

## 「超導體應用與產業前景研討會」記要

交通大學物理所  
林俊源、劉俐君、林沛宏整理  
E-mail: [ago@cc.nctu.edu.tw](mailto:ago@cc.nctu.edu.tw)

在 2002 年八月舉行的「分子與氧化物超導體」(MOS2002)期間,主辦單位為了強化對超導體應用性的討論,特別於八月十四日晚上加開了一場「超導體應用與產業前景研討會」。研討會由成功大學陳引幹教授與交通大學莊振益教授主持,共有五位講員,並有近百位學者、專家與學生與會。

研究會首先由 UC Berkeley 的 Clark 教授介紹超導量子干涉儀(SQUID)應用的現況與未來前景。低溫 SQUID 主要是由 Nb 薄膜以類似半導體製程的光蝕刻技術製成的。現在商業的 SQUID 元件成長於四寸矽晶圓上,封裝後每個元件售價約 1000 美元,相對的,高溫超導材料製成的 SQUID 目前限於單層的結構,其約瑟芬結(Josephson junction)由 bicrystal boundary 形成,商業化成品還不普遍。目前高溫超導 SQUID 在高頻時的雜訊比 Nb SQUID 高約三四倍,但在低頻時表現就差很多,相當程度的限制了高溫超導 SQUID 在精確測量方面的應用。

目前最成功的商業化低溫 SQUID 應該是 Quantum Design 所出產的磁化率測量儀,售價約高於十五萬美金。另一個相當成功但不太為物理界所知道的系統,是地質學上測量土壤蕊心中磁性物質的儀器,可提供諸如過去地球磁場變遷的歷史,售

價約為十五到二十萬美金。也許 SQUID 最有商業前景的應用是在醫學方面。目前已有包含三百個 SQUID 元件的腦波測試儀器,估計商業化後,每套售價約為二百到三百萬美元。因為使用 SQUID 不需要強磁場,且不需接觸腦部即可偵測細微的腦部活動,故甚至可以用來檢查胎兒腦部活動的正常與否。更大的商業市場也許是 SQUID 心電圖,在這一方面因為心臟生理電流的訊號比較強,所以高溫超導 SQUID 在這一方面的應用,也是可以期待的。由於 SQUID 的靈敏度,對於在比地磁低的磁場下進行 NMR 測量的研究也在發展中。

目前可能只有一套高溫超導 SQUID 系統成功的商業化,即是掃描式 SQUID 顯微鏡。目前已有的一些這樣的系統售與美國的數家半導體大廠,用以檢測元件成品的缺陷。此系統如果能發展成功,對台灣蓬勃發展的半導體產業將有助益。另外高溫超導 SQUID 也被提議用於檢驗機身與機輪的缺陷與金屬疲勞,將有助於飛安的大幅改善。高溫超導 SQUID 也已開始用於地底礦源的探測,結果似乎相當成功。此外, SQUID 亦可與生物科技結合,利用在特定抗體貼上磁性標籤的技術,醫生在數分鐘之內,就可以知道病人血液中的病源,不必等到數天之後的驗血報告。

台灣大學的楊鴻昌教授則報告了台灣有關 SQUID 研究的現況與應用前景。部分內容請參閱本期楊教授的精采專文。

日本 Tohoku University 的 Yamashita 教授也報告了約瑟芬連接結 (Stuck Junctions) 的應用, 主要是利用鉍系銅氧化物 (BSCCO) 單晶的天然的層狀二維結構, 使用聚焦離子束, 製成大小約為  $1\ \mu\text{m}$  的元件, 其中有許多串連的約瑟芬結。此類元件可用來做為 Tera Hz 電波的光源。目前已經可以用 250 個連接結, 形成十萬個串連的約瑟芬結, 用於作為 Tera Hz 的波源或電壓精確測量的標準 (voltage standard)。

也來自日本 National Institute for Materials Science 的 Kumakura 教授報告了鉍系銅氧化合物超導線與超導帶的進展, 這是所謂超導大尺度方面的應用, Kumakura 教授首先簡介了超導線與超導帶的製程, 目前表現比較好的材料是 Bi-2223, 在 77 K 時低磁場下臨界電流密度  $J_c$  能達到  $70000\ \text{A}/\text{cm}^2$ , 雖然還不足以做為真正的商業應用, 但住友電工已經利用這個材料做成 1.5 km 長的超導帶, 在 77K 時可以承載超過 100 A 的電流, 另外在 National Institute for Materials Science 也以 Bi-2212 做成 2 km 長的超導線。目前已經有超過 100 m 長接近商業成品的 Bi-2223 三相超導電纜。此外大型變電器的原型也已可在 77 K 下操作, 與傳統變電器相比, 其體積僅約三分之一, 且不含任何絕緣油, 可避免變電器運作時所產生的空氣污染。Toshiba 公司也以超導電線發展出 0.4 T 高溫超導磁鐵, 用於矽磊晶成長的製程。由於高溫超導體在低溫時臨界磁場較傳統超導為高, 目前已研發出高溫

超導與低溫超導共組的磁鐵, 磁場可以達到 23.4 T, 將來可望將此高磁場用於 NMR 中以提高精確度。日本正持續發展高溫超體大尺度的應用, 目前技術上的困難包括: (一) 承載電流仍不夠大, (二) 高 AC 損耗, (三) 機械特性脆弱, 最大的問題是 (四) 成本太高。聽眾中有人指出成本太高的原因之一是因為在超導線中摻雜銀的關係, 如果能夠用較便宜的金屬取代銀, 即可大幅度降低成本。Kumakura 教授也補充, 如果能提高超導臨界電流密度  $J_c$  也可以降低實質成本, 並對此技術改善的空間感到樂觀。

來自於澳洲 Wollongong University 的 Professor Dou 則報告了用新材料  $\text{MgB}_2$  製造超導線的突破性進展。 $\text{MgB}_2$  雖然是  $T_c$  最高的金屬超導體, 但是其  $J_c$  在磁場中衰減甚快, 造成應用上的困難。先前想增加  $\text{MgB}_2$  中磁通釘紮能力, 以提高  $J_c$  的努力, 均導致  $T_c$  的大幅下降。但是最近發現在摻雜 SiC 之後,  $\text{MgB}_2$  中的  $J_c$  可大幅提高, 且能維持超導線的高  $T_c$ 。在 20 K, 5 T 時,  $J_c$  仍可維持大於  $10000\ \text{A}/\text{cm}^2$ 。預計商業化後, 在電流承載成本方面 (per kA m), 銅約為 10-20 美金, 在 20-30 K 時,  $\text{MgB}_2$  成本為 1-2 美金。此外  $\text{MgB}_2$  電導線亦具備低成本與低重量密度的優點。

整個研討會歷時約二小時, 在熱烈討論中興猶未盡的結束。

附註: 由於實際執行上有困難, 本紀要內容並未交給原演講者進行確認。文責由林俊源負責。研討會全部過程已製成 VCD。有興趣者可來函索取。