

出國報告(出國類別：實習)

「智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫」-高 導熱絕緣基板材料與封裝技術出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：郭養國 技士、姜智豪 技士

派赴國家：德國

出國時間：民國 102 年 09 月 28 日至 102 年 10 月 05 日

報告日期：102 年 10 月 18 日

國防部軍備局中山科學研究院出國報告建議事項處理表

報告名稱	經濟部科技專案-「智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫」-高導熱絕緣基板材料與封裝技術出國報告		
出國單位	第四研究所	出國人員級職/姓名	技士/郭養國、 技士/姜智豪
公差地點	德國	出/返國日期	<u>102.09.28</u> / <u>102.10.05</u>
建議事項	<ol style="list-style-type: none"> 1. 德國 Nabertherm 公司在高溫設備製作位於世界領先地位，並具有優異的溫場檢測與調整的能力。本院執行科專案，推廣氮化鋁陶瓷基板技術與其應用，應當建立該項技術能量，方可協助國內廠商進行製程改善，以提升國內產業技術。 2. 高溫燒結製程中牽涉許多複雜的熱傳、質傳與化學反應的現象，建立數值模擬機制將可有效輔助實驗開發與降低研發的人力時間與財物力投入。本院可朝向建立數值模擬，以輔助高溫燒結製程建立有效率的試驗回饋機制，此將有助於協助相關產業在技術升級上降低障礙。 3. 德國在開發高導熱絕緣陶磁基板與高溫燒結爐設備是以結合研究機構及大學學術界，共同配合業者作開發。本院亦可參考此作法，作為推廣氮化鋁陶瓷基板技術與其應用，以完整技術提供模式向相關產業推廣共同投入研發。 		
處理意見	<ol style="list-style-type: none"> 1. 蒐集Nabertherm公司的現況資料以對於高溫設備溫場檢測與調整作參考，並進行建立檢測實驗室的提案向本院說明以獲得支持，同時歡迎國內業者共同投入，以達本項的最大成效。 2. 將於執行本項計畫時，詢問院內相關的研發單位或大學機構，以期建構本項數值模擬機制以解決高溫燒結製程中牽涉許多複雜的熱傳、質傳與化學反應的現象，以協助相關製程開發。 3. 將持續提案建立氮化鋁基板應用，以技術合作開發或配合推動業界聯盟科專等方式，以目前本院在本項製程的技術領先優勢提供全方面方案，帶領國內業者在此領域發展。 		

國防部軍備局中山科學研究院
102年度出國報告審查表

出國單位	第四研究所	出國人員 級職姓名	技士/郭養國、 技士/姜智豪
單 位	審 查 意 見		簽 章
一級單位	一、 出國報告內容詳實，對現階段科專計畫執行以及建案規劃具有參考價值。 二、 報告內容未涉及本院研發機密。		
計 品 會			
保 防 安 全 處			
企 劃 處			
批			示

國外公差人員出國報告主官（管）審查意見表

此行派遣郭員與姜員赴德國 Nabertherm 公司進行實習參訪，進行高溫燒結設備的設備認識與技術討論，更可以藉由親訪與實作過程以瞭解高緻密度陶磁的高溫燒結過程及相關技術交流，而這些資訊對執行科專智慧綠能/車電關鍵計畫相當重要，預期將可縮短我方在實驗改進的時程與提升本項高溫燒結的技術能量。報告中所建議之意見，不論是學界、研究機構或業者於進行本項高緻密陶磁的高溫燒結相關領域，都可將本案相關看法納入參考，而本單位將於配合執行科專計畫之際與相關單位合作共同開發，以戮力推動高導熱絕緣基板材料產品化，提升產業競爭力以及未來應用，為本項技術發展與建案規劃而努力。



報 告 資 料 頁

1. 報告編號：	2. 出國類別：	3. 完成日期：	4. 總頁數：
CSIPW-102D-M0002	實習	102.10.18	23
5. 報告名稱：經濟部科技專案-「智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫」- 高導熱絕緣基板材料與封裝技術出國報告			
6. 核准 文號	人令文號	102.09.06 國人管理字第 1020015120 號令	
	部令文號	102.08.30 國備獲管字第 1020012583 號	
7. 經 費		新台幣： 183,255 元	
8. 出(返)國日期		102.09.28 至 102.10.05	
9. 公差地點		德國	
10. 公差機構		Nabertherm 公司	
11. 附 記			

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：經濟部科技專案-「智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫」-高
導熱絕緣基板材料與封裝技術出國報告
頁數 23 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

國防部軍備局中山科學研究院/姜智豪/354037

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

郭養國/國防部軍備局中山科學研究院/第四研究所/技士/358172

姜智豪/國防部軍備局中山科學研究院/第四研究所/技士/354037

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間： 出國地區：

102年09月28日至102年10月05日 德國

報告日期：

102年10月18日

分類號/目

關鍵詞：

氮化鋁、高導熱絕緣基板、高溫燒結製程

內容摘要：(二百至三百字)

執行智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫的高導熱絕緣基板材料與封裝技術分項工作，赴德國 Nabertherm 公司進行技術交流參訪與實習，就目前國外對於高導熱、高緻密陶瓷材料之製程技術與發展趨勢等議題，進行製程與設計等技術性議題訪問交流，並蒐集德國 Nabertherm 公司對於相關陶瓷燒結製程之技術資料，以利本院執行智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫-高導熱絕緣基板材料與封裝技術之研發。

目 次

壹、目的.....	(9)
貳、過程.....	(10)
參、心得.....	(21)
肆、建議事項.....	(23)

經濟部科技專案-「智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫」 -高導熱絕緣基板材料與封裝技術出國報告

壹、目的

本院執行智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫的高導熱絕緣基板材料與封裝技術分項工作，赴德國 Nabertherm 公司進行技術交流參訪與實習，就目前國外對於高導熱、高緻密陶瓷材料之製程技術與發展趨勢等議題，進行製程與設計等技術性議題訪問交流，並蒐集德國 Nabertherm 公司對於相關陶瓷燒結製程之技術資料，以利本院執行智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫-高導熱絕緣基板材料與封裝技術之研發。

本次出國工作規劃為出國赴世界知名之德國 Nabertherm 公司，其專長為大型高溫燒結爐製作與技術開發。藉由本次實地訪問 Nabertherm 公司高溫陶瓷燒結製程技術，了解高緻密性陶瓷材料在燒結上之技術要點(溫度控制、氣氛控制、壓力控制...)、製程參數設計與經驗交流等相關議題，並應用於本院高導熱、高緻密氮化鋁陶瓷粉體材料與薄型化基板技術開發之製程設計上，以達到高值化材料發展的目標。期望藉此研習技術與知識交流，以降低後續建案後執行之風險。

基於尊重 Nabertherm 公司的商業機密政策，無法於製程階段拍照，僅能就討論與廠區參訪時進行拍照紀錄，但 Nabertherm 公司對我方的提問相當重視且說明非常仔細，討論的範圍相當廣泛，從產品特性、製程調整、製程改善以及該公司目前正在從事的開發研究議題等均有涉及，但對於該公司營業秘密之資訊請本院勿揭露。於本次實習參訪過程，於就近與該公司工程人員的技術交流，可一窺德國中小企業於技術本位的務實精神，使其於各科技領域皆有傑出的表現，可作為國內產業開發關鍵技術或產品的借鏡，也希望相關看法作為政府單位在協助國內中小企業發展方面的指導方向。

貳、過程

一. 過程規畫

本院執行智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫的高導熱絕緣基板材料與封裝技術分項工作，進行高導熱絕緣基板與其封裝技術開發，在本項計畫中的高緻密/高導熱/絕緣的陶磁基板為關鍵材料，其製程中包含的高溫燒結陶磁基板程序為一項關鍵技術，其間牽涉熱傳、燒結控制、化學反應與結晶控制等複雜現象，在製程中對於溫場設計、熱傳導/對流與原料等需作出適合的製程參數調整，如此方可產出晶圓等級的氮化鋁陶磁基板。故於計畫執行中安排一項參訪實習，以拜訪本項製程/設備領先的廠商-Nabertherm 公司，以進行相關技術交流與製程實習的機會。

Nabertherm 公司總部位於德國不來萊梅市郊區，目前具有 400 餘位員工，成立至今已超過 60 餘年，致力於進行工業高溫燒結爐製作與開發，並對於高溫燒結製程有豐富的經驗與相關知識。以生產製造商，Nabertherm 一直伴演著在高溫燒結設備與技術的領先者，其具有優量的設備與豐富的技術資料，對於遍佈全球 100 餘國超過 15,000 顧客提供一種全方位解決的服務，並以其優良的設備設計與性能、專業的製程能力與良好的客戶服務在本項專業領域經營，並且得到肯定的回饋。同時因為與大學相鄰，因此無論是專業人員、設備能量等都能夠就近協助，以掌握最佳的開發契機。

本項公差於行程前，參與人員依據本項科專計畫的發展方向進行討論，並且擬定內容包含：受訪單位的介紹說明、實驗室與工廠參訪、高溫工作環境與設備需求參訪與評估、高溫燒結製程作業與相關技術討論，並訂立任務執行日程表。並參考科專執行現況在高溫燒結所遇到的製程現象進行技術請益，以及討論氮化鋁陶瓷基板的應用發展，於行前共同討論並彙集。

本次由 Nabertherm 公司的專案經理 Frank Murken 與資深工程師 Stefan Zachmann 負責接待與安排進行廠區參訪並協助本次實習工作的相關安排。如圖 1 與圖 2 所示。

任務執行日程表

國防部軍備局中山科學研究院出國人員工作計畫表						
日期	星期	行程		公差地點	工作項目	備考
		出發	抵達			
102年9月28日	六	桃園		-	去程(桃園國際機場出發，經法蘭克福機場轉機，前往不萊梅國際機場)	夜宿機上
102年9月29日	日	德國 法蘭克福	德國 不萊梅	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 抵達不萊梅 ■ 實習參訪的資料準備 	夜宿不萊梅
102年9月30日	一			德國 不萊梅 Nabertherm 公司	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參訪 Nabertherm 公司，進行技術交流與學習。 ■ Nabertherm 公司進行公司介紹與技術說明。 ■ 實驗室與工廠參訪。 	夜宿不萊梅
102年10月1日	二			德國 不萊梅 Nabertherm 公司	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高溫工作環境與設備需求參訪與評估。 ■ 高溫燒結製程標準作業程序、危害風險評估、應變措施等議題交流與學習參訪。 	夜宿不萊梅
102年10月2日	三			德國 不萊梅 Nabertherm 公司	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高溫燒結技術要點、製程設計等議題討論。 ■ 高緻密陶瓷燒結製程技術研習。 	夜宿不萊梅
102年10月3日	四			德國 不萊梅 Nabertherm 公司	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高緻密陶瓷燒結製程參數討論。 ■ 相關技術討論。 	夜宿不萊梅
102年10月4日	五	德國 不萊梅	德國 法蘭克福	-	回程(不萊梅國際機場出發，經法蘭克福機場轉機，前往桃園國際機場)	夜宿機上
102年10月5日	六		桃園	-	抵達桃園國際機場	



圖 1 .Nabertherm 公司專案經理 Frank Murken 與郭養國先生於大型超高溫燒結設備區合影

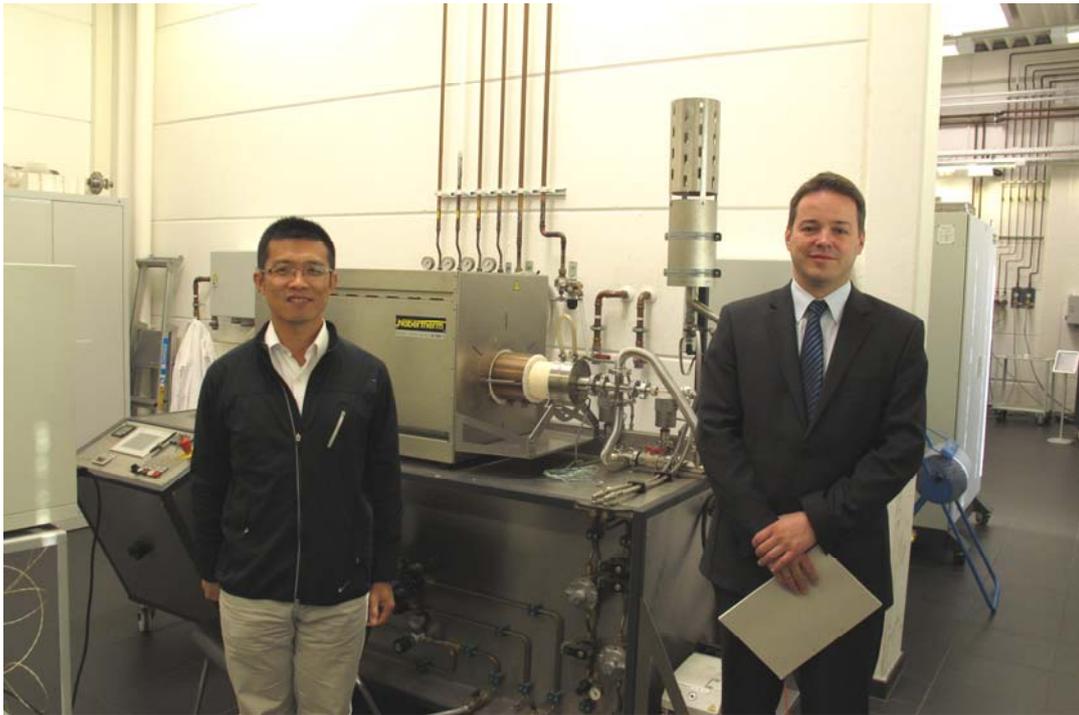


圖 2 .Nabertherm 公司專案經理 Frank Murken 與姜智豪先生於水平式高溫燒結設備區合影

二. 計畫背景

本院為執行經濟部科技專案-「智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫」-高導熱絕緣基板材料與封裝技術，進行高導熱絕緣基板開發與其封裝技術的開發研究。隨著電子元件朝體積縮小、性能提升及環保節能的趨勢需求，高度密集且為高功率、高頻或高熱環境之高能電子元件，散熱通量甚至達 $100\text{W}/\text{cm}^2$ 以上，例如 LED 路燈、MOSFETs 或 MESFETs、IGBTs, BJT, 雷射等元件，已成為相關產業主要開發技術重點項目，因密集排列及長時間工作所產生之熱能，於有限之封裝散熱空間內，若未能適時排除於外，因界面溫度升高，將使元件性能及壽命降低，且材料間因高溫熱應力累積，勢必衍生元件可靠度問題，故需要以優良的散熱封裝設計與高導熱材料導入於元件設計中，以降低熱效應的影響。

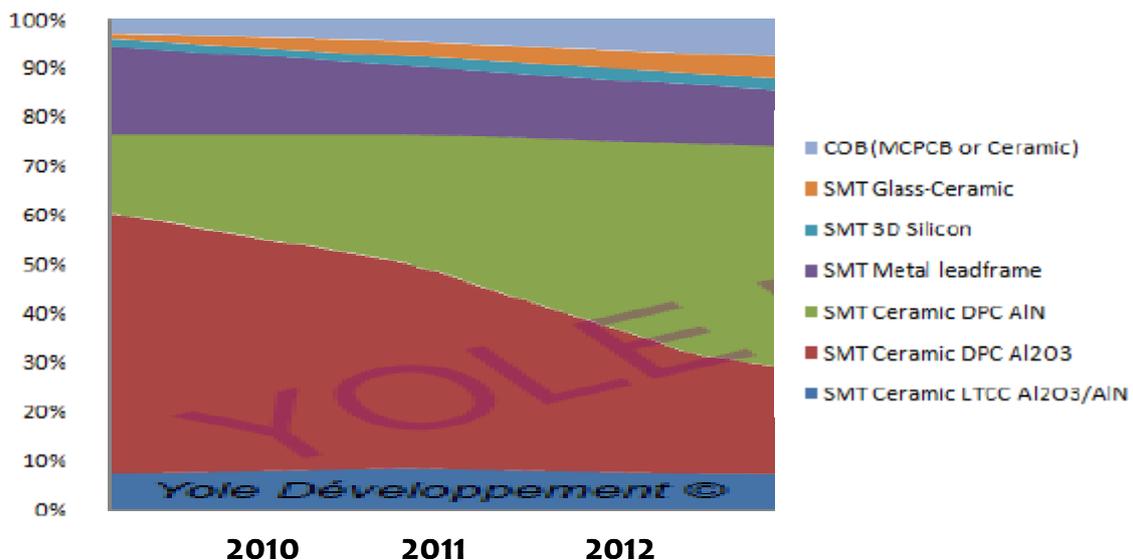


圖 3. 高能/高功率封裝基板市佔率預估

根據二維封裝基板市佔率預估圖，如圖 3 所示，Yole Development SA.資料(2011.9)，2010 年以 SMT Ceramic DPC Al₂O₃ 型市佔率最高達 50% 以上，但 Al₂O₃ 散熱性不足，產品應用面受拘限致市場下滑，2012 年市佔率快速降至 25% 以內；其次為 SMT Metal leadframe 型及 SMT Ceramic DPC AlN 型，市佔率各約 15% 左右，但根據預測，SMT Metal leadframe 型市佔率亦將逐年呈緩步下滑趨勢，反之，SMT Ceramic DPC AlN 型之市佔率，2012 年市佔率快速攀高至 50% 左右，故顯現 DPC AlN 型散熱基板將成為市場主流；

其他如 COB(MCPCB 或 Ceramic)、SMT Glass-Ceramic、SMT 3D Silicon 及 SMT Ceramic LTCC Al₂O₃/AlN 皆僅佔有少數市場，且預測未來成長有限。

DPC AlN 型基板主要於 AlN Bulk 薄片上電鍍或濺鍍銅薄膜，並將銅薄膜進行導線圖案化，作為元件控制線路，同時利用 AlN 及銅之高導熱特性，大幅降低熱阻提高散熱功能，故為目前最適合用於高功率、高頻及高熱環境之電子元件之封裝散熱基板，此為平面銅佈線之基板封裝技術。國內同欣電子於原厚膜型即 LTCC Al₂O₃/AlN 市場逐漸萎縮下，因應 2011 年起高能元件之市場快速成長需求，開發薄膜型 DPC-AlN 陶瓷散熱基板。

藉於國內於高能/高功率或高頻電子封裝元件等之散熱需要，國內廠商如探微、采鈺科技等開發以矽散熱基板取代藍寶石基板之封裝產品，但矽基板之半導體特性使絕緣性較差，故若採目前主流之覆晶封裝法，TSV 電路需輔以絕緣層，且於高密度場合易相互干擾，製程較為複雜。

氮化鋁(AlN, Aluminum Nitride)，因其具有以下特點，故目前相當倍受矚目：(1)良好的電絕緣性，可避免電子元件在運作時發生漏電而導致元件失效與毀損問題；(2)高的熱導性(熱傳導係數~ 180W/mK)，可有效將高能/高功率電子元件運作時所產生大量的熱給排除，可有效減少因熱累積所產生之元件熱失效等問題，此問題即為目前產業急待解決之重點之一；(3)低熱膨脹係數，可耐熱循環衝擊，其熱膨脹係數也與半導體材料氮化鎵接近，可提高半導體元件之品質；(4)優越的機械強度；(5)可抗熱震；(6)安全、環保、無毒害問題。因此氮化鋁基板可應用範圍相當廣泛，例如可應用於各類高功率電子產品、微電子電路、半導體電子產品、高亮度 LED 照明、車用電子與照明元件及聚焦型太陽能等。

氮化鋁(AlN)為近年來新型陶瓷材料領域的研究熱點之一，雖早在一百多年前氮化鋁粉末即被合成出來，但因其不易燒結的特性，使得當時氮化鋁並未受到注意。由於氮化鋁屬於共價化合物，且熔點高、熱擴散係數小，因此氮化鋁粉末在通常的燒結溫度下很難燒結緻密，而氮化鋁的緻密性則是影響其熱傳導能力的重要關鍵因子之一，

緻密性差的氮化鋁其熱傳導係數(K 值)也較低；另一影響氮化鋁熱傳導能力的因子為氮化鋁的雜質含量，由於氮化鋁對氧原子有強烈的親和力，在製程中部份氧會溶入氮化鋁晶格中而形成鋁的空缺，使熱傳導能力變差。傳統的氮化鋁基板製程技術主要為刮刀成型法(Doctor-Blading)，這種方法是將球磨均勻並真空脫氣的漿料均勻地塗到平板上，透過板面與刮刀的相對移動形成漿膜，經乾燥後即可進行燒結，以刮刀成型法製成氮化鋁基板雖製程方式較簡單且設備投入成本也較低，但其製成的基板緻密性及機械強度較差，使得熱傳導能力也較差(約 90~170W/mK)，另外也因為受限於刮刀的寬度，因此無法將基板的寬度變寬，此外還有燒結變型問題無法克服，故目前最大只能生產 4.5 吋方型，無法製造更大面積基板，且無法生產大尺寸圓形基板。目前最主要的氮化鋁供應商為日本京瓷(Maruwa)，其全球市佔率約 60%，及德國 Sun Tech.，其全球市佔率約 35%，但其生產以 4.5 吋方型基板與 2 吋圓形基板為主，無大尺寸圓形基板產品。

本計畫預定逐年開發 4 吋~8 吋氮化鋁晶圓級基板製程技術與氮化鋁金屬化封裝基板技術，首先將建立以高溫高壓技術開發大尺寸、高導熱之晶圓級氮化鋁基板，並研究氮化鋁薄片之金屬圖案化製程技術，及利用氮化鋁之絕緣特性，以有別於一般平面佈線之基板封裝，開發具高深寬比、立體式銅導線之精密佈線封裝技術，此與目前相同規格之矽散熱基板比較，因具絕緣性故可省略絕緣層步驟，且導熱係數高，相對可提高散熱能量一倍以上，且電路長度縮短可降低線路阻抗及相互干擾問題，故可達成提高佈線密集度，縮小封裝體積之未來高功率、高頻或高熱環境之高能元件封裝需求。本計畫於自行開發之 AlN 基板上，建立自主化之高階立體式散熱封裝技術，並驗證封裝基板之可靠度等，未來技轉業界後可提昇我國高階電子封裝、零組件等產業發展，創造產值及經濟效益。

本計畫預計以高溫高壓製程技術來發展高導熱氮化鋁基板，此項技術於初期雖然需投入較高設備建構費用，然而當設備建立之後，可使生產速度加快。且經由此法所產製的基板緻密性較佳，機械強度好，熱傳導也較高，亦可製成晶圓級基板(目前規劃 4 吋，8 吋)。可導入 8 吋半導體淘汰設備使用。產品多樣化不受限基板尺寸，可

製造成任何形狀以便因應不同產業之需求。本院已有多年陶瓷製成與燒結經驗，並已自行投入大量經費建置相關設備，以高溫高壓製程方式研發高緻密、高導熱晶圓級氮化鋁基板，且無燒結變形問題，目前本院已先行投入研究並開發出高導熱氮化鋁基板並已申請多篇基板製程相關之中華民國與美國專利，未來將持續開發與提升技術層次並進行完整專利佈局，使國內能掌控關鍵技術及自主化生產，提供國內高能/高功率電子元件等廠商開發所需，晶圓級基板能亦應用於半導體淘汰設備，可大大減少設備開銷，降低廠商投入之生產成本與提升廠商投入開發意願。

三. 實習內容

本次於 Nabertherm 公司進行高溫燒結的實習為對於高緻密度陶磁基板的高溫燒結製程進行知識交流，相關的內容包含 Nabertherm 公司介紹與參觀、實驗室等級的高溫燒結製程與操作、先進材料的燒結程序與技術討論會議。

首先由專案經理 Frank Murken 帶領進行 Nabertherm 公司廠區介紹與各製程站點的參訪，期間也對於各實驗室進行說明。如圖 4 所示。於期間可以觀察到 Nabertherm 公司的製造區域是整齊明亮，且重視環境工安的紀律要求，介紹過程中可以了解該公司在製造嚴謹務實的態度與對研發執著的精神。



圖 4. Nabertherm 廠區內的設備組裝與實驗室狀況

本次參訪實習皆於 Nabertherm 公司的實驗室進行，由資深工程師 Stefan Zachmann

介紹該公司一系列應用在實驗室等級的小型高溫燒結爐，依照不同的操作需求設計，分為一般箱型與管狀外型的设计，如圖 5 所示。



圖 5. 箱型與管狀外型的高溫燒結爐

一般實驗室等級的高溫燒結爐的工作溫度由 1200 至 1800°C，若有更高溫度的燒結製程需求，如需達 2400°C 或以上(~3000°C)，則需要在加熱元件與設備進行更高規格的设计，如使用石墨加熱腔體或鉬/鎢加熱腔體與陶磁纖維隔熱材料。如圖六所示。



圖 6. 超高溫高溫燒結爐的元件，(a) 石墨加熱腔體；(b) 鉬/鎢加熱腔體；(c) 陶磁纖維隔熱材料。

本次為使用內容積為 3 公升的 LV3/11 型高溫燒結設備進行設備操作實習，其加熱工作溫度可達 1100°C，如圖 7 所示。

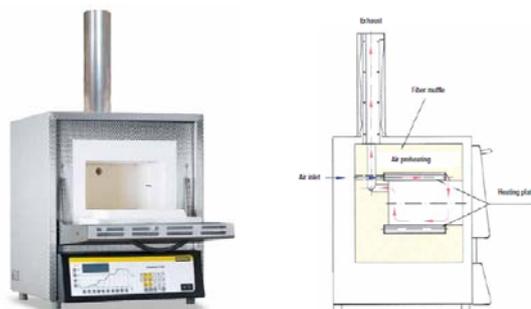


圖 7. Nabertherm 公司高溫燒結設備，型號: LV 3/11。

於高溫燒結製程中，工作溫度的準確控制與製程設定為重要關鍵，此也為精密燒結製程設備的核心。操作過程於控制面板上設定工作溫度，則在實際工作腔體中的溫度則並非為設定溫度，可能或高或低的狀況，如圖 8 所示。實際工作溫度與設定溫度的溫度差異為影響高緻密陶瓷燒結製程的品質良率，包含：成品外觀的色澤均勻度、外觀缺陷、應力變形、翹曲破裂等。

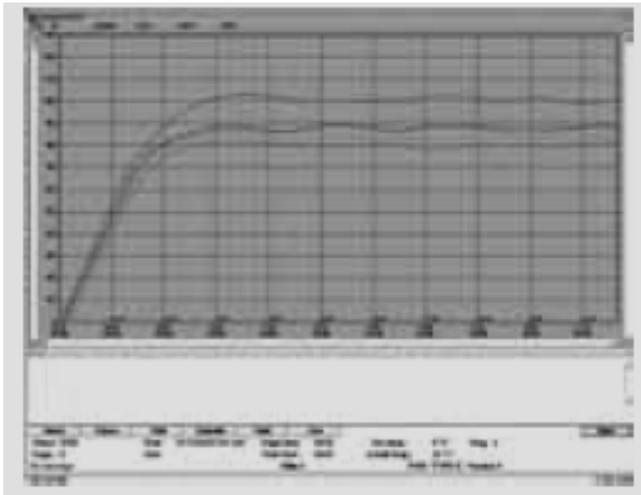


圖 8. 控制面板所顯示設定溫度與工作溫度

高溫燒結爐腔內的工作溫度控制與升降溫狀況則為高溫燒結製程的關鍵因素，則其中牽涉到了設備能力、監控機制與操作者所擁有的製程知識與經驗，在實作過程中對於製程溫度的定義就作出相關描述，如圖 9 所示。以設定溫度為 T_{set} ，為圖示的綠線(線 1)；工作腔內環境的溫度為 T_{work} ，為圖示的紫線(線 2)；加工物件溫度為 T_{obj} ，為圖示的紅線(線 3)。其中工作腔內環境溫度 T_{work} 的升降溫速度則受到加熱器的功率、速度調整與對流循環等因素控制，部份狀況也會受到物件影響，以加熱段作說明，在加熱初期工作腔內環境溫度逐漸上升，必需待經過一段時間(t_1)之後工作腔內環境溫度才能達穩定態。物件溫度的上升狀況則是為受到設定加工溫度影響之外，同時物件的尺寸(面積/厚度)、材料熱導特性與表面特徵均有影響，必需待經過一段時間(t_2)才能達到一種穩定態，且此刻的物件溫度與設定溫度，則存在了一溫度差 ΔT ， ΔT 在穩定狀態下為 $T_{set} - T_{obj}$ 。故在操作製程中，可以精確掌握升降溫狀態、達到穩態的所需時間與溫度差 ΔT ，則是製程關鍵，此也仰賴操作者的知識與經驗。

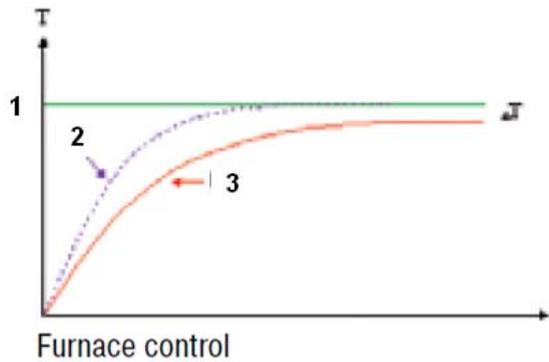


圖 9. 高溫燒結爐內的工作溫度說明，1. 設定溫度；2. 工作腔內環境溫度；3. 加工物件溫度

在高溫燒結爐腔內的工作溫度控制狀況，於達到穩態溫度初期，工作溫度與物件溫度均有可能產生過熱的情況，如圖 10 所示，以設定溫度為 T_{set} ，為圖示的綠線(線 1)；工作腔內環境溫度為 T_{work} ，為圖示的藍線(線 2)，可能產生溫度超過設定溫度而經過控制器自動修正加熱器功率而調回，使工作腔內環境溫度達到設定溫度。而物件溫度，則可能因為物件的熱傳特性，可能會在升溫期間同樣不超過設定溫度，為圖示的紅線(線 3)；或可能超過設定溫度，為圖示的虛線(線 4)。故在高溫燒結操作製程中，設備與操作者為影響製程良率的重要影響，設備具有精密的溫度量測/調節控制是維持製程穩定的因素之一；同樣地，操作者的知識與經驗也將影響溫度穩定控制。

由以上敘述，操作者對於燒結製程的溫度掌握就是非常的重要，在專業知識方面，需對材料的基本特性(如密度、熱傳係數、熱輻射係數等)與材料尺寸等有所掌握；並且加熱過程中工作腔體與臨近環境的熱傳現象(需考量加熱器的工作溫度與功率、循環系統造成熱對流的影響、絕緣材料的材質特性(尺寸、密度、熱傳係數等)、工作腔體的尺寸等)；同時也需了解高溫燒結製程的操作，以便擁有實作過程的掌握度。對此，Nabertherm 公司實驗室的研究人員為了對於高溫燒結爐內的工作溫度變化與升降溫現象有更完整的資訊，設計一組熱電偶矩陣的量測設備，如圖 11 所示，其電源線與訊號傳遞線路為一特殊設計(玻璃纖維材質的絕緣包覆)，使其可承受高溫至 1000 °C，並可放入各式高溫燒結爐內，如圖 11 的橙色方框標示的小圖所示，以輔助人員獲得各項設備或實驗調件下的溫場狀況與溫度狀況。使操作人員藉此以完整的數據化

資訊以提升製程掌握，並且也降低高溫燒結製程的經驗依存度，以維持整體製程穩定度與良率。

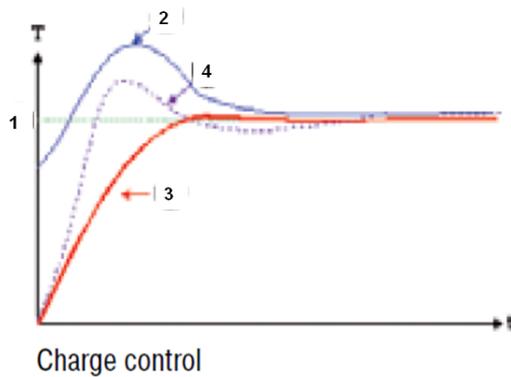


圖 10. 高溫燒結爐內的工作溫度說明，1. 設定溫度；2. 工作腔內實際環境溫度；3. 加工物件溫度狀況；4. 加工物件溫度狀況

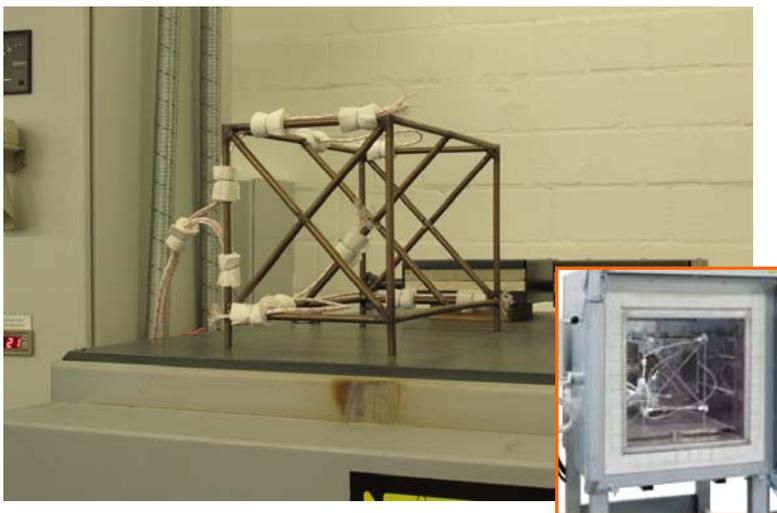


圖 11. 熱電偶矩陣的量測設備與其在量測時的放置狀況

在此行實習過程的結論會議，我方就大尺寸(直徑 8” 或 12” 以上)氮化鋁晶圓高溫燒結過程結束後，通常在晶圓表面發現外觀色澤不均一的現象，擔心此也將影響晶圓片整體特性與良率等因素，並說明此發生位置通常位於晶圓片邊緣兩端點 1cm 範圍 (180°)，並都是在製程中位於工作腔的前後端(遠離加熱源區)，疑為在此區域為熱量流失較大的區域，有局部溫度分佈些微不均勻的狀況。Nabertherm 的工程人員回覆，將就此問題進行討論，並對於前後端也加裝加熱器的設計進行評估。

參、心得

本次透過執行經濟部科技專案-「智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫」-高導熱絕緣基板材料與封裝技術項目，並難得有機會能夠拜訪高溫燒結設備/技術位居世界領先地位的德國 Nabertherm 公司，本行透過對方的簡報說明、參訪實驗室及工廠，以及與該方研發人員進行實習作業與技術討論，尤其向來在高導熱絕緣陶磁基板有相當重要地位的德國，進行本項高溫燒結製程實習與技術交流的經驗尤其可貴。以下針對此次出國提出幾點心得：

1. 開發氮化鋁材料的高導熱絕緣基板是本院執行本項「智慧綠能電子/車電關鍵技術計畫」的研發重點，且本院已率先開發出世界第一片 8” 氮化鋁晶圓，故具有在本項材料製程發展與應用伴演著重要的指標角色，欲建立在本項技術的完整性以作為領導國內業者，進行合作開發業界聯盟型科專案或技術轉移工作。其中高純度氮化鋁基板高溫燒結是本製程的關鍵，由其是本國業者在本項設備製作/製程技術較缺乏的情況下，本院如何建構完整的技術提供方案則是落實計畫開發的重點，在部份技術先向歐美日等技術先進國家學習，並配合本院在此領域已開發的技術，以提供完整的氮化鋁材料的高導熱絕緣基板應用方案以吸引業者投入，達成新材料/技術開發，幫助產業升級的目的。
2. 本院在氮化鋁材料的高導熱絕緣基板開發的同時，並逐步進入高溫燒結爐關鍵技術開發，因為本項設備與高導熱絕緣基板技術是有密切的依從關係，且其中不少關鍵的製作需仰賴設備的特殊設計而達成，從 Nabertherm 公司的核心技術發展藍圖便知，沒有雄厚紮實的設備基礎，是沒有能力調整設備，進而能滿足各種可能的參數條件，而一旦製程技術受限於高溫燒結設備調控能力，製程技術就會受到限制。且由本項製程與設備的完整技術建置，方能協助國內業者在此產業領域建立完整技術建構。
3. 透過與德國 Nabertherm 這類技術領先的公司在技術交流訪談，可得知該公司在高溫燒結產業的成功，在其背後有著先進工業科技發展院、大學等研究機

構等持續配合進行技術合作開發，且相關研究機構更是扮演領航的角色，而且指引中小型公司可以發展的方向，進而協助公司或產業升級，這可看出德國政府對公司的研發不但支持，相對的研究機構也會一起合作。本院也當如此自許，從事先進技術研發並協助本國產業的發展。

此次參訪已達到對本計畫預期的效益，因為 Nabertherm 公司是高溫燒結設備/技術位居世界領先的廠商，且透過參訪實習對於氮化鋁陶瓷基板的高溫燒結製程有相關的知識交流，對於技術及產業現況有更進一步的認識。對本年度計畫的目標及產業效益來說，已有方向及規劃可以與國內產學研單位分享資訊。總結上述的報告，彙整成果如下：

1. 在高溫燒結設備技術能量部分，本次前往 Nabertherm 公司進行參訪實習，並對於氮化鋁晶圓的高溫燒結製程進行實作與技術討論，完成收集業者在設備控制與製程開發的相關研發資訊。在國防部及經濟部政策指導下，本院為軍通科技推動單位，執行經濟部科專案，建構先進技術能量以成為業者長期研發伙伴，共同提升國內產業及技術水準。
2. 本院配合工研院執行本項科專案，依所獲得相關訊息，氮化鋁晶圓將是影響 LED 產業的重大材料之一，且本院開發世界第一片 8” 氮化鋁晶圓，並投入相關製程設備，技術能量位居領先，應持續推動於 LED 產業及拓展氮化鋁晶圓應用，以配合國家政策協助國內產業開發。
3. 本次實習公差行程在進行製程實習與技術討論之外，也同時進行 Nabertherm 公司的資訊收集，獲得該公司在實驗室(Laboratory)、先進材料(Advance material)與熱處理技術(Thermal process technology)等文件資訊。

肆、建議事項

1. 德國 Nabertherm 公司在高溫設備製作位於世界領先地位，並具有優異的溫場檢測與調整的能力。本院執行科專案，推廣氮化鋁陶瓷基板技術與其應用，應當建立該項技術能量，方可協助國內廠商進行製程改善，以提升國內產業技術。
2. 高溫燒結製程中牽涉許多複雜的熱傳、質傳與化學反應的現象，建立數值模擬機制將可有效輔助實驗開發與降低研發的人力時間與財物力投入。本院可朝向建立數值模擬，以輔助高溫燒結製程建立有效率的試驗回饋機制，此將有助於協助相關產業在技術升級上降低障礙。
3. 德國在開發高導熱絕緣陶磁基板與高溫燒結爐設備是以結合研究機構及大學學術界，共同配合業者作開發。本院亦可參考此作法，作為推廣氮化鋁陶瓷基板技術與其應用，以完整技術提供模式向相關產業推廣共同投入研發。