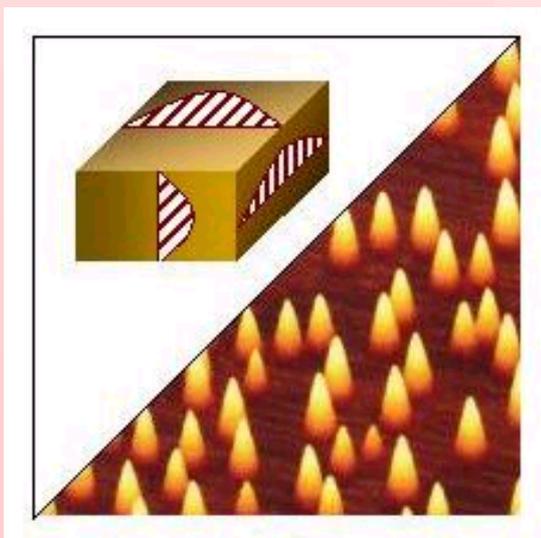


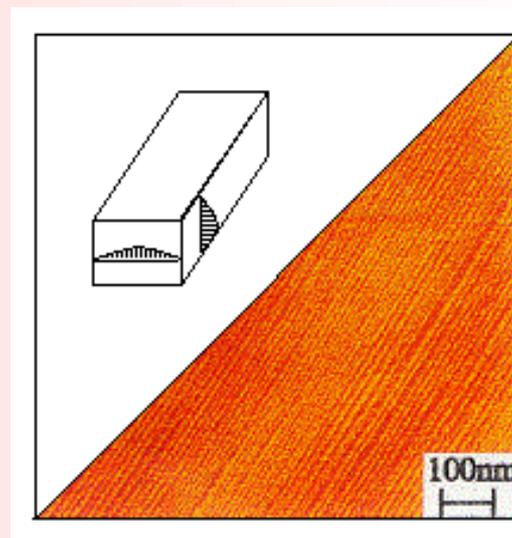
奈米建築師創造電子世界中的奈米城鎮

將電子限制在奈米結構中時，電子展現出遵循量子力學的波動行為，結果產生穿隧效應、繞射、干涉等現象，使電晶體的反應速率加速同時消耗功率減少。如此使製作完全與習知工作原則不同的一系列創新元件成為可能，這種創新的結果來自於所謂量子效應。對於微小化為一貫的發展趨勢之電子元件，量子效應的使用是自然會發生的事。然而這項發現也是很意外的，早在 1960 年時，今天應用於半導體電子產品的核心元件；金氧半電晶體(Metal-Oxide-Semiconductor ;MOS)就已經誕生了。在 1966 年時，IBM 公司的物理學家 Fowler 博士證明在低溫下金氧半電晶體中電子的量子效應，這項結果令當時物理界驚歎不已。在進行 MOS 電晶體研發中原本並不預期會使用到量子尺寸效應，但在 MOS 電容的基礎上工作，發現電子被限制在矽材料 10 奈米厚的表面層中，大幅提升電晶體特性的效果。Fowler 博士的發現使物理學家投入室溫下量子效應存在與否的研究。隨後 Sasaki 教授的研究證明在導電通道中的電子被強力的拉到矽材料表面情況下，的確在室溫下可存在量子效應。這項發現推動場效電晶體(Field Effect Transistor ;FET)電子元件進入量子世界。

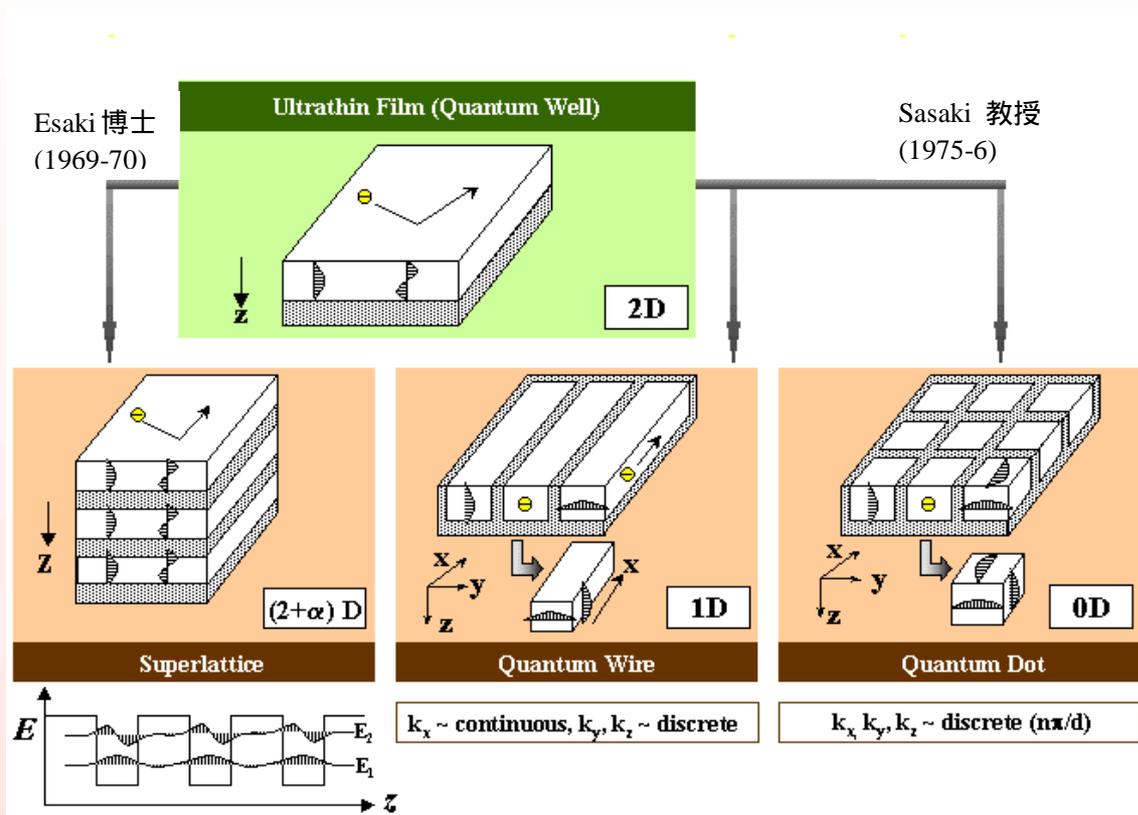
與 MOS 結構中電子侷限效應的研究同時受重視的為 1973 年諾貝爾物理獎得主 Esaki 博士的超晶格計畫，Esaki 博士證明在穿隧二極體中電子的波動特性，使電子能穿過傳統力學定律認為不可能穿過之薄的位能障礙層。Esaki 博士隨後提出一種由電子侷限層與穿隧障礙層交互形成的多層超晶格結構，Sasaki 教授同時發表含有點與線之平面陣列形成電子通道的特殊 MOS 結構。量子點或線的示意圖與原子力顯微鏡照片如圖一與圖二所示。限制於某一點或線中的電子波可以穿過障礙進入相鄰的點或線



圖一 量子點示意與 10 奈米尺寸的點
(原子力顯微鏡照片)



圖二 量子線示意與 GaAs 材料製作之多條
奈米尺寸的線(原子力顯微鏡照片)



圖三 電子的量子控制；由超薄障礙層到超晶格 $(2+\alpha)D$ 的量子點(0D)與量子線(1D)，圖中分別表示 Esaki 博士與 Sasaki 教授提出的方案

中，產生特殊的電子傳導特性。1975年4月日本應用物理學會春季會議中，Sasaki 教授首次提出量子線與量子點的觀念，這項發表成為今日量子電子學的基礎。現在 Sasaki 教授進一步的研究量子線與量子點的合成，同時將之應用於先進電子與光子元件，形成有如電子世界中的奈米城鎮結果，Sasaki 教授因此稱自己為奈米建築師。自然科學與技藝的完美來自於各種領域知識合作的結果，如果眾多人員能貢獻想法來協助奈米城鎮建構將是很偉大的事，Sasaki 教授高度期望由底部作起(Bottom up)方式來建構各種事物。

奈米科學提供更多可選擇的技術範疇，更重要的是，由眾多的可能選擇中深入了解未來確定有成長機會的技術，對奈米科技的高度期望可能並不切實際。才能的發展、知識的產生與累積、技術的進展與回饋為奈米科技中三件重要的事，其中才能的發展尤其重要。奈米科技研究中不只要了解物質的最小結構，還必須了解可以成功操控這些結構的製作方法。除非有更寬廣的視野，否則對於由原子的世界到組成萬物的過程，奈米科技的研究將是困難且不易執行的。藉由研究活動可擴大知識的領域，更多這些視野成長的研究人員投入，經由國際性的競爭來提升，奈米城鎮的建構是自然可及之事。