



砂谷夜談

華中一◎著





多媒體時代來臨，加課電腦生活化腳步，瞬息萬變
的尖端科技不再遙不可及。電子科技是如何崛起並
蓬勃於現代生活？就從電子科技的搖籃地——「硅
谷」的興起開始，到信息社會、真空科學、超導熱
等，帶給你暢遊觀看、知性的科學之旅。

ISBN 957-683-323-X



9 789576 833236

定價 140元 掌強出版社

[自然科學圖書館⑦]

砂谷夜談

華中一●著



矽谷夜談／華中一著．--初版．--臺北市：
業強，1995[民84]
面；公分．--(自然科學圖書館：7)
ISBN 957-683-323-X(平裝)

1. 科學-論文, 講詞等

307

84003624

自然科學圖書館⑦

矽谷夜談

- 著者◎ 華中一
發行人◎ 陳春雄
執行主編◎ 阮毓琨
責任編輯◎ 張瑛玲
美術編輯◎ 潘俊傑、王月露
出版者◎ 業強出版社
地址：台北市中華路二段 163 巷 6 號 2 樓
電話：(02) 3043152 (代表號)
傳真：(02) 3043153
郵撥：0743812-9 業強出版社
- 發行中心◎ 地址：台北縣新店市民權路 130 巷 6 號 2 樓
電話：(02) 2183566 (代表號)
傳真：(02) 2183619
- 法律顧問◎ 蕭雄淋律師
排版◎ 鴻瀚電腦排版股份有限公司
印刷◎ 永美印刷公司
出版登記◎ 局版台業字第 3220 號
- 定價◎ 新台幣 140 元整
1995 年 5 月初版
如有破損或缺頁、倒裝，請寄回更換
版權所有，翻印必究
ISBN 957-683-323-X

華中一教授，一九五一年畢業於交通大學物理系。從事真空物理和電子物理的教學和科研工作四十餘年，是中國真空科學的開拓者之一，多次獲得國家和上海市的科技進步獎。曾任復旦大學校長、中國真空學會理事長、中國儀器儀表學會副理事長、上海市電子學會理事長等職務。一九九二年被美國傳記學會(ABI)授予終身成就學院金獎。著有《高真空技術與設備》、《表面分析》、《電子光學》等，主編英文版《真空與表面分析》三卷。

[自然科學圖書館]—顧問

蘇步青（著名數學家、前復旦大學校長）

華中一（著名物理學家、前復旦大學校長）

沈清松（政治大學哲學系教授）

李田英（師範大學科學教育研究所教授）

陳擊霞（輔仁大學生物系教授）

陳永秋（政治大學應數系、應數所教授）

傅學海（師範大學地球科學系副教授）

羅祖德（上海華東師範大學教授、軟科學研究中心主任）

姜雲生（上海松江縣文聯副主席、著名科普作家）

目錄

矽谷：青年的故事	— 001
星球大戰	— 029
超導熱	— 051
2+j 個諾貝爾物理獎	— 067
信息社會	— 081
真空科學	— 093
超微粒子	— 119

矽谷：青年的故事

你在美國地圖上是找不到「矽谷」的。它既不是一個城市的名稱，也不是一個真正的山谷。卻擁有「把黃沙變為智力」的神奇。

在斯坦福大學著名的「四合院（Quad）」內，丘克·潘脫（Chuck Painter）按動了他的360度全景轉動照相機。洗出來的長長的照片上顯示著萬里無雲的藍天、稀薄的陽光、挺秀的棕櫚、西班牙式的回廊以及時間不長但多數美國人卻視為古物的壁畫，正是一派典型的加里福尼亞風光。丘克準備把這張照片送到《時代論壇報（Time Tribune）》上去發表，於是他擬了一個題目：「我們寧靜的世界」。

但是，這兒真的是那麼寧靜嗎？不。在那安適靜寂的外貌下所遮蔽著的，實際上卻是全美國最沸騰的地方。多少悲歡離合，多少人間滄桑，多少人迅速發迹又迅速消亡，多少企業的分化和吞併，都在這塊土地上發生和發展著。而且更為重要的是，有多少開創性的工作正在直接影響著美國甚至全世界人民未來的生活。

這就是斯坦福——高技術的搖籃，著名的「矽谷」（Silicon Valley）的心臟。

地圖上無名的地方

美國的矽谷是一個奇特的地方。在《天方夜譚》的故事裡大家曾聽到過沙土變為黃金的神話。但《矽谷》一書的作者邁克爾·羅杰斯（Michael Rogers）說矽谷比它更為神奇：「他們把黃沙變為智力。」

但是，你在美國地圖上是找不到「矽谷」的。它既不是一個城市的名稱，也不是一個真正的山谷。矽谷是在美國加里福尼亞州舊金山南端到聖荷西（San Jose）之間的一個長約 50 公里、寬約 20 公里的狹長地帶，由一條叫做皇家大道（El Camino Real）的幾十公里的長街連接起來。這條街從前是西班牙傳教士開闢的驛道，現在則已成為標準的高級公路，而且兩旁的商行和店鋪鱗次櫛比，幾乎沒有間斷，這在美國是少見的。這個區域以前叫聖克拉拉郡（Santa Clara County），一九五〇年前這裡盛產梅子，以至於這個區雖然只有 800 個工人，其中卻有半數在罐頭廠和果脯廠工作。電影《蝴蝶夢（Rebecca）》的女主角瓊·芳登（Joan Fontaine）小時候在聖荷西附近跳過一次節日花柱舞以後，還被稱為「梅脯產區的美女」。而現在這種果樹已經完全消失了。到一九八二年時，代之而起的，是 3,010 個「商行」（包括 2,736 個獨立「廠」、264 個分公司），生產全美國三分之一的集成電路和八分之一的電腦。「矽谷」這個名稱，據考證，是一九七一年在《微電子新聞》上唐·霍夫勒（Don Hoefler）開始使用的。「矽」（理論上可以從主要成分為

二氧化矽的黃沙中得到)表示半導體芯片，是這一地區高科技工業的基本產品，而「谷」的一邊是太平洋沿岸的羣山，另一邊卻是舊金山灣。當然，後面這一點與「谷」的定義根本不符。因此，當時有人認為霍夫勒可能是想借用半個世紀以前轟動一時的田納西河谷(Tennessee Valley)龐大的水利工程盛名來譁眾取寵。不過誰也沒有想到後來矽谷這一名稱家喻戶曉的程度竟遠遠超過世界上任何水利工程。現在這個名詞，已經廣泛地同奇妙的電子產品和聞所未聞的新興工業相聯繫。矽谷是袖珍計算器、電子遊戲機、微處理機、個人電腦、無線電話機、雷射技術和數字手表的發源地。在七〇年代以來，在電子學方面的每一件新花樣幾乎都源於矽谷。所以，除美國之外的世界各國也對此十分關注——尤其是日本。為了投其所好，從一九八一年開始，在矽谷無數汽車旅店散發的日文版導遊圖上，除了標明旅館和飯店之外，還標明了主要工廠的位置。在帕洛阿托(Palo Alto)開始，是斯坦福大學和斯坦福研究園區(Stanford Research Park)，後者包括惠普(Hewlett-Packard)、施樂(Xerox)、瓦里安(Varian)等幾十個工廠。由此往東南方向，順次有山景(Mountain View)、陽光谷(Sunny Vale)、庫帕堤諾(Cupertino)和聖克拉拉(Santa Clara)等各個城鎮。其中山景是仙童(Fairchild)半導體公司所在地；庫帕堤諾是蘋果(Apple)公司所在地；聖克拉拉是英特爾(Intel)公司的所在地；在矽谷南端的聖荷西，有國際商用機器(IBM)公司的一個研究所和無數的「手工

業電子作坊」。這些公司的能耐，我們在下面還要提到。

人們都說矽谷是高技術（High-tech）集中的地方。但什麼是「高技術」，很多人都弄不清楚，有的認為就是「尖端技術」，有的認為是「發展中的技術」，比較起來，人云亦云的占多數。斯坦福大學的愛弗萊·羅杰斯（Everatt Rogers）和裘蒂絲·拉森（Judith Larsen）在他們一九八四年出版的《矽谷熱》一書中，認為高技術工業的特徵是：

- (1)需要高度熟練的從業人員，其中很多是科學家和工程師；
- (2)有高的發展速率；
- (3)研究開發費與銷售額之比較高；
- (4)產品有全球銷售的市場。

根據這幾點來衡量，電子學就是高技術工業中的一個。除此之外，還有生物工程、材料工程、能源工程、航天和海洋工程等等。但比較起來，尤以電腦和微電子工業發展得特別迅速。

現在矽谷已有 8,000 多家商行，其中 3,000 多家是電子企業。在這個狹長區域內，竟有 6,000 名博士在工作，按密度計是全美國以及全世界受過高等教育的人最集中的地方。它的資本發展極快，現在已上升為全美第九個產業中心，是美國最富有的地方之一。從一九七〇年到一九八〇年，聖荷西在美國大城市中的位置從第 29 名躍居至第 18 名，成為全美發展最快的大城市。

矽谷又是一個典型的「信息社會」：勞動力的大部分用

於信息的聚集、處理、分配或從事信息工業。但是，矽谷成功的祕訣是什麼？那就不能不先講一下斯坦福大學。

一個未能上大學的青年的紀念

一百年前，一對父母爲了哀悼他們的獨生子的逝世，創辦了一所大學。這所大學後來爲好幾代青年人提供了良好的生活條件和學習條件，產生了許多著名的科學家，並出現了一些可能改變世界的設想。當瑞典國王卡爾十六古斯塔夫（Carl XVI Gustaf）在一九八四年訪問此處時，竟有十位活著的諾貝爾獎金獲得者同他一起照相。這個大學就是斯坦福。它的英文全名是 Leland Stanford Junior University，不知內情的人會以爲這是以「李蘭·斯坦福」命名的「初級大學」，實際上卻是「小李蘭·斯坦福大學」。這裡的 Junior 是「二世」的意思，因爲孩子與父親同名。

李蘭·斯坦福是加里福尼亞州共和黨的組織者之一，曾爲林肯競選總統出過力。一八六一年當他三十七歲時被選爲加州州長，一八八五年被選爲美國參議員。他做過律師、商人，建造過美國的中央太平洋鐵道。一八八四年他們十六歲的獨子隨父母一起在歐洲遊覽時，因傷寒症死於義大利的佛羅倫薩。父母痛不欲生，萬念俱灰。在孩子死後的第二個晚上，也許由於憂思鬱結，老斯坦福竟然夢見他的兒子對他說：「你莫道再無生活目的，——你爲人道主義活著吧。」老頭後來對別人說：「我知道我這時已決定要建立這個大學。」當時，他們雖十分富有，但將來夫婦去世時，沒有人可承受

他們的遺產，因此，他們決定做公益的事情。建立大學的設想吸引了他們：因為他們的兒子「無緣進入大學」，所以他們認為建立一個大學是對兒子的一種最好的紀念。於是在一八八五年十一月四日簽署了 8,800 英畝（相當於中國的 53,000 畝）的土地贈與書，當時價值 2,000 萬美元，由 24 人組成的第一屆董事會接受。一八八七年五月十四日在他們的兒子十九歲生日那天放下了建立學校的基石。一八九一年十月一日開始上課，當時有 465 名新生（而在一九八五年，在 17,653 名考生中錄取了 2,506 人）。

老斯坦福沒有看到這所大學的發展，他死於一八九三年。但他的夫人簡·斯坦福（Jane Stanford）繼續關心和支持了大學的發展。有一次，舊金山一批面孔鐵板的著名律師和銀行家對她說，這學校必須關門。但簡不為所動，說：「你們難道認為我能相信丈夫精心安排的計畫會全部失敗嗎？」這也是一個鐵女人。她死於一九〇五年。

一年之後，即一九〇六年四月十八日，加州發生大地震，斯坦福大學很多建築受到毀壞，損失約 200 萬美元。不過由於大學本身的財力雄厚，沒有產生很大的影響。一九二一年時，為了與加州大學伯克利分校爭強鬥勝，學校在六個星期內造了個運動場。

歲月如流。一九八五年十一月斯坦福大學慶賀它的三百週年紀念日（這是從簽署贈與書那天開始計算的，而到一九九一年還將再次慶祝大學開辦的三百週年），正好《美國新聞和世界報導》雜誌在這一年向 192 個大學校長徵詢本科生

教學最佳的 5 個大學，問及的因素很寬，包括課程的實力、教學質量、師生關係和學風等。後來，112 人給了回音：斯坦福以 45 票（40.2%）得到第一名，以下才是哈佛、耶魯和普林斯頓。特別是斯坦福的教員陣容十分堅強，在 25 個領域內都評為前十名，這只有伯克利可與匹敵。

消息傳來，雙喜臨門，斯坦福大學很多人都欣喜若狂，校園裡洋溢著歡聲笑語。現任校長、生物學家唐納德·肯尼迪（Donald Kennedy）是斯坦福的第八任校長，他自豪地說：「斯坦福大學的設想誕生了矽谷的電子工業，大學的研究人員還對其他的醫學和工程問題作了重大貢獻。她將通過開闢幫助人們了解世界、改善生活的種種發現而領導社會至下一世紀……斯坦福大學仍將是領導新技術的那些發現的源泉。」

當然，在斯坦福的歷史上，西戈特·凡里安（Sigurd Varian）發明了速調管，愛德華·金茲頓（Edward Ginzton）發明了第一臺線性電子加速器，亞瑟·孔堡（Arthur Kornberg）在試管內第一次合成了脫氧核糖核酸（DNA），諾曼·休姆威（Norman Shumway）是第一個為心臟開刀的人，後來又做了第一個心臟移植手術，亞瑟·夏洛（Arthur Schawlow）發現了雷射。此外，還有許許多多其他值得大書特書的事情。

那麼，它是怎樣獲得這些成就的呢？

土曼教授和惠普公司

帕洛阿托在一九一二年的時候並不繁榮，當時的皇家大道也不過是一條馬路而已，絕不是現在那種並排可開八部汽車的派頭。在帕洛阿托愛默生街 913 號的一棟幽靜的小房子裡，有三個人在注視著一隻蒼蠅在紙上走動。當然，這並不希奇，看到蒼蠅走動的人何止千百萬？但是，有誰聽到過蒼蠅的腳步聲？他們卻聽到了，而且這聲音竟像——說一句不人恭敬的話——步兵在穿著軍靴操練時的履聲。這次實驗是李·特·福累斯脫（Lee DeForest）第一次用真空管把一個信號放大了 120 倍，它標誌著電子學的誕生。而這個工作是得到斯坦福大學部分資助的。

實際上很多早期的帕洛阿托的工程師都是斯坦福大學的畢業生。雖然在那個時候，同美國無線電公司（RCA）相比，加州的工廠只不過是小巫見大巫；同東海岸的大學相比，斯坦福大學也不過是小弟弟。例如：哈佛大學成立於一六三六年，要早二百五十年；耶魯大學和普林斯頓大學也要早一百多年。但是，斯坦福大學所起的作用，特別是弗雷德里克·土曼（Fredrick Terman）擔任副校長的時期，對於矽谷的發迹是異常關鍵性的。一九二〇年斯坦福大學不過是一所「鄉村大學」，但一九六〇年它就名列前茅，一九八五年它被評為全美大學的第一名。是斯坦福大學的崛起為矽谷微電子工業創造了條件，也是矽谷幫助了斯坦福大學使它得以有今日的成就。

士曼一九二〇年畢業於斯坦福大學電機系，然後到麻省理工學院（MIT）攻讀博士學位。他的導師范義伐·布什（Vannevar Bush），後來是MIT的副校長，在第二次世界大戰時是美國政府的首席科學顧問。布什認為大學裡的工程學教授應與工廠密切結合，這種觀點使他的學生士曼深受影響。後來士曼一直認為大學不該是一個象牙之塔，而是一個應用研究與開發中心。在取得博士學位後，士曼留校工作，一九二四年他回到斯坦福探親時，發現自己得了肺病，於是在家保養了一段時間。復原之後，士曼覺得家鄉的氣候要比冬天陰冷的波士頓好得多，因此就留在帕洛阿托，出任斯坦福大學的「無線電」教授，他寫的《無線電工程》一書早年在交大和清華都曾作為教科書。

士曼對矽谷崛起的最直接的影響是開創了惠普（Hewlett Packard）公司，這是目前矽谷最不平凡和最受稱讚的電子工廠。一九三一年有兩個斯坦福大學的二年級學生，威廉·休賴特（William Hewlett）和大維·帕卡（David Packard），因為都是橄欖球隊的候補隊員而結識。實際上，他們的學習要比他們的球藝來得好。他們兩人業餘都喜歡無線電，因此去聽上曼的課。上曼教授在得悉這兩個學生在畢業之後準備開始他們自己的電子學事業時，對他們的創業精神著實鼓勵了一番。他特別對休賴特的能力和好奇心有深刻的印象。士曼在學校建立了一個自學實驗室，那裡有很多的工具和零件，任何學生想做點小玩意兒都可以去。休賴特先做了一個袖珍收發報機，供他自己在滑雪時使用。上曼後

來回憶說：「他以極大的熱忱做了這個玩意兒。他發現這是一個新世界，裡面充滿了有趣的事情。」一九三四年，帕卡畢業以後，到紐約州的通用電氣公司去工作；休賴特則到麻省理工學院（MIT）去讀研究生。四年以後，上曼教授為他們申請了獎學金，讓他們回到斯坦福來攻讀電機工程研究生學位（需要五年）。他們在帕洛阿托租了一套公寓，在他們住處後面的車庫裡安排了一個小的工場。在他們學習課程之餘，這兩個伙伴設想了一系列電子小玩意兒，還做一點上曼教授幫他們找到的零活。

一九三八年，在研究生的一次研討會上，上曼對負反饋概念作了詳細的敘述，這是在電子工程方面的一個新思想。休賴特參加了這次研討會，由此他決定碩士論文的題目是《可變頻率振盪器的研製》。他以後做出來的這一儀器十分出色，能在很寬的頻率範圍下應用，而且價格低廉，只要 55 美元（當時的商品要 500 美元），這表明這個振盪器有生產的可能。於是，上曼鼓勵休賴特同他的老朋友帕卡一起去進一步開發它。上曼供給他們 538 美元開始生產這種振盪器，又幫助他們從帕洛阿托的銀行借了 1,000 美元，成立了「休賴特—帕卡公司」，現在的中文名叫「惠普」。惠普公司第一年銷路並不穩定，有時會因沒有訂單而無事可做。

這個時候，華德·迪斯奈（Walt Disney）正在拍動畫片《幻想曲（Fantasia）》。這個以米老鼠、唐老鴨起家的漫畫家（後來是億萬富翁和著名的迪斯奈樂園的主人）以世界上第一部長動畫片《白雪公主》轟動全球之後，進而想把古典

音樂與色彩繽紛的動畫熔為一爐來吸引更多的觀眾。在《幻想曲》內，他選擇了柴可夫斯基的《胡桃鉗組曲》、貝多芬的《田園交響曲》等片斷，還用動畫描述了各種樂器的音色，用滑稽有趣的蘑菇走路來表示節拍等等。不言而喻，這種電影需要失真度極小的音頻儀器。為此，休賴特和帕卡終於賣出了8臺音頻儀器（據說現在還仍然有一臺在好萊塢使用），這是他們開廠以來最大的一筆生意。一九四〇年他們開的工廠就擴展到皇家大道上去了。一九四二年惠普公司已有約100個雇員，年銷售額達100萬美元左右。第二次世界大戰對電子產品的要求使他們工廠生產的勢頭很好，但戰後就發展較為緩慢。直到一九五四年當斯坦福工業園區（Industrial Park）開始，惠普公司在斯坦福校園內的一塊土地上建立了他們的總部。到一九八五年底惠普公司有84,000個雇員，生產5,000種產品，包括用於設計、測量、製造的儀器與系統、辦公室自動化設備、電腦與信息處理儀器、袖珍計算器、電腦外部設備與網絡用產品、醫用電子學儀器、分析儀器以及電子器件和元件（微波半導體、光電子器件等），年銷售65億美元，年增長率達到20%，每年利潤16%供研究開發之用。

研究園區

土曼教授的另一件傑出的功績是創辦了工業園區（後來又改名為研究園區）的新穎聯合體。

在四〇年代後期，對斯坦福來說，要成為第一流的大學

，必須有第一流的教授。土曼教授（當時是副校長）和正校長華萊士·斯德林（Wallace Sterling）決定要把斯坦福的土地變成金錢，而把錢——通過聘請名教授——變成學術上的威望。他們所用的方法，雖然土曼教授說這是「祕密武器」，但說穿了非常簡單，就是出租土地為學校掙錢。在原來老斯坦福的贈與書內，寫明這些饋贈的土地不得出賣，但沒有禁止出租。所以，他們就劃出 7.5% 的校園土地（655 英畝，相當於 265 萬平方米）出租給高技術的工廠，稱為斯坦福工業園區。當時，這個園區的目的僅是為了資金，只是在後來才認識到這是一種非常好的手段，可使技術從大學的研究室迅速轉移到園區內的工廠，因此又改稱為研究園區。

第一個參加的是凡里安公司（Varian Associates）。這是發明速調管的凡里安兄弟開的工廠，生產真空設備、微波真空器件和精密儀器。凡里安兄弟都是斯坦福的畢業生，土曼是這公司的董事之一。一九五一年租了坐落在皇家大道旁的 4 英畝（約 16,000 平方米）土地，當時只付了 16,000 美元的租金，為期九十九年。現在，這塊地皮的地租每年應為幾十萬美元，而且大家都認為凡里安占的是矽谷中最好的一塊。惠普公司在一九五四年也租了一塊，成為矽谷的「晶核」，它的成功吸引了其他公司或商行（包括施樂公司的研究中心）紛紛遷到大學附近來。一九五五年單位增為 7 個，一九六〇年為 32 個，一九七〇年為 70 個，現在園區的所有土地全部租出，共包括 90 個公司，25,000 名雇員，都從事高技術工作。而且，更重要的是已成為美國和世界上其他地

方的典範。

從出租土地本身來說，是一種長期穩定的收入。一九八一年這一進項為每年 600 萬美元，一九八五年增為每年 900 萬美元。最重要的是園區的收入不受任何約束，可以供斯坦福行政部門作最好的利用。於是，它就大大地支持了土曼充實教師的計畫。他把它叫做保住和補充名牌教授的「戰鬥經費」。他用這筆錢把名教授從東海岸的一流大學請出來，移居到帕洛阿托。結果果然見效：從六〇年代起斯坦福大學的水平直線上升直到今日的地位。

舉個例子來說，斯坦福「釣」到的最重要人物之一，就是威廉·蕭克萊（William Shockley）。他在貝爾實驗室同約翰·巴丁（John Bardeen）和華爾特·布拉頓（Walter Brattain）一起因發明半導體晶體管（一九四七年）而共獲一九五六年的諾貝爾獎金。雖然貝爾實驗室在設備和人才方面都占有優勢，成就也比較大，擁有一萬個專利，而且以每天一個的速率增長，但也不能留住蕭克萊。因為除了待遇之外，帕洛阿托還是蕭克萊的故鄉，他的父母在那裡，另外，他的老師、加州理工學院教授亞諾·貝克曼（Arnold Beckman）開的貝克曼儀器公司有一個分公司在斯坦福研究園區，可以作為蕭克萊辦工廠的經濟後盾。於是，蕭克萊就到帕洛阿托自己開公司。

晶體管在問世時並不很順利，性能往往不能很可靠。但當一九五六年蕭克萊拿到諾貝爾獎金時，製造晶體管的工廠已增為 20 家，其中的一家就是他自己的「蕭克萊半導體實

驗室」。蕭克萊從東海岸請來了八個聰明伶俐的青年，他們被蕭克萊在科學上的聲望吸引到此，但後來卻發現很難和蕭克萊合作（上曼曾說蕭克萊「像地獄一樣死硬」），後來都逐個退出這個「實驗室」而建立自己的工廠。有趣的是這些青年後來都成為矽谷半導體器件廠的骨幹，而他們的成就卻迫使蕭克萊的工廠關門（蕭克萊就此被迫「棄工就教」，被斯坦福大學請去做教授）。

這八個人中間的羅伯特·諾埃思（Robert Noyce）一九五七年成為仙童半導體公司的頭頭，戈登·穆爾（Gorden Moore）原先也參加仙童公司，後來在一九六八年創辦了英特爾公司。謝爾登·羅伯茨（Shelton Roberts）、尤金·克賴納（Eugene Kleiner）、杰伊·賴斯脫（Jay Lest）和杰恩·霍爾尼（Jean Hoerni）四人辦了愛納歌（Anelco）半導體公司，一九六四年霍爾尼又辦了聯合碳素電子公司，一九六七年創辦了英特夕爾（Intersil）公司。這些公司中最著名的是仙童和英特爾。

仙童半導體公司是由一個名叫休曼·泛阿卻（Sherman Fairchild）的實業家創辦的半導體器件廠，曾經是矽谷中勢力最大的一家。一九六九年在加州開半導體工程師會議時，400個參加會議的專業人員中只有20來個未在仙童公司做過。泛阿卻的魄力很大，他把原來哈佛大學的物理學教授萊斯·侯根（Les Hogen）從另一著名的集成電路工廠莫托洛拉（Motorola）公司拉出來，許以每年12萬美元的高薪。據說消息傳說，當天紐約股票市場上仙童公司的股票就漲了

7 點，而莫托洛拉公司的股票下跌了 8 點。

英特爾公司是集成電路的發源地。羅伯特·諾埃斯曾經認識到，如芯片越小、功能越多、價格越便宜，則可以吸引越來越多的客戶去更新他們的產品，特別是機器或儀器上運動部件的數目可因改用電路而大大減少。這樣就增加了機器的可靠性——而且，重要的是使客戶愈加依賴於微電子產品。他和約翰·科培（John Kirby）一起，由此而發明了集成電路。英特爾的另一傳奇性人物是豪特·霍夫（Ted Hoff），他在斯坦福大學獲得博士學位並在那兒做博士後研究工作。一九六八年他進入英特爾公司時，這個「公司」只有十二個人。在他看到 PDP-8 型電腦後，他不明白為什麼電腦要如此複雜，因此他決心把中央處理器（CPU）做在一塊芯片上。結果在一九七一年底他就做出了在單塊芯片上的電腦，稱為「微處理器」，代號是 4004。它後來成為任何電子產品要電腦化所不可缺少的東西，也使電腦成為「像電燈泡一樣可以隨便扔掉的東西」。在微電子工業方面這是繼晶體管和集成電路之後最重要的發明。四個月之後，得克薩斯儀器公司（TI）宣布製造出了「八位微處理器」，而再過一個月，即一九七二年三月，英特爾也推出了八位微處理器 8008。這個芯片的尺寸只有 TI 出品的三分之一那麼大，價格便宜得多。理由很簡單：英特爾的產品集成度高，而單元愈小，每一矽片能做的芯片愈多，價格就愈便宜。一九七三年 8008 正式在市場上銷售，運算速度比 4004 快 20 倍。有人認為從此以後，電腦的用途才愈來愈廣泛，甚至可

以說是「為年輕人所準備的新工具」。

由於研究園區就在近鄰，所以斯坦福大學工學院的大多數教授都在企業兼職，作為股東、顧問、合夥者等等，或兼而有之。例如約翰·林維爾（John Linvill）是斯坦福大學電機系教授，搞半導體電子學，他有數以千計的學生都在矽谷工作。他在好幾個公司有兼職，以盲人閱讀機（一種光學觸覺轉換器）著名。

那麼，工廠是不是歡迎這種研究園區呢？答案是肯定的。早在一九六三年就有人向 53 個公司徵詢，問他們為什麼要來矽谷辦工廠，多數回答是：

- (1) 有好的氣候條件；
- (2) 有空地；
- (3) 可以得到智力（工程師和科學家）；
- (4) 靠近大學。

實際上，後面兩點有共同的地方：大學提供受過良好訓練的研究生，他們能勝任地工作於高技術工廠之中；大學又以科學研究為主要活動之一，可以提供穩定的有研究背景的工藝。這就是斯坦福大學對矽谷「出人才、出成果」的重要貢獻。

如果用「信息社會」的特徵來衡量，大學又代表了一種技術訣竅（know-how）的信息交換系統，這對各種高技術工業特別是半導體工業的「新開豆腐店」有很大的吸引力。此外，斯坦福又辦了一批具有獨特能力的實驗室，如同步輻射實驗室（SSRL）、集成系統中心（ISC）等，也使美國

甚至全世界各地的研究人員紛紛前來，結果更使斯坦福成爲獲得信息資源的重要場所之一。

正是由於看到這點好處，美國紛紛成立這類研究園區或科學園區（Science Park），而其中絕對不能缺少的是大學。以麻省理工學院（MIT）爲中心的 128 號公路，以北卡羅來納大學、北卡羅來納州立大學和杜克大學爲三個頂點的「研究三角（Research Triangle）」就是最好的代表。在英國，劍橋大學的三一學院辦的科學園區也是如此。當然，著名的哈佛大學和加州大學伯克利分校並不對研究園區有很大的貢獻，這是因爲他們在工程方面並不特別強，而在基礎科學、人文科學和社會科學方面很強。唯一的例外是哈佛大學有一位校友在附近創建了王氏公司（Wang Laboratories），這就是華裔美籍學者王安。他畢業於上海的交通大學，以後才去哈佛攻讀。

車庫裡的矽谷孩子

在美國，幾乎每個有職業的家庭都有汽車。汽車對普通人來說並不是一種奢侈品，而是生活的必需。因爲住的地方往往離工作場所很遠，所以如果沒有汽車，就不能工作，包括到餐館「打工」都不可能。於是，住在小房子裡而不是公寓裡的居民，一般都要準備一個汽車間。有時，這個汽車間兼做儲藏室。居住條件較好一點的則有單獨的儲藏室，但仍然被叫作「車庫（garage）」。特別在加州，由於相對來說地廣人稀，所以很多人家就有「車庫」。

這種「車庫」真是一種奇妙的地方，尤其是孩子們的天堂！這裡有修理工具、機械設備、木料、潤滑油和油漆，各種運動器具，如滑雪板、溜冰鞋、網球拍都可以放在這裡。特別重要的是，這裡還有小小的空間，可以在不打擾其他正規房間如「起居室」、「書房」或「臥室」的條件下自由自在地做點事情。因此在五〇年代，很多美國青少年使大部分車庫變為——用他們自己的話說——「業餘無線電之家」。而且，這也是孩子們通過工作或遊戲建立友誼的「社交勝地」。

矽谷的車庫更具有一種「魔法」，往往會對青少年的一生起著重要的作用。前面已經講過，休頓特和帕卡在車庫裡奠定了惠普公司的基礎，這裡，我們還要講兩個名字都叫史蒂夫（Steve）的矽谷孩子是怎樣發展了微型電腦的，他們就是著名的蘋果（Apple）電腦公司的兩個創始人。這是一個幾乎只能在矽谷發生的故事。

直到七〇年代中期，電腦還是一個龐然大物，而且價格很高，只能供政府、大公司和研究所使用。當時主要的生產廠有國際商用機器公司（IBM）、控制數據公司（CPC）和勃羅夫斯公司（Burroughs）等，他們的產品主要用於數據處理，如會計、統計、數據分析、銀行和飛機票訂座等等。但是，前面說過的斯坦福校友、英特爾公司的臺特·霍夫在一九七一年發明了微處理器以後，就有條件製造一種很小的電腦，而售價只要幾千美元或更低。在這種價格下，幾百萬美國人都認為自己可以擁有一臺個人的電腦來做一些有用

的事情。這種電腦就叫做「微型電腦（microcomputer）」或簡稱為「微機」。在普通老百姓手裡可以有小型、可移動的電腦，當然是一種革命。

然而，在一九七五年以前，在某種意義上微機只是些「無線電愛好者的玩具」。例如阿爾臺（Altair）8800這種微機，可以在電腦的零售店裡買到。那裡的店員大多是伶俐的青少年，但為了表示是賣電腦這樣的「高級品」的，他們常常以一種可怕的傲慢態度對待顧客，談話時還常常夾雜一些含糊而不太正確的電腦行話。一套 8800 大概要 400 美元，但用戶要再付約 2,000 美元來買外部設備才能使用。一九七五年這種微機大概賣出了 2,000 臺，顧客中的大部分是工程師、科學家或電腦程序員。說也奇怪，這種機器唯一的問題是當你把它帶到家中後就會發現它實在沒有多大用處。當然，從美國的消费水平來說，花幾千美元買一個用途有限的電腦對愛好者們來說還是不算什麼的，而且至少它可以作為一種「炫耀性消費品」，滿足「有一臺電腦為我私人服務」這樣一種虛榮心。但是當時也已經有一些有遠見的人認識到，如果這些微機能配有完整的實用程序的話，將變成真正的「家用電腦」，從而開闢無限廣闊的市場。當時大公司對此不屑一顧，中等公司也覺得無所謂，但資力並不雄厚的小公司則對此極有興趣。「無線屋（Radio Shack）」只花了十五萬美元就把他們的第一臺微機 TRS-80 推向市場。然而，在微機領域中，最獲成功的是蘋果電腦公司。

蘋果公司的創辦人是兩個名字都叫斯蒂夫的青年：然而

實際上一個叫史蒂文·喬布斯（Steven Jobs），另一個叫斯蒂芬·伍茲涅克（Stephen Wozniak）。總而言之，很難區分。所以，後來人們就分別稱之為「喬布斯」和「瓦子（Wahz）」，以示區別。他們兩人是真正的「矽谷孩子」。這種「矽谷孩子」，按照斯坦福大學羅杰斯教授的說法，「在高電壓下成長是他們一生從事電子學的自然準備」，而且，「車庫對他們具有重要地位」。這裡「高電壓」的語義當然是雙關的。

喬布斯和瓦子是在念小學的時候在他們的一個朋友的车庫裡認識的。當時喬布斯對瓦子印象深刻，因為後者裝的一個電腦剛剛在海灣區科學展覽會中獲得一等獎。瓦子小時候就對電腦有興趣，因為他父親（洛克希德導彈和空間公司的一位電子學工程師）幫助他設計邏輯線路。從任何方面來看，瓦子都是好學生。高中畢業進入大學時，他的數學得了滿分（800分）。有的同學回憶說他很安靜，有點孤僻，但十分伶俐。不過長大以後，他不理髮，也不洗臉、不洗澡，有時候還不知道鞋子在哪裡。

瓦子曾就讀於科羅拉多大學和加州伯克利大學。一九七二年他輟學到惠普公司去工作。這時，喬布斯在波特蘭的里特學院讀書，但第一學期他就不讀，而不知為什麼異想天開，到印度去搜尋一個印度教的頭頭。從印度回來後，他就加入了生產電子遊戲機的阿泰麗（Atari）公司。這樣，兩個朋友就再次在矽谷重逢。作為一種業餘愛好，他們開始合作設計電腦線路板。

蘋果機是在洛杉磯托斯（Los Altos）的喬布斯家的車庫中誕生的。說也奇怪，做蘋果機的主要出發點是因為喬布斯和瓦子需要一臺阿爾泰 8800。他們無錢購買，於是就決定自己來設計、製造。他們先在各自所在的單位（惠普和阿泰羅）「挪用」了一些電子零件，準備自己設計安裝一個微機。

因為沒有錢，瓦子在設計時很自然地要把「廉價」作為第一位的指標。他不用當時最好的微處理器 8080（因為它的價值為每片 270 美元），而只以 20 美元的代價在展覽會上買了一個展後處理品 6502。於是工作就開始了，最後就出現了第一臺「蘋果一型」。

然後，又是斯坦福大學無意中起了作用，把「蘋果」推向了前臺。斯坦福校園內有一個自製電腦的俱樂部。這個俱樂部的名字很奇怪，叫「家釀電腦俱樂部（Home Brew Computer Club）」，可能是因為這些二十世紀的青年人認為自己製造電腦與十八世紀家釀私酒同樣有趣。無論如何，這裡的重要之處是在於提供了一個交換經濟、技術和其他信息的場所，使無數電腦迷（當然主要是青年）趨之若鶩。至於他們在討論時是否飲用過家釀的啤酒，那就不得而知了。

當「蘋果一型」在家釀俱樂部展出後，立即捲起了一場風暴。很多會員都表示即刻要一臺。訂單如此之多，以致這兩個斯蒂夫需要花掉他們全部的晚上和例假——以及幾乎所有值錢的東西：喬布斯賣掉他的汽車，瓦子賣掉他的計算器。一共籌集了 1,300 美元。他們想做 100 臺，每臺賣 50 元

，就可得 5,000 美元，然後有 2,500 元的利潤，足以購回汽車和計算器。一個朋友為他們承製了這個電腦所需的印刷電路板。原先那第一臺機器他們曾花了六十個小時進行組裝，但有了印刷電路板以後，就只需要六個小時了。

一九七六年六月，喬布斯拿了一塊線路板去找剛開業半年的地區電腦零售商「數位商店（Byte Shop）」。那商店一下子就要 50 臺，但是他們不要散裝的，一定要放在機箱內，「否則，」他們說，「顧客就不會喜歡。」於是，喬布斯訂購了 25,000 美元的零件，30 天內付款。他們裝了 100 塊板子，50 塊就賣給這商店，收了現金，在 29 天內付清了那 25,000 美元，其餘就是純利了。

當時瓦子和喬布斯並未意識到這實際上是第一次對用戶需求而作出反應的微機工業的開始。在他們的車庫中已經塞滿了用塑料包裝的半導體單片電路和印刷電路板。喬布斯還一連幾小時地占用他雙親的電話機，用於做生意、同律師談話等。到一九七六年秋天，喬布斯覺得市場的擴展比他們的設想快得多，因此需要更多的資金來擴大生產。於是，他們很自然地想到先去他們所在的公司惠普和阿泰麗求援。喬布斯去阿泰麗，儘管阿泰麗是做電子遊戲機的，但他們並不具有電腦生產線。阿泰麗的老板諾蘭·布什奈爾（Nolan Bushnell）認為只有大型電腦和小型機能賺錢，而微機——聽也沒有聽到過。所以他嘲笑了喬布斯的計畫。當然這是一九七六年，後來他勢必感到後悔，因為六年之後即一九八二年，微機銷售額達到 54 億美元。瓦子到惠普公司的命運也

並不更好一點。儘管惠普公司本身就是兩個本來不見經傳的青年開辦的，但此時那裡的某位經理卻指出：瓦子並沒有大學學位，也沒有能勝任電腦設計的正式證明書。順便說說，瓦子後來再去加州伯克利大學讀書，一九八二年才修完大學本科課程，得了學士學位。他是成為百萬富翁後再去的，但他和同學一樣穿「T恤」和啃三明治。

開辦一個公司的可能性後來決定於英特爾公司原來的銷售經理阿麥斯·麥庫拉（Armas Markkula）。他提供了91,000美元，還向美國商業銀行借了25萬美元。資本解決後，他們就遷出車庫，開始試製和生產「蘋果二型」微機。

一九七七年之前，電腦總是裝在大而重的金屬機箱內，很複雜，很威風，然而使用困難。蘋果二型改變了這一切。它的特點在於容易使用和容易製造。外殼是喬布斯自己的一個朋友合作設計的，據說是為了體現「同用戶的友好而不要嚇著用戶」，才採用扁平而穩定的外觀。機器內部則是瓦子的傑作：一個緊湊的電源、一個包括微處理器和其他半導體芯片的線路板以及一個同鍵盤連結的接線板。看上去異常簡單，但實際上每一個部件都具有一種複雜設計的光彩。其中電源的高度不到10釐米，這樣才能使電腦扁平化。那時一般微機的變壓器大約像半公斤重的麪包那麼大，而且因為發熱，旁邊還要一個風扇，因而體積更大。瓦子認為工作時風扇的哼聲「是一種不友好的聲音」。他求助於一個朋友洛德·霍爾德（Rod Holt）解決了電源問題。瓦子的另一個聰明的設想是設計了蘋果二型的軟盤控制器來儲存和輸入程序

，代替了那時廣泛使用得很慢的「磁帶—盒式錄音機」輸入方式。那時軟盤機的構成要 30~60 塊集成電路，而瓦子最後用了一種方案使集成電路減少為 8 塊。瓦子在設計印刷電路板時也充分發揮了他的才能，他日以繼夜地工作，使印刷電路板所需要的饋電線從 50 根減少為 3 根。最後的蘋果 II 型只有 5 公斤重，而且只要擰上 10 顆螺釘。外殼上有一個由六種顏色組成的、被咬過一口的蘋果作為標記。

雖然蘋果機的性能很好，但在經營方面並不是很完善的，公司並不能提供維修網點或用戶訓練等。但買方市場並不太計較這些，重要的是用戶不願意等上四、五年直到名聲昭著的公司例如 IBM 來提供微機。蘋果正是利用了這一時機：開始時它的發展並不起眼，因此在無人競爭的情況下占領了廣大的市場，等到 IBM 的微機進入時蘋果已穩操勝券。一九七七年四月份蘋果 II 型在舊金山的西海岸電腦展覽會上展出了 5 臺。結果幾千名用戶擁向展臺，經過觀看、試用，隨即填寫訂單。到此年九月財政年度結束時，蘋果公司的盈利已達 250 萬美元。第二年就達到 1 千 5 百萬美元。到一九八一年 IBM 宣布也進入微機市場時，蘋果公司的利潤已達 3 億 3 千 5 百萬美元。當然，很多人預言蘋果肯定鬥不過 IBM，要倒楣了，但蘋果繼續上升，次年利潤達到 5 億 8 千 3 百萬美元。即使從矽谷那樣的發展速度來看，這也被認為是幾乎不能相信的數字。

當然，蘋果的成功還不僅由於瓦子和喬布斯的努力。它還得到了美國文化和技術的普遍支撐。這就是在實際上美國

有數以千計的軟體工作者（其中大多數是青年）都被微機所吸引，圍繞著蘋果 II 型做了大量有用的工作，而公司無需付錢！於是，蘋果機的用戶很快就發現有大量的備用軟體和輔助設備，這意味著蘋果機的實際用途是其他微機所不能匹敵的，因為相形之下，後者只擁有少得可憐的軟體。所以，蘋果機的成功是一種廣泛的技術運動，而不僅是喬布斯和瓦子的所預期的結果——「建立一個友好的容易編程的電腦」而已。一九七八年很多小的電腦廠都關了門，而蘋果機卻欣欣向榮，它被用來作會計、文字處理、教學、圖示和一大堆其他花樣，這些都是「愛好者」們編的軟體。一九八三年蘋果機擁有 15,000 種程序，95% 是「獨立」軟體工作者做的，其中最主要的文字處理軟體是 Word Star，現在估計已有 50 多萬個用戶，還不包括盜用翻版的在內。BASIC 語言也隨著蘋果機而發展。順便說說，BASIC-8 的創始人之一比爾·蓋茨（Bill Gates）當時僅是哈佛大學的二年級學生。

一九八一年蘋果公司推出了「III 型」，但質量不可靠，結果完全失敗，使公司第一次裁員。為了糾正這一錯誤，公司投入了 300 名工程師和軟體人員，花了 5 千萬美元和三年的時間，製造出了「莉莎（Lisa）」（是喬布斯女兒的名字）。它的獨特功能是可用「滑鼠（mouse）」來控制電腦，即在平面上滑鼠作任何方向的移動行使游標在螢光屏上的位置作相應的運動。一般技術人員可在 20 分鐘內學會使用「莉莎」。於是，它使蘋果公司得救。

在一九八二年，《福布斯（Forbes）》雜誌把 28 歲的史

蒂文·喬布斯列為美國 400 名富豪中最年輕的一個，他擁有 2 億 8 千 4 百萬的資產。據說，在一九八三年蘋果公司的 3,500 個雇員中，約有 10% 已成為百萬富翁。因為有錢，喬布斯就想擴大影響：一九八三年公司送給加州 1 萬零 4 百個小學每家一臺「蘋果 II 型」，價值 1 千萬美元，但由於加州有因此可以減稅的條例，所以公司實際支出僅為 1 百萬美元。喬布斯說他將申請給全美每小學 1 臺機器，如果聯邦政府也能為此而減他的稅的話。

至於為什麼把電腦工廠加以「蘋果」這一奇特的名稱，一種說法是因為喬布斯在印度時生了一場傷寒，吃了很多蘋果的緣故。一九七六年要登記公司的正式名稱，喬布斯對公司的雇員說他建議叫「蘋果」，但「如果你們有更好的名稱，下午五時以前來找我」。想必由於雇員們並不準備同老板爭論，結果沒有人去。於是公司就被命名為「蘋果電腦公司」。不過，還有一個可能更為重要的理由。有一次在他的發迹地斯坦福大學講演時，喬布斯說：「至少在電話簿上蘋果（Apple）可以在阿泰羅（Atari）之前。」大家當然記得後者就是他本來在那裡當過職員的地方。

矽谷的隱憂

很多人把蘋果公司的成功作為矽谷的樣板。斯坦福大學的羅杰斯教授總結了它的四點成功要素：創業精神、風險資本、個人的信息交換網、處於高度競技狀態的科技人員。

矽谷內很多公司的成就使全世界為之豔羨不已，但是矽

谷並非人間樂土。一九六〇年矽谷有250個企業，二十年後即一九八〇年對它們進行調查的結果，有32%被吞併，37%已宣布破產，倖存下來的僅31%。

美國的競爭對手——日本，使矽谷蒙上陰影。矽谷常常有人說：十年以後的美國微電子工業，也許會像今天的美國汽車工業。在一九六〇年，全世界48%的汽車（800萬輛）在美國製造，日本僅占3%；而在一九八三年，在美國製造的汽車只有20%，而日本已躍居28%。到一九八五年，美國不僅在汽車產量方面遠遠落後於日本，而且開始向日本購買有關的汽車專利。當然，一般說來，日本並不是很好的發明家，但它往往是極好的仿製者：它以較少的勞動人口、較先進的工藝、較低的缺勤率、較好的勞動管理和較完備的質量控制而馳名於世。在微電子工業和電腦工業方面，它也可能用這些有利條件來擊敗美國。

在一九八四年和一九八五年，由於各種原因，矽谷的微電子工業和儀器工業的發展已經減慢很多。但是，如果有「新花樣」的企業，則仍然可以上升。例如上面提到過蘋果公司，一九八五年時仍占《風險（Venture）》雜誌統計的中型企業獲利的冠軍。惠普公司則為此大力發展人工智能（AI）電腦，在美國15個大學中發放了開發高級工程軟體的研究基金。

從矽谷的生活方面來說，也有著嚴重的問題。雖然加州的太陽和清風依然存在，「我們寧靜的世界」照片裡的天空仍然蔚藍無比，但這裡的污染實際上比其他地方厲害。矽谷

的繁榮帶來了人口的驟增，而且90%的人要用私人汽車上班，所以在上下班時汽車的擁擠程度無以復加，同時汽車排出廢氣的污染程度也無以復加。此外，雖然微電子工業號稱「無煙工業」，但矽谷每天依然有25噸有機化學品散入空氣中。它們與陽光作用之後產生「光霧（smog）」。清除這些半導體工業的污染，是現在還無人承諾的投資。

但是矽谷的多數人仍然對矽谷有信心。矽谷的高技術以及高技術帶來的文化已經在全世界發生影響；作為矽谷心臟的斯坦福大學仍在源源不斷地提供人才、設備和信息資源；矽谷的很多人仍在為他們的憧憬（不論是個人的還是社會的）而努力。每天下班的時候，他們將會以兩本美國小說《楊布魯特（Youngblood）》和《飄（Gone With the Wind）》的結語自勉：「在西邊的天空太陽正在落山，月亮將要出來；明早月亮也會落下，而太陽將重新出現。」「無論如何，明天總是另外一天了。」

我們能夠從中得到什麼教益呢？

星球大戰

當時美國是世界上唯一擁有原子彈的國家，因此自以為也是軍事威力最強的國家……

「星球大戰（Star Wars）」，正式名稱為「戰略防禦倡議」（Strategic Defense Initiative，簡稱SDI），是美國的一項重要軍事計畫。它設想用二、三十年的時間和1萬億美元的經費，用新技術構成一道導彈不能逾越的屏障，使美國從根本上消除核武器的威脅。

1萬億美元意味著什麼？那就是現在美國所有的公民，不論男女老幼，每人都要為此承擔5,000美元。而以往的美國阿波羅登月計畫一共才花了250億美元。所以這個計畫一經宣布，輿論大嘩，驚鵲鳴蟬，蛙聲一片。到現在為止，美國以及其他國家有關星球大戰的文件、說明和評論已經多如牛毛。

有趣的是，如果你在美國用電腦檢索「星球大戰」的資料，肯定會碰到一個意外的困難：在電腦輸出的人量條目中，有相當一部分是關於喬治·盧卡斯（George Lucas）創賣座紀錄的科幻影片《星球大戰》的小說、劇本、評論和連環畫，而不是這個「倡議」。然而科幻影片和國防之間有什麼聯繫並不僅僅是笑話而已。美國參議員柏洛克斯邁（Wil-

liam Proxmire) 在表達他反對戰略防禦倡議時就說過：「星球大戰最好還是留給電影界吧。」

對「星球大戰」表示反對的還有很多學者名流。例如退休的美國空軍上校布曼(R·M·Bowman)博士逐條駁斥了戰略防禦倡議委員會主任亞伯拉罕森(James A. Abrahamson)將軍的各種論點，還把文章公開刊載在《空間和安全新聞》上。一九八六年六月美國政府和工業實驗室的1,600多名科技人員反對星球大戰，認為應當限制它的研究經費，因為「這是一個消費大量資金而實現不了的神話」。其後則有6,500餘名科學家，包括15名諾貝爾獎獲得者，簽名保證不接受任何研究星球大戰的經費。一九八六年歲末美國總統雷根向第100屆美國國會參眾兩院聯席會議發表他的第六次國情諮文後，眾議院議長倫特(Norman F. Lent)對白宮增加星球大戰撥款21%而削減教育經費23%表示十分不滿。

但是，雷根真的是一意孤行嗎？這個計畫有可能成功嗎？它對美國和全世界將產生什麼樣的影響？這些都是目前各國的領導人、政治家和國防科技工作者所經常討論的話題。理由很簡單：星球大戰的重要性使他們不能不嚴肅對待面臨的種種可能性。

提出「星球大戰」的背景

故事是這樣開始的：「從前有一個大男孩和一個胖子，……」

讀者聽後馬上會根據自己的經驗來想像出這兩個主角。比如說，大男孩可能像《英俊少年》中的海因茨，而那個胖子則可能像《警察與小偷》中的警察。可惜都不是。不幸得很，這是美國「曼哈頓計畫」中首先創造成功的兩個原子彈的名字，「大男孩（Big Boy）」是用鈾-235 做的，重 4.5 噸，相當於 1 萬 9 千噸 TNT 炸藥；「胖子（Fat Man）」是用鉍-239 做的，只比「大男孩」重 0.5 噸，爆炸力則相同。它們在一九四五年八月被分別投擲在廣島和長崎，造成了空前的破壞。

當時美國是世界上唯一擁有原子彈的國家，因此自以為也是軍事威力最強的國家。但好景不長，一九四九年蘇聯也有了原子彈。一九五二年，美國第一次爆炸了利用熱核聚變的氫彈，在地球上抹去了南太平洋中的一個島嶼；但蘇聯緊緊咬住，第二年也成功地爆炸了氫彈。由於大家知道的原因，蘇美兩國都以為「天下英雄，使君與操」，只不過是雙方都害怕對方的報復而不敢發動襲擊，換句話說，雙方都以核武器的「威懾力量」維持著局勢的穩定性，因此這種平衡又叫做「報復恐懼平衡」。

六〇年代初期，美蘇雙方帶有核彈頭的洲際導彈（以下簡稱導彈）都達到成熟階段。它們之間已不再是害怕對方個別核武器的突然襲擊，而是重點考慮如何摧毀對方的整個導彈系統。相應地戰略關係也發生了變化，稱為「相互確保摧毀」（Mutual Assured Destruction，簡稱 MAD，在英語中該詞的意義剛好為「發瘋」），即：假定雙方核導彈處於

均勢，數目都是 1,000 個，而且都安置在隱蔽的發射井內。由於導彈的準確性和可靠性並不完善，即使對於新一代的導彈來說，能摧毀對方一個發射井的機率也不過是 60%。這表示先攻擊者如用 1,000 個導彈去攻擊對方的 1,000 個導彈時，可以摧毀其中的 600 個。當攻擊者的導彈全數用完後他的對方卻還有 400 個可供任意使用，於是先攻擊者將隨即受到更大的損失。在這種情況下發動攻擊的一方似乎愚不可及，或者說是「發瘋」了。所以，指導兩國軍事戰略的並不是「突然襲擊理論」；恰恰相反，正是由於誰也不會發動襲擊，才保持了局勢的穩定性。雖然有人認為這也是「報復恐懼平衡」，但卻是穩定的平衡。

但是，隨著時間的推移和軍事科學技術的發展，美蘇雙方都想打破這種平衡以達到稱霸的目的。一方面增加導彈的數目和能力，另一方面則設法增大自己能夠忍受對方的「第一次打擊」的容量，然後用被打擊之後倖存下來的導彈進行報復性的核攻擊。當然，在這過程中，至關重要的一點是要設法在空中用己方導彈去摧毀入侵的導彈，使其不能破壞己方的設施，因此雙方在戰略上的考慮都是建立所謂「反彈道導彈系統」，包括探測系統（雷達）、發射系統和攔截導彈。然而經過幾年的實踐以後，美蘇雙方都發現這是一個無底洞。因為隨著對方導彈數目的增長，己方的攔截導彈數目也必須增長。這不論從技術上或經費上看，都幾乎是不可能的；而且更重要的是，在這種軍備競賽中，即使占優的一方也不能增加其安全感。此時美國很多戰略家認為：單純的

軍事力量增長並不能保證核戰爭不發生，而要保證國家的安全，必須除技術和軍事力量之外，還要用另一手，即軍備控制和裁減武器。蘇聯同樣看到這一點，認為暫時維持均勢比較重要。於是美蘇兩國經過討價還價在一九七二年簽署了「限制反彈道導彈系統的條約」。

美蘇條約的內容主要針對陸基導彈，這是因為機載導彈和潛艇載導彈目前都不具備「第一次打擊」的能力，而只有陸基導彈能夠勝任。美國認為潘興Ⅱ號、三叉戟Ⅱ號和MX導彈都具備「第一次打擊」的能力，而蘇聯則自以為擁有SS-18和SS-20足以使美國吃苦頭。雙方在簽訂條約後都吹噓在裡面得到了很大的好處。

但是，美國很快就認識到出了漏子：這個條約對他並不上算。因為以上所有的考慮都是基於一個導彈只有一個核彈頭這個概念的，此時攻擊者至少需要一個導彈來攻擊對方的一個導彈發射井。但後來出現了多個獨立尋靶重入運載器（簡稱MIRV），俗稱為多彈頭分導導彈，即一個洲際導彈可以分出多個彈頭，因此很容易把其中的兩個（如果命中率為60%的話）去攻擊對方的一個發射井，這樣每一導彈摧毀對方導彈的數目就可以不止一個。於是從理論上說誰先發動攻擊就占了便宜，換句話說，多彈頭技術使局勢變得向不穩定的方向發展，這就叫做「解穩效應」。這種解穩效應在一九七二年簽訂條約時美國是認識到的，但美國迷信自己的技術優勢，拒絕把限制多彈頭分導導彈也包括在條約之中。相反地，美國沾沾自喜地馬上開始部署多彈頭的導彈。

不料蘇聯是一個不可輕視的對手。幾年之後，蘇聯如法炮製，也搞了多彈頭分導導彈。除此之外，以固體燃料和可運輸性為特徵的 SS-20 大量取代了用液體燃料和固定發射井的 SS-4 和 SS-5 導彈，而且從一九七五年起，精確性（命中率）有了很大的進展。目前蘇聯的彈頭（分導後，每個導彈至少可發出 5 枚）已超過 6,000 枚，每一彈頭的命中半徑小於 400 米。同時，蘇聯國土遼闊，人口分散，對「第一次打擊」的忍受容量比美國大得多。於是美國感到這是作繭自縛：一方面不能擺脫多彈頭導彈，自己沒有就不行；但一方面又隨著時間的推移而不安全因素愈來愈增長。

在這過程中，美國曾設想用反衛星（簡稱 ASAT）武器來擺脫困境。由於美蘇雙方都不希望遭到突然襲擊，所以都用人造衛星作為監視系統。於是任何一方在攻擊開始時第一步就要用反衛星武器把對方的監視衛星打掉，使對方成為瞎子。當時也有人認為，空間監視系統的另一作用是防止「誤啟動」（由於信息錯誤而按動戰爭電鈕），所以監視衛星的存​​在是增加穩定性的。但實際上在雙方都有反衛星武器的條件下，發生突然戰爭的可能性並不是減少而是增加。例如甲方的監視衛星有一天由於某種原因（如流星襲擊或電源故障）忽然不工作，甲方就可能認為是乙方開始啟動反衛星系統而準備發動「第一次打擊」，於是就會不加以進一步的警告而向乙方發動戰爭，成為後果不堪設想的「誤啟動」。直到此時，美國才意識到有了反衛星系統甚至比沒有更不安全——即使美國的反衛星系統比蘇聯優越。

於是美國不想把主要力量花在反衛星系統方面了，但又不願失掉面子。解脫的辦法非常巧妙：國會通過一項決議，禁止試驗針對空間目標的武器。這樣看起來就是由於內部原因而「被迫停止」試驗了；但另一方面也可以不完全把門關死，例如一九八七年一月十日國防部長溫伯格發表了年度軍事報告，說反衛星系統的試驗計畫一九八八年將繼續執行下去。

無論如何，美國得到一個重要的戰略理論：核戰爭的關鍵不是擴大「第一次打擊」的忍受容量，而是清除「第一次打擊」的能力。

從國家來說，中國、英國、法國都是有核威懾的國家，但並不具備「第一次打擊」的能力。所以只有蘇聯是美國的对手，是美國假想的——或真正的敵人。從導彈種類來說，前面已經講過，除陸基導彈之外，機載和潛艇的導彈還不足以構成「第一次打擊」的力量。於是美國努力的方針就是「針對蘇聯的陸基多彈頭導彈」。

在這個前提下，美國決定採取另一種戰略。他希望蘇聯發射出來的核導彈的 99.99% 在空中就可以被摧毀，通過這種手段使武器無從發揮其威力而成爲「落後於時代的東西」，最終使核武器軍備競賽告一段落。爲此而制訂的研究計畫就是「戰略防禦倡議」。在這個計畫中，美國自恃其空間技術遠超出蘇聯，因此把重點放在空間基地的武器上，發展一種空間基地的導彈防護系統。一九八三年三月二十三日，美國總統雷根發表了演講。他說要「用所有的能力和智慧來得

到一種真正的持續穩定性」，並說「我們可以在戰略導彈到達我們自己或盟國的土地之前就攔截並摧毀它們」。一時輿論嘩然。其中有一位諾貝爾獎獲得者貝岱（Hans Bette）表示反對，他說：「要是這計畫不幸而成功，那將發生一場星球大戰。」正好此時人們對盧卡斯的同名科幻電影印象深刻，就把這個計畫叫做「星球大戰」。

「星球大戰」的主要內容

雷根說他「正指示以一種全面和艱巨的努力來進行一場長期的研究開發計畫使達到我們最終的目標，即消除戰略核導彈的威脅。這可以為軍備控制進展到消滅武器本身鋪平道路。」

但怎樣可以做到這一點，甚至連當時的國務卿黑格都不明白，埋怨說「總統在演講前幾乎沒有做過任何準備」，還說「演講的第二天五角大樓很多人爭相詢問什麼是戰略防禦。……那裡掌管反衛星系統、導彈防護和其他空間設施的人都未被預先告知。」

直到現在，星球大戰的真實內容恐怕還沒有被全部揭示出來。比較一般的說法——就像美國自己宣傳的那樣——大體上可描述如下。

美國所假想的陸基洲際導彈的攻擊過程是這樣的：從蘇聯發射導彈到美國，總共大約需要 30 分鐘，其間可分為三個階段，即：

- (1)助推階段，時間為不超過 5 分鐘，此時火箭升空。

(2)慣性飛行階段，約 25 分鐘，導彈脫離火箭並開始分出很多彈頭及誘餌（假彈頭），在地球外層空間飛行。

(3)終端階段，彈頭在美國上空重回大氣層，約 1 分鐘後就在各個目標著陸。

如果把這三個階段作一比較，就可以發現它們之間差別是很大的。假定對方發射 1000 個 SS-18 導彈，到慣性飛行階段就可分為 1 萬個左右的彈頭和 10 萬個左右的誘餌。因而從數量上來說，助推階段相對地容易對付；而且火箭燃料產生的溫度目前還無論如何掩蓋不了，容易探測。一到慣性飛行階段，目標大增，應付就困難得多。到終端階段，時間太短，也就很難逐個應付了。總之，在助推階段進行攔截最為容易、最為便宜、最為有效。

因此，從形式上來看，美國希望組成三層攔截網，但實際上它的重點是放在助推階段，而不是第二或第三階段。如果說導彈防護系統是一個「空間盾牌」的話，那麼這個盾牌並不是想把美國本身、甚至更大的領域罩蓋起來，而是把蘇聯的發射基地用「空間盾牌」罩蓋起來，以便一旦有事，就加以攔截。實際上也只有在第一階段攔截後（希望有效率接近 99%），再把第二、三階段的攔截作為補充，才使第二、三階段的攔截成為可能。據估計，三階段攔截的總有效率要達到 99% 以上，才能確保「第一次打擊」失效（但並不能消滅對方的威懾力量）。

「星球大戰」的起草人是當時的總統科學顧問基沃思（George Keyworth）和安全顧問麥克法倫（Robert C.

McFarland)。他們預計它的研究階段為十年左右（現已開始），接下去是發展階段，再是部署階段，稱為「研究—發展—部署」。在這三個階段中，必須遵守兩條原則，任何違反這兩條原則的具體方案都是不能被接受的。這兩條原則是：

(1)用於防禦系統的經費要遠遠少於用於進攻系統的經費；

(2)建立的防禦系統必須具有強大的生存率，即不易被敵人打掉。

第二條原則涉及技術問題，我們在以後再討論。第一條原則是核心，據說這不僅是經濟問題，而且是能否打破軍備競賽的關鍵。如前所述，目前美蘇已有的「反導彈系統」是：你來 100 個導彈，我就用 100 個反導彈對抗；你有 100 個反導彈，我就生產 101 個導彈。這樣，導彈數目直線上升，軍備競賽不斷。現在希望有個質的變化：如果星球大戰建立起來的防禦系統遠比洲際導彈便宜，而且能使洲際導彈大批失效的話，那麼繼續大量製造導彈的必要性就不復存在，競賽就可以告一段落。例如，蘇聯現有 1,400 個洲際導彈，如果美國的防禦程度達到 75% 有效（目標是 99%），那麼，為達到同樣效果，蘇聯就要再造 4,200 個，而每個洲際導彈（連同地下發射井）需 1 億美元，總共需 4,200 億。如果建立起來的防禦系統遠低於這個價錢（比如，不到其 1%），那麼再多造導彈的想法就完全不足取了。

據說，對星球大戰的方案已考慮了二十年，但只在不久

之前才看到了希望。日本的評論家認為：「在七〇年代還幾乎認為不可能的事現在竟突然提出，其背景多半是由於技術的進展。」下面我們就來看看星球大戰的實現需要哪些技術。

星球大戰的具體方案分為五個組成部分：

(1)防禦系統。具體的設想是，在地面建立上百個定向能量武器系統，例如強雷射站。這種雷射站內有提供連續波熱殺傷的化學雷射器，或提供衝擊波殺傷的受激準分子雷射器、自由電子雷射器或X射線雷射器，每個衝擊波雷射站準備做到每分鐘發出6,000個脈衝束，每束含能量1億焦耳（相當於25公斤TNT炸藥）。也有人設想用氫原子束或帶電粒子束破壞導彈。

(2)預警系統。用靈敏的紅外探測器，在敵方火箭上升時發出警報信號。

(3)跟蹤衛星。用於追蹤導彈的彈道（時間和相應的位置）。

(4)指向系統。當防衛系統中使用雷射時，指向目標系統採用鏡子，從低空到高空的不同高度建立上千個鏡子反射站。鏡子本身固定，但它由上千個小元件組成。每個元件可在電腦控制下靈活地轉動，使入射光反射到不同方向。

(5)控制電腦系統。是信息貯存、處理和決策的中心，需要極其龐大的存貯量和極快的運算速度。

美國有些人認為，原則上一個雷射站加一面鏡子，可以在一分鐘內摧毀1,200個導彈（幾乎蘇聯全部陸基導彈），價格十分便宜。他們還認為，這樣的體系的生存率也是非常

高的：目前以及在可以預見的將來，還想不出有什麼技術可以同時摧毀在空間中不同高度的鏡子站。目前在太空中的飛行器已近萬個，加入一些鏡子混在其中，探測都不容易。而雷射站則具有很大的機動與隱蔽性，要同時摧毀上百個雷射站也幾乎是不可能的。

一九八五年四月，美國國防部長溫伯格（Caspar Weinberger）宣布有關SDI計畫的初步研究已取得巨大進展，可以提前兩年進行實驗。差不多與此同時，「戰略防禦倡議辦公室」正式成立，下面分設6個部：直接能量武器（雷射、粒子束等）；動能武器（火箭、電磁力等）；電腦；傳感器；能源；新技術與科學。這個辦公室的副主任有一次甚至說：「我們做的東西多半是老東西，早已在做了，現在只不過是把它們重新組合、集中一下而已。」這話是真是假，尚難判別。看來《韓非子》的「兵不厭詐」這一條已為現代任何軍事部門所熟知。

反對「星球大戰」的意見

在「星球大戰」的設想宣布之後，美國國內和國際上都有不同的看法。除了贊同者外，反對者的意見也很強烈。直到現在這場爭論還遠未結束。

爭論首先是在技術方面「星球大戰」是否有可能成功。當然，包括美國政府在內，都認識到「星球大戰」計畫幾乎要求所有的尖端技術都達到昨天還認為是不可能的新水平。雷根在演講時就提到：「我知道這是一種非常艱巨的技術任

務，可能在本世紀結束之前尚不能完成。……它將在每一科學前沿進行幾年甚至幾十年的努力。正如將會有成功和突破那樣，也會有失敗和挫折。」但他又說：「然而近期的技術到達這樣一種成熟的程度使我們認為開始這種努力是合理的。」在雷根演講四天之後，美國國防部部長溫伯格就公開表明他堅信美國技術「能夠做到總統需要的一切」。他把登月計畫作例子，說很多人本來認為人類不能到達月球，但「當時甘乃迪總統說我們不但能夠做到而且應當做到，而過了不久的幾年之後，我們做到了」。這幾句話馬上招來了反駁，認為「星球大戰」不能同登月相比，因為「月亮總是在那裡，而且不會向甘乃迪總統對抗」，但是敵人會「破壞你的空間設施，愚弄你的傳感器，並讓你的雷達頭疼」。好多技術專家還指出，空間系統是特別脆弱的，那些以空間為基地的元件有很多「軟檔」，如傳感器、電源、電子元件等，都易受攻擊，而且人們可以測得它們何時在何處，它們是一羣「坐以待斃的鴨子」，而且攻擊這些「鴨子」所需要的費用只有導彈防禦系統的百分之幾。

對「星球大戰」所用的武器也有批評。對呼聲最高的雷射武器來說，要求的角度準確率就像在 25 公里外打到一個銅板，而且這個銅板以每小時 25,000 公里的速度運動著。更複雜的是，不僅要準確地打到靶子上，而且要在同一點上維持一段時間使它燒毀為止。這時敵方可以採取導彈自轉的辦法，使雷射的光斑在導彈表面上不是一個點而是一個環；或者把導彈的表面也包上鏡子一樣的反光物質；或者讓導彈

噴出一團氣體或液體的霧狀物以屏蔽掉雷射。這些方法都會使雷射武器失效（或者要增加數倍以至數十倍的功率才能見效）。

雷射武器用的反射鏡也是十分脆弱的。根據計算，這種鏡子的直徑至少需要 10 米，反射率要接近 100%。這就很容易對付了：甚至不需要把鏡子擊毀，只要在鏡面上撒一把灰或噴一層油，就可以使反射率迅速下降，以致反射出來的雷射成爲「無害的探照燈」，而鏡子本身卻會因吸收了超額的能量而被焚毀。

用核彈作爲能源的 X 射線雷射器於一九八〇年十一月十四日在美國內華達州沙漠裡的地下核試驗站預研成功：一九八二～一九八三年開始製造。主持此事的是著名核科學家特勒（Edward Teller），他原籍匈牙利，三〇年代逃離納粹德國，然後參加美國製造原子彈的「曼哈頓計畫」，後來又「撫育」出了氫彈。特勒認爲核能 X 射線雷射器的出現是一種決定性的突破，是繼原子彈和氫彈之後的第三代武器。但是也有人表示異議，認爲特勒雖然是物理學家，有罕見的創造性，但他不是工程師或軍事專家，他設計的第一個氫彈大到像一個公寓房子。「雖然他了解樂曲的美麗，但千萬不要讓他去設計小喇叭。」科學家聯盟明確表示「用核能來防止核武器——很難設想有比這更加危險的對抗。同樣難於理解的是，有人會相信這是通往較少危險的世界的道路。」獲得一九四四年諾貝爾獎的拉比教授說：「如果没有特勒，世界將美好得多。」

至於粒子束武器，從技術上看比雷射武器更不成熟。質子束或電子束在空間將因電荷的斥力而擴展其直徑，還會受地磁場影響而改變預定的軌道。但不久以前勞倫斯—利物莫實驗室提出了同時發射雷射束和電子束的方法以克服這一缺點。中性粒子比較理想，但不容易獲得、聚集和控制，因此是否能得到很大功率的束流是可疑的。

除此之外，洲際導彈本身還可以繼續改進，例如，蘇聯的 SS-18 導彈如把原來的液體燃料改為快速燃燒的固體燃料，就可以使燃燒時間從 300 秒減少到接近於美國 MX 導彈的 40 至 120 秒。假定化學雷射器的啟動時間為 30 秒，那麼上述燃燒時間的改變就使易受攻擊的助推階段從 270 秒減少為 90 秒，換句話說，需要增加 3 倍的雷射器才能對付這些新導彈。分導彈頭的數目也可增加。一九八七年三月二十四日，蘇聯試驗成功一種可攜帶十多個核彈頭的導彈。最後，仍然存在著把從潛艇發射的導彈改進為具有「第一次打擊」能力的可能性，因為這種導彈的彈道可以全部在大氣層之內，而很多「星球大戰」武器，如 X 射線雷射和粒子束武器都不能穿過大氣層。只有自由電子雷射因頻率可變而能選擇穿透大氣的波長。

反對者甚至認為，這些技術上的弱點還不是主要的；如果從戰略上看，導彈防禦系統可能還有更為原則性的問題。比如說，即使「星球大戰」武器能使導彈降低其有效率，那麼能否使對方更願意裁軍？恐怕不會。很多軍事家認為，如果不侵及對方的領土，實際上就沒有什麼威懾可言。美國

改變具有「報復恐懼」的威懾政策為一種防禦之後「保證倖存」的政策，恐怕只有對攻擊者有利。這也就是「解穩效應」。因此「星球大戰」並不能防止戰爭，而實際上只有開始了又一輪新的軍備競賽，可以稱之為「空間軍備競賽」。

大野多鉤棘，長天列戰雲，世界人民對此當然不能無動於衷。很多科學家明確地表示擔心。愛因斯坦和羅素創辦的召集世界各國的著名科學家交換核武器和裁軍觀點的普瓦什（Pugwash）科學和世界事務會議（主席為一九六四年諾貝爾化學獎獲得者陶樂賽·霍奇金）一九八四年七月在聯邦德國哥廷根召開會議，針對「解穩效應」的發展和「新型的」軍備競賽，提出在外層空間杜絕一切武器，有 21 個國家的 8,000 人簽名。然而美國認為，空間的軍事化並不是現在才開始的：洲際導彈穿過空間，間諜衛星不停地繞地球運行，太空梭越來越增加其軍事任務，都是早已存在的事實，只不過沒有正式提出配備武器而已。美國還爭辯說，第一個提出在外層空間使用武器的不是別人，恰恰是蘇聯的赫魯曉夫。一九六一年四月，加加林作了第一次航天飛行。赫魯曉夫顯然被這個傑出的成就弄得忘乎所以，四個月之後，在一次克里姆林宮為了祝賀第二個太空人季托夫歸來的酒會上，赫魯曉夫擺好架勢，對西方國家的記者們說：「你們並沒有 5 千萬噸級或 1 億噸級的炸彈，但我們有威力超過 1 億噸的炸彈；我們既然能把加加林或季托夫放在空間，也就可以用其他東西替換他們對準地球上的任何地方。」一九六三年二月，蘇聯戰略火箭部隊司令別列烏卓夫說：「現在已經可能從

地球上命令衛星在任何時候在它軌道上的任何一點發射火箭。」這種威脅使美國公眾著實驚慌了一陣。不過美國的防禦專家私下說衛星不可能發射導彈，因為從衛星上落出來的任何東西都將隨著衛星軌道運轉，而且這種導彈無論如何沒有陸基導彈那麼準確，重量也有限制。他們還認為正是這種實現可能性不大和效率不高的特點導致了美蘇兩國簽訂了一九六七年的外層空間條約。可是一九八六年十月八日《波士頓環球報》獲得的一份長達 147 頁的蘇聯文件中，據說又一次聲稱可以在環球太空站發射導彈，到達目標的時間是 1 分鐘，而不是陸基洲際導彈所需要的 30 分鐘。

最溫和的一種批評是：美蘇雙方在空間「搞七攪八」將產生一種「空間危機」。本來美蘇在空間有一點和平的合作如通訊衛星、搜索和救助衛星、教育和遠程醫療衛星，以及類似「阿波羅—聯盟號」對接等活動都將因美蘇不可能繼續交換空間技術而停止發展。

還有一種意見是，無論怎樣算來算去，由於核武器的威力不斷增加，將來只要有少數「漏網之魚」，就可以使地球上消滅一大片生命——甚至全部生命。由於「星球大戰」的整個系統不可能進行整體試驗，所以並不能證明它是一塊「無縫的盾牌」，而非常可能是一種「有洞的盾牌」。只要想一想，如果這塊空間盾牌的有效為 95% 而不是設想的 99.9%，那就意味著在美國本土將落下三、四百枚氫彈，而且核輻射和核塵埃對大氣層的破壞其後果將遠非限於局部區域。因此「星球大戰」給出的僅是虛假的安全感，而最終是

危險的。特別是用電腦系統代替人作出打第三次世界大戰的決定使大多數人感到不放心。

總的說來，反對意見主要集中在三個方面：

- (1)技術上不可能成功；
- (2)政治上反而有「解穩效應」；
- (3)有消滅地球上所有生命的危險性。

總而言之，他們認為「星球大戰的作用是被大人誇張了」。

對於這一類的反面意見，美國政府好像並不準備詳細作覆，有時付之一笑。當然，實際上美國政府正在排除一切干擾，認真進行有關「星球大戰」的各項研究工作，近年來取得了相當驚人的成果。據稱電腦達到每秒運算 20 億次；雷射功率比過去大 20 倍；做出了高質量的鏡子；雷射穿透大氣問題也已解決。從地面來的雷射成功地打在太空梭的鏡子上又反射回地面數個目標。氟氟反應化學雷射器也已成功地擊毀了無人駕駛的靶機（但並沒有發表它的作用距離和作用時間）。搜索目標用的紅外探測器能在 1000 公里之外探測到一個人的身體發出的熱量。一九八六年底美國喬治·馬歇爾研究所發表的一個報告中說「星球大戰」的全部費用約 1,210 億美元，比原先估計的 1 萬億美元低得多。五角大樓的科學家阿倫·門斯一九八七年初在英國聲稱「星球大戰」進行了三年的研究，結果比預期的還要好。

一個在美國政界很有地位的人說：「關鍵是批評者不了解政府在技術上已經取得了何等的成就」。仔細想想，這句

話倒是一塊足以擋住所有不同意見的「空間盾牌」。

美國知識階層的反應

由於對「星球大戰」的根本估計很不一致，因此很多人對它的真正目的和意圖有著各種各樣的看法。特別是知識界議論頗多。

第一種看法是：雷根想搞點東西樹碑立傳，所以提出「星球大戰」。「除了總統和他周圍的人之外，沒有人相信星球大戰會成功。」這種講法雖然不近情理，但同黑格倒是不謀而合，因為後者曾經講過「白宮的一班人想使總統看上去像是美國最偉大的領袖」。

第二種看法是：「星球大戰」的提出實際上是為了促進新科學技術的發展。不論它是否能成功，都將對美國科學技術的發展帶來重大影響。在美國，很多人認為一個重大的計畫會促進各方面的工作。例如蘇聯第一顆人造衛星上天以後，美國學外語（俄語、德語）的人迅速增加；載人飛船上天之前的八年內，美國科技界出現了戲劇性變化。即使「星球大戰」只能完成部分目標而未能完成其最終目標，所發展的技術也很有用，甚至是會產生顯著影響的。例如一九五六年艾森豪威爾決定在美國建大量州際高速公路貫通南北東西，當時說是軍事目的，但實際上軍事方面從未用過，而美國的面貌卻因高速公路在全美普遍化而發生了很大的變化。因此，「星球大戰」的根本目的是以軍用為藉口，實際上是搞民用、搞技術，因為軍事最容易動員全民的情緒。美國有些人

現在拚命叫嚷軍事落後於蘇聯，實際上不見得如此，他們叫嚷的目的是要國會對軍方和研究部門增加撥款；另外是希望更加重視科學技術的研究，因為如果沒有科技方面的新花樣，就不能「領導全球」。不過也有人認為這種觀點是錯誤的，甚至是危險的，因為美國並不是為了發展高技術才提出「星球大戰」的設想，它第一位的目的還是為了軍事；只是有些人為了想接受「星球大戰」的科研任務才製造出一種藉口，把「結果」說成是「目的」，以致不管有些教授如何反對，戰略防禦倡議辦公室在一九八六年內與各大學簽訂的合同已達 300 個之多。

第三種看法是：「星球大戰」的提出是為了同蘇聯討價還價。蘇聯也有不少人認為，「星球大戰」是想在經濟上拖垮蘇聯。一九八六年八月蘇聯核化學家維特利·戈利丹斯基就說：「美國希望通過軍備競賽使蘇聯國民經濟崩潰。」但美國知識界很少有人同意這一觀點，他們認為「星球大戰」的主要作用是降低第一次打擊的可能性，「至於經費問題，在核時代其重要性似乎已大為降低。」

以上一些看法雖然不能說是全面，但還是比較典型的。由於「星球大戰」計畫需要巨額撥款，想必決定之時頗為慎重，但又看不出它必然成功，因此知識界很多人懷疑在政府公開講的目標背後，還隱藏著一些東西。至於這些東西究竟是什麼，那就各有各的理解了。

迄今為止，有一個人對「星球大戰」的計畫最為堅定不移。他說：「我的美國同胞們，我們正在著手進行的努力有

希望能改變人類歷史的進程。將有風險，需要時間，但如果
有你們的支持，我相信我們能成功。」這個人就是羅納德·
雷根。

附注：本文寫成於一九八七年。由於蘇聯的解體，一九九三
年美國已宣布停止「星球大戰」計畫，但其已有的發展和影
響證明本文的估計是正確的。

原书空白页

超導熱

美國總統科學顧問葛賴亨談到美國當前的重點科學方向，除愛滋病外，首推高溫超導。

爭相發表最新成果，科學競賽興起狂熱

一九八七年三月十八日下午五時，紐約中央車站旁的希爾頓大酒店顯示出一種奇怪的迹象：三千多人守候在只有1,150個座位的大廳門前，而此時離「節目」開始還有兩個半小時。不知道內情的人以為這又是什麼搖滾樂歌星的演出，但令人詫異的是，除了青年之外，其中竟不乏德高望重的老頭，有的還帶了夾肉麩包或三明治。當大廳的門終於打開的時候，這些人竟像頑皮孩子一樣奔去搶位子，所有西方紳士的矜持或禮貌都一掃而空。有一個人湊湧的人流中喘息著說：「我想我們都瘋了！」還有一個人一面用肘推開別人，一面毫不臉紅地說：「我是來看歷史性事件的。」

這個盛況空前的會議是美國物理學會年會中的一次關於「高臨界溫度氧化物超導體」的專題討論會。出席的都是教授、學者和其他科技人員。在幾個月前決定開這個會議的時候，組織者絕未想到會出現這種事態。而結果這個討論會竟變成一個新聞發布會：瑞士的國際商業機器公司（IBM）

蘇黎世研究所、日本東京大學、美國休斯頓大學、中國科學院物理所、美國貝爾實驗室等 5 個單位在會上各允許發言 12 分鐘，其餘 50 多個科學家每人只允許發言 5 分鐘。但就是這樣的嚴格限制，會議還是從下午七時半開始一直延續到次日凌晨三時半。要不是第二天會場還要用的話，肯定會有很多人還想羈留下去。

十天之後，即三月二十八日，日本應用物理講演會在早稻田大學召開。熱烈的場面又一次出現在其中「高溫超導」的一次小組會上：下午開始的講演拖到晚上十一點多；700 人的會場不夠再開闢一個；所有的走廊裡都有電視轉播。會上人們爭相發表「最新結果」，後來發生了熱烈的爭論——以至於爭吵。

當然，實際上更加激烈的競爭還在會場之外。很多國家的研究所都在日以繼夜地開展超導研究工作。這場「高溫超導」的旋風，幾乎有席捲全球之勢，其規模之大，參加人數之多，是科學史上所罕見的。全世界的科學家對此都刮目相看。世界各地所有的報紙都連篇累牘地報導「高溫超導」的進展情況，紀錄不斷刷新。加州大學聖迭戈分校的一位教授說：「在這領域內『最近』這個字眼只意味著兩天以前。」美國《商業週刊》的一名記者說：「過去是淘金熱（Gold Rush），現在是淘冷熱（Cold Rush）。」

不過我們還是叫它「超導熱」吧。這是在國際範圍內迅速興起的一種科學競賽的狂熱。

液氮超導目標誘人，多年努力進展緩慢

造成這場「超導熱」的原因有兩個。首先是在液氮溫度下工作的超導材料太吸引人。一旦能付諸實用，它的經濟效益將大到不可估量。特別是由於科學家夢寐以求的超導發電機和超導電腦將由此而可能實現，所以有人認為會導致一場新的工業革命。為了說明這一點，我們先作一簡單的回顧。

一九一一年荷蘭的卡梅林·翁內斯（H. Kamerlingh Onnes）發現在液氮溫度（4.2K，即攝氏零下269度）附近，汞的電阻突然消失。這種現象被稱為「超導性」。後來發現某些其他物質也有這樣的性能，就把溫度下降到「臨界溫度（零電阻溫度）」時具有超導性的物質稱為「超導材料」或「超導體」。

由於電阻為零，在超導材料內流動的電流將沒有損耗，所以很細的導線可以通過很強的電流、產生很強的磁場。在這種情況下，電流的傳輸和磁場的產生將與現在用銅線的方式大為不同。但問題在於它必須在極低溫下工作，而液氮的供應、價格和使用方式嚴重地限制了超導材料的普遍應用。儘管如此，超導磁體仍大量使用於加速器、聚變裝置、核磁共振和磁分析儀器上。例如美國芝加哥費米實驗室的加速器用了一千多個超導磁體，每年花在液氮上的費用是500萬美元，但電力卻因此可節省18,500萬美元。利用超導磁場的懸浮高速列車也在美、日、法各國的計畫之中。而超導核磁共振層析儀（NMR-CT）已能給出人體任一部位的剖面圖

，其分辨本領與清晰程度遠遠超過 X 射線或超聲儀器，在醫學診斷上有很高的價值，一九八五年起已被列為現代高級醫院的標誌之一。

由於上述優點，長期以來科學家們致力於研究臨界溫度較高的材料，特別是希望得到在液氮溫度（77K）條件下即能工作的「高溫超導」材料，因為液氮比液氦無論在價格、原料和製備方面都要合適得多。然而這方面的進展十分緩慢，經過無數次的努力，到一九八六年上半年，能得到的最好材料仍為一九七三年發現的「鈮三鏷（ Nb_3Ge ）」，臨界溫度為 23.2K（見表一）。而在一九七三年至一九八五年之間的十多年內無所進展。換句話說，經過七十五年的奮鬥，超導材料的臨界溫度只提高了 19 度。非但如此，根據一種電子-聲子相互作用理論，還有人預言超導材料的臨界溫度不會超過 40K。

表一 一九八六年以前主要超導材料的發現

材料名稱	臨界溫度 T_c (K)	發現年份
Hg	4.2	1911
Pb	7.2	1913
Nb	9.2	1930
W_3Si	17.1	1954
Nb_3Sn	18.6	1954
$Nb_3(Al_{0.75}Ge_{0.25})$	20-21	1956
Nb_3Ga	20.3	1971
Nb_3Ge	23.2-23.9	1973

因為金屬和合金具有較高的導電率，所以人們一直很自然地從金屬和合金中去尋找新的超導材料。但是科學又一次不按人們的預想去發展：在室溫時的氧化物絕緣體卻能夠成為臨界溫度比任何金屬為高的超導體。真是「眾裡尋他千百度，驀然回首，那人卻在燈火闌珊處」。這證明人類儘管在科學技術方面已經有很大的成就，卻仍然還有大量的未知自然規律在前頭。

意外發現導致熱潮，各國取得出色成果

一九八六年一月，在瑞士蘇黎世 IBM 研究所的亞歷克斯·米勒（K.A. Mueller）博士和喬治·貝特諾茲（J.G. Bednorz）在試驗一些含銅和鎳的氧化物的低溫性質時，意外地發現一種鎳、鋇、銅的三元氧化物在 30K 時出現超導性轉變，而後在 13K 時電阻為零。貝特諾茲大為激動，希望立即發表這個結果，但米勒比較慎重，因為在研究低溫超導的歷史上，曾多次出現無根據的宣布，使科學家的名聲受到玷污。米勒說：「我不想使自己成為笑柄。」在他的堅持下，又重覆了多次實驗，證明這是確實的，於是在一九八六年四月，他們發表了第一篇文章。但開始時反響不大，有些人看到之後還不相信這個結果。直到一九八六年十月，IBM 的同事中有一個日本人的妻子從日本來信說東京大學已重覆出這一現象並重視這一課題。一九八六年十二月初，在波士頓美國材料研究學會（MRS）年會上，日本東京大學和美國休斯頓大學都宣布已重覆出米勒他們的實驗並有所

發展，這才引起了廣泛的注意。瑞士蘇黎世高工的拉埃思（T.M. Rice）說當時日本報紙仿照「不明飛行物（UFO）」而把這種物質叫做「不明超導體（USO）」，很有些神祕的色彩。

美國休斯頓大學的華裔教授朱經武說，在一九八六年十一月的第一週，他們休斯頓大學的超導研究組做了米勒等提出的鐳鉕銅氧（La-Ba-Cu-O）材料，並加壓試驗。那時東京大學和貝爾實驗室都做了這種材料的結構分析。十二月中旬他們得到了轉變溫度（onset）為 $>40\text{K}$ 。十二月三十一日他們發表 $T_c=40.2\text{K}$ ，在1萬大氣壓下得到 $T_c\approx 52\text{K}$ ，但更高的壓力卻不再能使 T_c 進一步提高。當時這種材料是不穩定的。在一九八七年一月主要是解決穩定性問題，到一月二十九日得到了穩定的結果，還做了抗磁性。

此時世界各國的著名研究所也都紛紛對這一氧化物系進行研究。我國中科院物理所也按此方法製備成功，於一九八六年年底在《人民日報（海外版）》上作了報導（一九八七年一月十七日發布轉變溫度「確實的數值」為 48.6K ）。在美國，一九八六年十二月二十五日，貝爾實驗室得到了轉變溫度為 40K 、零電阻溫度為 36K 的超導體；十二月三十一日，朱經武在《休斯頓記事報（Houston Chronicle）》上發表了零電阻溫度為 40.2K 超導體的報導。一九八七年二月十六日朱經武進一步和他原來的學生吳茂昆一起在《休斯頓記事報》上又宣布得到了轉變溫度為 98K 的鈹、鋁、銅的氧化物超導體（經過核對，零電阻溫度 $=92\text{K}$ ），還肯定了超導

相是黑色的。由於這一成果突破了 77K 這一多年來的期望，所以在國際上引起轟動，有的報紙稱之為「劃時代的成就」。此時北京物理所在二月九日也看到現象，東京大學在二月二十三日一期《日本應用物理》上也登了。二月二十四日中科院物理所報導了「起始轉變溫度在 100K 以上的」超導體（經過核對，零電阻溫度 = 78.5K）。三月三日日本金屬材料技術研究所宣布得到了 123K 時就「出現超導現象」的材料，零電阻溫度為 93K。三月四日北京大學得到零電阻溫度為 91K 的超導材料；三月十九日中科院金屬所得到 94.8K 的材料。日本的研究人員為了表示其實驗的可靠性，相約不用液氮，實驗數據從室溫做到 77K（液氮溫度）為止。

在理論方面，三月二日一期的美國《時代》雜誌刊登諾貝爾獎獲得者約翰·巴丁的講話，認為「理論上沒有理由說不會發現轉變溫度更高的超導體」。四月六日一期的美國《商業週刊》刊登另一位諾貝爾獎獲得者羅伯特·施里弗的話：「在我們弄清真相之前可能還需要幾年的時間，但超導溫度能提高到何種程度可能並沒有理論上的限制」。

為了使這種超導材料能付諸實用，各研究機構又在全力製備線材、帶材、薄膜。三月十四日美國斯坦福大學做出了 40K 時超導的薄膜，三月十八日 IBM 公司宣布做出了 87K 時超導的薄膜；三月十二日日本住友電器工業公司和藤倉電線公司都做出了線材，三月十八日美國貝爾實驗室宣布製成在 90K 時超導的帶材。

總之，超導材料在這七十五天之內的成就超過以往七十年的數倍，而一場真正的國際競賽已經開始。在我國，除了上述物理所、北京大學和金屬所之外，中國科技大學、復旦大學、南京大學、吉林大學、清華大學、華中工學院等高等院校也先後取得了出色的成果。

茅臺價格降為啤酒，所有事情重新看待

液氮溫度下工作的超導材料有哪些好處呢？首先是廉價：目前液氮的價格（按體積計）大約相當於茅臺酒，而液氮的價格相當於啤酒，二者差 100~200 倍；而且液氮容易蒸發，需要多層的隔套容器作絕熱保護，而液氮容器只要用泡沫塑料絕熱即可。即使如此，液氮的蒸發率還是液氮的 10 倍。由此可見，使用液氮裝置的價格只有液氮的千分之一，這就使人們重新看待超導應用的可能性，或者說，使應用範圍大為改觀。目前預期可得到重要應用的方面如下：

(1)在能量的產生和傳輸方面，如遠距離輸電使用超導材料作為導線，可以沒有電阻損耗（通常銅線的損耗為 5—10%），因此同樣的燃料可給出更多的有效功率。美國預計單單這一項每年就可節約 2 億美元，而且不必採用高壓輸電。發電機採用超導繞組後效率可以更高。原子能發電站因此也就可以放在遠離人口密集的地方而更為安全。作為未來能源的可控核聚變裝置將有更大的磁場來約束其中的氘、氚離子，使它們聚變而放出能量。到那個時候，可以用海水來發電，而且沒有污染。

(2)在運輸方面，磁懸浮機車將在較低的造價上實現。這種機車被強磁場凌空懸浮起來，不與鋼軌接觸，時速可達500公里。到那個時候，從上海出發只要2小時左右就可到達北京。

(3)在儀器、傳感器和醫學診斷方面，首先是核磁共振層析儀的成本可大幅度降低，以致有可能成為比較大眾化的診斷儀器，為人類造福。利用超導量子干涉器件（SQUID）可以測量人體的極微弱磁場以提供早期病變的信息，這種器件如果在液氮下工作，則探頭可更靠近人體，因而分辨率更好。SQUID還可用作潛艇或礦藏的探測。利用超導共振腔則可作為新的頻率標準。

(4)在宇宙和空間探索方面，首先是可作為性能極為良好的磁屏蔽；其次是可作為天線，工作效率上限可達6,000吉赫（GHz），比現在用的Pb-In-Au材料大10倍。在太空梭上還想用超導材料做微重力（microgravity）試驗。

(5)在基礎科學方面，在特強的磁場作用下物質將發生何種現象迄今還不能預料。粒子加速器將具有更高的能量，在這種能量下能找到哪些新粒子呢？這也是科學家們夢寐以求的東西。

(6)在國防方面，能擊毀入侵導彈的大功率「電磁砲」將因大幅度降低成本而真正投入使用。

(7)在電子器件方面，一旦有了可靠的超導薄膜，將出現一系列新原理的器件。因此超導體可在很弱的磁信號下得到很強的電流變化，所以第一步大概是做開關管。其次是作為

無電阻的導線，實現晶體管、集成電路單片和包裝塊本身以及它們之間的超導互連。最後則將出現一種利用約瑟夫遜結的器件，其運算速度估計將為矽器件的 1,000 倍。如果考慮到美國現在已擁有每秒運算 20 億次的超高速電腦，那麼，上述數字意味著什麼？這又是一個可讓想像力馳騁的課題。

總之，高溫超導體在科學宮內又打開了一扇新的大門，使人們大開眼界，並再次激起了人們的豐富想像和創造欲。然而，這些超導體能否投入實際應用，要取決於三個因素，即臨界溫度（ T_c ）、臨界電流密度（ J_c ）和正確的形式。最後這一項指的是必須以薄膜、線材或帶材等形式出現。已經知道，這些材料的加工尚有不小的困難，但其發展仍未可限量。諾貝爾獎獲得者施里弗（R. Schrieffer）就說：「當晶體管問世的時候，我們知道它將代替電子管，可是有誰知道有朝一日它會變成大規模集成電路呢？」

謀事在人成事在天·創造紀錄撲濟道理

產生「超導熱」的另一個原因是：剛開始時這種超導材料研究所處的探索階段並不需要很高深的理論，也不需要大量的專用設備，因而無需很大的代價就能進行試驗。

第一個 T_c 超過 77K 的超導材料釷鉕銅氧，實際上是最穩定的材料，它的製備方法比較簡單，而且因為比較穩定，所以很快就被定型化。一般可取釷、鉕、銅的比例為 1:2:3 的高純氧化釷（ Y_2O_3 ）、碳酸鉕（ $BaCO_3$ ）和氧化銅（ CuO ），在瑪瑙研鉢中充分磨細，然後在模子中壓結成小

片，放入剛玉（氧化鋁）坩鍋，在通有純氧的管狀爐中鍛燒，就可以得到零電阻溫度為 85~91K 的黑色超導材料。如果初始成分的比例不同，但鍛燒之後還有超導性，則可以發現產生超導作用的相都是 $Y : Ba : Cu = 1 : 2 : 3$ 即 $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ （以下簡稱 A 相），而且它們能在鍛燒過程中自動形成。換句話說，任何能呈現超導現象的 Y-Ba-Cu-O 材料，在鍛燒之後都必含有 A 相。這種相的原胞已經用中子衍射、X 射線衍射和高分辨電子顯微法（HREM）定出，是正交晶系，類似於鈣鈦礦結構。如果其中的氧含量較少，則將轉變為立方晶系而不超導。除了 A 相之外，材料的其餘成分將集中於另一不超導的相；如果 Y 太多，則在這不超導相中還將出現 Y_2O_3 的體心立方小顆粒。但如一開始就嚴格控制 Y:Ba:Cu=1:2:3 的名義配比，則鍛燒後可製成單相材料，即只有 A 相而不出現其他的相。此外鍛燒後的降溫速率也很有關係：為了能使 A 相順利形成，需要緩慢降溫，驟冷或淬火都將使 T_c 降低甚至不超導。由此可見，在掌握了基本規律之後，它的工藝甚至比煉鋼還簡單。所以蘇聯的金茲柏格（V.L. Ginzburg）說：「這種超導體每個家庭主婦都能烹調出來。」正是由於它製備工藝的簡單和可重覆性，幾乎所有國家的科技人員都有相當一部分被動員起來，「大煉超導體」。有人回憶這就像一九五八年大躍進時「大煉鋼鐵」的熱潮。那時晚上看出去，城鄉處處星火點點，都在「炒鋼」、「煉鋼」。現在如在人造衛星上看地球，而且能夠看到室內的話，想必也是星火點點，各國都在「

燒超導體」。這真是十分有趣的事情。

用釷代替鐳可以大幅度提高 T_c 的經驗使人們合乎邏輯地想到在氧化物配方中試試其他的 III B 族元素。試驗的結果是第 4 週期的釷 (Sc) 不能用，第 6 週期的所有鐳系元素，除銩 (Eu) 之外，都能代替 Y 而給出大體相同的 T_c 。我國復旦大學和中科院物理所還先後分別引入了第 7 週期鐳系元素中的鈾 (U) 和釷 (Th)，但 T_c 也並不比釷鎳銅的氧化物更高。其他還有用鐳代替鈾，用鈷、鉻、鐵或鈦部分地代替銅的，但 T_c 也沒有因此而提高，所以 IBM 公司的格蘭特 (P.M. Grant) 說：「燒來燒去還是 90K 超導體。」

但是事態還在發展之中。人們還不滿足於在液氮溫度下使用的超導體，還在繼續尋求在室溫下不用冷劑就能工作的超導體。有人甚至認為，液氮溫度之上的第二個臺階就是室溫，其他居於 77—273K 之間的超導體並不占優，理由是液氮之上兩個可能的冷劑——乾冰（固態二氧化碳）和氟里昂都會對環境產生污染，不宜大量使用。但是，一個新的超導體必須滿足 4 個條件：(1) 結構要清楚；(2) 有邁斯納效應；(3) 電阻必須能跌到零；(4) 實驗能夠重覆。現在是有的材料轉變溫度很高，電阻可降好幾個數量級，但不為零；有的材料則極不穩定，實驗無法重覆。到目前為止，還沒有得到任何「室溫超導」的可靠結果。看來還有相當漫長的一段路要走。

科學家是不大相信機遇的。但在這些「高溫超導」的發現過程中，不乏充滿偶然性的例子，正如所謂「謀事在人，成事在天」。有些實驗室就是「碰上」了，做出了臨界溫度

比他人為高的材料，卻講不出多大的道理。有些人艱苦奮鬥但老是做不出，有些人卻一夜之間就創造出世界紀錄，然後再請「事後諸葛亮」去摸清道理。很多人甚至覺得也不妨去「碰碰運氣」，說不定在捉迷藏的過程中瞎貓會碰上個死老鼠呢。

稀土蘊藏得天獨厚·展翅奮飛莫失良機

「超導熱」是一種國際流行病。但是它並不傷害你的機體，相反地它卻表現了人類致力於技術進步的熱情和決心。在最初的狂熱過去之後，現在已逐步「退燒」。在打破了超導的一些陳舊觀念之後，人們將更深刻地認識這一自然規律，因而日前的研究已開始更為細緻，更為深入，更為全面。

在材料製備方面，新的配方仍在探索之中，而工藝研究則已轉入更深的思考。在各種基本參數的測量方面，已做過臨界溫度 T_c 、臨界電流密度 J_c 、交直流磁效應、能隙、能帶、導電類型、同位素效應、約瑟夫遜效應、三價銅的比例、氧含量的比例、穆斯堡爾譜、喇曼散射譜、隧道發射譜、正電子湮沒譜等，幾乎所有能用的手段都用上了。不過這種材料的表面比較「髒」，所以很難用電子譜、離子譜、逸出功等常用的表面分析手段來進行研究。

在理論方面，自從一九二一年以來，人們為闡明超導現象而作的努力從未停止。當然，用經典物理的觀點是無法解釋的；一九二七—一九三二年間開展了很多用量子力學方法的研究，也未能成功。一九三三年邁斯納（W. Meissner）

和奧森菲爾德（R. Ochsenfeld）發現在超導現象中，實際上磁場 $B=0$ 是基本的，電場 $E=0$ 一般來說是錯的，這就提供了一個正確的方向。但直到二十年之後，即一九五三年，巴丁（J. Bardeen）、庫柏（L.N. Cooper）和施里弗（R. Schrieffer）才發表了一種電子—聲子的弱耦合理論（後來被稱為「BCS 理論」），能完滿地解釋低溫超導現象，在一九七二年獲諾貝爾獎。

但「高溫超導」的機理看來與此不完全相同，因此理論物理學家已提出了一大堆企圖闡明高溫超導的理論模型，五花八門，日不暇接，但都各有不能自圓其說之處。諾貝爾獎獲得者莫德（N. Mott）最近在英國《自然》雜誌上發表了一篇文章說：若問超導陶瓷是否有解釋，最簡短的回答是「有很多——幾乎同這領域內的理論家一樣多。」朱經武也說：「理論家就是從來不相信別人，只相信自己是對的。」不過目前比較一致的看法是：BCS 理論在 T_c 愈小時愈符合，而在愈大時愈不符。另一方面，則大家都認為高溫超導體的 T_c 沒有上限。總之，鑑於解釋金屬超導現象的 BCS 理論曾獲得諾貝爾物理獎，理論物理學家當然不想放棄新的努力。

高溫超導在技術和經濟上的實用化可能性已經吸引了各國政府部門的興趣。日本和美國都把這個課題提到前所未有的重視程度。一九八七年六月十七日日本通產省發表了《開拓二十一世紀的基本技術》的報告書，在 46 個具體領域中，高溫超導名列第一。六月十九日美國總統科學顧問葛賴亨（William Graham）在復旦大學發表演說，談到美國當前的

重點科學方向，除愛滋病外，首推高溫超導。在他的倡議下，七月底美國召開了沒有外國人參加的 1,400 人的大型討論會。從這兩國採取的一系列措施來看，明顯地都以國家干預和投資的形式組織科技界和工業界聯合攻關。這種做法一方面說明政府高度重視，另一方面也表明高溫超導體要付諸實用，其任務還是複雜而艱巨的，需要投入大量的人力、物力和財力。目前雖然人家都不認為高溫超導材料已達到應用階段，因而不應該把重點放在應用上面，但由於它的誘人的應用前景，實際上都在積極準備。多數學者認為，高溫超導材料先用於弱電器件的可能性大於強電。休斯頓大學認為目前可做的應用探索是：溼度儀、煙霧傳感器、低阻抗電池。斯坦福大學認為是：約瑟夫遜開關、量子干涉器件（SQUID）、紅外線探測器、大規模集成電路的超導接線。新的設想是做超導體—半導體的三端器件。但這並不那麼容易，至少需要五年超導薄膜才能用於電子儀器或電腦，而且能用的程度估計很不一致。

從高溫超導研究本身來說，是由於科學上的「野心」、好奇心以及求知欲驅使這麼多的科技人員（而且絕大多數以前是不搞超導這一行的）日以繼夜地進行工作。這是不可抗拒的，也沒有什麼不好。然而，當 La-Ba-Cu-O 和 Y-Ba-Cu-O 兩個衝擊波引起的狂熱過去之後，超導研究已轉入更為本質的研究和深入的思考。靠運氣瞎碰的階段已經過去。現在不論在機理研究、製備工藝和表徵方法等方面，都已轉向逐步深化。在這個時候，理論基礎是否扎實、實驗手段是

否完善、工業水平是否先進，都必將面臨嚴峻的考驗，已經有人預言，由於日本政府動員的規模更大，工業技術隊伍組織得更好，結果可能又是美國取得「進展（advance）」，而日本取得「好處（advantage）」。

我國實際上已經參加了這一國際競賽，而且取得了一系列好成績，今後還將認真地進行下去。在具體做法方面，應當真正做好全國性的協作和分工，支持一些有國際水平的工作，迅速通報各單位的成果和資料，平等地發表科研成果，以及反對在報紙上作不切實際的宣傳，這樣才能把我國的超導研究推向新的水平。原白宮科學顧問基沃思（G. Keyworth）曾在一次報告中說：「目前高溫超導這一學科領域內並無權威可言，因此也是發展這一學科的最好時機。」這句話有一定道理。特別值得提出的是：新的氧化物超導材料中都含有稀土的成分，而稀土在我國根本不「稀」，前些時候還有人說「多到不知怎麼用才好的程度」，這是得天獨厚之處。據最近報導，我國鈾的蘊藏量占全世界的90%。

中國應當對人類作出更大的貢獻。

2+j 個諾貝爾物理獎

——談創見與科學精神

2+j 表示有 2 個實的、j 個虛的。2 個實的是諾貝爾獎已經拿到；j 個虛的是差一點就拿到，但還沒有拿到，也許永遠拿不到。

托爾斯泰的《安娜·卡列尼娜》是如此膾炙人口，以至於很多人記得這本書的開頭是：「所有快樂的家庭都是相似的，不快樂的家庭則各有各的原因」。

其實不僅「快樂的家庭」是相似的，似乎「名牌大學」也是相似的，至少它們對學生的要求十分相似，儘管各校包含的專業可以各不相同。舉例來說，我們復旦大學的學風是「刻苦、嚴謹、求實、創新」；北京大學是「勤奮、嚴謹、求實、創新」；清華大學是「嚴謹、勤奮、求實、創新」；同濟大學是「嚴謹、求實、團結、創新」等等。其中「求實、創新」是上述所有學校都提到的。這種驚人的雷同並非偶然現象，也不是這些學校「江郎才盡」，在詞句上相互抄襲，而是表明在學生應當具有的學習態度（也包括做人的態度）方面，大家的觀點是完全一致的。

因此我想就「求實」和「創新」——或者更明確地說，是「創見」與「科學精神」——談些自己的看法。

「創見」，很接近於英語中的「idea」。Idea 可翻譯成思想、概念、主意，還有人稱之為「想像」。不管如何，

現在人家慢慢地都重視 idea 了。我也常常對自己的研究生說，要寫論文不難，重要的是先看看有沒有自己的 idea。現在也有一些單位要我評審研究生學位論文，有的論文選題看來是好的，付出的工作量也很大，但是沒有自己的 idea，我就說這位同學做這個論文工作很辛苦，但恐怕還欠缺一些，達不到學位的要求。

那麼，什麼是創見呢？有些人把創見和幻想混為一談，居然有篇文章說古典小說《封神榜》裡有千里眼、順風耳，可以證明中國人早就想到了望遠鏡和無線電話，這個 idea 要比洋人早多少年等等。還有一位科普作家，個別作品中寫了一些違反公認的科學結論的東西，有人提出意見，說科普小說甚至科學幻想小說都要尊重科學，不能使用錯誤的科學概念，否則會貽害青少年。那位作家卻爭辯說：沒有關係，因為《三國演義》中很多故事違反史實，卻並沒有覺得它的作用不如《三國志》。我看了以後，覺得這位先生彷彿有點毛病，因為誰都沒說過《三國演義》是科幻小說或科普小說。至少羅貫中在寫的時候還沒有想到把它標榜為「科學」小說。如果被現在這位先生寫起來，也許可以說三國時代就有了雷達或紅外線望遠鏡。——那麼「草船借箭」的時候，諸葛亮一定以失敗告終。

這當然是笑話。不過這說明創見和幻想是不同的。創見，或者稱之為見解，是要被當時或以後的實踐所證明的，它具有科學性的特徵，而幻想是不需要任何證明的。當然，也有一些創見當時被認為是對的，但經過以後更多的實踐證明

為不確切或只在某些條件下才能應用，那也沒有關係。只要對社會有促進作用，就是好東西。牛頓的經典力學，後來被證明為不完全，那並不影響牛頓的偉大。前幾年我到英國去訪問幾個國家實驗室，發現有兩個地方都有「牛頓的蘋果樹」，據說是牛頓坐在那下面看到蘋果掉下來，或者簡直就掉在他頭上，才悟到萬有引力的道理。我想真奇怪，怎麼牛頓坐在兩個地方，兩次都有蘋果掉在頭上？那倒要仔細看看。我發覺，第二家的那棵樹很矮，大一點個子的少年恐怕坐不進去，而且根本就不像結過蘋果的樣子。我就問了，他們說是在牛頓原來的蘋果樹上拿了一枝下來插活的，不過那白牌子上赫然寫著「Newton's Apple Tree」，沒有提到「後代」之類的話。而他們仍然為這棵小蘋果樹而驕傲，實際上也就是為牛頓而驕傲。李振道博士有一次在講演中也提到：沒有人因為有了愛因斯坦就不尊重牛頓。那麼，到底什麼是「創見」呢？我想講幾件有關諾貝爾獎金的事情。

大家知道，最近幾年在物理學方面出了好幾件轟動世界的事情，我姑且把它叫做「 $2+j$ 個諾貝爾物理獎的故事。」

什麼叫 $2+j$ ？這是複數，也就是 $2+1j$ ，這裡 2 是實數， 1 是虛數。 $2+j$ 表示有 2 個實的、 1 個虛的。 2 個實的是諾貝爾獎已經拿到； 1 個虛的是差一點就拿到，但還沒有拿到，也許永遠拿不到。它們是一九八六年的電子顯微鏡和掃描隧道顯微鏡（Scanning tunneling microscope，簡稱STM）、一九八七年的高溫超導和一九八九年的冷聚變（cold fusion）。

電子顯微鏡是德國羅斯卡（Ernst Ruska）在一九三一年發明的，第一臺商品電子顯微鏡在一九三九年出現，到現在正好有五十年歷史。它利用電子波的波長比光波短的原理，使顯微鏡的放大倍率提高數千倍（注一），在生物、醫學、冶金、地質等許多方面有著廣泛的應用，可以說由此在人們眼前展現了一個新的世界。在生物方面來說，不但可以看到細菌，還可以看到病毒，甚至可以看到某些生物因子如脫氧核糖核酸（DNA）的構造。電子顯微鏡的缺點是要採用電子光學系統，要放大倍率愈高，系統結構就愈複雜，而且必須在真空中進行工作。

掃描隧道顯微鏡與電子顯微鏡不同，是一個全新的構思。它利用一個很細的針尖在離開固體樣品表面距離很近的地方作掃描。針尖細到如此程度，以致在頂尖上只有幾個或者1個原子；距離近到如此程度，只有幾個納米（毫微米）；此時，如加以一定的電壓，尖端就會發射隧道電流到樣品上，電流的大小同針尖與樣品表面的距離成指數關係，或者簡單地說，距離近的電流大，距離遠的電流小。至於掃描，就是從左到右，從上到下作規則的移動（就像電視畫面並不是一張，而是把一幀二維的圖像變成一維的信號串，再按位置重構出圖像）。維持電流不變，測量針尖在掃描過程中在第三維（高度）方向的位置，就可以得到固體表面形貌的圖像，就像立體地圖一樣。這種方法的優點是不需要電子光學系統，也不需要真空（注二），所以結構特別簡單，但它卻能觀察到原子級分辨率的圖像，所以轟動世界。到現在為止，

世界各國很多實驗室都自己製備了這種儀器，而且不斷加以改進。發明這個儀器的是瑞士的國際商用機器公司（IBM）拉許列康（Rushlikon）研究所的賓尼格（Gerd Binnig）和魯勒（Heinrich Rohrer）。他們兩人同發明電子顯微鏡的羅斯卡共同得到一九八六年的諾貝爾獎。一九八七年魯勒博士來過復旦。上海市電子學會請他做名譽會員。

有趣的是，一九八七年我去美國國家標準局（NBS）訪問，在一個非常偶然的機會裡，碰到一位老先生。他的名字我不說了。這位先生和我素不相識，但人家一介紹我的專業是電子物理，他就向我訴苦，說他丟掉了諾貝爾獎金。原來他早就用過針尖發出的隧道電流來描繪固體表面形貌，而且已經畫出了圖，也發表了論文。但是他沒有想到用小到一個原子的針尖和1個納米的距離來描繪固體表面原子級的圖像。他責怪NBS不支持他的工作，原因是當時商業部以為沒有商用價值（NBS是美國商業部辦的），因而在做了一年之後就停掉。但他也不得不承認原子級圖像的掃描不是他的「創見」。

一九八七年高溫超導在世界範圍引起的熱潮，大家還記憶猶新。我記得向同學們做過一次報告，叫《超導熱》。簡單地說，超導是一種物理狀態，電流在這個狀態的物質中流動時電阻為零。過去這被認識為一種低溫現象，因為只在低溫之下某些物質才有超導性。一九一一年翁內斯發現，在液氦溫度（4.2K）下汞有超導性，之後經過六十二年的努力，研究出「銱三鏷」（ Nb_3Ge ）在23.2K下有超導性，然後

又徘徊了十三年。一九八六年一月又是在瑞士的 IBM 研究所，米勒（K. Alex Mueller）和貝特諾茲（J. Georg Bednorz）發現一種三元氧化物 La-Ba-Cu-O 本來是絕緣體，可是在 13K 時電流為零，變成超導體了。在一九八七年二月美國兩位華裔學者吳茂昆和朱經武進一步發現了 Y-Ba-Cu-O 超導體，零電阻溫度為 90K。它超過液氮溫度 77K，所以用液氮冷卻就可以得到超導體。這就是所謂高臨界溫度的超導現象，簡稱為「高溫超導」。液氮容易得到，容易保存，而且價格比較便宜，我曾經算了一下，與液氮的價格相比，相當於啤酒與茅臺酒之比。因此，高溫超導開闢了超導體應用的新的前景，本來大家認為很難實現的東西現在看來有可能實現，因此引起了國際上的狂熱。至於理論物理學家和工程學家如何大起忙頭，我這裡就不說了。

一九八八年春我去瑞士開國際超導體會議。會上第一個報告是法國人萊浮（Bernard Raveau）博士作的。他也有段有趣的經歷。他是研究結晶學的，做過氧化物，做了 La-Ba-Cu-O，知道它的晶體結構和各種成分比下的結構變異，也測過各種化學和物理性能，但就是沒有測過超導性，沒有想到用冷劑凍它一下再測測電阻。所以也逃掉一個諾貝爾獎。換句話說，作為絕緣體的氧化物有可能在低溫下成為超導體不是他的創見。當然，人家還是很尊重他，讓他做第一個報告。

所以，這兩個人同諾貝爾獎之間，都只有一步之差。但難就難在這一步。這一步就是我們講的「創見」，也就是根

據本人的知識和經驗經過思索而得到的新的昇華。

那個會議結束後，我去了 IBM 拉許列康研究所，是魯勒博士邀請我去的。那裡現在非常著名，因為一九八六、一九八七連續拿了兩次諾貝爾物理獎，有四個諾貝爾獎金獲得者，恐怕是全世界諾貝爾獎得主密度最高的地方（約 1%）。到那裡我除了參觀掃描隧道顯微鏡的工作外，當然還想看看高溫超導。米勒不在，見了貝特諾茲，倒是一見如故。他告訴我做諾貝爾獎獲得者的苦處：煩得很。他說有個製造小五金的廠要求拍一張他的照片做廣告，因為「你在研究過程中用的什景鏟刀是我們廠出的」。我哈哈大笑，說：「你到中國來吧，這裡不會有五金廠給你拍照。」去年他來了，在上海、北京、瀋陽作了好幾個學術報告，還去千島湖參加了上海市科委主辦的高溫超導學術討論會。他現在是我們復旦大學的名譽研究員。

當然，講講笑話並不是主要目的。除了交流一些學術上的看法之外，我同貝特諾茲博士談的主要內容是「你們這裡為什麼會接連兩年得到諾貝爾物理獎」？大家知道，美國商業部門的研究所中，最著名的有兩家，一家是貝爾，一家是 IBM。在此之前，貝爾實驗室多次得到過諾貝爾獎，IBM 得獎很少。可這兩年卻一連得了兩次，而且都是在瑞士的拉許列康研究所。這個所離開蘇黎世約半小時的路程，在一個小山頂上，房子不大，還多數是平房，在 IBM 的三個研究所（Yorktown Heights, Almaden, Rushlikon）中，這是最小的一個。設備也不算最好，沒有其他在美國的兩個研究

所那樣的氣派。那麼爲什麼他們能做出很大的成績？同貝特諾茲和其他人談下來，我有一個印象：關鍵在於 IBM 在這個研究所有意創造了一種氣氛，使大家容易提出他們的設想——或者創見。

第一，這個研究所有一部分高級研究員，被稱爲「fellow」。他們可以沒有任何確定的科研題目，也可以不寫報告，「只花錢不出貨」，這是世界上任何其他地方沒有的。米勒就是這樣的 fellow 之一。IBM 完全相信這些 fellow 有獨立選擇題目的能力。所以他們可以用氧化物做陶瓷，也可以做超導體。

第二，這個研究所設在瑞士，有地利上的優勢。除瑞士人以外，附近德、法、英、義、西、比、荷各國以及北歐的人才都可以到它那裡去做工作。他們吸收人才。貝特諾茲是德國人，他就是在瑞士蘇黎世高等工業學校（ETH）取得博士學位之後被羅致去的。

第三，這個研究所早茶、下午茶的時間特別長，實際上鼓勵各種類型（電腦、物理、化學、工程）的專家在這兩段時間內充分交換他們的設想和意見，所以他們中有人說：「Idea initiated from coffee break」，即創見發源於喝咖啡休息的時候。

第四，這個研究所的技術檔案工作十分嚴格細緻，同貝爾實驗室一樣，所有的 idea 實際上都固化下來。隨時可查而且等於註冊好，將來「版權」是誰的有帳可查。

當然這些只是我的體會，不一定對；而且各國具體情況

不同，也不是說要交流學術思想非喝咖啡不可。但是我想由此可以體會到寬鬆的研究環境、嚴謹的工作態度、集思廣益式的討論、交叉學科之間的交流，以及領導和周圍同事們的支持，實在是產生「創見」必不可少的條件。

要使創見達到真正的「創新」，還要有科學態度，或者說要有科學精神。我覺得科學精神裡面，包括不怕困難、鏗而不捨的刻苦精神，包括嚴謹細緻的工作作風等等，但最要緊的是實事求是，也就是「求實」。下面我要講講第三件事，就是尚未拿到、也許永遠拿不到諾貝爾物理獎的「冷聚變」，或稱「室溫聚變」。

這件事發生於一九八九年三月二十三日，美國南安普敦大學的弗萊許曼（Martin Fleischmann）和美國猶他大學的龐斯（Stanley Pons）宣布在室溫下試管中做出核聚變。他們用鈹作為陰極，金或鉑作為陽極，電解重水，就得到核聚變反應。大家知道，為了得到無污染的能源，物理學家作熱核聚變的試驗已有幾十年之久。這就是想把氫彈的爆炸過程（即釋放能量的過程）變得緩慢、可控。如果一旦成功就能從海水發電，因為從海水中能得到核聚變所必需的重氘……「氘」。但必要條件是氘的密度和溫度，要高密度、高溫，而且由此還要求超高真空條件。現在弗萊許曼和龐斯幾乎什麼條件都不要，而能源的徹底解決就在眼前，當然引起全世界的轟動，其勢頭不亞於高溫超導。今年四月，日本報紙竟然說高純度的重水（99.95%）已全部賣光，商人賺了好大一筆錢。但是這件事一上來人們就有疑問，很多人認為不可

能。當然也有很多人認為是可能的，只是過去的理論有毛病（像高溫超導那樣）才說不可能。於是國際上每個大的實驗室幾乎都在試圖復現這種實驗，盡可能用最靈敏的儀器測試。奇怪的是大的、著名實驗室都做不出來，而小實驗室都紛紛宣布重現，包括我國某大學，說他們實驗中得到的聚變中子流比國際上報導的還要高等等。當然看報紙的人很高興。可惜後來美國國家科學基金會（NSF）委託一些專家組成一個小組前去猶他大學視察，其中有一位是阿貢國實驗室的，名字我也不說了，後來他告訴他的朋友說，他在猶他大學看到的這個電解實驗，是「他所見到的大學普通物理實驗中最整腳的一個」。

應當說，此事如果實在，諾貝爾物理獎必得無疑。可惜的是，如果缺乏科學精神，「創見」也許會變成「笑柄」。當然，這並不是說不能繼續試驗，而且這也確確實實打開了人們的一種思路，不過最後的成功好像還早，諾貝爾獎就是虛的。這就是 $2+j$ 後面的 j 。

在社會科學方面也有類似的情況。由於自然科學的飛速發展，現在也有不少人開始把自然科學中的一些結論類比於社會科學。如果注意到「任何比喻不可能是100%對的」這樣一個先決條件，那麼自然科學將幫助社會科學得到某些「創見」。

我舉一個例子，就是「熵」。火字旁邊商數的商，是中國物理學家翻譯時杜撰的物理學名詞。物理學告訴我們，人類不能創造能量，從來就沒有人創造能量，也永遠不會有人

能創造。我們只能把一種能量轉換為另一種能量，而每次轉換都要損失一些能量，這就是熵。當熵處於最小值，就是有效能量處於最高值，整個系統最為有序；當熵處於最大值，整個系統最為無序，也就是說混亂度最大。

當然，熵是看不見的，不但肉眼看不見，就連用剛才講過的掃描隧道顯微鏡也看不見。可是幾年前我在芝加哥大學一位化學系教授的家中，看到他客廳中有一幅大油畫，深藍的底子上有一大團不知所云的東西，他說這畫是一個研究生送他的，畫的名稱就叫做「熵」。我說，「你這位研究生真有眼力，看到了熵。我是看不見。不過據說畫家只要把他的感受告訴你就好了，那我想我懂這種感受：亂七八糟，可是並不美。」那位教授說，「好極了！他就是要你覺得熵並不美。」

簡而言之，混亂度最大，系統中的熵最大，即無用功最大。這對經濟上的混亂或政治上的混亂都是適用的。早在一九八一年裡大金（Jeremy Rifkin）和霍華德（Ted Howard）就寫過一本書，叫做《熵：一種新的世界觀》。我並不同意作者的某些講法，但有一點是對的：要想進步，穩定有序是首要的因素。我們希望熵趨向於極小。對學校是這樣，對國家也是這樣。

我還要著重說明一下：我一點不反對青年人的獨立思考。不論是研究自然科學或社會科學，都需要獨立思考。我甚至覺得要作為一個科學家，要創新，就必須有ABC：即進取心，事業心，好奇心（英文是ambition, benefit, curio-

sity，開頭的字母是 ABC）。這個 ABC，恐怕青年人最豐富，那是需要鼓勵，也是需要保護的。年紀大的人恐怕要承認在 ABC 方面不如青年人。不過青年人也要注意，「求實」和「創新」是密切聯繫在一起的，要求實才能真正的創新。

最後我再引用由於發現雷射而在一九八一年獲得諾貝爾物理獎的夏洛（A. L. Schawlow）教授的一句話作為結束：「要做成功的研究，你並不需要知道所有的東西，你只要知道人家不知道的一樣東西。」

祝大家成功。

（注一）

普通光學顯微鏡的分辨率 d 受到光波衍射的限制：

$$d = 0.616 \lambda / n \sin \alpha$$

其中 λ 是光波波長， n 是周圍媒質的折射率， α 是物的張角。當 $\lambda = 5 \times 10^{-7}$ 米（綠光）， $n = 1.6$ （油浸）， $\alpha = 90^\circ$ 時，分辨率 $d = 2$ 微米。而在電子顯微鏡中如使用能量為 10^5 電子伏的電子，其波長約為 4×10^{-12} 米，是光波的 10 萬分之一。可惜由於電子光學系統的畸變，目前電子顯微鏡能得到的最佳分辨率 $d = 0.2$ 納米。

（注二）

因為距離太小，電子從針尖飛到樣品表面的過程中同氣體分

子碰撞的可能性不大。當然也有些工作必須在超高真空下做，但那是由於其他的原因（如維持清潔表面等）。

原书空白页

信息社會

未來社會的發展在很大程度上將依賴於信息的獲得、傳輸與處理，這樣的社會稱之為「信息社會」。

一場世界範圍的新的技術革命，已悄悄地出現在地平線上。國外對此議論紛紛。有的稱之為「第三次浪潮」（A. 托夫勒），有的稱之為「第四次產業革命」（S. 斯塔萊克），也有人稱之為「十大趨勢」（J. 奈斯比特）。但不管說法如何，他們一致認為，由於科學技術的飛速發展，社會生產力將產生新的飛躍。這種飛躍以知識（或信息）作為特徵，因此又稱為「知識社會」或「信息社會」。換句話說，西方國家在達到高度工業化以後，現在要從工業社會轉入信息社會。對於我們這樣的發展中國家來說，這既是一個機會，也是一個挑戰。要作出正確的對策，除了要解決整體規畫和技術路線外，依靠什麼樣的人來完成這一任務，尤其是帶有戰略性的大問題。

什麼是信息社會

一個問題在沒有被充分了解之前，往往有很多答案。它可以是完全肯定，也可以是完全否定。但實際上我們對周圍問題的知識多半處於完全肯定和完全否定之間。如果我們根

本不知道答案應當是肯定還是否定，那就表明不具備這方面的知識，或者稱為最「無知」的狀態。如果有人告訴你關於這問題的某一情況，那麼這是一個「消息」，但不一定是「信息」。一個消息所包含的信息量就是對觀察者知識的變化。如果消息告訴你的內容是你已經知道的，就不會引起知識的變化，也就沒有傳送信息，或者說這消息的信息量等於零。所以，信息和知識是聯繫在一起的。這是一種比較簡要的說法。更嚴格一些的定義是：信息即一種既能創造價值、也能進行交換的知識。

由於當代科學技術的迅速發展，知識急遽增長。有人估計在十九世紀時知識每五十年增長一倍，現在則是每三年增長一倍。這種增長速度之快，猶如爆炸的氣浪，所以有人把這叫做「知識爆炸」或「信息爆炸」。在這種情況下，未來社會的發展在很大程度上就將依賴於信息的獲得、傳輸與處理，有人就把這樣的社會稱之為「信息社會」。

信息社會有兩個重要標誌。

信息社會在人力結構上的標誌是白領工人的數字超過藍領工人。所謂「白領」和「藍領」，都是資本主義社會中以工資收入為主要經濟來源的階層：「白領」一般指辦公室人員，包括教員、職員、祕書、會計、經理、律師、記者、各類管理人員和技術人員，以及在銀行、保險、證券、司法等部門的工作人員；「藍領」指產業工人或體力勞動者，包括技工、雜工、領班等（農業工人不計在內）。據統計，美國一九六五年「白領」的數字就首次超過「藍領」。一九八〇

年美國明尼蘇達大學 H. 克利夫蘭教授（前美國駐北約大使）則認為，現在美國的「藍領」恐怕只占雇員總數的 25%。

信息社會在經濟活動上的標誌是知識（信息）的作用超過資本的作用，即生產力和價值的增長主要通過知識而不是體力。當然，以往的工業社會也承認知識的作用，即「發明」（科研成果或技術發展）可以帶來重大的經濟、文化和社會效益，但過去與現在相比，知識轉化為生產力的速度是完全不同的。下面不妨舉幾個例子。

我國的蔡倫在公元一〇五年發明了造紙術，在此以後，才有書法、水彩畫、印刷和紙幣。它們對我國以至於全世界的經濟、文化、政治、社會等各方面所起的作用是不言而喻的。然而，只是在造紙術發明之後六個世紀才有木板印刷、九個世紀才有活字印刷、十一個世紀才有第一張紙幣。知識轉化為生產力，花了幾百年的時間。一八三一年，法拉第發現了電磁感應現象。據說當時的英國首相曾去法拉第的小實驗室參觀，在看到永久磁鐵移近線圈的過程中，線圈內有電流流過時，他就問法拉第：「它有什麼好處？」法拉第說：「我不能肯定，可是，首相先生，我知道總有一天你會對它徵稅的。」大家知道，後來果然徵了稅，而且不但徵了稅，還出現了「蘇維埃加電氣化」這樣重要的事態。從電磁感應到電機工業的興起，花了七、八十年的時間。本世紀電腦的發展就不一樣了：一九四五年第一臺電腦依尼亞克（ENIAC）出現時，它占地 170 平方米，重 30 噸，而到一九八二年時，同樣功能的運算器只有 0.5 平方釐米，即小指甲

的一半大小。這個發展過程所需要的時間僅為三十多年。再往近的看，一九七三年發現了內切酶和連接酶，從而產生脫氧核糖核酸（DNA）的「重組技術」，而到一九八三年就有幾百家遺傳工程公司，應用遍及農業、化工、保健、生物醫學工程等各個行業。這段時間只花了十年。由此可見，越是接近現代，知識轉化為生產力的速度越來越快。而「知識爆炸」實際上意味著生產和社會的變革越來越依賴於知識（信息）。

在這種情況下，世界上對資源的概念也發生了變化。過去只提材料和能源兩種資源，而現在則認為有三種，即物質（材料）、能量（能源）和信息。雖然信息資源依附於人的觀念，不像有形物質那樣獨立存在，但它也可以擴充、擴散和分享。更重要的是，這三種資源之間的關係極為密切：獲得信息要用能量（例如要消耗一些電能才能使電表的指針偏轉），而轉換能量要用信息；在現代企業中，信息可以代替資本、勞動力或有形物質。有的企業在建立全國經濟信息系統後，增產2—4%，節耗5—7%，管理費用更是大幅度遞減，達到20—25%。相反地，信息不靈通，就會造成物質能量資源的極大浪費。以工業鍋爐為例，我國有20萬臺鍋爐，每年用煤二億噸，如節耗5%，就相當於多了三個年產300萬噸煤的大礦井。而怎樣才能節耗，關鍵在於控制鍋爐的燃燒。這種控制現在大多是靠人工目測和人力加煤。對於工人來說，這既要求經驗，又要求熟練的操作技術。即使如此，從觀測情況、判斷到操作，所需的時間仍然很長。但如

果把燃燒情況用傳感器測定（獲得信息），立即輸入微處理機（傳輸信息），與原來設定的條件加以比對（處理信息），然後由執行機構加以控制，就可以時時得到最佳的燃燒狀態和最少的煤耗。使用這種方法據估計最多可節約 12% 的煤。同樣的理由使汽車裝上微處理機後可節約 20% 的汽油，因此美國和日本在一九八一年以後生產的汽車都裝有微處理機。信息是控制的基礎這一點，已越來越為人們所認識，因此各種設備和儀器，都要逐步採用「在線（in-line）」控制或「即時（on-time）」控制的趨勢。不過這還只是從小的方面來說。從大的方面來說，信息還是制訂計畫、規畫和決策的依據，所起的作用就更加不言而喻了。

在信息社會裡，特別需要重視未來。有人認為，在農業社會時注意的是過去，「春耕夏耘，秋收冬藏」都是前人的經驗，那時只要把過去的經驗掌握好，就能夠發展生產。在工業社會中，注意的是現在，所謂「時間就是金錢」，指的就是當前的時間。當前什麼東西能夠得到最大的經濟效益，是工業社會頭等重要的事情。在信息社會裡，則知識起到決定性的作用，因此主要是注意未來的發展可能性。這三個時期各有側重是有一定根據的，是同人類的生產方式以及生產力的發展密切相關的。

信息社會中人仍然是第一因素

為了迎接「信息社會」的到來，或者說，考慮到新的技術革命對社會的影響，世界各國特別是工業先進的國家紛紛

提出各種對策。大家都知道，在工業企業方面的國際競爭日益激烈，早在一九八二年時，美國政府在《科學技術年度報告》中就宣稱：「美國的科學技術已發展到這樣一個階段：增加數量得到的好處不如提高質量大。」「隨著國際競爭日益激烈，……聯邦政府支持的研究開發（R&D）必須響應社會的需要而不是僅僅滿足追求新知識的好奇心。」「質量優異（excellence）、切合實際（pertinence）和選擇恰當（appropriateness）這三項準則仍然是本屆政府科學技術政策的核心。」日本的中曾根首相則說：「世界上資本主義國家已經發明創造出來的那些新技術日本差不多都用了，現在日本要進一步發展，就需要自己開發技術。……過去意義上的那種現代化已經完成了，而新的現代化開始了。」由此可見，以美國和日本為代表的工業國家，都高度重視新科學技術的發展。

我們不妨隨便舉幾個例子。

能源：現在有兩條路走得比較多，一是熱核聚變，希望利用海水就能發電，可以用之不盡，取之不竭；二是氫作為動力（澳大利亞已有用氫發動機的汽車原型），這涉及氫的獲得和儲備問題。目前用太陽能照射催化劑表面，從水製備氫的所謂「無電電解」技術已初露端倪。糧食：過去農作物研究著重抗蟲害、高產量等等，現在則進一步希望植物本身能從空氣中固氮，這樣就不需要很多的肥料，另外是從高鹽分的水中生產作物。

美國亞利桑那（Arizona）州有些人在做研究，他們的

觀點是：「植物是需要水的，但不一定需要淡水。」他們已找出了兩種植物：一種是園藝用的，一種是可以吃的（生菜）。當然這些成果還不十分精采，還不是什麼真正的糧食，但據說通過研究已發現很多植物是可以耐得住鹽分的。如果這問題能依靠物種選擇或遺傳工程得以解決，那麼世界上有很多以前不能耕種的土地將迅速改變面貌。衣服：現在很多人在開展研究，想利用催化劑把煤和空氣合成內烯脂，然後做「的確涼」，據說也有很多進展。總而言之，如果解決了能源，解決了衣、食問題，人類的日子就會好過多了。但是以上所說的各種革命性的措施，大概都要在下一世紀才能正式採用。而且更為重要的是，如果沒有具有高度文化的人，以上所說的種種變化一樣都不能完成。

所以，現在每個國家都在考慮大量培養人才的問題。例如美國政府部門的一個報告中把自己國家的目標定為兩條，即「振興經濟」和「加強國防」（事實上我想任何國家都要有這兩條）。他們認為「美國某些主要工業技術部門缺少高質量技術人才，已對美國工業與外國公司競爭的能力和國防技術造成不利影響」。他們還特別提到：「就質量而言，國家的教育制度必須培養出第一流的科學家和工程師。」報告還說：美國發展科學技術的戰略「強調擁有世界上領先的大學——有能力訓練具有最高質量的科學家和工程師的大學的重要性」。在此以後每一財政年度，美國用於研究開發方面的總開支都超過 1 千億美元。日本政府則認為要進一步發展「新的現代化」，需要本國的人才來開發技術。

工業國家既然如此，就發展中國家而言，科技水平和生產水平比較落後，就更應當重視智力開發。例如在人力結構上，如要「白領」的數目超過「藍領」的話，哪裡來那麼多的「白領」？顯然，這只能由兩方面的人構成：一是從正規的高等學校中培養；二是使大量的「藍領」變為「白領」。後者就是要強調成人教育和業餘教育。在不久的將來，生產工人的勞動技能將主要不是以體力為基礎，而是以智力為基礎，因此要求他們也是知識分子。將來相當多的「藍領」的工作還可能被「鋼領」（機器人）所代替，——這已經不僅是一句幽默的話了。

我認為有兩個社會上流行的觀點必須加以澄清。第一，有些人認為我國目前生產水平較低而勞動力較多，所以不需要技術革命。言下之意也就是我國只要安排好勞動力市場而不必重視新興產業的發展和勞動者新知識的掌握和提高。這是完全錯誤的。當然，在我國目前的狀況下，以電力、機械、化工為主的製造業仍將發展，仍將在國民經濟中占有重要地位，但這絕不意味著能對新興產業掉以輕心。技術革命能夠節省人力，因而縮小勞動力市場，但另一方面它又會擴大就業面，從整體說來仍然是發展的。瑞典有一位教授就尖銳地指出：「過分強調勞動強度大而生產能力低的技術，可能是坑害窮國的一種圈套。」第二，有些人認為我國的現代化主要依靠引進生產線。不必花大力氣進行研究和試製。這種觀點也是完全錯誤的。我們作外資合營、進口設備、買專利等等，都是為了推進我國的現代化；但是絕不能認為買一點

外國的設備，或者請一些外國專家，就可以現代化。現代化是買不到的。很多第三世界的國家都有過慘痛的教訓，不必另外舉什麼例子。現代化的根本問題是要自力更生，不斷壯大自己的科技隊伍，特別要培養素質好的青年一代。這是因為在「信息社會」中，發展產業的關鍵是知識，於是掌握知識的人就是決定性的因素。在企業中，不但研製、生產需要知識，就是使用現成的設備也需要知識，這就叫做「產業知識化」。不僅如此，「產業知識化」還必然伴隨著「管理知識化」。國外現在有人提出電腦引起的「三A革命」，就是工廠自動化（FA）、辦公室自動化（OA）和家庭自動化（HA）。因此人們對知識的需求是一種不可抗拒的實際存在，而信息社會對知識的要求是人類歷史上前所未有的。

信息社會的人才素質

因信息社會相關聯的新技術革命將帶來三種變化。首先是前沿學科的變化。一方面是老的學科之間的界限逐步泯滅，另一方面很多有生命力的重要學科誕生於老學科的邊緣地帶，所以稱之為「邊緣學科」或「交叉學科」。例如表面科學、分子生物學、電腦輔助設計、生物醫用電子學、空間醫學、雷射化學等，都是兩種或兩種以上學科的綜合和交叉，而且這種現象正方興未艾。

因此現在文理滲透的問題應當繼續引起大家的重視。比如我們復旦大學創辦了國際新聞專業，除文科學生外還收了些讀完三年的理科學生，效果很好。他們非但很願意去讀國

際新聞專業，而且很能夠把學到的理科知識用到新聞業務上去。由於歷史的原因，過去新聞工作者多數是文科的同志，科學技術的知識比較少，容易出錯，而且有些人對報導科學技術的新聞並沒有太大的興趣。但現在這種情況在逐步變化，很多編輯和記者都注意充實自己的科學技術基礎。所以我覺得文理相通是有許多好處的。除了文科需要理科知識外，理科也需要文科知識，有很多尖端技術都需要同文科相結合。例如目前世界各國都在研究高清晰度電視，這種電視面臨的一個問題就是清晰度越高，畫面暴露的缺點也就越多。有人做實驗，看螢光幕上的斑斑多大才能被人察覺，然後才能去設計出一個對應的顯示系統來。然而做實驗至少需要兩種知識：一個是抽樣統計，一個是心理學。為什麼它跟心理學有關係呢？因為通過實驗發現，缺點的暴露跟節目的精采程度是有關係的。如果節目不精采，直徑為零點幾毫米的斑點就能被看見；而節目精采時，直徑大到1毫米的斑點還可以不被發現。這也就是說缺陷產生的後果是同心理有關係的。這種研究就很難講是「文」還是「理」。

第二是人才層次的變化。傳統的理科偏重於基礎研究，或者說是解決遠期的需要（例如基本粒子，也許還要過五十年或一百年才有用）；工科偏重於實際問題的研究，或者說是解決當前的需要（例如工程師就要有能力解決當前生產中的各種問題）。可是由於當前科學技術的迅速發展，還缺少一種人才，他們從事的工作將解決五年或十年以後的需要，因此叫做研究開發（R&D）人才。具體地說，他們既要有

比較深厚的基礎知識，又要有較為廣博的實際知識。他們並不是工程師，但對工程師技術方面的問題要有「後勁」。

第三，要面向世界。這有三個方面的含義。首先，由於信息傳遞工具的改進以及交通運輸工具日益發達，所以國際上信息的流通，不論從速度或數量上都達到十分驚人的地步。看起來，世界確實變小了。我們對整個世界也要有一定的認識，不能像過去那樣只了解本國的情況或本地的情況，而需要對整個世界的情況有所了解。其次，將來的經濟，一定會從國家經濟轉向世界經濟。這並不是像現在有些人所說的那樣，作些跨國公司之類，其意義遠比這種認識豐富和深刻；這意味著經濟上的制約和發展將是一個全球性的東西，所以現在就有人談論經濟國際化、信息國際化、科學技術國際化等問題。這是世界性的轉化。第三，隨著時代的演變，每個國家自給自足的時代已經一去不復返了。現在是開放的世界，世界各國的各個方面，相互之間都會產生影響。我們必須努力把世界各國好的東西匯集起來為我所用，另外我們的成就也不能不影響到世界上其他的國家。這就是我們現在的處境。附帶的一個要求就是要學好外語，以便於學習和溝通。

過去我們籠統地說要從基礎、實踐和能力三方面來培養人才，現在這仍然是重要的，但所包含的內容要有些補充。在「基礎」方面，除了需要鞏固的基礎知識外，還需要盡可能寬的知識面。這樣才能適應日益增長的、千變萬化的需要。要多看參考書、做實驗、作調查、寫專題評述，也就是訓練如何去獲得、分析和處理所得到的信息。在實踐方面，除

了要求了解實際問題和具備解決一般實際問題的本領外，還特別要對新事物敏感。在能力方面除了解決業務問題的能力外，還要不怕動手。我們的研究生同外國學生相比，一般說來讀書本領不差，但動手能力似乎差一些。特別是在接受某具體任務的時候，外國學生比較不怕，接到手就做；我們的學生則往往瞻前顧後，怕困難，怕做不出來不好收場等等。所以這裡也有戰略和戰術問題：既要教會學生有解決問題的能力，又要有解決問題的勇氣。西德有個教授說他最希望培養出敢冒風險（high risk）的人才，這種人應當「不安於現狀，向前看，有事業心」。我想有一定的道理。此外，我們的不少學生只善於念書，不大會辦事，特別是同社會打交道，往往一籌莫展。實際上「辦事」的概念很廣泛，譬如說接觸社會實際，訓練思維能力，考慮各種對策，迅速作出反應等，這對於個人的治學也是很有關係的。

真空科學

所有先進科技成就中，不可缺少的重要關鍵，那就是真空。

一九七九年的秋天，我從巴黎飛到紐約，應邀參加美國真空學會的全國年會。在浩瀚的大西洋上空長時間的飛行之後，耳朵裡似乎還有馬達的轟鳴聲，而且由於第一次到達美國，總有些興奮和不安的感覺。在移民局關卡上檢驗護照的時候，那位官員問我：「你到美國來做什麼？」我說「參加一個真空會議」。他點點頭，領悟地說：「喔，真空吸塵器！」然後就在護照上蓋了章給我，還友好地笑笑。

其實那時我卻忍不住想大笑，但由於不至於讓人感到不禮貌，我只能把笑的「程度」從「大笑」也降為「微笑」。我並沒有怪他的意思，因為我知道在美國「vacuum cleaner（真空吸塵器）」的俗稱就是「vacuum（真空）」。但大家當然也知道，「真空」絕非只等於「真空吸塵器」。

真空在技術上的定義是壓強低於1標準大氣壓（ 1.013×10^5 帕）的空間。雖然1個大氣壓能在1平方釐米的表面上均勻地施以10牛以上的壓力，但除了少數工件如吸塵器、搬運器等以外，實際上很少應用這種力學性質。真空的重要意義是在於：給人類提供了地球上前所未有的、最清潔和

最少受干擾的環境。到目前為止，人們已能在合理的時間內在一般尺寸的容器中，獲得壓強範圍跨越十七個數量級的真空，即由略低於大氣壓的粗真空(rough vacuum)直到 10^{-12} 帕的極高真空(XHV)。

至於真空科學，則涉及所有應用真空的領域，因此內容更為廣泛。按照國際真空科學技術與應用協會(IUVSTA)的分法，包含七個方面，即：真空技術、薄膜、表面科學、電子材料與加工、真空冶金、等離子體科學與技術，以及新近發展的納米科學與技術。

人們往往把電子技術、核能和太空梭稱為二十世紀人類的三大成就。當然，有些人還可以舉出諸如合成纖維、生物工程、雷射等十分重要的領域來加入這個行列。然後，你如果仔細分析一下，就可以發現有一種技術是所有這些成就都不可缺少的，那就是真空。如果在本世紀內沒有真空科學和技術的發展，那麼，以上這些人類引以為豪，而且已經改變了和正在改變著世界面貌的工作，大概一樣也不能夠成功。

或者讓我們再展望未來。未來的社會，將是一個以高技術為發展主體的「信息社會」。從知識密集、發展速度、銷售範圍以及研究開發費用等高技術產業必須具備的條件來衡量，能稱得上屬於高技術的實際上只是電腦與微電子學、材料與能源工程、生物工程、航天與海洋工程等四個方面。而真空科學，可以毫不誇張地說，同任何一項高技術都有密切關係。

真空與高技術

先討論真空同電腦與微電子學的關係。首先當然是半導體集成電路的製造。應當說，這些年來，集成電路已發展到相當成熟的程度，目前常用的單片處理器（CPU）80486已含有約100萬個晶體管，但很多專家估計，在今後二十年内集成電路還有繼續微型化的需要。以生產工藝中的線條粗細為表徵，目前為0.8~1微米，個別器件已用到0.4微米，二千年後為0.2微米。環繞這個要求，現在要做的事情是：繼續在真空中製備高純度（除要求摻入的雜質原子外無其他原子）、無缺陷、大截面的矽單晶和砷化鎵單晶；做好各種膜（氧化、高阻、隔離）的沈積（包括蒸發、濺射、分子束外延MBE、金屬有機物化學汽相外延MOCVD、低壓化學汽相外延LPCVD、化學束外延CBE/MOMBE等手段）；各種導體、半導體或介質薄膜的刻蝕（反應刻蝕和電子束刻蝕）；以及超晶格的研究和製備。所謂超晶格，就是二種以上的原子人為地排列為有規則的晶格（每層1~10納米），它在自然界從未存在過，而按照不同的結構可能會獲得不同的物理性能。進一步的發展就出現了所謂集成光學，即用光學傳播方法作為基礎，做成光集成器件或光電混集成器件，它要用真空蒸發或反應濺射的方法來製造光學元件和雷射二極管。最終目的是做電腦，但現在還只處於初期的試驗階段。

材料科學目前是發展最為迅速的領域。它特別與能源工

程有關，這是因為太陽能利用、貯氫和可控核聚變反應研究的需要。

在冶金方面應用真空歷史最長的是超純金屬（如無氧銅）和精密合金的製造。超合金（superalloy）實際上是一種耐熱合金，本來以鎳、鈷為主，現已發展為不用鈷而加鉬或鈮。形狀記憶合金可在變形後加溫而恢復原有的形狀，一般用馬氏體的行爲來解釋，可用於軍事工業和醫療工業。吸氫合金一般為稀土金屬與鐵類金屬（特別是鎳）的固溶體，室溫時可以吸收大量的氫，因此被作為氫貯存器，並有希望用於氫動力的汽車。

非晶合金（或稱無定形合金）一般用速冷（ $10^5 \sim 10^6$ 升／秒）的辦法製備，不給材料以結晶的機會，因此不具有通常金屬的晶態結構，某些性能也就不同。例如鐵硼非晶合金其鐵磁損耗要比最好的晶粒取向的矽鋼片好 5 倍，但磁通密度低，且不能焊接，暫時還不能用於大型變壓器中的鐵芯。

在新能源方面，人們最為關注的是可控核聚變。自然界的這種聚變反應至少存在於太陽中。就是依靠了這種反應所發出的能量，地球上才有了生命。人類也獲得過人工的核聚變反應，這就是在氫彈中發生的過程。現在的問題是需要把這種能量緩慢地、可控制地釋放出來，為人類所用，這就是所謂「可控核聚變」。一旦這個設想成功，人類可從海水中提取氘作為原料而得到無污染的、無窮無盡的能源。理論計算表明，要在一個容器中達到核聚變的條件是要保持反應粒子（氘或氚）的溫度和濃度，前者為 10 千電子伏（相當於

10^8 開)，後者可用勞遜（Lawson）公式表達如下：

$$n\tau = 10^{14} \text{ 釐米}^{-3} \cdot \text{秒}$$

此處 n 為粒子濃度， τ 為粒子的壽命（受約束時間）。當然，要達到這樣的溫度和濃度，其必要條件是保持容器內的空間不被雜質原子所沾污，即要求超高真空。一九八六年在托卡馬克裝置中，上述兩項溫度和濃度的指標已被分別達到，但未能同時達到。這裡有實驗的技術問題，也有對物理過程的理解問題，總而言之，很多科學家已經耗盡了一生的精力，去從事這個為人類造福的研究。至於一九八九年報導的所謂「室溫聚變」，大多數科學家認為靠不住。

在生物工程方面，大家早已熟悉使用真空的電子顯微鏡。最近幾年出現高靈敏度 SIMS，可用於研究生物的特性。例如，含羞草為何在手指觸碰下會捲起葉子？這當然很有趣。然而最重要的工具可能是掃描隧道顯微鏡（STM），它結構簡單、操作容易，而空間分辨率卻達到原子的尺度，觀察時樣品還可在大氣中或液體中放置，特別適於研究生物大分子結構。

最後我們談一下航天工程。首先，任何火箭和太空梭都要預先經受地面上大型空間模擬設備（實際上是真空、輻射和溫度的結合體）的考驗。在天體探測方面，人類已經用真空量具測定了月球表面的氣體種類和分壓強，還發現了「月球風」，看來今後人類到任何一個星球上去，這些都是必須

測定的常規項目。至於太空梭，其目的除了發射衛星、觀察天體（天空望遠鏡）以及適應某些軍事需要之外，建立太空實驗室（將來還可能發展為宇宙工廠）是極其重要的。美國花了 99 億美元開發費於一九八一年發射的第一架太空梭哥倫比亞號，重點就是提供足際空間的「超高真空+失重」條件。最早的實驗以「失重」為主，例如西德試做「十分圓的」滾珠軸承、日本試做「十分均勻的」銅釩超導合金，美國自己則試做用於太陽能電池的矽硒碲系非晶半導體。但是最近他們也設想利用空間的超高真空條件，如在人造衛星的低軌道空間張開一個直徑為 15 米的傘屏，可以在屏後「刮出」一個巨大的超高真空空間，其容積是地面上真空系統的幾千倍，可用作半導體的分子束外延。美國宇航局已同休斯頓大學合作建立了這樣的「空間商業開發中心」。一九八八年休斯頓大學的得克薩斯州超導研究中心又設想在屏上開一小孔，讓低軌道空間豐富的原子氧噴進來，以製備氧化物高溫超導體。

以下各節我們將討論真空科學中最重要的三個方面——真空電子器件、薄膜和表面科學，以及它們的發展前景。

真空電子器件

電子是一種帶負電荷的微小的物質粒子。它的荷質比很大，因而極易受電場和磁場的控制，這個特性加上自由電子的容易獲得，使（在真空或稀薄氣體中）產生和控制自由電子運動的電子管（或稱真空電子器件）成為人類前所未有的

一種工具。電子管的出現，導致了一門重要的技術科學——電子學，對生產技術的發展起了很大的推動作用，通訊、雷達、電視、X光機等，莫不以此為啓蒙，還產生了第一代電腦。它在國防和國民經濟方面的地位是不言而喻的。

電子束管在真空電子器件中屬於銷量最大、經濟效益最高的部門。特別是在圖像顯示方面，顯像管由於顯示單元信息（比特）的價格仍然最低，所以發展前景仍然看好。首先，顯像管廣泛用於廣播電視，是消費者電子學（consumer electronics）的中堅。當前顯像管發展的主要方向是高分辨率化和扁平化。預計各種尺寸的、分辨率超過 1024 電視線的高清晰電視（HDTV）將在國際上掀起又一次顯像管生產的高潮，因此各國競爭十分激烈。目前在統一標準的爭論方面集中於兩個問題：一是制式；二是是否要同現行的 550 線電視兼容（即現在的電視機也可接受 HDTV 的節目但清晰度降低）。在制式方面表面上有美、日之爭，但實際上日本已在試製對角線為 91 釐米且線數不受制式限制的 HDTV 顯像管，已經跳開這種爭論。他們認為不論最後確定何種制式，到二〇〇〇年日本將穩操勝券。美國在一九五三年 RCA 首先做出彩色顯像管，但四十年來所有的障地幾乎都已丟失，目前是最後的拚搏機會。對其他國家來說，如果在設計上沒有新招，且性能沒有比目前所知的 HDTV 顯像管好得多（不是好一點點）的話，那就沒有競爭的可能性。

至於扁平化，由於液晶技術這幾年迅速發展，特別是將電荷轉移材料摻入聚合物後可有效地消除串擾，大大提高了

液晶顯示器的對比度，使顯像管受到了很大的衝擊。一九八八年日本已製成對角線為 36 釐米的液晶電視板，目前正試製 100 釐米和 140 釐米的家用壁掛式大屏幕（但價格昂貴）。估計今後幾年對角線為 20 釐米以下的小型扁平彩色顯像管不會有很大的市場，而 30 釐米以上的扁平顯像管尚有回旋的餘地。這方面日本的線狀陰極扁平顯像管最受注意，它的對角線也達到 100 釐米，有效顯示面積為 87.5×49.2 平方釐米，像素數 1058×1044 ，已能達到 HDTV 的要求，而厚度僅為 10 釐米，預計還將進一步發展。

易於作為人機對話的多媒體雙向電視是今後幾年發展中重要的一環。它可以允許觀眾參與螢光幕上的娛樂節目、允許坐在家裡觀察商品並購貨（稱為「電視櫥窗」）、允許電視教育節目中教師和外地學生現場問答，還可以允許電視、電話、圖文紀錄和傳真一體化。此外，有線或無線的立體電視將試播。最大的可能是採用 4 至 8 管液晶投影電視的方式。日本已試製成功 100 釐米的立體電視機，但成本尚未降到合理的程度，因此無法預測是否能迅速在市場上推出。

顯像管不僅用於廣播電視，今後幾年可能更為重要的領域是在電腦方面。由於電腦的功能不斷擴展，它已經在很大的程度上改變了人們的生產與生活的面貌。而今後人們將逐步跨入所謂「信息時代」，電腦也將進一步發展以高運算速度、大容量和使用方便為特徵的巨型機和便攜機。就工作的方面而言，在日常生活中是 3A，即工廠自動化、辦公室自動化和家庭自動化；在軍事方面是 C³I，即決策、通訊、控

制和信息；在教育方面，則是 CAI，即電腦輔助訓練。所有這些方面，人們都要「使用電腦，面對顯像管」，因而彩色高分辨率顯像管在二〇〇〇年之前仍將是最普遍的終端顯示以及可用於人機對話的器件。筆記型（lap-top）電腦的出現，大量要求平板顯示，所以液晶顯示器得以大行其道，但另一種真空電子器件即交流等離子體監視屏近年來異軍突起。它現在已可做到顯示面積為 42.3×33.8 平方釐米，像素數為 1280×1024 ，厚度僅 3.8 釐米，動態速度和視角比液晶好得多，且閃爍噪聲為零。由於它達到 HDTV 的要求，所以除用於筆記型外，還可配合光碟存貯器用於文件和圖紙的顯示，特別是適合於野外軍械（飛機、坦克等）修理時和大建築火災時的圖紙檢索。

在電腦的輸入方面，手稿輸入和聲音—文字轉換器今後將是兩個重要的方面。我要特別強調，在漢字的手稿或聲音輸入得以成功之後，中國的文字將顯示出它固有的優越性而傲視於世界。理由很簡單：漢字不是符號，而是圖形（象形），因此它保有更大的信息量，這一點所有的信息論專家都會承認。過去唯一的困難是不易打字，因而寫文章、發電報都很慢，但如能用手稿或聲音輸入，則這些困難將一掃而空。手稿輸入可以用 CCD，但日前飛點管分辨率更高。飛點管是一種將畫面分解為單色像素，然後按時間順序將逐點光強信息送出去的掃描用電子束管，分辨率特高（15 釐米屏幕可做到 12000 掃描線），因此它可用於電腦的手稿輸入、光碟的圖紙存入系統，或直接作為特高分辨率的監視屏。

與顯像管配套的是攝像管，包含二者及其他電子裝備在內的「攝像系統」已廣泛用於工廠、車站、機場的監控和作業過程自動化，也是地鐵、銀行、超級市場、辦公樓以及機要部門等安全保衛的必要條件。高分辨率的攝像管用於廣播電視。按照不同的拾像材料，還可用於微光夜視、紅外線夜視、電視電話等。而軍事上尤為重要的是智能化武器的出現，例如靈巧炸彈（smart bomb）就是炸彈在飛行過程中不斷地把攝得的圖像與已有的照片相對照，迅速地逐步修正自己的坐標，完成「自動尋得」的過程。攝像管的發展方向是壽命長、重量輕，此外目前對紅色的敏感度還嫌欠缺，需要改進。它的固體器件對手是電荷耦合器件（CCD）。後來是一種半導體矩陣，以體積小、重量輕占優勢，但分辨率和對某些色彩的敏感度尚嫌不足。

飛點管是一種將畫面分解為像素，然後按時間順序將逐點光強信息傳送出去的掃描用電子束管。它同攝像管之間的區別在於屏面尺寸較大，長度沒有嚴格的要求，一般是單色的，而分辨率特高（15 釐米屏幕可做到 9000 掃描線）。因此它可用於電腦的手稿輸入，集成電路或生物樣品的解剖拾像，或直接作為高分辨率示波管用於核磁共振層析儀或掃描電子顯微鏡上光學或電子學的圖像輸出。從應用的角度看，飛點管的分辨率已足夠滿足現時的需要，但對顏色和光強的敏感性有時還不能滿足一些特殊的要求。雖然如此，目前還沒有任何固體器件能同它抗衡。

變像管是另一類直接作畫面轉換的寬束器件，它可將不

可見的射線如紅外線、紫外線、X 射線等構成的圖像轉換為可見圖像，在此過程中還能增強，因此廣泛用於軍事裝備及醫療儀器方面。在固體器件中，潛像板（latent image plate）有類似的功能，但它不是實時的，也不能給出活動的圖像，因此只能代替膠片而不能代替變像管。

還有一類電子束器件是用於瞬態波形記錄的存貯示波管和用於快速波形記錄的行波示波管。它們也沒有可供替代的固體器件。

在微波器件方面，大功率的或可調諧的速調管、磁控管、行波（返波）管等都仍牢固地占領著市場。電光源器件方面，節能光源以其效率高、工藝簡單、原料容易獲得、造價便宜，而使固體器件無法望其項背。特種光源如鹵鎢燈、鈉鈦鎢燈、無頻閃燈、線光源燈（汽車前燈）和氣體雷射管的應用前景正方興未艾。

在特種真空器件方面，還應當特別提到質譜計和離子阱（ion trap）。質譜計本來只用於氣體分析和檢漏，但現在已廣泛用於分子量測定、太空探測、藥物分析、呼吸系統疾病的監測等。特別是飛行時間質譜計，由於它能同時測定各種荷質比的離子，因此已成為探測核反應產物的有效工具。最近幾年它已向大分子量的方向發展，而且已有首例用於生物樣品的報導。如果要求極高的靈敏度，則可採用離子阱。這是一種特殊結構的電真空器件，一般用電極在空腔內產生旋轉四極場，在加以適當的射頻電壓之後，某一荷質比的離子將在空腔內作相對長期的振盪。也就是說，可以用時間作

為數量的積累，然後到一定的程度再來檢測。這種方法已廣泛使用於「色譜—質譜聯用裝置（色質譜儀）」，能探測極為微量的雜質。舉例來說，運動員的藥物檢驗是全球性的課題，國際奧林匹克委員會禁止運動員服用興奮劑（如苯異丙胺）、麻醉藥（如嗎啡、陪替丁）、利尿劑、 β 阻凝劑或促蛋白合成甾類化合物（如睪酮）；另一方面，運動員的尿樣只有 20—50 毫升，而檢驗時間不得大於 24 小時。換句話說，這類工作的樣品少、時間短，而要求儀器分辨率要高。只是在帶有離子阱的色質譜儀出現之後，這類工作才得到可靠的結果。除此以外，在環境保護方面，大氣中的有毒物質或放射性物質有時可能濃度不大，但其生物影響不能低估，因此也要求高靈敏的氣體分析儀。此外，美國還發現地下開採作業中液壓機用的四氯苯基甲苯（ugilec）有時會因漏泄而在魚體中發現。它的檢測也要用離子阱。凡此種種，都說明離子阱是十分重要的。

在大型真空器件方面，重離子加速器、正負電子對撞機、同步輻射裝置、自由電子雷射器等都是處於世界研究前沿的儀器。同步輻射的單色性好、亮度高、頻率可變等特點使它成為研究固體物理、生物學、高分子材料的利器。而自由電子雷射器目前被認為有可能是最好的防禦導彈的武器。

最近幾年，真空微電子器件的呼聲很高。因為它是一種真空和薄膜的結合體，因此這裡也簡單介紹一下。

真空微電子器件的研究，首先是由於軍事工業的需要。在未來的戰爭中，估計使用核武器的可能性不大，一則是因

為所謂「威懾平衡」的作用，另一方面則是某地區被核武器攻擊之後，即使是勝利者也不可能進入該區，因為有太多的放射性沾污。一種可能的辦法是使用強輻照：在一陣輻照過後，由於半導體內的雜質向缺陷集中，將導致全部集成電路失效，賴以工作的電腦就此癱瘓，而且這種損害是永久性的。用此法破壞對方的通訊系統和監控系統是十分有效的，因此目前各國都在考慮對策，其中之一就是不用矽或砷化鎵單晶製備的集成電路，而是用微電子工藝把真空電子器件盡量做得小，稱為「真空微電子器件」。真空電子器件先天就具有對溫度不靈敏、對輻射不靈敏的特點，而且比晶體管響應速度高（電子在真空中的運動速度大於在固體中的速度）。微型化後與過去的柵控電子管相比，則尺寸小、渡越時間小、壽命較長，無熱耗散，且能瞬時起動（用冷陰極時）。

根據很多專家的估計，能具有實用價值的第一批真空微電子器件可能為三端器件。但目前的問題是如何製備陰極以及用什麼方法作信號的收集、傳遞和放大。在陰極方面，人們重新使用一九六八年就提出的鉬針尖冷陰極陣列，但它的真空蒸發製備方法即使經過改進也仍然不能保證每個針尖都完美無缺，因此「落碼率」過大。工作方式也大多局限於平面孔的柵控作用，缺乏新意（只有個別實驗用於亞毫米返波管）。去年美國已經降低了這方面的研究經費，認為只有在新的設想指導下今後才能有突破性的進展。

另一方面，從定義來看，利用微電子工藝來製備某一部件的真空電子器件都可以叫做「真空微電子器件」，並不要

求整體尺寸微型化，因此早期的用調製電子束轟擊半導體的行波管放大器和矽靶攝像管都可以列入這一範疇。近年來我們曾經設想，用電子束轟擊用微電子工藝製備的複合雙穩材料靶作為可擦式存取存貯管（EAST），目前正試製中，預計存貯密度可與光碟相仿，在直徑為3釐米的玻殼中，可得到100兆位的信息容量；而且用偏轉電子束尋址，因而比光盤快速；同半導體存貯器相比則無需譯碼器。此外也有人設想利用掃描隧道顯微鏡（STM）的逆壓電效應驅動形式在真空中對某種存貯材料進行「寫入—讀出」，但這就不像一個器件而是一個儀器了。

薄膜

薄膜的定義是一個無限薄的氣固界面，但至少有一個單分子層。從實際工作來說，薄膜的厚度為100納米至1微米數量級。

薄膜既是材料科學的一大分支，又是真空科學的一大分支，因為大部分薄膜材料的製備要在真空中進行。真空保證了它不受污染或氧化，蒸發原子不與氣體分子直接碰撞，而且成膜過程易於檢測和控制。

薄膜的一些物理現象的應用始於光學，但其後大規模的發展則主要是由於研究固體電子器件集成化。在這個過程中，人們開始認識到不論有源或無源器件，真正參與工作的媒質只是很薄的一層，它只占整體的很小一部分，於是就設法逐步提高這種有效區域所占的百分比。從最初的小規模集成

電路到大規模（LSI）以至於超大規模（VLSI）集成電路，實質上就是經歷了有效區域愈來愈薄和愈來愈小的過程。可以毫不誇張地說，從發展趨勢來看，半導體、金屬、電介質和亞穩態薄膜勢將擔當電子器件的主角。集成度的繼續提高使它愈來愈薄，就產生了兩個不可避免的結果：第一，各種表面現象（包括微觀的電子態）所占的地位顯得愈益重要；第二，薄膜本身的結構和組分（包括薄膜形成的初始過程）以及兩種不同薄膜的接觸將對器件的性能起重要影響。這兩點實際上就是「表面和界面物理」的研究內容。而這一類的精確的實驗研究，又必須在超高真空的環境下進行，因為只有超高真空才能提供地球上前所未有的「清潔」條件。由於同樣的理由，具有新型結構和組分的薄膜製備也必須在超高真空中進行蒸發速度可控的澱積，這就是「分子束外延（MBE）」。

已經證明，在超高真空的 MBE 設備中可以成功地產生很多性能優良的電子材料，其中包括自然界從未有過的「超品格（superlattice）」。

薄膜一般分為三類，即機械膜、光學膜和信息膜。機械膜方面，人體上又可分為保護膜、高硬膜兩種。保護膜主要用於集成電路和太陽能電池；高硬膜主要作為刀具、軸承和易磨零件的外殼塗層，近年來最大的發展是金剛石薄膜和氮化鈦薄膜。金剛石薄膜的特點是透明度高（可見至紅外線）、絕緣性好（ 10^{12} 歐·釐米）、硬度高（8 度）。但就硬度而言，理論上預言氮化碳（ C_3N_4 ）可能會超過金剛石而為世界之最，不過現在還沒有人做出這種單晶。光學膜按其用

途的不同，可分為增透射、增反射、濾色等。

無數新建大廈的保溫玻璃就是一個例子。光集成器件和太陽能電池需要各種性能的薄膜，科學儀器需要合適的濾色器，而金色的氮化鈦敷於首飾的外表，不但色彩幾乎可以亂真，而且耐磨。

但是未來最重要的恐怕是信息膜。信息膜包括超導薄膜和各種亞穩態薄膜。高溫超導薄膜能在 77K 以上得到超導性，因此可使用液氮作為冷卻劑。用高溫超導薄膜製備的超導量子干涉器件（SQUID）可有效地測量微弱磁場，因而在醫學診斷和軍事方面有很大用處。超導體還可以用作弱磁信號的開關管、A/D 轉換器、共振腔、微波天線，以及亞毫米波的檢波及混頻等。正在研究中的以超導體為主動元件製成的電腦，預計將比半導體集成電路電腦的運算速度快 10 倍，而功耗只有後者的千分之一。為了製備超導體與半導體混合的集成電路，必須使高溫超導薄膜塗布在矽片上而不致產生互擴散干擾，於是就要研究一種阻擋層薄膜，這種膜可以是絕緣體，也可以是普通導體。

亞穩態薄膜是在外部環境變化下其本身物理或化學性能能迅速響應（產生永久性或非永久性效應）的薄膜材料，包括各種光伏薄膜（多晶矽、無定形矽）、傳感器薄膜（壓敏、熱敏、光敏、氣敏）和信息記錄薄膜（磁帶、磁碟、光碟、電存貯器、電子存貯器）。這方面的發展正方興未艾。特別是信息記錄用的各種薄膜，其重要性隨著電腦的巨型化而不斷增長。標誌著集成電路工藝水平的半導體存貯器每一芯

片的容量在工業生產上已能達到 64 兆位。但其價格現在還並不比 4 個 16 兆位的芯片便宜，因此是否投放市場尚在觀望之中。實驗室現在研製 256 兆位，估計二〇〇〇年可做出 1000 兆位。根據 IBM 公司的估計，在二〇〇〇年前市售的芯片主要為 4 兆位和 16 兆位。這種芯片的特點是存取速度快、可靠性高，缺點是用單晶和集成電路工藝，價格昂貴，且不耐輻射。磁帶和磁碟都用磁性薄膜材料，近年來採用垂直塗敷工藝後，存貯密度增高，再在表面加上潤滑保護膜後性能大為提高，但存貯密度不如光碟。光碟通常採用光磁型和相變型兩種薄膜，塗在平板圓盤上，在不同波長和能量的雷射輻照下產生反射率變化，以進行信息寫入和讀出。光碟的單位面積讀寫密度可以為通用磁碟的 100 倍。目前已從只讀存貯器、一次寫入存貯器、可擦寫存貯器進至第四代直接重寫（overwrite）存貯器。光磁型已商品化，直徑為 7.4 釐米的可錄音微型唱片（MD）已於最近投放市場；相變型尚在開發之中。另一種光碟材料為光致變色型，它在雷射照射下會作色彩的變化，而且可逆，所以也可作為新型的可錄音雷射唱片（CD），而目前的大多數 CD 只能放音（讀出）。光碟存貯器的信息容量很大，但缺點在於機械式驅動器，尋址時間較長，因此各國仍然在尋找廉價的、類似於半導體集成電路那樣直接使用電信號的存貯器，其中金屬有機絡合物薄膜有可能成為首選。因為它可以製作為每平方釐米 25 兆位的高密度電存貯器，耐輻射，且原料價格極為低廉。

表面科學

最近幾年，表面科學已經成為國際上非常「熱門」的學科之一。它涉及物理、化學、生物等各個方面，每年發表的文章數以千計。它的理論性很強，但又能解決非常實際的問題，因此全球為之矚目。可是它的歷史卻是很短的：嚴格說來，雖然很多原始設想在第二次世界大戰時即已開始，但直到七〇年代才蓬勃發展。這是因為只在這時工業技術才為表面科學提供了實驗研究的必要條件。這些條件是：第一，能有效地製備清潔表面（晶體與非晶體）；第二，超高真空技術的工業化；第三，微米與亞微米級電子束與離子束技術的發展；第四，弱信號探測用電子儀器性能的進一步提高；第五，在線電腦的廣泛使用等。利用這些條件實際上構成了一系列的所謂「表面譜儀」。這些譜儀可用於探測固體的表面成分、表面結構、表面電子態及其他元激發態，在近代物理儀器中已成為重要的組成部分。

任何固體都有表面，因此不論在生活中或工程技術上表面問題隨處可遇。不僅如此，很多常見的物理、化學過程如催化、腐蝕、摩擦和電子發射等都發生在表面。然而長期以來，人們一直認為材料的表面與內部是完全相同的，因此研究它的總體性質就可以知道它的表面性質。但實驗證明這種假設是錯誤的。表面科學的產生正是與這種假設決裂的結果。例如，很多合金的表面組分與體內是不一樣的，用術語來說，就是合金的某一組分在表面上可形成偏析（分凝）。含

鉻不鏽鋼的表面往往有鉻的偏析；一種耐磨合金的表面含鉻量可高達體內的 7 倍。鎳銅合金的表面則有銅的偏析。含 1.4% 銅的鐵合金，分析結果竟發現表面上大部分為銅，而在離表面 10 埃左右的深度銅含量即迅速下降到接近於零。某些化合物的表面組織也與體內不一樣。大家知道，矽之所以成為目前最普遍使用的半導體材料，其原因之一就是它面上生成的氧化物具有自保護作用。然而研究矽表面生成的氧化物時，發現它可以有分層的 SiO_2 ，還可以有替位。此外，有些晶體表面的原子結構與體內也不一樣。矽 (111) 晶體表面有一個方向的原子可為另一個方向的 2 倍 (2×1)，但不穩定，退火後則成為 (7×7) 結構，這兩者的電性能（如電阻率等）就很不一樣。隨著實驗技術的發展，越來越多地證明固體表面與內部存在著差異，因此表面問題必須專門進行研究。

表面研究還可以揭示一些現象的本質，例如表面吸附層與催化的關係，吸附層與逸出功的關係，原子的電子結構和能帶結構等。特別令人驚訝的是，表面原子不是靜止的而有一定的活動性這一點，不僅是一種解釋微觀過程的臆想，而且在工業生產上已產生了實際影響。目前一般集成電路的線寬為 3 微米左右（稱為「 3μ 器件」），雷達用微波場效應管的柵極寬為 0.7 微米左右。更高的集成度就要求更細的線寬。然而實驗證明，兩條金屬線之間的距離如為 0.1 微米（1000 個原子直徑）以內則十分困難，原因不在於刻蝕工藝是否能做到這樣細而在於金屬原子會徙動。這種徙動與原子

的種類、表面狀態以及所加的電壓與溫度都有關。了解這種現象的本質對發展集成電路來說自然是至關重要的。

表面科學的內容極為廣泛，包括表面的成分、結構、物理性質、化學性質、機械性質等。

用表面譜儀可以測定已知原子的芯能級束縛能，也可以從測得的芯能級束縛能或級間能量差作表面原子的鑑定（稱為「指紋鑑定」）。指紋鑑定在研究合金的偏析方面是最為有力的工具，目前特別在半導體器件的工藝檢驗方面收到了很大的效果。例如，用於檢驗清洗後的雜質沾附、外延後雜質分布的均勻性以及集成電路電連接（例如銅鉛的合金擴散）的失效性等。

在表面結構方面，進行的工作包括表面的原子結構、電子結構、中性粒子結構和離子結構，以及結構中缺陷的探知。所謂表面的原子結構，就是研究近表面的幾層原子排列符合什麼樣的週期性（原胞大小、對稱性、原子種類等），又稱為「表面結晶學」（surface crystallography）。在電子結構中則著重於清潔表面和吸附或摻雜後電子結構的變化，包括表面鍵的形成或破裂的動力學過程。除了表面結構以外，其他受到廣泛研究的表面物理性質有磁性、超導性、電子逸出功和相變。

表面的化學性質包括價態和各種基本過程（如擴散、吸附、脫附、鍵合、反應等），嚴格說來它與物理性質是不能區分的。在表面化學中，表面活化和鈍化是最受注意的一對矛盾。在表面活化方面，催化研究具有很大的理論和應用價

值。目前全世界的化學工業據估計有 80% 是用催化劑的，其中最著名的當然是合成氨和合成橡膠。近年來有很多人致力於用 CO 和 H₂ 直接合成乙二醇，如果這能成爲現實，則「的確涼」的成本將極爲低廉，而且無需用石油氣作爲原料。問題是在於：雖然一七八一年即發現催化現象，一八九七年就開始研究催化理論，但催化劑的製備和處理迄今還屬於「廚房菜譜」的階段，即配料缺乏理論的依據。舉例來說，用鉑作爲催化劑的反應很多，但人們迄今還不能解釋爲什麼鉑的清潔解理面並無催化作用，而僅在鉑表面吸附氧後才有。當然，催化是一個非常複雜的過程。多相催化首先要求了解氣體反應如何在表面上進行，譬如說，吸附是成鍵的還是非成鍵的？吸附原子在催化劑表面上的位置和距離是怎樣的？有沒有共吸附現象？這些都是需要回答的。此外，已知的金屬催化劑中，很多是貴金屬或稀有金屬，如何利用廉價而有效的代用品也是值得研究的課題。

涉及表面活化的另一個重要領域是電化學，包括電極表面性質和過程、電催化、光助（photon-assisted）表面反應、電解質、膜和電化學傳感器等。在電池方面鋰電池和鎳鎘電池很受重視。過渡金屬絡合物的電化學性質受到注意。微型半導體場效應管作爲 PH 傳感器已用於醫學。

表面鈍化指的是表面的化學穩定性和結構穩定性。其中最實際的問題是腐蝕及其防止。據估計，全世界每年耗費於修補、替換因腐蝕而損失的材料達 70 億美元。當然，在空氣中放置的金屬，其腐蝕原因首推氧化，但用離子蝕刻後的

金屬（例如銀）為何放一、二十年都不會氧化？在真空中經過反覆烘烤的不鏽鋼為什麼也會生鏽？在高溫合金的抗氧化方面，鉻、鎳、銅各起什麼作用？怎樣可使鉑在電化學過程中不被氧化？氫、氧、硫和水蒸汽對離子合金、離子基合金和陶瓷的腐蝕是如何進行的？怎樣防止？這些都是尚未解決的表面化學問題。表面鈍化還包括離子與表面及近表面淺層的互作用，包括濺射、離子塗覆、等離子體蝕刻等基本過程，它們在現代大規模集成電路的製備方面起著特別重要的作用。

表面機械性質的研究，包括硬化和脆性、摩擦和黏著，以及環境對表面的影響。近年來輻射損傷和輻射處理的一些現象特別引人注目。在損傷方面的研究包括電荷交換、光子發射和濺射產額。在輻射處理方面，已發現經過中子注入的金屬能大大改善其硬度，而經過離子注入的金屬可降低摩擦係數和伸長率。在表面處理方面，真空塗覆和化學蒸汽塗覆（CVD）各有千秋。在敷膜的生長、結構、性能、牢度等方面都涉及一系列的表面過程。

以上所說的是表面科學的一般研究內容。下面我們還可以解剖一個特殊問題來看看表面科學的應用。

能源的產生、轉換和貯藏是一個全世界關心的問題。目前有關新能源的工作可分為下列三個方面：

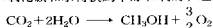
(1) 可控熱核反應

關鍵是要尋找一個有效的可控熱核反應的裝置。而在這個裝置中，超高真空的保持和等離子體高溫的維持首先取決

於粒子與真空室內表面的相互作用，如濺射、解附、氧和碳的分解等。

(2) 礦物燃料的能量轉換

包括煤的分解（碳氫化合物、醇類或甲烷）、煤的液化（加氫、裂化、液化）和直接氣化（甲烷、合成氣體），以及二氧化碳和水轉換為甲醇和氧的「理想反應」：



所有這些反應都決定於表面催化研究的成效。

(3) 太陽能

這是研究新能源方面最為活躍的領域。其中較有希望的是太陽電池。矽單晶目前尚嫌太貴，因此多晶矽和無定形矽的研究蓬勃發展；CdS/CuS 和導體—絕緣體—半導體疊層（CIS）也有研究。紅外線吸收材料方面以銻黑和銲黑最有希望。此外還有用光化學方法企圖讓太陽光照射催化劑表面而使水分解為氫和氧，正試驗中的這種材料有 TiO_2 、 SrTiO_3 和 n 型的 $\text{Cd}(\text{S}, \text{Se}, \text{Te})$ 等，它們的效率在很大程度上依賴於表面狀態。當然，順便也要解決固體貯氫材料（如 LaNi_5 等）的問題，而氫在晶體表面的狀態決定了它隨後在晶格中的擴散。由此可見，新能源的研究極其需要表面科學的支持，是不言而喻的。

從實驗研究的觀點看來，研究表面的儀器首先要求測得的是表面信息。常用的光譜分析或化學分析只能給出平均信息，X 光螢光分析只能給出體內信息，所以都不是表面儀器。目前各種表面譜儀的基本結構都是利用能量不太大的探

測粒子（電子、離子、中性粒子或光子）轟擊表面而測量其產物。這些產物也可以是電子、離子、中性粒子或光子中的一種或幾種。

除了不同種類外，還有速度、方向、能量區域等不同參數，所以，迄今為止已報導過幾十種方法，其中最常用的為俄歇電子譜（AES）、X射線光電子譜（XPS）、二次離子質譜（SIMS）、低能電子衍射（LEED）和掃描隧道顯微鏡（STM）。特別要指出的是，借助於離子濺射技術，薄膜可分解為很多個「表面」而被分析，由此得到的信息可被電腦採集和處理。過去三十年來，表面儀器的探測極限已從每立方釐米 10^{20} 個原子發展為 10^{13} 個原子。所得的元素像其空間分辨率已分別達到 <1 納米（STM），100 納米（SAM），1 微米（SIMS），100 微米（XPS）。這種現代薄膜分析技術已在基礎研究、材料科學和微電子器件工藝等方面獲得極為廣泛的應用。

「服務科學」的驕傲

以上的一些方面還只是真空科學無數應用中的吉光片羽，並不能保證見一斑而知全豹。但就其重要性而言，我還可舉出八〇年代以來屬於真空科學範疇的 4 個諾貝爾獎：

(1) 一九八一年授予西格班（K. M. Siegbahn），由於 XPS。

(2) 一九八六年授予魯斯卡（E. Ruska），由於電子光學的基礎工作和第一臺電子顯微鏡，以及賓尼格（G. Bin-

nig) 和魯勒 (H. Rohrer)，由於 STM。

(3) 一九八六年授予李遠哲 (Y. T. Lee)，由於用分子束研究化學基本過程的動力學。

(4) 一九八九年授予保羅 (W. Paul)，由於離子阱技術。

它們都同真空、薄膜、表面研究中的一種或幾種有關。因此有人把真空科學稱之為一種「服務科學」，這對真空工作者來說未始不是一種驕傲，因為科學的任務就是認識世界和改造世界，就是服務於人類社會。試看最近二十年來電腦的飛速發展，其主要標誌就在於廣泛的服務。一九七九年還沒有工作站、局域網，也沒有像 MIPS (每秒百萬條指令) 那樣的計量單位，但現在它們已普遍到這種程度，以致斯坦福大學的一位教授認為多數實驗室工作人員面對螢光屏的時間現已遠遠超過他們面對儀器的時間，這不能不說是電腦在服務方面的勝利，但也有人引以為憂，因此這削弱了人們對儀器抽樣檢驗的構思和訓練。無論如何，同其他科學一樣，真空科學的發展有它自己的規律，是不以人們的意志為轉移的；另一方面，「社會一旦有技術上的需求，則這種需求就會比十所大學更能把科學推向前進」，這句名言看來是歷久猶新。

原书空白页

超微粒子

它比一個原子大，但比 1 粒花粉小；化學家嫌它太大，生物學家認為正好，它是大部分生物樣品的尺寸。

它比 1 個原子大，但比 1 粒花粉小。從工程的標準來看它太小，而化學家嫌它太大，生物學家倒是認為正好，因為這是大部分生物樣品的尺寸。它的名字叫做超微粒子。

超微粒子 (ultra-fine particles, UFP) 的定義是線度為 1~100 納米的粒子。它比普通的細粉粒小，而比幾十個原子構成的原子團 (cluster) 大。在這種尺度下，可以認為它們是固體與原子之間的一種過渡。在物理方面，原子被認為是相對獨立的粒子，而固體則是相互有聯繫的原子集團，這兩方面都已被研究得很多。超微粒子剛好處於二者之間，再由於過去製備和研究的方法未臻成熟，因此有很多現象和特性尚未被揭示出來；但就已經知道的一些實驗結果看來，它有著既不同於單個原子又不同於固體的特殊之點。有時它就被叫作「準固體 (quasi-solid) 」或「介觀粒子 (mesoscopic particles) 」。

我們也可以這樣來看：固體一般是三維的；層狀材料由於其縱向聯繫比橫向聯繫小得多，所以可認為是二維材料（其層與層之間的第三維作用可以忽略）。如果只有一個方向

的作用較強，則稱為鏈狀材料，或一維材料。對於超微粒子來說，因為只有尺寸相對地較小的原子團，它對外界的聯繫可以認為是很微弱的，因此可稱為「零維材料」。與其他材料的特性當然會有若干不同。

就一般的想像或推理來看，以超微粒子構成的超微粉應當首先在催化劑和磁記錄材料方面大有用武之地。前者是因為比表面很大，後者是因為磁疇很小，所以超微粉有明顯的優越性。實際上超微粒鉑黑已能在室溫下使乙烯產生氧化反應，而使用一般的鉑黑需要 600℃；另一方面，超微粒鐵鎳鈷合金有很高的矯頑力，用以製備磁碟或磁帶可比普通（直徑約 30 納米）的粒子得到更高的記錄密度和信噪比。

然而，超微粉還有著更為令人驚訝的特點。例如用分辨率為 0.2 納米的透射電子顯微鏡，在壓強 $< 10^{-6}$ 帕下觀察，發現直徑約 2 納米的金粒其形狀是不固定的，它們會逐步改變晶體結構，成為所謂「準固態（quasi-solid state）」，此時熔點顯著降低。例如直徑為 2 納米超微粒子構成的金，熔點只有 330℃；銀只有 100℃。實驗還證明用管子噴吹超微粉到一固體基板上去，如果氣體速度足夠大（ ≥ 100 米/秒），則可以在溫度小於 350℃ 時就得到極均勻的塗布。已經試驗成功的有金、銀、銅、銀鐵、鋁鋅和氮化鈦—鎳等微粒子材料。利用鈾的微粒子還可以做出能忍受彎曲而不產生裂紋的反射膜。鐵的微粒子如加上 1 納米的氧化層就可在空氣中極其穩定，不怕風吹雨打。

除此之外，還有許多新的特性和應用領域正在不斷開發

之中，不久可能會形成一個新的材料分支。用超微粉燒結的陶瓷特別緻密而且具有高强度和高韌性。有些用氟化鈣和氧化鈦超微粉燒成的陶瓷在 $80\sim 180^{\circ}\text{C}$ 範圍內可以彎曲。用超微粉做的薄膜，微波和光的反射率隨粒度而顯著降低，因而有可能成為「隱形飛機」的塗層等等。此外，由於超微粒子的直徑差不多等於電子在固體中的平均自由程長，因此預計它具有特殊的導電性質和光電性質。還發現 10 納米以下的粒子極不容易電離或加上電荷，即它們具有維持電中性的強烈傾向。

現在超微粒子的製造已經試過很多種方法。用物理方法的有：

- (1) 有惰性氣體中加熱蒸發。
- (2) 濺射。
- (3) 在真空中蒸發的金屬原子同有機溶劑分子一起在基板上冷卻。
- (4) 流動油上金屬真空蒸發。

用化學方法的有：

- (1) 膠體法。使用高分子界面活性劑製備覆蓋高分子材料的貴金屬超微粒子。
- (2) 有機金屬化合物熱分解，如 $\text{Fe}_2(\text{CO})_9$ 、 $\text{Co}_2(\text{CO})_8$ 等。
- (3) 金屬鹵化物在氫氣流中還原。
- (4) 氧化物或含水氧化物在氫氣流中還原。

通常收集製備好的超微粉以後，用氣體噴吹法塗布在玻璃、石英或陶瓷基板上成爲薄膜。這種薄膜上的粒子甚至可以極有規則。

特殊形狀的超微粒子還有特殊的用途，如鎖狀超微粒子（直徑 ≤ 30 納米，長爲直徑的 2~100 倍）可做分子篩、電磁波吸收體和磁記錄材料。

然而，研究超微粒子最重要的一點，但也許尚未爲人所深知的一點，是因爲它的尺度正處於微觀世界至宏觀世界的躍遷範圍，而這正是多數生物活動發生著的範圍。實驗中已經可以看到大細胞（macrophages J-774）吞食多種超微粒子（如 TiO_2 ， SiO_2 ， ZnS 等）的圖像。奇怪的是它們還有避免吞食鐵、鎳、銅的傾向，而如果它們誤食了這些金屬超微粒子，就會很快死亡。問題是：它們何以知道這些東西不能吃，又何以有本領辨別這些東西？至今這還是一個謎。不過這也許提示著又一個新的科學天地正等待著人們去開闢。你以爲如何？