

國立交通大學

工學院專班工程技術與管理組

碩士論文

Improvement of Hi-tech Laboratory Space Layout and Route based
on Space Syntax

以空間語法改善高科技廠房實驗空間配置與動線



研究生：黃心寧

指導教授：曾仁杰教授

中華民國九十七年七月

以空間語法改善高科技廠房實驗室空間配置與動線

Improvement of Hi-tech Laboratory Space Layout and Route based on Space Syntax

研究生：黃心寧
指導教授：曾仁杰

Student : Hsin Ning Huang
Advisor : Ren-Jye Dzung

國立交通大學
工學院專班工程技術與管理組
碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Engineering Technology and Management

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

In

Engineering Technology and Management

June 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

以空間語法改善高科技廠房實驗室空間配置與動線

研 究 生：黃心寧

指導教授：曾仁杰 博士

國立交通大學工學院專班工程技術與管理組（研究所）碩士班

摘 要

高科技廠房為配合複雜的晶片製造作業流程、潔淨室營運系統等需求，故其造價非同一般土木建築，在本論文中，我們將分別利用空間語法 (Space Syntax)，針對半導體廠潔淨室的空間及動線配置加以比較分析，並以國家奈米元件實驗室 (National Nano Device Laboratories，以下簡稱 NDL)，作為規劃的參考，期能降低營運生出的費用。

分別利用空間語法(Space Syntax)進行便捷值與控制值的計算，以驗證現有空間使用之恰當否，其後進行迴歸分析來驗證現行潔淨室的最佳配置的可信度，並推估實驗空間空間不變，改變空間配置情況下來驗證的配置規劃與現行使用上來說是否達其便利性，即利用空間語法(Space Syntax)嘗試調整最佳化的空間配置與建議。

依據初步探討 NDL 實驗室 100、1000 及 10K 等級之潔淨室及更衣室、空氣吹淋室等之空間配置顯示，潔淨室與使用者行為有相當之影響，本研究使用者行為又深受製造之作業流程牽制，故除透過本語法之型構分析驗證實驗空間是否最佳化的配置，並建議修改部分配置且求得結果將更具便利性，以利未來潔淨室空間調整或新增機台之建議。亦可便給予未來規劃實驗室的依據與現行高科技廠房套用方式與建議。

Improvement of Hi-tech Laboratory Space Layout and Route based on Space Syntax

Student : Hsin Ning Huang

Advisor : Ren-Jye Dzung

Department of Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

The building cost of hi-tech factory is expensive because of its complicated chip manufacture workflow, clean room management system and other related requirements. In this paper, we analyzed the motion trend and space allocation of hi-tech factory by space syntax, and evaluate the methodology by applying to National Nano Device Laboratories (NDL), and expect to reduce the operating expense.

By using space syntax to figure out Integration Value and Control Value and to evaluate if space allocation is proper, then using regression analyze to verify the optimization credibility of clean-room allocation; then the convenience of space allocation is evaluated by optimizing by space syntax.

According to the prior survey of 100-, 1000- and 10K-level clean room, dressing room, air-shower room... the evaluation result shows the user behavior affects space allocation significantly. However user behavior in NDL is affected a lot by manufacture workflow, the optimization of space allocation can be only used as suggestion to NDL for future relocation of devices and spaces to ensure convenience.

致 謝

今年是我獲得碩士學位豐碩結果的一年，回顧選擇報考至今，自我期許、職場工作之擔任職務、及「奈米電子大樓」在王維志教授帶領新建廠組合下，看見整個團隊在王維志教授專業技能與知識用專案方式呈現高科技廠房建置過程中，本身亦參加部份驗收階段深感黔驢技窮，影響我選擇在職進修的動力來源。

獲得學位並不是一個人的功勞，首先感謝我的指導教授曾仁杰，在他的引導下讓學生我對空間規劃興趣的探討，並就地利之便將工作場所就其重要核心空間進行研究，空間規劃方式很多，與老師討論中對 Space Syntax 有初步認識，但是熟非熟新穎的理論是影起我探討的起因，也是補足目前建築規劃中不足之處。

過程中面臨工作及課業雙重大任下，在同事桂銘、豫弘鼓勵及不停交換他們撰寫論文心得與努力，讓我獲益良多另外世哲的協助資料及圖片的蒐集，都是鼓舞我完成這份論文的功臣。同學間也交流部分資訊，深刻感受與感動的是許多同學不僅工作、課業上需有家庭小孩等分身下完成課業，微不足道的一點功能汗顏一提，學弟名修的鼓勵及百忙抽空不厭其煩的解說都是這份論文的助力，在此，希望表達的本人的感謝。

黃心寧 謹誌

國立交通大學

中華民國97年7月

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
致 謝.....	III
目 錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1研究動機.....	1
1.2研究目的.....	1
1.3研究範圍.....	2
1.4研究方法及流程.....	2
1.5研究架構.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 空間語法 (SPACE SYNTAX).....	5
2.2 工地配置理論.....	13
2.3 路徑規劃理論.....	14
2.4 空間排程理論.....	14
2.5 空間衝突理論.....	15
2.6 設施規劃方法.....	15
第三章 半導體潔淨室之空間及動線規劃.....	17
3.1 高科技廠務系統.....	17
3.2 高科技廠房潔淨室.....	19
3.3 半導體製作流程.....	21

3.4 潔淨室設計規劃.....	23
3.5 小結.....	26
第四章 國家奈米元件實驗室之空間及動線規劃.....	30
4.1 國家奈米元件實驗室建廠規劃.....	30
4.2 建廠潔淨室設計規劃.....	31
4.3 潔淨室單元空間構型分析.....	32
4.4 潔淨室單元動線構型分析.....	47
4.5 小結.....	48
第五章 結論與建議.....	52
5.1 結論.....	52
5.2 後續研究建議.....	54
參考文獻.....	55
附錄	58

圖目錄

圖 1.1 研究流程.....	4
圖 2.2 凸視面空間中的某些點無法同時看到其它所有的點.....	7
圖 2.1 凹視面空間中的某些點無法同時看到其它所有的點.....	7
圖 3.1 廠務相關系統所佔費用比例.....	19
圖 3.2 整合型製造流程.....	21
圖 3.3 前段製程.....	21
圖 3.4 後段製程.....	22
圖 3.5 自動化的12吋晶圓廠聯電廠.....	23
圖 3.6 潔淨室廠房設計整合流程.....	24
圖 3.7 動線基本規劃.....	25
圖 3.8 目前潔淨室空間佈置方式.....	26
圖 3.9 潔淨室地板面積比例圖示.....	27
圖 4.1 NDL潔淨室空間平面圖示意圖	32
圖 4.2 空間單元1空間關係及深度圖.....	34
圖 4.3 以外部空間1為起始空間之量化分析運算.....	35
圖 4.4 建議一調整後之NDL潔淨室空間平面圖示意圖	42
圖 4.5 建議二調整後之NDL潔淨室空間平面圖示意圖	45
圖 4.6 動態型構圖.....	47
圖 4.7 動態型構便捷系統圖(RN)	49
圖 4.8 半導體廠房潔淨室設計的關鍵原理設計須由內而外探討其配置面.....	51

表目錄

表 2.1 空間關係圖之基本特性.....	8
表 2.2 空間軸線圖.....	9
表 2.3 空間分析參數表.....	12
表 3.1 一般半導體8吋建廠成本分析.....	18
表 3.2 文獻蒐集綜合比較暨本研究範圍.....	28
表 4.1 研究範圍內之空間單元，其空間功能及定義.....	33
表 4.2 空間量化數據表.....	36
表 4.3 NDL無塵室單元空間之RN、RA、RRA對應空間量化數比較表.....	36
表 4.4 NDL無塵室單元空間量化計算對應累計使用次數.....	38
表 4.5 NDL無塵室【外部空間】單元空間量化計算對應累計使用次數.....	39
表 4.6 NDL無塵室【內部空間（一）】單元空間量化計算對應累計使用次數.....	40
表 4.7 NDL無塵室【內部空間（二）】單元空間量化計算對應累計使用次數.....	41
表 4.8 NDL無塵室【內部空間（二）】建議一修改後對應之空間量化數比較表.....	42
表 4.9 單元空間15、16嘗試將二間沖淋間合併於一間前後比較表.....	44
表 4.10 NDL無塵室【內部空間（二）】建議二修改後對應之空間量化數比較表.....	45
表 4.11 單元空間10、15、16嘗試將三間沖淋間合併於一間前後比較表.....	46
表 4.12 軸線量化數據表.....	47

第一章 緒論

1.1 研究動機

近年來半導體產業及光電產業發展迅速，相關產業的產出成果，大幅改變了人們的生活，相關投資也在國內及國際的資金市場造成極大的影響。各相關產業的投資項目當中，除了產線的設備更新、原物料的購置及人事成本之外，最大的投資項目便是潔淨室的建置及維護。

目前半導體廠房建置過程，大多要求降低設計及上線的前置準備時間，以加速投入量產，因此廠房規劃時程不會太久，佈置方式多為複製他廠既有設計，而規劃者必須在極短時間內完成廠房得整體設計案，所以有系統的設計規劃與配套措施顯得極重要。

半導體廠房實驗室每個位置的空間配置與作業時間的排程，都會直接或間接影響人員工作便利性、廠務配管施作、晶片污染源的減低、晶片良率、時間的節約等，故空間整體性規劃能影響後續相關作業。加上一般半導體廠房建構後續又有二次配管管路成本提高、機台氣體供應點不足、機台遷移配置、現有機台位置、潔淨室使用空間合理性等問題，故引起本人研究之主要動機。

1.2 研究目的

半導體廠房面對資金龐大的投入，且半導體廠房潔淨室設計的關鍵原理設計須由內而外探討其配置面，且其前置實驗室空間配置及動線規劃作業充分影響後期的營運面及產品作業流程之順暢。

本研究主要目的乃在於希望藉由不同分析方法進行解析探討，檢驗 ND1 潔淨

室內空間型態組構與使用者作業流程間相互關聯，同時希望找出原設計空間型態配置不恰當處，以合理原則提出奈米實驗室潔淨室之修正方案，提供日後完整性規劃與空間配置改善或二次配管等參考文獻，另開啟建廠前期未考量的問題，並給予未來相關產業及研究單位一個較佳化的規劃參考。文獻蒐集探討空間配置可利用那些模式理論的分析，以彌補建築分析語言對整體空間特性不足的缺憾。

1.3 研究範圍

本論文研究範疇乃針對 NDL 的實驗室即製造區（即潔淨室、更衣室、洗手間、沖淋室…等 20 空間單元）之空間配置，即對整棟建築而言以「潔淨室」為主，談討鄰近空間位置與人員使用最佳化空間配置進行比較分析。以單一個案為研究對象，即以 NDL 製造區(FAB)空間配置及動線規劃為例，利用「空間語法」理論驗證其結果，進行比較分析。

空間配置最佳化有許多方法，若屬多重空間可利用 Space syntax、路徑等理論進行空間使用便捷度之驗證，若屬單一空間限制，為要讓作業流程便利，可利用設施規劃面之傳統圖解、模糊理論、演算法、遺傳基因法…等方式尋求最佳設施配置。若為解決作業的使用重疊空機動線便捷度可用空間衝突、排程理論之套用解決人員工作便利性。本研究採用 Space Syntax 進行多重空間便捷程度之驗證，檢驗目前現有案例之空間配置是否恰當，其目的希望在改善空間配置，可供相關案例未來規劃利用。

1.4 研究方法及流程

研究方法

本研究分別利用空間語法 (Space Syntax)，即由 Bill Hillier 教授領導之英國倫敦大學研究小組所發展出的理論，其理論基礎主要在探討空間單元型構與動線型構之

屬性差異，即全區性相對便捷值（Global Integration Value）代表全區性的相對便捷度與動線連結個數值（Connectivity）表系統中每一組構元素所鄰接之元素之數值，以進行科技廠房實驗室之分析。驗證空間使用之便捷度，並參考路徑規劃及其他相關理論，針對半導體廠潔淨室的空間及動線配置加以比較分析，並以國家奈米元件實驗室（National Nano Device Laboratories，以下簡稱 NDL），作為規劃的參考，期能降低營運衍生的費用。

文獻蒐集彙整後利用空間語法理論的便捷值與控制值的計算。探討 NDL 無塵室 class100、class 1000 等級及更衣室、空氣吹淋室…等之空間配置，檢測是否最佳配置，並推估實驗空間空間不變修改空間配置或調整建議至最佳化，給予未來規劃實驗室的依據與現行高科技廠房套用方式與建議。

研究流程



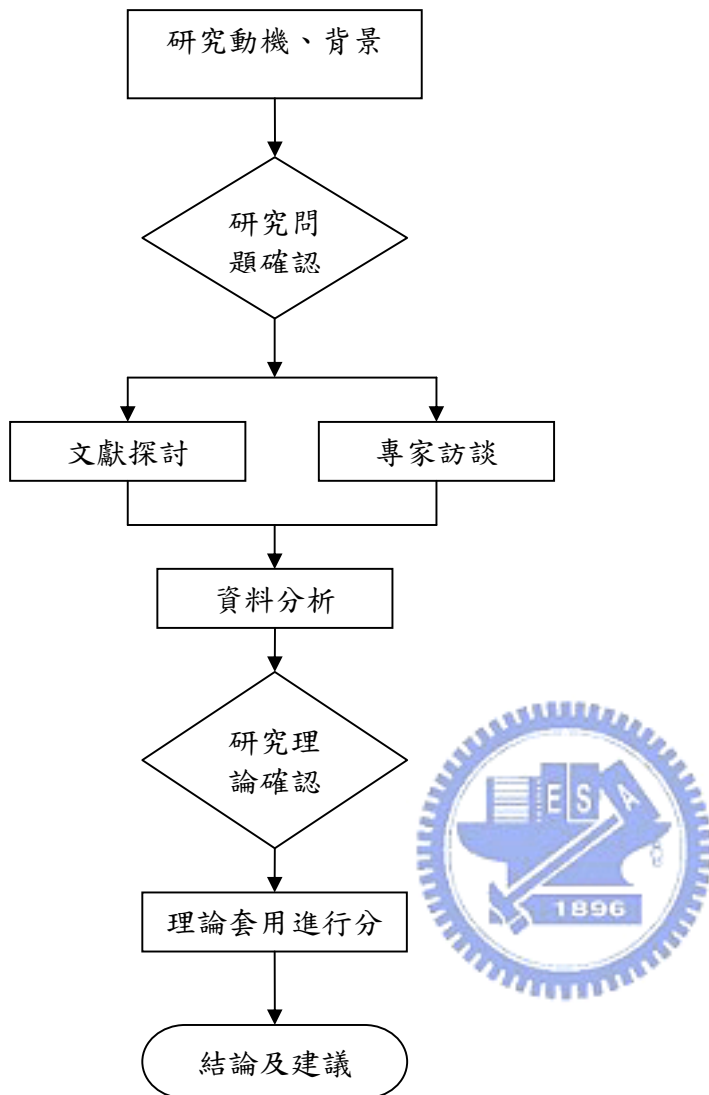


圖 1.1 研究流程（本研究繪製）

1.5 研究架構

本論文的架構將如以下方式安排：在第二章中，我們將探討相關理論及研究成果，第三章將探討半導體廠房潔淨室的相關建置規劃執行方式；第四章則是針對NDL的潔淨室空間及動線規劃加以分析；第五章則為本研究之結論。

第二章 文獻回顧

2.1 空間語法 (Space Syntax)

空間語法介紹

空間語法中文語譯為「空間型構法則分析」，此語法乃利用英國倫敦大學學院巴特雷建築及環境研究所 Bill Hillier(1984)教授倡導之空間型構法則分析理論(Space Syntax)，並由其領導的建築及都市空間結構型態研究小組研發的分析理論，同時也是近 20 年來研究發展的一門空間邏輯理論，藉以分析建築與都市空間型態之空間型構的內在組織邏輯，並有程式軟體搭配做型構量化解析，用以解析建築表層平面型態內含於背後之深層組織架構特徵，乃結合人文理論與電腦科技的圖形分析和量化分析方法，以實質空間為出發點探討空間構型 (Spatial Configuration)。

Hillier (1996) 之空間型構分析理論僅針對自然狀態 (無外界影響源) 下，做空間型態分析與環境行為研究，若欲有效運用此研究方法於實際現況使用行為之推測，需與真實狀態結合，才使分析結果更能準確推測實際使用狀態；故透過本理論配合現場實際探觀測與調查，本論文可針對空間型構分析理論，修正外在環境影響之參數，建構較能準確預測實際狀況之分析工具。

空間語法理論的提出要點在於對建築與都市分析及設計，透過對空間量化的計量方式表達空間結構中的空間佈置、連接方式及觀察研究人群與空間互動間構成的連接關係，藉由空間語法的分析作為預測規劃草案及未來可行方案之重要評估依據。目前國際上從事相關研究有美國喬治亞理工學院、巴西、英國倫敦大學 (研發空間型構分析理論，用於預測建築及都市空間之動態使用行為及靜態使用狀況) 及台灣逢甲大學。藉由國際合作交流，印證不同國家文化背景與都市空間型態之下，得知相同或相異的使用行為，一套適用於國內外之使用行為預測模式，透過 Space Syntax 國際性研討會的發表及交流下產生；另對建築及都市空間涵構能有較深入之

瞭解。

空間結構之分解空間結構內含之圖面表達結構內涵之量化表達與解析依照 Bustard (1999)、Jiang(2000)、Neiman(2003)及蘇智峰(1999)對於空間語法的介紹，可知「Space Syntax」中譯為「空間語法」，最初是由 Hillier 和 Hanson (1984)提出。空間語法是應用於空間形態分析的一套理論和工具，在空間認知層面可被當作一個空間的替代模型，並且作為空間架構和模式分析的一種實用計算方法。空間語法確實的提供一種便利方法來蓋括在視覺上及量化上表達空間結構中的空間佈置及連接方式。

有關空間結構之解析，大致可分為三個步驟。首先是空間結構的分解，有空間單元及最長動線二種分解方式。其次是空間結構之圖面表達（分別為空間單元之相對深度圖及最長動線之相對深度圖）與量化表達。最後才是空間結構之解析。

利用空間語法的便捷值與控制值的計算，進行迴歸分析來驗證現行潔淨室的最佳配置的可信度，並推估實驗空間不變，或空間配置調整所驗證的配置規劃與現行使用上來說是否達其便利性，或實驗空間變動試規劃最佳化的空間配置與建議。

空間語法理論適用範圍

空間語法理論其運用範圍相當廣泛，包括：

1. 商業設計開發區：人群移動的路線是建築物配置的結果。可預測購物人潮之動線系統，調整現有不常使用的空間並活絡整體規劃。
2. 社區開發：充分利用現有土地，以創造單元住宅之空間可完整被使用，另開放空間與人行路徑之便捷度，以避免犯罪空間之形成。
3. 舊市區與都市開發更新：可研究都市空間之型態及街道網路的連接方式，譬如何整體的影響人們的使用空間，以增進都市周圍之空間使用情況。
4. 室內空間規劃設計：評估空間使用現況，提出改善之方法，運用至新設計

方案。

5. 工作環境：空間構成理論分析的成果對應至實際的空間使用與公司的行政組織，深入探討空間型式與社會組織之間的關係。即各功能部門間之互動空間，與職員之間相遇的路徑與聚集之空間。
6. 不同文化與社會之空間型態、空間視域研究、動線研究、組織空間之方法、都市安全與犯罪、空氣污染偵測等。(黃慶輝 2005)

空間語法圖說

空間構成理論提供了兩個閱讀空間的方式：空間關係圖(Justified Graph)與整合圖(Integration Map)。整套分析方法的基本觀念是由人在空間中移動的路徑與視線發展而成，再現人的生活經驗於電腦軟體之中。不論是外部空間：都市與聚落，或建築物的內部空間，每一個局部空間被定義為凸視面空間(Convex Space)，人在此空間的任何一個點上，可以同時看到其它所有的點(圖 2.1)。其形狀有胖有瘦並非完整的幾何形狀。當室內空間為方整之隔間時，凸視面空間就是矩形，總之以視覺範圍決定其平面形狀之要件。

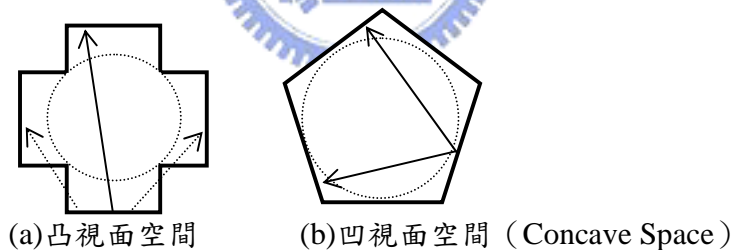


圖 2.2 凸視面空間中的某些點無法同時看到其它所有的點 (黃慶輝 2005)

空間構成理論即用圓圈來表示每個空間圓，抽象的表達其空間範圍，不考慮實際尺度大小。在空間之間的穿越性 (Permeability) 關係，如開口，門等所構成的空間連接皆則以線表示。以下試以表 2 之圖例說明空間關係圖的基本特性：

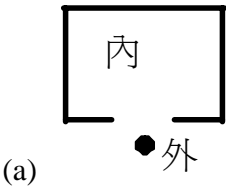
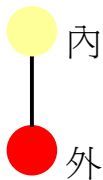
表 2.1 (a) 是一個基本的單元空間，內部與外部之空間經由開口連接。在空間關係圖中，外部空間以 + 表示以資區別。深度從外部空間起算，所以此單元空間之

深度為 1，表示由外部進入室內空間只需要 1 步(Step)，這是抽象的模擬人的動作。封閉的單元空間明確具有的劃分邊界內外，並且是居住者的領域；開放的戶外空間是居住者與訪客或陌生人的介面點。居住者位於比較深的室內空間，訪客或陌生人位於比較淺的戶外空間，居住者擁有控制訪客或陌生人進入室內空間的權力。

表 2.1(b)的內外連接是經由前方與後方的開口。外部空間是連續的，於是兩條線顯示在空間關係圖上，但是深度不變依舊是 1。表 2.1 (c)則由 2 個單元空間組成，且各有一個開口連接外部空間 1。所以對空間 2 與 3 而言，兩者都有相等的路徑連接到室外，反之亦然。故這組空間關係圖是對稱的，深度也相同。有一點必須強調，空間構成理論將實際的距離省略，著重於空間關係的探討，每增加一個空間就多一層的深度，空間的深度是一行接著一行，不會有跳行連接的情形發生，層次分明可讀性高。

表 2.1 (d)的空間組合與表 2.1 (c)完全相同，但是內部空間 2 與 3 之間多了一處開口，亦即空間關係圖上會有一條線連接這 2 個空間。在此情況下路徑的選擇增加了，不論是從外入內，或者從內部通往外部，構成了具有分配性的環形(Distributed Ring)空間組織。上述其它例子都是非分配性的(Nondistributed)：沒有環形出現〈無其它路徑可供選擇〉，並且分別單向的與外部連接，內部空間完全獨立。表 2.1 (d)的空間使用彈性大，穿透性強，深度亦是 1。

表 2.1 空間關係圖之基本特性 (仲闓立 2006)

平面圖	空間關係圖	深度
 <p>(a)</p>		<p>1</p> <hr/> <p>0</p>

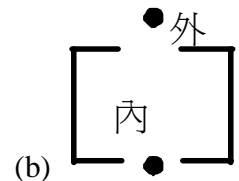

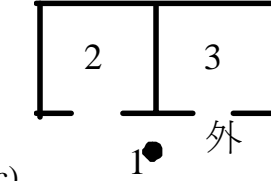
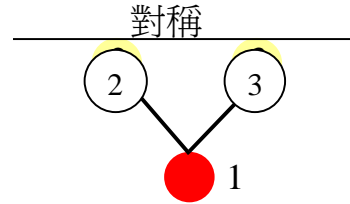
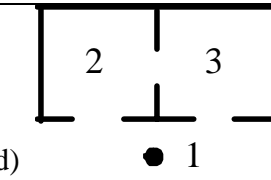
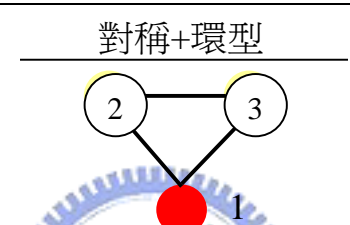
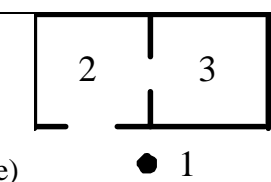
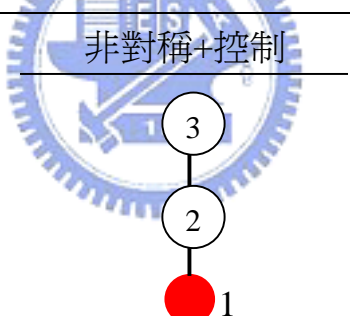
平面圖	空間關係圖	深度
(b) 		<hr/> 1 <hr/> 0
(c) 	對稱 	<hr/> 1 <hr/> 0
(d) 	對稱+環型 	<hr/> 1 <hr/> 0
(e) 	非對稱+控制 	<hr/> 2 <hr/> 1 <hr/> 0

表 2.2 空間軸線圖 (仲闓立 2006)

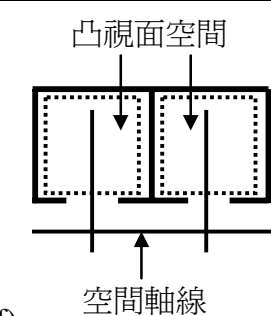
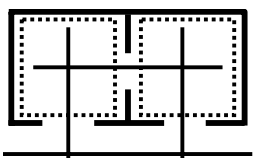
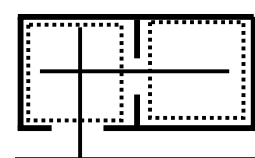
(f) 	(g) 	(h) 
---	---	---

表 2.2 (e)的空間型態乍看之下與表 2.1 (c)(d)完全相似，兩個內部空間加上外部

空間。但是穿越性截然不同，因為進出空間 3 必須通過空間 2，換句話說，空間 2 控制著空間 3。所以表 2.2 (e)比其它例子的控制性強，深度也比較深有兩步的深度，整體空間組織是非對稱的。

以上的例子說明了空間關係圖的基本觀念：空間以圓圈表示，穿越性被表現為線，深度相同的空間排列在同一行，空間組織一覽無疑，遠比一般的圖面來得清楚，容易辨識整體的空間結構。空間構成理論最重要的兩個社會意義：對稱--非對稱是社會範疇(Categories)的強度，和分配性--非分配性是關於社會範疇的控制(Hillier & Hanson 1984)。對稱是其它的空間有相同的關係到達成對的空間；非對稱就沒有相同的關係，一個空間控制了到另一個或其它空間的路徑。分配性是有一條以上的路徑可供選擇到達其它的空間，非分配性只有單一路徑沒有選擇。

空間構成理論將空間軸線比擬為人在空間中的移動(Movement)，每一條軸線代表一個空間步數(Axial Step)，移動亦表示人在運動時的視線(Visibility)。所以每個空間中的軸線就有無數條，我們只取 1 條表示，其原則為軸線的數量愈少愈好，長度愈長愈好，以最精簡的方式呈現整體空間軸線圖。

首先畫分凸視面空間(表 2.1 (f)(g)(h)之虛線所示)，這些例子的空間構型都相當簡單，凸視面空間都是矩形。接著連結每個凸視面空間的軸線就是一張空間軸線圖。看似相同的空間，軸線的分布情形卻完全不同。表 2.1 b(f)是兩條獨立的空間軸線連接外部空間。表 2.1 b(g)則出現環狀的空間軸線型式。表 2.1 b(h)是最深的空間組合，右邊的空間與外部空間有兩步之遙。

接下來的步驟是將繪製完成的空間軸線圖輸入電腦，計算每條軸線之間的相對關係，輸出的結果就稱之為空間軸線整合圖(Axial Integration Map)，由不同的顏色區分每條軸線之強度。除了空間軸線之外，凸視面空間也可使用相同的方式計算每個空間之間的相對關係，電腦輸出的結果就稱之為空間整合圖(Convex Integration

Map)。

整個計算的程序只是簡單的把串接好的空間軸線圖與凸視面空間圖輸入特定的軟體，不需要給予或指定軸線的任何空間屬性，例如：主要的通道，其寬度與長度等，而且軟體也只是計算每一條軸線之間的關係。(仲闓立 2006)

空間結構的解析

空間語法是一套空間分析的工具，在經過空間結構的分解、量化表達及空間結構分析三項步驟之後，可以瞭解整體空間中每個位置或是動線的特性，兩個主要的分析因子為相對便捷值及相對控制值，相對便捷值代表的是便捷程度高低，便捷程度越高代表越容易從其他位置或動線抵達(當然也就代表了越容易到達空間的其他位置或動線)；相對控制值代表的是對鄰接單元的控制程度高低，控制程度越高代表鄰接單元越容易受到本單元的影響。

空間結構的分解主要有兩種方式：一種是空間單元法，一種是最長動線法。空間單元法是利用牆面隔間或是障礙物來將整體空間分割為一個個空間單元，最長動線法則是利用最長且最少的動線來涵蓋整體空間，並串連全部的空間單元。並利用圖論的觀念把空間單元(或動線)當成一個個的點，再用一條條的線來表示彼此之間的連接關係，將空間圖面轉換成拓樸結構來進行後續量化分析。

空間型態量化特質

空間語法(Space Syntax)透過空間分解及圖示化後，再透過參數的計算，即可將空間轉換成量化的數值，以表示元素與元素間的便捷程度和影響性，如表 2.3 空間參數分析表。

表 2.3 空間分析參數表 (李名修 2007)

參數名稱	中譯名稱	公式	代表意義
Rn	相對便捷值	<p>計算總深度 D 計算平均相對深度值 MD 計算元素不對稱性質 RA 計算同系統內假設之鑽石對稱型相對深度圖值之基準元素 RA 值 - Dk 計算真正不對稱性比較值 RRA 值</p> $Rn = \frac{1}{RRA}$	<ul style="list-style-type: none"> • 相對便捷度是以元素間相對深度關係為評量方式，以系統中每一組構元素到其餘所有個別元素間之最短路徑（即相對深度）之平均值作比較計算後，所得到一種代表位置便捷度之比較值。 • 當 Rn 值愈高時，代表該元素之全區性便捷值愈大。
Connectivity	鄰接個數值	$C_i = k$ <p>K=與點 (i) 直接連接的點數目</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 用以表示該元素與地方性系統的整合或分離性。 • 當系統中組構元素（最長動線）之 Cn 值愈高時，表該組構元素之視覺滲透廣度也就愈高。
Control Value	相對控制值	$Ctrl_i = \sum_{j=1}^n \frac{1}{c_j}$ <p>與點 (i) 直接連結的點 i~j 之 C 值倒數之合，即稱為點 (i) 的 Control Value</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 表示該點對鄰接元素之控制程度。
Depth	總深度	$D = \sum_{j=1}^n d_{ij}$ <p>(i) 點到 (j) 點的最短路徑，以廣度 (BFS 方式計算)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 表示該點所居位置之便捷程度。
Mean Depth	平均相對深度	$MD_i = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}}{n-1}$ <p>n=所有點的個數</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 表示該點所居位置的便捷程度比較值。
RA (Relative Asymmetry)	不對稱性質	$RA_i = \frac{2(MD_i - 1)}{n - 2}$	<ul style="list-style-type: none"> • 表示該點居於整體性系統中便捷之程度。

參數名稱	中譯名稱	公式	代表意義
RRA (Real Relative Asymmetry)	真正不對稱性比較值	$RRA_i = \frac{RA_i}{D_k}$ $D_k = \frac{2(k \log_2((k+2)/3) - 1) + 1}{(k-1)(k-2)}$ 同系統 內假設之鑽石對稱型相對深度圖 值之基準元素 RA 值 (需查表)	<ul style="list-style-type: none"> • 加強系統中 RA 值之差異，以 RA 值除以假設之鑽石對稱性之相對深度。
Rr (Local Integration)	地方性相對便捷值	以 r 步路遠之距離計算深度，再帶入 MD 與 RA 公式中	<ul style="list-style-type: none"> • 表示該點居於地方性系統中便捷之程度 (Local Integration Value)。

2.2 工地配置理論



所謂工地配置是指利用某些法則與程序，在工地內的可用空間中將工地內的各项臨時設施(Temporary Facilities)如工務所、物料儲存區、物料加工區、員工宿舍的類型、大小、數量與位置作最佳之安排的方法。引用以人員、機具或是工程物料在工地內部各臨時設施之間的總旅行距離或總旅行成本最小化作為規劃的準則。地理資訊系統(GIS)、人工智慧、遺傳演算法(GA)都在先前的研究中被大量使用。Tommelein (1992,1993)、Yeh (1997)以及 Li (1998)等相繼提出各種不同的規劃技術以應用於工地配置問題中。(仲閻立 2006)

本理論目前被利用建築業之工地臨時性場所區塊最佳化的配置，可利用本理論與其他理論進行比較與適用度，希望借用本理論亦能將本研究探討之問題進行整合性的配置建議。

2.3 路徑規劃理論

路徑規劃(Path Planning)是指在已知始點、終點的情形下，找尋兩點之間最短路徑的方法。路徑規劃理論多用於工程機具的施工動線規劃，某些工程會因為工程機具無適當規劃其工作路徑而明顯降低施工效率或是產生安全上的顧慮等，故有路徑規劃理論的產生。目前路徑規劃的技術甚多，包含規則格子點法、方樹法、可見視圖法、凸多邊形法等以及全球定位系統(GPS)。(仲闓立 2006)

路徑 (path) 乃是移動的通道，所有環境要素都與通道相連接，如建築走廊、都市街道、人行道、河川等，為連續之要素，人沿該要素而移動。

可利用本理論對本研究範圍的高科技廠房潔淨室內的空間配置與動線規劃之進行輔佐。



2.4 空間排程理論

空間排程是指在工程進度表中加入空間因素的考量，工程師可將空間視為一種資源，以消除作業空間衝突(Space Conflicts)為原則，透過類似資源分配(Resource Allocation)的方式，來建立該工程之作業空間規劃與更可靠的工程進度表。Thabet(1997)所建立之空間限制與資源限制排程系統(ScaRC System) 以及 Riley(1997)所提出的空間規劃法(Space Planning Method) 為主要之代表。(仲闓立 2006)

排程問題之應用在專案管理(Project Management)、設備的維護、設備的分派利用、人員(如警察、護士)的排班、整批程式的處理、裝配線少量多樣方式的生產、資源調派、工程建設、攻擊策略... 等等。

而 NDL 潔淨室在製程營運面的作業流程可利用本理論進行生產排程規劃，與空間衝突理論搭配可讓生產線作業流程更順暢。

2.5 空間衝突理論

相關研究包含：空間衝突分析流程：Akinci et al. (1998a、1998b、2000)、郭斯傑、吳俊達 (2000) 空間衝突的分類:Akinci et al. (2000) 的研究一共將衝突類型分成五類：1.設計衝突 (Design Conflict) 2.安全上的危險 (Safety Hazard) 3.損壞衝突 (Damage Conflict) 4.擁擠 (Congestion) 5.無影響 (No Impact)。(仲闓立 2006)

衝突解決策略：黃契介 (2002) 將衝突解決分為平移、時間、分割、等待、擁擠五個排除策略。

由以上對於工地配置理論、路徑規劃理論、空間排程理論、空間衝突所做的文獻回顧中，可以發現在現有研究中不論是在工地配置理論、路徑規劃理論、空間排程理論、空間衝突分析皆缺乏對於工地空間特性的探討，因此整體規劃空間作分析，本研究範圍在高科技廠房實驗空間，故應從不同的觀點來討論空間規劃與動線分析的問題。

2.6 設施規劃方法

近十年來在設施規劃領域，有許多學者提出了不同的模式與演算法，有學者也真對各種演算法的求解特性加以歸納 (戴瑞德 2002)，整理結果如下所示：

1. 傳統的圖解技巧
2. 系統化圖解技巧
3. 最佳解數學模式與啟發式演算法
4. 多談式/整合方式方法

5. 多目標方法
6. 專家系統方法
7. 模糊理論方法
8. 模糊退火法
9. 遺傳基因方法
10. 層級分析法

另有些學者將某些演算法應用在高科技產業的設施規劃裡，有古美玉（1999）應用模擬退火法於晶圓廠設施佈置改善、彭國銘（2001）應用多種啟發式演算法改善晶圓製造廠的工作區佈置方案。大部份研究均以改善型演算法，也就是假設工作區的數目以及擺設機台與佔用面積已知，從前期佈置圖開始進行規劃，透過分析後在加上調查以改善設施的規劃，較著重現有佈置的改善方案與後續評估等比較，並以最小搬運距離為目標，試圖找出較佳的佈置方案。

設施規劃其運用理論繁多，在此並不多加詳述，因本研究範圍乃主在探討科技廠房實驗室空間規劃及其動線。



第三章 半導體潔淨室之空間及動線規劃

3.1 高科技廠務系統

簡介

以高科技半導體廠房為例，潔淨室在設計規劃前，其整合性的探討須包含空間佈置規劃、結構及架構、自動傳送系統、設備選擇與佈置、運轉及維護管理及工安環保計劃等。而這些項目事實上均含蓋於空調系統、電力、氣體、超純水、廢水、化學藥品供應和安全監視等廠務八大系統。(馬榮華 2004)

廠房建構主要含蓋了潔淨室(FAB)、廠務供應系統(CUB)、辦公室，然而半導體產業廠務系統所扮演的角色乃是提供 IC 工廠生產設備所需的運轉環境。半導體廠務工作性質及其特性扮演相當重要的分量，如同人體循環系統與呼吸系統，日夜不停運轉與輸送養分至各部位，廠務系統乃為維持全面性的穩定供應半導體製程所需環境，以提昇產品的良率與維修保養。

B. 建廠規劃流程

六個重要階段，概述整個設計和建造的過程：(1)慎選營造公司；(2)確認潔淨室功能需求；(3)初步設計；(4)細部設計；(5)開始建造；(6)建造完成，以此六個階段為基礎，進而確認何時以及如何建立一套污染參數(Contamination Criteria)、效用矩陣(Utility Matrix)及需求面積等重要參照核對項目(湯瑪斯)。

C. 建廠成本分析

高科技產業是一種高資金密集，且製程繁瑣與複雜的產業。面對龐大投資資本、短暫的產品及技術生命週期、複雜的製造流程等的產業特性，擴廠投資時金額龐大，投資專案的成功與否，影響到公司的長期經營。以下表 3.1 簡列其造價成本參考(2004 年為準，不含土地成本、製程設備、辦公室裝璜、傢俱等)(顏登通 2005)：

表 3.1 一般半導體 8 吋建廠成本分析 (顏登通 2005)

項目	費用 (百萬台 幣)	單價 (千元台 幣/M 2C/R)	比重 %	內容	備註
土木建築	536	54	12.76	土木建築、鋼構部份、景觀園藝、道路、帷幕牆等	電器含為靜態式 單價是潔淨室面積做基準 鋼構為部分鋼構 潔淨室等級以 μ 為主，為輔面積：
潔淨室系統	869	87	20.69	空調箱、乾盤管、FFU、排氣系統、牆板、高架地板、天花板、照明、水管路等	
電力/儀控系統	435	44	10.36	變電站設施、電纜線槽、配電盤、BUSS WAY、變壓器.....等	
氣體系統	340	34	8.10	Special gas 和所有 bulk gas 及管線和 purifier	
純水系統	380	38	9.04	純水系統及管線	
化學品供應系統	300	30	7.14	含供應設備及管路	
廢水處理系統	160	16	3.81	供應設備、槽等(含土木)回收系統	
廠務設備	285	28	6.78	冰水主機、鍋爐、各類空壓機、乾燥機、真空泵、發電機、ups...等	
一般管線	100	10	2.38	製程冷卻水、真空管路、清潔用真空管路	
工安/環保設施	290	29	6.91	消防、洗滌塔、有機廢棄處理器	
二次配管	340	34	8.10	各系統二次配連接	
其他雜項	165	16	3.93	設計、監造、假設工程、清安費.....等雜項費用	
總計	4200	560	100		

廠務相關系統所佔費用比例

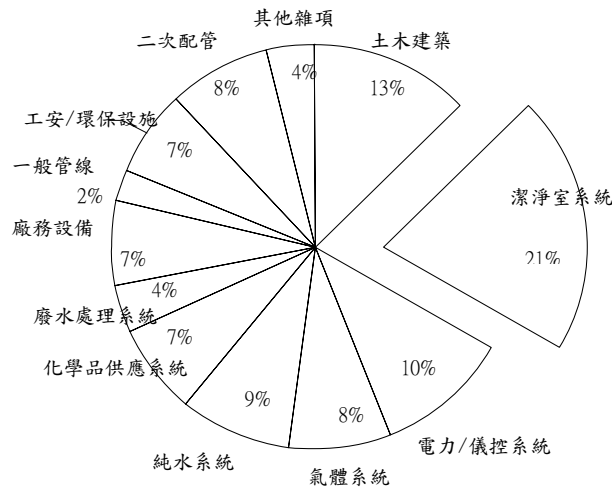


圖 3.1 廠務相關系統所佔費用比例

3.2 高科技廠房潔淨室

潔淨室另稱清淨室或無塵室，其主要作用再控制產品或醫療所接觸下的空間範圍內對其微塵粒子、有害空氣、細菌等污染源排除，另將室內之溫度、潔淨度、氣流速度、室內壓力、噪音、振動、照明度、靜電防制、電磁干擾等控制在某一範圍內。另依照潔淨度等級不同對其不同定義，如潔淨度一級(Class 1)代表每立方英尺之空氣中含有大於或等於 $0.5 \mu\text{m}(10^{-6}\text{m})$ 的微塵粒子不超過一顆（依美國聯邦標準 209B 為準）；潔淨度 10 級則為不超過 10 顆，其 100 級、1000 級…等依此類推（湯瑪斯）。

潔淨室設計的關鍵原理是設計須由內而外，潔淨室的平面配置應能夠支援生產程序，潔淨室設備並非佇於一成不變的環境中。生產量、生產特性、顧客需求、製程、市場條件及政府法令等因素的改變，都會導致潔淨室平面配置與公共設施的改

變。依照可預期之條件與計畫的變化所制訂出的彈性措施，必須在設計時就加以考慮；同時也必須確定適當的彈性範圍。

人員是潔淨室主要的顆粒產生源，而移動會使顆粒的產生速率增加。設備、走道與空間的配置將使移動減少。此外，進出潔淨室的人員必須保持在最少的數目。雖然潔淨室是保持在正壓狀態，但這並不保證污染物就不會進入潔淨室中。

潔淨室半導體製程當晶片開始投入製造流程時，製造人員須負責執行每個生產過程動作，所謂積體電路乃是利用矽晶片之半導體特性，來製造出電阻、電容、電晶體等元件，同時利用導體來連結完整的電路，且具有記憶體或邏輯判斷的功能，整個積體電路製造流程需經過 IC 電路設計、晶片製程、IC 封裝、IC 測試等步驟才能完成，簡言之乃是由黃光、蝕刻、薄膜、擴散/離子佈植四大模組組合成的製作流程。然而半導體製程過程中極度複雜，譬如一條生產線有數百製程站別，但黃光、蝕刻、薄膜、擴散、清洗離子佈植製程需於途中重複性往返製作站別，各站製程流程均有不同的污染顧慮，因此如何經過精密的動線及空間安排，是目前半導體工廠重要的任務。

而潔淨室在面積的定義是蠻重要的，假如有 100 平方英尺的空間需求，那這 100 平方英尺是否包含牆在內？有包含牆周圍的厚度？有考慮到設備周圍及搬運定位應有的空間嗎？下列有三項不同地板面積定義的使用：

1. 潔淨空間。
2. 配置空間。
3. 總量空間。

在規劃潔室內淨空的區域時，首先要得知每個設備、工作台、架子及貯存區等所需要的區域大小，設備的維護與進出空間也要包含在內，我們稱這些在潔淨室內區域的總和為淨空間。除了潔淨室的空間外，尚未按排的空間如走道、機器機房、

空調機房或地下室也是必要的。

3.3 半導體製作流程

一般而言，IC 製造流程可分為五大步驟，即電路設計、晶圓、光罩製作、晶片製造以及晶片封裝（如圖 3.2），在晶片製造又分前段製程（如圖 3.3）與後段製程（如圖 3.4）。本研究範圍乃探討晶片製造廠房潔淨室空間（含空氣吹氣室、換鞋、更衣、洗手間、儲藏室…等單元空間）配置與動線規劃面。

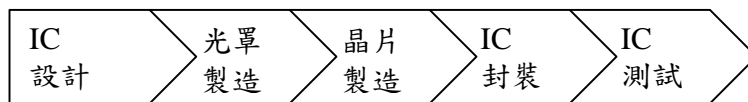


圖 3.2 整合型製造流程

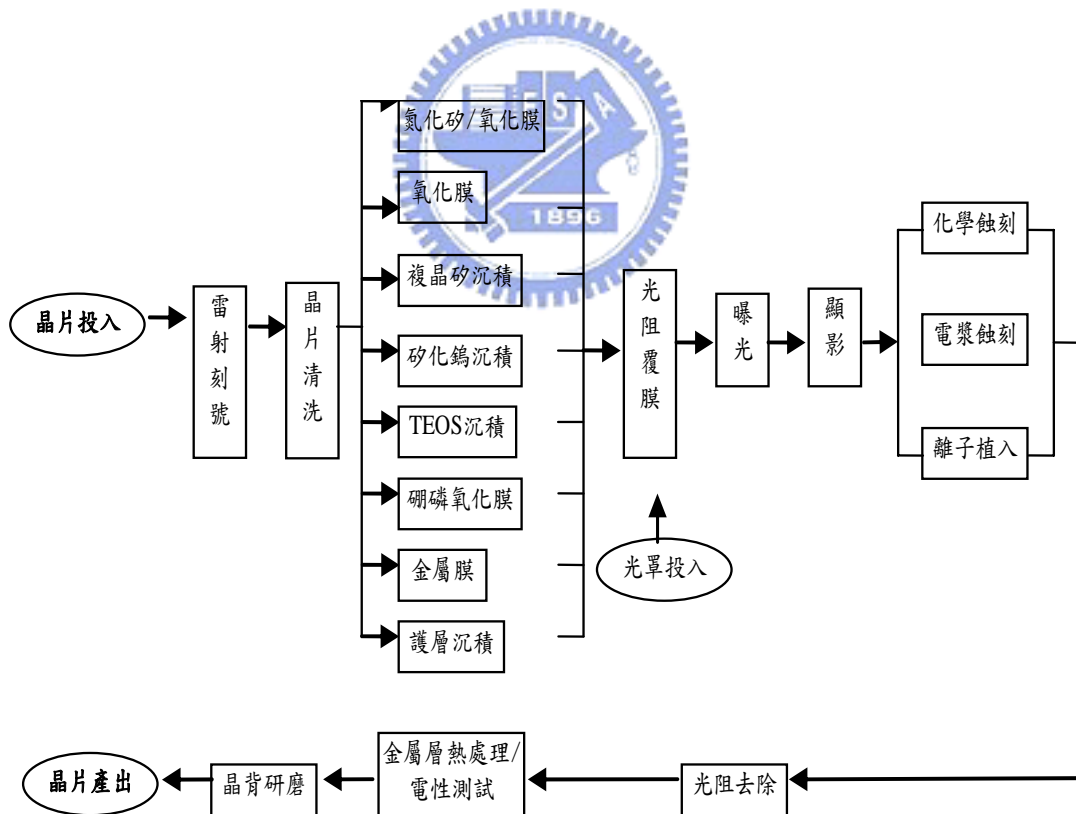


圖 3.3 前段製程

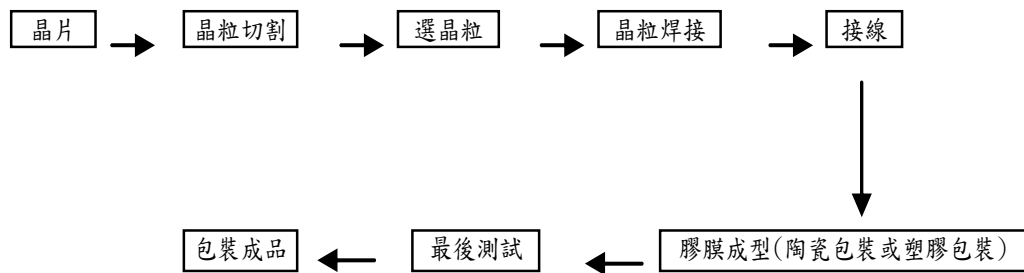


圖 3.4 後段製程

晶圓製造乃採逐層建構方式有晶圓適當清洗，後經過氧化即在熱爐管的含氧環境中加熱氧化，在晶圓表面生成厚約數百個 Å 的二氧化矽層，薄膜沉積乃化學氣相沉積厚約 100 到 200 奈米的氧化矽層至晶圓表面，其後微影步驟則在晶圓上一層光阻，在將光罩上的圖案移轉到光阻上，用蝕刻技術將未被光阻保護的但氧化矽除去，留下需要的路線部份，摻雜時以磷為離子源對整片晶片進行磷原子植入並將光阻劑去除，金屬化則進行金屬化製程，製作金屬導線將各電晶體與元件連接，以此重複步驟製作一層、二層…的迴流製程電路部份，其冗長的製造流程直接間接地影響晶圓搬運移動距離、機器設施規劃之重要性，本文排除設施規畫面乃因製程設施乃配置單一空間非多元性空間，本文研究範疇主要探討製造廠房潔淨室空間（含空氣吹氣室、換鞋、更衣、洗手間、儲藏室…等單元空間）配置與動線之規劃。

一般高科技廠房皆以自動化整合模式運轉（聯華電子 2006），晶圓皆經由自動化 FOUP 晶圓傳送盒來傳送，每盒可容納 25 個晶圓。此外，批次晶圓的運送採自動化物料搬運系統中的 Interbay 運送法來進行，將高潔淨晶舟置於軌搬運車（Rail Guided Vehicles, RGV）的 Intrabay 運送法來運載晶圓。相較於標準的 8 吋晶圓廠自動導引車（Automatic Guided Vehicle, AGV）系統，新系統可增加 3 至 4 倍的效率。又如位於新加坡之 UMCi，強調設備對設備間的直接運送，以增加作業上的效率。

圖 3.5 之自動化的 12 吋晶圓廠，聯電基於對製造效能、彈性及控制的嚴格要

求，12 吋廠全面採用最先進的前開式高潔淨晶舟、自動物料掌控系統及懸樑式的晶舟自動傳輸系統。



圖 3.5 自動化的 12 吋晶圓廠聯電廠（聯華電子 2006）

聯電 12 吋的領先製程增加客戶的成本效益並且短縮產品的上市時程。今日 IC 的設計強調整合多功能於單一晶片及晶片的尺寸增大的趨勢，這些因素對於客戶用以維持競爭優勢而顯得日趨重要。

3.4 潔淨室設計規劃



在潔淨室規劃前需先了解其功能性做一整體的設計（顏登通 2005），整合資料包括了製程設備相關資料、製程技術、建物規模和產能及製程佈置狀況等。因此潔淨室的總體設計概念，可如下（圖 3.6）的各項規劃或計劃來加以探討，這些規劃或計劃包含了空間佈置規劃、結構及架構、自動傳送系統、設備選擇與佈置、運轉及維護管理以及工安環保計劃等。這些項目事實上均涵蓋於空調、電力、氣體、超純水、廢水、化學藥品和安全監視等廠務八大系統中。

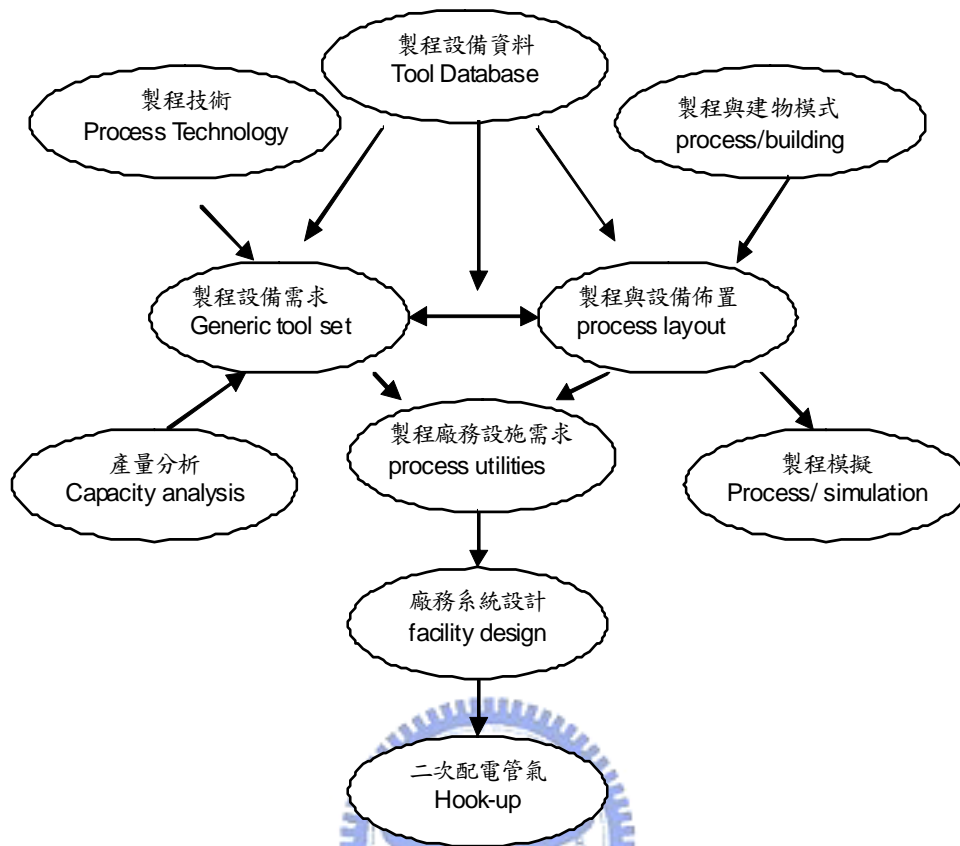


圖 3.6 潔淨室廠房設計整合流程 (顏登通 2005)

在潔淨室的空間佈置規劃中，動線規劃是最重要課題之一 (顏登通 2005)，此動線包括了：

1. 整體動線計劃：人物工具水電廠務系統等各項管路出入位置和方向。
2. 潔淨室的動線計劃：生產作業流程材料器材廢料及產品的出入流程製程設備位置之定位等。
3. 進出潔淨室的動線計劃：人員設備原物料等進入潔淨室的程序等。

基本動線規劃原則乃使產品流程在最短距離有最順暢的流動，使人員流動、材料、藥品等搬運避免集中且頻繁的移動，若動線規劃良好，相信潔淨室設計概念已完成大部份，因此空間佈置確定需靠多面考量。一般動線規劃基本可將其類分為四種路徑，且以交錯最少來考量，此四種路徑為：

1. 作業人員與晶圓、光罩等生產流程進出路徑。
2. 機台搬遷路徑。
3. 潔淨室內空調設備進出路徑。
4. 廠務供應管線、電纜線進出及廢棄物、廢水等排放路徑。

上述四種路徑另做動線圖例（圖 3.7），但動線規劃應注意幾點如：作業人員、材料、化學品等動線不可太集中；機台遷移動線不可影響製程流動；風管和廠務供應系統管線不能集中配置。故要維持高效產能，在空間規劃須符合製程流程平順及人員、設備搬移動線順暢等基本要求。

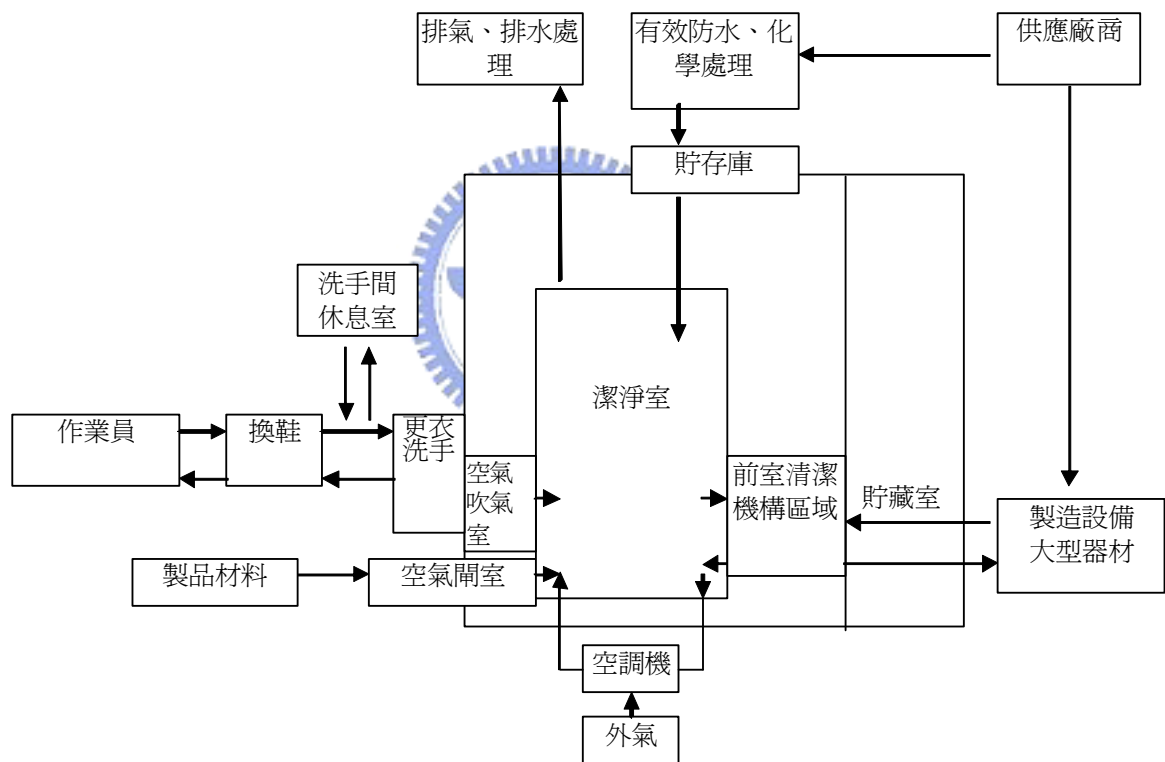


圖 3.7 動線基本規劃（顏登通 2005）

然而一般潔淨室目前在空間佈置方式有圖 3.8 所示大廳式（Ball Room）、隧道式（Tunnel）、微環境式（Mini-Environment）三種。

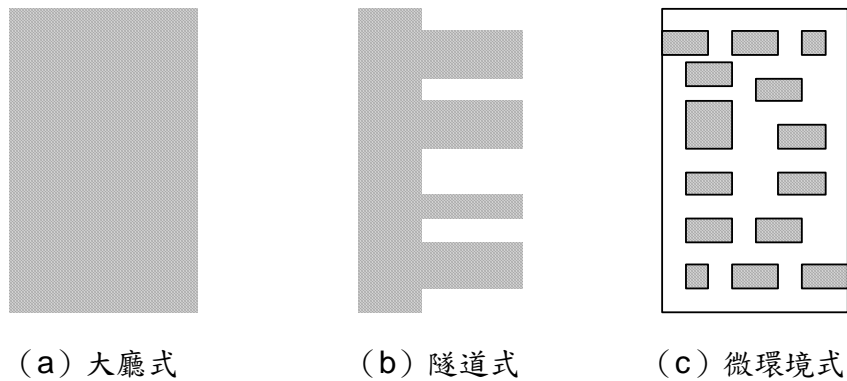
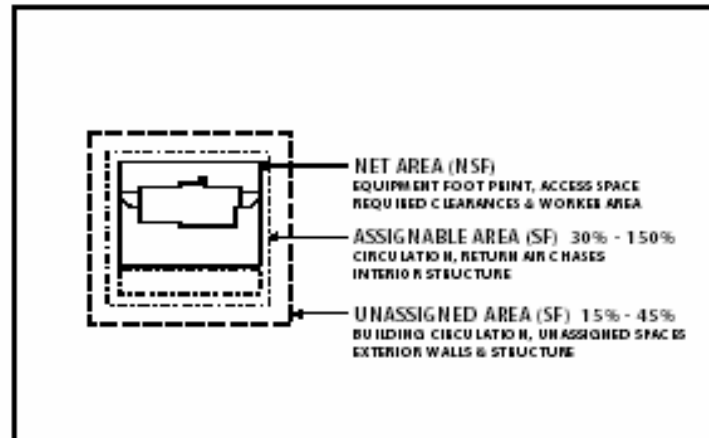


圖 3.8 目前潔淨室空間佈置方式 (顏登通 2005)

3.5 小結

對於高科技廠房實驗空間的規劃而言，管制進出的人員、設備與物料，人員是潔淨室主要的顆粒產生源，而移動會使顆粒的產生速率增加。設備、走道與空間的配置將考量移動減少。此外，進出潔淨室的人員必須保持在最少的數目。雖然潔淨室是保持在正壓狀態，但這並不保證污染物就不會進入潔淨室中。另外，潔淨室設備並非佇於一成不變的環境中。生產量、生產特性、顧客需求、製程、市場條件及政府法令等因素的改變，都會導致潔淨室平面配置與公共設施的改變。依照可預期之條件與計畫的變化所制訂出的彈性措施，必須在設計時就加以考慮；同時也必須確定適當的彈性範圍。(湯瑪斯)

另外，潔淨室的空間外，尚未按排的空間如走道、機器機房、空調機房或地下室也是必要的。上述三項不同地板面積的空間及所包含的範圍如下圖(圖 3.9)所示。在可用的建築物空間內，一般而言潔淨室需要 2 倍至 3 倍的污染物控制區域。假如潔淨室的建置並不需要太多用途的支援，那配置空間與淨空間的比將多增加額外 75% 至 85%，另外如果多用途的支援有改變且在接下來的 5 年內成長，那這個比例將減少至 150%。



Program Area Generated by Equipment

圖 3.9 潔淨室地板面積比例圖示 (湯瑪斯)

在面積受到限制的情形下，模組化的潔淨室也許是最適當的選擇，它們能分解成基礎組合式物件及預先組裝的單元，例如完備地整合空調真空設施、高效率空調系統、高效率空氣過濾器、照明，甚至預先配好電線及管路的組件。更多精密的模組化潔淨室是被設計用來擴張使用模組化控制盤或進行模組間的聯結，這些模組化潔淨室的優點有：低成本、回復時間(Turn Around Time)短及在生產空間中的可移動性；因而在進行潔淨室的開發計劃，需謹記在心的是其間最大的支出並非從初設開始，因為不適當的規劃，導致想變更已經存在的設備及修改既存的潔淨室區域時，則將會比重新安裝一個潔淨室的成本高出數倍。

以上多種理論的文獻資料尋求與比較中（表 3.2），綜合歸納出在高科技廠房建構裡，整個廠房中潔淨室（FAB）的空間配置與動線規劃與作業人員、晶片製程流程相互影響，要充份的將空間佈置規劃最適當，本研究範圍主要探討高科技廠房實驗空間與動線，希望利用空間語法（Space Syntax）理論進行潔淨室內各主要空間探討，但本理論將實際的距離省略但會實際力應用路徑理論進行驗證以輔助說明，著重於空間關係的探討，每增加一個空間就多一層的深度，空間的深度是一行接著一行，不會有跳行連接的情形發生，層次分明可讀性高。利用空間語法找出整合性最高的空間使用，也就是使用最高的空間與軸線，可預測人流動強度能力，利用潔淨室周圍單元空間便捷度規劃使用空間，即使用次數高之單元空間規劃在最便捷之處，另期望未來研究方向能將空間語法（Space Syntax）潔淨室單一空間內將各機台視做並假設障礙下虛擬單元空間進行便捷值之尋獲，以便套入半導體製程上百次的作業流程中現行空間組合中其空間為人員流動最強處，以節省人員走動或懸樑式的晶舟自動傳輸系統之規劃便捷，因目前高科技廠房大部份以作業流程考量與限制空間的發展，為了讓造價高的科技廠房節省人員工作便利性、廠務配管施作、晶片污染源的減低、晶片良率、時間的節約，本研究利用空間語法先最空間進行量化探討找出 NDL 潔淨室高使用空間後。

表 3.2 文獻蒐集綜合比較暨本研究範圍（本研究整理）

區塊	屬性	適用方法	與本研究相關性
實驗室（含潔淨室、更衣室、...等範圍）	多重空間	Space syntax、路徑等理論驗證，充分在建廠規劃階段加入考量層面，以提高潔淨室人員走動、相關配管、最短動線時間的節約、同時達到半導體製造過程縮短及員工走動便捷程度。	目前尚未有此方式之研究方式探討潔淨室，亦是本研究探討的範圍。

區塊	屬性	適用方法	與本研究相關性
潔淨室	單一空間限制，作業流程影響面大	<p>1.設施規劃面 可用傳統圖解、模糊理論、演算法、遺傳基因法...等方式尋求最佳設施配置。</p> <p>2.作業流程面 可用空間衝突〔12〕、排程理論解決人員工作便利性亦可縮短晶片運送時間以減少污染。</p>	<p>潔淨室不屬本研究方向 唯未來研究方向可利用 Space Syntax 可進一步 切割空間來計算，即在 牆面隔間或是障礙物來 將整體空間（單一空間 潔淨室）假設分割為數 個空間單元（機台），用 以驗證目前機台空間是 否最佳化配置。</p>



第四章 國家奈米元件實驗室之空間及動線規劃

4.1 國家奈米元件實驗室建廠規劃

國家奈米元件實驗室屬於新建之廠房，主要係以研究開發奈米元件產品為主，潔淨室與廠務特殊系統工程屬統包工程，及一般機電工程屬施工標，關於 NDL 使用面積：行政研究大樓總樓板面積 7,018 坪奈米實驗大樓總樓板面積 3,955 坪，其中 Class100 無塵潔淨室 340 坪、Class100 無塵潔淨室 540 坪，工程主要系統有潔淨室空調系統、超純水製造處理、化學藥品供應、中央供應系統、廢水回收處理、供電計劃、廠務設施計劃、環保工安、管路設計佈置……等等系統（NDL 2002），廠務系統主要是供應潔淨室的運轉，潔淨室設備空間規劃可分光學區、蝕刻區、薄膜區、去離子植入區、擴散爐管區、去光阻區等（NDL 2007），一般潔淨室的規劃，為使製造流程的通暢起見，均以中央走道式的方形的長方形的安排最為常見，因此，為力求完美，潔淨室的設計都以製程流程的邏輯為主軸，其他如產品的傳輸及作業間距也必須詳加考量，然而高科技建物空間中有辦公室（Office）、製造區（Fab）、中央廠務供應棟（Cub）等區隔。

在潔淨室規劃中 NDL 潔淨室新廠建構其規劃乃考量十年內機台使用空間，利用空間與人為主觀判斷其更衣、沖淋、使用機台…等行為模式，搭配 Autocad 軟體試算配製機台的空間及其動線 Layout，且原新廠建造時其設計理念乃預估無塵室各類設施皆以新機台為前題而規劃，舊有機台部分依製程模組、功能性將機台分區塊放置潔淨室，目前 NDL 尚未發展較合理化方式規劃空間及機台放至點及其動線，一般量產半導體廠面對無塵室空間及動線之規劃首先考量物流乃因產品是獲利的來源，因時間創造利潤其機台配置乃為搭配物流之營運，機台配置妥當後再進行配管路及管線等設計。

4.2 建廠潔淨室設計規劃

NDL 無塵室新廠建構其規劃是考量十年內機台使用空間，因屬研究層面故無量產問題，僅已空間與人為主觀判斷搭配 Autocad 軟體試算配製機台的空間及其動線 Layout，且原新廠建造時其設計理念乃預估無塵室各類設施皆以新機台為前題，但其後預算因素策略改移動舊廠機台至新廠，原設計 Class 100 及 10000 其變動較大，NDL 在搬遷時歷經多次規劃與討論，舊廠移至新廠相關時程動線及空間的配置，本研究將進行驗證最佳動線及空間配置，利用空間語法 (Space Syntax) 探討實驗室空間配置與動線最佳性。首先將實驗室空間有 20 空間單元，含潔淨室、更衣室、air shower 沖淋間、儲藏室…等空間及軸線數據量化用以驗證其空間配置是否最便捷，每一組構元素到其他所有個別元素間的最短路徑之平均值最比較計算後得到的代表位置便捷度之比較值，Space Syntax 分析乃將 Rn 值來代表全區性的相對便捷度，當 Rn 值愈高時，代表該元素之全區性便捷度愈大。非經由任何評量方式而自然存在的量化特質，此即為「鄰接個數值」，Connectivity，簡稱 CN 值，CN 值即為系統中每一組構元素所鄰接之元素之數值，當系統中組構元素 (最長動線) 之 CN 值愈高時，即表示該組構元素之視覺滲透廣度也就愈高。

未來研究方向可利用每一機台當作一空間單元或將潔淨室分為四獨立模組 (黃光區、熱氧化區、蝕刻區及薄膜區) 空間單元，即在牆面隔間或是障礙物方式虛擬空間，將潔淨室以機台為單位分割數個空間單元，在用空間語法 (Space Syntax) 計算空間單元結構分析圖和最長動線結構分析圖，得到相對便捷值和相對控制值。半導體晶圓廠是一個複雜的製造環境因各種製程機台需執行不同製程步驟，且潔淨室內冗長的製造流程、再回流特性，利用空間語法 (Space Syntax) 計算空間單元結構分析圖和最長動線結構分析圖，探究設施規劃最便捷值與最長動線等分析，此方法探究亦可補足近幾十年設施規劃，學者提出不同模式及演算法求解之新套用方式弭補設施規劃缺少空間理論組構機能之合理性驗證。

目前 NDL 尚未發展較合理化方式規劃機台動線，一般量產半導體廠面對無塵室空間及動線之規劃首先考量物流乃因產品是獲利的來源，故時間創造利潤其機台配置乃為搭配物流之營運，機台配置妥當後再進行配管路及管線等設計。

4.3 潔淨室單元空間構型分析

NDL 單元空間定義

在本研究範圍我們選定之高科技廠房 NDL 潔淨室等 20 個空間單元(如圖 4.1 所示)為例，藉由 NDL 潔淨室等 20 個空間結構的分解進行演算。另，將此 20 空間之空間功能及使用定義分別依序簡述如表 4.1。本研究範圍之 20 個空間單元，因潔淨度與溫度空調之不同可區別為外部及內部功能性空間，內部功能性空間又可區分為兩種功能，即內部潔淨度即微塵粒子潔淨度又區別不同使用功能之空間，彼此間因潔淨度關係共區分為三區塊，且三區塊之空間地位不可互換與取代，故下列空間經空間單元定義及分解後，可經空間語法 (Space Syntax) 量化後進行驗證，並對其各項空間型構量化數值進行分析。

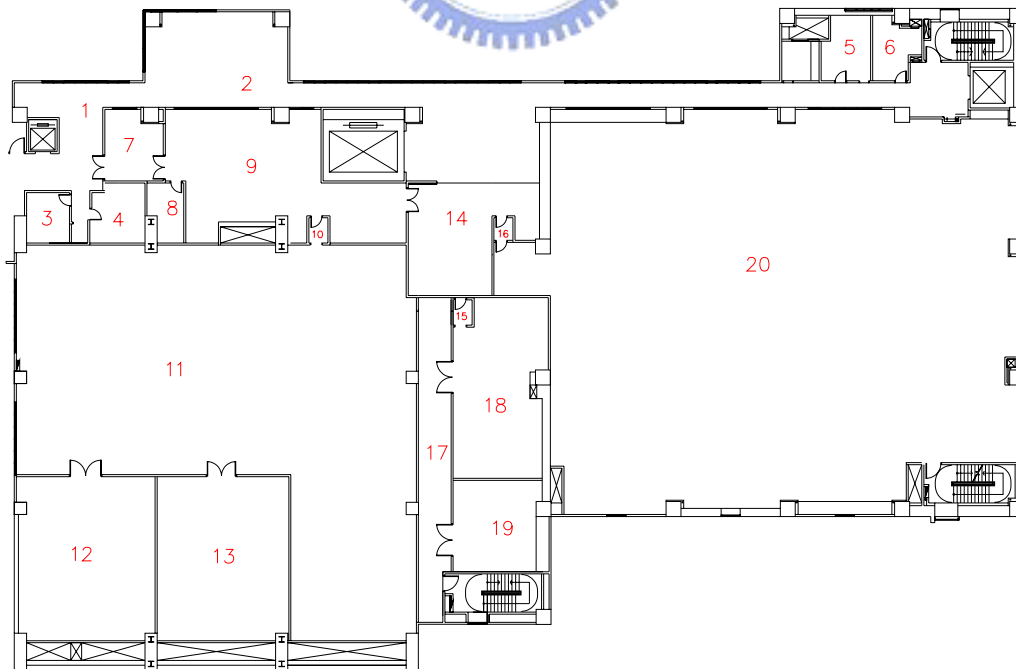


圖 4.1 NDL 潔淨室空間平面圖示意圖

表 4.1 研究範圍內之空間單元，其空間功能及定義

空間單元	空間區隔	空間功能及定義
單元 1	外部空間	潔淨室外走道
單元 2	外部空間	潔淨室外走道
單元 3	外部空間	廁所
單元 4	外部空間	廁所
單元 5	外部空間	廁所
單元 6	外部空間	廁所
單元 7	內部空間功能 (一)	潔淨室更鞋區。
單元 8	內部空間功能 (一)	儲藏室。乃放置潔淨室消耗品，如：手套、口罩、無塵衣、帽...等暫放之儲存空間。
單元 9	內部空間功能 (一)	更衣室。即潔淨室 100 級和 10000 級衣服更換空間。
單元 10	內部空間功能 (二)	空氣沖淋間 1 (Air Shower)。無塵室的必需設備，設在潔淨室 (Class Room) 入口處，對進入室內的人與物品，以高速噴氣式清淨空氣吹拂，將人體衣服、物品上附著的灰塵和細菌等清乾淨後才能進入。本單元空間即進入潔淨室 100 級之清淨等級區域之緩衝區。
單元 11	內部空間功能 (二)	100 級潔淨室 (Class Room)。在無塵室中空氣的清淨度分級方法是以其微粒子的直徑及密度(單位體積內的數目)來決定。美國聯邦標準第 209E 條規定了用以分級室內空氣品質的級數(Class Number)方法。此標準以顆粒尺寸和密度兩項來分級。“級數”之定義為：即在每立方英尺的空氣中所含直徑等於(及大於)0.5 μ m 的粒子數量。
單元 12	內部空間功能 (二)	黃光室 1。黃光室是進行 IC 晶片微影成像術的區域，單元 12 乃潔淨度 10 級之黃光室。
單元 13	內部空間功能 (二)	黃光室 2。黃光室是進行 IC 晶片微影成像術的區域，單元 13 乃潔淨度 100 級之黃光室。
單元 14	內部空間功能 (二)	緩衝區。進入潔淨室 1000 級和 10k 級之緩衝空間。
單元 15	內部空間功能 (二)	空氣沖淋間 2 (Air Shower)。本單元空間即進入潔淨室 1000 級之清淨等級區域之緩衝區。
單元 16	內部空間功能 (二)	空氣沖淋間 3 (Air Shower)。本單元空間即進入潔淨室 10k 級之清淨等級區域之緩衝區。
單元 17	內部空間功能 (二)	潔淨室內走道。
單元 18	內部空間功能 (二)	1000 級潔淨室 (Class Room)。
單元 19	內部空間功能 (二)	1000 級潔淨室 (Class Room)。
單元 20	內部空間功能 (二)	10K 級潔淨室 (Class Room)。

NDL 空間語法量化

本研究範圍之 20 空間單元定義及劃分後，即 Hillier 空間結構的分解首先將空間分解成空間單元後，以拓樸結構來表達分解後的「空間單元結構分析圖」如表 4.2，將單元空間 1 用樹狀圖分解圖示。由分解圖可看出空間單元 1 對應深度，故其總深度總深度(MD) = (1×0+4×1+3×2+3×3+3×4+4×5+1×6+1×7)=64。下列算式以空間單元 1 透過空間分解及圖示化後，再透過參數的計算，空間轉換成量化的數值，以表示元素與元素間的便捷程度和影響性，如圖 4.2 計算式，分別求得空間單元之 MD、RA、RRA、RN 等值。

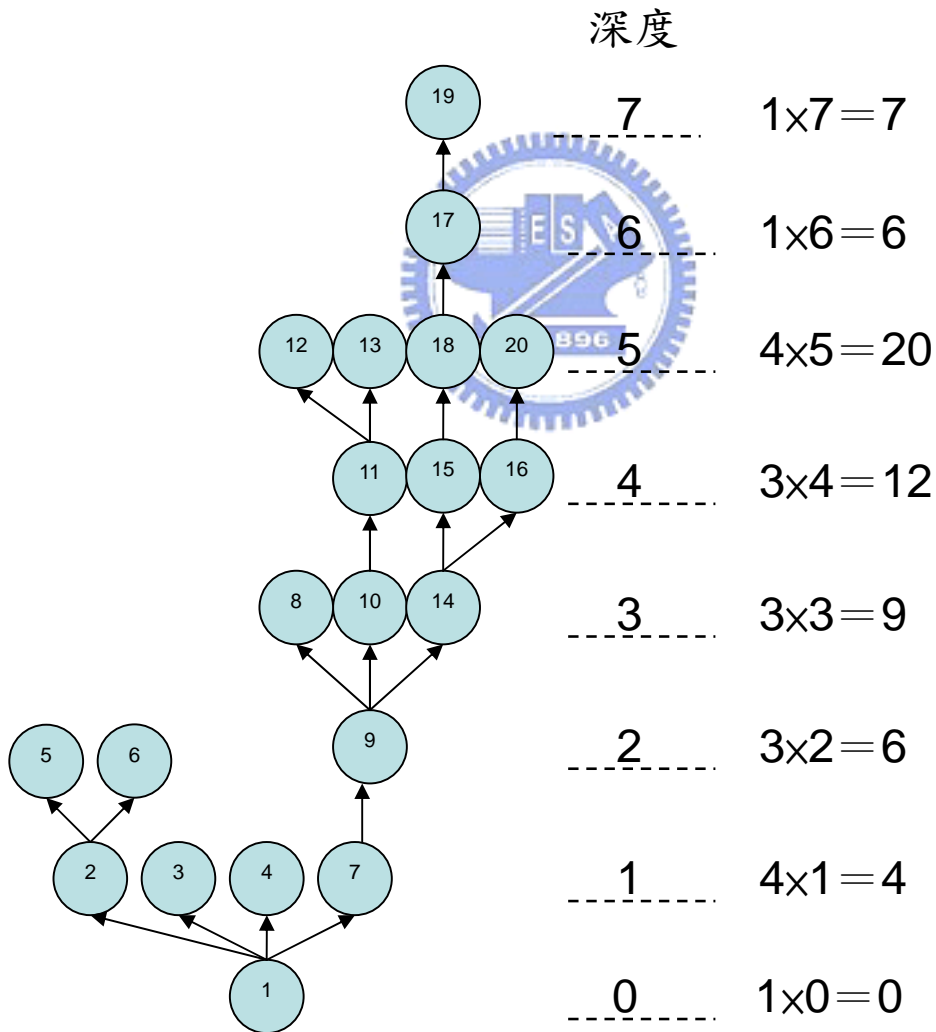


圖 4.2 空間單元 1 空間關係及深度圖

連接值 (Connectivity)

單元 1 只連接 4 個空間，CN=4

整體整合值 (Global Integration Value)

單元 1 之總深度(MD) = (1×0 + 4×1 + 3×2 + 3×3 + 3×4 + 4×5 + 1×6 + 1×7) = 64

單元 1 之平均相對深度(MD) = 總深度/總空間量(K) - 1 = 64/20 - 1 = 3.36

單元 1 相對不對稱值(RA) = 2(MD-1)/總空間量(K) - 2 = 2(3.36-1)/20 - 2

= 0.26

單元 1 真正相對不對稱值(RRA) = RA/D = 0.26/0.22 = 1.18

$D = 2(n(\log_2(n+2)/3) - 1) + 1/(n-1)(n-2)$

單元 1 相對便捷植 Rn = (1/RRA) = 0.85

圖 4.3 以外部空間 1 為起始空間之量化分析運算

上述透過單元空間 1 空間分解及圖示化後，並經過參數的計算將空間轉換成量化的數值試算完，接下來進行本研究範圍 20 個空間單元之演算（如表 4.2 所示），以表示元素與元素間的便捷程度和影響性。（下列表之各項量化值乃利用 EXCEL 公式套入【表 2.3 空間分析參數表】之公式進行運算獲得數值）

表 4.2 空間量化數據表

空間編號 Room No	平均相對深度 Mean Depth	相對便捷值 RN	相對控制值 Control Value	鄰接單元數 Connectivity
1	3.20	0.91	2.83	4
2	3.90	0.69	2.25	3
3	4.10	0.64	0.25	1
4	4.10	0.64	0.25	1
5	4.80	0.53	0.33	1
6	4.80	0.53	0.33	1
7	2.80	1.11	0.50	2
8	3.40	0.83	0.25	1
9	2.50	1.33	2.33	4
10	3.10	0.95	1.33	2
11	3.80	0.71	2.50	3
12	4.70	0.54	0.33	1
13	4.70	0.54	0.33	1
14	2.80	1.11	1.25	3
15	3.40	0.83	0.83	2
16	3.60	0.77	0.83	2
17	4.90	0.51	1.50	2
18	4.10	0.64	1.00	2
19	5.80	0.42	0.50	1
20	4.50	0.57	0.50	1

表 4.3 NDL 無塵室單元空間之 RN、RA、RRA 對應空間量化數比較表

空間編號 Room No	平均相對深度 Mean Depth	相對不對稱值 Relative Asymmetry	真正相對不對稱值 Real Relative Asymmetry	相對便捷值 Rn
單元	MD	RA	RRA	Rn
1	64	0.24	1.10	0.91
2	78	0.32	1.45	0.69
3	82	0.34	1.55	0.64

空間編號 Room No	平均相對深度 Mean Depth	相對不對稱值 Relative Asymmetry	真正相對不對稱值 Real Relative Asymmetry	相對便捷值 Rn
4	82	0.34	1.55	0.64
5	96	0.42	1.90	0.53
6	96	0.42	1.90	0.53
7	56	0.20	0.90	1.11
8	68	0.27	1.20	0.83
9	50	0.17	0.75	1.33
10	62	0.23	1.05	0.95
11	76	0.31	1.40	0.71
12	94	0.41	1.85	0.54
13	94	0.41	1.85	0.54
14	56	0.20	0.90	1.11
15	68	0.27	1.20	0.83
16	72	0.29	1.30	0.77
17	98	0.43	1.95	0.51
18	82	0.34	1.55	0.64
19	116	0.53	2.40	0.42
20	90	0.39	1.75	0.57

NDL 空間型構分析

「單元空間 9」相對便捷值最高，故表示此空間在整體性的便捷成度之不對稱性質相對最低，表 4.7 對應空間量化數比較表中可看出「單元空間 9」之 RA 及 RRA 之數值相對低，由此可知利用不同定義之量化數可驗證「單元空間 8」是最便捷。若便捷值高其相對的位居深度應該最淺，「單元空間 9」由表 4.7 可知其平均深度 MD=50 的數值得知是最低，亦可驗證其便捷度在所有探討的空間中最高，還可利用空間語法的便捷值與控制值的計算，進行迴歸分析即 1/RRA 空間整合性分佈，來驗證現行潔淨室的最佳配置的可信度。

而 Hillier 之空間型構分析理論僅針對自然狀態（無外界影響源）下，做空間型態分析與環境行為研究，若欲有效運用此研究方法於實際現況使用行為之推測，需與真實狀態結合，才使分析結果更能準確推測實際使用狀態，本章節則實際以奈米

實驗室潔淨空間進行演算外，並配合門禁刷卡記錄之實際狀態結合，來驗證並探討目前之空間規劃是否為最佳，若非最佳化可進行修改以達最佳化之配置。套用各空間的累計使用率進行分析本研究範圍空間是否最恰當，首先我們可將上述空間單元再整理為下述數據（表 4.4）：

表 4.4 NDL 無塵室單元空間量化計算對應累計使用次數
（資料來源：NDL 門禁刷卡記錄）（NDL 2007）

空間編號 Room No	空間名稱	使用次數	平均相對深度 Mean Depth	相對便捷值 RN	相對控制值 Control Value
1	潔淨室外走道 1	4783	3.20	0.91	2.83
2	潔淨室外走道 2	300	3.90	0.69	2.25
3	廁所	5	4.10	0.64	0.25
4	廁所	5	4.10	0.64	0.25
5	廁所	40	4.80	0.53	0.33
6	廁所	40	4.80	0.53	0.33
7	更鞋區	4783	2.80	1.11	0.50
8	儲藏室	8	3.40	0.83	0.25
9	更衣室	4783	2.50	1.33	2.33
10	空氣沖淋室 1	1098	3.10	0.95	1.33
11	100 級潔淨室	792	3.80	0.71	2.50
12	黃光室 1	5	4.70	0.54	0.33
13	黃光室 2	301	4.70	0.54	0.33
14	緩衝區	168	2.80	1.11	1.25
15	空氣沖淋室 2	121	3.40	0.83	0.83
16	空氣沖淋室 3	47	3.60	0.77	0.83
17	潔淨是內走道	58	4.90	0.51	1.50
18	1000 級潔淨室	58	4.10	0.64	1.00
19	1000 級潔淨室	5	5.80	0.42	0.50

空間編號 Room No	空間名稱	使用次數	平均相對深度 Mean Depth	相對便捷值 RN	相對控制值 Control Value
20	10K 級潔淨室	47	4.50	0.57	0.50

利用 NDL 潔淨室空間其中含空氣吹氣室、換鞋、更衣、洗手間、儲藏室…等 20 單元空間，現有配置透過參數的計算，將空間轉換成量化的數值如表 4.3，將本表單元空間可分區分為外部空間、內部空間（一）、內部空間（二）等三區塊，定義三區塊空間乃因此三區塊之空間功能不可任意對調，因外部空間無潔淨度掌控，故其空間不可調整至內部空間，另，內部空間（一）之潔淨度低於內部空間（二），故此兩區雖屬內部空間但礙其潔淨度之不同等級之使用，亦不可將兩區塊空間對調，其探討如下：

經由計算【外部空間】(表 4.5) 之空間量化數據之相對便捷值 (Rn) 分別「空間單元 1」>「空間單元 2」>「空間單元 3」=「空間單元 4」>「空間單元 5」=「空間單元 6」，平均相對深度 MD 分別 $6=5>4=3>2>1$ ，可探究【外部空間】之空間配置情況，即累計使用次數高，代表深度淺、便捷值高，頻繁使用的空間佔居較佳的位置，符合配置原則故不用調整，符合此條件有空間單元 1 和 2。另，使用次數低者，其深度較高、便捷度較低，不常使用的空間佔居較差的位置，經計算所得之量化數亦符合配置原則，故不需調整空間配置，符合此條件之空間有 3、4、5、6，總歸納表示本區空間規劃屬恰當並最佳配置。此外，走道 1 為任何人員進入潔淨室必經之地，故其相對控制值最高。

表 4.5 NDL 無塵室【外部空間】單元空間量化計算對應累計使用次數

空間編號 Room No	空間名稱	使用次數	平均相對深度 MD	相對便捷值 RN	相對控制值 CV
1	潔淨室外走道 1	4783	3.20	0.91	2.83
2	潔淨室外走道 2	300	3.90	0.69	2.25
3	廁所	5	4.10	0.64	0.25
4	廁所	5	4.10	0.64	0.25

空間編號 Room No	空間名稱	使用次數	平均相對深度 MD	相對便捷值 RN	相對控制值 CV
5	廁所	40	4.80	0.53	0.33
6	廁所	40	4.80	0.53	0.33

【內部空間（一）】之空間單元分別有編號 7、8、9、14 等 4 單元，其數據顯示（表 4.6）相對便捷值最高為「單元空間 9」，其次為「單元空間 7」，接下來為「單元空間 14」與「單元空間 8」，平均相對深度 MD 分別 $8 > 14 > 7 > 9$ ，可探究【內部空間（一）】之空間配置情況，累計使用次數高，代表深度淺、便捷值高，頻繁使用的空間佔居較佳的位置，符合配置原則故不用調整，符合此條件有空間單元 7 和 9。另，使用次數低者，其深度較高、便捷度較低，不常使用的空間佔居較差的位置，經計算所得之量化數亦符合配置原則，故不需調整空間配置，符合此條件之空間有 14、8，總歸納表示本區空間規劃屬恰當並最佳配置。

表 4.6 NDL 無塵室【內部空間（一）】單元空間量化計算對應累計使用次數

空間編號 Room No	空間名稱	使用次數	平均相對深度 MD	相對便捷值 RN	相對控制值 CV
7	更鞋區	4783	2.80	1.11	0.50
8	儲藏室	8	3.40	0.83	0.25
9	更衣室	4783	2.50	1.33	2.33
14	緩衝區	168	2.80	1.11	1.25

【內部空間（二）】之空間編號有 10、11、12、13、15、16、17、18、19、20 等 10 個，數據顯示（表 4.7）其量化數分兩組比較，10、11、12、13 相對便捷值最高為 $10 > 11 > 12 = 13$ ，平均相對深度 MD 分別 $12 = 13 > 11 > 10$ ，可探究 10、11、12、13 之空間配置情況，累計使用次數高，代表深度淺、便捷值高，頻繁使用的空間佔居較佳的位置，符合配置原則故不用調整，符合此條件有空間單元 10、9。另，使用次數低者，其深度較高、便捷度較低，不常使用的空間佔居較差的位置，經計算所得之量化數亦符合配置原則，故不需調整空間配置，符合此條件之空間有 12、

13，總歸納表示本區（單元 10、11、12、13 是全區潔淨度最高級空間）空間規劃屬恰當並最佳配置。再進行 15、16、17、18、19、20 單元空間之驗證由（表 4.7）得知便捷值最高單元 15 其便捷值最高、深度低、使用次數居最高，故空間位置恰當，不需調整，但空間 16、17、18、19、20 並未最佳配置，可考量建議修改並可應用在未來規劃其他實驗室空間或修正之方式參考，下面將空間的嘗試規劃以下述二種建議方式調整。

表 4.7 NDL 無塵室【內部空間（二）】單元空間量化計算對應累計使用次數

空間編號 Room No	空間名稱	使用次數	平均相對深度 MD	相對便捷值 RN	相對控制值 CV
10	空氣沖淋室 1	1098	3.10	0.95	1.33
11	100 級潔淨室	792	3.80	0.71	2.50
12	黃光室 1	5	4.70	0.54	0.33
13	黃光室 2	301	4.70	0.54	0.33
15	空氣沖淋室 2	121	3.40	0.83	0.83
16	空氣沖淋室 3	47	3.60	0.77	0.83
17	潔淨是內走道	58	4.90	0.51	1.50
18	1000 級潔淨室	58	4.10	0.64	1.00
19	1000 級潔淨室	5	5.80	0.42	0.50
20	10K 級潔淨室	47	4.50	0.57	0.50

由上述結果得知，我們可以將空間的嘗試規劃以下述二種建議方式調整：

NDL 空間修改建議一

單元空間 15、16 其共通性皆為進入不同等級 1000、10k 前之空氣沖淋間，雖進入不同潔淨度之實驗室，但其潔淨等級相同，由此推估沖淋間空間異動，將兩間沖淋間合併於一間，其便捷度將變高、少 1 階單元深，期望驗證調整空間異動情況下所驗證的與現行使用上來說是否達其便利性，或推估正確將可提供實驗空間變動試規劃最佳化的空間配置與建議。故空間調整後之 NDL 潔淨室空間平面圖示意圖（圖

4.4)。

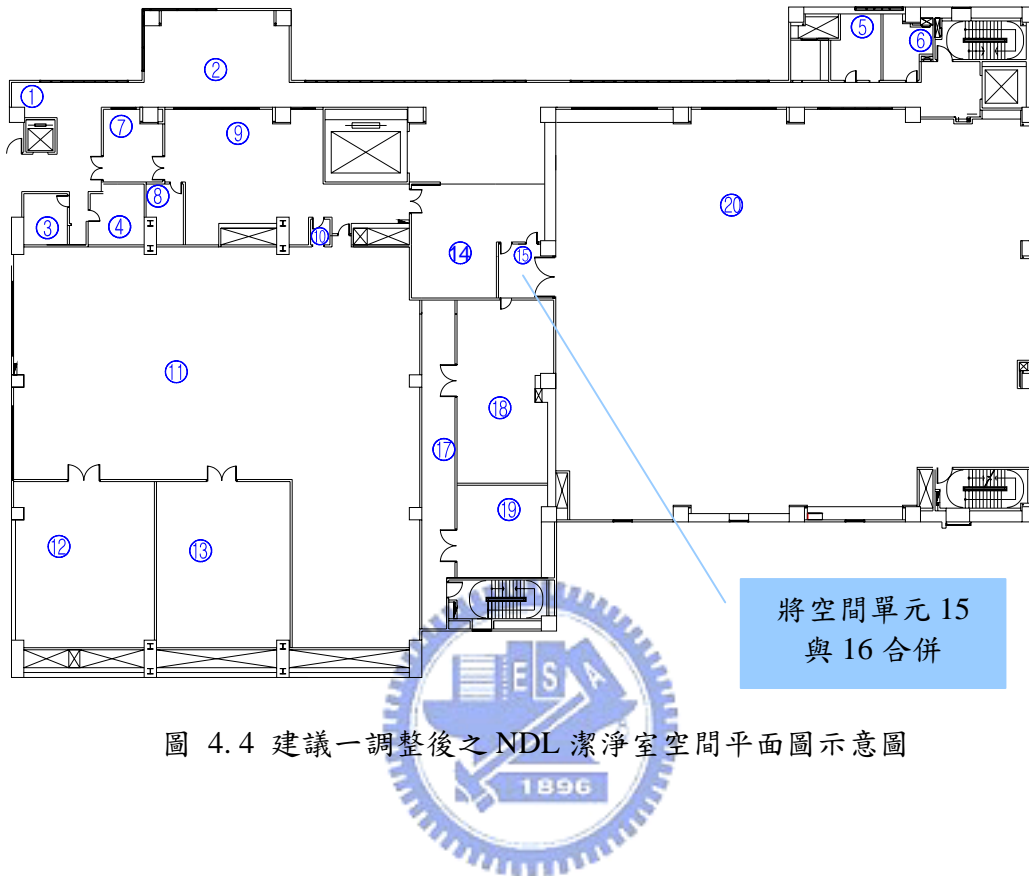


圖 4.4 建議一調整後之NDL潔淨室空間平面圖示意圖

透過上述建議調整說明，修改後之便捷程度可改善如下表(表 4.8):

表 4.8 NDL 無塵室【內部空間(二)】建議一修改後對應之空間量化數比較表

空間編號	空間名稱	使用次數	平均相對深度 MD	相對便捷值 RN	相對控制值 CV	修改建議
1	潔淨室外走道 1	4783	3.16	0.90	2.83	
2	潔淨室外走道 2	300	3.84	0.68	2.25	
3	廁所	40	4.05	0.63	0.25	
4	廁所	40	4.05	0.63	0.25	
5	廁所	5	4.74	0.52	0.33	

空間編號	空間名稱	使用次數	平均相對深度 MD	相對便捷值 RN	相對控制值 CV	修改建議
6	廁所	5	4.74	0.52	0.33	
7	更鞋區	4783	2.79	1.08	0.50	
8	儲藏室	8	3.42	0.80	0.25	
9	更衣室	4783	2.53	1.27	2.33	
10	空氣沖淋室 1	1093	3.11	0.92	1.33	
11	100 級潔淨室	792	3.79	0.69	2.50	
12	黃光室 1	5	4.68	0.53	0.33	
13	黃光室 2	301	4.68	0.53	0.33	
14	緩衝區	586	2.89	1.02	1.25	
15	空氣沖淋室 2	586	3.37	0.82	0.83	
16	空氣沖淋室 3	470	3.79	0.69	0.83	將空間 16 修改合併於 15
17	潔淨是內走道	58	4.79	0.51	1.50	
18	1000 級潔淨室	58	4.00	0.65	1.00	
19	1000 級潔淨室	5	5.68	0.41	0.50	
20	10K 級潔淨室	47	4.26	0.59	0.50	

原【內部空間(二)】之 15、16、17、18、19、20 等 6 個空間，經調整後(表 4.9)數據顯示其量化數分兩組比較，一組為空間合併：原單元 16 與 15 合併為一個單元後，單元 16 之便捷值由 0.77 提高至 0.82，其深度修改後亦相對變淺。另一組 17、18、19、20 相對便捷值修改後有稍加提高，平均相對深度 MD 易有改善，雖改善度不明顯，但可忽略其使用次數相當低，此部分若只要達到空間 16 與 15 合併合併後明顯改善就可達空間便捷使用高之效益。

表 4.9 單元空間 15、16 嘗試將二間沖淋間合併於一間前後比較表

空間編號	空間名稱	次數	原 MD	原 RN	原 CV	次數	修改後 MD	修改後 RN	修改後 CV	建議修改
15	空氣沖淋室 2	116	3.4	0.83	0.83	586	3.37	0.82	0.83	與 16 合併
空間編號	空間名稱	次數	原 MD	原 RN	原 CV	次數	修改後 MD	修改後 RN	修改後 CV	建議修改
16	空氣沖淋室 3	470	3.6	0.77	0.83					
17	潔淨是內走道	58	4.9	0.51	1.5	58	4.79	0.51	1.50	
18	1000 級潔淨室	58	4.1	0.64	1	58	4.00	0.65	1.00	
19	1000 級潔淨室	5	5.8	0.42	0.5	5	5.68	0.41	0.50	
20	10K 級潔淨室	47	4.5	0.57	0.5	47	4.26	0.59	0.50	

NDL 空間修改建議二

單元空間 10、15、16 其共通性皆為進入不同等級 100、1000、10k 前之空氣沖淋間，雖進入不同潔淨度之實驗室，但其 1000 及 10K 潔淨等級相同，除 100 級雖不同但進入潔淨室前沖淋室是必經之路（因潔淨度掌控）外，且從更衣至進入潔淨室衣服選擇潔淨之等級更換後，是不會也不行選擇進入不同等級（1000 及 10K 潔淨等級相同、100 級不同兩等級），故不影響人員使用次數累計使用量。由此推估沖淋間空間異動，亦可將三間沖淋間合併於一間（空間單元「*」此空間 100 級空氣沖淋和 1000、10K 累計使用次數並不影響）計算獲得的數值如表 4.10，其便捷度亦變高，少 1 階單元深，期望驗證調整空間異動情況下所驗證的與現行使用上來說是否達其便利性，或推估正確將可提供實驗空間變動試規劃最佳化的空間配置與建議。經修改後空間單元 10、15、16 嘗試將三間沖淋間合併於一間(圖 4.5)，單元空間 9、14 合成一個單元空間得知，合併後不僅平均深度（MD）與原本之「單元空間 10」（MD=3.1）與「單元空間 14」（MD=2.8）相較下，調整後空間「*」MD 為 2.47 相對低；另調整後空間「*」之便捷值為 1.22 與「單元空間 10」（Rn=0.95）與「單元空間 14」（Rn=1.11）之便捷值相較之下低，表示便捷度提高；且調整後空間「*」功能取代單元空間 10、15、16，修改後空間「*」對應之空間量化數平均深度 MD（表 4.11）皆比未修改前深度淺，空間「*」便捷值 RN 皆比原三個空間 10、15、

16 便捷程度提高許多，空間「*」相對控制值 CV 與原三個空間相比較亦提高。由此得知調整過後之空間經過驗算後，當 Rn 值提高時，代表空間「*」之全區性便捷值提高，相對控制值提高表示此區空間使用性相對提高，達到最佳空間使用效益。

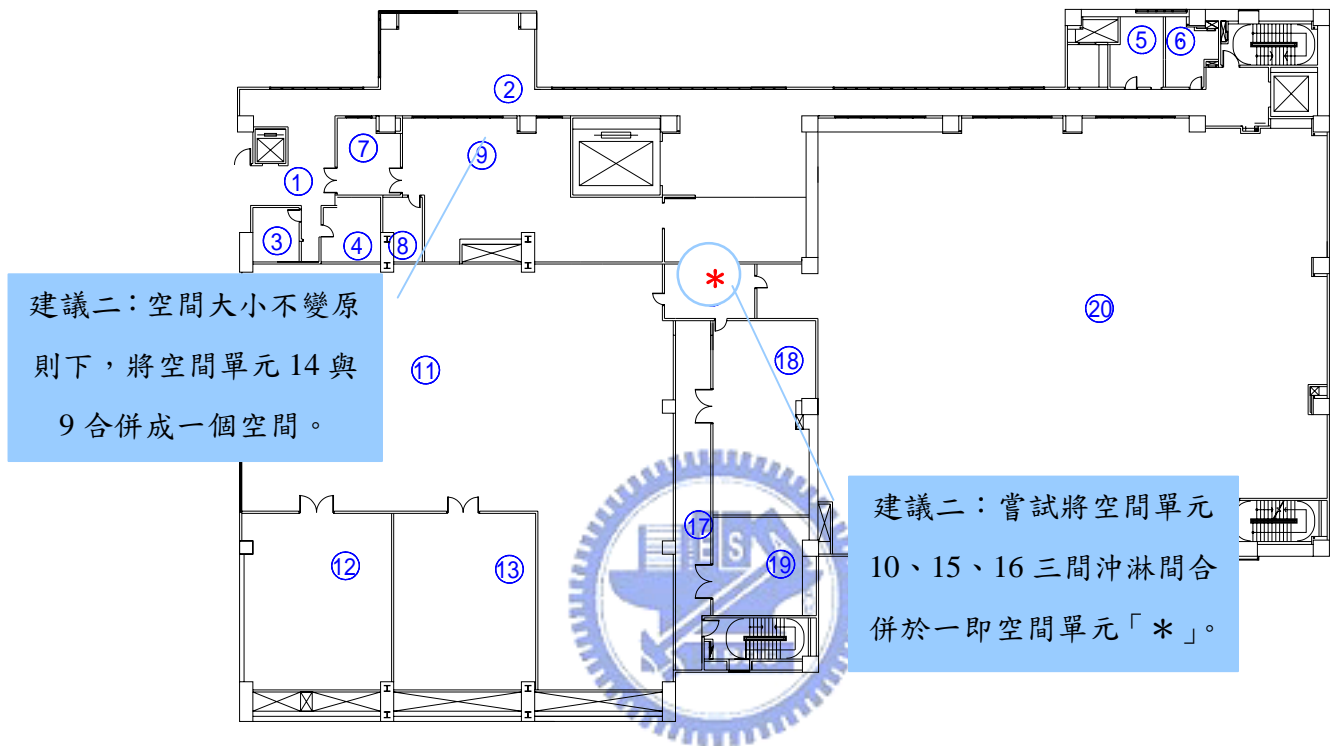


圖 4.5 建議二調整後之 NDL 潔淨室空間平面圖示意圖

表 4.10 NDL 無塵室【內部空間 (二)】建議二修改後對應之空間量化數比較表

空間編號	空間名稱	使用次數	平均相對深度 MD	相對便捷值 RN	相對控制值 CV	修改建議
1	潔淨室外走道 1	4783	2.88	0.96	2.83	
2	潔淨室外走道 2	300	3.53	0.71	2.25	
3	廁所	5	3.76	0.65	0.25	
4	廁所	5	3.76	0.65	0.25	
5	廁所	40	4.41	0.53	0.33	
6	廁所	40	4.41	0.53	0.33	
7	更鞋區	4783	2.59	1.13	0.58	
8	儲藏室	8	3.41	0.75	0.33	

空間編號	空間名稱	使用次數	平均相對深度 MD	相對便捷值 RN	相對控制值 CV	修改建議
9	更衣室	4783	2.41	1.27	1.75	
10	空氣沖淋室 1	1098	3.65	0.68	1.33	已合併成空間編號「*」
11	100 級潔淨室	792	3.12	0.85	2.25	
12	黃光室 1	5	4.00	0.60	0.33	
空間編號	空間名稱	使用次數	平均相對深度 MD	相對便捷值 RN	相對控制值 CV	修改建議
13	黃光室 2	301	4.00	0.60	0.33	
*	沖淋間	1266	2.47	1.22	2.17	原「緩衝區」空間定義在部改編面積大小情況下，與「單元 9」合併，「單元*」乃新定義之沖淋間，即由「原單元 10、15、16」合併之新空間。
15	空氣沖淋室 2	121	4.00	0.60	0.75	已合併成空間編號「*」
16	空氣沖淋室 3	47	4.24	0.56	0.75	已合併成空間編號「*」
17	潔淨是內走道	58	3.88	0.62	1.50	
18	1000 級潔淨室	58	3.12	0.85	0.75	
19	1000 級潔淨室	5	4.76	0.48	0.50	
20	10K 級潔淨室	47	3.35	0.76	0.25	

表 4.11 單元空間 10、15、16 嘗試將三間沖淋間合併於一間前後比較表

空間編號	空間名稱	次數	MD	RN	CV	空間名稱	次數	修改後 MD	修改後 RN	修改後 CV
14	緩衝區	168	2.80	1.11	1.25	*	1266	2.47	1.22	2.17
10	沖淋室 1	1098	3.10	0.95	1.33					
15	沖淋室 2	121	3.40	0.83	0.83					
16	沖淋室 3	47	3.60	0.77	0.83					

小結

以上修改建議乃針對原配置空間外還有更佳便捷值的空間配置建議，惟潔淨室造價成本高目前本實驗室亦非量產單位，故雖其修改後便捷度相對提高，但原空間配置並未造成使用之不便利，故本修改建議可供日後相關空間規劃參酌。

4.4 潔淨室單元動線構型分析

以下利用動態型構圖（圖 4.6）後計算分析值，由表 4.10 可分析 CN 值即為系統中每一組構元素所鄰接之元素之數值，當系統中組構元素（最長動線）之 CN 值愈高時，即表示該組構元素之視覺滲透廣度也就愈高，由表 4.2 可知軸線 1、9 其滲透廣度較高（軸線連接數最多）：

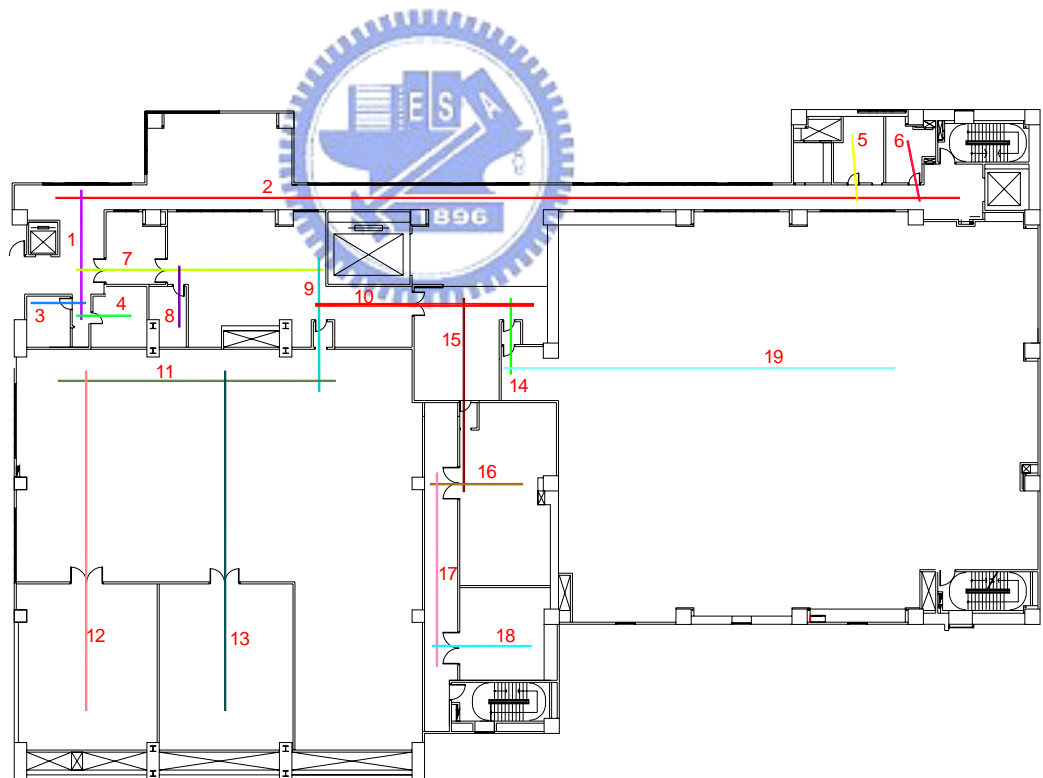


圖 4.6 動態型構圖

表 4.12 軸線量化數據表

軸線編號	平均相對深度	相對便捷值	相對控制值	鄰接單元數	通過之空間
NO.	MD	1/RRA	CV	CN	
1	3.00	0.97	2.67	4	1,2
2	3.68	0.72	2.25	3	1,2
3	3.89	0.67	0.25	1	3
4	3.89	0.67	0.25	1	4
5	3.84	0.68	0.25	1	5
6	4.58	0.54	0.33	1	6
7	2.63	1.19	1.50	3	1,7,9
8	3.53	0.77	0.33	1	8
9	2.42	1.36	2.00	4	9,10,11
10	2.68	1.15	1.25	3	9,14
11	3.16	0.90	2.25	3	11
12	4.05	0.63	0.33	1	11,12
13	4.05	0.63	0.33	1	11,13
14	3.53	0.77	1.33	2	14,16,20
15	3.32	0.84	0.83	2	14,15,18
16	4.00	0.65	1.00	2	17,18
17	4.79	0.51	1.50	2	17
18	5.68	0.41	0.50	1	17,18
19	4.42	0.57	0.50	1	19

4.5 小結

從上述的數據，我們可以從以下二個方向加以討論：

1. 全區性相對便捷值 (Global Integration Value) – Rn (蘇智鋒 1999、2002、2004)

組構元素的第一個量化，即相對便捷值，是以元素間相對深度關係的評量方法，以系統中每一組構元素到其他所有個別元素間的最短路徑之平均執最比較計算後得到的代表位置便捷度之比較值，Space Syntax 分析乃將 Rn 值來代表全區性的相對便捷度，當 Rn 值愈高時，代表該元素之全區性便捷度愈大，也就是該元素位於系統中愈便捷的位置；反之，Rn 值愈小則表示該元素位居不便捷的位置。如圖 4.7 所示，顏色由深至淺，分別代表全區性便捷度由高至最低之排列順序。本研究空間型構經前數之量化分析之後，可獲得一型構量化

表，根據此表可將組構單元之 R_n 值（相對便捷值）之大小順序排列而成。此即為該空間型構深層內涵中有關 R_n 向度之元素組構規律，亦稱之為空間型構之單一向度特質。本論文分別以 NDL 為例演算空間型構量化分析，驗證本論文探討空間外部空間、內部空間（一）、內部空間（二）等三區塊之 R_n 值，目前配置空間之便捷值可由表 4.2、4.4 證明便捷度與累計使用量，驗證目前配置之恰當性，並進行空間單元修改（見表 4.9、4.11）以獲得最佳之空間配置。

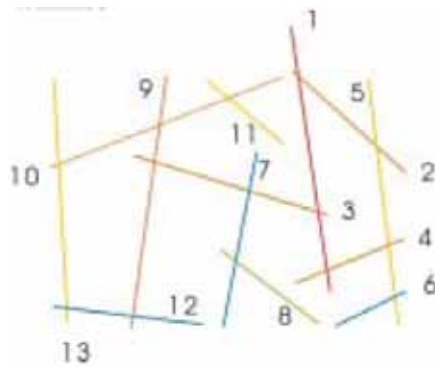


圖 4.7 動態型構便捷系統圖(R_n)

2. 動線連結個數值（Connectivity）— C_n

非經由任何評量方式而自然存在的量化特質，此即為「鄰接個數值」，Connectivity，簡稱 CN 值，CN 值即為系統中每一組構元素所鄰接之元素之數值，當系統中組構元素（最長動線）之 CN 值愈高時，即表示該組構元素之視覺滲透廣度也就愈高，利用本研究空間範圍軸線動線演算如表 4.12，可得知軸線 1 及 9 之視覺滲透最高。

由於半導體機台的特性，未來研究可加入下列考量因素：

1. 單一空間潔淨室內，可打散原有空間擺設，創新 Space，如高使用 Space 放置中間（ex：清洗機）潔淨室（單元空間 10），其他次要機台放置四週，驗算移動至新空間和原有差異比較。
2. 黃光室（單元空間 11、12）移動至清洗機台旁、或清洗機台移動靠近黃光室。
3. 走道乃外部空間（單元空間 1），規劃「參觀走道」因牆面採透明氣窗且

接近對外訪客，危險性考量及維修便利性，其牆面不適合排放管線。

4. 另，因清洗需有許多管線沿牆面，且亦產生爆炸的危險，為了避免所以不宜安排至左邊除非參觀走道移動。
5. 隔間考量：機台間電磁波干擾（如高頻實驗室）、化學性機台（量測實驗室）因化學分子在空氣中會影響機台電路板，一般園區會把此區塊放在其他樓層，本研究探討之範例規劃時期已將其配置其他樓層。
6. 危險區塊：化學藥品則放地下室如：Developer 顯影光阻設備(hepa 抽氣功能)。

以上問題考量適用在潔淨室單一空間下，未來研究方向可利用 Space Syntax 可進一步切割空間來計算，即在牆面隔間或是障礙物來將整體空間（單一空間潔淨室）假設分割為數個空間單元（機台），用以驗證目前機台空間是否最佳化配置。

將空間語法視為工具本論文透過空間語法進行室內空間規劃設計，評估空間使用現況，提出改善之方法，運至新設計方案。並利用 NDL 工作環境將空間構成理論分析的成果對應至實際的空間使用與實驗室的製造作業流程，深入探討空間型式與內部作業流程即人員流動使用量之間的關係。即各功能間之互動空間，與工程師之間相遇的路徑與聚集之空間，對應比較後獲得相對便捷值 RN 之空間運用效率是否最高以驗證目前 NDL 實驗室的空間。

潔淨室設計的關鍵原理是設計須由內而外，潔淨室的平面配置應能夠支援生產程序，潔淨室設備並非佇於一成不變的環境中。半導體廠房動線規畫在空間規劃初期需整體考量製程流程平順及人員、設備搬移動線順暢等基本要求。本文研究範疇主要探討以 NDL 為例之製造廠房潔淨室空間，含空氣吹氣室、換鞋、更衣、洗手間、儲藏室…等單元空間（參圖 4.1），配置與動線之便捷度之規劃驗證。由於高科技廠房之建構成本（表 3.1 一般半導體 8 吋建廠成本分析），扣除土木建築 12.76%，其中 87.24% 成本包含氣體、純水、廢水、空調、配管…等等構築乃為營運潔淨室而準備，故前期潔淨室規劃空間動線最便捷確定後（圖 4.8），相關營運設施如：水電、

空調、化學藥品、氣體配管變動與調整皆以潔淨室作業流程息息相關，故潔淨室單元空間之建構是否便捷將影響 87.24% 成本發包。不得不審慎評估後建構。

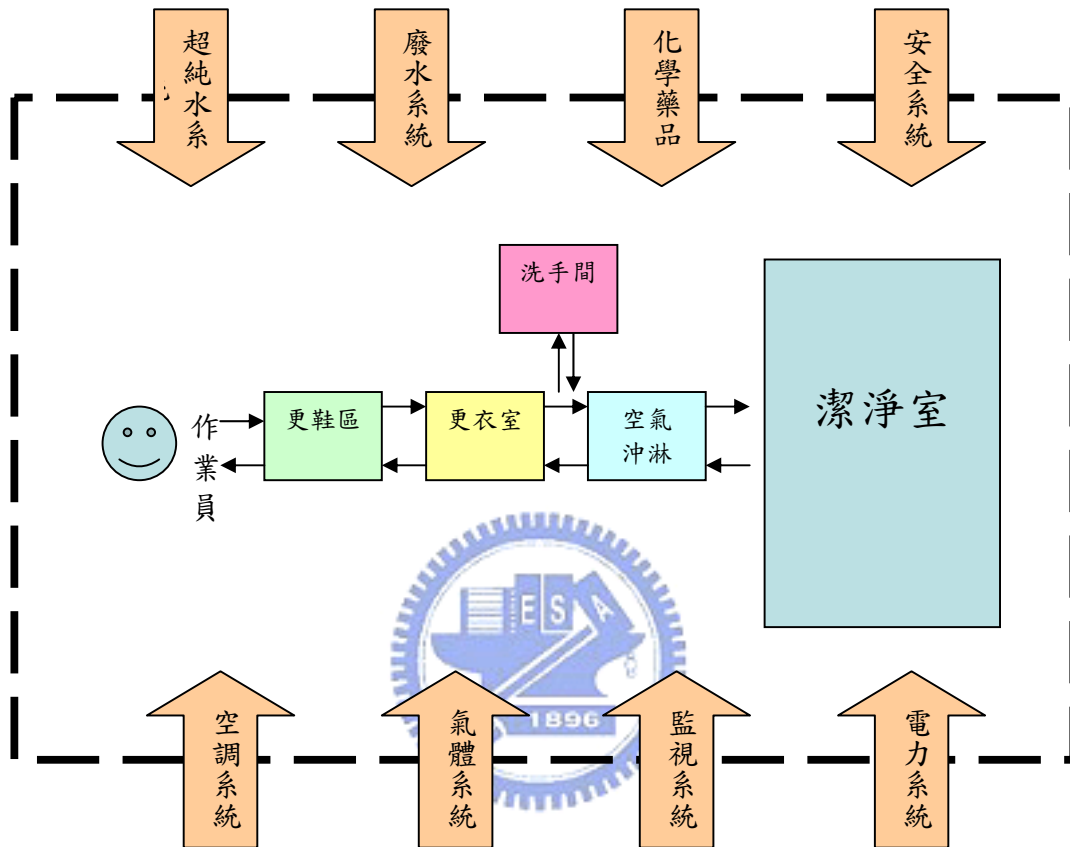


圖 4.8 半導體廠房潔淨室設計的關鍵原理設計須由內而外探討其配置面

第五章 結論與建議

5.1 結論

高科技廠房不僅造價高外從第三章可探知其建造之 87.14% 成本，主要包括：潔淨室空調系統、超純水製造處理、化學藥品供應、中央供應系統、廢水回收處理、供電計劃、廠務設施計劃、環保工安、管路設計佈置……等等系統，廠務系統主要是供應潔淨室的運轉，潔淨室設備空間規劃可分光學區、蝕刻區、薄膜區、去離子植入區、擴散爐管區、去光阻區等，而一般土木工程僅暫總成本約 13%，故潔淨室空間配置是影響廠房 87.14% 成本的關鍵。所以潔淨室空間配置恰當與否環環相扣影響其背後相關系統之建構之恰當與成本的降低。

半導體廠房實驗室每個位置的空間配置與作業時間的排程，都會直接或間接影響人員工作便利性、廠務配管施作、晶片污染源的減低、晶片良率、時間的節約等，故空間整體性規劃能影響後續相關作業。加上一般半導體廠房建構後續又有二次配管管路成本提高、機台氣體供應點不足、機台遷移配置、現有機台位置、潔淨室使用空間合理性等問題，故引起研究之主要動機。目前半導體廠房佈置方式均已複製他廠的模式居多，其乃為了速度與時間考量，故整個廠房規劃時程不會太久，而規劃者必須在極短時間內完成廠房得整體設計案，所以有系統的設計規劃與配套措施顯得極重要。

本研究主要目的乃在於希望藉由不同分析方法進行解析探討，檢驗 NDL 潔淨室內空間型態組構與使用者作業流程間相互關聯，同時希望找出原設計空間型態配置不恰當處，以合理原則提出奈米實驗室潔淨室之修正方案，提供日後完整性規劃與空間配置改善或二次配管等參考文獻，另開啟建廠前期未考量的問題，並給予未來相關產業及研究單位一個較佳化的規劃參考。文獻蒐集探討空間配置可利用那些模式理論的分析，以彌補建築分析語言對整體空間特性不足的缺憾。

透過分析國家奈米元件實驗室之潔淨室空間，利用空間語法(Space Syntax)空間型構的分解，探討 NDL 無塵室 class100、class 1000 等級及更衣室、空氣吹淋室等 20 空間單元配置之便利與恰當性，以便給予未來規劃實驗室的依據與現行高科技廠房套用方式與建議，由前述第四章研究分析 NDL 空間型構將空間分三區塊之計算可知原設計空間型態配置尚有可改善處，故嘗試調整「內部空間二」同時亦並獲得較高效益之使用，可合理原則提出 NDL 潔淨室空間配置之修正方案參考。因為科技廠房前置規劃作業遠比後續營運面來的重要，但研究建議僅可供建議未來類似規劃之參考依據，因現有環境因造價成本高要變動並不易。

本研究範圍之 20 空間單元定義及劃分後，彼此間因潔淨度關係共區分為三區塊，且三區塊之空間地位不可互換與取代，即 Hillier 空間結構的分解首先將空間分解成空間單元後，以拓樸結構來表達分解後的「空間單元結構分析圖」將本表單元空間可分區分為外部空間、內部空間（一）、內部空間（二）等三區塊，定義三區塊空間乃因此三區塊之空間功能不可任意對調，因外部空間無潔淨度掌控，故其空間不可調整至內部空間，另，內部空間（一）之潔淨度低於內部空間（二），故此兩區雖屬內部空間但礙其潔淨度之不同等級之使用，亦不可將兩區塊空間對調，上述空間經「空間語法」理論運算後，20 空間單元幾乎配置都達最佳配置，惟單元空間 16、17、18、19、20 並未最佳配置，可考量建議修改並可應用在未來規劃其他實驗室空間或修正之方式參考，將空間的嘗試規劃以下述二種建議方式調整。首先，單元空間 15、16 其共通性皆為進入不同等級 1000、10k 前之空氣沖淋間，雖進入不同潔淨度之實驗室，但其潔淨等級相同，由此推估沖淋間空間異動，將兩間沖淋間合併於一間，其便捷度提高、少 1 階單元深，並驗證調整空間異動情況下所驗證的與現行使用便利性變高，可用以推估提供實驗空間變動試規劃最佳化的空間配置與建議。另外建議二則是將單元空間 10、15、16 其共通性皆為進入不同等級 100、1000、10k 前之空氣沖淋間，雖進入不同潔淨度之實驗室，因其功能性相同可視作一空間合併，即沖淋間空間異動，將三間沖淋間合併於一間進行試算後獲得較佳便捷度，本修改亦可建議日後相關空間規劃參酌。

簡言之空間構成理論的分析期望事先在為空間配置與設計提供完整的依據，透過設計過程中推演並模擬以便找出最佳的解決方法。同時，空間型構理論的分析，亦可彌補建築分析語言對整體空間特性不足的缺憾。潔淨室的設計都以製程的邏輯為主軸，其他如產品的傳輸及作業間距也必須詳加考量。本研究範疇乃對廠房的潔淨室製程設備空間位置與人員使用動線最佳化進行分析，獲得結果大致空間配置透過空間語法量化了解幾乎達最佳動線配置，僅小部分空間若進行調整將更便捷，所以將本研究範圍之空間特性量化後分析，利用空間語法將空間為力求完美。

5.2 後續研究建議

未來的研究方向，業界高科技廠房不外乎晶圓製造、設施規劃：加入排程理論研究，或進一步利用 Space Syntax 將每各機台(無障礙)定義一個空間，即虛擬空間，每壹機台視為一個空間參數，製程面影響最大，即物理機制影響元件機制 (Device Processing) 故製程順序合理化，讓時間效率最節省。可從 Run Card 每站累計次數，算出最高排行站使用率 (ex: A 機台使用次數/B 機台使用次數)，即每站權重和號碼先定義，再用 Space Syntax 和實際量測計算。高使用 Space 放置中間 (如：清洗機台) 其他次要機台放置四週，同時代表員工動線的便捷性，可作為設施規劃領域範圍內多一方法探究亦可補足近幾十年設施規劃，學者提出不同模式及演算法求解。

參考文獻

【國外文獻】

1. Akinci, B. and Fischer, M. “Time-space conflict analysis based on 4D production models.” Proceeding of Computing in Civil Engineering, ASCE, pp.342-353. , (1998a)
2. Akinci, B., Fischer, M. and Zabelle, T. ” Proactive approach for reducing non-value adding activities due to time-space conflicts.” Proceeding of the 6th Ann. Conference Lean Construction, Guaruja, Brazil, August. , (1998b) .
3. Akinci, B., Fischer, M., Kunz, J. Levitt, R. “Formalization and Automation of Time-Space Conflict Analysis” CIFE working paper 58, Stanford University. , (2000) .
4. Hillier, B. & J. Hanson. The Social Logic of Space, Cambridge University Press, Cambridge. ,(1984).
5. Hillier, B. Space is the Machine: a configurational theory of architecture, Cambridge University Press, Cambridge., (1996)
6. Riley, D.R. and Sanvido, V.E. “Space planning method for multistory building construction” ,Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 123(2), 464-473., (1997) .
7. Thabet, W.Y. and Beliveau, Y.J. “SCaRC: Space-constrained resource-constrained scheduling system.” Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 11(1), 48-59., (1997).
8. Tommelein, I., Dzeng, R., and Zouein, P. “Exchanging layout and schedule data in a real-time distributed environment.” 5th Int. Conf. on Computing in Civil and Building Engineering, ASCE, New York, 947 – 954. , (1993).

【國內文獻】

1. 古美玉，「應用模擬退火法於背脊式設施佈置之研究－以半導體晶圓廠為例」，私立元智大學碩士論文（1999）
2. 仲闓立，「以 Space Syntax(空間語法)分析施工要徑空間特性之研究」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文（2006）
3. 李名修，「以空間語法整合地理資訊系統建構最適防救災之選擇模式－以新竹市為例」，國立交通大學土木工程學系（2007）
4. 林家群，「施工作業空間衝突下之工班間等待行為造成之生產力折減程度」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文（2003）
5. 馬榮華，奈米半導體級廠務科技與管理，揚智文化（2004）
6. 國家奈米元件實驗室（簡稱NDL）：「門禁磁卡刷卡記錄」（2007）
7. 國家奈米元件實驗室（簡稱NDL）廠務營運資料、講義（2007）
8. 國家豪微米元件實驗室（簡稱NDL）新建工程「工作執行計畫書」（2002）
9. 陳正德，「整合 Space Syntax 與 GIS 於建構都市模型上之運用」
10. 陳建文，沙永傑：「設施規劃問題文獻探討與分析」，工業工程學刊，第一期（2001）
11. 彭國銘，「晶圓製造廠設施規劃改善之研究」，私立中原大學碩士論文（2001）
12. 湯瑪斯，「認識潔淨室設計與建造」Facility Planning & Resources 公司內部講義
13. 黃慶輝，「空間構成理論導論：以辦公室之空間型構為例」，國立交通大學建築研究所（2005）
14. 廖心如，以空間構成理論探討烏日鄉高鐵特定區開發前後都市空間型態之變遷
15. 戴瑞德，「晶圓製造廠系統化設施規劃」，中原大學工業工程學系碩士學位論文（2002）
16. 聯華電子網頁http://www.umc.com.tw/chinese/class_300/index.asp（2006）

17. 顏登通，高科技廠務，全華科技圖書股份有限公司（2005）
18. 蘇智鋒，「空間型態之內在組構邏輯 Space Syntax（空間型構法則分析）之介紹」，建築向度－設計與理論創刊號（1999）
19. 蘇智鋒，「空間型構基因導論-Space Syntax（空間型構法則分析）之運用」，逢甲大學建築系（2002）
20. 蘇智鋒，「博物館空間組構邏輯探討－以國立自然科學博物館與國立科學工藝博物館為例」，逢甲大學建築及都市計畫研究所碩士班碩士論文（2004）



附錄

本附錄乃口試委員於論文口試時提出的建議與應修正處，以及口試後針對各委員所提出之意見所作之修訂。並依口試時委員提出意見的順序，並標明後續修正處與說明。

口試委員名單：

交通大學 王維志教授

交通大學 曾仁杰教授

中華大學 謝孟勳教授

委員意見	修改頁碼
王維志教授 1. 第一章緒論過於簡潔，建議將研究動機、目的、範圍...分開敘明。 2. 第四章建議現況、改善，分釐清楚。例如：4.3 和 4.4 用空間與法分析，增下一層 4.3.1 或 4.3.2 改善說明，加一節加強說明修改意義。 3. 第五章建議再分 2 小節做總結，結論及後續建議。加強串連前面現況問題點。 4. 內文標示文獻之上標去掉。	1.1-4 頁 2.32-51 頁 3.52-54 頁 4.已修正
曾仁杰教授 1. 第 13 頁文獻參考寫法一致性。 2. 表格不需使用顏色利用文字粗體即可，方便參閱者列印時之辨識、翻印用。 3. 交代驗算出之數據是用什麼方式計算出之數值。 4. 加強第五章之章節。 5. 參考文獻依序表示且中英文分開列，其中英文文獻 3 多出引號去掉。	1.已修正 2.已修正 (41-46 頁) 3.35 頁 4.已增章節 (52-54 頁) 5.55-56 頁
謝孟勳教授 1. 第 36 頁表與表說明對應序號有錯。 2. 第 7 頁凸視與凹視圖是否顛倒。 3. 解釋空間與法是否可將空間進行合併方式探討。	1.已修正。 2.已修正。 3. B.空間語法理論適用範圍 (6-7 頁)、2.1 空間語法介紹第三段 (5 頁)。