

清華大學「全球最大通道的無機晶型結構」記者會致詞

清華大學今天很高興有機會到國科會向大家報告化學系王素蘭教授所帶領的研究團隊(由七位清大研究生和三位分別來自中原大學、中央大學及加州州立大學的共同研究者所組成)，於2013年2月14日在 *Science* 期刊中發表了一篇研究論文，標題為「Crystalline Inorganic Frameworks with 56-Ring, 64-Ring and 72-Ring Channels」。此項研究主要是在國科會自然處與清華大學經費的支持下完成。王教授的研究結果，解開了學術界過去數十年來一直存在的晶型奈米孔洞物質缺乏系統性合成的難題；除此之外，超出當代物質科學家的實驗技巧與理論範疇，王教授研究室發展出一個名為「清華大學十三號」的系統(NTHU-13)，首度成功跨越微孔(microporous)與介孔(mesoporous)的界限，製作出全新型式的晶型介孔物質。這也是人工合成第一次能夠超越自然界已知的最大晶型結構通道。

自然界中存在著豐富、有趣的孔洞物質，例如沸石，其結構內部有0.3-0.7nm (奈米)大小的孔洞，可容許小分子進出，具有離子交換、氣體吸附/分離等性質；在傳統工業上，人工製作的類沸石孔洞物質，作為分子篩，有廣泛用途，亦用於核能廢水陽離子的處理與廢氣的吸收，煉製石油之觸媒以生產汽油；在近代能源環保議題中，更發展出以孔洞物質儲存氫氣與二氧化碳，或是新型無鑷螢光粉的潛在應用價值。

自1940年代起，科學家始能夠在實驗室中合成矽酸鹽沸石結構，並使用X光繞射技術清楚的定出三度空間原子的排列與結構組成，藉此了解孔洞內部結構與活性關係；到了1980年代，發現了鋁磷酸鹽沸石結構後，各種化學組成的類沸石孔洞物質相繼被合成，孔徑也從0.7 nm 逐漸擴張到1.3 nm，屬於微孔範圍(0.3-2.0 nm)。到1990年代，科學家發現了通道孔徑超過2nm的介孔(範圍2-50nm)製作方法。然而受限於非晶性緣故，對介孔結構的了解，只知孔洞通道排列形式，內部結構與組成難以詳細確定。自此，晶型的孔洞結構與微孔物質畫上等號。

對於物質科學家來說，發展可以調控孔徑大小的合成方法，是最具挑戰性的課題之一。從結構的觀點，孔徑大小約可用圍繞於洞口多面體的數目(簡稱元環(Ring, R)數)來表示。人工所合成的微孔環數早已超過天然沸石結構中的12元環(12R)。然而，過去數十年來，一直

缺乏合成超大元環(>12R)通道的有效方法。

王教授研究室自2001年發展出24R (NTHU-1) 成果，2007年創下與26R的先例2005及2009年有兩個30R結構被合成，均發表於Nature中，然而四年中仍未達成環數上的突破，且結構與合成方法均無關聯性；若干年來，晶型結構的孔徑上限停滯於30R，仍未能超越30年前在天然界發現的類沸石最大晶型通道36R。王教授研究室則在2010及2011年分別用單模板控制孔徑元環數，發展出28R與40R結構，更進兒發現結構與孔道邊組成關連性，找到孔道模組擴充通式，可以預測下一個更大的通道孔徑。有此依據而產生信心，因此在短短的數個月間，便能夠將通道孔徑從48R 持續往上擴增至介孔等級的56R、64R 與72R。這個結果完全超乎現代物質科學家在微孔物質的經驗、認知與預期。這是第一次在合成晶型奈米孔洞物質上成功達到系統性的合成，為一項重大突破，並預測可延伸到80R、88R等、

NTHU-13系統所集結的無機通道孔徑從0.7 nm 到達3.5 nm，首度證實於單一系統內可以利用模板聚集機制，達到從微跨越至介孔洞範疇的無縫接軌。合成有序側壁介孔結構的合理性設計在文獻上仍尚未被提及，直至今日才由NTHU-13系統所實現與驗證。王教授團隊的此項研究結果，在學術上有高度的創新意義與貢獻。

此項研究，有賴清華研究生在實驗上的知識經驗及高度技術、中原大學林嘉和教授與中央大學李光華教授長期以來提供的合作測量、以及加州州立大學卜賢輝教授提供介孔物質反應技術觀念與文章前言的潤筆，才能夠順利完成發表。王教授指出，「這篇論文不僅顯示實驗技術上的突破 使用單胺的界面活性劑模板，就可以持續將隧洞大小從 24R 逐步上推至 72R，也打破長期存於孔洞材料相關領域中以為聚集型式模板所導引的介孔通道是非晶型的迷思。這個觀念上的突破，對未來合成晶型奈米孔洞物質會產生重大技術革新與影響。」

值得一提的是本論文是在國內長期研究成果，同時研究主力包括多位國內培育的人才，顯示國內優質的研究生教育能培育出從事頂尖研究的優異人才，在國內一片惋惜留學生大幅減少聲中，可為反思的參考。

本論文是清華大學繼去年以通訊作者身份，在「自然」(Nature)、「科學」(Science) 二頂尖標竿期刊上發表各兩篇論文後的第五篇論文，另外在此預告清華大學教授另有兩篇論文發表於「科學」期刊中，將

在最近到國科會對大家報告，因此開春以來共已有三篇「科學」期刊論文，後勢看好。在此要特別感謝長期支持這幾項研究的國科會（National Science Council）。清華大學向國科會交出漂亮的成績單。相信未來更會捷報連連，與國科會同享榮光。