

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 | 109 年 | | |
| 學校名稱及聘任系所 | 國立陽明交通大學 國際半導體產業學院 | 學門領域 | 工學 |
| 玉山(青年)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 | 109 年 4 月 1 日 至 110 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(青年)學者工作項目及內容(如教學工作或研究計畫等)

1. 進行針對鉅錫接點可靠度與形貌變化之觀察之計劃
2. 帶領智慧半導體奈米系統技術研究中心之「低阻抗之銅內連線與銅凸塊接觸(Low-Resistance Cu Interconnects and Contact Bumps)」計畫，與團隊六位教授針對目前工業界仍無法突破 30 nm 以下線寬的大晶粒的有效方法，採用奈米雙晶銅膜退火後的異方向性異常晶粒成長現象，進行研究試圖解決此問題。
3. 帶領團隊與烏克蘭切爾卡瑟國立大學理論物理系的 A. M. Gusak 教授進行分析研究
4. 參與新世代功能性物質研究中心之「二維半導體技術開發」計畫 Co PI
5. 每周定期與各團隊開會討論實驗進度，並協助學生論文之撰寫與修改
6. 參與國際半導體產業學院和材料系會議，提供國際觀視野之決策和做法。

(二)玉山學者團隊合作情形(請敘明團隊成員及合作方式)(玉山青年學者免填)

1. 從 4 月初開始，進行針對鉅錫接點可靠度與形貌變化之觀察之計劃(簡稱 AI 計畫)，由美商科林研發主導，計劃主持人為杜經寧院士。原先草創研究團隊只有寥寥數人，但在杜經寧院士四處奔走努力下，才能不斷壯大團隊的規模，目前已聯合材料系陳智主任、材料系羅友杰教授以及國家網路中心副研究員陳南佑博士，以及儀器分析團隊－閎康科技公司 3D 研發部門共同進行。目前 AI 計畫第一階段目標已完成，使用人工智慧機器深度學習，配合 3D X-ray 的影像，已經能夠從起初的影像，預測鉅錫接點將來會不會有破壞發生，準確率目前達 88%，成果很好。一般醫學人工智慧+X-ray 影像是幫忙醫生判斷是否有癌症，但我們這個論文能預測將來會不會有破壞，很有機會能幫助台灣半導體產業提升製造與分析技術，目前正在撰寫論文中，Title 是 Failure Prediction of Microelectronic Interconnects by Artificial Intelligence Deep Learning using 3D X-ray Imaging，預計近日將完成修改，並預計投稿到 Science。
2. 杜經寧教授與材料系陳智教授主領研究團隊，包括博後和研究生等。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。並與烏克蘭切爾卡瑟國立大學理論物理系的 A. M. Gusak 教授密切配合。一起針對 3D IC 晶片中的平均失效時間 (MTTF) 進行理論分析，也探討介觀及奈米尺度物理實驗課題和相關學術研究。Prof. Gusak 對材料基本性質，例如晶粒成長、導電等性質能發展出一套理論，來解釋實驗現象。實驗團隊請其

從基本的 30 nm 寬的 damascene 銅線退火後的晶粒成長與其電阻關係提出一個理論，來解釋我們的實驗現象。此現象在半導體 3 奈米製程時，非常重要，將於產業界對下世代元件的元件互連技術開展一個新的領域。

3. 杜院士也和陳智教授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。幫助提升陽明交通大學在半導體材料的整體研究能量與水準。

(三)績效說明(請說明達到量化或質化之具體成果與績效、對學校發展之具體助益等)

1. 質化亮點：

- (1) 109.12.5 於工學院在職專班 seminar 演講:「3D IC 封裝」，近 50 位與會者為業界相關領域半導體主管和工程師。
- (2) 與陽明交通大電子工程學系陳宏明所長、陽明交通大材料系陳智主任共同撰寫書籍: "Electronic Packaging Science and Engineering" 預計 2021 年初由 Wiley 出版

2. 已發表 15 篇期刊論文：

- (1) Kai Cheng Shie, Jing-Ye Juang, and Chih Chen, Instant Cu-to-Cu direct bonding enabled by $\langle 111 \rangle$ -oriented nanotwinned Cu bumps, Japanese Journal of Applied Physics 59, SBBA03 (2020)
- (2) Y.T. Wu and Chih Chen, Low Temperature Cu-to-Cu Bonding in Non-vacuum Atmosphere with Thin Gold Capping on Highly (111) Oriented Nanotwinned Copper, Journal of Electronic Materials, 49(1), 13-17, 2020
<https://doi.org/10.1007/s11664-019-07724-3>
- (3) I.J. Wang, C.S. Ku, T.N. Lam, E.W. Huang, K.N. Tu, and Chih Chen*, Tuning Stress in Cu Thin Films by Developing Highly (111)-Oriented Nanotwinned Structure, Journal of Electronic Materials, 49(1), 109-115, 2020.
<https://doi.org/10.1007/s11664-019-07742-1>
- (4) Tien-Lin Lu, Yu-An Shen, John A. Wu and Chih Chen*, Anisotropic Grain Growth in (111) Nanotwinned Cu Films by DC Electrodeposition, Materials 13, 134 (2020).
- (5) A.M. Gusak, K.N. Tu, Chih Chen, Extremely rapid grain growth in

- scallop-type Cu 6 Sn 5 during solid – liquid interdiffusion reactions in micro-bump solder joints, *Scripta Materialia* 179 (2020) 45 – 48.
- (6) Tien-Lin Lu, John A. Wu, and Chih Chen*, Fabrication and Characterization of $\langle 100 \rangle$ -Oriented Quasi-single Crystalline Cu Lines, *Crystal Growth & Design*. 2020, 20, 1485-1490.
 - (7) Yu-Jin Li, King-Ning Tu and Chih Chen, Tensile Properties and Thermal Stability of Unidirectionally $\langle 111 \rangle$ -Oriented Nanotwinned and $\langle 110 \rangle$ -Oriented Microtwinning Copper, *Materials* 2020, 13, 1211; doi:10.3390/ma13051211.
 - (8) Yu-Jin Li, King-Ning Tu and Chih Chen, Tensile Properties of $\langle 111 \rangle$ -Oriented Nanotwinned Cu with Different Columnar Grain Structures, *Materials* 2020, 13, 1310; doi:10.3390/ma13061310.
 - (9) Kuan-Ju Chen, Jui-Yuan Chen, Yi-Hsin Ting, Wen-Wei Wu, Chih Chen*, Ultra-high annealing twin density in $\langle 211 \rangle$ -oriented Cu films, *Scripta Materialia*, 184, 46-51 (2020).
 - (10) Kuan-Ju Chen, John A. Wu, Chih Chen*, Effect of reverse currents during electroplating on the $\langle 111 \rangle$ -oriented and nanotwinned columnar grain growth of copper films, *Crystal Growth & Design*. 2020, 20, 6, 3834 – 3841.
 - (11) Chih-Han Tsen, I-Hsin Tseng, Yu-Pei Huang, Yun-Ting Hsu, Jihperng Leu, K. N. Tu and Chih Chen, Kinetic Study of Grain Growth in highly (111)-preferred Nanotwinned Copper Films, *Materials Characterization*, 168 (2020) 110545.
 - (12) 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. *Materials Science & Engineering A*, 797 (2020) 140045.
 - (13) 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 highly $\langle 110 \rangle$ -oriented nanotwinned Au films, *Scientific Reports* 10:16566 (2020).
 - (14) I-Hsin Tseng, Yun-Ting Hsu, Jihperng Leu, K. N. Tu and Chih Chen, Effect of thermal stress on anisotropic grain growth in nano-twinning and un-twinning copper films, under review in *Acta Materialia*.
 - (15) Hsiang-Yuan Cheng, Dinh-Phuc Tran, K. N. Tu, and Chih Chen, Effect of Deposition Temperature on Mechanical Properties of Nanotwinned Cu Fabricated by Rotary Electroplating, under review in *Acta Materialia*.

3. 二篇投稿中、1 篇預計投稿之期刊論文

有二篇已投到 Acta Materialia (在冶金領域 ranking 1%)

(1) 三月中剛獲接受，並已發表: Effect of thermal stress on anisotropic grain growth in nano-twinned and un-twinned copper films

(2) Effect of Deposition Temperature on Mechanical Properties of nanotwinned Cu Fabricated by Rotary Electroplating

4. 第 3 篇正積極籌備中，預計投稿到頂級國際期刊: Science Failure Prediction of Microelectronic Interconnects by Artificial Intelligence Deep Learning using 3D X-ray Imaging

5. 主導並參與研究計畫，投身當前熱門 5G-AI 研究領域，為陽明交通大學開創新局

(1) 與材料系陳助教授共同領導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。109 年計畫經費達 300 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。109 年計畫經費達 45 萬元。

6. 擔任 7 碩、2 博士生畢業論文指導和口委

a. 109 年 10 月

工學院半導體碩士專班，李岱融: 「30 維米鉍錫微凸塊錫晶粒方向對於電遷移早期破壞之影響」

工學院半導體碩士專班，林子文: 「利用 3D X-ray 顯微鏡觀察鉍錫微凸塊的電遷移議題研究」

材料系碩士班，劉軒豪: 「鈷鈍化曾對奈米雙晶銅膜的應力鬆弛影響、機制與活化能力之研究」

b. 109 年 8 月

材料系碩士班，鄭祥原: 「利用旋轉電鍍製備高強度奈米雙晶銅箔之研究」

材料系碩士班，謝昌志: 「 $\langle 111 \rangle$ 奈米雙晶銅在低溫消除銅銅接合介面之研究」

材料系碩士班，李鴻宣: 「利用高度 $\langle 111 \rangle$ 優選方向奈米雙晶結構提升銅導線於扇出式機緣及封裝的電遷移壽命」

c. 109 年 7 月

工學院半導體碩士專班，涂峻瑋: 「利用高度 $\langle 111 \rangle$ 優選方向奈米雙晶結構提升

銅導線於扇出式機緣及封裝的電遷移壽命」

材料系博士班，呂天麟:電鍍<111>奈米雙晶銅膜的非等向性晶粒成長及電遷移之研究

材料系博士班，陳冠儒:奈米雙晶銅顯微結構調控和其熱穩定性、電性及機械性質研究