

超高真空實驗室

熊高鈺學長

「超高真空實驗室」為隸屬於「行政院同步輻射研究中心籌建處超高真空小組」的實驗室，目前暫時借用工程一館218室及物理一館加速器實驗室二樓之一間實驗室等二處進行超高真空實驗，由本系劉遠中教授領導。主要的目的在研究設計同步輻射電子儲存環的真空系統，同時也進行超高真空相關的基礎研究與應用方面的實驗。

同步輻射儲存環的興建為目前國內重要的研究計劃之一。主要是利用不斷在儲存環真空腔內環繞運行的電子束於偏轉二極磁鐵的磁場中循圓形軌道行進時放射出波長連續分佈的同步輻射光，經光學系統的聚焦，反射而引出來進行各項實驗。所以基本上，同步輻射儲存環可稱得上是一座「光源」。為了使同步輻射電子儲存環中的電子束能持續運轉十小時以上，必須使環內隨時維持在 10^{-9} Torr ($1 \text{ Torr} = 1/760 \text{ atm}$) 氣壓的「超高真空」，以減少因與殘餘氣體分子衝撞造成電子束的損耗。而本實驗室研究的目的便是在儲存環建造前先行發覺並考慮到所有可能導致無法達到理想超高真空的原因，以提前解決問題，避免造成「剛建好又要拆」的後果。

以往在國內毫無「超高真空」的經驗，因此有許多貴重儀器在剛開始使用時可

維持 10^{-10} Torr 的氣壓，但是長期使用便無法達到理想的真空度，造成儀器設置浪費。自從民國七十二年七月開始，在本系物理一館109室的小房間裏，劉遠中老師與曾湖興先生（原本系技正）、陳俊榮先生（原核工所博士班學生）等三人著手研製真空腔由最基本的實驗開始研究，邁向超高真空領域的第一步，成為國內第一個從事超高真空研究的「單位」。經過三年多以來不斷地深入探尋基本原理及逐步擴展研究的領域，技術的改進與經驗的累積，使我們得到了豐碩的研究成果，同時也成為國內研究超高真空最主要的一個單位。

目前本實驗室對於不銹鋼與鋁材料等的焊接技術皆已達到水準之上，焊接後成品的漏氣率：鋁與鋁接合小於 $1/30$ ；不銹鋼與不銹鋼接合小於 $1/500$ ；不銹鋼與銅接合為 $0/30$ 。此外，所自行設計研製、加工的數十個不同形狀，大小之真空腔（包括不銹鋼及鋁材料）皆能抽氣達 10^{-10} Torr 範圍的氣壓，其中一個不銹鋼真空腔亦曾維持在 4×10^{-12} Torr 的最低氣壓，為國內僅見，足以證明超高真空並不是國外的專利，在國內已有能力做到。具備了良好的超高真空基礎，便可提昇

表面物理、材料、……等各門科技的研究能力。

本實驗室真空屬於同步輻射專任人員由民國七十三年成立時之三人至今增為四人（研究人員及技術人員各二名），而身為兼職的劉老師秉著對基礎研究的摯誠與興趣，所付出的心血絕不亞於專任人員。此外，單憑專任人員的力量所能創造出精良的研究成果仍屬有限，最主要仍得力於幾位助理、研究生與大學部學生們的參與，無論是做論文、修專題抑或主動參與學習等，由於他們認真學習與專心研究，使本實驗室雖增加了二倍的人力，而研究成果卻比預期的要高出更多倍以上，他們的貢獻自是難以估計，這也是“Team Work”合作重要性的最佳例證。

以下僅依年度順序簡述本實驗室的演進及研究重點，種種實驗上所經歷的妙聞趣事乃至於酸、甜、苦、辣等滋味，如人飲水般而「唯當事人是問」，限於篇幅無法一一細數，有興趣者可利用閒暇找劉老師聊聊。

(一)民國七十二年七月～七十三年六月：（清大物理系）

由劉老師、曾湖興、陳俊榮（核79級）、林克剛（物81G）、陳定（核84級，86G）等，先研製小型不銹鋼超高真空系統，經簡單的化學清洗後抽氣，同時測試吸附幫浦及離子幫浦的抽氣基本性質，此外亦研究烘烤等表面處理的原理，第一個月只能到達 10^{-9} Torr，再經過一個月的時間才進入到 10^{-10} Torr的氣壓

（同樣的系統在今天已有把握於四天內達到 10^{-10} Torr氣壓。），然後逐漸改裝真空腔使成為較複雜、「曲折」的結構，並設法抽至極低氣壓。雖然在剛開始時耗費相當多的時間，然而鏗而不捨的研究與改進累積了豐富的寶貴經驗加上真空腔製造與焊接加工等技術的提昇，奠定了日後更進一步研究超高真空的基礎。

(二)民國七十三年七月～七十四年六月：（同步輻射中心成立）

在人員上增加一名專任技術人員許憲能及二名學生助理謝澄銀及王德正（物82級），林克剛則出國進修，共七人。由於同步輻射研究中心籌建處已正式成立，經費來源較充裕，人員略增，可進行的研究計劃因而得以擴增。不銹鋼超高真空系統已擴展為中型，此外並研究鈦昇華幫浦，非蒸發性吸結幫浦及渦輪分子幫浦等的抽氣基本性質，經過更徹底的化學清洗及抽氣等步驟，可使不銹鋼真空腔抽達 10^{-12} Torr的範圍。另一項較重要的研究為「鋁與不銹鋼材料釋氣率的測量」，鑑於世界上各國儲存環有不銹鋼材料所製，真空腔（歐美較早期的儲存環）也有鋁材料所製（日、美較新設計的儲存環），且真空腔材料的釋氣在超高真空系統的影響極重要，因此及時展開二種材料釋氣率的測量研究與比較，及大型鋁真空系統的設計研製之考量皆勢在必行，以為日後同步輻射電子儲存環設計的依據。

(三)民國七十四年七月～七十五年六月：

人員有所變動，增加了專任研究助理陳志成及學生、助理改為李志浩（核77級）、林家正（物86級）、李尚凡（物

86級)、謝煥倫(物86G)、王立中(物83級)與洪聖翔(物88級)等,共十二人分別展開各項研究計劃,包括各種抽氣幫浦抽氣速率的研究、鋁與不銹鋼材料釋氣原理的探討及鋁的焊接練習等。此外,並開始與其他計劃合作及協助服務等,包括表面分析用二次離子質譜儀之研製及協助本系表面物理實驗室進行真空系統性能退化後之檢驗處理,使由 10^{-7} Torr恢復至 10^{-10} Torr之超高真空。

(四)民國七十五年七月以後:

人員變動較大,陳定全等六人分別畢業及出國進修,另增加專任助理研究員熊高鈺(物82級,84G)、技術員邱吉平(屬入射組支援)及學生、助理包括林文展(物85級)、王敏惠(物86級)、李莉娥(物87級)、王智立(物87級)與梁君健(物84級)等七人,使總人數增為十三人。研究的領域再擴大,包括儲存環之真空設計及原型真空腔的研製與抽氣實驗,此外尚有表面分析、放電清洗研究、鋁及不銹鋼製分佈式離子幫浦的抽氣研究與製造,台鋁、日鋁與不銹鋼等材料製造之真空腔釋氣率的比較,以及鋁焊接成品等;近日甫完成鋁製與不銹鋼製之離子幫浦及電源供應器的「自製」,使本實驗室可以完全脫離向國外直接購買離子幫浦的陰影,以節省更多的經費,並深入探討鋁製離子幫浦的抽氣機制。

目前本實驗室正進行的計劃約可分為(一)基礎研究,(二)技術開發與(三)合作與服務等三方面,分述於後:

真空系統元件材料的釋氣與處理、抽氣之歷史息息相關,為了能夠確實掌握系統內各種運作的特性,以提高實驗數據的可信度,對於各種抽氣幫浦運作機制的研究相當重要。

2. 鋁合金與不銹鋼材料製真空腔表面熱釋氣之比較、研究:

材料表面的熱釋氣隨著週遭溫度高低及暴露於各種氣體(如:空氣、氮氣、氫氣……等)時間長短等條件的影響而有很大的變化,因此在選擇真空腔材料前,應先探討材料表面釋氣的機制。綜觀各國儲存環所採用的真空腔材料,概分為鋁合金與不銹鋼二種,所以這二種材料也是我們研究熱釋氣以比較之主要材料。

3. 放電清洗的研究:

在電子儲存環中電子束運轉時,同步輻射光將撞擊到轉彎段真空腔的內壁,產成光電子及二次電子,並引發管壁上附著鍵結較強的氣體分子,導致氣壓上升約三個數量級以上,因而減短電子束的運轉壽命。所以真空腔宜預先經過放電之表面處理,以清除鍵結較強之氣體分子,使真空腔受同步輻射光撞擊引發之氣體量減低。

4. 電子儲存環真空系統設計之氣壓分佈計算程式:

在電子儲存環真空腔建造之前不可能先製造一座“Prototype”原型「儲存環」,且在各個可能的地方「擺擺」幫浦「抽抽看」,抽得不好再「換個位置抽」,……等;只有藉著理論計算來模擬整個系

統抽氣情況，並將各個可能影響真空度的因素如熱釋氣、幫浦位置、幫浦抽氣速率、光子引發釋氣及氣導……等相關的參數全考慮進去，可瞭解整個系統氣壓分佈的概念，以爲設計真空系統之參考。

(二)技術開發方面：

1 不銹鋼真空系統的研製技術：

本實驗室已研製了許多不銹鋼真空容器，目前則置重點於各種形狀較特殊之真空容器接合與加工的技術提昇。此外，爲因應真空容器所要求準直、精密度之提高，已利用雷射協助加工，以達到理想精密度之要求。

2 鋁合金真空系統的研製技術：

在世界各國，鋁合金材料之運用於儲存環真空系統，已是近十年以來較新開發的技術，也是較新的設計觀念。本實驗室亦已著手研製數個鋁合金真空容器，而在接合的技術上尤須加強研究。除了藉鏡面加工及顯微鏡協助觀察，提高接合加工的品質外，並開始研究鋁合金與不銹鋼材料接合之技術。

3 儲存環原型真空腔的研製：

根據以往實驗的經驗，往往實驗的結果與事前計算預測的結果不一致，而在實驗時所發生的意外狀況常是事先未能料及的，所以再怎麼樣的週密的計劃卻常有疏漏，只是大小之別而已。因此，爲了能提前發現到潛藏的問題並找出最理想的施工操作改進方法，由原型真空腔之研製與測試可獲得許多寶貴的經驗，以爲設計改進的參考。

4. 離子幫浦與高壓電源供應器之研製：

自行研製離子幫浦（不銹鋼與鋁合金）與高壓電源供應器，除了有助於研究抽氣機制外，可瞭解國內自製儀器之能力，亦可節省向國外採購所需經費之 60% 以上費用，對於自行維護的能力亦提高不少。

(三)合作與服務方面：

1 本實驗室除了與工研院機械所、電子所及國科會精密儀器中心有技術合作外；本校材料系亦提供 SAM/ ESCA 表面分析儀及 X 光繞射譜儀（XDS）之協助分析服務。

2 協助本系表面物理實驗室設計製造真空容器及真空系統性能退化後之檢驗處理。

3 與本系合作建立二次離子質譜儀（SIMS）之表面分析系統，進行材料表面成分的分析研究。

4 與日本功能物理研究所（KEK）合作，彼此提供技術交流：

本實驗室在鋁合金研究方面之經驗及技術主要參考日本，且該研究所亦免費提供鋁合金真空腔供我們實驗測試之研究；此外本實驗室亦派陳俊榮先生至日本 KEK 參與研究計劃，實有助於國內研究領域的擴展與技術之提昇。

5 設計基本超高真空實驗教材，培養正確觀念：

除了提供本系「實驗技術」課程有關超高真空之部份實驗，使同學能培養正確

的基本概念外；對於新進人員的基本訓練亦需要一套實驗教材，使其能迅速入門；必要時亦可接受其他研究單位的委託，提供代訓的服務。

截至目前為止，本實驗已發表九篇研究論文，先後刊登於國內外期刊（1～9），其中發表於國外期刊佔三篇。即將投稿發表（或已經投稿）之文章約十篇（10～19），其中有七篇已於今年二月初之物理年會中發表。

(一) 持續進行基礎之研究。

(二) 進行 SRRC 同步輻射電子儲存環真空系統之完整細部設計（Work Breakdown Structure），並研製原型真空腔。

(三) 研究因同步輻射光所引發真空腔內壁大量釋氣之影響及放電清洗之效果。

(四) 繼續開發鋁合金及不銹鋼材料之研製技術。

(五) 建立完整之實驗教材。

去(75)年十月下旬，日本筑波之崔斯坦主儲存環（TRISTAN Main Ring）開始運轉，並且完成了25GeV之電子—正子對撞，創下了世界上最高能量離子對撞的記錄；然而因分佈式離子幫浦（DIP）抽氣效果不佳，經劉老師與陳俊榮依本實驗室已有的研究結果指出其原因出在建造前對氬氣抽氣速率錯估的疏失，乃於運轉不久後即全面拆換DIP之陰極板。可見基礎研究與精良的設計是何其重要。

由於國內以往全無超高真空的經驗，

經過數年來「步步為營」地研究，尤重於基礎研究，使超高真空研究能確實紮根，這也是本實驗室努力研究的方向。七十五年十二月同步輻射技術評審委員會幾位各國專家皆盛讚在實驗室超高真空研究之方向正確且成果可觀；此外，李政務委員國鼎先生甫於四月參觀本實驗室亦多好評；日本KEK教授石丸先生（崔斯坦真空負責人，亦為SRRC真空顧問）稱之為「在西太平洋新建立的UHV（超高真空）基地」。

研究是無止境的，「超高真空」在國內仍在起步的階段，而研究牽涉到的範圍亦廣，由表面物理到材料結構等，皆有影響，所面臨到的問題更多，然而仍應從最基礎的研究紮根，才能一步一步地解決。研究計劃的推展仍要靠「人」，而主要的人才來源仍要仰仗研究生或大學部學生來協助，這也是本實驗室努力爭取有興趣參與的同學之主要原因，對學生來說是最寶貴的學習經驗（動腦也動手），而對國內剛起步的一門學問貢獻更大。此外，在技術方面的提升仍有待突破，由於實驗的要求已臻於更精密、更準確的地步，然而在國內目前的技術卻無法立即跟上，所以在超高真空中的精密機械加工與設計以及鋁合金、不銹鋼等各種材料接合技術的開發，仍有待進一步地努力。

