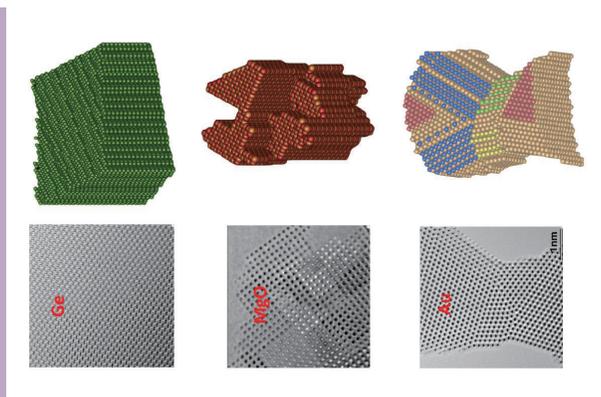




工科系陳福榮教授與國際研究團隊成功解析奈米顆粒 3D 原子結構。



下排是奈米鎢晶、氧化鎂奈米顆粒及金奈米橋的 2D 原子影像，上排各為以上奈米顆粒重構的 3D 原子的斷層結構。

## 實現費曼夢想 清華成功解析奈米顆粒 3D 原子結構

傳奇物理學家費曼在他最知名的一場演講中曾說：「若是我們能夠觀察到原子在三維空間上的位置，那麼再複雜的化學物質分析也將變得非常簡單。」如今，本校工程與系統科學系陳福榮教授攜手國際科學家，實現了費曼大師的夢想，成功解析奈米顆粒的 3D 原子結構。

奈米科技之父費曼 1959 年發表知名演講「底層還有大空間 (There's Plenty of Room at the Bottom)」，這也成為奈米科技界的名言。就是在這場演講中，他提出了想看到奈米顆粒 3D 原子結構的「夢想」。

但是要達到費曼的夢想，基本上需跨越兩個很重要的障礙。其一是現在最先進的電子顯微鏡，分辨率雖足夠得到原子等級分辨率影像，但是只有 2D 投影結構，沿著電子束投影方向的原子數目和結構全隱藏在投影的影像中，「就像拍照一樣，你只能看到有一排人，看不到他們之間前後距離有多遠。」陳福榮解釋。第二個障礙是電子輻射損傷會在影像拍攝過程中改變奈米材料的結構，甚至產生破壞。

陳福榮教授和美國勞倫茲國家實驗室電子顯微鏡中心 Christian Kisielowski 教授以及比利時安特衛普大學 Dirk Van Dyck 教授合作利用低劑量電子顯微術，在不破壞奈米材料的條件下，重構出奈米顆粒的 3D 影像，並且發展全新 3D 電子顯微理論。

陳老師說，研究團隊以幾近 0.1 奈米的準確度萃取出奈米顆粒表面的原子分辨形貌，及沿著電子束投影方向定量計數有多少原子，以單一原子準確度定量奈米顆粒的厚度。

這項突破性的研究成果，發表在上個月的「自然通訊」(Nature Communications) 期刊，文章中展示了奈米鎢晶、奈米金橋及奈米氧化鎂顆粒的原子 3D 斷層結構。

在這項國際合作中，無論在電子顯微鏡技術及理論上都有創新的突破。陳福榮說，在實驗方面，研究團隊發展利用低劑量的電子顯微術，在不破壞奈米材料的條件下，拍攝多張聚焦在不同焦平面的影像，以看出前後位置的原子結構；在理論上，由這一系列影像重構出高訊號、低雜訊的 3D 影像，再利用 3D 影像電子波的傳遞，量測奈米顆粒表面原子的位置。由此，可以決定原子分辨率的表面形貌，準確度高於 0.1 奈米。

陳福榮指出，從 3D 影像可以計數出投影方向的原子數目，奈米顆粒在電子束方向厚度的量測可以定量準確到一個原子。藉由表面形貌及準確計數原子個數，奈米顆粒的 3D 空間形狀就可以在原子分辨率的尺度下重建，完成費曼的夢想。