



晶圓測試廠溫室氣體盤查及查證之探討

呂博裕^{a*}、陳欽雨^b、施怡君^c

^a明新科技大學工業工程與管理系 教授

^b世新大學企業管理學系 副教授

^c明新科技大學工業工程與管理系 研究生

摘 要

本研究是依據 ISO/CNS 14064-1 等規範，探討晶圓測試廠進行組織層級溫室氣體盤查之指導原則與必要程序，以獲致盤查結果；接著依據 ISO/CNS 14064-3 等規範，針對盤查結果進行內部查證，從查證過程可辨識出盤查作業之缺失，作為未來盤查作業之參考。本研究並以一家實際的專業晶圓測試廠為個案，以闡述所使用的研究架構，而溫室氣體盤查年份為 2012 年。本研究第一階段溫室氣體盤查結果顯示，在 2012 年期間，個案公司溫室氣體總排放量為 19859.96 公噸 CO₂e/年。首先比較各排放源之排放量，其中，「外購電力」的排放量為 19845.30 公噸 CO₂e/年，占全年總排放量之 99.93%。本研究第二階段溫室氣體盤查後查證，係由個案公司環安部組成內部查證小組進行內部查證作業，查證結果顯示個案公司在重點項目皆符合 ISO/CNS 14064-1 標準。

關鍵字：溫室氣體、盤查、查證、晶圓測試廠

*通訊作者：呂博裕

Email: byleu@must.edu.tw





壹、緒論

大氣中可吸收地球長波輻射的氣體稱為溫室氣體，其濃度增加時，會降低地表反射太空的輻射率，減少熱量逸散至太空，所累積的能量促使大氣層和地表溫度升高。「京都議定書」(Kyoto protocol) 列入管制的溫室氣體包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、及六氟化硫(SF₆)等。其中以後三類氣體所造成溫室效應的能力最強，但對全球升溫的貢獻百分比來看，以二氧化碳(CO₂)含量較多，所占的比例也最大。由於人類持續排放溫室氣體的結果，IPCC (intergovernmental panel on climate change) 提出本世紀末全球均溫恐上升攝氏4.8度，全球海平面將升高到97公分(IPCC, 2013)。

為減緩人類經濟活動所排放溫室氣體，造成之全球氣候變遷危及環境生態，聯合國於1992年通過「聯合國氣候變化綱要公約」(United Nations framework convention on climate change, UNFCCC)，希望將大氣中溫室氣體濃度穩定在不危害氣候之水準上，並對「人為溫室氣體」排放做出全球性管制協議。由於聯合國氣候變化綱要公約條文屬於綱要架構性質，主要在陳述防制氣候變遷、協助開發中國家適應氣候變遷之重要、公約組織、氣候變遷研究觀測等，並未涉及強制法律約束。為了加速落實溫室氣體排放減量之法律管制，唯有制訂具有法律約束力之議定書才能有效要求附件一國家進行溫室氣體減量，因此促成具有法律效力的「京都議定書」產生。「京都議定書」在1997年開始進行簽署，但一直到2005年才正式生效。

我國環保署已於2012年5月公告「二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氫氟碳化物、六氟化硫、及全氟化碳物為空氣污染物」，將優先推動溫室氣體申報法制作業，依空氣污染防治法第二十一條規定，訂定管理辦法及公告對象。

環保署隨於2012年12月發布訂定「溫室氣體排放量申報管理辦法」及公告「公私場所應申報溫室氣體排放量之固定污染源」，自2013年1月起優先要求國內主要耗能產業及高能源密集度業者，依管理辦法相關規定，完成溫室氣體排放量之申報、盤查及查證作業。

「管理辦法」主要規範業者溫室氣體排放量盤查作業之計算方式、申報程序及內容等事項，申報方式一律採網路申報，並於每季先彙整相關活動數據，並經盤查及查證作業後，於隔年八月底前完成排放量申報作業(環保署，2012b)。

「公告對象」採分批循序漸進之管理方式，依業者行業別特性及排放規模，分別要求業者自2013年及2014年申報，約管制280家，其中第一批以能源密集度高及主要耗能產業等大排放源為主，包括發電業、鋼鐵業、石油煉製業、水泥





業、半導體業、薄膜電晶體液晶顯示器業等特定行業，及化石燃料燃燒產生溫室氣體年排放量達一百萬公噸二氧化碳當量之業者，自 2013 年 1 月 1 日施行；第二批則為化石燃料燃燒產生溫室氣體年排放量達為 2.5 萬公噸二氧化碳當量之業者，自 2014 年 1 月 1 日施行 (環保署，2012a)。

隨著國際間溫室氣體管制的議題逐漸受到重視，由聯合國對國家政治協商層次，落實至政府對產業之排放政策管制，而再漸進擴展到企業對企業間透過綠色供應鏈模式，要求供應鏈廠商碳盤查與碳揭露，更加顯示溫室氣體盤查之重要性。在資訊與科技發展蓬勃的21世紀，半導體產業面對全球氣候變遷及節能減碳之議題也相對重視，而「晶圓測試」(wafer probing) 在半導體供應鏈屬下游廠商，為了提升公司競爭力與善盡地球村成員應盡的義務，主動參與溫室氣體盤查將勢必列入企業經營策略之重要指標。

本研究是依據ISO/CNS 14064-1標準等規範，探討晶圓測試廠 (wafer probing factory; WPF) 進行組織層級溫室氣體盤查之指導原則與必要程序，以獲致盤查結果；接著依據ISO/CNS 14064-3等規範，針對盤查結果進行內部查證作業，從查證過程可辨識出盤查作業之缺失，將作為未來盤查作業之參考。

本研究以晶圓測試廠為研究對象，主要是因為本校鄰近新竹工業區，此工業區內有許多家專業晶圓測試廠，本文作者之一即任職於其中一家晶圓測試廠。而晶圓測試廠溫室氣體盤查結果經查證後，對內可辨識出可行的減碳方向，對外可揭露碳排放資訊給有需要之客戶。

貳、文獻探討

一、晶圓測試廠簡介

半導體的製造流程是由矽晶圓開始，經過一連串製程步驟，包括最初的磊晶沉積、沉積、微影處理的光學顯影、快速高溫製程、化學氣相沉積、離子植入、蝕刻、化學研磨與製程監控等前段製程，以及封裝、測試等後段製程，才可完成一顆可運用的 IC (integrated circuit)，如圖 1 所示。自 1947 年發明電晶體後，新的技術亦不斷的被發現，其技術的創新與快速使得積體電路製造在短短的數十年間迅速發展至今日的奈米半導體製程。此外，半導體產業在電子產品的輕、薄、短、小且多功能的需求下，使得 IC 的應用層面極為廣闊，舉凡生活、軍事用途、甚至太空科技的電子產品均少不了積體電路 (梁蕙姿，2005)。

半導體產業的最終產品為 IC，依照其用途和特性，分類如後並列舉每類 IC 的實際應用。



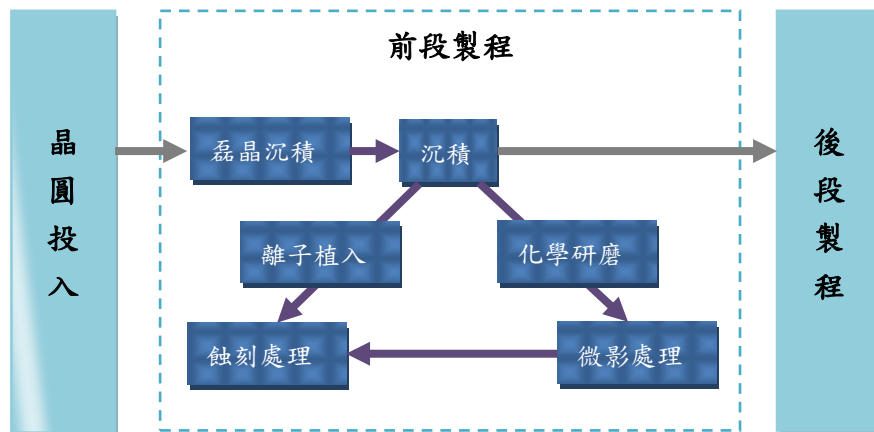


圖 1 半導體製程示意圖

資料來源：梁蕙姿，2005。

1. 記憶體 IC (memory IC)

主要用來儲存資料，依據儲存資料後是否需要不斷供電，可分為：「揮發性」(volatile) 和「非揮發性」(non-volatile)。揮發性記憶體 IC 若無持續供電，則儲存於內部的資料將無法保存；而非揮發性記憶體 IC 則無需持續的供電便可保留儲存的資料，雖然非揮發性記憶 IC 有此優點，但是它的電路較為複雜，對資料的存取速度也慢很多。

揮發性記憶體 IC 又分為：「動態隨機記憶體」(DRAM) 和「靜態隨機記憶體」(SRAM)，SRAM 與 DRAM 主要不同之處是在於 SRAM 不必進行 refresh 動作。DRAM 和 SRAM 各有長短，DRAM 因為裡面的使用的元件比較少，所以比較便宜，且同一面積的密度也比 SRAM 高。不過因為 SRAM 無需 refresh，所以速度比 DRAM 還快，但因為比較昂貴，所以在 PC 上面所使用的記憶體都是 DRAM。

非揮發性記憶體 IC 有 ROM (read only memory) 和快閃記憶體 (flash) 等，ROM 一般用來存放一旦儲存後不再修改的資料，例如：網路設備的開機程式或音樂 IC 上固定的音樂資料。快閃記憶體 (flash) 是目前成長最快的記憶體領域，多使用在相機和手機的記憶卡、隨身碟、MP3 撥放器等。

2. 微元件 IC (microcomponent IC)

微元件 IC 大致可區分為：微處理器單元 MPU (micro processor unit)、微控制器單元 MCU (micro controller unit)、微處理週邊 MPR (micro peripheral)、數位訊號處理器 DSP (digital signal processor)。

MPU 主要是用來進行運算用的 IC，在一個系統內 (如：PC、手機) 可以透過軟體程式，控制 MPU 內部的運算功能以達到特定目的。



MCU 整合 MPU、較小容量記憶體、外加少許的電子零件而成的簡單控制系統，用途從簡單的電視遙控器、微波爐、冷氣，到複雜的車輛智慧化等，相當廣泛。

MPR 由多種 IC 構成，用來處理週邊設備的組合式晶片，如：圖形控制晶片組、通訊控制晶片組、儲存控制晶片組、與其他控制晶片組（鍵盤控制、語音輸出入等）。

DSP 是一種用來處理需要複雜數學運算的特殊型 MPU，主要是用在自然界訊號（如：聲波、電波、光波）的運算與處理。

3. 類比 IC (analog IC)

類比 IC 分為：處理純類比訊號的「線性 IC」(linear IC) 和同時處理類比/數位訊號的「混合訊號 IC」(mixed signal IC)。

線性 IC 的代表如：放大器 IC、比較器 IC、電源管理 IC。放大器 IC 可將類比電子訊號放大，常用於音響擴大機、電視、顯示器、電話等產品。充電中的電池其輸出的電壓透過比較器 IC 和參考電壓比較可判斷電池是否充電完畢。至於電源管理方面，由於數位電路需穩定可靠的直流電壓，有時也需多組不同或相同的直流電壓，電壓調整 IC 可將交流電壓或直流電壓轉換成符合需要的直流電壓；電源參考 IC 則可提供一穩定的參考電源給資料轉換器及其他需要參考電源的電路用。混合訊號 IC 的代表如：類比數位轉換器 IC、無線通訊 IC、網路卡 IC、影像感知 IC、LCD 驅動 IC 等。

4. 邏輯 IC (logic IC)

邏輯 IC 大致可區分為：標準邏輯 IC (standard logic IC) 和特殊用途 IC (application specific IC; ASIC)。標準邏輯是最早期的 IC 產品，主要是進行一些基本的邏輯運算，例如：AND、OR。特殊用途 IC 可以完全由 IC 設計公司自行設計，或兼採部分標準元件。

台灣半導體主要朝向專業分工模式，產品一開始由 IC 設計公司設計完成後，委託晶圓代工廠製作成晶圓半成品，經由「晶圓測試」(wafer probing)，再轉給封裝廠進行切割及封裝，最後由測試廠進行後段測試，測試後之成品則經由銷售管道售予系統廠商裝配生產成為系統產品。

「晶圓測試」是對晶片上的每個晶粒 (die) 進行量測，在檢測頭裝上探針 (probe) 與晶粒上的接點 (pad) 接觸，這是 IC 設計與功能的重要測試，即測試晶片之電性連續性 (electrical continuity)、漏電流 (leakage) 及測試基本功能 (gross function) 是否正常。不合格的晶粒會被標上記號，接著當晶片依晶粒為單位切割成獨立的晶粒時，標有記號的不合格晶粒會被淘汰，不再進行下一個製程，以





二、組織溫室氣體盤查及查證相關文獻

在學術研究上，針對「組織溫室氣體盤查及查證」的研究已有一些，例如：Sundin and Ranganathan (2002)、Carney and Shackley (2009)、Kennedy et al. (2010)、Harris et al. (2012)、Sanchez et al. (2012)。以下我們將針對這些文獻稍作說明。

Sundin and Ranganathan (2002) 指出，面臨氣候變遷議題，公司進行溫室氣體排放量盤查是很重要的第一步。處於碳限制排放經濟政策，溫室氣體盤查在風險與機會上提供有價值的資訊。在經營策略層面，溫室氣體的排放量可能攸關於公司的經營許可權、競爭力、碳風險、和企業社會責任等問題。在操作層面，溫室氣體排放量的資訊可能與要做出什麼樣的產品、要使用什麼樣的材料和技術、要從那裡取得能源等有關。

Carney and Shackley (2009) 認為地區性減少碳排放政策需要使用方便的溫室氣體盤查和量化工具，因此作者提出了溫室氣體地域性盤查專案 (greenhouse gas regional inventory project, GRIP)，並採用以電腦為基礎的互動方式。此外，作者也提出在英格蘭 (England) 地區採用 GRIP 之展望，希望至 2050 年，能達到二氧化碳排放量大幅度減少 60% 之目標。有 17 個能源利益相關者已參與專業性的氣候變遷和碳減量相關議題，並努力尋找可在 2050 年前減少 60% 碳排放量的方法。

Kennedy et al. (2010) 描述所使用的方法與數據，針對洛杉磯、丹佛市、多倫多、紐約、倫敦、日內瓦州、布拉格、巴塞隆納、開普敦和曼谷等 10 大城市，以精確估算來自於電力、熱能、工業燃料、陸、海、空運輸燃料、工業製程與廢棄物之溫室氣體排放量的貢獻程度。估計汽油消耗量可使用三種方法：從當地燃料銷售量、從區域性燃料銷售比例、從車輛行駛公里數。估計廢棄物掩埋的溫室氣體排放量，是利用 IPCC 所提出的一個簡化版本。

Harris et al. (2012) 認為世界各城市目前使用的會計方法所做出多樣性的溫室氣體排放報告，欲做排放量比較幾乎是不可能的。因此，在 2010 年聯合國推動適用於城市和局部地區之溫室氣體排放量一致性量化協定，聯合國的共同標準對相關能源政策之比較、建立標竿與評估具有重要涵義，作者以香港作為案例來說明這些影響。

Sanchez et al. (2012) 認為美國環境保護署 (environmental protection agency, EPA) 的溫室氣體強制報告計畫 (greenhouse gas mandatory reporting program, GHGRP)，是設計用來蒐集準確且及時的設施層級的排放量數據，在未來可能會



被政策決策者用於支持所制定的強而有力之氣候政策。在檢討 GHGRP 下之美國盤查和期待改善措施後，作者發現 GHGRP 的利益是很小的，甚至很可能為零，而實施 GHGRP 的成本是相當的高。

參、研究架構與方法

本研究之研究架構分為二個階段，如圖 2 所示。第一階段是「組織溫室氣體盤查」，第二階段是「組織溫室氣體盤查結果查證」。

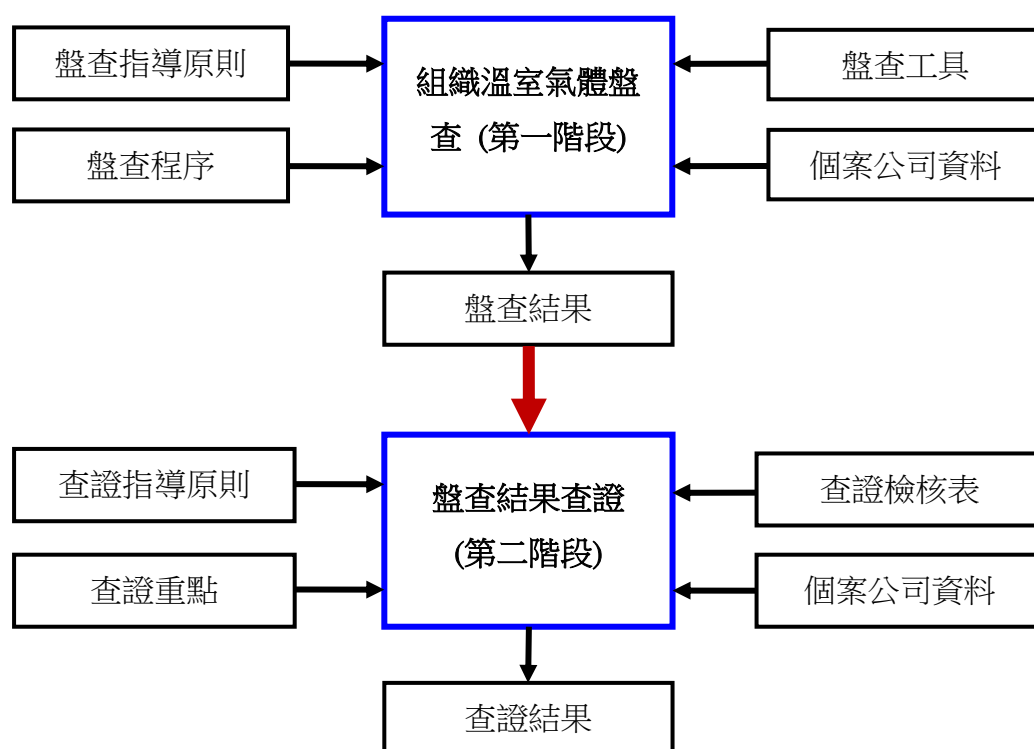


圖 2 研究架構圖

資料來源：本研究整理。

一、組織溫室氣體盤查 (第一階段)

本研究之研究架構的第一階段是「組織溫室氣體盤查」，即針對晶圓測試廠進行組織層級溫室氣體盤查，盤查之前要先瞭解二件事，一是盤查指導原則，二是盤查程序，然後再實際進行晶圓測試廠之盤查作業。

1. 盤查指導原則

溫室氣體盤查的基本原則共有五項，分別是：相關性、完整性、一致性、準確性、及透明度。應用這五項原則可確保溫室氣體盤查的結果能真實的反應組織

或企業的溫室氣體排放狀況。在許多狀況下，應用這些原則可協助使用者處理模糊難辨的狀況，並提供溫室氣體排放量與移除量之計算與彙總的遵循準則（環保署，2007；環保署，2009；ISO, 2007a；ISO, 2007b）。

2. 盤查程序

為因應環保署溫室氣體相關方案，鼓勵國內業者建構溫室氣體管理能力，掌握溫室氣體排放基線資料，環保署規範之溫室氣體盤查流程如圖 3 所示。相關業者在執行盤查作業時，應依據標準溫室氣體盤查程序進行。執行內容應包含邊界設定（組織邊界、營運邊界與基準年設定）、排放源鑑別、排放源量化、建立盤查清冊及數據品質管理等，並將盤查過程中之程序、方法及數據等予以文件化，產出盤查報告書，經過第三者查證後，將數據及佐證資訊登錄至國家登錄平台（環保署，2007；環保署，2009；ISO, 2007a；ISO, 2007b）。

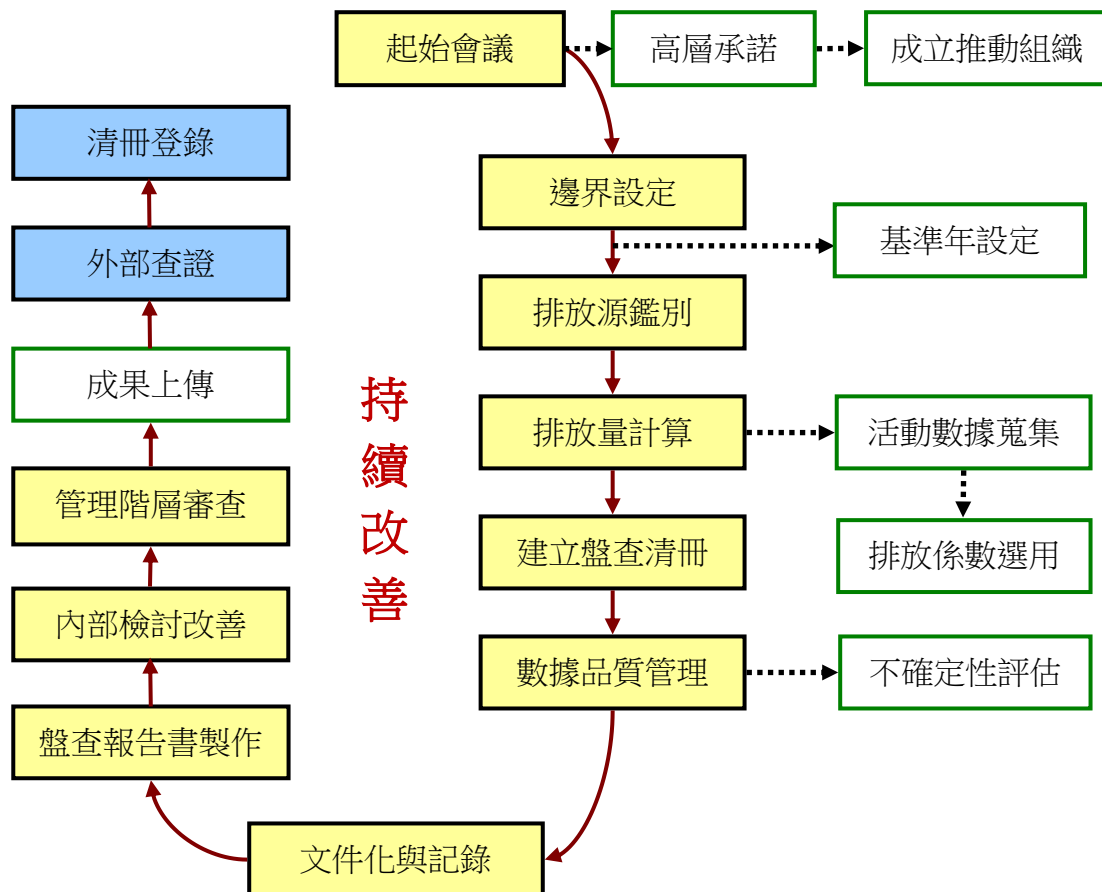


圖 3 環保署規範之溫室氣體盤查流程

資料來源：「產業溫室氣體盤查管理技術手冊」，環保署，2007。

二、組織溫室氣體盤查結果查證 (第二階段)

本研究之研究架構的第二階段是「組織溫室氣體盤查結果查證」，即針對晶



晶圓測試廠溫室氣體盤查結果進行內部查證作業，查證之前要先瞭解二件事，一是查證指導原則與查證技術規範，二是查證重點，然後再實際進行晶圓測試廠之查證作業。

1. 查證指導原則

規定查驗人員執行溫室氣體排放量盤查查證時應符合之原則，包括 ISO/CNS 14064-3 之獨立性、道德操守、公平陳述、及適當的專業關注。

2. 查證技術規範

查證技術規範係用以引導查驗人員執行查證作業，協助查驗機構判斷查證發現，並作出最後之查證意見，以達到高品質與獨立公正之查證目標，確保事業報告或登錄之資料符合環保署要求。

- (1) 保證等級：預期使用者對查證所要求的保證程度。
- (2) 實質差異：溫室氣體主張中個別或累積的真實錯誤、遺漏及誤導會影響預期使用者之決策。
- (3) 排除門檻：係指得以採取簡易量化方式之排放設施或作業活動之排放量上限。
- (4) 顯著性門檻：係用以定義事業營運邊界改變或溫室氣體源或匯的所有權與控制權移入或移出組織邊界，或量化方法的改變，對基準年排放量所產生的累積性效應顯著，而應啟動基準年排放重新計算的定性或定量準則。
- (5) 不確定性：與量化結果有關的參數，可將數值之分散性合理轉化，以量化數據顯示。
- (6) 取樣計畫：基於風險評估結果規劃取樣計畫，以蒐集充分適當的證據，達到合理保證等級之查證作業要求。

3. 查證重點

查驗人員於展開排放量盤查查證作業時，應掌握查證重點，環保署針對組織邊界、營運邊界、量化方法、基準年排放量、數據品質管理等重要內容，逐項說明其查證項目、潛在風險與錯誤因素等。

其中，查證項目部分為環保署要求查驗人員務必查證之重要規範，包含執行查證時應確認之內容，以及必要審查之文件，另環保署提供溫室氣體排放量盤查查證檢核表給查驗人員執行相關業務使用，亦可作為後續查證案件結束後呈報給環保署之必要文件（環保署，2010；ISO, 2007a；ISO, 2007b）。



肆、個案研究

一、個案公司簡介

本研究以一家位於新竹工業區的專業晶圓測試廠為個案（稱為個案公司），個案公司是由國內一家半導體封裝測試廠與日本一家晶圓測試廠共同於2008年成立，專門提供國內外半導體製造廠晶圓測試服務，該公司資本額為新台幣7.5億元。個案公司主要業務是提供晶圓測試服務，而服務產品項目包括：動態隨機存取記憶體（DRAM）、快閃記憶體（flash memory）、及邏輯半導體產品（logic semiconductor products）。

由於個案公司的組成源自於半導體大廠，因此不論是上游的機械設備、技術、管理，乃至於下游的行銷通路，皆具先天優勢條件，使個案公司在經營管理上，節省了許多學習及摸索的時間與成本。

個案公司場址所在各樓層主要依測試產品項目動態隨機存取記憶體、快閃記憶體、邏輯產品區分，明確定義各樓層產品類別、測試流程、與機台配置，使得產品測試更為順暢。辦公室主要為內部員工及外部客戶辦公區域，包括辦公室、會議室、庫房皆座落在此區。廠務機房主要為整廠電力、空調、空壓、自來水、純水、廢水、中央監控、消防火警等系統。

個案公司晶圓測試流程如圖 4 所示，並分別說明如下：

- (1) **Receiving** (收料登錄)：針對客戶送來的晶圓及相關資料，進行拆箱作業及收料登錄。
- (2) **IQC** (進料檢驗)：確保客戶產品的進廠品質。
- (3) **CP1** (第一道針測)：測出良品及不良品，並判斷是否可經雷射修補機台進行修補，以提升良品數。
- (4) **Laser Repair (L/R)** (雷射修補)：經測試機測試過判定為可修補的晶圓，依事先設計好的修補法則，用雷射將特定的 fuse 打斷，可將預置的記憶體單元來取代有缺陷的單元，而完成修補目的。
- (5) **CP2** (第二道針測)：第二道測試主要目的在判斷經雷射修補之晶粒是否修補成功，同時以不同測試條件再次篩選良品及不良品。
- (6) **Ink** (點墨)：判定為不良品的晶粒點上墨水做記號，後段廠做封裝製程時，便可略過這些不良品。
- (7) **Ink Bake** (墨點烘烤)：烤乾 ink 墨水。

- (8) FQC (最終檢驗)：確保晶片於 CP1 與 CP2 測試完成後，晶片品質符合客戶的要求。
- (9) Pack (包裝)：依照客戶要求，將貨批包裝完成，客戶若沒有要求馬上出貨，完成此一步驟之後就入成品庫。
- (10) OQC (出貨檢驗)：出貨之前的最後一次檢驗，確認隨貨文件、外箱包裝、出貨標籤、送貨地址是否達客戶要求。
- (11) Ship (出貨)：將客戶貨物運送至客戶要求送達之地點。



圖 4 晶圓測試流程圖

資料來源：本研究整理。

二、個案公司溫室氣體盤查結果 (第一階段)

本研究之研究架構的第一階段是「組織溫室氣體盤查」，係針對晶圓測試廠進行組織層級溫室氣體盤查，盤查年份為 2012 年，亦即盤查資料蒐集涵蓋期間為 2012 年 1 月 1 日到 12 月 31 日。

1. 盤查程序

本研究依據 ISO/CNS 14064-1 等規範之盤查作業流程進行組織層級溫室氣體盤查，以下依據標準溫室氣體盤查程序一一加以說明。



(1). 邊界設定

在邊界設定上，個案公司之組織邊界採「營運控制權法」，組織邊界之設定涵蓋廠址內所有設施內之設備與作業，而設施包括廠務機房、辦公室、庫房、各測試產品項目生產線等。

營運邊界設定應清楚掌握排放源所有權歸屬，並清楚界定各範疇別，目前京都議定書所規範之六種溫室氣體包含：二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氫氟碳化物、全氟碳化物、及六氟化硫。在溫室氣體盤查議定書 (the GHG protocol) 中，將溫室氣體排放 (源) 定義為三個範疇：範疇1 (直接溫室氣體排放)、範疇2 (能源間接溫室氣體排放)、範疇3 (其他間接溫室氣體排放)，而範疇1之排放源依據排放特性不同分為固定燃燒源、移動燃燒源、逸散排放源、與製程排放源四大類。國際間或國內在計算溫室氣體排放量時，主要包含範疇1直接排放源與範疇2能源間接排放源之溫室氣體排放量，至於範疇3其他間接排放源則採陳列方式表示。個案公司之營運邊界範疇所涵蓋項目如表1所示。

(2). 排放源鑑別

為了瞭解溫室氣體排放種類，尋找溫室氣體可能產生來源與發生途徑，並且確認其所產生之溫室氣體，在鑑別溫室氣體階段，其主要工作是將營運邊界內之排放源依據不同類型加以完整且清楚的區別，個案公司溫室氣體排放源鑑別表如表2所示。

(3). 排放源量化

本研究主要採用「排放係數法」，係指利用原料、物料、燃料之使用量或產量等數據乘上特定之排放係數所得排放量之方法，常用排放量量化公式如下：

$$\text{CO}_2 \text{ 當量} = \text{活動數據} \times \text{排放係數} \times \text{全球暖化潛勢(GWP)}$$

針對個案公司，必須蒐集的活動數據包含中油加油發票、台電收費單、設備冷媒容量、員工數與工時等。考慮溫室氣體會計及報告之原則，應建立數據文件之維護程序，將資料來源與種類詳細記錄，以供未來稽核與認證之需求。經蒐集並彙整個案公司各排放源之活動數據，溫室氣體活動數據管理表如表 3 所示。

目前在進行溫室氣體排放量量化時，主要引用聯合國政府間氣候變化專家委員會 (IPCC) 2006 年所公告之原始排放數據，再配合我國經濟部能源局公告的能源熱值。不過，在外購電力上，本研究是採用我國經濟部能源局公告之電力排放係數。本研究彙整後之排放係數管理表，如表 4 所示。

「全球暖化潛勢」(global warming potential, GWP) 的用途是將所有溫室氣體排放轉換成 CO₂ 當量，依照環保署規範，本研究採用 IPCC 1995 年公佈之第 2 次評估報告 GWP 值 (IPCC, 1995)。





表 1
個案公司營運邊界各範疇調查表

範疇	類別	對應活動/設施種類	排放源	
範疇1 (直接溫室氣體排放)	固定燃燒源	緊急發電機	柴油	
	移動燃燒源	公務車	車用汽油	
	逸散排放源	CO ₂ 滅火器		CO ₂
			冷氣機	冷媒-R22*
				冷媒-R410a
		冰水機	冷媒-R123*	
		乾燥機	冷媒-R404a	
		冷卻機	冷媒-R404a	
			冷媒-R23	
		冰箱	冷媒-R134a	
		飲水機	冷媒-R134a	
		公務車	冷媒-R134a	
	化糞池	排泄物		
製程排放源	—	—		
範疇2 (能源間接溫室氣體排放)	來自於輸入的電力、熱、蒸氣或其他石化燃料衍生能源所產生之溫室氣體排放	向台電購電 (外購電力)	電力	
範疇3 (其他間接溫室氣體排放)	溫室氣體的其他排放源	員工通勤	汽油/柴油*	
		商務旅行	汽油/柴油*	
		廢棄物委外處理	燃料*	

資料來源：本研究整理。

(ps) *代表不列入盤查。





表2

溫室氣體排放源鑑別表

編號	活動/設施	排放源	範疇別 (1/ 2/ 3)	可能產生溫室氣體種類						排放源類別				
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	固定 燃燒	移動 燃燒	逸散	製程	
1	緊急發電機	柴油	1	V	V	V					V			
2	公務車	汽油	1	V	V	V						V		
3	CO ₂ 滅火器	CO ₂	1	V									V	
4	冷氣機	冷媒 -R410a	1				V						V	
5	乾燥機	冷媒 -R404a	1				V						V	
6	冷卻機	冷媒 -R404a	1				V						V	
7	冷卻機	冷媒 -R23	1				V						V	
8	冰箱	冷媒 -R134a	1				V						V	
9	飲水機	冷媒 -R134a	1				V						V	
10	公務車	冷媒 -R134a	1				V						V	
11	化糞池	排泄物	1		V								V	
12	外購電力	電力	2	V	V	V								

資料來源：本研究整理。





表3

溫室氣體活動數據管理表

編號	活動/設施	排放源	活動數據				
			年用量	單位 (/年)	數據來源	來源說明	資料存放 單位
1	緊急發電機	柴油	.40744	公秉	加油單	中油加油發票	財會部
2	公務車	汽油	.60592	公秉	加油單	中油加油發票	財會部
3	CO ₂ 滅火器	CO ₂	0	公噸	CO ₂ 填充量	CO ₂ 填充廠商	廠務部
4	冷氣機	冷媒 -R410a	.0000056	公噸	冷煤逸散量 推估	採用排放因子	廠務部
5	乾燥機	冷煤 -R404a	.0007975	公噸	冷煤逸散量 推估	採用排放因子	廠務部
6	冷卻機	冷煤 -R404a	.0002313	公噸	冷煤逸散量 推估	採用排放因子	廠務部
7	冷卻機	冷煤-R23	.0000843	公噸	冷煤逸散量 推估	採用排放因子	廠務部
8	冰箱	冷煤 -R134a	.0000007	公噸	冷煤逸散量 推估	採用排放因子	廠務部
9	飲水機	冷煤 -R134a	.0000013	公噸	冷煤逸散量 推估	採用排放因子	廠務部
10	公務車	冷煤 -R134a	.0001300	公噸	冷煤逸散量 推估	採用排放因子	廠務部
11	化糞池	排泄物	121	人	總員工數	(236工作日/ 年、8小時/日)	人資部
12	外購電力	電力	37303.2	千度	台電電錶	台電收費單	財會部

資料來源：本研究整理。





表4

溫室氣體排放係數管理表

編號	活動/設施	排放源	氣體種類	排放係數		
				數值	單位	來源 (1. 國家排放係數、 2. 國際排放係數)
1	緊急發電機	柴油	CO ₂	2.606032	公噸CO ₂ /公乘	IPCC 2006年版係數 (2)
			CH ₄	.000106	公噸CH ₄ /公乘	IPCC 2006年版係數 (2)
			N ₂ O	.000021	公噸N ₂ O/公乘	IPCC 2006年版係數 (2)
2	公務車	汽油	CO ₂	2.263133	公噸CO ₂ /公乘	IPCC 2006年版係數 (2)
			CH ₄	.000098	公噸CH ₄ /公乘	IPCC 2006年版係數 (2)
			N ₂ O	.000020	公噸N ₂ O/公乘	IPCC 2006年版係數 (2)
3	冷氣機	冷煤-R410a	HFCs	1	公噸R410a/公噸	IPCC 2006年版係數 (2)
4	乾燥機/冷卻機	冷煤-R404a	HFCs	1	公噸R404a/公噸	IPCC 2006年版係數 (2)
5	冷卻機	冷煤-R23	HFCs	1	公噸CHF ₃ /公噸	IPCC 2006年版係數 (2)
6	冰箱/飲水機/公務車	冷煤-R134a	HFCs	1	公噸C ₂ H ₂ F ₄ /公噸	IPCC 2006年版係數 (2)
7	化糞池	排泄物	CH ₄	.003010	公噸CH ₄ /人-年	IPCC 2006年版係數 (2)
8	外購電力	電力	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	.532	公噸CO ₂ e/千度	經濟部能源局 (1)

資料來源：本研究整理。





2. 溫室氣體排放清冊

各排放源排放量量化與計算後，經彙整後可得到2012年個案公司溫室氣體排放清冊，如表5所示。

表5-1

2012年個案公司溫室氣體排放清冊

範疇	排放源類別	排放源	溫室氣體排放量 (公噸CO ₂ e/年)							占總排放量比例 (%)	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	總和		
範疇 1 直接排放	固定式燃燒	柴油	1.07	.00	.00				1.07	.01	
	移動式燃燒	汽油	1.37	.01	.04				1.42	.01	
	逸散	冷煤 -R410a -R404a -R23 -R134a					4.52			4.52	.02
		排泄物			7.65					7.65	.03
能源間接排放		外購電力	19845.30						19845.30	99.93	
總和			19847.74	7.66	.04	4.52	0	0	19859.96	100	
占總排放量比例 (%)			99.94	.04	.00	0.02	0	0	100		

資料來源：本研究整理。



表5-2

各類排放源排放比例	固定式燃燒排放源	移動式燃燒排放源	逸散排放源	能源間接排放
溫室氣體排放量 (公噸CO ₂ e/年)	1.07	1.42	12.17	19845.30
占總排放量比例 (%)	.01	.01	.05	99.93
各類排放源排放比例		範疇1	範疇2	
溫室氣體排放量 (公噸CO ₂ e/年)		14.66	19845.30	
占總排放量比例 (%)		.07	99.93	

資料來源：本研究整理。

由表5溫室氣體排放清冊可以得知，在2012年期間，個案公司溫室氣體總排放量為19859.96公噸CO₂e/年。首先比較各排放源之排放量，其中，「外購電力」的排放量為19845.30公噸CO₂e/年，占全年總排放量之99.93%。

由表5亦可以得知，在2012年期間，個案公司排放溫室氣體種類主要是二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亞氮 (N₂O)、氟氫碳化物 (HFCs) 四種，其中，CO₂ 的排放量為19847.74公噸CO₂e/年，占總排放量之99.94%；CH₄ 的排放量為7.66公噸CO₂e/年，占總排放量之0.04%；N₂O的排放量為0.04公噸CO₂e/年，占總排放量之0.000002%；HFCs的排放量為4.52公噸CO₂e/年，占總排放量之0.02%。不同種類溫室氣體排放量所占比例如圖5所示。

如果從範疇別的角度來看，範疇1與範疇2之溫室氣體排放量分別為14.66公噸CO₂e/年與19845.30公噸CO₂e/年，分別占總排放量之0.07%和99.93%。

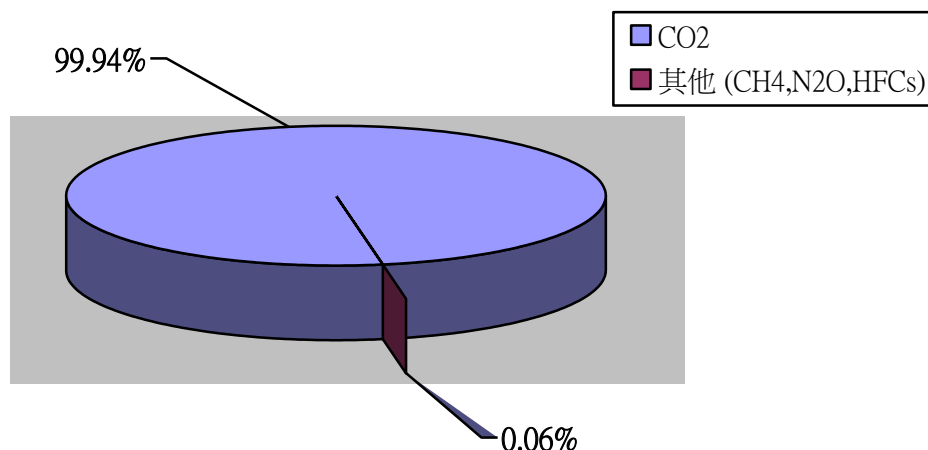


圖5 不同種類溫室氣體排放量所占比例

資料來源：本研究整理。



3. 不確定性分析

根據 2012 年個案公司溫室氣體排放清冊，在各排放源排放量中，由於「外購電力」的溫室氣體排放量為 19845.30 公噸 CO₂e/年，占總排放量之 99.93%，因此本研究之不確定性分析僅針對外購電力排放源進行評估。

「外購電力」的活動數據與排放係數之不確定性分別為±1.0%與±7.0%，如表 6 所示 (台灣晶技公司，2012)。利用相乘不確定性公式，「外購電力」排放量之不確定性計算如下：

$$(A \pm a\%) \times (B \pm b\%) = C \pm c\%$$

公式中，

A: 活動數據

a: 活動數據之不確定性 (以標準化的95%信賴區間表示)

B: 排放係數

b: 排放係數之不確定性 (以標準化的95%信賴區間表示)

C: 溫室氣體排放量

c: 溫室氣體排放量之不確定性

$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{1^2 + 7^2} \\ &= 7.1 \end{aligned}$$

引用World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) 所發行之「溫室氣體盤查議定書有關溫室氣體清冊與計算方面統計參數不確定性的不確定性評估指引」(WBCSD, 2004)，個案公司2012年溫室氣體排放量之整合不確定性經計算為±7.1%，其精確度等級接近「高」之等級。





表 6

溫室氣體排放量不確定性管理表

排放源	排放量 (公噸 CO ₂ e)	占總排 放量比 例 (%)	不確定性分析				
			活動數據		排放係數		整合不 確定性
			不確定性	來源*	不確定性	來源*	
外購電 力	19845.30	99.93	±1.0%	電表等級 A	±7.0%	IPCC 排放係數	±7.1%

資料來源：本研究整理。

三、個案公司溫室氣體盤查後查證結果 (第二階段)

本研究之研究架構的第二階段是「組織溫室氣體盤查結果查證」，係針對晶圓測試廠溫室氣體盤查結果進行內部查證作業，從查證過程可辨識出盤查作業之缺失，將作為未來盤查作業之參考。

個案公司於盤查完成後，由環安部組成內部查證小組，針對組織邊界、營運邊界、量化方法、基準年排放量、數據品質管理等重點項目進行內部查證作業。查證作業係依據ISO/CNS 14064-3等規範之查證作業重點，依盤查目的與動機，進行系統性查證工作，以確認溫室氣體主張及維持報告書與清冊之品質。

以下針對組織邊界、營運邊界、量化方法、基準年排放量、數據品質管理等重點項目之查證作業一一加以說明。

1. 組織邊界

經查驗個案公司之政府機關核准設立文件，結果顯示個案公司於2008年申請設立登記，經新竹縣政府審核符合規定應予照准，廠址座落於於新竹工業區，廠業類別為電子零組件製造業，主要業務提供晶圓測試服務，其測試產品項目包含動態隨機存取記憶體、快閃記憶體、及邏輯半導體產品。至2012年為止，無發生併購、出脫、或股權持分比例改變情形，該公司擁有100%控制權。

2. 營運邊界

經查驗個案公司溫室氣體排放源鑑別表，如表2所示，確認所採用之營運邊界設定方法符合環保署制訂之相關規範，完整涵蓋範疇一及範疇二之排放，並透過訪談設施管理者、盤查人員，瞭解到個案公司並無製程排放源。針對逸散排放源，盤查人員詳盡列出活動設施種類，如：二氧化碳滅火器、冷氣機、冰水機、乾燥機、冷卻機、冰箱、飲水機、公務車、化糞池等。其中，冷氣機之排放源冷媒R22與冰水機之排放源冷媒R123為蒙特婁管制物，因此不列入盤查。





3. 量化方法

經查驗個案公司2012年溫室氣體排放清冊，如表5所示，個案公司溫室氣體總排放量為19859.96公噸CO₂e/年，其中外購電力的溫室氣體排放量為19845.30公噸CO₂e/年，占總排放量之99.93%。透過與盤查人員訪談，並查驗2012年外購電力統計表相關記錄，外購電力全年用電度數合計為37303.2千度，其中又以八月份用電度數3740.0千度為最高，因此進一步請財會部提供八月台電收費單，當月用電度數為3740.0千度，與2012年外購電力統計表比對相吻合。再查驗個案公司所使用之電力排放係數為0.532公噸CO₂e/千度，此數據是經濟部能源局公告101年度電力排放係數。為了慎重，查驗人員重新計算外購電力的溫室氣體排放量 = 活動數據 × 排放係數 = 37303.2 × 0.532 = 19845.30，求得外購電力的溫室氣體排放量為19845.30公噸CO₂e/年，與2012年個案公司溫室氣體排放清冊之外購電力的溫室氣體排放量比對相吻合。

4. 基準年排放量

依據ISO/CNS 14064-1標準，基準年之選擇與建立中指出，若無法取得過去溫室氣體排放量與移除量之充分資訊時，組織得使用其首次溫室氣體盤查時段作為基準年。經查驗個案公司之作法，個案公司係將首次盤查年度2012年設定為基準年，作為往後溫室氣體排放趨勢比較之基準。

5. 數據品質管理

經查驗個案公司外購電力所產生之溫室氣體占總排放量高達99.93%，因此不確定分析是挑選外購電力為代表，以確保數據之品質。而外購電力的活動數據與排放係數不確定性分別為±1.0%與±7.0%（台灣晶技公司，2012），經計算溫室氣體排放量之整合不確定性為±7.1%，結果顯示其精確度等級接近「高」之等級，而不確定性分析所涵蓋之排放量占總排放量之99.93%。為確保數據品質，溫室氣體盤查所得之各排放源及活動數據都要說明來源，凡能證明及佐證數據的可信度都應調查，並將資料保留在執行單位內，以利往後作為查證與追蹤之依據。經查驗個案公司之數據品質管理相關紀錄與文件均適當保存，並利用管理資訊系統歸檔建檔，使查驗人員在查證過程中即時且正確取得佐證數據，內部資料文件管控程序相當完善。

綜合以上查證作業，結果顯示個案公司在前述重點項目上，盤查小組之盤查程序、盤查結果、及佐證資料等皆符合ISO/CNS 14064-1標準及環保署規範。本查證作業特別強調的是，由於外購電力的溫室氣體排放量為19845.30公噸CO₂e/年，占總排放量之99.93%，因此查證小組應請財會部提供該年度之台電收費單，並仔細比對外購電力數據是否與台電收費單相吻合。





伍、結論與建議

本研究是依據ISO/CNS 14064-1等規範，探討晶圓測試廠進行溫室氣體盤查之指導原則與必要程序，以獲致盤查結果，並依照範疇1與範疇2加以分類及比較；接著依據ISO/CNS 14064-3等規範，針對盤查結果進行內部查證作業，從查證過程可辨識出盤查作業之缺失，將作為未來盤查作業之參考。本研究並以一家實際的專業晶圓測試廠為個案，以闡述所使用的研究架構。

本研究第一階段溫室氣體盤查，係針對個案公司進行組織層級溫室氣體盤查。本研究依據ISO/CNS 14064-1等規範之盤查作業流程進行組織層級溫室氣體盤查，盤查結果顯示，在2012年期間，個案公司溫室氣體總排放量為19859.96公噸CO₂e/年。首先比較各排放源之排放量，其中，「外購電力」的排放量為19845.30公噸CO₂e/年，占全年總排放量之99.93%。

盤查結果亦顯示，在2012年期間，個案公司排放溫室氣體種類主要是二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氟氫碳化物(HFCs)四種，其中，CO₂的排放量為19847.74公噸CO₂e/年，占總排放量之99.94%；CH₄的排放量為7.66公噸CO₂e/年，占總排放量之0.04%；N₂O的排放量為0.04公噸CO₂e/年，占總排放量之0.000002%；HFCs的排放量為4.52公噸CO₂e/年，占總排放量之0.02%。

如果從範疇別的角度來看，範疇1與範疇2之溫室氣體排放量分別為14.66公噸CO₂e/年與19845.30公噸CO₂e/年，分別占總排放量之0.07%和99.93%。

本研究第二階段溫室氣體盤查後查證，係針對第一階段個案公司溫室氣體盤查結果進行內部查證作業。查證作業係依據ISO/CNS 14064-3等規範之查證作業重點，依盤查目的與動機，進行系統性查證工作，以確認溫室氣體主張及維持報告書與清冊之品質。

個案公司於盤查完成後，由環安部組成內部查證小組，針對組織邊界、營運邊界、量化方法、基準年排放量、數據品質管理等重點項目進行內部查證作業。本研究採用環保署所編撰的「溫室氣體查驗指引」之溫室氣體查證檢核表進行檢核，查證結果顯示個案公司在前述重點項目上，盤查小組之盤查程序、盤查結果、及佐證資料等皆符合ISO/CNS 14064-1標準及環保署規範。

本研究針對個案公司(晶圓測試廠)進行組織層級溫室氣體盤查及內部查證作業，結果顯示「外購電力」的排放量為19845.30公噸CO₂e/年，占全年總排放量之99.93%，因此外購電力應該是個案公司進行減碳之首要工作，後續研究可就個案公司之溫室氣體盤查結果，探討各種可行的減碳策略，尤其可從主要排放源外購電力著手，研究各種有效的節省電力措施。根據晶圓測試廠特性，在節省電力措施方面，初步建議可以先從管理制度、照明系統、空調系統等三個面向





著手 (陳輝俊, 2006) :

- 一、 管理制度：指的是有效的管理電力制度。可行措施例如：
 1. 訂定公司用電規則及查核制度，合理減少用電
 2. 裝設全公司電力監控及需量監控系統，監控異常電力使用
 3. 冷氣設定合理溫度於26度C
 4. 辦公室中午關燈1小時

- 二、 照明系統：指的是有效管理及汰換照明系統。可行措施例如：
 1. 汰換耗能及老舊燈具，選購高效率的省電燈具
 2. 評估室內的合理照度，裝設適當數量的燈具
 3. 評估自然光源的強度，裝設燈具在正確的位置
 4. 非用於直接照明的光源 (如逃生指示燈)，選用LED燈具
 5. 減少或停用非必要的間接照明、景觀照明
 6. 在非經常使用空間 (如廁所、走廊)，運用感應式照明開關

- 三、 空調系統：指的是正確使用空調系統及做好維護保養工作。可行措施例如：
 1. 汰換耗能及老舊空調設備，選購高效率、變頻的節能冷氣
 2. 選購非填充京都議定書管制冷媒的冷氣設備
 3. 定期委託專業廠商檢視空調系統與設備，保持最佳運轉狀態
 4. 獨立式冷氣機裝設時序運轉控制器及溫度控制器等裝置
 5. 室內設置電風扇，配合冷氣機運轉





參考文獻

1. 台灣晶技公司 (2012)。2011年溫室氣體盤查報告書。取自 http://www.txccorp.com/tw/i_esh/03_3_3.html
2. 陳輝俊 (2006)。產業節能技術手冊-電機電子業。經濟部能源局。
3. 梁蕙姿 (2005)。建構半導體製造過程產品異常資料挖礦技術之研究(碩士論文)。國立清華大學工業工程研究所，新竹市。
4. 環保署 (2007)。產業溫室氣體盤查管理技術手冊。
5. 環保署 (2009)。溫室氣體盤查與登錄指引。
6. 環保署 (2010)。溫室氣體查驗指引。
7. 環保署 (2012a)。公私場所應申報溫室氣體排放量之固定污染源。
8. 環保署 (2012b)。溫室氣體排放量申報管理辦法。
9. Carney, S. and S. Shackley (2009). The greenhouse gas regional inventory project (GRIP): Designing and employing a regional greenhouse gas measurement tool for stakeholder use. *Energy Policy*, 37(11), 4293-4302.
10. Harris, P. G., A. S. Y. Chow, and J. Symons (2012). Greenhouse gas emissions from cities and regions: International implications revealed by Hong Kong. *Energy Policy*, 44(5), 416-424.
11. IPCC (1995). *IPCC Second Assessment: A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
12. IPCC (2013). *IPCC Fifth Assessment: A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
13. ISO (2007a). ISO 14064-1, *Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*, 2006.
14. ISO (2007b). ISO 14064-3, *Greenhouse gases - Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions*, 2006.
15. Kennedy, C., J. Steinberger, B. Gasson, Y. Hansen, T. Hillman, M. Havránek, D. Pataki, A. Phdungsilp, A. Ramaswami, & G. V. Mendez (2010). Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. *Energy Policy*,





- 38(9), 4828-4837.
16. Sanchez, M., S. Matthews, & P. Fischbeck (2012). How much is United States greenhouse gas emissions certainty worth? . *Energy Policy*, 51(12), 259-263.
 17. Sundin, H., & J. Ranganathan (2002). Managing business greenhouse gas emissions: The greenhouse gas protocol - A strategic and operational tool. *Corporate Environmental Strategy*, 9(2), 137-144.
 18. WBCSD (2004). *GHG Protocol Guidance on Uncertainty Assessment in GHG Inventories and Calculating Statistical Parameter Uncertainty*.





Investigation of Greenhouse Gas Inventory and Verification of Wafer Probing Factory

Bor-Yuh Leu^{a*}、Chin-Yeu Chen^b、Yi-Chun Shi^c

^a Professor, Department of Industrial Engineering and Management, Minghsin
University of Science and Technology

^b Assistant Professor, Department of Business Administration, Shih Hsin University

^c Master, Department of Industrial Engineering and Management, Minghsin
University of Science and Technology

ABSTRACT

This study proposes a two-stage research structure. In the first stage, the standards of ISO/CNS 14064-1 and the Greenhouse Gas (GHG) protocol are used to investigate the guiding principles and required procedures of GHG inventory for a wafer probing factory (WPF). Based on these standards, the GHG inventory results of the WPF are gained and classified according to scopes. In the second stage, the GHG inventory results of the WPF are internally verified based on the standards of ISO/CNS 14064-3. The flaws of GHG inventory identified in the process of verification can be used as the reference of GHG inventory in the future. Finally, a real WPF is used to expound the research structure and the year of GHG inventory is 2012. Based on the results of the first stage of this study, the total GHG emission of the case company is 19859.96 tons CO₂e/year in 2012. Comparing the emissions of major GHG emitters, the emission of “purchased electricity” is 19845.30 tons CO₂e/year and the percentage is 99.93%. In the second stage of this study, a group from members of environment and security department of the case company is formed to internally verify the GHG inventory results. The key points of verification include organizational boundary, operational boundary, quantitative method, base year emissions, and data quality management. Verification results show that all the key points are met the standards of ISO/CNS 14064-1.

Keywords: Greenhouse Gas, Inventory, Verification, Wafer Probing Factory

* Email: byleu@must.edu.tw

