

國立交通大學

科技管理研究所

博士論文

創新網路之探討
：以微影技術之發展與預測為例

On Innovation Network:
The Development and Forecasting of Lithography

研究生：彭弼聲

指導教授：袁建中

中華民國一百零二年五月

創新網路之探討
：以微影技術之發展與預測為例

On Innovation Network:
The Development and Forecasting of Lithography

研 究 生：彭 弼 聲 Student : Bee Pi-Sheng Peng

指 導 教 授：袁 建 中 Advisor : Benjamin J. C. Yuan



國立交通大學
科技管理研究所
博士論文

A Dissitaion

Submitted to Institute of Management of Technology
Colledge of Management

National Chiao Tung University

In Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Doctor of Philosophy

In

Management of Technology

May, 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零二年五月

創新網路之探討 ：以微影技術之發展與預測為例

學生：彭弼聲

指導教授：袁建中教授

國立交通大學科技管理研究所

摘要

此論文的目的是在提出應用社會技術研究方法 (sociotechnical) 於創新上的研究。創新是社會改變的關鍵樞紐，無論是經濟面或社會結構上，技術性與社會性的創新，透過採用¹與擴散之後造成社會文明的變遷。本研究所針對的創新研究並不僅是研究創新的內容，而是在於創新本質以及被採用的過程。援引科學技術社會 (Science Technology Social) 研究領域裡所發展的行動者網路理論 (Actor Network Theory)，與社會學領域中發展的社會資本² (Social Capital) 理論，結合成一新的研究架構，以創新網路 (Innovation Network) 探討創新所置身的網路架構。應用技術預測常用的觀察法，透過訪談，技術社群活動，技術文獻與會議報告，技術藍圖報告等資料，回顧半導體產業中浸潤式微影技術的發展生命史過程，藉以說明一項創新如何從非人的物，透過研發過程，因應各種行動過程而被動員或組織起來，因而成功重組創新網路，而這由共同利益所驅動的網路結構，除了最終創新為何被採用外，也可說明技術替代如何發生在技術—研發—生產的過程中，這項創新與原有的持續性創新網路結構基礎有交互關係，而非全然無中生有。透過觀察法的田野調查，應用行動者網路理論研究架構所採用的問題呈現、被動的徵召、主動的動員，進而達到利益轉譯 (Translation)，以及社會資本理論中所提出的取得資源最大化與

¹ 這裡採用 D. Edgerton 的觀點，認為創新必須要採用之後才有其價值，發明與創新很少導致使用，是使用才導致發明與創新 (Edgerton, 1999)。

² 這裡使用的 Social capital 是指為實現工具性或情感性的目的，透過社會網路來動員的資源或能力的總和，與經濟資本 (economic capital) 或金融資本 (financial capital) 定義不同。

損失最小化，強弱連結學理，指出創新是在一連串的競爭與策略規劃影響下，造成創新網路資本的變化，以及超越主要行動者所設定的數個必須通過點（OPP，Obligatory Passage Point）進而被採用。例如浸潤式微影技術式如何透過各種策略行動，達到半導體產業中各行動者的共同認知，因而替代了 157 奈米微影技術，成功地成為生產採用的製造標準，佔有新的次世代微影技術藍圖上的位置。最後本文提出創新網路的分析架構，並對下一代微影技術（Next Generation Lithography）在超紫外光微影以及多重電子束微影兩項技術的創新網路進行分析，並提出兩項創新的前景評估與預測。

關鍵字：

行動者網路理論，社會資本，創新網路資本，次世代微影技術，技術預測



On Innovation Network: The Development and Forecasting of Lithography

Student : Bee, Pi-Sheng Peng

Advisor : Prof. Benjamin J. C. Yuan

Institute of Management of Technology, National Chiao Tung University

Abstract

This dissertation is aiming to propose a new sociotechnical method applying on innovation study. Innovation-in-use always brings social changes after the process of use, adoption and diffusion, no matter it is technical or social innovation. The core of this research is not the detail contents of innovation but what and why is. By combining Actor Network Theory (ANT) from Science Technology Social (STS) field and social capital from social research to form an Innovation Network model research approach. And then, try to dig out through the life story study of Immersion Lithography—the observation method, activities in technology community, technical journal paper and conference reports, roadmapping report etc. to re-build an innovation. The innovation is a Network also a Worknet that both human and non-human are entangled within the interest-driven process. Finally the innovation is becoming a disruptive innovation to substitute developing 157nm technology and immerses it into the dark of history. The case study is providing a general analysis steps through the different angle than previous study on innovation survivor. The innovation survivor is taking advantage timely to pass the obligatory passage points after the interest translation process—Problemation, Passive Enrollment, Active Mobilisation. And those actions are towards 2 principles of resources and social capital: minimum of lost and maximum of gain. Finally, this research propose a novel research approach on Innovation Network and applying on forecast the next generation lithography (NGL) in semiconductor industrial.

Keywords: Actor Network Theory; Social Capital; Innovation Network Capital; Next Generation Lithography; Forecasting

誌 謝

人生有時就像是拼圖，順應著時序機緣與付出，一塊接一塊去組合，透過不同的嘗試後，慢慢有了方向與形狀，從微觀到總觀，總是有其階段性的不同意義。此一研究就是這樣的經驗：不斷在過去與現在之間對話，試圖透過詮釋而建立研究上的新路數。

這篇論文的完成，必須感謝很多人的支持與鼓勵。首先要謝謝家人的支持：母親劉梅珍女士，妻子慧雯，岳父葉妙貴先生與岳母陳梅花女士。兩個不斷長大的外星人小孩：以護與如頤。大妹慧霖，妹婿黃文信先生與小妹慧蓉，還有三個不斷長大的外星人小孩：子綾，詠翔，阿力(國宸)。

我也要將這篇文章獻給已逝的父親彭家灶先生，祖父彭盛涂先生，祖母周安妹女士，他們與母親，姑姑們是我在原生家庭中最大的支持。從小一起長大的大哥朝聲，弟弟振聲與晶聲。也要感謝外祖父祖母與阿姨舅舅們對一個鄉下孩子在種種人生方向上的導引與協助。

延續學習的進程首要感謝指導教授袁建中博士與師母張玲玲女士，多年以來給予的協助、指導與極大的自由度，現任所長洪志洋博士以”態度決定高度，格局決定結局”作為勉勵。國家講座教授曾國雄博士的循循善誘，引領進入研究的殿堂，個人一輩子也忘記不了國際會議廳的大會考，應該是求學階段最認真也收穫最大的一門課。徐作聖教授在格局與治學態度上的提點，銘感五內，還要感謝虞孝成教授與史欽泰教授，這篇論文的發端來自於他們在博士資格試考時所設下的要求：找出一個好問題並深入研究。此外，劉尚志教授以化繁為簡，專注關鍵觀念的學習方式啟發甚多。

從計劃書口試到最後答辯的幾位教授都提供了他們的洞見與最寶貴的建議，謝謝吳豐祥教授，謝志宏教授，賴以軒教授，林亭汝教授，黃仕斌教授。此外，雷

祥麟教授與王文基教授在 STS 領域裡的啟蒙相當寶貴。也感謝在 ASML 任職期間，十數位接受訪談的同事，他們提供了 Immersion Lithography 與 EUVL 兩項創新的許多一手資料，直接且真實。

除了從小到大的老師們外，還要感謝從青少年時期就熟識的蔡岱朋教授與斯國峰教授，他們始終是我在學習上的最佳範例。這幾年我所加入的十八尖山長跑隊諸多隊友們，開啟另一扇窗，讓我看到不一樣的風景，一併要謝謝他們，進財兄，志岡兄，永吉兄，榮清兄，鴻輝兄，國華兄等等尤其惠我良多。從大學時期以來，動機系九一清與中語系九一級的同學長期給予各種鼓勵。學長：羅達賢博士，吳勝銘博士，張建清博士，邱泰成博士，謝志宏博士，劉俊儀博士，博士班同學燕妮，禎屏，昕翰，坤成，芄婷，玫黛，歷年研究所同學明男，致吉，貞枝，素貞，周君，金蘭等等。學弟妹嘉麗，嘉駿，佳君，光斌，崑銘，文玲等等，還有在科管所就讀期間，在大小事務上幫忙最多，令人最懷念的張姐，熱心無比的助理美玲以及雅玲，不勝感謝，諸多在生活，工作上互相砥礪的朋友：感謝。

哲學家 Karl Popper 否定實證論的論述，他說我們不能證明什麼是真的，但是好的科學是可以證明什麼是錯的；誠然，我們不能證明什麼預測是對的，但是我們可以事後知道預測是錯在什麼地方，在不斷累積對於錯誤的了解之後，總能釐清脈絡成為研究方法的一種，也可以更增進在直觀上的了解。一個好的研究應具備獨立性，完備性與一致性，此研究援引管理學與社會學領域有若干名詞時，屬於隱性定義 (implicit definition) 係在各自領域中的所屬表達，若因此以致這研究上表達不清楚或疏漏之處，當責成於作者，也歡迎讀者您能提供更多意見給作者。

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	iii
誌謝.....	iv
目錄.....	vi
表目錄.....	viii
圖目錄.....	ix
一、緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究架構.....	4
1.4 研究大綱.....	5
二、文獻回顧.....	6
2.1 微影技術.....	6
2.1.1 微影技術.....	6
2.1.2 技術藍圖.....	9
2.2 創新.....	10
2.2.1 創新世代.....	11
2.2.2 Abernathy--Clark 創新類型.....	12
2.2.3 Henderson--Clark 創新類型.....	12
2.2.4 破壞性創新.....	13
2.3 行動者網路理論.....	14
2.4 社會資本(Social capital).....	18
2.5 創新的替代與預測.....	19
三、浸潤式微影技術.....	22
3.1 浸潤式微影技術生命史.....	22
3.1.1 早期發展 (1980-2000): 浸潤式微影技術的的專利與設計.....	22
3.1.2 157 奈米微影與浸潤式技術 (2001 年).....	23
3.1.3 193 奈米浸潤式微影技術的提出初期 (2002 二月到九月).....	23

3.1.4 193 奈米浸潤式微影技術的可行性研究 (2002 年九月到 2003 年二月)	24
3.1.5 193 奈米浸潤式微影技術的最初階段 (2003 年二月到九月)	25
3.1.6 早期浸潤式曝光設備 (2003 年九月到 2005 年)	27
3.1.7 高數值孔徑浸潤式設備的發展(2005 到 2006 年之間)	28
3.2 創新網路的分析	30
四、次世代微影技術	32
4.1 超紫外光微影技術	33
4.1.1 先期發展：1981 到 1996	33
4.1.2 1997 到 2003 年：超紫外光有限公司的成立	34
4.1.3 商用化之前的開發：2003-2011	36
4.1.4 商用化設備	37
4.2 多重電子束微影技術	37
五、創新網路	40
5.1 創新網路的型態	40
5.1.1 願景驅動網路與利益驅動網路	40
5.2 社會資本與創新網路	41
5.3 創新網路資本	43
5.4 次世代微影技術預測	45
六、結果與討論	47
6.1 次世代微影技術的技術前景評估與預測	47
6.2 其他選項	52
七、結論	54
參考文獻	57
附錄一 替代與技術擴散	67
附錄二 電子束微影技術	80

表目錄

表 1 微影技術演進年代一覽表.....	8
表 2 R. Rothwell 所提出的五種創新管理世代及 J. Niosi 第四代研發管理	11
表 3 W. Abernathy 與 A. B. Clark 所提出的四種創新類型.....	12
表 4 行動者網路理論中使用名詞定義與特徵之列表.....	16
表 5 P. Bourdieu 所提出的資本形態與本文提出的對應變換.....	18
表 6 浸潤式微影技術由利益驅動而成為創新網路的歷程分析.....	29
表 7 浸潤式微影技術創新網路的階段分析.....	30
表 8 經濟資本，社會資本與行動者網路的互換形式.....	43
表 9 超紫外光微影技術的創新網路分析.....	47
表 10 多重電子束微影技術的創新網路分析.....	48
表 11 微影技術演進的預測.....	51



圖目錄

圖 1 以微影技術為例的創新網路研究架構.....	4
圖 2 Henderson 與 Clark 所提出的創新模型.....	13
圖 3 辨別破壞性創新與持續性創新的發展.....	14
圖 4 行動者網路的兩階段形成示意.....	17
圖 5 193 奈米浸潤式微影技術的創新網路結構.....	17
圖 6 浸潤式微影技術動態創新網路的示意.....	31
圖 7 EUV LLC 公司的商業運作模式以及主要組成.....	35
圖 8 從外部橋接到擴大網路範圍成為內部鍵結的動態示意.....	42
圖 9 辨別創新網路結構與應用於預測.....	46



一、緒論

1.1 研究背景

學者 J. A. Schumpeter 從研究資本主義的特徵中指出創新乃是一種「建設性的破壞(creative destruction)」(Schumpeter, 1942)開啟了管理學上對創新的研究。P. F. Drucker 則定義創新是「企業創造財富的工具，或者企業將現有的資源轉變成未來具有創造財富的方式」³(Drucker, 1985)，創新是一種實際操作(work)而不僅僅是具有聰明才智就能夠達成，也就是創新活動所需求的是知識、別出心裁及專注，此外創新包括技術層面與社會層面，其中涵括了大量的分析、系統化及許多的實際操作(Drucker, 1985)，創新的意涵乃在 What, When 以及 Why，如何提供創新，以及創新活動背後的策略決定為何。

過去四分之三個世紀中，許多學者投入在創新活動形成過程與無論就其定義，分類或就創新活動為核心的管理意涵已多有創見。也越來越多的研究者關注社會變遷與技術創新的相對關係(Linton, 2002)。誠如 D. Edgerton 所指出的，應用於經濟面與社會結構的動機才是發明與創新被採用的主要原因，單獨地發明或創新很少導致應用出現，而是應用導引了發明與創新的實現⁴(Edgerton, 1999)。

於是問題如斯產生，甚麼樣的創新會出現並存活？創新可被預測嗎？

過去三十年在半導體產業的驅動能量，除了來自於電子產品與資訊，通訊產業的不斷推陳出新，可視為市場拉力外，還有在製程技術上的演進，是為技術推力。在追求最大利潤化--成本下降與電子元件尺寸縮小的過程中，有相當多的研發管理與技術創新活動，但這其中也有相當多的創新並未被採用或者得到長期的資源投注。

³ “the means by which the entrepreneur either creates new wealth-producing resources or endows existing resources with enhanced potential for creating wealth”。

⁴ “Invention and innovation rarely lead to use, but use often leads to invention and innovation”。

一則是企業在研發投資的投資報酬考量，另一方面則是創新技術之間的替代與競爭。本文的研究標的--微影技術(lithography)，就是半導體製造產業中設備資本投資最大，而製程技術最困難的一部分。著名的 Henderson-Clark 模型(Henderson & Clark，1990)就是研究微影技術的發展過程而提出，該模型將創新依照核心觀念與元件知識為矩陣，定義創新是漸增性(incremental)，模組化(modular)，結構性(architectural)，突破性(radical)，但此一模型仍是著重在技術推力的靜態描述。最近十年在微影技術發展中，以浸潤式微影技術(immersion)應用在 193 奈米波長替代 157 奈米波長微影技術之後，其替代過程顯示出諸如微影技術這類極專精的開發歷程，不僅僅是技術上的卓越，浸潤式微影技術的成功是許多開發過程中的網路結構透過共同利益(interest-driven)開發所導致的結果⁵ (Yuan et al.，2012)。

1.2 研究目的

本文以半導體產業中微影技術的發展，浸潤式微影技術生命歷程與次世代微影技術發展為例，試圖以另一種研究進路提出創新在所處的網路結構中如何發展，也就是考慮創新如何存活的條件與其分析，稱之為創新網路。

在創新管理的研究範疇中，技術預測與評估能夠協助理解創新活動中所牽涉到的交易行為與各種活動的互動關係，比如說在技術研討會中的報告影響了投資者對於某項技術的投資意願，正是以技術面強化投資者的信心與資源分配的決策。因此，R. H. Coase 在經濟制度研究上所提出的交易成本(transaction cost)理論是否可以對應在創新活動(innovation actions)內的**量化計算**? 比如交易成本中所述搜尋資訊的成本、談判成本、定契約成本、議價成本、監督履行契約的成本、處理違約行為的成本等 (Coase，1937)，這些成本的計算是否可以成為創新活動的量化部份，還是每一創

⁵ 該文援引行動者網路理論而建立浸潤式微影技術替代 157 奈米微影技術的分析，進而指出微影技術發展的特性在複雜的網路結構中有複現性質，也就是有高度類似的檢驗方式，作者認定這即是必要超越點的模式。

新活動在其所處的周遭環境(稍後將以創新網路稱之)有其一貫性的成本估算模式與採用條件，以及誰決定了一項創新的應用與否。

此外，創新活動的質化評量部份也是一個不可或缺的考量點，本研究透過對技術創新的發展過程中，各種互動關係的事件(event)進行研究，在技術發展歷程中，透過事件與文獻記錄回顧，建立技術的生命史(life history)分析，或者說，是再現(represent) 網路結構的形成過程 (Latour, 2005)。首先是以浸潤式微影技術為例描繪出創新網路的分析，其次是對發展中的次世代微影技術，在階段性的活動中如何於既存的網路關係為背景而塑形與調整，最終目標乃為達致最終存活進行預測。其中，所謂技術的生命史，是從心理學研究領域發展出來的研究方法，受訪者在研究者的引發下，以聲音或文字形式，將其過去的生命經歷呈現出來的一種回顧敘述(Runyan, 1982)。晚近受到社會科學學術領域的重視，像是社會學、人類學領域使用此研究方法逐漸熱絡，尤以技術生命史不但述及技術的創新階段，還包括技術發展以及使用的其他面向(Edgerton, 1999)，例子之一便是 M. Callon 對 St. Brieuc 海灣中扇貝養殖與漁人的關係研究(Callon, 1986)。

創新活動中的互動關係往往不是只有人的參與，還包括各種所牽涉物件，創新物與其所置身的結構環境，可謂相當複雜，I. Hacking 就以顯微鏡為例指出：「起初，先是猜想會存有基因，然後，透過發展像顯微鏡一類的工具才能找到它」(Hacking, 1983)，這是以非人的實體物件顯微鏡，作為創新活動的中心，連接真實(what)與知識(how)之間的介面，本文所提及的微影技術正是許多創新活動中多重介面的交集結果，透過時序上的分析，本研究意圖建立創新發展的網路關係變化，說明創新活動中複現結構的層析方式，並以行動者網路理論中必要超越點的概念對創新與創新網路之存活與否進行檢驗。

1.3 研究架構 (Research Framework)

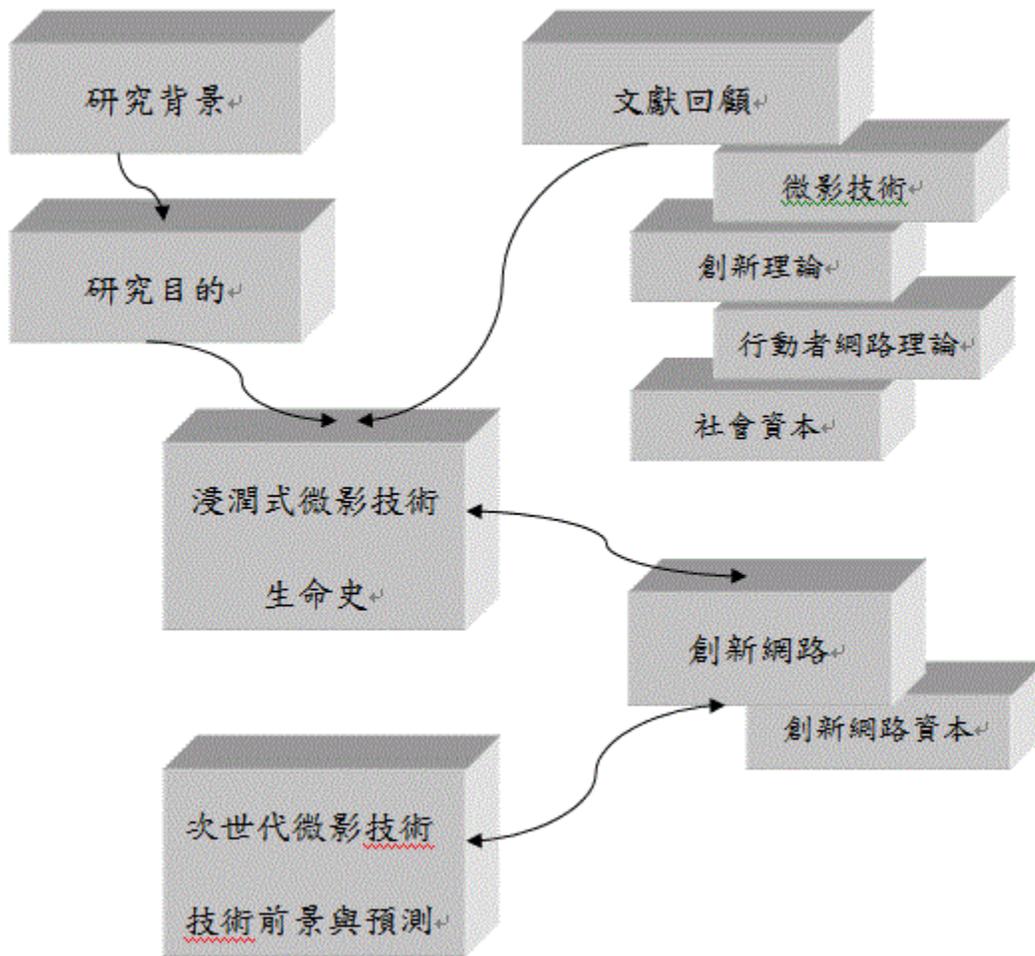


圖 1 以微影技術為例的創新網路研究架構

圖 1 顯示了本研究的架構將創新與行動者網路理論結合，以半導體產業中微影技術的發展為例，提出創新網路的概念，並根據創新網路發展，如何通過主要行動者所提出的必要超越點，而對次世代微影技術的技術前景提出預測。依照創新網路類比於社會結構，創新並不是只依據技術效能而決定存活，而是在其所處的環境中，面對諸多階段性的決策結果。

據以進行決策的準則來自於經濟面與類社會結構，必然有量化與質化的條件。本研究以社會資本類推至創新網路資本概念，並不是要將此概念推擴至社會研究面，而是選擇性地以創新所牽涉之範疇，作為各種決策的分析參考。

1.4 研究大綱 Outline of Dissertation

此小節為說明本研究的大綱。

第一章為緒論，說明本研究的研究背景，目的，架構與研究大綱。

第二章為文獻回顧，首先針對微影技術進行介紹，回顧幾項重要的創新理論，介紹行動者網路理論以及社會資本。

第三章回顧浸潤式微影技術的發展以及替代 157 奈米技術的過程，側重在創新網路中，網路結構透過外部橋接而進一步內部化，在不同階段，主要行動者與必要超越點的探索，最終達致創新的替代發生。

第四章針對兩項主要的次世代微影技術發展進行創新網路發展的分析，而對其進行前景評估與預測。

第五章為本研究提出的創新網路概念以及次世代微影技術預測方法論。

第六章為本研究的結果與討論，對次世代微影技術發展提出預測。

第七章為本研究的結論與展望。

二、文獻回顧

2.1 微影技術

2.1.1 微影技術 (lithography)

所謂微影技術是利用設計在光罩(mask)上的幾何形狀，透過各種不同波長光線將能量轉移到半導體晶圓材料上的感光薄膜材料(稱為光阻)，藉以轉移圖案定義出積體電路的不同區域(Sze, 1981)進而在各種導電材料，半導體材料，絕緣材料的搭配設計下完成各式各樣不同功能的電子開關與線路布局。

自 1960 年代起，半導體產業中就有為數眾多的創新，這些創新不僅是在技術發展，營運模式或商品化上，都與企業的經營息息相關。其中，光學微影技術自 1970 年代之後就成為半導體元件製造中的關鍵技術(Lin, 1975; Ronse, 2006; Lin, 2006; Lin, 2010)，微影技術的發展與著名的摩爾定律(Moore, 1965)所描述的元件尺寸縮小在歷程上幾乎貼合，同時微影技術的資本支出與生產成本(cost of ownership)也是逐代升高。事實上，晚近微影技術的設備供應商在研發上的投資高達營業利潤的 15% 到 20%⁶。可以說微影製程所使用的光學曝光機設備是居於微影技術的中心，其與生產者，供應者，研發機構各種創新網路的介面有密切關聯性。

1980 年代之後，微影技術的發展主要是以曝光機的開發(因應電子元件尺寸，晶圓尺寸)，光罩圖案(元件設計)以及光阻材料(製程化學品)為主。在有如照相技術的微影技術開發過程中，用兩個簡單的方程式可以表明在技術上的關鍵點為光源的波長以及數值孔径(Numerical Aperture, NA, 是一無單位的數值，代表光線通過介質折射率後光量的衡量)的大小，以決定成像解析度(resolution)及疊對(元件製作中層與層之間圖案的相疊程度)的製程要求。這兩個方程式稱為 Rayleigh 方程式。

⁶ 這比例是從位於荷蘭的設備供應商 ASML Inc. 的內部訪談以及財報得來。

$$D=k_1 *(\lambda/NA) \quad (1)$$

$$DOF=k_2 *(\lambda/NA^2) \quad (2)$$

其中 D 代表成像解析度，k1 乃為一與微影設備(曝光機)的設計有關的特徵常數，λ是光源波長，NA 代表數值孔徑，DOF 為聚焦深度(Depth of focus)，就是聚焦平面的設計，會影響疊對(overlay)的結果，k2 是在設備設計上與聚焦深度相關的特徵常數。

微影設備所重視的正是解析度，疊對以及產出率(throughput)。而從 Rayleigh 方程式可以看出，解析度越高(D 值越小)的條件是光源波長(λ)要短，而數值孔徑(NA)要大，但波長越短反而會造成聚焦深度(DOF)變小，造成疊對上的困難，且數值孔徑的變化也使得聚焦深度的變化成反平方比。

從 1977 年後到 2000 左右的微影技術發展，咸信為設備商開發主導的光學微影為主流，包括步進機(Stepper systems)，掃描機(Scanner systems)，而作為曝光能量的光源開發則是從汞燈光波 436 奈米(稱為 g-line)，365 奈米(稱為 i-line)，準分子雷射—248 奈米波長(KrF)，193 奈米波長(ArF)，以至 157 奈米波長(F2)等光源波長逐步降低的應用，當然也有其他如相偏移光罩設計(PSM，Phase-Shifting Mask)⁷，偏軸式照明(OAI，Off-Axis Illumination)⁸以及光學鄰近效應修正(OPC，Optical proximity correction)，雙圖案曝光(double patterning)⁹等等應用以提高局部解析度技術的創新。

以下表 1 整理出幾代微影設備的交替與其被採用與否的關鍵(Fay，2002; Ronse, 2006; Wong，2001)。稍後的論文內容中將會以透過分析微影技術(包括微影設備的

⁷ 透過光罩設計降低繞射效應的干涉現象提高解析度。

⁸ 使入射光與光罩平面夾一角度，讓第零階繞射光不再垂直入射而聚焦深度增加，可提高解析度。

⁹ 雙圖案曝光應該說是兩階段曝光，將一圖案透過兩次曝光程序而定義出更小的圖案尺寸，此一技術甚至可延伸到多圖案曝光(multi-patterning，但生產成本的增加—光罩設計與多數道製造流程。

條件，零組件與化學品供應商的網路結構，競爭或替代技術)被採用的關鍵視為階段性必要超越點的依據。

表 1 微影技術演進年代一覽表

技術演進	採用	應用元件尺寸	市場佔有高峰	採用與否關鍵原因
接觸式 (Contact)	1962	7 微米	無	產出率慢
近接式 (Proximity)	1972	3 微米	1973	微影設備第一代生產工具，技術推力市場拉力
投影式 (Projection)	1973	2 微米	1977	解析度，疊對能力，產出率
電子束 (E-beam)	1976	0.5 微米	從未大量商用	解析度與疊對能力佳，產出率慢，設備成本與搭配生產技術成本高
X 光(X-ray)	1978	0.3 微米	從未大量商用	解析度與疊對能力佳，產出率慢，設備成本與搭配生產技術成本高
G 光源(G-line)	1978	1.25 微米	1982	波長 436 奈米，解析度與疊對能力次佳，產出率高，設備成本與搭配生產技術成本相對電子束與 X 光低
I 光源(I-line)	1985	0.80 微米	1991	波長 365 奈米，解析度與疊對能力較 G-line 佳，產出率高，設備成本與搭配生產技術成本相對 G-line 低
248 奈米深紫外光 (Deep UV KrF)	1986	0.45 微米	1998	波長 248 奈米，解析度與疊對能力較 I-line 佳，產出率逐漸提升，滿足市場拉力製程需求
193 奈米深紫外光 (Deep UV ArF)	1996	0.13 微米-45 奈米	2006 後一直維持高峰	波長 193 奈米，解析度與疊對能力，產出率逐漸提升，滿足市場拉力製程需求
157 奈米深紫外光 (Deep UV F2)	1998	90 奈米	從未大量商用	波長 157 奈米，解析度與疊對能力，滿足市場拉力製程需求，但設備成本與搭配生產技術成本相對高
193 奈米深紫外光浸潤式設備	2005	45 奈米以下	最先進製程需求到 20 奈米	波長 193 奈米，等效波長 134 奈米。解析度與疊對能力，滿足市場拉力製程需求，設備成本與搭配生產技術成本相對 157 奈米低，搭配雙圖案技術可擴充至 20 奈米左右製程

表面上改變系統所使用的光源波長相當簡單。但每世代微影製程的光源波長縮短，不僅是需要新的光源，而是相關的微影成像流程中設備結構、鏡片、光罩、光阻等，都要改變並在可接受的成本計算內，結果提高整體生產費用，導致另外一個

路數是必須追求生產的產出率以降低生產成本。這也就是半導體產業會盡量延長技術世代以使用完成開發的光源波長與製程架構的原因。

2.1.2 技術藍圖(Roadmap method)

半導體產業協會(SIA, Semiconductor Industry Association)的技術藍圖報告(ITRS, International Technology Roadmap for Semiconductors)¹⁰ 主要是以半導體產業中長期的技術預測與現況報導。這是從1993年起以技術藍圖方式徵集半導體產業專家意見而完成的一項報告 (Brown, 1995), 由於專家意見法所需時間較長, 所以這份報告為每兩年一個主要版本, 每隔一年有修訂版。此一報告羅列了半導體產業中所有的先進製程發展與預測作為產業中長期技術發展與投資策略的參考。

依據 ITRS 2009 版本, 22奈米節點以上的元件, 將以浸潤式微影技術為主要的製程, 其重點為 (1) 22 奈米¹¹以上將由193奈米曝光設備加上浸潤式微影技術加上雙重圖案曝光法勝出, 理由是投資報酬(成本考量)。(2) 22 奈米節點以下的元件尺寸, 應該有三種可能出線的技術: 超紫外光微影技術(EUV Lithography), 無光罩微影技術(Maskless lithography)(其中最著名的是多重電子束技術, Multi e-beam, 也稱為 MEB), 以及奈米壓印微影技術(Imprint Lithography)¹²。

除了國際光電工程學會 (SPIE, Society of Photographic Instrumentation Engineering)¹³的期刊與會議報告, 提供詳細的次世代微影技術的發展, 台積電研發副總林本堅博士(B. J. Lin)也在SPIE 期刊 JM3 editorial上提供了次世代微影技術的

¹⁰ <http://www.sia-online.org/> 以及 <http://www.itrs.net/>

¹¹ 事實上 2012 年已經有公司宣布 20 奈米節點及以下, 有可能透過浸潤式微影技術加上三重或多重圖案曝光法而先進行產品製程驗證。

¹² 可參酌於 editorial review, journal J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS, 7(4), 2008, 1.

¹³ SPIE 是一成立於 1955 年的非營利組織, 主要是以提供光學與光電領域的工程技術揭露, 透過會議與期刊的形勢推動光電相關的技術推展。SPIE, 原名 Society for Photo-Instrumentation and Engineering, 現全名為 The International Society for Optical Engineering。

發展¹⁴。擔任期刊主編的林博士長期關注微影技術發展，除了疊對，聚焦深度等技術面必須要達到的規格，林博士認為生產產出率(productive throughput)與生產成本(cost of ownership)是新的微影技術被採用的兩項主要指標。

2.2 創新 (Innovation)

創新是在經濟，商業，新創事業，技術與社會變化各範疇都受到重視的課題，從字根來看，*in-* 表示”進入”(into) 而 *nov* 代表”新”(new)。學者 J. A. Schumpeter 最早指出創新乃是一種商業或工業上的新產品，新製程，或新的生產方式，新的市場或供給來源，新的商業模式或財務組織(Schumpeter, 1934)。創新被解釋為技術的不連續性(discontinuities) (Moore, 1991)以及社會變化(Linton, 2004)，於是創新就有了生命期限與替代發生的過程(Martino, 1993)。Betz 則指出創新會在想法，產品，製程或組織上有漸進性(incremental)，突發性(emergent)，重大性(radical) 與革命性(revolutionary)的不同類型變化 (Betz, 2003)。

誠如 P. F. Drucker 所指出的，在過去數十年，社會創新(social innovation)的速度比起技術創新要來的慢，諸如醫院，學校，非營利公益組織等創新都已經存在很長一段時間。由於資訊技術進展所帶來的不僅僅是技術創新也影響到社會創新，比如說 1990 年代後，網際網路的蓬勃使得資訊分享速度改變以及新的商業模式，甚或重組了許多組織型態與結構，然而創新還是常常被誤為只牽涉到技術面的改變--事實上許多技術創新都來自於技術所在環境的變化。P. F. Drucker 指出七項創新的來源，四項是相關於商業組織或企業：意料之外(unexpected occurrences)，不一致(incongruities)，流程需求(process needs)，產業需求(industry market)，其他三項則與商業組織或企業無關：人口的變化與結構(demographic changes and structures)，公眾的認知改變(changes in public perception)，新科技的開發(新知識)(new technology and scientific findings，new knowledge) (Drucker, 1985)。

¹⁴. 這是 editorial review, J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS, 7(4) (2008), 1.

P. F. Drucker 不認為”好點子”(bright idea)¹⁵是創新的來源。有學者認為創新的知識必須是長時間的”收斂”(convergence)，這也印證許多創新的發展期長達 25 年到 35 年並形成數段發展的接力期¹⁶。

2.2.1 創新世代

R. Rothwell 研究從 1950 到 1990 期間內的西方產業，提出五個創新世代 (generation) 的觀點 (Rothwell, 1992; Rothwell, 1994)，認為創新的主要動力是對市場的需求能及時反應與產品的研發成本符合市場期望，但這樣著重在高科技新創公司的研究結果，解釋並提供單一公司如何進行創新活動的策略觀點，似乎並未能完

表 2 R. Rothwell 所提出的五種創新管理世代 (Rothwell, 1994)，以及 J. Niosi 對第四代研發管理的研究 (Niosi, 1999)

世代	時間	歷史背景	創新焦點	企業策略
1 st : 技術推力 (Technology Push)	1950 到 1960 中葉	快速經濟成長	企業專注在由科技創新所帶來的機會	越多研發投入，越多新產品產出
2 nd : 市場拉力 (Market Pull)	1960 中葉 到 1970 初	成本效益分析； 專注在市場佔有率	轉向在專注市場需求的反應	研發與生產必須縮短上市時間
3 rd : 技術與市場混 合型 (Coupling)	1970 初到 1980 中葉	通貨膨脹與經濟 停滯壓力；付出 必須合理化	專注在公司經營 的強化並產出”產 品組合”	透過結構化的創新管理，市場行銷與研發活動變的緊密結合；營運費用的降低是一項驅動力
4 th : 整合業務程序	1980 初到 1990 中葉	西方經濟復甦 期；與時間競逐	專注在整合製程與 產品成為一整體	平行與整合供應鏈並專注在主要客戶的需求
5 th : 系統整合與網 路化	1990 後	資源限制變成中 心思考；商業模 式採生態系路線 (Business ecosystems)	專注在系統整合 以及網路成型， 以確保彈性與反 應速度	透過資訊技術對製造程序達到企業資源管理以期商業運作自動化；與策略夥伴共同經營式場需求，朝向開放式創新 (open innovation)

¹⁵ 雖然 Drucker 不認為好點子是創新的來源，但還是另著一章討論這個題目 (Drucker, 1985)。

¹⁶ 這個觀念來自本文指導教授袁健中博士的長期歸納結果。

全描述創新的失敗是否與創新管理的方式有關，而這五種管理世代從歷史中歸納出如表 2 所示，不同的創新管理對應到執行不同創新活動的組織，這項研究對應到稍後微影技術所述發展的複雜網路結構的一部分說明。

2.2.2 Abernathy--Clark 創新類型

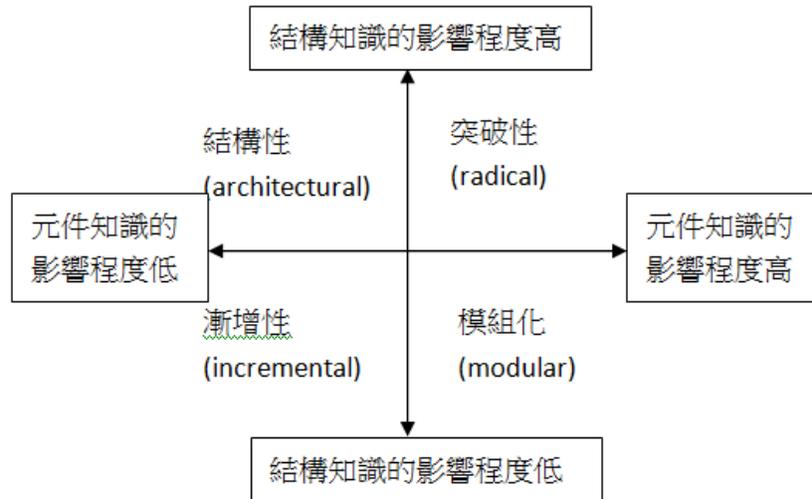
學者 W. Abernathy 與 K. B. Clark 在常範性(regular)與革命性(revolutionary)的創新分類以外提出結構性(Architectural)及專精性(Niche)藉以說明如何以創新作為企業的競爭優勢及為何會失去競爭優勢(Abernathy & Clark, 1985)，如表 3 所示。此理論將創新類型定位以利理解競爭優勢之所在。

表 3 Abernathy 與 Clark 所提出的四種創新類型 (Abernathy & Clark, 1985)

創新類型	市場	生產
常範性(Regular)	現存的市場優勢	既存的市場優勢
專精性(Niche)	改變市場優勢	維持現有的生產優勢
革命性 (Revolutionary)	延長現存市場優勢的生命週期	迫使現存的生產優勢消失
結構性 (Architectural)	迫使現存市場優勢消失	迫使現存的生產優勢消失

2.2.3 Henderson--Clark 創新類型

R. M. Henderson 與 K. B. Clark 則更進一步以微影設備的發展，以核心知識與元件知識的強弱關係區分出四種創新的形態(Henderson, 1988; Henderson & Clark, 1990)，如圖 2 所示。此一模型著重在技術推力的分類，對創新提供在知識面的理解途徑。



來源:本研究整理

圖 2 Henderson 與 Clark 所提出的創新模型 (Henderson & Clark, 1990)

2.2.4 破壞性創新

依 C. M. Christensen 所述，結構化的知識系統已經根深於既存的企業組織之中，對於破壞性技術的創新是不容易與既存的技术共存於一套管理之下(Christensen, 1997)。

J. Bower 與 C. M. Christensen 提出破壞性技術(disruptive technology)一詞，深入研究特定技術的歷程，產業中領導廠商，企圖在組織中維持原主流技術與創新技術並存的管理，往往無法與新創組織匹敵因而失去原競爭優勢與地位(Bower & Christensen, 1995)。稍後這一名詞為 C. M. Christensen 更進一步說明為破壞性創新(disruptive innovation)(Christensen, 1997; Christensen, 2003)來表達創新如何影響企業的策略制定。這一類的創新通常是在降低成本或新的客戶群與市場需求反應較為靈活，因此 C. M. Christensen 提出價值網路(value network)的觀點(Christensen, 2003)，圖 2 所示即為表達破壞性創新在不同的市場與價值網路上比既存的企業更具有優勢取得市場。

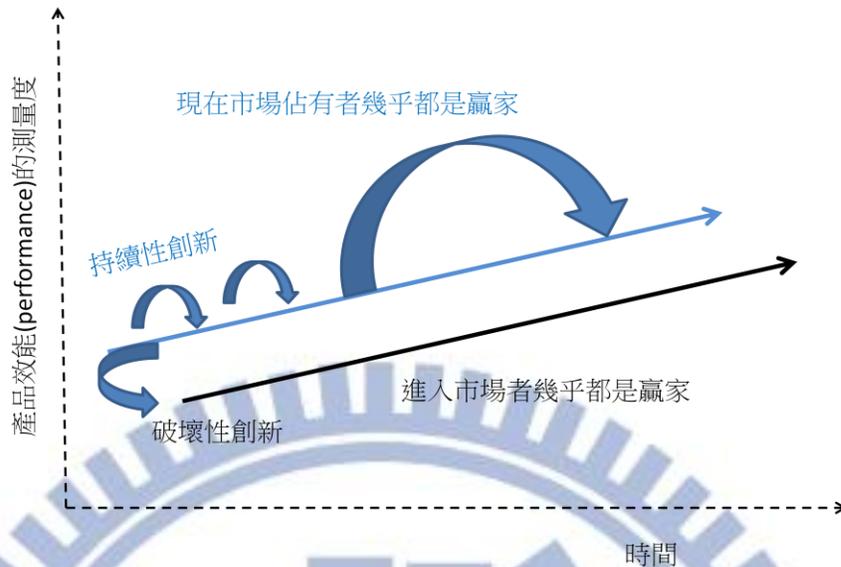


圖 3 辨別破壞性創新與持續性創新的發展(Christensen, 2003)

破壞性創新，可以從科學技術社群中常使用的典範轉移(paradigm)這個觀點來看待(Kuhn, 1962)，因為創新是提供了另一種解決問題的方法，從而使三部曲—發生危機，出現新典範，回歸常態能夠解釋破壞性創新的市場佔有或技術替代。但正如其他創新理論所面對的問題一樣，發生替代的創新不全都是破壞性創新。 Dosi 指出關於創新的起源是基於改變 (Dosi, 1988; Dosi, 1988(a))，因此可以觀察創新的雙向發生：順向(downstream)—從創新到最終應用，以及逆向(upstream)—從最終需求反推創新的要求，這兩者都會透露出創新的軌跡。

2.3 行動者網路理論(ANT, Actor Network Theory)

行動者網路理論是應用在科學技術社會(Science Technology Social)領域中的一種技術社會研究路數，行動者網路理論主要論述在對以共同利益(aligned interests)，利益轉譯(interest translation)的行動者所形成之社群互動進行研究，這是一種對異質介面(亦即人與物與環境等不同屬性所構成)網路的研究，最初由 M. Callon, B. Latour 及 J. Law(Latour, 1987; Callon, 1986; Law, 1987) 於 1980 年代中期提出。這一理論從初期的理論基礎(Callon & Latour, 1981; Latour, 1986; Latour, 1990; Latour, 1991; Law, 1992; Latour, 1992; Latour, 1993; Callon, 1995; Callon & Law,

1995)，科學知識社群(Latour，1983; Latour，1988; Law，1994)，技術社群的發展(Callon，1986; Law，1986(a); Callon，1987; Law，1987; Law & Callon，1988; Callon，1991; Law，1991; Latour，1991; Callon，1999)，逐漸擴大到組織理論(Cooper，1992)、社會學(Michael，1996)、地理學(Murdoch，1997)、資訊科學(Allen，2004)及技術社會的領域(Grammig，2003)，都是在探討如何理解由共同核心(願景或利益)趨動的網路結構關係。Sismond 指出行動者網路理論是在科學技術社會研究中最具威力的理論(Sismond，2003)。

行動者網路理論將網路結構中的行動者與其行動視之為對共同利益而發展，種種介面的交集可藉由分析而列舉網路結構的面貌，透過必要超越點的說明利益衝突以及行動為何不能完成。這一理論並不全然以人(Human)為研究標的，非人的(Non-human)物質或議題也是研究標的，最著名的例子便是 M. Callon 研究在 St. Briec 海灣中扇貝與漁人的關係(Callon, 1986)，在法國的 St. Briec 海灣，三位研究者企圖模仿日本扇貝的養殖技術，與漁民，學術圈同事透過結盟方式而將扇貝養在海灣中，但是此一結盟結構因為漁民的提早捕撈而致使整個模仿扇貝養殖的行動宣告失拜，其中重要的部分不僅僅是人，還包括扇貝此一行動物，以扇貝為技術的表徵，養殖扇貝這項技術就是一個不可忽略的行動者。當透過應用行動者網路理論所整理出的網路介面與其對應的利益轉換或必要超越點，將可以知道行動者如何評估其對應的行為，資源配置或互動。

表 4 列舉了經過整理，在行動者網路理論中經常使用的重要技巧與名詞。

圖 4、圖 5 所示即為行動者網路理論常見的圖示法，圖 4 顯示二階段網路結構的形成示意圖，表達每一個行動網路之中的行動者都可能與其他外部行動者有雙向的互動，而達成兩階段或多階段的網路擴大(Callon，1999)。圖 5 引用的是對浸潤式微影技術(immersion lithography)的分析，其中箭頭代表的是動態關係，而網路結構介面的界定是以管理學上的通則處理。

表 4 行動者網路理論中使用名詞定義與特徵之列表

名詞	定義	特徵
主體(Entity)	網路結構中具有明顯，獨立存在的人或物	人:個體或集合體 非人:策略制定、設備、法令、區域性、文件等
行動者 ¹⁷ (Actor)	對主體有互動關係並在行動中影響利益關係的皆可稱為行動者	行動者在網路中會影響共同利益的建立與轉譯
異質介面(Heterogeneous)	不是單一屬性的介面	異質介面是鑑別網路關係重要的條件
轉譯(Translation)	特指行動者所建立的共同利益網路過程所使用的方法，包括提出問題，提出共同利益，徵集與動員	不同行動者可能有不同的利益轉譯過程，這可以透過主要行動者的活動與其他行動者之間比較出差異與進展
必要超越點(OPP, obligatory passage point)	正如一般所謂檢查點，在主要行動者的利益目標與決策之間比較，行動的目的在達致必要超越點的標準	主要行動者設定的必要超越點式行動得以在網路中達成利益驅動的原因，透過網路中的訊息傳遞與行動執行共同利益的達成。
提出問題(Problematization)	由主要行動者提出讓其他行動者能夠注意到共同利益的問題之步驟	建立透過共同利益的陳述而顯現問題的必要超越點
提出共同利益(Interessement)	由主要行動者說服其他行動者接受共同利益設定的必要超越點	主要行動者邀集或影響其他在網路結構中的行動者
加入網路(Enrollment)	網路中其他行動者為主要行動者的利益說服而加入	主要是其他行動者的被動決定
動員(Mobilisation)	由主要行動者對網路中其他成員進行支持共同利益的動員行為	呈現為強化網路中非主要行動者的利益轉譯
反對(Dissidence)	提出對必要超越點的不同意見，或者是無法從被動的加入網路轉為主動的動員過程	反對或競爭是屬於對行動者網路反對的動作
銘刻(Inscription)	保護行動者利益過程中所出現的人工物件	諸如智慧財產權，法令，專利等

¹⁷ 本文的行動者(Actor)已經涵括人與非人的總稱。事實上，Latour 使用 agency 表達 actor 與物件(object, 非人)與 actant (Latour, 1987)。

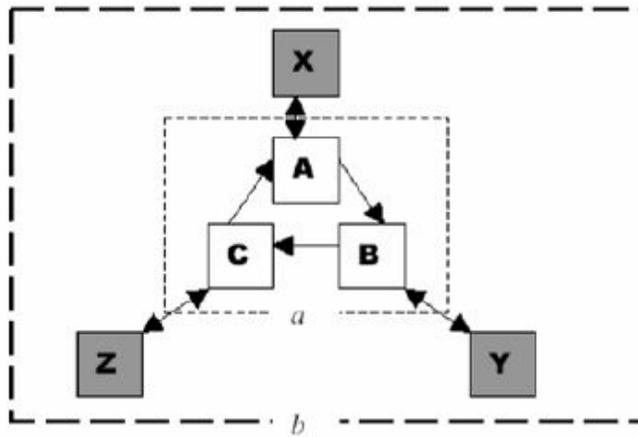


圖 4 行動者網路的兩階段形成示意圖

圖片來源: Callon, 1999

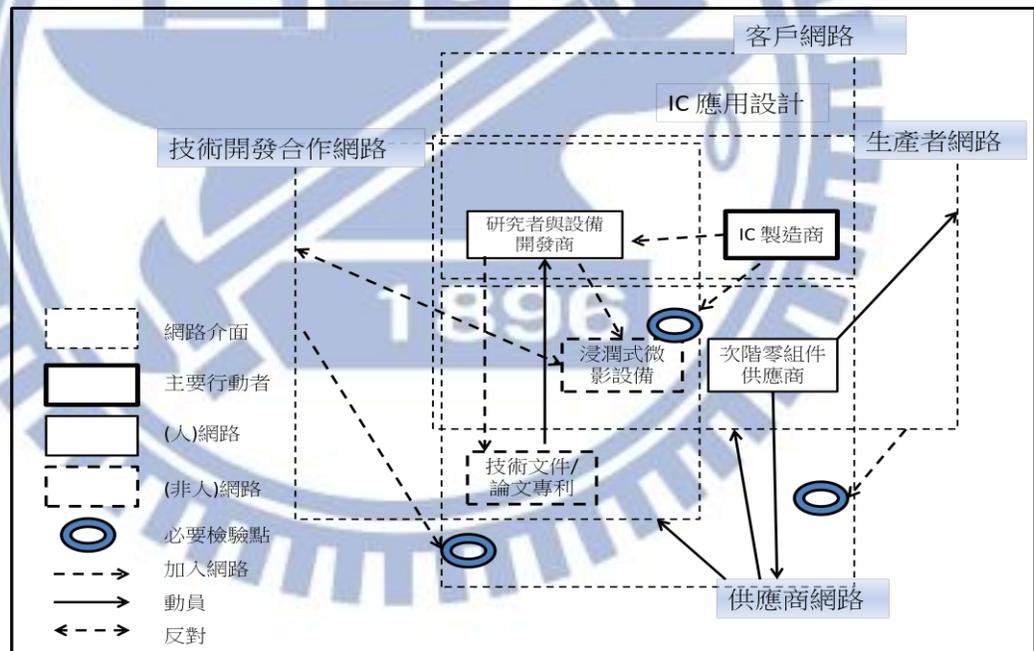


圖 5 193 奈米浸潤式微影技術的創新網路結構

圖片來源: Yuan et. al., 2012。

2.4 社會資本(Social capital)

社會資本可說是為實現工具性或情感性之目的，透過社會網路來動員的資源或能力的總和。最初是由 P. Bourdieu 提出，P. Bourdieu 指出禮物的交換並不只有經濟資本上的意義還包括符號資本(symbolic capital)(Bourdieu, 1977)¹⁸。P. Bourdieu 稍後擴張了符號資本的觀念(Bourdieu, 1990)¹⁹，定義出三種資本：經濟資本(economic capital)、社會資本(social capital)與文化資本(cultural capital)。相關的研究則在微觀巨觀等不同面向闡釋社會資本的形成與其意義。表四所列出的資本類型是由 P. Bourdieu 所提出，至於對應變換(exchange)²⁰則是由本研究所提出。

表 5 P. Bourdieu 所提出的資本形態與本文提出的對應變換

類型	定義	特性	對應變換
經濟資本 (Economic capital)	可數的經濟資源之總稱(現金、資產)	可交易性 (Transaction)	可轉移 (transferable)
人力資本 (Human Capital)	無形的人力資源資產、工程能力、智慧財產權(專利)、知識等	可交易性， 可以與經濟資本合成	可轉移
社會資本 (Social capital)	來自群體的資源，比如說基於團體成員而享有，或因網路關係的影響力與支援，P. Bourdieu 定義這種資本是在網路關係中占有地位而擁有的既存或潛在資源運用，也是制度化下所能具有認同的共有認知	能與界定下的結構或組織，以及公共領域有互動發生	可評估的無形、資產、局部可轉移
文化資本 (Cultural capital)	知識、技能、教育以及來自個人能夠提高社會地位的優勢	個人擁有	透過教育之後可轉移或傳遞
符號資本 (Symbolic capital)	來自於個人所屬的個人地位、名望或網路關係	個人擁有	屬於個人獨有局部可轉移

¹⁸ 此書的第一版是以法文印行，*Esquisse d'une theorie de la pratique*, Librairie Droz, Switzerland, 1972. 本文引用的是 1977 年的英文版本。

¹⁹ 此書的第一版是以法文印行，*Le Sens Pratique*, Les Éditions De Minuit, Paris, 1980. 本文所參酌的是 1990 年的英文版本。英文書名為 *The Logic of Practice*。

²⁰ 變應變換指的是具不具有可轉移的特性。

來源: 本研究整理 (Bourdieu, 1977; Bourdieu 1986; Bourdieu, 1990)

社會資本在社會研究領域裡成為幾種學派，包括

(1)社會規範學派(The school of social norms)：主要是在說明個體與其所屬社會之間基於互惠與信賴而有的價值規範是一種社會資本，如 J. S. Coleman (Coleman, 1988)，F. Fukuyama (Fukuyama, 1999)，R. D. Putnam (Putnam, 2000)。

(2)網路鑲嵌學派(The school of network embeddedness)：如 M. Granovetter 將強連結與弱連結解釋社會結構中社會資本與種種經濟活動受到既存社會網絡關係的影響 (Granovetter, 1973; Granovetter, 1983; Granovetter, 1985)，此外 R. S. Burt 也提出社會資本是指透過人際間鑲嵌(embedded)關係的運用而達成個人社會資本與財富之創造，也就是結構洞(structure hole)的觀念(Burt, 1992)。

(3)社會資源學派(The school of social resources)：社會資本是網路結構中成員所能獲得的支持。P. Bourdieu 定義社會資本是與群體成員相關聯的實際或潛在的資源的總和，它們為群體的每一個成員提供集體共有資本(Bourdieu, 1986)。N. Lin 則提出資源是鑲嵌在社會網路中而非個人資源，但獲取這種資源的權力則是屬於個人(Lin, 2001)。

社會資本是一種描述資源如何在人際關係中配置的研究，行動者網路理論則指出社會資本應可結合非人的行動者與行動者之間的互動關係整合而成一整體的資本評估，對必要超越點而言，擴充了非經濟因素或標的範圍而有更大彈性。如何在行動者網路中鑑別出必要超越點的判準依據則必須要了解包括互動行為在內(不僅是交易行為)的成本與資本如何估算²¹。

2.5 創新的替代與預測

幾乎所有的創新，技術平台，產品，甚至產業結構，都有被替代的危機與認知，不論是耐久財或科技產品，都可能面臨創新的替代。這些替代的威脅有許多的

²¹ 社會資本結合行動者網路中互動行為的資本研究是為了理解如何達致與說明必要超越點，稍後本文的結論將結合經濟資本後以網路資本(Network Capital)稱呼之。

改變是可預測的(Porter, 1985)。例如黑白電視機與彩色電視機，鋁罐替代鐵罐(Farrell, 1993)，CD 取代錄音帶，DVD 替代 VCD 等等，過去的實證研究更指出，替代的發生在市場佔有率的改變不到 10%時(Porter et al., 1991)就已經發生。於是，分析替代品之技術來源，產業結構以及種種相關聯的研究，特別是建立一可靠的預測模型，作為策略規劃之輔助工具，十分常見且重要(Lilian et al., 1992)。

一般而言，建立有效的替代模型作為技術預測之工具(Porter et al., 1991; Martino, 1993)，除了要能有效地預測技術發展的方向，還同時預測市場的替代時間或擴散速度(Bass, 1969; Fisher et al., 1971; Lenz, 1985)，這方面的研究多以成長曲線模型，一般也稱為 S 曲線模型，或稱為羅吉斯曲線(logistic curve)來說明，替代的過程與替代的辨識前人已多有研究，但多是對於替代技術或創新進行模型建構，而原有技術或市場主要佔有者，面對市場長期消退，或進入式微(decline)的動態規劃，卻少見有建立模型之分析，這也是多元並存的現象。對替代的預測其實也提供原有市場佔有者在策略上有更佳的選擇。使用替代模型(substitution model)，通常是要提供對於模型中所涉及的分析要因，建立某種程度直觀上的(intuitive)了解，同時提供對創新在市場上的預測，將有助於協助產業或企業的整體策略規劃。這種模型由它們的方法論以及它們的目的構成，作為決策系統的依據(Lilian et al., 1992)。

在過去的文獻中，已經有學者整理出相當多的替代模型(Kumar and Kumar, 1992; Young, 1993)，一方面，這些替代模型的分析，大多是以新興技術或產品的市場增長為主，同時也衍生出市場擴散以及替代的研究並建立模型(Bass, 1969; Fisher and Pry, 1971)，討論到原有技術或產品市場的消退時，比較少見以模型說明，也就是說，在技術替代發生的過程中，這些模型雖然提供了替代技術成長或擴散方面，有良好的分析結果，卻在被替代者的模型建立與作為預測工具的研究鮮少見述。

一般而言，創新的替代言就過去多著重在技術替代模型(technological

substitution model)的建立，說明技術替代或者技術擴散(innovation diffusion)以及技術衍生之產品成長的過程，也就是作為技術成長效能預測(Porter et al, 1991; Martino, 1993)，至於產品市場的描述，通常是以市場佔有率為主要內容。最先採用成長曲線或 S 型曲線作為擴散模型是以鐵路業，煤礦業，鋼鐵業等作為成功的例子，後來 Bass 提出了著名的擴散模型(Bass, 1969)，以消費性產品為例探討擴散模型的使用。

但是作為管理的工具，模型似乎遇到問題在經理人不能善知技術成長模式的背景及其意義，那麼便不能夠真正及正確使用，特別是面對決策時的進退維谷(dilemma)。利用模型作為決策參考，即便模型會因為經濟狀況，社會條件，選擇行為，技術因素等等而顯得不是那麼完備。特別在創新並不盡然都有大數量的市場預測時，替代模型在量化的預測就有其限制。

本研究對於替代與預測的部分著重在替代過程與被採用的時間點。²²

²² 這是筆者所考慮關於創新的替代與擴散的問題，其文獻部分，本研究將其置於附錄一部分。

三、浸潤式微影技術 (Immersion Lithography)

3.1 浸潤式微影技術生命史(Life story)

此一章節將說明浸潤式微影技術從候選技術成為主流技術的過程，透過企業發布的新聞，國際光電工程學會(SPIE) 會議論文，學術期刊，商業期刊，企業內部訪談，甚至公司發布的商業產品規格目錄，就時間歷程所建立的生命史，以期能夠瞭解稍後文本所述兩種行動者網路關係的建立特徵：(1)內部網路(Inter-network)：行動者在相同網路範疇內的連接與其鍵結關係。(2)由內而外(Inside-out network)：行動者在不同網路結構的互動過程與其如何達成橋接。此即為浸潤式微影技術這項創新如何基於 193 奈米波長微影技術的基礎，加上浸潤式設計而成為相當於 134 奈米波長光源，最終替代了 157 奈米波長微影技術，並迫使該項技術完全停止發展(immerse into the dark)。

3.1.1 早期發展 (1980-2000): 浸潤式微影技術的專利與設計

最早將浸潤式微影技術的概念提出的是在1980年的一項專利(Tabarelli & Lobach, 1980)。雖然浸潤式的技術概念來自早就已經存在於提高顯微鏡解析度的手法，但是將晶圓浸泡在液體介質的工程設計在當時還是一項新的技術瓶頸 (Owa & Nagasaga, 2008)。到了1998年，前述專利的生命末期，此時才有兩項可能的工程設計被提出 (Suwa, 1998; Fukami & Magome, 1998)。這項技術被提出的時間在1980年代初期，但為何浸潤式微影技術並未被1980後的光學式微影技術所採用呢？此時所發展的光波波長為365奈米，以及之後準分子雷射技術--248奈米波長，193奈米波長在光源的選擇與工程設計—特別是提高數值孔徑(NA, numerical aperture) 都較浸潤式微影要來得容易，附帶一提，根據技術藍圖法的預測，這時期的次世代微影技術被預測的可開發技術為X光射線投影(X-ray projection)，電子束投影(electron beam projection)，離子束投影(ion beam projection)，超紫外光微影技術 (EUVL)，以及 準分子雷射氟氣157奈米技術 (ITRS, 1999)，浸潤式微影技術根本都沒被提及。

3.1.2 157 奈米微影與浸潤式技術 (2001 年)

在2001，學者提出了157奈米波長加上浸潤式技術的概念 (Switkes, 2001)，而在此時的157奈米微影技術事實上還未成為半導體的生產設備。1990年代末期，三家主要的微影設備供應商才從8吋晶圓進入到十二吋晶圓設備的193奈米微影技術市場，位於荷蘭的ASML Inc. (此公司在1999年併購了位於美國的 SVG Inc. 以得到 Microscan 157nm 產品以及開發總成)，日本設備供應商 Nikon Inc. 以及 Canon Inc. 都同時注意到157奈米加上浸潤式微影技術的發展，因為從計算上，依照摩爾定律的推估，45奈米(193奈米技術上可達成)以下的30奈米此一節點，將需要157奈米加上浸潤式微影技術來達致，但此一技術所牽涉的是157奈米技術是否可以成熟，其中光罩材料，鏡頭材料與其對浸潤式的液體選擇與設計，新光阻的開發都在工程技術上耗時耗力耗財，特別是否能達成產出率的預期與成本的考量。此時的其他次世代微影技術，包括深紫外光技術在內，都是發展緩慢，似乎只有157奈米技術是最快能達到生產目標的技術 (ITRS, 2001)。這也意味，在這一兩年間，投入157奈米技術的主要行動者，為主要設備供應商的開發時程，必要超越點(OPP, Obligatory Passage Point)是取決在設備商的開發上。

此一時期的行動者包括設備商，研究社群與學圈的技术報告，主要關心的事 (matters of concern)顯示行動者是基於共同興趣(interest-driven)而互相徵集聯結起來 (enrolling)。

3.1.3 193 奈米浸潤式微影技術的提出初期 (2002 二月到九月)

依據2002年二月的一場關於157奈米微影技術研討會所發表的論文來看，第一個以浸潤式技術所曝出的圖案是以157奈米微影技術原型實驗設備所產生，而產出所使用的浸潤式液體為純化過的去離子水(DI, deionized water, 折射率為1.33) (Switkes, 2002)。任職於Nikon公司的 S. Owa 在一篇回顧性的文章中提到，之所以會採取浸潤式技術在193奈米微影技術上，主要是因為193奈米技術的基礎設施發展(infrastructure development)較成熟，較157奈米技術”在新材料的發展與供應鏈結

構都相對低成本一些”(Owa & Nagasaka, 2008)。這似乎呼應到 Herderson 與 Clark 的研究，是結構化知識與模組化知識的混合與競爭。在2002年，193奈米技術已經成為生產設備有三年之久，且其鏡頭材料對於純水的應用並沒有問題，長期浸淫在光學微影技術開發，時任職於台積電的林本堅博士(B. J. Lin)在同一場會議中壓軸提出了洞見，他主張應以193奈米技術作為浸潤式微影技術的基礎，並且提供計算等效光波將是134奈米，同時採用高折射係數的純水後，由於孔徑數值可期將大於1.0²³這一特性，將使得解析度與影像都會得到提升 (Lin, 2002)，這是一個重要的轉變，將浸潤式技術與193奈米技術連結在一起。

在此時期，國際光電工程學會下關於微奈米微影技術，微機電與微光電機械系統的一份期刊(Micro/Nanolithography, MEMS, MOEMS 也稱為JM3)創立了，創刊的總編輯正是 B. J. Lin。

此一時期的行動者有了轉變，在人的部分是研究社群以及對於此項應用技術需求孔急的主要採用者，如在微影技術開發上有豐富經驗的 B. J. Lin即為主要行動者(primary actor)，物的部分則仍是以期刊論文以及在專業領域所召開的的國際會議，主要行動者居於生產與技術研究兩個網路之間，而B.J. Lin的提案則是將共同利益驅動(interest-driven)透過了技術可行性與成本計算的方式，將193奈米技術加上浸潤式技術成為一可能的實現提案，而技術可行性與成本計算的結果就是此項技術的必要超越點。

3.1.4 193 奈米浸潤式微影技術的可行性研究 (Feasibility study) (2002 年九月到 2003 年二月)

接續在前述的157奈米微影技術的SPIE研討會(2002年九月)後，針對193奈米加上浸潤式微影的設計有更多的技術上的解決方案被提出，比如說S. Owa的論文 (Owa,

²³ 參考 Rayleigh 計算式 formulas formula as (1) and (2), the $NA > 1$ is benefiting to both resolution and DOF enhanced.

2002)，B. J. Lin 與B. Smith 分析193奈米浸潤式微影的優點(Lin， 2002(a); Smith， 2002)，其中 B. J. Lin 透過長期生產成本(long tern cost)計算的方式提高了在同一生產網路結構中其他行動者的共同興趣。甚至在第三屆於比利時安特衛普所舉行的157奈米微影技術研討會，新聞報導都還出現這樣的說法:”根據產業中的專家表示，157奈米微影技術已經克服了大部份的技術上的障礙，此一技術將使得半導體生產技術進入65奈米此一節點的生產”²⁴。但事實上，這時三個主要的微影設備供應商 Nikon， ASML 以及 Canon，都已經開始設計浸潤式曝光平台(immersion exposure stage)。

約略同時，International SEMATECH (ISMT) 也組織了幾個任務型導向的專案，加入了浸潤式微影技術的開發並舉辦了三次的討論工作坊(workshop)，涵括的成員包括學術機構如NIST (National Institute of Standards and Technology)，麻省理工林肯實驗室(MIT/LL， Massachusetts Institute of Technology Lincoln Laboratory)，羅徹斯特大學(RIT， Rochester Institute of Technology)，新墨西哥州大學(the University of New Mexico)，德州大學(the University of Texas)，威斯康辛(the University of Wisconsin)，波士頓大學(Boston University)等等。

在這時期，基於更趨一同的利益(common interests)而有更多的行動者加入，而他們也開始轉譯(translate)研究成果為更多的利益來源，吸引更多行動者加入，同時透過這些小型計畫，透過共同分享方式而動員更多成員加入(enrollment and mobilization)

3.1.5 193 奈米浸潤式微影技術的最初階段 (2003 年二月到九月)

²⁴ 原文是” *all major obstacles to manufacturing 157nm optical lithography have been overcome, and the industry is planning for the insertion of 157nm lithography at the 65nm node*” 事後來看似乎有點過於樂觀

在 2003 的二月到九月之間，Nikon 與 ASML 兩家公司同時加速他們在新的曝光機上的設計以符合浸潤式曝光平台的建立。首先是由 Nikon 公司在 2003 年 SPIE 微影技術會議揭露了他們在局部注入法(local fill method)曝光的圖案 (Owa & Nakasaga, 2003)，但也同時提出六項主要的瓶頸問題，相對地，主要競爭對手 ASML 卻延遲了六個月之久才發表他們的初步結果，此時表面上是由 Nikon 公司取得領先，但是 ASML 的作法是與台積電(TSMC)合作，將浸潤式覆蓋(immersion hood)加裝(retrofit)在具有高產出的 1150 設備平台上，成為 1150i，以在台積電廠內取得更多關於生產上的問題與解決問題的準備²⁵，這一加裝不但是區分出了乾式(dry，傳統的光源)與濕式 wet(加裝了以純水作為光源折射介質的浸潤式設計)，將 immersion 這一字眼與設備，製程技術結合，也一舉超過了 Nikon 公司的進展，因為 ASML 在這裡擴大了設備商的內部網路結構，與台積電的合作使得此一共同利益的網路結構達致擴張，事實上，台積電也在此一決策上獲益：得到更快的問題解決以及廠內驗證(in-house verification)。在此結合性的網路結構所面對的必要超越點，首先是可否超越 157 奈米微影技術的所能達到的節點(node)尺寸，等效於 134 奈米波長的 193 奈米浸潤式微影技術證明了技術上可達，同時，依照成本的實際驗算，193 奈米浸潤式微影技術基於各模組化組成的成熟，也在成本這一點上超越階段性的必要超越點。

此一時期的行動者--物(actant)是生產實驗上的結果與各項浸潤式微影的技術報告，還有所被採用的浸潤式覆蓋設計。行動者--人(Actor)則是台積電與其長期微影設備供應商 ASML，而此一網路結構也隱含像 ASML 這樣的公司能夠在平台設計(有關於產出率的提升)以及設計與工程(D&E, Design and Engineering)管理上的獨到之處。即便是 157 奈米微影設備已經在好幾處安裝之後，193 奈米浸潤式技術的迎頭趕上與競爭，形成在必要超越點的直接比較。

²⁵ 這一段是依據筆者在 ASML 任職期間對 2002-2003 年間參與加裝的工程團隊的訪談。

結果是Intel在2003年五月宣布了將157奈米技術排除在其技術藍圖之外²⁶，改採浸潤式微影技術。

3.1.6 早期浸潤式曝光設備 (2003年九月到2005年)

透過訪談，公司發布的新聞可以得知早期浸潤式設備的開發是在原設備193奈米曝光設備上的加裝，在2003到2005年之間，不僅ASML發表數值孔徑 (NA)從0.75，0.85甚至到0.93的設備，Canon公司也有NA 0.75與0.85的設備發表，Nikon公司有NA 0.85的設備。這些設備都被用來驗證浸潤式微影技術所必須因應改變的製造流程，光阻選擇以及其他生產條件。但從訪談中可以發現，ASML公司同時對雙平台²⁷ (TWINSCAN™ platform) 工程設計改善，帶來更高的產出率，使其浸潤式覆蓋成為被採用的標準，透過加裝的1150i，首台生產用設備1250i²⁸以及後續1400i的持續推出²⁹，持續地推進產出率的工程目標設定與管理，讓ASML與台積電，INTEL之間的合作關係，確立了在浸潤式微影技術上幾乎百分之百的佔有率。

Nikon公司很明顯地在客戶端並未因為其第一個曝出元件圖案而獲得設備輸出的先機，雖然Nikon公司不斷地在光阻材料發展與光罩設計上力圖發展，且成為第一個90奈米節點與65奈米節點上發表的浸潤式設計(Donders et al., 2004)，並在更多浸潤式微影設備上提出更好的異議(different dissidences) (Mulken et al., 2005; Gil et al., 2005; Donders et al., 2004)但Nikon錯失了在終端客戶的技術面合作機會(coalition)。在這一時期，根據ASML與台積電在SPIE會議或期刊所揭露的技術論文來看，ASML的確在技術面獲得相當大的超前，同時在各種商業雜誌與半

²⁶ 根據 EE Times.com 2003/5/22 的新聞報導。

²⁷ 所謂雙平台設計是指曝光前量測與曝光平台分開以增進產出率的設計。單平台設計是量測晶圓平面條件後才曝光，而雙平台通過分開此二步驟而能達到更高的機台使用效率。

²⁸ The first immersion production tool (ASML 1250i) is shipped to TSMC Ltd. Inc. (Taiwan Semiconductor Manufacture Company)

<http://www.asml.com/asml/show.do?ctx=13559&rid=27372>

²⁹ 這些數字系列的基本意義在於投射鏡頭的長度與代號，幾年之後，1700i，1900i，1950i 相應而生。

導體設備展上的廣告，ASML成功地將浸潤式(Immersion)此一字眼在非同儕(non-peer-review)之外的管道提升自身的可見度，同時附加在高產出率的優勢宣傳半導體製造的成本降低較Nikon更值得採用；在2003年版的技術藍圖中出現的可能採用技術(“possible liquid immersion”) (ITRS, 2003) 而進展到“可延伸現存193奈米微影技術的應用年限”。

浸潤式微影技術在這一時期正如B. J. Lin的預測(Lin, 2002(a))，超越了必要超越點之成本目標(cost-effective target)是來自於行動者網路的擴大，由生產者網路所動員而來(mobilization)的光阻製造商，製程檢測設計的研究者(metrology researcher)，以及其他因應浸潤式設計而變更的流程因此擴大的徵集—完成一互補的結構(complementary infrastructure)。

3.1.7 高數值孔徑(Hyper NA)浸潤式設備的發展(2005到2006年之間)

經過實際生產的驗證之後，浸潤式微影技術到了發展數值孔徑大於1.0(高數值孔徑, hyper NA)的階段，這牽涉到投射鏡頭的設計，並將會帶來聚焦深度(DOF, 意謂影像的改善)以及解析度(resolution)的提昇。但這並不完全是ASML公司的成功，而是要大部份歸功於ASML的長期合作夥伴，專營光學鏡頭開發的公司--蔡司(Zeiss)所提供的合作新設計—高數值孔徑鏡頭，應用在ASML hyper NA 1700i設備上的。在相同時期，事實上在2006年的一月，另一微影設備供應商Nikon也完成NSR-S609B (NA 1.07) 並將其安裝在半導體晶圓廠(Okumura et al., 2006)，然而，Nikon再度落於ASML之後，高數值孔徑設備並未被採用成為主要生產設備，同樣地，Canon也並未在高數值孔徑的設備開發上扳回一城，至此，ASML獨佔了所有的浸潤式微影設備市場，包括高數值孔徑的新設計在內，而對接續的雙圖案曝光法有更大的發展助益，早期所建構的行動者網路結構(coalition)，讓新進入者無法跨過在產出率，影像與解析度上的門檻—變更供應商的成本相對而言是一項高門檻。

自2006年之後，浸潤式微影技術從早期的破壞性創新角色(相對157奈米微影技術而言)成為一項結構式的創新，支持著其他更新的技術開發，如雙圖案曝光技術而成為主流的生產技術。2009年版的技術藍圖將浸潤式技術排除在次世代微影技術之外，而以其他技術為藍圖中的新標的(ITRS，2009)。毫無疑問地，這個創新網路從早期的少數行動者，透過徵集，動員與擴大網路結構，超越必要超越點的過程，是相當有意義的。

表 6 浸潤式微影技術由利益驅動而成為創新網路的歷程分析³⁰

時期	主體(Entity)/行動者(Actant)	利益轉譯(Translation Process)/行動(Action)	行動者網路 (Actor Network)
早期發展 (1980-2000): 浸潤式微影技術的專利與設計	學術研究者; 專利; 同儕評審(peer-review)期刊論文; 微影設備供應商; 積體電路製造商; 技術合作網路(TCN , Technology Cooperation Networks)如半導體協會(SIA) 、 SPIE、SEMI	提出問題 內部網路 必要超越點(Obligatory Passage Point)	已成熟的技術網路: 426 奈米(g-line), 365 奈米(i-line), 248 奈米, 193 奈米 發展中: X 光投影, 電子束投, 深紫外光微影技術, 157 奈米
157 奈米微影與浸潤式技術的提案(2001)	<u>157 奈米微影設備與其供應商學術研究者; 同儕評審(peer-review)期刊論文; 專題會議</u>	提出問題 (Problematisation) 提出共同利益	發展: 157 奈米曝光機 提案: 157 奈米與浸潤式
193 奈米浸潤式微影技術的提出初期 (2002 年二月到 2002 年 9 月)	<u>157 奈米微影設備; 193 奈米微影設備與其供應商; 技術合作網路小型專案; 同儕評審(peer-review)期刊論文</u>	提出共同利益 (Interestment) 加入網路(Enrollment)	157 奈米與浸潤式 193 奈米與浸潤式
193 奈米浸潤式微影技術的可行性研究 (2002 年九月到 2003 年二月)	技術合作網路如 ISMT (SEMATECH) 的小型專案與工作坊; 資深專家; <u>同儕評審(peer-review)期刊論文</u>	提出共同利益 加入網路	157 奈米與浸潤式 193 奈米與浸潤式
193 奈米浸潤式微影以水作為介質的最初階段(2003 年二月到 2003 年九月)	<u>193 奈米微影設備與浸潤式覆罩設計, 微影設備供應商, 積體電路製造商; 同儕評審(peer-review)期刊論文, ITRS 技術藍圖</u>	提出共同興趣 加入網路 反對 必要超越點	157 奈米 193 奈米 浸潤式設計
早期浸潤式曝光設備 (2003 年九月到 2005 年)	<u>193 奈米浸潤式微影設備; 次系統供應商; 積體電路供應商; 同儕評審期刊論文</u>	加入網路 動員加入 反對 必要超越點	157 奈米微影技術被放棄 193 奈米浸潤式設備開發與技術開發
高數值孔徑浸潤式設備的發展(2005 年到 2006 年間)	<u>193 奈米微影設備; 鏡頭製造供應商; 積體電路製造商; 同儕評審的期刊; 商業雜誌, 半導體設備展; ITRS 技術藍圖報告</u>	動員加入 必要超越點	193 奈米浸潤式設備開發與技術成熟

³⁰ 表 6 中以底線表達非人的行動者(non-human actant)來區隔行動者在人與物的不同。

3.2 創新網路的分析

這一小節是依據 3.1 節對浸潤式微影技術生命史歷程分析，進而整理為一創新網路變化，整理出表 7 與圖 6。表 7 表示各階段由網路結構的驅動，以及靜態分析必要超越點的結果，而圖 6 所表示為動態的創新網路成型階段。

表 7 浸潤式微影技術創新網路(innovation network) 的階段分析

時期	創新網路	必要超越點	特徵	結果
早期發展 (1980-2000): 浸潤式微影技術的專利與設計	技術提出	無	願景驅動 創新早期	光學微影技術發展蓬勃，但浸潤式微影技術並未受到重視
157 奈米微影與浸潤式技術的提案(2001)	技術開發	無	願景驅動 創新早期	157 奈米技術的投資與開發最被重視
193 奈米浸潤式微影技術的提出初期(2002 年二月到 2002 年 9 月)	技術開發	無	願景驅動 創新早期	193 奈米技術加上浸潤式設計挑戰 157 奈米微影技術的開發
193 奈米浸潤式微影技術的可行性研究(2002 年九月到 2003 年二月)	技術開發合作網路	元件圖案 浸潤式核心設計	利益驅動 對另一創新網路的反對	193 奈米浸潤式技術通過必要超越點，新技術開發合作網路(創新網路初期)建立
193 奈米浸潤式微影以水作為介質的最初階段(2003 年二月到 2003 年九月)	由主要行動者徵集供應商與生產者網路加入技術開發合作網路	生產再現性	利益驅動 外部橋接 徵集與動員 網路資本建立	替代 157 奈米技術的確立 創新網路的替代
早期浸潤式曝光設備 (2003 年九月到 2005 年)	創新網路擴大	生產可靠度	內部鍵結 網路資本累積	創新網路由外部橋接內部化，並因內部鍵結而降低成本
高數值孔徑浸潤式設備的發展(2005 年到 2006 年間)	因供應商網路的創新而再擴大	創新網路的最佳化	創新網路資本增加	創新網路再擴大

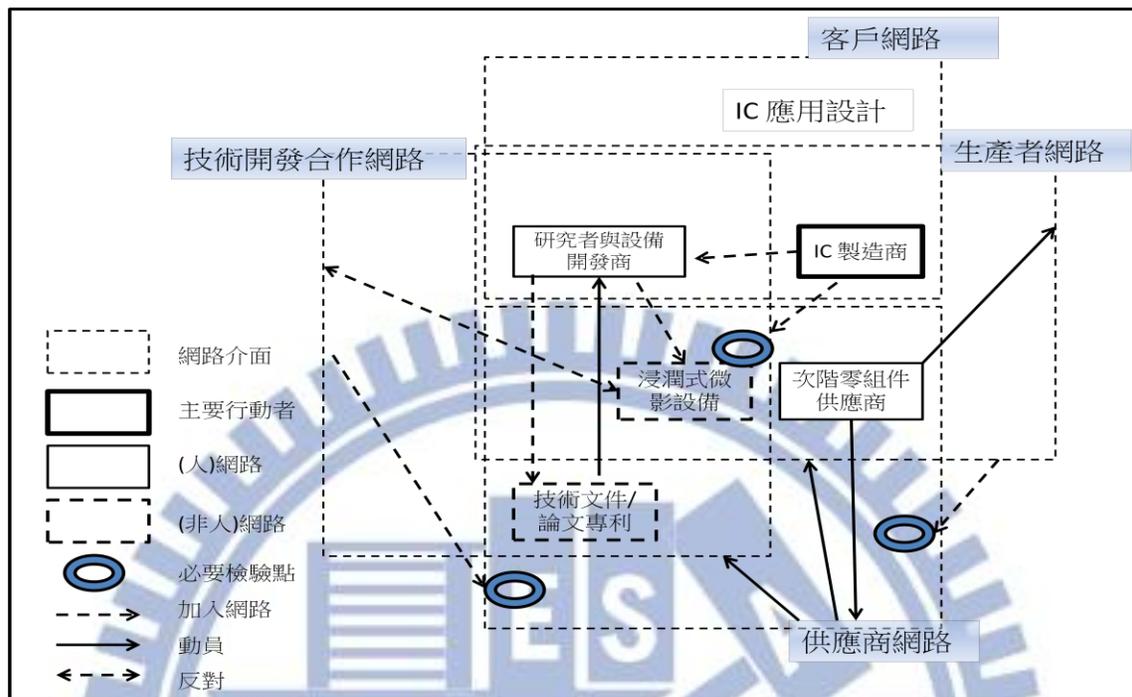


圖 6 浸潤式微影技術動態創新網路的示意

圖 6 中三個檢驗點代表的是三個創新網路發展的主要階段，初期元件圖案的曝光成功，以及浸潤式覆蓋設計是首要的必要超越點要件，中期隨網路擴大，生產者網路與供應商網路加入，必須有生產的再現性，接下來客戶網路的要求在成本與可靠度上作為必要超越點，此三階段各有其必要超越點的條件。

四、次世代微影技術 (Next Generation Lithography)

次世代微影技術(Next Generation Lithography)是在半導體技術藍圖報告(ITRS , International Technology Roadmap for Semiconductors)中使用來進行下一代微影技術發展預測的一個名詞。從過去二十年間的藍圖報告中，可以發現許多微影技術在開發過程階段都曾被羅列於其中，但不是每一種技術最終都能成為主流技術。每一種技術成熟的階段與被採用的原因也不盡相同，前一章所提到的 157 奈米微影技術就是沒被採用的最佳例子(但就投入的開發資源來說，卻是最悲慘的例子)。

透過文獻回顧微影技術的歷程，可得知 1980 年後幾乎都是依循著光學微影的光源波長不斷遞減而達致微影技術實現為主要的路數，再加上其他漸進式的創新，於是乎在微影技術的網路結構中，生產者，設備供應，技術開發等等都具有其結構性(architectural) 知識存在。如同第四章所述，193 奈米浸潤式微影設備替代 157 奈米的曝光機發展³¹，隨後在半導體技術藍圖報告(ITRS , International Technology Roadmap for Semiconductors)³²2009 年版的報告中，再指出 32 奈米與 22 奈米節點將由 193 奈米浸潤式設備加上雙重圖案曝光技術(double patterning)來進行(ITRS , 2009)。

另一方面，22 奈米以下的元件製造，基於光學波長所帶來的像差以及光罩成本的走高，有必要再透過繼續 193 奈米浸潤式微影技術的下一代微影技術而完成。當光學式微影已經接近物理極限的瓶頸時(Fay, 2002; Ronse, 2006; Wong, 2001; Lin, 2007)，三項技術被認為是最有可能的次世代微影技術是紫外光微影技術(EUVL , Extreme-Ultra-Violet Lithography)，多重電子束微影技術，以及奈米壓印(NIL , Nanoimprint Lithography)微影技術(ITRS , 2009)。

³¹ 此一替代發生在 2000 到 2006 年之間，157 奈米曝光機發展在 2003 後已完全停止。

³² <http://www.sia-online.org/> 及 <http://www.itrs.net/>

奈米壓印技術事實上就是非常小的印章，透過模具設計為成型的圖案，選擇適當材料作為底材而進行壓印成型，這項技術開始於 S. Y. Chou 等人的研究(Chou et al., 1996)，經過十多年的發展，在許多領域的先進研究中都有深遠的影響，但在半導體生產上，迄今尚未成為以生產為主的微影技術。本研究選擇前二者的發展作為預測的標的。

毫無疑問，次世代微影技術必須在完整的創新網路結構中滿足技術成熟(在專家意見的技術藍圖中所預測的技術關鍵，包括 2.1 所提到的解析度、疊對能力、產出率)及生產成本以及其他必要超越點才能被採用，比如供應商網路結構是否已開發，將會影響到初期被採用的意願。

4.1 超紫外光微影技術

在過去 30 年中，超紫外光微影技術(EUVL, Extreme Ultraviolet Lithography)的發展歷經好幾個階段，已有不少專書針對技術上與發展歷程而出版(Kinoshita & Wood, 2009)，這些出版對發展過程中，資源的配置是相當複雜的，本文藉著這些發展而重建這項創新其資本累積的過程。

4.1.1 先期發展：1981 到 1996³³

超紫外光是 1981 年從反射式 X 光的研究中萌芽出來的技術。接下來有數個獨立的研究單位進行發展，包括 AT&T 的貝爾實驗室(Bell Labs)、勞倫斯國家實驗室(LLNL, Lawrence Livermore National Laboratory)、桑迪亞國家實驗室(SNL, Sandia National Laboratories)，以及日本電報電話實驗室(NTT, Nippon Telegraph and Telephone laboratories)。從 1993 年之後，研發的方向從投射式 X 光微影技術

³³ 此段採用的生命史歷程參考自 Chapter 1-2 (H. Kinoshita and O. Wood, 2009)。

(soft x-ray projection lithograph)成像，轉為超紫外光微影技術的設備開發，這是在 1993 年五月美國光學學會(OSA, Optical Society of America)的一場會議中被提出。幾乎是同時發生的情況，在日本的 NTT 也透過多層鍍膜的 Schwarzschild 光學鏡片展現重複曝光圖案的可能性。

這意味著，超紫外光微影技術(EUVL)可以接續當時以不斷縮短波長作為微影技術光源來源的一貫發展，包括以準分子雷射為基礎的深紫外光(DUV, Deep Ultraviolet, 包括 248 奈米, 193 奈米及 157 奈米波長光源)。於是超紫外光的發展導向以開發可曝光波長的追尋，及反射式成像鏡片的設計，光罩材料的研究與光阻的開發配合，直到 1996，終於有第一個在互補性金氧半導體(CMOS)上成像的出現(Nguyen et al., 1996)。

在日本的發展則是由 Hitachi 與 Nikon 公司在 1995 到 1998 年間接續之前 NTT 的研究，持續開發超紫外光的曝光設備並成立超先進電子元件技術協會(ASET, Association for Super-Advance Electronics Technologies)，Intel 與 Samsung 都加入此一協會共同開發超紫外光微影技術設備。在歐洲則是有些小型的開發專案，但是除美國外，日本與歐洲的開發都沒有專注以生產為主的設備開發方向。

4.1.2 1997 到 2003 年：超紫外光有限公司的成立(EUV LLC)

依據文獻上的記錄，超紫外光有限公司(EUV LLC, Limited Liability Company)是在 1996 年底由 Intel 倡導之下而成立的，其運作的模式包括四大部分，如圖 9 所示(Gwyn & Wurm, 2009)。

事實上，EUV LLC 本身就是一項創新，此一公司涵括十數個公司的虛擬結合，包括 Intel、Motorola、AMD、Micron、Infineon、IBM，及其他公司。EUV LLC 利用共同研究開發協定(CRADA, Corporative Research and Development Agreement)

以爭取美國國會同意使用三個美國政府成立的虛擬國家實驗室資源(VNL， Virtual National Laboratory)³⁴。

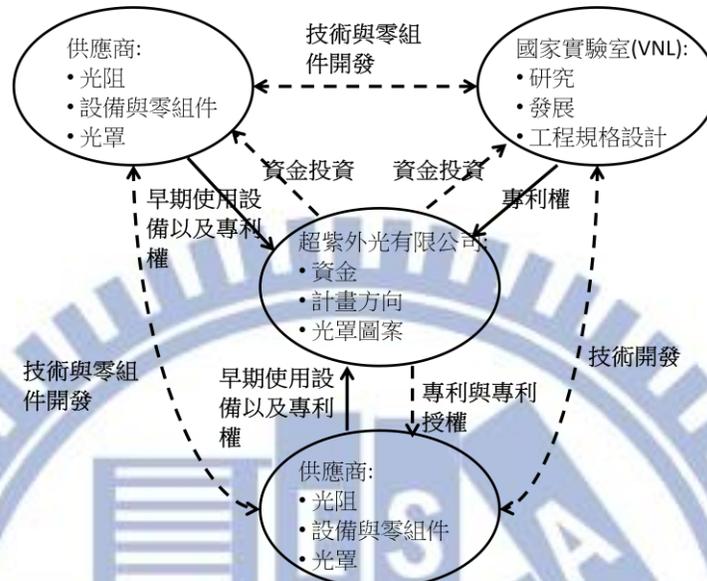


圖 7 EUV LLC 公司的商業運作模式以及主要組成，網路中的行動者包括參與的公司以及微影技術本身，這也是外部橋接轉化為內部鏈結的示意圖，圖片來源: 重製 Kinoshita & Wood 的研究(Kinoshita & Wood， 2009)

透過 EUV LLC 的運作，原本必須要以外部橋接(external bridging)的複雜關係(各公司的投資與創新研發)得以轉變為內部鏈結(internal bondin)，朝向共同開發的目標管理，這正是以 INTEL 公司為主要行動者所提出共同利益(Interestment)也降低開發成本與風險，提供創新發展的過程。在 EUV LLC 包括有七大主要任務與 37 個次要工作項目，透過定期的內部會議，年度由 SEMATECH 所舉辦的關於次世代微影技術的研討會，國際性的會議，紫外光微影技術 EUVL 徵集其他加入網路(enrolled)的設備供應商與 IC 製造商(除了日本公司，因為當時美國政府對日本公司的加入有所限制)。

³⁴ 包括三個在美國能源部轄下的國家實驗室。

到了 2003 年底，EUV LLC 已經有 34 個設備供應商以及六個主要的 IC 製造商 16 個實驗室及學校以及 14 個聯盟，共有超過 300 個的智慧財產權(IP)，其中有 145 專利，但是這些數量的分布卻呈現相當吊詭的逐年降低，1998 年有 80 個，到 2000 年卻下降為 60，2003 年降到 3。同時，即使原型機能夠提供 32 奈米的曝光圖案(由 SVGL 公司提供³⁵)，EUV LLC 公司還是在 2003 年底喊停。

EUV LLC 失敗的理由包括：(1) SEMATECH 與其他 LLC 的成員無法提供足夠的技術上的發展。(2)實驗室 VNL(Virtual National Laboratory)在生產的速度上太慢，以致於以產能為主的市場需求無法適配，也就是，遲至 2003 年底還無法突破在市場上所設定的生產要求(視之為一項必要超越點)，而讓 193 奈米加上浸潤式微影技術率先達到生產所需的規格(157 奈米也因此完全被放棄)。(3) EUV 的工程測試價格過高也是無法達到要求，而對 EUV 能否進入生產也大被質疑。

4.1.3 商用化之前的開發：2003-2011

繼 EUV LLC 結束之後，超紫外光微影技術的發展，移轉到單一半導體設備商獨立開發上。由於 EUV LLC 已累積相當的智慧財產(專利等)，在此時，主要行動者的角色由半導體生產設備商來擔任是合理的，接下來的問題是如何讓這可行的設備進入生產的候選名單(也就是前述次世代微影技術)，必要超越點就是合乎預期的生產成本，但問題是，一台 EUV 的售價卻高達九千萬美金，這幾乎已經是 12 吋晶圓廠建廠成本的十分之一。ASML 在 2002 年併購了 SVGL，並承繼 EUV LLC 所擁有的基礎。

在 2003 到 2011 之間，超紫外光微影技術的發展模式有(1)內部鏈結：企業內部的工程發展與驗證，如 ASML 公司內部透過產品發展程序(PDP，product

³⁵ 後來 SVGL 公司由另外一家微影設備供應商 ASML 在 2002 併購，當時 ASML 併購的理由是因為 SVGL 在 193 奈米與 157 奈米的設備開發，但 157 奈米設備並未成為次世代微影技術於 2003 年 5 月終止開發，因為 Intel 率先宣布捨棄這項技術，五年投資付諸流水。

development process)的管理，專注在如何逐步增進生產效能與降低生產成本(cost of ownership)。(2)外部橋接：與 EUV LLC 類似，ASML 與其他研究單位如位於紐約的 Albany NanoTech 及位於比利時魯汶的 Interuniversity MicroElectronics Center (IMEC)共同發展原型設備(Alpha-Demo Tool, ADT)的工程驗證，同時，ASML 也在其原有供應鏈外開發新的次系統設備供應商³⁶。同時需要注意的是，此時期超紫外光微影設備的開發，是由第五代創新模型(系統整合與網路結構)向第四代創新管理模型(整合商業營運)而移動，繞著核心行動者—超紫外光微影設備所進行的行動，已逐漸縮小在同一網路結構的內部中，一則以 ASML 公司擴大連接網路的過程，其他供應商無法建立類似的研發規模或者逕行加入(主要的 IC 製造商如 Samsung 等)，相較 EUV LLC，縮小結構，反而使得達到必要超越點的時程縮短，2010-2011，ASML 提供數台超紫外光設備給 IC 製造商進行生產效能驗證與開發。

4.1.4 商用化設備

2011 年中左右，ASML 宣布將於次年推出量產型的深紫外光微影技術設備，取代原 NXE: 3100，而設備代號為 NXE:3300B 的設備，卻遲至 2013 年四月還在最後組裝中尚未送達終端客戶，同時量產能力也未達到原先產品的規格設計³⁷。

4.2 多重電子束(MEB, Multi Electronic Beam)微影技術

這裡提到的多重電子束微影技術是 1990 年代末期到 2011 年，由 Mapper 公司與台積電合作開發的新技術。相較於超紫外光微影技術，應用多重電子束在微影技術的出現與發展相對較短。自從 1970 年代以來採用光學曝光方式於微影技術，光

³⁶ 根據針對 ASML 公司的內部訪查顯示，該公司有 90%的次系統組裝是外包給供應商完成組裝與驗證後才在公司內部進行最後整機測試，包括最重要的鏡頭都是由 Zeiss 一手包辦。一台曝光機約需 12-14 周的前置作業，於是與供應商之間的依存關係是相當緊密。

³⁷ 2013 年四月，根據對 ASML 公司的內部訪查顯示，預計達成的能量為 100 瓦特，實際上只達到 50 瓦特左右，產出率部分也只到達 43 (晶圓/小時)，距離目標 125(晶圓/小時)還有一段差距。而依據產業技術地圖預測的高產出率設備卻要求能量為 250 瓦特，產出率為 200(晶圓/小時)以上。

罩(mask)的製作及應用，與微影技術設備的開發，幾乎是同步地面對技術與生產成本問題，元件尺寸的縮小，積密度提高，圖案的複雜程度也越高，甚至有「光罩是魔鬼(mask is devil)」的說法。

早期電子束是以單一電子束應用在光罩的製作上，亦即光罩圖案的刻寫上，但是由於其產出率慢，於是一直未被考慮成為元件中微影技術的商用技術。

通常光罩與欲轉移的圖案之間有 4:1 的尺寸微縮關係，一套光罩的使用可達數百次以上，所以可合理地將成本分攤在重複使用上。電子束的光源波長基本上取決於加速電壓，在奈米尺寸的刻寫上沒有問題，但是，以電子束進行直接刻寫圖案在晶圓表面的方法，所遇到的瓶頸是產出速率太慢，故雖然電子束技術已有 20 年的發展，卻直到 1990 年代末，P. Kruit 發展出多重電子束的概念(MEB, multi-e-beam)，此一發明猶如暗室中的火花現出光亮(Kurit, 1998)。

之後 Mapper 公司在 2000 年成立。台積電(TSMC)並成為早期的投資者之一，理由是不需要光罩的技術，在藍圖上從單一電子束擴充到九束電子束，並逐步達到一百零一束電子束以迄一萬三千束電子束³⁸。

在 2006-2011 年之間，Mapper 與台積電共同開發並驗證(proof-of-concept)技術上與生產應用的可能性³⁹。與超紫外光微影技術相同的是 Mapper 與台積電也不斷地朝向產出率提升以及生產成本下降的必要超越點。多重電子(MEB)這項突破性的(radical)技術，無論是在結構的知識上或者元件的知識上，與過去的微影技術有差異，但此項技術的開發流程卻不如超紫外光微影技術那樣一開始就有許多的行動

³⁸ 依據 2013 年的訪談，Mapper 公司尚未提供達到一萬三千束的生產設備，而還是一千三百束的 pre-beta 設備。

³⁹ 這是從 Mapper 公司網站及該公司在 SPIE 上發表的技術文章得來。Mapper 公司並沒有相較於超紫外光微影技術的複雜網路關係，基於產品未臻成熟，在 2009 之後才較積極擴大網路的連接。

者被徵集或動員，必要超越點的判準也是隨著競爭技術(現存的浸潤式微影加上多重曝光圖案，以及超紫外光微影技術)而變動。

同時多電子束微影技術一開始是以第四代創新管理(整合商業營運)但朝向第五代管理模式(系統整合與網路結構)移動，這是從持續增加新聞報導以及技術論文數目來判斷，Mapper 公司揭露更多的訊息，進行徵集(enrollment)加入技術開發網路的活動，但動員的力道或許不如超紫外光微影技術，目前幾乎只能透過論文與新聞報導顯示 MEB 接近達到可生產的必要超越點卻沒有擴大到台積電以外的 IC 製造商。



五、創新網路 (Innovation Network)

透過前面文獻的理解與整理，本研究應用觀察法，生命史歷程，行動者網路理論，以及創新相關的研究，對微影技術進行說明的過程中，某先碰到如何描述創新創新的動機與所處的環境，也就是(社會)結構問題時，本論文首先給定創新網路 (Innovation Network)這一名詞，再將生命史歷程剖析的過程推理成動態網路變化，這樣的企圖是要以創新面對的變化等擬為網路結構變化的動因(factor)，藉著階段性、系統性的探索詮釋創新網路架構與變化。

5.1 創新網路的型態

5.1.1 願景驅動網路與利益驅動網路

創新網路的驅動力或說創新發展的動機，本研究認為包含願景驅動(vision-driven)與利益驅動(interest-driven)兩種。願景驅動通常是在創新發生的初期，由概念到願景的建立而驅動，之後的發展會是牽涉創新核心活動的範疇擴大，參與者(行動者)增加，因應利益(interest)的交換與資源分配而成現另外一種驅動力。

利益驅動的理由在於兩項很基本的原則，最大收穫與最小損失，同時創新所處的網路環境當然不可能是完全靜止不動的，決策的進行往往是在變動的網路結構中發生。R. J. Landry, N. Amara 及 M. Lamari 以靜態的方式研究 440 家製造業企業在創新網路上是否具有社會資本的兩階段決策模型 (Landry, Amara & Lamari, 2002)⁴⁰—事實上隱含對動態變化的適度區隔出階段性—在研究中顯示不是所有的投資都會有效的配置在利益驅動網路中，沒有一種可歸納的決策模式，但卻顯示出動

⁴⁰ 在這篇文章中總共研究了440家製造商，並以五種的社會資本概念進行研究，商業網路的資產 (assets from business network)，資訊網路(information network)，研發網路(research network)，相關企業互動與關係的社會資本(participation and relational)，認知與互信(cognitive and reciprocal trust)的社會資本。兩階段決策分別為是否投資創新以及對創新投資的程度。

態及多階網路結構的形成，對創新的投資如果沒有成為「被採用(to use)」(Edgerton, 1999)，那對創新活動而言是無效的投資或資本，這類的投資是對應在面對不確定性(uncertainty)而進行的決策(Cunningham, 2009)以及網路自身屬性不明確上(Latour, 2005)。譬如過去在微影技術設備開發中，ASML 公司在 157 奈米設備上所投注的資源即是一例⁴¹。

以圖 6 表示網路結構的階段性變化，原來的網路結構為主要行動者與行動者一、行動者二為範疇，當行動者三為原有網路所動員而加入(enrollment)形成更新的網路結構，按照交易成本理論，減少資訊的搜尋成本與增加交易的頻率將會降低交易成本，如果將經濟面類推為互動關係，則可以說是由於外部橋接轉化為內部鍵結之後，互動頻率增加，造成包括經濟面與社會結構面互動成本⁴²的下降。

如同第二章中所回顧的行動者網路理論，如何辨別出主要行動者以及網路邊界是重要的，再來是利益是否可以轉譯為共同的驅動因素，創新網路的資本是否越過必要超越點。此處所使用的利益，不僅是在經濟面上，也包括法律規範(legal limitations)或願景驅動，當然也不見得創新網路動態變化一直是快速的，當網路結構越大，行動者越多，就越是有多階段變化的現象，而變化也可能是遲滯或停頓。

5.2 社會資本與創新網路

過去在社會資本形成上，有兩種動態類型被提出：由 P. S. Adler 與 S. Kwon 提出的鍵結(bonding)與橋接(bridging) (Adler & Kwon, 2002)，這在進一步以網路界

⁴¹ 這是來自於對 ASML 公司內部對 2000-2003 年，157 奈米微影設備開發小組的訪談，他們的研發團隊在浸潤式微影技術的開發初期，公司決定停止 157 奈米微影設備開發後，就將人員重新配置於 193 奈米浸潤式微影設備開發及無光罩微影(maskless)技術上，幾乎所有關於 157 奈米技術的文件、專利、原型設備及若干供應商網路鏈就因為沒被採用而完全變得毫無價值，只有研發團隊的養成。

⁴² 交易成本為經濟資本，由於創新網路的范為，並不涵括全部的社會結構，是故創新網路所牽涉的社會資本，侷限在創新網路結構中互動關係的發生，本文將互動關係的非經濟成本稱為互動成本。

定範疇看待時，則可表達為內部鍵結與外部橋接兩種型態。在橋接此一類型下，社會資本可視為是主要行動者對擴大網路結構的資源訴求，也就是尋求結構洞(structural holes)的連結(Burt, 2002)。如圖 8 中的行動者 3 (Actor 3) 為例，當主要行動者的共同利益揭露夠清楚時，即可透過加入網路或動員而使得網路擴大以及資源增加的目標。在鍵結這一類型下，則是指既存的利益驅動網路中互動關係的強化與建立，由於是動態過程，所謂內部化(internalized)⁴³與未內部化的鑑別是在共同利益是否已建立來判定。

回顧 P. Drucker 所提及創新乃是「增加財富的資源或將現存資源投資在具有將來創造財富上」(Drucker, 1985)，也就是創新必然要重視現存資源與新資源間的連接關係，而這些資源不限囿於以人為中心，而是創新所處的網路結構中，各種資本的總稱。本文以網路資本表達透過交易與互動關係所呈現的動態關係，說明創新網路如何在行動者網路中通過必要超越點與網路資本的比較而呈現全貌。

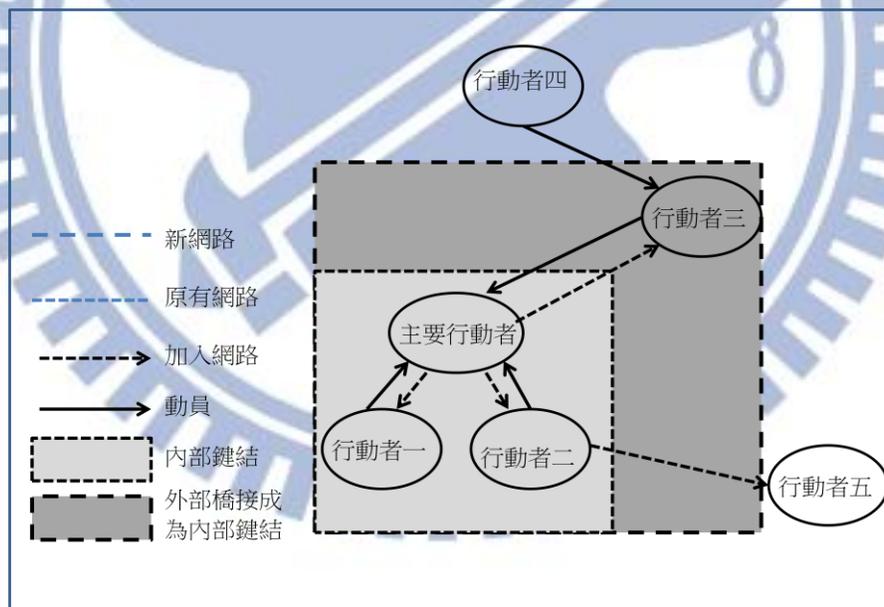


圖 8 從外部橋接(external bridging)到擴大網路範圍成為內部鍵結(Internall bonding)的動態示意

⁴³ 在社會學的研究裡，內部化(internalization)是指一組為成員或團體組織接受規範(norms)的過程，而這樣的規範影響成員的接受與遵守。此處指創新網路中行動者被動加入網路轉變為主動動員的過程。

5.3 創新網路資本 (Innovation Network Capital)

至於創新網路資本的概念可說是從社會資本類推而成，包括有形的與無形的資本，由於限制在創新網路的範圍內，於是必須與社會資本有所區隔，同時表 8 呈現本研究對創新在網路運作與網路資本(Network Capital)關係的分析，這些資本包括有形與無形，雖然沒有疊加性(sub-additive)，是普遍化的社會資本概念但特例應用在創新網路上，針對每一必要超越點都有相對應資本的存在，而其他社會成本則不具創新網路的形成意義。這樣的分析方式供決策者能夠據此而發展資源與配置。

表 8 經濟資本、社會資本與行動者網路的互換形式(Exchangeable Forms)

屬性	經濟交換	社會交換	行動者網路的轉譯 (Actor Network Translation) ⁴⁴
互相交換 (exchange)	交易行為 (transactions)	關係建立(Relationships)	共同利益的轉譯 (Interaction of interest translation)
效用 (Utility) 最大化 (optimization)	交易價值與成本比較 (Gains versus costs of transactions; transaction at a cost)	互動關係與成本比較 (Gains versus costs of relations (relationship at a cost))	行動的互動成本比較，來自評估與評價 (Gains versus costs of interactions)
理性選擇 (Rational choice)	選擇性關係，交易成本下降 (Alternative relations, Transactional cost and its reduction)	選擇性交易行為，互動關係成本下降 (Alternative transactions, Relational cost and its reduction)	混成交易行為與互動行為，與必要超越點 (obligatory passage point) 的比較
中介報酬 (Episodic payoff)	金錢，經濟信用，經濟債權	認同，社會信用，社會負信用	共同利益轉譯，利益驅動網路 (interest-driven interaction)
總合報酬 (Generalized payoff)	財富 (Wealth)	名聲 (Reputation)	網路的有效性與穩定性 (經濟與社會的觀點)
解釋理論 (Explanatory logic)	自然論 (Law of nature) 個體的存續 最大獲益	社會論 (Law of humans) 群體的存續 最小損失	行動者理論 達到網路中必要超越點的判準而存續 (Survival of the network interest matching and meeting the obligatory passage point)

⁴⁴ 這裡我們採用的是林南教授的研究 (Lin 2001) 架構，並予以延伸其對比意義，提出在行動者網路，如創新網路上的利益轉譯形式與屬性，如表 8 的最右一欄。

來源: Lin, 2001 以及本研究整理

如同前述，創新網路資本的計算目的在動態變化過程中要越過必要超越點的門檻，才能使一項創新完成階段性的發展，創新網路結構不一定是無限制擴大，而是最適發展。即使是專精性(niche)創新也是在這樣的計算中選擇所關注的市場。對於創新網路的變化中，創新的採用與否，本研究提出創新網路資本可表示為

$$C_N \equiv f(\text{Max}(C_E), \text{Min}(C_{SO})) \quad (3)$$

其中，

C_N 代表的是創新網路資本，f 代表此一資本為經濟資本與社會資本的組合

$\text{Max}(C_E)$ 代表的是經濟資本追求最大獲益⁴⁵

$\text{Min}(C_{SO})$ 代表的是社會資本追求最小損失

而創新在網路建構階段的存活或隨應用面的市場變化表達為

$$C_{N_i} \geq \text{OPP}_i \quad (4)$$

其中，

C_{N_i} 代表經濟資本與社會資本在內的創新網路資本，包括有形與無形資產

OPP_i 代表的是必要超越點(Obligatory Passage Point)

i 代表的是創新網路中的必要超越點項目

以下將會應用(3) (4)在創新網路的預測會技術前景評估上而提出預測步驟，經濟資本的估算往往與研發管理，生產成本有關，而社會資本則必須考量人力資源，策略決定或偶發性的事件⁴⁶。

⁴⁵ 經濟資本追求最大在一般企業稱之為投資報酬計算(ROI, return of investment)

5.4 次世代微影技術預測方法

本段落提出次世代微影技術與其網路結構的在時序上的對應關係，以利對技術前景的評估與預測，主要的五個步驟如下所示，並表示成圖 9：

(1) 辨別創新網路的型態

- 辨別創新網路的行動者，包括人、企業組織、創新物件、知識系統等。
- 辨別創新網路是屬於共同利益驅動(interest-driven)還是願景驅動(vision-driven)。

(2) 辨別創新網路的結構

- 辨別出主要行動者，以及與其他行動者的介面關係。
- 辨別創新網路的現存階段，包括提出問題陳述(Problematization)、徵集加入網路(Enrollment)、動員(Mobilization)及反對(dissidence)。

(3) 辨別創新網路的資本形態與資源配置

- 辨別創新網路的資本類型與來源。
- 辨別共同利益的必要超越點(OPP， obligatory passage point)。
- 辨別外部橋接與內部鍵結所呈現的資本形成。

(4) 辨別創新網路距離必要超越點的差距

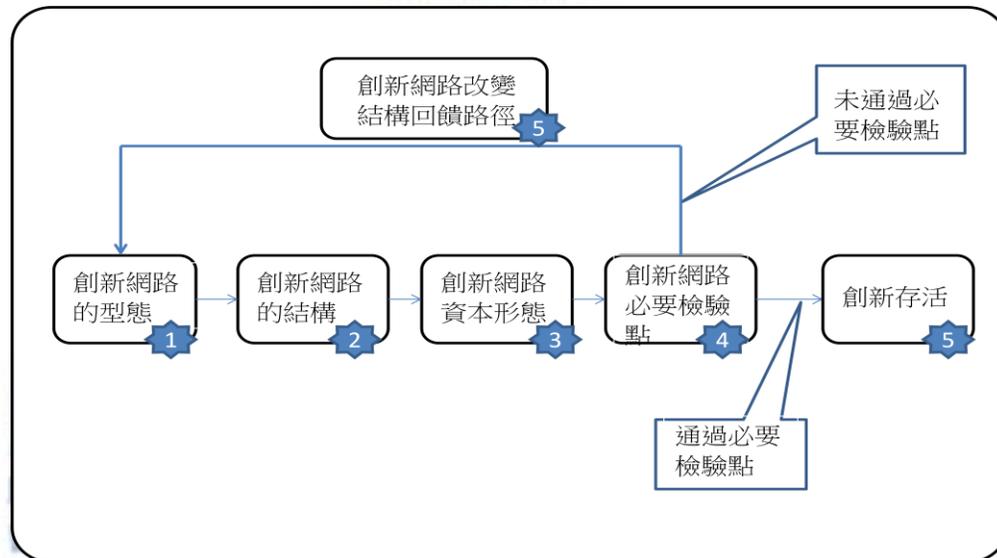
- 辨別創新網路因應共同利益轉譯而可能發生的改變與型塑。
- 評估並準備與執行策略行動。

(5) 評估是否通過創新網路必要超越點

- 如果通過必要超越點則創新被接受。
- 如果未能通過必要超越點則創新活動失敗並放棄，或創新網路必須改變結構(Reform)重新評估策略行動的設計與執行 依據對應模型的階段而採取對策。

⁴⁶ 社會資本意味著其他足以影響創新網路的外部條件，如金融海嘯，環境評估，政府法令等。

現今次世代微影技術的創新網路結構，以及其所對應的必要超越點條件整理如下：(1)創新網路是否建構。(2)網路結構中，行動網路的資本結構是否建立。(3)元件圖案可行性：對焦景深(Depth Of Focus)及解析度(resolution)以及疊對能力(overlay)。(4)生產成本(Acceptable Cost of Ownership)⁴⁷是否可被接受：包括產出率(throughput)與整體生產成本的估算(Seidel, 2009)。



來源:本研究

圖 9 辨別創新網路結構與應用於預測的方法

⁴⁷ 這些成本計算的研究可參酌 Seidel, P. (2009), Lithography Cost of Ownership, in *EUV Lithography*, edited by V. Bakshi, SPIE Press, Bellingham, Washington, 585-641. 諸如此類的估算是半導體產業中對特定技術在技術可行性上的估算依據。

六、結果與討論

本段落提供兩種最被看好的次世代微影技術依照前述創新網路架構，就目前進程，在行動者網路，銘刻，資本形態與創新網路結構中的必要超越點，提供分析的結果，製作成表 9 與表 10。

6.1 次世代微影技術的技術前景評估(technology assessment)與預測

表 9 超紫外光微影技術的創新網路分析⁴⁸

時期	行動者	行動	銘刻 (Inscription)	資本形態	通過必要超越點
早期發展：1981-1996	實驗室，研究者與設備需求	外部橋接	專利；研究文獻 ⁴⁹	經濟資本支出在超紫外光微影技術上幾乎沒有回收，反倒是在其他專案發展上有所助益。網路資本呈現增加來自人力資源投入。	是，初期網路建構，願景驅動
EUV LLC 時期：1996-2003	Intel 及 VNL 的成員，研討會，會議及研發專案	外部橋接 內部鍵結 動員 (Mobilization)	專利，人力資源	屬於願景驅動網路(Vision-driven network)，創新網路資本增加並有一部分社會資本轉移至下一時期。	是，初期資本結構
開發時期 2003-2009	ASML 公司	內部鍵結	原型生產設備，供應鏈	第五代創新模型，所有的連結關係是緊密地，大部分網路資本由 EUV LLC 轉移。	是，資本結構累增並擴大，通過元件圖案可行性
商業化生產設備 2010--	ASML 公司與六家主要的 IC 製造商 ⁵⁰ 設備，製程結果，工程團隊與能力	產品開發的 內部鍵結 與聯盟或廠商之間的外部橋接	準生產設備	內部管理係第四代研發管理模式，創新網路之資本取決於經濟資本導向(投資與財務支持)以及社會資本(創新研發團隊的工程能力與效率性)。	尚未通過生產成本的檢驗點，故尚未能夠大量商用

⁴⁸ 此表係整理以現今 ASML 公司的 EUV 設備為主。

⁴⁹ 有四個主要的技術發展，其中有一部分對後來的檢測技術(metrology)在創新上有很大幫助。

⁵⁰ 透過內部訪談以及公司新聞，ASML 公司在 2012 之前至少已經有六台生產用的紫外光微影技術設備送到客戶端進行生產驗證。這其中包括原先全力支持多電子束微影設備發展的台積電。

表 10 多重電子束微影技術的創新網路分析

時期	行動者	行動	銘刻	資本形態	通過必要超越點
早期發展： 1998-2000	多重電子束概念驗證	提出問題	專利，研究論文	願景驅動，經濟資本與初期的人力資本。	是
企業創立 (Incorporation)： 2000-2006	新創企業，技術文件，專利，智慧財產權，微影設備，製程文件	內部鍵結多於外部橋接，自發性的共同利益與徵集	專利與研究論文，工程設計	一則以願景驅動，一則以共同利益驅動。創新網路之資本為經濟資本投資，逐漸累積社會資本呈現為內部人力資本以及外部與台積電的互動成本。	是，初期資本建構，但網路結構限制於與台積電的互動
開發時期： 2006-2008	主要合作者，原型機與其對應的技術產出	內部鍵結外部橋接動員階段	原型機設備	透過 SPIE 的技術論文發表以及公司新聞發布達到外部橋接的行動。與台積電的共同開發得到經濟資本與人力資本，視之為內部鍵結。	是，通過元件圖案可行性
商用生產設備的開發： 2009 之後	IC 製造商--主要行動者的生產成本，主要的供應商，其他微影設備技術	外部橋接與內部鍵結其他技術的對抗	準生產設備	內部創新管理為第四代管理模式。整體創新網路資本仰賴經濟資本的支持，其他資本為持續增進工程能力達到技術被採用的必要超越點。	尚未通過生產成本要求之檢驗點

迄今 ASML 已經有至少六台超紫外光設備在 IC 製造商端安裝，而 Mapper 公司的多重電子束設備也有生產用原型機在台積電內安裝，表示這兩種技術都已經通過了數個必要超越點，包括元件圖案可行性最重要的解析度與疊對能力。

依照表 9 與表 10 的比較，正如 B. J. Lin⁵¹ 也指出兩項可能的候選技術經過不同時間長度的創新網路結構發展之後，雙雙來到最後一個必要超越點--達到半導體生產的量產要求。B. J. Lin 提到次世代微影技術(NGL)的要求將會是：設備的尺寸大小(footprint)、固定資本支出(capital investment)及每一次曝光的成本(cost/per

⁵¹ B. J. Lin 為林本堅博士，時任台積電資深研發副總，在微影技術領域有超過 30 年的實務經驗，他不但是前一次世代微影技術—浸潤式微影技術的催生者，還是次世代微影技術的採用者。

layer)⁵²(Lin, 2007(a); Lin, 2009)。但是似乎現階段的幾個候選技術，都尚未達到必要超越點的要求而被採用。殷鑑不遠，157 奈米技術隱沒在 193 奈米浸潤式微影技術的光亮背後便是在最後這一項生產成本的必要超越點。

從表 9 以及表 10 可以看出，兩項主要的 NGL 創新網路的資本累積方式與過程雖然步調並不盡相同，但是主要的複現結構只是順序有些調整。EUVL 所投入的經濟資本遠大於 MEB，但兩者在目前都是準生產設備，ASML 公司在 EUVL 投注數十倍的支出，將 EUVL 原型設備擴大到至少六處加速終端使用的驗證，這經歷了從被動徵集到主動動員的階段，而 Mapper 的 MEB 也經歷創新的網路支持，擴大資本階段，但目前只有兩處進行生產驗證。從單一的必要超越點來看：生產成本 (Cost of Ownership, CoO)。B. J. Lin 表示，EUVL 就像是組裝一台 747 噴射機，速度很快但是還要有基礎建設，如飛機場的建構一樣地耗費大量經濟成本，EUVL 最被詬病的問題，一是無法下降生產成本通過檢驗點，另一點是生產效能也不佳，即便是微影設備商中最能降低生產成本的 ASML 也沒能再有進展，誇張一點說，一個工廠可能要搭配一個核能電廠才能供應所需的高成本需求。反過來說，MAPPER 公司的 MEB 相對就像直升機一樣，空間尺寸與耗電量需求都相對 EUVL 為低(Lin, 2007)。如果兩種技術所達到的製程要求(必要超越點之一)相當，那 EUVL 顯見在生產成本方面沒有優勢。包括台積電在內的六個 IC 製造商因製程世代的演進與需求，都在 2011 年開始採用 EUVL 作為下一世代製程開發，但是台積電同時投入 EUVL 與仍保有 MEB 技術開發。

特別注意到一點顯示 Mapper 公司在 MEB 的生產效能提升上的急切，有四篇相同名字的技术論文發表都稱為“MAPPER: high-throughput maskless lithography”⁵³，作者也都是 M. J. Wieland, G. de Boer and G. F. ten Berge, et al.。像這樣的論文可視

⁵² 計算的方法可參酌 *Guide to Calculate Cost of Ownership (CoO) Metrics for Semiconductor Manufacturing Equipment*, SEMI E35-0305, Semiconductor Industry Association (SIA), San Jose, CA.

⁵³ 這四篇技術論文分別投稿在 Proc. SPIE 7637(2010), Proc. SPIE 6921(2008), Proc. SPIE 7271(2009) 與 Proc. SPIE 7470(2009)，論文題目採相同名字是少見的，有如分段的新聞報導或把論文當作是產品規格的宣傳。

之為策略行動，可作為追蹤 MEB 逼近必要超越點的事實根據，論文題目中兩個關鍵字更明顯地顯示出與其他微影技術的區隔，高生產率(high-throughput)及無光罩(Maskless)。要提升生產效能必須要有更多的經濟資本投入工程設計改善，而無光罩則是一項突破性的創新，如破壞性創新理論的核心所述，要有一家新企業比較沒有兩種創新技術管理上的資源分配問題，也因此相對於 EUVL，創新網路的資本較少，也比較少外部橋接，這可能是由於經濟資本的短缺以及與台積電共同開發的限制使然。

預測次世代微影技術初期是以願景驅動網路(vision-driven network)，再繼之以共同利益驅動網路(interest driven network)，於是當創新網路結構進入動員(Mobilisation)階段並有相對小的反對(Dissidence)則此一創新存續的機會大增，似乎也有擴大網路加速進行的現象，比如當初 157 奈米技術的快速退出。目前 EUVL 與 MEB 似乎同時在相同階段，創新網路發展到達：商業化生產設備發展中。這似乎也說明為何 Mapper 公司積極地要擴大與外部的橋接行動。

另一方面，ASML 的 EUVL 由於過去持續創新的成功經驗而試圖將 EUVL 的發展透過已經內化的產品發展程序(Product Develop Process, PDP, 是一套目標導向的研發管理)而提升 EUVL 的生產效能，但是可見的瓶頸在幾個關鍵模組的改進速度不如預期。EUVL 似乎已經完成動員階段，但面臨通過必要超越點的延遲，而 Mapper 的 MEB 卻不斷透過網路擴大的動作，技術文章與商業宣傳徵集(enrollment)更多行動者加入，特別是要引進經濟資本的動作。

就在台積電宣布考慮採用 ASML EUVL 技術作為研發選項之一時，Mapper 也透過公司新聞稿方式指出在台積電的製程進展有良好的發展⁵⁴，這也顯示台積電在足夠的經濟資本下，可以成為創新網路的主要行動者而設定必要超越點，並且對不論哪一項次世代微影技術的採用都不至於缺席，無論哪一種技術可以存續成為次世

⁵⁴ Mapper 公司網站所揭露，February 19, 2010: “TSMC and MAPPER Reached Joint Development Milestone”, <http://www.mapperlithography.com/press-en-2010.html#20100219>

代微影技術，對於這兩項技術的創新網路發展歷程，台積電長期關注在研發的投資上，使得知識在地化(localization)--與全域化(globalization)已經相當將資源與創新緊密結合成為創新網路的新特徵。

表 1112 微影技術演進的預測

技術演進	採用	應用元件尺寸	市場佔有高峰	採用與否關鍵原因
接觸式 (Contact)	1962	7 微米	無	產出率慢
近接式 (Proximity)	1972	3 微米	1973	微影設備第一代生產工具，技術推力市場拉力
投影式 (Projection)	1973	2 微米	1977	解析度，疊對能力，產出率
電子束 (E-beam)	1976	0.5 微米	從未大量商用	解析度與疊對能力佳，產出率慢，設備成本與搭配生產技術成本高
X 光(X-ray)	1978	0.3 微米	從未大量商用	解析度與疊對能力佳，產出率慢，設備成本與搭配生產技術成本高
G 光源(G-line)	1978	1.25 微米	1982	波長 436 奈米，解析度與疊對能力次佳，產出率高，設備成本與搭配生產技術成本相對電子束與 X 光低
I 光源(I-line)	1985	0.80 微米	1991	波長 365 奈米，解析度與疊對能力較 G-line 佳，產出率高，設備成本與搭配生產技術成本相對 G-line 低
248 奈米深紫外光 (Deep UV KrF)	1986	0.45 微米	1998	波長 248 奈米，解析度與疊對能力較 I-line 佳，產出率逐漸提升，滿足市場拉力製程需求
193 奈米深紫外光 (Deep UV ArF)	1996	0.13 微米-45 奈米	2006 後一直維持高峰	波長 193 奈米，解析度與疊對能力，產出率逐漸提升，滿足市場拉力製程需求
157 奈米深紫外光 (Deep UV F2)	1998	90 奈米	從未大量商用	波長 157 奈米，解析度與疊對能力，滿足市場拉力製程需求，但設備成本與搭配生產技術成本相對高
193 奈米深紫外光浸潤式設備	2005	45 奈米以下	最先進製程可達 20 奈米	波長 193 奈米，等效波長 134 奈米。解析度與疊對能力，滿足市場拉力製程需求，設備成本與搭配生產技術成本相對 157 奈米低，搭配雙圖案技術可擴充至 20 奈米左右製程
EUVL 超紫外光微影技術(預測)	2014-2015	16 奈米以下	尚未進入商用階段	波長 13.5 奈米，解析度與疊對能力，產出率與晶圓曝光成本需求皆可達到市場需求
MEB 多重電子束微影技術	2014-2015	16 奈米以下	尚未進入商用階段	波長比光學微影波長短，產出率與晶圓曝光成本需求皆必須達到市場需求

如表 11 所示，EUVL 與 MEB 兩項創新與之前的微影技術發展的比較，兩項技術的發展，都到了最後商用設備的被採用階段—亦即創新替代的進程，之後會進入擴散期。但如同 Intel 公司提出的，有可能兩項技術將形成混搭，應用在不同的元件製造上，這樣二元的組合也是一種合理的發展。

6.2 其他選項

回顧摩爾定律所帶來的願景及之後成為半導體產業技術發展的方向，值得注意的不僅僅是如何對應定律中所出現的數據吻合條件，還包括影響到創新網路中的驅動力。證諸過去的實務經驗，改變晶圓尺寸在成本降低這一必要超越點上是有驚人的效益⁵⁵，目今已經相當成熟的十二吋晶圓，在 1990 年代末期之後，以兩到三年左右的時間逐步替代八吋晶圓的產出。雖然固定資本的投入也增加 3.5 到 4 倍⁵⁶，但在同樣生產程序下，產出量倍增，成本下降效益也遞增，不僅是高階的邏輯元件，要求整合度高的通信晶片，對元件積密度要求甚高的動態記憶體(DRAM)產業尤其重要。

於是乎自然而然地，十八吋晶圓(直徑 450mm 的晶圓)便不斷地被提及，主要原因之一也是 SEMATECH 對已經形成的半導體產業網路不斷地行銷這一概念。在前述 EUVL 與 MEB 兩種技術都尚未進入生產驗證可行的最重要必要超越點時，或許利用十八吋晶圓所帶來的成本效益將可以當作緩衝，給上述兩種微影技術多一點成熟的時間—或者另一項具有破壞性創新特徵的技術崛起，如 KLA-TENCOR 公司力推的反射式電子束微影技術(REBL, Reflective Electron Beam Lithography)，奈米微壓印技術(NIL, Nanoimprints)或分子微壓印技術(MII, Molecular Imprints)。

⁵⁵ 八吋晶圓與十二吋晶圓以及十八吋晶圓的面積比約是 1:2.25:5。

⁵⁶ 訪談資料顯示相同的晶圓數目產出所需要的固定資本額估算，必須是生產規模以及後續單位晶圓生產成本而有更仔細比較。

十八吋晶圓的製造也該視為一種創新網路，而這網路結構的主要行動者是技術推力與市場拉力並存，原先十二吋晶圓製造的網路結構將先在十八吋晶圓製程技術未成熟時，對其網路架構的建立提供相當快的主導地位，因為經濟資本支出與數個主要的製造設備供應商投入的意願將左右十八吋晶圓創新網路的架構速度，而後那之間會有許多行動以便能夠一一超越必要超越點，這種情況之下短時間內，或許次世代微影技術的成熟與否呈現加乘效果或者因此延遲數年之後因而不重要的話，那麼上述兩種次世代微影技術是否真的會成功還很難說，歸納有三個主要的原因：(1)目前 193 奈米微影技術加上浸潤式微影，雙重圖案曝光已經有良好的成本控制。多重圖案曝光方式的成本學習曲線可能比次世代微影技術成本下降速度來得快。(2) 縮小元件尺寸的效益，特別是高投資的微影設備，不及以十八吋晶圓為生產標準來的高，則會造成十八吋晶圓微影設備的規格會持續現金的基礎而開發，次世代微影技術因而延遲，其他技術興起。(3)兩次金融危機對市場需求所造成的遲緩效應。

根據估計，十八吋晶圓廠的總開發將可能高達六千億美金，經濟資本將是一項重要議題，由台積電，Intel 與三星，IBM，東芝(Toshiba)，Global Foundry 所共同投資的 Global 450 Consortium 將會共同分擔經濟資本的部分而建構其他創新網路資本。這一創新網路(聯盟)的運作，將是次世代微影技術既想置身其中又擔憂加速被淘汰的兩難環境⁵⁷。

⁵⁷ 微影技術開發的技術門檻之高，使得包括 Intel，台積電與三星在內的三家廠商，在 2012 年第二季起對 ASML 公司進行高達 25% 資本額投資的決策，顯見此一創新網路的動態變化必然有其深遠意義。

七、結論

誠如本研究一開始所引用 D. Edgerton 所指出的，應用於經濟面與社會結構的動機才是發明與創新被採用的主要原因，單獨地發明或創新很少導致應用出現，而是應用導引了發明與創新的實現。也就是說，一項創新在萌芽的初期階段，可能是一項新技術，新的商業模式，新社群結構運作，總是基於經濟面與社會結構在應用上而有的變革，而隨著經濟面與社會結構的逐步變化，最終被採用或是揚棄。對於一項創新的預測引導了資源投入的順序與比重，本研究以創新網路進行階段性，系統性的分析，以生命史歷程方式爬梳數項創新在動態變化中，乃著重在創新所在的環境變化與決策行為。此外，因此延伸出是否能夠透過系統性的分析方式達到預測或技術前景評估的目的。

本研究擇定半導體產業中次世代微影技術的發展作為研究標的，與標準化商品發生替代相同之處，在於此類創新也是必須從研發階段到商用階段，如 Wii 與任天堂、Xbox 等遊戲機都是基於相同的開發流程，且無論設計者或終端使用者都是屬於創新網路的一部分，也都是各階段的行動者。略有不同在於採用者並非完全是直接由大眾的消費行為選擇，而是有其範疇性限制，而其限制就是數階段由不同的主要行動者所設定的必要超越點，達到元件製造的階段需求。

本研究最初的設定是試圖對一項投資高達數十億美金的創新為何未被採用進行解釋並找出答案，經過一些嘗試之後，綜觀現存的創新理論，並未能完全解釋——為何浸潤式微影在同樣面對技術開發上的瓶頸，也並不是效能更低的創新，卻能很快地也轉變成持續性創新的外貌以及破壞性創新的實質效用。像微影技術這樣複雜的技術所在多有，牽涉的不僅是科學技術上的不同，還包括整體應用面所涉及的產業結構裡各種決策的進行。

關於創新的預測或評估，在質化與量化上，觀察法是相當重要的基礎。直覺上看，從理論的可行性，到最終商業化與大量採用，似乎創新只是“技術面”的比較，

但一旦將創新置於網路結構之中，就是避免創新僅從技術面而進行評估，造成企業的策略決定流於狹促。本論文透過援引行動者網路理論的分析方式，先以浸潤式微影技術在其創新網路的階段性變化，指明創新被採用係跨越主要行動者在各階段網路變化中所設定的條件，無論願景網路或利益網路的驅動 interest-driven or vision-driven，都是藉著網路資本—交易(transaction)與互動(interaction)--的累積，越過必要超越點，與 157 奈米技術競爭，最終 157 奈米技術完全喊停，此亦技術預測中經常討論的替代問題。可否預測或對技術前景進行適當的評估？同是以微影技術的發展為研究，創新網路理論結合靜態上的 Henderson-Clark 矩陣模型，可更有效分辨出技術面上的必要超越點。

藉著網路中行動者的了解，對行動與各種資本觀察估計，於創新網路中對投資回收或策略制定而進行更進一步的分析，這可透過由交易成本而類推的互動成本，實質地透過各種可能的資本形態與來源，配置的關係說明如何面對各階段動態變化及必須達致的必要超越點，比如說 193 奈米浸潤式微影技術中最終生產成本估算，尋找到適當的技術合作夥伴，以及其他技術面可行性到可應用的要求條件。本研究提議在經濟資本之外，應加上創新網路在各階段變化中，創新網路如何建構的條件，以及作為必要超越點的比較可稱為創新網路資本(Innovation Network Capital)。

辨識創新與其發展的網路結構必須要靠系統化分析得來。這在本研究以訪談，文獻調查，相關文件與援引行動者網路理論時，所謂主要行動者(focal actors)與必要超越點的關係上，也不斷印證社會學理論中強弱連結關係與結構洞的影子，指出創新網路不僅是技術—經濟關係(technical-economic adoption)，還包括社會選擇(sociological adoption)。創新網路的形塑往往是一些重要的策略轉折，比如說 EUV LLC 的成立與結束，許多在創新網路結構中出現的併購、技術移轉等，都是在網路結構中互動下所產生的對應，形成網路從共同利益出發、徵集與動員、出現反對意見等，已經不是單純的以技術觀點、產品或效能甚至單一成本結構分析，而是在網路結構的複雜變化中要如何評估出行動者互動的變化，這在情境分析的預測方法上也可以是更具體的應用工具。

本研究所討論的次世代微影技術發展技術前景與預測，係從 193 奈米浸潤式微影技術應用在 193 奈米技術出現到 2003 年起被採用，並完全替代 157 奈米技術為主要微影技術之後。EUVL 與 MEB 成為次世代微影技術的候選技術，各自發展其創新網路，在投資成本倍增，而技術門檻越高的情況之下，越不能以技術效能作為創新是否被採用的標準。透過分析，兩項技術都已完成創新網路的建構並通過了數個必要超越點。EUVL 相對 MEB 有更多的機會成為生產標準，由於已經有六個使用者採用在生產驗證流程上，整體創新網路資本是相對比較大，也有助於成本下降的經驗曲線成立。但 MEB 具有的特徵，在成本優勢上可能成為破壞性創新，近兩年以來也不斷地擴大創新網路的外部連結來增加自身的網路資本，目前看來，兩項技術都很有可能成功，也都可能成為創新網路發展的模式研究對象。至於混搭或者其他選項也在討論之列。

創新總是面對著不確定性，總是面對風險，能夠有系統性的發展成網路結構，之後這網路結構變化，重塑與完整建立或崩壞，本研究第五章提出對複雜度高，開發時程長的創新，似乎需要以網路結構發展的背景與進程進行階段性的檢驗，直觀上應可理解這不只是個案，而是在許多創新上可見的發展軌跡，有待方法論的完備與更多個案的綜述。總觀而論，本研究的應用範圍應可擴張至其他領域的研究，但特別是在經濟資本與其他資本在必要超越點上對決策的衡量有深入研究的必要性。

Latour 曾指出網路(Network)應該稱為 Worknet (Latour, 2009)，因為行動者網路—本研究認為在創新網路中亦然—網路結構是行動者與行動物不斷地在運作(working)，互動(interacting)，利益轉譯(translating interest)，流動與變化。能夠有效投入資源，掌握創新網路中，因應應用而取得經濟面利益的回報正是創新的意義。

參考文獻

- Abernathy, W. & Clark, K. B. (1985), "Mapping the winds of creative destruction", Research Policy, 14, 3-22.
- Adler, P. S. and Kwon, S. (2002), "Social Capital: Prospects for a New Concept", The Academy of Management Review, 27(1), 17-40.
- Allen, J. P. (2004), "Redefining the network : Enrollment strategies in the PDA industry", Information Technology & People, 17 (2), 171-85.
- Bass, F. M. (1969), "A new product growth model for consumer durables", Management Science, 15 (5), 215-227.
- Bessant, J. & Tidd, J. (2007), Innovation and Entrepreneurship, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex.
- Betz, F. (2003), Managing Technological Innovation : Competitive Advantage from Change, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Bourdieu, P. (1977), Outline of a Theory of Practice, Cambridge Press, Cambridge, UK.
- Bourdieu, P. (1986), "The forms of capital", in Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education, J. Richardson, editor, Greenwood Press, New York, 241-258.
- Bourdieu, P. (1990), The Logic of Practice, Polity Press, Cambridge, UK.
- Bower, J. L. & Christensen, C. M. (1995), "Disruptive Technologies: Catching the Wave", Harvard Business Review, Jan-Feb.
- Brown, K. H. (1995), "SEMATECH and the national technology roadmap: needs and challenges", Proc. SPIE, 2438, 33-7.
- Burt, R. S. (1992), Structural Holes: the social structure of competition, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Callon, M. & Latour, B. (1981), "Unscrewing the Big Leviathan: How Actors Macro-Structure Reality and How Sociologists Help Them to do so" In Knorr-Cetina, K. and Cicourel, A., editors, Advances in social theory and methodology: towards an integration of micro- and macro-sociologies, London: Routledge & Kegan Paul, 277-303.
- Callon, M. & Law, J. (1995), "Agency and the Hybrid Collectif", South Atlantic Quarterly, 94, 481-507.

- Callon, M. (1986(a)), "The Sociology of an Actor-Network: the Case of the Electric Vehicle", in Mapping the dynamics of science and technology, M. Callon, J. Law and A. Rip, eds., Macmillan, Basingstoke, 19-34.
- Callon, M. (1986), "Some elements in a Sociology of Translation: domestication of the scallops and fishermen of St Brieuc Bay", in Power, Action, and Belief, Law, J., editor, Routledge & Kegan Paul, London, 19-34.
- Callon, M. (1987), "Society in the making: the study of technology as a tool for sociological analysis", in The social construction of technological systems: new directions in the sociology and history of technology, Bijker, W., Hughes, T. and Pinch, T., editors, , London: MIT Press, 83-103.
- Callon, M. (1991), "Techno-economic networks and irreversibility", in A Sociology of Monsters: Essays on Power, Technology and Domination, J. Law, editor, Routledge, London, 132-64.
- Callon, M. (1995), "Four models for the Dynamics of Science" in Handbook of science and technology studies, Jasanoff, S., Markle, G., Petersen, J., and Pinch, T., editors, Sage, London, 29-63.
- Callon, M. (1999), "Actor-Network Theory - The Market Test", in Actor Network Theory and After, Law, J. and Hassard, J., eds, Oxford University Press, Oxford.
- Castells, M. (1996), The Rise of the Network Society, Blackwell Publishing, Malden, MA.
- Chou, S. Y., Krauss, P. R., and Renstorm, P. J. (1996), "Imprint Lithography with 25-Nanometer Resolution", Science, 272 (5258), 85-87.
- Christensen, C. M. (1997), The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail, Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Christensen, C. M. (2003), The Innovator's solution: Creating and Sustaining Successful Growth, Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Coase, R. H. (1937), "The Nature of the Firm, *Economica*", New Series, 4(16), 386-405.
- Coleman, J. S. (1988), "Social Capital in the Creation of Human Capital", American Journal of Sociology, 94, 95-120.
- Cooper, B. (1992), "Formal Organization as Representation: Remote Control, Displacement and Abbreviation", in Rethinking organisation: new directions in

- Organizational Theory and Analysis, M. Reed and M. Hughes, eds., Sage, London, 254-72.
- Cunningham, S. W. and T. E. Lei, T. E. (2009), “Decision-making for new technology: A multi-actor, multi-objective method”, Technological Forecasting & Social Change, 76, 26-38.
- Donders, S., et al. (2004), “Bubble Investigation for Immersion Lithography”, International Symposium on Immersion and 157 nm Lithography, held in Vancouver, International SEMATECH, IMEC and Selete.
- Dosi, G. (1988), “Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation”, Journal of Economic Literature, 26 (3), 1120-1171.
- Dosi, G. (1988(a)), “The Nature of the Innovative Process”, in Technical Change and Economic Theories, G. Dosi, C. Freedman, R. Nelson, G. Silverberg, L. Soete, eds., Pinter, London.
- Drucker, P. F. (1985), Innovation and Entrepreneurship: Practice and Principles, Harper and Row, New York.
- Edgerton, D. (1999), “From Innovation to Use: ten (eclectic) theses on the history of technology”, History and technology, 16, 1-26.
- Fay, B. (2002), “Advanced Optical Lithography Development, from UV to EUV”, Microelectronic Engineering, 61-62, 11-24.
- Farrell, C. J. (1993), “A theory of technological progress”, Technological Forecasting and Social Change, 44, 161–178.
- Fisher, J. C., Pry, R. H. (1971), “A simple substitution model for technological change”, Technological Forecasting and Social Change, 2, 75–88.
- Fukami, Y. & Magome, N. (1999), “Projection exposure method and system”, International Patent Application, WO99/49504, PCT/JP99/01262, applied in 1998.
- Fukuyama, F. (1999), “Social Capital and Civil Society”, paper prepared for delivery at the IMF Conference on Second Generation Reforms, IMF Institute and the Fiscal Affairs Department, Washington, D.C. <http://www.imf.org/external/pubs/ft/seminar/1999/reforms/fukuyama.htm>
- Gil, D., et al. (2005), “First Microprocessors with Immersion Lithography”, Proc. SPIE 5754, 119-128.

- Grammig, T. (2003), "Sociotechnical Relations and Development Assistance", Technological Forecasting & Social Change, 70, 501-23.
- Granovetter, M. (1973), "The Strength of Weak Ties", American Journal of Sociology, 78(6), 1360-80.
- Granovetter, M. (1983), "The Strength of Weak ties: A network theory revisited", Sociological Theory, 1, 201-233.
- Granovetter, M. (1983), "The strength of weak ties: a network theory revisited", Sociol. Theory 1, 201–233.
- Granovetter, M. (1985), "Economic Action and Social Structure: the problem of embeddedness", American Journal of Sociology, 91(3), 481-510.
- Gwyn, C, and Wurm, S. (2009), "EUV LLC: An Historical Perspective", in EUV Lithography, edited by V. Bakshi, SPIE Press, Bellingham, Washington, 55-101.
- Hacking, I. (1983), Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Heidegger, M. (1977), "The Question Concerning Technology" in The Question Concerning Technology and Other Essays, Translated by W. Lovitt, , Harper & Row, NewYork.
- Henderson, R. M. (1988), "The Failure of Established Firms in the Face of Technological Change: A Study of the Product Development in the Photolithographic Alignment Equipment Industry", Ph.D Dissertation, Harvard University, MA.
- Henderson, R. M. and Kim, B. C. (1990), "Architectural Innovation: the Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms", Administrative Science Quarterly, 35, 9-30.
- ITRS (1999) Edition, International Technology Roadmap for Semiconductors, Semiconductor Industry Association (SIA), San Jose, CA.
- ITRS (2001) Edition, International Technology Roadmap for Semiconductors, Semiconductor Industry Association (SIA), San Jose, CA.
- ITRS (2003) Edition, International Technology Roadmap for Semiconductors, Semiconductor Industry Association (SIA), San Jose, CA.
<http://www.itrs.net/Links/2003ITRS/Home2003.htm>

- ITRS (2009) Edition, International Technology Roadmap for Semiconductors, Semiconductor Industry Association (SIA), San Jose, CA.
<http://www.itrs.net/Links/2009ITRS/Home2009.htm>
- Kinoshita, H. and Wood, O. (2009), "EUV Lithography: An Historical Perspective", in EUV Lithography, edited by V. Bakshi, SPIE Press, Bellingham, Washington, 1-54.
- Kruit, P. (1998), "High throughput electron lithography with the multiple aperture pixel by pixel enhancement of resolution concept", J. Vac. Sci. Technol. B, 16(6), 3177-3180.
- Kuhn, T. (1962), The Structure of Scientific Revolutions, University of Chicago Press, Chicago.
- Kumar U., Kumar V. (1992), "Technological innovation diffusion: The proliferation of substitution models and easing the user's dilemma", IEEE Transactions on Engineering Management, 39 (2), 158-168.
- Landry, R. J., Amara, N. and Lamari, M. (2002), "Does social capital determine innovation? To what extent?", Technological Forecasting & Social Change, 681-701.
- Latour, B. (1983), "Give me a laboratory and I will raise the world" in Science observed: perspectives on the social study of science, K. Knorr-Cetina and M. Mulkay, eds., Sage, London, 141-70.
- Latour, B. (1986), "The Powers of Association", in J. Law, Power, Action, Belief, editor, Routledge & Kegan Paul, London, 264-80.
- Latour, B. (1987), Science in Action: How to Follow Scientists and engineers through society, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Latour, B. (1988), The pasteurization of France, of science, in Studies in the History and Philosophy of Science, Harvard University Press, London, 145-71.
- Latour, B. (1990) "Postmodern! No, simply a modern! Steps towards an anthropology of science", Studies in the History and Philosophy of Science, 21, 145-71.
- Latour, B. (1991), "Technology is society made durable", In A sociology of monsters: essays on power, technology and domination, J. Law, editor, Routledge, London, 103-30.
- Latour, B. (1991(a)), "The impact of science studies on political philosophy", Science, Technology and Human Values, 16, 3-19.

- Latour, B. (1992), "One more turn after the social turn", in The social dimension of science, M. McMullin, editor, University of Notre Dame Press, Notre Dame, 272-94.
- Latour, B. (1993), We Have Never Been Modern, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Latour, B. (1996), Aramis, or the Love of Technology: Towards a Geography of Heterogeneous Associations, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Latour, B. (2005), Reassembling the Social: an Introduction to Actor-Network-Theory, University Press, NY.
- Law, J. & Callon, M. (1988), "Engineering and Sociology in a Military Aircraft Project: A Network Analysis of Technical Change", Social Problems, 35, 284-97.
- Law, J. (1986), "On the methods of long distance control vessels navigation and the Portuguese route to India", In Power, Action, Belief, J. Law, editor, Routledge & Kegan Paul, London, 234-63.
- Law, J. (1987), "Technology and heterogeneous engineering: The case of Portuguese expansion", in W.E. Bijker, T.P. Hughes, and T.J. Pinch, eds. The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology, MIT Press, Cambridge, MA.
- Law, J. (1987(a)), "The structure of Sociotechnical Engineering: a Review of the New Sociology of Technology", Sociological Review, 35, 404-25.
- Law, J. (1991), "Introduction: Monsters, Machines and Sociotechnical Relations", in A sociology of monsters, J. Law, editor, Routledge, London, 1-24.
- Law, J. (1992), "Notes on the Theory of the Actor-Network: Ordering, Strategy, and Heterogeneity", Systems Practice, 5, 379-93.
- Law, J. (1994), Organizing Modernity, Blackwell, Oxford, 1994.
- Lenz, R. C. (1985), Rates of Adoption Substitution in Technological Change, Technology Future, Austin, TX.
- Levinson, H. J. (2001), Principles of Lithography, SPIE Press, Bellingham, Washington.
- Lilian, G. L., Kolter P., Moorthy K. S. (1992), Marketing Models, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Lin, B. J. (1975), "Deep-uv lithography", J. Vac. Sci. Technol., 12, 1317-20.

- Lin, B. J. (2002), "Semiconductor Foundry, Lithography, and Partners", Proc. SPIE, 4688, 11-24.
- Lin, B. J. (2002(a)), "Drivers, Prospects, and Challenges for Immersion Lithography", 3rd International Symposium on 157 nm Lithography, held in Antwerp, IMEC, International SEMATECH and Selete.
- Lin, B. J. (2006), "Optical lithography-present and future challenges", Comptes Rendus Physique, 7, 858-874.
- Lin, B. J. (2007), "Marching of the microlithography horses: Electron, ion, and photon: Past, present, and future", in Optical Microlithography, edited by Donis G. Flagello, Proc. of SPIE, 6520, 652002, 1-18.
- Lin, B. J. (2007(a)), "Next-Generation Lithography", J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS, 6 (4), 1-2.
- Lin, B. J. (2007(b)), "E-Beam Direct-Write Lithography/Nanoimprint Lithography and Aviation", J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS, 6 (1), 1.
- Lin, B. J. (2009), "Litho/mask strategies for 32-nm half-pitch and beyond: using established and adventurous tools/technologies to improve cost and imaging performance", Proc. SPIE, 7379, 737902, 1-11.
- Lin, B. J. (2010), Optical Lithography, SPIE Press, Bellingham, Washington.
- Lin, N. (2001), Social Capital: A Theory of Social Structure and Action, Cambridge University Press, NY.
- Linton, J. D. (2002), "Forecasting the marketing diffusion of disruptive and discontinuous innovation", IEEE Trans. Eng. Manage., 49 (4), 365-374.
- Linton, J. D. (2004), "Determining demand, supply, and pricing for emerging markets based on disruptive process technologies", Technological Forecasting & Social Change, 71, 105-120.
- Lundgren, A. (1994), Technological innovation and network evolution, Routledge, London.
- Martino, J. P. (1993), Technological Forecasting for Decision Making, McGraw-Hill, New York.
- Michael, M.(1996), Constructing Identities--The Social, the Nonhuman and Change, Sage, London, 1996.

- Moore, G. E. (1965), "Cramming More Components Onto Integrated Circuits", Electronics, 38 (8).
- Moore, G. E. (1975), "Progress in Digital Integrated Electronics, IEEE, IEDM (International Electron Devices Meeting)", IEDM Tech. Digest, 1975, 11-13.
- Moore, G. E. (1991), Crossing the Chasm, HaperCollins, New York.
- Mulkens, J., et al. (2005), "Immersion Lithography Exposure Systems: Today's Capabilities and Tomorrow's Expectations", Proc. SPIE, 5754, 710-724.
- Murdoch, J. (1997), "Inhuman/Nonhuman/Human: Actor-Network Theory and Prospects for a Nondualistic and Symmetrical Perspective on Nature and Society", Environment and Planning D: Society and Space, 15(6), 731-56.
- Nakamura, K. (1996), Lithography, in ULSI Technology, edited by C.Y. Chang and S.M. Sze, Mcgraw-Hill, Singapore.
- Nguyen, K. B. et al. (1996), "Fabrication of MOS devices with extreme ultraviolet lithography", OSA Trends Opt. Photon., 4, 208-11.
- Niosi, J. (1999), "Fourth-generation R&D: from linear models to flexible innovation", Journal of Business Research, 45(2), 111-17.
- Okumura, M., et al. (2006), "Mass Production Level ArF Immersion Exposure Tool", Proc. SPIE, 6154, 61541U.
- Owa, S. & Nagasaka H. (2003), "Immersion lithography; Its Potential Performance and Issue", Proc. SPIE, 5040, 724- 733.
- Owa, S. & Nagasaga, H. (2008), "Immersion lithography: its history, current status, and future prospects", Proc. SPIE, 7140, 714015; doi:10.1117/12.804709
- Owa, S., et al. (2002), "Nikon F2 Exposure Tool, 3rd International Symposium on 157 nm Lithography", held in Antwerp, IMEC, International SEMATECH and Selete (2002), CD-ROM. <http://www.sematech.org/meetings/archives.htm>.
- Porter, A. L., Roper A. T., Mason T. W., Rossini F. A., Banks J. (1991), Forecasting and Management of Technology, Wiley, New York.
- Porter, M. E. (1980), Competitive strategy : techniques for analyzing industries and competitors, Free Press, New York.
- Porter, M. E. (1985), Competitive advantage : creating and sustaining superior performance, Free Press, New York.

- Putnam, R. D. (2000), Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community, Simon and Schuster, New York.
- Robson, K. (1992), "According Numbers as Inscription: Action at a Distance and the Development of Accounting, Accounting", Organizations and Society, 17, 685-708.
- Ronse, K. (2006), Optical lithography-a historical perspective, Comptes Rendus Physique, 7, 844-857.
- Rothwell, R. (1992), "Developments towards the fifth generation model of innovation, Technology Analysis and Strategic Management", Technology Analysis & Strategic Management, 4 (1), 73-75.
- Rothwell, R. (1994), "Towards the Fifth-generation Innovation Process", International Marketing Review, 11(1), 7-31.
- Runyan, W. M. (1982), Life Histories and Psychobiography: Explorations in Theory and Method, Oxford University Press, New York.
- Schumpeter, J. A. (1934), The Theory of Economic Development : An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Schumpeter, J. A. (1942), Capitalism, Socialism, and Democracy, Harper Torch Books, New York.
- Seidel, P. (2009), Lithography Cost of Ownership, in EUV Lithography, edited by V.Bakshi, SPIE Press, Bellingham, Washington, 585-641.
- Sismondo, S. (2003), An Introduction to Science and Technology Studies, Blackwell Publishing, Malden, MA.
- Smith, B. (2002), "Extreme-NA Water Immersion Lithography for 35-65 nm Technology", in 3rd International Symposium on 157nm Lithography, held in Antwerp, IMEC, International SEMATECH and Selete, not presented in the symposium, but a presentation file was included in the distributing CD-ROM.
- Suwa, K. (1998), "Focusing and tilting adjustment system for lithography aligner, manufacturing apparatus or inspection apparatus", United States Patent 5,825,043, filed in 1996.
- Switkes, M. & Rothschild, M. (2001), "Immersion Lithography at 157 nm", J. Vac. Sci. Technol., B 19, 2353-56.

- Switkes, M. & Rothschild, M. (2002), “Resolution Enhancement of 157 nm Lithography by Liquid Immersion”, Proc. SPIE, 4691, 459-65.
- Sze, S. M. (1981), Semiconductor Devices: Physics and Technology, 2nd ed., Wiley, New York.
- Tabarelli, W. & Lobach, E. W. (1982), “Photolithographic method for the manufacture of integrated circuits”, United States Patent 4,346,164, filed in 1980.
- Walsh, S. T. (2004), “Roadmapping a disruptive technology: A case study, the emerging microsystem and top-down nanosystems industry”, Technological Forecasting & Social Change, 71, 161–185.
- Wolf, S. & Tauber, R. N. (1986), Silicon Processing : For the VLSI Era Volume 1- Process Technology, Lattice Press, Santa Ann, CA.
- Wong, A. K. (2001), Resolution Enhancement Techniques in Optical Lithography, SPIE Press, Bellingham, Washington.
- Young, P. (1993), “Technological growth curves, a competition of forecasting models”, Technological Forecasting and Social Change, 44, 375–389.
- Yuan, B., Peng, P. S. B., Wu, S. M. (2012), “Just the Light: Applying Actor Network Theory to Immersion Lithography as an Innovation Network Study”, Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship, 6(3), 51-69.
- 袁建中，彭弼聲，吳勝銘 (2012)，「創新與其網路結構關係：以次世代微影技術發展與技術前景評估為例」，創新與管理，第九卷第四期，85-116 頁。

附錄一 替代與技術擴散

替代與技術擴散⁵⁸

幾乎所有的產業，產品，技術平台都有被替代的危機與認知。當一項新技術可能商品化時，會對原有技術知產品市場與價格產生衝擊，新技術的出現可能有四種可能發生的情況，一對一的替代，市場與技術的區隔(niche)，全新的市場，原有市場的擴大，會牽涉更多的技術互動因素。

Porter 提出競爭策略規劃的五力分析中(Porter, 1980)，指出在替代品或服務的威脅中，替代的意義在於以下幾種：一種產品以同樣的功能替代另一種產品；客戶不再需要某一種功能，因而停止採購；降低對某一功能產品的使用頻率；二手的、回收的、可修復再用的產品；客戶內部自行生產該產品的功能或進行逆向整合。

Porter 認為如果面臨被替代或市場長期消退(Porter, 1980)，能夠進行的策略包括找出未受替代品影響的新用途，增加特定附加價值以持續鞏固市場有利位置，將供應商拉入防禦陣營，以收割替代死守，取得更多現金流量，鞏固最不受影響的產業區段，選擇進軍替代品的產業。但是這些策略的適用時機，都要從辨識自己的地位開始，可施行的策略如下-- 領先: 獲利仍然不錯的階段; 利基: 有維持需求，減緩衰退，新的應用，仍具報酬能力; 收割: 盡可能增加公司現金流量; 快速脫售: 淨投資金額最大化。

Porter 稍後指出，通常必須注意發生在下列五個領域的替代，分別是相對價格的改變，相對價值的改變，客戶價值觀的改變，移轉成本的改變，替代傾向的改變(Porter, 1985)。

⁵⁸ 這一段摘要大部分內容為本人於 2002 年所撰寫未發表之碩士論文，內文文獻回顧部分有內容經本人同意曾使用於國科會計畫中。

Porter et al.指出技術預測中(Porter et al., 1991), 使用成長曲線法作為市場預測或技術的成效上限是一有效且必要的工具, 甚而, 有 5%-10%的市場被新技術取代之時, 替代過程就已經開始(Fisher and Pry, 1971)。

所謂技術擴散的研究, 則經常與替代並提, 所謂替代, 一般指的總稱整個過程以及其對象, 所謂替代者與被替代者, 但是有可能一項新的技術的興起, 並沒有被替代者, 卻仍有擴散的行為發生。而所謂擴散, 則是試圖說明市場佔有率增長速度或技術影響力為主要內容, 當中必須考量影響擴散的動力因素。由於擴散的研究多是基於成長性質的描述開始, 以下即為成長曲線的發展回顧。

成長曲線的發展回顧

十八世紀, Malthus 就以人口增加呈指數型成長(Malthus, 1798), 成為以數學方程式討論人口成長模式及預測的範例。但是由於現實的情況乃是資源有限, 人口不可能無限制成長, Verhülst 指出因應資源限制的人口成長應該有一上限制, 這個表達式稍後由 Peral 與 Reed 也提出, 故也稱為 Verhülst-Peral-Reed 曲線, 一般也稱為成長曲線或 S 型曲線, 羅吉斯曲線(logistic, 意思是以對數作為縱軸)。另外一種著名的模型是由 Gompertz 採用另一種表達方式(Porter et al., 1991), 稱為漸近線模型(asymptotic models)。這些模型之所以被認為有效, 除了使用方便, 在處理數據過程, 可以掌握線性化的特徵, 同時透過曲線適配(curve fitting), 在許多實證中都有良好的解釋能力, 其次, 後繼的研究者也透過更深入的研究, 豐富了此類模型解釋的能力。

成長曲線

使用數學模型來表示成長這個概念是由 Malthus 提出, 以方程式表示之:

$$dx/dt = cx \tag{1}$$

可解出

$$x(t) = x_0 e^t \quad (2)$$

其中，

x 代表人口總數，

x_0 代表人口總數在 $t = 0$ 時的初值，

dx/dt 代表人口數目隨時間的變化率，

α 是一個代表生長速率的常數

事實上，上式(2)不可能表示真正的情況，依照上式，則人口將無上限地成長，這與資源有限的事實並不相符。所以，當假設人口增加與糧食的供給需求有關，令

$$\alpha = a(\sigma - \sigma_0) \quad (3)$$

其中，

σ 為當期糧食供給量，

σ_0 為糧食基本需求供給量，

a 為一常數，

則可以討論下列三種情況

- i. $\sigma > \sigma_0$ 時，表示 $\alpha > 0$ ，則人口總數為增加；
- ii. $\sigma = \sigma_0$ 時，表示 $\alpha = 0$ ，則人口總數為持平；
- iii. $\sigma < \sigma_0$ 時，表示 $\alpha < 0$ ，則人口總數為減少。

再進一步討論，令

$$\alpha = a(\sigma - \sigma_0) = c(\eta - x) \quad (4)$$

其中， c 是一個大於 0 的常數， η 也是一個大於 0 的數

則(1)成為

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = c\eta x - cx^2 \quad (5)$$

其中， cx^2 一項在人口統計研究上被稱為社會現象或者社會摩擦力，而在技術發展上可以視為進入障礙。

Verhülst 的敘述為

$$dx/dt = ax(K-x)/K \quad (6)$$

其中，

K 代表的意思是某一狀態下的人口密度。

事實上，這一個表示式與上面的討論是等價的。

Pearl 觀察南瓜以及其他生物群的個數，相對於時間畫出生長曲線，這是一條類似 S 型的曲線，稍後 Reed 也提出相同的說明。一般就被稱為 Verhülst-Pearl 或 Pearl-Reed 曲線，或者合稱為 Verhülst-Pearl-Reed 曲線，也被稱為羅吉斯(Logistic) 曲線。

依照 Pearl 的研究，

$$y = L/(1+ae^{-bt}) \quad (7)$$

其中， L 是指成長的上限，

y 是觀察對象的總數目，

b 是一個生長曲線的常數，

如果解出(7)，不難發現就是式子(6)的解。

Mansfield 提出以一項技術在時間(用以說明資本形成)與採用者的數目(用以說明技術的效能與產出產品的總數)正是這種符合 S 形的成長曲線。

基於以下三個假設，Fisher and Pry 提出了成長曲線的另一種表示方式，分別是假設技術性的進展是視為一個方法在滿足需求的競爭中取代另一種方法，假設自然競爭的原則在競爭狀態下的自然成長行為有其規律性，假設成長率與已達到的成長量與未達到的成長量二者成比例，以數學式表示如下：

$$\frac{df}{dt} = bf(1-f) \quad (8)$$

其中， f 代表市場佔有率 Y/L ，

Y 是現有銷售數，

L 代表銷售知總額上限

b 代表成長的常數， b 值越大，相同時間內，成長速率越大，亦即替代快慢。

整個式子的意義是成長率與以達到的成長量與未達到的成長量二者成比例，利用上述式子說明新技術與原有技術之間的替代情況 Fisher and Pry(1971)指出實證上的研究發現當 5% 的替代發生之後，整個替代過程就開始。予以積分之後，

$$f = \frac{1}{1 + \exp[-b(t-t_0)]} \quad (9)$$

上述式子(8)可以轉為一線性方程式

$$Z = \ln[(1-f)/f] = \ln(c) - bt \quad (10)$$

Gomperty 模型

此模型為由十九世紀數學家 Gompertz 所提出，此模型表示一種函數其成長之對數增加量按一定比例減少。此模型之圖形亦呈現 S 型，實際上由兩條漸近線形成，一是屬上限，另一是下限。此模型之形式為：

$$y = Le^{-b^{-kt}} \quad (11)$$

其中， b 與 k 都是常數。

本模型與上述 Verhülst-Pearl-Reed 曲線非常相似，兩者不同處在於 Compertz 模型的反曲點在 $y=1/e \cong 0.368$ ，於是曲線成為左傾不對稱。而 Verhülst-Pearl-Reed 曲線之反曲點在 $y=0.5$ 附近，是屬於對稱型式。

各種替代與擴散模型

技術的績效表現與其衡量，可以透過市場運作機制，從產品的銷售數量或市場佔有率來作為量化的基準。前節所敘述的成長曲線即是一個良好的運用模型，使用成長曲線說明替代或擴散，主要在找出技術或產品成長相關因素並在模型中予以考量。(Bass, 1969; Floyd, 1968), Sharif and Kabir, 1976; Easingwood et al., 1981; Kumar and Kumar, 1992)，以下回顧幾種較重要的擴散與替代模型：

Fourt and Woodlock 與 Mansfield 認為新技術或新產品的潛在接受者，是受大眾媒體與口碑影響，此二種影響方式也稱為外部影響與內部影響。

內部影響因素模式之 Floyd 模型

此一模型由 Floyd 提出(Floyd, 1968)，

$$df / dt = cf(F - f)^2 / (F - f_c) \quad (12)$$

其中，

f 是消費者在第 t 期採用者的數目變化函數，

F 是最終累加的採用者總數，也就是市場佔有率的上限，

f_c 是替代技術的基本能力，

c 是一項常數。

簡併常數項後成為

$$df / dt = qf(F - f)^2 \quad (13)$$

其中， q 稱為模仿係數，代表受內部影響因素如口碑所引發的擴散。

內部影響模式之 Sharif and Kabir 模型

Sharif and Kabir 提供一個更進一步的式子(Sharif and Kabir, 1976)，

$$df / dt = qf(F - f)^2 / (F(F - f(1 - \sigma))) \quad (14)$$

其中， σ 是介於 0 與 1 之間的常數，可視為對於市場佔有率的預測以及有效的使用期限數值的預測(Kumer et al., 1992)。

注意式子(14)，當 $\sigma=0$ ， $F=1$ 時，就變成 Fisher-Pry 模型， $\sigma=1$ 就成為 Floyd 模型，如果假設 $F=1$ ，則上述式子可以以下列式子表示成為一項通式：

$$df / dt = qf(1 - f)\Phi(f) \quad (15)$$

同時存在內部影響以及外部影響模式

Bass 模型

Bass 提出擴散模型(Bass, 1969)，認為創新產品的擴散過程有五階段，分別是創新者，早期採用者，早期大眾，晚期大眾，以及落後者，如果以時間為橫軸，非累加採用者數目為縱軸來看，這條曲現象是一條鐘型曲線，當使用累加採用者總數為縱軸時，這條線看起來就像是成長曲線。除了創新者之外，其他四種也被視為是模仿者，外部影響因素如大眾媒體影響創新者，內部影響因素如口碑影響模仿者。若是用公式來表示的話，Bass 創新擴散模型可以表示如下：

$$df / dt = (pF + qf)(1 - f / F) \quad (16)$$

其中， f 是消費者在第 t 期採用者的數目變化函數，

F 是最終累加的採用者總數，也就是市場佔有率的上限，

p 是創新係數，
 q 是模仿係數。

整體而言，Bass 模型中使用相當少的估計變數而能達成相當不錯的預測效果。Bass 模式及其修正模式常常被使用，作為預測產品擴散的方法，尤其是在零售服務、工業技術、教育、製藥以及耐久性產品等市場，皆試圖以合理表達及解釋創新產品的擴散過程，並且有效達到預測之目的。

由於 Bass 模型是一個非常簡化的擴散模型，所以在一些重要的影響因素都採用盡量簡化的方法來解決，但是在 1970 年代之後，學者相繼的提出質疑，並加以修正。Mahajan et al. 曾以回顧性文章整理原始 Bass 模式中的不合理假設。主要包括：

- i. 創新產品的潛在使用者不隨時間而改變之不合理假設，乃有學者以所得分配，以及戶口成長率，以價格等修正市場潛量函數；
- ii. 擴散過程與其他創新活動無關之假設，目前已有學者提出附屬性擴散模式；
- iii. 創新產品的本質不隨時間而改變，乃有學者提出多代擴散模式，以解決因產品功能、技術替代而影響下一代產品的擴散過程；
- iv. 擴散程序不受行銷策略之影響，此一不合理假設特別吸引行銷學者之注意，特別有許多學者嘗試將各種行銷變數加入模型中，以期更符合實際購買情況，如加入價格變數，及加入廣告支出，或加入通路成長變數；
- v. 每一位使用者只允許購買一單位產品，無重覆購買行為之假設，之後不少學者提出重覆購買之創新擴散模式。

Jeuland 模型

Jeuland(1981)基於兩項假設，採用者對於產品各種特性有不同偏好而進行採

用的，以及這種偏好假設為 gamma 分布(gamma distribution)，進而修正 Bass 模型的形式：

$$df / dt = (pF + qf)(1 - f / F)^{1+r} \quad (17)$$

其中， r 代表採用者對於產品各種特性有不同偏好的 gamma 分布函數

彈性(flexible)模式

Easingwood et al.(1981)提出非對稱性反應模型(Non-Symmetric Responding Logistic model)，

$$df / dt = q(f / F)^{\delta} (F - f) \quad (18)$$

其中， δ 是模仿係數的時變係數， $0 < \delta < 1$ 。

Rogers 認為在一社會體系的成員中，將經由特定通路，伴隨著時間的演進，散播創新的程序，也就是創新者的社群與模仿者的社群不同，模仿者靠口碑影響因素的模仿係數，會隨著時間增長而下降。

稍後，Easingwood et al. 提出與創新係數合併的式子(Easingwood et al.，1983):

$$df / dt = (p + q(f / F)^{\delta})(F - f) \quad (19)$$

其中， p ， q 即為 Bass 模型中的創新係數與模仿係數。

Lotka–Volterra 方程式

Lotka–Volterra 競爭方程式的由來可以追溯到 Lotka 與 Volterra 的研究(Lotka, 1924), 此一方程式是由一組兩個微分方程式所表達, 在一個生態系統中, 有二物種共同競爭固定的資源, 那麼, 可以藉由 Lotka–Volterra 競爭方程式來描述新興物種與原來物種之間, 此消比長的關係式, 這之間包括有寄生系統與共生系統等等生態學上的研究(Colinvaux, 1993)。此一方程式簡化兩個物種之間競爭要因於三參數之間, 使得研究者容易地透過方程式的表達, 而得到直觀上的了解, 包括物種的數目變化與速度。

由於此一方程式為非線性方程式, 故沒有特定解析解(analytic solution)的形式 (Hirsch et al., 1970)。一般採用使用軟體工具來模擬其動態表現。但是在分析的過程中, 採用分歧理論與相平面軌跡法的運用, 有助於在特定條件下, 將此方程式的分析化為更簡單的形式 (Bazykin, 1994)。

Porter et al. (1991)指出 Lotka–Volterra 競爭方程式在所謂利基策略與市場區隔的討論。

過去的研究者使用 Lotka–Volterra 競爭方程式, 大多僅作為技術替代模型中, 替代技術的增長, 如 Bhargava(1989)指出在某些特殊情況下, Lotka–Volterra 競爭方程式與羅吉斯曲線方程式等價, 他並使用時變參數(time-varying parameters)而對 Sharif–Kabir 模型與 NSRL 模型 (Non-Symmetrical Responding Logistic model) (Easingwood et al., 1981) 進行進一步的討論。

Marchetti and Nakicenovic(1991) 將 Lotka–Volterra 方程式簡化為羅吉斯方程式, 並以 1900 到 1920 的能源資料, 包括燃木, 煤, 石油與天然氣的使用量, 對 1920 到 1980 年間的 60 年進行預測, 此一實證的例子顯示預測的結果良好。

Farrell(1993)以 Lotka–Volterra 競爭方程式作為動態規劃時一項有效的工具, 特別是與過往其他研究多屬於長期預測, 他探討了使用數據, 求取參數, 再進一步

的化簡為模式模擬，選擇了罐頭包裝的市場改變，鋼珠原子筆替代自來水筆，尼龍繩替代人造纖維繩等等實證。

Modis(1997)討論 Lotka–Volterra 競爭方程式在技術競爭關係中的六種可能形式，競爭(即本研究所專注之替代模型)，捕食者-被捕食者(predator–prey)，互利共生(mutualism)，共存(commensalisms)，區隔(amensalism)，中立(neutralism)，討論了如何在互動關係中，去取得較有利的競爭優勢。

Pistorius and Utterback(1997)則提出運用 Lotka–Volterra 競爭方程式可以將二元競爭式微三種主要關係純粹競爭(pure competition)，共生(symbiosis)與替代競爭(substitution competition)。

其實 Pistorius and Utterback(1996)就指出透過對於參數符號的正負符號表達就可以理解二元系統中的關係，稍後本研究中，所提及的互動影響係數或者關聯係數，二者皆為加項(正值)時即為純粹共存競爭模式，二者皆為減項時(係數仍然為正值)為替代競爭 predator–prey，一者正一者負時，即符合共生。

至於 Pistorius and Utterback(1995)所提出的，認為可能在 Lotka–Volterra 競爭方程式中會呈現出週期性振盪(oscillatory)，進而會造成混沌現象的討論，事實上這就是非線性系統的特徵之一。本研究尚不討論這樣的系統現象。

Cunningha(1990)指出可以針對 Lotka–Volterra 競爭方程式的簡化來討論，此一方程式的物理意義，並與其他替代模型或擴散模型從線性，指數形式，有限指數型式，羅吉斯曲線型式，以及 Gompertz 模型進行比較。Morris et al.(2003)提出以替代完成時的曲線結果逆推，比較幾種模型適配的條件。

參考文獻

- Bass, F. M. (1969), "A new product growth model for consumer durables", Management Science, 15 (5), 215–227.
- Bazykin, A. (1998), "Nonlinear dynamics of interacting populations", in: A. I. Khibnik, B. Krauskopf (Eds.), World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A, vol. 11, World Scientific, Singapore, River Edge, NJ.
- Bhargava, S. C. (1989), "Generalized Lotka–Volterra equations and the mechanism of technological substitution", Technological Forecasting and Social Change, 35, 319–326.
- Colinvaux, P. (1993), Ecology 2, J. Wiley, New York.
- Cunningham, S. (1990), Application of the Lotka-Volterra Equations to Technology Forecasting, Atlanta: Technology Assessment Center, Georgia Institute of Technology.
- Easingwood, C., Mahajan, V., Muller E. (1981), "A nonsymmetric responding logistic model for forecasting technological substitution", Technological Forecasting and Social Change, 20, 199–213.
- Farrell, C. J. (1993), "A theory of technological progress", Technological Forecasting and Social Change, 44, 161–178.
- Fisher, J. C., Pry, R. H. (1971), "A simple substitution model for technological change", Technological Forecasting and Social Change, 2, 75–88.
- Floyd, A. (1968), "A methodology for trend forecasting of figures of merit", in: J. Bright (Ed.), Technological Forecasting for Industry and Government: Methods and Applications, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 95–109.
- Kumar U., Kumar V. (1992), "Technological innovation diffusion: The proliferation of substitution models and easing the user's dilemma", IEEE Transactions on Engineering Management, 39 (2), 158–168.
- Lotka, A. J. (1924), Elements of physical biology, republished as Elements of mathematical biology, Dover Publications, New York, 1956.
- Malthus, T. R. (1798), An essay on the principle of population, Johnson, London, republished by Cambridge University Press, New York, 1992.

- Marchetti, C. (1991), "Modeling innovation diffusion", in: B. Henry (Ed.), Forecasting Technological Innovation, Eurocources, Technological Innovation; V.1, Kluwer Academic, Dordrecht; Boston, 55–77.
- Modis, T. (1997), "Generic re-engineering of corporations", Technological Forecasting and Social Change, 56, 107–118.
- Morris, S. A., Pratt, D. (2003), "Analysis of Lotka-Volterra competition equations as a technological substitution model", Technological Forecasting & Social Change, 70, 103–133.
- Pistorius, C. W. I., Utterback, J. M. (1995), "The death knell of mature technologies", Technological Forecasting and Social Change, 50, 133–151.
- Pistorius, C. W. I., Utterback, J. M. (1996), "A Lotka–Volterra model for multi-mode technological interaction: Modeling competition, symbiosis, and predator–prey modes", in: Mason, R. M., Lefebure, L. A., Kehalil T. M., (Eds.), Management of Technology V, Proceeding of the Fifth International Conference on Management of Technology (Elsevier Advanced Technology), 27 February–1 March 1996, Miami Florida, USA, 61–70.
- Pistorius, C. W. I., Utterback, J. M. (1997), Multi-mode interaction among technologies, Research Policy, 26, 67–84.
- Porter, A. L., Roper, A. T., Mason, T. W., Rossini, F. A., Banks, J. (1991), Forecasting and Management of Technology, Wiley, New York.
- Porter, M. E. (1980), Competitive strategy : techniques for analyzing industries and competitors, Free Press, New York.
- Porter, M. E. (1985), Competitive advantage : creating and sustaining superior performance, Free Press, New York.
- Sharif, M. N., Kabir, C. (1976), "A generalized model for forecasting technological substitution", Technological Forecasting and Social Change, 8, 353–364.

附錄二 電子束微影技術

多重電子束微影技術

這一段附錄為摘要解釋多重電子束發展的基礎，來自於單電子束技術。

電子束微影(Electron Beam Lithography)與光學微影製程的步驟類似，目的都是將所需的圖形縮小複製到晶片上，差別在於光微影術是利用光源通過光罩上已經設計好的圖案來對晶圓表面的顯影材料進行圖案轉換，電子束微影則是利用能量為數萬電子伏特(eV)的電子束作為曝光源，直接對晶圓表面的顯影材料進行曝光。由於電子的波長比一般光微影製程所使用的光源波長更小，因此能提供更高的解析度。

根據 de Broglie 波動理論，電子的波長僅與加速電壓有關：

$$\lambda_e = h / mv = h / (2qmV)^{1/2} = 12.2 / (V)^{1/2}$$

其中 λ_e 為電子束波長(單位為 10^{-8} 米，也就是 Å)，

h 為普郎克常數， m 是電子質量， q 是電子的電荷， V 表示加速電壓

依照這樣的計算在 10 KV 的加速電壓之下，電子的波長僅為 0.12Å。

電子束微影中應用的方式也有正、負光阻劑(用來曝光或曝電子源的化學藥劑統稱為光阻劑，resist)，光阻劑是一種易受電子束影響的化學材料，在定義圖形前要先均勻塗抹在晶元上。正光阻利用電子轟擊時會破壞其化學鍵的原理，將圖形轉移到在晶圓上，經過顯影處理，即可達到圖案定義；若使用負光阻，則還需要一個反轉圖形的動作，才可得到所需的圖形。

一般的 EBL(Electron Beam Lithography)系統包括以下幾個部分：電子槍(Electron Gun，用來提供電子源)，電磁透鏡(Condenser Lens，用來控制電子束的形

狀及聚焦程度)，以及電腦介面控制軟體。MEB 則是基於類似的原理，將單一電子束擴充到一百零一數甚至一萬三千束。

由於元件製程的線寬逐漸縮小(scale down)，歷來光源波長的縮短是光的繞射現象成為製程上的考量；相形之下，電子的波長遠小於元件線寬的要求，因此沒有這方面的困擾。不過，還有其他因素會影響 EBL 的解析度，例如電子在光阻內的散射，以及球面像差(spherical aberration)、像散像差(astigmatism)及色像差(chromatic aberration)等各種像差，為增進解析度與產出速率需要的大量計算也必須考慮在內。

電子束微影可輕易達成數十至數奈米尺寸的線寬，除了可以用來製作光微影技術所需的光罩(mask)外，還有一獨特的優點：直寫(direct write)，即不需要光罩就能定義圖形，可輕易達到不同的設計的應用，方便研究上用，目前許多新穎的量子元件如量子點、量子線等，大部分都是利用電子束微影製作而成。



自傳與簡歷

本人彭弼聲，生於 1969 年 3 月 9 日，台灣花蓮人。

學歷

- Ph.D., Graduate Institute of Management of Technology, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan, 2013
- IMOT Master Course in Graduate Institute of Management of Technology, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan, 2002-2003
- MBA Course in Graduate Institute of Management of Technology, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan, 1998-2002
- Bachelor of Power Mechanical Engineering, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan, 1987-1991
- Hualien Junior High School, 1984-1987

經歷

- 2010/4- , Senior Applications Technologist, Global Applications, MKS Inc.
- 2007/5-2009/3, Asia Materials Quality Project leader, ASML Center of Excellence Customer, ASML Inc.
- 2003/6- 2007/5, Senior Manager, Collaborated Service Solutions Inc. Ph.D., in Graduate Institute of Management of Technology, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan, 2013
- 1995/9-2003/2, Engineering Center Manager, Senior Technical Training Instructor, Customer Engineer, Applied Materials Taiwan Inc.
- 1994/3-1995/8, Process Engineer, Hexwave Inc.
- 1993/9-1994/3, Process Engineer, ChenTek Inc.
- 1991/7-1993/5, Second Lieutenant, Army Military Service

個人興趣

- Reading : any kind of books, Cooking, Ultra Marathon Running, Mountain Climbing, Music, Writing

個人網路:

<http://mypaper.pchome.com.tw/bee>

<http://www.jognote.com/users/128328>

電子郵件信箱: beepeng.mt92g@g2.nctu.edu.tw