

Journal of Far East University

遠東學報

第三十五卷第三期



VOL. 35 · NO. 3

遠東學報第三十五卷第三期目錄

- | | | |
|--|------------|----------------|
| 超音波震盪對鎢銅複合材料電性質的影響分析 | pp.89~98 | 廖德潭 馮首倫
吳秉昇 |
| 重新思索共和自由概念的問題-從 List 與 Valentini 的邏輯地圖談起 | pp.99~116 | 劉俊麟 |
| 實務問題解決:電腦 485 通訊透過 FPGA 晶片來對 I2C(Inter Integrated Chips)介面控制(初始化與變更) | pp.117~128 | 謝正雄 |

超音波震盪對鎢銅複合材料電性質的影響分析

The Effects of Ultrasonic Vibration on Electrical Properties of W-Cu Composites

廖德潭 遠東科技大學機械工程系教授

馮首倫 遠東科技大學機械工程系研究生

吳秉昇 遠東科技大學機械工程系大學生

摘 要

W/Cu複合材料是將具有高熔點、高強度和低熱膨脹係數的鎢與低熔點和高導電(導熱)的銅，經由粉末冶金技術製成具有特殊性能之合金材料，而後應用於封裝、電接觸及散熱器材料。因為鎢與銅互不相溶，因此常以無電鍍銅方法，於鎢表面鍍上一層銅膜，提高強化相鎢與銅的結合強度，提升鎢銅基複合材料燒結品的電性質，增加應用時的使用壽命。無電鍍銅過程微細粉末常因靜電引力而凝聚成集結團，即使以外力將集結團充分分散成獨立粉體，一旦分散力消失，微細粉體會再重新聚集。因此，微細粉末經無電鍍銅後多為外表包覆著銅膜的大粉團，一旦發生此一現象，則不論此粉團內的個體是否有銅金屬附著，都將導致後續製程上的重大缺陷，進而影響顆粒強化銅基複合材料電性質。本文利用在無電鍍銅製程中加入超音波震盪，將粉末集結團震散並抑止其再度聚集，使銅膜能析鍍於每顆獨立粉體的表面上，利用導電率、接觸電阻、電接點耐久(電弧沖蝕)測試，分析超音波震盪對鎢-銅複合材料電性質的影響。經由研究結果可知，在無電鍍銅活化與增厚過程加入超音波震盪能有效提升鎢銅複合材料的電性質。

關鍵詞：無電鍍銅、超音波震盪、電弧沖蝕

Te-Tan Liao, Professor, Depart. of Mechanical Engineering, Far East University
Shou-Lun Feng, Graduate student, Depart. of Mechanical Engineering, Far East University
Ping-Sheng Wu, Student, Depart. of Mechanical Engineering, Far East University

Abstract

Tungsten has high melting point, excellent high temperature strength and low coefficient of heat expansion. Copper has good electrical (thermal) conductivity and low melting point. W-Cu composite material is fabricated by using powder metallurgy to be provided with special properties, and then widely used in the packaging, electrical contact materials and heat sinks. W-Cu micro-powder mixtures usually have poor sinterability due to the relatively low solubility of W in both solid and liquid Cu. Therefore, in fabricating W-Cu composite materials, an electroless copper plating process is often used to apply a Cu coating to the W particle surface prior to the sintering process. However, micro-powder is often tend to agglomerate during the plating process due to the electrostatic attraction. Even though the agglomeration is separated to an independent powder by external force. When the external force disappeared the micro-powder will be regrouped. Therefore, the micro-powder is a big agglomeration coated a copper film on the surface. When this phenomenon occurs, no matter individual powder of the agglomeration has coated a copper metal, it will lead to the major defect in the follow-up process, and affect the electrical properties of the particle reinforced copper matrix composites. Accordingly, in the current study, ultrasonic vibration is applied in the electroless plating process in order to break up the agglomerations and restrain the powders from gathering again so as to ensure a uniform deposition of the Cu powder on individual W particle. We use the electrical conductivity measurement, contact resistance and dynamic electrode test (arc erosion) to study the effect of ultrasonic vibration on the electrical properties of the W-Cu composites. It is shown that the application of ultrasonic vibration in the activation and deposition steps of the electroless copper plating process prevents W powder agglomeration and ensures that each W particle is coated with Cu. As a result, the electrical properties of the W-Cu composite samples are significantly improved.

Keywords: electroless copper plating, ultrasonic vibration, arc erosion

一、前言

在工業化社會生活中，不論是生產製造、運輸通訊、或居家用品皆運用大量的電接觸裝置，而隨著現代科技之迅速發展，電器用品不論在功能或品質上皆日新月異，因此其對電接觸裝置性能之要求也日漸嚴苛。一般而言，電路系統之損壞常導因於電接觸裝置在持續開關動作中產生的電弧沖蝕、材料變形及熔融接合等問題。故良好的電接觸材料除須具有優異的熱、電傳導性外，尚須具有熔點高、耐沖蝕及易加工等特性。

電接觸材料[1]是各種高、低電器開關中的重要元件，目前已被廣泛的應用在現代許多大型的電器系統中，如自動化系統、通訊系統中都含有大量的電接觸元件。而隨著航空、電子、機械等工業的發展，對電接觸元件的壽命和可靠性有了越來越高的要求。任何一個需要電的系統，都是由導體與導體的接觸來傳遞電流，此導體與導體的接觸稱為電接觸，電接觸裝置是電信號和電能傳送的關鍵元件。一個良好的電接觸材料須要有：(1)在瞬間通過的短路電流或脈衝電流時不會發生熔焊；(2)在長期通過額定電流時，溫升能夠保持平穩；(3)在電路斷開時，應盡量避免材料損失；(4)在電路閉合時不能發生斷開的熔焊，且不應有嚴重的損毀或變形[2]。總結來說也就是電接觸材料應具有良好的熱傳導、電阻低、耐高溫、高強度、耐腐蝕、耐磨耗與不易變形等特性，最重要的是要有良好的壽命，在反覆的開、關動作下不損失其使用期限，這也是製作電接觸材料時最重要的考量。銅金屬因具有優良的熱、電傳導性與價廉等優點，而廣泛應用於一般電接觸裝置上，但卻也因其高溫性質低劣而不被採用於重負載與高級電接觸裝置上。

一般用來製作電接觸點的材料如黃金、銀、鎢等，價格都非常昂貴，所以除非有特定的需求，否則一般的電器接點仍以價格較為便宜的銅為主。電接點在使用的過程中易產生電弧和高熱，導致接點斷裂或熔斷，因此在設計銅基材料時應考慮到複合材料能否在

高溫下仍保持其強度和導電性。純銅雖然具有良好的電學性能，但在使用中由於高溫會使其強度下降與變形而失效，故純銅難以在電接觸元件中實際應用。所以在以銅為基體添加其他強化相已成為電接觸材料的設計中重要的一環。

無電鍍過程微細粉末常因靜電引力而凝聚成集結團[3-5]，即使以外力將集結團充分分散成獨立粉體，一旦分散力消失，微細粉體會再重新聚集。因此，微細粉末經無電鍍銅後多為外表包覆著銅膜的大粉團。一旦發生此一現象，則不論此粉團內的個體是否有銅金屬附著，都將導致後續製程上的重大困難，進而影響顆粒強化銅基複合材料電性質。首先是粉末混合問題，若集結團中的每顆粉體都有鍍上銅金屬，則後續的粉末混合步驟不太可能將此緊密的集結團打散，因此無法提高強化相顆粒與銅粉末的混合均勻度。另一方面，若析鍍之銅膜僅包覆於此集結團表面，而其內部的顆粒都仍為原始粉末，則無電鍍銅製程的效應將毫無意義可言。

複合材料是由兩種（或以上）的相組合而成。雖然不同相具有不同之物理性質，但經由適當製程將其結合之後，複合材料即可選擇性的具有各組成相的優點。故適當地選擇組合相及比例來製成複合材料，就可能同時獲得優異強度、輕重量、耐磨耗、耐腐蝕、耐高溫及導電性質之組合。複合材料可視為由基地材料與強化材料複合而成，依基地種類的不同，主要有金屬基複合材料(MMCs)、高分子基複合材料(PMCs)與陶瓷基複合材料(CMCs)[5]。

W/Cu 複合材料是將具有高熔點、高強度和低熱膨脹係數的鎢與低熔點和高導電(導熱)的銅，經由粉末冶金工藝製成具有特殊性能(高導電導熱性、高硬度、低熱膨脹性)之合金材料，而後應用於封裝、電接觸及散熱器材料[6]。並可以依照不同組成的比例來調整和控制所需的機械和物理的性能。由於鎢的熔點 3410°C 遠大於銅的 1083°C 且鎢與銅不互溶，因此製造銅鎢複合材料必須採用粉末冶金法來製作。早期的銅鎢複合材料主要用於電接觸材料，隨著科技的進步與

創新，銅鎢複合材料也廣泛應用於電子封裝、靶材、高壓電器開關、航空零件上等，在軍事工業方面銅鎢複合材料也受到相當多的應用[7]。

無電電鍍(electroless plating)是金屬沉積技術中的一種方式[8]，無電電鍍法反應一經開始，在無須外加電壓的情形下，把溶液中的金屬離子藉由自動催化(auto-catalytic)的化學反應方式，將金屬沉積在固體表面之上[9,10]。無電鍍是一種不需外加電能即可進行化學沉積的鍍著方式。其鍍著原理是利用鍍浴中的還原劑，將鍍浴中的金屬離子還原於催化表面(Catalyst Surface)上沉積，而沉積所得的金屬表面又可成為後續鍍著的催化活性表面，使沉積反應得以不斷的持續進行。因無電鍍具有此種自身催化的特性，故亦稱為自身催化鍍法(Autocatalytic Plating Method)。

1946年，Brenner及Riddell[11,12]兩人在電鍍鎳的實驗中，發現了次磷酸鈉異於平常的還原力，使得電鍍的電流效率超過100%。1947年Narcus[13]首先發表有關無電電鍍銅之的相關研究成果，1957年Cahill [14]首次利用甲醛((CH₂O)_n)在鹼性環境下成功進行無電電鍍銅，其方法為現今無電電鍍銅製程的主要依據。1972年Zeblicky[15]發表了以ethylenediamineteraacetic acid (EDTA)為螯合劑的無電鍍銅鍍液，此鍍液沿用至今，而無電電鍍銅的沉積速率及鍍液的穩定性，亦因加入了添加劑後有了重大的改善 [16]。Shacham-Diamand於1995年，以硫酸銅、氫氧化鈉、甲醛(Formaldehyde)及乙二胺四乙酸(EDTA)及添加劑作為無電鍍銅鍍浴，並製作超大型積體電路(ULSI)中之銅內連線[17]。

超音波是指超過人耳聽覺所能感應的音波，但因人而異，所以可聽音波的界限並不明確，超音波的頻率下限也不容易決定，通常將20kHz以上的音波稱為超音波，近幾年來，超音波振動的應用可分為探測與動力的應用，在探測上的應用如超音波診斷、金屬探傷器、厚度計、超音波感知器等，其應用過程係藉由超音波在介質中的波動傳遞與反射來得到資訊。超音波洗淨、超音波分散、超音波凝聚則為動力方面的應

用，利用超音波作為能源使物質產生變化達到洗淨、分散[18,19]的目的。另外也有利用超音波振動輔助的加工方法，如超音波鑽孔、超音波研磨、超音波切削等。

Podlaha[20]的研究顯示，通過應用脈衝反向(pulse-reverse PR)電沉積技術，Cu 複合塗層中的氧化鋁重量含量可以從3.5%提高到14.6%。Kuo等人[21]的研究說明，NiAl₂O₃複合塗層的均勻性可以通過降低電解質濃度和施加超聲能量處理40分鐘來提高，他們發現這兩種方式能有效減少氧化鋁集結團直徑，從而改善鍍層效果，由實驗結果得知，當選擇適當的加工參數時複合塗層的氧化鋁顆粒體積含量可以從8.37vol%提高到26.78vol%。

Isabel[22]等人曾探討起始才處理條件對鎢-銅復材的影響，提出最符合工業要求的鎢-銅合金有85-wt%鎢/15-wt%銅、80-wt%鎢/20-wt%銅和75-wt%鎢/25-wt%銅，其次分析細鎢粉和粗鎢粉之粉末用於鎢-銅合金的製備，經由相關研發結果證明使用雙峰鎢粉合成鎢-銅復材顯著影響合金的最終性能，這些樣品表現出良好的緻密化和硬度值，以及比其他雙峰混合物具有更高的導熱值。

Touyeras[23]曾探討超音波對無電鍍銅活化階段的影響，其使用的超音波為530 kHz。Touyeras[24]曾探討超音波震盪無電鍍銅塗層的影響，文中分析在非導電襯底上的金屬沉積和金屬襯底上的電鍍。在兩種情況下，在激活和電鍍步驟期間都應用超聲波震盪。研究過程監測了幾個參數，如電鍍速率、實際附着力、硬度、內應力與變化的聲功率和頻率，尤其研究結果顯示使用超聲波會影響沉積物性質。

Liu等人[25]利用直接無電鍍銅塗層方法製備鎢-銅復材，過程不需要表面處理或穩定劑，並使用乙醛酸(C₂H₂O₃)作為還原劑。探討硫酸銅濃度和電鍍液的pH值對鎢-銅複合料性能的影響。利用通過調節化學鍍液中硫酸銅的濃度來控制複合粉末中銅的含量。在確定的最佳條件(C₂H₂O₃的流量=5.01 mL/min，溶液pH=12.25，反應溫度45.35°C)下可獲

得均勻緻密且一致的銅塗層。

T. Anik 等人[26]研究 pH 值對以次磷酸鹽為還原劑無電鍍銅的影響其結果顯示，PH 值對以富銅的 CU-Ni-P 合金的無電鍍沉積的影響，隨著 pH 數值的升高，沉積速率明顯增加。表面形態及粗糙度和結晶度取決於 pH 數值的高低。

Liao 等人[27]探討無電鍍銅過程加入超音波震盪對鎢-銅複材機械性質的影響，文中於無電鍍銅活化與增厚過程加入超音波震盪。由結果顯示無電鍍銅過程加入超音波震盪時提昇鎢-銅複合材料的機械性質，其中當鎢含量為 9wt%可獲得拉伸強度和降伏強度的最佳值。

為了避免於無電鍍銅製程中粉末凝聚成集結團的現象，本文嘗試在無電鍍銅製程中加入超音波震盪，期能藉由超音波震盪將粉末集結團震散並抑止其再度聚集，使銅膜能析鍍於每顆獨立粉體的表面上。本文將分別在無電鍍銅過程「活化」與「增厚」的兩步驟加入超音波震盪，利用掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察有(無)超音波震盪電鍍前後強化相顆粒表面形貌差異，以EDS及XRD檢測無電鍍銅膜的成分及含量，分析有(無)超音波震盪對無電鍍銅膜的影響。其次，本文將以銅為基材，經由添加不同含量鎢粉末，再以粉末冶金法經由前處理、濕式球磨、生胚成形、燒結、再壓再燒結等處理，藉由金相觀察、密度試驗、硬度試驗、導電率量測與電弧沖蝕，探討有(無)超音波震盪無電鍍銅對鎢顆粒散佈強化型銅基複合材料電性質的影響。

二、實驗方法

本文主要藉由鎢金屬良好的機械性質與高溫穩定性，經粉末冶金的過程製作顆粒強化型銅基複合材料，使用粉末為銅(45 μm ，樹枝狀電解銅粉)及鎢粉(2.2 μm)，粉末純度為 99.5%。銅、鎢之間的潤溼性極差，難以使其結合，因此本文首先以無電預鍍銅的方法進行鎢粒子的表面改質，以改善銅、鎢之間的接合

性。無電預鍍銅膜的流程為；(1)清潔：以 3%氫氧化鈉鹼洗再以 5%硝酸水溶液去除鎢粒子表面氧化物與雜質，(2)活化：將清洗完的粉末倒入活化液(KNaT + CuSO₄溶液)攪拌 60 分鐘，(3)還原：將活化完成的粉末倒入還原液中(HCHO + NaOH 溶液)反應直到溶液 pH 值穩定，(4)銅膜鍍著：溶液成份包括 KNaT、HCHO、NaOH、CuSO₄，於常溫下進行，時間 60 分鐘。鍍銅過程須攪拌，並以滴定方式加入氫氧化鈉溶液，使 pH 值保持在 8.5~10 之間，此過程可在鎢粒子表面鍍著一層銅質薄膜，(5)銅膜增厚：溶液成份包括 KNaT、CuSO₄、HCHO、NaOH，時間 60 分鐘。過程中須攪拌並以滴定方式加入氫氧化鈉溶液，使 pH 值保持在 8.5~10 之間。本文無電鍍銅過程區分為一般活化一般增厚(GA-GD)、超音波活化一般增厚(UA-GD)、一般活化超音波增厚(GA-UD)、超音波活化超音波增厚(UA-UD)四種製程進行，表 1 為無電鍍銅步驟。

為保持銅金屬的高導電率，粉末成份以富銅端為主，假設鍍浴中的銅完全析出，則由鍍浴計算出鍍鎢銅粉中的銅含量，再依預定的合金配方加入適量純銅粉，使其形成鎢含量(重量百分率，wt.%)分別為 3wt%、6wt%、9wt%、12wt%、15wt% 及 18wt% 的鎢銅複合材料。將前述配製的粉末以粉末冶金的方法壓製燒結成電性質測試試件形狀。粉末冶金製程為：(1)混合：基底粉末(銅粉)和強化相粉末(鎢粉)倒入混拌筒內進行 24 小時的濕式球磨，混拌介質採用白蠟油，並加入 1、2、5 mm(重量比 7:2:1)的氧化鋁磨球，(2)成形：以 450 MPa 進行鋼模單軸雙向冷壓成形，保壓時間約 30 秒，(3)燒結：燒結過程係於充滿氮氣氛(N₂)的管狀燒結爐內進行，燒結溫度曲線如圖 1 所示，(4)再壓再燒：再壓再燒結過程則是將燒結後的試件以 750Mpa 進行再壓，持壓時間約 30 秒，再於氮氣氛圍的管形爐中進行再燒結，再燒結時間為 1 小時，溫度為 1050°C，增加燒結複合材料的緻密度。

燒結材料由於孔隙的存在，使得密度小於該材料緻密狀態，本文以真空含浸油方式及阿基米德原理

(Archimedes Principle)，分別求取一次燒結及再壓再燒結複合材料的密度。複合材料的理論密度(ρ_m)及實驗密度(ρ_t)分別為：

$$\rho_m = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 W_2 + \rho_2 W_1} \quad (1)$$

$$\rho_t = \frac{w_a}{(w_o - w_w) \rho_m} \quad (2)$$

其中 ρ_1 、 ρ_2 為兩相材料的理論密度， V_1 、 V_2 為兩相材料的體積分率， w_a 、 w_o 、 w_w 分別表示試件重量、含油重量、含油於水中重量。

一次燒結及再壓再燒複合材料經取樣、鑲埋及研磨後，依序以 $6\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 及 $0.25\mu\text{m}$ 的鑽石懸浮液拋光，拋光後的試片以酸液 ($5\text{g Fe(NO}_3)_3 + 25\text{ ml HCl} + 70\text{ ml H}_2\text{O}$) 浸蝕 10~30 秒後，於光學顯微鏡下觀察其金相顯微組織，並進行相關電性質測試，以導電率量測儀量測複合材料導電率。

以 #400、#600、#800、#1000、#1200 號數砂紙，將燒結試片表面研磨，再以鑽石拋光液將試片表面拋光，拋光完成後將試片放置盛裝丙酮的燒杯中進行超音波震盪，將表層油垢與雜質去除。清潔完成後，以銀焊片將試片進行燒焊並置於接點壽命測試機載具上進行接點壽命測試，測試電壓為 110V 電流 30A。測試完畢將試片放置微量天秤量測，紀錄測試前與測試後試片之重量，並記錄接點壽命敲打的次數。

三、結 果

本文無電鍍銅在活化與增厚過程使用超音波震盪，避免在無電鍍銅過程中鎢粉產生集結中，使銅能均勻的鍍覆在每一鎢顆粒表面，在無電鍍銅過程中鎢粉外觀呈現棕紅色表示粉體表面已鍍上一層銅膜。圖 2 分別為純銅粉及純鎢粉 SEM 粉體形貌，圖 3 為經無電鍍銅後鎢粉 SEM 粉體形貌，比較圖 2 及 3 可知，鎢粉原先為圓潤狀且表面平滑，在經過無電鍍銅製程鎢粉末表面呈現凹凸不平的毛絨狀，圖 4 為四種無電鍍銅參數製程之鎢粉 X-ray 繞射圖，由圖 4 可確定經

無電鍍銅後在鎢粉表面可被鍍覆一層銅膜。

圖 5 及圖 6 為第一次成形與再壓再燒複合材料緻密度與鎢含量關係曲線圖，由圖 5 可得知當鎢粉含量為 6wt% 時，四種無電鍍銅製程一次燒結與再壓再燒所得鎢-銅複合材料緻密度均達最大值。而當鎢含量大於 6wt% 時鎢-銅複合材料的緻密度均呈現下降趨勢。由圖 5 及 6 亦可知，經由超音波活化及超音波增厚(UA-UD)可得較佳的複合材料緻密度。超音波活化與超音波增厚無電鍍銅製程在鎢含量為 6wt% 時緻密度可達 96.89%。

圖 7 為鎢-銅複合材料導電率與鎢含量關係圖，由圖 7 可知鎢-銅複合材料導電率隨著鎢粉強化相含量的增加而下降。且鎢含量為 3% 時，可得最佳的鎢-銅複合材料導電率(95.17% IACS)，圖 7 亦顯示四種無電鍍銅製程以超音波活化及超音波增厚，可得最佳的複合材料導電率。

圖 8 為鎢-銅複合材料經電弧沖蝕後流失重量與鎢含量關係圖，由圖 8 可得知當鎢粉含量為 6wt% 時，四種無電鍍銅製程損耗流失均達最大值，而當鎢含量大於 6wt% 時鎢-銅複合材料的損耗流失率均呈現下降趨勢。

圖 9 鎢-銅複合材料電接點接觸次數與鎢含量關係圖，由圖 9 可得知當鎢粉含量為 6wt% 時，四種無電鍍銅製程電接點接觸次數為最大值，超音波活化與超音波增厚無電鍍銅製程在鎢含量為 6wt%，電接點接觸次數為 6782 次，顯示經超音波活化與超音波增厚無電鍍銅製程鎢含量為 6wt% 時，鎢-銅複合材料可獲得較佳的強化效果與抗電弧沖蝕的能力；當鎢含量為 18wt% 鎢-銅複合材料，電接點接觸次數呈現最劣值，一般活化一般增厚，電接點接觸次數為 4608 次，呈現損壞現象，由韓大鵬[28]研究中可知純銅經電弧沖蝕測試，其接點壽命中於 1071 次會產生黏著現象，顯現純銅承受電弧沖蝕壽命相當低劣。

圖 10 為超音波活化與超音波增厚製程，當鎢含量為 6wt% 時，鎢-銅複合材料經電弧沖蝕後 SEM 圖，從圖中可知材料經電弧沖蝕後在表面形成凹凸不平的波

狀(wave-shape)沖蝕區域，表面也有小孔洞的產生，且沖蝕區域部分已產生熔解現象，並向四周濺散形成液滴狀形貌；由於電弧形成時會產生高溫，在高熱能的情況下，靠近電弧接觸的高溫區域，會將材料熔解形成熔池，在熔池凝固之前，液相金屬會在接觸表面產生流動或濺射等現象，若凝固的時間增長，則在接觸表面即可能形成一較為平滑(smooth)的形貌，對於較晚冷卻的液相顆粒，則會在表面形成波狀的沖蝕形貌，當溫度更為降低時，液相金屬顆粒的數量減少，此時便會形成分散的液滴狀形貌，所以電接點經由電弧及反覆接觸後，表面會因電流產生的高溫成為凹凸不平、熱熔池狀，並且有孔洞產生，接點的表面因高溫熔解濺散形成熔融狀。

四、結 論

本研究利用無電鍍銅中配合超音波震盪、粉末混合、成形及燒結過程製作不同鎢含量的鎢-銅複合材料，探討超音波震盪對鎢-銅複合材料電性質的影響，由實驗結果，可得出以下結論：

- 1.無電鍍銅在活化與增厚過程配合超音波震盪，可於強化相鎢顆粒表面鍍上一層銅膜。
- 2.無電鍍銅過程中以超音波震盪有明顯提高整體強化相顆粒表面電鍍銅膜品質，提升複合材料燒結品的電性質。
- 3.鎢-銅複合材料的導電率隨鎢含量的增加下降，其中經超音波活化與超音波增厚過程可得較佳的導電率(3%鎢含量配合超音波活化與超音波震盪的導電率為 95.5%IACS)。
- 4.經由接點壽命測試結果，可知鎢-銅複合材料接點壽命隨鎢含量的增加而先上升而後下降，當 6%鎢含量配合超音波活化與超音波震盪的接點壽命有較佳的接點壽命(6782 次)，且經超音波活化與超音波增厚製程相較於其他三種製程具有較佳的接點壽命，相對的經超音波活化與超音波增厚製程的質量流失率較高($2.8 \times 10^{-3} \text{g}$)。

參考文獻

- [1] 林正雄，電接觸材料，粉末冶金手冊，中華民國粉末冶金協會出版，中華民國83年7月，pp. 410-419。
- [2] Y.Q. Zhang, J. Zheng, *A review on the development of AgSnO₂ contact material*, *Materials Review* 20: 53-57. 2006.
- [3] R.M. German, *Powder Metallurgy Science*, 2nd ed., Princeton, N.J. :Metal Powder Industries Federation, 1994.
- [4] 黃錦鐘，粉末冶金技術手冊，中華民國粉末冶金協會出版，p.377, 1999.
- [5] A.E. Breaux and E.J. Podlaha, in: *Proceedings of the 195th Society Meeting of the Electrochemical Society*, 1999, 99-1, (abstract 2.13).
- [6] T.T Liao, C. Kung, K.Y. Chen, M.S. Chuang and D.P. Han, *The influences of powder mixing process on the quality of W-Cu composites*, *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering* 33: 13-27. 2009.
- [7] P.G. Chen, G.Q. Luo, Q. Shen, M.J. Li, L.M. Zhang, *Thermal and electrical properties of W-Cu composite produced by activated sintering*, *Materials & Design* 46: 101-105. 2013.
- [8] J. Fan, T. Liu, S. Zhu, *New processing technology and prospective application of high performance W-Cu composites*, *Cemented Carbide* 28: 56-65. 2011.
- [9] S.Y. Chang, S.J. Lin, *Fabrication of SiC_w reinforced copper matrix composite by electroless copper plating*, *Scripta Materialia* 35: 225-231. 1996.
- [10] G.O. Mallory, J.B. Hajdu, *Electroless Plating : Fundamentals and Applications*, American Electroplaters and surface Finishers Society, 1990.
- [11] I. Ohno, *Electrochemistry of electroless plating*, *Material Science and Engineering A* 146: 33-49. 1991.
- [12] A. Brenner, G.E. Riddell, *Nickel plating on steel by chemical reduction*, Part of *Journal of Research of*

- the National Bureau of Standards 37: 31-34. 1946.
- [13] A. Brenner, G.E. Riddell, *Deposition of nickel and cobalt by chemical reduction*, J. Res. Natl Bur. Stand 39: 385-395. 1947.
- [14] H. Narcus, *Practical Copper reduction on non-conductors*, Metal Finishing 45: 64-67. 1947.
- [15] A.E. Cahill, Proc. Amer. Electroplaters' Soc. 44: p. 130. 1957.
- [16] R.J. Zablinsky, U.S. Patent 3,672,938, June 27, 1972.
- [17] S.C. Kou, A. Hung, *Effect of buffer on electroless copper deposition*, Plating and Surface Finishing 89: 48-52. 2002.
- [18] Y. Shacham-Diamand, V. Dubin, M. Angyal, *Electroless Copper Deposition for ULSI*, Thin Solid Films 262: 93-103. 1995.
- [19] T.T. Liao and C. Kung, *High temperature mechanical and electrical properties of W-particle reinforced Cu-matrix composites from improved electroless plated powders*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C, Journal of Mechanical Engineering Science 223: 1285-1295.
- [20] K.H. Tseng, C. Kung, T.T. Liao, K.Y. Chen and D.P. Han, *Investigation on the Arc Erosion Behavior of W-Cu Composites*, Canadian Metallurgical Quarterly 49: 263-274. 2010.
- [21] E.J. Podlaha, *Selective Electrodeposition of Nanoparticulates into Metal Matrices*, Nano Letter 1: 413-416. 2001.
- [22] S.L. Kuo, Y.C. Chen, M.D. Ger and W.H. Hwu, *Nano-particles dispersion effect on Ni/Al₂O₃ composite coatings*, Mat. Chem. and Phy. 86: 5-10. 2004.
- [23] I.M. Melendez, C. Arevalo, E.M.P. Soriano, E. Neubauer, C.R. Escudero and M. Kitzmantel, *Analysis of the Influence of Starting Materials and Processing Conditions on the Properties of WCu Alloys*, Materials 10: p. 142. 2017.
- [24] F. Touyeras, J.Y. Hihn, S. Delalande, R. Viennet, M.L. Doche, *Ultrasound influence on the activation step before electroless coating*, Ultrasonics Sonochemistry 10: 363-368. 2003.
- [25] F. Touyeras, J.Y. Hihn, X. Bourgoïn, B. Jacques, L. Hallez, V. Branger, *Effects of ultrasonic irradiation on the properties of coatings obtained by electroless plating and electro plating*, Information Sciences 12: 13-19. 2005.
- [26] L. Shulong, Y. Kan, S. Qiang, L. Meijuan¹, C. Wenshu¹, L. Guoqiang, Z. Lianmeng, M. Kato, *Fabrication of W-Cu Composite Powders by Direct Electroless Plating Using a Dripping Method*, Journal of Wuhan University of Technology 28: 829-833. 2013.
- [27] T. Anik, M. Ebn Touhami, K. Himm, S. Schireen, R.A. Belkhmira, M. Abouchane, M. Cissé, *Influence of pH Solution on Electroless Copper Plating Using Sodium Hypophosphite as Reducing Agent*, International Journal of Electrochemical Science 7: 2009-2018. 2012.
- [28] T.T. Liao, C. Kung and K.Y. Chen, *The Effects of Ultrasonic Vibration on Mechanical Properties of Tungsten Particle-Reinforced Copper-Matrix Composites*, Canadian Metallurgical Quarterly 56: 450-480. 2017.
- [29] 韓大鵬, *電接觸用銅基複合材料之研製與特性分析*, 遠東科技大學機械系碩士論文, 中華民國 92 年。

表 1 無電鍍銅步驟

Order	Method	Component	Range	Time (min)
1	pure water clean	H ₂ O	-	15
2	alkali clean	NaOH	3%	5
3	pure water clean	H ₂ O	-	5
4	sour clean	HNO ₃	5%	5
5	pure water clean	H ₂ O	-	5
6	clean	acetone	amount	15
7	drying	-	-	120
8	activation	KNaT ^(a) / CuSO ₄	11.25g/1L 4.5g/1L	60
9	pure water clean	H ₂ O	-	5
10	reduction	HCHO/ NaOH	amount	720
11	pure water clean	H ₂ O	-	5
12	deposition	KNaT/ CuSO ₄ / HCHO	250g/1L 100g/1L 50mg/1L	180
13	pure water clean	H ₂ O	-	5
14	clean	acetone	amount	15
15	drying	-	-	240

^(a) KNaT is Potassium Sodium Tartrate (KNaC₄H₄O₆ · 4H₂O)

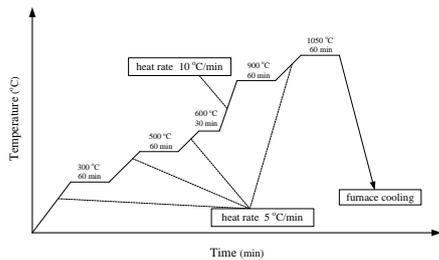


圖1 鎢銅複材燒結溫度曲線圖

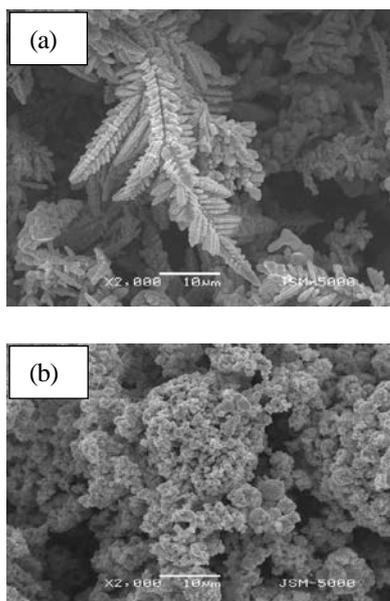


圖 2 粉末 SEM 形貌(a)純銅粉、(b)純鎢粉形貌

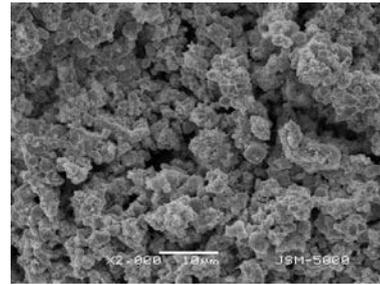


圖 3 經無電鍍銅後粉末 SEM 形貌圖

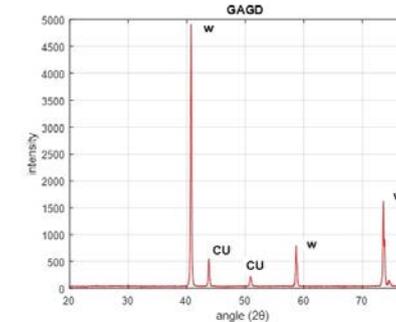
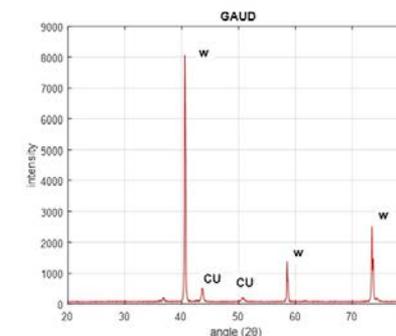
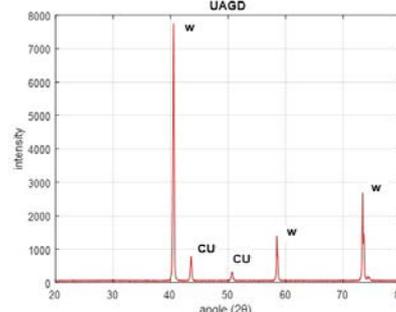
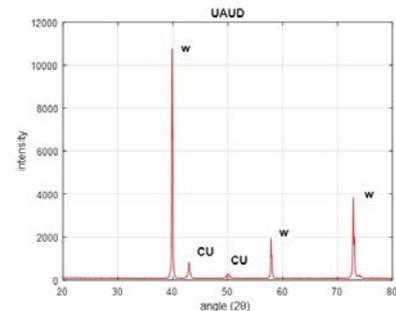


圖 4 鎢粉經四種參數製程無電鍍銅 X-ray 繞射圖

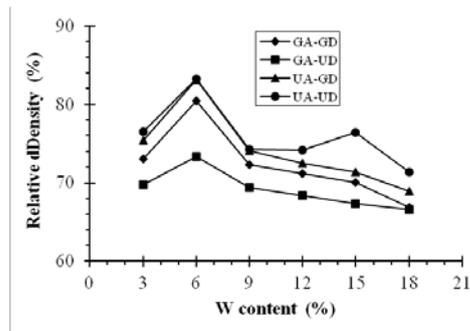


圖 5 第一次成形緻密度與鎢含量關係圖

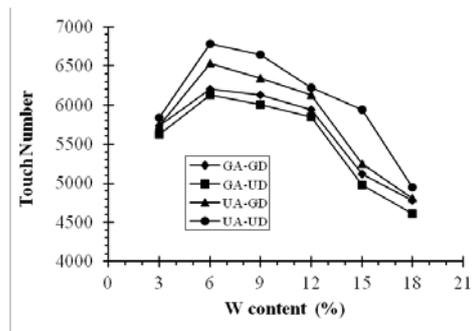


圖 9 鎢-銅複合材料電接點接觸次數與鎢含量關係圖

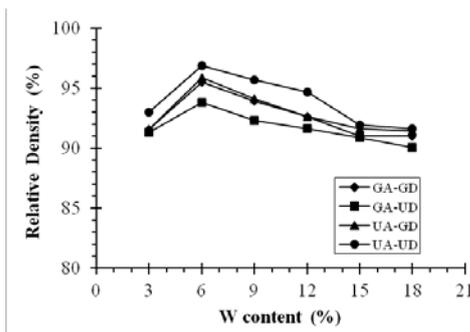


圖 6 再壓再燒緻密度與鎢含量關係圖

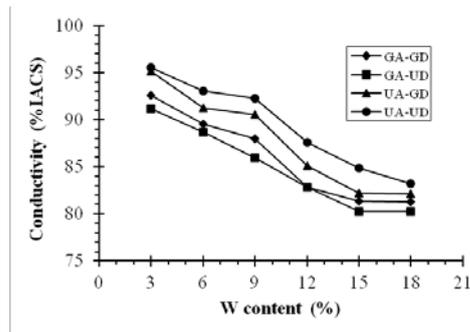


圖 7 鎢-銅複合材料導電率與鎢含量關係圖

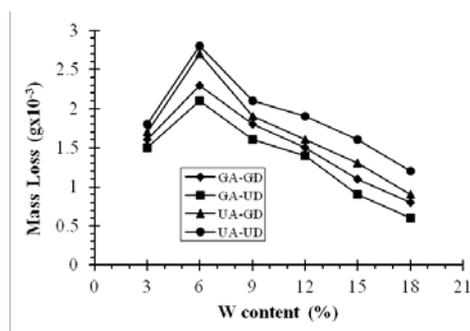


圖 8 鎢-銅複合材料經電弧沖蝕所流失量與鎢含量關係圖

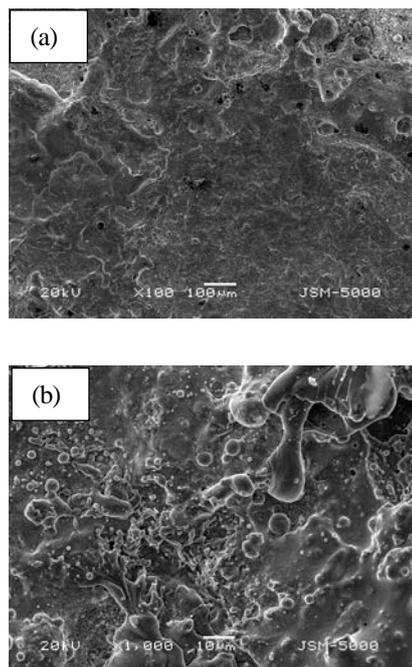


圖 10 鎢含量 6 wt% 經 UA-UD 電弧沖蝕 SEM 形貌 (a)100x (b)1000x

重新思索共和自由概念的問題-

從 List 與 Valentini 的邏輯地圖談起

Reconsider the Conceptual Problems of Republican Freedom - From the Logical Map of Christian List and Laura Valentini

劉俊麟 長榮大學應用哲學系助理教授

摘 要

近來，學者 Christian List 與 Laura Valentini 試圖發展新的自由概念，而將自由主義與共和主義兩大傳統下的自由觀分別進行重要批判。兩人的論證策略是尋找一個既滿足踏實性條件與去道德化條件的自由概念，且認為自由主義與共和主義兩大傳統都不可信。然而，本文認為，List 與 Valentini 沒有合理批評以 Pettit 為首的共和自由概念，即沒有看見共和自由概念真正的問題，這使得兩人的批評會陷入打擊稻草人的謬誤。共和自由概念真正值得被討論的問題是政治正當性的問題，而非僅有是否有滿足去道德化的條件。本文目的在於檢視 List 與 Valentini 的論證，並提出為何共和主義的自由概念，其真正的問題是政治正當性的問題。假若我們正視這個問題，則對於共和主義的自由理念，以及其與政治制度的關係將可有進一步認識。

關鍵詞：自由主義、共和主義、社會自由、非宰制的自由、政治正當性

Chunlin Liu, Assistant Professor, Depart. of Applied Philosophy, Chang Jung Christian University

Abstract

Recently, professors Christian List and Laura Valentini attempt to develop a new concept of freedom, criticizing the ones under the liberal and republican traditions. Their strategy is to find a concept of freedom satisfying the robust and nonmoralized conditions and to argue that the liberal and republican conceptions are not plausible. However, my view is that List and Valentini do not reasonably criticize the republican conception led by Philip Pettit. In other words, they do not see the real problem of republican freedom so that the straw man fallacy would arise. The real issue for the republican freedom is the problem of political legitimacy, not the nonmoralized one. In this paper, I would like to examine the arguments from List and Valentini to explain why the real problem of republican freedom is the problem of political legitimacy. I would also explain that if we can take the issue seriously, then we know the relationship between the political freedom and the institution in a further step.

Keywords: liberalism, republicanism, social freedom, non-domination, political legitimacy

一、前言

2016年七月，兩位政治哲學家 Christian List 與 Laura Valentini 共同在《Ethics》期刊上發表關於自由概念的最新看法[1]。如此自由概念無關乎自由意志的討論，也無關乎因為自然律的緣故所導致的行動限制。兩人的焦點在於社會自由究竟應該如何理解的問題。當代學界對於社會自由的概念討論中，最有影響力的論述莫過於自由主義與共和主義之間的爭辯。對於自由主義者而言，在消極意義上，所謂的自由等同於不被他人意圖干涉。但是，對於共和主義者而言，自由不應該只是達成不被他人有意或者無意的干涉而已，真正的自由是不被他人任意干涉或者不被他人控制的干涉[2]。可以說，這種自由是具有韌性的（resilient）自由概念[3]。根據 List 與 Valentini，這兩種陣營的自由概念各擅勝場。以 Isaiah Berlin 為主導的非干涉自由觀是與道德無關的（nonmoralized）自由觀，這是優點，不會有預設特定道德立場因而引起爭議的問題；但是，缺點是，這類自由觀點，包括後來所謂「純粹消極自由理論家」如 Hillel Steiner、Ian Carter 與 Matthew Kramer 等人的主張卻都陷入不穩健的（nonrobust）結果[4]。所謂的「不穩健」，姑且先以較為日常的觀點著眼，是指個人看似沒有被他人干涉，但這不表示個人的心理即認為這樣的自由是自己想要的，或者這樣是「自由」。例如，不知讀者有無類似的經驗觀察，街頭上的流浪漢或者無家者（the homeless）看似遊手好閒、自由自在，但是殊不知無家者在社會上是被歧視的很嚴重、被剝削的也很徹底，甚至被壓迫驅趕。我們怎麼能說他們的基本自由有受到保障，因為沒人干涉他們即說他們的行動是自由。在無家者的眼中與心中，自己被邊緣化，或許有時候自己覺得很快樂，但這種快樂並不踏實。

有鑑於此，以 Philip Pettit 為首的共和自由主義者（republican liberals）[5]開始啟動另一種必須兼

顧穩健性的觀點以證成「非宰制的自由觀」（freedom as non-domination）[6]。雖然共和自由主義者需要顧及穩健性要件，但也應該不能偏廢消極自由主義者所重視的去道德化要件。既要保證自由實現，也不能不管這樣的自由是否眾人皆可適用。傳統共和主義者傾向採取特定道德論述的方式證成自由，除非個人有滿足某種道德內涵，個人或者團體自由始得完全。然而，現代共和主義者卻不這麼看共和自由，自由必須去道德化，因為自由的實現必須在制度架構內始得真正周全，否則不僅無法適用更多不同背景人士，同時也會影響自由本身的穩定性，個人或者團體所持有的自由無法踏實。

List 與 Valentini 認為，即使共和主義者重視穩健條件，這並不表示我們因此就能接受共和主義。因為以 Pettit 為主要論證模式的去道德化要件仍然不會成功，這使得人們需要另一種既不會產生相對化的道德問題又可以確保自身權益的自由立場。「自由即獨立」（freedom as independence）即是兩位學者認定可以滿足上述兩點的替代方案[7]。然而，我認為，List 與 Valentini 對於共和自由概念的去道德化分析不會成功，以致於如果我們需要認真檢視共和自由的概念必須另闢途徑。以下本文將先針對 List 與 Valentini 所強調的踏實性與去道德化的條件去直接檢視非干涉的自由觀與非宰制的自由觀，之後試圖提出共和自由概念的真正問題為何。

根據 List 與 Valentini，影響行動者（可能是個人或者是二人以上的團體）行動是否為自由的關鍵條件有二，一是道德化的問題（the moralization question），另一是穩健性的問題（the robustness question）。兩種問題分別改寫如下[8]：

- （一）道德化問題：道德上可允許的限制，如非任意性或者正當的限制是否可視為對自由的限制（freedom restricting）。
- （二）穩健性問題：是否自由必須要求在實際世界中免受限制之外，還需要在充分或者相

關假想的可能世界中免受限制。

List 與 Valentini 認為，這兩個問題的重要性應該很明顯[9]。第一個道德化問題會影響到是否正當的囚禁、正當的規約、設計良善的交通法規可被視為對自由的限制或者危害，即便這些規則不是刻意針對特定個人或者團體所施加的規定，即不是任意地在使用這些規則的情況下。第二個踏實性問題會影響到是否僅有干涉的權力會導致不自由，也就是說這樣的干涉權力在從來不會被行使的情形下，我們是否仍可說有些人或者所有人的自由當下就已經被剝奪。例如，一位從未行使干涉權力的奴隸主是否仍然應該被視為侵害奴隸自由的人。在概述 List 與 Valentini 兩位學者的自由分析策略之後，我們先針對踏實性問題進行討論，之後檢視道德化問題，最後批評 List 與 Valentini 對於共和自由概念的分析不甚公允，並提出修正之道。

二、穩健性問題

(一)可能性(possibility)VS.或然性(Probability)

對於自由主義者而言，超出實際世界去談在可能世界上行動所受到的限制同樣可能令人覺得奇怪。當我們談個人的自由行動時，難道不正是在談個人在實際世界中所遭遇的情況？特別是共和主義者認為因為權力的緣故，所以特別用可能世界的概念分析為何奴隸主可以不用採取干涉行動，而能達致控制奴隸之實。例如，奴隸本人可能相當討喜、懂得脫離主人的干涉、運氣真的很好、剛好碰到主人心胸寬大等等情況。然而，這一切可能性同樣落於實際世界才會發生，最後產生「快樂奴隸」的現象。整體而言，快樂奴隸不是不被干涉，而是實際上會被干涉的機率(probability)相當低。如果奴隸被干涉的機率等於零，這無異表示奴隸不僅不會被干涉，同時從權力關係的角度看，奴隸不再是奴隸，而是成為自由人[10]。不過，這種利用「機率說」去判定主奴之間的權力關係並無法讓共和

主義者接受，因為過於天真。如果干涉機率不確定是零，這不必然表示主奴關係會因此消失，有可能奴隸相當聰明讓主人根本沒有機會干涉他，也有可能主人非常善良不會干涉他。更何況，是否主人永遠都不會干涉他是一個經驗偶然的能力(contingently able)問題，要讓干涉機率為零的可能情況必然「確定」干涉為零需要更妥當的論述，共和主義者即採用另一種「可能說」來說明為何沒有被干涉的奴隸仍然是不自由的。

所謂「可能說」是指個人或者團體的自由不能僅看實際世界中，這樣的自由「是否有」受到危害，也要看其他可能情況或者可能世界中，個人自由「是否會」受到侵犯[11]。之所以強調「有」意指一種一翻兩瞪眼的實際狀態，個人或者團體在現實世界中有無被他人干涉。不管用何種方式，只要個人或者團體「沒有」被他人有意干擾，則自由即可成立。但如此自由概念不甚可靠且不穩定[12]。如果「自由」勢必包括穩定性條件，則僅由有無實際可能干涉個人或者團體仍然不充分。以主奴關係為例，如果要取消這種關係，則我們必須保證不只個人或者團體沒有可能受到干涉，還需要包括個人或者團體確定不會受到他人干涉。後者意指他人在各種可能情況下確實已經沒有能力或者權力干涉自己，當然在實際世界中，個人自然也不可能受到干涉。

另一方面，共和主義者認為，個人沒有受到干涉不僅無法充分證成社會自由，事實上，有時個人確實受干涉也不表示失去自由。這表示個人的自由即使受到干涉也不會消失或者減少，反而會增加。換言之，干涉甚至並非危害個人自由的必要條件。例如，主張非干涉自由觀的自由主義者常恐懼的法律的干涉，因為這會直接危害個人自由。但洛克卻認為，「...法律的目的不是要廢除或者限縮，而是要保存與擴大自由」[13]。如果確保自由是個人或者團體的重要目標，共和主義者認為法律或者國家的干涉正是應該擔負起確保個人與社會的自由不

致遭受他人隨意干涉。由此看來，「非干涉」不僅無法充分讓人獲得自由，且「干涉」不必然使人會失去自由，例如，正當的囚禁與交通法律規則並不會讓人失去自由。我們反而可以藉此獲得最為穩健的自由。

這種看似全面挑戰非干涉自由的必要與充分條件並沒有完全說服 List 與 Valentini。他們認為，囚犯怎麼會認為自己是自由的？只因為符合法律程序，我們就可說囚犯是自由的？但是，這種推論已經預設法律與自由的相容之處。List 與 Valentini 認為，囚犯被限縮自由行動已經是事實，如何可能宣稱他們是自由的？我們應該將囚犯的自由被限制視為一回事，而是否可以證成導致他被關的限制是另一回事。這樣的做法比較符合日常直覺，而且也確實有做到任何對個人有所限制之處都需要進一步給予證成[14]。Pettit 的論證策略是將干涉區分為任意與非任意的干涉，如果囚犯的審判程序是合法或者經過某種民主程序，則對囚犯的干涉是非任意的。

不過，List 與 Valentini 卻認為所謂的非任意判準其實預設特定的道德觀點，這對於自由概念的分析會有阻礙。在共和主義的自由觀中，法律與自由彼此之間是相容的，任何的法律干涉都不會違反個人的社會自由。我們最多只能說法律的干涉確實會讓個人感覺不方便。現在，List 與 Valentini 直覺上還是認為法律的干涉若沒有違反個人自由，這必然表示如此干涉有預設一些道德考慮，否則囚犯的自由行動明明受到限制，如何準確說明法律在其身上的規範與其個人自由沒有相違背。

事實上，共和主義者如 Quentin Skinner 對於 List 與 Valentini 的挑戰可以有所回應。根據 Skinner，囚犯受到法律限制個人行動自由，確實有剝奪一些身為一個正常公民所有的權益，但是，另一方面，囚犯的自由人地位或者其公民身份仍然繼續存在，囚犯個人不會因為在監牢的緣故而被拋棄所有權利，如最基本憲法所保障的人權等等[15]。

由此看來，本文認為，List 與 Valentini 所提出的問題有預設某種自由主義者慣用邏輯思維，即為何法律可以限制個人自由的證成問題（why-law justifications），直接挑戰法律與自由的相容關係。相對而言，對於傳統共和主義而言，法律與自由的相容邏輯預設為什麼法律不能保護個人自由的證成問題（why-not-law justifications）[16]。法律本身不必然等同於個人限制的障礙，而是提供一個有力保障人民生活的管道或者工具。如果上述有其道理，List 與 Valentini 的預設立場自然會將共和主義者所主張的法律與自由關係命題視為某種道德觀點，這點不僅對新共和主義者 Pettit 不公平（因為 Pettit 反對道德化的共和理論），且可能誤導讀者兩位學者的預設是大家都應該會同意的。

稍後我們將在道德化的問題上繼續討論。以下我們繼續看另外兩種消極自由主義者針對在善心主人不太可能對奴隸行使干涉所作的詮釋，並予以回應。

（二）特定自由（Specific Freedoms）VS. 整體自由（Overall Freedom）

自由主義者第二個如何解釋沒有被干涉的奴隸，他的自由程度可從「整體自由」（overall freedom）來判定。根據 List 與 Valentini，奴隸之所以是不自由的，不僅僅是因為他無法自由地去做 X，更精確的說法是，他無法自由地去做【X 與無法平息主人的反對】[17]。也許有時候，奴隸與非奴隸都可以自由地做 X，但繼續仔細分析，我們會發現非奴隸可以自由去做 X 是指可以去做【X 而且無須去平息主人的反對】，而奴隸可以自由去做 X 是指可以去做【X 而且需要去平息主人的反對】。這整體自由結構明顯看出為何奴隸之所以比非奴隸更不自由[18]。List 與 Valentini 認為這種分析策略是將行動者的個體明顯的自由行動（specific freedom）轉移到整體自由。而且，這種轉移是從概念層次到經驗層次的改變。我們無須再繼續圍繞概念上奴隸是如何地不自由，只要我們在經驗上好

好檢視究竟哪些具體阻礙會影響個人自由即可 [19]。

但是，這樣利用細分自由特定選項，在經驗上組合並判定個人自由的做法可以成功嗎？並不會。如果用組合個人整體自由的做法會遇到至少兩個問題，一是既然主張消極自由主義者是想專注於經驗上的分析，但這就必須充分說明如何在偶然的經驗世界中，奴隸「確定」在何時擁有自由行動的選項，否則我們無法將奴隸的自由行動視為真正的自由行動。二是有些主人心胸寬大到根本不用奴隸去給他們平息反對意見，甚至有可能主人還很鼓勵與加油奴隸，希望他們可以自由發揮。如此，在進行經驗分析時，我們就無法區別無須平息反對意見的非奴隸與無須平息反對意見的奴隸。在邏輯上，這會造成矛盾；在經驗上，這會造成混淆 [20]。

（三）法定與事實自由（De Jure and De Facto Freedom）

第三種說明心胸寬大的主奴關係是指即使我們認為奴隸是「自由的」，可以在很大程度上自由行動，但是，我們仍然可以說奴隸的法律地位或者處境是無法被證成的。奴隸的狀態不是自由項有無被剝奪，因為他或者她仍然不受限地在行動，限制他或者她的是有問題的「所有權」（ownership）關係，即法律限制奴隸可以做什麼，不可以做什麼 [21]。因此，我們要反對的不是奴隸是否有自由行動，而是質疑奴隸的法律地位。這種論述是將法律地位與自由概念截然劃分，我們只要針對前者檢視奴隸為何在法律位階上無法與主人平起平坐，而不是要探討奴隸是否自由，因為事實上，有不少奴隸是很自由地在過生活。

然而，List 與 Valentini 質疑為何法律的限制不能被視為對奴隸個人自由的限制？如果真要拆開來看，即將法律的限制與自由的限制分開看，則法律對奴隸的限制如何歸類？是一種身分上權益喪失嗎？但這種權益喪失又意味著什麼？某種意義上，這難道不是個人的自由選擇機會大為減少了

嗎？對於很多人而言，若是基於簡約原則（considerations of parsimony），將法律限制視為對自由的限制反而比較好。而且，兩位學者認為，利用自由觀念說明法律限制奴隸的做法也頗自然，因為我們可說奴隸身陷「法定」（de jure）上的不自由。法定上的重重限制即是對自由限制。有鑑於此，List 與 Valentini 認為，我們應該將上述不自由的情境視為「社會不自由」（social unfreedom）[22]。所謂「社會的不自由」是對照個人實際上可以自由行動的情況，從社會的觀點看，奴隸的個人行動也許自由，但是這個社會認為這是因為奴隸獲得主人或者法律的同意才有可能。如果沒有社會支持，奴隸的個人行動自由將不可能。

因此，如何解釋在善心主人不干涉奴隸的情況下，我們還能質疑奴隸的自由，兩位學者認為「社會不自由」是較佳的集體性詮釋。社會可能透過法律手段限制奴隸的自由。根據法律，奴隸沒有任何公民權。即使主人可以給予奴隸很多自由行動的空間，但是這是因為在主人的同意下讓奴隸享有實際高度的自由度。社會也允許主人任意調控奴隸的「處境」。主人在社會上隨時有可能這個奴隸施加限制條件，儘管在心理上，心胸寬大的主人可能真的不會這麼做。

三、道德化問題

List 與 Valentini 認為，自由概念的探討除了要承認自由本身要滿足穩健性條件外，另一個亟需注意的是自由概念去道德化的問題。自由概念該不該去道德化？不同哲學家有不同看法。即使自由有滿足穩健性條件，但若是站在某種特定道德價值去辯護自由，直接的問題會是，如何說服其它與你不一樣道德主張的現代人呢？根據 List 與 Valentini，共和主義的自由概念確實有滿足穩健性的條件，但是，在去道德化的概念部分卻沒有通過，這使得我們有必要另提更為妥當的自由概念。以下我先說明

兩位學者批評 Pettit 的重點，再導入其所提出的「自由即獨立」，最後予以檢視。

首先，List 與 Valentini 認為，不少學者已經針對共和自由所強調的非任意干涉產生質疑，認為對於個人自由而言，以干涉概念區別任意與非任意干涉已經預設某種道德立場[23]，現代共和主義本質上與傳統共和主義追求個人避免受到他人奴役的道德目標實無二致，但是，Pettit 卻不這麼認為，他仍然堅持主張自己的自由概念是非道德性的。Pettit 說，

不像「正當的」，「非任意的」不是一個評價性語詞，而是以是否干涉本身事實上有無受制於適當的節制。所謂干涉是非任意的是指，在被節制的情況下，其（干涉）[24]會被迫追求被干涉者已宣稱或者即將宣稱的利益，而這是不管是否那些利益是基於某種獨立道德判準而為真的或者實際的或者有效的。因此實質上不能說我所偏好的共和自由理論是道德化的。

根據 List 與 Valentini，Pettit 的論證策略認為一項非任意干涉之所以是非道德的，因為這樣的干涉原本是被干涉者所授權的結果，所以儘管被干涉者的選項有消失，但這並不意指他的自由因此受到限制。然而，為何被干涉者的選項消失，我們仍然不能說他的自由受到限制了？我們可以再舉 Pettit 另一個重要的生活化例子[25]。丈夫因為知道自己會酗酒，因此請求他的妻子把酒櫃鎖起來。丈夫知道自己可能反悔，所以囑咐妻子仍然必須拒絕他的請求。妻子也照辦了，剝奪了丈夫想打開酒櫃且能喝酒的選項。Pettit 問我們，丈夫有屈從於妻子的意志嗎？妻子有強加她的意志在丈夫身上，使得丈夫也可合理地產生憤怒嗎？Pettit 認為當然沒有[26]。主要因為妻子的舉動完全歸因於丈夫的願望與想法，或者如 List 與 Valentini 的詮釋，有符合丈夫可宣稱的利益[27]，丈夫當然不會也沒有理由

生氣。丈夫仍然有其控制權

然而，Pettit 的丈夫與妻子之間承諾的例子並無法簡單適用於任何干涉與被干涉的關係情境。在國家與人民的政治關係上，我們有時很難認定國家對我們的干涉是基於我們所宣稱的利益，或者是按照我們的願望與集體意志所進行的干涉。例如，在集體生活中的各項法律，特別是在民主生活中的法律，幾乎很少法律是基於我們所有每個人或者真的是整體意志同意的情況下所通過的，更不用說有不少法律即使通過之後引起很大的爭議。對於共和主義者而言，多數決常常是宰制公民的手段，因此反多數決是共和憲政體制的要素[28]。法律的正當性不在於多數決，而是法律本身是否有經過程序讓人民審議，以平等保障所有人的權益。人民集體影響與控制法律是 Pettit 所期盼的，而且 Pettit 也認為如此集體性的人民影響與控制是法律正當性的來源，儘管這種正當性的詮釋是非道德化的。而且，在正當化的過程中，個別法律幾乎都是多數決所決定，這表示國家必須有制衡機制以防止多數決宰制的問題，例如，民主環境應該基於公共利益去選擇適當的候選人舉與持續抗議不公不義的事件[29]。

然而，Pettit 所強調的人民可以控制國家或者法律這件事情有其不確定性，不僅因為人民是否真的可以清楚辨識公共利益以控制國家之外，利益團體的角力也是令人擔心的，如何克服利益團體的影響應該不是只靠高喊公共利益的口號即可解決。儘管 Pettit 想利用公共資源支持公共媒體，希望透過公共媒體的公信力與聲望抵抗私人遊說團體的強烈影響[30]，但是，當政府與公共媒體的關係過於密切，又人民相信政府可以克服宰制的情況下，這可能導致人民會過度盲目依賴公共媒體，而忘記自己身為閱聽人該有的批判性思考。

即使 Pettit 認為，比起總統制，內閣民主制度較不會受到遊說團體過分影響，因為若要影響，則「整個政黨或者幾個有權勢的政黨都必須買通；他們不能集中...對某個人或者某些重要人物下手」

[31]。但是，當代私人遊說團體的影響力可能超出 Pettit 的想像，有些遊說團體甚至可以達到跨國性的影響，如幫助台灣遊說的「波多馬克國際」公關公司等[32]。假設未來英美兩國有利益上的關聯，難保英國的內閣制不會受到如美國強大遊說團體的影響。更何況，英國工黨也深受工會影響很深[33]。

另一方面，丈夫與妻子之間的默契與國家與人民之間的關聯有根本性質上的不同。夫妻之間通常歸屬於私領域，國家與人民之間則屬於公領域。若我們將私領域的情境類比至公領域，則這很可能只是將私有領域的私益轉嫁到公共利益的範疇上，而後者才是共和主義者所念茲在茲達成的目標，而非前者。如果 Pettit 想證成非任意的干涉確實存在，而且也不會限制個人自由，則不應該利用私人關係的例子，而是應該直接以實際政治傳統的例子來說服我們基於共同利益，人們確實希望國家協助達成什麼目標，而法律的干涉也保證可以達成這樣的目標。但是，這麼一來，Pettit 會面對兩個難堪的情況，一個是 List 與 Valentini 欲論證的非宰制自由或者非任意的干涉最後只能採取道德化的策略面對社會自由的議題，另一個是 Pettit 只能不斷地在公共利益、國家與人民、法律、政治關係、集體意志、民主制度、國家行動者等非私有領域的概念打轉，形成某種抽象的空洞循環，最後也不得不將非任意干涉本身視為「被給定」或者「既定」的國家行動。之所以是國家行動，這是因為共和主義者期待國家介入社會生活，避免宰制，且也期待成為非任意的政治組織。

也許對於 Pettit 而言，如果他的共和主義理論是傾向後者，殺傷力不一定很強大，只要這樣的循環會是良性的即可。不過，若是共和主義最後訴諸某種道德傾向，則這不僅有害當代共和主義的發展，而且更容易自打嘴巴，即可能讓自身的理論或者因此所建構的種種制度反而成為宰制那些與自己主張不同的社會組織。這當然不會是 Pettit 所樂

見的，他勢必要以自然主義或者以事實為基礎去建立非宰制的政治制度。儘管如此，List 與 Valentini 認為 Pettit 的企圖仍舊是失敗的。以下可歸納出幾項重點[34]：

- (一) 如果非任意干涉的行動是依賴於被干涉者可宣稱的利益，則如何說明一個即使經過符合正義審判的罪犯，他是不太可能會說自己被關在牢裡是符合自己可宣稱的利益，如何能說這個罪犯沒有失去自由？
- (二) 如果非任意的限制是以追求被干涉者所宣稱的自身利益為準，則從目前共和主義的陣營中，他們主要根據民主機制作為實現非宰制自由的方法，並且決定公民可宣稱的利益是利用民主決議程序作為工具。但是，如此利用民主程序的手段並無法徹底實現所有人的非宰制的自由。理由是，民主決定無法完全追求每個人的利益，僅能在不同個人之間衡量利益，最後國家以壓迫性力量執行民主決定的結果勢必是造成某些個人利益受到損害。人們想透過民主實現非宰制的自由，則會因為無法追求所有人的利益，將導致如此理想無法達成。
- (三) 當然，有人可能會說，我們不需要完全實現非宰制的自由，只要極大化非宰制的自由即可。但是，這會造成兩個問題：一是這無異表示共和主義者會承認多數宰制不可避免會存在。例如，以正常民主程序審判罪犯有罪，儘管國家不認為它在宰制他，但罪犯無法宣稱自己的利益卻是事實。二是在這種以民主程序為重心的政治體制，雖然透過民主程序似乎可以彰顯共同利益，但在不在乎內容是否具有壓迫性或者邪惡自利等情況下，如此共和體制是否值得追求其實備受爭議。
- (四) 最後，我們會面臨兩個兩難抉擇：在我們

追求那種具有道德價值，以純粹根據民主機制彰顯公共利益的非宰制自由國家的過程中，勢必會出現無法追求某些人可宣稱利益的情況，如經正當程序審判的罪犯或者被正當課稅的無政府主義者，前者可基於某種道德價值的非宰制的自由詮釋，但會導致有些人實際不自由的情況無法被描述。後者則強調是否有追求個人可宣稱利益為標準，非道德的非宰制自由觀會導致非宰制的自由只能以極大化的方式呈現，而無法成為完整的社會理念。

(五) 很顯然地，Pettit 是屬於(四)後者以非道德化的型式論證非宰制的自由，儘管他認為自身所主張的非宰制自由觀可視為最高政治理念。但是，即使 Pettit 主張去道德化的非宰制自由，採取是否有宣稱個人利益的角度看待干涉是否有任意性，但是這樣的看法仍然不足以證成現代共和主義可以利用非道德化的方式清楚說明個人自由是否有受到危害。

(六) 誠如上述，一個經過正當程序的囚犯可以宣稱說自己被關不符合自己利益，因此可說這個囚犯是不自由的。在極大化非宰制自由的過程中，這些人是被宰制的，不自由的。在另一方面，即使有些人認為在治療中心等機關被限制是個人可接受或同意的，知道自己的自由選項會被減少，但由於被減少選項是自己本人同意，也就是個人有授權給第三者來限制我的行動，這與個人所宣稱的利益可以一致，因此我們不能說這個人不自由。然而，這樣的看法並不可信。因為以丈夫授權妻子讓自己免於受到酒櫃的誘惑，願意讓妻子拒絕自己想拿酒的選項，如此對丈夫的限制在邏輯上是可能的限制行動，且在道德上可被允許，但是這並不能抹滅丈夫的自由行動實

際上受到限制的事實，所以，Pettit 是錯將對自由限制的證成行動誤認為沒有對自由產生限制的行動。丈夫是授權給妻子限制自己的選項，證成自身的自由受到限制，但是，這與實際上自己的自由行動受到限制是兩碼事。

(七) 綜合上述，儘管 Pettit 宣稱自己的共和版本是非道德概念，但是，無論從必然會犧牲某些人可宣稱的利益，使得非宰制的自由無法成為完整或者最高的社會理念之外，或者因為他錯誤地將證成個人自由的限制與沒有對個人自由產生限制視為同一，這使得最後不管 Pettit 的任意性或者非任意性觀念是流於道德化或者非道德化都無法說服人接受現代共和主義。

以上是 List 與 Valentini 認為共和主義即便有通過穩健性的條件，但是卻通不過去道德化的條件，因為共和主義的政治道德理論內部有矛盾之處，這使得我們應該放棄以 Pettit 為首的共和主義，而朝向兩位學者所辯護的自由即獨立的概念。雖然我認為 List 與 Valentini 兩位學者的自由即獨立有其原創性，如直接主張自由即是確定不被限制 (robust absence of constraints) [35]，可以更好說明沒有被干涉的奴隸問題、經正當程序審判的罪犯與被課稅的無政府主義者實際自由被限制的問題，但是，我認為，List 與 Valentini 仍然沒有徹底駁倒 Pettit 以去道德化的方式論證共和主義。主要理由在於，兩位學者沒有將「追求可宣稱的利益」嚴肅以對，以致於忽略個人利益與團體利益的追求有所不同。換言之，List 與 Valentini 是純粹站「個人主義」的姿態在看事情，這使得凡是傷害到個人利益者，若要給予證成這樣的傷害，則必然流於某種集體道德訴求，但至少以 Pettit 的角度來看，這並不盡然。Pettit 仍然有理由回應 List 與 Valentini 這種去道德化的政治哲學會是如何。以下我先說明 Pettit 的可能回

應，之後再繼續自己的批評，即若真要批評 Pettit 的自由概念，除了可釜底抽薪批評他的自然主義或者科學主義哲學之外，他的國家或者共和正當性概念才是駁倒現代共和主義的關鍵。

另一方面，我認為，List 與 Valentini 執意將自由概念與制度組成截然劃分，因為討論自由制度之前必須先清楚自由概念為何[36]。這樣的觀念起初看起來很可信，但是，為何討論自由時只能如此？在討論自由概念時為何不能有制度或者資源環境因素介入其中[37]？我們可以理解 List 與 Valentini 如此堅持的理由在於想簡化自由概念，特別想讓企圖衡量不同政治價值於共和自由概念下的做法進行「瘦身」，如此我們可以更直接直覺地理解自由為何，例如，經正當程序被關的囚犯仍然可以說自己的自由確實受到限制，而非說自己的自由沒有受到限制[38]。然而，這種觀點難道不會犯打擊稻草人的謬誤嗎？因為原本就無法不涉及資源環境或者制度因素的共和自由概念，現在卻似乎被強迫簡化成是否個人可宣稱的利益受到保證的問題而已。我同意 Pettit 將自由概念內含負載過多其他重要的政治價值，如平等、集體性、共同利益等等，但是，真正的做法不是直接簡化內涵，而是將成就共和自由其中最重要的要素，如涉及國家宰制的正當性問題應挑出來進行批判與討論[39]。

四、可宣稱的利益：團體利益優先於個人利益

根據 Pettit，非任意的干涉不只無關道德而已，而且還涉及被干涉者的利益是否有滿足個人之外，也還會考慮非個人、社會或者國家的利益。Pettit 說，

干涉的行動將會是非任意的是指它（干涉的行動）會被迫追求受到干涉的個人的利益與意見。或者，如果不是被迫追求個人所有的利益與意見—這

些（利益與意見）也許會有不一致的要求—至少也要被迫追求相干的利益與意見。例如，我也許可以因為國家課稅而獲得某種利益，或者因為國家有懲罰冒犯者而獲得某種利益...但是，我也許不想要國家向我課稅，或者不想要以適當的方式受到懲處。在這種情況下，我的相干利益與意見將會是那些與他人共享的利益與意見[40]，而不是那些會視我為例外的利益與意見[41]。

經由上述可知，個人利益不是一直都獨佔何謂追求可宣稱的利益，團體利益或者至少是那些可以與他人共同分享的利益可是為某種公共利益，而這樣一種公共利益即是與個人利益相連繫，甚至是相容的。List 與 Valentini 認為，如此號召公共利益的大旗除非採取某種道德主張，如公平、平等價值，否則勢必會有些人會自認沒有共享到相關利益，而感到自己受到宰制。然而，Pettit 的共同利益概念卻不是泛道德化的，因為如此共善觀念是奠基於公眾理由的：

我們可以將政治性的公共利益做如下定義。在任何社會中，某組實踐與政策具有公共利益，正是因為它透露出藉由公共可承認的判準，某組特別的實踐與政策比起其他可行的方案更能回應公共可承認的考慮；事實上，在審議何者應該執行時，就集體而言，就是那組實踐與政策最能滿足公共可承認的理由數量（the fund of reasons）[42]。

當然，List 與 Valentini 可能仍然反駁說，這些基於公共理由所執行的政策在民主機制中不可避免會讓某些人陷入被宰制或者不自由的情況，但是，我們可以用極大化非宰制的自由協助 Pettit 解套，即根據共同理由或者公共利益作為實踐與政策執行盡可能讓個人所宣稱的利益得到滿足，而非得到犧牲。另一方面，List 與 Valentini 認為丈夫即使根據自己所宣稱的利益授權給妻子減少其選項，以

證成對其自由的限制，這也並不表示這個故事的背後沒有預設團體利益的成份優先於個人利益的結果。某種意義上，夫妻關係是一共同體的利益關係。在這個共同背景之下，丈夫的授權也與他個人所宣稱的利益，如避免酗酒可以一致，這使得即使丈夫實際上失去某些自由選項或者行動，但是，在最大程度上，丈夫也獲得了非宰制的自由，亦即在共同背景利益之下，丈夫個人在犧牲可接近酒櫃選項的情況下，也獲得了免於酗酒的自由選項，而且這與共同背景利亦可產生一致。

也許有人會說，採取極大化非宰制自由的方式說明團體利益或者公共利益與個人利益的關係，甚至從共和傳統的角度看前者應該優先於後者，例如，Skinner 說的，「只有生活在自由國家自由才有可能」[43]，這樣的策略儘管可被視為是去道德化的，但是這種「極大化」看似一種話術，意即假定我們認定的極大化非宰制自由的目標是 100 個，但是，實際上卻只有 10 個，後者也可說是極大化了非宰制的自由，公共利益的實現也同時連帶讓個人可宣稱的利益獲得實現。我認為，眾人的期待與實際最後產生的自由結果有落差，若眾人也可體諒或者理解這點，我們也可將此視為極大化的結果。所謂「極大化」非宰制的自由可以因為不同地區、文化、集體認知、實踐狀況等進行衡量，整體看來，最後是否真有「極大化」則端視在地公民彼此之間是否可以實際接受而定，而這也直接涉及敏感的政治正當性問題。我認為，這比起共和自由概念是否為道德概念更應該是當代共和主義者在論證分析非宰制自由概念之時真正所需要面對的問題。

五、共和自由概念的真正問題：政治正當性的問題

儘管我們可以同情理解 Pettit 極大化非宰制自由的做法，但是，這並不表示 Pettit 的非宰制的自觀因此就沒問題。事實上，新共和主義者最後必須

面臨的問題是，如果我們同意非任意的干涉可以在最大程度上實現，則非任意干涉本身，如法律是否確實不會限制個人自由，成為宰制公民的國家工具？根據 Pettit，政治正當性的問題原本即為自由的問題，而以羅馬傳統為依歸的共和主義強調個人自由與壓迫體制的關聯。可以說，壓迫性的國家體制有無危害個人自由的正當性問題正是共和主義關切的核心[44]。相對而言，Berlin 所主張的非干涉自由理念即使沒有國家背景，個人仍然可以享有非干涉的自由，因為法律終究是一種對個人自由的枷鎖，法律會危及個人自由甚深[45]。但是，Pettit 所主張的非宰制自由卻不是如此，自由概念本身內建或者同步形構政治制度[46]。

至於為何整個包括現代共和主義傳統要將非宰制的自由概念內建國家或者政治概念，這除了有歷史偶然的因素之外，在概念上，根據 Pettit，這個問題可做兩方面回答。一是從個人無力解決的方面回答。另一是從共享規範無法徹底解決的方面回答。首先，Pettit 認為，宰制問題交給個人只會產生類似 Hobbes 所言戰爭狀態的局面，每個人只會根據自己的想法與利益去爭取自己不被他人宰制的結果，公共利益非常脆弱不穩定[47]。這使得我們需要有更強而有力且有成效的方式解決宰制問題，不論是私領域的宰制或者公領域的宰制，而國家在共和傳統歷史中扮演著最重要的角色。其次，若有人認為單靠個人無法徹底解決宰制，則經由同樣訴諸集體性的社會共同規範也可以解消宰制，強制壓迫性的國家組織也可以不用[48]。非宰制的自由概念也可以不用內建國家的角色。而且，如此社會共同規範不是先天或者事先就設定好或者特定的行為道德規則，而是一種在實際的社會互動規則中所附帶產出的公共規範系統。既然是附帶產生的規則系統，這表示沒有單一或者獨特的行動者需要像國家或者法律刻意創造、型塑或者監控這些行為規則。在這種情況下，各種可能的詐欺、不真誠、操控、暴力與侵略性等等有害於社群規範的

負面形式都可以在社會共同規範的範疇中揭露出來，我們為何不能說公共規範系統本身足夠在最大程度上讓宰制消失[49]？

Pettit 的回應是，若非宰制的自由概念不預設國家概念，以上社會共同行為規範仍然無法有落實成效[50]。以下有三點可資說明：

- (一) 自發產生的社會共同規範不太可能有辦法適當辨識出哪些種類的自由是屬於非宰制的自由，比方不太可能恰當揀選出那些自由選項是屬於基本自由 (basic liberties) [51]。
- (二) 自發產生的社會共同規範也不太可能如國家可以利用命令給予基本自由完全的資源，尤其當這些資源還需要進行某種程度的重新分配。
- (三) 如果自發產生的社會共同規範不太可能辨識基本自由與抗拒少數人想要集中權力資源，則純屬社會性的共同規範也不太可能確實保護所有人。在少數人可以掌控大部分有限資源的情況下，在沒有強制性的中央公平規範資源分配的情況下，只能任憑原本強勢的一方去支配另一方，即使所有人都不認為自動自發產生的共同規範本身不會有宰制的問題。

以上 Pettit 的三點說明有說服我們非宰制的自由必須內建國家概念了嗎？我認為，Pettit 在上述說明中有丐題的謬誤問題，即他已經將內建國家的非宰制的自由概念視為衡量標準去判定若沒有國家，則非宰制的自由無法實現，對於宰制的概念、範圍與實施狀態有預設立場，這使得我們需要更多的理由去證成非宰制的自由理念必須預設國家觀念的想法。基於此，Pettit 又提出三種不可迴避的事實，希望以此說明國家內建於非宰制的自由有其必要性。對於 Pettit 而言，國家不是必要之惡，而

是中性呈現三個必然的事實。這三個必然的事實分別為歷史的必然事實 (historical necessities)、政治的必然事實 (political necessities) 以及可以平等展現國家功能的必然事實 (functional necessities) [52]。

「歷史的必然事實」是指我們目前生活在國家環繞的地球上，基本上已經找不到任何沒有國家影響的疆界。換言之，這個世界早已完全徹底地被國家組織所占據。你我都無法在這樣的環境中可以自由選擇生活在自然狀態或者政治社會的狀態。事實上，姑且不管國家優劣程度為何，國家是基於客觀獨立、不涉及意志成分的方式在運作。Pettit 將此運作方式比喻為物理自然律，國家的運作規則會自然強制人類實現應有的公共目標與政策。也許有人會對此感到悲哀，不過 Pettit 卻認為這種間接抗議對於原本非意圖性的人類歷史發展結果無效。

另一方面，根據 Pettit，你我不僅無法自由選擇是否生活在政治社會，你我也無法自由選擇是否生活在這個國家或者那個國家，這是「政治必然性」。從目前的現行世界秩序看來，每個國家原則上都會給予其人民移民的權利，並不一定要限制你的行動。如果有國家這麼做，那麼這個國家有可能宰制你。但是，即使自己的國家不會限制你的行動，這不表示其他國家也不會限制。難道國家會宰制我們是因為其他國家有意無意地設定層層條件，故意讓我們不去別的地方生活？Pettit 認為不一定。我們無法要求每個國家都為我們完全的開放進入，因為這只會造成國家內部功能的失常與崩壞，整個國家最後如果真的消失，我們想要自由進出的機會也根本不再可能。所以，國家有必要控制人數，在不歧視的條件下慎選移民政策，以保持政治系統長遠穩定。

第三個必然性是涉及平等意義的「功能必然性」。國家的必然特色除了滿佈整個地球，以及無法方便行動到每個國家去過生活之外，還有一個必然特性是指每個人勢必都是生活在壓迫性的國家範

圍中，不可能有誰比誰更有特權免於這種壓迫的限制，因此這種壓迫性的限制是平等地對待每個人，確實履行了每個人都是平等之身的承諾。同時也可讓那些原本不想遵守的成員或者想佔別人便宜的人可以受到約束。如果有人真的可以避開壓迫性的限制，這個人或者團體違背了國家本來應為的規範，而必須受到程度不一的懲罰。

儘管 Pettit 自己也認為這樣的國家圖像是令人感嘆的，但卻很切實地捕捉到現今國際社會的形象。更重要的是，我們不能因為對國家有這樣的形象感到憤怒與悲觀，逕自認為國家必然宰制或者干涉了我們，以為我們有理由支持無國家主義、解消國家的疆界以及反對國家的壓迫[53]。殊不知其實我們所討厭的常常是那些政權，而非國家本身，我們要政治人物下台，而不是要取消政治人物的頭銜與形象。因此，即使我們再怎麼厭惡國家，也不必應該支持無政府主義、無邊界主義與反壓迫主義，反而應該從國家系統內抗議不當的公共政策，同時在平等主義之下願意接受國家系統的規範與懲罰，極大化實現非宰制的自由。

本篇論文的主旨在於指出共和自由概念的根本問題並非穩健性或者道德化的問題，可以說，Pettit 的自由概念是去道德化與不預設任何其他規範概念，如有效性或者正當性等概念。然而，本文也指出 Pettit 的共和自由有實質性的問題，即在落實自由概念時有必須嚴肅以對的問題。如果沒有妥善處理，則個人或者團體自由將受到宰制，而最大的宰制來源即是國家。

本文認為，Pettit 意圖利用三個所謂的必然性事實欲說服我們接受國家的存在本身是無法選擇的事實。我們無法選擇是否繼續留在國家狀態或者自然狀態，且既然我們無從選擇，我們就不能說國家的意志是會宰制我們的外來意志。因為只有那些可讓我們選擇的政治意志，如政體、法律系統等人為意志才有可能對我們產生宰制。如果我們要討論人民可以控制的領域範圍或者共和主義的正當性

問題，勢必要排除無法選擇是否要生活在自然或者政治狀態的限制，也要排除無法確定選擇生活在哪個國家的限制，同時也要排除無法選擇生活在沒有任何懲罰機制的政治社會之限制。

然而，本文不認同 Pettit 將上述三個限制排除在共和正當性的討論之外。主因在於人們對於何謂「宰制」的界定眾說紛紜，而且即使我們使用 Pettit 的界定，即主要放置在基本自由的範圍內，我們也不能斷定上述三個政治限制必然無法通過基本自由的標準。例如，可能對於台灣不少人而言，台灣是否為一個國家，台灣是否要與其他國家統一，或者台灣的懲罰機制是否正當就是一個每個台灣人有理由關心的基本議題。在國際社會的層次上，英國脫歐現象某種意義上也是類似的問題。

Pettit 的思考過於自信地認為在人類歷史上國家政治實體必定遍地開花，這是政治與歷史的必然，但殊不知世界上有些文化或者政治實體卻時常掙扎於自我認同的問題。因此，本文認為，如果 Pettit 可以將三個必然性的政治限制納入共和正當性的討論，這會讓他所主張的非宰制自由觀更為豐富與自然。不僅在西方政治歷史上可以做此運用，非西方政治歷史處境亦可。

如果這項提議可行，這也會正向影響 Pettit 所提出的三個公民控制的條件，即每個人更有能力平等地控制國家發展；人民在行使權利時可更為獨立；人民在控制這個國家時將更有成效[54]。每個國家都可以根據自身歷史文化情境脈絡解釋或者證成自身需求。也許 Pettit 會認為若把三個必然事實也納入公民控制範圍，則這會導致無政府風險或者會失去可以保護人民的國家機制，但本文認為，正如同 John Locke 不擔心人民推翻不義政府，寧願回到自然狀態一樣[55]，如果宰制是如此嚴重，則回到過往共和主義者也有主張的非個人化的社會習慣來控制有何不可，儘管在這個社會組織中無法像理想上的保護政體可以充分提供基本自由的資源。

更何況，將 Pettit 所排除的三個政治限制納入共和正當性的討論範圍是一個需要長期證成的過程，而非直接想納入就納入，Pettit 的主要問題在直接排除納入這三個政治限制，這容易導致未來的共和國體制在議題設定或者公共政策的制定顯得保守。

由於本文僅想突顯非宰制自由概念的真正問題，即是否非宰制的自由概念應內置國家觀念，進一步實質性的檢討工作則留待其他文章發揮。我認為，三種國家存在的必然背景，即歷史的、政治的與功能性的背景或許可視為實現非宰制自由的舞台場景，人們不得不在這樣的舞台上落實公眾與個人自由理念。這就有點類似我們無法事先預知自己會生在哪裡一樣。同樣地，我們也無法預知與選擇自己是否會在無國家環境中生活，這使得我們只能如羅爾斯所言的，政治哲學其中一個重要工作為調解性工作，希望藉由顯示社會體制整個歷史性的理性發展，試著平息我們的挫折感與對社會的憤怒吶喊[56]。自由與國家的必然連結與兩者可能之間的衝突與調節其精神應該也是如此。

六、結 論

本篇論文我從說明 List 與 Valentini 兩位學者對於自由主義與共和主義自由觀的分析開始出發，一般而言，我也同意兩位學者在穩健性的條件上傾向同意自由主義無法滿足此條件，而共和主義自由觀可以，也更進一步證實自由概念的討論確實需要滿足穩健性的要求。然而，在去道德化的部分，我不認為 List 與 Valentini 已經很有說服力地駁倒以 Pettit 為首的共和自由概念，因為他們忽略共和主義傳統最重要的特徵，即團體或者國家利益優先於個人利益的想法。這當然不是說國家利益沒有任何規範可言即能無條件地超越個人利益，而是在最大程度上或者從極大化的角度去檢視是否共同可宣稱的利益與個人可宣稱的利益可以產生一致性。本

文主張，共和自由概念的真正問題在於如何判定國家是否必然可視為解決宰制的必要工具，或者哪種國家體制乃至於何種政權可以根治宰制問題等政治正當性問題。而 Pettit 對於國家是否為解決宰制必要的手段採取中性的支持，這使得有識之士只能不斷地繼續思索個人自由與國家之間的衝突與調節關係。

參考文獻

- [1] C. List and L. Valentini, *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4): 1043-1074. 2016.
- [2] 在此所謂真正的自由不蘊涵這是「唯一的自由」，而比較偏重意指「正確的自由」。
- [3] P. Pettit, *Negative Liberty, Liberal and Republican*. *European Journal of Philosophy* 1 (1): 15-38. 1993.
- [4] I. Berlin, *Two Concepts of Liberty*. *Four Essays on Liberty*. London: Oxford University Press. 118-172. 1969; H. Steiner, *An Essay on Rights*. Oxford: Blackwell. 1994; I. Carter, *A Measure of Freedom*. Oxford: Oxford University Press. 1999; M. Kramer, *The Quality of Freedom*. Oxford: Oxford University Press. 2003.
- [5] 在此所謂的「共和自由主義者」是指同時包含共和主義與自由主義要素，尤其強調無道德色彩與穩健踏實的非干涉自由理念，儘管追隨 Pettit 的共和主義者比較喜歡專研不被他人支配或者宰制的概念。
- [6] P. Pettit, *Republicanism: A Theory of Freedom and Government*. Oxford: Oxford University Press. 1997.
- [7] C. List and L. Valentini, *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4): 1043-1074. 2016.
- [8] C. List and L. Valentini, *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4): 1046. 2016.
- [9] C. List and L. Valentini, *Freedom as*

- Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1046. 2016.
- [10] 在 List and Valentini 的整理中，如果奴隸被干涉的機率「確定」是零，則這只能表示主張非干涉的自由主義者的確相信自由確實需要有踏實性或者確定性的條件，而非指非干涉的自由論述基於機率說就會是完備的。C. List and L. Valentini , *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1055. 2016.
- [11] 在此區別「是否有」與「是否會」純粹從確定干涉與否的層面判定機率說的缺失與可能說的優勢。個人被他人干涉至少有兩種蘊含：一是個人實際上有無可能遭受他人干涉，另一是個人有無可能遭受他人干涉。後者的論證範圍明顯比前者廣，因為前者終究只在意個人實際上有高的機率可能會被干涉，後者則還需要設想個人各種可能被干涉的可能性，而不僅限於實際世界，儘管實際世界也是可能世界的一個世界。以奴隸想打個盹為例，他有可能實際上終身不論何種原因可以讓他繼續打盹，主人絲毫不以為意。但，主人仍是主人，我們或者奴隸可以設想自己是有可能被干擾的，不論這種設想是否實際上會發生。因此，我們不僅需要在意奴隸想打盹是否實際沒有受到干涉，也更要重視奴隸想打盹的事情是否確定不會受到干涉。非干涉的自由觀或者機率說只在乎前者，而非宰制的自由觀更優先重視後者，因為後者一旦成立，即個人確定不會受到干涉的結果自然可以蘊含前者實際上不會受到干涉。詳細論證可參閱 P. Pettit , *Keeping Republican Simple : On a Difference with Quentin Skinner*. *Political Theory*. 30 (3) : 339-356. 2002.
- [12] P. Pettit , *The Instability of Freedom as Non-Interference : The Case of Isaiah Berlin*. *Ethics*. 121 (4) : 693-716. 2011.
- [13] J. Locke , *Two Treatise of Government*. (ed.) P. Laslett. New York : Mentor. 348. 1965.
- [14] C. List and L. Valentini , *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1051. 1067. 2016.
- [15] Q. Skinner, *Freedom as the Absence of Arbitrary Power*. in C. Laborde and J. Maynor (eds.). *Republicanism and Political Theory*. Oxford : Blackwell Publishing. 88. 2008.
- [16] 劉俊麟. 辯護極小化的共和主義－穩健實現公共證成計畫. 368-369. 2012.
- [17] C. List and L. Valentini , *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1055. 2016.
- [18] M. Kramer, *The Quality of Freedom*, Oxford : Oxford University Press, 135-143. 2003.
- [19] C. List and L. Valentini , *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1055. 2016.
- [20] C. List and L. Valentini , *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1056. 2016.
- [21] W. Fabian , *Slaves, Prisoners, and Republican Freedom*. *Res Publica* 17 (2) : 179-182. 2011.
- [22] C. List and L. Valentini , *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1057. 2016.
- [23] W. Fabian , *Slaves, Prisoners, and Republican Freedom*. *Res Publica* 17 (2) : 183ff. 2011 ; I. Carter , *A Critique of Freedom as Non-domination*. *The Good Society* 9 (3) : 43-46. 2000 ; M. Christopher , *The Indeterminacy of Republican Policy*. *Philosophy and Public Affairs* 33 (1) : 67-93. 70ff. 2005 ; J. Christman , *Review of Republicanism*. *Ethics* 109 (1) : 202-206. 1998.
- [24] 括弧內容為筆者所加。
- [25] C. List and L. Valentini , *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1060. 2016. 這個例子是 Pettit 近來頗為仰賴的範例，他最早是使用古希臘荷馬史詩《奧德賽》中尤里西斯囑咐其他水手幫自己綁在船柱上，水手們因

- 此有干涉尤里西斯行動的權利，避免半人半鳥的女海妖用歌聲吸引他，並導致船難。可參考，P. Pettit, *Law and Liberty*. in S. Besson and J.L. Marti (eds.). *Legal Republicanism : National and International Perspectives*. Oxford : Oxford University Press. 46. 2009.
- [26] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 57. 2012.
- [27] C. List and L. Valentini, *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1060. 2016.
- [28] P. Pettit, *Republicanism : A Theory of Freedom and Government*. Oxford : Oxford University Press. 180-183. 1997.
- [29] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 187-292. 2012.
- [30] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 233-235. 2012.
- [31] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 235. 2012.
- [32] 中時電子報.
<https://www.chinatimes.com/newspapers/20180819000402-260118>. 2018.
- [33] 王業立. 第二十二講：利益團體（一）. 臺大開放性課程. 7. 2013.
- [34] C. List and L. Valentini, *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4): 1060-1066. 2016.
- [35] C. List and L. Valentini, *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1067. 2016.
- [36] C. List and L. Valentini, *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4) : 1073. 2016.
- [37] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 36-37. 2012.
- [38] C. List and L. Valentini, *Freedom as Independence*. *Ethics* 126 (4): 1067-1068. 2016.
- [39] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 146. 2012.
- [40] 括弧與底線為筆者所加。
- [41] P. Pettit, *Republicanism : A Theory of Freedom and Government*. Oxford : Oxford University Press. 55. 1997.
- [42] P. Pettit, *The Common Good in Justice and Democracy : Essays for B. Barry, K. Dowding, R.E. Goodin and C. Pateman* (eds.). Cambridge, MA : Cambridge University Press. 164. 2004.
- [43] Q. Skinner, *Liberty before Liberalism*, Cambridge : Cambridge University Press. 60. 1998.
- [44] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 146-147. 2012.
- [45] I. Berlin, *Four Essays on Liberty*. London : Oxford University Press. 123. 1969
- [46] P. Pettit, *Republicanism : A Theory of Freedom and Government*. Oxford : Oxford University Press. 106-109. 1997.
- [47] P. Pettit, *Republicanism : A Theory of Freedom and Government*. Oxford : Oxford University Press. 67.1997.
- [48] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 134-136. 2012.
- [49] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 134. 2012.
- [50] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 135. 2012.
- [51] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 92-107. 2012.
- [52] P. Pettit, *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge :

- Cambridge University Press. 160-166. 2012.
- [53] P. Pettit , *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 164. 2012.
- [54] P. Pettit , *On the People's Terms : A Republican Theory and Model of Democracy*, Cambridge : Cambridge University Press. 166-179. 2012.
- [55] J. Locke , *Two Treatise of Government*. Peter Laslett (ed.). New York : Mentor. 1965.
- [56] J. Rawls , *Lectures on the History of Political Philosophy*. Cambridge : Belknap Press. 10. 2007.

實務問題解決:電腦 485 通訊透過 FPGA 晶片來對 I2C(Integrated Chips)介面控制(初始化與變更)

Practical problem solving: interface control between computer 485 communication (initialization and change) and I2C (Integrated Chips) via FPGA chip

謝正雄 遠東科技大學電機工程系教授

摘 要

本文成功地以 FPGA(Field-Programmable Gate Array)晶片來讓電腦 485 通訊得以對 I2C 元件的設定與初始化。一台電腦要控制數十台的整流機，所以要利用 I2C 來儲存與設定其整流機站號，也就是 FPGA 控制晶片同時完成與電腦 485 通訊與 I2C 通訊設定與儲存，業界提出的問題為「如何透過 FPGA 晶片來完成電腦 485 通訊對 I2C 元件的初始化(可以任意設定初值，不是 0)與更改」，本文針對此一問題，提出一個 I2C 的初始化與更改控制程式，以 HDL 程式語言寫入 FPGA 晶片內來與電腦 485 通訊，解決以上問題，並實際上機驗證本文所提控制器的有效性。

關鍵詞：FPGA 晶片、I2C 介面通訊、HDL 程式、485 電腦通訊

Cheng-Shion Shieh, Professor, Depart. of Electronic Engineering, Far East University

Abstract

This article successfully uses FPGA (Field-Programmable Gate Array) chip to allow a computer based on 485 communication to set and initialize the I2C components parameters. The company is a manufacturer of DC rectifiers, and recently use FPGA chips to control rectifier circuits. Because their computer needs to control more than 100 rectifier, I2C is needed to store and set rectifier station number by FPGA to complete the setting and storage. In shorts, the industry's problem is 「How to initialize the I2C components (can be arbitrarily set initial value, not 0) by the PC485 communication through FPGA chip?」. We have proposed an I2C initialization and change control program to write into the FPGA chip in the HDL programming language to solve the above problems. Also verify the feasibility of the communication between the controller and the EEPROM mentioned in this paper.

Keywords: FPGA chip, I2C communication interface, Hardware Description Language (HDL), Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM).

一、前言

隨著電子技術快速發展，許多的 IC 需要相互之間進行通信。為此，1982 年由荷蘭飛利浦半導體公司(Philips Semiconductor)開發雙向兩線串列匯流排 I2C (Inter-Integrated Circuit) 匯流排[1]，主要是為了讓微控制器或 CPU 以較少的接腳數連接眾多的低速週邊裝置之用，其優點是簡單性與有效。I2C 匯流排最初為音訊和視頻設備開發，如今已經成為晶片間低速串列通信的標準，被廣泛使用在娛樂消費、控制類電子設備場合[2]。

近來 FPGA 晶片被大量運用在工業控制[3-5]，手機與人工智慧深度學習[6]上，因此將 FPGA 運用在其整流機的控制運上，藉由其設計的彈性與高速運算的特性增加整流客製化快速製作，但其中央操作平台是一台電腦人機介面，一次要控制 20 台以上的整流機台，所以每一台整流機要有各自的 EEPROM 來儲取每一台各自的參數，這時就要在 FPGA 晶片內部寫入：(1)與電腦通訊的介面，(2)與 I2C 通訊的介面，(3)控制程式能夠完成電腦與 I2C 的通訊所須，起始與改變。

一般的工程人員較熟悉圖控軟體 Matlab/Simulink [7]利用這個工具的強大模擬功能，能夠即時看出設計的對錯，只要通過模擬驗證，再來就直接將這一 Matlab/Simulink 程式轉成相對應的 HDL 程式碼，再用 FPGA 專屬軟體 Quartus 來作編譯下載的動作。這種作法可快速將模擬與 HDL 程式設計合而為一，不僅節省時間也對程式設計觀念的澄清有進一步幫助。

本文段落分為：第二節簡述問題的描述，第三節提出此一問題的設計方法與相對應的程式設計，第四節提出實際的上機實測實驗報告，第五節結論。

二、問題描述

本文所要解決的問題是由電腦的 VB 介面透過 FPGA 控制晶片來寫入一些參數值給 I2C，當 FPGA

關機重開時，電腦 VB 連線到這一控制器後，電腦 VB 介面可以讀出原本關機前的參數，而且可以由電腦 VB 介面來寫入 I2C 且儲存在 I2C，詳細方塊系統解說如圖 1。

由圖 1 中可發現在 FPGA 內部須自行開發 I2C 通訊介面，VB 人機通訊介面與 I2C 控制程式，由於這三個功能程式的寫入 FPGA 晶片內部，才能夠當所有電源關機重開時，電腦 VB 介面上依舊可以將 I2C 上所儲存的值給讀出來不會跑掉，而且可以由電腦 VB 介面來更改 I2C 的值並自動儲存起來。以下的各章節分別介紹其設計功能。

三、設計方法

I2C 資料通信是由一條資料線(SDIN)和一條時鐘線(SCLK)組成，由一個主控端(Master)控制多個從裝置(Slave)，主控端可以是 FPGA，DSP，微控制器(MCU)，從裝置可以是 Aduio codec 晶片，TV Decoder 晶片，與 EEPROM 晶片，如圖 2。匯流排的啟動信號條件是當 SCLK 與 SDIN 都為高電壓時，SDIN 的電壓先由高變為低，再 SCLK 由高變為低；停止條件是當 SCLK 與 SDIN 都為低電壓時，SCLK 的電壓先由低變高，再 SDIN 的電壓由低變高如下圖 2 所示。本文目的是當電腦通訊介面一開機時，要求用主裝置 FPGA 晶片利用 I2C 先讀出存在 EEPROM 的 16 位元資料，送到電腦通訊介面上，此時 FPGA 就等待電腦通訊有無給不同的參數來給 I2C，若有給不同的參數時，FPGA 就呼叫 I2C 先寫進去 EEPROM 再讀出來給電腦通訊。整個 I2C 的啟動與結束信號關係如圖 3。

因為電腦 485 通訊要送訊號到 FPGA，因此在 FPGA 內部吾人要設計一個 UART 的介面來跟電腦 485 通訊，如圖 4 所示；進來到 FPGA 的訊號要送到 I2C，所以在 FPGA 內部也要設計一個可以讀與寫的 I2C 通訊來與 EEPROM 元件通訊，如圖 5 所示。

工廠的設計要求是當一開機時，機台可以自行

讀出原來關機時 I2C 狀態，所以 FPGA 內部還要設計出可以初始化 I2C 的原始值，設計概念是：機台一開機後，當 FPGA 已由 I2C 讀出 EEPROM 的值時，FPGA 主動丟出一個 trigger 給電腦 485 通訊告知已完成初始值的讀取，電腦通訊收到此一 trigger 後會自動將這一站號的參數給 EEPROM，這就是初始化的動作原理。此一功能的相對應程式如圖 6。

當由電腦通訊下達一個參數要存在 I2C 時，此時 FPGA 就要來判斷是否電腦通訊下達的參數與 I2C 現有的參數是否一樣，若一樣則「讀」，否則就是「寫」，其設計的流程如圖 7，其相對的 Verilog 程式語言如圖 8 所示。

四、實際上機實測

由一腦電腦透過 485 通訊來控制數十台的機台，也就是由電腦通訊下參數後，機台自行儲存電腦所下的參數，以後一開機時，機台就用這些的參數來運作，除非有新的參數要下達時，才會由電腦通訊來操作。

電腦 485 通訊的介面圖如圖 9 所示。本程式中 I2C 讀出來整流機台的站號參數設為 P0076，由電腦通訊要下去的參數設為 f19，設為 f19=2；其餘的實測電腦通訊參數：Vzero=10=f12a；電壓上限=f16a=46；保護時間=f17a=41；電流上限=f11a=60；相對由 I2C 讀出來的參數值設定如：Vzero=g12aa；電壓上限=g16a；保護時間=g17aa；電流上限=g11a，以上參數在圖 9 中以色框框起來。本次的實測就是當電腦通訊介面來下這些參數：P0076=2；f16a=46；f11a=60；f12a=10；f17a=41 時，由 I2C 讀出來的值也要跟它們一樣，代表程式設計是成功的。

本文實測圖是由邏輯分析儀來實測，其數據與圖 9 的通訊介面並排如圖 10，由圖 10 得知電腦通訊下達的參數值可以被寫入 EEPROM 且被讀出來，也就是：

f19a=P0076=2；f16a=g16a=46；f12a=g12aa=10；f17a=g17aa=41。

而且也成功地完成一開機就能抓到這些 I2C 參數。

五、結 論

本文是一實務問題所提出來的案例研究，以 FPGA 控制器來當電腦 485 通訊與 I2C 寫與讀的控制橋樑，提出其控制方塊架構設計並完成其相對應的 HDL 語言程式的撰寫，也成功驗證其功能的正確性。以此架構的控制設計的好處是：往後工廠有任何控制想法，可以任意地加在 FPGA 內部，不須額外來增加電路的成本，而且能夠快速客製化，達到少量多樣的產品呈現，但不會增加硬體成本，因為都是在 FPGA 內部的程式設計更改，非常有彈性地應付客戶的不同須求。

參考文獻

- [1] Microchip Technology Inc., "The I2C Bus Specification Version 2.1", Philips Semiconductors, 2000; <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/mi.2000.21817bab.024>
- [2] Stephen Bowling, Richard L. Fischer, "An I2C Network Protocol for Environmental Monitoring", AN736, 2000 <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00736a.pdf>
- [3] E. Monmasson and M. Cirstea, FPGA Design Methodology for Industrial Control Systems - A Review, IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 54, pp. 1824-1842, 2007.
- [4] F. Ricci and H. Le Huy, An FPGA-based Rapid Prototyping Platform for Variable-Speed Drives, in Proc. IEEE IECON'02 Conf., pp. 1156-1161, 2002.
- [5] J. J. Lu, T. C. Hsu, and H. P. Chou, System assessment of an FPGA-based RPS for ABWR nuclear power plant, Progress in Nuclear Energy, vol. 85, pp. 44-55, 2015.
- [6] Intel FPGA 技術與解決方案，

<https://www.computerdiy.com.tw/intel-fpga-2017/>

- [7] MATLAB/SIMULINK TOOL,
<https://cn.mathworks.com/products/matlab.html>
- [8] 邏輯電路設計 DE2-115 實戰寶典, 友晶科技出版

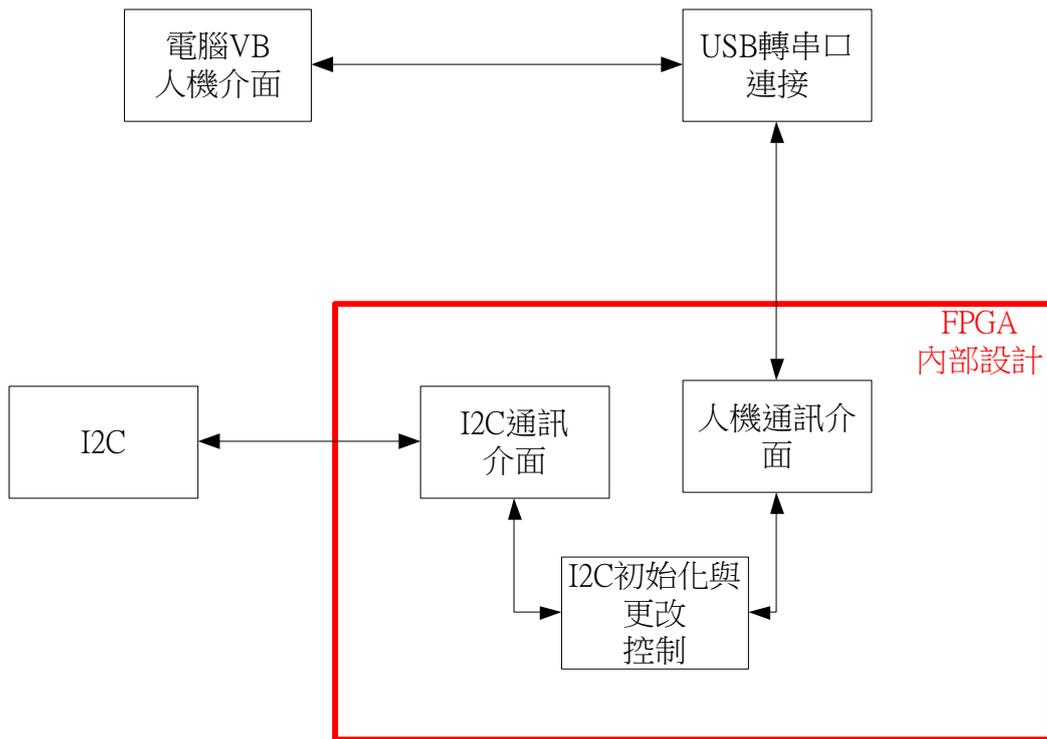


圖 1 系統設計方塊

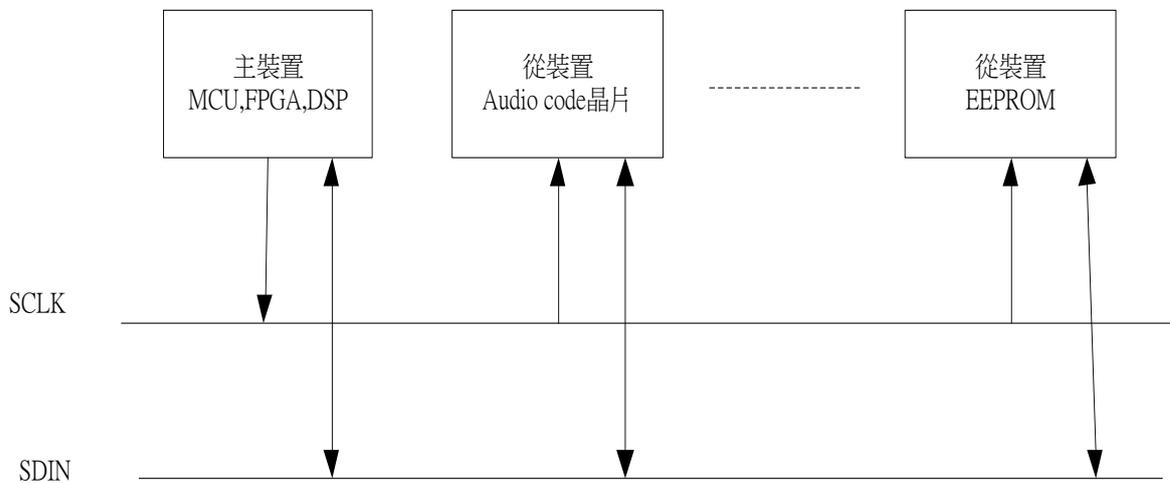


圖 2 I2C 主從裝置方塊

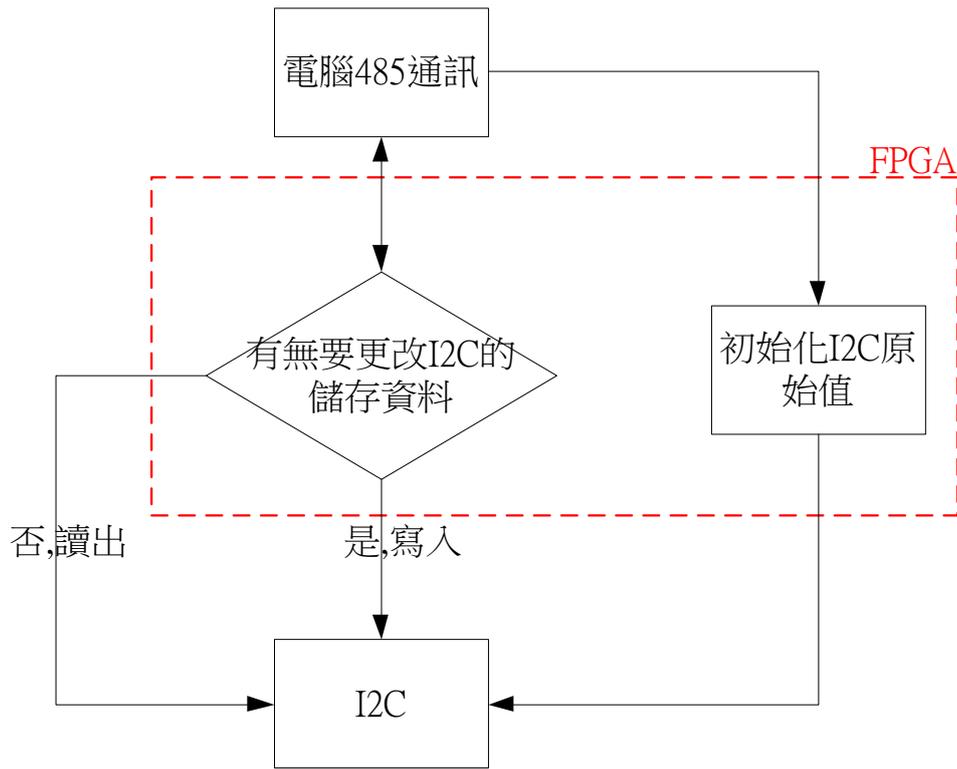


圖 3 系統運作圖

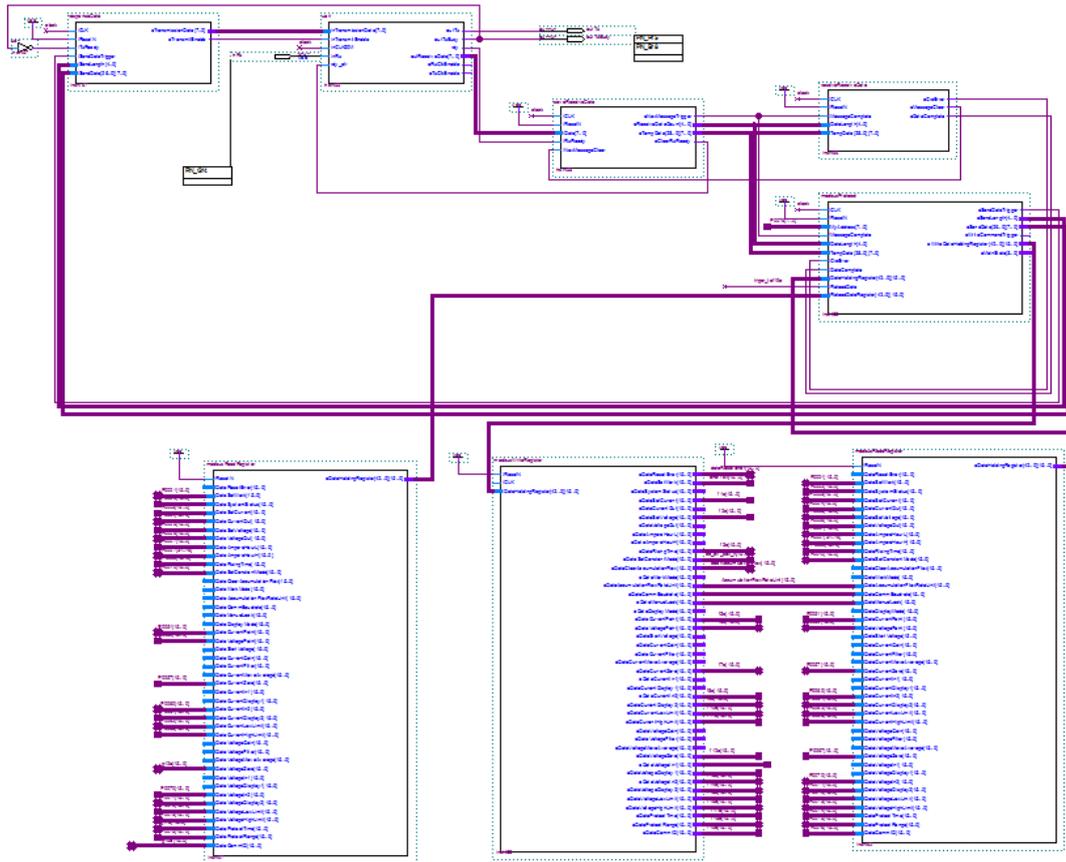


圖 4 FPGA 內部 UART 介面程式

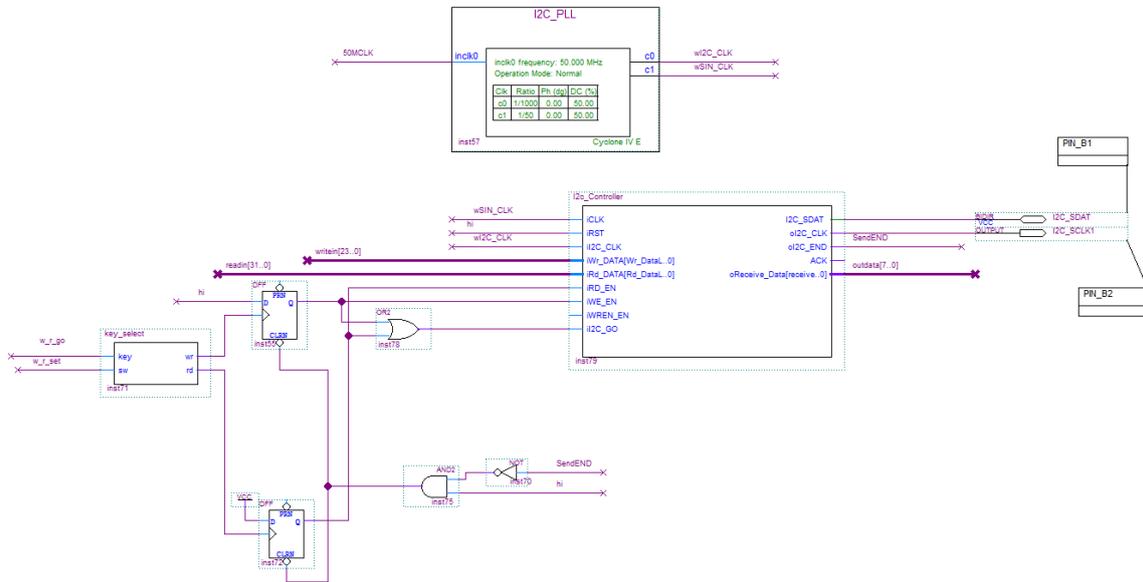


圖 5 FPGA 內部 I2C 介面程式

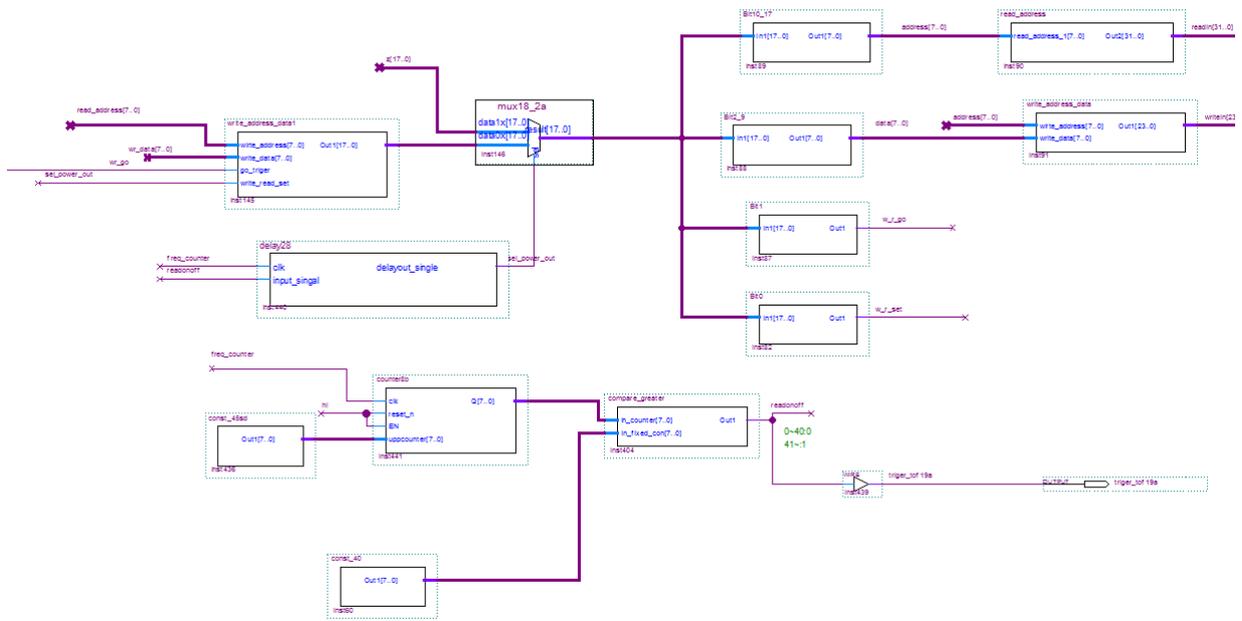


圖 6 FPGA 內部對 I2C 的初始化設計

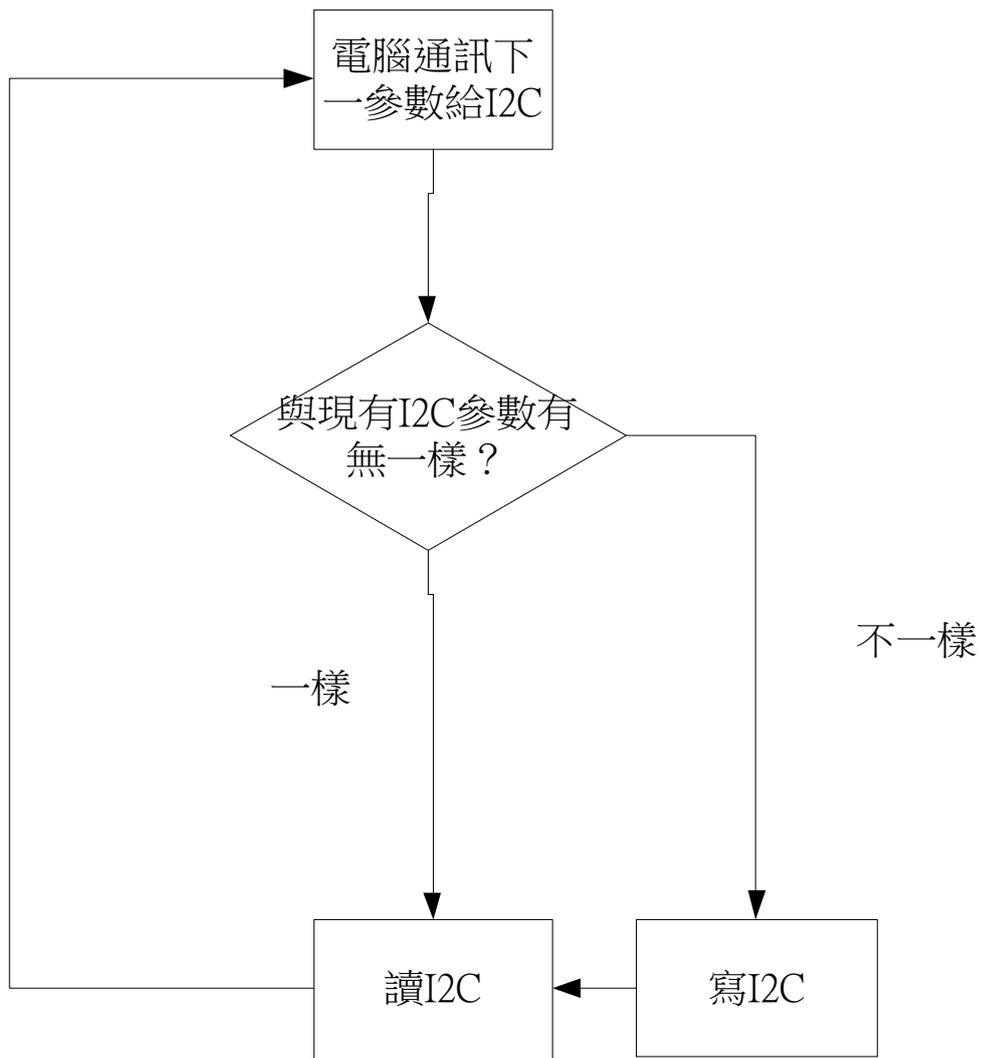


圖 7 電腦通訊與 FPGA 的讀寫偵測

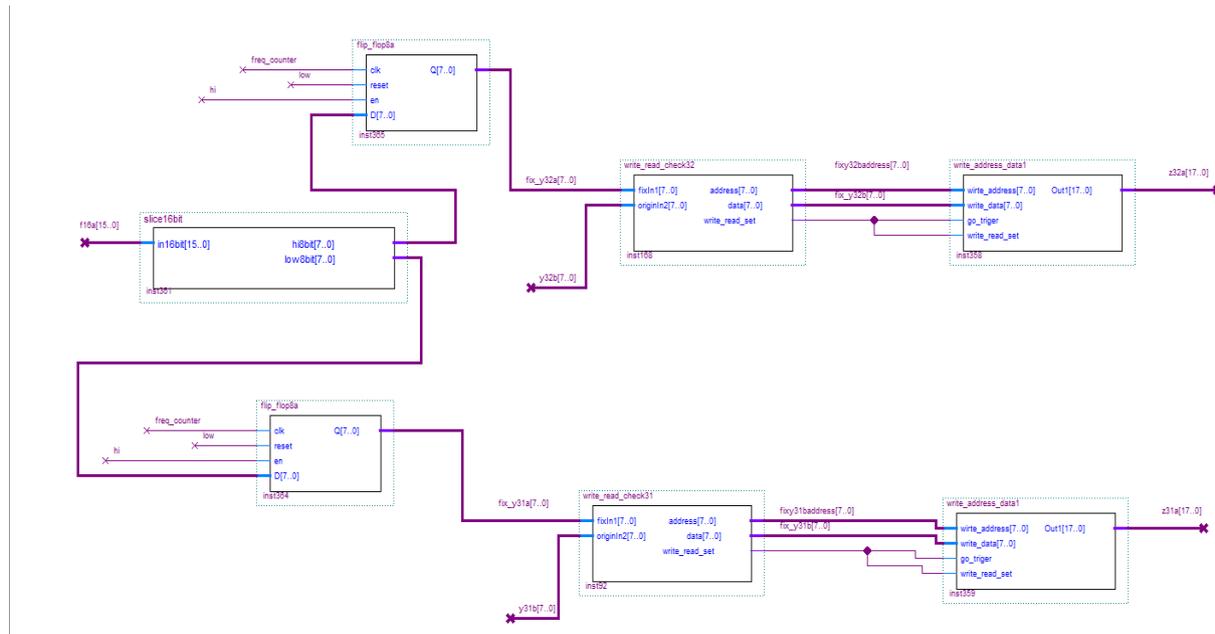


圖 8 偵測電腦通訊與 I2C 的參數以決定「讀」與「寫」



圖 9 電腦通訊介面

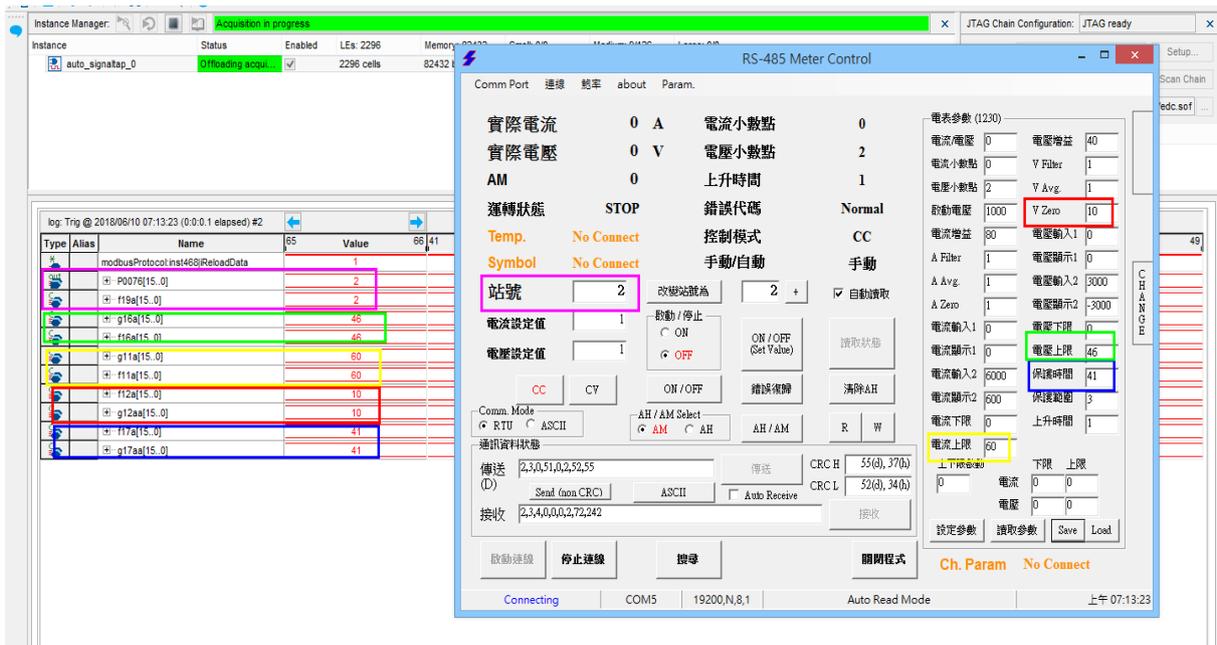


圖 10 系統實測數據

Journal of Far East University Vol.35 No.3

Publisher: Yen Ren Wang

Published by Far East University

Editor: Synthetic Affairs Section of Far East University

Address: No.49, Zhonghua Rd., Xinshi Dist., Tainan City 744-48, Taiwan

(R.O.C.)

Telephone: (06) 597-9566 ext 7010

Fax: (06) 597-7010

Published in December 2018

ISSN: 1811-816X

Copyright Reserved 2018

遠東學報 第三十五卷第三期

發行人：王元仁校長

發行單位：遠東科技大學

編輯：教務處綜合業務組

地址：744-48台南市新市區中華路49號

電話：(06) 597-9566 分機 7010

傳真：(06) 597-7010

出版日期：2018年 12月

I S S N：1811-816X

版權所有、禁止翻印