

凝態中心朱明文研究員與物理系郭光宇教授發現鐵電相極化與反極化共存發表於 Physical Review Letters 並獲選為封面

創造新學術名詞以提高科研論文的公眾關注度，儼然成為當代研究顯學，本篇鐵電相之極化（polar）與反極化（antipolar）物理，訴說的卻是老派（old school）科學研究之必要。鐵電相（ferroelectrics）早在二十世紀就被透徹研究，意指物質中存在可受外加電場翻轉的自動極化（spontaneous polarization），且自動極化具永久性（retention），因這些功能性，鐵電相成為高度實用的材料，其原理並被廣泛應用於消費性電子中，也就是說，物理學家早就對鐵電相瞭若指掌，一點都不是新鮮事。

2015 年一月美國 Rutgers 大學的物理學家發表一種鐵電氧化物 - $(\text{Ca,Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ ，反直覺地，其自動極化是由兩個不具極化的晶體結構扭曲序化因子（order parameter）組來而來，材料中更存在大量頭對頭（head to head）與尾對尾（tail to tail）極化介電壁（domain wall）。頭對頭介電壁必須由電子屏蔽，而尾對尾壁則須由電洞屏蔽，然而，自然界中不存在電子電洞共存的單一物質。因此， $(\text{Ca,Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 一發表，全球相關學界都關注，並爭相取得第一手材料深入研究。

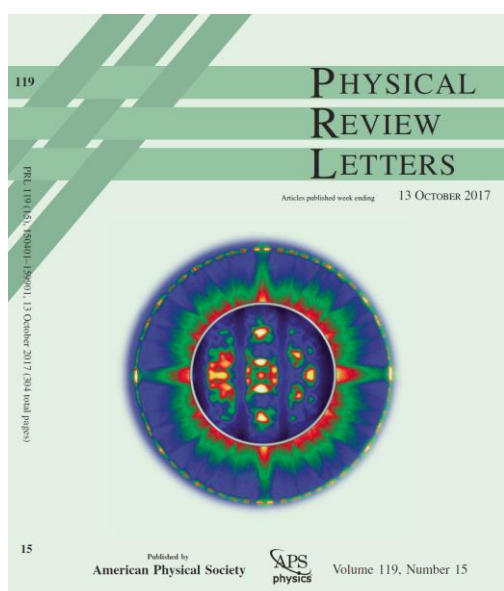
凝態中心朱明文研究員的原子級掃描穿透電子顯微能譜學團隊，以其頂尖技術，於 2015 年二月由 Rutgers 大學原創團隊取得第一手材料，並由具十年經驗的新生代電子顯微學第一把交椅李明浩博士投入研究，歷經兩年，運用老派的暗場電子顯微術（dark-field imaging）、聚焦電子束繞射（convergent-beam electron diffraction），和已趨成熟的原子級電子顯微能譜術，成功解開 $(\text{Ca,Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 為何如此特殊的謎團，刊登於指標性物理學期刊 - 物理評論通訊<Physical Review Letters>，並獲主編選為封面創下本土凝態物理學界十多年來的第一次。

$(\text{Ca,Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 的奧妙之處，在於其二維晶體結構本身就允許於一反極化序化因子，這個結構特性早在 1980 年代就由晶體學家利用老派的群論（group theory）推論出來，只是群論實在太老派，難引起廣泛共鳴，這個重要的推論就這麼深埋於文獻中。李明浩博士於 2016 年初除確認應有的極化原子排列外，居然還發現 1980 年代推論的反極化排列，然而，極化-反極化共存從未出現於任何文獻中。這個弔詭的問題，意外地在另一個老派的蘭道相變化物理學（Landau physics of phase transitions; 蘭道，1962 年諾貝爾物理獎得主）中找到線索。首先，蘭道相變化物理學明確指出，相變化的發生必定遵循某對稱性破壞的路徑，且由序化因子來扮演巨觀尺度下（macroscopic）對稱性破壞的角色，因此，只要能把蘭道相變化物理學與群論兩個老派科學整合起來，那必定可以找到 $(\text{Ca,Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 是否真的允許極化-反極化序化因子共存。在這個想法的指引之下，以群論加蘭道相變化仔細推敲 $(\text{Ca,Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ ，果然發現過去從未被報導過的多重、多維度序化因子共存巨觀特性，將此結論與物理系郭光宇教授的微觀（microscopic）晶體對

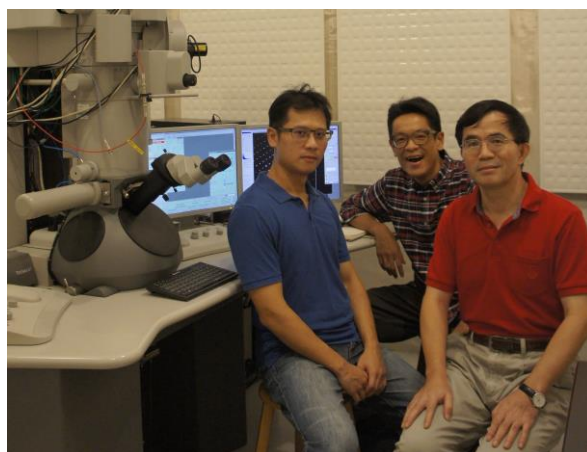
稱穩定度計算做比較，赫然發現老派的巨觀特性結論居然與當代的微觀計算吻合，更進一步在聚焦電子束繞射、原子級影像中找到吻合度的實驗證據，如此由老派巨觀科學指引當代微觀原子級分析，不只像是物理學的文藝復興，其結論更衍生到極化-反極化共存對應的特殊介電區拓撲 (domain topology)：頭對頭與尾對尾極化介電壁其實是由一數奈米寬的反極化介電區 (domain) 構成，因此，頭對頭、尾對尾介電壁不會發生靜電發散效應 (electrostatic divergence)，也就無須任何相關載子來作靜電屏蔽。極化-反極化共存結論更告訴我們， $(\text{Ca,Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 的自動極化不單單由兩個不具極化的晶體結構扭曲序化因子組來而來，所有對稱性破壞的機制都對極化有一定程度的貢獻。

誠如本導讀開頭所言，老派科學研究確實不像當代科學講求直觀、公眾關注，然而，關鍵科學問題的釋疑確實常常須要回過頭去推敲前人隱晦的智慧。近代科學強調的創新與老智慧的分野到底為何？當期物理評論通訊封面選擇老派聚焦電子束繞射 (圖一)，或許給我們關於創新的再思考空間。

原始論文詳見：<https://journals.aps.org/prl/issues/119/15>



圖一、物理評論通訊封面選擇老派聚焦電子束繞射圖案。



圖二、左起李明浩博士、朱明文研究員、郭光宇教授。