

研究成果

奈米銀結構在鉛量子島上之自組有序成長

張嘉升（物理所研究員）

「奈米」(nanometer)是一個長度單位，就是將 1 公分切割成 1 千萬分，而每一分的單位長度就是一奈米(10^{-9} 公尺)。因此，每 1 奈米約為 5 個原子的長度，或相當於分子的大小。所以，奈米尺度下的物質特性和一般巨觀下的物質特性，有非常不同的表現。隨著工業技術的進步，物質元件可以越做越小，導致奈米科學的研究成為當今非常重要，且待開發的知識領域。1980 年初期，由 Binnig and Rohrer 等人在蘇黎世 IBM 研究實驗室所發明的掃描式穿隧顯微鏡 (Scanning Tunneling Microscopy, 簡稱 STM)，具有可直接看到表面原子結構，並可以區域性量取物質之電性的能力，是研究奈米科學不可或缺的工具。Binnig and Rohrer 等人也因為此重要的發現榮獲 1986 年諾貝爾物理獎。

對於奈米結構的應用，除了特質外，還需要經濟又有效的大量製造方法。相對於利用人為蝕刻的方式，運用物質間自組排列的能力成為一項比較快速又有效的方法。因此，對於形成自組排列現象的各種物理機制必須徹底瞭解。先前嘗試利用晶體表面的差排及重構結構所自然形成的網格做為模版，並利用它們和加鍍物之間的作用關係，已成功地形形成有序的奈米結構。最近，我們實驗室在研究這個課題中，也有一個相當有趣且極重要的不同發現。

金屬鉛鍍在矽(111)表面的相會隨著加鍍量或加熱溫度不同而變化，舉例說明，略大於一層鉛加鍍在矽(111)表面後隨即加溫至 700K，鉛的相就會呈現類似線條狀，俗稱為線條狀的不相容相(Stripe Incommensurate Phase, SIC)。

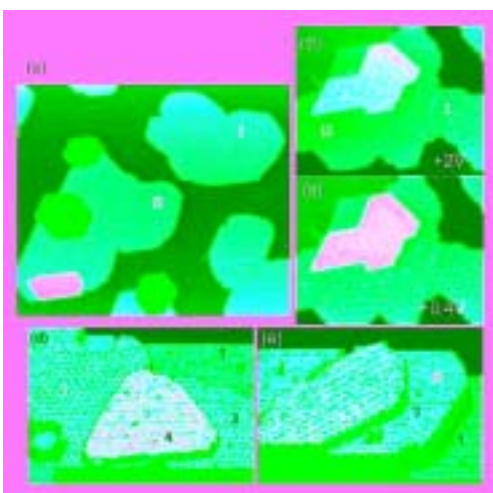


圖 1

在低溫約 200K 時，繼續加鍍鉛，則會在 SIC 的表面上形成具有同一高度的量子鉛島。這些鉛島的高度從鉛矽介面算起，共有 3 層的原子層高。仔細觀察這些量子鉛島的表面，可以發現有些島的表面可以發現對比明顯的週期性圖案，其他鉛島則圖案對比不明顯。這個圖案的產生，源於鉛與矽的晶格並不匹配，每隔約 4 奈米，它們的晶格會重疊一次。我們將具有明顯圖案之鉛島歸類為第一型的鉛島，對於另類不具有明顯對比圖案之鉛島歸類為第 2 型的鉛島(見圖 1(a))。這些圖案有幾項特徵：第一，圖案的對比會隨著施加在樣品上的偏壓大小而改變。由圖 1(b)中即可看見，當施加的偏壓為 +2V 時，第 2 型的鉛島上的圖案是不清楚的。然而，當施加在樣品上的偏壓降低為 +0.4V 時(見圖 1(c))，第 2 型的鉛島上的圖案對比會變得清楚些。

第二個特徵：圖案對比的清晰度，會隨著鉛島的高度不同而改變。見圖 1(d)，對第 1 型的鉛島而言，高度為 3 層原子層時，圖案對比是清楚的；然而，高度增加為 4 個原子層時則變模糊；而高度為 5 層原子層時，第 1 型的鉛島表面上的圖案對比則又變得清楚些(見圖 1(d))。這種現象也發生在第 2 型的鉛島上，只是它的變化與第 1 型鉛島互補，鉛島高度為 3, 4 及 5 原子層時，圖案對比的變化則依序由模糊變成清楚，再回到模糊(見圖 1(e))。這種島上的圖案對比隨著島的兩倍高度變化現象，我們稱之為鉛量子島的雙層震盪行為(Bi-layer oscillation)。根據這些特徵，我們將這種形成圖案的起源歸因於量子的電性特質。

接著較有趣的問題是，這種主要因電性起源而自然形成的週期性圖案，是否可以當作形成奈米結構的模板呢？當我們在溫度約 120K 時，在鉛島表面上加鍍銀(Ag)，可以發現這個答案是肯定的。實驗發現，二維高度有序的奈米銀原子團可以在量子鉛島上自組形成(見圖 2(a))。分析這些奈米銀原子團的大小分布圖(圖 2(b)中實線所示)和由不受基板作用的標度原理(Scaling theory)所得出的分布圖(圖 2(b)中虛線所示)，可以發現有很大的差別。由此可知，成長在量子鉛島上的奈米銀原子團是受到基板，也就是源自於電子特性的鉛島圖案的影響下而形成有序陣

列。再仔細觀察奈米銀原子團在圖案上的成長位置，可以發現奈米銀原子團都是位於相對於圖案固定的位置。這是因為每個圖案單包內，由於原子相對於基板的堆疊順序可大致分為兩大區塊，一區稱為六方堆積(hcp)，另一區稱為面心堆積(fcc)。由一些成核的成長經驗可以得知，相較於 hcp 處，奈米銀原子團坐落於 fcc 處時是相對較穩定。因此，對於奈米銀原子團在量子鉛島上形成二維高度有序的排列之現象，意味著銀原子從位於 fcc 處躍遷到 hcp 處是要克服一個很大的束縛能(binding energy, E_b)勢壘(見圖 2(c))。利用成核理論，也就是根據在不同的成長溫度與奈米銀原子團的成長密度之關係，奈米銀原子團在量子鉛島上 fcc 位置所受的束縛能即可得知。依據這個方式，我們可以得到圖 2(d)的關係圖。由此可得知形成原子團的銀原子在第 1 型的鉛島表面上之 fcc 位置躍遷到 hcp 位置，必須克服約 340 毫電子伏特(meV)的能量。然而，對於銀原子在第 2 型的鉛島表面上從 fcc 位置到 hcp 位置，只需克服約 150 毫電子伏特的能量。另外，實驗結果也發現，奈米銀原子團在第 1 型的鉛島表面上形成高度有序排列的形成溫度範圍可以從 50K 維持到 170K。這兩項特徵凸顯出奈米銀原子團在第 1 及第 2 型的鉛島表面上之成長行為是有非常大的差異性，顯見原子團形成的大小均勻性與週期性效果，是和基板圖案的明顯與否有極大的關連。利用這項關連性，在 4 層高的第 1 及第 2 型的鉛島表面上加鍍銀，可以成功地表現出鉛島基板雙層震盪變化的行為；這時候銀原子團在第 2 型的鉛島表面上形成的大小均勻性與週期性都比在第 1 型島上的效果佳(見圖 2(e,f))。

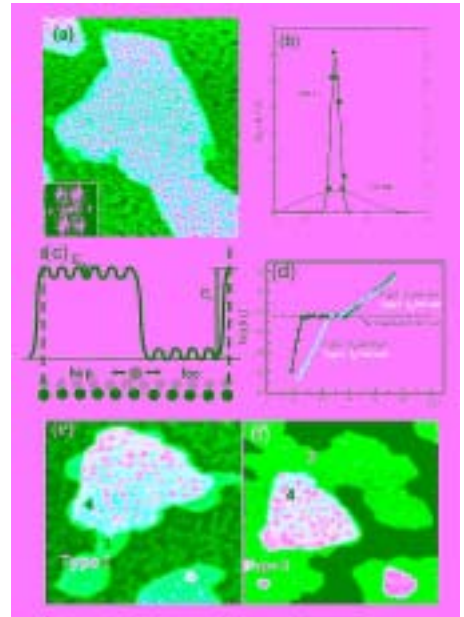


圖 2

總結我們近期在研究物質自組成長的課題中，成功地利用在量子鉛島表面上源自於電子特性的圖案，作為成長大面積週期性奈米結構的模板。同時也證實，基板之量子化電子特性，也會反映於奈米原子團的成長行為。