內與機台表面最高溫差為 282.7k，算出 G_r 數為 5.732×10^{10} ， G_r/Re^2 為 1.56。

由上述的結果可看出潔淨室入口風速由 0.2m/s 增加至 0.35m/s 後，機台發熱量亦必須增加至 1600w 才有明顯的自然對流效應，即增加潔淨室入口風速可有效抑制自然對流效應，而機台發熱量愈大時，自然對流效應亦愈強烈。

潔淨室入口風速為 0.2m/s 時之實驗結果

圖 33. (a) 為實驗量測機台頂面積的發熱量為 200W 時，在 $Y=2.73$ 公尺平面，其機台上方的流場分佈圖，其中受到三維超音波風速計在探測頭向外展開 5 公分的原因，所以無法更靠近機台來量測，由圖中可看出機台上方的空氣有受熱而上升的趨勢。圖 33. (b) 為數值模擬的結果，其數值結果與實驗的結果幾乎相同。圖 34. (a) 為實驗量測機台上方的溫度分佈圖，圖中顯示機台上方溫度變化相當快速，在距機台上方約 5 公分，其溫度就降至 300k，而潔淨室內的溫度為 295.7k；圖 34. (b) 為數值模擬的溫度分佈圖，與實驗結果也幾乎相同。

圖 35. (a) 為實驗量測機台頂面積的發熱量為 400W 時，在 $Y=2.73$ 公

尺平面，其機台上方的流場分佈圖，由圖中可看出對流效應更為明顯，且機台上方的迴流區也較機台頂面積的發熱量為 200W 時來得更大。圖 35.

(b) 為數值模擬的結果，其數值結果與實驗的結果幾乎相同。由圖 36. (a) 為可看出機台上方溫度變化仍相當快速，距機台上方約 10 公分溫度降至 300k，而溫度的擴散範圍亦較機台頂面積的發熱量為 200W 時來得大。圖 36. (b) 為數值模擬的溫度分佈圖，圖中也顯示溫度的擴散範圍亦較機台頂面積的發熱量為 200W 時來得大。

圖 37. 為兩機台之間距離 1 公尺，頂面積的發熱量均為 400W 時，在 Y=2.73 公尺平面實驗量測機台上方與機台之間的流場分佈圖，將此圖與圖 19. (a) 比較，可以發現機台頂面積發熱會使得機台上方的流場產生自然對流效應而形成迴流區，而因為機台上的迴流區，使得機台周圍的迴流區亦變大，且流場變得當相紊亂。圖中因為潔淨室內每點位置的流速會因 FFU 的性能而有所不同，所以左機台與右機台在機台上方因自然對流效應所產生的迴流區大小並不相同。

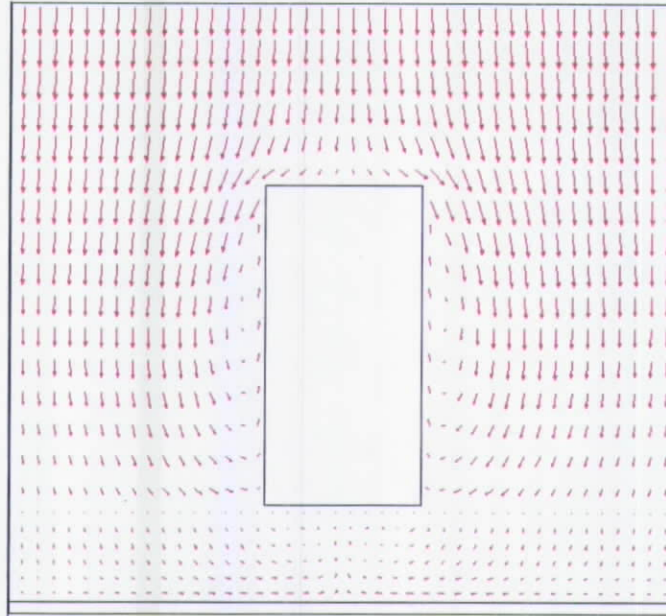
潔淨室入口風速為 0.35m/s 時之實驗結果

圖 38. (a) 與圖 39. (a) 為實驗量測機台頂面積的發熱量為 200W 與 400W 時，在 Y=2.73 公尺平面，其機台上方的流場分佈圖，由圖中可看出自然對流效應並不強烈，可以說幾乎沒有自然對流效應。圖 38. (b) 與圖 39. (b) 為實驗量測機台上方的溫度分佈圖，圖中顯示機台上方溫度變化相當快速，而機台頂面積的發熱量為 400W 之溫度擴散範圍較機台頂面積的發熱量為 200W 大。

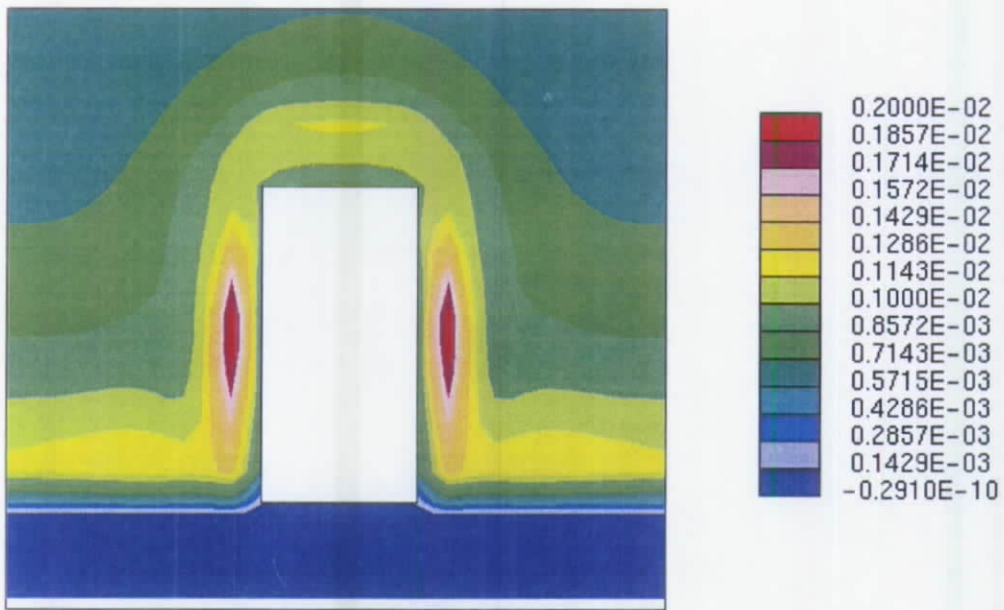
圖 40. (a) 為實驗量測機台頂面積發熱量為 900W 時，在 Y=2.73 公尺平面，其機台上方的流場分佈圖，由圖中可看出在距離機台高度 10 公分 (Z=1.4 公尺) 的流場已經受到機台頂面溫度的影響而偏向與速度變小，與

圖 40.(b) 數值模擬的結果類似。由圖 41.(a) 可看出距機台 12 公分左右，溫度降至 300k，即溫度擴散範圍隨著機台頂面機發熱量的增加而變大，圖 41.(b) 為數值模擬的溫度分佈圖，其趨勢和實驗相同。

圖 42.(a) 為潔淨室入口風速 0.2m/s，機台頂面積發熱量 200w 時，速度隨 X 方向的分佈圖，由圖中可看出在 X=3.5 處（機台上方）的風速大於零，即代表空氣向上流動，實驗與模擬的結果非常類似，其中風速大小變動的原因是因為潔淨室天花板的燈與支架。圖 42.(b) 為潔淨室入口風速 0.35m/s，機台頂面積發熱量 900w 時，速度隨 X 方向的分佈圖，由圖中可看出速度都是負的，也就是空氣都是向下流的，所以沒有自然對流效應，其中風速大小變動的原因也是因為潔淨室天花板的燈與支架。



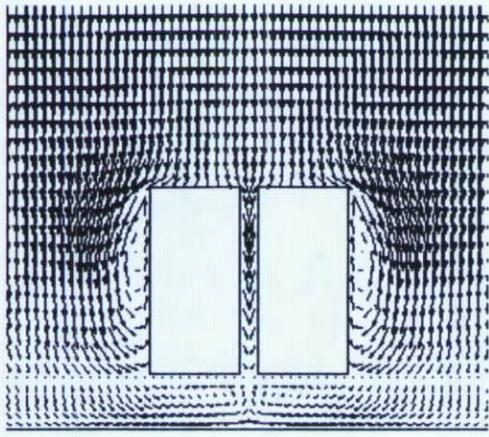
(a)



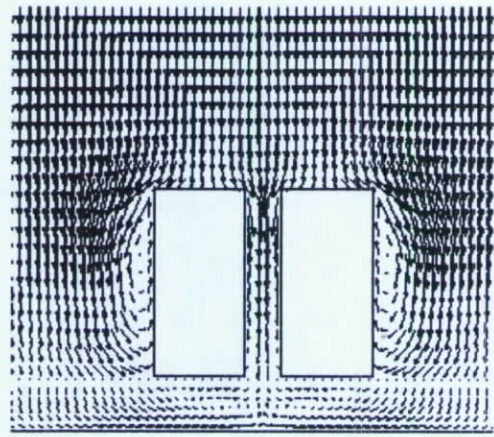
(b)

圖 11.在 $X=3.5$ 公尺平面

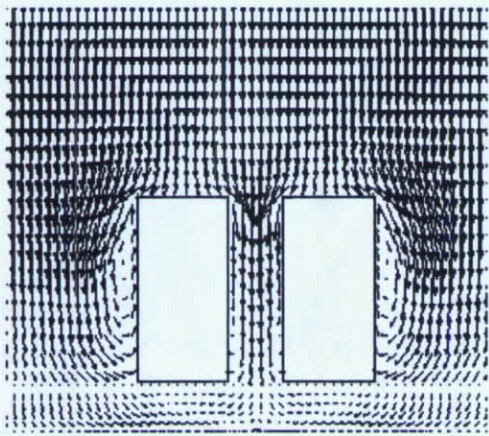
(A) 機台周圍流場的分佈 (B) 機台周圍的紊流動能圖



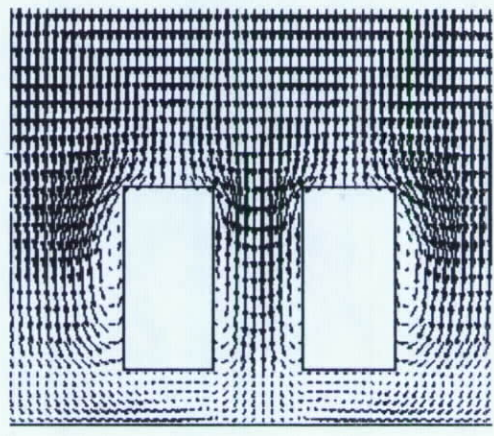
(a)



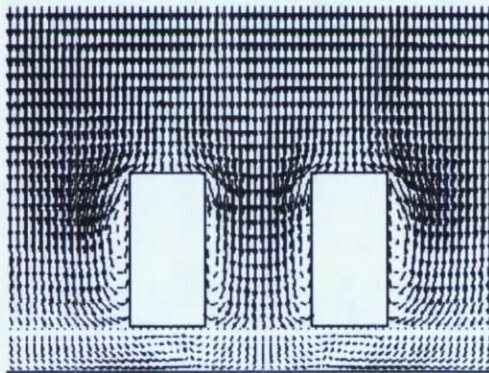
(b)



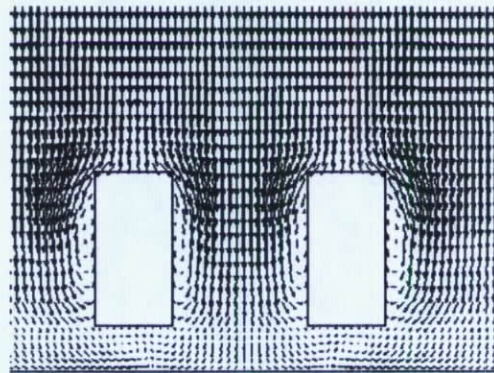
(c)



(d)



(e)

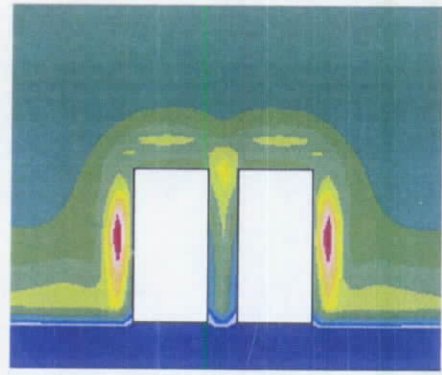


(f)

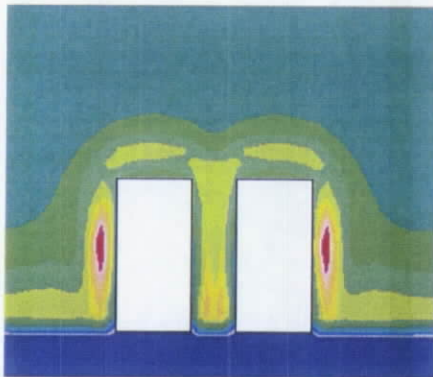
圖 12.在 $X=3.5$ 公尺平面，機台之間不同距離與流場分佈的情形
 (A) 0.1M (B) 0.2M (C) 0.3M (D) 0.5M (E) 0.7M (F) 0.9M



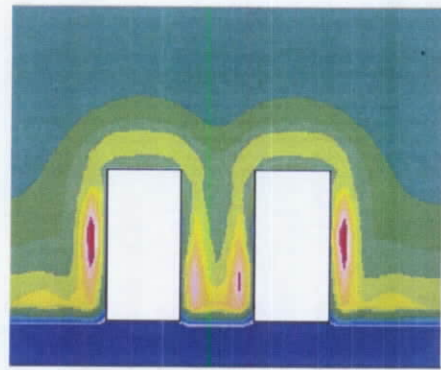
(a)



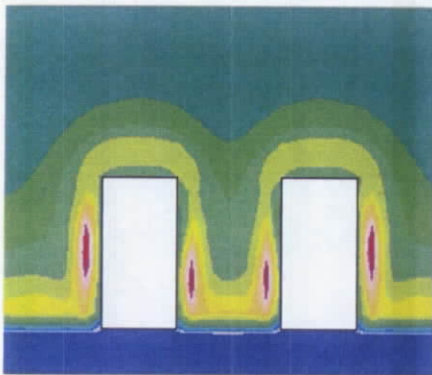
(b)



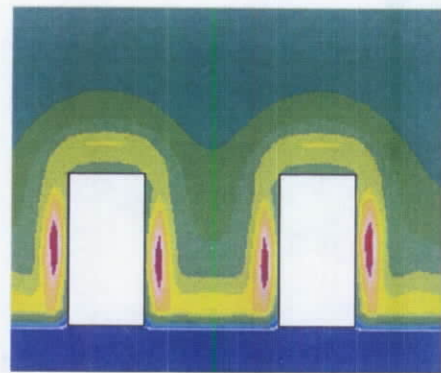
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 13.在 $X=3.5$ 公尺平面，機台之間的紊流動能圖，機台之間距離：

(A) 0.1M (B) 0.2M (C) 0.3M (D) 0.5M (E) 0.7M (F) 0.9M

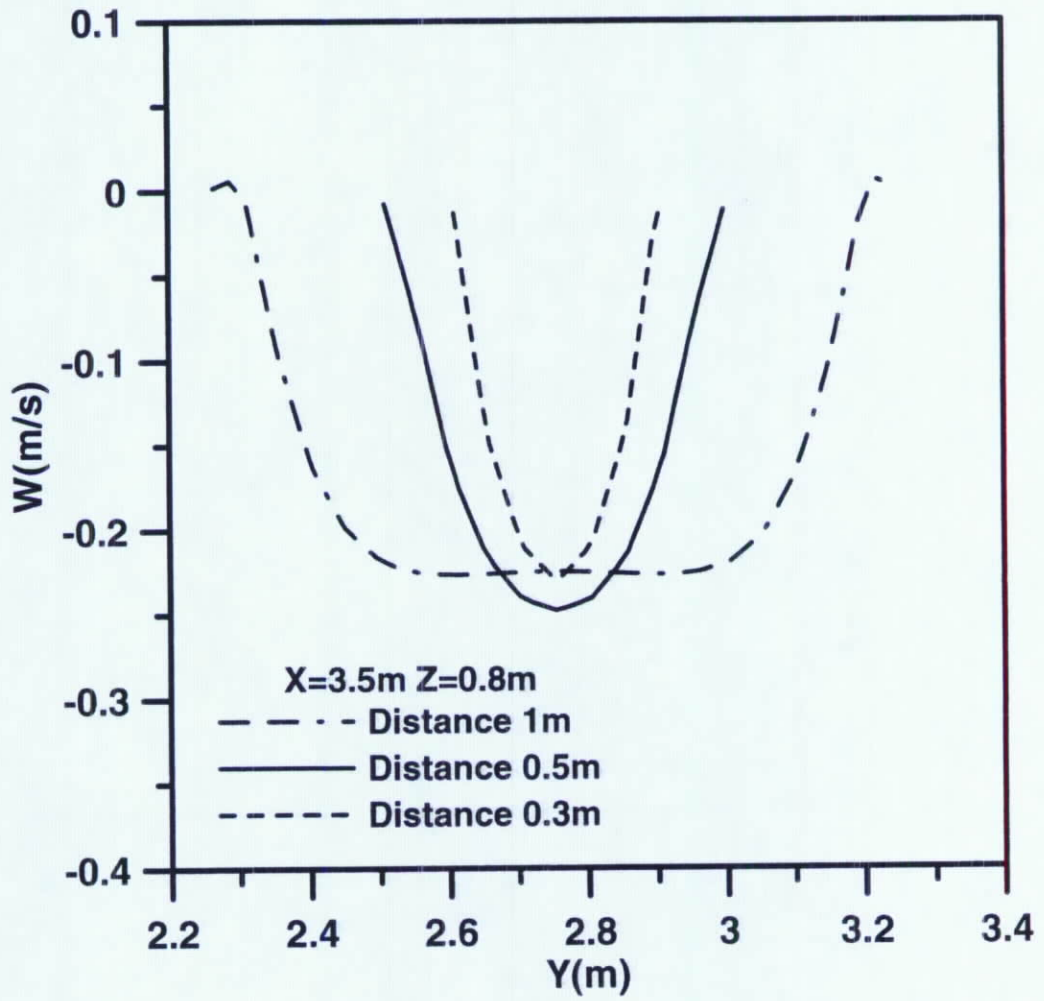


圖 14 .兩機台之間距離不同時之速度分佈圖

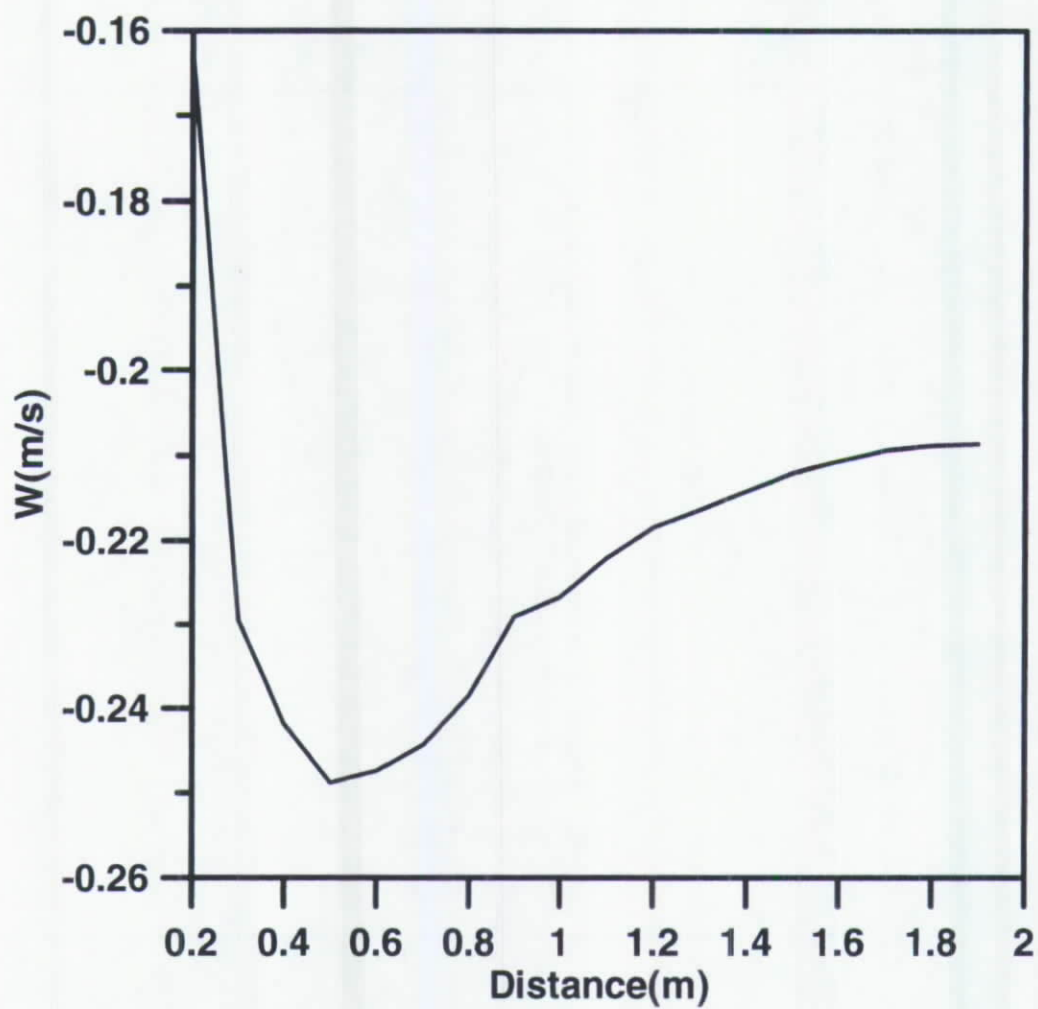
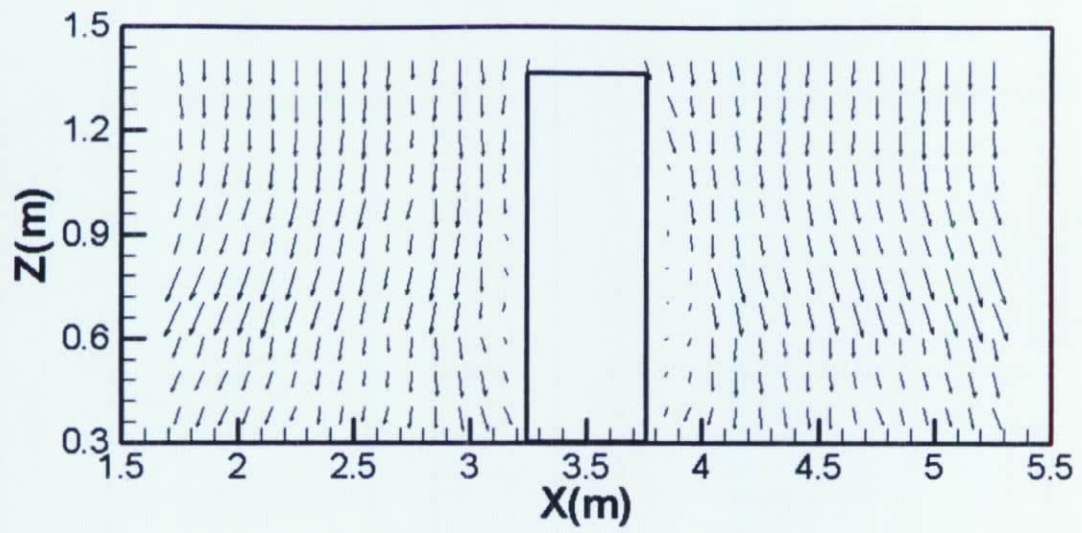
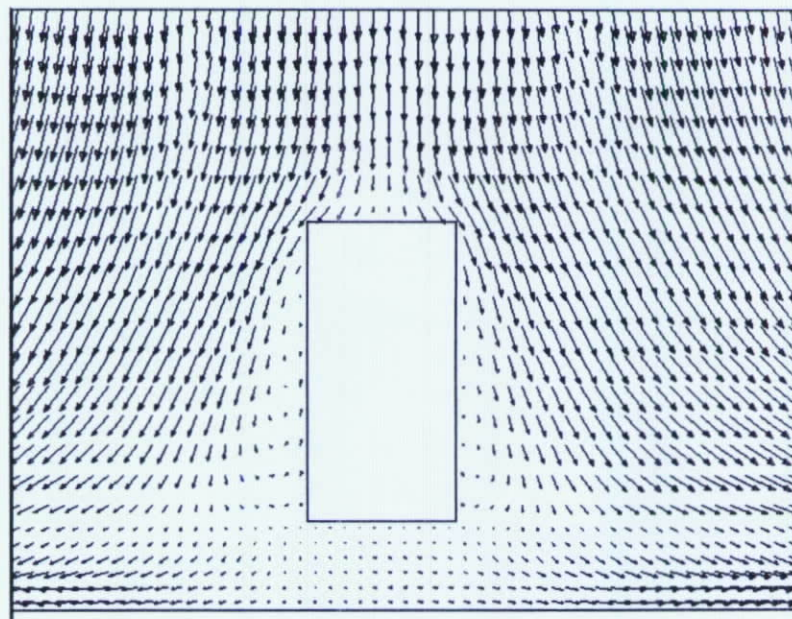


圖 15.兩機台之間距離與機台之間最大速度之關係



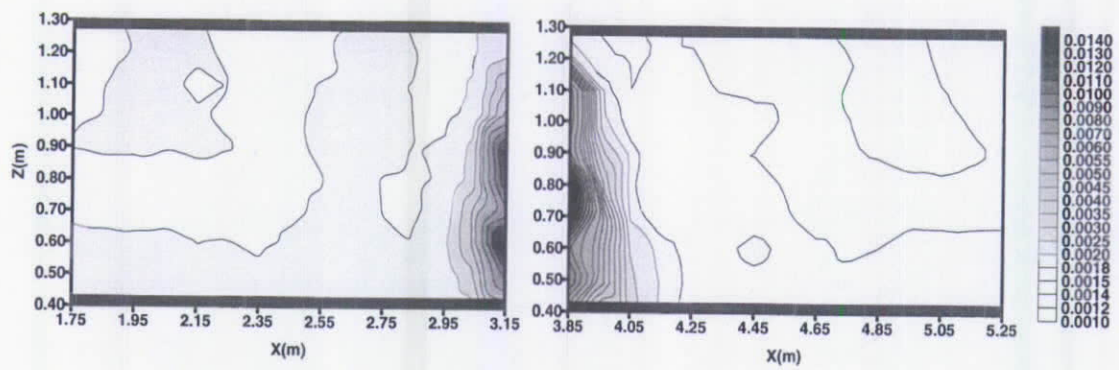
(a)



(b)

圖 16.在 $Y=2.73$ 公尺平面，機台周圍的流場分佈圖

(A) 實驗量測 (B) 數值模擬



機台左側

機台右側

(a)



(b)

圖 17.在 Y=2.73 公尺平面，

(A) 實驗量測機台周圍的紊流強度 (B) 數值模擬的紊流動能

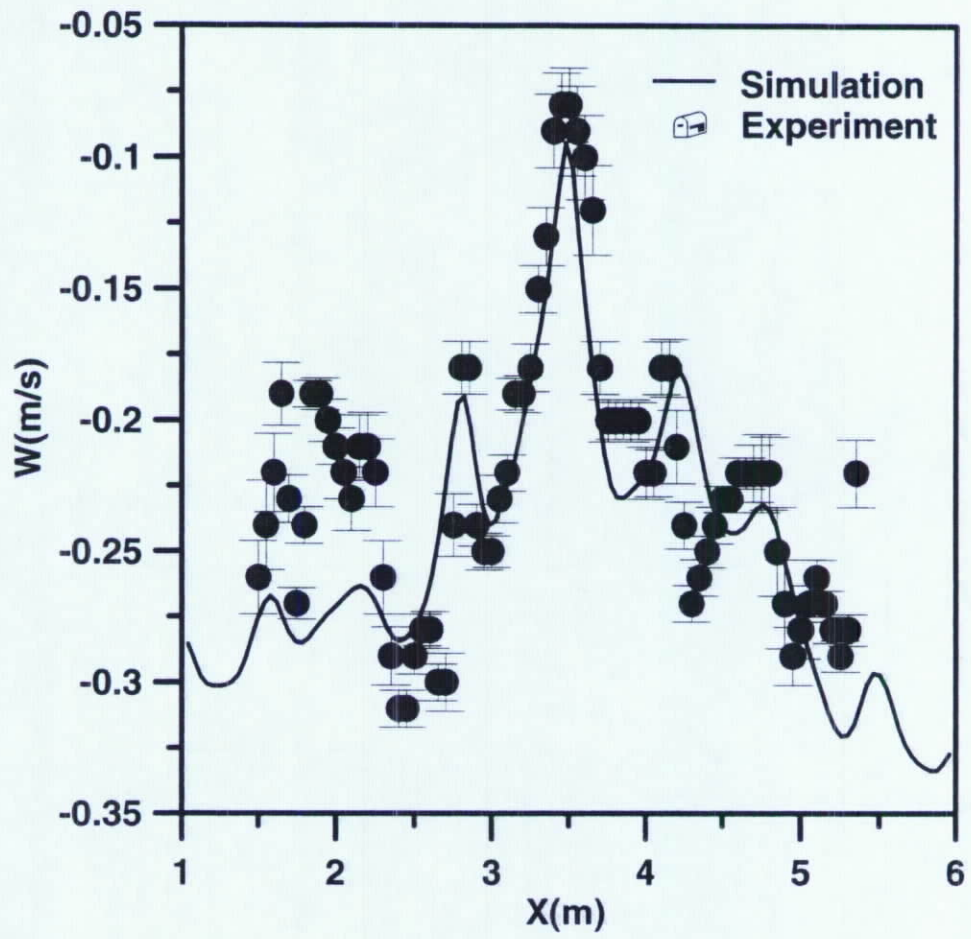
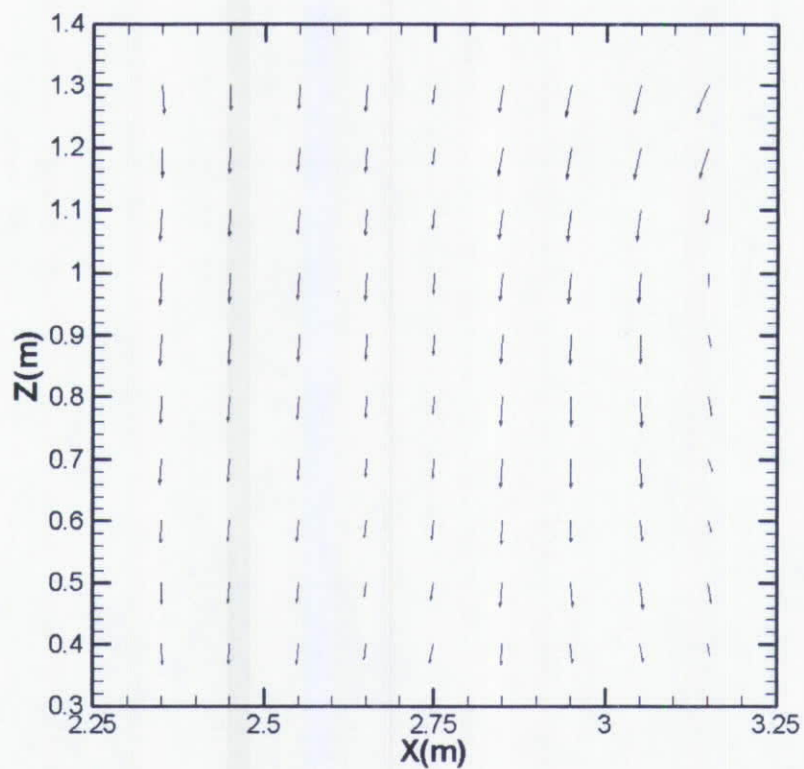
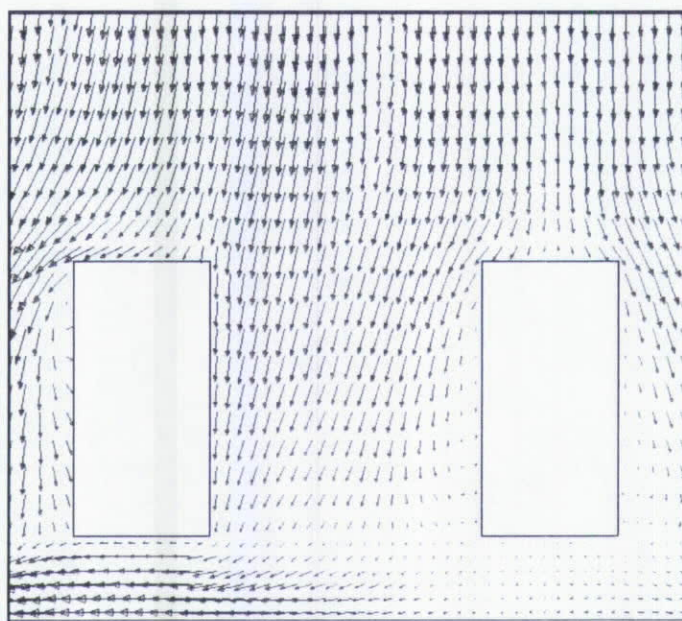


圖 18. 速度隨 X 方向的分佈圖 (Y=2.73M, Z=1.5M)



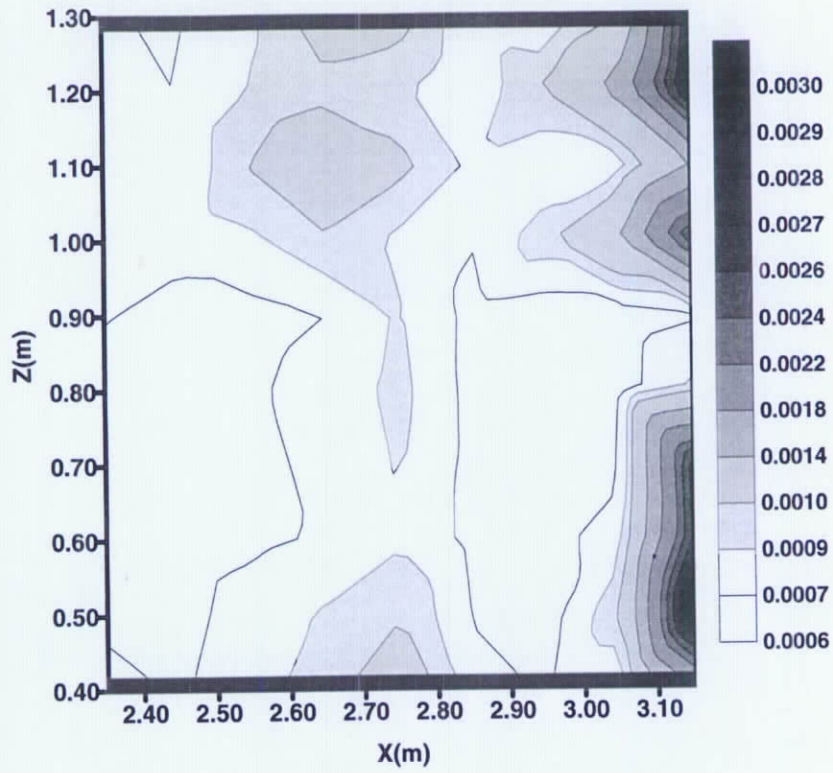
(a)



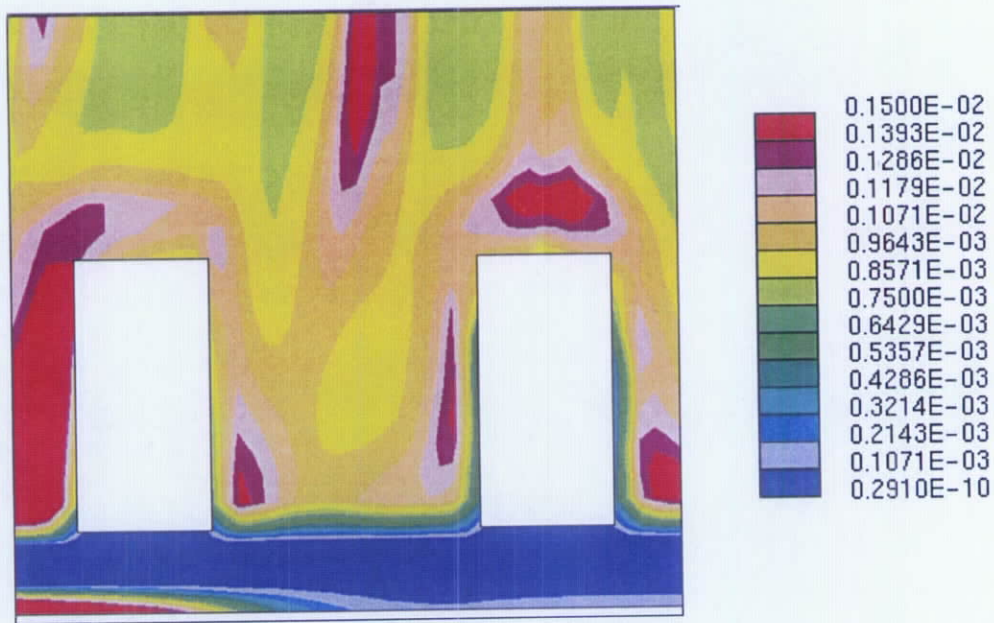
(b)

圖 19.在 $Y=2.73$ 公尺平面，機台之間距離 1 公尺的流場分佈圖

(A) 實驗量測 (B) 數值模擬



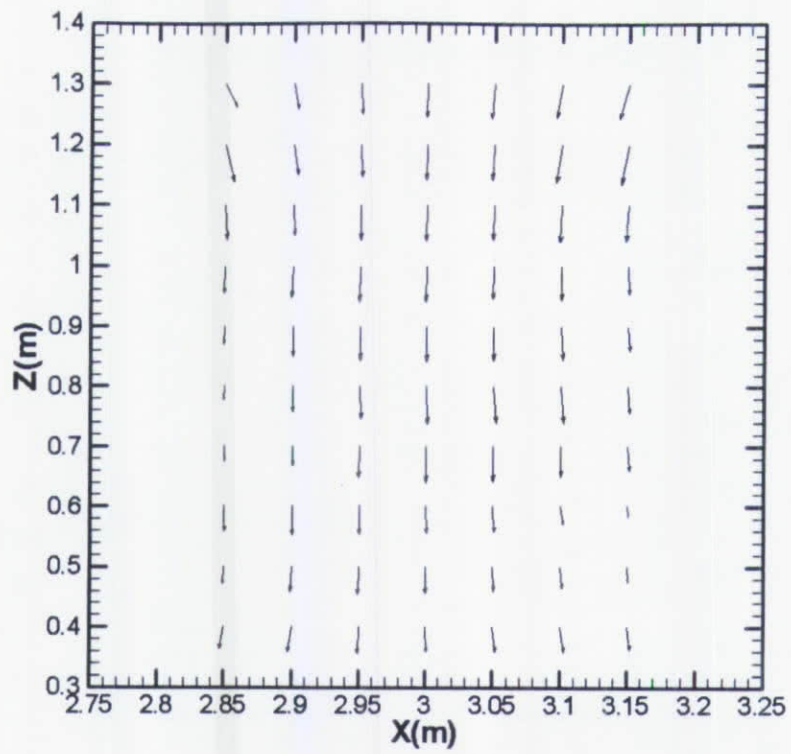
(a)



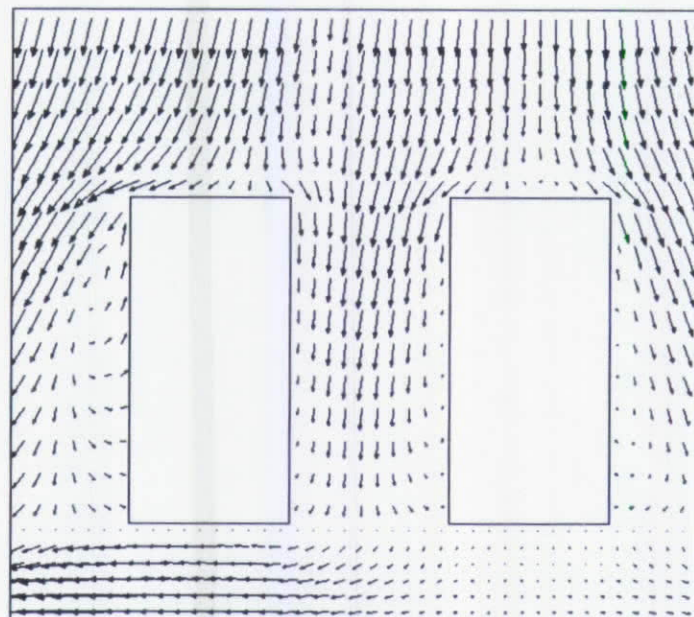
(b)

圖 20.在 Y=2.73 公尺平面，機台之間距離 1 公尺

(A) 實驗的紊流強度 (B) 模擬的紊流動能



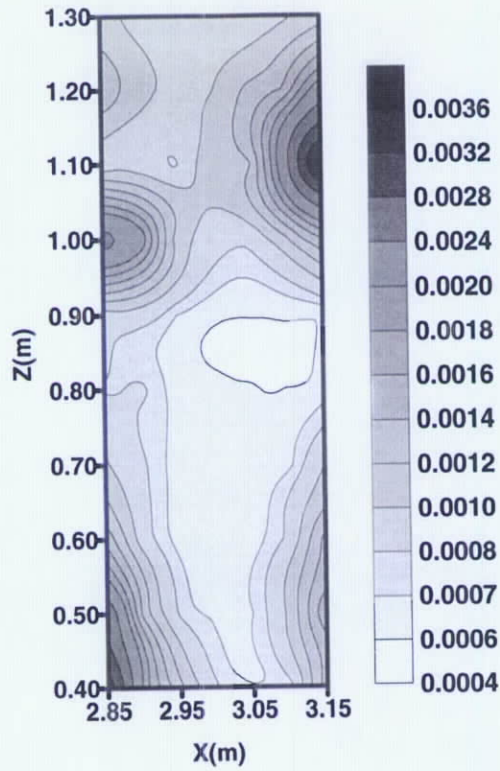
(a)



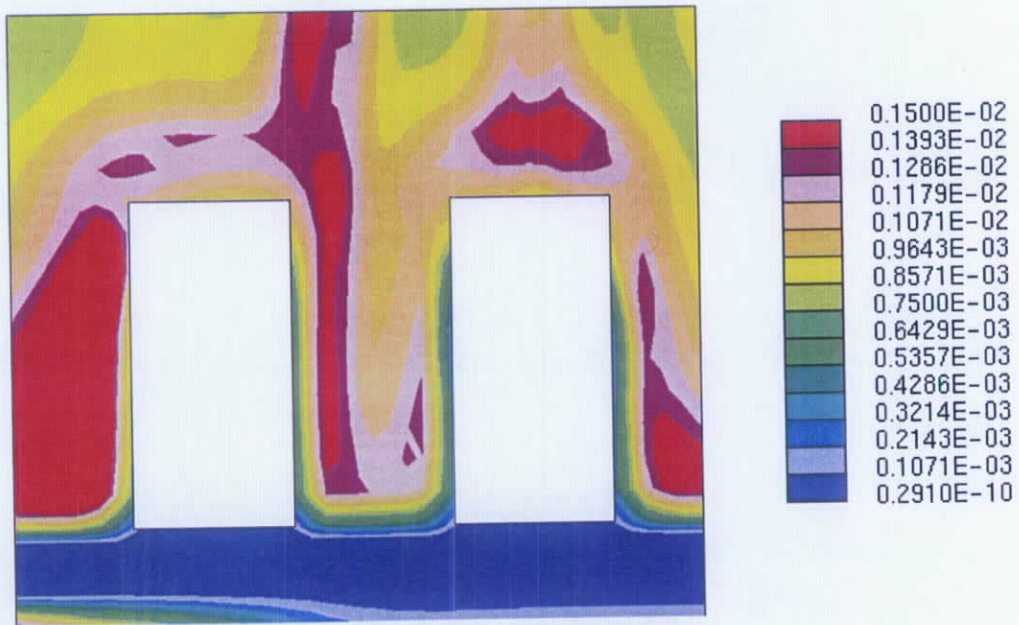
(b)

圖 21.在 $Y=2.73$ 公尺平面，機台之間距離 0.5 公尺的流場分佈圖

(A) 實驗量測 (B) 數值模擬



(a)



(b)

圖 22.在 Y=2.73 公尺平面，機台之間距離 0.5 公尺

(A) 實驗的紊流強度 (B) 模擬的紊流動能

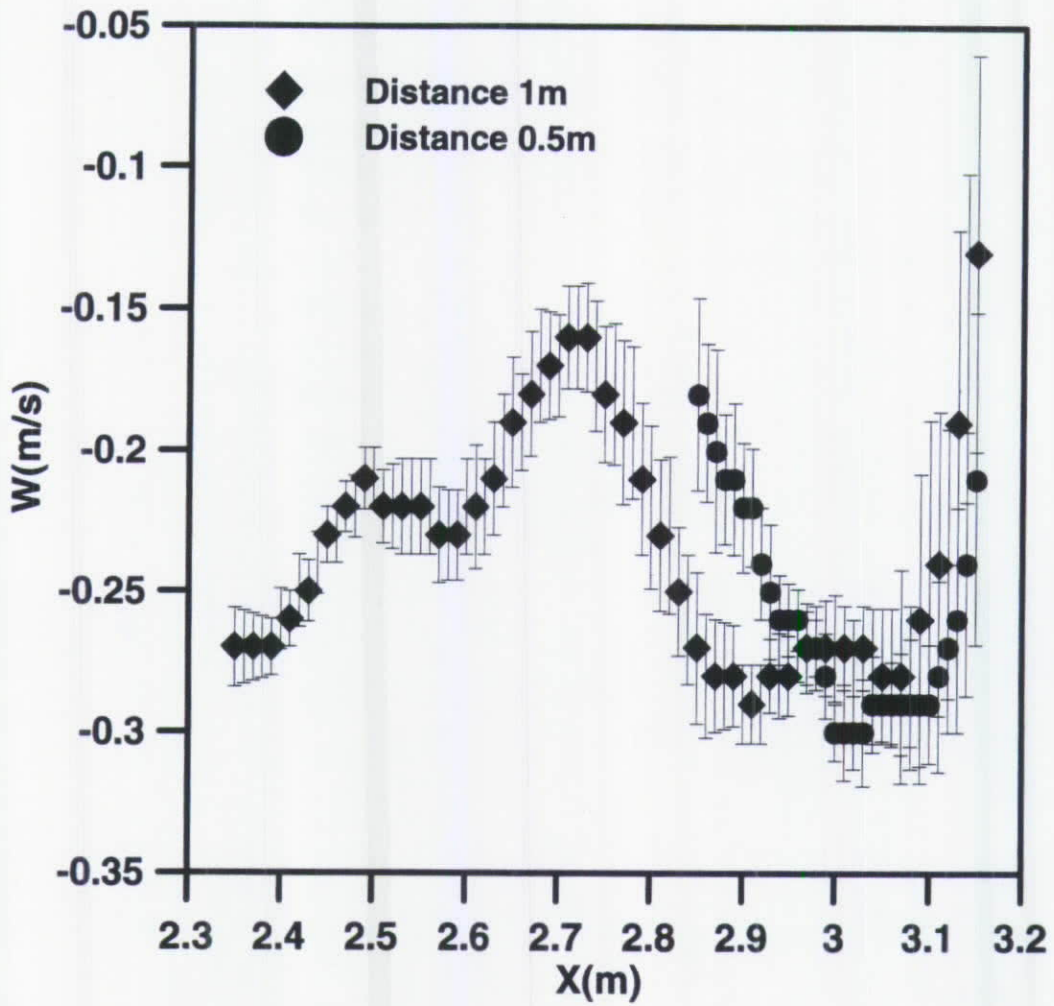
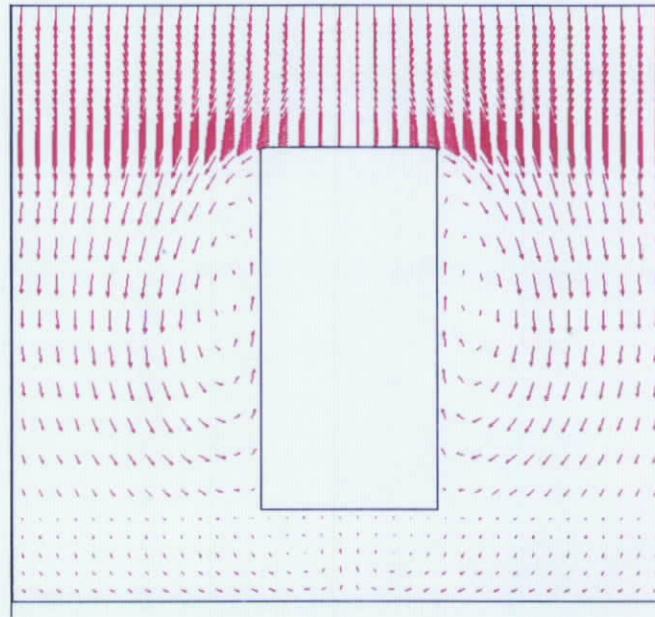
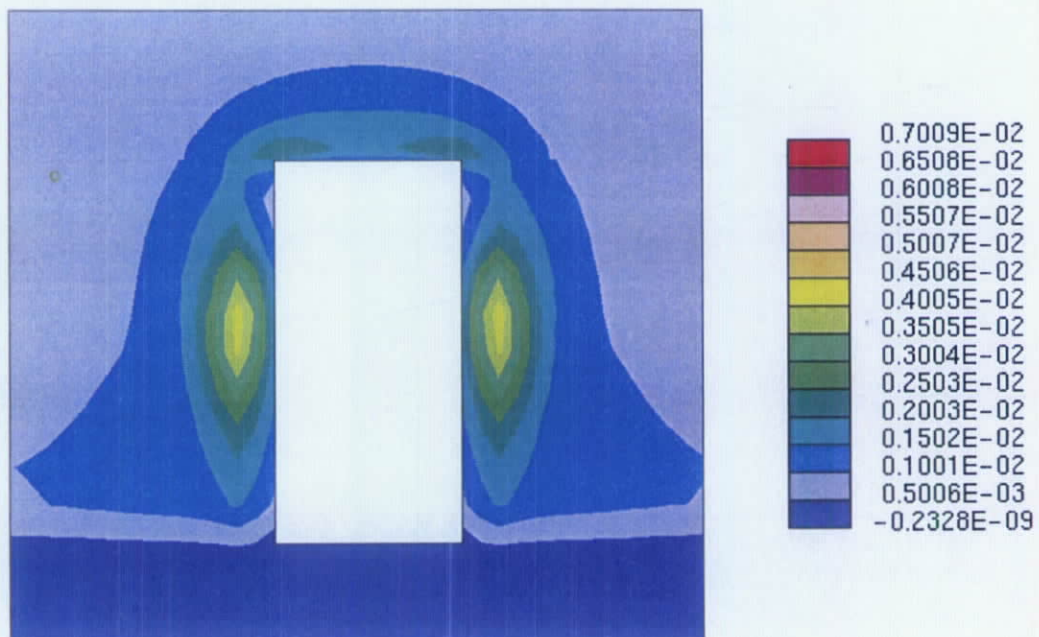


圖 23. 速度在兩機台之間隨 X 方向的分佈情形 ($Y=2.73M$, $Z=0.8M$)



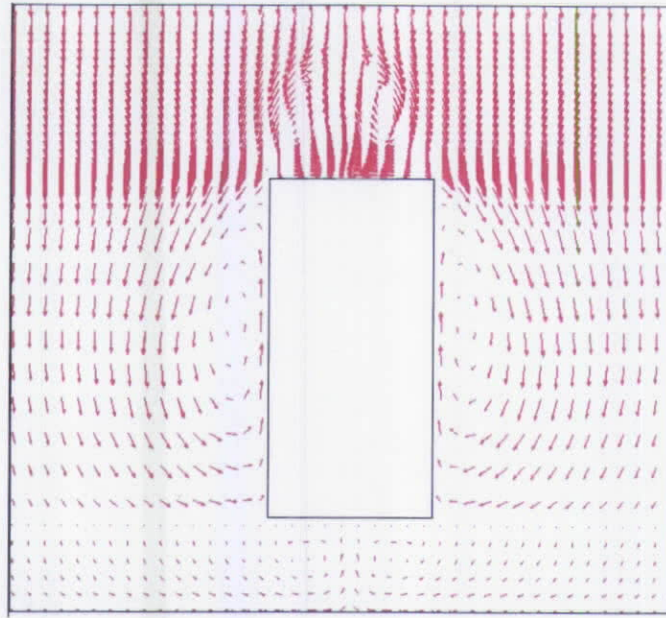
(a)



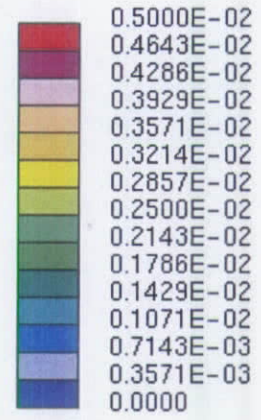
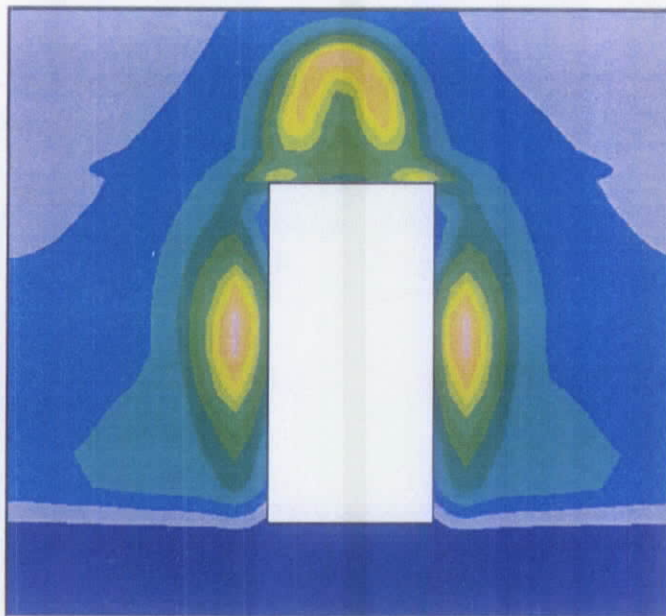
(b)

圖 24.入口風速 0.2M/S，在 X=3.5M 平面機台頂面積發熱量 100W

(A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖



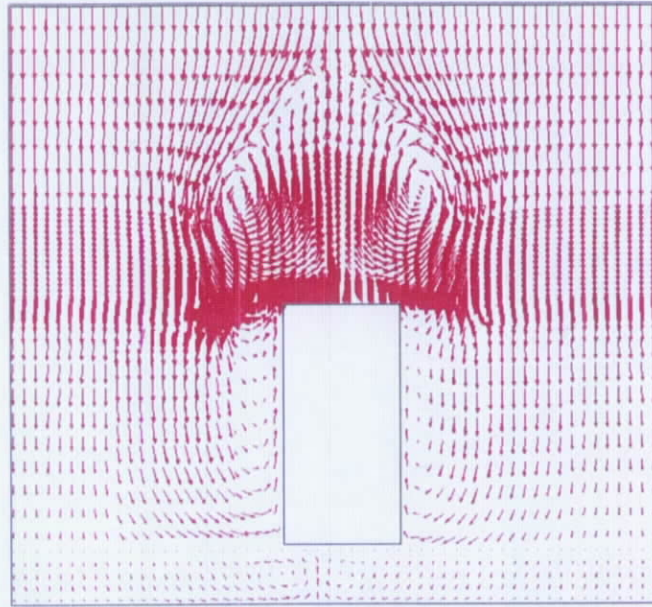
(a)



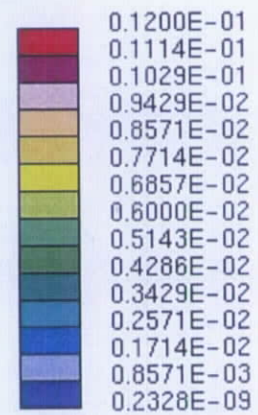
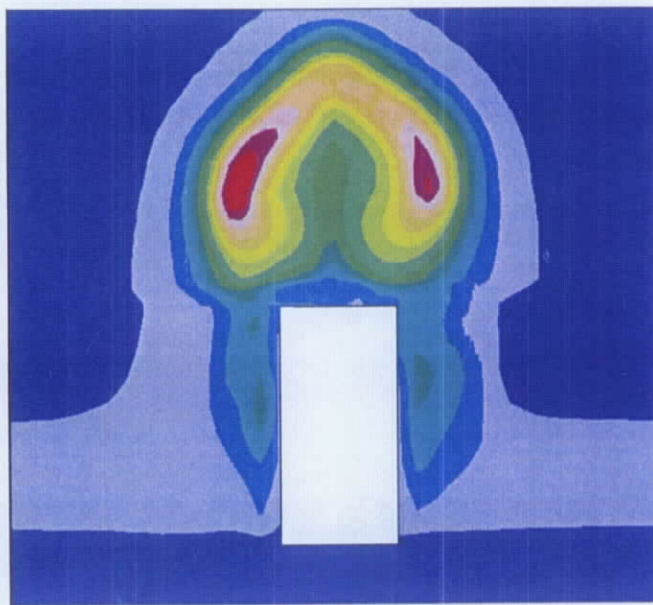
(b)

圖 25.入口風速 0.2M/S，在 X=3.5M 平面機台頂面積發熱量 200W

(A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖



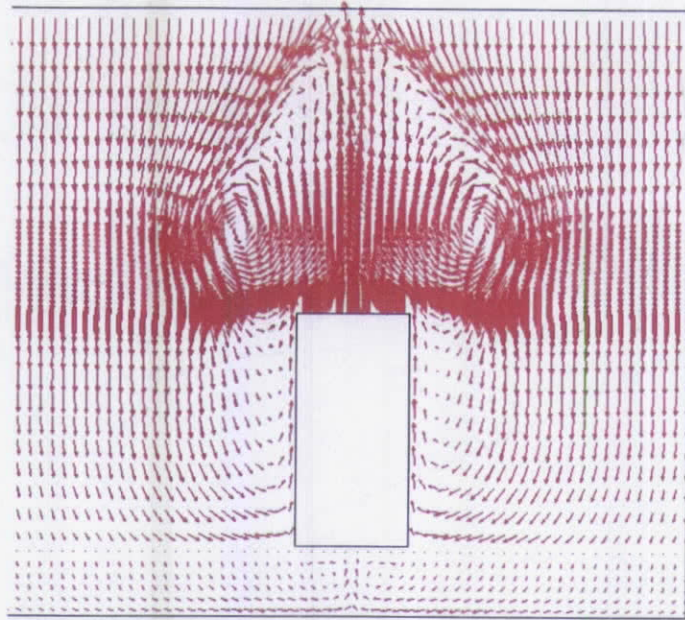
(a)



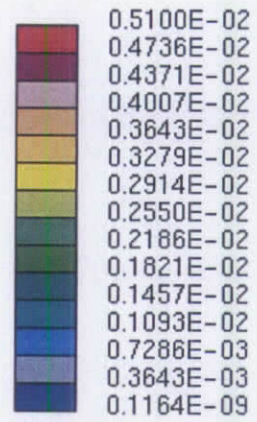
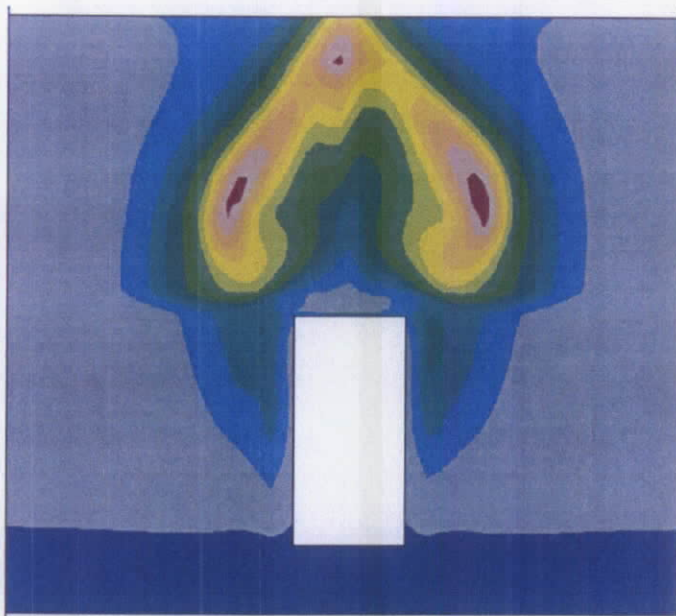
(b)

圖 26.入口風速 0.2M/S，在 X=3.5M 平面機台頂面積發熱量 300W

(A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖



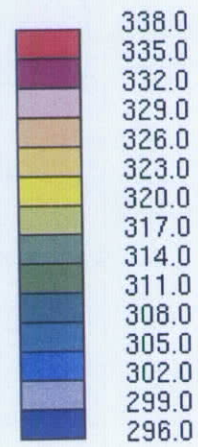
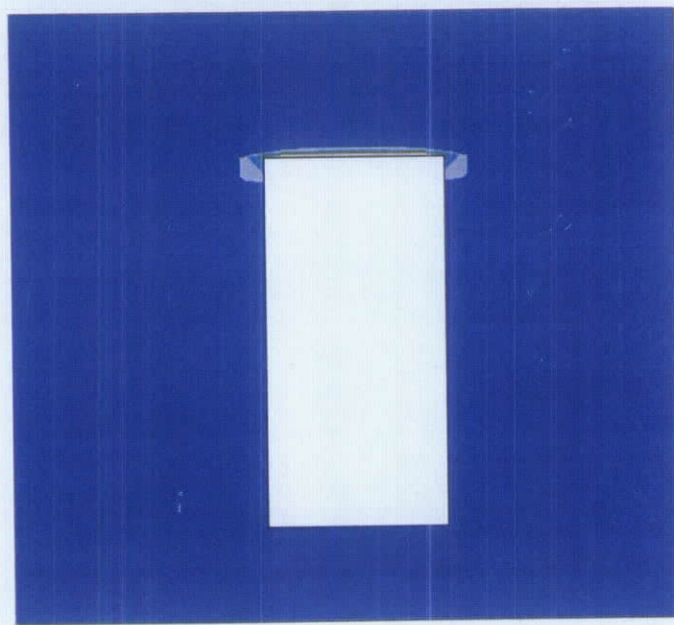
(a)



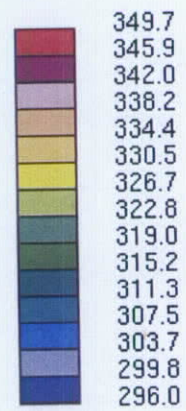
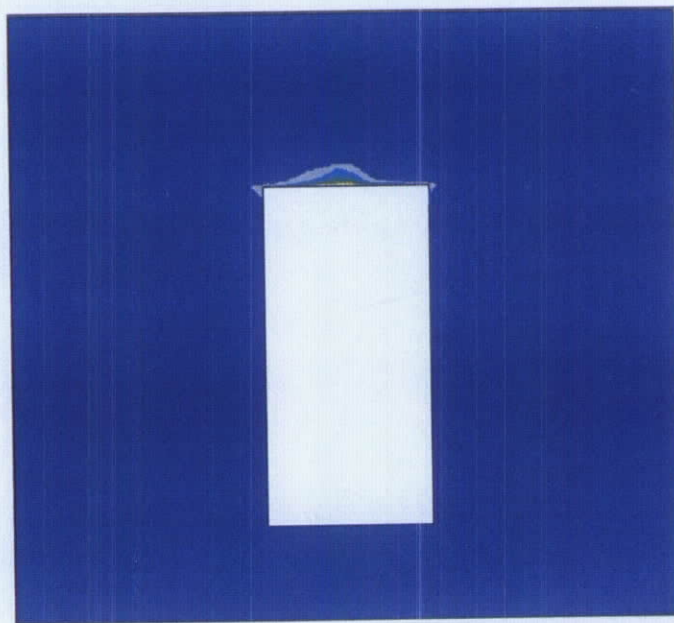
(b)

圖 27.入口風速 0.2M/S，在 X=3.5M 機台頂面積發熱量 400W

(A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖

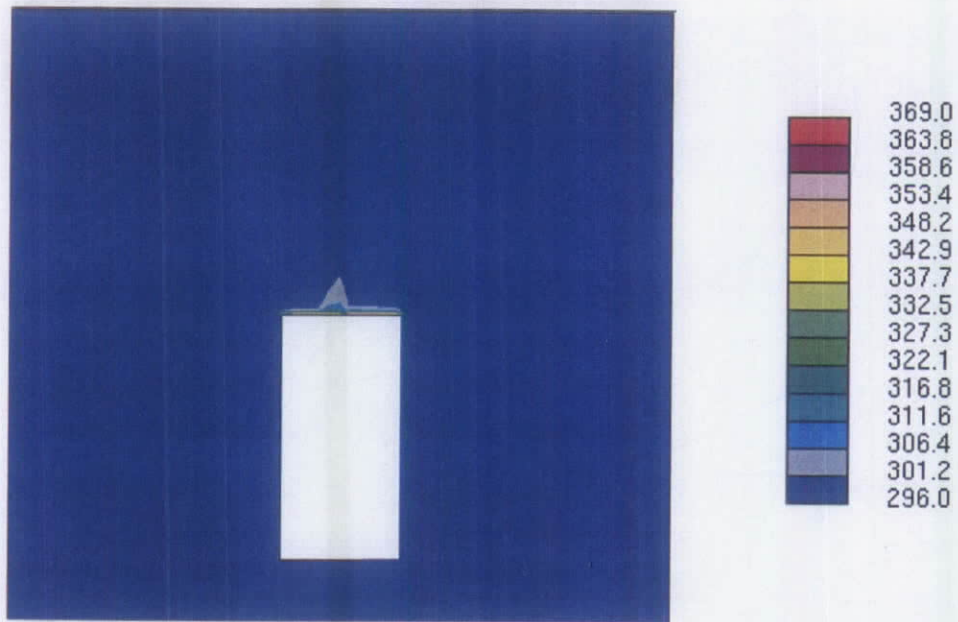


(a)

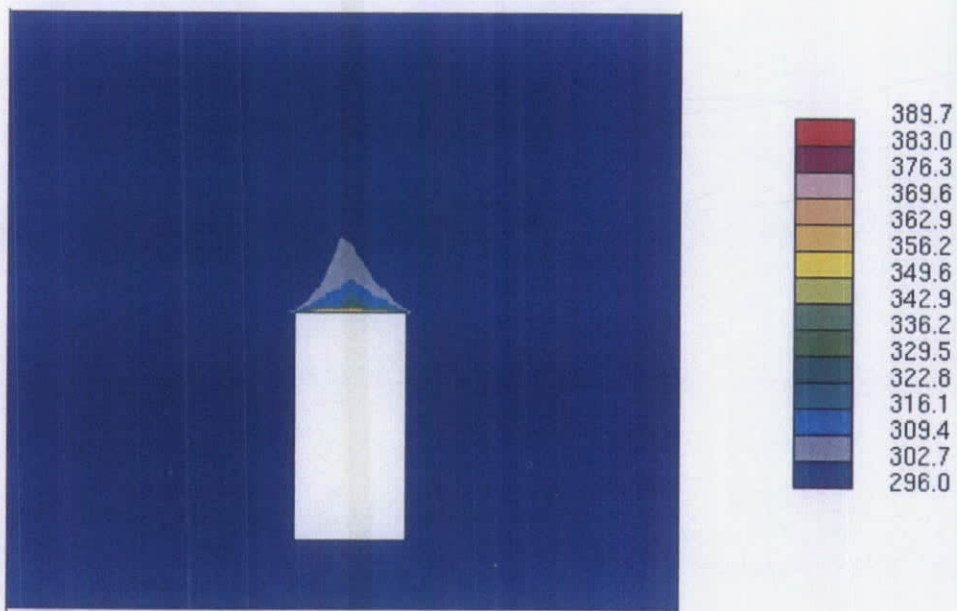


(b)

圖 28.入口風速 0.2M/S，在 X=3.5M 平面機台周圍之溫度分佈圖
機台頂面積發熱量 (A) 100W (B) 200W

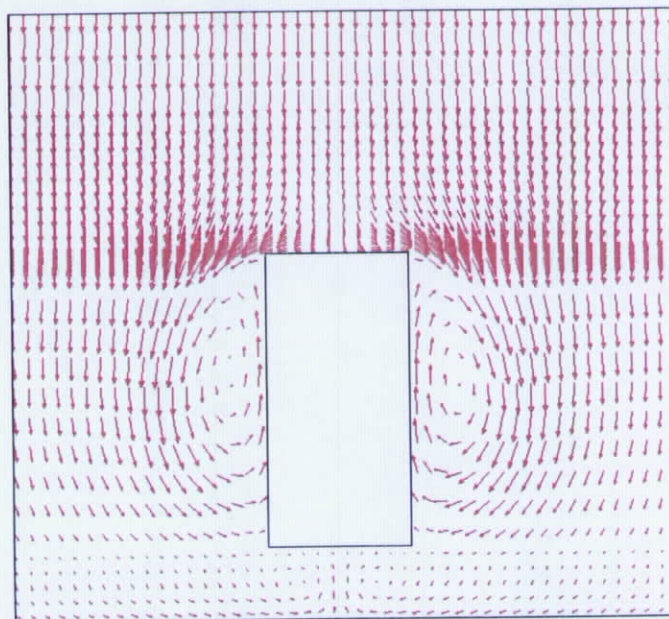


(a)

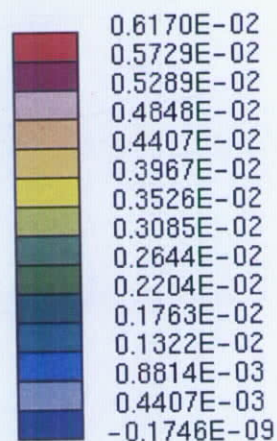
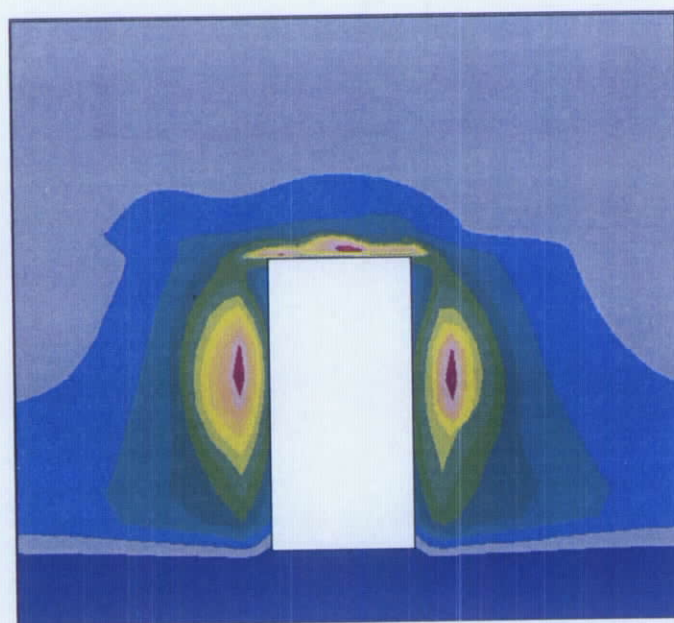


(b)

圖 29.入口風速 0.2M/S，在 X=3.5M 平面機台周圍之溫度分佈圖
機台發熱量 (A) 300W (B) 400W



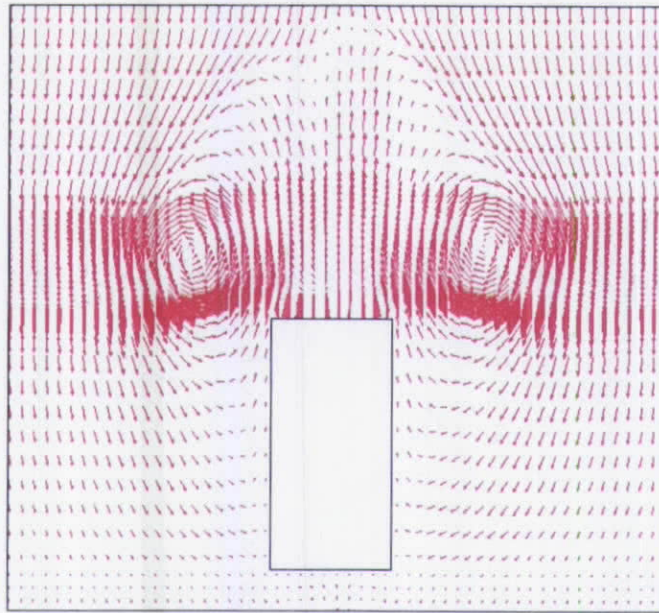
(a)



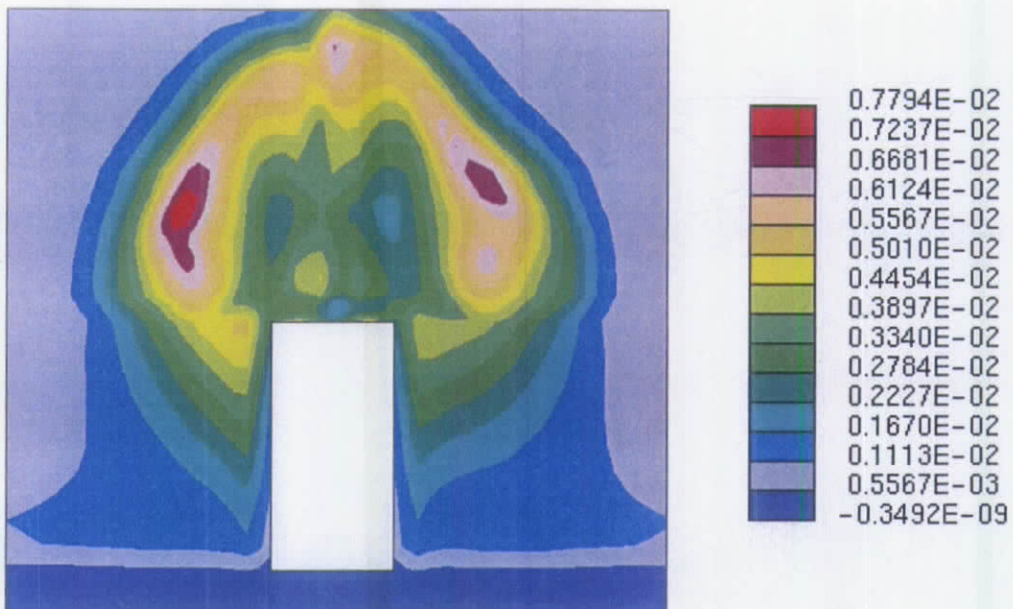
(b)

圖 30.入口風速 0.35M/S，在 X=3.5M 機台頂面積發熱量 1000W

(A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖



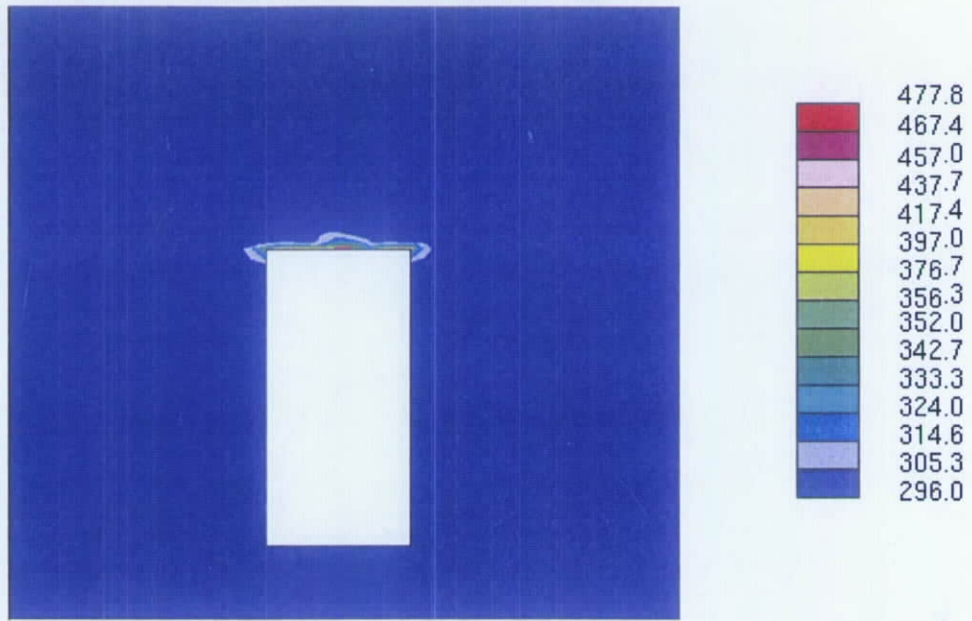
(a)



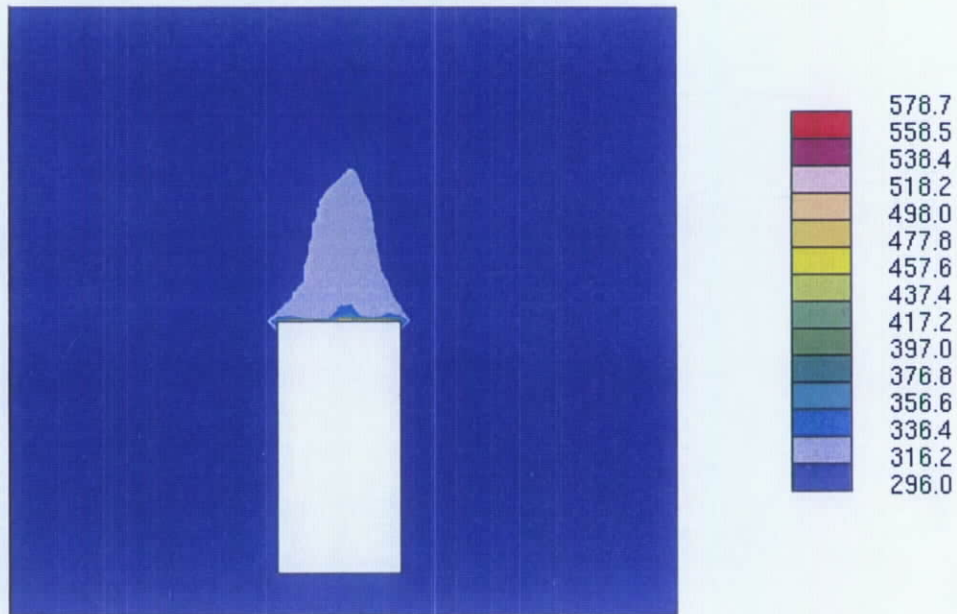
(b)

圖 31.入口風速 0.2M/S，在 X=3.5M 機台頂面積發熱量 1600W

(A) 流場分佈圖 (B) 紊流動能圖

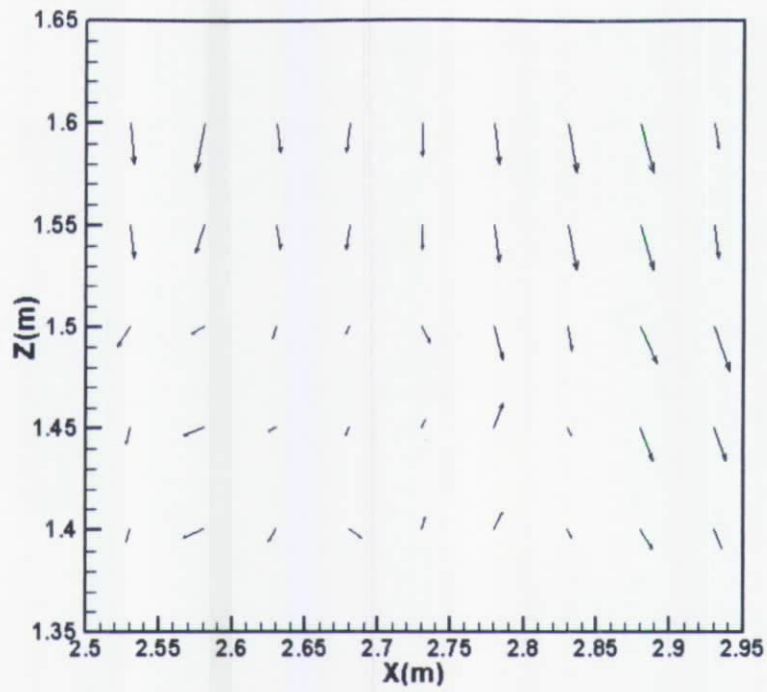


(a)

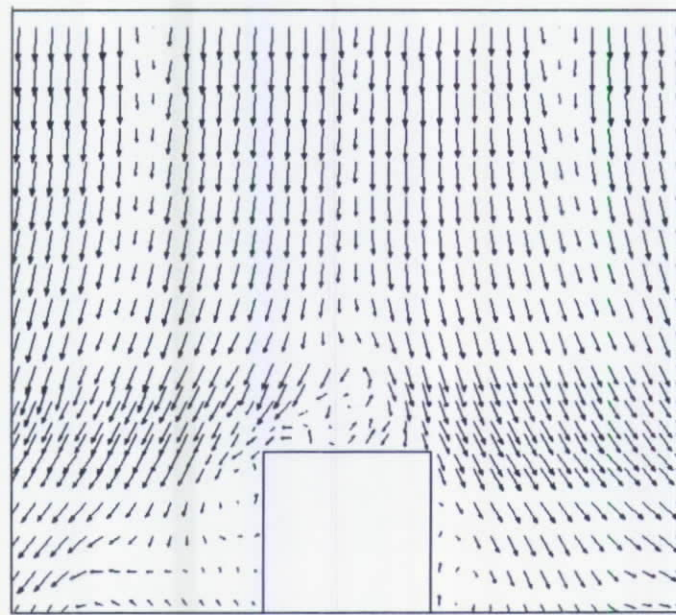


(b)

圖 32.入口風速 0.2M/S，在 X=3.5M 平面機台周圍之溫度分佈圖
機台發熱量 (A) 1000W (B) 1600W

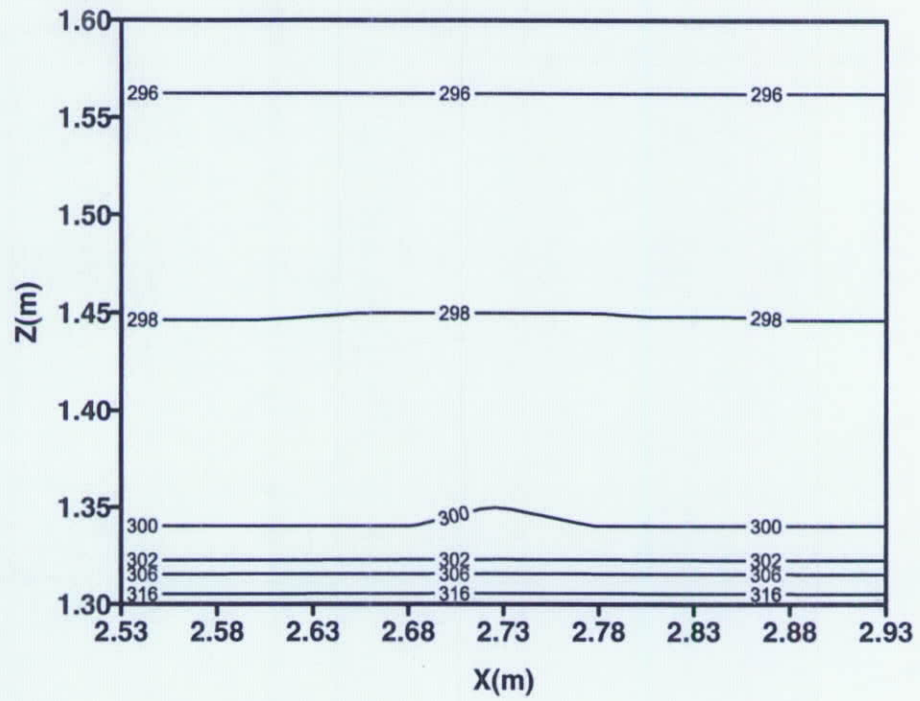


(a)

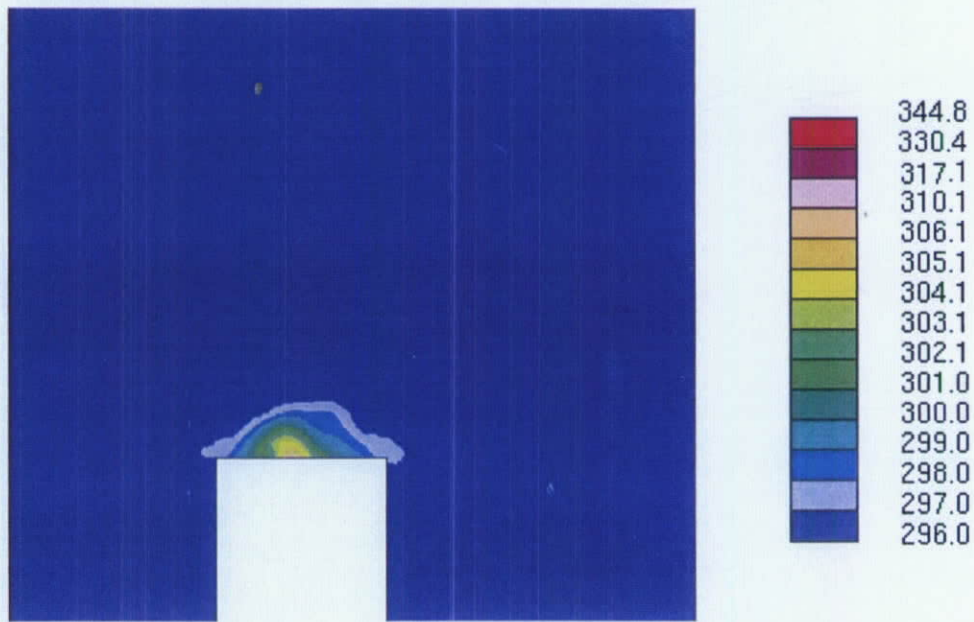


(b)

圖 33.入口風速 0.2M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 200W 時
機台上方的流場分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬

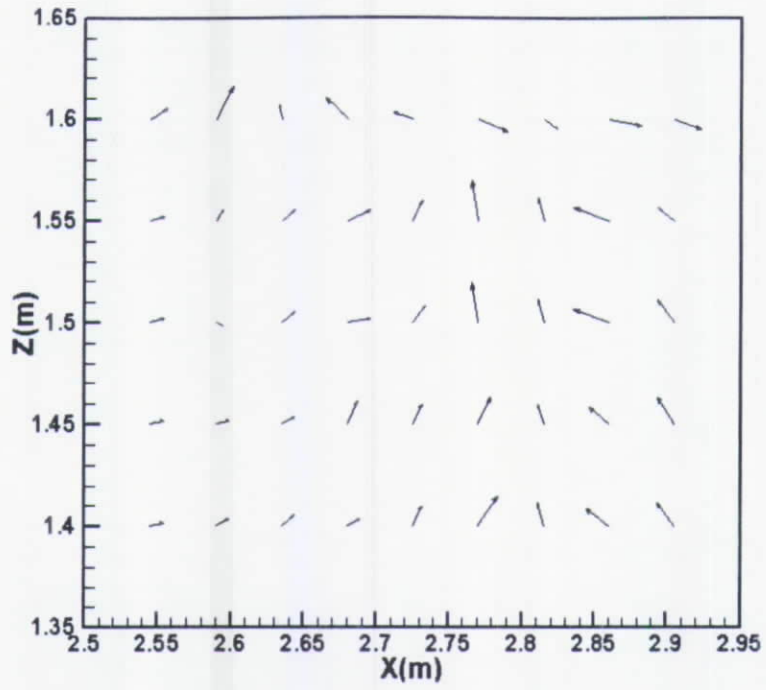


(a)

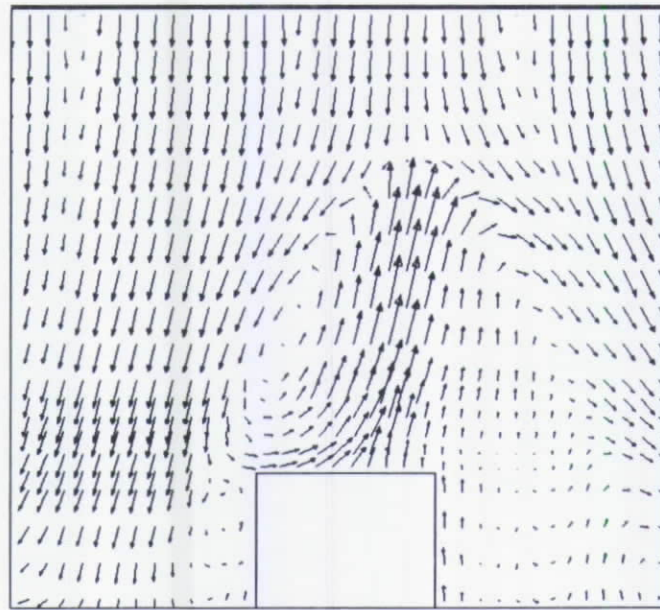


(b)

圖 34.入口風速 0.2M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 200W 時
機台上方的溫度分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬

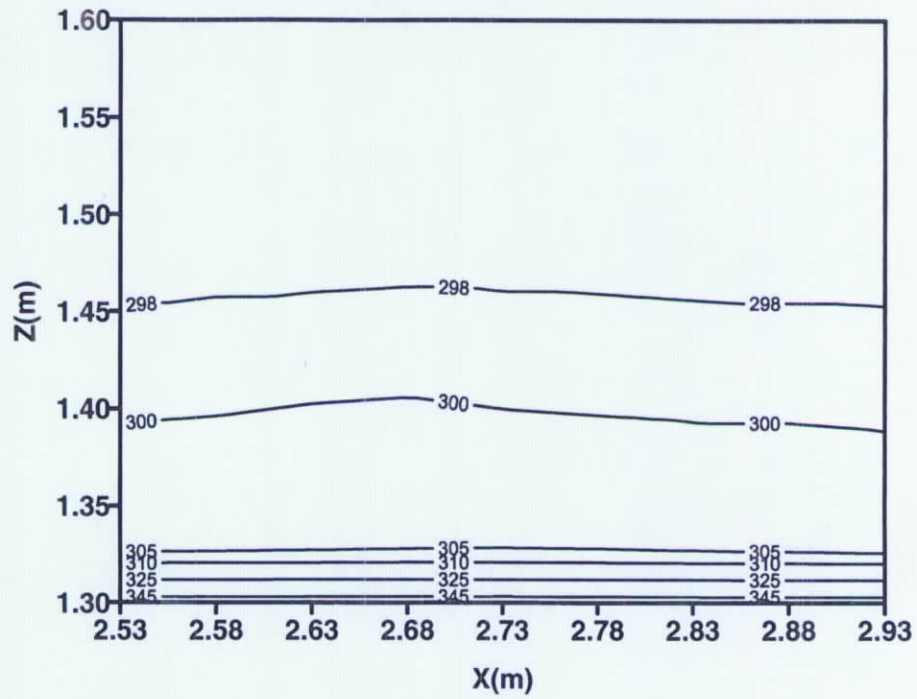


(a)



(b)

圖 35.入口風速 0.2M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 400W 時
機台上方的流場分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬



(a)



(b)

圖 36.入口風速 0.2M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 400W 時機台上方的溫度分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬

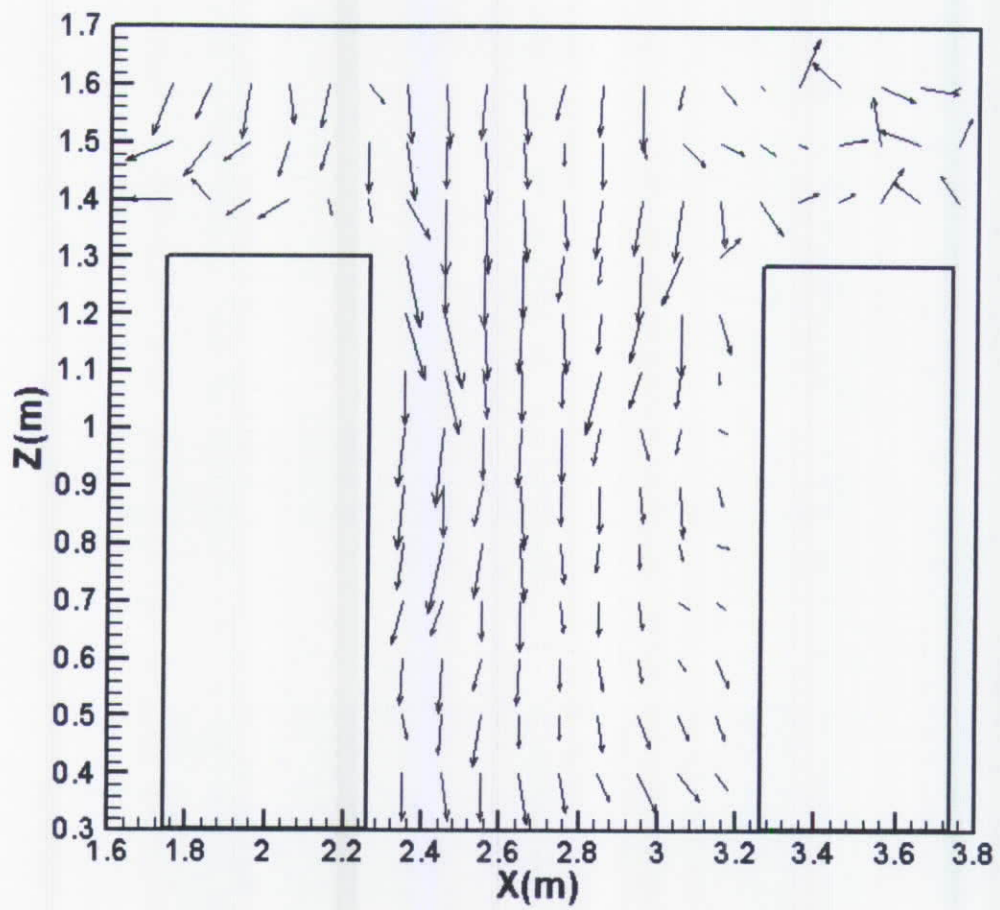
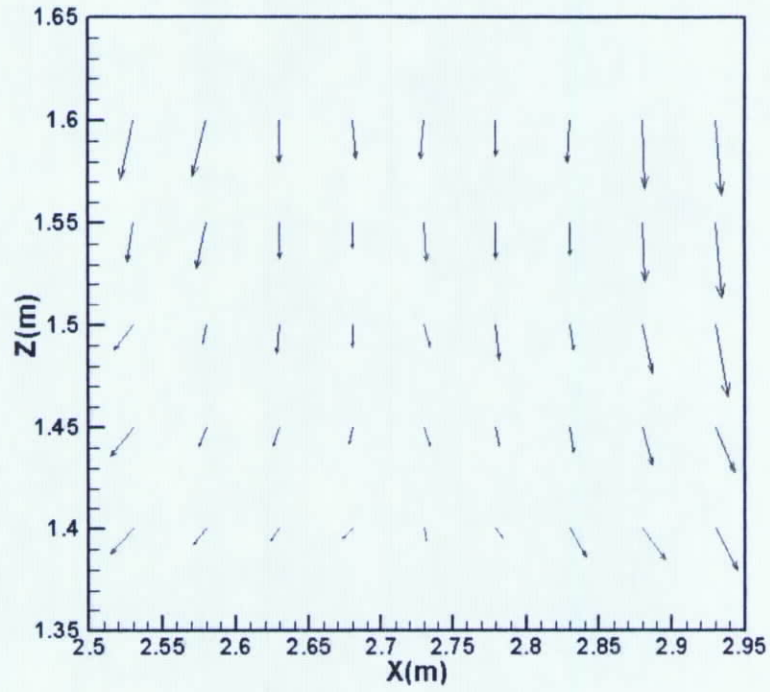
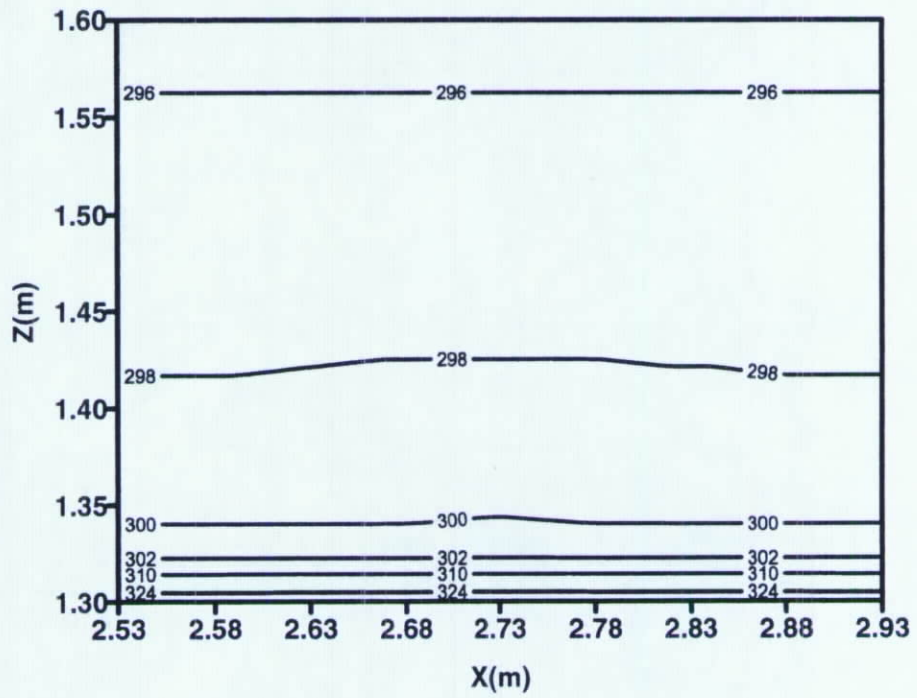


圖 37.入口風速 0.2M/S，在 $Y=2.73$ 平面
兩機台頂面積發熱量均為 400W 時之流場分佈圖



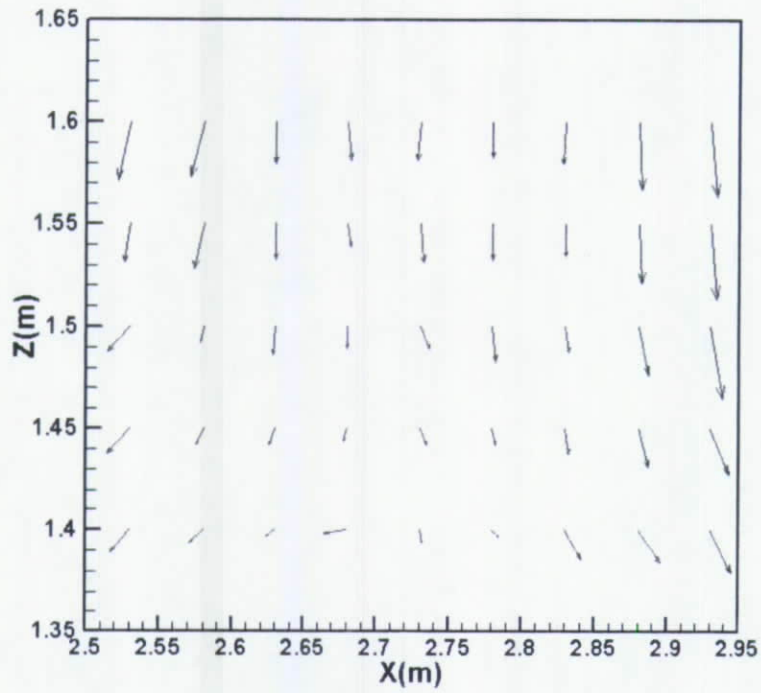
(a)



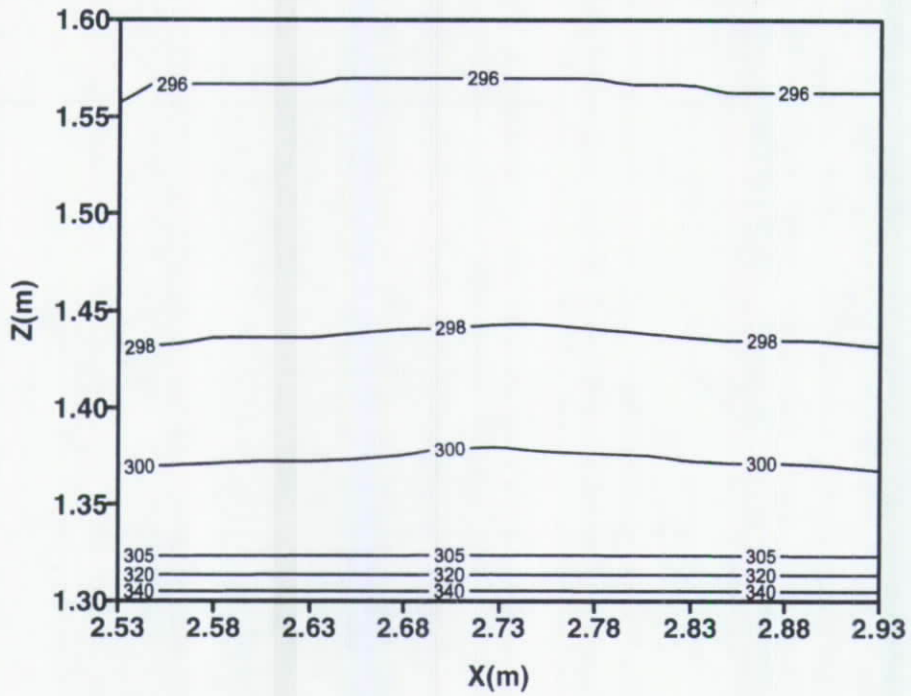
(b)

圖 38.入口風速 0.35M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 200W

(A) 機台上方的流場分佈圖 (B) 機台上方的溫度分佈圖



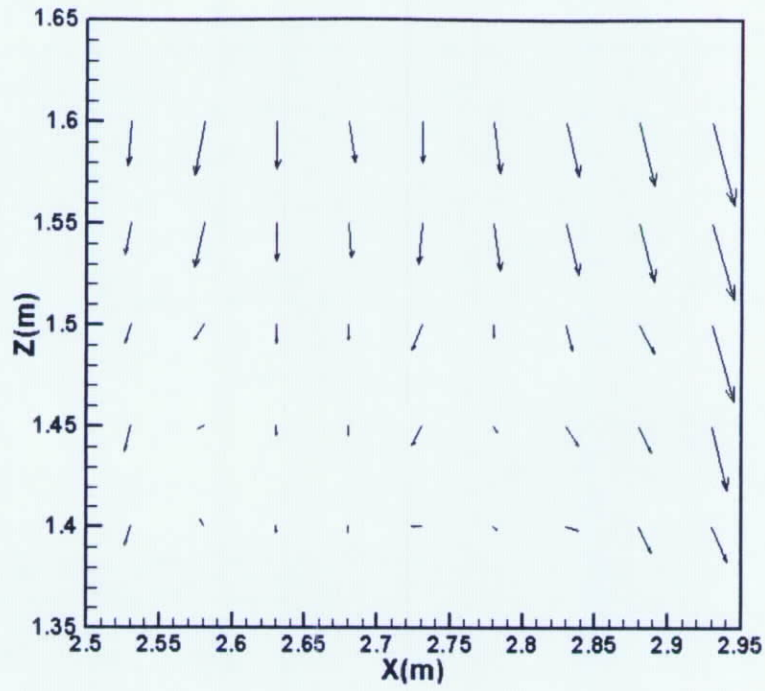
(a)



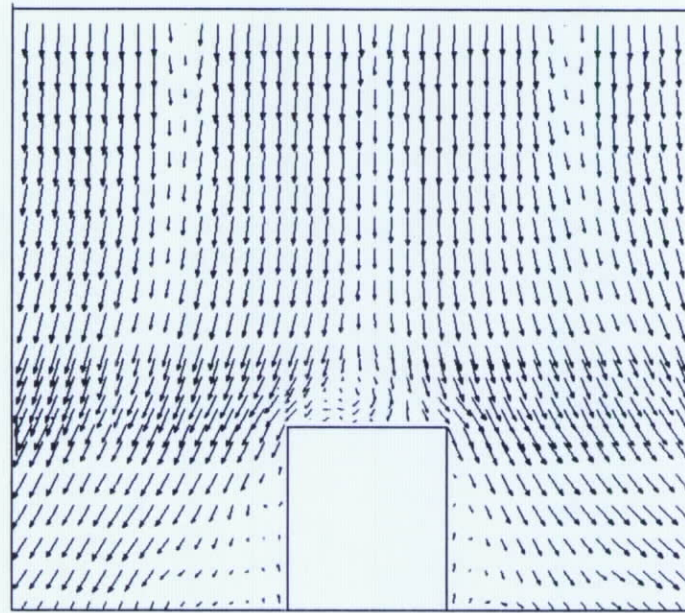
(b)

圖 39.入口風速 0.35M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 400W

(A) 機台上方的流場分佈圖 (B) 機台上方的溫度分佈圖

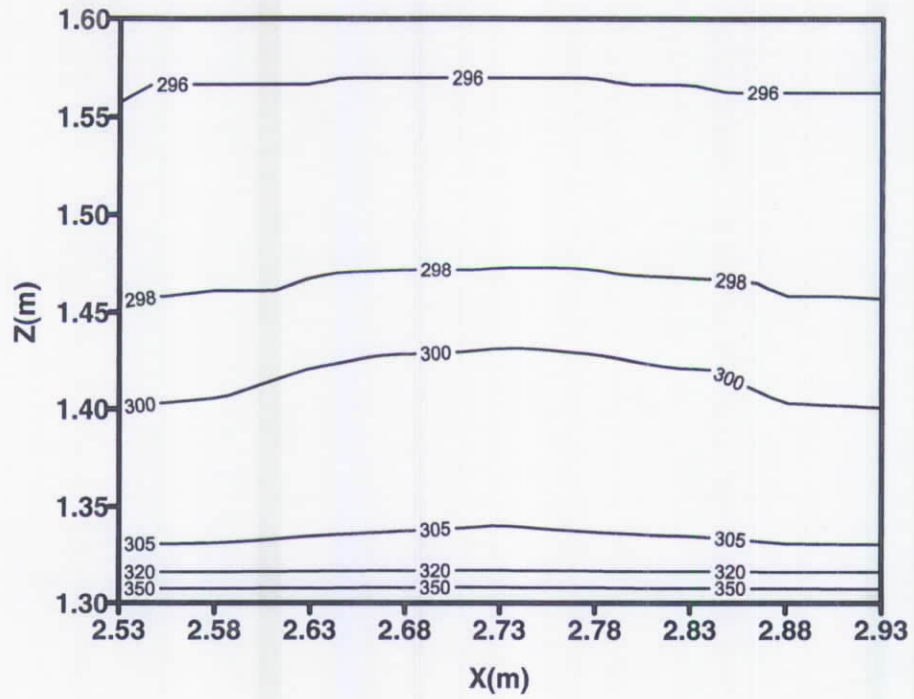


(a)

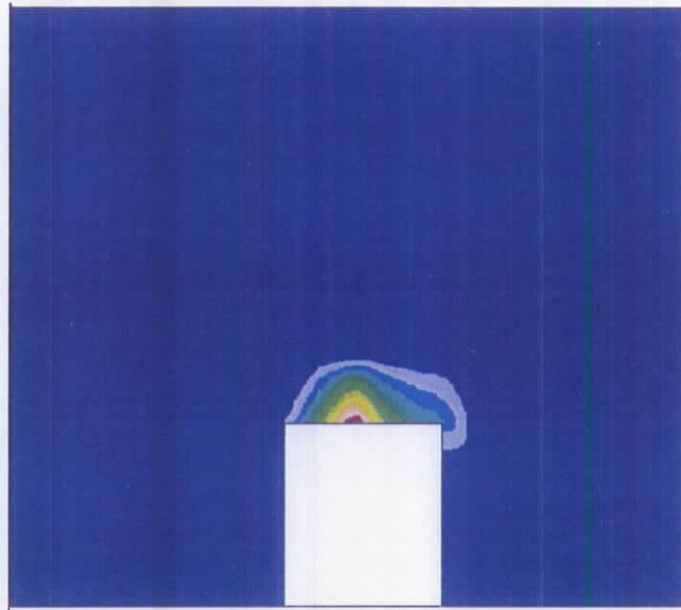


(b)

圖 40.入口風速 0.35M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 900W 時
機台上方的流場分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬

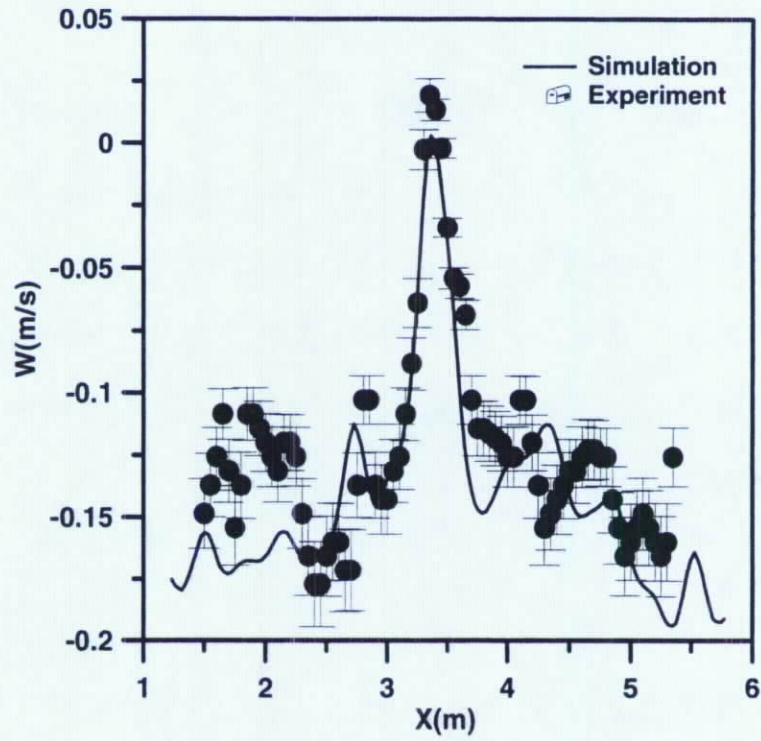


(a)

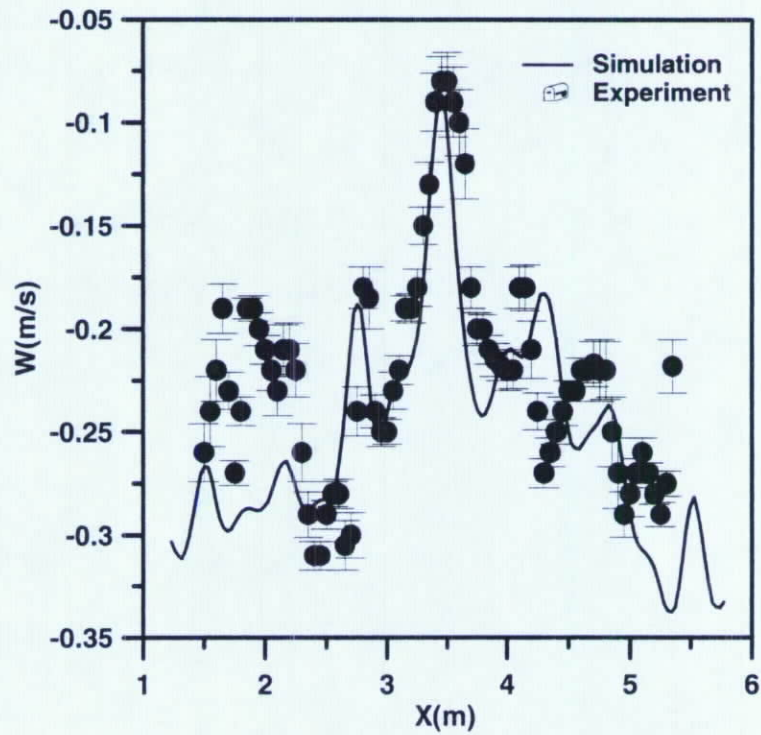


(b)

圖 41.入口風速 0.35M/S，Y=2.73 平面，機台頂面積發熱量 900W 時
機台上方的溫度分佈圖 (A) 實驗量測 (B) 數值模擬



(a)



(b)

圖 42.速度隨 X 方向的分佈圖 ($Y=2.73\text{M}$, $Z=1.45\text{M}$)

(A) 入口風速 0.2M/S 發熱量 200W (B) 入口風速 0.35M/S 發熱量 900W

CFD 軟體修正之說明

本實驗之結果均與 CFD 軟體 (在此為 StarCD) 做過對照，並對 StarCD 之各種不同條件做過數次修正，因此呈現出來的數值模擬與實驗結果對照可以達到一個相當吻合的結果，顯示利用 StarCD 等 CFD 軟體可以在某一程度上取代實驗，並可以利用 CFD 軟體的優越性，大幅縮短研發人力及時間、金錢。本研究在此過程中亦累積了相當的經驗與數值成果，可供廠商作為研發之參考。

耗電量的計算

研究中，顯示經由 FFU 風速之控制，在 class 10 的條件下，其電力之消耗可降低達 5.58%。

估算方式：以本中心之潔淨室而言，機台運作時，機台表面溫度 32-53 度，並設定入口風速 0.4m/s，其未加改善之耗電量為 $220V \times 34A = 7480W$ 。但當改善後，入口風速可降低至 0.4-0.3m/s，電壓不變，但電流減少為 32.1A，則耗電量為 $220V \times 32.1A = 7062W$ ，其將低耗電量可達 $(7480-7062)/7480=5.58\%$ ，達成預定目標。

(5) 結論

1. 在入口雷諾數為 1.3385×10^5 時，對潔淨空間高度 2.3 公尺做無因次化後，機台無因次化高度為 0.435，若不須留機台設備維修的空間、人員走動的空間和人員操作機台空間等，則機台之間無因次化距離為 0.217 時，是機台擺設的最佳距離。
2. 入口雷諾數為 1.3385×10^5 、機台無因次化高度為 0.435 時，當機台之間無因此化距離為 0.783，則機台周圍的流場不會受到另一機台的影響。

3. 機台頂面積發熱量愈大時，在機台上方周圍會因自然對流效應而產生愈大的迴流區，且機台周圍的流場也會變得相當紊亂，這會使得汙染粒子容易在迴流區與機台周圍堆積。
4. 當潔淨室入口速度愈大時，自然對流效應會較不明顯，所以可以在發熱機台上方局部加強入口風速，以抑制自然對流效應。
5. 針對 CFD 軟體與實驗之間誤差已做了積極修正，並得到不錯的結果，顯示運用 CFD 軟體在潔淨室設計上確有極大的幫助。

4.1.2 室溫液相沉積絕緣膜及設備之研發與推廣

去年度計畫當中提出了新式溫差液相沉積矽氧絕緣膜技術，此新技術與舊式加水液相沉積矽氧絕緣膜技術相比，少了加水的步驟，再加上化學溶液可回收使用的優點，已達成省水 25% 及省能的新式製程。除此之外，本實驗室開發室溫液相沉積法之藥品純化機台，除可低成本自製六氟矽酸溶液外，其較外購藥品有更高純度，雜質含量在 1 ppb 以下，所製成之高品質矽氧絕緣膜的漏電流較傳統藥品所沈積者降低一個數量級。另外，由於沉積矽氧絕緣膜前的起始氧化層會影響最後矽氧絕緣膜的特性，所以我們利用臭氧水製程取代傳統強酸製程，以成長較佳的起始氧化層，經實驗證實可有效改善絕緣膜特性，並減少強酸藥品的使用量。

本年度計畫則提出三項主要目標，包括使用室溫液相沈積法成長超薄開極氧化層，厚度為 10 nm，配合快速退火製程，使氧化層的品質不因厚度下降而變差，未來可應用於低溫非晶或多晶矽薄膜電晶體的製造，其次，使用選擇性室溫液相沈積技術，改善傳統以電漿蝕刻法所形成之金屬接觸孔製程，可降低接面的漏電流至 10^{-9} A/cm² 以下；此外，為符合現今 CMOS 製程當中普遍使用到金屬矽化物的需求，我們亦進一步研究選擇性液相沈

積技術在矽化物表面的成長情形。最後，透過氮化矽側壁層的蝕刻與選擇性液相沈積矽氧化膜不會在氮化矽表面成長的特性，我們製作出寬度為 100 nm 的奈米開極結構。本年度計畫研究內容完全符合預度進度且無落後情形，各查核點如下所述：

1. 利用室溫液相沉積技術成長超薄開極氧化層，達到氧化層厚度 100Å。

(1) 利用室溫液相沉積法成長薄矽氧絕緣膜。

首先將二氧化矽粉末加入六氟矽酸溶液中，經攪拌及過濾後，加入去離子水，形成了過飽和溶液。矽晶片在經過 RCA 清洗之後，先浸入氫氟酸一下，接著形成自然氧化層，再將矽晶片置入六氟矽酸過飽和溶液，便開始成長液相沉積矽氧絕緣膜。

(2) 最佳化成長薄矽氧絕緣膜之室溫液相沉積技術。

表 2. 為室溫液相沉積矽氧絕緣膜製程溫度與沉積速率之實驗結果，表中並列出在不同溫度下的沉積速率方程式，由表中可看出，矽氧絕緣膜沉積速率隨著溫度上升而增加，而潛伏期也隨著溫度增加而變短。

表 2. 室溫液相沉積矽氧絕緣膜不同製程溫度下之沉積速率

| 溫度 (°C) | 15 | 18 | 25 | 30 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| 沉積速率 (Å/min.) | 0.97 | 1.55 | 2.69 | 4.88 |
| 潛伏期 (min.) | 37.6 | 18.6 | 13.7 | 7 |
| 厚度方程式 (Å) | 0.97(t-37.6) | 1.55(t-18.6) | 2.69(t-13.7) | 4.88(t-7) |

表 3. 為室溫液相沉積矽氧絕緣膜加水量與沉積速率之實驗結果，實驗為每 100ml 溶液的加水量，由結果可看出矽氧絕緣膜沉積速率隨著加水量增加而增加，而沉積潛伏期則隨加水量增加而減少。

表 3.室溫液相沉積矽氧絕緣膜不同加水量之沉積速率

| 加水量 (ml) | 25 | 33 | 50 | 66 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 沉積速率 ($\text{\AA}/\text{min.}$) | 1.4 | 4.8 | 9.8 | 15.2 |
| 潛伏期 (min.) | 18.6 | 14.4 | 8.6 | 4.3 |
| 厚度方程式 (\AA) | 1.4(t-18.6) | 4.8(t-14.4) | 9.8(t-8.6) | 15.2(t-4.3) |

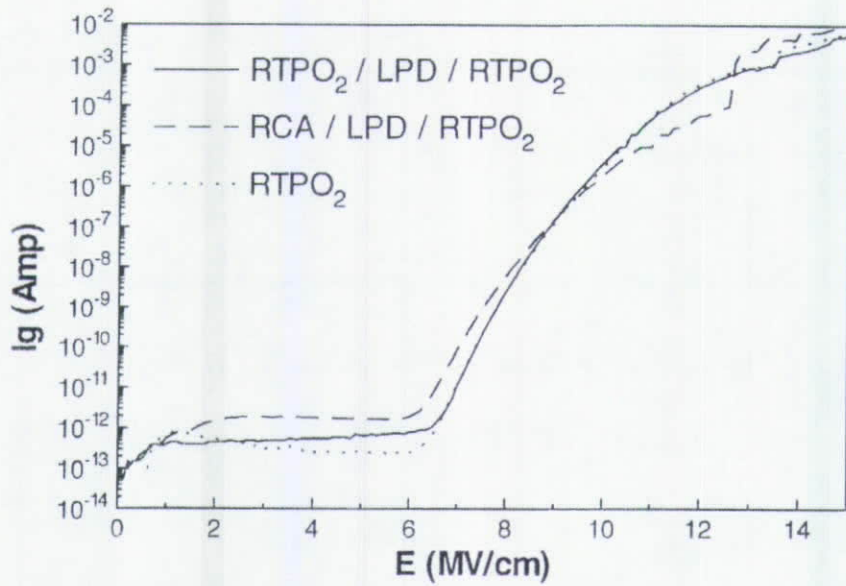
(3) 結合快速熱退火製程以製作超薄之閘極氧化層。

接著，我們利用快速熱退火製程以製作超薄之閘極氧化層，表三為各種樣本實驗的條件，首先分別利用氧氣中、氧化氮中快速熱退火處理及清洗後產生之自然氧化層作為第一層氧化層，接著成長室溫液相沉積矽氧絕緣膜，最後再經過氧氣中、氧化氮中快速熱退火處理，所有樣本總厚度控制在 100\AA 以內。

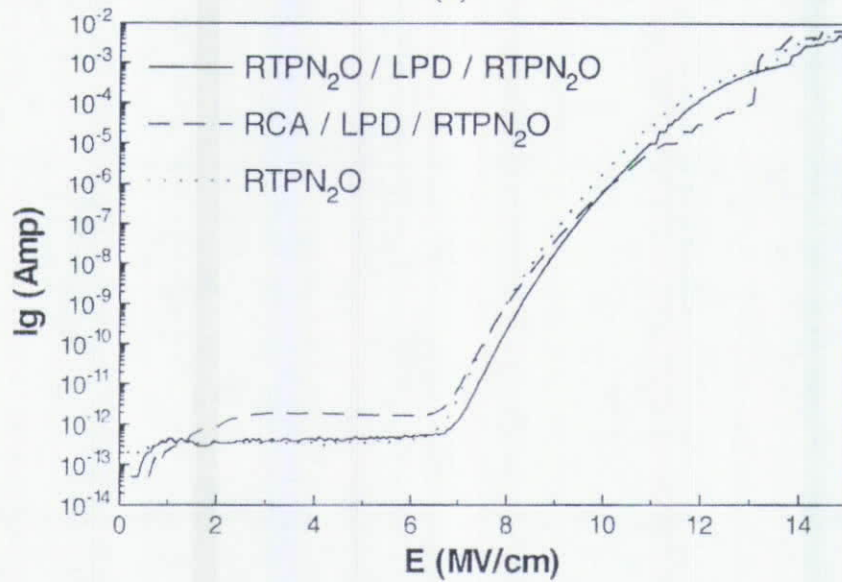
表 4.各種樣本實驗之條件

| 實驗條件 | Pad Oxide | LPD | RTP | 總厚度 |
|---|-----------------|-----------------|------|-----------------|
| RTPO ₂ /LPD/RTPO ₂ | 30 \AA | 20 \AA | 30s | 88 \AA |
| RCA/LPD/RTPO ₂ | 16 \AA | 20 \AA | 85s | 85 \AA |
| RTPO ₂ | | | 90s | 90 \AA |
| RTPN ₂ O/LPD/RTPN ₂ O | 30 \AA | 20 \AA | 200s | 83 \AA |
| RCA/LPD/RTPN ₂ O | 16 \AA | 20 \AA | 250s | 88 \AA |
| RTPN ₂ O | | | 300s | 92 \AA |

圖 43.顯示出氧氣中快速熱退火處理加上室溫液相沉積矽氧絕緣可以得到不錯的電特性，圖 43.(b)則同樣顯示出氧化氮中快速熱退火處理加上室溫液相沉積矽氧絕緣膜可以得到最佳電特性。



(a)



(b)

圖 43.(A)氧氣及(B)氧化氮中快速熱退火處理加上室溫液相沉積矽氧絕緣之
電流-電場特性圖。

圖 44.則是將兩種不同快速熱退火製程加以比較，圖中顯示出氧化氮中快速熱退火處理在高電場之下有較佳特性。圖 45.則是不同樣本的崩潰電場分布，同樣可以看出快速熱退火處理加上室溫液相沉積矽氧絕緣膜可以得到較高的崩潰電場，圖 46.則是將兩種不同快速熱退火製程加以比較，圖中顯示出在氧化氮中快速熱退火處理有較高的崩潰電場分布。

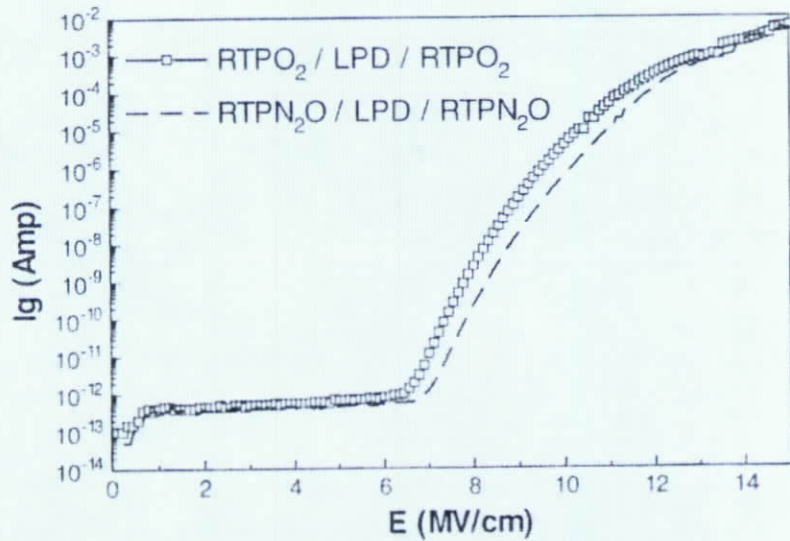
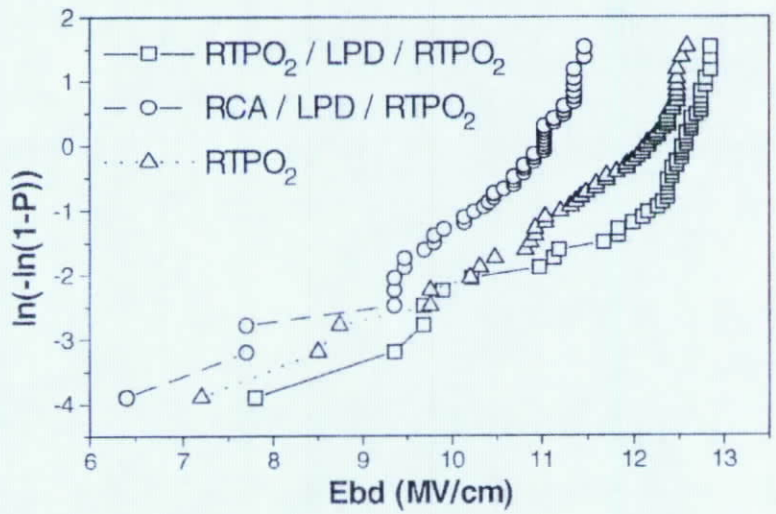
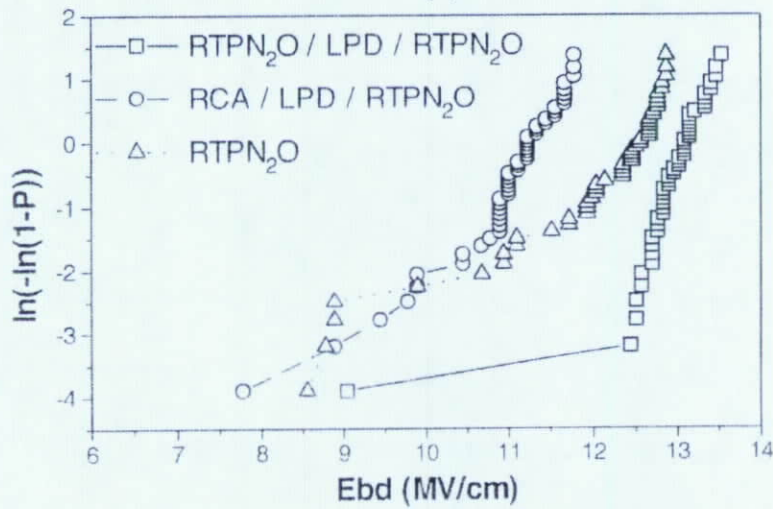


圖 44.兩種不同快速熱退火製程之電流-電場特性圖比較。



(a)



(b)

圖 45.(A)氧氣及(B)氧化氮中快速熱退火處理加上室溫液相沉積矽氧絕緣之崩潰電場分布圖。

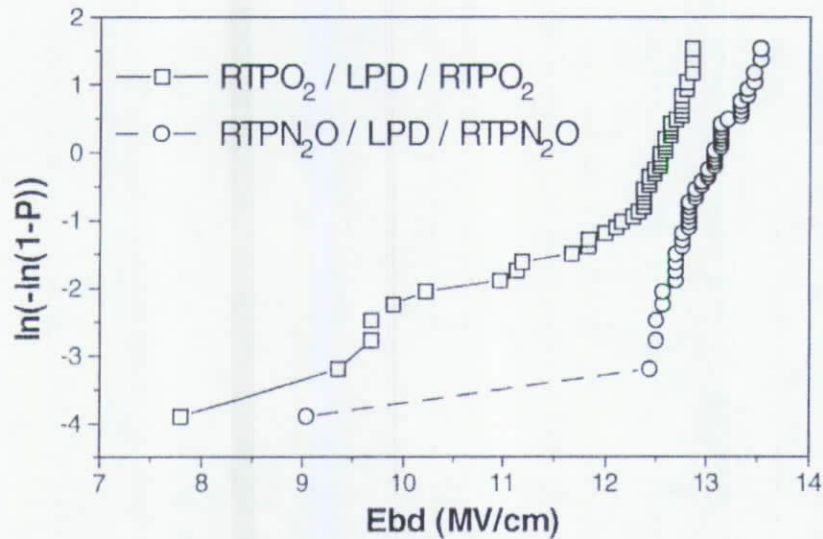


圖 46.兩種不同快速熱退火製程之崩潰電場分布圖比較。

2. 利用選擇性室溫液相沉積技術，製作無電漿破壞之金屬接觸孔製程，預計達到接面漏電流 10^{-9}A/cm^2 。

(1) 選擇性室溫液相沉積技術

將液相成長矽氧絕緣膜溶液放置在內槽，外槽則是利用恆溫機及循環水系統將沉積溶液維持在一定的溫度，而晶片則是放入內槽中成長矽氧絕緣膜。首先將適量二氧化矽粉末放入六氟矽酸溶液中，經過 18 小時的攪拌後，將未溶解的二氧化矽粉末濾除，成為飽和六氟矽酸溶液，接著加入去離子水後，溶液成為過飽和狀態，此時將晶片放入，即可選擇性成長矽氧絕緣膜。藉由控制沉積溫度及溶液濃度，可分別將沉積環境控制在全面性成長、選擇性成長及無成長等三種情況，而圖 47.則是分別在三種沉積條件下的電子顯微鏡圖，47.(b)圖中可看出矽氧絕緣膜只成長在矽晶片上而不成長於光阻上，即選擇性成長。

(2)利用選擇性液相沉積技術製作無電漿破壞之金屬接觸孔

圖 48.為接面二極體製作流程圖，在接觸孔的製作上，分別採用選擇性液相沉積技術(左圖)及傳統活性離子蝕刻方式(右圖)，以探討電漿蝕刻對二極體元件的影響及新式無電漿選擇性液相沉積技術對元件特性的改善。圖 49.為量測出之二極體元件電流及電壓特性圖，由圖中可明顯看出傳統活性離子蝕刻製作接觸孔，其二極體元件有較大的漏電流。由於電漿活性離子蝕刻會造成二極體接面產生缺陷，這些缺陷於是造成二極體元件有較大的漏電流，而選擇性液相沉積技術是在無電漿下的環境下進行，所以漏電流明顯較小，約 10^{-11} A，換算約 10^{-9} A/cm²。圖 50.則是量測兩種不同接觸孔製程的接觸電阻，相較於選擇性液相沉積技術製作之接觸孔，傳統活性離子蝕刻方式之作之接觸孔呈現非線性的電阻曲線，這是由於在活性離子蝕刻過程，污染物堆積在元件表面，造成較高的電阻值及非線性的電阻曲線。圖 51.則是蕭特基二極體的特性曲線，蕭特基二極體與接面二極體的不同在於蕭特基二極體沒有離子布植，金屬與矽基板直接接觸，從圖中可看出，選擇性液相沉積技術製作之接觸孔仍舊比活性離子蝕刻有較佳的電特性。表 5.列出了這兩種接觸孔製程的其餘參數，顯示了選擇性液相沉積技術製作之接觸孔在理想因子及能障高度等，均表現出較佳的特性。

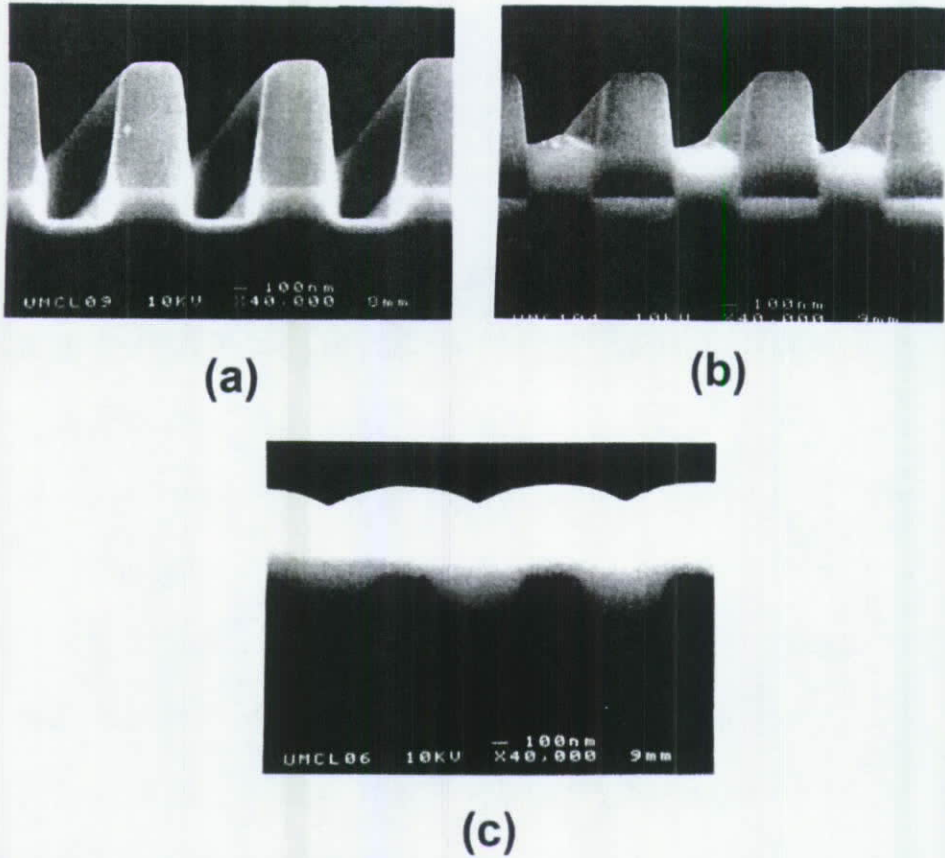


圖 47.電子顯微鏡圖(A)無成長、(B)選擇性成長及(C) 全面性成長。

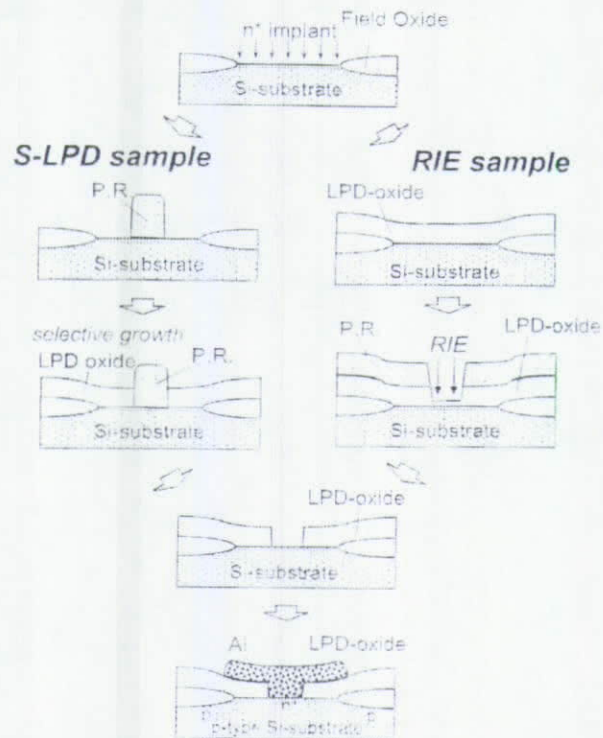


圖 48.接面二極體製作流程圖，選擇性液相沉積技術(左圖)及傳統活性離子蝕刻方式(右圖)。

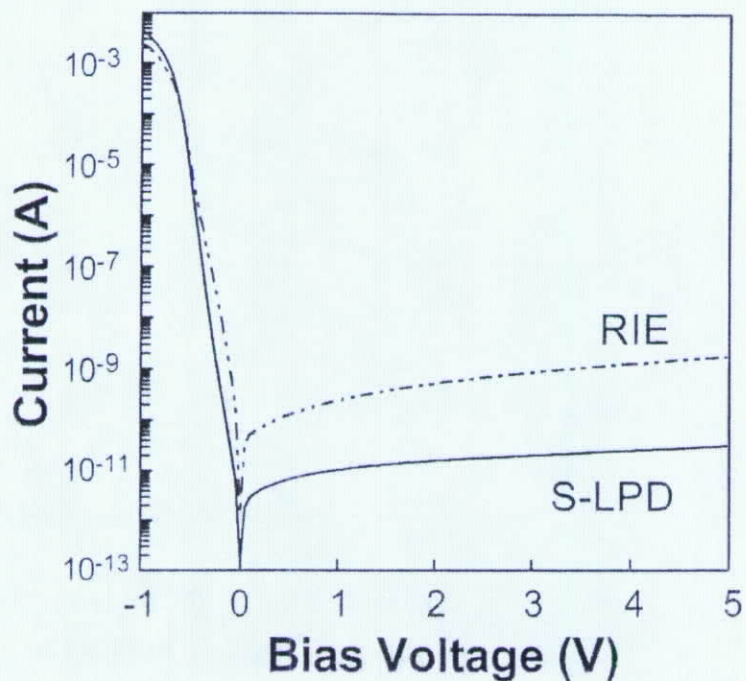


圖 49.量測出之二極體元件電流及電壓特性圖。

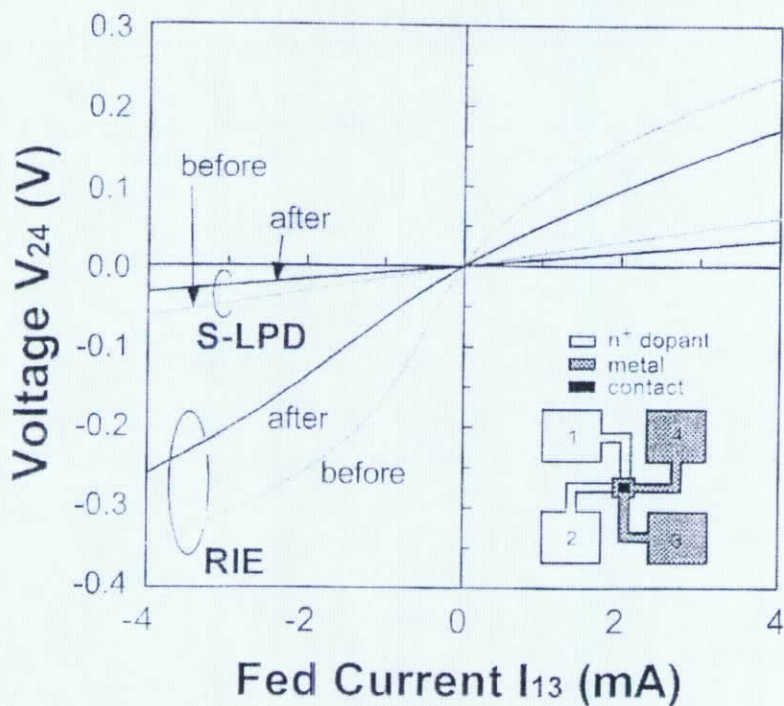


圖 50.兩種不同接觸孔製程的接觸電阻。

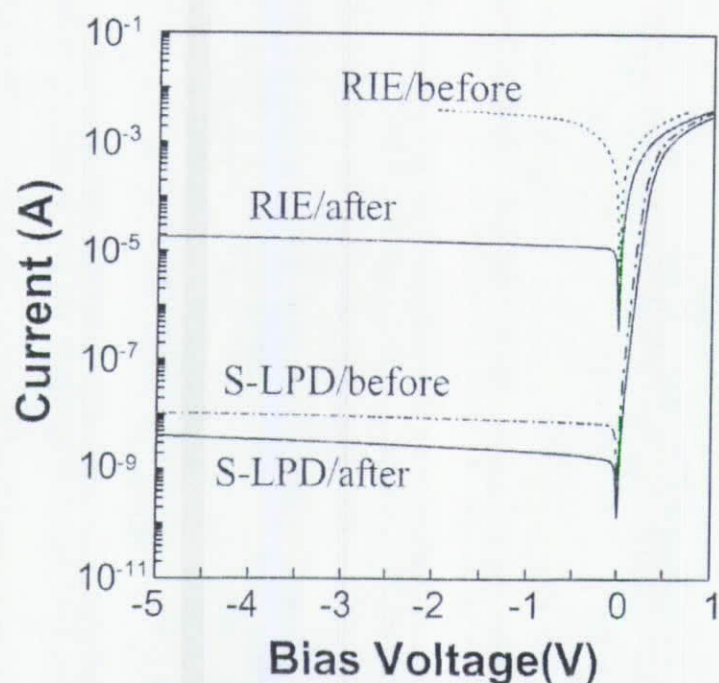


圖 51. 蕭特基二極體的特性曲線。

表 5. 兩種接觸孔製程的電性參數

| | <i>S-LPD</i> | <i>RIE</i> |
|--|----------------------|--------------------------|
| n⁺/p diode | | |
| Ideality Factor η (Al Si) (-0.4 to -0.5V) ^a | 1.13 | 1.57 |
| Dimension Current Ratio $I_{400} / I_{100}(5.0V)$ ^a | 3.27 | 5.15 |
| Ideality Factor η (Al Ti Si) (-0.4 to -0.5V) | 1.17 | 1.64 |
| Ohmic | | |
| Contact Resistivity ρ_{cc} ($\Omega\text{-cm}^2$) ^b | 2.5×10^{-6} | $\sim 12 \times 10^{-6}$ |
| Schottky diode | | |
| Schottky η_{sc} (0.1 to 0.3V) | 1.11 | >3.0 |
| Schottky Barrier Height (eV) | 0.83 | 0.60 |
| Ultra-shallow n⁺/p diode | | |
| Ideality Factor η (-0.4 to -0.5V) | 1.03 | 1.13 ^c |

^a Diodes with Al Si contact considered before sintering.

^b Sheet Resistance $R_s = 25.5 \Omega/\text{sq}$.

^c P-RIE was adopted.

3.利用選擇性室溫液相沉積技術，製作奈米尺寸之閘極，預計達到線寬 100 nm。

我們可利用選擇性液相沉積之技術，製作出具有奈米尺寸閘極的 MOSFET 元件。請參考圖 52. 的流程圖及對應的 SEM 截面圖，首先，使用低溫氣相沈積系統沈積厚度為 500 nm 的依附氧化層，使用第一道光罩及活性離子蝕刻機定義其形狀，接著使用低溫氣相沈積系統於依附氧化層上方再沈積一層氮化矽，此氮化矽層的厚度就近似於奈米閘極的寬度，於此是當作 dummy 閘極使用，利用非等向性的活性離子蝕刻法將薄膜去除，僅留下側壁，如此即形成側壁式奈米 dummy 閘極。

接著使用 Buffered oxide etcher (BOE) 去除依附氧化層，僅留下 dummy 閘極，經過離子佈植形成超淺接面後，利用選擇性液相沈積法的特色，即在氮化矽表面不易成長出二氧化矽層的特性，選擇性地在氮化矽側壁層的兩邊沈積出氧化膜，晶圓接著進入高溫爐管作三十分鐘之 800°C 的氮氣處理來提升液相沈積矽氧化膜的緻密性，以抵擋後續去除氮化矽側壁層時所使用的熱磷酸蝕刻製程。本步驟並無對應 SEM 照片，因為截面位置即使經過染色處理仍無法清楚分辨出氮化矽與二氧化矽層的位置。

接著，使用覆蓋率極佳的化學氣相沈積系統來沈積複晶矽閘極，從 SEM 截面圖可清楚看出複晶矽可自動填入由氮化矽側壁層所形成的閘極溝槽，形成寬度約 100 nm 的閘極結構（製作 SEM 照片時，為了清晰起見，二氧化矽層使用 1:100 之氮氟酸作 5 秒鐘的染色處理）。

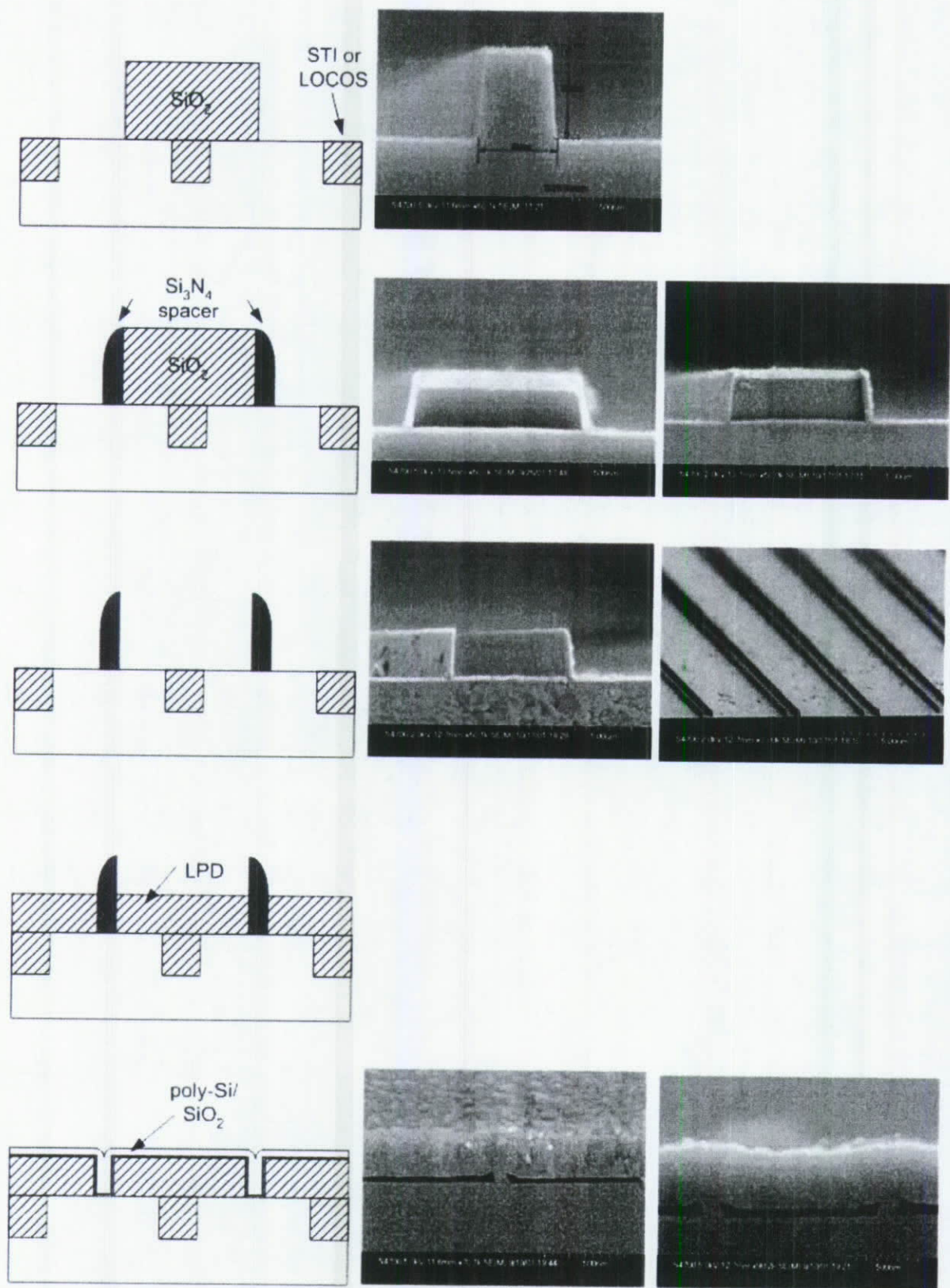


圖 52.奈米閘極製作流程圖及對應的掃瞄式電子顯微鏡截面圖

4.將省能室溫液相沉積設備推廣並技術轉移給產業界

在這段期間內，我們持續彙整期末報告及計畫總報告，將與其他子計畫彙整後提供產業界參考，另外，在高效率省能技術研討會當中，亦發表有關液相沈積室溫矽氧化膜的論文，並跟與會的業界廠商交換意見。

另一方面，我們延續 2.利用選擇性室溫液相沉積技術，製作無電漿破壞之金屬接觸孔製程，預計達到接面漏電流 $10^{-9}\text{A}/\text{cm}^2$ 。以及 3.利用選擇性室溫液相沉積技術，製作奈米尺寸之閘極，預計達到線寬 100 nm，有關選擇性液相沈積法的研究，認為有必要針對目前業界普遍採用之金屬矽化物製程和選擇性液相沈積法之間的相容性作進一步探討；金屬矽化物製程可降低摻雜單晶矽或複晶矽的片電阻值，後續跟金屬導線形成接觸孔之後，也有助於降低接觸電阻，使電路整體的 RC time delay 下降，提升元件效能；因此，利用選擇性液相沈積法來製造元件接觸孔的製程是否也能應用至接面處含有金屬矽化物時的場合，就值得研究。

圖 53.為鍍金屬矽化物經過氫氟酸、二氧化矽蝕刻液與六氟矽酸（液相沈積矽氧化膜製程的主成分）的處理結果，可發現氫氟酸和二氧化矽蝕刻液都會侵蝕鍍矽化物，使得片電阻值提高，但飽和狀態的六氟矽酸溶液並不會蝕刻鍍矽化物，因此在液相沈積氧化膜開始在表面沈積的潛伏期（約十分鐘）內，矽化物不會被破壞，故選擇性液相沈積技術可以安全地應用至此製程當中；另一方面，若使用電漿製程來形成元件接觸孔，當電漿蝕刻終點控制或均勻性不佳，電漿蝕刻亦會使矽化物的片電阻值提高，其結果如圖 54.所示。

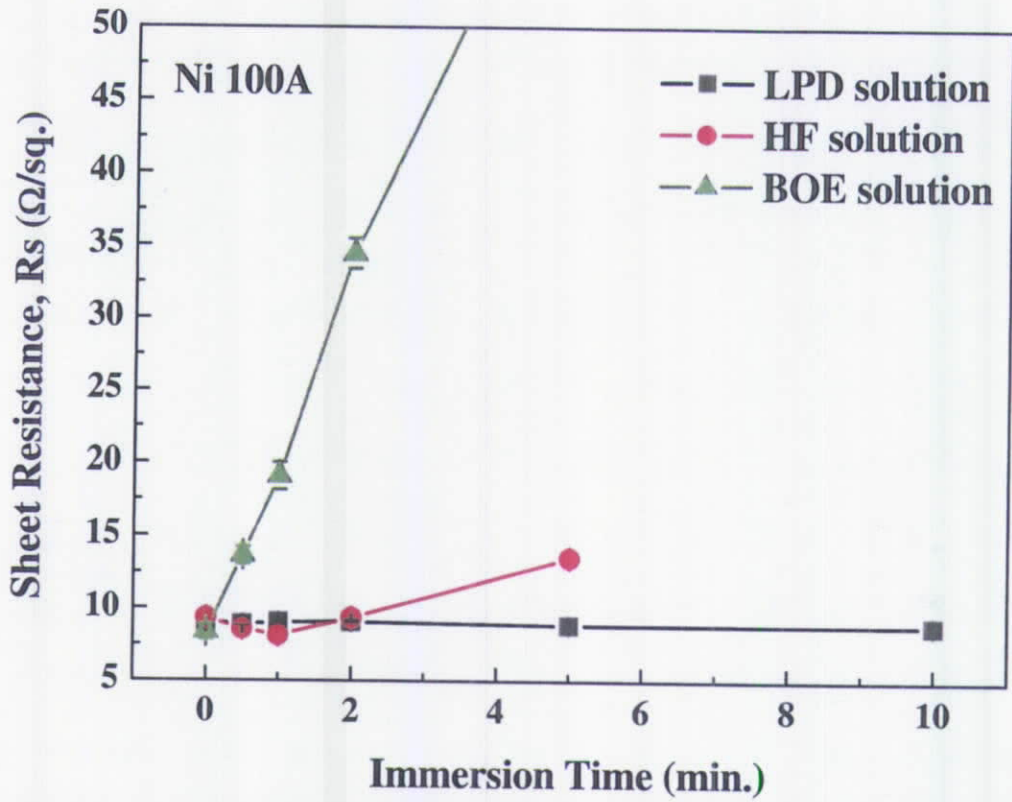


圖 53. 經過不同化學藥品蝕刻後之鎳金屬矽化物的片電阻變化

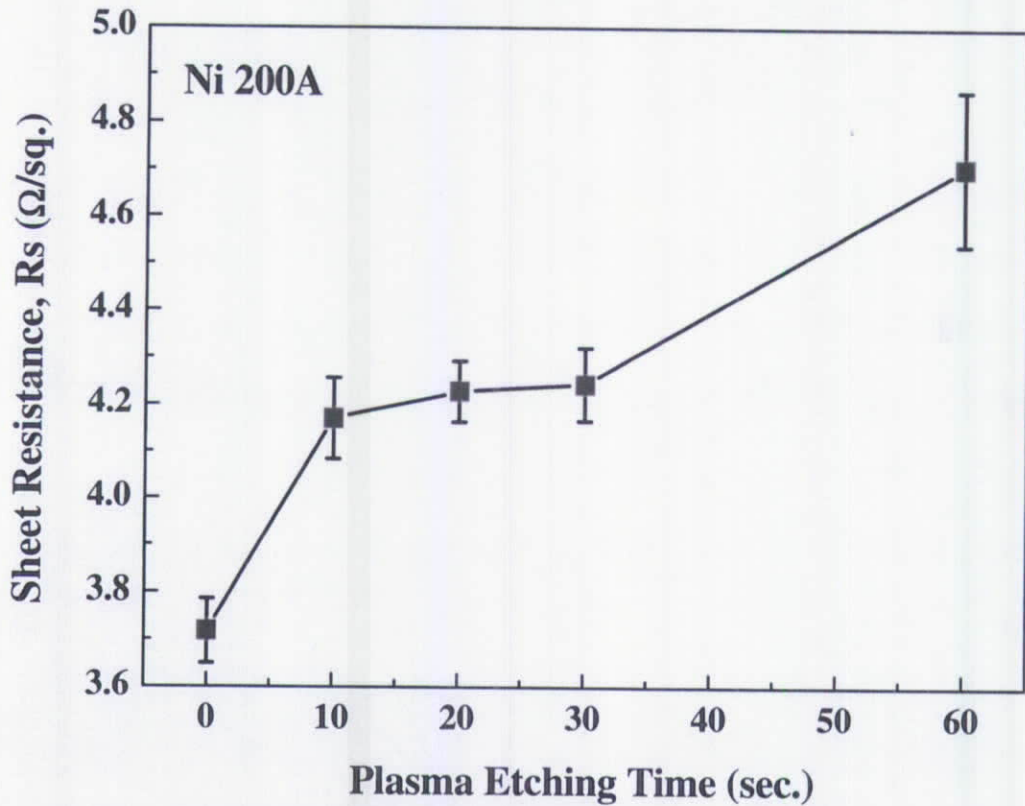


圖 54. 電漿蝕刻後之鎳矽化物的片電阻變化

接下來，根據圖 55.的實驗流程圖，分別在含有鎳矽化物的接面上，以選擇性液相沈積技術與傳統電漿沈積/蝕刻技術形成蕭基二極體的上電極，根據蕭基二極體的電流公式，理想常數 (ideality factor) 可以表示成：

$$n = \frac{q}{kT} \frac{\partial V}{\partial(\ln I)}$$

圖 56.繪出了經過不同接觸孔製程後的理想常數變化，我們發現使用選擇性液相沈積接觸孔製程所形成之蕭基二極體的理想常數最接近 1，相對地經過任何電漿製程，如化學氣相沈積或電漿蝕刻後的樣品，其理想常數都提高了，元件特性的均勻度也同時變差，圖 57.則改變了接觸孔的面積，可發現接觸孔面積越大，理想常數的表現越差，而電漿對於接面的破壞與天線效應，也會隨著接觸孔面積增大而變得更嚴重，相對地，利用選擇性液相沈積接觸孔製程的蕭基二極體對於接觸孔尺寸的敏感性（即圖 57.直線的斜率）就比較低。

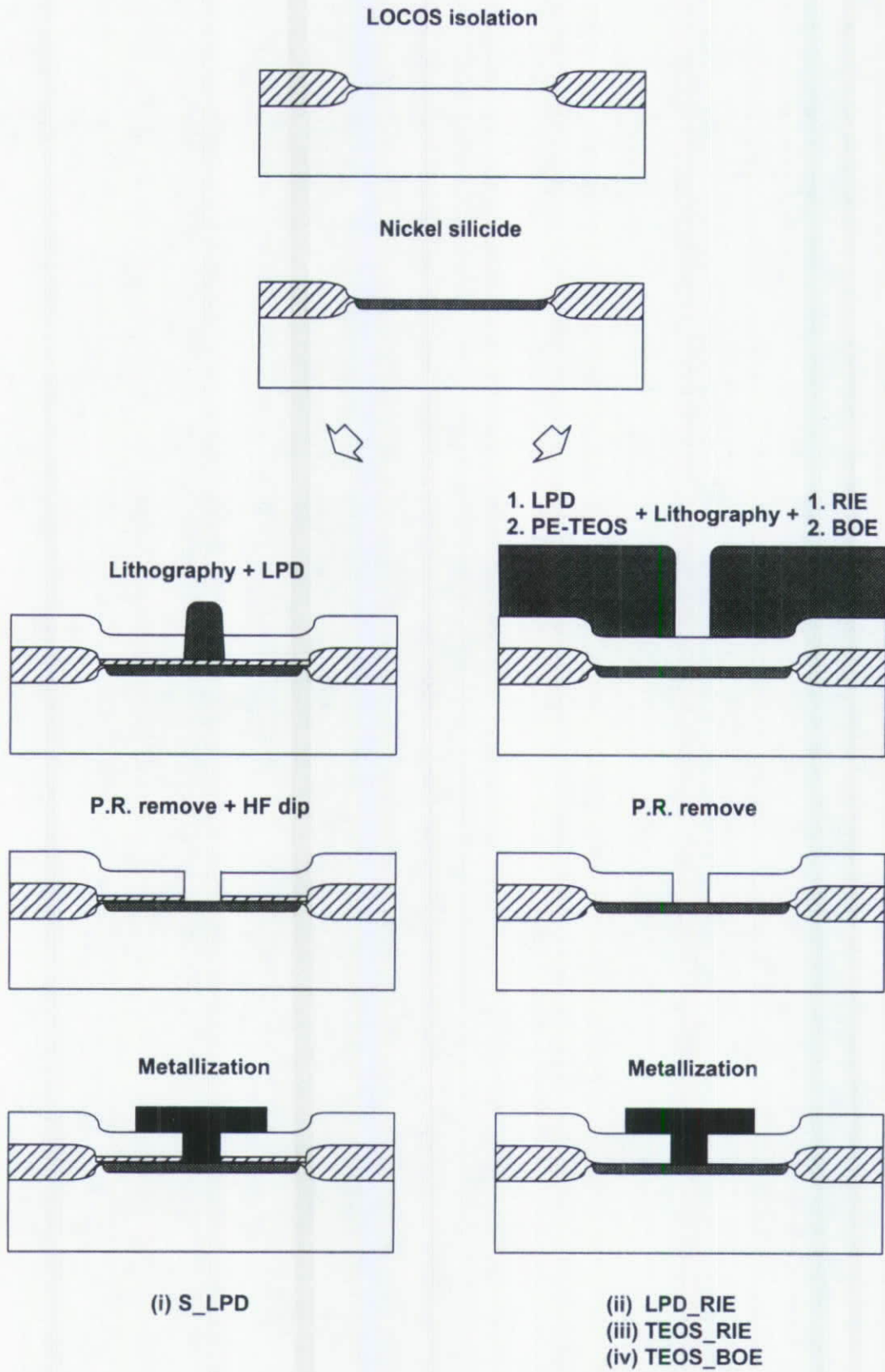


圖 55.使用不同接觸孔製程之蕭基二極體的製作流程圖

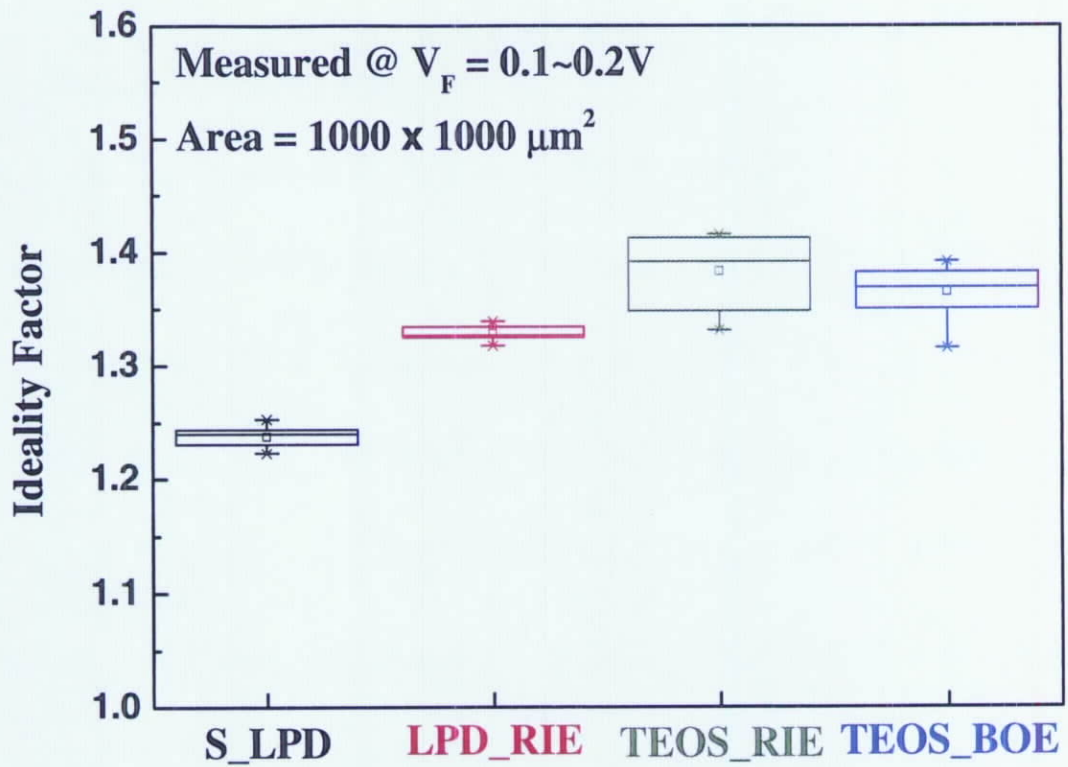


圖 56. 經過不同接觸孔製程之蕭基二極體的理想常數變化

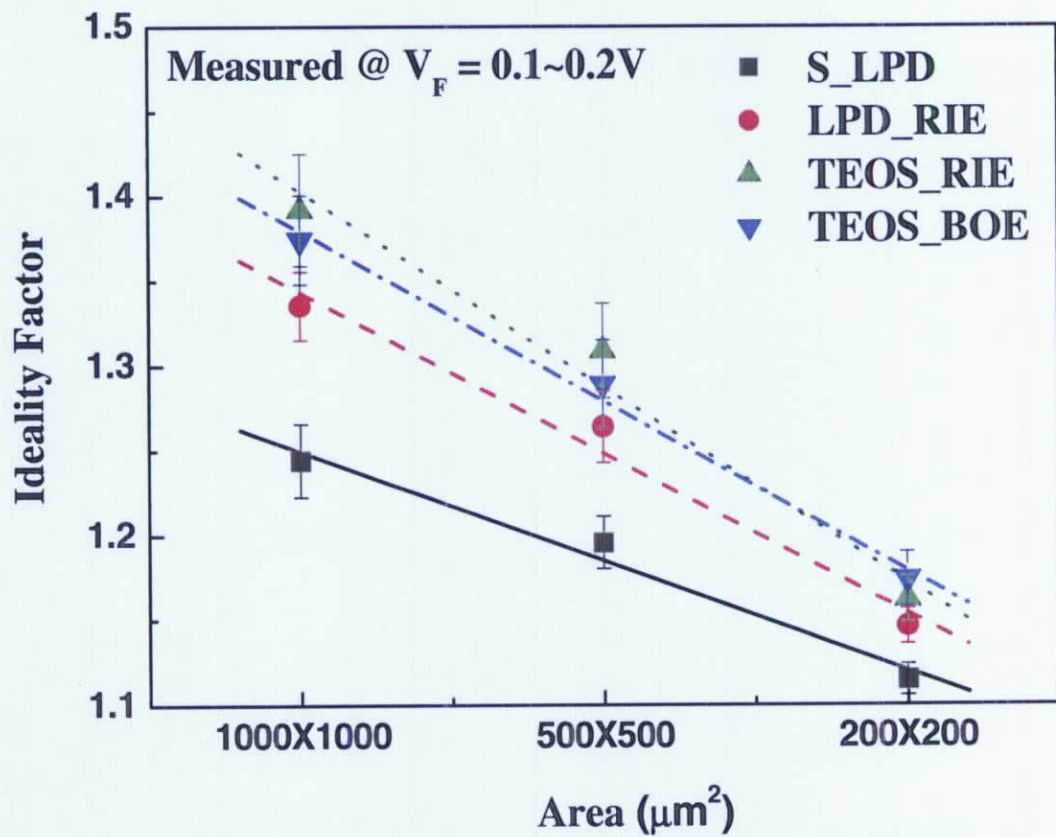


圖 57. 改變接觸孔面積與接觸孔製程對於蕭基二極體之理想常數的影響

4.1.3 低溫製程之研發

去年度完成氧化物電極鎳酸鋇(LaNiO₃, LNO)/矽基板之製備，並使其氧化物導電電極之電阻率為 1Ω 以下，此外完成鈦酸鋇鋇(BST)鐵電薄膜成長在氧化物電極上之物性分析，藉由成長在鎳酸鋇(LaNiO₃, LNO)/矽基板以降低鈦酸鋇鋇鐵電薄膜之製程溫度預計降低至 500°C 以下且鈦酸鋇鋇鐵電薄膜之介電常數至 400 以上。本年的工作目標預定為：(1)開發完成 450°C 以下低溫成長於氧化物電極上 BST 基薄膜，其具有良好的結晶性，且具優選方向。(2) 開發成長於氧化物電極上 BST 基薄膜，介電常數在 450 以上，漏電流在 10⁻⁹A/cm² 以下。

研究內容完全符合預度進度且無落後情形，各查核點如下所述：

1.完成濺鍍標靶與薄膜的製作

- (1)換裝新式濺鍍槍，改善濺鍍時之穩定性及增進薄膜品質。
- (2)重新換裝新式真空計，以有效確實掌握真空度及控制濺鍍時之工作壓力。
- (3)完成 LNO 標靶之製作，以及完成薄膜製程參數之重新設定。
- (4)完成 BST 標靶之製作，以及完成薄膜製程參數之重新設定。

2.完成具有良好結晶性與優選方向薄膜製作

- (1)完成 LNO 薄膜於高溫退火後有較佳之結晶性。
- (2)完成 LNO 薄膜於高溫退火後有較佳之優選方向。

3.微量添加物之調整與製程最佳化處理

- (1)完成添加物 4%、5%MgO 及 5% MnO 於 BST 薄膜中
- (2)完成以 LNO、Pt、LNO/Pt 三種不同底電極之製備
- (3)完成 LNO 於高溫氧氣氛下退火之特性改善
- (4)完成不同比例添加物之 BST 薄膜於三種不同底電極上之製備

4.完成製程溫度 450°C 以下，介電常數 450 以上，漏電流在 10^{-9} A/cm² 的 BST 薄膜

- (1)完成 BST 製程溫度 450°C 以下之製備
- (2)完成介電常數 450 以上 BST 薄膜之製備
- (3)完成 BST 薄膜之漏電流為 10^{-9} A/cm² 之製備

本年度重要之實驗成果為：

- (1) LNO 薄膜於基板溫度 300 °C 製程時其電阻率較低,且經過 800 °C 退火後有較佳之結晶性質
- (2) BST 摻雜 0.4mole MgO 時，在 LNO 為下電極時有較佳之結晶性，隨著溫度的降低其漏電性質較佳，而介電常數則隨著溫度升高而提高
- (3) BST 摻雜 0.5mole MgO 時，當以 LNO/Pt 為下電極時其漏電性質表

現較為優異(10^{-9}A/cm^2)

(4) BST 摻雜 0.5mole MgO 時，以 LNO/Pt 為下電極時其介電性質較為優異(599)

4.1.4 12 吋圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術開發

第四年已執行的研究內容有 RTP 爐系統整合以及均溫性與耗能測試，晶圓均溫性可達 $\pm 1.6^\circ\text{C}$ 且能源節省 5%。

根據上年度的實驗結果，對加熱系統進行小幅度的調正。實驗過程中，因石英玻璃受到污染造成透光性不佳，故更換石英玻璃(如照片 8.)。由於晶圓上的溫度分佈需要準確的量測，故將溫度擷取系統進行校正。另外，將已校正之溫度擷取系統進行測試以準確的量測晶圓上的溫度分佈，而且探討加入主動式控溫板後與單獨使用燈源之晶圓均溫性，進行最後測試，晶圓均溫性可達 $\pm 1.6^\circ\text{C}$ 。

圖 58.係單獨使用燈源對晶圓加熱之過程中的晶圓溫度分佈，晶圓最高溫度是設定 200°C ，從圖上可看出晶圓表面溫度一開始在 50s 尚無法達到晶圓預設之溫度，若延長加熱時間，溫度均勻性 $\Delta T_{\max}=7.4^\circ\text{C}$ 並不理想，隨著加熱時間達到 600s 時，均溫性改善至 $\Delta T_{\max}=5.2^\circ\text{C}$ ，但仍無法達到本計畫之目標 1.6°C ，雖然長時間可改善溫度均勻性，但相對的也消耗較多能源。

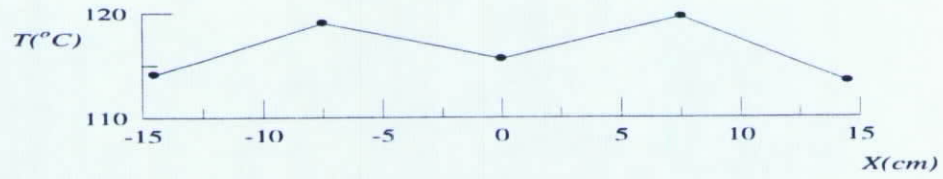
圖 59.係燈源加熱系統配合六段電阻絲(主動式控溫板)同時對晶圓加熱，可

使得主動式控溫板的能源消耗降低至 720KJ，而燈源加熱系統的能源消耗可減少至 180KJ，雖然一開始無法在短時間上升到晶圓預設之溫度，但最終均能滿足溫度均勻性 1.6°C 之目標。比較圖 58.與圖 59.的能源消耗部份發現，單獨使用燈源加熱時需要長時間改善均溫性，如此會造成較多的能源消耗，如果加上主動式控溫板則可使加熱時間縮短且能源消耗減少，所節省之能量遠超過 5%。

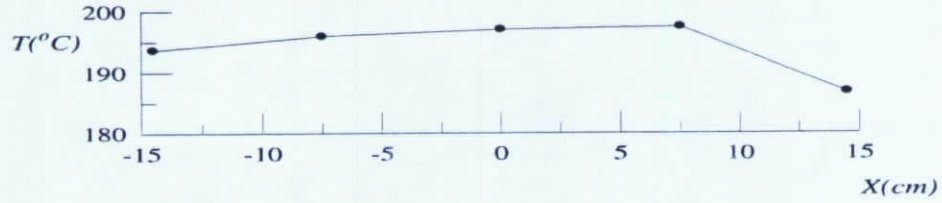
如何得到均勻的晶圓表面溫度分佈以及製程省能為本計劃之主要目的，故在使用外商公司 SensArray 的溫度模組後，我們已可輕易量測晶圓表面之溫度分佈且提高溫度量測系統的穩定性及可靠性。另外，由於晶圓上的溫度分佈需要準確的量測，故將溫度擷取系統進行校正，使得我們可以準確的量測晶圓上的溫度分佈，而且探討加入主動式控溫板後與單獨使用燈源之晶圓均溫性，圖 60.為爐體修改前，燈源加熱系統配合六段電阻絲同時對晶圓加熱之晶圓溫度分佈加熱時間直到 600s 時，均溫性改善至 $\Delta T_{\max}=1.3^{\circ}\text{C}$ 。圖 59.為爐體修改後進行最後測試的結果，晶圓均溫性 $\Delta T_{\max}=1.4^{\circ}\text{C}$ ，比較發現設備的穩定性及可靠性提高，且晶圓均溫性仍然可達 $\pm 1.6^{\circ}\text{C}$ 。

在外商公司 SensArray 的協助下我們已可輕易量測晶圓表面之溫度分佈。其使用的溫度模組量測方式，除了將熱電偶埋設在晶圓的表面且經過

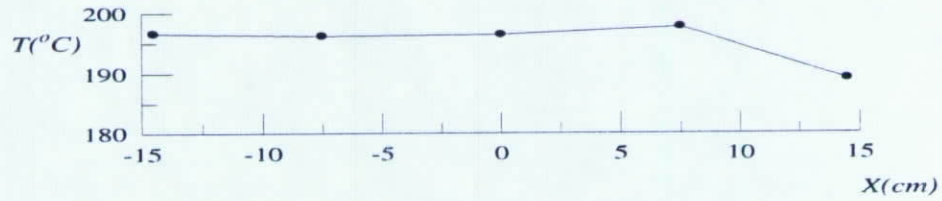
許多次的反覆加溫降溫也不會使熱電偶掉落，可徹底的解決晶圓溫度分佈的量測方式的問題。另外，每次實驗開始時需要將主動式控溫板之溫度上升至實驗所設定的溫度，需消耗能源及時間，但是當應用到實際製程後，可使主動式控溫板維持在所需要之溫度，並讓控溫板移動到各個 chamber，使主動式控溫板可長時間維持在所設定之高溫，隨時可用於多種 cycles，因此整個 RTP 爐之能量消耗可減少，故實際應用到製程時可節省能源。



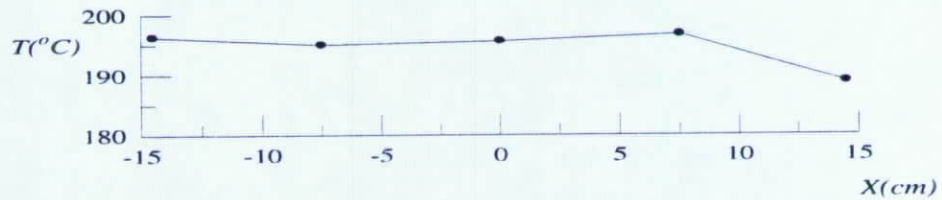
(a) $t = 50s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 2.9^{\circ}C$



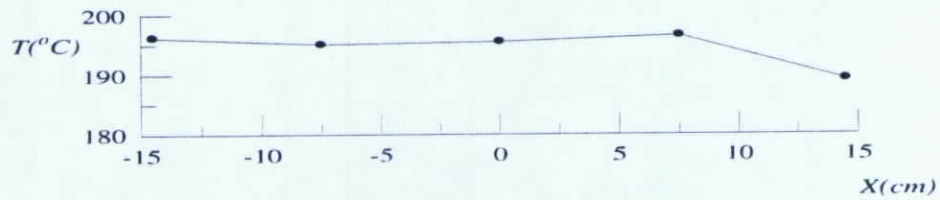
(b) $t = 150s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 7.4^{\circ}C$



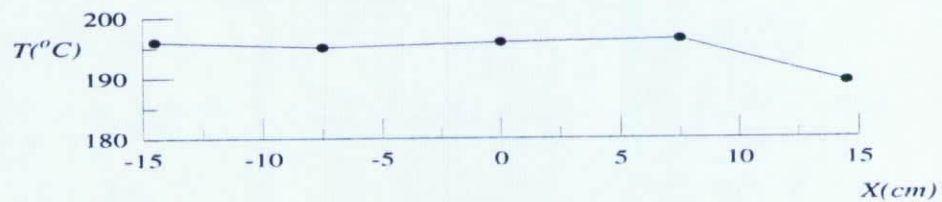
(c) $t = 250s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 6.1^{\circ}C$



(d) $t = 350s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 5.7^{\circ}C$



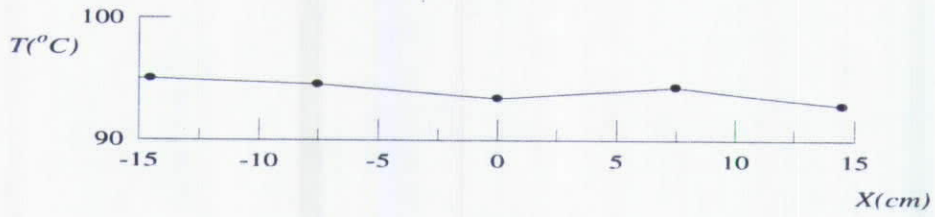
(e) $t = 450s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 5.4^{\circ}C$



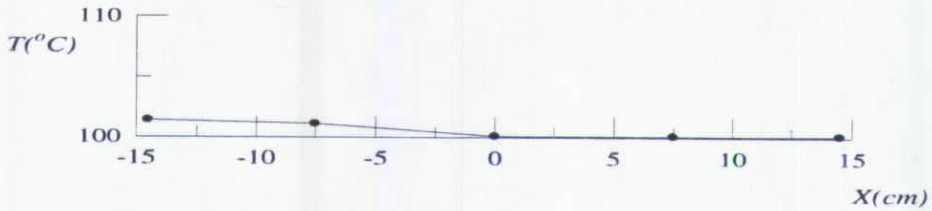
(f) $t = 600s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 5.2^{\circ}C$

圖 58.單獨燈源加熱，晶圓溫度設定在 $200^{\circ}C$ 時之晶圓溫度分布圖，總耗

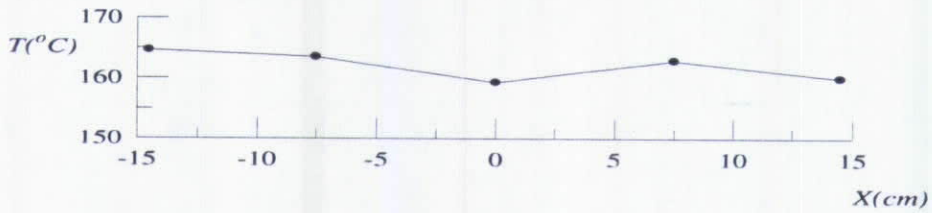
能 252KJ



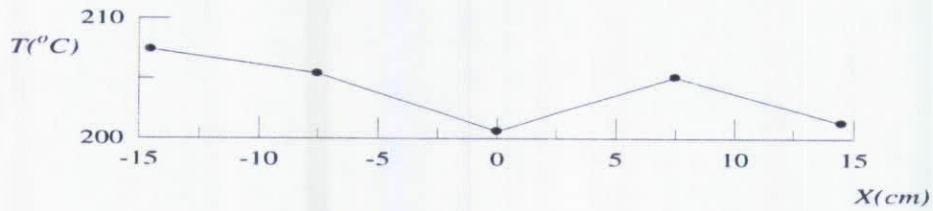
(a) $t = 150s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 1.2^{\circ}C$



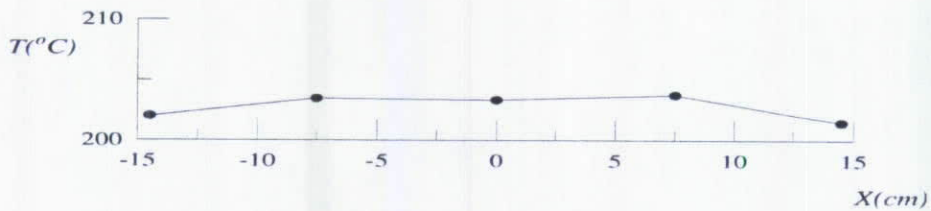
(b) $t = 250s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 0.8^{\circ}C$



(c) $t = 350s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 2.8^{\circ}C$

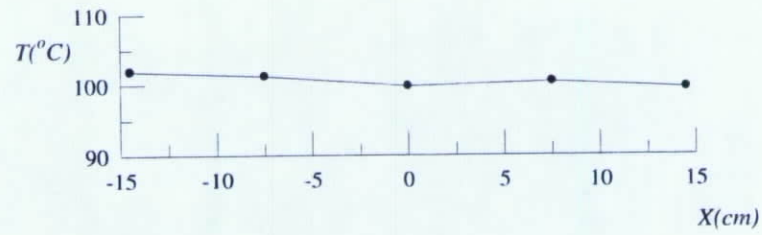


(d) $t = 450s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 3.4^{\circ}C$

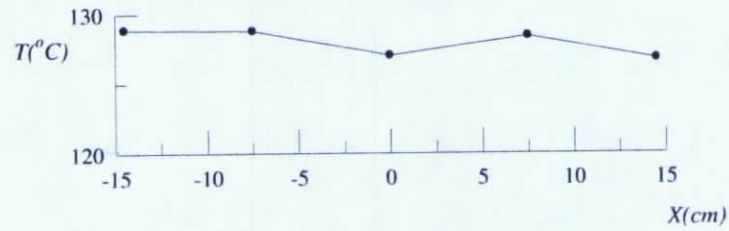


(e) $t = 600s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 1.4^{\circ}C$

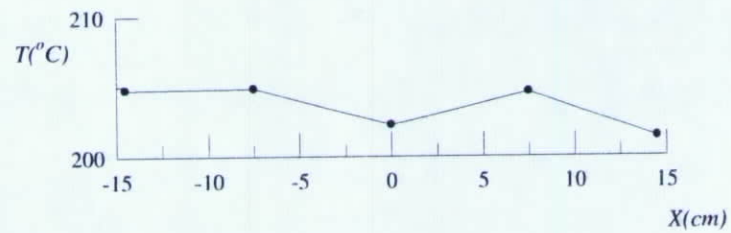
圖 59.使用燈源配合六段電阻絲加熱時，晶圓溫度設定於 $200^{\circ}C$ 時之晶圓溫度分布圖，燈源所消耗能量為 186KJ 以及主動式控溫板所消耗能量為 723KJ，總耗能為 909KJ。



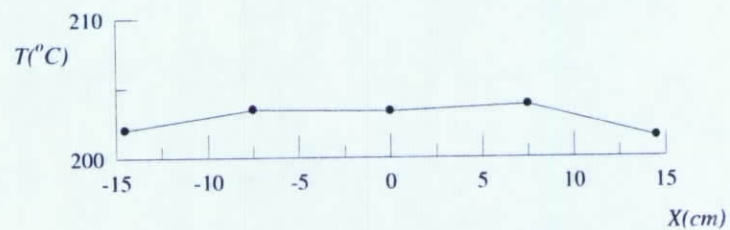
(a) $t = 200s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 1.3^{\circ}C$



(b) $t = 300s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 1.2^{\circ}C$



(c) $t = 500s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 2.2^{\circ}C$



(d) $t = 600s$, $T_{set} = 200^{\circ}C$ & $\Delta T_{max} = 1.3^{\circ}C$

圖 60.使用燈源配合六段電阻絲加熱時，晶圓溫度設定於 $200^{\circ}C$ 時之晶圓溫度分佈圖，燈源所消耗能量為 180KJ 以及主動式控溫板所消耗能量為 720KJ，總耗能為 900KJ。

4.2 執行檢討與建議

4.2.1 潔淨室省能技術研發

本年度之執行成果顯示在機台有發熱的情形下，對流場有產生一些影響，而這對於污染粒子的排除有不良的影響，此外，對有兩台機台存在的情形下，在將影響流場的因素降至最低，我們發現在入口雷諾數為 1.3385×10^5 、機台無因次化高度為 0.435 時，當機台之間無因次化距離為 0.783，則機台周圍的流場不會受到另一機台的影響。

另外，機台頂面積發熱量愈大時，在機台上方周圍會因自然對流效應而產生愈大的迴流區，且機台周圍的流場也會變得相當紊亂，這會使得污染粒子容易在迴流區與機台周圍堆積。

由於當潔淨室入口速度愈大時，自然對流效應會較不明顯，所以我們建議可以在發熱機台上方局部加強入口風速，以抑制自然對流效應。此項建議在我們的各項實驗中也獲得驗證，而如此耗電量也能再降低 5%。

由本年度之執行成果，我們可依據所得之數據及經驗，進一步設計耗電量更低的潔淨室，並進一步修正 CFD 軟體的可信度與適用性，據以提供設計潔淨室時之相關參考數據，並與廠商密切合作，將研發成果提供業界參考。

4.2.2 室溫液相沉積絕緣膜及設備之研發與推廣

在最後一年的計畫裡，我們利用室溫液相沈積矽氧化膜的技術製作超薄氧化層，因為液相沈積氧化膜具備室溫沈積與大面積成長的特性，此氧化層的最佳使用領域是低溫薄膜電晶體產業。另外，透過選擇性液相沈積技術，不僅可製作出奈米尺寸的閘極，亦可形成半導體元件的接觸孔，取代傳統電漿蝕刻技術，有效降低接面漏電流。為了讓此技術能夠為半導體

或光電產業使用，除了積極推廣之外，有必要結合設備廠商，利用產學合作的方式，試作大型量產用室溫液相沈積系統，這將更有助於此一技術的推廣跟普及。

4.2.3 低溫製程之研發

本計劃在採用氧化物電極的情形下，會因氧化物電極與 BST 膜之間的蕭基發射的漏電流增加而使整體的漏電流增加，因此 BST 膜的添加物的種類與量十分重要，本年度分別摻雜 4%、5% MgO 及 MnO 兩種添加物於 BST 鐵電薄膜中，此外改變電極型態可獲得不同程度之漏電改善及結晶型態之改善。

4.2.4 12 吋圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術開發

1. 溫度量測主要是因為溫度改變使得熱電偶尖端之感應電動勢改變，所以根據此電壓的變化即可了解目前熱電偶所量的溫度為何，不過因為晶圓表面受到靜電的影響，使得溫度量測並不穩定，為了隔絕靜電對熱電偶之影響，故另外利用石英製作的 susceptor 隔絕晶圓與控溫板之接觸。

2. 影響晶圓溫度分佈及所耗功率的因素很多，包括燈源的控制模式、回饋溫度訊號的選取及分佈、燈源的排列、爐體形狀、晶圓支撐架的形狀、加熱銅板的厚度等等，均有一定的影響。

3. 結果顯示燈源加熱所耗功率較多且需要較長的實驗時間，其晶圓均溫性不佳。然而由加熱線圈加熱及控溫板所構成的主動式加熱器具有較佳的均溫性，但需要長加熱時間才能到達預設晶圓溫度。

4. 未來可針對 12 吋晶圓快速加熱爐的快速降溫進行實驗及測試，因為在降溫過程中，有可能也會造成晶圓表面溫度的不均勻，所以在爐體外部的冷卻液流道的設計就顯的重要。

4.2.5 綜合檢討

本計畫歷經5年的努力，已告一段落。這5年中，雖然經費實在不足，且於第2年時，計畫研究方向必須作重大轉變，人員亦縮減。但是仍然靠著各位研究人員的努力，獲致了極為豐富成果。當然，執行本計畫過程中，我們依然遭遇了一些困難與阻礙，但也對未來有所期許，以下列舉，做為未來之參考：

1.各子項之間橫向聯繫不足：主要原因是本計畫的技術均為前瞻技術，因此各子項間共通技術不多，單一子項技術尚有極大發展空間。未來當技術發展至某一階段，相信必能改善。

2.與產業合作與技術轉移遭遇困難：主因是交通大學與能源局對技術歸屬認知不同，例如在專利方面，我們研究團隊的確發展出不少專利，以能源局的觀點，所有專利因係利用本計畫經費支持，應屬該局所有，但只在計畫執行期間由計畫中編預算維護，一旦計畫結束即沒有經費維持；而從本校或研究人員來看，能源局只提供材料費，所有研究設備皆是交通大學所擁有（非能源局設備費），再加上計畫結束就不能再維持，因此比較沒有意願由本計畫提出申請。至於在技術轉移與業界合作程序，對學界環境而言過於複雜，尤其在節約能源沒有相關法令予以強制性要求，對半導體及光電業者，相對於韓國及日本較低的電價，節能效益在其成本考量上，並不算是一個很重要因素，這或許要在電價自由化，產生類似美國加州大停電結果後，高科技業者才會有節能的實際作為；另外學校技術前瞻，但主要是實驗室規模，業界評估量產技術考量亦多，所幸本計畫之研究成果開始受到業界重視，震生機械已作技術轉移，華邦亦在接洽中，在節能技術，也有業者準備合作大產學計畫的洽談，主要是在空調系統的效益評估及調整技術的開發，相信未來技術更加成熟後會有更多業界參與。

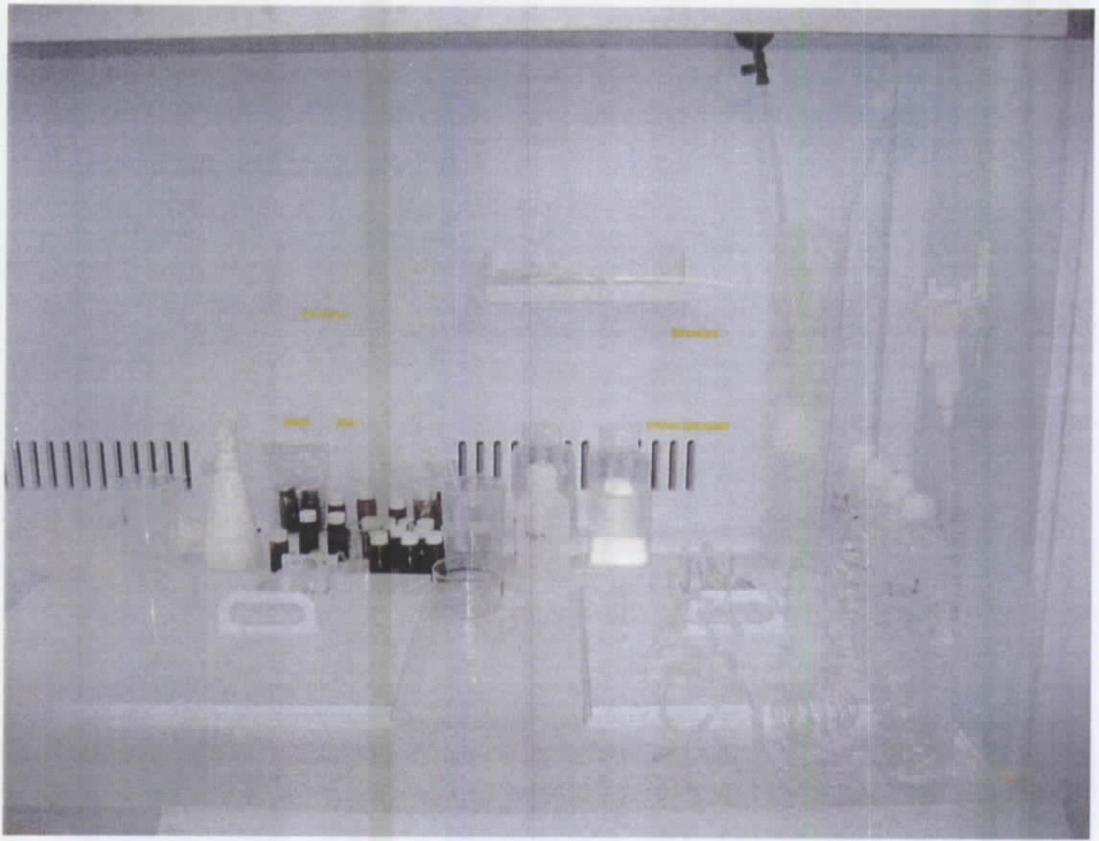
附件一、重要成果照片及說明



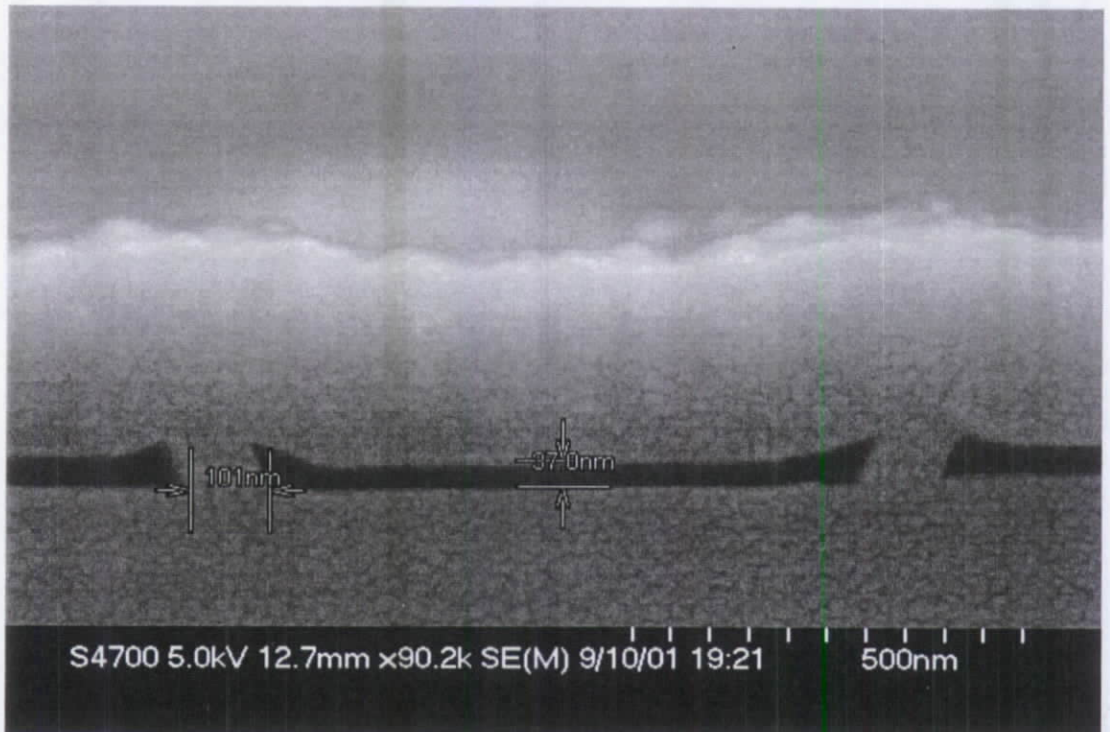
照片 1.放在潔淨室內以供實驗之機台--真空實驗機台 (Hera Safe + Hera Cell)



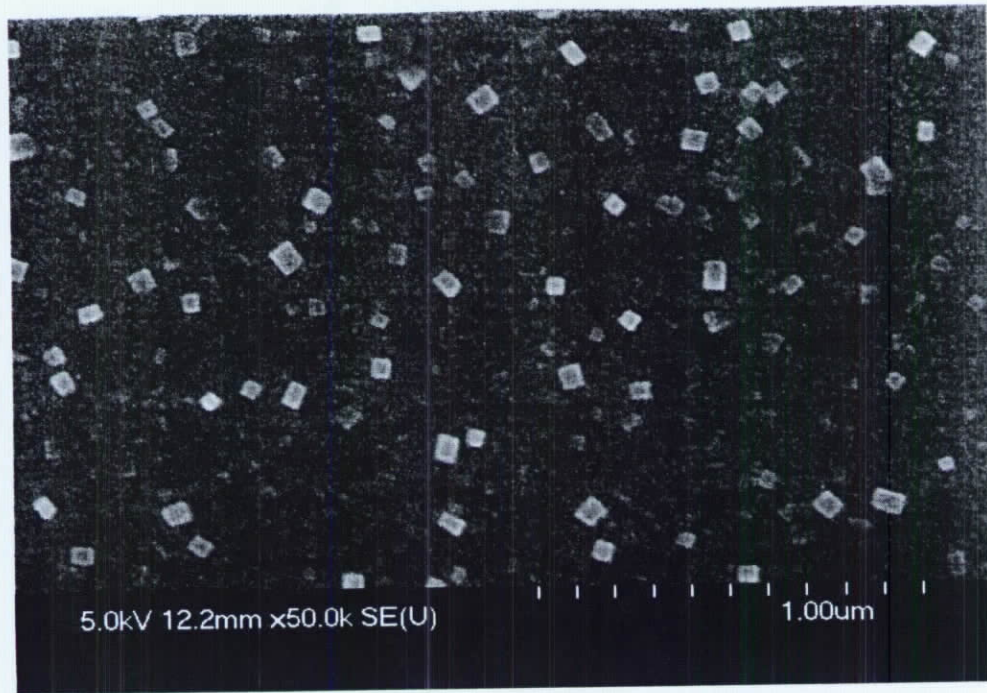
照片 2.放在潔淨室內以供實驗之機台--Waf'r/ Batch Plasma-Therm PECVD



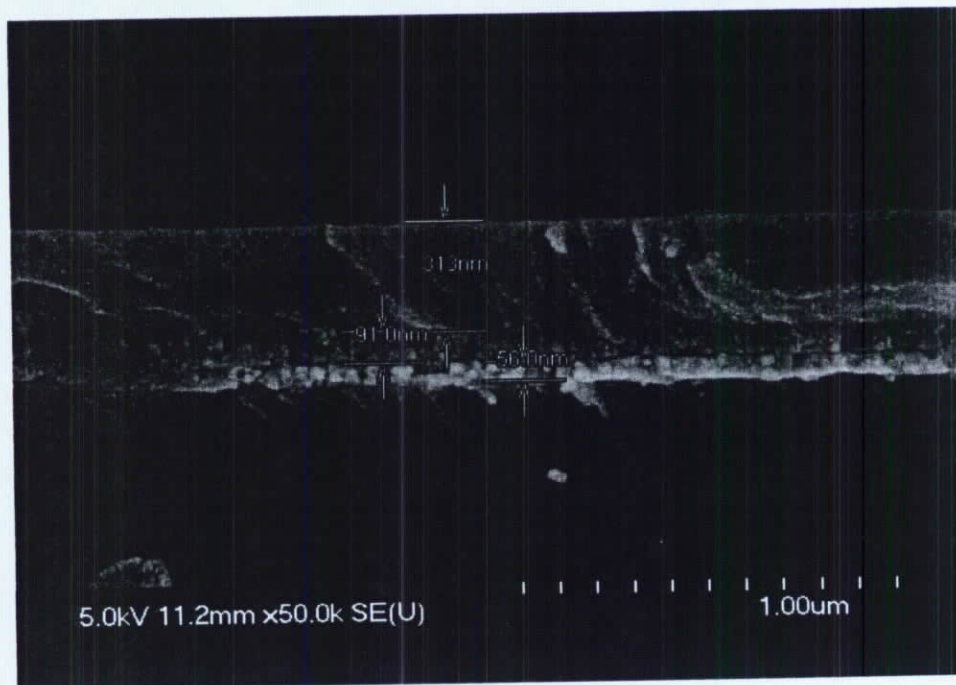
照片 3.選擇性液相沈積機台



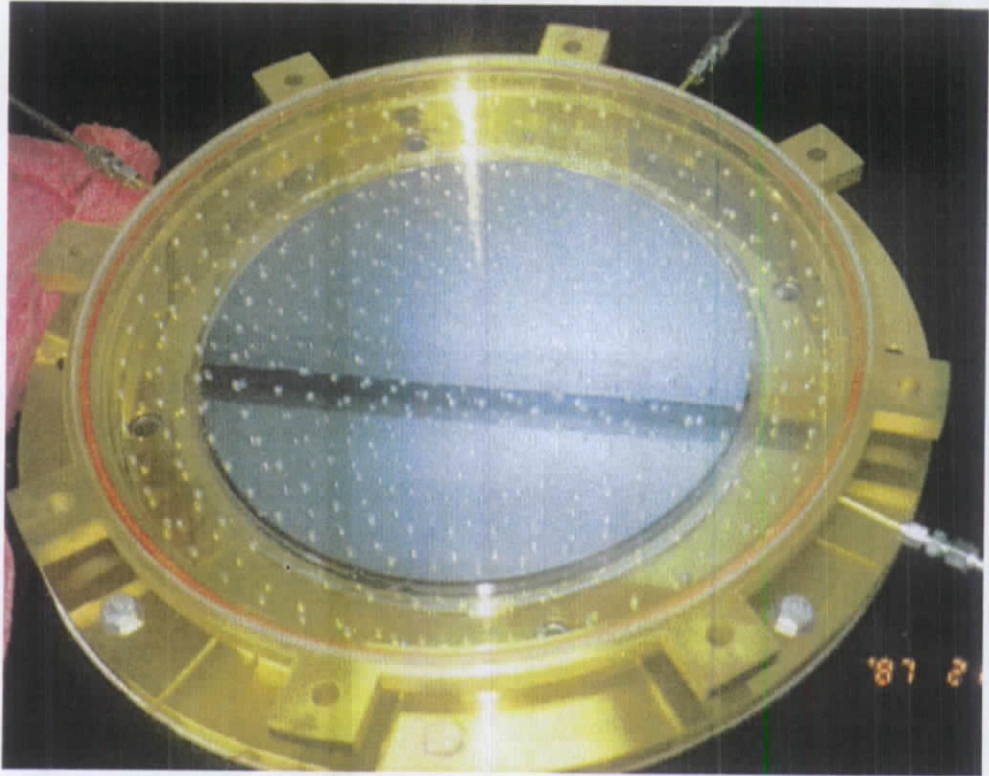
照片 4.氮化矽間隙層蝕刻搭配選擇性液相沈積與複晶矽回填之後，形成之奈米複晶矽開極的 SEM 照片



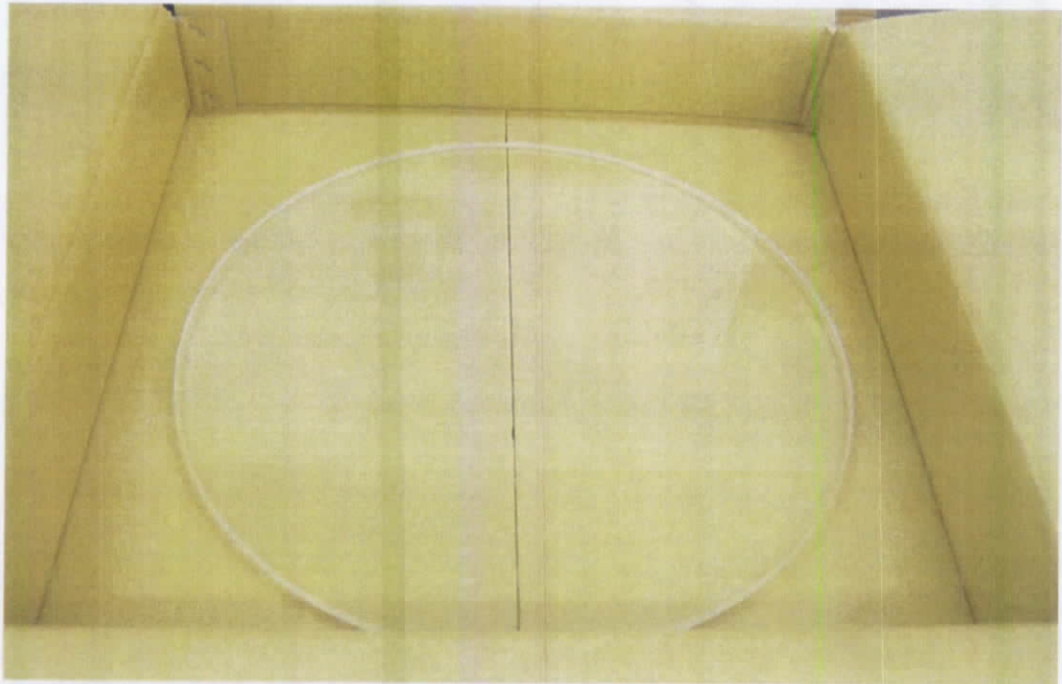
照片 5.採用 LNO 為下電極時，在 800°C 退火下會有白色析出物出現。



照片 6.採用 Pt/BST/LNO/Pt/Ti/SiO₂/Si 之結構以有效控制漏電流。



照片 7. 實驗爐體之外觀照片



照片 8. 石英板之外觀照片

附件二、分包計畫摘要說明

(無分包計畫)

附錄一、節能與環保成效自評說明

潔淨室省能技術研發

以本年度之研究成果，若據以推廣，對半導體廠之耗電量能明顯降低，如此對節能有極大幫助。若耗電量減少，則石化燃料的消耗亦可進一步減少，對二氧化碳及其他污染物的排放能進一步降低，對環境保護有明顯的幫助。

潔淨室因製程與機台種類、機台位置、人員容量、空間大小等因素而有不同的設計，故本項目之研究數據在技術上絕不可能直接套用於每一家廠商之潔淨室設計上。但本項目完成後，可以 1.提供業界一個改善潔淨室設計的新思考方向，可利用機台發熱量、機台位置、污染源產生之情況及種類、新鮮空氣換氣量等之研究，在儘量減少耗電量之情況下，仍能達成原先潔淨室之要求。2.提供業界一個設計資料庫，以降低業界在設計上花費的時間與金錢，提高潔淨室產業之競爭力。3.提高潔淨室產業之技術層次，使台灣的潔淨室產業有能力設計各種污染源存在之潔淨室，此部分對未來生技產業之發展尤其重要。故本計畫之完成，對潔淨室產業之實質效益及潛在效益的貢獻幫助極大。

室溫液相沉積絕緣膜及設備之研發與推廣

- (1) 完成溫差液相沉積矽氧絕緣膜技術之開發，達到省水 25%。
- (2) 以最佳化之溫差液相沉積矽氧絕緣膜技術來沈積閘極絕緣層，達到節省電能 7.2%。
- (3) 利用選擇性液相沈積法取代電漿蝕刻法來形成半導體元件的接觸孔，估計可以節省電能約 81%。
- (4) 使用選擇性液相沈積法來形成 100 nm 以下的閘極，將能夠省去電子束微影設備、新型電子束微影專用光阻、相轉移光罩、DUV 微影機台在內的設備與耗材投資，對於奈米元件的先期開發與試產方面有其貢獻，也可避免錯誤的生產設備投資所形成的成本增加與浪費。

低溫製程之研發

利用與鈦酸鋇鉬(BST)結構相同的鈣鈦礦結構導電氧化物為電極，可以降低其結晶成核之活化能，而大幅降低鈦酸鋇鉬(BST)鐵電薄膜的製程溫度，可節省薄膜製程所需能源。並可控制薄膜之結晶優選方向(prefer orientation)而進一步改善薄膜的介電性質。除此之外，利用鎳酸釷/鉑雙層電極可以減少漏電流的產生且可以維持一個高介電常數之 BST 薄膜，以有效節省能源且維持一個高品質的 BST 鐵電薄膜。

12 吋圓快速加熱薄膜成長均溫製程省能技術開發

經過一連串的測試與改良，快速加熱爐已經能夠穩定的進行實驗，不過影響晶圓表面溫度分佈的參數相當多，實驗時必須小心的控制邊界條

件。不過進行耗能測試時，邊界條件的影響較不明顯。未來若要使升溫速率再加快，可以另外將加熱燈源的種類進行更換，不過需注意燈源的照射特性，因為光的照射角會嚴重影響溫度分佈。利用燈源加熱雖可以快速升溫，不過必須利用較長的加熱時間，使得晶圓表面的溫度分佈更均勻，如此會浪費許多的時間與能源。經由此計畫的經費提供，證實可以利用燈源快速加熱的特性，並且配合控溫板的保溫，如此能夠對晶圓快速加熱且保持晶圓的溫度均勻性，使得沈積薄膜厚度能夠更均勻。進而縮短製程時間，節省能源。另外，本計畫也成功地將所開發的技術授權於台中震生機器股份有限公司，技術授權成果良好。

附錄二、政府部門研究計畫基本資料表(GRB)

如本計畫為某主計畫之分項或子計畫，請填 A、B 表，如為單一計畫，請詳填 B 表即可。其餘詳見填表說明。

| | |
|---|--|
| A | 主計畫名稱 <u>高效率能源技術研究發展計畫--潔淨室省能技術與半導體製程省能技術</u> 主計畫編號 <u>93-D0218</u> 主計畫執行單位 <u>國立交通大學</u> 主計畫主持人 <u>陳俊勳</u> 全程期間： <u>89</u> 年 <u>3</u> 月至 <u>93</u> 年 <u>12</u> 月 *總經費 <u>50,000</u> 千元 |
|---|--|

B 表

計畫中文名稱「高效率能源技術研究發展計畫--潔淨室省能技術與半導體製程省能技術(5/5)」
 英文名稱「High Efficiency Energy Technology Research and Development Project
 -- Clean-room and semiconductor manufacturing energy-saving technology(5/5)」

原計畫編號：92-D0218

甲、計畫依據 經濟部能源局「能源科技研究中心(能源科技人才培育專案(委辦計畫))

乙、執行單位 國立交通大學 執行單位之簽約人 陳俊勳

丙、年 度 93 主管機關 經濟部能源局

丁、研究性質 基礎研究 應用研究 技術發展 商品化 其他

戊、研究領域 2F (參見 C 表)

己、計畫屬性 科技類 非科技類

庚、全程期間 89年3月—93年12月

辛、本期期間 93年1月—93年12月*本期經費 0 億 5,800 千元

壬、本期經費來源

| 執行單位出資 _____ % | 資本支出(單位：千元) | | 經常支出 |
|---------------------------------|-------------|----------|------------------|
| <u>委託</u> 單位委託(補助) <u>100</u> % | 土地建築 | <u>0</u> | 人事費 <u>2,169</u> |
| _____ 單位委託(補助) _____ % | 儀器設備 | <u>0</u> | 材料費 <u>1,665</u> |
| _____ 單位委託(補助) _____ % | 其 他 | <u>0</u> | 其 他 <u>1,966</u> |
| 合計：100% | | | |

癸、摘要關鍵詞 節約能源，半導體製程省能，低溫製程 (中文)

(中英文各三則) Energy conservation, Energy Saving Technology of Semiconductor Manufacture processes, Low temperature processing (English)

*參與計畫人力資料：(如僅代表簽約而未參與實際研究計畫者則免填以下資料)

| | 參與計畫 人員姓名 | 身份證 字 號 | 出生年 民 國 | 專長 領域 | 職 級 | 學 歷 | 性 別 | 參與 人月 | 參與 性質 | |
|----|--------------|------------|------------|----------|-------|-----|-----|----------|----------|---|
| 1 | 陳俊勳 | A10 | 569 | 45 | 21 | 1 | 1 | 1 | 12 | 1 |
| 2 | 林清發 | G10 | 873 | 40 | 21 | 1 | 1 | 1 | 12 | 3 |
| 3 | 曾俊元 | F10 | 753 | 46 | 22,12 | 1 | 1 | 1 | 12 | 4 |
| 4 | 葉清發 | J10 | 536 | 37 | 22 | 1 | 1 | 1 | 12 | 4 |
| 5 | 羅正忠 | A10 | 006 | 40 | 22 | 1 | 1 | 1 | 12 | 4 |
| 6 | 鍾孝彥 | H10 | 156 | 57 | 21,2F | 4 | 3 | 1 | 12 | 4 |
| 7 | 劉毓苓 | E20 | 663 | 59 | 2F | 4 | 3 | 2 | 12 | 4 |
| 8 | 陳宇華 | L20 | 507 | 62 | 2F | 4 | 3 | 2 | 6 | 4 |
| 9 | 蕭智文 | S10 | 891 | 65 | 22 | 3 | 5 | 1 | 6 | 4 |
| 10 | 王碩成 | N10 | 932 | 65 | 22 | 3 | 5 | 1 | 6 | 4 |
| 11 | 張文奎 | L10 | 303 | 67 | 21 | 3 | 5 | 1 | 12 | 4 |
| 12 | 謝瑞青 | M10 | 0726 | 62 | 21 | 3 | 5 | 1 | 7 | 4 |
| 13 | 謝汎君 | H10 | 020 | 67 | 21 | 3 | 5 | 1 | 5 | 4 |
| 14 | 賴豐文 | B10 | 894 | 63 | 22 | 3 | 5 | 1 | 12 | 4 |

填表人： 陳宇華 聯絡電話：(03)571-2121 轉 55231 傳真電話：(03)573-7586

計畫書中英文摘要——Abstract

請將計畫書之中英文摘要影印黏貼於此↓

原計畫編號：_____

(此欄暫不填寫，請於簽約時一併填寫)