

高科技電子業揮發性有機物污染管制理論與實務  
The Theoretical and Practical Study of Pollution Control of  
Volatile Organic Compounds of  
High Technology Electronic Industries

翁興中<sup>1</sup>、劉妙生<sup>2</sup>、蘇艾<sup>3</sup>、劉聖幸<sup>1</sup>

Shing-Chung Onn<sup>1</sup>, Miao-Shen Liu<sup>2</sup>, Ay Su<sup>3</sup>, Sheng-Hsing Liu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中華技術學院 台北南港

<sup>2</sup>興普科技股份有限公司 桃園蘆竹

<sup>3</sup>元智大學 桃園中壢

China Institute of Technology<sup>1</sup>

Shin Poo Technology Co., Ltd.<sup>2</sup>

Yuan-Ze University<sup>3</sup>

摘 要

我國電子業，一直都是政府政策性開發與輔導的優勢產業。在我國眾多電子業當中，又以半導體、光電、印刷電路板三種高科技產業表現最為亮麗。然而近年來由於電子業在國內蓬勃發展，相關業者在不斷增建新廠、擴增產能的效應下，相對於環境造成的危害，亦不容忽視。本論文研究係針對國內某區域 2001 年 6 月至 2002 年 5 月以上三種電子產業所排放或散逸揮發性有機物的八家廠商，進行製程特性分析、查核檢測、以及國內、外法規比較等，最後研擬電子業相關之管制策略。

由實際檢測結果顯示：一家半導體廠商的排放量為 10.71 噸／年；三家光電業廠商的排放量為 890.18 噸／年；四家印刷電路板廠商的排放量為 59.50 噸／年，以光電業之排放量為電子業之大宗。經本研究推估，光電業之 E 廠如自 2003 年起依「光電製造業排放標準草案」，其排放量應小於 0.6kg/hr 為例，其 2003 年之削減量預估可達 758 噸／年，減量空間相當可觀，可見如果「光電製造業排放標準」實施之後，其對電子業整體之削減量有很大的實質助益。

由我國與日本、荷蘭、中國大陸、美國法規比較之結果可得以下結論：(1)除我國及美國半導體業以外，其餘國家均為單一排放標準法，而無特定業別之排放標準，顯示我國環保法規的發展趨勢與美國相似。(2)我國半導體法規與美國相較，削減率規定均在 90% 以上，而排放量上限我國為 0.6kg/hr，而美國為 0.095kg/hr，有六倍以上之差距，是否應依目前經濟以及處理技術而重新審視此排放標準，乃

相關單位所必須考量的重點。(3)我國三種電子產業與各國比較之結果，唯半導體業可達各國法規水準；我光電業及印刷電路板業目前所規範之「固定污染源排放標準」相較其它國家，顯得較過寬鬆，可達各國水準之比例不高，故亦有重新檢視此法適用性之必要。(4)從整個研究結果發現，我國電子業相關法規有以下不合理之現象：(a)「三氯乙稀」於半導體業及印刷電路板業有不同之排放標準。(b)半導體法規「流量計及濃度偵測器每季有效監測率應大於80%」之規定，存在有20%時間無法可管的漏洞。(5)綜合以上第(3)及(4)項的結果，我國光電業以及印刷電路板業之法規有重新修正、建構的必要，以提昇我國整體空氣的品質。

**關鍵字：**揮發性有機物、電子業、排放量、削減量、排放標準、管制策略

### Abstract

The high technology electronic industries are the superior those in Republic of China. Under the support and the assistance of the R.O.C. government for a long time, they have grown up and become to the top industries over the world. Based on the theoretical rule considerations of the five countries and the practical testing results, the air pollution problems of volatile organic compounds (VOCs) emitted by the eight factories of the three electronic industries are evaluated. They represent the semi-conductor, the optronics, and the printed circuit board industries.

In this study, the computed results of the emission rates of the three electronic industries indicate that the one factory of the semi-conductor provides 10.71 ton-VOCs/year, 3 factories of the optronics contribute 890.18 ton-VOCs/year, and 4 factories of the printed circuit board emit 59.50 ton-VOCs/year. Thus, it can be found that the optronics industry contributes the largest VOCs emission rate among the three electronic industries. Since January 1, 2003, the regulation of the emission rate of the optronics industry became valid. The E factory of the optronics industry should be expected theoretically to provide about the reduction rate of 758 ton-VOCs/year. Thus, it can also be anticipated furthermore that due to the regulation of the air pollution control for the optronics industry became valid since January 1, 2003, the air quality of the whole Taiwan area should also be improved significantly.

The results evaluated respectively by the rules of the 5 countries can finally be compared among them. The following conclusions can then be found: (1) Except R.O.C. and United States, the other 3 countries (Japan, Netherlands, and Mainland China) have

not had the special regulations of the pollution control of the VOCs emission rate of the semi-conductor industry. In these 3 countries, the regulations of the single emission standard for all industries are employed to monitor the process operation of their semi-conductor industry. (2)The reduction rate of the regulation of the semi-conductor industry is 90% for both the United States and R.O.C.. But, in R.O.C., the maximum VOCs emission rate of the regulation of the semi-conductor industry is 0.6 kg/hr which is about six times of 0.095 kg/hr of U.S. regulation. It means that the maximum VOCs emission rate of the R.O.C. regulation of the semi-conductor industry should be able to be corrected up if the best achieved control technology (BACT) may be imported and employed in R.O.C. (3)In this study, both the reduction rate and the emission rate of the only one semi-conductor factory are up to the standard of all regulations of the 5 countries. For the other 7 factories of both the optronics and the printed circuit board industries, the emission rates passed our regulation of the emission standard of stationary pollution sources. But, their VOCs emission rates could almost not pass the examinations of the regulations of the other 4 countries. (4)For the three electronic industries in this study, there two unreasonable facts about the R.O.C. regulations must be presented in the following: (a)First, there have different trichloroethylene emission standards between the semi-conductor and the printed circuit board industries. (b)Secondly, for the regulation of the R.O.C. semi-conductor industry, the effective measurement ratio for every season must be larger than 80%. It indicates that the other 20% invalid measurement ratio is accepted by the present regulation. (5)Based on the above results of (3) and (4), it means that the more rigorous regulations for both the optronics and the printed circuit board industries are respectively and urgently required to be corrected and constructed to improve the air quality of Taiwan.

**Keywords :** volatile organic compounds, electronic industry, emission amount, reduction amount, emission standard, control policy

## 一、前 言

### (一) 揮發性有機物對人體健康及環境之影響

揮發性有機物(Volatile Organic Compounds, 縮寫為 VOCs)為有機碳化合物的總稱,但不包含以下物質:甲烷、一氧化碳、二氧化碳、碳酸、碳化物、碳酸鹽、及碳酸銨等化合物,是一種有害的空氣污染物(Hazardous Air Pollutant, 簡稱 HAP),一般係指在 20°C、760mmHg 之標準狀態下,蒸氣壓大於 0.1mmHg 以上之

有機化合物，其對人體的皮膚及眼睛會產生不良的刺激，更會使人體的神經、呼吸、消化、及血液循環系統中毒，是造成人體器官致癌及產生腫瘤的可能因素之一。

一般而言，HAP 包括 VOCs、多環芳香烴化合物、重金屬、及戴奧辛等。行政院環保署於 83 年 6 月依據各種 HAP 對人體健康及環境品質的危害性大小，並考慮各種 HAP 的致癌性潛能、運作量多寡、生物濃縮性大小、及急毒性程度等因素，已篩選出 30 種建議優先調查的 HAP，詳如表 1[1]所示，其中有 21 種為 VOCs，4 種為重金屬，3 種為酸氣，及致癌性多環芳香烴化合物與奈等兩種污染物。另外，我國行政院勞委會所頒佈之「勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準」中所列之有害物，絕大多數係揮發性有機物，並且對揮發性有機物中之有機溶劑制訂「有機溶劑中毒預防規則」。故 VOCs 的管制工作在國內已成為政府現階段的重要環保課題之一。

表 1 國內建議優先調查之 30 種有害空氣物質污染物名單

類別	國內可能需要特別管制之有害空氣污染物	總分	排序	級別
揮發性有機物	Benzene (苯)	85	1	A
	Styrene (苯乙烯)	65	2	B
	1,2-Dichloroethane (1,2-二氯乙烷)	63.7	3	
	Trichloroethylene (三氯乙烯)	60	4	
	Ethyl benzene (乙苯)	46.7	5	
	Choloroform (氯仿)	45	6	
	Toluene (甲苯)	45	7	
	Xylene (二甲苯)	44.7	8	
	Tetrachloroethylene (四氯乙烯)	44.3	9	
	Methylene chloride (二氯甲烷)	43.7	10	
	Dimethyl formamide (二甲基甲醯胺)	40.7	11	
	1,1-Dichloroethane (1,1-二氯乙烷)	39	12	
	Phenol (酚)	37.7	13	
	Terachloromethane (四氯甲烷)	25	14	
	1,1,1-Dichloroethane (1,1,1-三氯乙烷)	25	15	D
	Methanol (甲醇)	21	16	
	Furans (呋)	19	17	
	Methyl phenol (甲酚)	19	18	
	Methyl isobutyl ketone (甲基異丁酮)	18.7	19	
	Butylacetate (醋酸丁酯)	18	20	
	Carbon disulfide (二硫化碳)	18	21	C
重金屬	Arsenic (砷)	49	1	
	Chromium (鉻)	41.7	2	

類別	國內可能需要特別管制之有害空氣污染物	總分	排序	級別
屬	Cadmium (鎘)	36	3	
	Lead (鉛)	25	4	
酸 氣	Nitric acid (硝酸)	23.4	1	D
	Hydrogen chloride (鹽酸)	17	2	
	Sulfuric acid (硫酸)	17	3	
其 他	Carcinogenic PAHS (致癌性多環芳香烴化合物)	73	1	B
	Naphthalene (奈)	36.3	1	C

## (二) 高科技電子業概述

在我國眾多高科技電子業當中，以半導體製造業、光電製造業、以及印刷電路板製造業表現最為亮麗，不論是產值、產能、或市場佔有率，均在全球佔有一席之地，更在我國電子業中扮演舉足輕重的角色。此三種製造業在 2002 年的狀況及其重要性分別說明如下：

### 1. 半導體製造業

半導體製造業為我國電子業的龍頭，不管產能或產值均屢創佳績，更在我國科技產業中扮演著舉足輕重的角色。我國的半導體製造公司，可以區分為代工 (Foundry)、整合元件製造 IDM(Integrate Device Manufacturing)、和記憶體(Memory) 三種型態，其個別的代表性廠商，如表 2 所示。而其中代工與記憶體，更是我國半導體製造業的兩大重要支柱，此兩大行業佔國內半導體製造業營收的比重更高達 95%，故不單影響我國半導體製造業生態，更左右下游產業之景氣生機。

表 2 我國半導體製造業公司型態分類

代工 (Foundry)	台積電、聯電……等
整合元件製造 (IDM)	旺宏、華邦……等
記憶體(Memory)	力晶、茂德、南亞……等

### 2. 光電製造業

生活化的網際網路加上多媒體技術的商品化發展，已使得人類數位時代的提早來臨。而互通的網路、通訊、和消費性電子產品的整合發展架構下，更開創了全球性光電產品的市場契機與需求。

2000 年全球光電製造業的總產值為 2,147 億美元[3]，相較於 1999 年的 1,939 億美元[3]，成長了 10.7%。而我國由於近年來相關業者的積極投入，亦有相當突出的表現，2000 年光電製造業的總產值達新台幣 4,001 億元，年成長率更高達 45.6%。

2001 年雖然受到全球經濟景氣低迷的影響，但我國廠商因在數位相機及 CD-RW 光碟機等相關產品上有優異的表現，以及在光通訊主動元件和 TFT-LCD 產能大幅提昇之下，總產值為新台幣 4,428 億元[3]，仍保有 10.7% 的成長率，雖然不如前幾年亮麗，但在全球經濟籠罩在一片不景氣聲浪下及競爭如此激烈的環境中，相較於其它產業，其表現依然可圈可點。

展望未來，搭網際網路盛行之便，無論是網路資訊、語音、或影像等應用，市場需求均不斷提昇，對於高速傳輸及寬頻的需求，亦是與日俱增，此將是推動我光資訊、光通訊、及其它相關光電產品持續成長的原動力；再加上我國已正式加入國際貿易組織（World Trade Organization, 縮寫為 WTO），且主要光電產品均以出口為大宗，更有利於我國光電產品在國際市場上之競爭力，在可預見的未來，我光電製造業仍極具發展潛力。

### 3. 印刷電路板製造業

印刷電路板製造業在我國係僅次於半導體製造業，為我國第二大之電子零組件產業。在西元 2000 年，我國印刷電路板業總產值為 45.69 億美元[4]，高居全球第三位，僅次於美、日兩國。其主要功能在提供電子零件的安裝與電性連結時之主要支撐結構，可廣泛應用於航太、交通、電信、通訊、家用電器、及辦公室自動化設備等領域。

在過去 30 年間，由於台灣的印刷電路板製造業者不斷的努力改進製程技術、結合相關電子產業上、下游業者共同努力開發，所以，產品的品質提升了，也強化了企業的管理，成功的將台灣的印刷電路板業帶上國際舞台。目前台灣印刷電路板製造廠商約有 172 家左右[4]，地區分佈呈現群聚現象。

#### （三）研究動機與目的

本論文研究係針對國內某特定區域(以下簡稱 A 區)的排放或散逸揮發性有機物其中的半導體製造業、光電製造業、以及印刷電路板製造業共 8 家電子業廠商，進行產業調查、製程特性分析、污染排放及防治現況調查、國內外法規比較等。並依據法源標準，進行實廠查核及檢測作業，並針對檢測結果，提供廠商改善建議，輔導廠商進行立即性的污染改善工作，最後本論文研究將依據各項查核及檢測結果，計算各廠商揮發性有機物現階段之削減量及排放量，並依國內、外法規比較結果，檢討現行法規之適用性，以及研擬電子業相關之管制策略，以落實電子業之「揮發性有機物」全面減量的目的。此 8 家電子業廠商資料如表 3 所示，其所具之代表性說明如下：

(1) 半導體：在 2002 年時，本研究選定之 D 廠為 A 區中兩家半導體業其中之一，

佔 50% 家數比例。

- (2) 光電業：在 2002 年時，本研究選定之 B、E、H 廠其中 E 廠為全國排名第一，而 B 廠亦與 E 廠並列 A 區第一、二名，且三家之排放量佔全國總排放量之 78.2%。
- (3) 印刷電路板業：在 2002 年時，A 廠為全國排名第一，C、F、G 廠均名列全國 175 家之前三十名，故均具有相當代表性。

表 3 8 家電子業廠商基本資料

類別	廠商代碼	數量
半導體廠商	D 廠	1
光電廠商	E 廠 B 廠 H 廠	3
印刷電路板廠商	A 廠 C 廠 F 廠 G 廠	4

## 二、電子業空氣污染物特性及防制技術

電子產業近年來在國內蓬勃發展，相關業者在不斷增建新廠、擴增產能的效應下，相對於可能對環境造成的危害，亦不容忽視。電子業依不同產業別，產生之空氣污染排放特性如表 4 所示。

表 4 電子產業主要空氣污染排放特性[5]

產業	次產業別	主要污染物特性			備註
		有機廢氣	酸性廢氣	特殊氣體	
半導體	晶圓製造	**	***	* (氟系)	半導體法規管制
	光罩製造	*	*		半導體法規管制
	週邊產業 (導線架)	*	*	* (氟系)	半導體法規管制
	晶片製造	***	***	** (氟系、As、Cl、Pb)	半導體法規管制

產 業	次 產 業 別	主 要 污 染 物 特 性			備 註
		有機廢氣	酸性廢氣	特殊氣體	
	封裝製造	**	**	*	半導體法規管制
光 電	LED	**	*	*(氟系、As、Cl、Pb)	光電業法規草案階段
	光電材料元件系統	*	*		
	顯像管		*	*(氟系)	
	平面顯示器 (LCD)	***	***	** (氟系、As、Cl、Pb)	光電業法規草案階段
	電池				
印刷電路板	軟性/硬質印刷電路板 銅箔基板	**	**	*(含Pb、Sn)	PCB 法規研訂中
*使用量 10 噸/年以下。**使用量 100 噸/年以下。***使用量 100 噸/年以上					

### (一) 各種 VOCs 管末控制技術之比較

揮發性有機物之控制方法除減少逸散性排放量外，主要為管末排氣處理。管末排氣處理方法規劃的考量因素有：(1)排氣量及其隨時間的變化情形，(2)排氣中 VOCs 濃度及其隨時間的變化情形，(3)VOCs 性質，(4)排氣品質要求，及(5)成本及效率。國內常見且可行之控制技術有冷凝法、吸附法、吸收法、焚化法以及生物處理法等，現分別比較如表 5 所示：

表 5 各種 VOCs 管末控制技術之比較[6]

控制技術	優點	缺點
熱焚化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 優點廣範圍的污染物</li> <li>● 對高濃度廢氣之不需輔助燃料下，能源效率佳</li> <li>● 污染物之破壞效率高</li> <li>● 可回收資源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 對低濃度廢氣，燃料成本高</li> <li>● 操作溫度高</li> </ul>



控制技術	優點	缺點
觸媒焚化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 燃料消耗率小</li> <li>● 污染物之破壞效率高</li> <li>● 可回收能源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 觸媒易被毒化</li> <li>● 對某些污染物成本及濃度有所限制</li> </ul>
活性碳吸附	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低操作成本</li> <li>● 適合於低濃度下的各種污染物</li> <li>● 可回收溶劑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高投資成本</li> <li>● 不適合高濃度廢氣</li> <li>● 不適合含水分之溶劑</li> <li>● 不適合含粒狀物之廢氣</li> <li>● 有火災之危險性</li> </ul>
洗滌	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低操作成本</li> <li>● 適合於多種污染物</li> <li>● 對臭味去除有很高的效率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 不適合難溶性物質不適合低濃度廢氣</li> <li>● 產生廢水（二次污染）</li> </ul>
冷凝	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 可回收溶劑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 能源消耗高</li> <li>● 水溶性物質易溶於水氣中</li> <li>● 只適合高濃度廢氣</li> </ul>
臭氧氧化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 對臭味去除有很高的效率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高操作成本</li> </ul>
生物處理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低投資成本</li> <li>● 低操作成本</li> <li>● 無二次污染問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高濃度廢氣去除效率有限</li> <li>● 不適合生物難分解性物質</li> </ul>

## （二）控制技術的成本與效率

成本及效率為 VOCs 排氣處理方法選擇時之最重要的考量因素。表 6[6]個別比較了各種 VOCs 排氣處理方法之成本效率及適合 VOCs 之濃度範圍。一般而言，低濃度廢氣（10~20mgC/m<sup>3</sup>）適合以活性碳吸附處理，中高濃度廢氣（500~5,000 mgC/m<sup>3</sup>）則以觸媒焚化比較經濟，高濃度廢氣（>5,000~10,000 mgC/m<sup>3</sup>）則可以火焰焚化、冷凝、或活性碳吸附回收處理。生物法適合處理中低濃度廢氣（~1,000 mgC/m<sup>3</sup>），其相對處理費用較其他方法為低。

表 6 各種 VOCs 管末控制技術之效率與成本[6]

控制技術	低濃度廢氣		高濃度廢氣		備註
	效率	成本	效率	成本	
熱焚化	高	高	高	中	適合高濃度廢氣
觸媒焚化	高	中	中	中	適合已知成分的低濃度廢氣
活性碳吸附	高	高	中	中	適合變異成分的低濃度廢氣

洗滌	非常低	高	高	中	適合變異成分的高濃度廢氣
冷凝	非常低	高	中	低	適合已知成分的非常高濃度廢氣
臭氧氧化	高	高	高	中	適合變異成分的低濃度廢氣
生物處理	中高	低	低	低	適合低濃度生物可分解性的廢氣
<b>【註】</b>					
1.廢氣濃度 (mgC/m <sup>3</sup> ): 低<300, 高>5000					
2.效率 (%): 低<80, 中=80~95, 高>95					
3.成本 (元新台幣/噸 VOC): 低<5000, 中=5000~15000, 高>15000					

### 三、電子業揮發性有機物管制理論

VOCs 實廠減量技術的應用，必須依賴良好完整的法源依據。對於 VOCs 的管制及排放標準，目前，政府已公告生效，而且與電子業有關之管制及排放標準法規有「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」；已發展至草案階段的管制及排放標準有「光電製造業空氣污染管制及排放標準草案」。

而印刷電路板製造業由於截至目前為止，並無相關特定業別之排放標準可供管制，儘能以「固定污染源空氣污染物排放標準」對排放管道及周界管制其濃度限值。以上國內電子業之三項排放標準將分述如後。另本章將蒐集國外相關法規，並與國內法規做一分類比較。

#### (一) 半導體製造業排放標準

##### 1. 半導體製造業的定義

半導體製造業係指從事積體電路晶圓製造、晶圓封裝、磊晶、光罩製造、及導線架製造等作業者。

##### 2. 原物料年用量規定

半導體製造業，其原物料年用量小於下表所列之值時，則該項物質不適用於半導體製造業排放標準之規定。原物料及年用量標準如表 7[7]所示。

表 7 半導體製造業原物料年用量標準[7]

原物料	年用量 (公斤/年)	原物料	年用量 (公斤/年)
揮發性有機物	1700	硫酸	300
三氯乙烯	60	鹽酸	1700
硝酸	1700	磷酸	1700
氫氟酸	1200		

##### 3. 半導體製造業空氣污染物排放標準

當半導體製造業廠商之原物料年使用量大於表 7 的上限值時，半導體製

程所產生之空氣污染物，應由密閉排氣系統導入污染防制設備，並處理至符合下表規定後，始得排放，其排放標準如表 8[7]所示。

表 8 半導體製造業空氣污染物排放標準[7]

空氣污染物	排放標準
揮發性有機物	排放削減率應大於 90% 或工廠總排放量應小於 0.6kg/hr (以甲烷為計算基準)。
三氯乙烯	排放削減率應大於 90% 或工廠總排放量應小於 0.02kg/hr。
硝酸、鹽酸、磷酸、及 氫氟酸	各污染物排放削減率應大於 95% 或各污染物工廠總排放量應小於 0.6kg/hr。
硫酸	排放削減率應大於 95% 或工廠總排放量應小於 0.1kg/hr。

## (二) 光電製造業排放標準草案

2002 年 5 月光電製造業並無執行中之法源標準，但已有相關之「光電製造業空氣污染管制及排放標準草案」出爐，各項空氣污染物的排放標準，當時預計將自 92 年 1 月 1 日起分兩階段實施。本論文就有關光電製造業所排放之揮發性有機物所做的研究，也是以此草案的標準為法源依據，提醒督促相關業者提前因應草案規定，進行污染改善工作。

### 1. 光電製造業定義

光電製造業係指從事液晶顯示器製造 (LCD)、發光二極體 (LED) 之製造及封裝業者。

### 2. 原物料年用量規定

若光電製造業，其原物料年用量小於下表所列之值時，則該項物質不適用於光電製造業排放標準草案之規定。原物料及年用量標準如表 9 所示。

表 9 光電製造業原物料年用量標準[8]

原物料	年用量 (公斤/年)	原物料	年用量 (公斤/年)
揮發性有機物	1700	鹽酸	1700
硝酸	1700	磷酸	1700
硫酸	300	氫氟酸	1200

上表與半導體製造業原物料年用量標準之差異，僅在於半導體製造業多

了一項「三氯乙烯」之原物料年用量規定，而光電業製程中，並未使用此種原物料，故未列入年用量標準中。

### 3. 光電製造業空氣污染物排放標準草案

若光電製造業，其原物料年用量超過上表所列之值時，則光電製造業所產生之空氣污染物，應由密閉排氣系統導入污染防制設備，並處理至符合下表規定後，始得排放。其排放標準如表 10 所示。

表 10 光電製造業空氣污染物排放標準草案[8]

空氣污染物	排放標準（以小時平均值認定）	施行日期
揮發性有機物	工廠總削減率應大於 70%，或工廠總排放量應小於 0.6kg/hr（以甲烷為計算基準）。	92 年 1 月 1 日
	工廠總削減率應大於 90%，或工廠總排放量應小於 0.6kg/hr（以甲烷為計算基準）。	95 年 1 月 1 日
磷酸及氫氟酸	各污染物工廠總削減率應大於 80%，或各污染物工廠總排放量應小於 0.2kg/hr。	92 年 1 月 1 日
	各污染物工廠總削減率應大於 90%，或各污染物工廠總排放量應小於 0.2kg/hr。	95 年 1 月 1 日
硝酸及鹽酸	各污染物工廠總削減率應大於 90%，或各污染物工廠總排放量應小於 0.2kg/hr。	92 年 1 月 1 日
	各污染物工廠總削減率應大於 95%，或各污染物工廠總排放量應小於 0.2kg/hr。	95 年 1 月 1 日
硫酸	工廠總削減率應大於 90%，或各污染物總排放量應小於 0.1kg/hr（以甲烷為計算基準）。	92 年 1 月 1 日
	工廠總削減率應大於 95%，或各污染物總排放量應小於 0.1kg/hr（以甲烷為計算基準）。	95 年 1 月 1 日

前項各污染物個別污染防制設備之削減率，應符合報經主管機關核定之削減率；或個別排放管道之排放量，應符合報經主管機關核定之排放量。

#### （三）固定污染源空氣污染物排放標準

此固定污染源空氣污染物排放標準，適用於新設立或變更、或既存之固定污染源(分別簡稱為新污染源與既存污染源)。但特定業別、區域、或設施，另訂有排放標準者，應優先適用該標準。以上說明，即已明確指出如半導體產業有「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」；光電產業有「光電製造業空氣污染管制及排放標準草案」，故本研究對以上兩種產業，均以其本身業別所訂定之排放標準或草案為法源依據，來進行輔導改善工作。

而印刷電路板產業，截至目前為止，尚未訂定有本身業別之排放標準，故本

研究以「固定污染源空氣污染物排放標準」，對廠商進行檢測，並做為改善之基礎。

#### (四) 國外管制標準

##### 1. 美國管制標準

美國對於揮發性有機物之管制，係以美國聯想法規 40 CFR PART 60(Amended 59FR 12427, March 16, 1994)之條款規定為主，但其條文中相關於揮發性有機物排放之行業中並未涵蓋本研究所探討之三種產業，故不適本研究所引用。而美國各地方州政府，依各州需求，亦自訂各自之排放標準。例如美國加州即於其法規第九章中『固定污染源排放標準』，明確訂定揮發性有機物之排放標準。但其中並無特定行業之排放條文。在加州之法令中，唯有『SCAQMD RULE 1164 SEMICONDUCTOR MANUFACTURING』[9]，屬於半導體之管制標準，但因其適用對象涵蓋與半導體相關之製造業包括 didoes, zeners, stacks, IC, light-sensing, Light-emitting device, solar cells 等，故亦能適用於光電製造業。

##### 2. 日本管制標準

日本政府對於 VOCs 之排放標準[10]，主要是針對周界及排放口做管制。周界的管制是個別規範 VOCs 之濃度限值；而排放口管制除濃度限值外，部份地區亦限制其排放總量，由於中央政府並未訂定統一標準，所以各地標準是各地方政府依不同考量因素而個別訂定，但並未依各業別而有所區別。

##### 3. 荷蘭管制標準

荷蘭對揮發性有機物之管制，係依其危害性分成四類（含混合類）[10]，將各類所列物質限制其排放濃度及總量，採統一管制方式，並未依業別個別管制。依其標準，若其混合物均屬同類物質，則需將各同類 VOCs 物質之排放量加總計算；但若排放物質含括不同類別時，則將各類別 VOCs 物質之排放量加總後，再與混合類別標準限值比較，是否符合法規標準。

##### 4. 中國大陸管制標準

中國大陸僅在其大氣污染物綜合排放標準中(GB 16297-1996，國家環境保護局 1996-04-12 批准，1997-01-0 實施)制定 33 種大氣污染物的排放限值，其各污染物之排放標準請參閱參考文獻[10]，其中與有機物相關之污染物質為非甲烷總碳氫化合物 (NMHC)，規定其排放濃度及依煙道高度分三級管制其排放速率，並將污染源分為既存污染源及新污染源，按污染源所在環境及功能，將既存污染源分為三級，將新污染源分為 2 級的管制標準，其級別之分類為：

- (1) 第一類區：為現有污染源擴建及改建，執行現有污染源一級標準管制，此類區為空氣保護區。

(2) 第二類區：此類區為空氣品質符合環境標準者(含既存污染源或新污染源)，依二級標準管制。

(3) 第三類別：此類區為空質品質不符合環境標準者(含既存污染源或新污染源)，依三級標準管制。

### (五) 國內、外法規比較

蒐集了國內、外之排放標準後，我們可彙整成表 11 台灣電子業與各國施行標準一覽表；表 12 為台灣電子業與各國 VOCs 排放限值比較表。

以日本及中國大陸之排放限值計算公式，本研究 8 家廠商的計算結果彙整如表 13 所示。而本研究之八家電子業廠商目前之排放限值與各國法規水準之比較，如表 14。

表 11 台灣電子業與各國施行標準一覽表

	中國大陸	台灣	美國(加州)	荷蘭	日本(東京都)
半導體	大氣污染物綜合排放標準	半導體製造業空氣污染管制及排放標準	SCAQMD RULE1164	四級 VOCs 總量管制	特定 VOCs 排放標準
光電業	大氣污染物綜合排放標準	固定污染源空氣污染物排放標準	SCAQMD RULE1164	四級 VOCs 總量管制	特定 VOCs 排放標準
PCB	大氣污染物綜合排放標準	固定污染源空氣污染物排放標準	聯邦法規 40CFR PART 60	四級 VOCs 總量管制	特定 VOCs 排放標準

表 12 台灣電子業與各國 VOCs 排放限值比較表

	中國大陸	台灣	美國(加州)	荷蘭	日本(東京都)
半導體	150mg/m <sup>3</sup> (NMHC) 及三級排放速率上限	削減率 90% 以上、總排放量 0.6kg/hr 以下。	削減率 90% 以上或排放量 < 0.095kg/hr	3kg/hr 以下	200PPM 以下
光電業	150mg/m <sup>3</sup> (NMHC) 及三級排放速率上限	依位置、煙道高度及排放物種不同，個別計算	削減率 90% 以上或排放量 < 0.095kg/hr	3kg/hr 以下	200PPM 以下
PCB	150mg/m <sup>3</sup> (NMHC) 及三級排放速率上限	依位置、煙道高度及排放物種不同，個別計算	依位置、煙道高度及排放物種不同，個別計算	3kg/hr 以下	200PPM 以下

表 13 本研究之八家電子業廠商排放限值計算一覽表

廠商代碼	排放物種	分子量	流量	濃度 PPM	排放量上限 g/s	排放管道	煙道平均排放量 g/s	煙道平均排放量 kg/hr
A 廠	甲醛 30	30	410.92	14.71819	0.1350	p008	13.5175	48.66300
	三氯乙烯 133	133	205.54	1322.52398	26.9000	P2		
B 廠	乙酸丁酯 116	116	1035.00	132.09395	11.8000	p1~3	12.4310	44.75300
		116	960.00	142.41379	11.8000	p4~6		
	異丙醇 60	60	700.00	519.04000	16.2200	P7		
C 廠	甲苯 92	92	192.79	10229.64839	135.0000	P005	135.0000	486.00000
D 廠	異丙醇 60 丙酮 58 Base on 甲烷	16	937.96	14.92004	0.1666	p006	0.1666	0.59976
E 廠	異丙醇 60	60	193.66	49967.98513	432.0000	p46	338.0000	1216.80000
		60	187.93	29083.16927	244.0000	p42		
F 廠	乙二醇單丁醚 102	102	169.16	239.36684	3.0730	p206	3.0730	11.06280
		102	210.95	191.94735	3.0730	p207		
G 廠	乙二醇單丁醚 102	102	132.37	280.47158	2.8176	p001	3.4330	12.35700
		72	206.00	415.92233	4.5900	p004		
	72	10.00	5394.66667	2.8900	p007			
H 廠	二甲苯 106	106	258.37	490.73984	10.0000	p003	23.0000	82.80000
	異丙醇 60	60	258.37	1820.64481	21.0000	p003		
	丙酮 58	58	258.37	3408.10359	38.0000	p003		

表 14 八家電子業廠商與各國法規水準比較表

		A 廠	B 廠	C 廠	D 廠	E 廠	F 廠	G 廠	H 廠
台灣 施行 現況 (20 02 年 5 月)	現階段列 管法規	固定污染源空氣污染物排放標準	固定污染源空氣污染物排放標準	固定污染源空氣污染物排放標準	半導體製造業空氣污染管制及排放標準	固定污染源空氣污染物排放標準	固定污染源空氣污染物排放標準	固定污染源空氣污染物排放標準	固定污染源空氣污染物排放標準
	排放物種	A 甲醛 30 B 三氯乙烯 133	A 乙酸丁酯 116 B 乙酸丁酯 116 C 異丙醇 60	A 甲苯 92	THC(異丙醇 60、丙酮 58)	A 異丙醇 60 B 異丙醇 60	A 乙二醇單丁醚 102 B 乙二醇單丁醚 102	A 乙二醇單丁醚 102 B 丁酮 72 C 丁酮 72	A 二甲苯 106 B 異丙醇 60 C 丙酮 58

		A 廠	B 廠	C 廠	D 廠	E 廠	F 廠	G 廠	H 廠
	污染物推估排放上限濃度	A 15	A 132	A 10230	A 15	A 49968	A 239	A 280	A 491
		B 1323	B 142			B 29083	B 192	B 416	B 1821
			C 519					C 5395	C 3408
	煙道高度 m	11.9	30	22	30	15	28.4	14	20
	煙道排氣量 CMM	986.86	2005.00	730.16	751.96	412.63	380.11	338.37	327.36
	煙道平均排放量上限(kg/hr)	48.6630	44.7530	486.0000	0.5997	1216.8000	11.0628	12.3570	82.8000
中國大陸 NMHC	第一級	※	※	※	○	※	○	※	※
	第二級	※	○	※	○	※	○	※	※
	第三級	※	○	※	○	※	○	○	※
美國 (加州)	RULE1164				☆○				
	40CFR PART 60	☆	☆	☆		☆	☆	☆	☆
荷蘭	三級 VOCs 總量管制 3kg/hr	※	※	※	○	※	※	※	※
日本 (東京都)	特定 VOCs 排放標準 200ppm	○	○	※	○	※	※	※	※
		※	○			※	○	※	※
			※					※	※
<p>註一：台灣現階段排放上限採各排放物種排放上限之總合為計算準則</p> <p>註二：☆表適用於該國該類法規、○表符合該國該類法規、※表不符合該國該類法規。</p>									



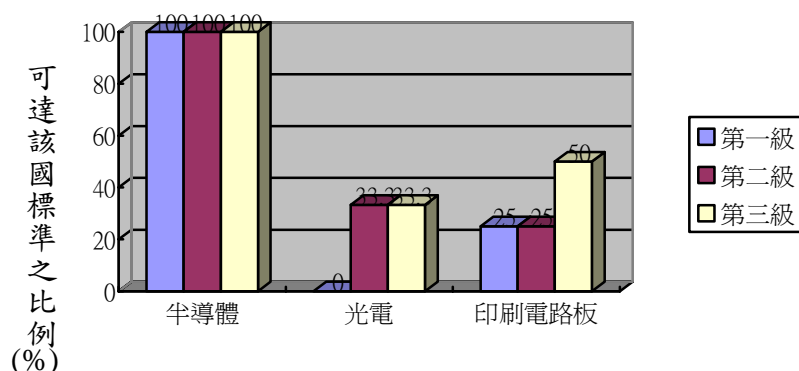
	A 廠	B 廠	C 廠	D 廠	E 廠	F 廠	G 廠	H 廠	
註 三 ：	最高允許排放濃度		最高允許排放效率 kg/h						
	150mg/m <sup>3</sup> 使用溶劑汽油或其他混 合類溶劑 (相當於 210ppm Base on 甲烷)		煙道高度	第一級	第二級	第三級			
			m	15	12	18			
			20	10	20	30			
			30	35	63	100			
		40	61	120	170				

#### 四、結果與討論

##### (一) 國內、外空氣污染法規之水準比較結果

我國電子業與各國相關法規之水準比較，其結果如圖 1~圖 3。

圖 1 台灣電子業與中國大陸排放標準比較圖



由上圖可看出我國半導體業可完全符合中國大陸之排放水準；光電業只有一家廠商(33%)通過其第二及第三級標準 (B 廠)；而印刷電路板業則只有一家廠商 (25%)可完全達到第一、二、三級標準，另一家廠商 (G 廠) 只能達到其第三級標準。

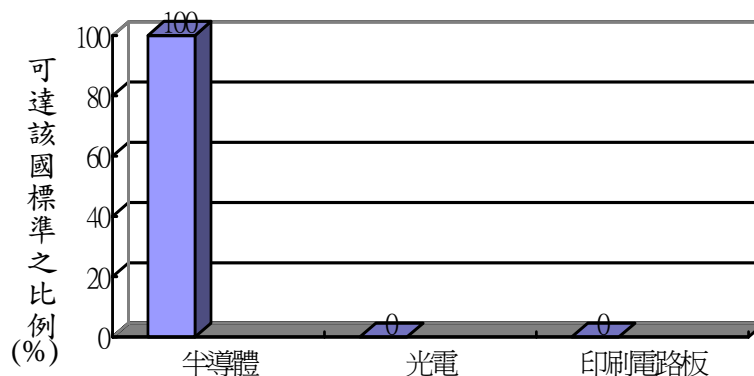


圖 2 台灣電子業與荷蘭排放標準比較圖

由圖 2 中可明顯看出，國內唯有半導體廠商可達到荷蘭之排放水準，其餘光電業及印刷電路板製造業均無任何一家可達荷蘭之國家排放標準。

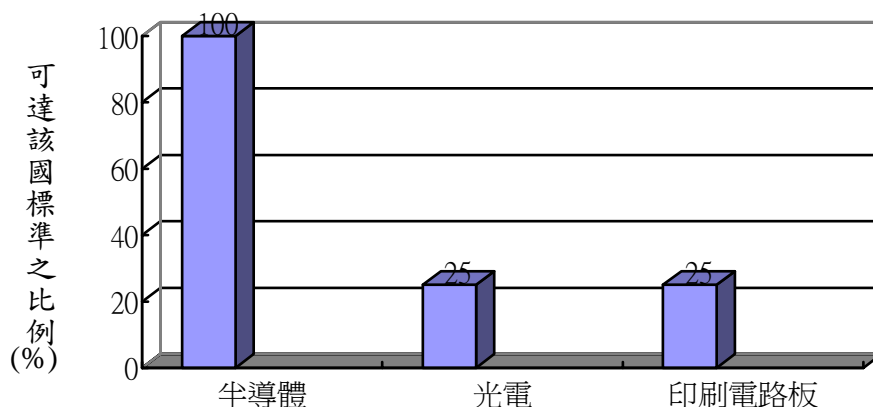


圖 3 台灣電子業與日本排放標準比較圖

從我國與日本之排放標準比較圖(圖 3)中可看出，仍舊只有我國半導體業排放標準，可完全通過日本東京都之管制要求；光電業亦僅有一家廠商(B 廠)之乙酸丁酯濃度可達到其標準(佔總物種之 25%)；而印刷電路板業亦只有兩家廠商其中之 2 項物種(佔總物種之 25%)可達日本之排放標準。

由整體比較結果中可顯示，我國目前針對半導體業所規範之「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」，其嚴謹程度皆可達到本研究所蒐集之各國規定水準。而現階段光電製造業所規範之「固定污染源空氣污染物排放標準」相較於其他比較國之規定，其門檻太過於寬鬆，遠遠落後於各國之水準，除了其中一家廠商可達到中國大陸之第二、三級水準，以及 25%之物種可通過日本之管制水準外，均無法達到相關國家之排放水準。而印刷電路板製造業以目前「固定污染源空氣污染物排放標準」之規定與國外相較，亦只有一家廠商(25%)可完全通過中國大陸之三級標準，而另一家廠商僅能達到其第三級水準，以及 25%之物種濃度可達到日本之法規水準。可見整體而言，我國光電業以及印刷電路板製造業之空氣污染排放標準，實有向上調整之空間及必要。

## (二) 排放量及削減量計算結果

本研究針對 8 家電子業廠商之檢測結果，所計算出之排放量及削減量彙整如表 15，改善前後及削減量之比較，如圖 4 所示。

廠商代 碼	操作時間 —小時/日、 —日/年		防制 設備	排放管道 名稱	初檢流量 CMM	初檢濃度 PPM	是否符合現 行法規	複檢 流量 CMM	複檢 濃度 PPM	改善前 排放量 噸/年	改善後 排放量 噸/年	削減量 (噸/年)
A 廠	20	320		P007	575.94	0.60	是	575.94	0.21	1.57972	0.55290	1.0268
	20	320		P008	410.92	1.26	是	410.92	0.70	2.36690	1.31494	1.0520
B 廠	24	355	鹼洗塔	P001~P003	345.00	3.97	是	345.00	0.93	25.00620	5.85780	19.1484
	24	355	鹼洗塔	P007	700.00	16.63	是	700.00	9.99	70.85799	42.55740	28.3006
	24	355	鹼洗塔	P004~P006	320.00	3.35	是	320.00	2.26	19.59600	13.20360	6.3924
C 廠	24	350	活性炭	P002	568.16	2.34	是			7.97697	0.00000	0.0000
	24	350	活性炭	P005	162.00	1.62	是			1.57464	0.00000	0.0000
H 廠	24	330	活性炭	P003	258.37	8.21	是			12.00003	0.00000	0.0000
D 廠	24	360	焚化爐	P006	937.96	1.85	是			10.70882	0.00000	0.0000
E 廠	24	330	活性炭	P042	189.93	252.56	是			271.36591	0.00000	0.0000
	24	330	活性炭	P043	29.04	3.32	是			0.54542	0.00000	0.0000
	24	330	活性炭	P046	193.66	448.00	是			490.81190	0.00000	0.0000
F 廠	24	300	洗滌塔	P206	169.16	0.52	是			0.45238	0.00000	0.0000
	24	300	洗滌塔	P207	210.95	41.80	是	210.95	0.74	45.34822	0.80282	44.5454
G 廠	24	300	洗滌塔	無 VOCs 排放 管道	206.00	3.18		-	-	0.20230	-	-

表 15 電子業廠商排放管道 VOCs 排放量計算表

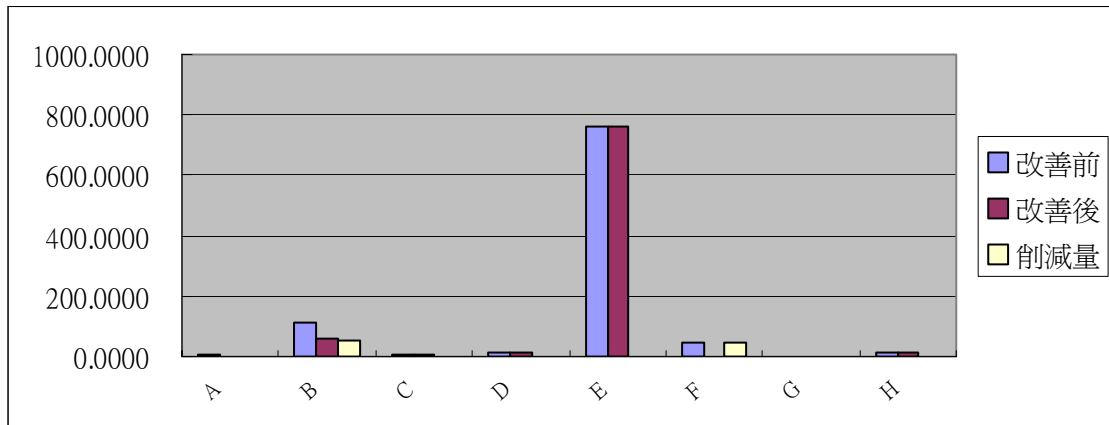


圖 4 電子業廠商改善前後及削減量比較圖

由表 15 可得知，本研究之八家電子業廠商於初檢時，均可符合現行政府法規標準（除半導體業引用本身業別之排放標準外，其餘光電及印刷電路板業均以固定污染源排放標準為法規依據），改善前總排放量為 960.19 噸／年，其中 C、D、E、H 廠由於已達現行法規標準，故廠商並無進一步改善之意願；而 A、B、F 廠經本研究建議而進行改善，其總削減量為 100.47 噸／年。而 G 廠於本研究期程中，因故停產，故無法列入計算。

由圖 4 中顯示，雖然 E 廠（光電業）之排放量可通過現行固定污染源之排放標準，但其排放量達 762.72 噸／年，遠大於其他電子業廠商。若依「光電製造業空氣污染管制及排放標準草案」規定之排放量小於 0.6 kg/hr 之標準為例，其排放量上限為 4.75 噸／年，故其削減量預估可達 758 噸／年，相當可觀，與原排放量比較，僅為原排放量之 0.62%，有相當大的減量空間。

由以上比較即可明瞭，「固定污染源排放標準」以及「光電製造業空氣污染管制及排放標準草案」之間有著天壤之別的差異，由此亦可預知，「光電製造業排放標準」施行後，該產業將有很大的減量成效。

### （三） 不同業別之法源問題

因行業別不同，所衍生之法源的問題較為複雜，例如：以「三氯乙烯」空氣污染物的管制標準為例，因為「印刷電路板業 VOCs 管制及排放標準」尚未公告，所以若依據「固定污染源空氣污染排放標準」，現階段某家「印刷電路板業」廠商（以下簡稱 A 廠）的排放上限可達 68.76 KG/HR，其計算過程如下：

- (1)  $h =$  排放管道高度 = 14 公尺(廠商提供)
- (2)  $b =$  排放管道至周界之距離 = 80 公尺(廠商提供)
- (3)  $b'^2 = (14-6)^2 + 80^2 = 6,464$

$$(4) \quad a^2 = 1.1 \times 10^{-5} \times A \quad [11]$$

$$(5) \quad A = 269 \text{ mg/m}^3 [12]$$

$$(6) \quad q = a^2 \times b^2 = 19.1 \text{ g/sec} = 19.1 \times 60 \times 60 / 1000 = 68.76 \text{ KG/HR} \quad [11]$$

以上各個參數的定義詳如圖 5 所示。

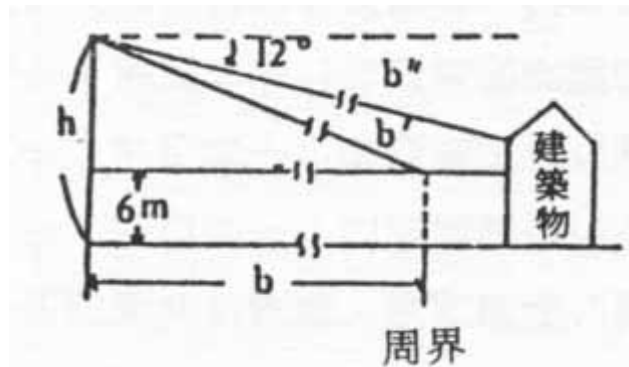


圖 5 排放量計算方法之參數定義圖示[11]

依據「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」，「半導體製造業」廠商的排放上限為 0.02 KG/HR；比較以上管制標準，不難發現：(1)就產業界對地球的環境責任而言，「印刷電路板業」廠商很明顯的較「半導體業」的廠商，有超巨量的「三氯乙烯」排放權；(2)前述兩種行業均屬於電子業，卻有兩種明顯不同的排放權待遇，這種「一國兩制」的管制及排放標準，應盡速謀求解決之道，力求各相關行業間排放權的公平待遇。

## 五、結論與建議

1. 我國目前針對半導體業所規範之「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」，其嚴謹程度皆可達到本研究所蒐集之各國規定水準。而現階段光電製造業所規範之「固定污染源空氣污染物排放標準」相較於其他比較國之規定，其門檻太過於寬鬆，遠遠落後於各國之水準，除了其中一家廠商可達到中國大陸之第二、三級水準，以及 25%之物種可通過日本之管制水準外，均無法達到相關國家之排放水準。而印刷電路板製造業以目前「固定污染源空氣污染物排放標準」之規定與國外相較，亦只有一家廠商(25%)可完全通過中國大陸之三級標準，而另一家廠商僅能達到其第三級水準，以及 25%之物種濃度可達到日本之法規水準。就以上比較，我國光電業以及印刷電路板製造業是否需依現有之經濟狀況、處理技術等因素，重新檢視我國固定污染源排放標準之適用性，是現階段

政府相關單位必須正視的重要課題。

2. (1)半導體排放量為：10.7088 噸/年，削減量為：0 噸/年，其原因為該半導體廠完全合於法規標準，故無削減量。(2)光電業排放量為：890.18 噸/年，削減量為：53.84 噸/年。(3)印刷電路板業排放量為：59.501 噸/年，削減量為：46.624 噸/年。由以上數據可得知：光電業之排放量為電子業大宗，相對其削減量亦最高。經本研究推估，光電業之 E 廠如依「光電製造業排放標準草案」規定其排放量應小於 0.6Kg/hr 為例，則其 2003 年削減量預估可達 758 噸/年，減量空間相當可觀，可見光電業法規施行後，對電子業整體之削減量有很大的實質助益。
3. 目前我國半導體業，無論是法規的嚴謹程度或是廠商實際排放的狀況，均可達各國水準，並依法合格排放，故似無表面上的問題。然於實務上，由於目前「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」中規定：「流量計及濃度偵測器之每季有效監測率應大於 80%」，已造成半導體業廠商在「空氣污染防治設備」的操作上，有相當 20% 的時間可以在「無法可管」的環境下，進行無限制的「合法」排放 VOCs，這種現象政府相關權責單位應儘速進行修法改善，使我國半導體排放標準更為完善。
4. 對於光電業而言，目前的法令要求確實無法有效管制揮發性有機物之排放，如果「光電製造業空氣污染管制及排放標準草案」按原計畫自 2003 年元月起分兩階段施行，自 95 年第二階段開始，其規定已達半導體業水準，屆時亦可與其他世界先進國家並駕其驅。唯其法規內容與半導體業相同有每季有效監測率之共同問題，故應及早因應改善。
5. 國內印刷電路板製造業，由於廢氣中所含 VOCs 成份複雜，若以現行「固定污染源空氣污染物排放標準」管制，係針對個別成份污染物規定其排放限值。如此一來，必須採微量分析方式進行檢測，除檢測成本較高外，亦造成工廠申報及環保稽查單位執行上之困難，故本研究建議應比照半導體及光電業模式，研擬「印刷電路板製造業空氣污染管制及排放標準」，管制其總揮發性有機物，而不針對個別物種加以管制。而其排放限値之訂定，因其主要有機物污染源均來自印刷製程之油墨及稀釋劑等溶劑，故本研究建議可針對印刷製程中溶劑之使用量，參考英國及歐盟之法規，依其用量大小，分級管制其排放限値，以達確實、合理管制之目的。
6. 現有的法規與草案確有不足之處，例如：PCB 大廠排放大量的三氯乙炔，卻只能用低標準來管制，而國內的半導體產業卻已使用高標準的管制條文來規範其製程的操作，這種不同產業同樣都是排放三氯乙炔，卻有不同排放管制標準的現象，很明顯地讓人有「一國兩制」之感，故若能加速總量管制的腳步及儘速完成徵收 VOCs 空污費相關法規之立法，則可消除此一不平等之現象，以落實

VOCs 全面減量的成效。

7. BGA(球狀腳列矩陣)製程是否為半導體法規的管制範圍，一直都是 BGA 製程相關業者爭議的焦點；因為事關 BGA 製程的「VOCs 空氣污染物」排放量管制工作與經營成本，故政府相關權責單位實應儘速公告相關的規定，以落實半導體法規的執行成效。
8. 經由本研究實際與廠商及員工接觸之心得，建議相關單位應加強輔導廠商及員工，對於勞工安全衛生之認知，讓員工瞭解 VOCs 為一種可能的致癌物質，逸散在空氣中，不僅對環境有害，而且對員工本身健康，更是日後病禍的根源。

### 參考文獻

- [1] 環保署，1994 年 6 月，有害空氣污染物排放管制規範研訂計畫，EPA-2-F103-09-13。
- [2] 工業技術研究院，2001 年，經資中心 ITIS 計畫。
- [3] 台灣電路板協會，2001 年，台灣電路板現況調查報告。
- [4] 環保署，2000 年，北部地區空氣品質改善專案計畫期末報告。
- [5] 工研院工安衛中心，2002 年，“國內光電製造業的空氣污染及防治現況”，桃園縣 90 年度固定污染源許可制度研討會論文集，第 B5-1~B5-14 頁。
- [6] 劉國棟，1993 年，“VOC 管制趨勢展望”，工業污染防治，第 48 期，第 15~31 頁。
- [7] 環保署，1999 年，空氣污染防制法—半導體製造業空氣污染管制及排放標準。
- [8] 工業技術研究院，2001 年，光電製造業空氣污染管制及排放標準草案。
- [9] USEPA，Amended January 13，1995，SCAQMD RULE 1164- Semiconductor Manufacturing 。
- [10] 工研院化工所，1997 年 4 月，各國揮發性有機物排放標準案例研究工作期末報告。
- [11] 行政院環保署，1999 年，空氣污染防制法—固定污染源空氣污染物排放標準。
- [12] 行政院勞工委員會，1994 年 6 月，物質安全資料表參考範例。