

從引擎、晶圓到牙齒，「磨潤學」學問大

轉

開瓶蓋時，手不能太滑，一定要有摩擦力才打得開。

這個背後的學問，其實是「磨潤學」。獲得第二十七屆國家講座主持人獎的成功大學生物醫學工程學系講座教授鄭友仁，作為臺灣「磨潤學」先驅，不僅協助國內製造業改善工具機效率，還影響現今的半導體、生醫界等領域，貢獻著實非凡。

無人識得磨潤學，唯有實際解決問題贏得業界信賴

「磨潤學，在日常生活中無處不在。以走路為例，我們的腳底需與地面產生適當的摩擦力才能移動；倘若摩擦力不夠，譬如地板太滑，恐導致跌倒。」鄭友仁話鋒一轉指出，騎車或開車時，如果摩擦力過大，會消耗較多燃料，也會導致機件磨損，此時便需要潤滑油來降低摩擦力，「磨潤學就是專門研究摩擦、磨耗、潤滑之現象及其應用學科。」

鄭友仁自美返臺時，「磨潤學」在國內尚未普及，所幸他於美國汽車大廠「通用」（General Motors）的工作經驗成為優勢，吸引機車大廠主動合作。

「當年，我研發出一套提升引擎性能之潤滑設計的最佳工具軟體，為通用汽車帶來高達數千萬美元產值，因而獲頒最高技術獎章。」鄭友仁憶起為業界貢獻的第一座里程碑，這也讓他順利把「磨潤學」帶進臺灣，因為當年機車產業正努力擺脫對日本技術的依賴、追求自主研發，他則在引擎氣缸壁的製作加工上做出貢獻。

不僅如此，當年許多製造業者都面臨軸承問題，希望提高旋轉系統的轉速，促使鄭友仁著手設計工具機的核心部件「高速主軸的潤滑系統」，並開始與中南部的工具機產業聚落密切往來。

踏入半導體，從封裝到晶圓研磨均有重大貢獻

與業界頻繁互動的過程中，鄭友仁觀察到，半導體為政府及業界重點推動的新興產業，使其萌生，可為學生們另闢一個具潛力的研究暨就業新方向；為此，他轉投入半導體後段的封裝製程。

鄭友仁說：「二、三十年前的電子產品，尤其是電動遊戲

鄭友仁

工程及應用科學領域

第二十七屆國家講座主持人獎

成功大學生物醫學工程學系講座教授



機，鉛線是常見的封裝鋁線材料；但相比鉛線，銅線的傳導速度更快、更好。美中不足的是：銅線較軟且在鋁接過程中容易氧化。後來，我研發出一項專利『以薄膜層進行銅導線晶片之鋁線製程方法』，在銅線取代鉛線的轉型中產生了重要的作用。」

這項專利主要是在鋁接過程中，於銅導線和晶片之間有上一層薄膜，猶如「潤滑劑」般，可降低銅線與晶片之間的摩擦力，同時防止銅線在高溫下氧化，讓鋁接過程變得順利、品質更高。

隨後，鄭友仁又帶領團隊轉入前段的晶圓奈米研磨製程。但以往，欲精確量測奈米尺度的表面現象十分困難，而鄭友仁研發的「微觀奈米量測技術」猶如超級強大的顯微鏡，可協助工程師看見晶圓表面的每一個細節，無論是平面、曲面或軟性材料，均可確保研磨過程中的每一步都達到最佳效果。

值得一提的是，美國國防單位也因「微觀奈米量測技術」，主動找鄭友仁合作，聚焦於二維凡得瓦爾材料（van der Waals materials），即俗稱的2D材料；其中，民眾最熟悉的是石墨烯，而二硫化鉬（MoS₂）則被認為是未來最具潛力的半導體材料之一。

「一旦傳統半導體技術難以突破二奈米工藝，適用於微小

尺度應用，又具有優越通訊性能的二硫化鉬，將可能成為下一代半導體材料的新選擇，」鄭友仁解釋。

解決牙醫界懸案，致力尋覓媲美牙釉層的堅韌耐磨材質

在機械工程學系耕耘數十年的鄭友仁，後來為什麼會跨界成為生物醫學工程學系教授？他莞爾一笑地回答：「早在二十年前，我的研究興趣已經跨入生醫領域，不斷地探索如何開發耐磨材料以延長零件壽命。在尋找答案的途中，我注意到牙齒具有高硬度，同時又不易碎裂磨損，完全符合我的研究需求。」

為深入研究這項課題，鄭友仁與成功大學牙醫學系教授謝達斌洽談合作，他的「微觀奈米量測技術」引起牙醫學系教授的高度興趣，因為長久以來在牙醫界有一大懸案：塗氟效果的持久性。

通常，牙醫會在兒童換牙前或矯正牙齒時為病患塗氟，甚至近年來六十歲以上的成年人每半年亦可進行一次塗氟。然而，他們觀察到一個令人困惑的現象：塗氟後兩至三週，塗氟層就消失了，但防蛀牙的效果卻似乎仍有效！

「透過微觀奈米量測技術，我們發現，先前因技術受限，無法精確定位和控制測量力度，導致他們實際上測量的是牙

齒本身的硬度，而非塗氟層。」鄭友仁說，透過精準量測後，可以窺見塗氟後形成的氟化物層相對較軟，因此容易被磨耗，這解釋了為什麼病患回診時醫生無法找到塗氟層，「更重要的是，我們發現塗氟效果並非來自表面塗層，而是氟與牙釉質反應形成的化合物能有效防止蛀牙，即使表面塗層消失，其效果依然存在。」

投身研究牙齒逾二十載，鄭友仁至今已揭開牙釉層既硬、不脆又耐磨的原因：「首先，牙釉層是複合材料，由第二類膠原蛋白和礦物質（如碳酸鈣）組成，類似鋼筋混凝土的組合結構，進而賦予牙齒既硬又韌的特性；其次，牙釉層具有漸進式的硬度分布。從接觸食物的最外層至內部的牙本質，硬度逐漸降低，這種梯度結構使得牙齒在咀嚼時不易碎裂。」

不僅如此，他的研究範圍還擴展到各種動物的牙釉層，進而發現：草食動物的牙釉層最硬，硬度梯度也最大，足以適應磨損性強的食物；鄭友仁因此體認到，人類欲朝永續發展，應從自然界汲取智慧：「動物的壽命與牙釉層厚度呈正相關：壽命愈長，牙釉層愈厚。這表明每個物種在進化過程中，都將資源利用極大化，以適應其生存需求。」

嘗試以微藻與昆蟲，打造永續環保的潤滑油

說到永續，就不能不提及鄭友仁研究團隊利用植物油製造

一種特殊的薄膜「磨潤膜」。這種薄膜可自我修復並對環境友好，因其能在高溫、高壓下自動形成，無需添加任何有害成分。利用植物光合作用中捕捉和轉化二氧化碳的機制，將其轉化為可自我修復的磨潤膜，可實現淨零碳排放的目標。

「近年來，我一直鑽研如何以植物油作為潤滑油的替代品。一開始，在與中鋼合作的研究中嘗試使用棕櫚油，後來我意識到，若過度依賴棕櫚油，恐導致農民使用火耕清理農地，這已在馬來西亞、印尼等國造成環境污染問題；因此，我將目光轉向微藻，畢竟作為海島國家，臺灣可利用海洋資源培養微藻，還能避免與食用作物爭地，」鄭友仁透露下一步計畫。

他將自己養的微藻投餵給昆蟲，並從昆蟲中提取油脂，「我發現，不同的昆蟲透過新陳代謝機制，可改變油的性質，這讓潤滑油的配方更有彈性，還可減少對添加劑的需求。」

面對磨潤學的未來發展趨勢，鄭友仁不諱言地說：「以後，將更聚焦於永續發展和生醫應用，這不僅反映環保意識抬頭，也體現科技在應對人口高齡化的重要性；我冀望自己能汲取大自然與人體的智慧，將其運用於現代醫學和工具製程上，對人類做出貢獻。」

