

整合專利家族與主徑路分析探討技術軌跡 —以薄膜太陽能電池為例

INTEGRATING PATENT FAMILY AND MAIN PATH ANALYSIS TO MAP TECHNOLOGICAL TRAJECTORIES - EXAMPLE OF THIN FILM SOLAR CELLS

陳裕隆

朝陽科技大學產業策略發展博士班

陳素芬

朝陽科技大學產業策略發展博士班

陳雪珍

淡江大學管理科學學系兼任助理教授

臺北城市科技大學餐飲管理系兼任助理教授

賴奎魁*

朝陽科技大學企業管理系教授

Yu-Long Chen

*Ph.D. Program, Strategic Development of Taiwan's Industry,
Chaoyang University of Technology*

Sue-Fen Chen

*Ph.D. Program, Strategic Development of Taiwan's Industry,
Chaoyang University of Technology*

Hsueh-Chen Chen

*Adjunct Assistant Professor, Department of Management Sciences,
Tamkang University
Adjunct Assistant Professor, Department of Food and Beverage Management,
Taipei City University of Science and Technology*

Kuei-Kuei Lai

*Professor, Department and Graduate Institute of Business Administration,
Chaoyang University of Technology*

*通訊作者，地址：413310 臺中市霧峰區吉峰東路 168 號，電話：(04)2332-3000 轉 3005
E-mail：laikk.tw@gmail.com

摘要

技術演化是複雜的，技術分析和監控的能力不但能獲得競爭優勢並且能預測未來的技術，有效地識別利基技術的能力是公司的關鍵資產。利用專利資料可以是研究創新發展和技術變革，透過專利引用網絡的主路徑分析可以探索主要的技術路徑。本研究修正主路徑分析中專利家族所造成的路徑偏差，探討不同參數所得出的技術路徑之管理意涵。比較專利家族在太陽能薄膜專利引用網絡中對主路徑分析所得的技術軌跡之影響與變化。結果顯示，透過路徑的修正，可提升技術軌跡路徑之準確率，透過不同參數搜尋關鍵路徑可觀察路徑中之技術創新特質及現象。

關鍵字：主路徑分析、專利家族、技術軌跡、太陽能薄膜技術、專利引用

ABSTRACT

Technology evolution is complicated. With technology analysis and monitoring, companies can not only gain advantages in competition also predict the technology development. Capability of identifying the niche technology is the key asset of a company. Patent information can explore innovative development and technology change. Main path analysis for patent citation network can identify the major technology path. This research modifies the bias caused by patent family as moderator to explore the technology paths of thin film solar cells with different parameters. Results show that accuracy of predicting the technology trajectory increases through modifying path. Key-route search with different parameters can observe the characteristic of technological innovation.

Keywords: Main Path Analysis, Patent Family, Technological Trajectory, Thin Film Solar Cell, Patent Citation

壹、緒論

掌握技術趨勢和發現新興技術領域在經濟快速發展以及不確定性下對政府決策者和公司的管理者來說都非常重要，因此需要監控技術變革，並制定正確和有潛力的方向，使技術發展朝向正確的道路（Kim & Shin, 2018；Kropsu-Vehkaperä, Haapasalo, & Rusanen, 2009；Kuhn, 2012；Robinson, Huang, Guo, & Porter, 2013）。當過去的技術演變成一種或多種現有技術時，技術的監控使我們能夠預測未來的技術（Gwak & Sohn, 2018）。因此分析和監控技術的能力被認為是獲得競爭優勢的關鍵資產（Choi & Park, 2009）。而在過往的文獻中，許多研究者已將專利分析應用在分析軌跡和關鍵技術（Ernst, 2003；Kim & Shin, 2018；Lee & Lee, 2013；Huang, Zhu, Guo, Porter, Zhang, & Zhu, 2016）。

網絡分析建構的專利引用網絡有助於了解專利間整體的關係（Stuart & Podolny, 1996；Yoon & Park, 2004；翁順裕、賴奎魁，2009），專利引用網絡可以分析公司在網絡中的地位，近年來已有很多探討組織在群體中地位的研究採用社會網絡的觀點來做結構性的分析（Cantner & Graf, 2006；Gulati, 1995；Von Wartburg, Teichert, & Rost, 2005；Yoon & Park, 2004）。專利資料包含了對先前專利和科學文獻的引用，它們提供了研究發明與發明者之間的聯繫（Batagelj, Kejžar, Korenjak-Černe, & Zaveršnik, 2006）。引用分析如今已成為識別技術領域的最有效方法之一（Kajikawa, Yoshikawa, Takeda, & Matsushima, 2008；Leydesdorff, 2008；Nicolaisen, 2007）。

Hummon and Dereian（1989）使用專利引用網絡基礎，率先提出主路徑分析（Main Path Analysis, MPA）計量分析方法探討技術技術軌跡。而技術發展的過程會使企業的技術產生知識外溢（Knowledge Spillovers Effects）的現象，透過技術的外部性影響產業內其他的競合廠商，促進產業內技術的進步與演化，無論是發明人的自我引用或是審查員所增加的專利引用，都能使我們瞭解其知識流動的方向（Alcacer & Gittelman, 2006；Roach & Cohen, 2013），能夠幫助我們探討知識的來源與流動軌跡，使我們進一步瞭解技術的脈絡與演化（Cohen, Goto, Nagata, Nelson, & Walsh, 2002）。而技術變革是沿著有序和有選擇的模式發生，這些模式由技術和科學原理以及經濟和其他社會因素共同形成。在歷史上，由於很難逐一檢查大量的專利軌跡（Gwak & Sohn, 2018），因此大多以質性描述性分析這些“軌跡”。根據技術演化的概念，每個專利都隱含著技術知識的零散片段，承載這些知識片段關係的專利引用網絡主路徑則可被視為技術軌跡的主幹，所以，通過識別專利引用網絡的主路徑成為探測技術軌跡研究的重點之一。

在專利家族中，無論是前向引用或是後向引用，美國專利往往是引用最多，而母專利在專利家族內雖不完全擁有最多的引用關係，仍具有可觀的引用數目（Nakamura, Suzuki, Kajikawa, & Osawa, 2015）而過往的文獻，探討專利家族應用在主路徑之研究甚為稀少，然而主路徑中，因為專利家族有大量的家族內引用，會造成其影響力被放大，導致影響路徑權重之計算（Huang et al., 2016），故專利家族是否會造成專利軌跡誤差之影響？如圖 1。

Liu and Lu（2012）提出一個整合性的主路徑分析方法，主張從各個不同的角度觀察主路徑以縱觀全域，討論的主路徑包括區域搜尋（local search）、全區搜尋（global search）、多重搜尋（Multiple search）與關鍵路徑搜尋等。全區搜尋強調整體知識發展的進程，可以了解目前為止技術發展主流的情形，但若技術領域有多個發展主軸時，那關鍵路徑搜尋可填補缺失的技術發展支線。因此而本研究將探討在全區搜尋與關鍵路徑搜尋中，其各自的技術軌跡變化現象為何？本研究以太陽能薄膜技術為例：

探討專利家族對專利引用網絡的技術主路徑之影響程度？

貳、文獻探討

一、專利家族

專利家族是企業為保護相同技術的海外市場或保護現有技術的後續研發的利益專享，會利用優先權鞏固技術研發的權力，避免失去海外市場或後續產品開發的利益。有關於專利家族有狹義與廣義二種，狹義的專利家族指的是同一件專利在不同國家申請的集合，廣義專利家族則是指一件專利及其後續衍生的不同申請案，包括分割案、連續案與部分連續案等均函括在內；亦即同一技術發明揭露後，會因後續所衍生的不同專利申請情況而有不同的保護範圍。因此同一技術創造後續所衍生的其他發明，加上相關專利在其他國家所申請的專利組合，即是廣義的專利家族（賴奎魁、蘇芳霈、郭宗賢，2010）。

由於專利的申請與維護費用極高，因此重要技術企業才會花錢進行全球布局，因此重要的專利會有較大的專利家族，專利家族可預測專利申請數，根據專利家族在各國的專利申請軌跡，用以預測某國家可能的專利申請數；可分析技術市場的國際化，專利家族成員愈多，表示此發明創作可應用的國家愈多，技術市場的國際化程度愈高；

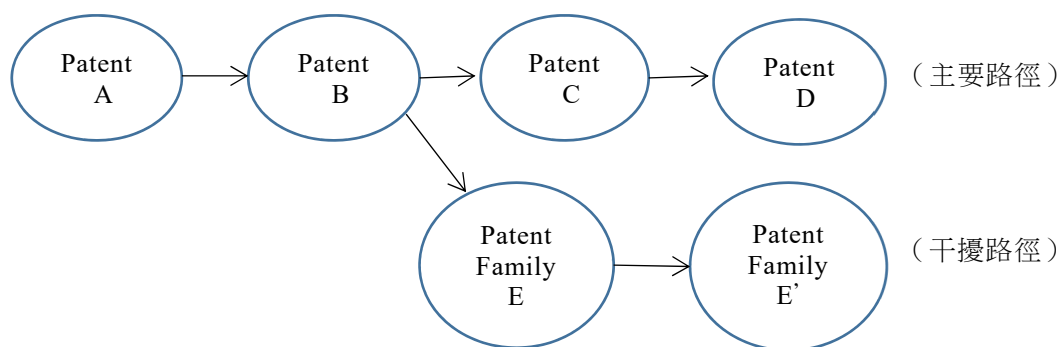


圖 1 路徑軌跡圖

可估計發明創作的價值，專利家族成員愈多，代表此發明創作價值愈高，值得花較多成本在專利申請上。

整併專利家族對專利分析會有以下的影響。1.可避免相同的發明創作被重複計算。2.可避免統計單一國家專利時的本國偏誤，亦即是因申請人偏好優先申請本國專利造成分析上的偏誤。因此本研究將同一家族的專利合併，分析比較專利家族是否會干擾專利引用網絡的主路徑。

二、主路徑分析

透過資訊流量的概念，在複雜的引用網絡中找出最重要的領域發展路徑，從技術演進的角度來看主要技術軌跡 (Dosi, 1982)。因此，Batagelj and Mrvar (2004) 將主路徑演算法應用於專利引用網絡分析，因為專利引用網絡是當時少數可以獲取的大型網絡，社會網絡分析中有很多靜態的分析方法。主路徑演算法利用節點間的流量計算網絡中的重要路徑，由於流量的基礎是引用先前的文件，主路徑可以探討網絡中時間序列關係脈絡的重要方法 (Batagelj, 2003)。Kim and Shin (2018) 則是以高壓直流傳輸技術透過主路徑繪製其技術軌跡。

主路徑分析中計算流量有三種方法：搜尋路徑連接統計值 (Search Path Link Count, SPLC)、搜尋路徑節點對統計值 (Search Path Node Pair, SPNP) (Hummon & Dereian, 1989) 及搜尋路徑數 (Search Path Count, SPC) (Batagelj, 1991)。依照不同的演算法搜尋的主路徑包括區域主路徑 (Local main path)、全區主路徑 (Global main path)、多重主路徑 (Multiple main path)、關鍵主路徑 (Key-Route main path) 等 (Liu & Lu, 2012)。

專利引用網絡是由引用關係所形成的知識流動網絡，利用主路徑分析可以辨識依照時間序列的關鍵技術發展路徑，依照時間排序的專利序列路徑可以研究技術演化，路徑顯示主要的技術之間的知識流動，過去學者藉此辨識燃料電池領域的技術、奈米技術領與電動汽車技術的技術軌跡（Guan & Shi, 2012；Verspagen, 2007）。

三、太陽光電技術

太陽光電技術日新月異，為了讓太陽能轉換效率一再突破，不少科學家將不同的太陽能電池組合在一起，讓不同的太陽光電材料可截長補短，發展各自的優勢（Trend, 2018）。在太陽能技術領域中，太陽能電池可各自分為矽晶太陽能電池與薄膜太陽能電池兩大類型（陳筱琪、陳文良、胡宜中，2014），矽晶體太陽能電池目前擁有超過55%的市場份額。然而 α -Si 受到低效率和光誘導降解的困擾，使得其在地面應用中近乎絕跡（Lee & Ebong, 2017）。薄膜太陽能電池有三種最主要的薄膜太陽能電池技術包括非晶矽（ α -Si），銅銦鎳銻（CIGS）和碲化鎘（CdTe），其主要優勢在於材料使用量最少，效率也相對在提高，對於發展太陽能電池是有利的（Lee & Ebong, 2017）。因此，薄膜太陽能電池其應用與市場雖然不如單多晶矽太陽能電池，但歷經四十餘年的發展，由早期主要應用於消費型電子產品，逐漸到被大量應用於大型發電系統，再加上晶矽原料供應的稀缺，使得薄膜矽太陽能電池其競爭力與市場佔有率在未來數年間皆可望提高（江明政，2008）。而 CIGS 太陽能則是商業化薄膜太陽能電池中轉換效率最高的系統，其成本與使用材料也比傳統矽太陽能更少（Trend, 2018）。薄膜（Thin Film）太陽能光電技術的缺點是轉化率低，而近年來，薄膜的轉換效率研究顯示，美國 First Solar 在薄膜的轉換效率，將碲化鎘（CdTe）元件的轉換率超越多晶矽，達到 18.6%，納米電子、能源和數字技術領域的世界領先的研究和創新中心（簡稱 IMC），展示了頂部鈣鈦礦電池與 CIGS 電池。合作產生組成的串聯電池具有 24.6% 的轉換效率（Trend, 2018）。薄膜太陽能電池種類眾多，主要包含有矽薄膜類：非晶矽（a-Si）、微晶矽（ μ -Si）、堆疊型（a-Si/ μ -Si）等與化合物半導體類：銅銦鎳銻（CIGS）、碲化鎘（CdTe）和二碲化銅銦（CuInSe₂）等（Savadogo, 1998；Yang, Banerjee, Glatfelter, Sugiyama, & Guha, 1997；李雯雯，2008），與新概念的有機染料：染料敏化 DSSC 等（李雯雯，2008）。

參、研究方法

本研究之理念與程序建構，首先針對太陽能薄膜技術領域進行資料蒐集，經由整理後形成專利資料集 Ω_1 ，將 Ω_1 資料集中的引用關係建置成相鄰矩陣 $[\omega_{ij}]_{m \times m}$ 與網絡關係，首先進行主路徑分析，透過計算資訊流量，並將專利家族之自我引用進行整併，了解太陽能薄膜技術之技術軌跡現象與監控，如圖 2。

訂定研究主題與研究問題後，進行專利檢索，以文獻分析彙總後訂定檢索關鍵字，進行檢索與資料整理，形成專利資料集，其進行資料蒐集之流程，如圖 3。

一、階段一：資料收集

步驟 1：定檢索關鍵字

研究對象及專利檢索策略以專家訪談和文獻分析法，通過閱讀太陽能薄膜相關文獻(Savadogo, 1998; Yang, Banerjee, Glatfelter, Sugiyama, & Guha, 1997; 李雯雯, 2008)，得出太陽能薄膜之重要技術名稱，以便訂定專利檢索之關鍵字，如技術名稱（CdTe、CIS 與 CIGS…等）、Thin film 與 Solar cell 並將資料做一整理與歸納整理。

步驟 2：訂定檢索策略

研究對象的專利資料來源主要取自美國專利資料庫。薄膜太陽能電池技術有四項主要發展中的薄膜太陽能技術，如非晶矽、微晶矽、化合物、有機薄膜太陽能。因此，初步以“Thin film”加上各個技術之關鍵字為第一階檢索語法，根據太陽能電池的相關文獻，將“solar cell”、“solar cells”與“photovoltaic”等代表太陽能電池產業之關鍵字進行第二階的檢索語法，其中“solar cell”與“solar cells”經由搜索語法其結果相同，故本研究之檢索語法，如表 1。其中有機薄膜太陽能的染料敏化、小分子與高分子薄膜太陽能的專利數量過少，以及產品及仍未達量產階段，故本研究將不列入討論。

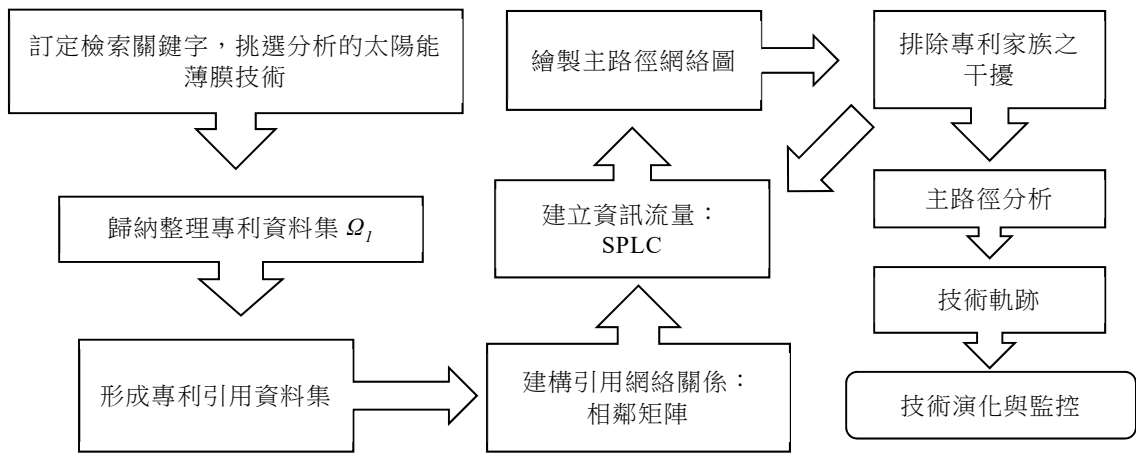


圖 2 研究流程與架構

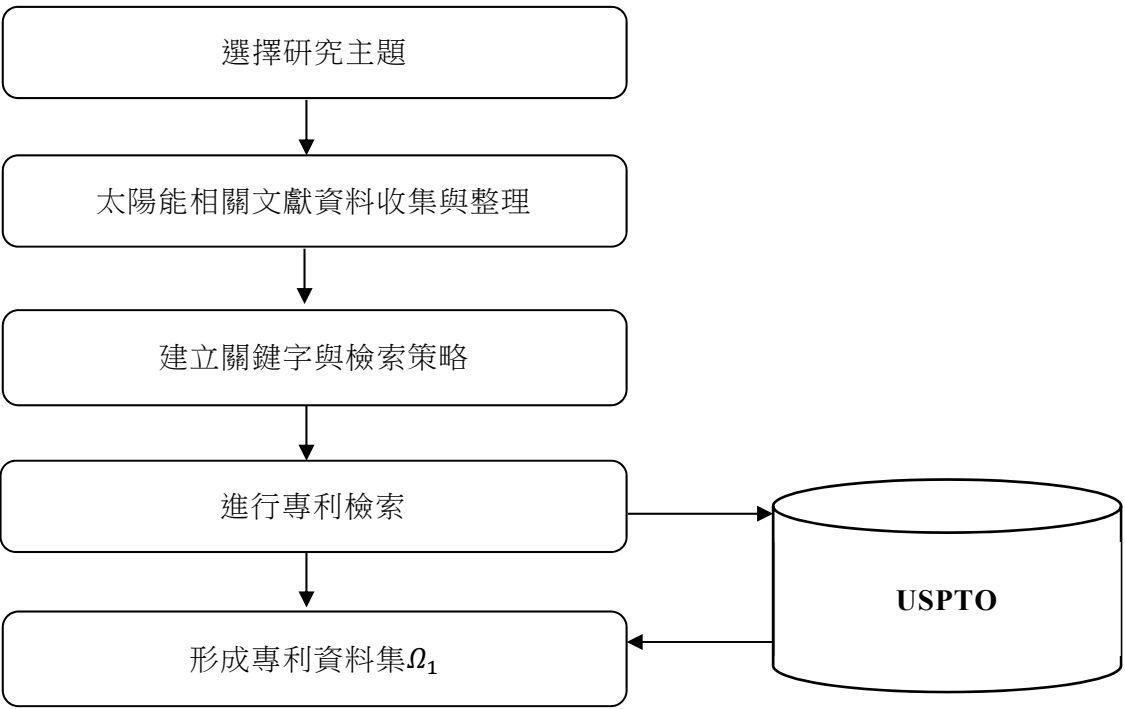


圖 3 檢索流程圖

表 1 關鍵字

Name	Category 1	Category 2	Syntax search in the first stage	Sum of first order patents	Syntax search in the second stage	The sum of second order patent
Thin film solar cell	Amorphous Silicon	a-Si	TAC: ("Thin film") AND TAC: ("a-Si" OR "Amorphous Silicon") (A)	6327	A+B+C	946
		multi-junction	TAC: ("Thin film") AND TAC: ("multi-junction") AND TAC: ("a-Si" OR "Amorphous Silicon") (B)			
		Tandem	TAC: ("Thin film") AND TAC: ("Tandem" OR "Hybrid" OR "Micromorphous") AND TAC: ("a-Si" OR "Amorphous Silicon") (C)			
	Nanocrystalline Silicon	nc-Si/ mc-Si	TAC: ("Thin film") AND TAC: ("nc-Si" OR "Nanocrystalline Silicon" OR "mc-Si" OR "Microcrystalline Silicon")	508	TAC: ("Thin film" AND TAC: ("nc-Si" OR "Nanocrystalline Silicon" OR "mc-Si" OR "Microcrystalline Silicon") + TAC: ("solar cell" OR "photovoltaic")	245
	Thin film compound semiconductor	CdTe	TAC: ("Thin film") AND TAC: ("CdTe" OR "Cadmium telluride") (D)	2490	D+E+F+G+H	1269
		CIGS	TAC: ("Thin film") AND TAC: ("CIGS" OR "Copper-indium-gallium-diselenide" OR "Copper indium gallium diselenide") (E)			
		CIS	TAC: ("Thin film") AND TAC: ("CIS" OR "Copper Indium Disenillide" OR "CuInSe2") (F)			
		GaAs	TAC: ("Thin film") AND TAC: ("GaAs" OR "Gallium arsenide") (G)			
		GaAs Multi-junction	TAC: ("Thin film") AND TAC: ("Multi-junction" OR "Multi junction") AND TAC: ("GaAs" OR "Gallium arsenide") (H)			
	Total			9325		2460

註：TAC 代表，僅針對 TTL、ABST 與 CLMS 項目做檢索

專利資料檢索自 1977 年開始，透過檢索策略得知於太陽能薄膜技術領域間的專利，從 1977-2017 年間，共有 2036 筆專利。將專利資料集整理後，得到以下資料集，如式 (1)：

步驟 3：專利件數之資料集

$$\Omega = \left\{ C_{ijt} \left| \begin{array}{l} \text{第}t\text{時期第}j\text{公司在第}i\text{技術領域所獲得核准專利件數} \\ i=1,2,\dots,k, j=1,2,\dots,n_i, t=1,2,\dots,T \end{array} \right. \right\} \quad (1)$$

二、分析方法

將資料集 Ω 整理出引用關係的專利資料集 Ω_1 ，如式 (2)，經由使用專利引用網絡建構引用網絡關係之相鄰矩陣進行主路徑分析和知識流分析，解析太陽能薄膜相關技術的軌跡，以辨別各技術的影響路徑和太陽能薄膜技術生態的軌跡。

步驟 1：資料集 Ω_1

整理專利資料庫中的引用關係，得到 n 個專利，其中 p 個後向專利與 q 個前向專利，將引用資料經整理後，依據引用的專利數分為以下資料集，如式 (2)。

$$\Omega_1 = \left\{ C_{ijt} \left| \begin{array}{l} \text{在時點}t(\text{年/月/日}), \text{第}i\text{專利引用第}j\text{專利} \\ i=1,2,\dots,p, j=1,2,\dots,q, t=t_1,\dots,t_n \end{array} \right. \right\} \quad (2)$$

式 (2) 中的每一個 C_i 可能含有重複之引用專利，故將重複之專利刪除後得 C'_i ，得出總引用專利數，如式 (3)。

$$\sum_{j=1}^p C'_i = P'_i \quad (3)$$

步驟 2：專利引用資料集

將 C'_i 展開後，得出每筆專利 $P'_i, i'=1,2,\dots,n_1$ 。利用 M-trends 檢索 P'_i 的後向引用專利，得出每個 P'_i 的後向引用專利 P'_{ij} ，共計 p 個，其資料集如式 (4)。

$$\Omega'_1 = \left\{ P'_{ij} \left| \begin{array}{l} \text{第}i\text{個專利後向引用第}j\text{個專利} \\ i=1,2,\dots,n_1, j=1,2,\dots,p \end{array} \right. \right\} \quad (4)$$

將 C'_i 展開後，有前向引用專利之專利共有 n_2 個， $i' = 1, 2, \dots, n_2$ 。再利用 Matheo Patent 檢索 P'_i 的前向引用專利，得出每個 P'_i 的前向引用專利 P'_{il} ，共計 q 個，其資料集如式（5）。

$$\Omega'_1 = \Omega_2 = \left\{ P'_{il} \left| \begin{array}{l} \text{第}i\text{個專利前向引用第}l\text{個專利} \\ i = 1, 2, \dots, n_2, l = 1, 2, \dots, q \end{array} \right. \right\} \quad (5)$$

步驟 3：建構專利間的引用網絡：相鄰矩陣

本研究使用網絡分析，欲建立專利間相互引用之相鄰矩陣，以瞭解專利間之引用關聯。整合式（4）中的 n_1 個後向引用之專利與式（5）的前向引用專利 $l = q$ ，共計引用專利為 $P_2 = n_1 + q$ ；再整合式（5）中 n_2 個前向引用專利與式（4）的後向引用專利 p ，共計被引用專利為 $Q_2 = n_2 + p$ 。因鄰接矩陣為一方陣，故先合併引用與被引用專利 $P_2 + Q_2$ ，扣除同時具有引用和被引用專利數 $G_1 = P_2 \cap Q_2$ ，如圖 4，得出相鄰矩陣 $[\omega_{ij}]_{m_1 \times m_1}$ ， $m_1 = P_2 + Q_2 - G_1$ ，如式（6）。

$$[\omega']_{m_1 \times m_1} = \left\{ \omega' \left| \begin{array}{l} \text{第}i'\text{個專利後向引用第}j'\text{個專利} \\ i' = 1, 2, 3, \dots, m_1 \\ j' = 1, 2, 3, \dots, m_1 \end{array} \right. \right\} \quad (6)$$

三、階段三：太陽能薄膜技術公司之主路徑分析

步驟 1：建立資訊流量

使用式（6）後向引用以衡量公司間資訊流量（Batagelj & Mrvar, 2004），而引用網絡中 $N = (U, R)$ 由節點所集合的 U 以及此集合內節點之間的關係 $R (R \subset i' \times i')$ 所構成，節點 i' 與 j' 為 U 之元素，連結線 (i', j') 表示節點 j' 引用節點 i' 。若行動者是將知識從一個指定的起點（origin）送到指定的終點（destination），對連結線 (i', j') 而言，行動者將所有可能的路線都走一次後，經過連結線 (i', j') 的次數等於 $n(i') \cdot n(j')$ ，其中 $n(i')$ 為從起點到 i' 的所有可能路徑數， $n(j')$ 為從 j' 到終點的所有可能路徑數，以數學式表達如下（Batagelj & Mrvar, 2004；Liu & Lu, 2012）：

$$w_{o \rightarrow d}(i', j') = n^-(i') \cdot n^+(j'), (i', j') \in R \quad (7)$$

其中，

$n^-(i') = \text{No. of paths leaving from the origin to } i'$

$n^+(j') = \text{No. of paths leaving from } j' \text{ to the destination}$

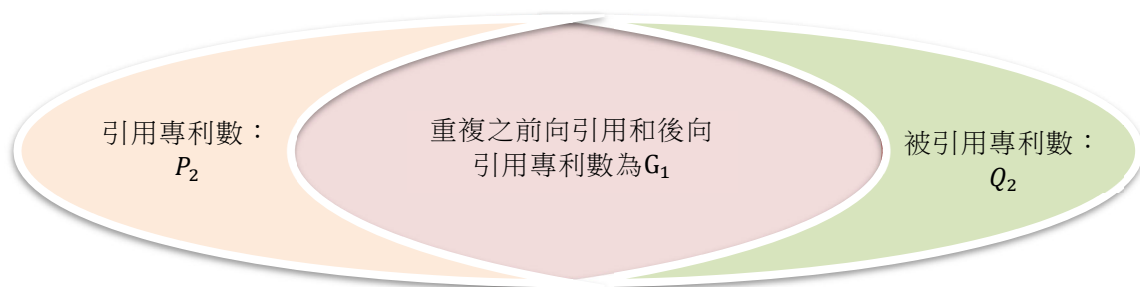


圖4 專利與後向引用專利合併之專利數

相關文獻以式(7)為基礎定義了三種資訊流量，分別搜尋其路徑數、路徑連接統計值和路徑節點對統計值，本研究將採取SPLC，從任何Sources（即沒有引用任何其他專利的專利）到任何Sinks（即未收到任何引用的專利）構建的所有路徑（Bekkers & Martinelli, 2012）。該演算法關注從源點到匯點整條路線的統計，以及統計從該點本身開始的路徑，既關注從源點到匯點的關係，也關注中間專利的貢獻，適合用於專利間關係分析（Lucio-Arias & Leydesdorff, 2008）。而SPLC為假設起點為 i' 以及所有之能延伸到 i' 的行動者，終點為所有的Sinks，亦即將知識從所有 i' 的先前行動者（包括 i' ）送到所有的Sinks的連結，因此連結線（ i', j' ）的資訊流量為所有 i' 的先前行動者（包括 i' ）與所有Sinks可能組合之（ i', j' ）的加總，如下：

$$W_{SPLC}(i', j') = \sum_{all\ combinations\ of\ ancestors\ and\ sinks} w_{o \rightarrow d}(i', j') \quad (8)$$

最後進行專利家族資料篩選，將式(3)專利 P'_i 透過INPADOC進行專利家族之檢索，取公告號最早之專利進行引用，上述自INPADOC檢索得到的專利，會因不同申請狀態而有不同的類別碼（kind code）但皆隸屬於同一筆專利，故對於這些同一號碼但不同類別的專利，取申請日最早者為代表，其餘的刪除（賴奎魁等，2010）。再利用式(8)，分別搜尋路徑數、搜尋路徑連接統計值和搜尋路徑節點對統計值。最後透過全區搜尋與關鍵路徑搜尋瞭解技術的發展軌跡。

肆、技術軌跡之主路徑

全區搜尋是強調整體知識發展的進程，可以了解到目前為止技術發展主流的情形。計算網絡中的所有路徑權值，依照權值高低進行排序。

一、修正專利家族干擾

透過全區搜尋中主要路徑和干擾路徑之比較圖，如圖 5，技術路徑在專利號 7544884 之前之專利皆無變化。專利號 7544884 之後產生一條專利家族所衍生的干擾路徑。圖 5 右下方的六個專利皆為 Stion 公司所擁有，其專利可分別為 2011 年專利號 7955891、7993954 和 7993955 與 2012 年專利號 8088640 此四個專利號皆屬於一個專利家族之專利，皆是在提供一個新的製程將 CIS 和 CIGS 應用薄膜太陽能裝置上，其產品特性可應用在 photovoltaic modules, flexible sheets, building or window glass automotive。而 2014 年專利號 8673675 和 2015 年 9087955 亦為專利家族，其主要透過製程方式，提高 CIS 或 CIGS 薄膜光伏電池的轉換效率。而主要路徑的專利則改變為 2011 年專利號 7955891 用於大規模處理基於 CIS 或 CIGS 的薄膜覆蓋玻璃基板的熱管理和方法。2012 年專利號 8168463 一種製造薄膜光伏器件的方法。該方法包括提供包括吸收層和覆蓋窗口層的襯底。2013 年專利號 8436445 用於處理具有增強的光伏效率的薄膜吸收材料的方法包括在鈉鈣玻璃基板上形成阻擋層，然後形成前體層的堆疊結構。儘管上述三筆專利仍屬於 Stion 公司。但其專利內容與干擾路徑皆為不同，Stion 不論在整併前或整併後依然佔有一席之地，顯示其在技術路徑上之重要性。

最後在整併後的主要技術路徑，我們則是發現新加入的 Precursor Energetics 公司。顯示在修正專利家族後，能將被忽略的公司，導入正確的軌跡路徑上。

全區搜尋中的主要路徑，技術路徑之源點為 1980 年專利號 4207119 的內容主要為使用 polycrystalline CdS and CdTe 應用在半導體製造與使用之方法，電池可提供 6% 的轉換效率。1982 年專利號 4319069 則是應用於 CdTe 的半導體裝置，上述兩項專利皆為 Kodak 所擁有。1988 年專利號 4735662 則是主要是涉及歐姆接觸之製造流程，技術材料應用 p-type tellurium-containing II-VI，其主要改變製程方式，並降低成本，公司為 Standard Oil。1992 年專利號 5141564 則是主要涉及混合金屬化合物的薄膜，包含了 polycrystalline, p-type copper indium gallium selenide mixed ternary semiconductors 的成分，並且將 CIGS 薄膜半導體與 CdZnS 組合形成光活性異質結使其有優異的轉換效率，其目的是為了改善電池的電池性能，其主要公司為 Boeing。接下來到了 2009 年專利號 7544884 則是利用 CIGS 的材料，但在製程方面則是透過 roll-to-roll vacuum deposition 其主要是為了降低製造成本以及材料之損耗，其主要公司為 Miasole。2014 年專利號 8828782 的 Precursor Energetics 公司。通過在基板上沉積各種組分層並將組分轉化為薄膜光伏吸收劑材料來製造太陽能電池的方法。2011 年專利號 7955891、2012 年專利號 8168463、2013 年專利號 8436445 與 2014 年專利號 8828782 則在上前聞中已有介紹，故不在贅述。

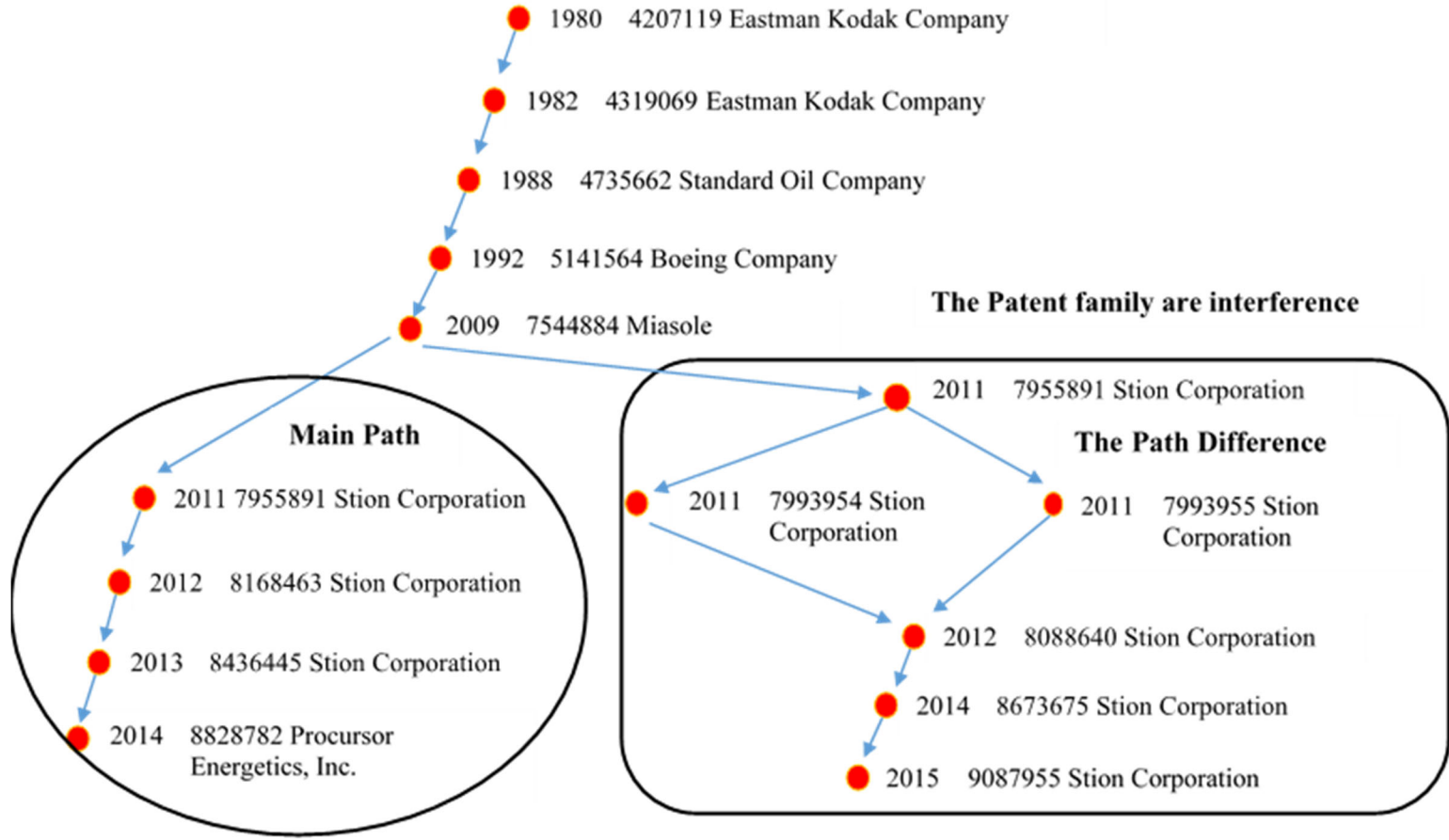


圖 5 全區搜尋之比較

專利家族之存在與否透過全區搜尋修正前後的比較可發現其路徑之變化，再者由於此路徑之干擾路徑主要為路徑末端的匯點處，因此其源點端部分並無變動，顯示在技術軌跡中，專利號 4207119、專利號 4319069、專利號 4735662、專利號 5141564 與專利號 7544884，其權重值最大，技術流量大於其他技術路徑，導致該在未經過修正時，產生其干擾路徑。而將專利家族修正後，可看到產生一條新的主要路徑，因此透過路徑的修正，可提升為技術演化軌跡之準確率。

二、關鍵路徑搜尋

當技術領域有一個發展主軸時，研究者可以依需要顯示排序的前幾名路徑。增加路徑的數量可以幫助我們看到主路徑上的許多分支以發現其他探討的領域，並透過路徑的軌跡來發現未來研究的方向。因此當需要確認不同的技術軌跡，則需要關鍵路徑搜尋則可填補缺失的技術發展支線，透過關鍵路徑搜尋則可得到不同的技術路徑，本研究將設定一個路徑總值的閾值為 1-10，不同的閾值可以得到不同的主路徑。本研究依據材料技術之演化特性，將技術路徑透過不同的節點形狀，分為以下 3 種路徑，如圖 6：

- (一) 菱形節點的路徑與前者的全區搜尋路徑一樣，包含了許多互為引用之節點在其中，在菱形結點的技術路徑中，1988 之前其技術材料為 CdTe 為主，並尋求製程的改變，以尋求更好的轉換效率和降低成本，而到了 1992 年開始則開始有不同的金屬化合物混成，其主要的材料技術則是 CIGS 和 CIS，並且在這過程中，依然尋求轉換效率的改良以及材料損耗之製程改進。
- (二) 在三角形節點的路徑中其軌跡路徑之技術原料應用可包含微晶矽，非晶矽，單晶矽，CIS、CdTe 和 CIGS 等複合化合物半導體構成，其中製程技術主要牽扯到原料之間的複合型應用，透過不同接面構成的方式，尋求更好的能源轉換效率和材料之耗損。
- (三) 在圓形節點的路徑中，由兩三條路徑合成，但主要皆以 CdTe、Cds 材料為主的軌跡路徑，因此此路徑之節點數雖然最多，但其技術軌跡之路徑主要通過製程的改善，來增加光電的轉換效率。

本研究透過 SPLC 計算，並進行關鍵路徑搜尋比較，在考慮搜索路徑差異的情況下，計算通過節點與節點之間的連結數量，其中目標必須是匯聚節點之一。透過太陽能薄膜的關鍵路徑搜尋可得知菱形節點與三角形節點的軌跡路徑其材料技術在不同時期有各自變化，而 CIGS 相對於 Cdte 在太陽能薄膜技術領域中屬於新型技術，如菱

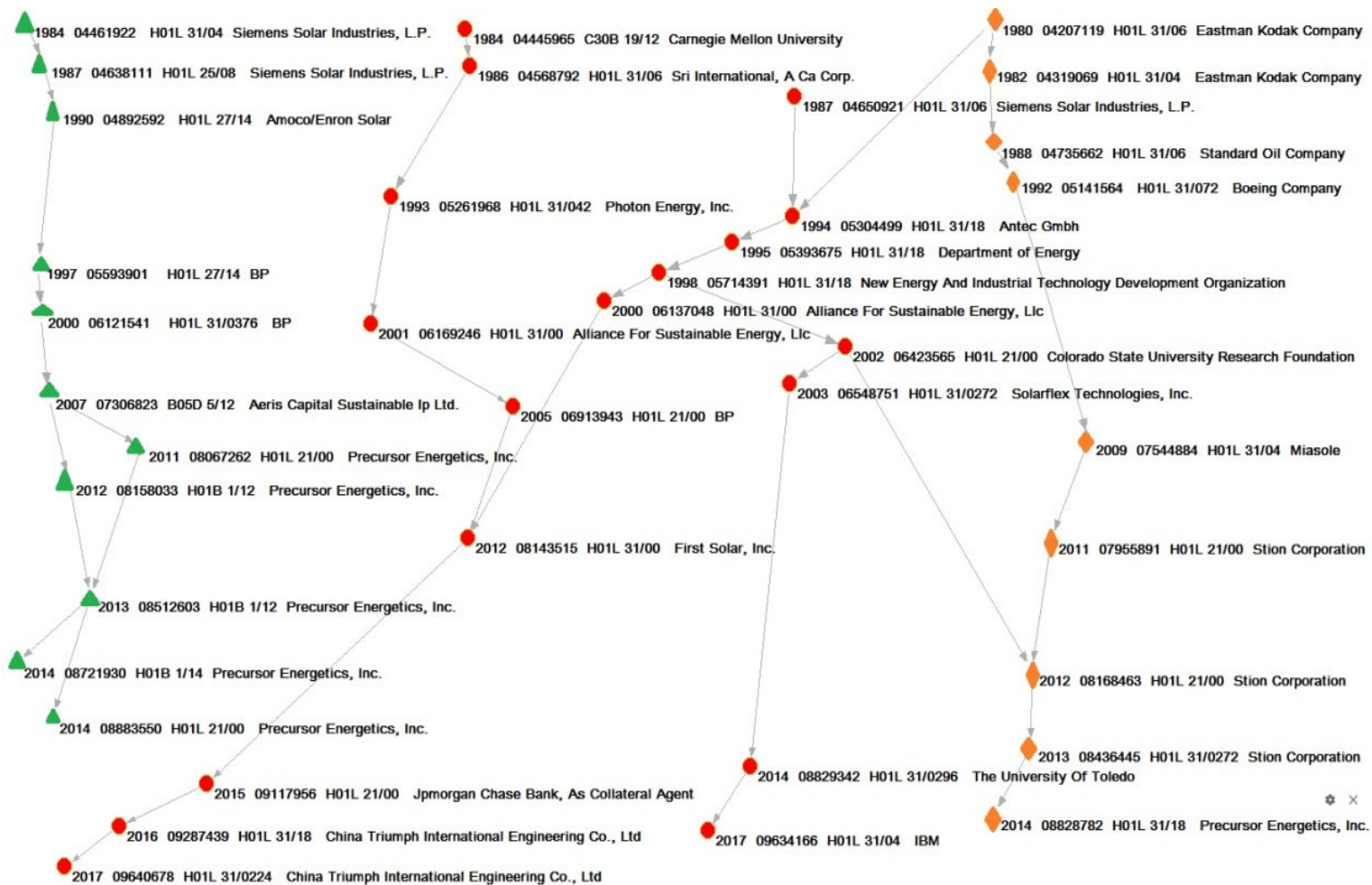


圖 6 關鍵路徑搜尋之比較

形路徑中，技術材料之變化可看出 CdTe 到 CIGS 的變動屬於技術材料的突破性創新。而三角形節點的路徑則主要在技術材料由微晶矽，非晶矽，單晶矽，CIS 和 CIGS 等材料性質，此兩條路徑較屬於突破式的變化，也因為較有突破性創新。而由於後續的專利研究中，儘管兩邊的節點路徑皆至 2014 年為止，更顯示出此兩條路徑中在任一節點上都具有相當的重要性。在圓形節點路徑中，材料應用多為 CdTe，其後續較無材料突破之技術變化，因此儘管積累較多的節點，其衍伸性也較多，因此儘管其路徑衍生至 2017 年，但其變化路徑較屬於漸進式創新。

伍、結論

一、理論貢獻

本研究探討專利網絡分析中，專利家族會不會因為龐大的相關專利量干擾主徑路分析的結果，在主路徑之外是否因專利家族會新增干擾的路徑。結果顯示專利家族的確會有形成干擾路徑的可能。過往許多專利引用的主路徑分析常常忽略專利家族在技術軌跡中的自我引用所造成的路徑權重影響變化所產生的引用誤差，進而造成主路徑的軌跡誤差。

在過往的搜尋路徑中，往往使用較為單一的區域搜尋或全區搜尋，但由於技術發展具有其多樣性，只看單一路徑較不合適，因此瞭解不同的技術路徑是至關重要的。故本研究將專利家族整併，並且進行全區搜尋以辨識專利家族整併前與整併後之差異，最後進行關鍵路徑搜尋得到不同的關鍵技術路徑，得以建立一個更全面和簡潔的路徑網絡。

在專利家族整併前後中可看到，專利家族自我引用所造成的權重值，使得技術軌跡有干擾路徑的現象，而整併過後除了可以還原技術軌跡的正常路徑，也可以幫助決策者識別主流技術並瞭解技術軌跡之變化，以利進行策略性的投入與研究，領先競爭對手更好地捕捉技術相關的機會。

二、實務貢獻

主路徑分析可以將復雜的引用網絡簡化為少量節點和鏈接。並且透過 Kodak、Boeing、Miasole 和 Stion 等公司的技術軌跡，清楚了解太陽薄膜技術的主流技術軌跡，透過關鍵路徑搜尋的技術軌跡則是可以了解到圓形節點中的 Cdte 材料技術公司的發

展，如 BP、First Solar...China Triumph International Engineering 等相關的公司在 Cdte 技術軌跡中發展。在三角形的節點中則是可以看到其路徑早期主要以微晶矽，非晶矽，單晶矽和 CIS 材料技術為主的 Siemens Solar Industries 和 Amoco (Enron Solar)，再到以 Cdte 技術的 BP 公司，透過路徑也發現 BP 公司亦既有 Cdte 技術亦擁有 CIGS 材料技術，另外在此路徑上擁有 CIGS 材料技術的公司亦有 Aeris Capital Sustatain，以及使用各種化合物，聚合物，組合物，材料和方法，透明導電材料的 Precursor Energetics 公司。

在菱形與三角形的技術軌跡中可以發現，此兩種皆屬於技術材料變化的技術演化，但由於三角形的技術軌跡中，Precursor Energetics 公司在匯點處擁有龐大的自我引用關係，儘管其中並非屬於專利家族的自我引用，但似乎仍有阻礙其他公司節點的問題，再者在主路徑技術軌跡中，主路徑可以探討整體路徑的技術發展和辨識技術之軌跡變化，但忽略單一節點的重要性。

三、未來研究

在進行主路徑分析時，除了將專利家族中的自我引用整併外，亦可將路徑過度相關的引用路徑整併或給於不同權重值，並且再搭配網絡中心性進行整合，使整個路徑之結點之特性更為全面和精準。

參考文獻

一、中文部分

1. Trend, E. (2018)，串聯鈣鈦礦與 CIGS，新型薄膜太陽能轉換效率創新高達 24.6%，TechNews 科技新報，Retrieved September 10, 2019，取自：<http://technews.tw/2018/09/27/perovskitecigs-tandem-cell-with-record-efficiency-of-24-6-percent/>。
2. 江明政(2008)，奈米矽薄膜太陽電池技術動向，光連：光電產業與技術情報，75，58-60。
3. 李雯雯(2008)，全球薄膜太陽能電池產業發展近況分析，冷凍空調與能源科技雜誌，52，68-71。
4. 翁順裕、賴奎魁(2009)，從社會網絡分析觀點探討技術的趨同性－以保險商業方法

專利為例，管理學報，26(5)，485-506。

5. 陳筱琪、陳文良、胡宜中(2014)，探討台灣薄膜太陽能電池產業之合作網絡評估模式：以多目標決策之觀點，科技管理學刊，19(2)，1-24。
6. 賴奎魁、蘇芳霈、郭宗賢(2010)，使用專利優先權方法探討公司專利組合，管理學報，27(2)，149-168。

二、英文部分

1. Alcacer, J., & Gittelman, M. (2006). Patent citations as a measure of knowledge flows: The influence of examiner citations. The Review of Economics and Statistics, 88(4), 774-779.
2. Batagelj, V. (1991). Some Mathematics of Network Analysis. In Network Seminar, Department of Sociology, University of Pittsburgh.
3. Batagelj, V. (2003). Efficient Algorithms for Citation Network Analysis. University of Ljubljana, Institute of Mathematics, Physics and Mechanics Department of Theoretical Computer Science, Preprint Series, 41, 897.
4. Batagelj, V., & Mrvar, A. (2004). Pajek-analysis and visualization of large networks. In M. Jünger & P. Mutzel (Eds.), Graph Drawing Software, 77-103. Berlin, Germany: Springer.
5. Batagelj, V., Kejžar, N., Korenjak-Černe, S., & Zaveršnik, M. (2006). Analyzing the structure of U.S. patents network. In V. Batagelj, H. H. Bock, A. Ferligoj, & A. Žiberna (Eds.), Data Science And Classification, 141-148. Berlin, Germany: Springer.
6. Bekkers, R., & Martinelli, A. (2012). Knowledge positions in high-tech markets: Trajectories, standards, strategies and true innovators. Technological Forecasting and Social Change, 79(7), 1192-1216.
7. Cantner, U., & Graf, H. (2006). The network of innovators in Jena: An application of social network analysis. Research Policy, 35(4), 463-480.
8. Choi, C., & Park, Y. (2009). Monitoring the organic structure of technology based on the patent development paths. Technological Forecasting and Social Change, 76(6), 754-768.

9. Cohen, W. M., Goto, A., Nagata, A., Nelson, R. R., & Walsh, J. P. (2002). R&D spillovers, patents and the incentives to innovate in Japan and the United States. Research Policy, 31(8-9), 1349-1367.
10. Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. Research Policy, 11(3), 147-162.
11. Ernst, H. (2003). Patent information for strategic technology management. World Patent Information, 25(3), 233-242.
12. Guan, J., & Shi, Y. (2012). Transnational citation, technological diversity and small world in global nanotechnology patenting. Scientometrics, 93(3), 609-633.
13. Gulati, R. (1995). Social structure and alliance formation patterns: A longitudinal analysis. Administrative Science Quarterly, 40(4), 619-652.
14. Gwak, J. H., & Sohn, S. Y. (2018). A novel approach to explore patent development paths for subfield technologies. Journal of the Association for Information Science and Technology, 69(3), 410-419.
15. Huang, Y., Zhu, F., Guo, Y., Porter, A. L., Zhang, Y., & Zhu, D. (2016). Exploring Technology Evolution Pathways to Facilitate Technology Management: A Study of Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). Paper presented at the 2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET).
16. Hummon, N. P., & Dereian, P. (1989). Connectivity in a citation network: The development of DNA theory. Social Networks, 11(1), 39-63.
17. Kajikawa, Y., Yoshikawa, J., Takeda, Y., & Matsushima, K. (2008). Tracking emerging technologies in energy research: Toward a roadmap for sustainable energy. Technological Forecasting and Social Change, 75(6), 771-782.
18. Kim, J., & Shin, J. (2018). Mapping extended technological trajectories: Integration of main path, derivative paths, and technology junctures. Scientometrics, 116(3), 1439-1459.
19. Kropsu-Vehkaperä, H., Haapasalo, H., & Rusanen, J. P. (2009). Analysis of technology management functions in Finnish high tech companies. The Open Management Journal,

2, 1-10.

20. Kuhn, T. S. (2012). The Structure of Scientific Revolutions. London: The University of Chicago press.
21. Lee, K., & Lee, S. (2013). Patterns of technological innovation and evolution in the energy sector: A patent-based approach. Energy Policy, 59, 415-432.
22. Lee, T. D., & Ebong, A. U. (2017). A review of thin film solar cell technologies and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, 1286-1297.
23. Leydesdorff, L. (2008). Patent classifications as indicators of intellectual organization. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 59(10), 1582-1597.
24. Liu, J. S., & Lu, L. Y. (2012). An integrated approach for main path analysis: Development of the Hirsch index as an example. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 63(3), 528-542.
25. Lucio-Arias, D., & Leydesdorff, L. (2008). Main-path analysis and path-dependent transitions in HistCite™-based historiograms. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 59(12), 1948-1962.
26. Nakamura, H., Suzuki, S., Kajikawa, Y., & Osawa, M. (2015). The effect of patent family information in patent citation network analysis: A comparative case study in the drivetrain domain. Scientometrics, 104(2), 437-452.
27. Nicolaisen, J. (2007). Citation analysis. Annual Review of Information Science and Technology, 41(1), 609-641.
28. Roach, M., & Cohen, W. M. (2013). Lens or prism? Patent citations as a measure of knowledge flows from public research. Management Science, 59(2), 504-525.
29. Robinson, D. K., Huang, L., Guo, Y., & Porter, A. L. (2013). Forecasting Innovation Pathways (FIP) for new and emerging science and technologies. Technological Forecasting and Social Change, 80(2), 267-285.
30. Savadogo, O. (1998). Chemically and electrochemically deposited thin films for solar energy materials. Solar Energy Materials and Solar Cells, 52(3-4), 361-388.

31. Stuart, T. E., & Podolny, J. M. (1996). Local search and the evolution of technological capabilities. Strategic Management Journal, 17(Special Issue: Evolutionary Perspectives on Strategy), 21-38.
32. Verspagen, B. (2007). Mapping technological trajectories as patent citation networks: A study on the history of fuel cell research. Advances in Complex Systems, 10(1), 93-115.
33. Von Wartburg, I., Teichert, T., & Rost, K. (2005). Inventive progress measured by multi-stage patent citation analysis. Research Policy, 34(10), 1591-1607.
34. Yang, J., Banerjee, A., Glatfelter, T., Sugiyama, S., & Guha, S. (1997, 29 Sep- 3 Oct 1997). Recent Progress in Amorphous Silicon Alloy Leading to 13% Stable Cell Efficiency. Paper presented at the Conference Record of the Twenty Sixth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, CA. USA.
35. Yoon, B., & Park, Y. (2004). A text-mining-based patent network: Analytical tool for high-technology trend. The Journal of High Technology Management Research, 15(1), 37-50.

109 年 04 月 06 日收稿

109 年 04 月 21 日初審

109 年 05 月 19 日複審

109 年 06 月 08 日接受

作者介紹

Author's Introduction

姓名	陳裕隆
Name	Yu-Long Chen
服務單位	朝陽科技大學產業策略發展博士班
Department	Ph.D. Program, Strategic Development of Taiwan's Industry, Chaoyang University of Technology
聯絡地址	413310 臺中市霧峰區吉峰東路 168 號
Address	No.168, Jifeng E. Rd., Wufeng District, Taichung, 413310 Taiwan, R.O.C.
E-mail	s10537902@gm.cyut.edu.tw
專長	專利分析、科技管理
Specialty	Patent Analysis, Technology Innovation

姓名	陳素芬
Name	Sue-Fen Chen
服務單位	朝陽科技大學產業策略發展博士班
Department	Ph.D. Program, Strategic Development of Taiwan's Industry, Chaoyang University of Technology
聯絡地址	413310 臺中市霧峰區吉峰東路 168 號
Address	No.168, Jifeng E. Rd., Wufeng District, Taichung, 413310 Taiwan, R.O.C.
E-mail	eephysics@gmail.com
專長	專利分析、科技管理
Specialty	Patent Analysis, Technology Innovation

姓名 陳雪珍
Name Hsueh-Chen Chen
服務單位 淡江大學管理科學學系兼任助理教授
臺北城市科技大學餐飲管理系兼任助理教授
Department Adjunct Assistant Professor, Department of Management Sciences,
Tamkang University
Adjunct Assistant Professor, Department of Food and Beverage
Management, Taipei City University of Science and Technology
聯絡地址 25170 新北市淡水區英專路 151 號
112 台北市北投區學園路 2 號
Address No.151, Yingzhuan Rd., Tamsui Dist., New Taipei City 25170, Taiwan,
R.O.C.
No.2, Xueyuan Rd., Beitou, 112 Taipei, Taiwan, R.O.C.
E-mail csc321@gmail.com
專長 專利分析、科技管理
Specialty Patent Analysis, Technology Innovation

姓名 賴奎魁
Name Kuei-Kuei Lai
服務單位 朝陽科技大學企業管理系教授
Department Professor, Department and Graduate Institute of Business Administration,
Chaoyang University of Technology
聯絡地址 413310 臺中市霧峰區吉峰東路 168 號
Address No.168, Jifeng E. Rd., Wufeng District, Taichung, 413310 Taiwan,
R.O.C.
E-mail laikkw@gmail.com
專長 專利分析、科技管理
Specialty Patent Analysis, Technology Innovation