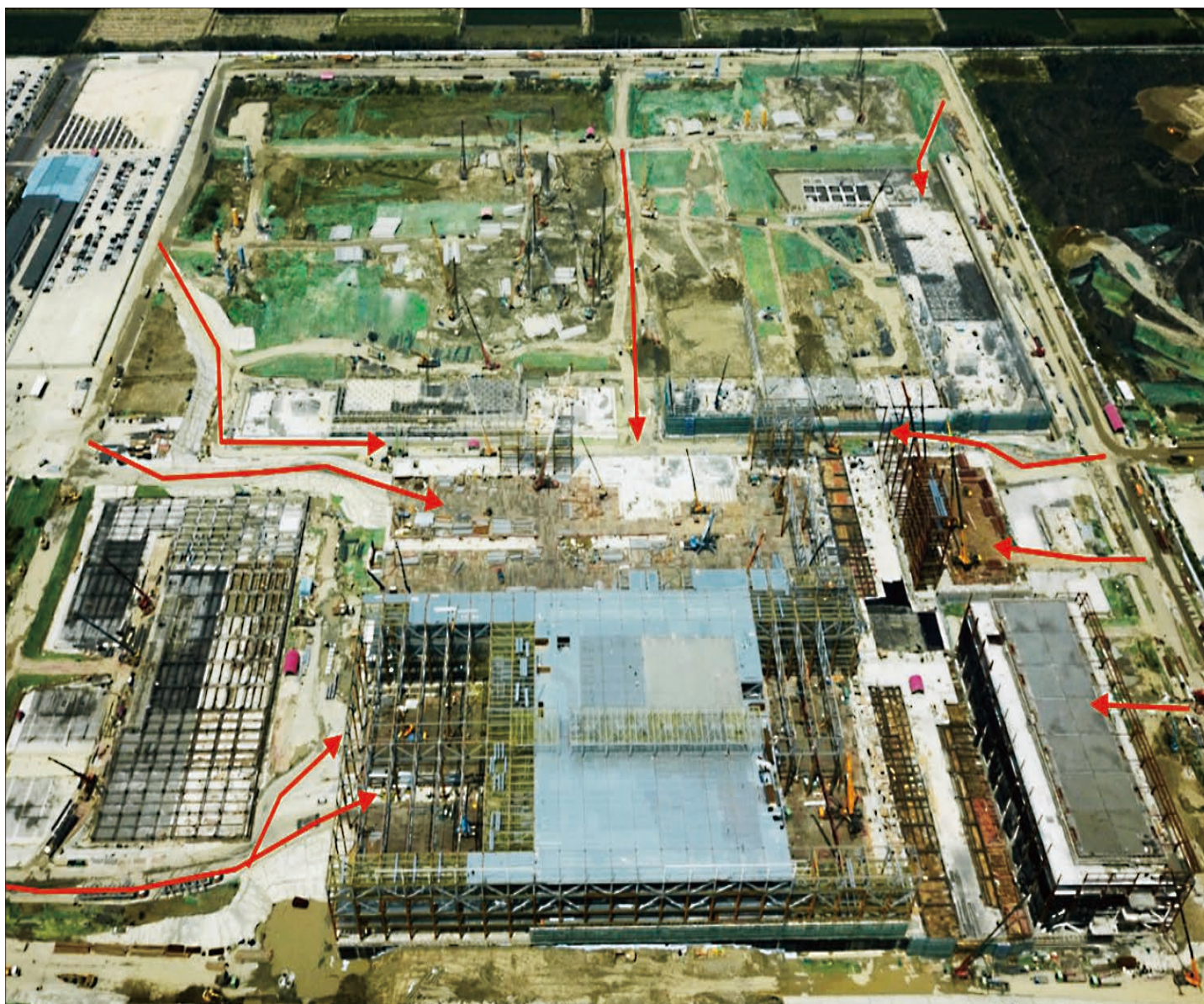


# 土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

December  
2019



高科技半導體廠房的動線規劃

ISSN 0253-3804



NT\$350



Volume 46, No. 6

社團法人  
中國土木水利工程學會 發行  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

第二十四屆  
理事長的話

宋裕祺

專輯

高科技廠房工程



第二十四屆理事長  
宋裕祺

## 強化學會功能 – 深化連結產官學研 持續接軌國際 – 分享精進工程技術

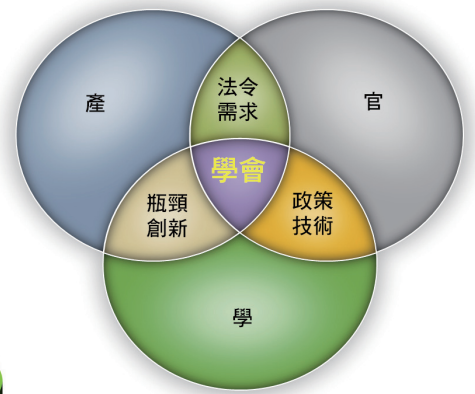
理事長的話

承蒙大家支持，個人有幸擔任中國土木工程學會（CICHE）第二十四屆理事長一職。學會歷史悠久，1973年在台灣成立迄今已有47年，是台灣土木工程領域的最大專業學會。在所有前輩、理事長、理監事們的辛勤耕耘下，學會基於創立宗旨，長期為產官學研各界提供建議與諮詢，廣獲信賴。在國際上，CICHE是亞洲土木工程聯盟的創始會員，在國際舞台扮演重要角色。崇隆的榮耀與豐碩的成果，促使個人務必秉持戒慎惶恐與如履薄冰的態度，延續學會既有榮光並積極開創新局。

本屆任內，除持續學會原有的作為外，更希望能強化學會功能，讓學會成為各方廣泛溝通的平台，無論是法令需求、技術創新、或是政策規劃等層面，希望能夠結合社會大眾之力，對福國利民事業有具體的作為與貢獻。

舉凡研討會、論壇、年會與出版等例行性活動都將持續辦理，對於新興技術與產業也會着重與加強，戮力活絡業界交流為學會不變的工作與使命。

最後，懇請大家給予學會與個人支持與鼓勵，如有不周之處，也請不吝鞭策與指教，讓我們一起為開創土木水利工程的新里程碑而努力！



### 宋裕祺簡歷

現職：國立台北科技大學教授、工程學院院長

學歷：國立臺灣大學土木工程學研究所博士、國立清華大學動力機械研究所碩士、國立台北工專土木工程科畢業

經歷：

- 國立台北科技大學工程學院 院長 (2018/08~ 迄今)
- 行政院公共工程委員會 委員 (2009~2012、2018~ 迄今)
- 中國土木工程學會 理事長 (2019~ 迄今)
- 中華民國結構工程學會 理事長 (2011~2013)
- 財團法人國家實驗研究院地震工程研究中心 組長 (2009~2019)
- 中國工程師學會 理事 (2019~ 迄今)
- 中華民國地震工程學會 常務理事 (2013~ 迄今)
- 中華顧問工程司第一結構部 正工程師，計畫副理 (1989~2000)
- 台灣省交通處公路局西濱北工處設計課 高員級工務員 (1986~1987)
- 土木技師 (1986)、結構工程技師 (1989)

獲獎：

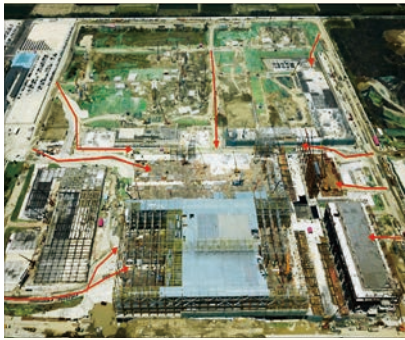
- 美國土木工程師學會 ASCE T. Y. Lin Award, 2019 論文獎
- 中國工程師學會 107 年度傑出工程教授獎 (2018)
- 中國工程師學會 86 年度優秀青年工程師獎 (1997)
- 中國工程師學會 103 年度詹天佑論文獎
- 中國工程師學會 94、96、104、106 年度工程論文獎
- 中華民國結構工程學會 94、96、102、103、105、106、107 年度結構工程論著獎
- 中國土木工程學會 103、104、107 年度論文獎
- 中華民國大地工程學會 2016 年度優良論文獎

專業服務：

- 開發「鋼筋混凝土建築物耐震能力詳細評估軟體 (Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings, SERCB)」與「鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估軟體 (Preliminary Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings, PSERCB)」，供為結構技師、土木技師與建築師執行建築物耐震能力詳細評估之分析工具。
- 開發「鋼筋混凝土橋梁耐震能力詳細評估軟體 (Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Bridges, SERCB)」，供為結構技師與土木技師執行橋梁耐震能力詳細評估之分析工具。

# 土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



高科技半導體廠房的動線規劃

## 土木水利半月集

### 先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

### 永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

### 國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

### 教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

### 學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

### 出版活動

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

### 分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

發行人：宋裕祺

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：劉格非 (國立臺灣大學土木學系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

### 社團法人中國土木工程學會第二十四屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：宋裕祺

常務理事：李順敏 高宗正 張荻薇 楊偉甫

理事：王宇睿 余信遠 林呈 林曜滄 邱琳濱 胡宣德 胡湘麟

高銘堂 張政源 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 黃慧仁 壽克堅

廖學瑞 鄭燦鋒 賴建信 謝啟萬

常務監事：王昭烈

監事：呂良正 李建中 沈景鵬 林其璋 楊永斌 謝佳伯

## 中國土木工程學會任務

1. 研究土木水利工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

## 中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

## 目錄

### 理事長的話

- ☞ 強化學會功能—深化連結產官學研  
持續接軌國際—分享精進工程技術

宋裕祺 封面裡

### 「高科技廠房工程」專輯

(客座主編：張陸滿教授)

#### ☞ 專輯序言：

高科技廠房工程 張陸滿 3

☞ 半導體產業經濟規模及其廠房設施概論 莊子壽 4

☞ 高科技半導體廠超純水、化學品之需求及其循環應用 陳鏞澤 13

☞ 高科技半導體廠之機電設計概論 李若瑟 18

☞ 高科技半導體廠資訊整合與安全 鄭昭平 24

☞ 高科技半導體廠結構設計之關鍵考量 栗正暉／黃宣諭 30

☞ 高科技半導體廠下部結構工程概論 宋思賢 38

☞ 高科技半導體廠之地上工程 李宗軒 49

☞ 土木工程在高科技廠房工程的角色 張陸滿 59

### 專輯客座主編

張陸滿／國立臺灣大學土木工程學系 名譽教授

去年農曆春節後，接到劉格非教授的電話，說他是目前中國土木水利工程學會會刊的總編輯，台灣高科技產業在如火如荼地展開，不但成為台灣經濟及科技的領頭羊，而且常成為報章雜誌電視新聞全民議論之主題，因此，土木工程師亦不能置身於外，希望在土木水利會刊中，刊出一份跟土木工程較相關的「高科技廠房」為題之專輯，並請我當客座主編，邀約專家，各以科普方式淺顯易懂地描述，提供給一般土木工程師之參考。

很感謝劉格非教授之用心，我自美國普渡大學返回臺大任教，就是希望將土木工程與高科技連結起來，盼能彼此相補相成，攜手更上一層。有這個機會，當然欣然接受執行此任務，隨後，即與台積電廠務處資深處長莊子壽博士請益，共同擬定專輯的大綱和題目以及邀約最適當的實務專家，來執筆論述。

那什麼是高科技呢？「高科技」在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（OECD）曾將航太科技、藥品配製、電腦資訊、通訊器材和科學儀器等等定義為高技術產業。行政院經濟規劃委員會（CEPD）亦曾因地制宜，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。融合各方之定義，高科技產業定義可以包括微電子、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。高科技產業背後所需之科學技術，就是高科技。

眾所周知，要生產製造必先有廠房，廠房是高科技製造中不可或缺的重要環節，也就是高科技廠房就是指高科技產業製造中所需的工廠，工廠包括建築、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





# 高科技廠房工程

## 專輯序言

施。高科技廠房工程係指規劃、設計、採購、施工、試車、移交、維護及經營管理高科技廠房之相關工程。

在資訊科技突飛猛進的時代，不論在那個高科技產業，其背後所需之核心產品就是半導體，用半導體製作出來的元件，將細緻複雜的軟體程式連結，最後啟動使用端高科技產品之應用。因此，本專輯所討論的高科技廠房是以製作半導體晶圓之廠房為例，期望藉此例，讓讀者更具體地瞭解，廠房係任何高科技製造成敗的重要伙伴，說明其如何輔助高科技製造的各機要系統及其一般的運作方式。本專輯共有八篇，文章簡介與其作者如下：

第一篇「半導體產業經濟規模及其廠房設施概論—莊子壽」是以宏觀的角度介紹半導體產業供應鏈獨特的分工架構、目前臺灣半導體產業發展之概況、廠房設施之系統和其規劃的策略以及廠房設施工程管理之重點。

第二篇「高科技半導體廠超純水、化學品之需求及其循環應用—陳鏞澤」。半導體之製作複雜精密，其生產過程需要大量的原物料，其中 90% 係液體原物料，包括水及液態化學物，本文重點即討論應用不同性質之液體化學物去選擇性地進行蝕刻、清潔或生產，文中亦指出廢水、廢液及廢氣回收循環再利用的重要工作。

第三篇「高科技半導體廠之機電設計概論—李若瑟」。半導體廠係以生產製造為導向，除須用水、化學物和生產製造之核心無塵潔淨室系統外，仍須有其他機電系統來輔助配合製造，本篇就機電系統中的電力、冰水、空調、溫水、消防、給水、中央公用等系統如何促進製造生產一一加予論述。


第四篇「高科技半導體廠資訊整合與安全—鄭昭平」。半導體廠之廠務系統包羅萬象，如何將這些系統所監控量測之資訊連結起來，使系統間相互整合，來確保生產順利和穩定之運轉，是本篇討論之重點。另，最

近，工廠慘遭駭客入侵，肇致嚴重損失，生產延誤之案例時有所聞，綜觀資訊安全的重要性是與日俱增，本篇也就此，提出許多如何防護資訊安全之實務建議。

第五篇「高科技半導體廠結構設計之關鍵考量—栗正暉、黃宣諭」。半導體製作需要在嚴格管控的潔淨無塵室中，以及沒有振動衝擊干擾的平台進行。因此如何設計牢固且防塵防振的結構是良好製造的重要課題。本篇在介紹半導體廠與一般建築的差異點後，點出半導體廠之結構系統特性及其在振動控制、耐震減振之規定和結構設計，關鍵考量以及發包策略。

第六篇「高科技半導體廠下部結構工程概論—宋思賢」。高科技廠之下部結構係指將廠房承載之重量傳遞到地表以下的基礎工程，包括地質鑽探和改良，開挖填土、打樁、地下室結構與擋土牆建造等等。下部結構工程是半導體廠一切開始的基礎，文中更以圖文說明其施工的步驟。

第七篇「高科技半導體廠之地上工程—李宗軒」，地上工程是指地面層以上之建築結構和相關結構設施，本文首先介紹半導體廠地上建築與相關工程之特性，然後，再將地面層以上之結構體系統分成製造廠（Fab）及公用設施廠（CUP）加予申論，最後討論如何在施工中從源頭來確證品質、建立安全文化以及運用要徑排程法管控施工之進度。

第八篇「土木工程在高科技廠房工程的角色—張陸滿」，土木工程大約可細分成：大地工程、結構工程、水利工程、環境工程、交通工程、營建工程與管理、電腦輔助工程、測量與空間資訊工程、土木材料工程等學術領域，本文據此嚐試一一說明土木工程各學術領域和高科技廠房工程的介面及可扮演的角色，引導讀者進一層瞭解到土木工程各學術領域與高科技廠房工程息息相關。 



# 半導體產業 經濟規模及其廠房設施 概論

莊子壽 / 台灣積體電路製造股份有限公司 廠務處 資深處長

1980 年代以來，台灣高科技產業在國際分工中扮演著製造的角色，發展至今已在半導體、電子資訊、通訊等產業建立完整的供應鏈，並在國際市場占有舉足輕重的地位。然而，支撐這亮麗成績背後的廠房及廠務設施工程卻鮮少受到討論。因此，在人才的競爭上，往往落後於製造單位。有鑑於此，非常感謝『土木水利』會刊給予此次專輯的機會，希望藉由更多深度的專業討論，能夠讓高科技廠房及廠務設施工程獲得大家重視，進而吸引優秀人才參與廠房及廠務設施工程的規劃、設計、工程管理、及營運，為台灣的高科技製造提供更堅強的產業基礎<sup>[1]</sup>。

## 半導體產業 - 高度全球化的行業<sup>[2]</sup>

積體電路 (IC, Integrated Circuit) 是現代電子的大腦，它使通信、計算、醫療保健、國防、運輸、清潔能源以及諸如人工智慧、虛擬實境和物聯網等新興技術突飛猛進。而催生積體電路的半導體產業是一個

高度複雜、橫跨數個技術和專業領域的產業。如圖 1 所示：半導體產業是一個包含研發、設計、製造、封裝、測試和銷售的產業系統。自 1960 年以來，半導體產業供應鏈已經發展為全球廣泛分佈且相互交織的價值鍊和生態系統。

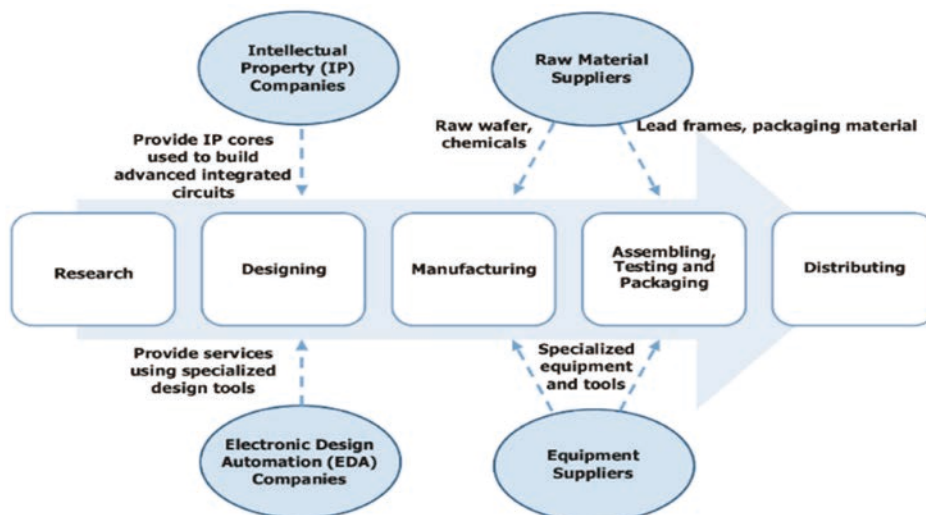


圖 1 半導體產業生態系統<sup>[1]</sup>

半導體產業供應鏈具有獨特的全球分工結構（如圖 2 案例），例如：加拿大、歐洲國家和美國往往專注於積體電路設計及高階製造；日本、美國和歐洲國家專門提供製程設備和電子材料；大陸、台灣、馬來西亞和其他亞洲國家專門從事晶圓製造、晶片封裝和測試。

這個全球生態系統使所有半導體公司及其所在國家經濟受益，特別是增加就業人口、提升創新能力、增加出口機會和總體經濟成長。一個國家對半導體全球價值鏈的貢獻，隨著該國經濟和勞動力技能的提高以及該國在價值鏈上的發展而增加。因此，全球價值鏈的擴展與合作將是半導體產業發展的利基，無論位於何地，半導體公司都將從生產效率的提高、專業化帶來的成本效率以及技術改進和知識成長的收益中受益。

展望未來，半導體將繼續為尖端數位設備提供重要的技術推動力，由於自動駕駛、人工智慧、第五代行動通訊和物聯網等新興技術的發展，加上持續的研發支出和主要參與者之間的競爭，全球半導體產業將在未來十年繼續保持強勁成長。由於產業與市場的轉換，特別是蓬勃發展的經濟、行動通信的興起以及雲

端計算的成長，東亞（大陸、日本、韓國和台灣）預估將逐漸成為全球重要的半導體產業基地。

### 台灣半導體產業發展概況 [3]

根據「台灣半導體產業協會」(TSIA, Taiwan Semiconductor Industry Association) 的年度報告，截至 2018 年底，台灣半導體產業包括 238 個無晶圓廠 IC 設計公司、3 個光罩製造商、11 個晶圓供應商、15 個晶圓製程公司、37 個封裝和測試公司、7 個基板和 4 個腳架供應商。

2018 年台灣半導體產業營收為新台幣 2 兆 6,199 億元（包括設計、製造、封裝和測試），較 2017 年成長 6.4%。其中設計領域營收為新台幣 6413 億元，成長 3.9%；晶圓製造業為新台幣 1 兆 4,856 億元，年成長為 8.6%；封裝產值為新台幣 3,445 億元，成長 3.5%；測試產值為新台幣 1,485 億元，相較 2017 年成長 3.1%。若以 2018 年全球半導體產業產值 4,688 億美元規模計算，台灣半導體產業產值約佔全球半導體產業的 18.5%。

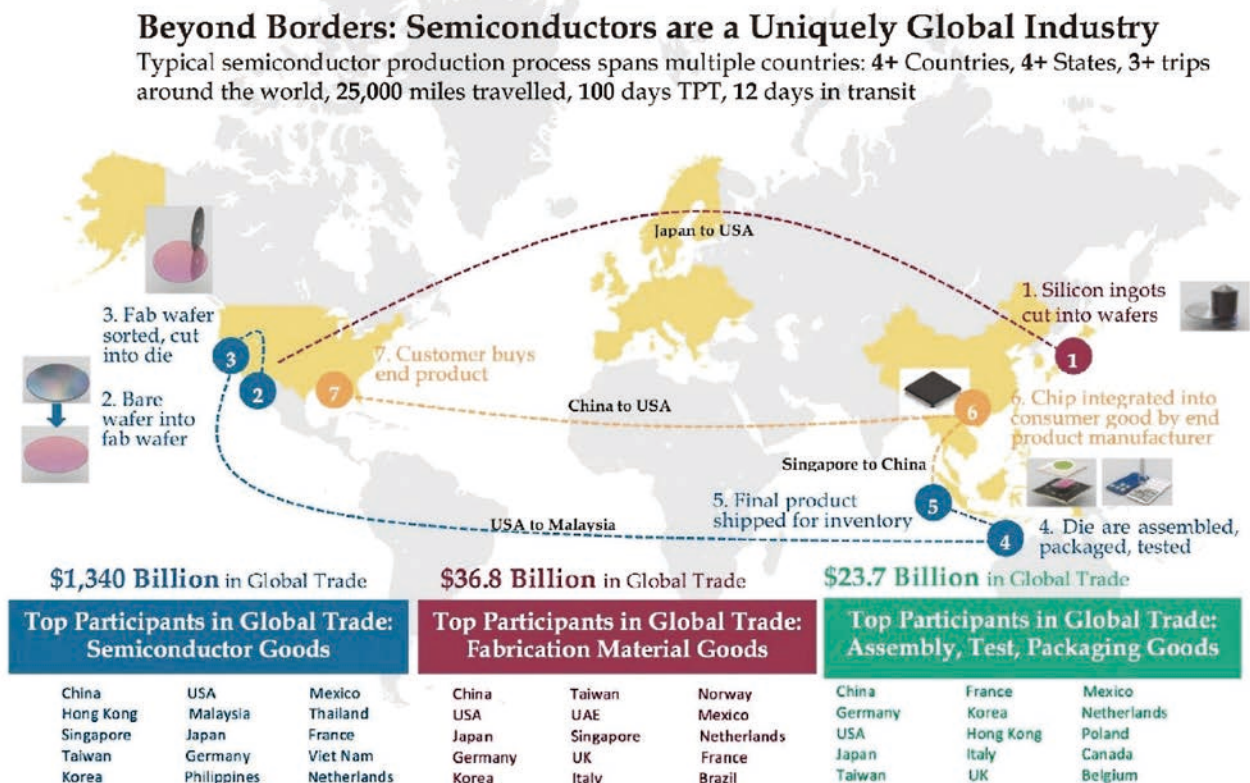


圖 2 半導體全球價值鏈案例說明 [2]

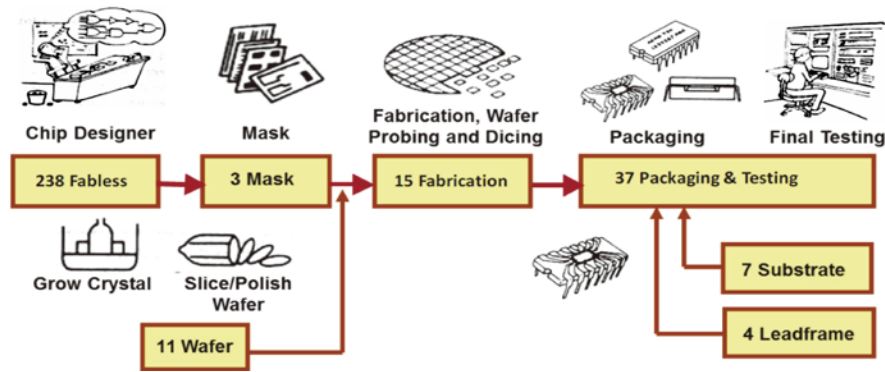


圖 3 台灣獨特的半導體產業鏈<sup>[2]</sup>

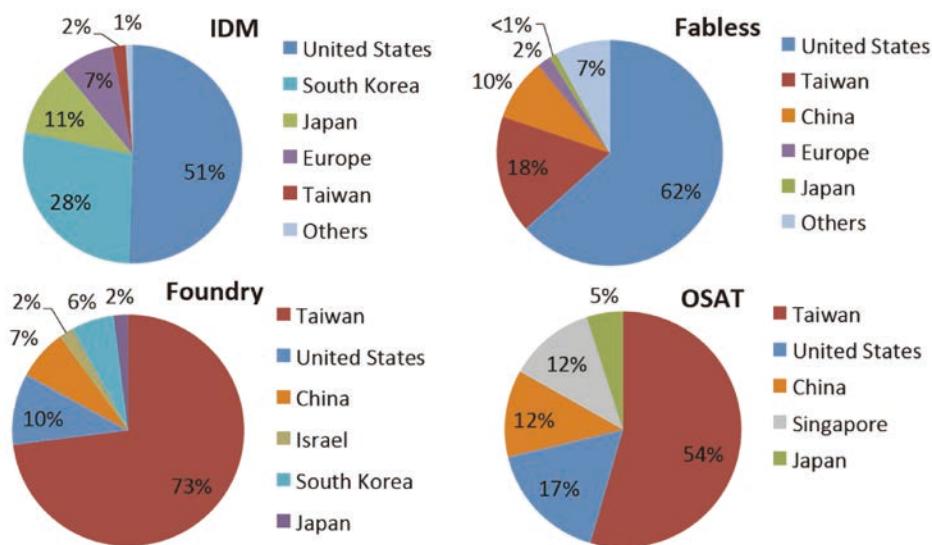


圖 4 2015 年半導體價值鏈統計<sup>[1]</sup>

若由產業鏈分析，如圖 4 所示，台灣在晶圓代工 (Foundry)<sup>1</sup> 領域，以全球 73% 的市占率高居第一。同樣的，在委外封裝測試 (OSAT, Outsourced Semiconductor Assembly and Testing) 領域，以全球 54% 的市占率高居第一。另外，在無晶圓廠設計 (Fabless) 領域，目前以大約 18%~20% 的市占率居全球第二。

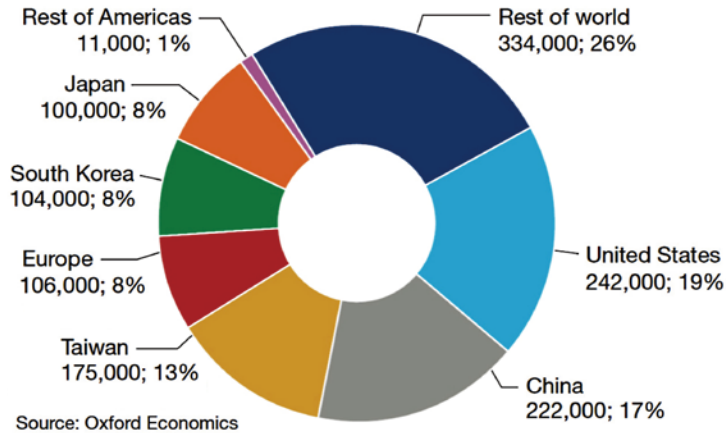
根據 2013 年「全球半導體聯盟」(GSA, Global Semiconductor Alliance) 委託「牛津經濟研究院」進行的獨立研究顯示<sup>[4]</sup>，2012 年半導體產業帶給全球經濟的直接效益，是提供全球 130 萬個工作機會，圖 5 顯示該研究估計台灣半導體產業從業人員約有 17 萬 5 千人。另外，根據「美國半導體產業協會」(SIA, Semiconductor Industry Association) 的調查報告<sup>[5]</sup>，每

一個的半導體公司每個直接雇員又會再額外創造 4.89 個相關的工作機會，因此若依此係數以 75% 保守估計，台灣整個半導體及相關供應鏈的就業人口將超過 80 萬人，約佔台灣 7% 以上的就業人口。

除了提供上述大量及優質的工作機會之外，「台灣半導體產業協會」在 2008 年的調查報告<sup>[6]</sup>亦指出：1997~2007 年台灣半導體產業興建晶圓廠所創造的金額超過新台幣 4,300 億元，尤以 2005~2007 三年的成效更加顯著，若再加上其他無法量化的無形效益，其對台灣的經濟、社會貢獻不言而喻。此外，該調查報告亦指出：台灣主要 IC 製造廠商 2007 年在綠色科技之投入約在新台幣 29~37 億元間，2005~2007 年來投入合併超過新台幣 100 億元，而其於綠色科技投入所獲得之效益（即水電等支出減少等）約為新台幣 5~11 億元左右，三年期間合併超過新台幣 27 億元，投入綠色科技平均約可獲得 27% 之效益。

<sup>1</sup> 晶圓代工 (Foundry)，是半導體產業的一種商業模式，指接受其他無晶圓廠半導體設計公司委託，專門從事半導體晶圓製造，而自行從事產品設計與後端銷售的公司。



圖 5 全球半導體產業直接就業人口<sup>[4]</sup>

## 半導體廠房及廠務設施

在積體電路產業中，半導體製程工廠（Fab<sup>2</sup>，Fabrication 的簡稱，如圖 6 範例）是製造積體電路晶圓（Wafer）的工廠，晶圓製造過程必須在潔淨的環境中進行<sup>[7]</sup>。如圖 7 所示；潔淨室（Cleanroom）為晶圓製程提供一個受到控制的環境，晶圓廠潔淨室控制的環境條件包括（但不限於）：氣懸微粒污染（Particle）、氣懸分子污染（AMC, Airborne Molecular Contamination）、靜電放電（ESD, Electrostatic Discharge）危害、電磁干擾（EMI, Electromagnetic

<sup>2</sup> Fabrication：簡稱為「Fab」，半導體前段晶圓製程包括四個主要區域：薄膜、微影、蝕刻和擴散，因此「Fab」指的是晶圓廠（Wafer Fabrication）。

Interference)、微振動（Micro Vibration）及噪音污染、環境壓力、空氣流場、溫度及濕度控制等等。

晶圓廠因為製程使用多種氣態和液態化學物質，所以廠房設施必須以化學品使用、儲存空間檢討。早在 1980 年代，美國因為蓬勃發展的半導體產業而發展出相當完整的半導體廠房設施建築法規、消防法規、職業安全衛生法規、及保險公司提供的廠房設施設計指導，例如：「UBC, Uniform Building Code, 半導體廠房專章建築法規」、「UFC, Uniform Fire Code, 半導體廠房專章消防法規」、「NFPA 318, Protection of Semiconductor Fabrication Facilities, 半導體廠房化學品使用、儲存消防法規」、和「FM 7-7, Semiconductor Fabrication Facilities, 半導體廠房氣體及化學品系統設置建議」等規範，都



圖 6 台積電晶圓廠（中部科學園區）

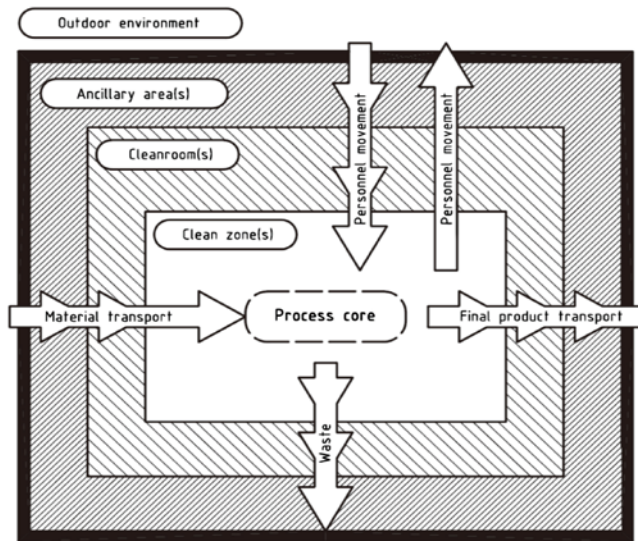


圖 7 潔淨室環境控制概念<sup>[8]</sup>

為整個半導體產業的持續發展，提供一個穩固的基礎。另外，國際半導體技術藍圖<sup>[8]</sup> (ITRS, International Technology Roadmap for Semiconductors) 則是提供從設計、製程、到封裝、測試的技術演進藍圖，是導引半導體產業長期發展的技術指南。

潔淨室內的製程設備 (Process Tool) 是晶圓廠的主角，晶圓製程設備包含用於薄膜、微影、蝕刻、擴散、離子植入和化學機械研磨等製程設備，這些晶圓製程設備都非常複雜、精確，因此非常昂貴。例如：

<sup>3</sup> GIGAFAB：超大晶圓廠是台積電所提出的定義，<https://www.tsmc.com/chinese/dedicatedFoundry/manufacturing/gigafab.htm>

目前 300 mm 先進製程晶圓廠的設備價格多在數百萬美元之譜，其中先進的極紫外光微影設備 (EUV, Extreme Ultra-Violet) 售價更高達 1 億歐元。以潔淨室規模而言，一座具經濟規模的「超大晶圓廠」(GIGAFAB® Facilities)<sup>3</sup> 約需容納約 1000 ~ 1500 台製程設備。

半導體晶圓廠歷經約 60 年的演化，配合半導體製程技術不斷的升級，晶圓廠的設計已經由早期的隧道式 (Bay and Chase) 無塵室，發展為現今較通用的迷你潔淨環境 (Ballroom with Mini-Environment)。如圖 8 所示：相較於單樓層的隧道式無塵室，現代的潔淨室多以三個樓層的規劃來區分「Cleanroom」、「Clean Zone」和「Process Core」。以垂直氣流控制而言，「Clean Zone」位於超高效率空氣過濾網 (ULPA, Ultra Low Penetration Air Filter) 下方，也就是一般所稱的「Process Ballroom」，「Clean Zone」的潔淨控制依「Process Core」需求而定，晶圓廠一般控制在 Class-10、Class-100 和 Class-1000 之間。「Process Core」指的是製程設備內，晶圓暴露在空氣中的空間，這個空間對潔淨程度要求極高，特別是控制 Particle 和 AMC 兩類污染物。

由於 Fab 內的晶圓製程設備需要各類的材料及公用設施，來進行製程以完成積體電路製造程序，如圖 9 所示的廠務系統簡化示意圖：晶圓製程需要使用許多不同種類的高純度化學物質 (Process Chemicals) 及氣體 (Bulk Gases / Specialty Gases) 進行電路的化學及物理製程，而超純水主要使用於化學製程後的清洗

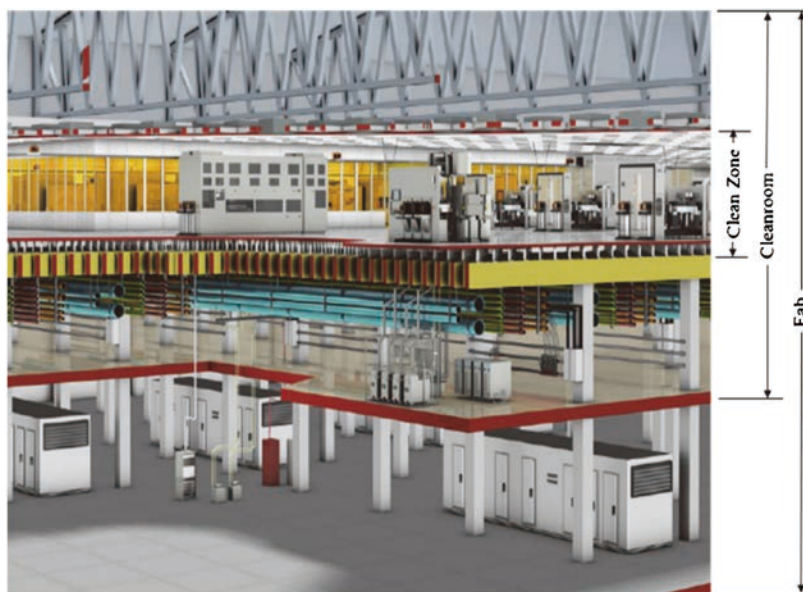


圖 8 晶圓廠剖面圖

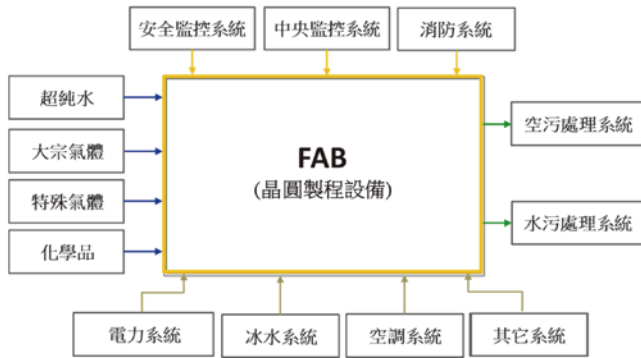


圖 9 晶圓廠廠務系統示意圖

製程。另外，晶圓製程使用之後排出的各類廢氣及廢（酸）水，則要經由繁複且有效的空污及水污處理系統至國家排放標準後，才可依規定放流。除了製程相關設施之外，晶圓廠也需要可靠、穩定的電力及冷凍空調系統以維持晶圓廠的基本運作。同時，為了確保廠房安全及系統的可持續運轉，晶圓廠更特別重視消防、安全監控及嚴謹的自動化的廠務管理系統。

## 晶圓廠獲利妙方

半導體產業大致按照摩爾定律<sup>4</sup>（Moore's Law）發展了半個世紀，以經濟的角度而言，摩爾定律指出：「微處理器的效能每隔 2 年（1975 年修訂版）提高一倍，或價格下降一半」。因此，積體電路技術在摩爾定律的驅動之下，展開一系列的科技創新，對二十世紀後半葉的世界經濟成長有相當的貢獻。由於個人電腦、網際網路、智慧型手機等技術改善和創新，除了推升生產效率和經濟成長外，也帶給社會相當大的改變，現代人的生活與工作已經離不開摩爾定律的延續。

不過，對晶圓廠建廠和新技术發展而言，摩爾定律也許更適合稱為「摩爾魔咒」。因為摩爾定律告訴所有半導體產業的參與者，每隔兩年就會有一場新技术大戰要打。因此，所有半導體業者莫不繃緊神經、招兵買馬、使盡全力，務期在每兩年的大會戰中能夠攻城掠地，然後帶著戰果繼續準備下一場戰鬥。不過，摩爾定律沒有預測景氣對技術發展的影響，因為電子

產品屬於消費電子，所以對景氣特別敏感。在半導體的世界裡沒有四季如春，對業者而言，只有赤道的夏天和極地的冬天可比擬，都是煎熬的季節，所以半導體市場有幾個特點：

- (1) 景氣循環迅速：景氣下降快，但一旦反彈，速度一樣迅速。
- (2) 價格大幅波動：消費電子產品一旦供過於求，跌價快、幅度大。
- (3) 技術創新速度快：新產品上市快，同時舊產品迅速貶值。
- (4) 頻繁的產能失衡問題：計畫趕不上市場變化，借錢投資風險高。

當然，討論半導體公司的獲利與否，是一個高度複雜且困難的問題。但是，基於上述的市場特性，我們可以適度簡化獲利的策略，以探討半導體建廠及產能擴充的邊界條件。由於半導體產業是高度資本密集及人才密集的產業，所以，追求獲利極大化是半導體公司的經營目標也是半導體公司的求生之道。在極大化獲利的前提下，半導體公司幾個重要的獲利策略如下：

- (1) 高平均售價（ASP, Average Selling Price）是晶圓廠獲利的最重要利器：在新技术的早期提供最高技術晶片的製造，可以以更高的價格出售。
- (2) 高晶片良率（Die Yield）<sup>5</sup> 可以販售較多的晶粒（Chip）：在晶圓生產過程避免製程污染、缺陷，可以獲得較高的晶片良率，每一片晶圓可獲得較多的合格晶粒。
- (3) 高製程設備利用率可增加資本周轉率以降低成本：高製程設備利用率可以減少設備的投資，所以可以相當程度的減少製造費用。
- (4) 高晶圓生產良率（Wafer Yield）<sup>6</sup> 可以增加產量降低成本：一個穩定、可靠的生產製程和廠務系統，可生產出較多的合格晶圓（Wafer）。
- (5) 快速的市場響應能力：縮短產品認證時間和生產週期，以便及時向客戶交付新技术晶片。
- (6) 彈性的製程調整能力：能夠在生產線正常運作的情況下；升級和重新平衡製程設備產能，而且不會影響晶片良率（Die Yield）。

<sup>4</sup> 摩爾定律（1965~）是簡單評估半導體技術進展的經驗法則，其重要的意義在於大抵而言，若在相同面積的晶圓下生產同樣規格的 IC，隨著製程技術的推進，每隔 18 個月，在新一代的製程技術量產之下，IC 產出量就可增加一倍。換算為成本，即每隔 18 個月成本可降低五成，平均每年成本可降低三成多。

<sup>5</sup> Die Yield: 每片晶片上測試合格的晶粒除以晶片上的總有效晶粒數目。

<sup>6</sup> Wafer Yield: 或稱 Fab Yield，指的是晶圓廠出貨的晶片數量除以晶圓廠晶片下線的數量。

## 廠房設施 (Facility) 規劃策略

晶圓廠的投資額相當大，一座 32/28 奈米晶圓廠約需美金 50 億元；一座 16/14 奈米晶圓廠則需投資約美金 60 億元。晶圓廠的投資中約有 80% 預算用於製程設備的採購，其餘 20% 則用於建廠、廠務設施、資訊系統、自動化材料搬運系統和相關支援實驗室等等建置費用。因此，廠房及廠務系統規劃策略必須以確保 80% 的製程設備投資成功為最重要的考量。也就是說，廠房及廠務設施的投資策略需相對積極，廠房及廠務設施的規劃、設計則要符合上述獲利的原則，必須協助晶圓廠以最先進技術及早量產、進入高單價市場。其次，是整個潔淨室和廠務系統則要提供穩定、符合規範的各類廠務設施，協助晶圓廠獲得最佳的晶片良率與生產良率。最後，是當生產線需要跟隨高單價市場調整製程設備時，廠房設施可以同時滿足維持生產環境和設備升級的需求。一個晶圓廠在建廠專案的總體規劃程序和基地選擇考慮項目分別描述如下：

### 總體規畫 (Master Planning)

晶圓廠的廠房規劃與初步設計比較特別，而且多由業主自己主導 (如圖 10 所示)，工程公司只是依照邀標文件完成細部設計而已。這原因主要是每個半導體公司對其廠房的需求、使用有其必要管制的商業機密，例如：產能規劃、製程技術、設備規範、材料規格和廠房設施等級等等。因此，晶圓廠建廠多需要成立專案團隊，就建廠需求準備 Design-Build Package<sup>[10]</sup> 的發包文件：

- (1) 晶圓廠的規劃、設計過程通常分為概念設計 (Conceptual Design)、方案設計 (Schematic Design)、細部設計 (Design Development) 和施工圖說 (Construction Document) 等四個階段。
- (2) 概念設計階段在處理使用者訪談過程中所收集的資訊、驗證現有條件、調查現況並收集現有文件。
- (3) 方案設計階段需要交付的成果包括：設備佈置圖、系統流程圖、生命週期成本分析、設備規範以及其它完成設計所需的相關文件。
- (4) 當方案設計完成後，專案團隊需要準備一份正式的方案設計報告和建廠成本估算報告，以作為決定要進行細部設計的備選方案的基礎。
- (5) 接著依據方案設計最終的決定，指定並盡早採購長交期設備，同時準備廠房及各廠務包的邀標文件 (RFP/Q, Request for Proposal/Quotation)，完成 Design-Build Packages 發包。

### 基地選擇 (Site Selection)

基地選擇是相當專業的課題，晶圓廠建廠基地選擇不但攸關建廠的成敗與否，也直接影響晶圓廠長期營運是否順利可行。所以，基地選擇最終極的問題還是回歸到晶圓廠能否獲利的問題。以下討論是建廠地點可能影響晶圓廠建廠、營運、和獲利的因素：

- (1) 選擇能夠促進高科技產業投資的區域，包括與半導體無關的產業。地方政府支持 (例如提供協助或激勵措施) 與社區接受產業發展是基地選擇重要的因素。
- (2) 選擇建廠城市的法規要求要符合國際建築及消防法

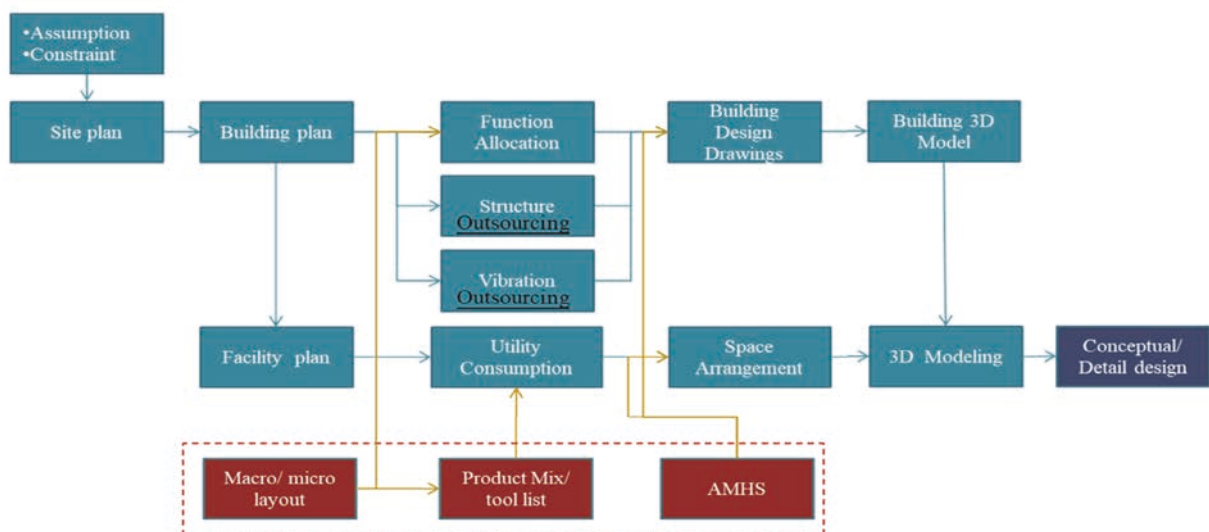


圖 10 建廠專案規畫流程案例

規 (IBC & IFC)<sup>7</sup> 的標準，同時具有快速的法規審查能力：缺乏快速執照審查的城市可能會被淘汰，因為半導體建廠有競爭上的壓力，所有公司都有兩年推出新世代技術的壓力（摩爾定律），若一個城市沒有處理半導體廠建廠審查的能力，可能導致建廠專案的延誤。

- (3) 基地有充足且優質的公用事業服務，尤其是電力和水：半導體工廠是耗用較多電力及水資源，而且對電力品質及水質要求甚高，因此這是一個優先問題。
- (4) 考慮選擇供應鏈完整或可以建立供應鏈的區域，特別是晶圓廠使用的化學材料與化學品廢棄物，需要本地優質的供應能力，以協助晶圓廠順利營運。
- (5) 選擇能夠提供足夠高素質工程人員的區域，包括晶圓廠工程師與工廠維護的技術人員。另外，廠房所在城市（或社區）可以為員工提供安全的生活環境、經濟適用的住房和優質教育的機會。
- (6) 基地要臨近主要的機場（國際機場）和高速公路，以利人流與物流的需要。
- (7) 考量基地地形問題：每個基地都可能有每個基地不同的地形或地勢特徵，例如：以科學園區為例，南科對淹水問題敏感，中科必須克服山坡問題，竹科則是需面對丘陵高程不規則問題。
- (8) 選擇面積較大、平坦而且沒有地質問題的建廠用地。例如：微振問題對晶圓製程相當敏感，所以建廠基地就不適合靠近鐵路，公路或其它產生振動問題的設施。
- (9) 基地要避開任何會影響污染控制或潔淨室穩定操作的氣候條件，例如：溫度、濕度、空氣污染物質或風向（污染源）等等問題。
- (10) 最後，在決定基地之前，必須對候選基地及周邊附近區域進行土壤及地下水質調查，以確定基地未受到污染。

## 廠房設施工程管理本質

晶圓廠建廠的時程控管問題，如前文提到，其實是受到「摩爾魔咒」限制和晶圓廠獲利策略的兩面夾

擊。由於製程技術開發困難，所以每個製程世代建廠設計所需要的規格和需求，往往遲遲無法定案。但是，新技術產品上市的時間已經是各競爭公司必爭之地。所以，新廠完工時間只能往前拉、不能往後延，就如圖 11 所表達的情況，晶圓廠建廠每個環節都承受巨大的壓力，以縮短建廠時間以換取及早進入高平均售價的新技術市場。

由於每個晶圓廠的設計都是根據製程需求而發展出來的，換言之，也就是每個晶圓廠都是獨特的，所以沒有辦法在設計未定案的情況下提早施工。因此正常情況下，每個專案都需要趕工就變成是這個行業的正常情況。那麼什麼是不正常情況呢？通常發現有些工廠先前趕工，忽然又停下來，等了半年、一年後改設計再復工，這可能是因為景氣或供需失衡問題。所以暫停新廠建設，過一段時間後，原來的設計可能不能滿足最新技術的需求，所以復工前會再做設計檢討，待設計符合新的需求、合約修正之後，工程才會繼續進行。

以 ITRS 的標準，晶圓廠的建廠時間必須控制在 10 ~ 12 月以內的時間完成，但是由於晶圓廠工程量非常龐大、而且複雜，單一座半導體廠房建廠規模指標如下：

- 總出工數：1,000,000 人 - 天，第三方施工品質查核數量：300,000 次。（台灣的經驗值）
- 總樓地板面積：400,000 M<sup>2</sup>。鋼構：55,000 噸，鋼筋：150,000 噸，模板：500,000 M<sup>2</sup>，混凝土：350,000 M<sup>3</sup>。
- 潔淨室面積：50,000 M<sup>2</sup>，空調風管面積：230,000 M<sup>2</sup>，空氣處理量：3,000,000 M<sup>3</sup>/Hr。
- 冰水管長度：60 KM，高潔淨金屬及塑材管線總長度：800 KM。
- 變電站變壓器：600 座，電力配電盤：2,200 盤，電力線總長度：3,000 KM。

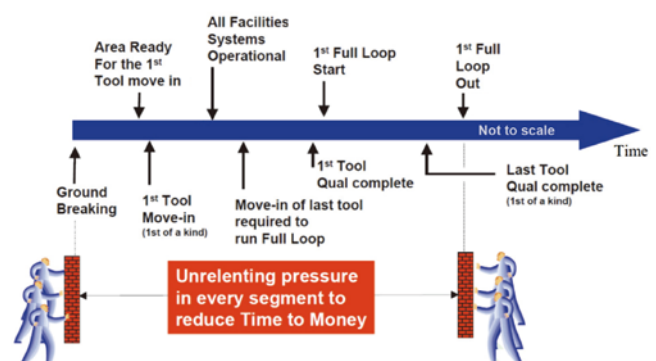


圖 11 晶圓廠建廠進度控管本質（圖片來源：ITRS）<sup>[11]</sup>

<sup>7</sup> IBC, International Building Code. IFC, International Fire Code, 2000 年以後，逐漸取代 UBC 與 UFC。

晶圓廠建廠的工程管理必須在兼顧施工安全與建廠品質的前提下，找到工程提前完工的機會，要如何做到呢？半導體建廠在上述巨大的時程壓力下，已經發展出一套務實的「快速通道專案管理（Fast-Track Project Program）」的運作模式，快速通道專案管理的方法如下：

- (1) 首先要確定從設計開始到施工完成（包括製程設備安裝）的要徑（Critical Path）。
- (2) 接著專注進行概念設計，並在完成 90% 設計後，先暫時凍結概念設計，然後由經驗豐的估算團隊完成預算估算，同時依照專案時程計畫訂出各發包（Bid Package）項目及每個「包（Package）」需要完成發包的時間。
- (3) 對早期的要徑工項，例如：開挖、基樁、基礎及下部結構體工程、鋼構備料等項目，在完成 90% 的設計後，即可安排發包工作。另外對於長交期設備，例如：高壓電力開關、變壓器、冰水主機、大型空氣壓縮機、空氣純化器等廠務設備，可以在工程設計未完成，但是設備規格確定之後，立即進行採購作業。
- (4) 快速通道專案沒有要求採購上的特權，除非必要（例如廠商能力問題），應該以競標為原則。一般經驗，快速通道專案管理模式可以節省 3~4 個月的時間。

雖然，整個晶圓廠建廠工程都圍繞著時程控管打轉，但是專案經理必須非常清楚晶圓廠建廠的成敗關鍵在工程品質，而非時程的延誤與否。當廠務設施（Facilities）因為品質問題，無法達到設計規格，然後影響晶圓製程的良率時，這個致命問題可能造成建廠專案的嚴重延誤，與商業競爭的嚴重潰敗，甚至影響整個公司的業務發展。最後，要提醒所有的專案經理，安全與環境保護管理是專案經理的責任與良心，雖然這也是法律層面的議題，但是工地的工作夥伴、環境會因為你的關心（Care），而得到真正的保障。


## 結論

半導體產業經過 60 年的發展，積體電路已經融入我們的生活之中，徹底改變現代人生活的面貌。展望未來：自動駕駛、人工智慧、健康晶片、先進通訊與

高速運算等運用，將讓 21 世紀全球的半導體產業繼續欣欣向榮。

台灣做為全球電子業製造重鎮，多年來早已居全球高科技產業領導地位，展望未來高科技產業對台灣經濟發展日益重要。雖然台灣已經具備完整產業鏈的骨架，但是台灣長期不重視廠房及廠務設施的能力，這樣的結果可能導致基礎設施無法跟上技術發展的腳步。廠房及廠務設施是支撐製程及製造的基礎，半導體高科技廠房廠設計與監造能力的提升對產業未來的發展與競爭力提升極為重要。因此，本文希望能夠呼籲產、學、研領域的專家，注意及重視高科技廠房及廠務設施技術的進展，透過提高高科技廠房設施之技術層次，突破關鍵技術之瓶頸，以提昇國際競爭力、永續實力，及奠定其後續研發之基礎，共同將台灣的高科技產業推向另一個高峰。

## 參考文獻

1. 張陸滿，「奈米時代之高科技廠房設施工程」，土木水利，第三十五卷，第一期，第 15-26 頁（2008）。
2. Nathan Associates Inc., "Beyond borders: the global semiconductor value chain," Semiconductor Industry Association Report, Washington DC, U.S.A., pp. 1-12 (2016).
3. ITIS (Industrial Technology Information Services), "Overview on Taiwan semiconductor industry," Taiwan Semiconductor Industry Association Report, Hsinchu, Taiwan, pp. 1-14 (2019).
4. 牛津經濟研究院 (Oxford Economics), 「半導體全球影響報告：開創超級互聯時代」，全球半導體聯盟委託獨立研究報告（2013）。
5. SIA (Semiconductor Industry Association) Report, "2019 FACT book," Washington DC, U.S.A. (2019).
6. TSIA (Taiwan Semiconductor Industry Association) 編輯部，「台灣半導體產業對國家的貢獻」，台灣半導體產業協會研究報告，新竹（2008）。
7. Chuang, T.-S., and Chang, L.-M., "AMC control through ultra-pure air for nano-tech environment," Proceedings of the fifth Civil Engineering Conference in Asian Region and Australasian Structural Engineering Conference, Sydney, Australia, pp. 685-690 (2010).
8. ISO 14644-4, "Cleanrooms and associated controlled environments – Part 4: Design, construction and start-up," International Organization for Standardization (2001).
9. ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors) Report, "Executive summary," (2011).
10. Reprinted from Hanscomb Means Report, "Design-Build becoming a revolution," International Construction Intelligence, Vol. 16, No. 6, UK, (2004).
11. Chasey A., "Linking technology to future fabs," Proceeding for ISMI Symposium on Manufacturing Effectiveness, Austin Texas, U.S.A., (2004) 



# 高科技半導體廠 超純水、化學品 之需求及其循環應用

陳鏘澤／台灣積體電路製造股份有限公司 廠務處 技術處長

半導體製造流程是一項廣泛應用機械、光學、物理及化學各工程知識領域的產業。在歷經數百道的製造程序後，將數億個電晶體的功能微縮在每一平方毫米的積體電路上。在如此複雜且精密的生產流程所需要的反應原物料量有 90% 是液態原物料，包括水及其它液態化學品。

水、是生物生存的重要物質。在半導體產業，水也是不可或缺的物質，在複雜且精密的半導體製造程序中，水扮演了多重的角色，主要是直接地做為化學反應物的媒介載體、洗淨的功能；間接的方面，水也可以做為冷卻熱交換的媒介來控制單元的溫度，並且也可以做為洗淨氣相污染源的用途。在這麼不可或缺且多元的用途下，更突顯了水資源的重要性及如何珍惜每一滴水資源這個重要課題。

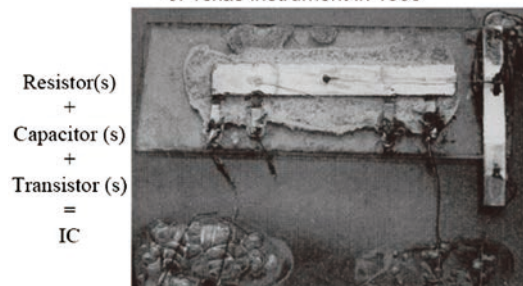
液態化學品，多種不同性質的化學品被應用在許許多多的生產單元上，主要是利用不同液態化學品的選擇性進行蝕刻或清潔的目的。然而，為提供正確的反應動力及反應速率的需求下，往往須將不同液態化學品以特定的配方比例調製成液態混合物。也因此就讓反應後的液態化學品的組成愈趨複雜及多元。加上在奈米科技的潔淨度要求下，就須以大量液態化學品達成生產的目的。相同於前述的水資源，如何回收再利用使用過的化學品也是一項相當重要的工作。

## 半導體製程

現代積體電路是由美國德州儀器公司在 1958 年發明的，發明人 Jack Kilby 並因此榮獲 2000 年諾貝爾物理獎，該發明成果奠定了現代資訊科技的基石。

1975 年，英特爾公司的 Gordon Moore 在 IEEE 國際電子元件大會上提出了一個經驗定律 (Moore's Law)：每隔 18 ~ 24 個月，每單位面積的晶片所包含的電子元件數目會增加一倍<sup>[1]</sup>。就以微處理器晶片來說，從 1971 年每個晶片含有 2,300 個電晶體，1982 年的 134,000 個，1993 年的 3,100,000 個，到 2000 年的 8,000,000 個，到目前每個邏輯晶片的電晶體密度已高達數十億個，顯示半導體製程技術演進的進展神速。半導體應用也曾在 2013 年被《大西洋月刊》(The Atlantic) 喻為是人類歷史上運用最廣、功能最強大的發明。為輪子問世之後的重大發明排名，半導體名列第四位，排名僅位於印刷機、電力、盤尼西林之後<sup>[2]</sup>。

First IC Device Made by Jack Kilby of Texas Instrument in 1958

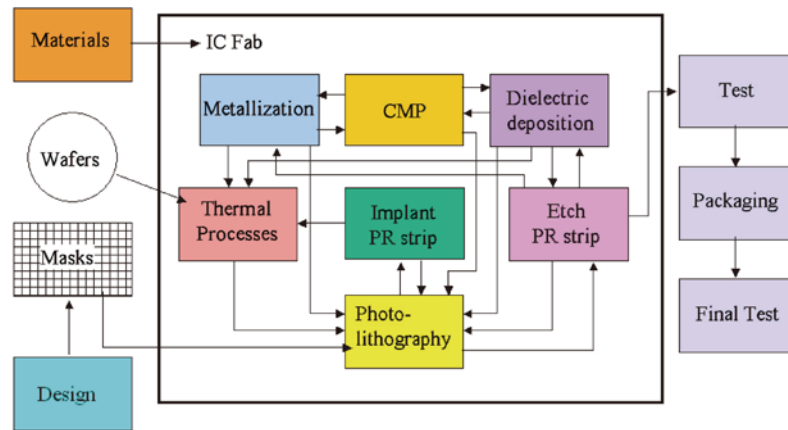


1 capacitor + 3 resistor + 1 transistor + platinum wire

Photo courtesy: Texas Instruments

第一個現代積體電路

但在這製造技術背後，高科技半導體廠房又是如何進行晶圓製造的呢？半導體製程主要包括五大製程區塊，黃光製程負責光學顯影、電路成像，離子植入製程負責離子植入、電性控制，蝕刻製程負責電路刻印成型，薄膜製程負責電路及介電材料層沉積，化學機械研磨製程負責電路及介電層表面平坦化。



晶圓製造流程<sup>[3]</sup>

### 半導體產業之超純水及化學品

半導體製程歷經數百道複雜的程序，利用各類酸、鹼、有機化學品及超純水進行各種處理及清洗，其中超純水（Ultra Pure Water）扮演重要角色。除稀釋化學品原液外，每道晶圓製程均需超純水清洗生產過程中的不純物。

所謂超純水，代表在一連串的淨化及純化流程後，已經去除了水中絕大部分的物質，幾乎僅剩下「H<sub>2</sub>O」的氫離子（H<sup>+</sup>）和氫氧根離子（OH<sup>-</sup>）。總體的潔淨度可以水阻值（Resistivity）做為綜合指標，18.2 MΩ·cm（在 25°C）是達到的潔淨程度，其它各項水中不純物濃度達到極低的規格要求，常以十億分之一（ppb, 10<sup>-9</sup>）為單位。

表 2 高科技半導體廠超純水需求規格（65nm）<sup>[4]</sup>

Parameter	TOC	Particle	DO	Resistivity	SiO <sub>2</sub>
Value	< 2	< 0.5	< 10	> 18.2	< 0.5
單位	ppb	pcs/mL	ppb	MΩ · cm	ppb

依此規格高科技半導體廠超純水系統主要分為前處理、中處理與精鍊系統，其中應用了許多化工處理單元，如附圖所示。主要是針對水中懸浮雜質，水中氧化物質，陰、陽離子，有機溶解物質，菌體及溶解氣體等各種成分物質，這些物質即使是微量存在於水中，在半導體的製程中均被視為可能會造成良率缺陷之雜質。

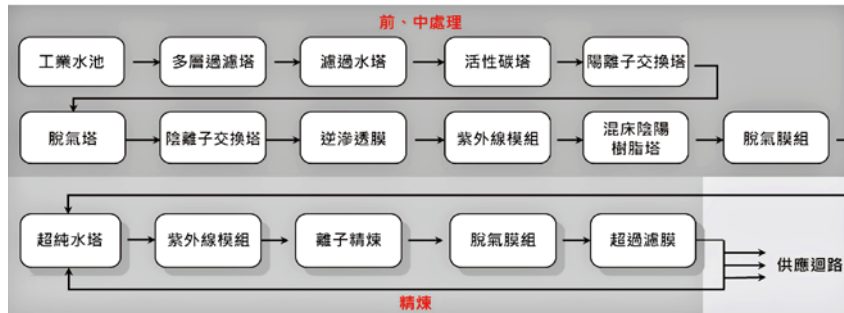
在經歷上述處理單元後，就將原本導電度約 350 uS/cm 的水質純化至可說是幾乎不導電的水，其電阻值在 25°C 條件下達 18.2 MΩ·cm。超純水可說是提供半導體製程反應及潔淨目的不可或缺的媒介<sup>[5]</sup>。

### 化學品

晶圓製程步驟包含微影成像（Lithography）、爐管擴散（Diffusion）、離子植入（Implant）、化學氣相沉積（CVD）、物理氣相沉積（PVD）、蝕刻（Etch）、化學機械研磨（CMP）等數百道程序，其中除了一般所謂的乾式製程，包括爐管擴散、離子植入、化學氣相沉積、物理氣相沉積及乾式蝕刻，其主要所使用的是氣態化學反應物，而微影成像、濕式蝕刻、化學機械研磨及其他負責清洗功能的程序，就須使用液態化學品。其中以硫酸、氫氟酸、鹽酸、磷酸、氨水、雙氧水、顯影劑、稀釋劑及異丙醇等常見化學品為主要應用材料。而這些液態化學品在不同的步驟中提供不同的製程目的，包括光學顯影、去除特定物質、金屬離子、有機物、微粒子等雜質，藉此達成製程需求及清潔的目的。

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O（SPM）常用於去除有機汙染物
- HF 當作二氧化矽蝕刻製程的蝕刻劑去除晶片表面金屬汙染物
- NH<sub>4</sub>OH/HF/H<sub>2</sub>O 緩衝溶液來蝕刻二氧化矽層
- NH<sub>4</sub>OH/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O（APM）去除微粒子與有機汙染物
- HCL/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O（HPM）去除晶圓表面的金屬汙染物
- Developer 光阻顯影液，提供各種正負光阻之顯影液
- Thinner 光阻稀釋劑，讓光阻液於晶片表面達到最佳之均勻塗佈
- IPA 去除晶圓表面水份



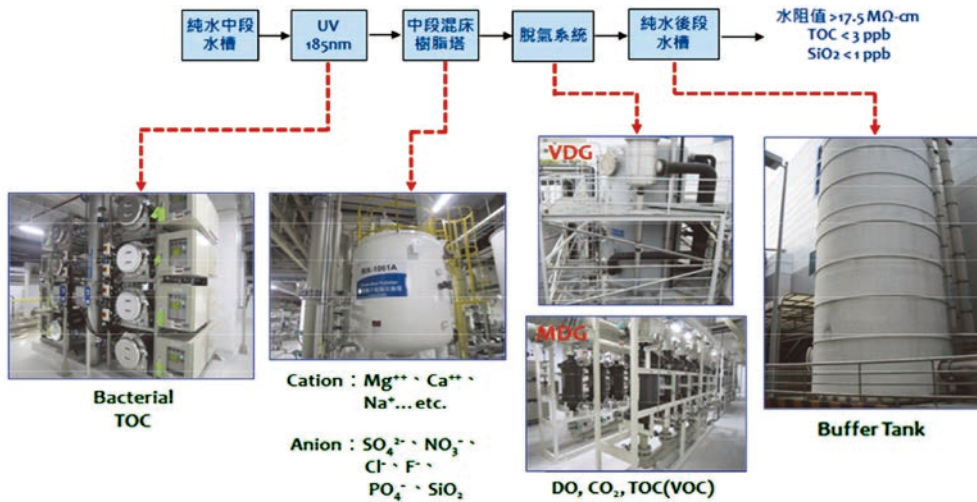


高科技半導體廠超純水系統

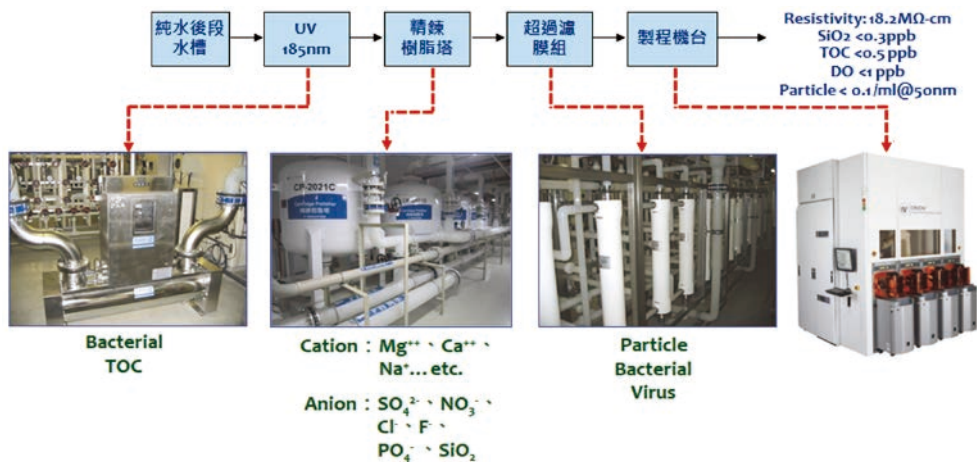
前處理單元



中處理單元



精煉單元



高科技半導體廠超純水系統設備

## 水資源及化學品之循環再利用

台灣在發展高科技產業的過程中，科學園區對於如何節約用水及提高水的再利用率，多年來一直有明確的規範要求進駐園區的廠商必須承諾做到 85% 的製程水回收率及不得高於自來水用量 70% 的排放率。藉此也就讓台灣半導體產業在水資源回收再利用的績效遠高於全世界其他的半導體產業。伴隨著水資源有效的被循環再利用的架構下，同時也逐步的擴展到部分化學物質能夠被分離、萃取及提煉出來循環再利用。

近 20 年來，隨著環保技術的持續開發及環境友善的意識覺醒，更多的處理單元技術被應用到半導體產業的廢水處理設施中。以下圖為例，為達到有效的回收再利用，首先重要的是須做好全面性妥善分流，再依各類液體組成，設置量身訂做的污染處理或資源回收的設施。廢水及廢化學品的分類由最早期的 5 類一直增加到目前的 38 類。也就因為在源頭上能夠被有效的分門別類收集

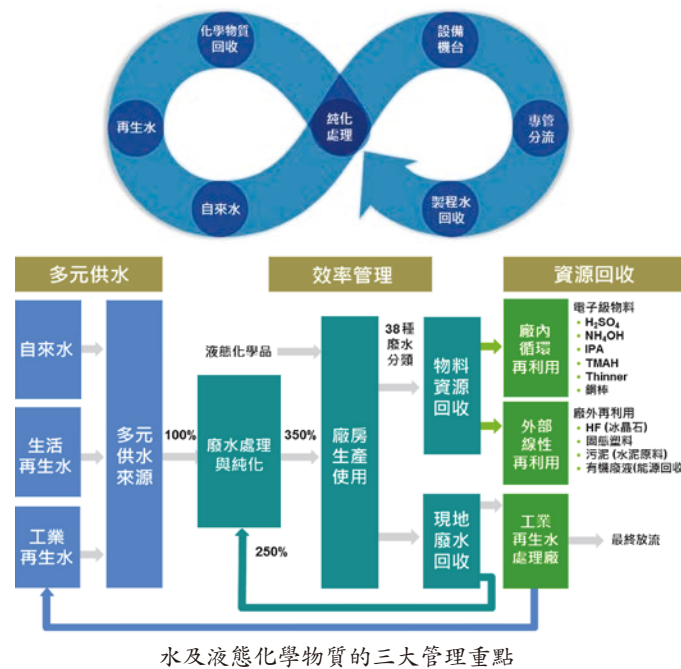
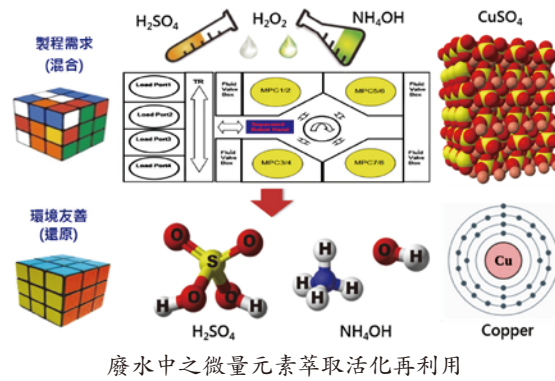
後，接著就相對容易地針對水資源或化學物質找出最低成本的有效處理單元予以處理及循環回收再利用。這些處理單元技術包括活性碳吸附、離子交換樹脂、逆滲透分離、紫外線氧化、薄膜氣相分離技術、觸媒反應、電化學萃取、生物分解等。這些技術是我們熟悉的生產超純水的用途，但現在也被廣泛的用於處理液體資源活化。

透過多元廣泛的回收系統的建立，除了實現 85% 的製程水回收率，250% 的水再利用率，也就是讓每一滴水資源進入半導體廠房中至少能夠被使用 3.5 次。而對於化學物質，除了以往將使用過的高濃度化學物質獨立收集交由其他產業的降階再利用外，現在也致力於朝向進一步處理純化及將廢水中微量化學元素予以萃取出來活化再利用。期望通過加值將廢液轉化為更高價值的物料，然後期望這些物料最終達到「搖籃到搖籃」的環境友善之境界。

除此之外，面對著氣候變遷的挑戰，導致台灣整年雨量集中的強降雨趨勢，台灣先天地形對雨水儲留能力



廢水處理中的處理單元技術



不足，因而當面對較長 4~6 個月的枯水期時，就造成水庫水位入不敷出，供水可能短缺的壓力。自 2017 年響應政府多元供水的政策，針對來自城市生活廢水及科學園區的工業廢水，如何能夠予以淨化到自來水等級的技術進行開發研究，以便能夠將這類的回收水導入到對潔淨度要求最高的半導體廠房中活化再利用，使我們有能力利用更多樣化的水資源，以應對氣候變遷所造成的暫時性缺水風險。

綜合以上所述，針對水及液態化學物質的整體策略可以用下圖予以呈現三大管理重點，創造多元供水的條件降低水資源短缺的衝擊、增加水回收率強化用水效率及擴大自液態廢棄物中提煉回收化學品資源。藉由這樣整體策略的努力，以創造一個可以無限循環的用水模式。

### 結論

台灣自 70 年代，在當時行政院長孫運璿的主持下，開啟了半導體產業發展，於 1980 年成立科學

園區。於 1982 年開始推行的「超大型積體電路發展計畫」(VLSI 計畫)，時至今日，根據工研院 IEK Consulting 預估，2019 年台灣的 IC 產業的產值將可達到新台幣 26,214 億元，其中 IC 製造產業方面產值高達 14,547 億元。本文的分享期盼在致力於發展科技和經濟的同時，能夠持續透過回收技術的開發，產業間對於環境友善作為的分享交流，擴大回收利用，減少資源的浪費，建立綠色製造的標準，共同朝向實現「搖籃到搖籃」的精神。

### 參考資料

1. Moore, Gordon. "Progress in Digital Integrated Electronics" IEEE, IEDM Tech Digest (1975) pp.11-13.
2. "The 50 Greatest Breakthroughs Since the Wheel", The Atlantic (November, 2013).
3. Hong Xiao, "Chapter 2 Introduction of IC Fabrication", WWW2.austin.tx.us/HongXiao/Book.htm.
4. SEMI F63 - Guide for Ultrapure Water Used in Semiconductor Processing.
5. SEMI F61 - Guide to Design and Operation of a Semiconductor Ultrapure Water System.



# 高科技半導體廠之機電設計概論

李若瑟 / 漢唐集成股份有限公司 設計處 技術長

高科技半導體廠之機電系統一般也稱為 MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) 系統。半導體廠與生產直接相關的系統有無塵室 (Cleanroom)；純水、氣體與化學 (Process Critical)；製程冷凝水、製程排氣、製程真空等 (Process Support)。除此之外，都歸於機電 (MEP) 系統內。機電系統主要含電力系統、冰水系統、溫水系統、一般空調系統、消防系統、給水系統等。

## 電力系統

最新半導體廠之用電量都大於 200 MW，它是一個很大的用量，接近台電公司單台火力燃煤發電機四分之一的發電量。依台灣電力公司的供電規則，供電電壓為 161 KV。半導體廠都設於台灣北、中、南三個科學園區內。設在科學園區內解決了用電大戶申請用電的難題，因為科學園區可即時供電，並提供可靠之供電品質。它的電源來自二處超高變電所，並互聯形成

環路供電；當環路任何一點故障，故障點可立即跳脫隔離，並由另一健全的回路供電，如圖 1 所示。

半導體廠之電力系統可參考圖 2。電力公司受電電壓為 161 KV，先降壓至 22.8 KV，再降壓至使用電壓 4.16 KV、480 V、208 V、277 V 與 120 V。

台電公司定義其供電可靠度為「可用度」(Availability)，但半導體生產製程機台 (Process Tools) 只允許瞬間電壓降或中斷，其要求之供電品質，由 SEMI (國際半導體產業協會) 訂定，如圖 3 所示。

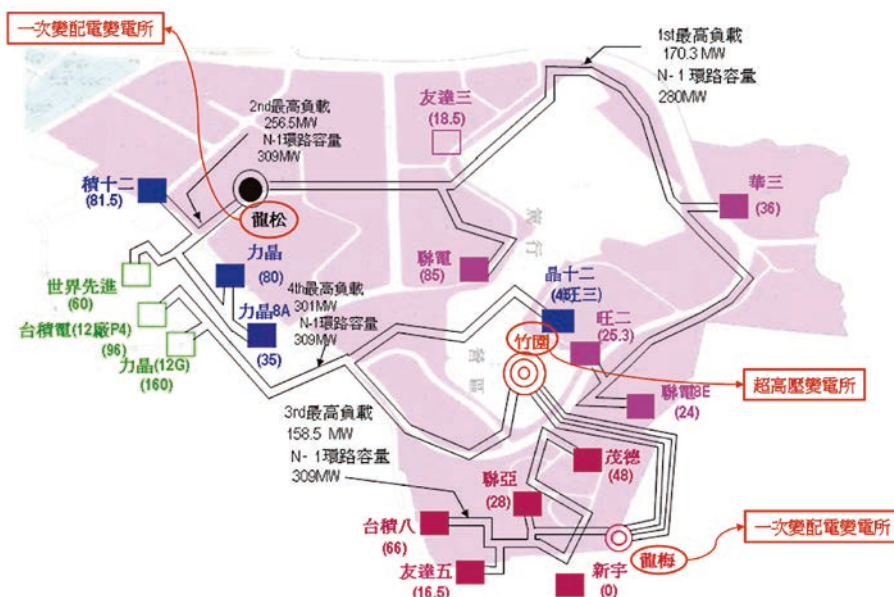
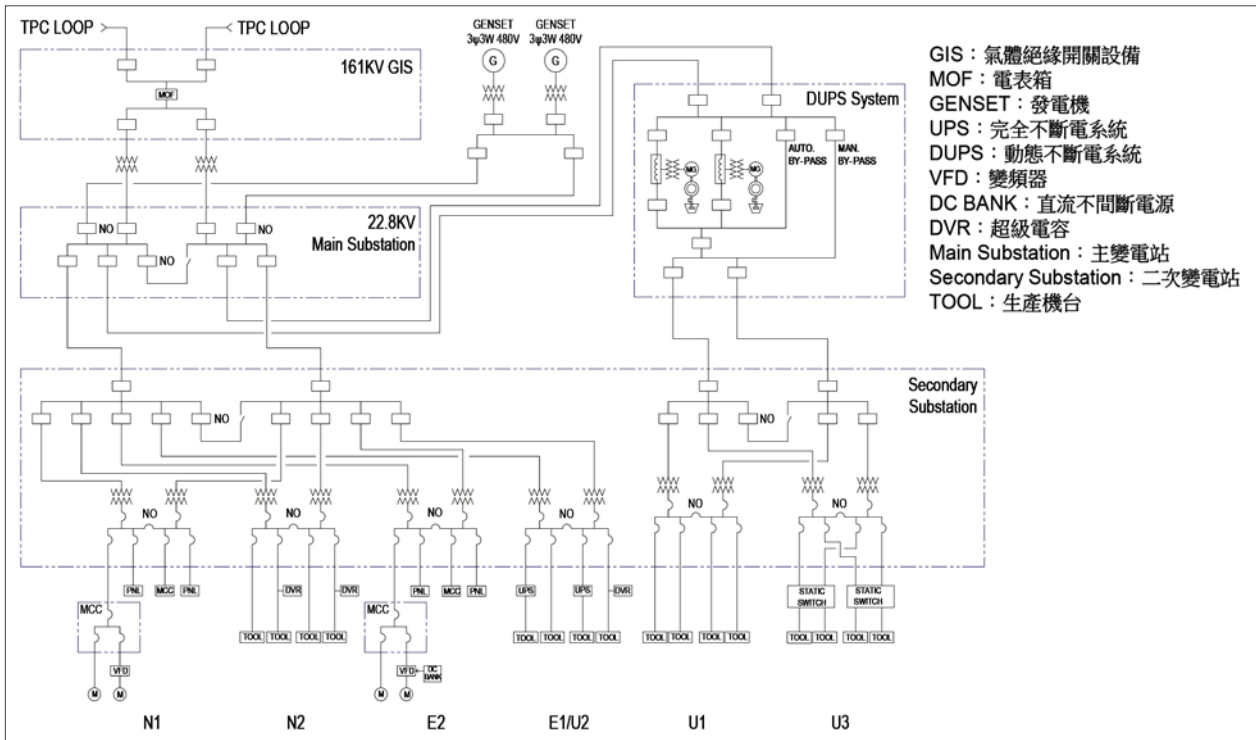


圖 1 新竹科學園區 161 KV 環路供電規劃



- GIS：氣體絕緣開關設備
- MOF：電表箱
- GENSET：發電機
- UPS：完全不斷電系統
- DUPS：動態不斷電系統
- VFD：變頻器
- DC BANK：直流不間斷電源
- DVR：超級電容
- Main Substation：主變電站
- Secondary Substation：二次變電站
- TOOL：生產機台

圖 2 半導體廠電力系統架構圖

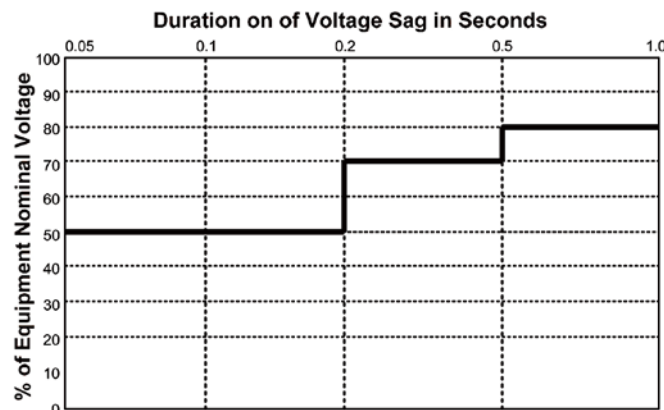


圖 3 SEMI F47 允許電壓降範圍

在曲線上方區域為生產機台可容忍電壓瞬間壓降之範圍：壓降至 50% 為 0.2 秒，壓降至 70% 為 0.5 秒，而壓降至 80% 時間長可延至 1 秒。SEMI F47 同時也建議電壓降至 0% 之時間長為 1 週期 (1 cycle)；而電壓降至 90%，機台可連續正常運轉 (normal operation)。

依此允許範圍及台電之供電品質，一年將有超過 6 次以上之機會製程機台將受到瞬間電壓降 (通常為 3 ~ 10 週期) 之影響，故製程機台及輔助機台須依賴安全不斷電系統 (UPS)。隨著製程發展至次 10 奈米，製程機台對完全不斷電之需求已趨近百分之百。完全不斷電設備包含動態不斷電系統 (DUPS)、靜態不斷電系

統及超級電容等。重要廠務設施除了由完全不斷電系統供電，如果馬達已經配置變頻器 (VFD) 也可加設 DC Bank (直流不間斷電源)，達到與不斷電系統相同的效果。

緊急電力系統主要包括多台緊急發電機並聯運轉。與完全不斷電系統不同，當台電供電中斷至發電機正常運轉和並聯輸出，將有約 30 秒之電力中斷時間。緊急電力主要供應法規要求之消防設備、生命安全系統；也支援靜態不斷電系統、DC Bank 等的電池供電時間。

電力系統架構設計須達到最高可靠度要求，它具有下列特色：

- (1) 系統主動容量設備 (Active Capacity Components) 須有 N + 1 之設計。
- (2) 配電路徑 (Distribution Path) 必須一主動一備份或二主動。
- (3) 儘可能達到「不停電維修」(Concurrently maintenance) 之目標。
- (4) 實質隔離 (Compartmentalization)。

如以圖 2 之架構為例，簡單說明如何達到上述之原則：

- (1) 自台電 161 KV 以下，22.8 KV 配電和變電，都是雙回路供電。
- (2) 系統主動容量設備如變壓器、發電機、動態不斷電設備都是 N + 1 之設計。
- (3) 雙回路供電之間，加上連絡斷路器 (Tie Breaker)，連接雙回路；當任一回路故障或中斷供電，另一健全回路可經由連絡斷路器，供應百分之百之電力。
- (4) 雖然圖中並未顯示，雙回路上之主設備儘可能地安裝於不同之變電室內，並以防火牆分隔。

## 冰水系統

半導體工廠之冰水系統與一般商業辦公大樓之冰水系統看似相同，但有下列很大的差異：

### 容量

最新半導體廠冰水系統的總容量大於 8 萬冷凍噸，

如果與台北 101 超高大樓 (包括塔樓與裙樓) 6 仟冷凍噸比較，大小差異很大。

### 用途

冰水系統用於無塵室環境之溫濕度控制，各輔助機房與機電機房之溫度或濕度控制，與半導體製程機台 (Tools) 之冷卻用等。

### 可靠度與穩定

冰水系統控制無塵室之溫濕度，並供應半導體製程機台之冷卻水，所以冰水系統必須絕對地可靠與穩定：沒有計劃外的停機時間 (No Unscheduled Downtime) 與沒有瞬間流量與壓力的變動 (控制於規格內)。

### 效率

詳見下節「冰水系統之節能設計」。

目前半導體廠之冰水系統幾乎都選擇 5°C 與 12°C 二種冰水水溫；5°C 低溫冰水主要用於無塵室的濕度控制用，而 12°C 中溫冰水則用於無塵室以及各房間之溫度控制。選擇 12°C 是考量無塵室之露點溫度為 9°C，所以 12°C 的冰水可控制無塵室溫度但無除濕效果 (因為 12°C 高於 9°C)，並不影響無塵室之濕度控制，也不產生冷凝水，所以也稱為乾冷卻 (Dry Cooling)。5°C 與 12°C 冰水系統之流程圖參考圖 4。另外，選擇 12°C 的另一原因是：12°C 冰水主機的運轉效率比 5°C 冰水主機高。

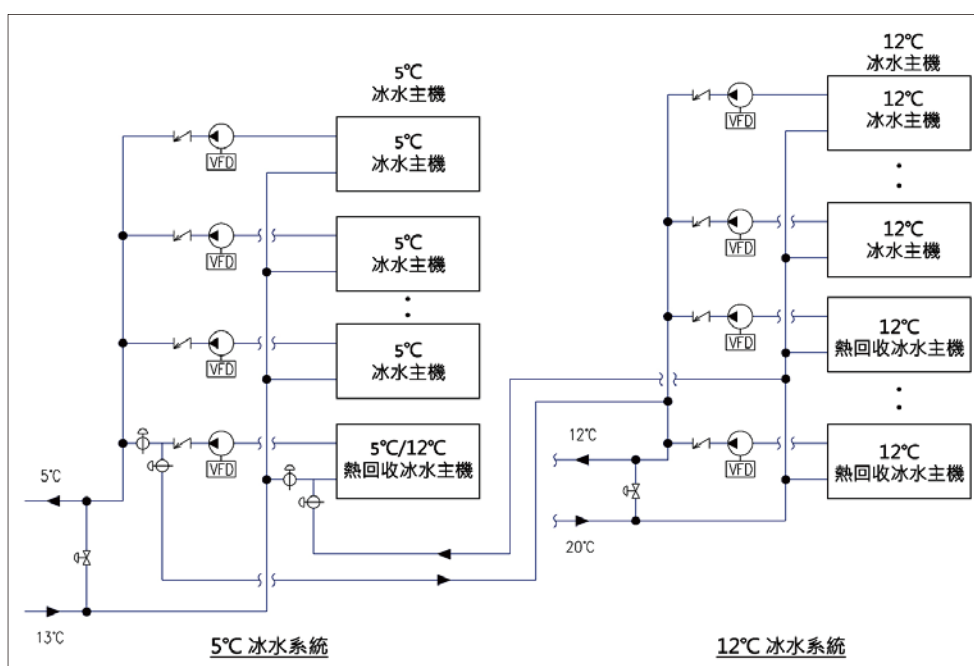


圖 4 5°C 與 12°C 冰水系統流程圖

## 冰水系統之節能設計

半導體廠之冰水系統容量是各種工業、商業與辦公建築中最大的規模，所以節能是冰水系統設計的最重要考量之一，與穩定的供應冰水同樣重要。

### 系統設計

- (1) 一次變流量冰水系統 (Variable Primary Flow)。
- (2) 全變頻：冰水主機 (選項)、冰水泵、冷卻水塔、冷卻水塔。

- (3) 降低管路摩擦損失。

### 設備選擇

- (1) 高效率離心式冰水主機、變頻泵浦。
- (2) 加大冷卻水塔規格，以降低冷卻水塔之「趨近溫度」(Approach)。

### 操作程序

藉大數據 (Big Data) 技術，達到運轉最佳化。

### 效率

平均全年冰水系統效率達到 0.55 kw/Ton 或更佳。

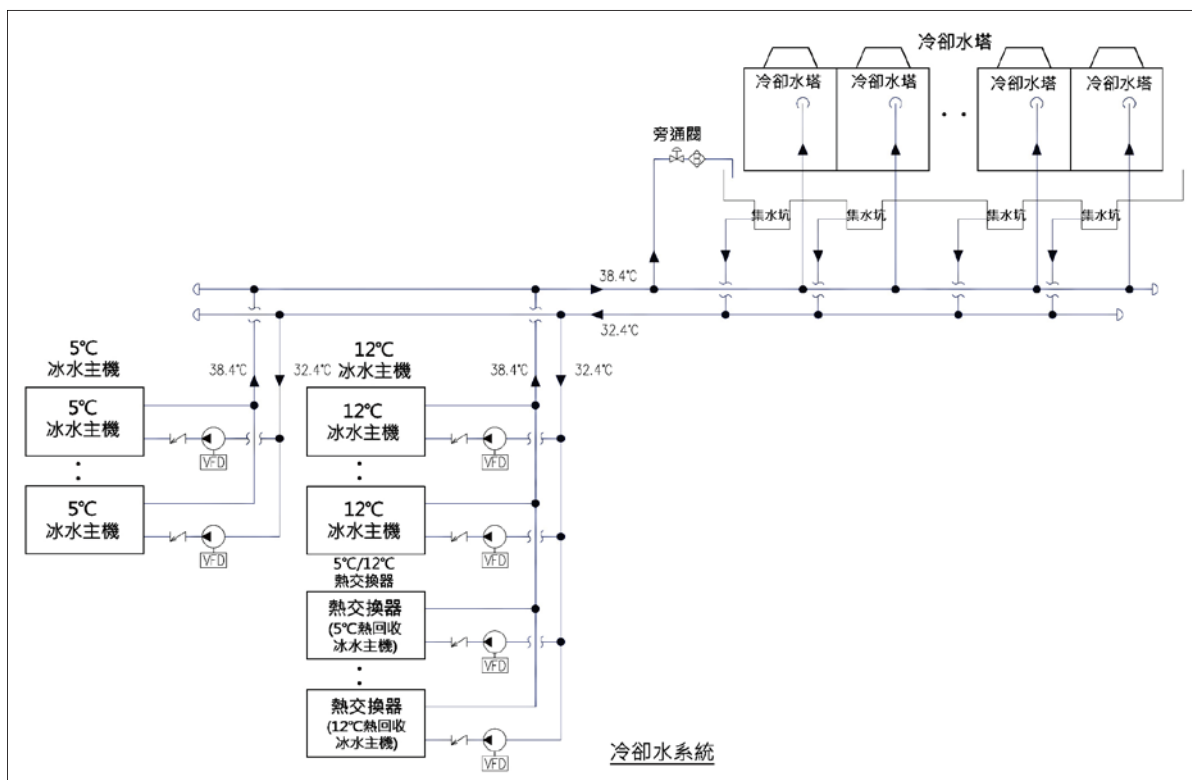


圖 5 冷卻水流程圖

## 溫水系統

溫水系統主要作為無塵室外氣空調箱再熱所需之熱源與冬天加濕時所需之熱源。

非常幸運地，台灣的冬天並不寒冷（外氣溫度不低於 0°C），所以溫水溫度 35°C ~ 38°C 已足夠。35°C ~ 38°C 熱源可回收自冰水系統與空壓機之廢熱（否則這些廢熱須經冷卻水塔排出室外至大氣）。如果在寒冷地區，則需要加裝 90°C 的熱水鍋爐以提高溫水溫度。

## 一般空調系統

雖然名為一般空調，但與商業或辦公大樓之空調不同。半導體廠房間用途很複雜：危險物品儲存、氣體與化學品供應、各種機械室與電氣室、附屬生產層 (Subfab) 等。

一般空調是屬於空調系統之風側 (Airside) 部份。「風」經由外氣空調箱 (Makeup Air Handling Unit)、空調箱 (Air Handling Unit)、小型送風機 (Fan Coil Unit)、箱型空調箱 (Packaged Air Handling Unit)、風車 (Fan) 等處理後，送至室內以控制房間之清潔度、溫度、濕度及室內壓力等。

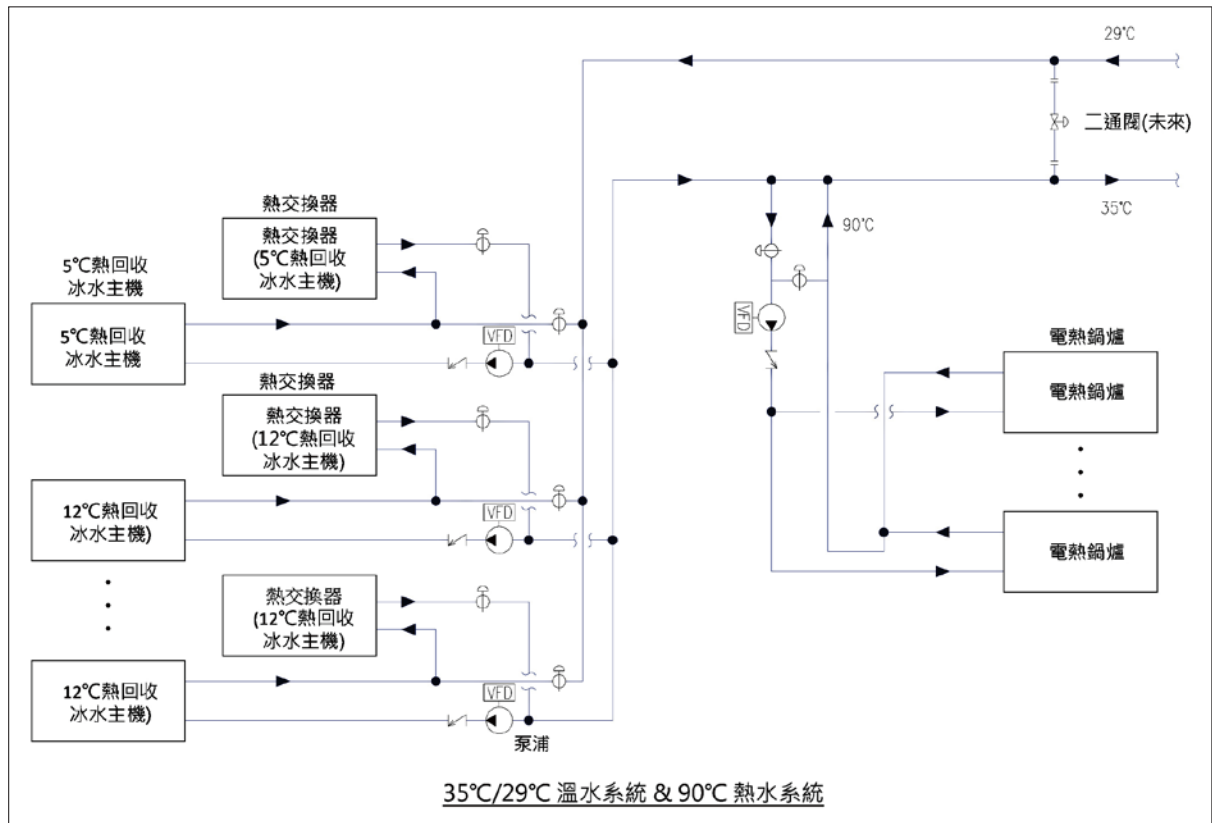


圖 6 溫水系統流程圖

空氣處理包括空氣過濾、加熱、加濕、冷卻、除濕等。一般空調設計看似容易，卻一點也不簡單，因為必須充分了解各房間的用途與需求，也必須了解法規的相關規定。此外，一般空調設計除了滿足功能要求，同樣也要求節能考量。

## 消防系統

消防系統分為：滅火系統（Fire Protection System）、警報系統（Fire Detection System）、避難逃生設備、排煙系統等。

滅火系統包括自動撒水、滅火器及室內/外消防栓、水霧滅火及細水霧、泡沫滅火、二氧化碳及清淨藥劑、乾粉及簡易自動滅火等。

警報系統包括火警自動警報與瓦斯漏氣火警自動警報。

避難逃生設備包括標示設備、避難器具、緊急照明設備等。

半導體廠消防系統設計之特點：

(1) 消防設計之初，須與業主及保險公司確認依據之國

內/外法規與標準。一般情況，保險公司會要求依據 NFPA, FM 等相關之國外標準。

(2) 消防系統是風險管理之一部分。

(3) 半導體廠使用與儲存許多危險性化學品，所以消防系統設計必須依各種化學品之性質，並依據 NFPA 或 FM 之相關標準設計：例如親水性化學品採用乾粉自動滅火系統滅火，有機溶劑類化學品採用泡沫滅火系統。

(4) 撒水系統是最主要的滅火系統，必須依 NFPA 13 設計。消防泵浦為 2,500 GPM，消防蓄水池需 1,000 M<sup>3</sup> 以上。

(5) 消防系統必須結合被動防火系統（Passive Fire Protection System），包括防火區劃、防火填塞，與防爆設計等。

火災所造成的煙害對半導體製程設備與環境是致命的損害。雖然半導體廠依據國內「潔淨區消防安全設備設置要點」，可免設排煙設備，但半導體廠對火災與煙害的防止採取更有效的策略：要求建材、設備、管路、導線的不燃性、不延燒性與低煙/無毒等。



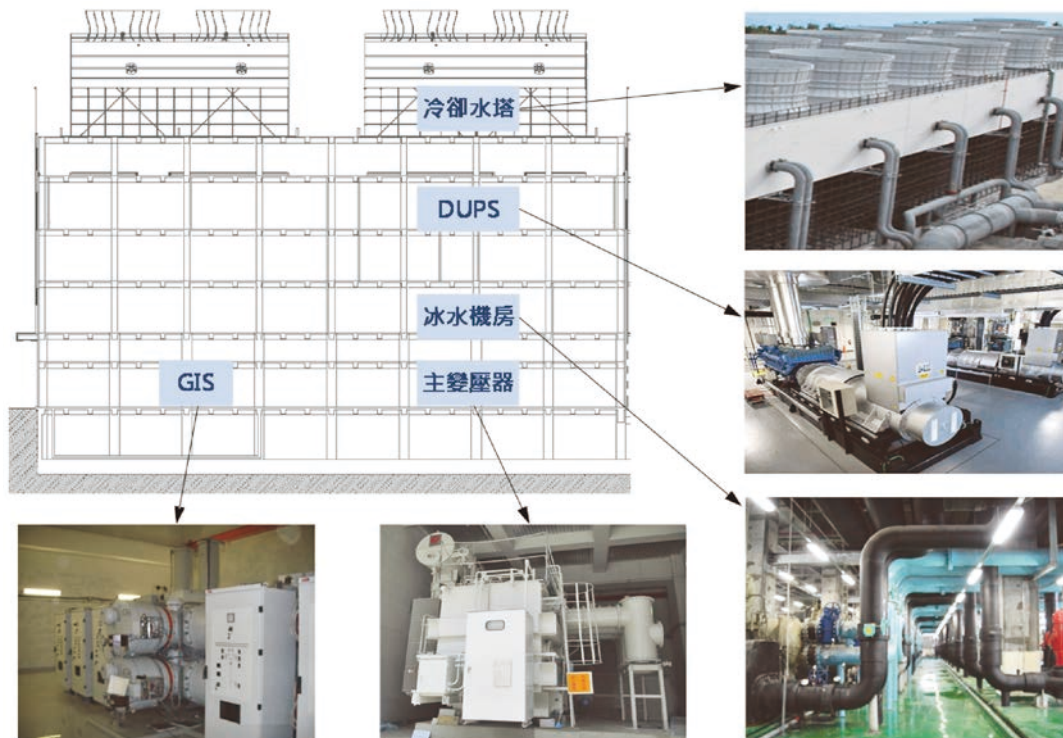


圖 7 中央公用建築 (CUB)

## 給水系統

半導體製程使用大量的超純水與自來水，雖然已儘可能地回收再用，但仍需補充大量的自來水；此外，冰水系統之冷卻水塔也需大量的補水。最新半導體廠每日需消耗 18,000 噸以上之自來水，如果考慮儲水 36 小時，則需 13,500 m<sup>2</sup> 二個蓄水池。

## 耐震設計

台灣是地震頻繁的地區。雖然我們無法避免地震發生當下對半導體生產所造成的影響，但必須防止地震對廠房與設施造成任何之損害，各廠務系統之功能也完全不受地震影響。

- (1) 地震力規範主要依據中華民國建築技術規則，但業主可要求更高之地震力係數。
- (2) 機電設施屬於「非結構構材與設備」，須依安裝樓層高度，考慮樓高之放大效應。
- (3) 機電設備與管線之耐震設計，都須經由合格之結構技師核可，並採用 FM 認證之耐震斜撐裝置 (Seismic Bracing Products)。

- (4) 最新半導體廠對機電設施之耐震之要求是：地震（依業主要求之耐震等級）不造成廠務設施任何之損害，也不影響系統的功能。這種要求已與半導體廠建物之耐震要求同一等級。

## 中央公用建築 (Central Utility Building) 簡稱 CUB

半導體生產廠區，除了主要生產廠房 (FAB)，通常都含一棟獨立的 CUB。CUB 主要放置機電系統的主設備，例如冰水主機、冷卻水塔、特高壓變電站、22.8 KV 變電站、發電機及 DUPS 等。此外，也可能包含空壓機、廢水處理系統等。CUB 及 FAB 二棟建築物分開，主要是避免 CUB 內機電設備產生的震動與噪音影響 FAB 之生產。

## 結論

半導體機電設施之特點為複雜、規模大、品質與可靠度之要求高。它就像人體內的一個重要器官，與其它器官一起維繫人的生命。🏡



# 高科技半導體廠 資訊整合與安全

鄭昭平 / 台灣積體電路製造股份有限公司 廠務處 技術經理

近幾年來製造業都在談「智慧製造」或是「工業 4.0」，而在這些名詞背後真正的目的，就是建造一個「智慧工廠」，來提昇生產管理的效能，不僅是自動化，還要智能化、最佳化。

數位化、物聯網、大數據、雲端資料庫、到現在的人工智慧都已被視為「智慧工廠」所必要的元素，但真正的關鍵是要把它們整合起來，將分散在工廠各處的資料彙整、做分析，把它們變成有用的資訊，再轉化成知識，這才能幫助效能的全面改善、輔助管理與決策，真正做到所謂的「智慧製造」「智慧工廠」。

而「資訊安全」與「智慧製造」的關係卻又緊密相連，工廠流程越自動化、越智能化，代表數位化的程度就越高，依賴資訊相互傳遞溝通就越頻繁、越緊密，當資安發生問題時，對工廠的影響就越大、越嚴重。資安做不好、做不到位，智慧工廠就完全失去了保護。隨著數位化時代的來臨，萬物皆聯網，資安就更顯得重要；只要有一次的網路駭客入侵成功，智慧工廠所帶來的效益將瞬間化為烏有。

## 工廠資訊整合

過去傳統工廠，功能系統大都各自獨立運作，系統間鮮少彼此有太多的整合。一旦需要合作，就只能透過各系統產出的報告，或額外由自各系統產出數據，以滿足系統間資訊交換或分享的需求。需要資訊的人可能連自己都無法確實掌握所需要的完整資訊，更別說要藉由分享彼此資訊來解決問題。

好比打籃球，有了教練、小前鋒、大前鋒、中鋒、控球與得分後衛就能形成一個籃球隊參加比賽；但若想要贏球、成為好球隊，每個隊員都必須先把自己的角色做好，同時還要能與隊友培養好的默契、有共同目標、相互合作，這很重要。同理，一個半導體廠能產出好的積體電路（IC, Integrated Circuit），是需要許多單位共同努力與合作才能做到；其中包含了廠務單位、機台設備單位、生產製造單位、品管單位、研發單位…等等，每個單位都扮演很重要的腳色，環環相扣，缺一不可。

一個工廠能夠運作有很多工作要做，這些工作執行必須靠不同的系統輔助來達成，透過網路將他們

連結起來，讓這些活動資訊可視化、透明可見，有智慧、有效率來管理工廠一切大小事，並建立系統化的管理運作模式。

## 高科技半導體廠房設施

高科技半導體廠廠務的最主要任務是提供工廠製造所需的生產環境（無塵室），以及水、電、空調、氣體與化學品的穩定供應，並確保品質、可靠度與安全性；而生產製造所產生的廢氣、廢水，必須經過嚴格的處理，確認對環境無汙染才能排放，並盡最大能力使其回收再利用（圖 1）。廠務系統包含電力系統、機械系統、水處理系統、氣體化學系統、儀控系統與消防安全系統，這些系統要能相互配合，才能確保穩定運轉，有了廠務的穩定，工廠的製造就能順利產出。這些系統必需相互合作，所有的資訊必須整合起來，目的就是要能全面掌握資訊、讓不同平台相互支援，達到效益最佳化。把各種自動化機器、設備與管理系統都串起來，再與工廠生產製造資訊做進一步整合，將資訊活化。



圖 1 廠務系統總覽

廠務建置一套能強化運作及管理的系統資訊整合平台是必需，也是智慧廠務 (Smart Facility) 是否能成功的關鍵。自動化控制時代，廠務監控系統 (FMCS, Facility Monitoring and Control System) 是廠務的核心，它肩負廠務第一線的防護，做各系統運轉狀態的即時監控 (圖 2 和圖 3)；但進入智能化控制時代，它需要更強大的資料整合與分析能力來創造更有效的管

理價值，進一步提升廠務運轉品質及人員工作效率。廠務運作每天都有不同的系統在管控與紀錄，如晨夕會值班交接、系統運轉與警報監視、品質與工程檢視及設備維修保養作業... 等工作，在這樣繁雜但有規律的運作中，要快速有效檢視這些資訊並找出問題，需要透過資料整合與分析，讓廠務運作與管控變得更精確、且容易。

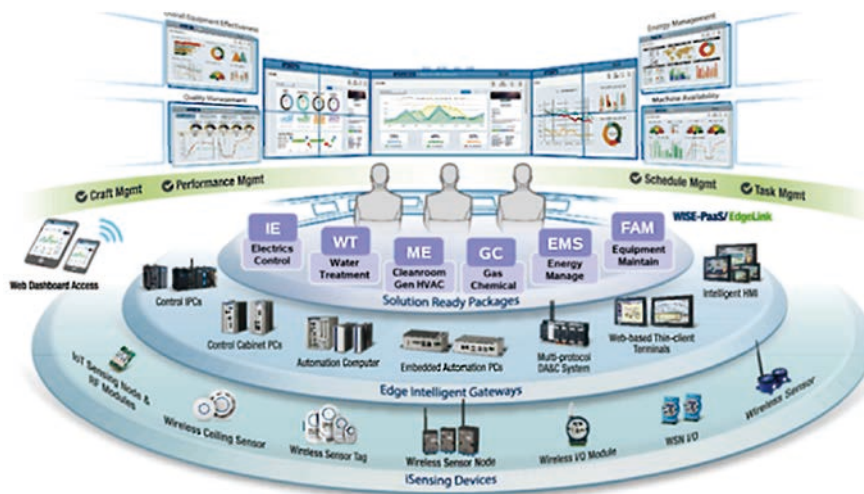


圖 2 FMCS 中央整合監控



圖 3 廠務 FMCS 監控中心

### 資訊整合實現

首先，蒐集來的資料必須要儲存在一個好的系統平台才能長治久安，這個 OneFAC 平台必需是符合高可靠性 (HA, High Availability) 軟硬體架構，並且要有支援故障備援的能力 (圖 4)。

平台應用軟體之設計與功能開發，必需滿足下列需求 (圖 5)，整合之有效性才能真正被落實在實務的運作與管理上 (圖 6)。

- 介面統一：讓各單位的操作、資訊呈現，乃至溝通語言皆一致，資訊分享及溝通合作就會有效率。

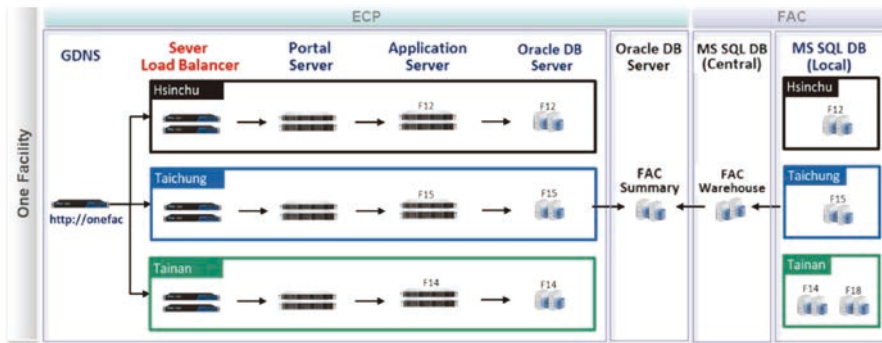


圖 4 廠務 HA 高可靠度系統平台架構

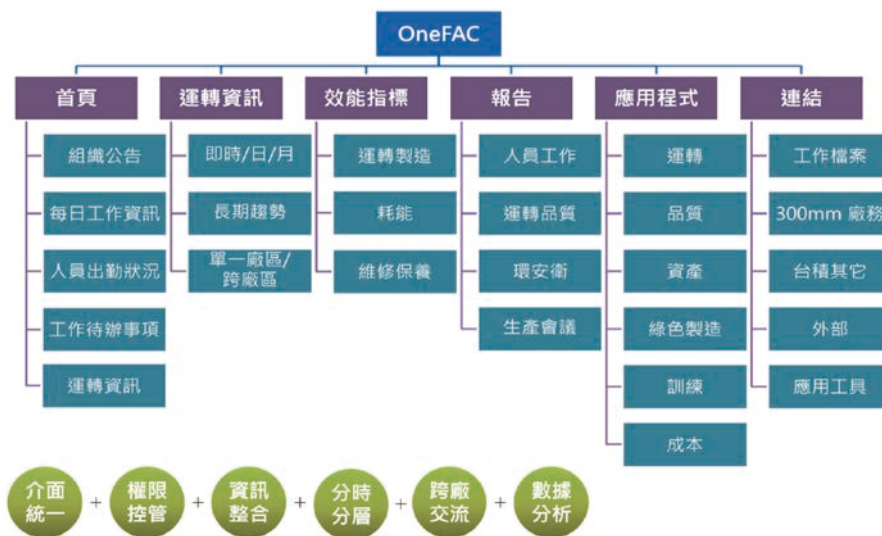


圖 5 廠務 OneFAC 平台功能需求

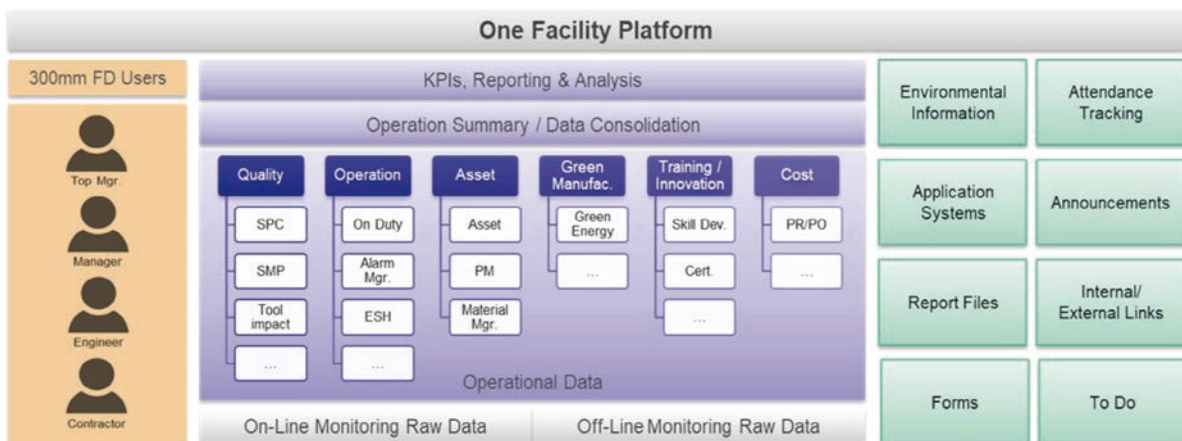


圖 6 廠務 OneFAC 資訊整合

- 權限控管：依人員職級、單位與工作屬性來定義不同權限，依角色不同提供其所需資訊（可加速所需之資訊查找），並能落實 Need to Know 原則。
- 分時分層：依操作目的不同，提供不同時間分隔（即時/日/週/月/年）之統計數據，協助即時或長期檢視運轉效能。
- 資訊整合：橫向整合廠務端系統、提供工作所需之廠務系統運作與管理資訊；縱向與工廠製造及設備端資訊連結，協助生產上下游異常原因之快速查找與分析。
- 跨廠交流：讓各廠區廠務的運轉資訊可以流通，促成資訊及經驗共享，發生的大小事即時得知，自我省視並適時給予跨廠支援。
- 數據分析：長時間、多面向進行資料分析與呈現，協助問題的解決及管理決策，並透過關鍵效能指標（KPI, Key Performance Indicators）檢視運轉效能及成果。

台積電廠務資訊整合平台（OneFAC Information Integrated Platform）將竹科、中科、南科各廠務資訊統整起來，提供了以下的資訊與成果：

- 組織公告及個人每日待辦資訊：掌握組織發生的大小事及以個人為單位各別提醒一天預計執行的工作與計畫。
- 各課每日工作及晨夕會值班交接資訊：掌握各課每

日工作項目與執行狀況，如人員出勤、值班、工程風險與施作及設備維修保養等（圖7）。

- 運轉品質資訊：提供即時、每日、每週、每月包含生產、品質及環安衛相關運作資訊成果進行檢視，並自動警示異常以及時發現問題與改善的機會點。
- 跨廠資訊：除自己廠，亦可檢視跨廠區資訊，涵蓋製程警報、設備妥善率等重要資訊，除了與它廠比對成果外，亦快速獲取它廠發生的大小事，藉以自我省視或適時給予它廠協助（圖8）。
- 成果報告：主管週月報、各廠運轉品質與環安衛報告等，有助於資訊分享、互相學習、與聚焦團隊之共識。
- 數據統計分析資訊：長時間累計的數據，透過視覺化操作，從不同面向檢視短中長期趨勢，亦可聚焦於細部資料，定期檢視關鍵效能指標，從提供的數據比對分析，協助管理決策。
- 內外部連結資訊：將不同功能用途之應用系統、工作檔案與連結進行分類，如運轉、品質、資產、成本、訓練學習等，提升資訊查找的效率及避免重工。

### 資訊安全的重要

近幾年工廠遭駭客入侵的案例逐年增加，小從資料竊取，大到癱瘓工廠運作造成嚴重損失，2018年的台積電 Wannacry 病毒入侵事件就是一例。

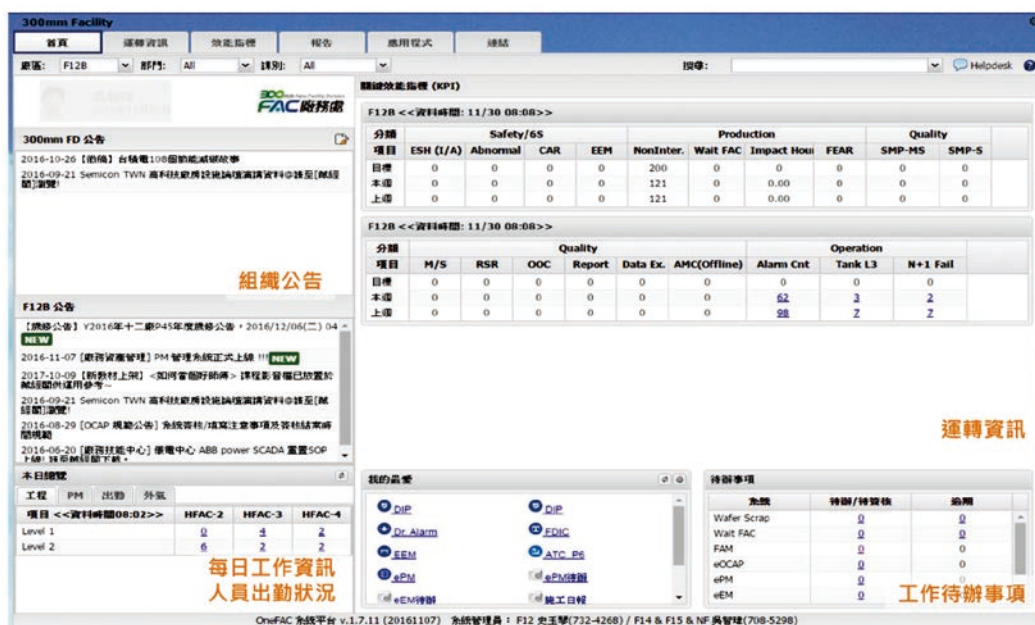


圖 7 組織個人專屬每日工作資訊



圖 8 廠務跨廠運轉資訊整合

高科技半導體廠對資安的要求遠超過一般傳統製造工廠，原因無他，因為高度自動化與智慧化所使然；當然資安問題造成半導體廠的損失也遠大於傳統工廠。企業中結合了 IT (Information Technology) 與 OT (Operating Technology) 兩大系統，讓製造系統的資訊可被最大化應用；而其中的廠務系統設備大量使用在工業生產製造 OT 系統，而絕大部分的工業控制系統設計之初不會將資訊安全 (Security) 納入考量，安全 (Safety) 及可用性 (Availability) 才是第一要務，因此工控在此操作環境下的資安體質天生就較脆弱，不像在一般商業應用資訊環境 IT 系統，對資安保護與應用已相對完整與成熟。但無論是 IT 還是 OT，如何達到更有效的資安防護都是現今最重要的議題之一 (圖 9)。

### 資訊安全防護

要做好資安工作，必須從自我風險評估開始做起，重新檢視自己的資安體質，才能明瞭自己的弱點與可能受到的威脅。接下來再依據風險高低與成本花費，規劃出合適的資安防護策略與藍圖，這包含制度與程序的建立；像是定義資安團隊、組織人員權責 (R&R, Role and Responsibility)、資安標準作業程序、異常應變處理程序...等，將制度與方案整合並融入工廠日常運作，定期檢視，同樣使其成為系統化的運作

模式，如此才可以達到事前預防、事發應變處置與事後檢討的有效資安防護。

一般在工廠病毒入侵攻擊，常見以下幾種方式：

- 從任一有資安漏洞之裝置入侵 (USB、CD Drive 等)
- 植入惡意程式 (勒索病毒、木馬程式等)
- 阻斷作業系統或應用軟體之服務 (殭屍網路 Botnet)
- 透過通信管道進行惡意程式植入 (無安全性的通訊協定)

美國國土安全部 (DHS) 早在 2015 年就針對美國本土所發生之駭客入侵事件對工控資安提出七大防護策略 (圖 10)，包含建置防火牆、導入應用程式白名單、正確的組態設定與防毒軟體安裝、關閉未使用的通訊埠與服務、建立可防禦網路架構環境、強化權限密碼認證管控、持續監控及資安應變、強化安全遠端存取機制，而歐盟網路與資訊安全局 (ENISA) 在今年 (2019) 也發佈工業 4.0 資訊安全的挑戰與建議，包含了資安意識普遍不足且缺乏資安專家、公司資安策略不完整與投資的意願不高 (投資資安無法明確獲得帳面上的利益)、現行工控資安技術標準及規範都不足且無整體性規範、無法整合舊有系統設備的技術與困難等問題有待克服。我們期望未來能發展更完整的資安防護規範，並落實防禦機制，來有效防止駭客的入侵，減少低資安問題的發生。

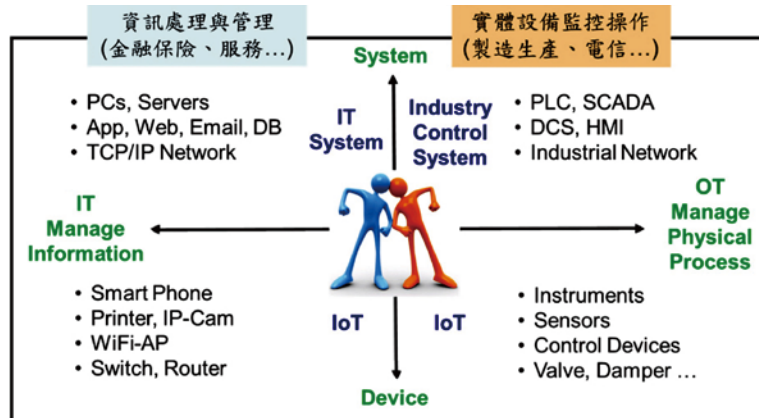


圖 9 IT & OT 資安範疇

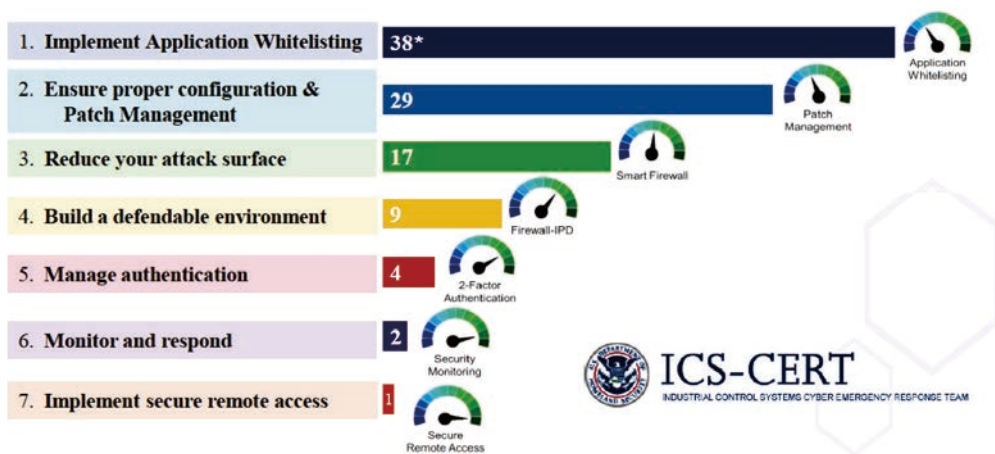


圖 10 工控資安七大防護策略 (ICS-CERT)

## 結論

「智慧製造」與「資訊安全」二者息息相連、對任何高科技廠都非常重要，勢在必行。唯有做好了資安防護，智慧化願景才能踏實來落實。

工廠生產運作要有智慧，先要能整合所有資訊、建立完整的大數據，進而透過進階資料統計分析與人工智慧 (AI, Artificial Intelligence) 演算法技術來活化資料。如此，我們就真正可以做到系統異常自動判別分析、設備機台預知保養甚至準確預測失效發生，並運用巡檢機器人來無時無刻巡視廠房，發現問題、協助工廠運轉與決策管理、提高生產效率，這樣才真的算是「智慧廠務」、「智慧工廠」。

工廠隨著自動化與智慧化的導入會變更聰明，隨之而來的是員工會轉而專注於更高價值的工作。現在不只是系統、設備、資訊要整合起來，接下來人與機器的整合會更多、也更好、更有效，讓工廠營運的價值與獲利同步達到最高。

## 參考文獻

1. Will Wu & Tim Cheng, The Establishment and Development of OneFAC System Platform, tsmc FAC Journal v24, 2016
2. Internet Security Threat Report, Symantec, 2019
3. Seven Steps to Effectively Defend Industrial Control Systems, ICS-CERT,
4. Industry 4.0 Cybersecurity: Challenges & Recommendations, ENISA, 2019



# 高科技半導體廠 結構設計 之關鍵考量

栗正暉 / 群策工程顧問股份有限公司 負責人、結構技師

黃宣諭 / 群策工程顧問股份有限公司 資深工程師、土木技師

台灣高科技製造產業在全世界高科技業供應鏈扮演舉足輕重的角色，舉凡在半導體、面板、記憶體、鏡頭、精密模具...等製造業，台灣都在供應鏈上扮演非常重要的角色。高科技免不了讓人想到電子、電機、機械等專業，初步給人的印象似乎與「土木」這兩個字沒有關聯，其實科技製造業供應鏈需要的專業相當廣泛，幾乎包含大學工學院全部的系所，例如：電子、電機、材料、光電、化工、機械、環工、工業工程與土木工程...等等，高科技電子產品本身或許與土木工程相去較遠，但是製造業一定少不了工廠，在地球上任何一個工廠都必定是一個構造物，構造物裡面裝設有許多生產設備，只要是構造物就一定需要土木工程的专业。

## 半導體廠與一般建築有何差異

半導體廠主要的功能就是生產或是測試半導體晶片，而一般建築都是以人為主要的服務對象，當然半導體晶片最後也是以人為服務對象，但是讓人舒服居住與晶片順利生產，一定有巨大的不同，所以設計並完成建造一座半導體工廠需要非常特殊的專業技術。這些專業技術有些與半導體製程有關，有些與台灣在半導體產業供應鏈的角色有關，有些與台灣特殊的地理地質環境有關，以下將分別介紹這些特殊的專業技術。

## 半導體廠房的結構系統

### 半導體廠的結構系統的特性

#### 廠房平面尺度很大

平面尺度達到 200 m × 200 m 以上，相較於台北市敦化國小的校園尺度約為 110 m × 200 m (包含校舍與操場)，一座半導體廠房幾乎是兩個完整的校園大小。

#### 廠房的高度不高

屋頂高度一般都低於 30 m，通常是地下 2 層與地上 4 層的構造，廠房主要的生產樓面是 3 樓 (樓層代

號是 L30)，單一樓層高度約為 6 ~ 10 公尺之間。

#### 大跨度的鋼構桁架構造

如 (圖 1) 所示 3 樓的空間通常採用大跨度的鋼構桁架構造，跨度可達 25 ~ 50 公尺之間，以維持設備最大的彈性排放空間，潔淨室空間以綠色的 CR 符號表示，潔淨室內空氣必須維持在極度的潔淨環境，才能達到精密製程需求。

#### 高勁度與低微振動 RC 結構

3 樓以下的空間通常採用小跨度的 RC 梁柱構造，常見的梁跨度為 4.8 m、6 m 或 7.2 m，梁通常採用 RC 格子梁系統 (圖 3)，以高勁度降低振動量，構件長度採用 60 公分的模具，是為了配合潔淨室高架地板、天花板與金屬牆板的 60 公分模具考量，在水平向也必須是高勁度與低振動的環境，所以通常採用 RC 剪力牆的構造，剪力牆採雙向正交配置 (圖 2)，剪力牆的水平距離在 50 m 以內。

#### 高設計載重需求

廠房主要生產設備載重通常高於 2,000 公斤 / 平方米，其他的樓層載重大約在 500 ~ 1,000 公斤 / 平方米之間。





圖 1 半導體廠的剖面圖，紅的方塊是 RC 剪力牆

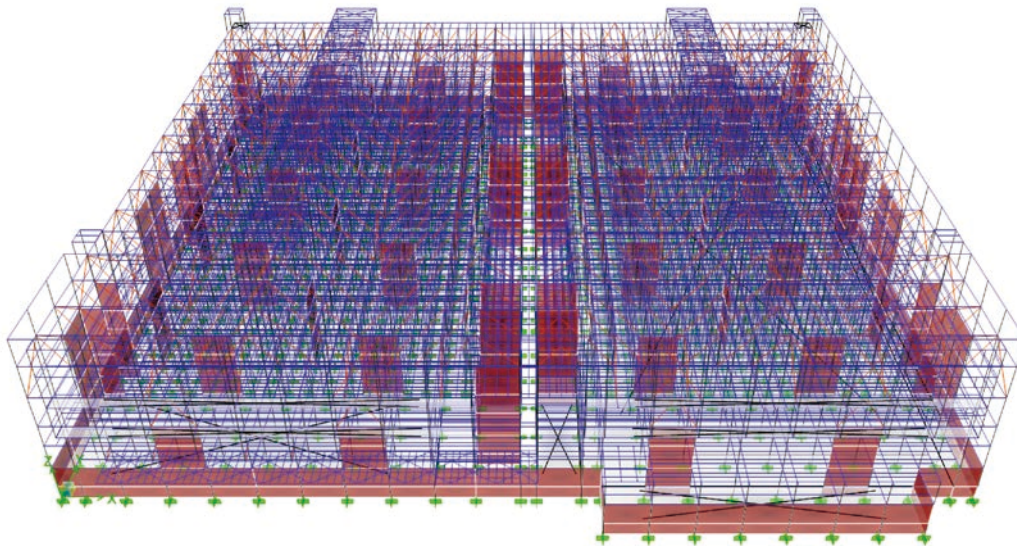


圖 2 ETABS 結構模型立體透視圖，紅的方塊是 RC 剪力牆

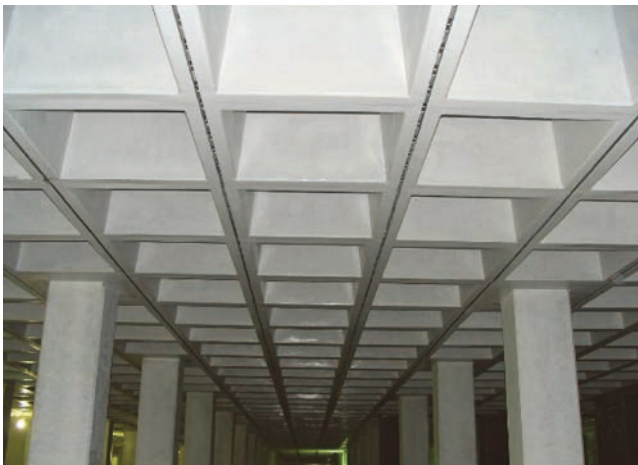


圖 3 半導體廠 RC 格子梁

## 微振動控制

半導體的精密製程趨勢就是越來越小的電晶體元件，以一只手機的最新製程 CPU 為例，晶片裡面包含的電晶體數量高達到 85 億個，以 7 奈米製程生產的晶片，其線路寬度已經遠低於可見光波長 400 ~ 700 奈米區間，能夠在晶片上生產遠低於可見光波長的線路，

需要非常穩定的環境控制。眾所周知，地球本身就會產生振動，就算是在極偏遠少人居住的鄉間，地表還是會有一定的振動量，更不用說半導體廠需要便利的交通，以維持生產原物料與水電資源供應，所以半導體廠不可能離開工業區。

微振動環境條件是影響生產良率很重要的因素，半導體廠房必須建築在土壤上，地表的振動一定會透過基礎傳遞到上部結構，加上工廠裡面的大大小小振動源，例如：風機、幫浦、馬達、風管、水管…等，都必須一一採用設備隔振克服，目前業界常用的微振標準是 Colin G. Gordon 與同仁在 1980 年代早期研發制定<sup>[1]</sup>，從 VCA 到 VCE 分為 5 個等級，每一個等級的振動容忍值都是以速度為單位（圖 4），而且每個較嚴格等級的振動容許值都是前一個等級的 1/2，所以 VCE 是 VCA 的 1/16 容許振動量。

既然環境振動無法完全避免，所以半導體廠選址一定要經過微振動的測量，如果素地的條件不好，是不可能符合最精密的製程需求條件，廠址必須避開高

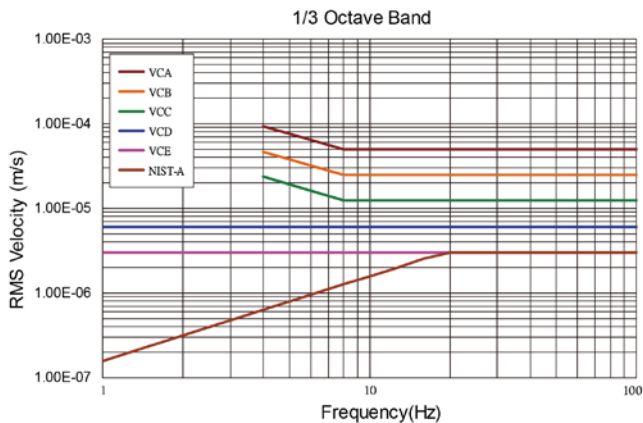


圖 4 Colin G. Gordon 與同仁在 1980 年代早期研發制定之微振標準

速公路、高鐵、過於軟弱土層、過於繁忙的交通要道、海邊（波浪振動）… 等地區，例如喧騰一時的南科高鐵振動就是一個典型的例子，依照實際測試結果發現，在高鐵沿線 200 公尺內的基地振動量，無法符合最高等級的半導體精密製程需求。

一般結構設計的考量通常都是依據人的活動來設計，工廠裡面人感覺不到的振動對精密加工機台還是會有影響，為了維持低振動的生產條件，精密製程設備會有特殊的隔振墊，來降低外在的環境振動，這些隔振墊通常採用氣壓彈簧 Air Spring 的型式（圖 5），有些設備還會採用主動控制式的隔振墊。氣壓彈簧與設備構成的系統自然頻率會很低，而且氣壓彈簧還有足夠的變形空間來緩衝外在振動，氣壓彈簧功能如同低通濾波器，將高於一定頻率的震動降低到很微小的水準，所以可將外界的高頻振動降低，當然也可能將低於系統自然頻率的振動放大，隔振墊設計需要振動力學的知識，但是精密製程隔振墊能夠隔離的振動有一定的上限，因此設計一座符合設備容忍上限的工廠結



圖 5 氣壓彈簧 Air Spring 隔震墊

<https://www.bilz.ag/en/products/biair-membrane-air-springs/membranluftfedern-ed-al/>

構也需要振動力學的知識，土木工程的基本訓練是有機會參與振動控制的領域，以過去接觸過振動控制專家的大學或研究所背景來看，其本科系所包含有：物理、機械、土木結構、船舶等領域，微振顧問的工作包含從建廠選址、結構微振設計、廠務設備隔振設計、結構體完成階段振動測試、廠務設備運轉階段振動測試、製程設備振動問題排除… 等工作，結構上可以達成微振需求的方法通常是透過提高勁度、提高質量來達成，當然材料本身的阻尼對比較高頻（例如 15 ~ 20Hz）的振動降低也會有幫助，實務上的做法可以藉由 RC 樓板加厚、梁柱結構加大斷面、提高混凝土強度、縮小柱間距、增加剪力牆… 等方式來達成，所以小跨度的 RC 格子梁結構（圖 3）是最常被採用的構造方式，鋼結構在微振控制上不如 RC 結構來的有優勢，主要的因素是重量比較輕、斷面比 RC 構造小、材料阻尼係數低等因素所致，如果一台價值一億歐元的設備無法正常生產，或是良率過低，都是非常可怕的災難。

除了廠房內部的人為振動源之外，鄰近廠房附近的施工振動也是必須考慮的風險，為了提高經濟效益，半導體產業經常會形成產業聚落，這也表示一個廠區的開發經常是分成數期來完成建設，當第一期廠房開始運轉後，後期廠房的施工，就變成前期廠房運轉的主要振動源，所以在一開始的規劃設計上必須考慮採用低振動工法，並在施工機具正式進場前必須進行振動衰減評估，也就是必須評估不同施工機具振動安全距離，實際上採用的方法是在現場足夠遠的安全地點以相同的機具進行施工，測量不同距離的地表振動量來評估安全距離，圖 6 呈現的是在竹科測試 H 型鋼樁振動植入時的振動量距離衰減曲線，一般來說如果施工機具振動能量集中在地表，振動會有比較遠的傳遞距離，這點與表面波沿著二維表面擴散衰減較慢的理論是相符的，此外由於 H 型鋼植入是採用振壓工法，設備振動頻率主要分布在 20Hz 以上的高頻區間（圖 7），在低於 10Hz 低頻區間的振動量與原背景振動差距不大，如果生產設備有比較好的隔振，應該可以大幅度的降低風險。

除了振動之外，外在的空氣條件，例如養豬場的氣味（阿摩尼亞味），或是高壓電塔的電磁波都可能影響製程，近來隨著精密機台等級提高，低頻振動的容許值有越來越嚴格的趨勢，低頻振動是非常難以隔離的振動，對新世代的半導體廠選址與建廠都會是新的挑戰。

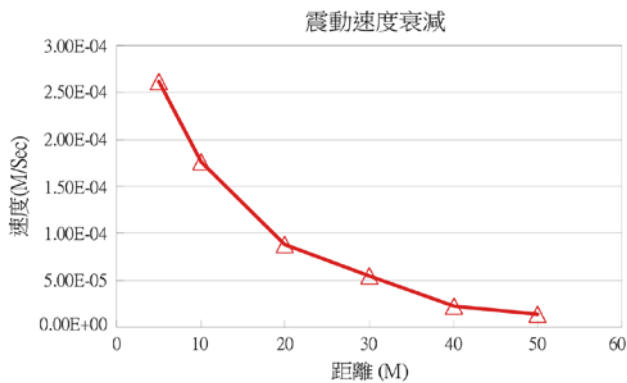


圖 6 於竹科測試 H 型鋼樁振動植入時的振動量距離衰減曲線

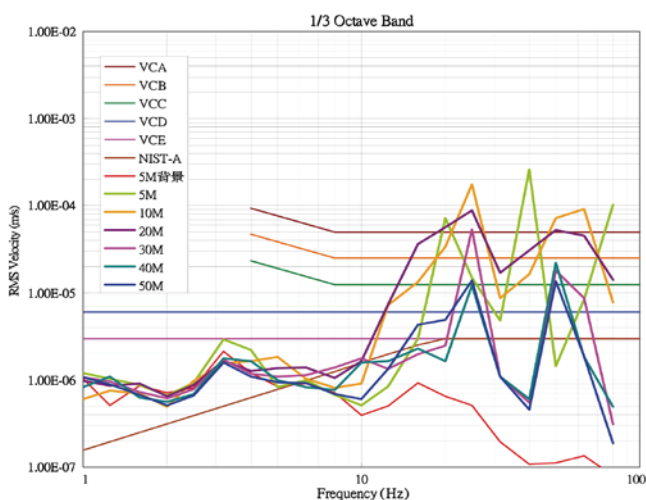


圖 7 於竹科測試 H 型鋼樁振動植入時的振動頻譜圖

## 耐震與減震

一般建築結構必須符合政府頒訂的建築物耐震設計規範，主要基於保護人民生命財產安全考量，耐震設計的基本觀念是「小震不壞、中震可修、大震不倒」，是在造價與安全上取得平衡的概念，但是對於資本密集、技術密集的半導體產業，一座總投資金額達到千億台幣等級的廠房來說，這樣的考量是不夠的，耐震上應該提高到「中震不壞、大震可修」的水平，這裡表述的「不壞」或是「可修」都是針對主體結構構件，假設當震度 6 的地震發生，主體結構沒有損壞，但是生產設備受損、製程產品損壞無法修復，十幾秒的地震就可能造成數十億台幣的損失。但是地震的發生無法預測，只能以機率的方式來評估發生潛勢，台灣附近地區未來 50 年發生規模 7 以上地震的機率一定高於 0，在這樣的風險下，如何讓一座廠房在經歷過地

震後快速地恢復生產，會是廠房結構設計、施工與設備抗震設計的大挑戰。

以現在的技術能力來說，主體結構已經可以透過 3D 的結構分析軟體來建置，並且得到相當有可信度的靜動態分析結果，在模擬的過程中也必須留意廠房的水平尺度達到 200M\*200M，相當於 3 架 747 飛機的長度（圖 8），許多的模型參數並不一定能夠沿用一般小尺度結構的模擬方式，由於樓層尺度過大，因此不能過於簡化結構模型，樓板的勁度必須依照實際的彈性勁度設置，其他的動力參數設定不能只依據理論值，必須參考佈設在廠房內的加速度計數據，在每次地震時後取得的寶貴資訊來回歸，逐步校調模擬數據以接近實際測量成果，對於尚未發生的大地震，可以採用非線性側推模擬分析方法來評估結構非線性行為（圖 9），不論是發生的部位與對應之非線性變形量化指標，都可以有可信度極高的數據當作是風險管理的依據。

對於製程設備或是晶片的防震保護，是另一個更高層次的技術難題，依照美國 FEMA 的準則 [2]，地震對廠房設備的危害分成兩類，第一類是地震加速度敏感設備，也就是當加速度很大就可能會損壞的設備，例如貨架上的可能會掉落的昂貴產品，第二類是地震位移量敏感設備，也就是當地震造成的相對位移量很大就會損壞的設備，例如跨越不同建築物伸縮縫的管線彈性接頭，設計上必須降低廠房結構在地震下所造成的加速度與相對位移。如果我們設計的標的是一間重要的醫院，相信隔震系統會是非常好的選擇，適當設計隔震層與管線彈性接頭，應該可以讓隔震層以上

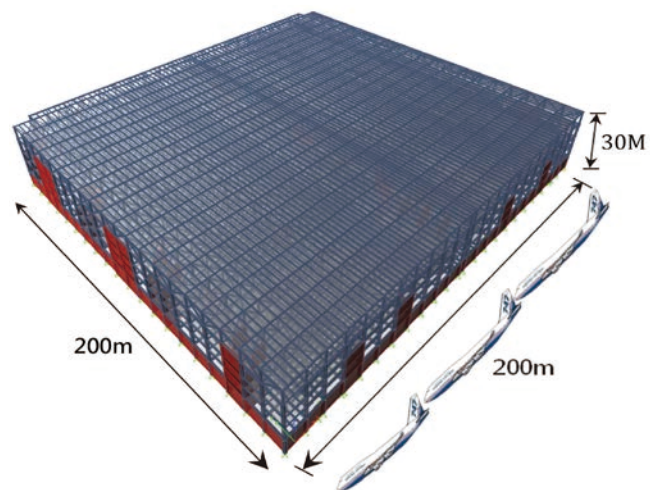


圖 8 ETABS 建構的半導體廠房模型

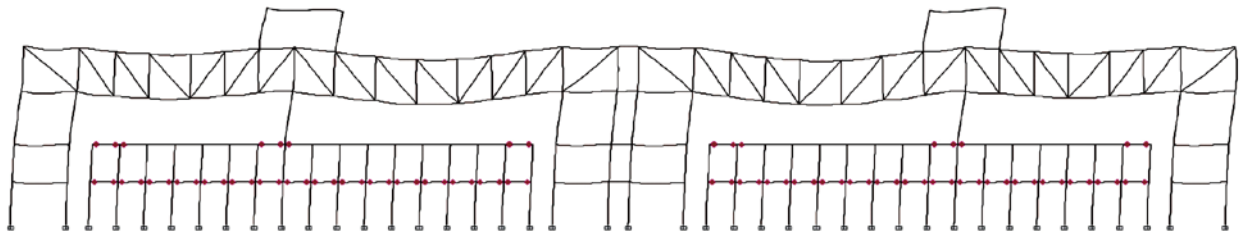


圖 9 以 ETABS 側推 (Pushover) 分析驗證半導體廠房大地震下的非線性行為

樓層之間相對位移量很小，且樓層加速度只有地表加速度 50% ~ 80% 的表現，藉由隔震系統將地震的風險降到很低，但隔震與微振控制概念上是相衝突的，隔震是藉由隔震墊將隔震結構變軟，動力週期延長到地盤週期的 2 ~ 3 倍以上，例如隔震後的系統週期達到 3 秒以上，來降低地震的反應，前面提到未來新設備對低頻振動容忍度有變嚴格的趨勢，一個可以隔地震的廠房，可能會放大微振動量，放大後的量化差距可以參照既有隔震建築之隔震層上下方的微振測量頻譜圖

(圖 10)。此外，進入工廠的管線很多，有許多管線是高風險的流體或是有壓力的氣體管，隔震層高達 40 ~ 50 公分的地震相對位移量，會造成管線在地震後的洩漏風險提高，洩漏後的偵測與修復也很棘手。

減震設計的策略必須在場址選定前就必須開始探討，每個場址都有過去地震的歷時記錄 (圖 11)，將這些歷史記錄製作成地震反應譜，比較探討可以發現反應比較低的頻率分布區間，一般半導體廠房可能的自然頻率為 2 ~ 3Hz (週期 0.5 秒 ~ 0.3 秒) 之間，建築物的自

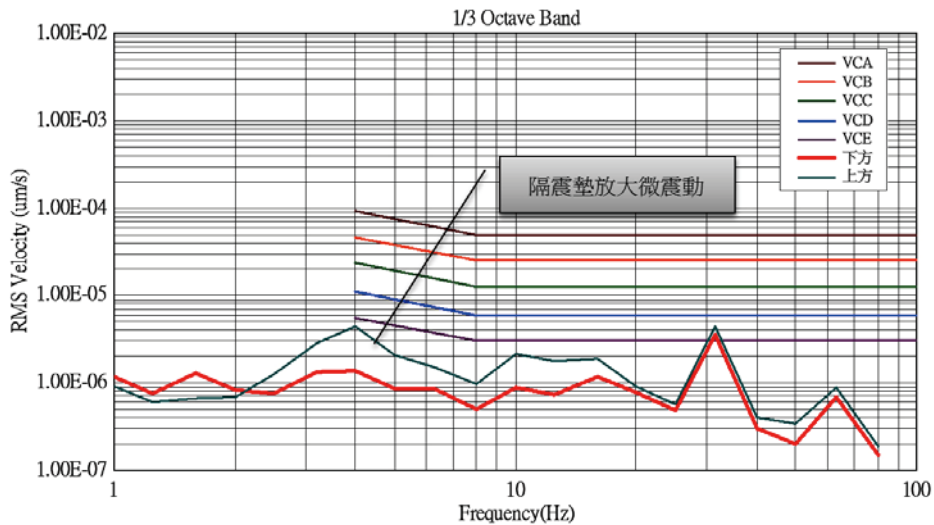


圖 10 隔震結構微振測量比較

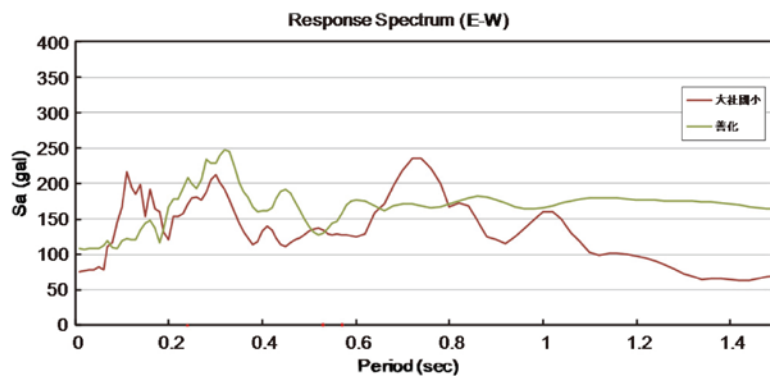


圖 11 0304 地震測站反應譜比較圖

(地震資料來源：中央氣象局歷史地震查詢系統 <https://gdms.cwb.gov.tw/>)

然頻率如果校調到低反應頻率區間可以降低風險。一般建築物會採用的液壓阻尼器，也會是半導體廠房可以採用的減震策略，與一般建築物不同的是，半導體廠房的勁度很高，相對位移小，廠房面積大，能夠安裝阻尼器的位置有限，所以通常會採用出力比較大且黏性比較高的液壓阻尼器，期望阻尼器在比較低的位移下就可以發揮效能功效，阻尼器通常配置在廠房邊緣的潔淨室回風通道（圖 12），阻尼器採水平方向擺設，讓阻尼器在水平位移下有最佳的消能效果（圖 13）。

自 2009 年以來隨著廠址安裝加速度計取得的測量成果增加，比對南科的測量成果後可以看出有明顯的土壤與結構動態互制現象，有效利用土壤與結構動態互制特性可以降低地震的反應，特別是在廠房的自然頻率區間的地震波震動可以有效的降低，目前的廠房在設計階段會把基地土壤與結構動態互制效應納入考量，在基礎下方就將地震波動降低後再進入廠房，土壤與結構動態互制效應在地震工程的應用，最早是開始於核電廠反應爐圍阻體的設計<sup>[3]</sup>（圖 14），核電廠反應爐圍阻體是世界上地震保護最嚴謹的結構物，絕對是半導體廠房學習

的標竿，在實務面上是採用 SASSI 程式進行結構土壤動態互制分析<sup>[4,5]</sup>，找出最佳的基樁配置方式來提高土壤結構動態互制效應，以降低地震反應。

簡而言之，半導體廠房的減震設計第一道防線是土壤與結構動態互制效應，可以降低進入工廠有傷害性的地震波，第二道防線是結構物的高勁度與避震調頻技術，可以避開主要共振頻率，降低共振發生機會，第三道防線是液壓阻尼器，可以減低共振發生後的結構反應。經過以上強化設計後的成效，可以比較廠房 3 樓在 2016/02/06 地震下的加速度反應譜，加強土壤與結構動態互制效應（SSI）（圖 15）。

除了主體結構的耐震設計外，廠房內的廠務設備與機台也必須經過耐震設計，設備必須採用適當的固定以防止傾倒，對於會發生相對位移的設備，例如管線，都必須參考主體結構設計時提供的相對位移需求數據來設計，對於本身就具有動態特性的設備，例如設備自然頻率若過於接近廠房自然頻率，則有可能在地震時發生設備與廠房共振行為，應該要避免，比較建議的作法是調整設備的頻率到比較高頻的區間，與

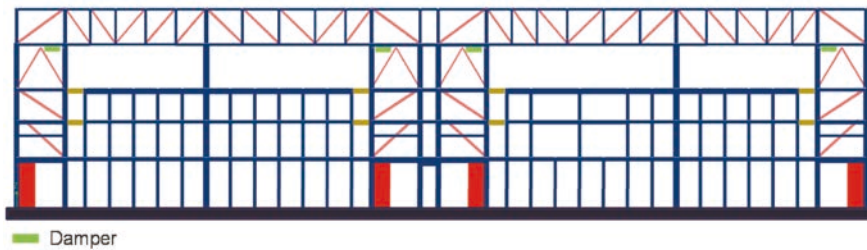


圖 12 半導體廠房阻尼器配置



圖 13 半導體廠房阻尼器採水平方向配置

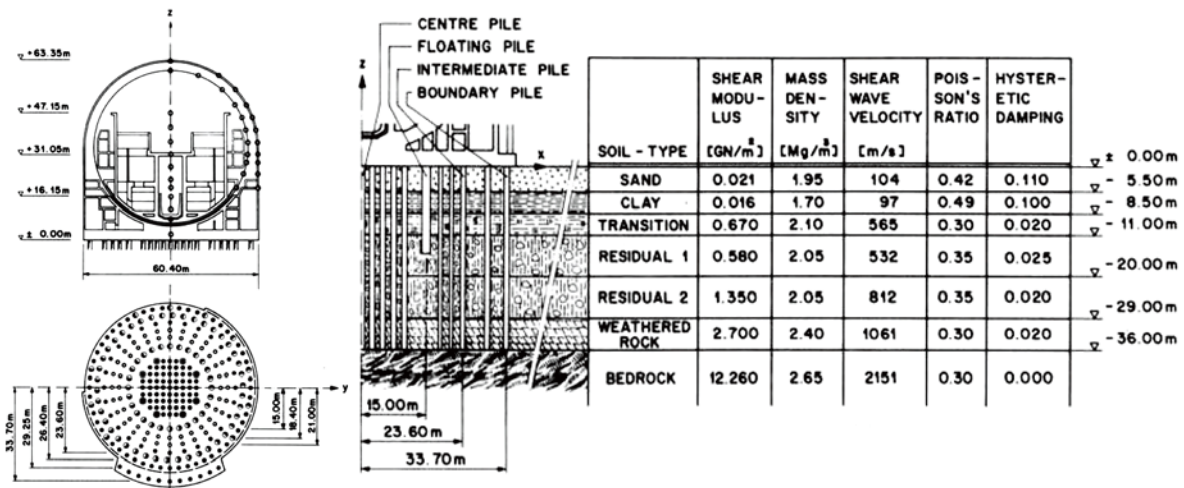


圖 14 核電廠圍阻體利用基樁加強土壤與結構動態互制效應

資料來源：“Dynamic soil-structure interaction”, John P. Wolf, 1985

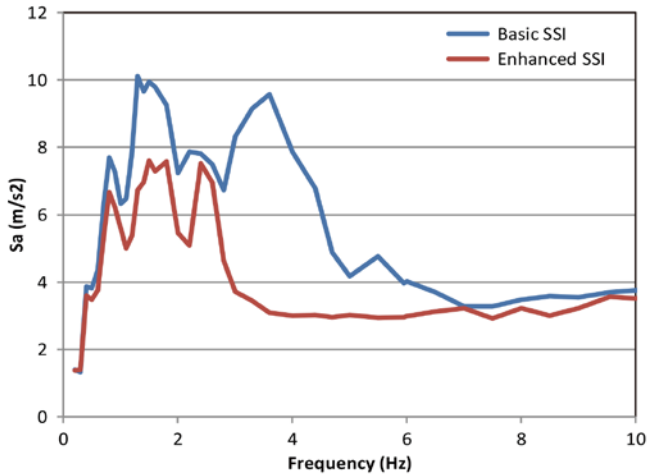


圖 15 加強土壤與結構動態互制效應 (SSI) 結構在 3F 反應有明顯降低現象

設備安裝阻尼器作法相較，與其等到共振發生再透過阻尼器減震，倒不如直接調頻避免共振發生來得直接有效，設備結構是比較小的系統，如果想要提高 2 ~ 4 倍的勁度，在技術上是有機會可以達成的，對於比較重要的設備也可以採用振動台測試的方法來驗證設備的耐震效果 (圖 16)，為達到試驗的真實性，設備在試驗過程中是以真實的晶圓片來測試，晶圓片容器墜落後的破片情況，也是完全反應真實地震情境 (圖 17)。



圖 16 在 NCREE 進行之半導體設備振動台測試

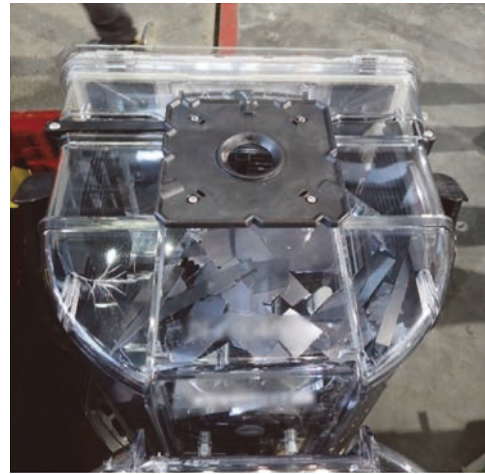


圖 17 在 NCREE 以實際振動台測試晶圓儲存設備，晶片受加速度作用後墜落破碎

### 造價與工期

除了前面談到的結構行為外，造價與工期是專案實務上能夠成功非常重要的因素，一個工程規模達到百億台幣的建築工程發包作業，一定是耗費時間的工作，科技廠房的投資是反應科技產品市場的需求，如果一只手機的使用期間是 3 年，那麼生產手機晶片工廠的建造也勢必要跟得上電子業的節奏，除了設計時程短暫外，工期也非常的短暫，常見的主體建築工期大約是 14 ~ 15 個月，相對於工期短，發包作業時程就變成是工程進行的要徑 (Critical Path)，半導體產業幾乎都是上市公司，發包與計價計量的過程一定是要公正透明經得起稽核，如果設計圖面不清楚，會造成業主與承包商彼此的履約風險，如何在最短時間內提出讓合約甲乙雙方都可以信服的估價參考依據，是非常務實與重要的工作，數量估算上些許的誤差就可能讓投標廠商遭受鉅額虧損，或是發生履約糾紛讓工程停擺，經過多年的研發與嘗試，一些最先進的半導體廠發包作業，已經開始採用 BIM 3D 建模方式，來輔助發包作業，具體的作法是在廠商領標後兩周，由結構設計單位提出詳細的 Tekla Structures 3D<sup>[6]</sup> 鋼筋與鋼構模型，以鋼筋為例，模型必須依照標準圖與設計圖說建置，包含：主筋、箍筋、繫筋、彎鉤、錨定、搭接與續接器 … 等等 (圖 18、圖 19)，廠商取得模型後很快就可以獲得鋼筋的重量數據，也可以檢視鋼筋模型建置是否符合施工方式。同樣的鋼構也會建立 3D 模型 (圖 20)，包含加勁板、連結板、柱底板 … 等等資

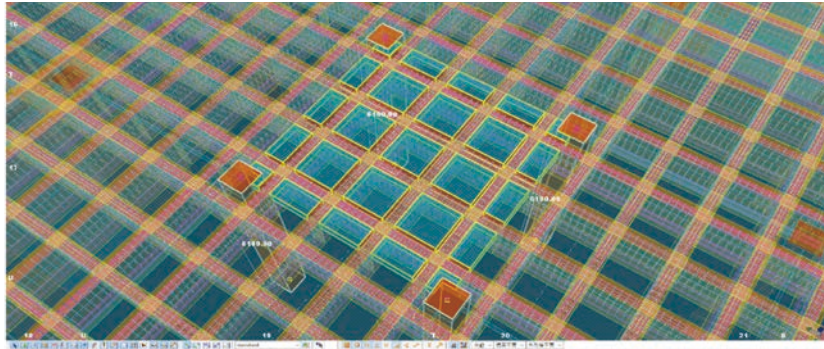


圖 18 Tekla RC 格子梁 BIM 建模

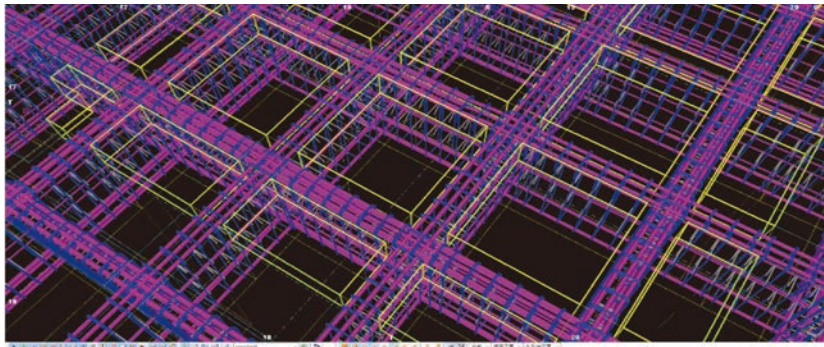


圖 19 Tekla RC 格子梁 BIM 建模

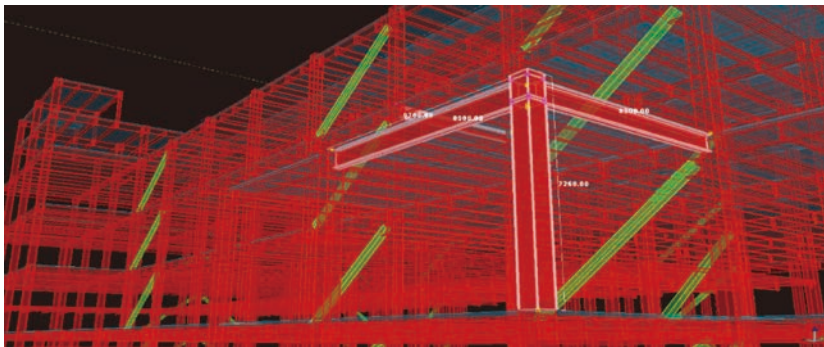


圖 20 Tekla 鋼構 BIM 建模


訊，全部的資訊都是以 3D 方式來呈現，對於比較零碎難以建入模型的元件，例如開口補強、收邊小構件、穩定性角鋼、高低差補強、螺栓與剪力釘 … 等可以透過人工計算方式補充，以縮短作業時程。

## 結論

半導體產業是高度資本密集與技術密集的產業，以現今的國際局勢來看，幾乎被當作是戰略競爭優勢，在台灣地小人稠與天然災害的環境下，孜孜不倦的工程人員默默的付出智慧與勞力維持著競爭優勢，發展出在技術上可用、在商業上可行、在資源上可及的種種解決方案，在建廠與營運上，全部的人員是一個團隊，共同完成一個目標「在預定時程內，製造出高品質的半導體元

件」。相信未來的挑戰還非常多，例如：缺工、缺水、缺電，在人類對高效運算需求只會增加的預期下，繼續建設新一代的半導體廠房仍然是大勢所趨。

## 參考文獻

1. Colin G. Gordon, "Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment", SPIE Proceedings Volume 1619 (1991).
2. "Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Buildings", FEMA P-58-6 (2018).
3. John P. Wolf, "Dynamic soil-structure interaction" (1985).
4. 陳希舜、廖克弘、徐偉朝、施俊揚、侯志剛，「以無因次化影響參數探討土壤結構系統之互制行為」，NSC91-2211-E-011-046 (2003)。
5. 許尚逸、陳正興，「考慮土壤與結構互制效應之等值固定基盤分析模式」，臺灣大學：土木工程學研究所 (2006)。
6. 歐亞電腦，"Tekla Structures" (2019)。 



# 高科技半導體廠 下部結構工程 概論

宋思賢 / 台灣積體電路股份有限公司 廠務處 副理

關於「高科技」的定義，國際經濟合作發展組織（OECD）將航太科技、藥品配製、電腦資訊機械、通訊器材等，做為高科技產業的範疇。而「半導體」則是台灣高科技製造業中，扮演世界供應鏈不可或缺的角色，其產業應用從 3C 電腦科技產品、行動裝置手機、平板到現今 AI 人工智慧運算、自駕車、5G 通訊，打個比喻，水泥材料對於土木工程的重要性以及應用廣度，就如同半導體對於高科技產業的角色，台灣也因著半導體舉足輕重的地位，建立起矽屏障的實力。

半導體廠則是涵蓋了晶圓生產設備機台以及高科技廠房設施，其中廠房設施則包含了建築、水電空調、管線設備、空汙水污處理、環境保護設施等，而本文主要介紹高科技半導體廠的下部結構工程，也就是整個半導體廠的起點，從一片素地，開始建造起一座高科技半導體廠。

## 半導體廠房的下部結構系統設計概要

### 何為下部結構？

首先，先來說明下部結構的定義，一般在土木工程與建築工程的下部結構範圍，指的是承載建物重量

傳接至土層的基礎工程，例如建築物的基礎、橋梁基墩、水壩的擴基等，這屬於狹義範疇，然而在廣義的定義上，則泛指「地面層以下」，所有結構體及相關的結構設施，包含地下室的結構體、基礎結構體、基樁、隧道等，都屬於下部結構。

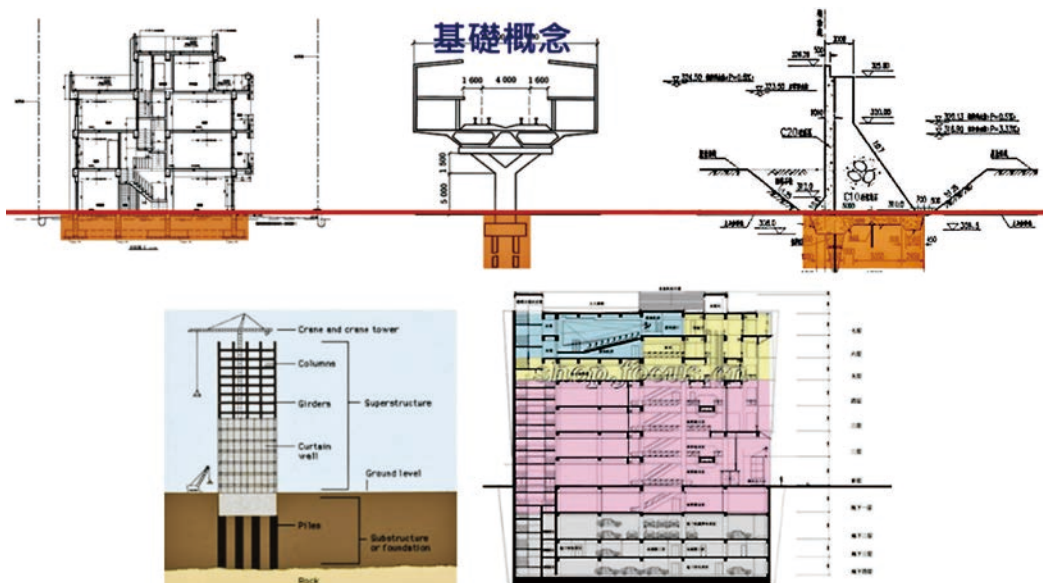


圖 1 下部結構示意說明



而本文主角，半導體廠的下部結構內容，主要針對其廠房地下室結構為主，如圖 2 所示，主要構造為基樁、基礎、擋土牆、結構體（柱、剪力牆、梁、1F 樓板）。

而地下室區域的空間需求，LB2 為製程用水製造區域、廢水處理區域，須要極大的腹地以及空間高度，才可放置處理系統的桶槽與管線；LB1 空間則為附屬的設備機台生產空間，用於放置電氣機房、機台的附屬設施（電盤、抽氣幫浦、廢棄處理設施等），如圖 3 照片所示。

### 下部結構主要特性因素

既然下部結構主要是在地面層以下，因此其主要特性，則離不開大地，將依以下幾點特性因素來說明重點。首先要先了解這個大地，不同的地理環境，就有各式的差異變數，例如台灣的竹科、中科、南科，就分別有不同的地質，第一步則是需要進行地質鑽

探，了解腳底下的大地有甚麼樣的成分與歷史，透過鑽探挖掘的土壤，分析其成分特性，做為結構設計的依據及形式。鑽探結果，甚至有考古遺址，則必須評估如何開挖搬運保護，才得以進行施工，如圖 4。第二步，針對鑽探結果進行評估，是否需要進行地質的改良，例如置換土壤或是設計承載的樁結構，如圖 5 說明。第三步施工下部結構，就得開挖腳下的大地，也就是擋土開挖，進而才能進行第四步的結構工程，後續將會依循這下部結構的主要特色因素來介紹。

台灣北中南科學園區的地質特性，如圖 6，其中最大的差異則為中科與南科，中科地質均為大粒徑的卵礫石層，硬度高且困難挖掘，相對的其結構承載條件佳；南科地質則為沉澱淤積的粉、黏土層，且硬度低，簡單挖掘但卻有容易沉陷的特性。因應不同的地質條件，就有著截然不同的設計與施工工法，例如樁基礎的結構設計與施工。

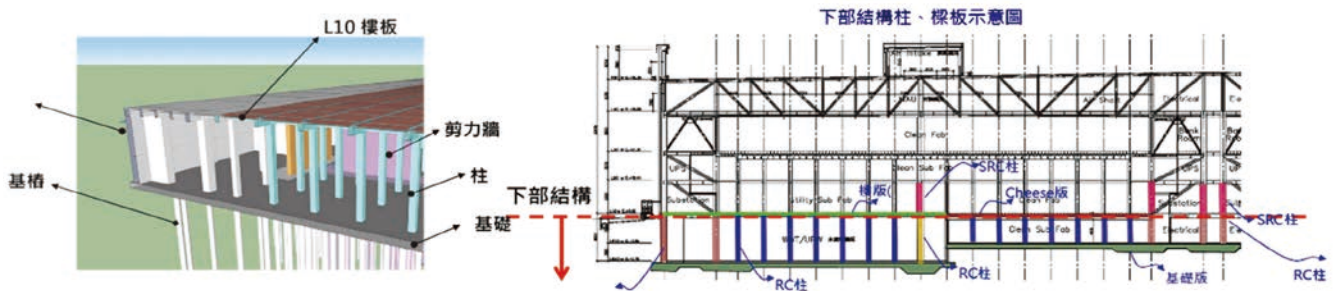
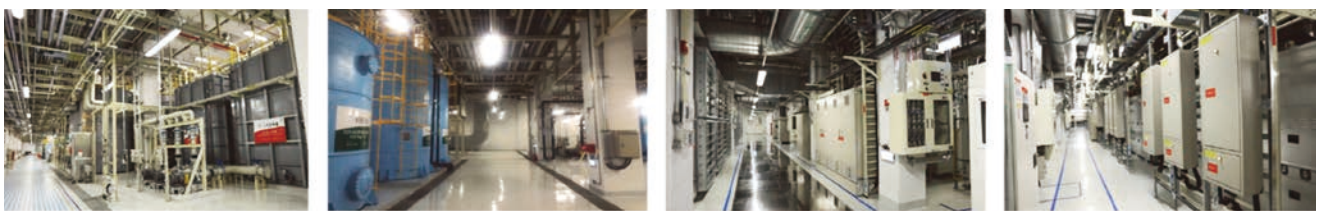


圖 2 半導體廠下部結構示意說明



WWT (Waste Water Treatment) / UPW (Ultra Pure Water)

Clean Sub Fab

圖 3 半導體廠下部結構 LB2、LB1 照片示意

### 地質鑽探

- 地質調查定義：在基礎設計及決定構築方法前，必需瞭解地層組織及載重能力，作為基礎設計之安全性考量

### 地質調查目的

- 瞭解土壤之承載力、沉陷量、側壓力
- 瞭解水文、地下水的高程、土壤含水率、伏流
- 選擇基礎設計之形式與深度、適當與經濟考量
- 確保鄰近構造物之穩定安全，作為施工之預防
- 假設工程之資料提供研判，與安全計劃之防範
- 考古遺址？！



### 開挖考古遺址，搬運保護

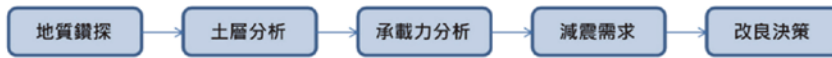


圖 4 地質鑽探照片與目的

**地質改良**

- 當基礎地盤土壤承载力不足以直接承地上結構物、或者地盤沉陷量過大的情況下，利用各種壓實或固結等方法將地盤土壤顆粒的排列及空隙狀態等不穩定之因素加以改良，以促進地盤承载力及抑制沉陷量的方法。

**改良之設計流程**



**土壤容許承载力示意圖**

土壤容許承载力表

物料	容許承载力 $t/m^2$
軟粘土	10
普通粘土	20
硬粘土	40
粗砂	10
壓實細砂	30
粗砂	30
粗砂石混合物或卵石	40
壓實砂石混合物或卵石	50
硬岩	100
強固頁岩	100

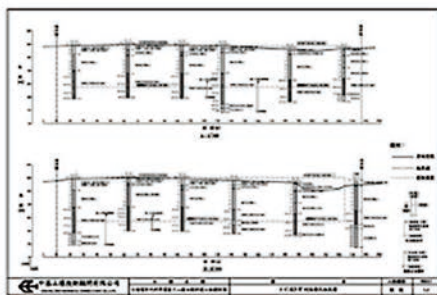
**地質改良方式**

方法	工法	深度	施工概要
強制	壓密排水	> 20m	點井、真空深井
誘導	電器浮越	> 20m	利用正負電荷之電向差原理誘導排水
	砂墊法	< 8~10m	利用砂石強化表面
結構	微型樁工法	> 20m	利用與土壤間摩擦力與剪力強度
	砂浮排水法	20m	利用砂樁抽短排水距離提高排水效率
壓密排水	生石灰摻工法	20m	利用生石灰與水的膨脹作用反應造成排水兼壓實的效果
	紙帶排水法	20m	插入厚紙排水、原理同砂井排水法
圍結	灌注法	-	灌入凝結劑使土壤產生圍結狀態

**地質改良照片**

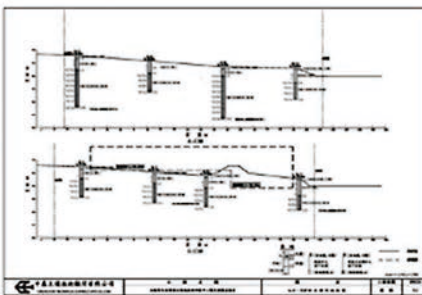
圖 5 地質改良流程

**竹科**



分為四個層次：  
 (1) 回填層  
 (2) 砂質粘土或粉土質粘土層  
 (3) 卵礫石夾黃棕色粗中細砂層  
 (4) 岩層  
 地下水水位介於 EL+83.16~87.96m 間  
 地下水應位於地表下 15.00m  
 細顆粒卵礫石層  
 穩定-硬度中可鑽掘

**中科**



分為二個層次：  
 (1) 表土覆蓋層  
 (2) 卵礫石夾黃棕色粉土質砂層  
 基地下水水位在 鑽孔深度 20.00 公尺以下  
 大粒徑卵礫石層  
 穩定-但硬度高困難鑽掘

**南科**



分為五個層次：  
 (1) 回填層  
 (2) 粉土質粘土層  
 (3) 砂質粉土或粉土質細砂層  
 (4) 粉土質粘土層  
 (5) 粉土質細砂層  
 常時狀態以 地表下 1.00~5.00 公尺設計  
 粉土、黏土層  
 易沉陷-硬度低

圖 6 竹科 / 中科 / 南科地質比較

**開挖擋土**

主要考慮變數為土壤的特性以及基地週遭的條件，例如南科的地質軟弱，擋土的設計，就不太可能往垂直立面開挖，容易崩塌，須要增設許多擋土設施，如排樁（用樁體所組成的擋土牆面），並且增設地錨來錨定，提供擋土牆面的支撐；若基地週遭有足夠的腹地，則可使用明挖工法，直接開挖斜坡，但一般在施工動線的限制下，通常沒有足夠的腹地空間，例如台北市建築大樓的施工，週遭都是鄰房，則不可能明挖，而是採取連續壁體的施工，同時做為擋土設施以及地下室外牆結構。

在開挖的過程中，尤以安全的觀測為主要的重點，

必須確認開挖時，擋土設施的結構穩定，有無傾斜影響到週遭道路或是鄰房，或者是因下雨導致地下水位上升，而導致有更大的土壓力（含水），而必需要盡快抽水，降低水位，加強擋土設施安全，如圖 8 說明。

**基樁**

半導體廠的下部結構，除了基本的載重設計需求外，對於高耐震以及對於中小型地震對於生產的影響需降至最低，因此均會依該地質條件進行樁基礎的設計，尤其南科的地質為軟弱的粉粘土層，均會有樁的結構設計，往往一個半導體廠均需 4,000 ~ 5,000 支的基樁。而基樁設計的原理，簡易可分兩類。

### 擋土開挖工法

- 考慮土壤特性差異，擋土開挖工法如下：自承式開挖工法、明挖邊坡工法、擋土牆自承工法、地錨工法、水平支撐工法、島築式工法、壕溝式開挖工法...等眾多方式
- 主要分類如下：
  - 明挖護坡：腹地大、成本低、風險低
  - 鋼板樁：工期短、成本低、剛性低
  - 擋土樁、擋土排樁、擋土預疊樁：工期長、成本中、剛性高
  - 連續壁：工期長、成本高、剛性高、可為地下室結構擋土外牆
  - 潛盾工法、新奧工法：工期長，多用於隧道工程

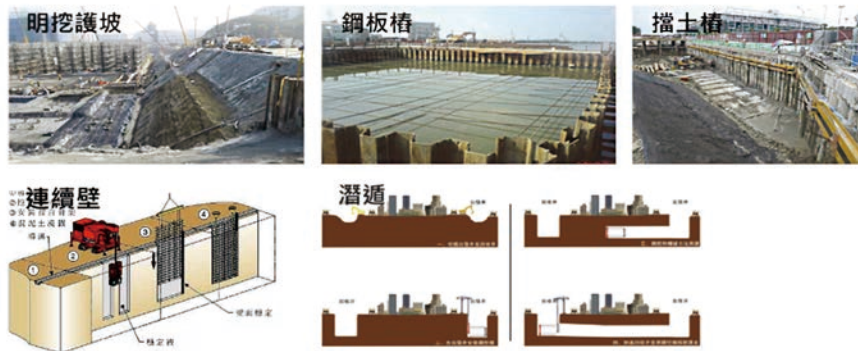


圖 7 開挖擋土工法示意

- 開挖前需完成各項安全觀測設施，進行監控
- 開挖中需定期觀測各項安全指標，了解擋土措施現況(擋土旁降解除壓)
- 根據安全觀測指標數據執行-安全/警戒/行動值
- 需設立抽水井，降低基地內地下水位，減少地下水影響開挖效率及擋土安全

項次	安全觀測設施	說明	照片
1	壁體傾斜管	擋土壁變形量觀測	
2	水位觀測井	場區內外地下水位監控	
3	地錨荷重計	擋土措施內應力及外部土壓監控	
4	沉陷釘、隆起點	基地內建物及基地外路面高程變化監控	
5	鄰房傾度盤	鄰近建築受基地開挖影響，沉陷量監控	

圖 8 開挖安全觀測說明

- 一、承載基樁，主要依靠樁與土壤的摩擦力 + 樁底部的承載力，做為基樁承載的結構核算
- 二、浮動基樁，主要利用基樁佈設的密度與土壤的握裹，做為固結的效益，就像是綁住大地土壤的概念，來加強降低地震時對半導體廠的影響，如圖 9。

由於大地的變數多，因此每當基樁結構設計完成，會在該基地現場進行試樁，直接在實際地質的環境中驗證，確保設計的條件及目標與實際執行相同，而這個動作也能確保基樁的設計是否符合需求，此點相當重要，因此施工前需要執行「設計樁」的測試，

而施工後，同樣需要執行「驗證樁」的測試，來確保工地施工的品質是否符合，如圖 10。

### 地下室結構

由於半導體廠的整體建物重量大，因此在地下室結構體的設計，則以高載重、高勁度的基礎結構設計，並且均採取筏式的基礎，以避免建物不均勻沉陷的問題，而柱位、梁位系統則依照整體建物的需求配置，從上部結構主要生產空間的承載、耐震、抗微振結構設計需求，一路延伸至下部結構體、大地基礎承載，而在地下室的外牆則需考量背側的土壓、地下水壓力，進行壁體的設計。

承載基樁結構設計原理

- 計算基樁載重需求-試樁試驗(土壤特質)
- 分析決定單樁承載能力
- 依據基礎樁帽所需反力決定基樁數目
- 設計基礎樁帽尺度及配筋需求

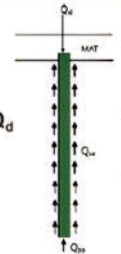
$$Q_u = Q_p + Q_s$$

- $Q_u$ : 單樁極限承載力
- $Q_p$ : 單樁底點承載力
- $Q_s$ : 單樁側摩阻力

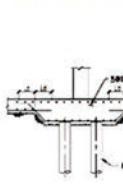
$$Q_a = Q_p / FS1 + Q_s / FS2 > Q_d$$

- $Q_a$ : 單樁容許承載力
- FS1&FS2: 安全係數
- $Q_d$ : 單樁設計所需承載力

承載樁受方示意图



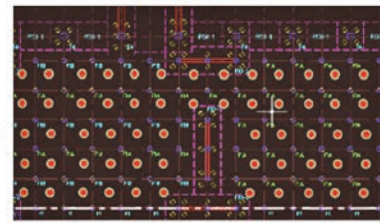
基礎樁帽平面圖



浮動基樁結構設計原理

- 浮動樁主要為增加基樁樁徑、密度、增加與土壤互制、固結設計，而非長度設計(支承)
- 基樁直徑與密度的提高，如同是把FAB與基礎的土壤作固結，往下利用土壤的質量與阻尼特性當作是構造的一部分改變整體動力系統型態 (2Hz以上)

抗浮樁結構平面示意图



結構土壤互制示意图

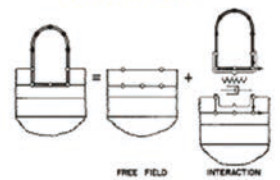
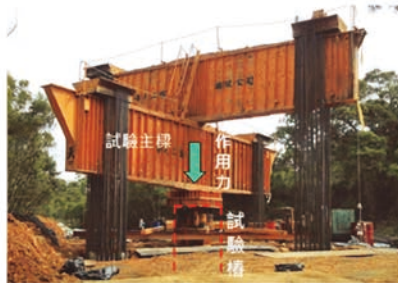


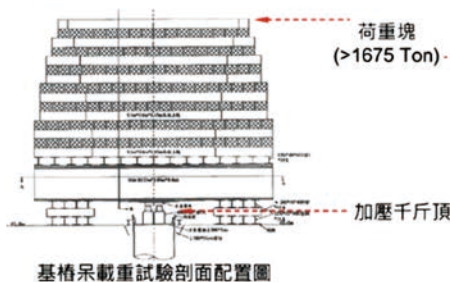
圖 9 基樁結構設計原理

- 設計樁：測試基樁載重試驗與拉拔試驗，測得基樁實際極限荷重，作為基樁載重設計基準
- 驗證樁：確認工地施工現場施工品質驗證，是否符合設計標準



試驗類別	試驗方法
載重試驗	採用基樁錨碇或呆載重方式
拉拔試驗	採用基樁錨碇方式

試驗方式	試驗樁長 (M)	設計極限荷重 (T)*	實測極限荷重 (T)**	測試位移量 (mm)***	永久位移量 (mm)
反力式載重試驗	15	3010	3612	16.05	9.76
拉拔試驗	10	1860	2232	10.07	8.5
拉拔試驗	15	800	960	5.74	1.63



區段	樁徑 (M)	樁長 (M)	設計荷重 (T)	實測試驗荷重 (T)	位移量 (mm)	永久位移量 (mm)
F15P6	2	8	1,675*	1,675	9.84**	6.28
F15P7	2	8	1,675*	1,811	3.87**	2.82

圖 10 試樁照片與說明

地下室結構設計 - 單層筏式 + 樁基礎系統

- 避免差異沉降 (增加勁度)
- 利用基樁降低沉陷量 (< 1 cm)

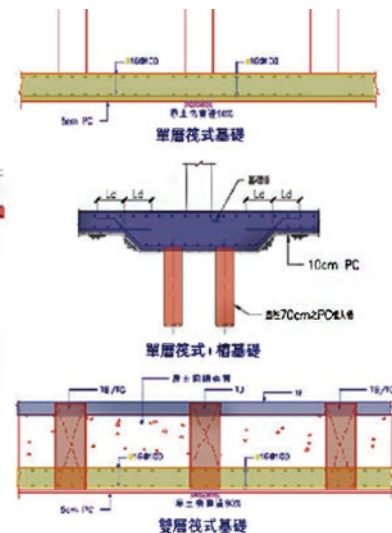
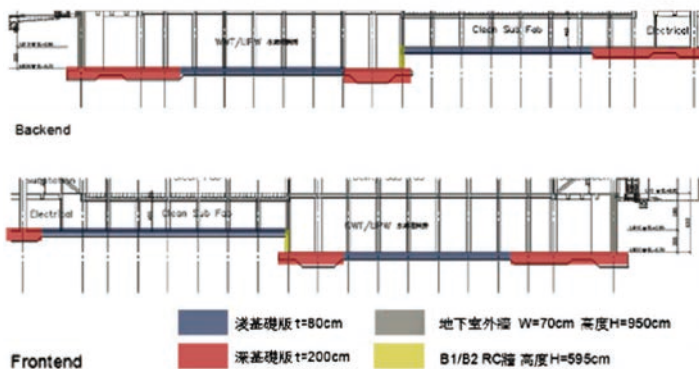


圖 11 地下室結構設計 (一)

地下室結構設計-外牆(擋土牆)

- 考量壁體側向土壓力及水壓力
- 依壁體側向力進行受力分析
- 設計壁體厚度及結構配筋

壁體側向土壓力及水壓力示意圖

側向力受力分析及設計示意圖

壁體結構配筋示意圖

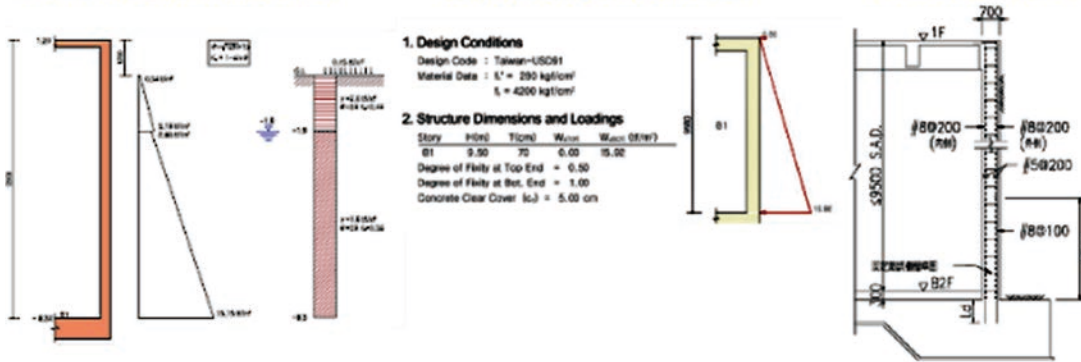


圖 12 地下室結構設計 (二)

下部結構施工介紹

施工流程

了解下部結構的設計概要，這個章節則分別以南科、中科，不同的地理條件的施工流程來介紹，並以大量的照片、圖面來表達施工的節點，說明下部結構整體施工流程。

南科下部結構主要特點，因基地地型的平坦、地質為軟弱的土層，因此施工採取先行基樁打設工作，利用原本平坦的地型，基樁機具的動線、佈置相對容易，然而實際地下室樁基礎的高程，則在原地面以下 5 ~ 10 m 深度，而這部分基樁機具則必須多鑽掘的深度，但並不會有基樁的結構，這樣的工法也稱為基樁「空打」段，但可以有效提高基樁施工安全，並且增進動線的效率，因此會先進行基樁施工，再進行開挖工程，才進行後續防水工程與地下室基礎結構，如圖 14 和圖 15。

南科適用的基樁工法，因地質軟弱，通常採取植入樁工法，利用螺旋鑽掘的基樁機具，挖掘土壤後，直接於挖掘孔洞，灌入根固液，使放入挖掘孔洞的預鑄基樁與土壤有更好的摩擦握裹力，樁長的設計也因地質易鑽掘且預鑄基樁可連結接樁的特性，因此可以拉長樁長設計達 26 ~ 30 m 的深度。

中科下部結構主要特點，基地為山坡地形，有不同的高程，而且地質為堅硬的卵礫石層，因此在開挖施工與基樁的工序，則與南科有所不同，先行開挖至基礎面，再從基礎面往下鑽掘基樁，進而後續整體地下室結構體的施工。原因則是因為山坡地的高低起伏，無法使基樁重機具直接進入施工，因此必須先行整地，並且因中科的地下水位低、地質堅固，因此配合擋土設施，直接開挖整地至基礎高層，並無如南科基地軟弱地質及因地下水位高，開挖後易有地下水滲漏至開挖面的風險，所以樁機可直接於開

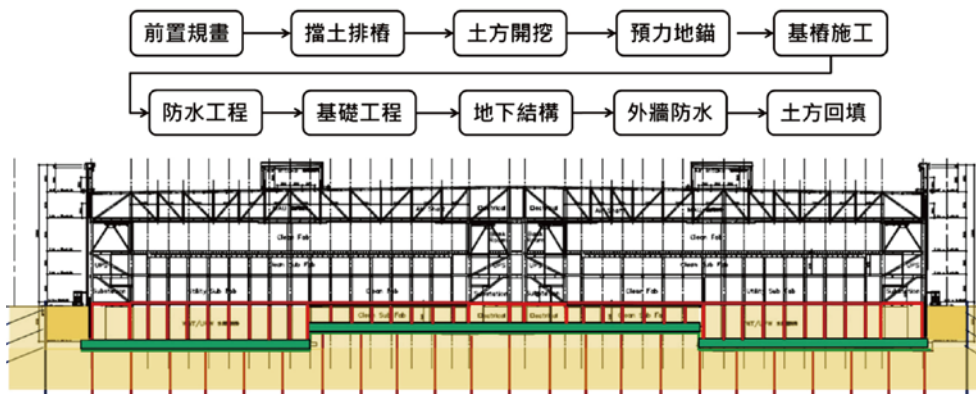


圖 13 下部結構施工流程 (中科為例)

下部結構體施工照片 (南科 - 先行施工基樁, 空打工法)



圖 14 南科下部結構施工照片

南科施工流程示意

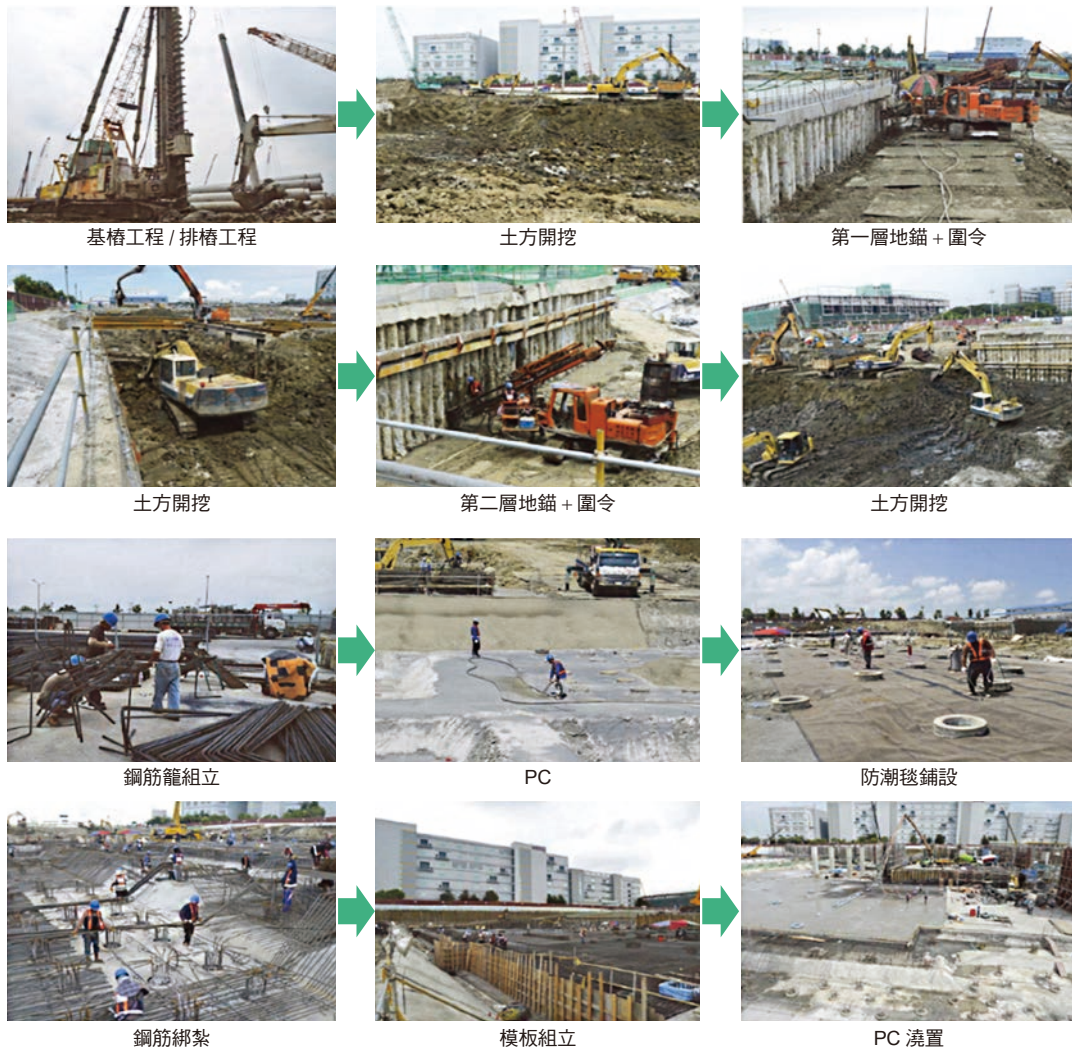


圖 15 南科施工流程示意

挖後的基礎高程施工，如圖 17 為中科下部結構照片，同時也具備各下部結構施工的特色，如開挖擋土設施，有明挖擋土、排樁地錨擋土、地質改良（CLSM 回填）等。

因應中科卵礫石層的地質，基樁的工法，也有所差異，不同於南科可以採取螺旋鑽掘的工法，而是需要採取全套管基樁施工，主因必須利用全套管基樁工法才足以破碎卵礫石，利用落下的重錘（俗稱鯊魚頭）敲擊石頭，並且取出礫石，但也因此施工效率不同與植入樁，平均一天一台機具僅可完成 1~2 支基樁，植入樁則可完成 10~12 支，故設計採取更大面積尺寸的基樁形式取代支數設計，例如全套管基樁直徑 200 cm 設計深度 14~22 m，植入樁基樁直徑則為 70~90 cm，設計深度 18~30 m。

### 地下室結構體施工

開挖擋土以及基樁工程的施工，是受地理、地質環境變數影響最大的階段，後續進入到地下室結構施工，則並無此差異，主要施工的關鍵則在於動線的規劃，例如吊車機具、搬運車輛的動線如何運補至需要施工的結構體，保留原土方的動線，或是進行假設工程的構台，以利同步施工下方的基礎結構，都是需要評估考量的重點；同時當地下室結構體外牆完成時，也要開始進行外牆防水的施工，以及搭配週遭外部管線施工，盡快進行回填工作，夯壓確實，建立週遭的 1F 地面道路，讓整個下部結構完成，開始進入上部結構施工的階段。

植入樁工法示意



圖 16 植入樁工法

中科下部結構施工照片（中科 - 先行開挖至基礎面，再施工基樁）

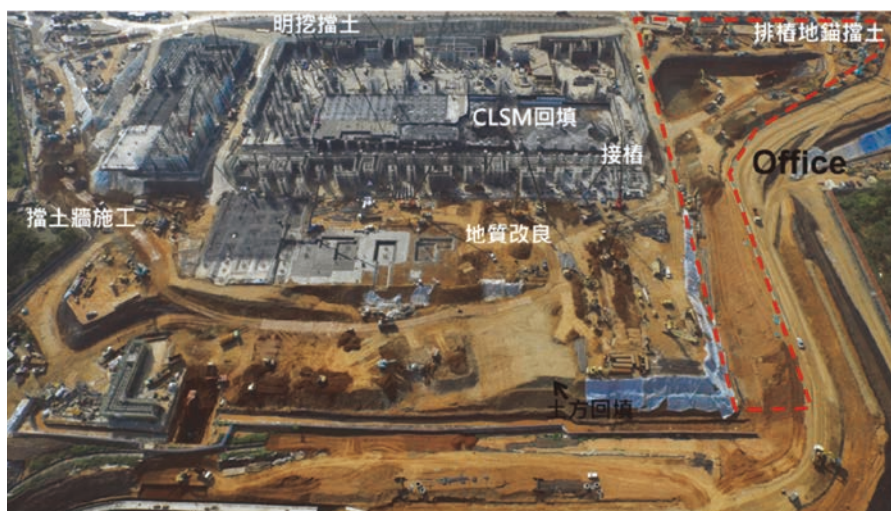


圖 17 中科下部結構施工照片

全套管工法示意



圖 18 全套管基樁工法示意



圖 19 地下室結構體施工流程示意

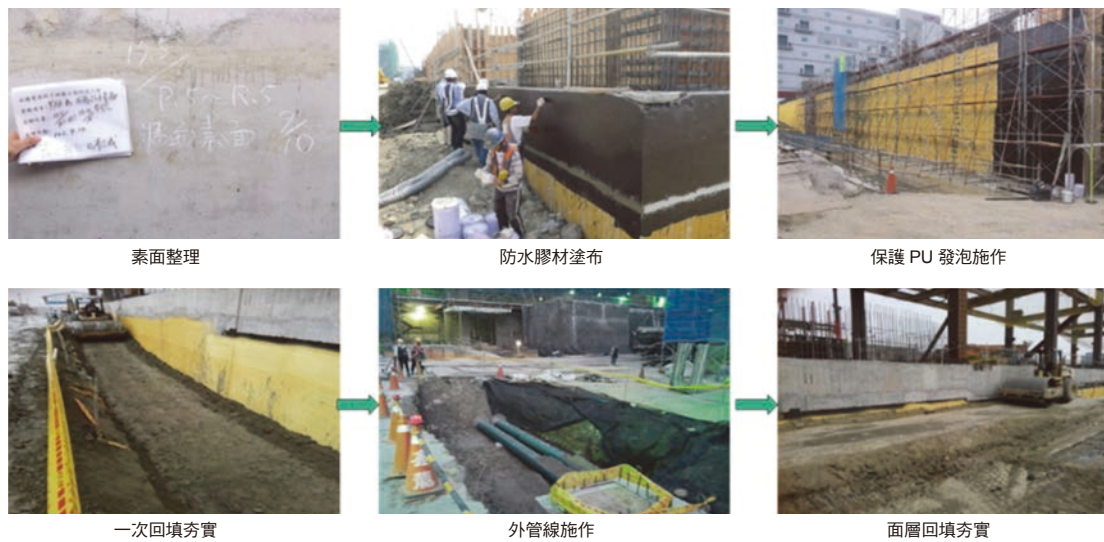


圖 20 防水、回填施工流程示意



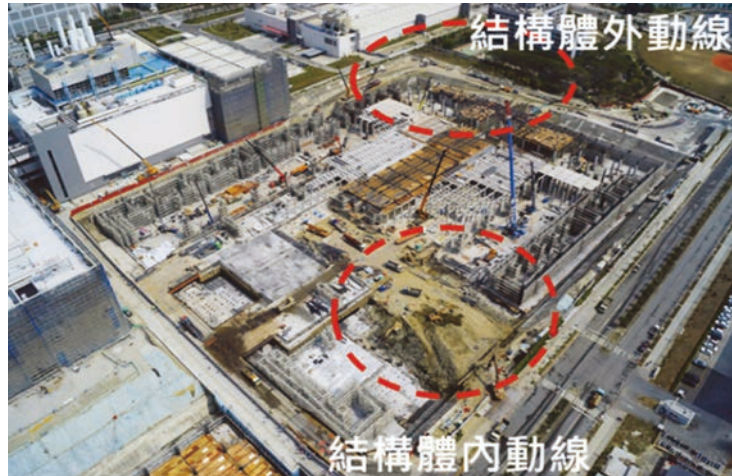


圖 21 結構體施工動線照片

### 連結上部結構施工

下部結構完成後，進入上部結構施工的介面連結，主要是在 1F 板面須埋設鋼構安裝的預埋構件，連同 1F 板結構體一同澆置。為要使上部結構的鋼構可以進場施工，下部結構體的完成量體需達 50% 以上，才有足夠的腹地空間，增加鋼構施工的效率以及避免重疊作業的安全風險。然而吊裝鋼構的大型吊車、板車

載運鋼構構件，都有重達數十噸的載重，為避免載重直接落於 1F 板面，造成樓板沉陷偏差，甚至破壞，則必須鋪設覆工板的假設工程於 1F 板面，主要利用鋼構橫梁構件橫跨在柱頭的位置（鋪設墊塊架高），將上方荷重平均落在主要柱、梁承載系統而非板面，並且在鋪設覆工板於鋼構橫梁構件上方，製造出平坦無高差的鋼構施工動線腹地。

#### 鋼柱基礎螺栓預埋工序

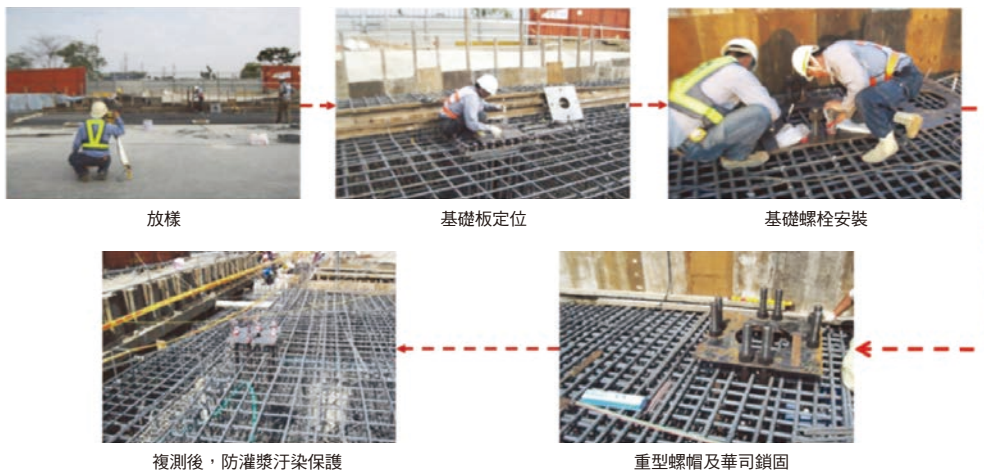


圖 22 鋼構螺栓預埋流程

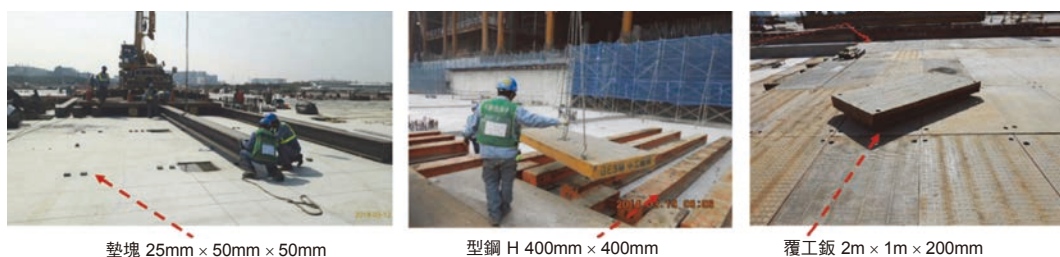
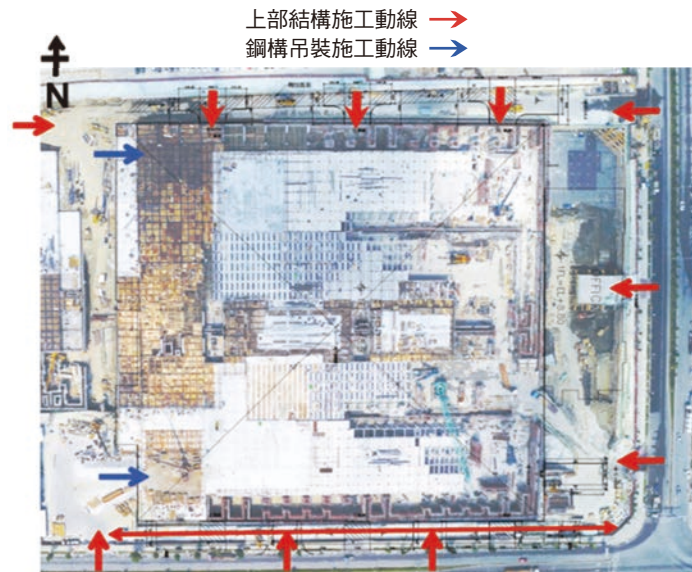


圖 23 覆工板鋪設示意



鋼構吊裝照片



圖 24 上部結構施工動線及鋼構吊裝照片

最後就是考慮鋼構機具進入下部結構 1F 板面的外部動線，由於車輛設備大，爬坡的斜率與轉彎的道路曲率空間均需考量，並且不僅是鋼構的動線，也必須將上部結構鋼筋、模板、混凝土等施工動線一併規劃，因此必須盡快完成下部結構的外牆以及週遭的外管線或是須埋設在地面以下的槽體，盡速回填，製造出這些施工動線。

### 結論

台灣的半導體產業，從 45 年前的豆漿店餐桌上開始<sup>1</sup>，開疆闢土建立起「矽屏障」，使台灣因著半導體成為現今世界中不可或缺的角色，甚至是世界級的領先。面對未來 5G、AI、自駕車的發展，半導體的進步與需求會持續推動，建廠的腳步也會不停往前，持續壯大台灣在半導體的技術與能力。

半導體廠房的下部結構工程，是一切開始的基礎，有成功的下部結構工程，就代表著專案成功的開始，如何從一片素地，透過本文說明的重點流程，鑽探、開挖、打樁、結構施工、回填，進入上部結構的工作，其中不同的地理環境則有則不同的變數，但卻是在相同緊湊的工期限制，必須如期、如質、安全的完成專案任務，這也是半導體廠房的挑戰所在。

希望藉由介紹半導體廠下部結構的始末，透過簡易的說明以及豐富的照片與圖面，讓讀者了解土木工程對於半導體廠的重要性，對於台灣半導體廠房工程有不一樣的認識與記憶。

### 參考文獻

1. 張陸滿 (2007)，「高科技廠房設施工程與關鍵技術」。
2. 吳偉特 (1992)，邊坡穩定之分析方法與運用，臺北市／現代營建編印，第 110-112 頁。



# 高科技半導體廠之地上工程

李宗軒／台灣積體電路製造股份有限公司 廠務處 副理

在過去的 30 年以來，台灣的高科技產業發展的相當成功，台灣不僅成為全世界電子、資訊和通訊等高科技品研發、製造的重鎮，半導體產業更是蓬勃發展。為了將台灣的半導體產業繼續向前推進，如何在最短時間打造出最符合使用需求的高科技半導體廠房乃是一個重要的關鍵。

## 前言

高科技產業是指用當代尖端技術（主要指半導體、通信技術、生物工程和新材料等領域）生產高技術產品的產業群。研究開發投入成本高，研究開發人員比重大的產業，為了研發高科技的產品，建造的廠房當然就不是一般的水準，唯有在建造出能夠符合產業需求的高科技半導體廠房，才能做為高科技產業往前發展的後盾，究竟高科技半導體廠房的地上工程在建築設計、施工及管理有何特別之處？本文以某半導體公司高科技半導體廠房為例，說明一樓以上地上工程，帶領讀者窺探其中的特別之處。

## 高科技半導體廠房建築與工程特性

### 高科技半導體廠房建築的特色

#### 面積及量體大

以一座高科技半導體廠房為例，其主占地面積

約等於 6 個國際賽事的足球場，若再加上相關附屬建物，整體大概是 55,210 平方公尺；其土方挖方量相當於 240 座標準游泳池的容量；至於鋼結構的用量甚至等於一座台北小巨蛋。

#### 施工工期短

為了配合產品上市、量產的時間，蓋廠的時程總是非常的緊迫，土木建築加機電的部份往往工期僅有 12 個月左右，若單看土木建築工期甚至只有 7.5 個月。若以一戶 30 坪的房子來看，平均 1 個月就必需完成 327 戶，整年度 3,924 戶，建廠的速度之快是一般工程很難相比的。

#### 空間高度高

高科技半導體廠房因為設備、機台及管線的需求，樓層的高度通常都比較高，一般來說樓高 6 m ~ 10 m 左右，約是一般房屋的 2 ~ 3 層樓高，同時也因為樓高較高的緣故提高了施工與安全管控的難度。



1座FAB



1座台北小巨蛋的鋼構用量



6座國際賽事足球場的面積

圖 1 半導體高科技半導體廠房的量體比較



圖 2 樓層高度高以達使用需求

### 需要大量施工人力

綜合前面三點所述，高科技半導體廠房必需在很短的時間完成大量的量體且施工難度高，為了如期如質的完成，在施工的過程中必需引入很多的承包商的人力同時進行施工，如圖 3 所示平均一個新建廠專案其人力高峰期達 3,500 人，也因為如此在建造的過程中有非常多的施工介面必需管理，透過管理的理論及技術才能順利的如期、如質及安全完成建廠。

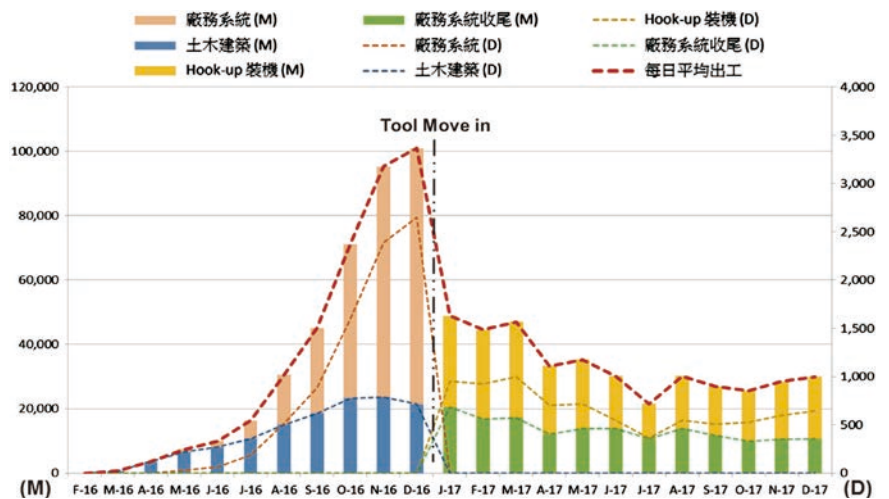


圖 3 高科技半導體廠房興建過程中的人力曲線 (以某公司新建廠專案為例)

### 施工規劃複雜

在有限的時間、空間之內要同時讓眾多的施工廠商進廠施工，沒有做好施工規劃是不行的，所以在制訂施工計畫上我們要特別注意幾點，首先是良好的動線規劃，確保物料運輸和施工機具進出能夠順利；第二必將施工順序妥善安排，避免重工 / 做白工的情形發生，並且創造同步施工環境與條件；最後就是必須理解「要徑」以及管理「要徑」，由於在建廠的過程中工項非常多，在管理上我們要掌握要徑上的工項，避免要徑工項延遲或失控，才能讓建廠專案能夠如期完工。

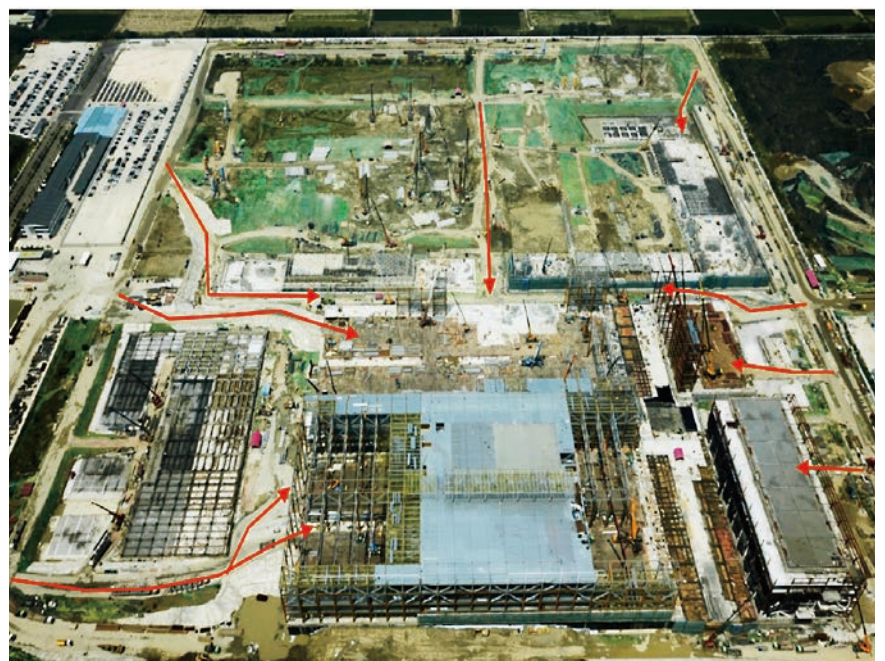


圖 4 高科技半導體廠房的動線規劃

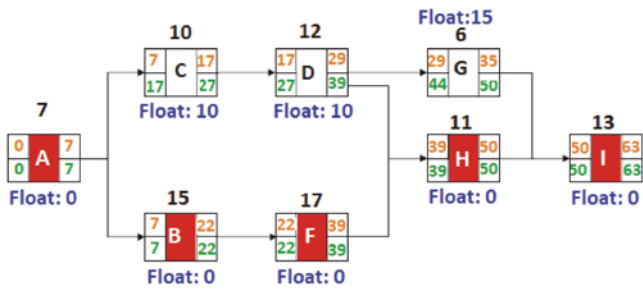


圖 5 要徑法 (Critical Path Method)

## 高科技半導體廠房建築與運轉使用需求上的特別關聯

在瞭解廠房特色之後，我們換個角度來探討高科技半導體廠房在建築設計上與啟用運轉生產的五大的需求關聯：

### 空間最大利用

高科技半導體廠房為了確保生產空間能夠最大利用，所以在廠房的設計上必需考量到如何增大跨度、加寬柱位，桁架 (Truss) 便是一個很好的選擇，在後面的章節中本篇會再說明桁架的特點，這裡就不加以贅述。



圖 6 無塵室內空間利用最大化

### 配管及迴風需求

無塵室是利用內部流動的空氣能將塵粒 (Particles) 順著氣流的方向導入過濾器，進而將空氣中的塵粒去除 / 淨化，爾後再將乾淨的空氣導回無塵室中，所以在高科技半導體廠房中，迴風的設計就變得尤為重要，為了滿足這樣的需要，高科技半導體廠房採用「洞洞板」的設計，不僅能夠達到迴風的功能，亦可供配管使用。



圖 7 無塵室內的洞洞板

### 耐震與抗微振

由於高科技半導體廠房的製程越來越進步，其精度已經達到奈米的等級，在這樣的精度要求之下，廠房的震動、微振也都需要精密控制。所以在高科技半導體廠房的結構體上，也必需在這方面下功夫，必須有效的降低地震與微振影響，有效提升產品的良率創造競爭力。在高科技半導體廠房中為了要提昇耐震與抗微振的能力，在設計上會採取提昇樓板勁度、加裝 Damper 和 BRB、設置眾多剪力牆等方式解決。

### 複雜的安全法規需求

為符合建築法規，高科技廠房特別注重防火區劃、避難層與逃生動線的規劃，防火區劃除了一般的設計外，另注意管線在穿越不同防火區劃時，應裝設符合規範之防火排煙閘門與管線材料的防火耐燃規定；避難層設計除考量地面層外，也需評估基地有不同高低差時所產生之增加的避難層；逃生動線規劃，除了考量隔間的影響外，廠房的設備空間也應納入設計檢討的考量因素。消防法規對於存放危險化學品及氣體場所，另制定專有之設置標準及管理辦法，管制存放化學品及氣體之種類及容量；存放之空間需保留安全距離，並設置防爆牆及洩爆窗，設定洩爆壓力及洩爆方向，均是為了控制災損的範圍並減少傷害。

## 高科技半導體廠房地上工程概論

一座高科技半導體廠房的基本組成主要分成二大部份，FAB、CUP。本章節我們介紹的地上工程以一樓以上的結構體系統，並將會二種建築物的功能一一的為讀者解說。

## FAB

高科技半導體廠房中的 FAB 是 Fabrication (製造廠) 的意思, 一般來說指得就是主要的生產重鎮, FAB 大致上分成三個區域, 無塵室、HPM、迴風區。除了一般大家所知道的無塵室之外, FAB 中有個特別區域 HPM (Hazardous Production Materials) 危險物料區, 主要用於暫時存放待處理的危險性物料 (例如有毒化學品、氣體等等)。另外在前面的章節中, 我們和讀者提到高科技半導體廠房有迴風的需求, 所以在 FAB 的兩側與中間都設有「迴風道」, 讓空氣能夠不斷的在 FAB 裡面過濾和循環、排氣。

### FAB 的的結構型態

就本篇討論的高科技半導體廠為例, 其結構體為一混合式的結構系統, 將前述無塵室、迴風道與 HPM 搭配建置出來。運用 SC 鋼構結構, 特性為韌性强度高且質量輕; RC 鋼筋混凝土結構, 特性為防火性高且耐壓耐久; SRC 鋼骨鋼筋混凝土, 特性為結合 SC 與 RC 結構之特性。利用三種結構系統搭配設計, 克服 FAB 的荷重需求以及生產過程中對微振之敏感度, 並且達到耐震需求, 建造出高荷載、大跨距、制震、抗微振高之建築物性能。



L40 Truss SC



迴風道SRC



柱RC

圖 8 FAB 的的結構型態

## CUP

CUP 的全名為「Central Utility Plant」, 其主要的功能主要有 3 項: (1) 做為銜接外部自來水及電力的接收站; (2) 將從外部接收的水經過處理或降溫而電力經過降壓之後, 提供給 FAB 使用; (3) 做為半導體廠廠務運轉監控中心。

一座工廠要能夠運轉, 必需要有水、電、氣等 Utility 系統, 有別於一般化工廠將水系統、電力系統、供氣系統, 以平面式的方式分散在廠區之中, 高科技半導體廠房將這些提供基礎的 Utility 系統以垂直的方式將之整合進一棟建築物之中, 有效利用整體廠區面積。CUP 就好比我們人類的心臟, 而這些水、電、氣就好比血液中的養份, 透過連接 CUP 與 FAB 的血管, 也就是管線、電線, 將之送到有需求的使用端, 也因為如此 CUP 是高科技半導體建廠專案的第一棒, 必需在 FAB 開始運動之前完工。

### CUP 的結構系統

CUP 就功能性而言, 是提供整個 FAB 的水、電、氣的重要樞紐, 但在其結構系統而言, 常見有兩種做法, 第一為使用純鋼筋混凝土 (RC) 的做法, 第二為使用鋼構搭配鋼筋混凝土 (SRC) 的作法, 至於是怎麼決定應使用 RC 還是 SRC 結構系統呢? 關鍵都在於「成本」與「工期」, 一般而言使用 SRC 的成本約是 RC 的 1.6 倍, 但是 SRC 工期上較 RC 來的短, 決策時必需在工期與成本的考量下才能決定使用 SRC 還是 RC。另外因為在台電的接收端位在 CUP 中, 不管是 GIS 或是主變電站的設備都很重, 所以 CUP 在樓板的設計上會採用高荷載的設計, 再者為考量到安全性的問題, 在 CUP 的大電機房也會採用防爆牆、BRB 等設計, 將可能面對的災害降低, 減少對 CUP 的影響。



圖 9 CUP 建築物



圖 10 CUP 鋼結構吊裝



圖 11 興建中的 CUP 鳥瞰

## 高科技廠半導體房地上工程施工不同於一般建築之處

看到這裡想必讀者都已經注意到高科技半導體廠房結構所注重的幾個要點：制震、抗微振、大跨距、迴風等。基於這樣的要求下，高科技半導體廠房在結構體上有著不同於一般建築物的特殊設計。此節我們為讀者整理了這些特別之處詳細說明。

### Cheese Slab

高科技半導體廠房基於潔淨室塵粒（Particles）控制的需求，在廠房設計中運用壓力將空氣當中的塵粒經由氣流穿過地板的圓洞（我們稱這樣的樓板叫 Cheese slab）並經由迴風道進入過濾器、溫濕度調節

器之後再將乾淨的空氣送回到 FAB 區。至於為什麼稱它為 Cheese slab 呢？其實下圖就以已經非常明顯了，在一般生產區洞洞板結構就如同 Cheese 一般的外觀，十分的有趣。除了迴風的作用之外，這些樓板上的孔洞也供設備配管使用，為了要做出 Cheese Slab 上的孔洞，在樓板施作的過程當中，會預先安裝圓桶型狀的模具在樓板當中，在灌漿完成之後再將模具卸除。



圖 12 Cheese Slab 與 Cheese



圖 13 Cheese Slab 下方仰視圖



圖 14 洞洞板的圓桶模具



圖 15 Cheese Slab 的施工流程

### Waffle Slab

根據抗微振需求的不同，洞洞板也有不同的型式，在主要生產設備區的地坪，抗微振的需求往往都比較高，Cheese Slab 的勁度較低，因此洞洞板也有另一種變形更強壯版 - Waffle slab。為什麼叫 Waffle？主要是因為他把密集梁結構跟洞洞板合而為一之後，從樓板下方看就像 Waffle（鬆餅）一樣，故因此而得名。其樓板結構因為有密集格梁的配置，大大的提升樓板勁度，使抗微振力增強。



圖 16 格子樑結構



圖 17 Waffle Slab 下方模樣





圖 18 Waffle Slab 的施工流程

### 數量眾多的剪力牆

根據 103 年內政部建築研究所研究報告顯示，鋼骨構架系統中，加設剪力牆可大幅提升對水平向勁度，對於減低結構微振反應有明顯的效果，並顯示以均勻分布的效果最佳。因於這樣的原因，對於微振很敏感的高科技半導體廠房在剪力牆的設置上也採取多而且均勻的方式分散在廠區之中，除了減低微振外，剪力牆的強軸勁度很大，可有效抵抗該軸之側向地震力，分擔柱子側向力與承載力。舉個例子來說，一個中間沒有隔板的紙箱，只有稍微一擠紙箱就會變形，但如果在只箱中加入了隔板，紙箱就不會那麼容易就變形，在紙箱中的隔板就好比剪力牆，它們的功能其實是如出一轍的。



圖 19 高科技半導體廠房內的剪力牆

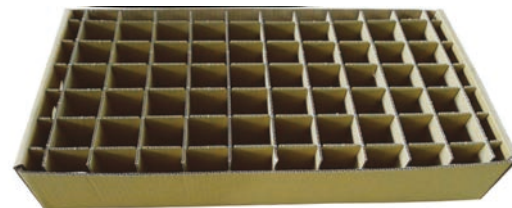


圖 20 剪力牆的功能如同紙箱中的隔板加強勁度

### 阻尼器 (Damper)

為了增強高科技半導體廠房的耐震及能力，在廠房中會設置很多的 damper，也就是大家常常聽到的阻尼器，FAB 裝設避震器系統屬於速度形式 damper，利用速度動能轉換地震能量，並主要用於抵抗中小地震。以金屬及高分子材料構成之制振元件，高分子材料提供良好的遲滯阻尼，也能有效應用於抗震及高層建築防風振的結構體。

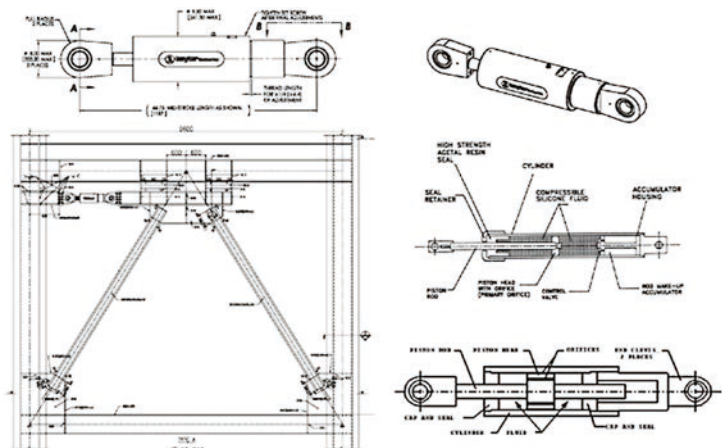


圖 21 阻尼器基本構造



圖 22 阻尼器測試

### 挫屈束制支撐 (BRB)

高科技半導體廠房為了確保廠房在地震中，其結構體不遭受地震所破壞，所以在結構體上都加裝「挫屈束制支撐」，其英文全名為 Buckling-Restrained Brace 簡稱 BRB。BRB 具高強度與高韌性等有利於結構耐震的特性，在中小地震時，能提供足夠勁度（越大越不易變形，在牆未裂之時就能消能）可控制結構物之側向位移。

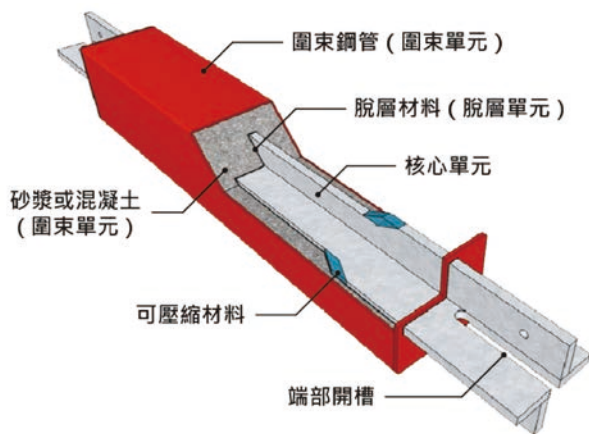


圖 23 BRB 的構造



圖 24 BRB 現場安裝

### 超大型桁架 (Truss) 結構

在先前的章節中有提到，高科技廠半導體房為了讓潔淨室的空間最大化，所以加大了短向的柱距，以致於主潔淨室的上部樓板及屋頂結構需採用大跨距且高承載力的設計，所以超大型鋼構桁架就成了首選。桁架是利用桿件連接成三角形，再加以串接而成受力時，桿件只傳遞拉力和壓力，進而能充分利用材料的強度，在跨度較大時，不僅能夠節省材料、減輕自重並增大剛度。



圖 25 高科技廠半導體房超大型桁架 (Truss) 結構

大跨度的結構經載重作用下，變會產生變形量，在學術上我們稱這個變形量為撓度，為了避免經載重後桁架的無法保持水平，我們會對這超大型的桁架進行「預拱」的設計。什麼叫預拱呢？就是在施工或製造時預留與變形量方向相反的校正量，經荷載（自重 + 結構樓板 + 管線設備等活載）後能保持水平狀態。

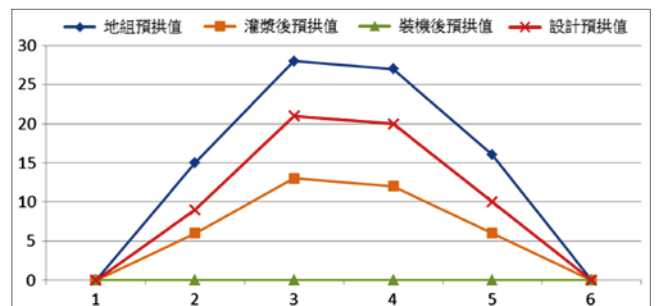


圖 26 Truss 的預拱值設計 (示意)

### 高科技半導體廠房施工管理

高科技半導體廠房的興建工程，就如同前面所說，是一個工期短、量體大、施工人員及工程介面多

的專案，要在這樣的工程特性如期與如質的完成專案，對專案的管理者都是一大挑戰，下列針對品質、安全、進度三方面施工管理進行介紹。

### 品質，源頭管理

品質管理也是施工過程中非常重要的一環，試想一個工程如期完工，但是所蓋出來的東西並不符合使用需求，如期完工又如何呢？品質管理就是制定工程標準來查核執行的成果是否有符合標準，不符合的地方就必需改進、修正。在採購發包階段若能將目標制定好，筆者以經驗說明將能控制住 70% 以上的問題，

而現場的查核約佔 30% 的控制性，所以在這裡我們想帶給讀者的是一種「源頭管理」的概念，所以怎麼再提高現場品質管理的控制度，同樣以源頭管理的觀念發展，首先「施工人員技術認證」，確保關鍵工項能夠由會的人施作，比如銲接或是防爆設備安裝等 …，另外「關鍵材料或產品效能實際驗證」，發揮實驗精神確保使用在廠房內關鍵產品之效能，比如防火漆及防火風門試燒等 …。這些都是為了一開始就對要進場的技術工、材料進行技能、品質的預先管理，控制未來品質不良的機率。

專業技術人員工種：

技術人員工種			
防水	灌漿牆	防火填塞	伸縮接頭
鋼筋	防爆牆	防爆電氣	隔振基座
焊接	Epoxy	HV電纜頭	防火風門
阻尼器	洩爆牆	電氣設備組裝	防火庫板牆
防火漆	層間塞	電氣配線結線	無塵室安裝

專業技術人員認證流程：

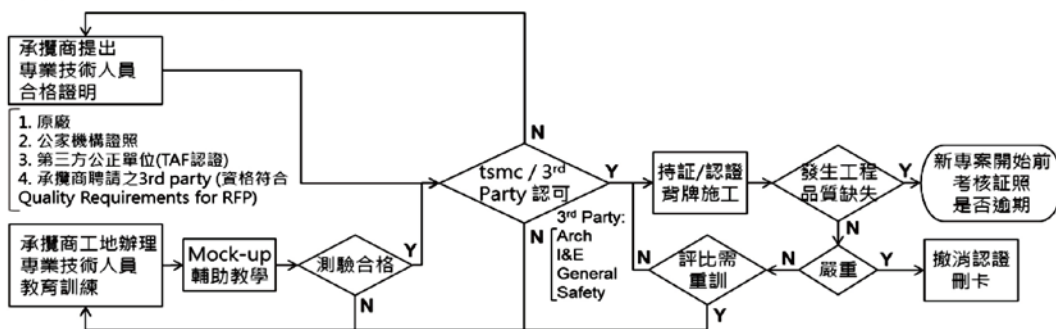


圖 27 施工人員技術認證流程

- ▣ 實驗室：內政部建築研究所防火實驗中心
- ▣ 試驗標準：CNS 12514-1建築物構造構件耐火試驗法。試驗時間：60分鐘
- ▣ 試驗判定基準：最大軸向壓縮量30mm (C=h/100)
- ▣ F15P5鋼構防火漆試燒結果：合格
  - ▣ 試體加載荷重477噸，昇溫加熱1小時後，鋼構未變形。





測試爐體內部圖示

測試爐體外觀圖示

試燒完成冷卻後試體圖

圖 28 鋼構防火漆試燒



圖 29 建立安全文化

## 安全，安全文化建立

在安全管理，主要由三個面向，第一我們必需注重「作業中安全活動」，設立指定區域管理責任者負責區域內的施工安全，且在高風險作業時搭配的安全查核機制，管理與降低風險。第二是「建立安全文化」，這也是最重要的安全元素，利用教育訓練課程、實際危害模擬、工具箱會議宣導、張貼警語等方式，由內而外搭配時時刻刻感受，將安全文化推廣與落實。第三是「工法安全精進」，透過組織安全防護會議等方式，討論與精進施工方法，降低人員曝露於危害的機會提升安全管理。

## 進度，要徑管理

擒龍必需先擒首，這是大家很常聽到的一句話，在高科技廠半導體房這樣工期短、工項多的情形之下，管理耗時最長連串工作項目就尤為重要了，而「耗時最長連串工作項目」我們就稱之為「要徑」，要徑工項能夠如期完成，也就代表專案能夠如期完工，然而透過什麼方法來管理要徑呢？大致如下述：

1. 瞭解要徑：筆者認為的要徑是由以下三點定義出來，第一是以學術理論為基礎，將施工要徑給找出來；第二為輔以專案經驗累積，判斷理論要徑在管理上的適當性；其三再配合一些市面上的專案管理工具，例如 Project、P6 等專案管理軟體，進行要徑的整合和管理。
2. 資源集中：台灣營建市場的現況為人口老化、缺工情形日益嚴重，但在短時間內讓高科技半導體廠房興建工程能夠達到需求時程目標，因此如何將有限資源做妥善的分配是非常重要的，透過上述要徑管理

概念，將資源集中到符合專案目標的工項，以使資源最大化利用之目的。

## 結論

高科技半導體廠房的地上工程承前面所述是一工期短、工程量體大、需投入大量人力、施工藉面複雜的工程專案，但隨著台灣營建市場施工人力老化資源不足狀況下，施工管理非常重要，掌握好 PDCA 的原則「謀定而後動」，搭配各界面之間的同步與重疊施工，透過管理的方法達成專案目標。高科技半導體廠的施工管理是一門很大的學問，目前筆者同時進行工率大數據庫及相關管理智能化系統開發，希望本篇能讓讀者對高科技半導體廠的地上工程有所認識，未來也有機會對於施工管理系統分享。

## 參考文獻

1. 張書萍，「高科技廠房營建工程特性之調查與分析」，碩士論文，2000
2. 許敏郎，「高科技潔淨室防火設計與現行法規適用性之研究」，碩士論文，2004
3. 蘇怡樵，「高科技廠房於規劃設計階段成本管理之探討」，碩士論文，2008
4. 曹志明，「高科技廠房空調系統節能策略之研究」，博士論文，2009
5. 何明錦，「高科技廠房建築物受風反應之研究」，2014 年內政部建築研究所協同研究報告，2014
6. 吳安傑，「挫屈束制支撐構架設計概要與工程應」，期刊〈結構工程〉，2015
7. 張陸滿，「高科技廠房設施工程及其關鍵技術」，2015
8. 吳新富，「高科技新建廠房的工程危害鑑別與預防」，碩士論文，2017
9. 吳心玫，「半導體廠房空間之研究—以廠務設施為例」，碩士論文，2018



# 土木工程在高科技廠房工程的角色

張陸滿／國立臺灣大學土木工程學系 名譽教授

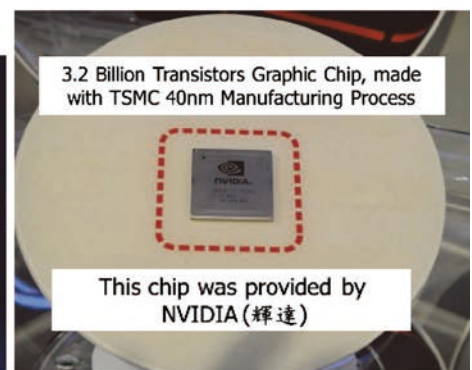
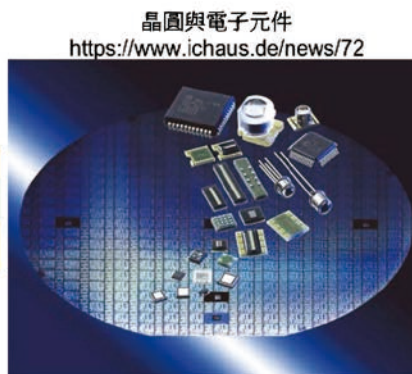
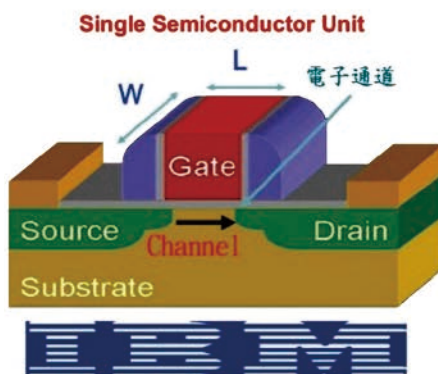
高科技廠房是指高科技產業製造中所需的工廠，包括建築、水電空調、儀表控制、管線設備、廢水廢氣處理、環境生態保護等等設施。高科技廠房工程係指規劃、設計、採購、施工、試車、移交、維護及經營管理這些許許多多設施之相關工程。台灣高科技生產背後之核心產品就是半導體，因此，本文所討論的高科技廠房是以製作半導體晶圓之廠房為例，期望藉此例，讓讀者更具體地瞭解土木工程在高科技廠房工程中所扮演的角色。

## 高科技廠要求高潔淨高精準

高科技廠房與一般工業廠房，其最大的差別就是在製程環境之潔淨度以及製程中所要求的精準度有所不同。高科技產品生產的核心地帶，是在潔淨室（cleanroom）或稱無塵室裡面，因為製程中所要求的環境之潔淨度是可以在這裡有效確保。試想要在小小1吋見方的晶片上，在重複做微影（Photolithography）、蝕刻（Etching）、離子植入（Ion-Implantation）、氣相沉積（Vapor Deposition）後，製造出幾十億奈米級可以傳輸電子通道的半導體單元（Single Semiconductor Unit），同時連絡這幾十億半導體單元而成盤根錯節、

複雜萬分的積體電路，爾後測試封裝成各式各樣可用的電子元件。

在製作當中，若元件內外被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，改變電子通道電阻電壓，肇致訊號指令不清，終端電子器械無法操作。甚至，空氣中若有滲雜工作人員之汗酸味，就可能污染晶片，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。同時，製作過程當中，一個小小微振動可能弄得微影混淆模糊，看不清楚，更不要說進一步的量測製作。這種精準潔淨度的奈米觀，實不易被一般看慣大尺寸（公尺，立方公尺、公里）的土木工程人員去想像理解的。

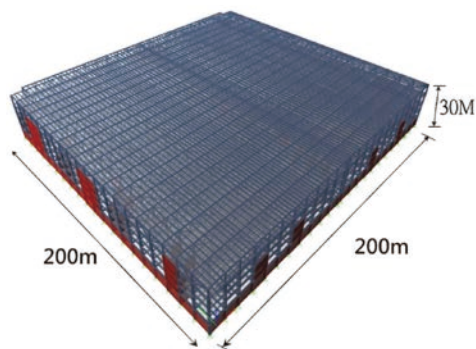


## 土木工程之各學術領域

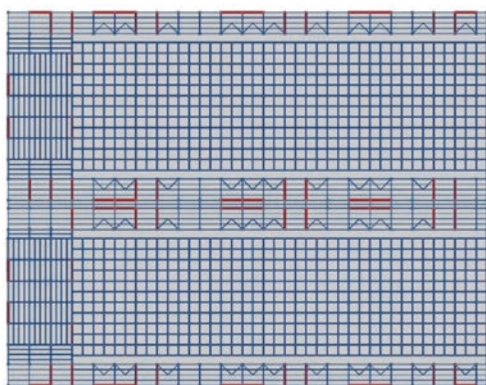
根據一般教學研究之功能，土木工程大約可細分成：大地工程、結構工程、水利工程、環境工程、交通工程、營建工程與管理、電腦輔助工程、測量與空間資訊工程、土木材料工程等學術領域，本文據此嘗試一一說明土木工程各學術領域在高科技廠房工程的角色，希望讀者閱讀後，能進一層瞭解到土木工程各學術與高科技廠房工程之介面盤根錯節，息息相關，土木工程在高科技廠房工程中扮演不可或缺的角色。

## 大地工程與結構工程

當半導體之製程技術縮小到 100 奈米以下時，由於製做程序變多而複雜、要求精準潔淨度更是嚴謹，再由於大尺寸的晶圓可以切割較多的晶片，12 吋可以較 8 吋切割出 2.15 倍的晶片。於是，晶圓尺寸從 3 吋、4 吋、8 吋、12 吋逐級擴大，而其相對的生產機台，其大小也必須擴大，所以廠房結構體變得更加龐大，其大地與結構之設計更須有牢固穩健的考量，如栗正暉提供之下圖，一座典型的 12 吋半導體晶圓廠之結構體大小約 200 公尺 × 200 公尺 × 30 公尺，並多處建構防震之剪刀牆。



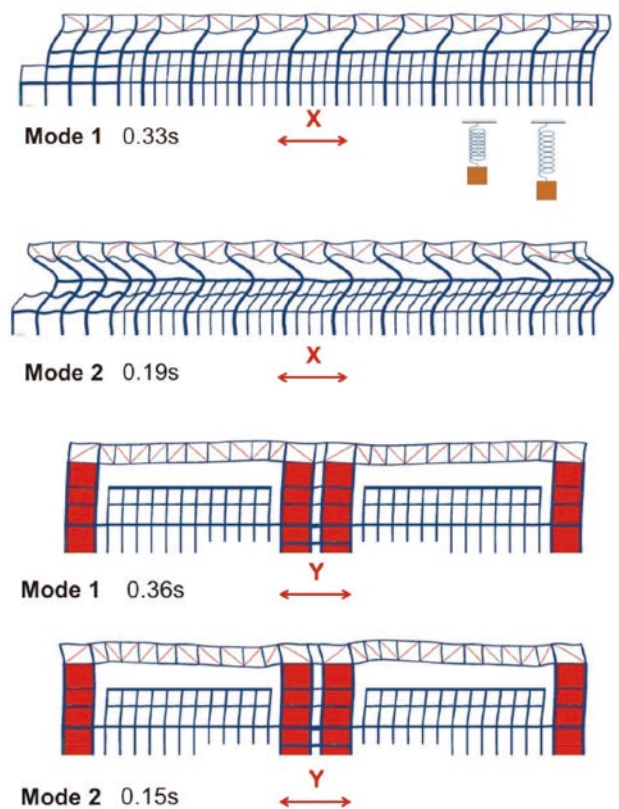
典型的 12 吋半導體廠

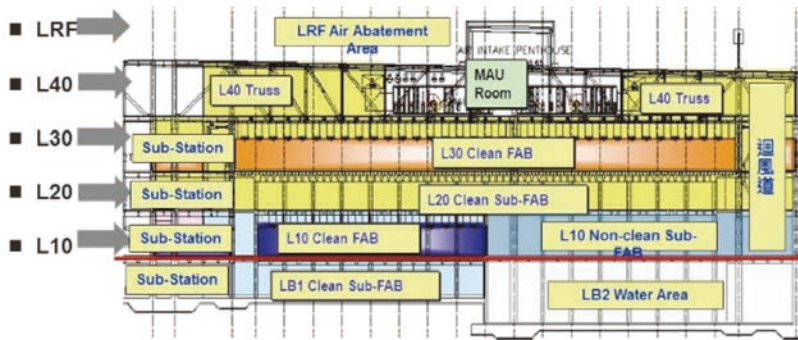


平面圖之紅色所示為剪力牆

又，半導體高科技的研發製造中，必須運用高性能的製造設備 (Tools)、精準敏銳的儀器 (Instrument) 和超純淨的水、電、空氣、化學原料等等的廠房公用設施 (Utilities)。而這些研發製造程序必須在嚴格控制的潔淨無塵室中，穩定的製造平臺上，及 / 或沒有在電磁波干擾的環境下進行。許許多多的製造設備、精密儀器與公用設施、因為都要架設在土木工程的土壤結構上，同時須解決因地震、噪音、電磁波 (EMI)、射頻 (RF)、氣流、機臺共振等等所衍生的振動問題。如此，可以想像高科技廠房工程裡的土木大地工程與結構工程系就有大顯身手的機會。

除一般耐震減震之傳統結構設計外，進十年來發現半導體廠的自然頻率約在 3-4Hz 之間，也就是說即使大地震 (高頻率) 發生在日本、印尼，其高頻振動波最後到達台灣時就變成長波低頻的頻率，若剛好落在 3-4Hz 之間，如此，即刻肇致的共振，而嚴重破壞廠房設施。因此，如何防止微震動 (Micro Vibration) 的共振損害，也是廠房大地與結構工程設計的新議題。因此，運用下圖模擬分析 (Modal Analysis)，以及建立早期地震預警系統 (Early Earthquake Warning System, EEWS) 更是結構工程師可貢獻的所在。(資料來源：陳錦村)





高科技廠的剖面圖 (李宗軒提供)



施工中的高科技廠結構工程 (栗正暉提供)

● 施工前置規劃-基地調查

- 地質鑽探、地下水位調查
- 基地高程覓測
- 試樁(破壞性試驗)·確認基樁設計參數



大地與測量工程 (宋思賢提供)



● 結構施工分類概述

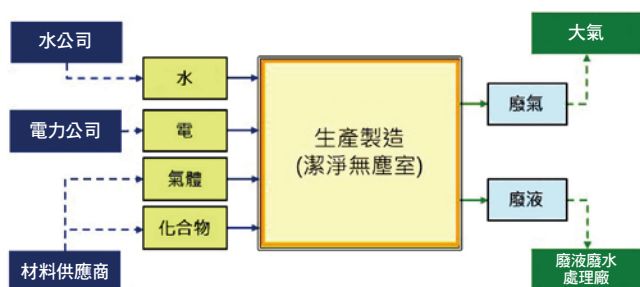
- 基礎
- 基樁
- 地下室結構體
- 地下隧道



基礎工程 / 下部結構 (宋思賢提供)

## 水利與環境工程

而，高科技廠生產需用大量之水、電和化學原物料，其中水和化學原物料之淨化，其使用後之廢水、廢氣、廢化學液的處理和回收再生、興建營運中之節能減炭以及環境生態之保護，樣樣都與土木的水利工程及環境工程有關。下圖所示係水、電、大宗氣態及液態化學物傳輸到高科技廠房潔淨無塵室，供其生產之用，使用後，其廢氣、廢水、廢化學液等均須經處理至合乎規定，才能釋放到大氣或河川海洋裡如下圖所示 (資料來源：鄭昭平提供)。



## 交通工程

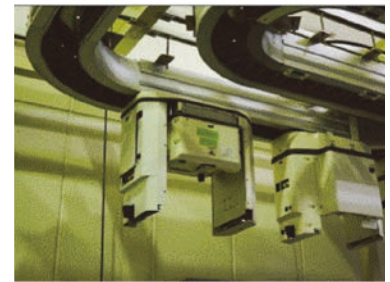
在每月能生產 10 萬片晶圓 (Wafer) 的集合互連式之半導體廠 (Giga Fab)，廠中使用約 2,500 台生產機台 (tools)，並有晶圓傳送盒 (FOUP) 約 2,000 台。晶圓盒不斷從一個機台完成一製程後，裝載傳送晶圓到另一個機台，晶圓抵達另一個機台時，不是即刻就可輪到該傳送盒內的晶圓進入下一步製作，往往需要在另一個機台邊的儲料櫃 (Stockers) 等候下一步的製作，廠內約有 250 座儲料櫃，如此 2,000 台的晶圓盒不斷從一個機台裝載傳送晶圓到另一個機台，再傳送到另另一個機台，估計每天輸送的路程長達 500 公里，這集合互連式之半導體廠的物料 / 晶圓搬運系統 (Automated Materials Handling System, AMHS，其軌道長約 40 公里，若將這懸吊的晶圓搬運系統之軌道翻轉過來，這幾乎可以形同一個大都會的捷運系統。

尤其，當半導體晶圓製造尺寸從 8 吋擴大到 12 吋，由於 25 片晶圓裝在一個晶圓傳送盒內已重到非一般人可以提送，必須靠自動化物料 (晶圓) 搬運系統來輸送。導致新世代的高科技廠房變成幾乎是無人

<http://img.technews.tw/wp-content/uploads/2014/04/Semiconductor.jpg>



幾乎無人的半導體晶圓廠



OHT: Over Head Transporter



OHS: Over Head Shuttle

自動晶圓搬運系統

的自動工廠。而，半導體晶圓之製做程序可能高達數百道，生產機台間，其原料、半成品、成品無論運用有軌道、無軌道的自動輸送系統 (Automated Materials Handling System, AMHS)，都很需要土木交通工程專家來將之最佳化，幫每一台傳送盒找出最近路徑和在儲料櫃中等候時間降到最低。

### 營建工程管理

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。傳統營建工程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，高科技廠房之營建工程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。

因此，高科技廠房之營建工程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，高科技廠房之營建工程管理，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，這些都需土木營建工程人員面面俱全的妥善管理。下左之施工圖係源自許金榮。



潔淨無塵室的施工

(資料來源: M+W Group)



高科技廠規模愈來愈大但建廠時程愈來愈小

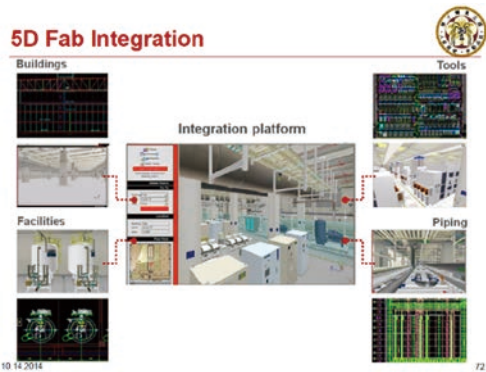


另外，一座高科技廠約 1 仟~ 3 仟億臺幣，施工人員可從 5 千至 1 萬 5 千人左右，協力廠家上百，要求從破土到蓋好驗收，在 8~ 10 月完成並移交給生產端去安裝機臺，這些更需土木之營建工程與專案管理人員之整合協調，在安全至上，最佳價值之成本下，如質如期完成。

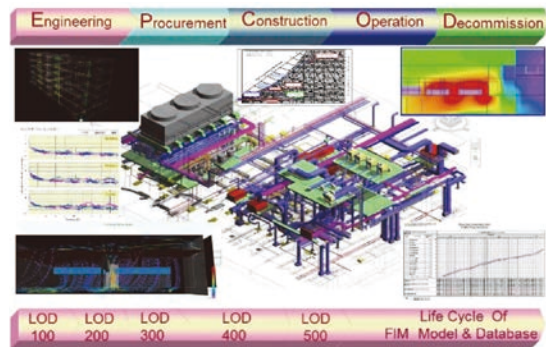
### 電腦輔助工程

眾所皆知，資訊科技 (Information Technology, 簡稱 IT) 進步神速，CAD (Computer Aided Design, 電腦輔助設計) 技術已廣泛地被運用於各領域。同時，研究學者及 CAD 軟體業者也不斷加強 CAD 的效能，使得 CAD 從 2D (二維平面)，發展到 3D (三維空間)，再發展到

4D (三維空間+時間)，5D (三維空間+時間+成本) 等等，以 3D CAD 加上物件導向 (Object Oriented)、參數化設計 (Parameter Design) 及關聯性 (Relationship) 所形成的建築資訊模型及模擬 (Building Information Modeling, 簡稱 BIM)，正被應用於廠房建築的整個生命週期過程中。在規劃、設計、採購、施工、移交、維修及營運中，以三維度物件 (3D Object) 製圖、模擬、進行更有效率地跨領域之平行設計、審定及溝通。如下圖鄭昭平所提供的，過去使用多張繁複 2D 的套圖，而今，一張簡單的 3D 立體圖，大家便可一目了然。在資訊電子化的時代，土木的電腦輔助工程也是高科技廠房工程中不可或缺的重要環節。



中間 3D 立體圖，旁邊 2D 平面圖 (謝尚賢提供)



3D 立體生命週期圖 (謝尚賢提供)



廠房資訊模型模擬 (FIM) 的功能應用

## 測量與空間資訊和土木材料工程

而奈米層級的製造，其廠房設施在興建營運上之空間資訊要求嚴謹，其所在基地和所有結構物的高度及位置必須精準明確，特別是精密機台之銜接，若有不當，肇致效率不佳，營運損失，更可能因機台鬆軟不正，導致人員傷亡，如此，土木的測量與空間資訊工程師實責無旁貸。

在奈米科技提昇過程中，很早就發現，這些奈米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、或生物性的各種特性，臺灣高科技半導體已進入 5、3、2 奈米的製程，如何將先進奈米材料研發成成果，轉形應用成土木工程材料亦是刻不容緩的課題。

高科技廠中除使用的金、銀、銅、鐵、鋁及錫等各貴重金屬外，也使用相當多的水泥、瀝青、玻璃、陶瓷、油漆、塗料、黏膠及光纖等等。以往高科技廠之興建營運中，衍生大批的廢棄物和製造了無數的廢氣廢液，土木材料工程師如何在過程中廢料減少、再利用和再生 (reduce、reuse、renew)，甚而將稀珍戰略元素，返樸歸真地精淬提煉儲存並循環應用以及如何應用奈米科技研發的成果來增益加強高科技廠房所需材料之應力 (stress)、應變 (Strain)、硬度 (hardness)、疲勞強度 (fatigue)、彈性 (Elasticity)、塑性 (Plasticity)、韌性 (resilience)、剛性 (rigidity) 等等，也是值得土木材料工程師持續努力的方向。

## 結論

傳統的土木工程是將土木工程中的大地、結構、水利、環境、交通、營建管理、電腦輔助、測量與空間資訊、土木材料等工程領域之原理、技術、方法應用到一般土木營造：譬如房屋、大廈、公路、鐵路、橋梁、隧道、港灣、水壩、機場等等公共設施。在高科技廠房設施中的土木工程則是將土木工程中各學術

領域之原理、技術、方法應用到高科技廠房設施之興建營運工程上。要生產製造必先有廠房，高科技廠房工程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，是高科技產業生產製造過程中不可或缺的重要環節之一，土木工程師理當積極參與高科技廠房設施之興建營運。

再綜觀高科技之研發創新對未來台灣的經濟及科技有極大的衝擊，台灣高科技產業更已邁入研發創新的時代，要製造必先有廠房設施，製造需要持續地往前研發創新，先進的製造研發創新需要有更高水準的廠房設施工程之配合，高科技廠房工程亦不可等閒待之，更需與時俱進地全力配合，著手相對之研發。下世代之高科技廠房工程的研發創新，應是更大的跨領域結合，除了土木工程各學術領域外，也應包括建築、機械、化工、電機、物理、化學、生物、材料、醫學、農工、生態、法律、管理、經濟、財務、人文、藝術等等，需要各領域優秀的人才來共同提昇台灣高科技廠房工程。

## 參考文獻

1. Chen, Shih-Ming, Griffins, F.H. (Bud), Chen, Po-Han, and Chang, Luh-Maan. (2013). "A Framework for an Automated and Integrated Project Scheduling and Management System," *Automation in Construction*, Volume 35, pp. 89-110.
2. Chuang, Tzu-Sou and Chang, Luh-Maan. (2013). "To Mitigate Airborne Molecular Contamination Through Ultra-Pure Air System," *Journal of Building and Environment*, Volume 59, pp.153-163.
3. Van Zant, Peter, *Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 2000
4. Wood, David Muir, *Civil Engineering: A Very Short Introduction*, Oxford University Press, Oxford, United Kingdom, 2012。
5. 張陸滿，「奈米時代之高科技廠房設施工程」，*土木水利*，中國土木水利工程學會，臺北，臺灣，第 35 卷，第 1 期，第 15-26 頁，2008 年。
6. 張陸滿，「高科技廠房設施之關鍵技術」，*杜風電子報*，第 90 期，台灣大學土木系，2015 年 5 月。
7. 陳錦村、張陸滿、陳正興，「遠域地震對晶圓廠的影響」，第十二屆結構工程研討會暨第二屆地震工程研討會，論文編號 1103，高雄，臺灣，2014 年。



茲附上廣告式樣一則  
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致  
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊  
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登位置	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3期9折， 4期以上8.5折	

刊登月份：

○ 47.1 ○ 47.2 ○ 47.3 ○ 47.4 ○ 47.5 ○ 47.6 共 次  
(2月) (4月) (6月) (8月) (10月) (12月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；  
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收掣據  
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)  
商號

負責人：

地 址：

廣告聯絡人：

電 話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: service@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款帳號	0 0 0 3 0 6 7 8	金額 新台幣 (小寫)	仟萬	佰萬	拾萬	萬	仟	佰	拾	元
通訊欄 (限與本次存款有關事項)		收款戶名 社團法人中國土木工程學會								
報名費 <input type="checkbox"/> 繳納 _____ 研討會 報名費 _____ 元		寄 款 人								
繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元		姓 名								
訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 300元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 自第 _____ 卷第 _____ 期起，_____ 年期雙月刊 _____ 份		地 址								
訂閱中國土木工程學刊，一年四期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100元 自第 _____ 卷第 _____ 期起 _____ 年期學刊 _____ 份		電 話								
		經辦局收款戳								
虛線內備供機器印錄用請勿填寫										

◎ 寄款人請注意背面說明  
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	



# 用心 做好每一件事情

匠心，才得以淬煉「專業」品質

誠心，才足以貫徹「人本」信念

悉心，才可以恢宏「關懷」情操

台灣世曦永遠以「心」為出發

持續履行對土地、對人民不變的承諾

一個環境永續的生態樂園

一個幸福溫馨的生活家園



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號

No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN

Tel:(02) 8797-3567 Fax:(02) 8797-3568

<http://www.ceci.com.tw> E-mail:[pr@ceci.com.tw](mailto:pr@ceci.com.tw)