

科技部工程司產學合作計畫研究優良成果

計畫名稱：抗離子遷移銀合金鉲線開發

計畫編號：MOST 106-2622-E-002-010-CC2

計畫執行單位：國立台灣大學

計畫主持人：莊東漢

計畫參與人員：蔡幸樺、林彥成、蔡志欣

合作企業：樂金股份有限公司

一、計畫價值與挑戰

IC 及 LED 晶片為了傳輸訊號與電力，必須藉助內連線(Interconnection)對外聯結，打線接合(Wire bonding)是最傳統也是目前仍然使用最廣泛的內連線技術，然而從美國貝爾實驗室 1957 年發明打線接合技術以來，電子產業均使用昂貴的金線作為高階 IC 及 LED 封裝打線材料，近年來由於金價高漲，業界開始使用銅線或鍍鈀銅線，然而銅的高硬度很容易造成晶片破裂，銅的氧化性亦會導致可靠度問題；台大與樂金公司(Wire Technology Co., WT)研發團隊首創銀合金線，並積極推廣至半導體產業市場(圖一)。此一封裝打線新材料獲得中華民國 I384082、日本 5670412、德國 DE102013000057A1、美國 US 8940403、韓國 10-1328863、中國 ZL1670992 等 6 國發明專利 (Alloy Wire and Methods for Manufacturing The Same)及發表 16 篇 SCI 期刊論文，更獲得 2013 年國家發明獎、2013 年經濟部產業創新成果獎、入圍 2015 年全球百大科技獎。此創新銀合金線價格只有傳統金線的 20%以下，性能卻與金線相近，打線作業性更優於銅線(詳見圖二：2013 年矽品公司法說會林文伯董事長對外發布訊息)，目前已成為 IC 及 LED 封裝市場主流，單就矽品公司的使用需求，樂金公司(WT)目前每年供應矽品公司銀合金線約 30 萬公里，銷售額約 1.5 億元，其他台灣、大陸及東南亞各大 IC 及 LED 封裝廠亦均為樂金公司客戶。

實際上，台大與樂金公司在推廣銀合金線封裝的初期，一直受到一個很大挑戰，即是：電子產業在 1980 年代混成電路燒結銀導線所遭遇的銀離子遷移(Ag ion migration)問題，在「一朝被蛇咬，三十年怕草繩」的心態下，客戶不斷質疑此一銀離子遷移的顧慮，在科技部開發型產學合作計畫「抗離子遷移銀合金鉲線開發」的支持，與樂金公司配合款、先期技轉金(45 萬元)及產線人員積極配合下，台大與樂金研發團隊針對銀合金線的離子遷移問題展開學理探討與技術應用研究(圖三)，獲得許多具體成果，並將這些研發結果主動對客戶說明，由於客戶疑慮的消除，更使得樂金公司銀合金線銷售量及銷售額均大幅成長。

二、計畫研發成果及技術創新

本計畫除了在合金設計上，證實銀合金線添加 Pd 可有效降低銀離子遷移，進一步添加 Au 可以更加強離子遷移抑制效應，更開發出添加高表面偏析且具抗蝕功效微量元素的 SW 系列高銀合金線產品及另一添加高表面能且抗氧化微量元素的 SU 系列高銀合金線產品。本計畫更在離子遷移研究領域首度發現：電解液

如果存在 Cl^- 、 Br^- 、 F^- 離子，由於 Cl^- 、 Br^- 、 F^- 離子會與 Ag^+ 離子直接反應形成不可溶的 AgCl 、 AgBr 、 AgF 生成物，覆蓋在銀合金線表面，因而對銀離子遷移產生完全免疫效果。

本計畫更進一步證實：銀離子遷移必須在導線間有足夠水膜才會發生，因此，只要電子產品封膠(Encapsulation)適當，沒有裂縫或脫層，即可避免離子遷移。更有趣的是我們在幾個實驗案例證明了：封裝結構其實還有許多含銀材料組件，例如：引腳架鍍銀、銀膠、化銀鐸墊、背晶鍍銀…，這些含銀封裝組件在封膠不良導致水膜侵入的情況下，同樣會引發銀離子遷移。另外在一些文獻上，我們也發現即使是銅線或金線，在高電壓及水膜存在的條件下，也一樣會發生離子遷移現象。

三、 人才培育、論文著作、獎項與專利等成果

本計畫最為可貴的是：台大參與本計畫研究的兩位博士生蔡志欣與林彥成畢業後，均獲得樂金公司聘任，目前均在樂金公司擔任產線及研發要職(圖四研發團隊右起 2 位為蔡志欣博士與林彥成博士，中間為樂金公司總經理蔡幸樺)。其他亮點包括：本計畫學術成果發表 6 篇 SCI 期刊論文及 4 篇國際會議論文，其中 1 篇更獲選為 IEEE TCPMT 期刊 2016 年度最佳論文獎(圖五)，計畫主持人莊東漢教授也因為銀合金線開發成就(包含本計畫成果)及對金屬產業貢獻，獲得 2018 年「東元獎」。

四、 衍生效益

由於本計畫對樂金公司營運效益的提升，樂金公司隨即再配合科技部支持台大執行 107 年開發型產學合作計畫「銀合金帶材軋延及退火材料特性與晶粒結構研究」(MOST 107-2622-E-002-019-CC2)，並提高先期技轉金為 60 萬元，目前第一年開發成功之銀合金帶材(Ag alloy ribbon)在德國 Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration(IZM)針對英飛凌車用功率 IC 封裝需求，驗證超音波接合後產品材料性能優於 IZM 開發中的銅/鋁雙金屬(Cu/Al clad)，包括：尾部不會翹曲、接合頸部不會有凹痕、不會發生 Cu/Al 界面介金屬脆化等優點，另外模擬分析顯示銀合金帶材有極佳的散熱效果：針對 BMS/SSR 功率模組在 480A 連續運作 150 秒後的溫度僅 79°C，遠低於傳統使用粗鋁線溫度高達 156°C，樂金公司已經在 2019 年台北半導體展 SEMICON 公開此項新產品(圖六)，因應車用高功率 IC 產品封裝需求，樂金公司更於 2018 年 12 月在新竹科學園區新創一家「樂鑫公司(Ag Materials Technology Co., Amtc)」，衍生台大與樂鑫公司(Amtc)在功率元件背晶研磨與背晶金屬化(Backside Grinding Backside Metallization, BGBM)的合作研究通過 2020 竹科研發精進產學計畫，目前在蒸鍍與濺鍍銀奈米孿晶薄膜技術及應用亦已獲得突破(圖七)。

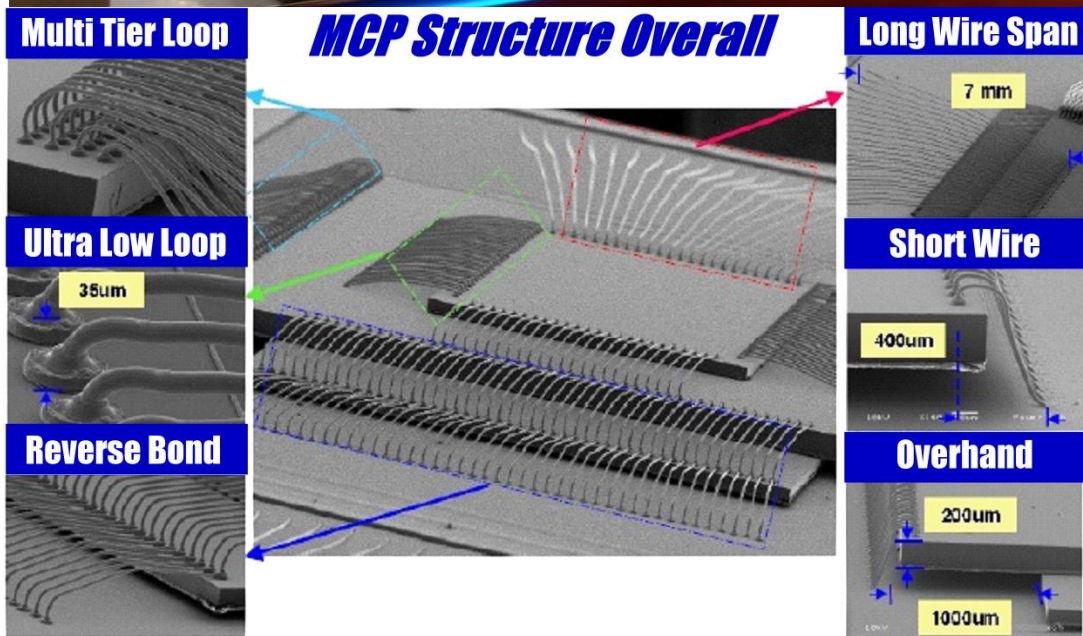
五、 計畫影響

在台大講授「電子構裝技術」近三十年，最大感慨是：台灣不論在 IC 或 LED 產業均居於世界領先地位，但是關鍵材料卻始終掌握在幾個國際大廠，以封裝打線接合材料為例，過去封裝線材完全仰賴進口，近年來雖有國內幾家公司投入傳

統金線或鍍鈀銅線的開發及銷售，但由於難敵日本 TANAKA、韓國 MKE 及 HESSUNG、德國 HERAEUS 等國際大廠，幾乎全軍覆沒；樂金公司(WT)是在 2008 年 12 月才成立，以單一產品「銀合金封裝鐳線」能夠在短短十年內成為國際半導體封裝材料指標供應商，除了歸功於科技部與經濟部(技術處及工業局)對產業研發的支持，更重要因素在於產品競爭及推廣策略的成功：在面對這些國際超級資深大廠的競爭，我們採取的是「迂迴戰術」，不在傳統金線及銅線與這些國際大廠正面對撞，而是從材料創新角度研發一種性能超越傳統金線及銅線的銀合金線，掌握成本及產品應用優勢與國際大廠在市場上對決；另外在行銷方面，我們採取「從鄉村包圍城市」的戰略，先說服許多以價格為優先考量的 IC 及 LED 小廠嘗試使用此新材料，經過兩三年的消費市場考驗與產品可靠度實績，終於獲得封裝大廠矽品公司大量採用，也因此帶動各大 IC 設計與封裝廠相繼導入銀合金線，反而讓那些國際封裝線材大廠爭相跟進，創造台灣之光！

六、 研究生涯感觸

本計畫主持人莊東漢教授(圖八)從德國 Max-Planck 金屬所返國執教，始終堅持大學工科教授必須學術與應用兼顧的理念，迄今發表 193 篇 SCI 期刊論文及獲得 96 件發明專利與科技部技術移轉傑出貢獻獎，全國唯一兼得中山學術獎與中山技術發明獎；更關懷國內產業發展，長期協助經濟部工業局與技術處業界研發計畫與政策推動，擔任經濟部專業人員中心「材料破損分析及對策研討班」輔導長 30 年，培訓國營事業材料保固工程師超過 2000 人，2014 年高雄氣爆事件後，受邀擔任「高雄市既有工業管線管理技術委員會」委員，至今仍持續協助高雄市政府監督 14 家石化公司 78 條管線維運。研究生涯最感痛心的是國內的仿冒風氣，以我們投入無數心血研發成功的銀合金線成果為例，在費盡苦心打入封裝市場後，立刻出現山寨版商品，學界更有教授助長侵權，甚至無視科技部審查的迴避誠信，幸好我們的努力仍得到外界許多肯定與回饋，榮獲 R & D 100 全球百大科技獎(圖九)、侯金堆傑出獎及東元獎等民間機構大獎。



圖一 樂金公司(WT)銀合金線在高階封裝產品應用

台封測廠產能大戰全面停火 日月光鎖定28奈米 矽品改拚銀打線

李洵穎、洪綺君／台北

台系封測大廠日月光及矽品30日在法說會上不約而同地表示，將停止擴充銅打線封裝產能，2家封測廠除致力於拉高既有銅打線封裝產能利用率及營收佔比，日月光表態2013年首季資本支出中並沒有擴增打線機台計畫，矽品則是在銅打線轉換告一段落後，將改拚銀打線製程，以提振毛利率。

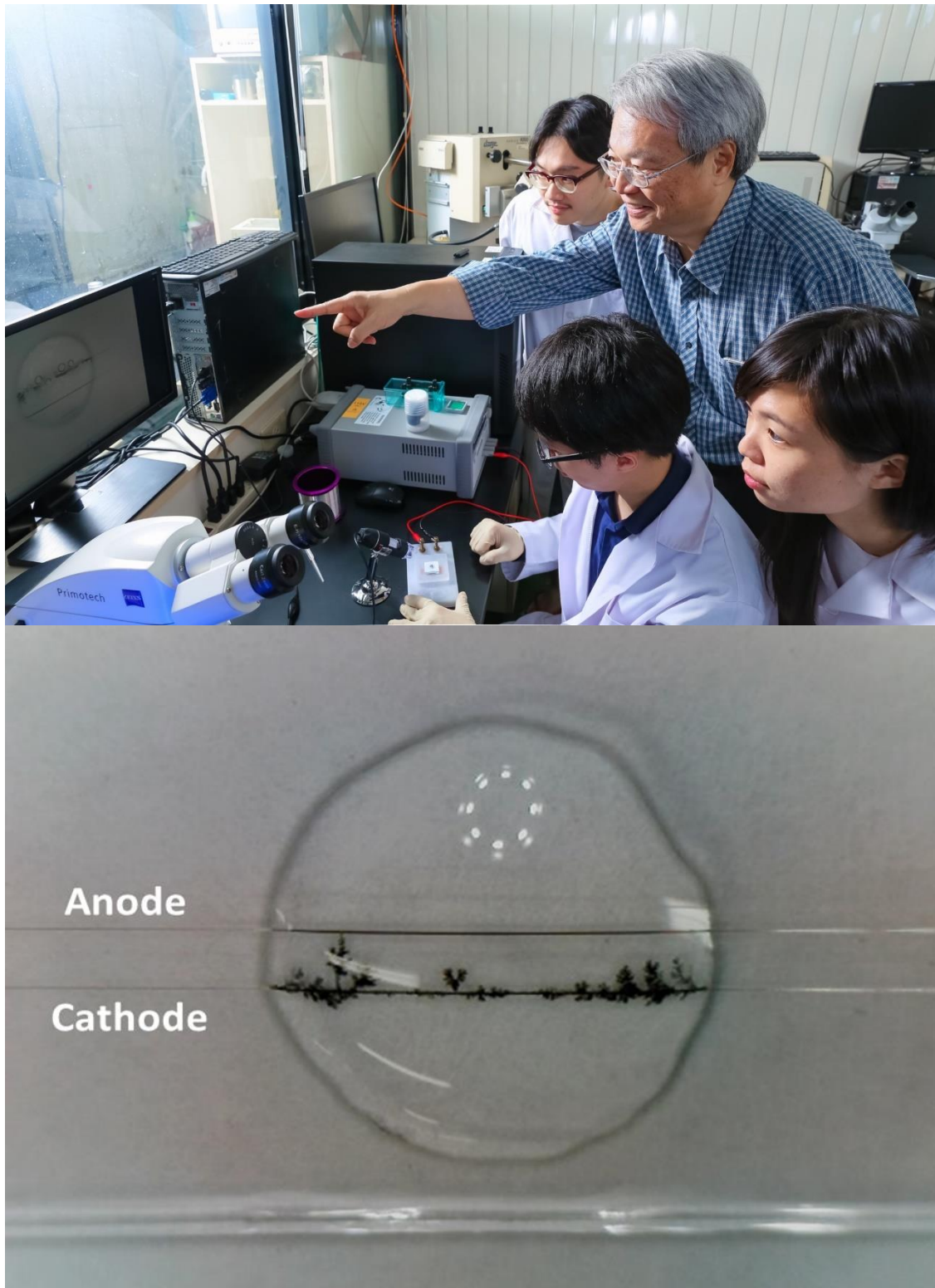
銅打線封裝製程已存在10餘年，直到2008年開始獲得半導體廠青睞，就專業封測委外廠而言，日月光率先於2009年大舉切入，當時客戶端對於銅打線製程甚為滿意，遂積極採用，而日月光在銅打線封裝業務亦展現亮麗成績。至於矽品則自

以降低總體成本。

矽品董事長林文伯表示，以目前在大陸蘇州廠狀況來看，銀打線及銅打線佔整體打線營收比重已逾90%，而銀打線製程因相對於金打線製程有低價優勢，卻具有與金打線相仿的高品質，在斷線率表現上則優於銅打線，可增加整體機台作業效率，加上大部分應用都可採用銀打線，使得大陸客戶對於銀打線接受度相當不錯。

矽品2013年除將持續拉高銅打線比重，首季比重上看65%，並持續往70~80%挑戰。同時矽品將向台灣客戶積極推展銀打線製程，希望在面臨殺價競爭及銅打線發展將到頂狀況下，仍能持續穩住毛利率。

圖二 樂金公司(WT)首創銀合金線產品進入半導體封裝市場(2013年矽品公司法說會媒體報導)



圖三 台大/樂金產學合作計畫投入抗離子遷移銀合金線研究



圖四 台大/樂金研發團隊與本次產學合作計畫成果獎牌合影(背景為樂金公司歷年獲得多國發明專利)



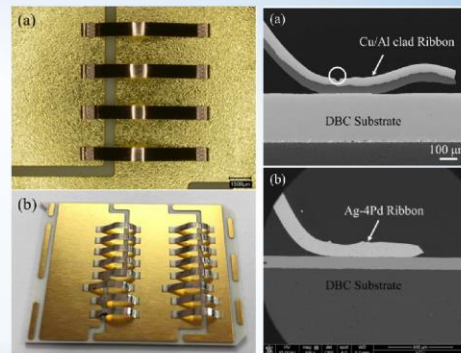
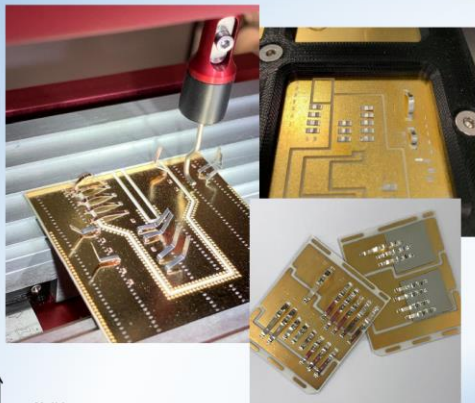
圖五 本研究之學術成果獲得 IEEE TCPMT 期刊 2016 年度最佳論文獎



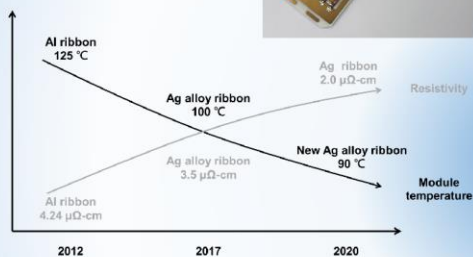
台大/樂金產學合作 NTU/Wire Technology CO., LTD



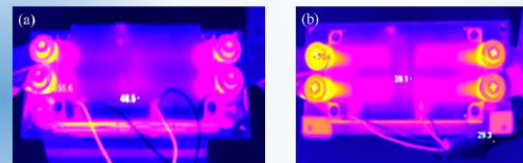
高功率IC封裝用銀合金帶材 Ag alloy ribbon for high power IC packaging



(a) 100 μm Cu/Al clad ribbon 超音波焊接於NiPdAu DBC基板
(b) 100 μm Ag-4Pd ribbon 超音波焊接於NiPdAu DBC基板



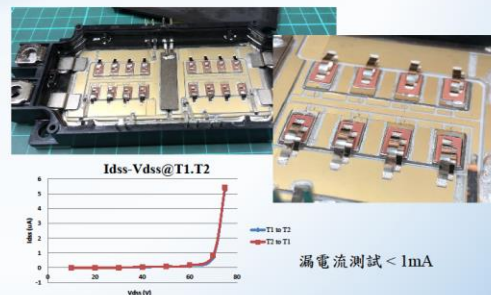
銀合金帶材與傳統鋁線與鋁帶的電阻率及其在電池管理模組操作時的溫度比較



帶材表面積是粗線材的2倍以上，可以發揮更好的散熱效果，模擬分析顯示在480 A連續運作150秒後，(a)傳統粗鋁線連接BMS/SSR功率模組最高溫達156 $^{\circ}\text{C}$ ；使用(b)銀合金帶材連接最高溫79 $^{\circ}\text{C}$ 。

帶材對應線材使用數

Ag alloy ribbon	100	150	200	250	300
1000 μm x 50 μm	6.4	2.8	1.6	1.0	
1500 μm x 50 μm	9.6	4.2	2.4	1.5	1.1
1000 μm x 100 μm	12.7	5.7	3.2	2.0	1.4
1500 μm x 100 μm	19.1	8.5	4.8	3.1	2.1
1500 μm x 150 μm	28.7	12.7	7.2	4.6	3.2



技術資料

Properties						
Width (μm)			1000		1500	
Thickness (μm)	50	100	150	50	100	150
Materials			99% Silver			
Melting Point ($^{\circ}\text{C}$)			965			
Elongation (%)	> 20	> 20	> 20	> 30	> 30	> 30
Resistivity (μ)			2.0			
Fusing Current (A)	6	11	18	8	18	25

圖六 本計畫衍生樂金公司(WT)新產學計畫開發成功銀合金帶材產品



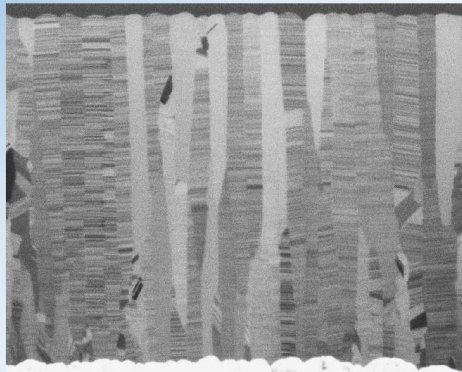
台大/樂鑫產學合作

NTU/Ag materials technology co.



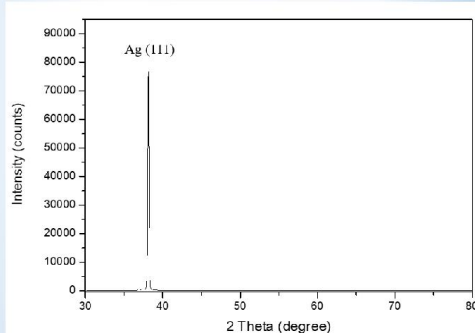
背晶研磨與金屬化之奈米孿晶薄膜

Ag nanotwin film for BGBM

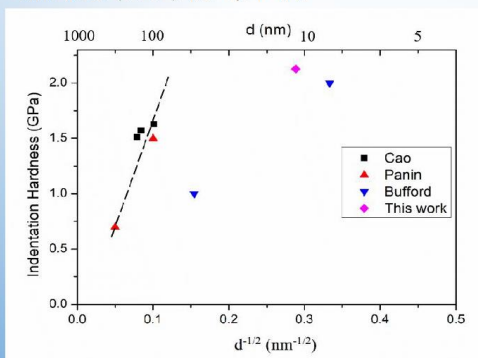


SIM 30.0 (kV) x14K 1.5 (μm)

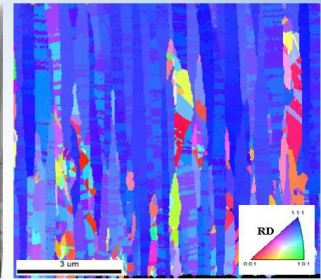
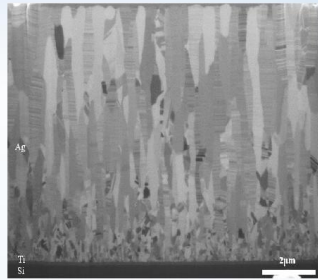
濺鍍銀奈米孿晶薄膜之FIB影像



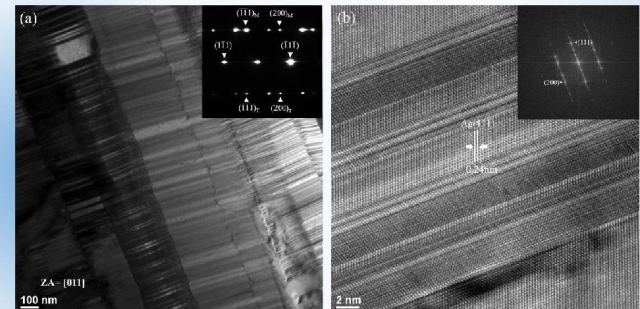
XRD分析顯示此銀奈米孿晶薄膜呈現高度(111)優選取向



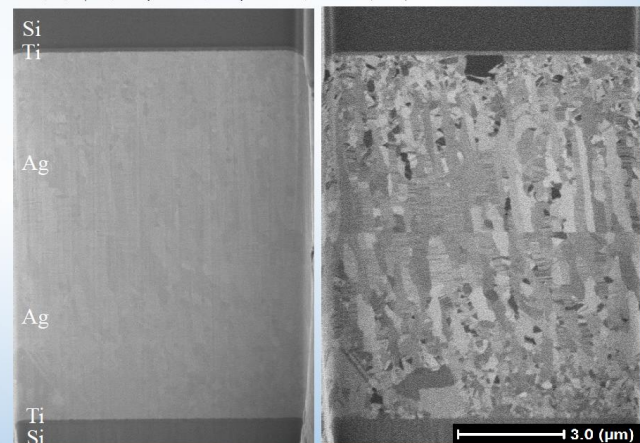
奈米壓痕測試薄膜硬度顯示偏離Hall-Petch 關係式(本實驗濺鍍銀薄膜由於含高密度奈米孿晶，量測強度高於文獻報導)



Ti晶格緩衝層改善磊晶界面之銀奈米孿晶薄膜FIB影像及EBSD分析顯示高度(111)優選方位

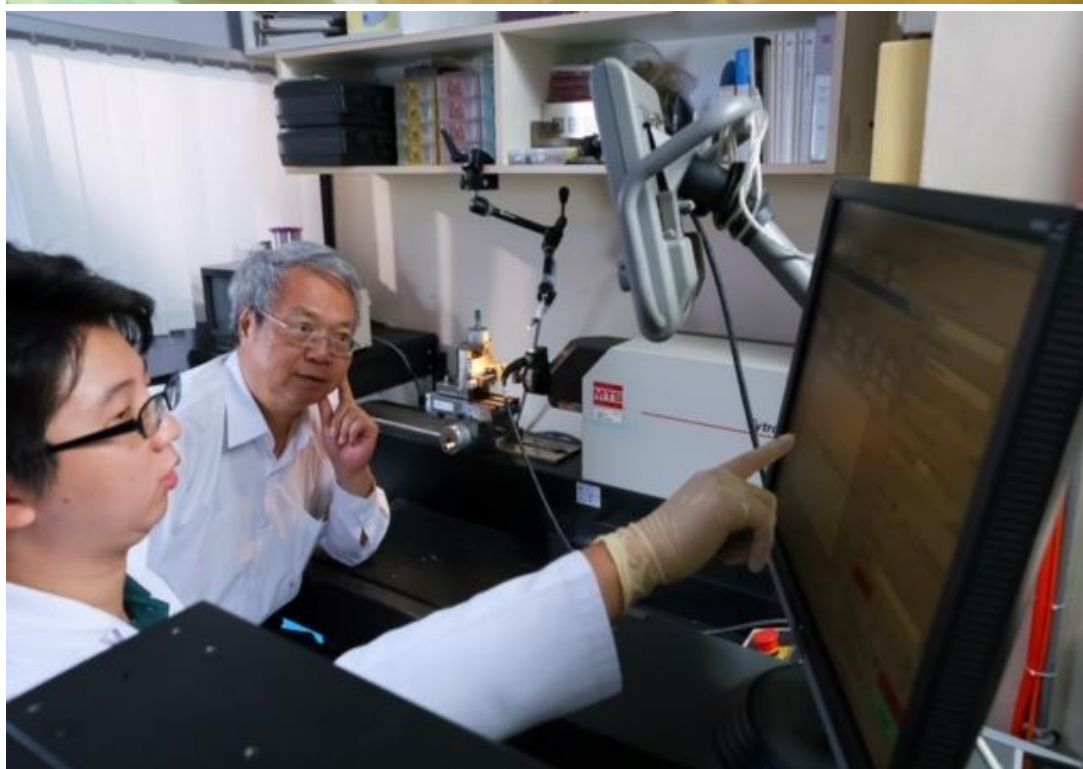


TEM 明場像及選區繞射顯示(111)平面鏡面對稱之高密度孿晶結構，高解析HRTEM 可觀察到基底與帶狀孿晶和孿晶界之排列

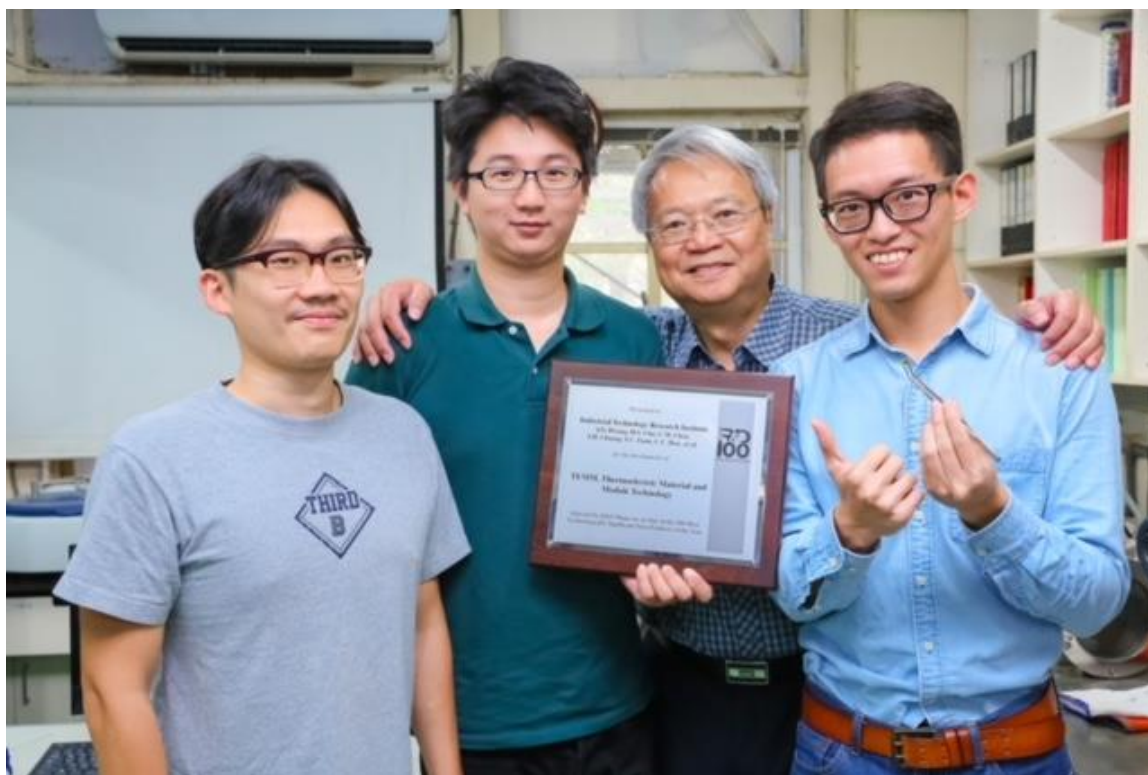


銀奈米孿晶結構之高度擴散速率有利於低溫直接接合，可應用於功率IC及3D-IC封裝(150°C 40MPa 60分鐘壓接界面無空孔)

圖七 本計畫衍生新創公司樂鑫(Amtc)支持台大共同獲得 2020 竹科研發精進產學合作計畫「功率元件背晶研磨背晶金屬化(BGBM)」



圖八 計畫主持人莊東漢教授指導學生進行 Tytron 250 微小負荷試驗
機用於電子產品可靠度快速壽命評估研究



圖九 熱電材料研究成果獲全球百大科技獎 (R & D 100)