

超導體之淺論

篇名：
超導體之淺論

作者：
陳思宇。市立高雄女中。一年一班

指導老師：
徐德耀老師

壹●前言

工業革命後，人們過於重視物質生活以及享受的本性更變本加厲地展露，石油的開採和使用量隨著生活品質一併提升，而在產品、電能出廠的同時，二氧化碳亦隨著溢出至空氣，使得原本由呼吸、發酵、光合等作用在自然界來回的碳元素因近代工廠大量排放二氧化碳而失去平衡。為溫室氣體的二氧化碳在大氣中的量迅速增長，進而引發了溫室效應，其效應引發的現象確確實實地威脅著各種生物的生存。(註一)(註二)

為解決這些危機，各國無不費盡心思，雖然已訂下京都議定書，二氧化碳排放量確實減緩，但對生態仍有著一定的摧殘。想對受威脅的生態伸出援手最直接的方法不外乎是「節能減碳」。

近些年來，科學家致力於各研究，包括發展新能源，例如太陽能電池、燃料電池、生質能，另一方面也有部分科學家在超導體方面研發。現今的導線在運電過程中實難以避免電阻，而有許多電力因而化為無用的熱能散失在空氣中浪費了。因此，我認為深入研發超導體亦為達到節能減碳救地球的方法。

本篇共含兩大部份，分別為超導體之介紹、超導體之應用。

貳●正文

一、超導體之簡介

1、超導體之定義

某導體在溫度低於臨界溫度（Critical Temperature）時，其電阻會為零，且會產生反磁性之特性。(註三)(註七)

2、超導體之發展史

A、超導體以及其特性之發現

1911 年，荷蘭科學家昂內斯在實驗室中研究金屬在極低溫下的物理性質。他們發現金屬之電阻會隨著溫度一同下降，甚至測得有某些種類之金屬的電阻完全消失，例如：水銀（Hg）。他們發現水銀在 4.2K 以上時仍有著電阻，但溫度一低於 4.2K 其電阻驟然降至零。昂內斯等人將在 4.2K 以下，已改變物理性質的水銀稱為「超導體」，並將改變性質的溫度稱為「臨界溫度」。(註三)

1933 年，邁斯納和奧克森菲爾德發現：若將導體置在磁場中降溫，則當其呈現超導性的同時，其超導體會將原磁場的磁力線排出，使磁力線無法通過其本身，這種現象稱為反磁性。(註四)

B、超導體之後續發展

整理表格如下：

年代(西元)	發展
1973	發現超導合金(鈮鎳合金)，其臨界溫度為 23.2K
1986	於 IBM 公司的研究中心報導一種具 35K 的高溫超導性的鐳鋇銅氧化物。
1986	美國貝爾實驗室研究的超導體臨界溫度達到 40K，同時打破了液氫的「溫度壁壘」(40K)。
1987	吳茂昆與朱經武兩位教授發現臨界溫度高出 90 K 的超導體釷鋇銅氧化合物 ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$)，首度將臨界溫度提高至液態氮溫度 (77 K) 以上。
	法國的 Michel 等人發現鉍鋇銅氧化合物 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+x}$)，雖然其臨界溫度僅有 20K 左右，但之後 Maeda 等人將鈣加入此化合物後，卻得到臨界溫度高達 110 K 的超導化合物 ($\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$)。
	Sheng 和 Hermann 發現臨界溫度為 125 K 的鉍鋇鈣銅氧化合物 ($\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+y}$)。
1993	Putilin 等人發現臨界溫度為 94 K 的含汞超導體 $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+d}$ ，之後 Schilling 等人發現將鈣加入含汞超導材料中，所形成的 $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+d}$ 超導體，其臨界溫度高達 135 K，是當時臨界溫度最高的超導材料。朱經武教授領導的德州高溫超導研究中心，發現將 $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+d}$ 加壓至 150 kbar，可將臨界溫度提升至 153 K，此溫度已經高於一般常用的冷凍劑 CF_4 的沸點 (145 K)。
2001	二硼化鎂(MgB_2)被發現，其超導臨界溫度達到 39K。此化合物的發現打破了非銅氧化物超導體(non-cuprate superconductor)的臨界溫度紀錄。

(註四)(註五)(註六)(註七)

3、超導體之特性及其原理

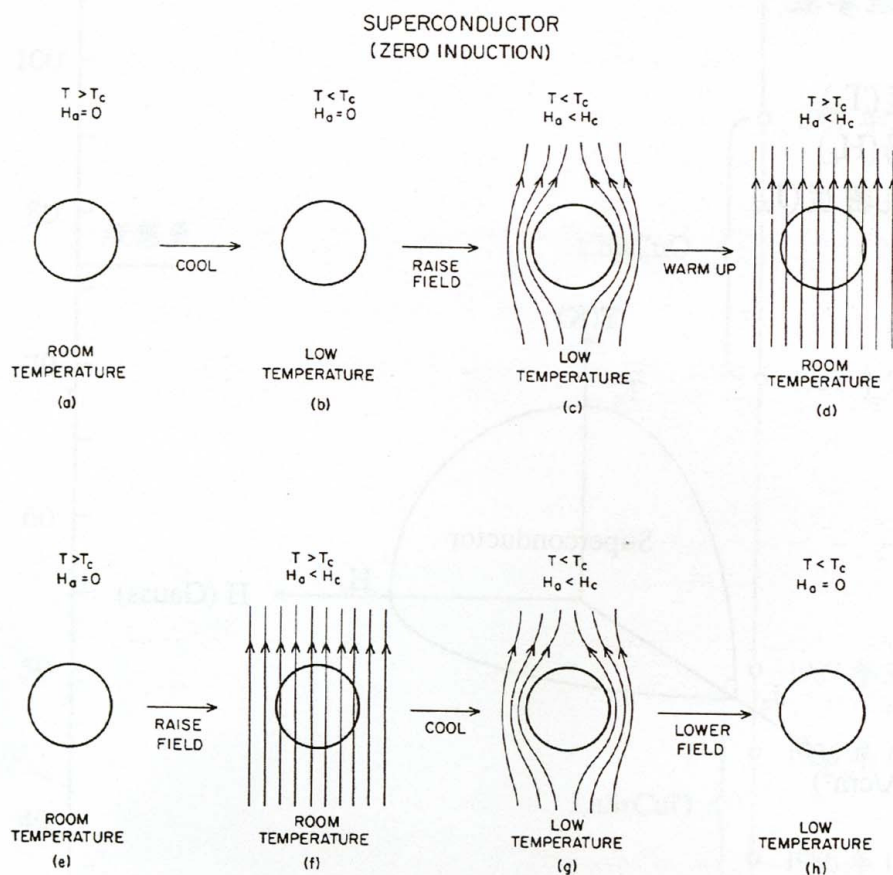
A、零電阻 (Zero Resistance)

零電阻即謂毫無電阻，超導體在臨界溫度以上會仍呈現一般導體或半導體的特性，一旦低於臨界溫度便會成超導特性，電子在導體中運動均不會受晶格影響，此種現象便稱為零電阻。(註三)

原理可由 BCS 理論解釋。「金屬中自旋和動量相反的電子可配對形成所謂的「庫珀對」，庫珀對在晶格當中可以無損耗的運動，形成超導電流。」(註八)

B、反磁性 (Diamagnetism)

超導體在臨界溫度以上時外部磁場的磁力線可從中穿越，使其內部產生一磁場。但當溫度降至臨界溫度以下時，超導體會將原自身內的磁力線排出，呈零磁場狀態，此種現象即反磁性。(如圖一)



《圖一》

(資料來源：超導物理。)

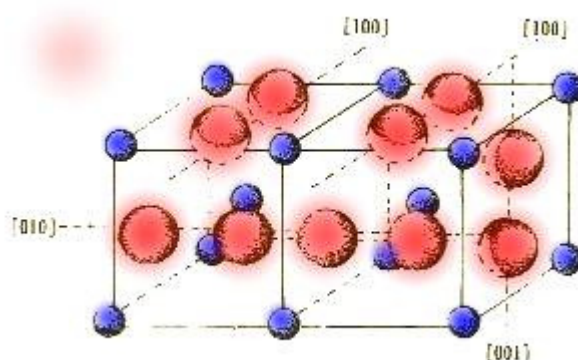
<http://general.chemistry.pu.edu.tw/superconductor3/newpage7.htm>

4、超導體之結構

據臨界溫度之不同，超導體可以被分為低溫超導體以及高溫超導體。

A、低溫超導體

低溫超導體，顧名思義便是臨界溫度較低，其以合金居多，例如 Hg、Nb₃Sn、Nb-Al-Ge 等。其中臨界溫度最高的 Nb₃Ge。(見圖二)



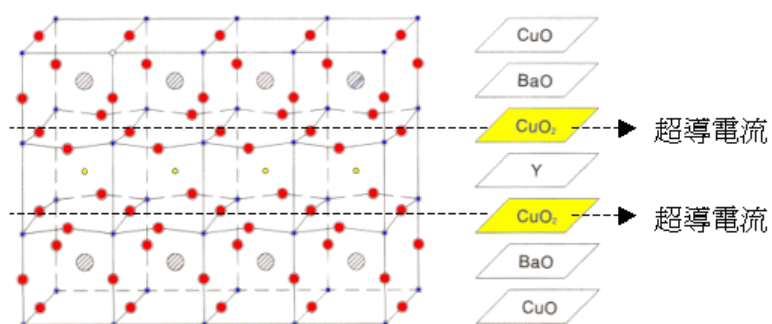
《圖二》

(資料來源：奇妙的超導世界。)

<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/lecture/superconductor/superconductor.htm>

B、高溫超導體

高溫超導體之臨界溫度較高，其以氧化物居多，例如 Bi₂Ca₂Sr₂Cu₃O_{10+x}、Tl₂Ba₂Ca₂Cu₃O_{10+y} 等。現今臨界溫度最高的超導體為 HgBa₂Ca₂Cu₃O_{8+d}。圖三為 YBa₂Cu₃O₇ 之結構示意圖，在高溫超導體中，電流是從圖三所標出的銅氧平面流經，此種運動方式較趨於平面，與低溫超導體的立體運動範圍較不同。



《圖三》

(資料來源：奇妙的超導世界。)

<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/lecture/superconductor/superconductor.htm>)

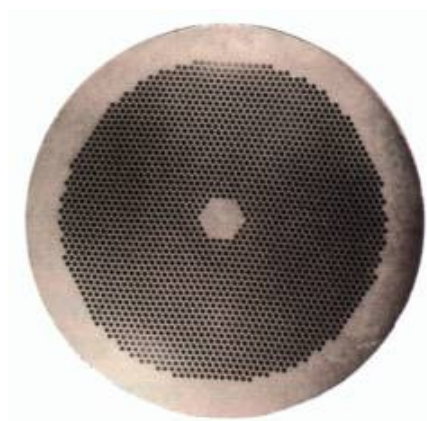
二、超導體之應用

超導體的兩大特性——零電阻及反磁性均具深厚的發展潛力。以下為目前已利用、較具代表性之例子。

1、零電阻之應用

A、超導導線

零電阻的特性能使運輸電力的效率發揮至百分之百，不像現今使用的銅導線一般有著難以避免的電阻。但其成本不斐，因此尚未廣泛使用。(如圖四)(註三)



《圖四》

(資料來源：奇妙的超導世界。)

<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/lecture/superconductor/superconductor.htm>)

B、超導發電機

即由超導線圈所組成的電磁鐵，其電流密度以及磁場均比一般磁鐵強，因此發功效率高。假若作為太空計畫之能量供應源可增加載量，極具發展潛力。(如圖五)(註三)



《圖五》

(資料來源：奇妙的超導世界。

<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/lecture/superconductor/superconductor.htm>)

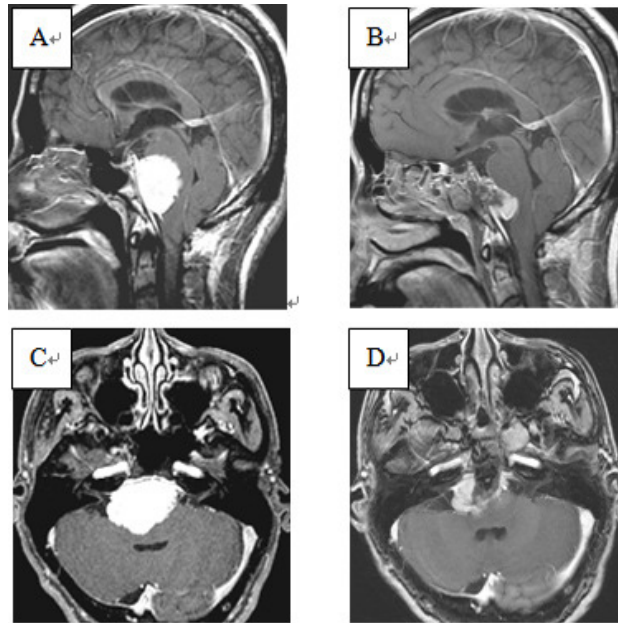
C、核磁共振斷層掃描儀

核磁共振斷層掃描儀利用核磁共振之原理，觀察體內某一種原子核的變化分布(主要是氫原子)，將結果顯像為人體斷層掃描圖，用以觀察身體中病變之狀況。引起原子的核磁共振現象需要磁場，又掃描結果的清晰與否與磁場強弱成正比，因此，超導磁鐵成了最佳選擇。具超導磁鐵的核磁共振斷層掃描儀，因而可得到具高解析度的人體斷層掃描圖。(如圖六、圖七)(註三)



《圖六》

(資料來源：中華醫學影像網。<http://www.120ct.com/bbs/read.php?tid=446>)



《圖七》

（資料來源：經鼻內視鏡腦下垂體手術。

<http://homepage.vghtpe.gov.tw/~hcqa/Excellency/E-27.htm>）

D、超導體計算機

高速電腦要求積體電路晶片上的元件和連接線密集排列，但密集排列的電路在工作時會發生大量的熱，而散熱是超大型積體電路面臨的難題。超導體計算機中的超大型積體電路，其元件間的互連線用接近零電阻和超微發熱的超導器件來製作，不存在散熱問題，同時電腦的運算速度大大提高。此外，科學家正研究用半導體和超導體來製造電晶體，甚至完全用超導體來製作電晶體。（註四）

E、超導船

使電解海水而產生之電流與船底的磁場作用，因將電流和磁場垂直，進而產生電磁力可將海水平推動，船身在平反作用力向前行。

藉由電解海水產生的電流，和船體下方垂直於其電流方向之磁場作用後，可對海水產生水平推進的電磁力，而船身便可藉推動海水的反作用力前進。推動海水的動力所需之強大磁場係由超導磁鐵提供。此種實驗船已於日本有頗為成功之測試。（如圖八）（註三）



《圖八》

(資料來源：飛揚軍事。

<http://www.fyjs.cn/bbs/read.php?tid=154186>)

2、反磁性之應用

A、磁浮列車

當超導體被置於某永久磁鐵上方時，由於其具反磁性，磁力線無法通過超導體內部，超導體會和磁鐵產生排斥力，使其浮於磁鐵上方。由於無接觸，摩擦力亦一同消失。這種效應可應用於製造磁浮列車，使其在安靜、快速的狀態下運作。且超導磁浮列車較一般電磁鐵磁浮列車安全，因其反磁性可與鐵軌保持約 10 公分的差距，但後者僅約 1 公分，當有地震發生時前者確實較為安全。(註三)(註四)

參●結論

在這溫室效應日趨嚴重、污染有增無減的地球上，不少覺醒的人們呼籲著節能減碳救地球的口號，但在開發新能源的同時，節能亦是我們可留心之處。自發電廠送到各個家中的電力在漫漫長路中有多少因電纜線的電阻轉成了熱能？

一個無意間發現的超導體，居然碰出了這麼多火花，照亮的不僅僅是物理界，人們的交通和醫學界亦沾到了無限光芒。超導體除了零電阻這特性以外，亦有反磁性，善加利用這兩大特性便足以使許多方面的科學都可邁進一大步，例如磁浮列車、核磁共振等。假若講到超導體只能想到它的零電阻、只計劃將其利用於導線實在是太狹隘了。

然而，現今發展超導體所遇的瓶頸便是溫度，若欲使導體保持在超導體狀態的同時也必須保持其低溫，為此，其成本一直居高不下。研發出能在室溫下運作的超

導體亦是我們應深入探討的。

肆●引註資料

註一、徐遐生。全球暖化與能源危機。科學人（之特別企劃）。第 82 期（2008 年 12 月）。頁 7-10。

註二、談駿嵩。持續關注火力發電排放的二氧化碳。科學人（之特別企劃）。第 82 期（2008 年 12 月）。頁 44-45。

註三、奇妙的超導體世界。

<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/lecture/superconductor/superconductor.htm>
（檢索日期 2009/01/28）

註四、朱經武教授與高溫超導。

http://www.hkedcity.net/iclub_files/a/1/38/webpage/Features/superconduct.htm
（檢索日期 2009/01/28）

註五、超導材料－維基百科。

http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E8%B6%85%E5%AF%BC%E4%BD%93&variant=zh-tw#_ref-0
（檢索日期 2009/01/29）

註六、高溫超導體之簡介。

<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/lecture1/superconductor.htm>
（檢索日期 2009/01/29）

註七、何秉隆。「新奇超導體(Mg_{1-x}Al_x)B₂的超導性研究」。國立中山大學物理研究所碩士論文。民 91。頁 1-7。

註八、BCS 理論－維基百科。

<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=BCS%E7%90%86%E8%AE%BA&variant=zh-tw>
（檢索日期 2009/02/01）