本系列介紹一些有趣的科技大發現與發明故事，
這些靈機一動的突破思維常帶來創新的工具、方法、理論等，
也促進了人類的福祉。

因電晶體的發明和應用而獲1956年諾貝爾物理獎的蕭克立（左）、巴定（中）及布拉頓（右）。

電晶體的發明

林天送

電晶體的發明是天時、地利及人和促成的。

小百科

電晶體（transistor）是由半導體製造出來的。電晶體能控制電流的大小和方向，是所有電子裝備的基本元件。製造方法是讓純矽晶體（silicon crystals，屬第四族元素）暴露在高溫的第三族元素（如硼，boron）氣體中，硼元素會藉由擴散進入矽晶體。含硼的矽晶體就變成

少了1個電子，也可說多了1個電洞。硼的角色是受體（acceptor），這就是P－型（positive type）半導體。如果有第五族元素（如磷，phosphor）的雜質，就多了1個電子。磷的角色是施體（donor），這就是N－型（negative type）半導體。

經過設計，電晶體可有3個極，如NPN電晶體有N－type射極，P－type基極和N－type集極。

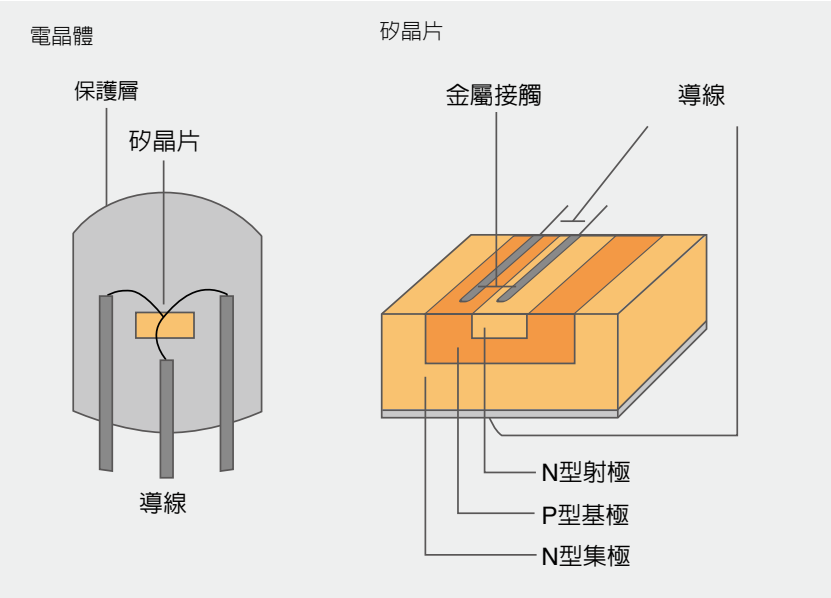
發明者

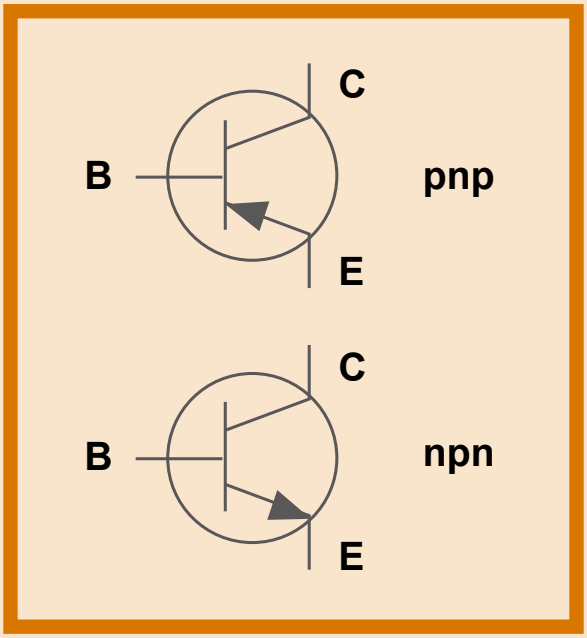
電晶體是美國貝爾實驗室的威廉．蕭克立（William B. Shockley, 1910－1989）、約翰．巴定（John Bardeen, 1908－1991）和沃爾特．布拉頓（Walter H. Brattain, 1902－1987）3人於1947年12月底發明的，3人因電晶體的發明和應用而獲1956年諾貝爾物理獎。蕭克立擁有麻省理工學院的物理博士學位，是實驗和理論的強手。巴定擁有普林斯頓大學的博士學位，專攻固體物理，是位理論物理學家。布拉頓獲明尼蘇達大學的博士學位，是位實驗物理學家。

靈機一動

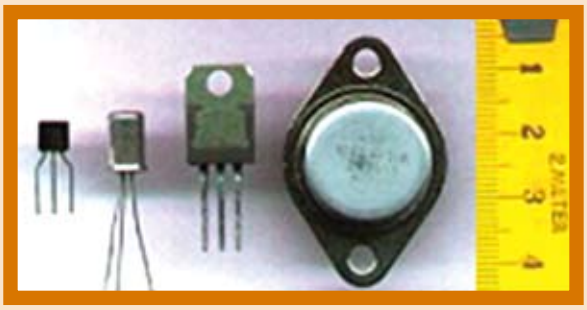
1940年代，所有的電子儀器和用具都是由真空管組成。如第1代電腦ENIAC就是用真空管組成，它的缺點是笨重、占空間而功能低，也容易燒毀，這些問題成爲尋找真空管替代品的原動力。

蕭克立的博士論文指導教授史雷特（S.C. Slater）是半導體的先驅者，蕭克立的早期研究是用實驗和理論探討電子在固體中的移動。他在1936年進入貝爾實驗室工作，2年後就獲得第1個專利「電子倍增放電器」。1939年年底，在他的實驗記錄簿曾經記載「利用半導體做放大器」的概念。蕭克立的研究經典是「思考、又思考」，即必須有精簡的思考才能有突破，而且要把複雜的事件簡化成最基本的元素。後來他升爲半導體研究小組的主管。





pnp型和npn型電晶體迴路記號：射極（E）、基極（B）和集極（C）。



直插電晶體樣式

巴定是理論物理學家，他的博士論文指導老師是魏格納（Eugen Wigner，1963年諾貝爾物理獎得主）。他和蕭克立是好朋友，1946年蕭克立邀請巴定進入貝爾實驗室工作。那時候，半導體研究小組的另一研究員布拉頓正在測量以鍺（germanium）爲本的P－N雙極性接面電晶體的物性（按，鍺和矽同屬第四族元素）。每一次布拉頓做完一個實驗，巴定就用理論解釋和驗證實驗結果。

1947年12月23日，3人宣布半導體三極管的發明，並在貝爾實驗室當眾示範用半導體三極管做成的聲音擴大器。這跟當初貝爾公司創辦人亞歷山大·貝爾（Alexander Graham Bell）示範用電通話異曲同工，也實現了蕭克立1939年的構想。

廣泛用途

電晶體被認爲是20世紀最偉大發明之一，它是所有現代電器最重要的元件。因爲電晶體可以大規模製造和生產，成本低且品質優良，幾乎所有電腦、電動控制器、電信、電視、廣播、助聽器等都使用電晶體，早期的眞空管就被淘汰了。

雖然數以百萬的單體電晶體還在使用，最常用於訊號放大，但大多數的電晶體是使用在積體電路中（見下一篇〈積體電路的發明〉）。譬如一個邏輯閘就包含20個以上的電晶體，而一個高級微處理器就使用高達3億個電晶體。

擊掌回響

你可曾想像如果沒有電晶體的發明，我們的工業、醫療、甚至個人生活會有多大的變化？如果追究發明者原先發明電晶體的用意，他們只是想取代當時笨重、占空間而功能低的真空管。但電晶體一出爐，馬上就改變了整個電子工業的發展，這出乎當初3人的本意。

筆者相信電晶體的發明並不是偶然的。布拉頓在1956年諾貝爾頒獎時說：「電晶體的發明是天時、地利及人和促成的。」

蕭克立有精簡的思考和觀察能力，他成長在真空管時代，早在1939年就預測到半導體的潛力，加上他能把複雜的事件簡單化，才能有突破的發明。蕭克立一生擁有九十多項專利，1951年成爲美國國家科學院院士。1956年1月他離開貝爾實驗室到史坦福大學物理系當教授，並成立蕭克立電晶體實驗室。積體電路的發明者之一諾義斯（Robert Noyce），就是當初蕭克立實驗室的研究員之一。

巴定是理論奇才，在貝爾實驗室時，他曾經建議實驗室的大老闆研究超導電現象，但沒有被接受。後來，巴定離開貝爾實驗室到伊利諾大學當教授，專心研究超導。他和古柏（Leon N. Cooper）和史律弗（John R. Schrieffer）創立超導體BCS理論，再次於1972年獲諾貝爾物理獎。巴定是唯一得過2次諾貝爾物理獎的人。

值得一提的是，半導體是美國貝爾電話公司貝爾實驗室開發出來的。貝爾實驗室是當時規模最大、最有名氣的民營研究實驗室，開發出無數的發明，也培養出6位諾貝爾獎得主。

林天送

美國聖路易華盛頓大學化學暨神經科學系

深度閱讀資料

Reid,T. R. (2001) *The Chip, How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution,* Random House Publishing, New York.

http://en.wikipedia.org/wiki/transistor

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/