

早期高溫超導體發現的歷史考察

◎ 劉 兵

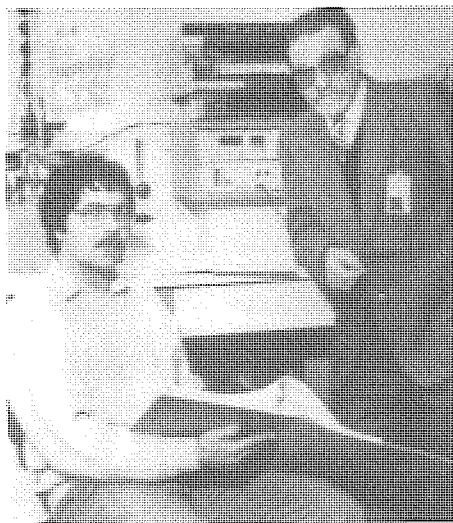
超導研究領域在1986–1987年間出現的重要突破，帶來了科學史上罕見的激烈競爭。至今，許多當事人和記者對這段歷史已發表了不少著述，但說法不一致之處頗多，而前幾年科學史家撰寫的這段歷史，限於當時可得的材料，現在看來也不夠詳盡和全面^①。基於現有的資料，以及筆者近來對參與當時工作的中、日、美科學家所作的訪談，本文將首先回顧有關歷史背景，然後對從1986年突破出現到1987年初液氮溫區超導體最初發現的歷史重新進行梳理，並在最後對此段競爭中出現的若干問題進行簡要的討論。

一 背景與突破的開端

幾十年來，阻礙超導電性得以廣泛應用的最大障礙之一，就是已知超導體的臨界轉變溫度(T_c)太低。雖經眾多科學家在此方向的多年努力，但自從1973年在銱三鎳中發現23K的臨界轉變溫度之後，這一紀錄一直保持了13年之久。如此低的溫度，通常要用代價昂貴的液氮手段才能獲得，而對液氮溫區(77K以上)超導體的發現，則似乎成了一個難以實現的夢想，超導研究曾因此而處於低潮。但到了1986年，轉機終於出現。

在國際商業機器公司(IBM)蘇黎世研究實驗室工作的瑞士科學家繆勒(K.A. Müller)，可以說是超導研究領域中的一位「新手」。直到1978年他去IBM在美國的一家研究實驗室作休假研究時，才接觸到超導問題，並對氧化物超導

*本工作得到了美國「美中學術交流委員會」(Committee on Scholarly Communication with China)的資助，使筆者得以在美國作為期半年的相關訪問研究，期間完成了本文的大部分工作，本工作亦得到了美國物理學會下屬的物理學史中心(Center for History of Physics, AIP)的部分資助。本文寫作得到了Lawrence Badash教授的指導和王作躍博士的幫助。趙忠賢教授、田中昭二教授、北沢宏一教授和朱經武教授在百忙中接受了筆者的訪談，另有一位不知名的新加坡朋友熱心寄贈了有關資料，作者在此特致謝意。



貝德諾茲(左)與
繆勒(右)

體的研究產生了興趣。1964年，人們發現了一個新的氧化物超導體，即鋇鈦氧化物時， T_c 只有0.3K。1975年由斯萊特(A.W. Sleight)等人發現的 T_c 為14K的鋇鉛鈾氧化物超導體，雖然吸引了若干科學家的注意力，但一時也未再有更驚人的進展。1983年夏，繆勒邀請並說服了在同一實驗室工作的貝德諾茲(J.G. Bednorz)一起進行研究，雖然對更年輕些的貝德諾茲來說，高溫超導體的探索是不易有成果因而頗具「風險」的，但他還是在完成其他主要工作之外的業餘時間與繆勒一道從事這項工作。

繆勒和貝德諾茲最初的設想是，在某些具有可導致畸變的所謂Jahn-Teller效應的氧化物中進行尋找。在兩年多的時間裏，他們先研究了銅鎳氧化物系統，但沒有成功。1985年，在讀到了法國科學家米歇爾(C. Michel)等人對鋇銅氧化物的研究後，他們又將注意力轉向了這種含銅的氧化物^②。1986年1月，他們在自己製備的鋇銅氧樣品中，利用電阻測量觀察到了30K左右的起始轉變溫度^③。這絕對是一個令人興奮但又有些難以置信的結果。但為了保險起見，經驗豐富的繆勒還是堅持繼續重複實驗，直到4月中旬，他們才將論文投到《物理學雜誌》。雜誌社於4月17日收到論文，該文後來被謹慎地題為〈鋇銅氧系統中可能的高 T_c 超導電性〉發表^④。由於要進一步確認他們發現的是超導電性，除電阻測量之外，尚需測量其樣品的邁斯納效應，但當時他們手頭甚至沒有可用的儀器。訂購的儀器終於在8月份到貨^⑤，貝德諾茲和繆勒迅速調試好儀器，進一步的磁測量果然支持了他們原來的結論，當報導新結果的第二篇論文寄到《歐洲物理快報》時，已是10月22日了^⑥。

在超導史上，曾多次有人宣稱發現了高溫超導體，但均以結果無法為他人重複或被證偽而告終。由此，科學家對發現高溫超導體的報導總是持懷疑的態度。很自然地，與對待重大科研發現的常規作法不同，貝德諾茲和繆勒除了發表論文外，沒有再以任何其他的方式來公布這項劃時代的成果。當然，據一份文獻所載，在等待測量邁斯納效應的儀器到達之前的這段時間中，他們曾幾次向為數不多的人介紹其工作，但聽眾的反應「充其量只是不冷不熱」而已^⑦。他們的第一篇文章直到9月份才正式發表(而他們第二篇關於磁測量的論文的問世已是1987年的事了)，因此，在經過了半年之後，廣大的物理學界才有可能了解其工作。

按照貝德諾茲和繆勒原來的估計，別人對他們的工作的證實和接受恐怕至少要用2-3年的時間^⑧。此時，貝德諾茲和繆勒在超導物理學界並不是知名人物，而替他們發表論文的雜誌也算不上是發表超導研究工作的最權威刊物，再加上歷史上的教訓，大多數超導物理學家或是並未留意到其工作，或是持懷疑態度。但是，在日本、美國和中國，畢竟有少數科學家敏銳地迅速抓住了這一

難得的訊息，正是由於他們的證實和進一步研究，使得事態後來發展的速度遠遠地超出了貝德諾茲和繆勒原初的預期。

二 反應

在日本，反應迅速而且富於戲劇性。9月份，日本電子技術實驗室的科學家就獲得了消息，而且試圖重複貝德諾茲和繆勒的實驗，但沒有成功^⑧。10月4日，在一次由文部省組織的關於超導材料的會議上，日本大學的關沢和子將貝德諾茲和繆勒文章的事告訴了同在參加會議的東京大學的北沢宏一，但後者並未相信這是真的，隨後只是隨便地將此事告訴了同事而已。直到11月初，他的研究助理高木英典建議將重複貝德諾茲和繆勒的工作作為本科生畢業論文的課題，北沢宏一雖然同意，但他卻忘記了論文的出處，經過查尋後，他建議用更簡單的方法來合成材料^⑩。實驗從11月6日開始，出人意料的是，僅僅在11月13日，北沢宏一就接到了高木英典的電話，得知本科生金沢尚一已成功地用磁測量證實了貝德諾茲和繆勒的結果。此後，東京大學的研究工作才迅速全面展開。而金沢尚一也被人們比作灰姑娘而稱為「灰小子」^⑪。這是國際上第一次對貝德諾茲和繆勒的工作的獨立證實。11月19日，該研究小組的負責人田中昭二在日本舉行的一次只有日本人參加的會議上，首次簡要地報告了他們的工作，由此迅速地引發了日本對高溫超導體研究的熱潮^⑫。他們首篇報導對銀銅氧高溫超導體（其樣品起始轉變溫度約為30K）的邁斯納效應測量的論文，於11月22日為日本的《日本應用物理雜誌》收到^⑬。11月28日的《朝日新聞》對此也作了報導，因而將這一消息傳向了世界。在此之前，東京大學工業化學系的另一個研究小組致力於新材料的研究，該小組的岸尾光二等人於12月18日發現了鋇銅氧和鈣銅氧的超導電性，雖然後者的轉變溫度只有18K，但鋇銅氧卻達到了37K的起始轉變溫度和33K的零電阻溫度。他們還以笛木和雄教授的名義在12月23日遞交了專利申請，這也是世界上



田中昭二(中)、北沢宏一(右)與本文作者(左)1994年攝於美國加州 Oxnard。

第一份關於高溫超導材料的專利申請^⑭。有關的論文於11月22日也寄交到日本的《化學快報》^⑮。

在美國，是休斯頓大學的朱經武領先一步。11月6日，朱經武才首次讀到了貝德諾茲和繆勒的論文。他立即召集了手下的研究人員，宣布停下一切工作，馬上開始對銀銅氧超導體的研究^⑯。在一次訪談中，他說當時之所以有這樣的決定，並沒有甚麼物理上的具體理由作支持：「我們當時一直在做銀鉛鉍氧化物，我們一直覺得在氧化物裏搞超導是很有希望的，所以我們一看到他們的文章就絕對相信，雖然當時那些報導的結果量的還不是那麼仔細。」^⑰他們的工作準備進展迅速，兩三天內就開始了實驗。到11月下旬，休斯頓小組得到了肯定的結果。在11月25日，他們甚至在銀銅氧樣品中觀察到了73K的超導轉變，雖然這結果並不穩定，在第二天就消失而無法再現了，但這一迹象無疑增強了他們的信心，成了繼續探索的新動力。

12月初，材料研究學會的秋季年會(簡稱MRS會議)在美國的波士頓召開，其中的超導討論會是在4-5日舉行，碰巧北沢宏一和朱經武都參加了這次會議。據北沢宏一的回憶，或許是由於《朝日新聞》的報導，當時關於日本研究高溫超導體的傳言不脛而走^⑱。所以當他剛到達波士頓時，便有人向他詢問日本方面的工作情況，他回答是：「是的」，「非常有趣」。為此，他打電話給田中昭二，問是否可以在會上講此新材料，但因為當時日本尚未確定新超導體的確切組分，田中堅持不要講。因此，12月4日，北沢宏一只是在報告中按原計劃講了關於銀鉛鉍氧化物超導體的工作。隨後，朱經武亦是報告有關氧化物超導體的工作，但在發言的最後，他簡要地提到了休斯頓小組近來電阻測量的結果支持了貝德諾茲和繆勒的工作。這一消息的宣布當即引起了與會者的興趣和疑問。在此情況下，北沢宏一也終於按捺不住，在對朱經武報告的提問和評論時，上前宣布了日本科學家自10月以來對新超導體所做的電阻和磁測量的結果。因為有了日本對邁斯納效應的測量結果，使得這一證實更為令人信服。於是北沢宏一被要求並安排在5日專門就日本的工作再作一報告。但此時他卻仍未得到田中的許可。適逢在日本時間4日的中午，日本方面最終確定了新超導體的組分，並在電阻測量中得到了零電阻溫度為23K的新結果，於是在預定的報告時間之前，通過頻繁的電話聯繫，田中終於同意讓北沢宏一報告^⑲。在5日的會議上，北沢宏一全面地介紹了日本的工作。

利用高壓力來研究超導也是朱經武的長項。12日，朱經武向權威刊物《物理評論快報》寄出了關於在高壓下的銀銅氧中發現起始臨界轉變溫度為40K的論文^⑳。在MRS會議上，朱經武還找到了以前的學生，阿拉巴馬大學的吳茂昆，邀請他一起工作。12月14日，吳茂昆小組通過替換成分，在銀銅氧中發現了39K的超導轉變。到12月的第三周，朱經武領導的休斯頓小組在高壓下又將銀銅氧的起始臨界轉變溫度提高到52.5K，並再次觀察到70K超導的迹象^㉑。關於這一新結果的論文於12月30日寄到了《科學》雜誌^㉒。與此同時，貝爾實驗室的卡瓦(R.J. Cava)等人也進展迅速地在銀銅氧中發現了36K的超導轉變，並在29日將論文寄到了《物理評論快報》^㉓。雖然朱經武等人第一篇論文到達《物理評論快報》的時間比卡瓦等人早兩個星期，但由於被要求修改的拖

延，結果兩篇論文同時發表在1月份的雜誌上^②，但這也讓他們有機會能夠在1月6日添加的附註中提到了對70K超導迹象的觀察，和吳茂昆小組對鋇銅氧超導性的發現。12月30日，在休斯頓的新聞發布會上，朱經武總結了前段的工作，也簡要提到了對70K迹象的觀察^③。12月31日，美國的《紐約時報》首次報導了休斯頓大學和貝爾實驗室在高溫超導研究方面的最新進展，包括70K的可能^④。

中國方面的工作相對慢了一些，但也很快地跟了上來。根據中國科學院物理研究所的趙忠賢的回憶，他在9月底見到貝德諾茲和繆勒的文章，10月中旬開始和陳立泉等合作研究，到12月下旬，也已在鋇銅氧中實現了起始溫度為48.6K的超導轉變，並在鋇銅氧中看到了70K的超導迹象，但這迹象也是在熱循環之後消失而無法重複。由於他們全力試圖重複70K的超導^⑤，所以直到1987年1月17日，他們有關鋇銅氧46.3K和鋇銅氧48.6K起始超導轉變的研究論文才送交到《科學通報》^⑥。但早在12月27日，《人民日報》就報導了發現70K超導體的消息^⑦。

三 躍上液氮溫區

在上面提到的工作中，除了貝德諾茲和繆勒的第一篇論文之外，其他工作的成果都是在1987年1月及以後才正式發表，但由於會議上的宣布和新聞媒介的報導，發現高溫超導體的消息早已傳遍世界。眾多科學家都投身到這個研究領域中，並向着更高的目標，即做出液氮溫區超導體而奮鬥。競爭已趨於白熱化。

此時，朱經武小組的工作仍處於領先地位。他們通過前段的高壓研究，認識到應替換其他的元素以及試做單晶，但一時還沒有成功。於是，朱經武認為：「我們看看舊的日期，好早就已經看到有70K的迹象，而且70K迹象產生時往往在多相的樣品中……所以我們決定找一個方法做一個樣品，使得它經過熱處理之後裏面有一個不同成分的分布。如果我們運氣好就可以看到高溫。所以就特別做了一個樣品，還是一個銅鋇銅氧的樣品，然後我們就看到了高溫。這一個我記得很清楚，是元月12日。」^⑧只是在第二天再測量時，結果又完全消失了。雖然如此，朱經武在12日當天還是正式提交了一份關於許多氧化物，包括鈣鋇銅氧在內的超導專利申請，儘管此時其中許多物質還並未成功地做成穩定的超導體。



朱經武

作為朱經武的合作者，阿拉巴馬大學的吳茂昆等人也在忙於新材料的研究。1月17日，吳茂昆手下的研究生阿斯伯恩(J. Ashburn)在一份家庭作業的背

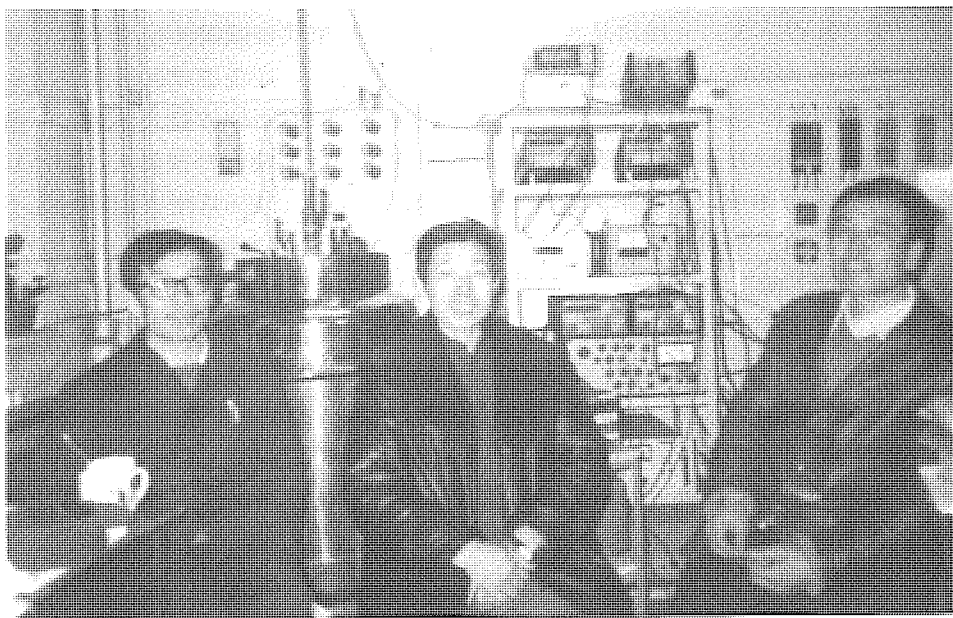
面草草地做了一項計算，在作了若干不同元素對晶格結構和臨界溫度的影響的假定後，他的計算預言鈹銀銅氧將是最佳的超導體候選者。但當時他們手頭沒有現成的鈹，於是吳茂昆便去其他部門借了一些來。1月28日鈹銀銅氧樣品按計算的比例被合成^①。1月28日下午，測量開始，在新合成的鈹銀銅氧樣品中，居然發現了起始轉變溫度達90K左右的超導電性（不過人們後來認識到這樣超導體的組分與原初的計算預言並不一致）。吳茂昆立即通過電話將這一消息告訴了在休斯頓的朱經武。當天晚上，阿斯伯恩又合成了更多的材料，其測量結果更加理想。1月30日，吳茂昆和阿斯伯恩帶着他們的樣品飛抵休斯頓，以使用那裏更精密的設備來重複檢驗這一結果^②。在休斯頓，這一結果果然被證實，又經改變製備條件的進一步努力，2月5日，朱經武便將兩篇有關的研究論文寄往《物理評論快報》，分別報導了在常壓和高壓下鈹銀銅氧的高溫超導電性^③。這就是人們對液氮溫區超導體的首次發現！

2月16日，在休斯頓舉行的新聞發布會上，朱經武宣布發現了液氮溫區超導體的重要消息，但沒有公布新超導體的成分，並解釋說，細節要到3月2日《物理評論快報》上的文章正式發表時才能公開^④。但出乎朱經武預料的是，休斯頓大學理學院院長溫斯坦(R. Weinstein)未經他同意就將這一秘密洩露給當地的報紙記者。當天的《休斯頓紀事報》，很快的披露了新超導體的成分^⑤。但是，這份地方報紙上的報導並未引起物理學家的注意。

就在幾乎同一時間，在2月18-19日於日本伊東市舉行的一次討論氧化物超導體的會議上，鹿見島誠一宣布說，他在東京大學的同事水上忍領導的小組已發現了一種臨界溫度高達80K的新超導體^⑥。但這種超導體的成分並未公布。實際上，這就是他們獨立於朱經武等人發現的在液氮溫區之上的鈹銀銅氧超導體。他們的論文於2月23日寄到了《日本應用物理》雜誌，並於4月份才發表^⑦。總的來說，除了北沢宏一在MRS會議上的宣布之外，日本科學家的工作大多是在日本國內宣布的，而且其論文又正式發表得較晚，這在一定程度上影響了外界對日本工作的了解。

在中國方面，由於1986年12月底在銀鏷銅氧中發現了70K的超導迹象，主要集中在精力於重複這一結果，但由於工作條件差，拖延了一些時間^⑧。大約到1987年1月下旬，趙忠賢等人開始在多相材料中尋找超導，並且替換其他成分。他們在與國內外同行的交流中也曾就這些想法交換了意見。當組裏有人從「美國之音」聽到朱經武在2月16日（美國時間）新聞發布會上宣布發現90K超導體的消息時，趙忠賢等人反而覺得壓力減輕了，因為這證明他們正在做的工作是有道理的。終於，2月19日，他們在鈹銀銅氧中發現了起始溫度高於100K，中點溫度為92.8K的超導轉變。這一次，他們在第二天就迅速將論文寫成並寄出，還辦理申請專利。《科學通報》於2月21日收到論文^⑨，但專利申請沒有成功，因國外已申請在先了。跟着，在2月24日中國科學家召開新聞發布會，公布了趙忠賢等人的成果和新超導體的成分。2月25日的《人民日報》頭版刊登了這一消息，並報導了在液氮溫區的超導體成分^⑩。

大約與此同時，刊有朱經武等人論文的3月2日號的《物理評論快報》提前在2月25日送到美國東海岸的許多實驗室。2月26日下午，朱經武在美國西海岸的



趙忠賢(右)、陳立泉(中)、楊乾聲(左)，攝於1987年2月20日凌晨二時，在最終確證銀鈣銅氧超導電性實驗後。

加州大學聖巴巴拉分校也宣布了新超導體的成分^④。美國貝爾通訊實驗室的化學家特拉斯康(J-M. Tarascon)在聽到《人民日報》的消息後，想起自己早在1月3日就曾製備了5塊鈣鉕銅氧樣品而從未對之做超導測試，此時，只經幾個小時的測試，便發現其中竟有兩塊是超導的！有關的論文被趕在2月27日(周五，美國的周末)前送往《物理評論快報》編輯部，雖然信使沒能在下午5點關門前趕至，但他還是設法吸引了一位遲走的工作人員的注意，終於在論文中蓋上了2月27日收到的印迹，從而創下論文送交速度的一項新紀錄^④。

當然，在第一種液氮溫區超導體發現的激勵下，更多科學家隨後又陸續發現了許多其他的液氮溫區超導體，超導臨界轉變溫度不斷得到提高，對高溫超導體的基礎研究和應用研究也不斷深入，但限於篇幅，這就不在本文的討論範圍之內了。

四 競爭中的幾個問題

在前述的這段時間中，世界範圍內探索高溫超導體激烈的競爭程度，是科學史中罕見的。這不僅因為在意識上有對諾貝爾獎之類榮譽的競爭，更由於這項研究有潛在的巨大商業價值，競爭名次和優先權的時間標度，甚至是以小時來計算的。在這場爭奪戰中，各種大眾媒介亦成了重要的傳播手段。同時，在此特殊時期的科研競爭中，也出現了一些較有爭議、值得科學社會學家研究並且在科學史的敘述中無法迴避的問題。這裏，擇其重要者作簡要討論如下。

首先是兩個在《科學》雜誌上都曾討論過的問題：一是涉及朱經武在遞交論文中對符號的使用^⑤，另一涉及公眾在榮譽上對工作參與者的承認^⑥。

當鈣鉕銅氧液氮溫區超導體剛剛被發現時，朱經武馬上就與《物理評論快報》編輯部聯繫協商。為了防止洩密，他先是提出是否可不經評審而發表，在

這一要求被否定後，又提出是否可在論文中用星號來代替關鍵的化學信息，到排字前再補上正確的公式，這一要求又被再次否定了。最後達成的協議是，由作者和編輯共同認可（而不是像通常那樣對作者保密）的兩位評審人來評審。當然，朱經武堅持在論文正式發表前，論文中的信息絕不能對外洩露^⑤。2月5日論文由秘書打印後，用快遞分別寄給編輯部和評審人，於6日便寄到收件人手中。四天之內，兩篇論文通過了評審並付排。除了再由朱經武保留一份之外，組中的其他人都沒有看到論文。不過，這兩篇論文中數十處代表元素鉕的符號 Y 卻被打印成了元素鐳的符號 Yb，表示組分的數字系數 1 也被打印成 4。但不出幾日，信息果然被洩露，關於鐳的傳言四處傳播。關於打印錯誤是怎樣被發現的，說法頗有不同，但共同的是，直到2月18日論文付印前，朱經武才打電話給編輯部，說文章有打字錯誤並作了更正。

有關此事，可分幾方面來討論。首先，這是否真是一打字錯誤？按一位聲稱曾採訪過阿斯伯恩的作者的說法，據吳茂昆的學生阿斯伯恩的回憶，朱經武、吳茂昆和朱的幾位學生確曾討論過為防止洩密而在論文中採用「打字錯誤」的事^⑥。當筆者向朱經武問及此事時，他的回答是：「我現在還是不想作評論。因為不管你怎麼講，人家都不相信你，人家想別的。我想以後大家會慢慢清楚的。」^⑦其次，這一消息到底是怎樣洩露出去的？當論文在周四（2月4日）寄出後，周末傳言就已傳到歐洲！黑曾(R.M. Hazen)在其書中詳細地分析了各種洩密的可能性，並分析在各個環節中至少有25人可能讀到論文：此外還有更多其他偶然洩密的可能，如編輯部的計算機登錄系統防範不嚴密而讓他人有可能通過計算機聯網而得知論文題目等等。但事情的真相至今仍是一個難以確證的謎。第三，如果「打字錯誤」是有意設計的，那麼這種做法從科研倫理規範上應如何評價？從常規上說，有意做假當然不對，但事實是信息確實被洩露了，不管這是偶然的失誤還是有意的設計，符號 Yb 確實保護了朱經武的利益。這可以說是向科學社會學家提出了一個兩難的問題。正如一位IBM的研究人員所說的：「坦率地講，如果我是朱經武的話，在發表之前我甚至不會將化合物寫入論文。人就是人，像這樣的結果必定是要洩露出去的。」^⑧有趣的是，與此相反，在《休斯頓記事報》上洩露的真實成分倒沒有被廣泛傳播。再則，雖然那些聽信傳言而轉向研究鐳的人會心懷不滿，除了浪費時間，純鐳氧化物的價格也不菲，但日後人們卻發現，鐳銀銅氧竟然也是液氮溫區超導體，只是當時人們（包括朱經武）沒有成功而已。

在筆者對北沢宏一作訪談時，他提到在《人民日報》上讀到趙忠賢等中國科學家發現液氮溫區超導體的成分是鐳銀銅氧，這一消息使得許多日本的研究者都去做鐳銀銅氧^⑨。為此，筆者專門查閱了當時載有這一報導的《人民日報》國內版和海外版，發現所印內容中講的成分係鉕銀銅氧，而非鐳銀銅氧。故北沢宏一的這種說法和解釋是不對的。本文前面提到的美國科學家根據《人民日報》的報導做成鉕銀銅氧超導體的事例也證明了這一點。

如前所述，最初的液氮溫區超導體是由朱經武的合作者、阿拉巴馬大學吳茂昆小組製出的，但傳媒和公眾輿論卻把榮譽的光環集中地罩在朱經武身上。後來，對於吳茂昆小組工作的獨立性和朱經武在其中的作用等，又出現了不同

的說法。也有人為吳茂昆打抱不平^⑩。但事實上朱經武本人的做法並無不當之處。在發表的關於常壓下鉍銀銅氧超導電性的論文中，他將吳茂昆小組的人員署名在休斯頓小組的人員之前，而自己則名列最後。至於公共輿論的問題，則可視為是科學社會學中「馬太效應」的一個典型案例。其實，在這場競爭中，類似的問題不僅於此。在日本東京大學的研究中，最初製備鉍銅氧超導體和以電阻法測出23K超導轉變的，分別是兩位本科生，但在發表的文章中卻沒有他們的署名。筆者就此問及北沢宏一時，他說：「只因為他們是本科生，如果他們是研究生的話，我們就會將他們署名了。」

朱經武的合作者之一、曾參與超導體結構測定的黑曾在回憶這場競爭的書中，針對中國幾次獲得成果和宣布成果的時間都是緊跟在朱經武之後，暗示有人將秘密消息傳到中國。他特意提到在2月16日休斯頓的新聞發布會上一位姓杜的中國外交官也有出席，並認為他可能會注意到《休斯頓紀事報》上的報導。黑曾在書中還提到，有證據表明在休斯頓大學物理系中有工業間諜存在。在訪談中，朱經武則沒有談及這個問題，事實上他對共事者的誠實從未表示懷疑。

最後，貝德諾茲和繆勒因其重要發現而在一年後便獲得了1987年度的諾貝爾物理學獎。按照一種說法，其他人未能獲獎的原因是他們的發現均在1987年1月31日的提名截止日期之後才宣布^⑪。無論如何，評獎委員會的這種抉擇畢竟免除了眾多可能的爭議。當然，對於未來高溫超導體的研究者們來說，諾貝爾獎的大門仍敞開着。

註釋

① 如P.F. Dahl: *Superconductivity: Its Historical Roots and Development from Mercury to the Ceramic Oxides* (AIP, 1992), pp. 294–303. 又如劉兵、章立源著：《超導物理學發展簡史》(陝西科學技術出版社，1988)，頁127–33。

② 貝德諾茲(J.G. Bednorz)、米勒(K.A. Müller)：〈鈣鈦礦型氧化物——實現高溫超導的新途徑〉(諾貝爾物理學獎演講，1987)，高學賢譯：《自然科學年鑒(1987)》(上海翻譯出版公司，1990)，頁4.1–4.17。

③ 按照黑曾(R.M. Hazen)的說法，得此確切結果的日期為1986年1月27日(由於各地時差及日期的不同，本文中日期均指事件發生地的日期)。Cf. R.M. Hazen: *Superconductors: The Breakthrough* (Unwin, 1988), p. xxvii.

④ J.G. Bednorz and K.A. Müller: "Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System", *Z. Phys.*, 64B (1987), pp. 189–93.

⑤ ⑦ ⑳ ㉔ ㉖ B. Schechter: *The Path of No Resistance: The Revolution in Superconductivity* (Simon and Schuster, 1989), pp. 83; 83; 92–93; 98; 98.

⑥ J.G. Bednorz, et al: "Susceptibility Measurement Support High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System", *Europhys. Lett.* (1987), pp. 379–82.

⑧ K.A. Müller and J.G. Bednorz: "The Discovery of a Class of High-Temperature Superconductors", *Science*, 237 (1987), pp. 1133–39.

⑨⑩⑪ 1994年1月5日筆者對北沢宏一的訪談。

- ⑩⑭ K. Kitazawa: "The First 5 Years of the High Temperature Superconductivity: Cultural Differences between the US and Japan", in W.D. Kingery and Elsevier eds.: *Japanese/American Technological Innovation* (1991), pp. 119–27.
- ① Interview with Koichi Kitazawa: *Supercurrents* (March, 1989), pp. 13–29.
- ⑫⑲ 1994年1月4日筆者對田中昭二的訪談。
- ⑬ S. Uchida et al: "High T_c Superconductivity of La–Ba–Cu Oxides", *Japanese Journal of Applied Physics*, 26 (1987), L1–L2.
- ⑮ K. Kishio, et al: "New High Temperature Superconducting Oxides, $(La_{1-x}Sr_x)_aCuO_{4-\delta}$ and $(La_{1-x}Ca_x)_2CuO_{4-\delta}$ ", *Chemistry Letters* (1987), pp. 429–32.
- ⑯⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗ R. Hazen: *Superconductors: The Breakthrough*, pp. 19–23; 43–44; 45; 70; 73; 73; 256.
- ⑰㉘㉙ 1994年3月15日筆者對朱經武的電話訪談。
- ㉚ C.W. Chu et al: "Evidence for Superconductivity above 40K in the La–Ba–Cu–O Compound System", *Phys. Rev. Lett.*, 58 (1987), pp. 405–407.
- ㉛ C.W. Chu, et al: "Superconductivity at 52.5K in the Lanthanum-Barium-Copper-Oxide System", *Science*, 235 (1987), pp. 567–69.
- ㉜ R.J. Cava et al: "Bulk Superconductivity at 36K in $La_{1-\delta}Sr_{\delta}CuO_4$ ", *Phys. Rev. Lett.*, 58 (1987), pp. 408–10.
- ㉝ 這是據黑曾的說法，參註③書。
- ㉞ W. Sullivan: "2 Groups Report a Breakthrough in Field of Electrical Conductivity", *New York Times*, Dec. 31, 1986.
- ㉟ 1994年5月19日筆者對趙忠賢的訪談。
- ㊱ 趙忠賢等：〈Sr(Ba)–La–Cu氧化物的最高臨界溫度超導電性〉，《科學通報》，32 (1987)，頁177–79。
- ㊲ 張繼民等：〈我發現迄今世界轉變溫度最高超導體〉，《人民日報》，1986年12月26日。
- ㊳④⑤ R. Pool: "Superconductor Credits Bypass Alabama", *Science*, 241 (1988), pp. 655–57.
- ㊴ (1) M.K. Wu et al: "Superconductivity at 93K in a New Mixes-Phase Y–Ba–Cu–O Compound System at Ambient Pressure", *Phys. Rev. Lett.*, 58 (1987), pp. 908–10.
(2) P.H. Hor et al: "High-Pressure Study of the New Y–Ba–Cu–O Superconducting Compound System", *Phys. Rev. Lett.*, 58 (1987), pp. 911–12.
- ㊵ C. Byars: "Discovery May Earn Billions, Nobel for UH", *Hostoun Chronicle* (Feb. 16, 1987).
- ㊶ S. Tanaka: "Research on High- T_c Superconductivity in Japan", *Physics Today* (December 1987), pp. 53–57.
- ㊷ S. Hikami et al.: "High Transition Temperature Superconductor: Y–Ba–Cu Oxide", *Japanese Journal of Applied Physics*, 26 (1987), L314–L315.
- ㊸ 1994年5月21日趙忠賢給筆者的信。
- ㊹ 趙忠賢等：〈Ba–Y–Cu氧化物液氮溫區的超導電性〉，《科學通報》，32 (1987)，頁412–14。
- ㊺ 〈我國超導體研究又獲重大突破，發現絕對溫度百度以上超導體〉，《人民日報》，1987年2月25日。
- ㊻④⑤ G. Kolata: "Yb or Not Yb? That is the Question", *Science*, 236 (1987), pp. 663–64.