高科技廠房設施工程與關鍵技術

張陸滿

國立臺灣大學土木工程系教授
高科技廠房設施研究中心主任
地址：台北市羅斯福路四段一號
電話：02-3366-4269
luhchang@ntu.edu.tw

高科技廠房設施工程之定義

關於「高科技」國內外有很多單位賦予不同的定義。國際經濟合作發展組織(OPED)將航太科技、藥品配製、電腦資訊機械、通訊器材和科學儀器等定義為高科技產業。行政院經濟規劃委員會(CEPD)將高科技產業分為六個類別。包括積體電路、光電儀器、生物醫學、遠距通訊、精密機械、和電腦週邊設備。高科技產業在本文裡則包括微電子學、光電、精密儀器、電子通訊、奈米科技、藥品配製、微生物研究、醫療設備、動物實驗、航太科技等產業。

高科技廠房設施就是指高科技產業研發製造中所需的工廠實驗室，譬如建築、水電空調、儀表控制、管線設備、廢水廢氣處理、環境生態保護等等設施。高科技廠房設施工程係指規劃、設計、採購、施工、試車、移交、維護及經營管理高科技廠房設施之相關工程。

提升高科技中半導體廠房設施之重要性

根據國際半導體技術藍圖在 2009 年之報導，國際半導體及相關產業將於 2012 年進入 32 奈米(Mpn/ASIC 1/2 Pitch)線寬，14 奈米閘寬(Gate Length)，及 18 吋晶圓之製程技術，廠房設備工程從施工興建至開始裝設生產設備，將於九個月內完成。

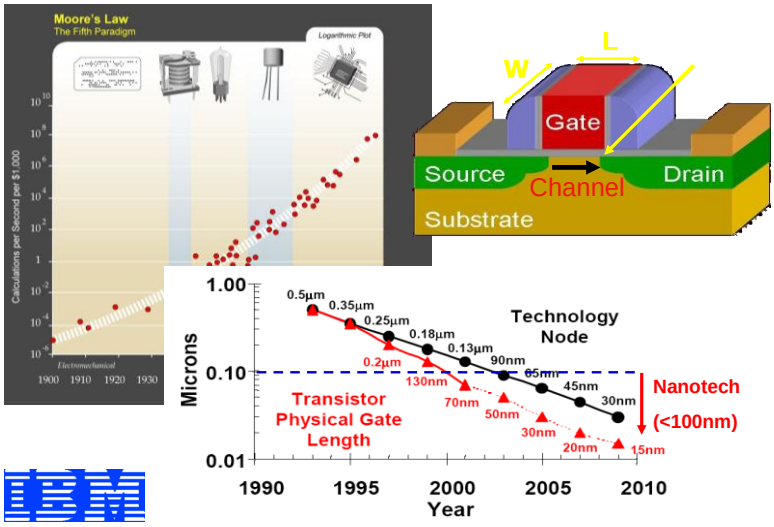
但要推進提昇台灣半導體製程技術的到線寬 32 奈米，閘寬 14 奈米及晶圓 18 吋層次，廠房和實驗室等設施之設計、建造、驗證、完成及轉移使用，是半導體研發製造提昇中一個不可或缺的先決條件。提升台灣半導體之製程技術，廠房設施之研發亦應積極配合，不可等閒視之，必須未雨綢繆加速研發。

半導體之研發製造過程中，對於環境控制的要求甚為嚴格，隨著製程閘寬(Gate Length) 愈來愈小（如圖一），晶圓愈來愈大（如圖二），廠房設施之興建是愈來愈快（如圖三），投資金額愈來愈高（如圖四）。而台灣半導體發展至今，12 吋廠房有 18 座，8 吋廠有 20 座，而 2010 年 12 吋廠將達 30 座，台灣 12 吋晶圓年產一百二十萬片並將領先全球。半導體對台灣經濟愈

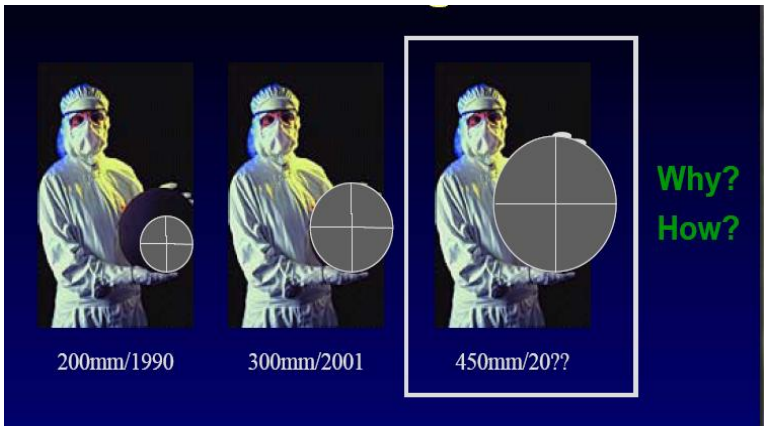
來愈重要。而廠房設施之要求亦愈來愈高，其研發製造必須在嚴格控制的潔淨室中進行（如圖五），因此提昇半導體廠房設施之精密潔淨等級為目前相當重要之課題。

潔淨室早期環境控制之重點主要在於處理空氣顆粒的髒塵。但是現今，高科技時代下的環境控制則有更寬廣的意義，包含溫濕度、空氣與水的品質、化學物質與氣體的純度、噪音與微振程度、電磁波與電頻干擾、靜電消除、去氣物質 (out-gassing)、安全接地、人員健康、安全之確保與生物病毒危害之防治。

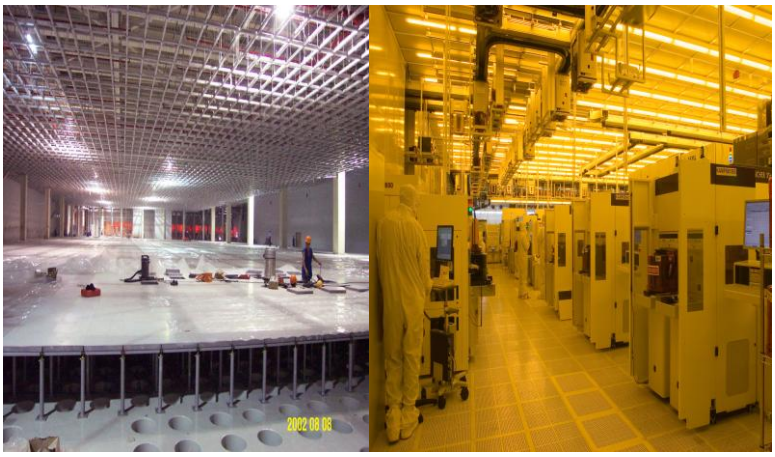
為了支援台灣半導體製造技術之更上一層樓，並藉此加強台灣半導體技術持續領先優勢之基礎，台灣大學土木系組織跨科系領域之研究團隊，與國科會、台積電、聯電、工研院共同合作，開發半導體廠房設施之關鍵技術。 研究團隊成員來自物理、化學、生物、土木、機械、電機、電信、電腦、環工、工程科學、經濟等科系。



圖一：線寬閘寬愈來愈小



圖二：晶圓愈來愈大



圖三：**廠房設施之興建是愈來愈快**

	技術進入障礙	資金進入障礙	廠商家數
150mm(6吋)	>0.5um	5億美金 (155億台幣)	113
200mm(8吋)	0.5um~0.13um	12億美金 (372億台幣)	76
300mm(12吋)	0.13um~22nm	33億美金 (1000億台幣)	27
400mm(18吋)	22nm導入	80~100億美金 (2800~3500億台幣)	<10
資料來源:經濟部 (2008/Q4)		附註:1元美金=31元台幣計	

圖四：**投資金額愈來愈高**

圖五：研發製造必須在嚴格控制的潔淨室中，廠房設施之要求亦愈來愈高

台大高科技廠房設施研究團隊已有 3 年產學合作的經驗，深刻了解目前台灣半導體產業界在半導體的研發製造中，必須有高性能製造設備(Tools)、細緻敏感儀器(Instrument)和超純淨的水、電、空氣、化學物(Utilities)以及節能減碳、環境生態保護等等的廠房設施。而這些研發製造程序必須在嚴格控制的潔淨室中，穩定的製造平台上，沒有在電磁波干擾及有效的利用能源以及降低對生態環境的危害的環境下進行。換言之，相關研究議題是刻不容緩極需解決的難題。因此，台大高科技廠房設施之研究計畫著重於四大分項計畫進行研究，期望能先在半導體之關鍵技術上突破，提昇台灣高科技研發製造技術及奠定台灣廠房設施研發的能力。其重點研究如下所述。

半導體廠房設施之關鍵技術

I.空氣分子污染(Airborne Molecular Contamination)

誠如前言，當半導體製程進展到奈米製程技術以後；空氣分子及其純度對製程和良率的危害程度已經取代氣懸微粒污染問題，成為當今奈米科技研發和製造潔淨室環境的主要難題。在潔淨室廠房設施完成後，污染產生常源於操作者、設備、或是由外所滲入的外在污染塵粒及不純之空氣。因此為確保潔淨室符合使用者所要求，適當的監控設備是必要的。

不過，目前廣泛使用用雷射計量粒子的方式已難測量到極端微小的粒子，而且更沒有任何潔淨室標準以極端微粒子低於 0.1 微米(100 奈米)來分級。另外顆粒之分佈，粒子之組成如密度、粒子揮發性、煙霧的濃度在每立方米的數目或每立方米多少微克以及空氣純度都留下許多的未知，更缺乏標準和技術來評估空氣中極端微粒子及其純度。這種缺乏不只造成興建、運轉和養護半導體廠房設施之研究製造的監測改進問題，還可能產生爭議並且造成人體健康與環境生態破壞之隱憂。

儘管有些量測儀器目前可以測量極端微粒子，但他們之分析仍受限於其應用之專業領域內使用，那些量測儀器設備有非電子式或電子式的，這些儀器設備通常被使用在汽車排氣之研究，或用在環境粒子之監控。他們的輕便性，評估極端微小粒子大小分佈的能力，及快速回覆的時間是本研究之主要方向。希望在 3 年內，本研究可以利用氧化分解去除揮發性有機污染，使其去除效率純度(Purity)達到 60%以上。同時，也利用高效率之吸附型處理機制去除 99%以上的有機污染物，並達到 1-10ppt 等級之高純度潔淨空氣，如此提昇產品良率，改善揮

發性有機化合物(VOC)對潔淨室的污染。

另外，潔淨室空氣分子之純淨度影響製程良率甚鉅，由於潔淨室的潔淨度規範要求愈來愈高，目前分析儀器都已達其偵測極限，吸收瓶需要花一天或數十小時才能達到可感知之偵測量，因此分析鑑定技術提升至 1-10 ppt 級的及時偵測，為此領域重要的研究目標。目前樣品的萃取方法及時間與分析儀器的靈敏度為目前技術瓶頸所在，亦有待克服。

II. 微振動的干擾防制

高科技的研發製造，微晶片、微處理器和精密儀器設備等等的微型化精密度要求逐漸提高，極須使用高性能顯微鏡（HPM）以及其他高精確度儀器。為了善用此類顯微鏡和儀器，其使用過程通常需要一個可接受震動水準的穩定平台。

因為在高科技的研究、發展與製造過程中，震動可能源於地震、氣流、噪音、交通、關門、電磁波干擾（EMI）、射頻（RF）或其他光量子波動效應。在製造設備更為複雜且更要求微型化更精密時，震動影響之重要性在奈米科技之發展時程上已逐漸超越過去對製造設備精密度的要求。

就微電子技術工業而言，微處理器和半導體科技的生產過程，很多工具對振動是非常敏感的。同時，因為噪音和地板振動格外影響進行中的實驗和奈米製造過程，故聲波成為日益關心的議題。例如，利用電子束或電子探查發展物體表面精確影像過程，需要穩定的環境以利電子束或探針以及被掃描物體的定位。否則，被掃描的圖像可能模糊不清同時出現在不同的位置並且可能被錯誤判讀。振動和過度的溫度變化二者皆能干擾這些過程的穩定。

更複雜的製程需要更複雜的工具，更複雜的工具其運作過程需在更高的震動控制防護之下進行。像是更複雜的次微米處理，微處理器需要更嚴格的震動標準，因工具的微型化也導致工具更為複雜，延伸而來，也讓配套設備零件更多、更大型化。由於上述需求也導致需要更大的真空幫浦、壓縮機、冷凍裝置。

由於分類已趨嚴格，因此必須關注在維持潔淨室環境的機械系統，然而這些機械系統則在敏感儀器附近衍生出更大的震動來源，潔淨室也會因為這些機械系統的運作而顯得振動頻頻，這就表示地板和基礎隔震技術有其潛在的必要性。

為了量測及製作奈米結構，很多精緻和準確的高性能儀器被使用。這些儀器包括原子力量顯微鏡(AFM)、掃描顯微鏡(STM)、近場掃描光學顯微鏡(NSOM)、掃描電子顯微鏡(SEM)、磁力顯微術，集中離子束(FIB)、傳送電子顯微鏡(TEM)以及其他利用打印，刻印，電子束等

印刷工具。這些高性能顯微鏡要求嚴格的振動控制。這些工具經常出現於測量實驗室內和擺放在要求寂靜並遠離電磁和無線電波干擾的分析用空間裡。

因為在半導體的研究、發展與製造過程中，震動可能源於地震、氣流、噪音、交通、關門、電磁波干擾（EMI）、射頻（RF）或其他光量子波動效應。在製造設備更為複雜且更要求微型化更精密時，震動影響之重要性在奈米科技之發展時程上顯然已逐漸超越過去對製造設備精密度的要求。尤其是低於 10 赫茲 (Hertz) 的微振動，目前全世界均無有效的對策，台大高科技廠房設施研究團隊努力並期望能將高科技廠房實驗內從目前每秒 4.5 微米(4.5 μm/s, 180min/s)速度振動的標準，提昇到可容許每秒 3 微米(3 μm/s, 125min/s)振動的速度。

III.混合式電磁消除控制系統

為了量測及製作奈米結構，很多精緻和準確的高性能儀器被使用。這些儀器包括原子力量顯微鏡(AFM)、掃描顯微鏡(STM)、近場掃描光學顯微鏡(NSOM)、掃描電子顯微鏡(SEM)、磁力顯微術，集中離子束(FIB)、傳送電子顯微鏡(TEM)以及其他利用打印，刻印，電子束等印刷工具。這些高性能顯微鏡要求嚴格的振動控制。這些工具經常出現於測量實驗室內和擺放在要求寂靜並遠離電磁和無線電波干擾的分析用空間裡。

目前國內外半導體產業在電磁干擾消除技術發展方向，可以分為兩類：被動式隔離與主動式消除。被動式隔離法仍有成本極高之缺點；而主動式消除技術雖可針對機台局部放置感測器(Sensor)之周圍位置作磁場消除控制，但實施時仍需考量是否會造成周遭機台之額外磁場干擾，亦即需避免主動式消磁線圈成為額外之干擾源。如何在實際環境中準確驗證主動式消除理論，進行消磁線圈的佈建及控制器參數的最佳化，皆為未來提升主動式消除技術之實際應用價值的核心關鍵技術。

IV. 綠廠房(Green Fab/Plant)

目前，全球積極探討資源有限的能源與環境永續之議題，未來全球在維持經濟持續的發展，必須也必要重視環境與生態的保護。未來，如何將能源做最有效的利用以及降低對環境的危害，將是高科技產業建設智慧型廠房(smart plant)的重要技術，也是持續維持經濟與社會發展的重點。

綠廠房就是在廠房設施生命週期中之各階段以最節約能源、最利用資源與最少廢棄物產生的方式，來建造安全、健康、舒適、效率、環保及低環境負荷的廠房設施空間，並達到人、

廠房設施與環境共生共榮與永續發展之目標的廠房環境設計觀。

由於高科技廠房實驗室環境的精密控制要求，會消耗大量的能源化學藥物，同時也會產生對人類和生態系統造成傷害的污染。如何能夠最有效的使用能源，以及如何降低污染物的傷害，也是台大高科技廠房設施研究團隊在此方面研究之重要課題。許多研究指出，包含水電空調所需之能源節省、無溶劑性化學藥品、催化作用及生物催化酵素、生命週期分析、資源回收的智慧型廠房設計，亦是將來建造綠廠房設施技術的重要基石。

廠房設施人才培育

高科技不但改進了整體之科技，並對經濟、生活品質以及文化有深遠的影響。而廠房設施則是半導體產業研發製造不可或缺的重要環節。然而，亞洲地區還沒有一所專門提供高科技廠房設施工程人員基礎教育的大學，來支援高科技的研發製造。為了促進在高科技的研發與製造以及解決可預見高科技廠房設施工程人員嚴重短缺之問題，經土木系全體同仁之支持，在 2006 年秋季設立「高科技廠房設施研究中心」，並且在 2007 年春季，在本系營建工程與管理組開授高科技廠房潔淨室及相關設施之設計及營建管理的課程。

這些課程之目的為提供一個基本的高科技廠房設施設計營建工程管理之知識，並輔以高科技產業之製程和研發的概念；課程的焦點放在潔淨室的設計和興建其相關之設備。學生可以藉由設計興建潔淨室及其相對之公用設施，強化在建造和維護高科技產業製造工廠或研究室的理解和基礎。

這個課程旨在開給研究所學生以及大四學生。學生可以學到高科技產業製造工廠或研究室的設計、建造、及管理裡的基礎理論及其應用；教授們教導基本理論和規範原則；產業界之專業專家被邀請來補充理論和原則在實務上的運用；內容包含課程演講、家庭作業、期末考試及學期分組專案報告，學期中並安排高科技廠房和潔淨室的參訪。期藉實地參訪高科技廠房及現場施工（如圖六至圖十），學生可親身體驗對潔淨室和其相關超純設備的設計原理、建造程序及施工管理之現場操作，如此將理論與應用融合落實。

圖六：2007 年參觀台積電台南第 14 廠 P3 之施工與管理

圖七：2008 年參觀谷歌(Google)亞洲資料中心，並請宏碁副總張善政博士講解

圖八：2009 年參觀南港三軍總醫院之機電設施及疫苗病毒實驗室

圖九：2010 年參觀台積電新竹 12 廠 P4 潔淨室施工

圖十：2010 年參觀台積電新竹 12 廠 P4 營建工程管理

結語

由於高科技產業在台灣的大幅發展，不但提升了台灣在國際間的競爭力，促使台灣其他產業技術升級，且帶領台灣地區經濟成長。如此，不僅是對台灣經濟發展有深遠的影響，同時也使得台灣擁有卓越的國際科技地位。甚至成為許多國家效法的基準、楷模。

台灣高科技更已邁入研發創新的時代，高科技廠房和研發實驗室是邁向高科技研發創新時代不可或缺的重要環節之一。先進的研發創新需要有先進的廠房設施和實驗室配合。若沒有先進的廠房設備實驗室，學術界和製造業界先進的研發創新便無法提昇及順利執行。

為了提供高科技廠房設施之人才及支援台灣未來高科技產業技術之提升，本系營建工程與管理組，除開授高科技廠房設施相關課程外，並設立「高科技廠房設施研究中心」，希望透過中心的研究發現，課堂的教育學習和產業服務，提昇台大土木工程學系在高科技廠房設施研究教育中之頂尖地位，更可永續協助維護台灣的綠色矽島之美譽。

高科技廠房設施工程，是跨領域的結合，包括土木、建築、機械、化工、電機、物理、化學、生物、材料、醫學、生態 、法律、管理、經濟、人文藝術等等。這個新的工程領域歡迎各領域優秀的人才來參與，並共同提昇台灣高科技廠房設施工程與管理之研發創新及技術。