



稀土產業的現況與未來

——以構成電動車馬達關鍵材料釤磁鐵為例



芮嘉璋*

壹、前　言

所謂「稀土」，是指「稀土金屬」或稱「稀土元素」，係從元素周期表原子序57號鑪到71號鑪的15個元素，再加上釔及鈇，總共17個化學元素的合稱¹。稀土金屬多數呈銀灰色，有光澤，晶體結構多為HCP或FCC。性質較軟，在潮濕空氣中不易保存，易溶於稀酸。由於稀土類具有優良的光電磁等物理特性，能與其他材料組成性能各異、品種繁多的新型材料，應用於螢光體、磁石、觸媒、超導材料中，以大幅度提高產品的性能，不僅是尖端產業中不可或缺的重要金屬，也是諸多高科技的潤滑劑，因此有「工業黃金」之稱。

圖1顯示稀土下游應用各產業之比重係以磁材最多²，因為稀土磁石具有較強的磁能密度和矯頑磁力，得以使資訊、電子、電機等產品輕薄短小化或省電化³。近年來電動車在全球新能源汽車轉型升級的政策驅動下高速發展。電動車是靠電力運行的車輛，透過驅動電機吸收電池功率從而將電能轉化為驅動汽車行駛的動力。驅動

DOI : 10.3966/221845622020040041006

收稿日：2019年12月4日

* 財團法人工業技術研究院技術移轉與法律中心博士。

¹ 林偉凱，認識磁性材料——稀土磁石，科學發展，2012年8月，476期，52頁。

² 稀土 -MoneyDJ 理財網，網址：<http://newjust.masterlink.com.tw/HotProduct/HTML/Detail.xdj.htm?A=PB61-2.html>，最後瀏覽日：2019年10月24日。

³ 林偉凱，註1文，52頁。

電機的性能直接影響汽車性能，目前電動車係使用永磁同步電機（又稱「永磁同步馬達」）。永磁同步馬達（permanent-magnet synchronous motor, PMSM）是指一種轉子用永久磁鐵代替繞線的同步馬達⁴，故為電動汽車最核心的部件。稀土磁鐵是一種強力永久磁鐵，其中的「磁王」釤鐵硼是當今世界上磁性最強的永磁材料，其係由稀土中的釤、氧化鐵與硼的合金構成，在所有17種稀土元素中應用最為廣泛的稀土元素就是「釤」，從而釤鐵硼永磁材料（釤磁鐵）目前被廣泛應用於電動車的永磁馬達⁵。

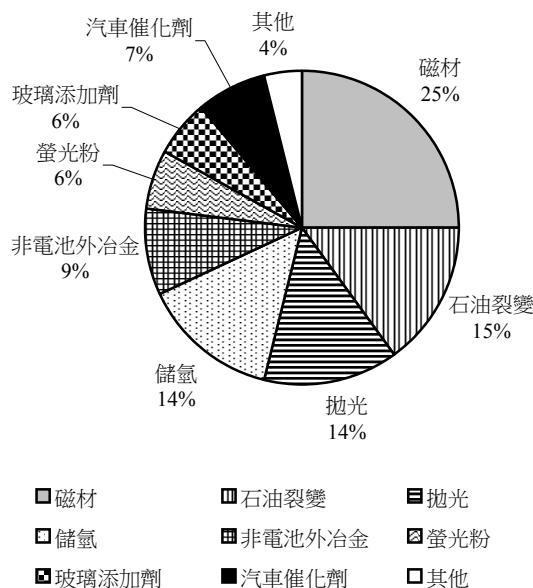


圖1 稀土下游應用行業比重

基於車輛電動化，原本車輛上的裝置、零組件已漸被淘汰，電動車產業的發展帶動零組件消長，馬達取代了引擎，連帶驅動引擎的活塞環、燃油噴射裝置、火星塞等重要零組件都將因電動化的浪潮而退場。再者，因為電力代替燃油，汽油也不

⁴ 永磁同步馬達，維基百科，網址：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%B8%E7%A3%81%E5%90%8C%E6%AD%A5%E9%A6%AC%E9%81%94>，最後瀏覽日：2019年10月24日。

⁵ 萬年生、徐右螢，絕殺稀土戰，今周刊，2019年9月，1184期，79頁。

需要了。全球電動化浪潮下，電動車構造也因電動車革命而使新的零組件需求增加，首先是馬達，其次是電池。電動車構造如圖2所示。馬達的需求增加，從而製造馬達的零件需求也增加。馬達主要係由永久磁鐵、線圈及鐵芯等關鍵零件構成。選擇適合的永久磁鐵可以提升馬達的性能，其材料將是關鍵，從而永磁材料是永磁同步馬達研究的重點。

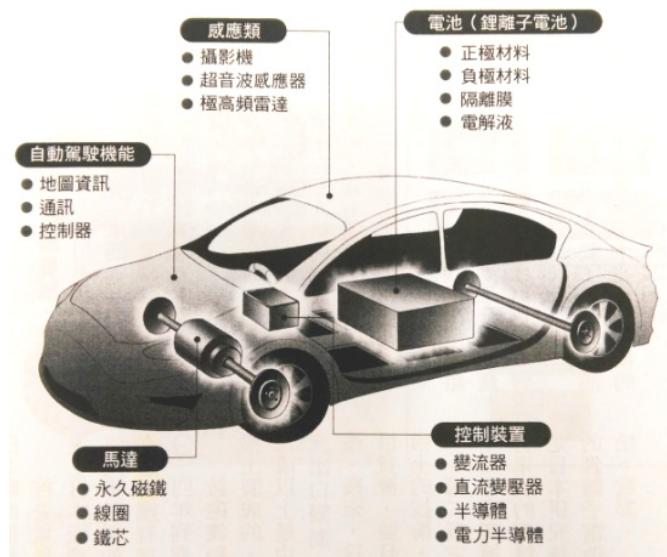


圖2 電動車構造圖⁶

近來國內外電動車產業運用稀土永磁材料開發生產耐高溫且不易消磁的高性能馬達，因此含有稀土永磁成分的磁鐵（稀土磁鐵）成為現階段被重視且廣泛應用的熱門材料，美、日等發達國家甚至將稀土列為「21世紀的戰略元素」⁷，中國大陸也將稀土各功能性材料列為實施製造強國戰略的9種關鍵材料之一，其中的稀土磁性材料應用最為廣泛，帶動整個稀土產業持續發展，其戰略地位十分重要。⁸

⁶ 村澤義久著，葉廷昭譯，圖解電動車大未來：從燃油引擎轉換為電動馬達的全球巨大商機，2019年，109頁。

⁷ 吳智輝、葉清，稀土——21世紀重要的戰略資源，廈門日報，2011年2月25日，網址：<https://pcss.xmu.edu.cn/info/1033/1188.htm>，最後瀏覽日：2019年10月24日。

⁸ 張博、王學昭、趙萍、安岩，中國、日本、美國稀土磁性材料專利技術布局異同點解析，新

在台灣除了電動車產業外，舉凡平板、筆電、硬碟、手機、無線耳機、風車以及其他用電池供電的工具等各種需超強磁力或需較小體積及輕量需求的產品，例如使用稀土永磁材料的戴森（Dyson）吸塵器的馬達，不僅具有每分鐘達11萬轉的馬達效能，更因釤鐵硼永磁材料特性，開發出大小約3公分、可擺在手心、實現產品高效能且小型輕量薄型化的可能，從而拉升產品價格要價上萬元。⁹由於馬達是電動車的核心，這使得英國吸塵器製造商戴森計畫於2020年推出電動汽車。¹⁰此外，被動元件要用到的陶瓷材料、LED的螢光粉等高科技關鍵材料，也是台灣很常見的稀土相關應用，顯示稀土永磁材料已成為現代工業和電子技術之終端應用成品不可或缺的關鍵材料。

貳、強力永久磁鐵——稀土磁鐵

一、稀土磁鐵的種類

磁鐵或稱磁石，是可以吸引鐵並於其外產生磁場的物體。磁鐵分為永久磁鐵與非永久磁鐵。非永久磁鐵在磁化後無法長期保有磁性，也稱為軟磁鐵，只有在某些條件下會有磁性，通常是以電磁鐵的形式產生，也就是利用電流來強化其磁場；永久磁鐵在磁化後保有磁性期間長，稱為永久磁鐵或硬磁鐵。

其中，永久磁鐵有三種：鐵氧體（Ferrite）、鋁鎳鈷合金（Alnico）以及稀土磁鐵。鐵氧體磁鐵係以氧化鐵為其主要成分的陶瓷材料。鋁鎳鈷合金磁鐵係由金屬鋁、鎳、鈷、鐵和其他微量金屬元素構成的合金。至於稀土磁鐵係由稀土元素合金所組成的強力永久磁鐵，其中常見的有稀土鈷磁體（rare earth-cobalt magnets）、釤鈷型磁鐵及釤磁鐵（又稱「釤鐵硼磁鐵」）。

有鑑於電子學的進展已要求高性能、特別小尺寸和輕量化的永磁材料，為此，

材料線上，網址：<http://www.migelab.com/Article/articleDetails/aid/9025.html>，最後瀏覽日：2019年10月24日。

⁹ 楊竣傑，用吸塵器創造科技家電帝國、直擊dyson最神秘的6大創新研發實驗室，Cheers快樂工作人雜誌，2019年1月，220期，38頁。

¹⁰ 吸塵器製造商戴森計畫於2020年推出電動汽車，網址：<https://kknews.cc/design/4p2malx.html>，最後瀏覽日：2019年10月23日。

早期主要使用具有高殘餘磁通密度 (high residual magnetic flux densities) 和高矯頑力 (high coercive forces) 的稀土鈷磁體。然而，因為稀土鈷磁體具有含量高達50~60%重量百分比的釤 (Sm) 和鈷 (Co)，是非常昂貴的磁體材料，嚴重阻礙了取代鐵氧體和鋁鎳鈷合金等磁鐵的可能性¹¹。隨著永磁材料升級精進以滿足現今工業與電子產業的需求，許多研究人員企圖基於稀土元素和鐵的合金中製備新穎且實用的永磁體材料，具有0.5T以上殘磁Br的永久磁鐵是處於高度需求中，能達到0.5T以上的高殘磁Br的永久磁鐵只有以釤鈷型磁鐵及釤鐵硼型磁鐵為主的稀土磁鐵辦得到。¹²

釤鈷型磁鐵 (SmCo) 係由釤、鈷和其他金屬稀土材料經配比、溶煉成合金，再經粉碎、壓型、燒結後製成的一種磁性材料。釤鈷磁鐵有兩種組成比，分別為 (釤原子：鈷原子) 1:5和2:17。¹³釤鈷磁鐵的最大磁能積 (BH_{max}) 的範圍從16 MGOe到32 MGOe，其理論極限是34 MGOe¹⁴，是現今磁性第二強烈的磁鐵，磁力僅次於釤鐵硼磁鐵；但其防腐防銹耐高溫能力強於釤鐵硼磁鐵。釤鈷型磁鐵因為釤與鈷二元素而屬於非常昂貴磁性材料。

釤鐵硼型磁鐵主要是由相對便宜¹⁵的鐵構成（一般以總重約60wt%到70wt%的量），價格比釤鈷型磁鐵便宜很多，且可獲得磁能積最大值(BH)_{max}高達36MGOe以上（高於傳統稀土鈷磁體的磁能積最大值(BH)_{max} = 31 MGOe）。相較之下，釤鐵硼磁鐵的優點是性價比高且具良好的機械特性。釤鐵硼型磁鐵是由釤、鐵、硼 (Nd₂Fe₁₄B) 形成的四方晶系晶體，故釤鐵硼磁鐵係以稀土金屬釤 (Nd) 、金屬元

¹¹ Y. Matsuura, M. Sagawa & S. Fujimura, 1986, “Process for producing permanent magnet materials”, US Patent US4597938A.

¹² MIYOSHI TOSHIO, KANEKIYO HIROKAZU, “Nanocomposite magnet and method for producing the same”, US Patent Application US2005040923A1.

¹³ Samarium Cobalt Magnets and Magnet Assemblies, the Website of Electron Energy Corporation, available at <https://web.archive.org/web/20090811002111/http://www.electronenergy.com/products/samarium-cobalt-magnetic-properties.htm> (last visited Oct. 23, 2019).

¹⁴ 釤鈷磁鐵，維基百科，網址：https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%87%A4%E9%88%B7%E7%A3%81%E9%90%B5#cite_note-2，最後瀏覽日：2019年10月23日。

¹⁵ 生產釤鐵硼型磁鐵仍然是昂貴的，因為分離、純化釤的製程需要龐大的設備或以還原反應得到釤。

素鐵（Fe）、非金屬元素硼（B）為基礎的永磁材料。其中稀土元素主要為釤（Nd）且通常占磁鐵約略10 at%到15 at%（原子百分比atomic percent，縮寫「at」），係當今世界上磁性表現最強的永久磁鐵（有「磁王」之稱），也是最常使用的稀土磁鐵，故常以「稀土磁鐵」為釤鐵硼型磁鐵之別稱，或稱「釤磁鐵」（Neodymium magnet）。

二、稀土永磁材料專利布局概況

基於全球各國地質條件上擁有或多或少不同的稀土資源，本文以稀土永磁材料之主題並使用科睿唯安的Derwent Innovation專利檢索分析平台為資料源進行專利檢索，檢索截至2019年12月為止。稀土永磁材料全球專利申請係以日本、中國大陸和美國三國為主，占全球專利申請總量超過9成（91%），圖3呈現各國稀土永磁材料專利申請量占比圖，其中，中國大陸占全球稀土永磁材料專利總申請量的41%，日本占37%，美國占13%，其他國家占9%。

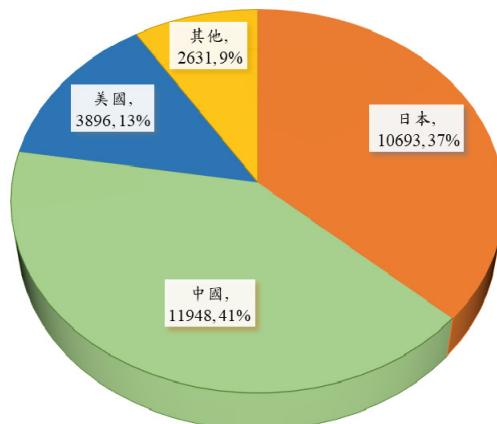


圖3 全球主要國家稀土永磁材料專利申請量占比圖

另，圖4顯示全球及中國大陸、美國、日本等國家之稀土永磁材料相關專利申請趨勢圖。從圖4可獲悉首次出現稀土永磁材料的專利是在1960年代申請。整體趨勢可將稀土永磁材料歷年專利申請分為1960～1987年、1987～1997年、1997～2004年及2005年至今等4個階段，中國大陸、日本和美國於上述4個不同時期的專利增長趨勢和引領作用整理如表1。觀察圖4和表1，發現2004年以前日本稀土永磁材料歷

年專利申請趨勢與全球專利趨勢一致，表示自1960年至2004年之間日本主導引領全球稀土磁性材料的專利申請趨勢，2005年後至今則改由中國大陸主導。1987年以前礙於中國大陸專利法尚未實施使得中國大陸幾乎沒有稀土磁性材料專利，自2005年起中國大陸專利才開始快速增長；反之，日本稀土專利自2005年開始下降，可見2005年是稀土永磁材料出現引領主導性轉折變化的一年，且於2007年中國大陸專利量超過日本並一直保持領先至今。美國稀土永磁材料專利則歷年來一路平穩緩慢地增長。

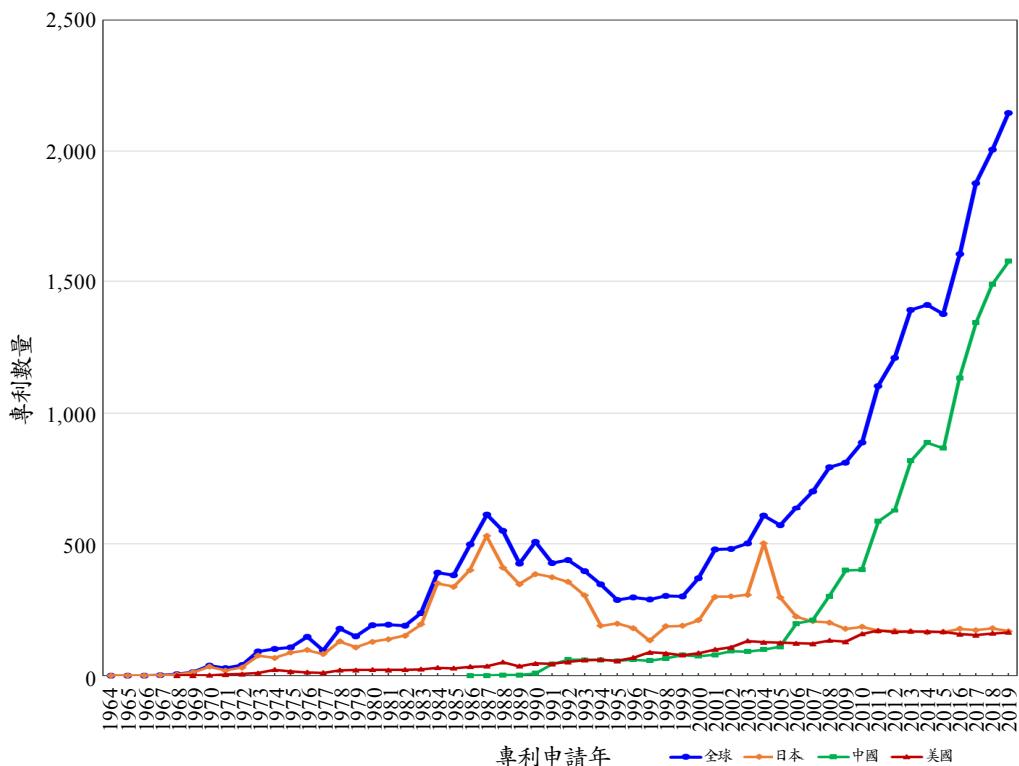


圖4 全球及中國大陸、美國、日本等國家之稀土永磁材料相關專利申請趨勢圖

表1 全球主要國家稀土永磁材料專利申請趨勢（劃分4個不同時期）

	國 別	1960~1987年	1987~1997年	1997~2004年	2005年至今
趨 勢	全 球	整體專利量呈增長趨勢	整體專利量呈下降趨勢	全球專利呈現快速增長趨勢	
	中國大陸	專利量幾乎空白 (中國大陸專利法於1985年才開始實施)	萌芽	中國大陸由萌芽期向突破期轉折	快速增長
	日 本	快速增長	快速下降	增長	下降
	美 國	萌芽	萌芽	從萌芽期至突破期，再至穩定期的快速轉變	平穩
專利引領國別		日本引領專利量增長	日本引領專利量下降	日本引領專利量增長	中國大陸引領專利量增長
備 註		出現了第一代至第三代稀土永磁材料	—	—	2007年中國大陸專利量超過日本並一直保持領先至今

以專利申請權人歸納中國大陸、日本和美國等國家稀土磁性材料之研發主體的屬性，日本大致上係以企業為主，中國大陸為科研機構和大學為主，美國則較多元但專利量相對較少。

另，全球稀土永磁材料專利依照其上中下游技術分類，大致可歸類為上游稀土磁粉及製備、中游稀土磁材製造與防護、下游稀土磁材應用。整體觀之，中國大陸、日本和美國3個國家均比較重視下游稀土磁性材料應用領域的專利布局。中國大陸專利主要布局在產業鏈的中游磁材製備和下游磁材應用，在上游磁粉製備方面的布局較弱。中國大陸在中游稀土磁材製備上，專利主要布局的技術群聚包括鈕鐵硼(Nd-Fe-B)燒結磁體、非晶合金、軟磁合金、鈷基磁性材料、高分子／磁粉複合材料製備等；中國大陸在下游磁材應用方向上，專利主要布局的技術群聚包括電

機、磁性緊固器件、感應線圈、磁管以及分子磁性材料等。

日本專利主要布局在上游磁粉製備以及下游磁材應用技術，在中游磁材製備技術上的布局相對薄弱。日本在上游磁粉製備技術上布局了大量的專利，基本涵蓋了燒結磁粉、粘結磁粉等磁粉製備的技術群聚，包括釤鐵硼型快速固化磁粉及其製備技術、氣體霧化法、利用稀土氧化物製備稀土—鐵—氮型磁粉或含銅稀土鐵硼型磁粉。日本在下游布局的技術包括磁記錄材料、燒結磁體抗腐蝕方法、電機轉子芯及軸向徑向磁環、印表機滾軸、稀土超導材料、無取向電工鋼以及稀土磁體等硬脆材料的切斷裝置。

美國專利主要集中布局下游稀土磁材應用，在中游稀土磁材製備的布局很少，在上游磁粉製備也有少量布局。美國麥格昆磁公司因為擁有釤鐵硼快速固化磁粉的成分專利和技術專利，成為全球最大的釤鐵硼型快速固化磁粉（粘結釤鐵硼磁粉）供應商，其在日本、美國和中國大陸的成分專利已相繼於2004年、2012年及2014年到期。美國在下游布局的專利技術在中日美3個國家中是最廣的，不僅包括傳統的永磁電機材料、高溫超導材料、磁存儲等，還包括中國大陸和日本兩國中沒有涉及的醫療支架、細胞監測靶標、腫瘤治療用磁性顆粒、磁性假肢、磁性導尿管以及核磁共振成像等領域。

中、美、日三國在稀土永磁產業上中下游專利的概況以圖5表示。圖5顯示稀土永磁材料專利技術中，上游稀土磁粉及製備以日本最多，中游稀土磁材製造與防護以中國大陸最多，下游稀土磁材應用基本上中、美、日三國都有不少專利，然而值得一提的是，美國稀土永磁材料專利著重下游有關生醫及醫學方面的應用具獨樹一格，意謂著稀土磁性材料的市場應用潛力無窮。

舉例來說，在下游醫學領域的應用中，核磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）之類的醫療設備需要採用大量的釤鐵硼永磁材料。US6120620A¹⁶揭露了一種涉及用於核磁共振成像（MRI）裝置的永磁體塊的金屬間燒結產品，以及一種具有基本穩定的磁性能的永磁體和提供一種鐵硼稀土類燒結永磁體的製造方

¹⁶ Mark Gilbert Benz & Juliana Ching Shei, 2000, "Praseodymium-rich iron-boron-rare earth composition, permanent magnet produced therefrom, and method of making", US Patent US6120620A.

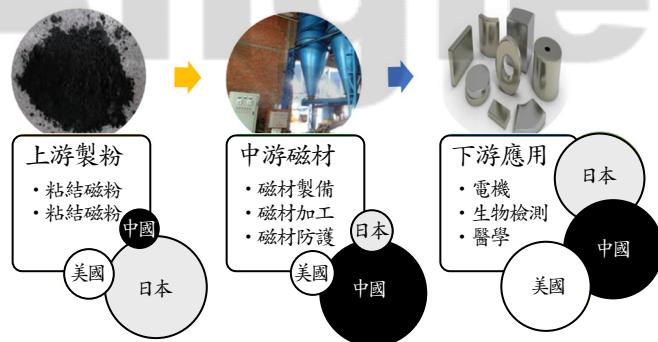


圖5 中美日三國在稀土永磁產業上中下游專利的概況

法。該永磁體具有壓實的顆粒狀的鐵—硼—稀土金屬間金屬材料的燒結產物作為活性磁性成分，該燒結產物具有基本上不相互連接的孔，其密度至少為理論值的87%，並且組成基本上由原子百分比約13%至約19%的稀土元素，約4%至20%的硼和約61%至83%的鐵組成，其中有效量的輕稀土選自鈮、鑷、釔和它們的混合物，其餘為釤，沒有其他雜質。該發明使用較少的釤來降低永磁體和包含永磁體的裝置的製造成本。US6120620A之獨立權利請求項主張的標的至少包括一種燒結的金屬間產物；一種鐵硼稀土類各向同性合金材料；一種鐵硼稀土類富各向異性永磁體；一種具有基本穩定的磁性能的永磁體；一種鐵硼稀土類燒結永磁體的製造方法以及一種用於核磁共振成像設備的永磁塊的燒結金屬間產品。並且該等複數獨立權利請求項所主張之標的係使用例如鈮、鑷和釔等低濃度的輕稀土產生用於核磁共振成像的永磁體，應用於核磁共振成像的設備中而具降低成本的優勢。另，近來已開發了一種稱為稀土摻雜之上轉換奈米顆粒（Up-Conversion Nanoparticles, UCNPs）的新型材料。這種材料具有特殊的光學特性，可透過使用紅外光（IR）或近紅外（NIR）光作為輻射源進行激發，以便在可見光區域產生熒光發射。由於紅外光和近紅外光可以穿透組織到很深的位置且組織對該等吸收要比可見光小得多。基於此光學性質，位於深處的上轉換奈米顆粒（UCNPs）可以被IR或NIR光有效地激發以產生可見光，從而可以激活附著在奈米顆粒上的光敏劑釋放單態氧（singlet oxygen），具有與UCNPs的發射峰位置匹配的強吸收峰，從而吸收來自UCNPs的發

射的光能。因此US20130115295A1¹⁷揭露了一種用於治療腫瘤和其他疾病診斷應用之稀土摻雜上轉換奈米粒子的發明，其中所述稀土元素選自鈇（Y）、鈥（Ho）、鉀（Er）、鈔（Tm）和镱（Yb）。該發明提供了一種組合物，該組合物包含用二氧化矽殼（silica shell）包封之稀土摻雜的上轉換奈米顆粒（UCNPs）以及摻入該二氧化矽殼中的光敏劑，用以作為治療腎癌和類風濕關節炎的藥物。在一個實施例中，將光敏劑（photosensitizer）摻入二氧化矽殼中。在另一個實施例中，組合物還包含靶向分子（targeting molecule）。在又一個實施方案中，小分子干擾核糖核酸（small interfering RNA, siRNA）分子也與該靶向分子連接至二氧化矽殼。該組合物可用於在實驗室中治療包括肺癌、乳腺癌、肝細胞癌、腎癌、前列腺癌或結腸直腸癌在內的實體腫瘤以及包括腸道疾病或類風濕性關節炎在內的炎症疾病。本發明進一步提供了合成此類組合物並將其用於治療和診斷應用的方法。這些應用係使用紅外光或近紅外光照射以激發UCNPs，從而降低了治療成本。US20130115295A1之獨立權利請求項還包括用於治療哺乳動物中的實體腫瘤（Solid Tumors）或發炎性疾病的方法，該方法包括向哺乳動物施用組合物，並透過紅外光（IR）或近紅外（NIR）對哺乳動物中之實體腫瘤或發炎的部位進行照射而激活該組合物。另，獨立權利請求項還包括製備UCNPs組合物的方法，其包括用二氧化矽殼合成UCNPs以及將光敏劑摻入到殼中。

美國稀土永磁材料專利，除了著重下游有關醫學領域的應用外，亦布局有關生物檢測方面應用的專利。US10175170B2¹⁸係有關一種稀土奈米磷光體的金屬塗層及其用途，用於檢測生物分子之間的相互作用以及進行磁熱療法（magnetic hyperthermia therapy）。該發明提供一種核——殼奈米顆粒，該奈米顆粒包含磷光核和包含至少兩種金屬的金屬殼。在一個實施例中，磷光核包含例如是Tm³⁺、Er³⁺、Y³⁺或Yb³⁺等任選地三價稀土陽離子。

¹⁷ Qiang Wang, Patrick Y. Lu & Harry Hongjun Yang, 2013, “Rare Earth-Doped Up-Conversion Nanoparticles for Therapeutic and Diagnostic Applications”, US Patent Publication US 20130115295A1.

¹⁸ Ian M. Kennedy & Sudheendra Lakshmana, 2019, “Metal coating of rare earth nano-phosphors and uses thereof”, US Patent US10175170B2.

參、欒鐵硼磁鐵種類及其核心專利

欒鐵硼型磁鐵的種類係以欒鐵硼型燒結磁鐵以及欒鐵硼型快速固化磁鐵（或稱粘結欒鐵硼）二類為代表。其中，欒鐵硼型燒結磁鐵係以粉末冶金程式的方式生產，欒鐵硼型快速固化磁鐵係以熔化淬火程式方式生產。對粉末冶金程式的本質而言，粉末冶金程式通常需要相對多的製造處理程式，相較之下，以熔化淬火程式生產的欒鐵硼型快速固化磁鐵係經由相對簡單的熔化、熔化淬火以及熱處理製程步驟在較低成本下生產。以熔化淬火程式形成之快速固合金是磁性上等向性的。然而，欒鐵硼型燒結磁鐵的性能，不管在殘磁強度、矯頑力和磁能積等性能上都優於欒鐵硼型快速固化磁鐵¹⁹。其基本比較如表2。

表2 欒鐵硼型磁鐵種類

	欒鐵硼型燒結磁鐵	欒鐵硼型快速固化磁鐵 (粘結欒鐵硼)
生產方式	粉末冶金程式	熔化淬火程式
代表性專利	JP1982145072 (昭59-46008)	JP19840018178 (昭60-9852)
製 程	製造處理程式多	製程相對簡單
成 本	較高	較低
殘磁Br	較高	較低
磁 性	非等向性	等向性 (各個方向都有磁性)
耐腐蝕性	易腐蝕	耐腐蝕
性 能	殘磁強度、矯頑力和磁能積都優於欒鐵硼型快速固化磁鐵。	—

分析專利文件可有效洞悉競爭對手技術發展策略及掌握敵我情報²⁰，專利主張之權利請求項 (claim) 係用以界定專利權範圍之所在²¹，同時亦能鑑識專利技術特

¹⁹ 國家智慧財產權局專利局專利審查協作湖北中心，新能源汽車產業智慧財產權分析評議報告，收錄於2018年重點領域智慧財產權分析評議系列報告，2018年，20頁。

²⁰ 芮嘉瑋，專利權利範圍為基礎之創新技術策略分析：以雙光子聚合及雷射干涉微影技術為例，國立清華大學奈米工程與微系統研究所博士論文，2018年，8-9頁。

²¹ 芮嘉瑋，從程序保障觀點論技術審查官制度之改革，中原大學財經法律學系碩士論文，2011年，91頁。

徵²²。欒鐵硼型磁鐵分為以粉末冶金程式生產的欒鐵硼型燒結磁鐵和以熔化淬火程式生產的欒鐵硼型快速固化磁鐵，典型的代表性專利分別於1982年及1984年由住友特殊金屬株式會社²³ (Sumitomo Special Metals Co. Ltd.) 和通用汽車公司 (General Motors Corp., GM) 申請日本特許專利，其出願番號（專利申請序號）分別為特願1982-145072(JP19820145072)²⁴和特願1984-18178(JP19840018178)²⁵。該等專利堪稱欒鐵硼型燒結磁鐵和欒鐵硼型快速固化磁鐵最早申請的成分專利，成分專利係欒鐵硼型磁鐵最為核心的專利，本文將二件專利申請的基本資料對照整理如表3。

表3 欒鐵硼型燒結磁鐵和欒鐵硼型快速固化磁鐵最早申請的專利

出願番號 (專利申請號)	特願1982-145072 JP19820145072	特願1984-18178 JP19840018178
特許出願公開番號 (專利公開號)	特開1984-46008 (昭59-46008/JPS5946008A)	特開1985-9852 (昭60-9852/JPS609852A)
發明名稱	永久磁石	高能儲稀土鐵磁合金 (高エネルギー積の稀土類鐵磁石合金)
申請日	1982年8月21日	1984年2月3日
公開日	1984年3月15日	1985年1月18日
優先權主張 Priority number(s) Priority date(s)	JP19820145072 1982年8月21日	US50826683A(US Provisional Application) 1983年6月24日

²² Chia-Wei Jui, Amy J. C. Trappey & Chien-Chung Fu, *Method of Claim-Based Technology Analysis for Strategic Innovation Management—Using TPP-Related Patents As Case Examples*, 21 J. INTELLECT. PROP. RIG. 244 (2016); Chia-Wei Jui, Amy J. C. Trappey & Chien-Chung Fu, *Strategic Analysis of Innovative Laser Interference Lithography Technology Using Claim-Based Patent Informatics*, 3 COGENT ENG. 3 (2016).

²³ 欲檢索「日立金屬株式會社」有關永久磁材相關專利，需注意其公司併購關係下可能會有不同公司名稱需要列入檢索條件，例如：日立金屬株式會社 (Hitachi Metals, Ltd.) 、住友特殊金屬株式會社 (Sumitomo Special Metals Co. Ltd.) 及NEOMAX株式會社 (Neomax Co. Ltd.) 等統稱「日立金屬」。

²⁴ 佐川真人、藤村節夫，永久磁石，1984年，日本特許出願公開番號JPS5946008A (昭59-46008)。

²⁵ J-K. Jiyon，高エネルギー積の稀土類鐵磁石合金，1985年，日本特許出願公開番號JPS609852A (昭60-9852)。

出願番號 (專利申請號)	特願1982-145072 JP19820145072	特願1984-18178 JP19840018178
		US54472883A(US Provisional Application) 1983年10月26日
出願人 (申請人) Applicant(s)	住友特殊金屬株式會社 ²⁶ (Sumitomo Special Metals Co. Ltd.)	通用汽車公司 (General Motors Corp.)
發明人	佐川真人 藤村節夫	Jiee Kurooto Jiyon
特許番號 (專利公告號)	JPS6134242B2	JPS609852A
發明概要	揭露一種永久磁鐵的磁性材料，該永磁材料係使用以鐵為基礎之合金，其包含定量Y的一種稀土元素和以定量的B和Fe作為殘餘物之磁異向性燒結體。其中R是其中至少一種含Y的稀土元素，其原子百分比組成為8~30 at%，並使用2~28 at%的B和剩餘原子百分比組成的Fe構成磁異向性燒結體。優化含稀土元素R之化合物中的Fe、B、R的量以及磁性材料B的量，透過使用以 Fe 為基礎之簡單的合金，容易製造獲得具有高殘磁強度、高矯頑力和高磁能積 (Energy Product) 的永久磁鐵。	該發明揭露一種硬磁組合物包括具有合適比例的稀土元素、過渡金屬元素和硼，透過快速淬火加工稀土過渡金屬合金以獲得高殘磁強度、高矯頑力和高磁能積 (Energy Product) 等硬磁性能，該磁性合金具有非常精細的結晶微結構特徵，其中存在一個原子分子式為RE2TM14B1的正方晶系結晶相。其中RE代表一種或多種稀土元素且優選的稀土構成元素是釤和鑷，TM代表一種或多種過渡金屬元素且優選的過渡金屬元素是鐵。

²⁶ 專利申請權人為住友特殊金屬株式會社 (Sumitomo Special Metals Co. Ltd.)，原因在於日立金屬公司磁性材料業務板塊先後經歷了多次整合，2003年日立金屬達成協議收購日本住友32.9%的股份，日立金屬將自身磁材業務部門併入住友特殊金屬，並將重組後的子公司命名為NEOMAX，稱為Neomax株式會社 (NEOMAX CO., LTD.)，並繼續以Neomax品牌出售稀土磁材產品，奠定稀土磁材技術實力全球領先地位。

出願番號 (專利申請號)	特願1982-145072 JP19820145072	特願1984-18178 JP19840018178
發明主張之 權利請求項1	一種永久磁鐵，包含至少一種含Y的稀土元素R，其原子百分比組成為8~30 at%；以及原子百分比組成為2~28 at%的B和剩餘原子百分比組成的Fe，該永久磁鐵的特徵在於燒結體。	一種磁性合金成分，包含至少約10 at%之原子百分比組成的至少一種選自釤和鑑的稀土元素，以及原子百分比組成約0.5~10 at%的硼和鐵，透過快速淬火的方式加工上述組合的熔融混合物，該硬磁性合金組合物的特徵是合金中的硼與實質上不包含硼的類似合金相比其含量增加。

稀土金屬的化學活性非常強，以至於它們容易與大氣中的氧結合而生成稀土氧化物 R_2O_3 ，所以稀土元素R並不總是純元素，一開始製備磁性材料通常使用粉末狀的稀土氧化物 R_2O_3 作為稀土元素R的原料，後續仍必須在還原性或非氧化性氣氛中進行諸如熔融、粉碎、成形（壓實）、燒結等的各種步驟。日本住友特殊金屬自1982年申請第一件釤鐵硼型燒結磁鐵的專利，揭示了釤鐵硼型磁鐵的成分後，緊接著次年揭露釤鐵硼型永磁材料的生產方法。例如美國專利US4,597,938（簡稱「'938專利」）²⁷名為「永磁材料的生產方法」，專利申請權人為日本住友特殊金屬，申請日1983年9月15日，主張複數個日本申請案優先權²⁸，其優先權日為1983年5月21日和1983年5月24日。該發明的永磁材料係以燒結體獲得的，其製備方法主要涉及粉末冶金程式（powder metallurgical procedures）而屬於「釤鐵硼型燒結磁鐵」，該方法適用於非等向性（anisotropic）和等向性（isotropic）的永磁材料。各種元素金屬在條件下熔化和冷卻而產生基本上結晶的狀態（無非晶態），例如澆鑄成具有四方晶系晶體結構的合金，然後將其細磨成細粉。²⁷專利主張的權利請求項1係有關一種製備Fe-B-R型永磁材料的生產方法（R是稀土金屬中的至少一種），包括製備平均粒徑為0.3~80微米的金屬粉末，進行壓實所述金屬粉末，以及在非氧化

²⁷ Y. Matsuura, M. Sagawa & S. Fujimura, 1986, "Process for producing permanent magnet materials", US Patent US4597938A.

²⁸ US4597938主張日本申請案之優先權，優先權日及其案號：JP58-88372[1983年05月21日]，JP58-88373[1983年05月21日]，JP58-90038[1983年05月24日]，JP58-90039[1983年05月24日]。

(nonoxidizing) 或還原 (reducing) 情況下於900~1200°C的溫度下燒結該壓實過的金屬粉末。其中，該金屬粉末之組成基本上係包含12~24 at%的R、4~24 at%的B以及至少52 at%的鐵，其中R是選自Nd，Pr，La，Ce，Tb，Dy，Ho，Er，Eu，Sm，Gd，Pm，Tm，Yb，Lu和Y，且至少50 at%的R由Nd和／或Pr組成。

釤鐵硼型燒結永磁材料是迄今為止磁性能最強的永磁材料，是新能源和節能減排產業中的重要基礎材料。正因如此，新能源汽車、風力發電、節能家電、工業機器人等新興行業的快速崛起，必然帶動釤鐵硼型燒結磁鐵需求的顯著增長。

肆、中美貿易戰趨勢下——台灣稀土產業布局新思維

釤鐵硼磁鐵組成中含有目前應用於電動車永磁馬達最為廣泛的稀土金屬釤，使得稀土金屬為現代先端科技生產過程中不可或缺的重要原料，獲有「新材料之母」和「工業維生素」的美譽，但也因其產量稀少，而被採礦業界稱為難得素，稀土元素的名稱正來自其在開採上的匱乏性²⁹。

全球稀上市場規模，其中有96.8%來自中國大陸，大多集中於內蒙包頭白雲鄂博，其他國家產量僅占剩餘的3.2%。³⁰中國大陸是世界上稀土儲量大國，也是唯一能供應全部17種稀土金屬的國家，釤鐵硼產量更是占全球的80%，居世界第一，顯示中國大陸在稀土金屬的地位與特殊價值，以致形成當今中國大陸稀土礦源獨霸全球的局面，這也是為何中國大陸可以拿稀土當武器的原因。至於稀土儲量世界第二的美國，雖有稀土礦藏而具備開採稀土礦源之能力，但卻無分離、精煉、純化等稀土上游加工技術。因為開採出來只是稀土礦，必須進一步分離、精煉純化為商業用的稀土元素；美國唯一的稀土礦商MP Materials（下稱「MP」）公司9成以上的稀土礦都要送到中國大陸加工。

MP公司在其官網上開宗明義的第一句話，就是「復興美國稀土產業」

²⁹ 詹嘉紋，阿凡達戰爭再現？ 稀土開採重創生態（上），環境資訊電子報，網址：<https://e-info.org.tw/node/62742>，最後瀏覽日：2019年10月20日。

³⁰ R. Colin Johnson, “Rare earth supply chain: Industry’s common cause”, EE Times, October 24, 2010, available at https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1264071 (last visited Nov. 20, 2019).

(Reviving America's Rare Earth Industry)。眼前美國政府企圖積極重振稀土產業鏈，MP公司樂見和台灣企業合作，為積極尋找合作夥伴，執行長歐華森 (Michael Rosenthal) 2019年8月悄悄來台正是看看台灣需要哪些稀土產品。MP的執行長歐華森 (Michael Rosenthal) 對美國是否能因應中國大陸稀土禁運的問題，不僅語帶保留隱晦，並且憂慮的回應：「中國若宣布禁運稀土，那麼全世界都該害怕！」可見中美貿易戰開打至今，雙方雖各有對策相互施壓，然而唯獨在稀土戰場上，美國處於極度弱勢的窘境。短期內美國無法應付稀土戰，這是中美貿易戰火拼至今，美國被看穿的唯一弱點。中國大陸看準這一點，便起念以稀土王牌作反制美國的武器，在中美貿易戰相互加徵關稅的招術中，中國大陸就在今年加徵關稅的公告清單中包括了稀土產品。當中國大陸對從美國進口的稀土礦徵稅，也就壓抑了美國業者取得商業化稀土元素的能力。不僅如此，再從數字觀察，中國大陸稀土及其製品出口量逐年衰退，也被認為中國大陸意圖採用溫水煮青蛙的方式逐步減少國外業者庫存量，種種因素導致美國稀土龍頭也來台尋找合作夥伴意圖擴大自己的稀土產業供應鏈。³¹

綜觀稀土的上中下游產業鏈，大致上可分為上游原料、中游資源化以及下游應用。圖6展開稀土產業的供應鏈。上游原料的處理，係指稀土礦經過開採、分離與純化提煉等三步驟篩選出稀土元素的製程。首先透過水洗方式篩選出稀土礦；接著，由於稀土元素很多共生，要利用強酸溶解原礦等製程逐步分離出不同元素；再來進行金屬合金和氧化物的提煉與製造，各家公司還可按獨家配方把礦石中的元素添加其他不同的元素，按需求生產出各種不同純度規格和成分。³²

³¹ 萬年生、徐右螢，絕殺稀土戰，今周刊，2019年9月，1184期，77-80頁。

³² 萬年生，上游原料靠進口、中下游應用是大宗 台灣稀土產業鏈揭密，今周刊，2019年9月，1184期，90頁。



圖6 稀土產業供應鏈

目前台灣稀土供應鏈只有一半，稀土應用集中在中下游。台灣稀土及稀有資源應用產業聯盟（簡稱「台灣稀土聯盟」）表示台灣目前是從中國大陸等地進口稀土原料來台製成成品，至於開採、分離和純化等上游製程則幾乎沒有。雖然台灣廠商在稀土前端生產欠缺原料與精煉能力，但台灣仍有廠商具備合金到粉末的較高附加價值配方能力；中鋼已悄悄研發釤鐵硼磁鐵近10年，且據悉中鋼在生產稀土永久磁石的技術能力已達國際水準，只是目前量仍太少。中鋼內部有一條約年產百噸的釤鐵硼磁鐵生產線，但市場進入門檻是1,500噸，仍未達規模經濟。³³此外，台灣最專業磁鐵製造廠台全金屬的廠區內設置有稀土磁鐵部門，主要生產釤鈷磁鐵，製造工法傳承日立金屬擁有單片成型的技術；台全金屬早在1995年投資中國大陸三環新材料高技術公司，合資在大陸生產釤鐵硼燒結磁鐵，是少數在中國大陸取得專利授權的製造商。³⁴

台灣本土就有稀土礦藏，蘊藏在西部的10個沙洲³⁵，台灣的稀土礦是一種稱為

³³ 同前註，91頁。

³⁴ 加點製造，生產大揭露！參訪台灣最專業磁鐵製造廠——台全金屬，網址：<https://blog.addmaker.tw/2018/08/14/%E5%8F%83%E8%A8%AA%E5%8F%B0%E7%81%A3%E6%9C%80%E5%B0%88%E6%A5%AD%E7%A3%81%E9%90%B5%E8%A3%BD%E9%80%A0%E5%BB%A0-%E5%8F%B0%E5%85%A8%E9%87%91%E5%B1%AC/>，最後瀏覽日：2019年11月20日。

³⁵ 台灣稀土礦藏位於濁水溪以南、曾文溪以北的海灘上，尤其以包括外傘頂洲、七股鹽山附近的頂頭額沙洲等10個沙洲，以及曾文溪、八掌溪等4條溪流的河岸，蘊藏最豐。這些地區約有55萬噸重砂礦藏（指比一般石英細砂更重的砂），重砂中約1成的成分為獨居石。

獨居石（Monazite）的礦物，富含稀土礦及放射線元素鈇³⁶，早年雖具有開採提煉稀土的技術，但因開採不符成本效益³⁷而未繼續發展。美中貿易戰火延燒到稀土，台灣稀土礦藏雖只占全球總藏量的0.02%，比重非常小，但有了核彈等級的提煉技術加持，未來稀土戰若真開打，這個寶貴戰略資源相信可在非常時刻裡扮演著台灣少有的抗衡資源。³⁸

從稀土材料產業技術布局上看，由於台灣使用的稀土量很少，為了搭上與台灣供應鏈相關的環節，可將重點放在拓展與磁鐵元件、模組和馬達、揚聲器等成品相關的下游稀土應用上。

伍、策略與建議

中美貿易戰自2018年3月22日開始，至今1年8個多月，中國大陸以稀土作為經濟戰武器已眾說紛紜討論不斷，本文提出以下3點策略建議：

一、稀土資源替代方案

在所有17種稀土元素中，目前應用最為廣泛的稀土元素是「鈇」，這種稀土有9成以上是由中國大陸提供，但中國大陸實施出口限制，稀土供應存有不確定的風險，全球已開發國家無不尋求稀土資源替代方案，企圖發展不使用稀土或少用稀土的技術，或以性價比角度考量替代性磁材，以緩解稀土來源受限的窘境。

³⁶ 獨居石（Monazite）礦物，具有至少5成的稀土化學成分。此外，獨居石中富含的放射線元素鈇，經過處理後可轉變為鈾而用於製造核彈、核能發電的核燃料，暗藏著台灣發展核武的歷史。

³⁷ 隸屬於國防部轄下的中山科學研究院於1968年暗地裡進行台灣核彈發展計畫提煉鈇金屬，且於1984年開始研究「副產品」而進行開採提煉稀土的技術，並技轉給民間成立鑫海稀土公司。1990年起，中國大量出口便宜稀土，每公斤售價跌到個位數，鑫海黯然關廠、併入生產草酸的天弘化學公司。

³⁸ 蔡靚萱，原來台灣有稀土！揭秘台南沙洲上的秘密礦區，背後藏著核武發展史，商業周刊，2019年6月6日，1647期，34-36頁。

(一)發展不使用稀土或少用稀土的技術

舉例來說，日本電產看準電動車市場驅動馬達的稀土供應問題而開發「開關式磁阻馬達」（Switched Reluctance Motor, SRM）。所謂開關式磁阻馬達係利用線圈產生磁力牽動轉子產生旋轉力道，適合高速迴轉和高出力。這種馬達結構簡單堅固，轉子無繞線、無永磁，不需要永久磁鐵，故不必使用稀土³⁹；轉子也只有鐵芯構成，節省不少資源，具成本低、耐高溫等優點，從而為以往電動車用驅動馬達多採用高效率的嵌入式永磁馬達（IPM）提供了替代方案⁴⁰。因為IPM使用的釤磁鐵需要在高溫環境下使用，耐熱性要求高，為了確保耐熱性，業者必須在釤磁鐵中添加鑭、鋨等稀土元素，但稀土供應存有不確定的風險；日本電產研發的則是不使用稀土材料的新一代磁阻馬達，瞄準電動車磁阻馬達市場，不僅緩解稀土供應問題，且材料由鐵鋁和銅組成，可回收性更佳。

(二)以性價比角度考量替代性磁材

基於性價比原因，若能被一些性能稍差的材料代替，例如以鐵氧體、鋁鎳鈷合金取代部分釤鐵硼永磁材料，特別在低階領域部分替代或完全替代以提高性價比；然而，在高階領域釤鐵硼的剛性需求是難以替代的。⁴¹

二、研擬專利戰略對抗霸主

(一)企業結盟聯合對抗專利霸主

基於專利乃屬地主義，專利申請布局的地區則享有專有排除他人未經其同意而製造、為販賣之要約、販賣、使用或為上述目的而進口該物品（或其組成）之權利。日立金屬為全球最大的生產、銷售燒結釤鐵硼企業，由於起步早已在全球布局稀土磁鐵及燒結釤鐵硼專利池，特別是上游稀土磁粉的成分基礎專利，控制著稀土磁性材料上游生產的關鍵技術。針對日立金屬在釤鐵硼永磁材料方面的專利獨霸局

³⁹ 村澤義久著，葉廷昭譯，註6書，109頁。

⁴⁰ 日本電產瞄準電動車磁阻馬達市場，易容網，網址：<https://read01.com/zh-tw/xDE5g02.html#.XdySH-gzY2w>，最後瀏覽日：2019年11月26日。

⁴¹ 國家智慧財產權局專利局專利審查協作湖北中心，註19文，21頁。

面，永磁產業為了打破日立金屬在燒結釤鐵硼領域的專利封鎖，順利拓展海外市場以尋求正當銷售爭取生存權，包括瀋陽中北通磁科技股份有限公司等7家稀土永磁企業聯合起來建立專利聯（結）盟⁴²聯合對抗專利霸主，訴其釤鐵硼專利無效。聯盟也對目前仍訴訟中之案件有信心繼續取得勝利，聯盟並希望有更多的業界同仁加入共同打破日立金屬的壟斷。

（二）積極優化專利布局

中國大陸、日本和美國在稀土磁性材料研發領域的布局差異甚大，具有先發優勢的日本主要布局在上游稀土磁粉製備及稀土磁性材料下游應用領域，其專利基本涵蓋了上游磁粉製備的關鍵步驟。建議其他發展稀土產業的國家，以專利迴避、強化、探勘挖掘等策略布局專利，例如中國大陸可試圖規避日本在上游稀土磁粉之成分專利，並強化中游稀土磁材的製備和探勘挖掘下游稀土磁材應用領域的專利布局，特別是在醫藥領域的布局。

美國雖早期擁有上游稀土磁粉的少量專利，但後續並未積極衍生布局，目前反而將重點放在稀土磁材的應用領域上，且其應用領域相對於中國大陸和日本更廣，特別是在醫藥、生物技術領域布局不少專利。美國專注於挖掘稀土磁性材料的下游應用，優化其專利布局策略值得為各國發展稀土產業之借鏡。

三、各國尋找資源聯手合作開發以擴大稀土產業供應鏈

中美貿易戰延燒至今，以美國為主的各國相繼尋找資源聯手合作填補自己不足的稀土產業供應鏈，企圖以各國產生互補的態勢削弱中國大陸獨占的影響力。例如美國與加拿大和澳洲兩大礦業出口大國共同合作，以減少美國對中國大陸高科技產業關鍵原料的依賴⁴³。減少對中國大陸礦產依賴，美澳聯手到各國尋找資源合作開

⁴² 瀋陽中北通磁科技股份有限公司、寧波同創強磁材料有限公司、寧波永久磁業有限公司、寧波科田磁業有限公司、杭州永磁集團有限公司、寧波華輝磁業有限公司、廣東江門磁源新材料有限公司等7家企業於2013年8月成立了「稀土永磁產業技術創新戰略聯盟」，意圖協同努力打破日立金屬的專利封鎖。

⁴³ 科技新報，降低對中國依賴！美擬跟加、澳攜手開發高科技關鍵礦產，網址：<https://technews.tw/2019/06/12/usa-canada-australia-high-tech-minerals/>，最後瀏覽日：2019年11月26日。

發稀土產業以擴大供應鏈，當然也尋求台灣的加入，因為台灣在稀土應用有幾個強項，特別在磁鐵方面，另外還有獨步於生物醫學的癌細胞的影像偵測技術。

為建立多元進口管道，美國建立稀土加工廠以彌補中國大陸禁運的缺口，在國防部大力持下2020年還要重建加工廠（2017年因Molycorp公司倒閉，將該礦賣給拉斯維加斯的MP Materials公司）。另，澳大利亞的萊納斯公司（Lynas Corporation Ltd.），其在馬來西亞已建有稀土加工廠，產能占全球10%以上，日前已與美國德州的藍線公司（Blue Line Corp.）簽約，將在德州合作建造稀土加工廠。⁴⁴

陸、結 語

稀土是包含美國的許多高科技公司至關重要的原料，其中應用的產品包括手機、電池、電動車、工業和軍事產品製造等領域；稀土金屬中的釤就是廣泛應用在電動車用以生產電動馬達與發電機內使用的超強磁鐵。

稀土礦物具備應用範圍極廣、高度仰賴中國大陸、極少替代品等三大特色。稀土元素供應鏈如果皆由一個國家所控制，過度依賴任何一個單一來源都會增加產業供應鏈被中斷的風險，因此減少對中國大陸稀土礦產的依賴才是上策。

借鏡日本成功對抗中國大陸稀土戰的先例⁴⁵，擺脫依賴中國大陸稀土的窘境，日本政府更發布了確保稀土穩定供應的重要戰略⁴⁶，竭盡所能地以各種方式保障日

⁴⁴ 海中雄，稀土磁鐵——中美貿易戰的終極武器，網址：https://www.upmedia.mg/news_info.php?SerialNo=71030，網址：最後瀏覽日：2019年11月26日。

⁴⁵ 2010年10月，中國大陸藉由與日本在釣魚台海域衝突事件，對日本採取稀土禁運措施，因而引發了國際稀土產業的大戰。回顧中日稀土大戰的過程，中國大陸向世界宣告新的稀土戰略遊戲規則，表面上成功的取得話語權及定價權，也在內蒙古包頭市成立了稀土交易所，但因為中國大陸稀土行業沒有重大技術優勢，只是稀土原料廉價出口。然而日本是世界上最能利用稀土創造高附加價值，且多用於新技術領域，其由中國取得低廉價格的稀土原料，經過加工生產高科技之新技術產品回銷中國大陸，因而賺取更高的經濟利益。

⁴⁶ 2009年7月，日本政府發布了《確保稀有金屬穩定供應戰略》，其戰略主要核心內容即是竭盡所能以各種方式保障日本的稀土供應無虞，並大量降低對中國大陸稀土的依賴程度，以確保日本核心利益。更因日本擁有豐富的稀土資源戰略儲備，預估有20年的安全存量，因此日本不僅承受了中國禁運稀土的衝擊，更順勢重新強化其稀土產業的戰略布局。

本的稀土供應無虞，並大量降低對中國大陸稀土的依賴程度，以致中國大陸最終並未占得便宜。

繼2010年中日稀土大戰及2018年中美貿易戰，各國雖免不了承受中國大陸禁運稀土的恐慌，但若能及早開始思考如何擁有自己稀土資源之必要性，以確保稀土供應穩定、有效達成減少由中國大陸進口稀土的目標，進而順勢重新強化其稀土產業的戰略布局，方能確保經濟發展不受干擾，確保國家戰略核心利益。