

B.教育部補助大專校院延攬國際頂尖人才執行績效報告

一、基本資料

計畫核定年度	108 年		
報告年度	108 年		
學校名稱及聘任系所	國立交通大學 國際半導體產業學院	學門領域	工 程
玉山學者姓名	杜經寧	職 稱	約聘教授
聘任方式	<input checked="" type="checkbox"/> 玉山學者 <input checked="" type="checkbox"/> 專任教師(含編制內專任教師及編制外專案教師) <input type="checkbox"/> 短期交流 <input type="checkbox"/> 玉山青年學者		
經費執行期間	108 年 4 月 1 日 至 109 年 3 月 31 日		
聯絡人	單位：材料系 職稱及姓名：計畫助理 李佳容 聯絡電話：03-5712121#55334 傳 真： 電子信箱：ianmyson@g2.nctu.edu.tw		

二、執行情形

(一)玉山學者工作項目及內容(如教學工作或研究計畫等)

一、2019 受邀演講:

1. 8/23 赴中技社演講，講題「5G 科技和 AI 應用」
2. 10/9 在香港城市大學 Institute of Advanced Study, 主講「5G 科技和 AI 應用」
3. 11/16(六) 赴成大擔任 108 年中國材料科學學會年會暨第五屆成材產業論壇「人工智慧與產業發展」講員，講題「5G 科技和 AI 應用」
4. 11/30(六) 交大工六館材料系優貝克廳專題演講:「Reliability of 3D IC」

二、2019-2020 教學工作:

杜院士參與國際半導體學院課程，教授” Advanced Electronic Materials Science & Engineering”。主題如下:

1. Atomic structures, chemical bonds, pair potential function, and crystal structures
2. Defects in crystals, tilt-type, twist-type, and misfit dislocations, epitaxial growth, elastic and plastic deformation
3. Diffusion in solids, Fick’ s 1 st and 2 nd laws, Kirkendall effect in interdiffusion in metals and nanoscale materials
4. Interconnect reliability failures due to electromigration, thermomigration, and stress-migration. Low power Joule heating

(二)玉山學者團隊合作情形(請敘明團隊成員及合作方式)

1. 杜經寧教授與材料系陳智教授主領研究團隊，包括行政助理李佳容、研究助理吳漢聲以及碩士班學生李鴻宣、謝昌志和鄭祥等。每週召開一次小組會議，討論實驗進度以及對相關研究發表的討論。此外，還有兩名外部團隊成員：一位是新竹閎康公司總裁謝詠芬博士。她提供了高分辨率的 X 射線斷層掃描，以檢查 3D IC 晶片在電遷移或熱循環導致故障之前和之後的結構變化。另一位是烏克蘭切爾卡瑟國立大學理論物理系的 A. M. Gusak 教授。他於 2019 年 11 月在國立交通大學工作了兩週，與我們一起針對 3D IC 晶片中的平均失效時間 (MTTF) 進行理論分析。
2. 杜院士也共同帶領智慧半導體奈米系統技術研究中心的子計畫四，主題為: Low resistance Cu interconnects and Cu contact bumps，本子計畫共有六位教

授，包含材料系陳智主任、呂志鵬教授、吳耀銓教授、吳文偉教授、黃爾文副教授以及羅友杰助理教授。杜教授在中心的貢獻是制定子計畫的方向，討論實驗結果以及論文撰寫與修改。幫助提升交通大學在半導體材料的整體研究能量與水準。

3. 杜院士專精於金屬薄膜領域的研究，曾發表著作” Electronic Thin Film Reliability”。金屬薄膜廣泛用於電子產品。隨著電子設備的小型化趨勢進入奈米級尺度，薄膜的可靠性日益受到關注。杜院士主持奈米雙晶銅薄膜應力量測應用於扇外型封裝之計畫，其中參與的教授為交大材料系陳智教授以及呂志鵬教授，陳智教授團隊包含兩名博士生，負責研發奈米雙晶銅薄膜製程，呂志鵬教授團隊包含三名碩士生，負責量測奈米雙晶銅薄膜在不同溫度的應力表現。此計畫參與人員於每個月一次的月會，學生進行成果的口頭報告，與杜院士、陳教授、呂教授進行學術意見交流。此計畫專注於以銀、鈷，鈦金屬覆蓋在奈米雙晶銅薄膜，去觀察不同金屬薄膜與奈米雙晶銅薄膜間的相互作用，將會在薄膜互相作用的機制有更多的著墨，相信在杜院士、陳教授以及呂教授的帶領下，能夠對電子產品的可靠度有顯著的提升。
4. 杜院士也主導 Lam Reach 科林研發計畫之 AI 影像辨識預測及發展機器學習。參與人員包括陳智教授、羅友杰教授，國家網路中心研究員陳南佑博士，陳智教授實驗室博士研究生謝凱程、徐伯寧，以及國立清華大學大學生林冠廷，協助單位為閎康科技股份有限公司(MA-TEK)。本計畫透過閎康科技股份有限公司(MA-TEK)提供 3D X-Ray (型號為 ZEISS Xradia 620 Versa)非破壞性掃描影像數據，再由杜院士團隊完成實驗與數據統合、應用的 AI 影像辨識技術，在完成 3D 封裝製程後之可靠度測試實驗後，更進一步透過 AI 辨識提升至元件焊點疲壽命勞預測(fatigue life time)。
5. 杜經寧院士帶領陳智教授實驗室團隊取得重要突破(將奈米雙晶銅延伸率穩定提升至 20% 以上)後，便擴大研究團隊，加入吳文偉教授、鄒年棣教授、羅友傑教授，而學生成員則有陳智教授實驗室的博士生李昱瑾、吳文偉教授實驗室的博士生丁一心、鄒年棣教授實驗室的研究生許家維。陳智教授負責整合實驗結果，其中部分實驗結果由吳文偉教授團隊協助取得。鄒年棣教授、羅友傑教授團隊負責將實驗條件引入分子動力學模型中進行模擬。在本研究之初，實驗端對於現象並不能完整、有系統的解釋其機制。而在杜教授的帶領下，實驗團隊在每周固定進行一次文獻回顧與一次進度報告，期間研究團隊逐漸將機制的輪廓描繪出來。計畫開始第一個月，實驗團隊採納杜院士的建議設計出系統化的實驗步驟確保實驗結果能穩定產出；得到穩定結果後，便展開建結果的蒐集。杜院士每周皆與團隊開會，

指導研究方向、建議改良製程、討論模擬與實驗端的連結並將實驗的結果結合理論來闡述。

團隊也迅速整合實驗結果和相關參考文獻，開始著手論文的撰寫。電鍍銅一直是電子工業界最重要的技術之一。從電子封裝技術、石墨烯等二維材料的沉積，一直到近年來研究趨於鼎盛的鋰電池中都會用到電鍍銅，且對於銅膜的機械性質與熱穩定性特別要求。為了因應這些要求，本團隊成功改良柱狀奈米雙晶銅的延伸率(>30%) 也將研究內容投稿至 Materials1，並獲發表。

三、績效說明

計畫執行期間，共發表 8 篇論文，提高交大在學術界的能見度：

1. A M. Gusak, K. N. Tu, and Chih Chen, “Extremely rapid grain growth in scallop-type Cu₆Sn₅ during solid-liquid interdiffusion reactions in micro-bump solder joints,” Script Mat., 179, 45-48 (2020).
2. Yu-Jin Li, K. N. Tu, and Chih Chen, “Tensile properties and thermal stability of uni-directionally <111>-oriented nanotwinned and <110>-oriented micro-twinned copper,” Materials, 13, 1211 (2020).
3. K. N. Tu and A. M. Gusak “A unified model of mean-time-to-failure for electromigration, thermomigration, and stress-migration based on entropy production,” Journal of Applied Physics 126, 075109 (2019).
4. E-Wen Huang*, Hung-Sheng Chou, K. N. Tu, Wei-Song Hung, Tu-Ngoc Lam, Che-Wei Tsai, Ching-Yu Chiang, Bi-Hsuan Lin, An-Chou Yeh, Shan-Hsiu Chang, Yao-Jen Chang, Jun-Jie Yang, Xiao-Yun Li, Ching-Shun Ku, Ke An, Yuan-Wei Chang, Yu-Lun Jao, “Element Effects on High-Entropy Alloy Vacancy and Heterogeneous Lattice Distortion Subjected to Quasi-equilibrium Heating” , Scientific Reports, 9 (1), Article number: 14788 (2019).
5. Ju Wang, Ching-Shun Ku, Tu-Ngoc Lam, E-Wen Huang, K. N. Tu, and Chih Chen, “Tuning stress in Cu thin film by developing highly (111) – oriented nanotwinned structure,” J. of Electronic Materials, 49, 109-115 (2019).
6. Jing Ye Juang, Kai Cheng Shie, Po-Ning Hsu, Yu Jin Li, K. N. Tu, and Chih Chen, “Low-resistance and high-strength Cu direct bonding in no-vacuum ambient using highly (111)-oriented nano-twinned Cu,” Proceedings of IEEE 69th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 642-647

(2019).

7. Jing-Ye Juang, Kai Cheng Shie, Yu Jin Li, K. N. Tu, and Chih Chen, “Low resistance and high reliability Cu-to-Cu joints using highly (111) oriented nano-twinned Cu.” International Conference on Electronic Packaging Proceedings (2019).
8. Yu-Jin Li, K. N. Tu, and Chih Chen, “Tensile Properties of <111>-Oriented Nanotwinned Cu with Different Columnar Grain Structures” Materials 2020, 13, 1310

(一) 目前仍有 7 篇論文已完成初稿，正待投稿之期刊審查中：

1. Wei-Lan Chiu, Chien-Min Liu, Han-wen Lin, John A. Wu, Y.-C. Chou, K. N. Tu and Chih Chen, “Fabrication and characteristics of nanocrystalline highly [110]-oriented nanotwinned Au films”
2. A.M. Gusak, Kuan-Ju Chen, K. N. Tu, and Chih Chen, “Uni-modal abnormal grain growth in (111) oriented and nano-twinned copper”
3. Yu-Jin Li, Chia-Wei Hsu, Yi-Hsin Ting, Nien-Ti Tsou, Yu-Chieh Lo, Wen-Wei Wu, K. N. Tu, Chih Chen, “Deformation Induced Columnar Grain Rotation in Nanotwinned Metals”
4. Chih-Han Tseng, I-Hsin Tseng, K.N. Tu, Chih Chen, “Kinetic Study of Abnormal Grain Growth under Different Thickness of Nanotwinned Copper Thin Films”
5. Jing-Ye Juanga, Kai Cheng Shie a, Yu Jin Li a, K. N. Tu^{a,b} and Chih Chena,” Low resistance and high electromigration lifetime of Cu-to-Cu joints using (111)-oriented nanotwinned copper”
6. Jing-Ye Juanga, Chia-Ling Lua, Yu-Jin Lia, Po-Ning Hsua, Nien-Ti Tsoua, K. N. Tu^{a,b}, and Chih Chena, “A solid state process to obtain high mechanical strength in Cu-to-Cu joints by surface creep of (111)-oriented nanotwins”
7. K. C. Shie, A.N. Gusak, K. N. Tu and Chih Chen, “Kinetic model of copper direct bonding under thermal compression”

(二) 主導並參與研究計畫，投身當前熱門 5G-AI 研究領域，為交大開創新局：

1. 智慧半導體奈米系統技術研究中心：擔任「低阻抗之銅內連線與銅凸塊接觸 (Low-Resistance Cu Interconnects and Contact Bumps)」計畫 Co-PI。107-108

年計畫經費達 650 萬元。

2. 新世代功能性物質研究中心: 擔任「二維半導體技術開發」計畫 Co-PI。107-108 年計畫經費達 96 萬元。
3. 擔任科林研發(Lam Research)「Designing AI tools for 3D x-ray void detection in packaging microbumps due to reflow and electromigration」計畫 Co-PI。計畫經費達 77 萬元。

(三) 透過每週進度會議討論、論文撰寫指導，為交大培育碩/博士生，成為產、學、研新秀:

1. 呂佳凌/材料系博士畢，目前就職於台積電
2. 曾志翰/材料系博士畢，目前就職於台積電
3. 莊敬業/材料系博士畢，目前就職於台積電
4. 吳漢聲/材料系碩士畢，近日已獲美國普渡大學接受，將於下學期進入材料工程系就讀博士班

Invited talk 相關照片：



赴中技社演講，講題「5G 科技和 AI 應用」



受邀擔任第五屆成材產業論壇「人工智慧與產業發展」講員