

高科技廠房設施工程及其關鍵技術

張陸滿，1971 年畢業於成大土木系

2015 年 10 月 15 日

一. 前言

張陸滿校友目前任教於台大土木系，張校友過去可以說是台灣第一代興建半導體廠的土木工程師，更是第一位到美國進修營建工程與計畫管理博士的台灣留學生。

因此，本編輯小組特別著文報導張陸滿校友在高科技與半導體產業之因緣關係，轉述他所認知之土木工程在高科技廠房設施領域中可扮演的角色、高科技廠房設施之定義、對台灣的重要性，以及分享其在半導體廠房設施之關鍵技術的認知。

二. 與半導體廠房設施之因緣關係

張陸滿校友在 1971 年畢業於本系。從 1974 到 1977 年間，張校友在台灣矽谷-新竹-負責工業技術研究院頭重埔新院區之規劃監造，同時協助昔時的工研院電子工業研究中心設計建造台灣第一座積體電路示範工廠。可說是第一代進入台灣半導體業的土木工程師之一。

在 1977 年「積體電路示範工廠」興建即將完成之前，有感於在高科技廠房營建管理方面之知識不足，須再教育，進一層的學習，又適逢當時美國知名大學土木系也正在展開營建工程與管理的學程，張校友毅然向當時之計畫主持人胡定華博士辭職到美國進修。

1983 年，張校友在德州大學奧斯汀分校土木系 (The University of Texas at Austin) 取得營建工程與專案管理博士學位後 (Construction Engineering and Project Management)，旋即到佛羅里達大學 (University of Florida at Gainesville) 建築學院營建系 (Building Construction) 執教。於 1986 年轉到普渡大學土木系營建工程管理組任教。

普渡大學之營建工程管理與一般之建築營建管理不同，它包括了建築、土木、機械、電機等 4 組的營建管理。普渡大學在 2002 年起集中資源投入奈米及生物醫學科技之研發，並規劃建造先進的奈米和生物醫學兩研究中心。於 2003 年起，運用興建中的研究設施，在普渡大學開授高科技營建及潔淨室設計之課程。在 2006 年的秋季班開始，張校友返回台灣在台灣大學土木工程學系繼續從事教學研究。

返臺後，張校友有感於土木工程尚未與臺灣如火如荼的高科技產業接軌，積極推動土木工程與高科技廠房設施產業的結合。張校友指出，其實，土木工程在高科技廠房設施領域扮演著相當重要的角色，因為所有的生產設備及公共共用設施，都要架設在土木的基礎結構上，即不能妥協的安全基礎及結構；性能與高濃度節能減碳材料之選用研發；純水、廢水、氣體、化學物之處理；環境生態的保護；高科技廠房中，幾千部晶圓矽片及光電元件載貨櫃的自動交通管制及最佳化；幾萬台精密儀器、製造機台、廠房設備之測量定位；應用電腦輔助設計及上百萬 3D 物件之資訊溝通；一座造價 1~3 仟億台幣的高科技廠房，從破土到製造機台搬進，須於 9 個月內完工之營建工程與管理的總體考量等等，在在都與土木工程有關。

雖然其他領域，如電機、化工、機械，工業工程等等在廠房設施中各司其職，

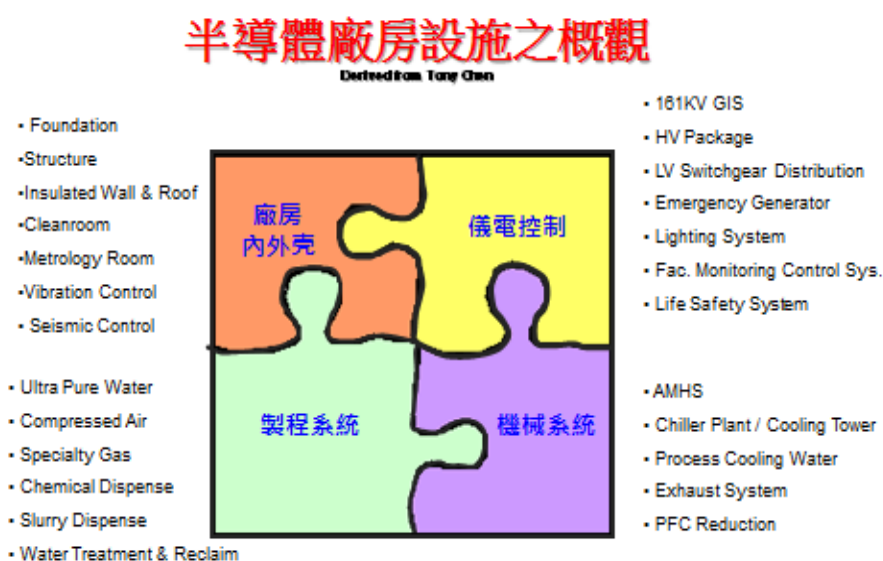
但都不能各行其是，勢必要與土木工程整合，才得有所大成。以此觀之，土木工程當然在高科技廠房設施領域工程中扮演著相當重要的角色，甚至可居於主導整合的地位。

三. 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技術產業。行政院經濟規劃委員會(CEPD)因地制宜，將高技術產業分為六個類別。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。而張校友的高科技產業定義則包括微電子、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。

台灣在高科技的製造中，許多均在世界的競爭下有極傑出的表現，特別是半導體晶圓及其相關製造更是領導群雄。本文中所論及之高科技廠房設施，事實均以半導體的廠房設施為範例。下圖簡述一座半導體廠的基本設施，基本上分四大塊，1. 是廠房結構建築內外殼，2. 製程系統，3. 儀電控制，及 4. 機械系統。



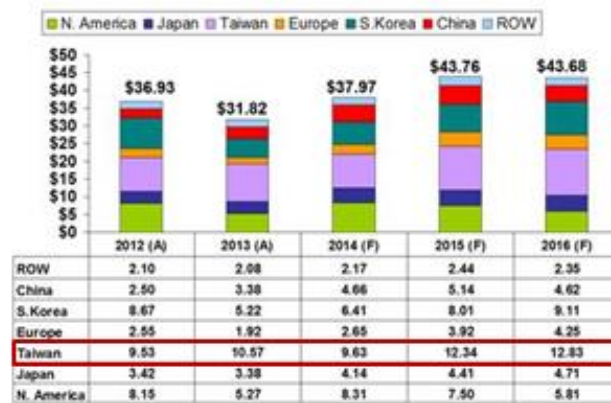
四. 提升半導體廠房設施技術之重要性

根據國際半導體設備及材料產業協會(SEMI, Semiconductor Equipment and Materials, International)2014 年 7 月之報導，台灣半導體產業在過去五年中，在半導體設備及材料的採購總量是全球最大，更估計在 2014 年和 2015 年之採購額，分別是 210 億美元及 220 億美元(每年約 6 仟 3 佰多億台幣)。這些數字的背後，就是台灣半導體製造是在持續地卓越成長，不斷地蓋廠擴建，不斷地採購設備材料，不斷地製造，不斷地輸出。

這樣地大幅之發展，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，更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。

SEMI® 2014 Year-End Equipment Forecast by Market Region



Source: SEMI; December 2014

Totals may not add due to rounding

圖 1、國際半導體設備及材料產業協會(SEMI, Semiconductor Equipment and Materials, International)2014 年 7 月之報導，台灣半導體產業在過去五年中，在半導體設備及材料的採購總量是全球最大

Taiwan Market Continues to Lead the Semiconductor Industry in Equipment and Materials Spending

\$21 billion 2014 and \$22 billion in 2015

Source: Dan Tracy and Clark Tseng, SEMI July 2014

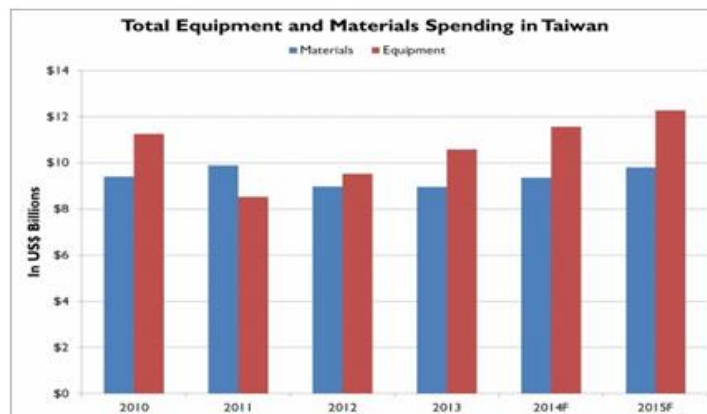


圖 2、國際半導體設備及材料產業協會估計台灣在 2014 年和 2015 年之採購額，分別是 210 億美元及 220 億美元

又根據 ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductor) 2014 之報導，如下表 1 所述，國際半導體及相關產業之製程至 2018 將進入開寬(Gate Length)16 奈米及 18 吋晶圓之製程技術，廠房從施工興建至開始裝設生產設備，將於九個月內完成。

國際半導體技術路線

Digested from ITFS, 2013

Year of Production	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
間寬(奈米)	28.0	25.0	22.0	19.8	17.7	15.7	14.0	12.5
晶圓半徑(公分)	300	300	300	300	300	450	450	450
(吋)	12	12	12	12	12	18	18	18
建造時間(月)*	9	9	9	-	-	-	-	-

*從破土到搬入第一部生產機台

表 1、Factory Integration & Technology Requirements

表 1 所示是國際上之一般的平均值，台灣今年已開始進入 16 奈米之製程的大量生產。而，台灣半導體的生產製造技術早已走在世界之前端，到了 2018 年，台灣之技術水準應可望到 7~5 奈米之水平，因此，極需要透過研發創新來更上一層的提昇。但，要推進提昇台灣半導體製程技術的到低於 10 奈米及 18 吋之層次，廠房和實驗室等設施之妥善的設計、建造、驗證、完成、轉移使用者去營運維修，是半導體研發製造提昇中一個不可或缺的先決條件。沒有廠房設施，製造無從展開，廠房設施若蓋得不好，衍生品質差、良率低、成本高、無法準時交貨等等後患無窮。

而今，廠房設施之研發是台灣半導體產業研發製造不可或缺的重要環節之一。要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，更應未雨綢繆加速研發。

五. 奈米及奈米科技

要對高科技廠房設施工程有所瞭解，必須先從奈米及其科技的認知開始。

奈米科技的定義

奈米，意為十億分之一。根據美國國家科學基金會(NSF)在 2001 年開始的國家奈米科技推動方案 (NNI)中提到，奈米科技指的是在原子級、分子級及超分子級的任何研究、發展與製造(R&D&M)，其尺度範圍約在 1 至 100 個奈米。奈米科技不僅提供增益奈米尺度下對物質基本現象及其材料之了解，並且創造及應用了無數奈米尺寸的構物、元件與系統。由於材料之構築係在微細的 100 微米之下，這些構物、元件與系統也展現較好的功能及材料性質。奈米的研發與製造包含了奈米結構的運作並將之整合為較大尺寸之構物、元件、系統及型態。雖然組裝出來的係較大的尺寸，但所有之基本材料之組成控制然仍在奈米尺度下進行。(National Research Council, 2002.)

圖 3 顯示從一公尺到一個奈米大小的各種事物。其中可看到一個紅血球大約是一個奈米的 5000 倍。

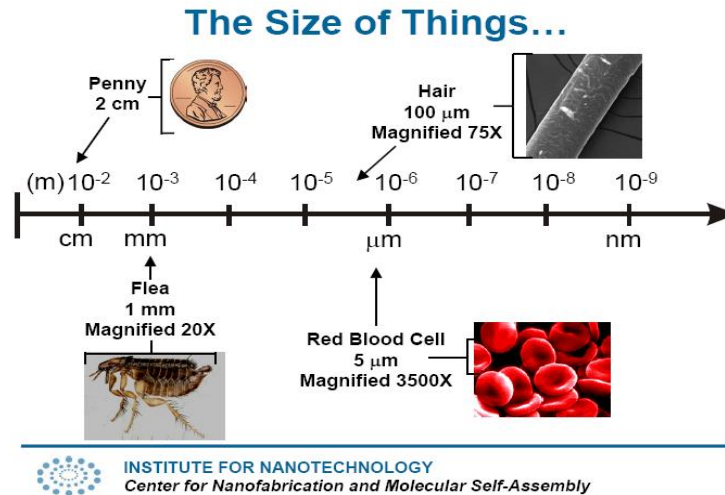


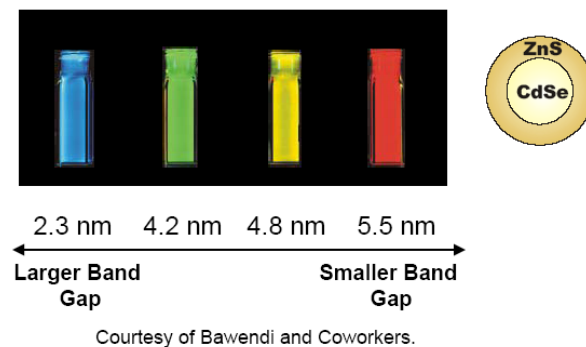
圖 3、奈米尺度的比較

奈米科技的重要性

在近期的電子和原子顯微鏡的發明讓研究者對於大小如單一原子的事物都可以看得清楚、可以用探針探查、甚至於以一顆一顆原子地製造及操作。研究員也發現透過這方面技術之提昇，發現這些小原子和原子叢粒子跟同型原子成份堆積而成的大型材料有顯著完全不同的特質。當這些粒子大小尺寸變小，其比表面積卻變大，這樣比表面積變大卻對該材料的化學及物理行為有非常大的影響，因此而改變了材料的顏色、表面反應性、光學性、磁性、機械性、熱力性、催化性、甚或生物性的各種特性。

例如，圖 4 描繪粒子大小對於 CdSe 解析顏色的影響。各瓶粒子均由相同的化學(CdSe)組合而成，但是螢光是和粒子大小相關的。2.3 個奈米直徑的分子發出藍色的光而 5.5 個奈米直徑的分子則發出橘紅色的亮光。

Optical Properties of Semiconductor Nanoparticles



INSTITUTE FOR NANOTECHNOLOGY
 Center for Nanofabrication and Molecular Self-Assembly

圖 4、CdSe 粒子不同大小，展現不同顏色

由於這些獨特性質的發現，以致在材料、設備及感應器等方面產生了廣泛且多樣化的創新。此等創新將會首先衝擊近代電子學到近代生物醫學整體性技術之範疇，而該範疇開啟了許多未知的新領域，諸如高分子顯影偏光的智慧型材料 (smart material of photorefractive polymer)、小分子發光二極體 (organic light-emitting diodes OLED)、生化感應器 (biosensor)、實驗用晶片的奈米流體 (lab-on-chip of nanofluidics)、奈米電子機構系統 (nanoelectro-mechanical-System NEMS)、分子電子學 (molecular electronics)、電子槍 (electronic nose)、奈米線 (nanowire)、奈米管 (nanotube) 等等 (Ratne & Ratne, 2003.)。

這種創新及其相關的研究、發展及製造 (R&D&M) 可以統稱為一奈米科技 (NT)—即關於操縱及製造奈米等級尺寸的物質。它以 1 公尺的十億分之一的尺寸—奈米—原子緊鄰著原子所構成的。奈米科技預計將對經濟具有巨大的衝擊，因此引起國內外一般市民、政治人物、科學家，甚至到實踐工程師們的重大關注。

六. 嚴謹控制的需求

在高科技製造工廠與研發實驗室所進行的奈米科技，需要極端嚴謹的控制設備。例如，一個單獨的奈米顆粒可導致許多儀器失靈；潔淨的水與空氣是奈米研發與製造成功的關鍵。為了在接近絕對 0 度聚焦、捕捉、以及操作電子，溫度與溼度必須穩定地維持在接近絕對 0 度。高解析的電子顯微鏡普遍應用在奈米研發與製造上，然而電磁感應磁場經常導致電子顯微鏡的失敗。 10^{-6} 米短的雷射光波必須在 10^{-15} 秒中的速度下被捕捉到。另外，一座控制微振動的穩定工作平台是必要的。靜電不僅會吸引污染物，還可能點燃周遭或製程中的易燃物。

在奈米研發與製造程序中，使用很多高純度的固態、液態與氣態的化學物，若這些化學物不夠潔淨造成產品低劣，同時其進出的管制和廢棄物之排放，如果不被嚴格地控制與適當的處理，更可能會導致環境生態的破壞，以及人員傷亡和設備系統受損。早期環境控制主要在於處理空氣的潔淨度。

但是，奈米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。

在這些超潔淨公用設施與建築系統的控制中，最關鍵的研發製造通常是在潔淨室內進行的，在此室內污染務須被嚴密監控，同時超純淨之水、電、空調、化學液氣體等公用設施亦在此運送。或者這些研發製造必須在隔絕穩定之平台上處理。以下部份將討論潔淨室與微振之議題。

七. 高科技半導體廠房之關鍵技術

震動 (Vibration)

奈米科技的研發製造，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 (Bayat and Gordon 1998)。

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。(Amick et al.2002.)

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 (Bayat and Gordon 1998.)，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。(Bayat & 戈登 1998.)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。(Bayat and Gordon 1998.)

高性能顯微鏡(HPM)所需的安靜環境，包含低振動、低磁和電場的干擾、穩定溫度、穩定氣流、電力供應穩定、暗房和可直接進入儀器設備室。

HPM 設施一般的設計準則是(King, 2005.):

1. 設置於地下室，可使振動減到最低，但得注意廢水處理和交通流量大區域；
2. 遠離振動源，如汽車車道、電梯、建築物機械房、電和磁場；
3. 幫浦設在屋外；
4. 和主要的走廊隔離；
5. 將房間變成幾近於暗房。

因為奈米科技主要是處理直徑大小皆低於 100 奈米的科技。它特別需要極度穩定的環境。雖然來自車輛經過及研發製造運轉的設備等所肇成之振動之情形可測知，提供了建造結構和基礎上緩和震動的決策，而且許多奈米技術中敏感性較高的工具也已有明確的振動需求；然而，在大多數情況下，在設計和建造方面卻較少有足夠的經驗來符合這些特殊需要，權宜之計，就在設計時採用在製程中防震需求最大的設備的防震準則，並依此防震動準則設計建造。

電磁之干擾(EMI)

EMI 對電子束干擾，造成待量測物尺寸的誤判。極低頻(ELF)磁場對於 10 奈米以下先進製程與檢測設備之製程良率更有非常顯著的影響，如何防治極低頻電磁干擾，是當前亟需研究的課題。

現今國內外 EMI 消除技術發展方向，可以分成可分為兩類：主動式消除與

被動式隔離。上述兩種方法均有其實施限制。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擺放感測器(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附近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，並配合廠房環境與幾何形狀之限制，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。

半導體奈米製程之研究、發展與製造係低於100奈米的技術。許多精密設備室必需處於極度穩定的環境。包含低振動、低電磁波干擾(EMI)、低射頻(RF)或避免其他光量子波動效應干擾。以高性能顯微鏡為例，該設備利用電子束或電子檢測奈米顆粒表面精確影像過程，因此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。當外界有微小震動產生時會造成電子槍與檢測試片產生不確定的位移，造成錯誤影像尺寸。當外界有電磁波干擾時會造成電子束產生偏移，造成錯誤影像尺寸，故要有效解決這一問題，不但要解決微震動，同時也要解決與電磁波干擾的問題，這樣方可完全將問題解決。

塵粒(Particles)

如前所言，這種對奈米及相關科技最新發展的興趣逐漸增強，在世界各地可見無數的奈米研發實驗室，製造工廠及潔淨室正在規劃、設計及建造中。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。因此為確保潔淨室符合使用者所要求的微粒大小和數量條件下，適當的監控設備是必要的。

不過，目前廣泛使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都留下許多的未知，更缺乏標準和技術來評估極端微粒子。這種缺乏不只造成興建、運轉和養護奈米研究製造的監測改進問題，還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，及快速回覆的時間仍待更進一步之研究。

綠建築(Green Building)與綠色設施(Green Facility)

同時，由於環境的精密控制要求，高科技廠房實驗室會消耗大量的能源，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，將是未來研究之主要課題。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，是將來建造綠建築及綠廠房設施技術的重要基石。

模型(Modeling)、模擬與形象化(Visualization)

此外，目前一般的設計和規劃工程師現在大多依賴他們的經驗累積、直覺、想像創造力和判斷力，將製程研發所需之廠房設施轉化為採購、建設、和開始階

段所需的數據和檔案資料。即使 3D-CAD 已被大量採用於這種轉化設計，使得廠房建設更為容易，但在與時間層面上的連接互動仍稍嫌不足。而將 4D (3D-CAD + 1D 時間) 技術引入高科技廠房設施、工程設計程序則是迫在眉梢、刻不容緩。為了模擬與時間層面的連接互動，高科技廠房的基本數據和資訊是需要一步一步的建立起來。這樣，模型和相對應的知識基礎才能夠建立起來。如此，再透過理論結果和經驗數據的謹慎比較之後，就能夠作更進一步的應用及提昇這方面的科技上。除此之外，使用 4D 模擬可減輕多樣複雜技術系統間的牴觸干擾，同時可以縮短完成高科技廠房設施及產品進入市場的時間。顯然，逐漸建構廠房設施模型，模擬各系統間之連接互動以縮短時程，及預測完成時日將是未來高科技廠房實踐中的重要一環。

八. 與傳統工業廠房的差別在哪裡

高科技廠房與傳統工業廠房，其最大的差別就是在製程中所要求的精密度，以及製程中間對於製程環境所講求之潔淨的程度。高科技廠房重點的核心，就是在潔淨室(cleanroom)或稱無塵室裡面，因為高科技之研發製造是在這裡面進行的。試想要在小小 1 吋見方的晶片上，做微影 (Photolithography)、蝕刻 (Etching)、離子植入 (Ion-Implantation)、氣相沉積 (Vapor Deposition) 而製造出幾十億奈米級可以傳輸電子的通道元件，這裡面電子通道是多麼的盤根錯結、錯綜複雜。劃製中，一個小小微振動可能弄得微影混淆模糊，在元件內外一點點細微的異類雜質污染；都可能造成電子通道之品質不良。若空氣中有尿酸味，就可能導致多分子晶片裏面的線路不通暢或不通，那麼晶片就可能會短路、失敗了，這個是學土木的人所難以想像的。

再以目前即將量產的 10 奈米(Nano)線寬為例，假若中間有 5 奈米的微細雜質或空氣中若有不純的物質或微振動，就會使電流傳的慢，影響傳輸速度，影響電壓而有雜訊或甚至斷訊。電晶體晶片是用化學物質做的，如矽、磷、硼等物質，其純度要求非常的高，以一般公共工程若容許誤差為 5mm 來看，5mm 的顆粒雜質在奈米科技尺度下就相當於 500 萬個奈米。10 奈米的電子通道上有 500 萬奈米大的“巨石”堆壓，電流根本無法通過，對奈米的晶片而言，就可比喻為一個很嚴重的“走山”了。

因此，污染控制對高科技廠房是非常重要的，從規劃設計起就要慎重考量。高科技廠房的選址，無塵室裡光罩微影瞬間所能夠承受之振動，絕對不是只有傳統土木力學裡面所遭遇的地震，機械結構之振動，更需要考慮到如聲波、電磁波產生的微振動、空氣品質等等。

九. 與傳統營建管理相較之共同點及差異處

高科技廠房之施工特性，具有工期短、動員人力多、材料設備多、空調水電化學管路多、施工界面多且較傳統營造錯綜複雜。雖要求速度快，但對品質規格、潔淨控制及精密度上仍是不得馬虎的。傳統營建管理所能容忍的工程誤差，卻是高科技廠房營建管理所無法容忍的。

或許可以用這樣的反差、比喻來形容，高科技廠房之營建管理講的是微觀的污染控制，而傳統營造業講的是巨觀的結構功效。此外，一如先前所提及，高科技廠房之營建管理者除了需具備本身的專業知識與技術能力之外，也需要在土

建、機電、管線、儀控…等專業間從事界面協調整合。因此，亦需要有各專業的基本知識及實務經驗。

所以，高科技廠房之營建管理，需憑藉著整體完善之規劃、嚴謹的時程管控以及有效的成本控制，以降低建廠過程中不必要的工期延誤，成本增加以及工安環衛不良之風險。在全球資訊化時代，高科技業的商業轉交貨期程，一天都延誤不得，建廠時程一天的延誤，可能就是上億以至上千億的商業損失。廠房準時完工通常是毫無妥協之地。

台灣半導體晶圓之製造做得好、快、便宜、良率高，又能準時交貨，響譽全球。歐美日等國的高科技廠家，都到台灣來量身訂作他們先進的晶片。如此，台灣成為晶圓代工王國及擁有世界最多的 12 吋晶圓廠之王國。代工王國的背後，就是台灣的半導體廠房設施，也出類拔萃，走在時代的尖端。

基本上，相同處是，高科技廠房之營建管理應用營建管理之原理、技術、方法到高科技廠房設施之營造上，而傳統營造業則是將之應用到一般建築及土木營造；譬如房屋、大廈、道路、橋樑、隧道、港灣、水壩等等。

十. 對營建管理的未來發展之期許與建議

而今可預見的是明年第三季台灣半導體業將進入 10 奈米製程之量產，不久更要邁入 18 吋晶圓，7~5 奈米製程之層次。如何在廠房設施方面去配合 18 吋晶圓廠的建造，如何克服進入 7~5 奈米製程衍生出來的空氣分子污染 (Airborne Molecular Contamination, AMC)、微振動 (Micro Vibration, MV) 與電磁波之干擾 (Electro-Magnetic Interference, EMI) 結能減碳、環境生態的保護等等問題是刻不容緩的課題。高科技先進製程技術需要持續研發創新，廠房設施也需要不斷地做先進性的研發創新。

如今，台灣半導體產業已邁入研發創新的時代，而先進的研發創新需要有高水準的廠房設施及經營管理配合。營建工程與管理，其研究範圍涵蓋廠房設施的規劃、設計、採購、施工、移交、維修及經營管理等等議題，是高科技產業邁向研發創新時代不可或缺的重要環節之一。

半導體之研發創新對未來台灣的經濟及科技有極大的衝擊，而下世代之高科技廠房設施之研發建造，其營建工程管理團隊，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。這裡需要各領域優秀的人才來共同提昇台灣高科技廠房設施之研發建造。

十一. 結論

台灣半導體晶圓之製造做得好、快、便宜、良率高，堅守誠信，準時交貨，響譽全球。如此躍居為全球最大晶圓產能供應國，擁有世界最多的 12 吋晶圓廠及製造最多的 16 奈米之晶片及相關產品，這背後就是台灣的半導體廠房設施技術，也與半導體製造一樣出類拔萃，走在時代的尖端。

而不久後，台灣半導體製程更要持續邁向 18 吋晶圓廠之建造，進入低於 10 奈米製程之層次。在半導體競向更上一層的研發製造中，需用很多的高效能的製造設備 (Tools)、細緻敏感的儀器 (Instrument) 和超純淨的廠房公用設施

(Utilities)。而這些研發製造之程序，更須在嚴格控制的潔淨室裡，穩定的製造平台上，及在可容許之電磁波干擾環境下進行。

張陸滿校友之研究團隊，承續普渡大學及成功大學理論及實務平衡發展的精神和知行合一的原則，在台灣大學著重於產學合作，其研究探索及誠邀配合廠家之積極參予，從理論推導、模擬測試、實驗驗證、組裝原型機，到配合廠家的工廠實地確效，克服了不少進入先進奈米製程衍生出來的氣懸空氣分子污染 (Airborne Molecular Contamination, AMC)、微振動 (Micro Vibration, MV) 與電磁波之干擾 (Electro-Magnetic Interference, EMI) 等等的問題。如此，將理論落實到產業的應用，並和配合廠家共同提昇台灣半導體廠房設施之技術層次及奠定台灣高科技廠房設施在此方面研發之基礎。

Luh-Maan Chang (張陸滿)

**臺灣大學土木工程系教授
高科技廠房設施研究中心
新竹縣竹北市莊敬一路 88 號
國立臺灣大學竹北分部
電話：011-3-668-1274
luhchang@ntu.edu.tw**



張陸滿簡歷

張陸滿教授在 1971 年畢業於國立成功大學土木系。從 1974 年到 1977 年間，張教授在台灣矽谷—新竹—負責工業技術研究院頭重埔新院區之規劃監造，及協助工研院電子工業研究所設計建造了台灣第一座積體電路示範廠房。而後他即赴德州大學奧斯汀分校深造並取得營建工程及計畫管理碩士博士學位。

於 1983 至 1985 年間，張博士在美國佛羅里達大學的建築學院營建系任教。從 1986 年起，張教授轉到普渡大學土木工程系營建工程管理組任教。在 2006 年的秋季班開始，張教授返回台灣在台灣大學土木工程學系繼續從事教學研究。

張博士目前的研究興趣是在低於 10 奈米製程之污染控制、450mm(18 吋) 晶圓廠廠房設施之關鍵技術、運用 3D 廠房資訊模擬管控時程(4D)及廠房專案管理(ND)。

張教授最近五年教過下列課程：

高科技廠房設施設計、高科技廠房設施營建管理、工程材料、營建工程規劃及時程管控、營建公司經營及財務管理、營建生產力改進。

