

## 空污防制

# 運用開放式霍氏紅外光遙測儀進行半導體產業環境異味之調查研究

陳新友\*、莊凱安\*、彭永松\*\*、黃淑惠\*\*\*、曹永杰\*\*\*\*

### 摘 要

「環境異味事件」經常困擾著各高科技產業，甚至有時會影響廠區的生產，然而一個環境異味發生，需要有人、時、地及氣候條件等條件的相互配合，所以發生時間無法確知，因此造成廠內人員無法正確的找出問題癥結。本調查研究則是以三台開放式霍氏紅外光遙測儀(Open-Path Fourier Transform Infrared Spectroscopy, 簡稱 OP-FTIR)進行廠與廠之間的周遭環境的量測工作，用以界定可能造成廠區異味的污染來源，提供廠內人員後續異味發生時的追蹤方向。從調查結果發現造成環境異味的污染來源多數來自於廠內的排放管道，少數來自於其他工廠。

【關鍵字】半導體、OP-FTIR、環境異味、連續監測

\*工業技術研究院環境與衛生技術發展中心 副研究員

\*\*台灣積體電路股份有限公司 部門經理

\*\*\*台灣積體電路股份有限公司 技術副理

\*\*\*\*台灣積體電路股份有限公司 主任工程師

## 一、前言

近年來高科技產業的蓬勃發展，帶動了台灣整體的經濟動脈，當然政府亦相當重視整體科技園區的發展計畫，故於發展計畫中先後成立竹科、南科、中科...等專業科技園區。但由於台灣土地使用受限，因此在政府規劃科技園區時，往往未規劃廠與廠之間的最小間隔距離，因而造成廠與廠之間常有相互污染的情況發生，有時嚴重的時候，還會造成抗爭甚至於是訴訟事件。然而「環境異味事件」的發生，需結合人、時、地及氣候條件等因素，「人」則為感受到有異味的事件的受體；「時」為異味發生的時間，依發生時間而言，可能為長久或瞬間，也有可能是白天或晚上；「地」是指異味事件的發生地；「氣候條件」則包括季節性的風速、風向的變化。

由此可知，一件「環境異味事件」需要有許多巧合才會發生，故在大部分的異味事件，均是曇花一現的結果。在以往進行異味蒐證工作時，則會以突發性的檢測作業為主，這種作法雖然機動性佳，但往往也會失去採樣蒐證的時效性。從污染物擴散影響因素而言，會因地形、地物及氣候條件（包括溫度、濕度、風速、風向...等因素），而有不同的擴散情形，再加上發生異味事件的時間性無法確知的情況下，常常造成污染物種類及濃度調查上的困難度。因此本研究模式則在廠區經常發生異味事件的地點，架設連續採樣分析的檢測工具，進行現場採樣分析的工作；連續性檢測工具則為 OP-FTIR，該儀器具有以下優點：

1. 即時偵測，可依需求調整取樣分析時間；
2. 較高靈敏度，可分析污染物於 ppb 等級；
3. 可同時進行多種氣體污染物之監測；
4. 適用於半導體、光電...等高科技產業特殊化學品〔全氟化合物(PFCs)、磷化氫( $\text{PH}_3$ )、砷化氫( $\text{AsH}_3$ )、矽甲烷( $\text{SiH}_4$ )、氨( $\text{NH}_3$ )、丙二醇單甲基醚(PGME)、丙二醇單甲基醚酯(PGMEA)等〕。

本調查研究除運用 OP-FTIR 的量測儀器外，於量測期間內亦同步搭配攜帶式氣象儀，監測現場的氣象條件變化，以確實能掌握污染物的來源方向，進而提出污染來源改善或追蹤等方案，以確實達到污染控制的目的。

## 二、調查方法

OP-FTIR 的技術已被美國環保署採用為毒性有機污染物的分析方法 (TO-16)<sup>(1)</sup>，無論是在工廠、周界的量測或是學術研究，以 FTIR 為工具的方法陸續被發表，技術已經相當成熟<sup>(2, 3, 4)</sup>。FTIR 是利用氣體分子能吸收紅外光區之能量的原理，發展出來的先進儀器；其基本設計是對欲量測之區域發射一道光束，並利用每一種氣體分子都有特定的吸收係數，在光束通過量測區域時，特定氣體分子會吸收特定波長的光，導致光束在此波長之強度減弱，而吸收前後之光強度比值與氣體分子之濃度有關。

本研究目的則是利用 OP-FTIR 連續監測的優點，進行廠與廠之間污染物種類及濃度的檢測分析工具，並配合現場氣象條件，來推估污染物的來源，以釐清工廠間的相互污染狀況。

根據工廠所提供之資料，廠區的污染來源可能來自於排放管道、廢水處理廠... 等，因此在完成現場整體勘查完成後，則選擇運用三部 OP-FTIR，分別架設於圖 1 所示的相關位置圖，並於架設地點連續進行三天的量測工作，另外在考量氣候條件的變化與數據的代表性，每部監測儀器的量測掃描次數，均為 64 Scans (1 Scans：為光束往返量測光徑一次，而 64 Scans 則為光束往返量測光徑 64 次，並將 64 次的光譜進行疊加之動作，以降低干擾值，故每筆量測數據時間約五分鐘)，氣象條件監測則以 1 分鐘 1 筆數據為主，以利後續與監測數據進行結合，推估污染物的來源。

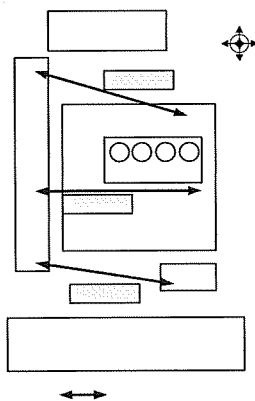


圖 1 OP-FTIR 於廠區架設示意圖

## 20 運用開放式霍氏紅外光遙測儀進行半導體產業環境異味之調查研究

對於污染來源的判斷則依各測線所測得相同化合物，進行污染濃度比較，其比較結果及判斷依據，請參照表 1 所示。

表 1 污染來源判斷依據及說明

判斷依據（依濃度高低）	污染來源	判斷來源說明
測線一 > 測線二 > 測線三	廠外來源	依風向判斷，測線一為上風處測線，濃度依序遞減，廠內並無貢獻
測線一 > 測線三 > 測線二	廠內+廠外	依風向判斷，測線一為上風處測線，濃度依序遞減，但測線三濃度又大於測線二，推估廠內可能有貢獻源
測線二 > 測線三 > 測線一	廠內來源	依風向判斷，測線一為上風處測線，濃度排序為上風處最低，而廠內二條測線為濃度依序遞減，推估廠內為最大貢獻源
測線二 > 測線一 > 測線三	廠內來源	依風向判斷，測線三為上風處測線，濃度排序為上風處最低，而廠內二條測線為濃度依序遞減，推估廠內為最大貢獻源
測線三 > 測線二 > 測線一	廠外來源	依風向判斷，測線三為上風處測線，濃度依序遞減，廠內並無貢獻
測線三 > 測線一 > 測線二	廠內+廠外	依風向判斷，測線三為上風處測線，濃度依序遞減，但測線一濃度又大於測線二，推估廠內可能有貢獻源

### 三、結果與討論

整體的量測結果中，共分析得的污染物種類包括六氟乙烷(C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>)、氨(NH<sub>3</sub>)、六氟化硫(SF<sub>6</sub>)、四氟化碳(CF<sub>4</sub>)、矽甲烷(SiH<sub>4</sub>)、三氟化氮(NF<sub>3</sub>)、丙二醇單甲基醚酯(PGMEA)、一氧化二氮(N<sub>2</sub>O)、乙酸丁酯(Butyl Acetate)□等 14 種，上述所列種類大部分為高科技產業所使用之原物料。本次所調查研究的重點是在於瞭解可能造成廠區異味事件的污染物種類及其來源，因此將結果分為兩部分來進行說明：

#### 1. 可能造成「環境異味事件」的污染物

對於可能造成「環境異味事件」的污染物，於結果中將測得污染物濃度數

據與各污染物可能引發異味的嗅覺閾值相互比較後，於各測線污染物超過嗅覺閾值的比例結果，請參考表示。由表中得知，於廠區內最有可能產生「異味事件」的污染物包括  $\text{NH}_3$ 、Butyl Acetate、PGMEA 及  $\text{O}_3$  等污染物，其中又以  $\text{NH}_3$  可能造成的「環境異味事件」比例為最高，其比例為 21.7 %。

## 2. 污染物來源追蹤

針對現場所收集的檢測資料與氣象資料相互結合後，繪製成污染玫瑰圖，用以判斷污染來源的風向，並比較各測線的濃度高低，藉以區分污染來源是否來自於廠內或廠外。針對現場測得之個別污染物，將其與氣象資料結合，繪製之污染玫瑰圖如圖 2 所示。對於本次調查結果則以圖 2 進行案例說明，圖中為  $\text{NH}_3$  在 3 條測線測得之污染玫瑰圖結果，「測線一」濃度多數集中於中心點的位置，但於出現高濃度時，則偏向於西北方；「測線二」污染物來源則均指向南方；「測線三」污染物來源與「測線二」相同，亦指向於測線的南方。從三條測線的濃度比較後，「測線二」最高濃度為 280.5 ppb、平均濃度為 23.6 ppb，大於「測線三」與「測線一」，而「測線三」亦大於「測線一」。因此由三條測線的來源方向交叉分析與濃度比較後，推測  $\text{NH}_3$  污染來源，應來自廠區內的排放管道；針對 PGMEA 所進行推估之方式，亦與  $\text{NH}_3$  相同，推測其污染來源為廠區內的排放管道。

上述推估所得結果，均為廠內排放管道所產生的逸散物，但於調查成果中，Butyl Acetate 亦為造成廠區「環境異味事件」污染物之一，故對該污染物進行來源分析。將其分析資料與氣象資料結合，繪製成污染玫瑰圖，其示意圖如圖 3 所示。由圖中得知，僅「測線一」測得 Butyl Acetate 該污染物，且從風向進行判斷可能來源為南方的鄰廠；為證實是否為南方鄰廠所排放之污染物，則進一步比對該廠的原物料清單，進而證實為該廠所使用的化學品。

22 運用開放式霍氏紅外光遙測儀進行半導體產業環境異味之調查研究

表 2 各測線污染物超過嗅覺閾值濃度的比例

化合物名稱	化學式	測線一	測線二	測線三	嗅覺閾值 (ppb)
氨	NH <sub>3</sub>	0.8%	21.7%	5.1%	43.0
乙酸丁酯	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	13.4%	?	?	6.3
四氟化碳	CF <sub>4</sub>	0.0%	0.0%	0.0%	1,600.0
二氯二氟甲烷	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	?	?	?	?
甲醇	CH <sub>3</sub> OH	0.0%	0.0%	?	3,300.0
三氟化氮	NF <sub>3</sub>	?	?	?	?
一氧化二氮	N <sub>2</sub> O	?	?	?	?
臭氧	O <sub>3</sub>	?	5.8%	6.7%	7.6
全氟乙烷	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	?	?	?	?
丙二醇單甲基醚酯	PGMEA	?	?	0.9%	25.0
矽甲烷	SiH <sub>4</sub>	?	?	?	?
六氟化硫	SF <sub>6</sub>	?	?	?	?
丙酮	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	?	?	?	3,600.0
乙炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	?	?	?	?

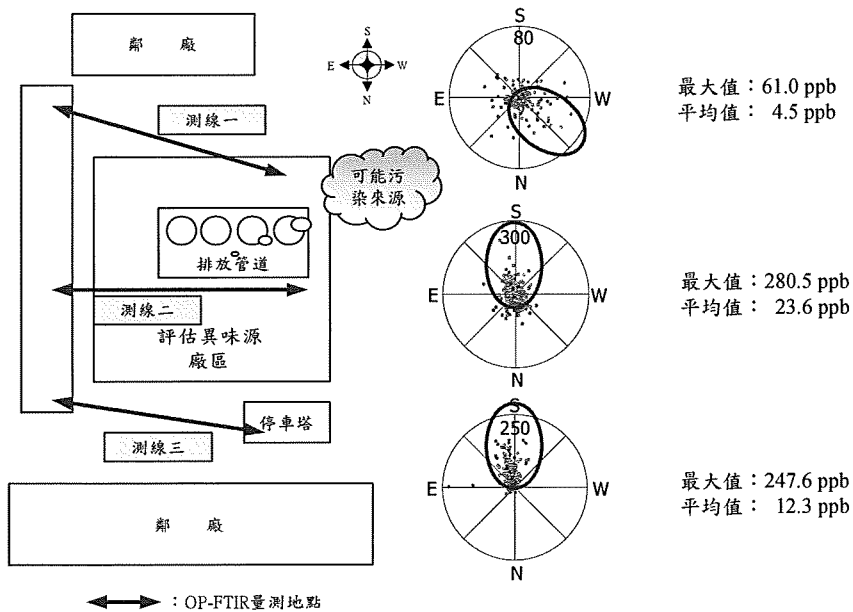


圖 2 NH<sub>3</sub> 來源分析圖

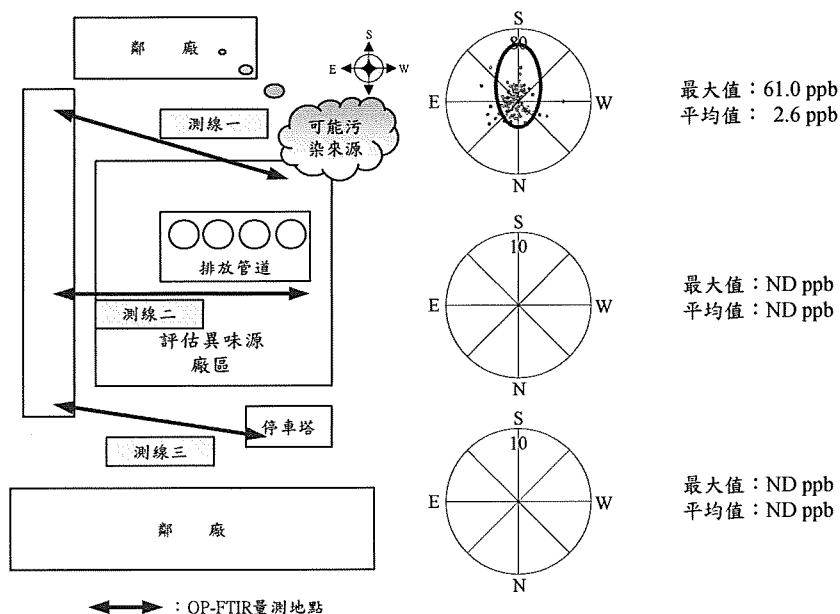


圖 3 Butyl Acetate 來源分析圖

經由上述的調查完成後，廠區人員亦加強追查各排放管道所排放污染物種類與濃度，並對排放異常之管道進行改善工程，其改善作業包括建置各排放管道污染物種類與濃度、調整處理設備效率及製程端污染控制等。現階段，廠區內的「環境異味事件」，已明顯減少許多。

#### 四、結 論

本調查研究所使用的檢測工具為 OP-FTIR，因此針對本儀器的使用限制、園區內廠房密佈及氣候變化等因素，可能造成下列限制及偏差：

1. 所獲得之數據為量測光徑（泛指量測儀器所架設的距離，可視為線量測）之平均值，非定點之偵測值，因而無法正確推估排放源的確實排放濃度。
2. 獲得結果為量測期間工廠之污染物逸散情形，無法預估尚未排放之污染。
3. 推估之排放源精確度受限於量測策略（包括地點選擇、量測時間以及氣候條件等因素進行考量）。OP-FTIR 運用的優勢是在於未知環境下做監測工作，故較難

## 24 運用開放式霍氏紅外光遙測儀進行半導體產業環境異味之調查研究

推估真正污染源與量測測線的真正距離。

4.單一化合物、眾多排放源增加排放位置推估的困難度。

## 五、研究限制

「環境異味事件」仍時常困擾著各高科技產業，而本調查研究則於量測策略規劃上，運用 OP-FTIR 在環境監控優勢以及搭配多條測線量測，進行廠內與廠外污染來源的區分，期能使廠家能迅速且有效的追蹤真正污染源，避免浪費太多的人力與物力。

## 六、參考文獻

1. USEPA, Compendium Method TO-16: Long Path Open-Path Fourier Transform Infrared (OP-FTIR) Monitoring of Atmospheric Gases, EPA/625/R-96/010b, (1996).
2. 行政院環保署，台北，“運用紅外光遙測技術執行石化工業區污染監測計畫研究報告”，2002。
3. 高雄縣環境保護局，高雄，“石化工業區空氣品質(含臭味、VOC等)之影響及改善計畫”，1996。
4. 高雄市環保局，高雄，“高雄市左楠地區臭味污染來源調查及管制計畫”，2004。