

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

半導體產業空氣污染控制技術研發-空氣離子化技術控制半
導體產業揮發性有機化合物之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-002-053-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學環境工程學研究所

計畫主持人：李慧梅

計畫參與人員：吳致呈

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 9 月 26 日

一、中文摘要

本計畫發展空氣離子化控制技術，冀望以具有高反應性之離子化空氣直接去除揮發性有機物，解決目前半導體產業廢氣與無塵室中氣相有機污染物面臨之問題。本計畫通過第一年之部分，計畫內容為針對空氣離子化技術之各項影響因子進行基礎研究，以瞭解空氣離子化之條件與各項操作因子。空氣離子化技術以單一負極針尖放電之方式產生空氣負離子，並探討負離子濃度與電壓及針尖特性之關係、負離子生命週期、空間分布特性、溼度的影響、副產物 O₃ 與 NO_x 的生成等。結果顯示高反應性負離子，其最大停留時間約 80 秒，半衰期約 25 秒，隨著溼度上升生命週期下降。實驗顯示 0.2 mm 的不鏽鋼針尖，具有較低之操作電壓，良好的放電針尖設計，可以降低操作電壓，並節省能源。以 0.2 mm 的不鏽鋼針尖進行放電，在 2.6 kV 開始產生少量不穩定的空氣負離子，3.0 kV 距針尖 30 cm 之平均空氣負離子濃度為 1.72×10^4 ion/cm³，結果顯示放電電壓超過起始電壓之後會產生大量的空氣負離子。在 O₃ 與 NO_x 副產物之偵測方面，結果顯示單一負極針尖放電所生成之 O₃ 與 NO_x 極低。此外，空氣負離子濃度在空間的分佈上呈現指數遞減的關係，在 30 kV 放電下空氣負離子濃度(Y, ion/cm³)與空間距離(X, cm)呈現， $Y = a \times 10^6 \text{ EXP}(-bX)$ 之關係，常數 b 介於 0.01-0.04 之間，常數 a、b 與溼度有重要的相關。

關鍵詞：空氣離子化，空氣負離子、生命週期、揮發性有機物，半導體產業，無塵室

二、英文摘要(Abstract)

This study investigated the generation of negative air ions (NAI) by negative electric discharge. The electric discharge was controlled at silent or dark discharge (not corona discharge). Therefore the by-products, ozone and NO_x, can be controlled at non-detectable level. In experiments, six electrode types were conducted for threshold voltage testing of NAI generation. The concentrations of NAI were detected at different discharge voltages, humidities and space locations. The results show the stainless 0.2 mm electrode can operate at the lowest threshold voltage (2.6 kV) for NAI generation. When the operating voltage over the threshold voltage, the NAI can be generated hugely. In the retention time experiments, the half-life of NAI was approximately 25 sec and the maximum lifetime was about 80 sec. At 30 kV negative electric discharge, the average NAI concentration was 1.39×10^6 ion/cm³ at a 30 cm distance from discharge electrode. The experimental results show the well linear regression between NAI concentrations and distances from discharge electrode. The NAI concentrations displayed an exponential decay with distance in space. The relationship equation can be showed as $Y = a \times 10^6 \text{ EXP}(-bX)$, (NAI concentration, Y,

ion/cm³; distance, X, cm). The b constant was between 0.01 and 0.04. The a and b constants were varied with humidity.

Keywords: air ionization, negative air ion (NAI), lifetime, volatile organic compounds (VOCs), semiconductor industry, cleanroom

三、報告內容

(一)、前言

半導體產業是我國經濟發展中重要的產業之一，目前有數十座半導體廠投入生產的行列，在世界上的半導體產能預估有 7 – 8% 以上的佔有率，並且持續增加（台灣半導體產業協會，2001）。由於半導體產業在製程中使用相當多的化學品，導致廢氣中包含酸鹼廢氣、揮發性有機物、毒性氣體與燃燒性氣體等有害污染物。我國環保署並針對半導體產業訂定「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」，管制揮發性有機物、三氯乙烯、硝酸、鹽酸、磷酸、氫氟酸與硫酸等污染物（行政院環保署，民國 88 年 4 月 7 日）。其中管制的酸性氣體目前已能有有效的控制；在揮發性有機物的控制上，目前大部分半導體廠皆以沸石轉輪濃縮焚化的方式控制廢氣中的揮發性有機物。然而沸石轉輪濃縮焚化的控制技術面臨操作成本高，以及不同揮發性有機物處理效率差異的問題。此外半導體產業無塵室中的製程有多種氣態有機物污染物逸散於無塵室。許多的研究指出無塵室中的工作人員具有相對較高的職業傷害。無塵室中的氣態污染物，一方面造成勞工安全上的危害，另一方面進一步生成的氣生粒狀物（air borne particle）也會對半導體產業中產品良率的進一步提升造成影響。

本研究計畫期望發展離子化空氣控制技術試圖解決目前半導體產業廢氣中揮發性有機物的難題，並應用離子化空氣控制技術，控制半導體產業無塵室氣態有機物對勞工安全與氣生粒狀物的問題。空氣離子化控制技術的特點包含：主動反應有機污染物、沒有接觸面與吸脫附等問題、沒有後續污染物的問題（如吸附飽和的活性碳）、使用乾淨的能源（電能）（相較於焚化等控制技術，此點對於高精密的產業有相當的影響）、能控制揮發性有機物與增進粒狀物的控制，並且於製程中能作為消除靜電的裝置（尤其半導體廠之潔淨室）。基於空氣離子化控制技術的特點，本研究進一步對空氣離子化技術之基礎特性進行深入之探討。此計畫原規劃內容(三年)包含空氣離子化技術之基礎科學性研究、半導體產業無塵室氣態有機物之控制以及半導體製程排放廢氣中揮發性有機化合物控制之工程應用。本研究通過第一年之計畫，計畫內容主要針對空氣離子化技術之各項影響因子進行研究，以瞭解最佳空氣離子化條件與各項操作因子。

(二)研究目的

此研究之研究目的在於探討空氣離子化技術之基礎特性，以利空氣離子化技術之進一步應用。本研究目的之要項如下：

- (1) 完成最佳空氣離子化系統之設計，並完成該研究系統之架設與測試。包含高壓電源供應器之選擇、放電針尖之評估、空氣供應系統之建立、高壓電絕緣安全措施、偵測系統（溼度偵測、離子數目偵測、臭氧濃度偵測、氮氧化物濃度之偵測）之設置與空氣離子化反應槽之設計等。

- (2) 建立空氣離子化設備安全操作之作業。
- (3) 探討高壓放電中電壓大小對空氣離子化程度的影響，以及探討電極對空氣離子化的影響。並瞭解溼度在空氣離子化技術上所造成的差異。
- (4) 瞭解空氣離子化過程產生臭氧的問題，並針對不同的操作因子，找出最低臭氧的控制方法。
- (5) 瞭解空氣離子化過程是否有 NO_x 產生的問題，以 NO_x 偵測器探討在不同操作條件下 NO_x 產生的情形，並找出最佳控制 NO_x 產生的方法。
- (6) 探討不同條件下空氣離子在氣相中的停留時間，以瞭解反應系統最佳的反應時間。

(三)文獻探討

(1)半導體業面臨之問題

目前半導體廠在揮發性有機污染物方面面臨以下三點問題：

- 一、現有以蜂巢狀沸石轉輪濃縮後焚化（或冷凝）之控制技術，對廢氣中揮發性有機污染物之去除，有吸附效率逐漸下降的問題。對廢氣中高沸點物質不易脫附，累積在沸石轉輪中的情形，將影響吸附的去除效率。
- 二、潔淨室中揮發性有機污染物的累積，會對無塵室中的工作人員造成健康與安全上的疑慮。基於潔淨室的操作成本，維持相當的循環風量，然而種類繁多、風量大及濃度低的循環氣不易處理，使得作業員工暴露在有機污染物之中。
- 三、潔淨室中氣態污染物所形成的氣生粒狀物，及氣態污染物在晶圓等半導體產品上的沈積，會造成產品良率提昇的瓶頸。

有關潔淨室中氣態污染物對操作員工造成健康影響的問題，由 Schenker et al. (1992) 等人的研究發現，在半導體業潔淨室中的工作人員比在非潔淨室中的員工具有較高自發性流產 (Spontaneous abortion) 的風險。Adams (1986) 指出半導體業中化學物質的使用以及潔淨室中較低的溼度，工作人員易引起皮膚炎。Pastides et al. (1989) 研究美國麻州某半導體廠從事擴散以及顯影之員工發現，女性自發性流產比非暴露組高，而且在顯影區之女性比非暴露組有較高的關節疾病、噁心症狀、皮膚病與喉嚨痛等症狀。在擴散區的女性則較常有頭痛的症狀。有關半導體產業潔淨室中氣態有機污染物對製程產品的影響。Tamaoki et al. (1999) 的研究指出，晶圓表面有機沈積物的物種以 DOP (dioctyl-phthalate)、amines 和 esters 等為主要的有機污染物。而 Satio (1995) 則指出在半導體廠中若將晶圓隔離在潔淨室之外，則晶圓表面上的有機污染物質將可以減少一半以上。Kang Yuhor et al. (2001) 針對晶圓上微污染的研究指出，晶圓上之微污染物質形成之主要成因，是由於潔淨室中分子污染物空降至晶圓表面累積成長而成，而非由潔淨室中之微粒沈降至晶圓表面造成。目前半導體廠潔淨室中氣態污染物

對產品影響的相關研究仍然不多，然而可以確定對於半導體產業的產品良率提昇有相當重要的影響。

(2) 空氣離子化控制技術

空氣離子化是利用電能來產生空氣離子，其中包含過氧陰離子自由基 O_2^- (diatomic oxygen radical anion)，會與空氣中的揮發性有機物與粒狀物進行快速的反應。近來有許多產品利用空氣離子化技術來控制揮發性有機物與粒狀物，然而在基礎研究上卻仍然缺乏，為了發展此控制技術必須進行基礎研究，以掌控各項操作因子，提升控制技術的應用性。Stacy L. Daniels (2001) 指出，離子化空氣可以消除室內空氣中的微生物、去除室內空氣中的臭味與去除特定的揮發性有機物。並且可以利用空氣離子化技術來增進傳統 HEPA 過濾器的效能，對次微米氣膠的控制可以更有效率。

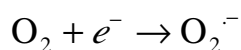
[A] 空氣離子之物理性質

空氣離子化所需之能源形式可以分為核能、熱能、電能與化學能等能量形式 (Goldstein et al., 1992)，其它例如：宇宙射線、紫外線、風與空氣摩擦、水滴破裂、閃電放電等等，此外使用電能所形成的強大電場亦會使電場中的空氣離子化 (Bracken, 1987)。自然環境中由於宇宙射線、紫外光等，使得空氣中存在離子。然而由於人為活動的影響，則會造成大氣環境中離子的增減。例如在室內抽煙或點蠟燭則會使室內環境中背景離子數目下降，甚至完全測不到 (Frost, 2001)。自然狀況下，大氣中帶電離子的數量會隨著天氣等因素有所變化 (Tammet, 1997)。在壞天氣的情況下，基準海平面高度，空氣中正負離子兩者的密度大約為 $\sim 200 - 3000 \text{ ions/cm}^3$ 。打雷閃電與下雨的狀況，負離子會升高至 14000 ions/cm^3 左右，正離子會升高至 7000 ions/cm^3 左右。如果在室內吸一根菸的話大約會使室內空氣中的總離子數大約降至 $\sim 10 - 100 \text{ ions/cm}^3$ (Pontiga, 1997)。

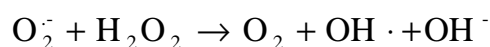
空氣離子可以定義為在空氣中帶有電荷的原子、分子或分子團，這些離子會在電場中移動 (Tammet, 1997)。離子的反應和個別分子的物理性質有很大的關係，相關物理性質包含：離子化潛勢 (ionization potential)、電子親合力 (electron affinity)、質子親合力 (proton affinity)、極性距 (dipole moment)、極性 (polarizability) 與化學反應性 (chemical reactivity) 等。在空氣離子化中，自由電子很快的和氧氣反應，形成過氧自由基 (superoxide radical anion, $^3O_2^-$) 而此自由基也可能形成水合化合物 (Bracken, 1987)。所有的這些中間物質可以總稱為離子團 (cluster ions)，一個離子團在一般大氣狀況下，其生命週期大概在一分鐘左右，約可以和 10^{12} 個 (一千億個) 分子進行碰撞 (Tammet, 1997)。一般自然產生，在乾淨空氣下的空氣離子其生命週期大約為 $100 - 1000$ 秒 (Kruk, 1998)。

[B] 空氣離子之化學性質

空氣離子的反應中氧分子具有相當的重要性，額外提供的能量可以將氧分子活化，轉變為具有反應性的氧化物（reactive oxygen species, ROS）。如果加一個電子給氧分子為還原反應（如下式所示），而電子的貢獻者則行氧化反應。接受單一個電子的氧分子，其電子位於第三層的分層軌域，可以表示為 $^3\text{O}_2^-$ 。 O_2^- 同時也是屬於一個自由基（radical）也是一個陰離子（anion）（Daniels, 2000）。



過氧陰離子自由基（superoxide radical anion）在人體之中屬於一個重要的自由基，一個 70 公斤的成年人一年大約可以合成至少 10 公斤這樣的自由基（Ingold et al, 1999）。Goldstein et al.（1992）等人指出，過氧陰離子自由基可以利用電極放電使空氣離子化的過程得到。在濕空氣中利用負極放電使空氣離子化則會產生低濃度的過氧化氫（hydrogen peroxide）（Challenger, et al., 1996; Richardson, et al., 2001）。在濕空氣中所產生的低濃度過氧化氫（hydrogen peroxide）也會和過氧陰離子自由基反應生成氧化性更強的氫氧自由基 hydroxyl radical，如下式所示。



氧氣、過氧化物、氫氧自由基與過氧陰離子自由基等化學物質，可以稱為反應性氧化物（Reactive Oxygen Species, ROS），這些化學物質可以參與氣相或液相中的氧化還原反應。而過氧陰離子自由基（ O_2^- ）是屬於三者中最穩定的自由基（Weber et al., 2000）。

[C] 空氣離子化技術之應用

Stacy（2001）以空氣離子化系統設置於柏林的大樓中，研究揮發性有機物的去除效率。該研究分析離子化系統啟動前與啟動後 59 種揮發性有機污染物濃度的變化。其結果顯示總揮發性有機物在啟用後，約去除 50%，由 $112 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 降低為 $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。Frost et al.（2001）研究蘇黎世機場大廳離子化空氣系統，對三種揮發性有機物的去除效率。分別針對 Isooctane、Benzene 與 Toluene 在離子化空氣系統作用前後進行採樣，結果顯示，Isooctane 由 $5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 降為 $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，Benzene 由 $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 降為 $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，Toluene 由 $29.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 降為 $16.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 其去除效率大約在 35% - 58%。

(四)研究方法

實驗內容在於探討以高壓放電空氣離子化產生空氣負離子之相關因子。實驗項目包含：1.不同材質之針尖電極，對空氣負離子生成之影響 2.放電電壓與生成空氣負離子濃度之關係 3.放電電壓與距離針尖之距離對空氣負離子濃度之影響 4.空氣負離子在空氣中之停留時間 5.臭氧與氮氧化物副產物之監測 6.誘導電極產生空氣負離子之研究 7.溼度對空氣負離子在室內空間分布之影響。前述項目 1 至 5 之實驗，於一直徑 20 cm，長 50 cm 之玻璃反應器進行；反應器經 30 kV 有效

之絕緣膠墊絕緣，反應器之一端連接高壓乾淨空氣供應系統。實驗項目 6-7 在一密閉無擾動之室內環境進行；實驗空間之尺寸為 9 m (L)×5.7 m (W)×3.3 m (H)。空氣負離子之產生裝置，利用高壓電源供應器(SPELLMAN, model SL300)，最大可以提供 DC 30 kV，10 mA 之正電或負電，連接實驗之金屬針尖，進行負極針尖放電。實驗室內環境參數之監測，利用 Q-Trak (TSI model 8551)即時監測溫度與溼度之變化。空氣負離子與正離子的濃度，由離子偵測器進行量測 (ion counter, IC-1200)。各實驗項目之說明如下：

- 1.不同材質之針尖電極，對空氣負離子生成之影響：探討長 5 cm，針尖直徑 0.2 mm、0.5 mm 與 1 mm 之不銹鋼與銅質針尖之放電特性。
- 2.放電電壓與生成空氣負離子濃度之關係：改變放電電壓，在距離針尖 30 cm 之距離量測直徑 0.2 mm 不銹鋼針尖，產生之空氣負離子濃度。
- 3.放電電壓與距離針尖之距離對空氣負離子濃度之影響：在不同之放電電壓下，瞭解在針尖附近空氣負離濃度與距離之關係。
- 4.空氣負離子在空氣中之停留時間：在產生一高濃度之空氣負離子之後，量測空氣負離子隨時間衰減之時間變化，以瞭解空氣負離子在空氣中之最大停留時間。
- 5.臭氧與氮氧化物副產物之監測：以 30 kV 負極放電，產生 10^6 ion/cm³ 以上之空氣負離子，操作三個小時之後，量測臭氧與氮氧化物之濃度。
- 6.誘導電極對產生空氣負離子之影響：探討負極放電針尖與誘導電極之間的距離，對產生空氣負離子濃度之影響。
- 7.溼度對空氣負離子在室內空間分布之影響：在不同的溼度條件下，探討單一針尖放電產生之空氣負離子，在一室內密閉空間中之分布特性。

(五)結果與討論 (含結論與建議)

由於不同材質與型態的放電針尖會影響，空氣負離子的生成。本研究以單一針尖放電之方式探討不同材質與不同尖端直徑之針尖對產生空氣負離子之關係。Table 1 表示銅與不鏽鋼兩種材質，在不同針尖直徑 0.2 mm、0.5mm 與 1mm 下，產生空氣負離子之起始電壓。實驗結果顯示對於不鏽鋼和銅質針尖之尖端直徑越小，其產生空氣負離子之起始電壓越低。0.2 mm 之不鏽鋼針尖之起始電壓比 0.2mm 之銅針尖來的低。兩種材質在 0.5 mm 與 1 mm 直徑之針尖，其起始電壓的差異較小。實驗結果顯示，以 0.2 mm 之不鏽鋼針尖放電，可以在較小的電壓下操作。

Table 1 Threshold voltage of negative air ions generation by different electrode types

Table 2 Negative ions concentration at different voltage and distance from tip (68.4 %RH, 20.1°C)

放電針尖類型	產生空氣負離子之起始電壓(kV)	distance (cm)	Negative ion concentration (ion/cm ³)		
			2.6 kV	3.0 kV	30.0 kV
0.2 mm 不鏽鋼針	2.6	3	1070	1.46×10 ⁶	--
0.5 mm 不鏽鋼針	5.9	5	110	1.28×10 ⁶	--
1 mm 不鏽鋼針	10.1	10	ND	7.16×10 ⁵	2.30×10 ⁶
0.2 mm 銅針	4.3	15	ND	1.52×10 ⁵	--
0.5 mm 銅針	6.1	20	ND	3.46×10 ⁴	1.54×10 ⁶
1 mm 銅針	9.8	30	ND	1.72×10 ⁴	1.25×10 ⁶
		40	ND	1.31×10 ⁴	--
		50	ND	9.8×10 ³	5.54×10 ⁵

以 0.2 mm 不銹鋼針尖電極，進行不同電壓下空氣負離子產生濃度與距離之實驗，其結果如 Table 2 所示。其起始產生空氣負離子的電壓為 2.6 kV，在距離針尖電極 5 cm 以內的範圍可以量測到平均 110 ion/cm³ 以上之負離子濃度。產生之空氣負離子濃度隨著超過起始放電電壓之後大幅度的上升。如表顯示在距離電極 10 cm 處 2.6kV 時負離子濃度 ND，在同一距離 3.0 kV 時空氣負離子濃度迅速提升為 7.16×10⁵ ion/cm³，30.0 kV 放電時更高達 2.30×10⁶ ion/cm³。空氣負離子濃度與針尖距離的關係，其結果顯示隨距離增加，空氣負離子濃度遞減。

在距離針尖電極 30 cm 處，量測不同放電電壓下，所產生之空氣負離子濃度。其結果如 Figure 1 所示，隨著放電電壓的升高，空氣負離子之產生量隨之增加。在 10 kV 以上的操作電壓下，其電壓與空氣負離子濃度的關係呈線性關係。30 kV 放電，所產生之空氣負離子平均可以達到 1.39×10⁶ ion/cm³。

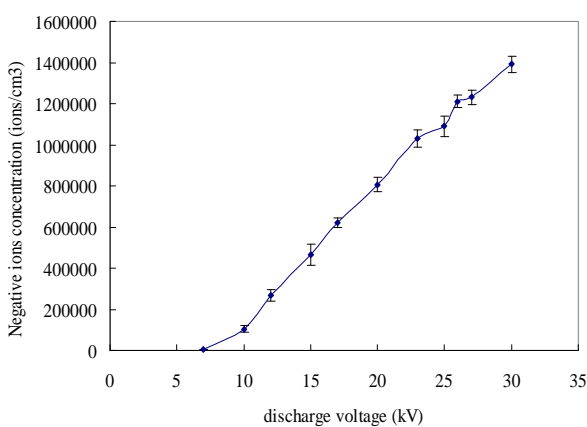


Figure 1 Negative ions concentration with different discharge voltage

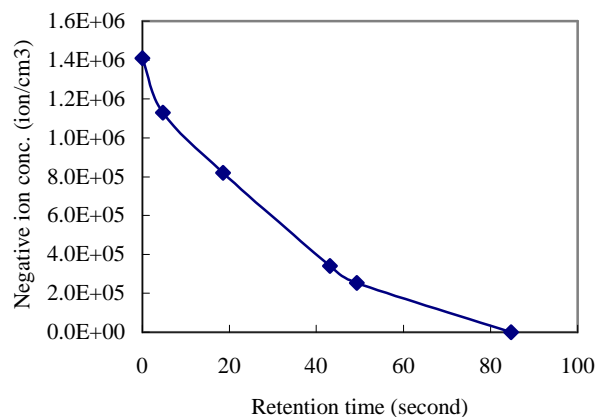


Figure 2 Retention time of negative air ions at 30cm distance

Figure 2 探討在距離針尖放電電極 30cm 之位置， 1.40×10^6 ion/cm³ 之空氣負離子生成後在空氣中的停留時間，結果顯示高反應性的空氣負離子，其最大停留時間約 80 秒，半衰期約 25 秒。由於高反應性之空氣負離子，快速的與其它空氣中的分子碰撞，或與氣相中的粒狀物碰

撞而失去電子，因此快速的消失。

本研究針對誘導電極與負離子產生量之間的關係進行一連串的實驗，結果顯示經由誘導電極在空間中不同位置的擺設，可以改變空間中的負離子濃度。一般在 30kV 放電，距離電極 30cm 位置的平均負離子濃度為 $1.41 \times 10^6 \text{ ion/cm}^3$ 。如 Figure 3(a) 在 40cm 處加入一誘導電極，則使負離子濃度提昇至 $1.48 - 1.52 \times 10^6 \text{ ion/cm}^3$ 。Figure 3 (b) 之樣式則使 30cm 處之負離子濃度下降為 $6.50 - 7.10 \times 10^5 \text{ ion/cm}^3$ 。放電針尖與誘導電極距離 3cm 時，系統電流增加並發生電弧放電 (Figure 3 (c))。放電針尖與誘導電極距離 8cm 時，兩個電極發出紫光之電暈 (Figure 3 (d))。誘導電極位置與負離子濃度之間的相關研究，將用來進行負離子反應器的最佳化設計。

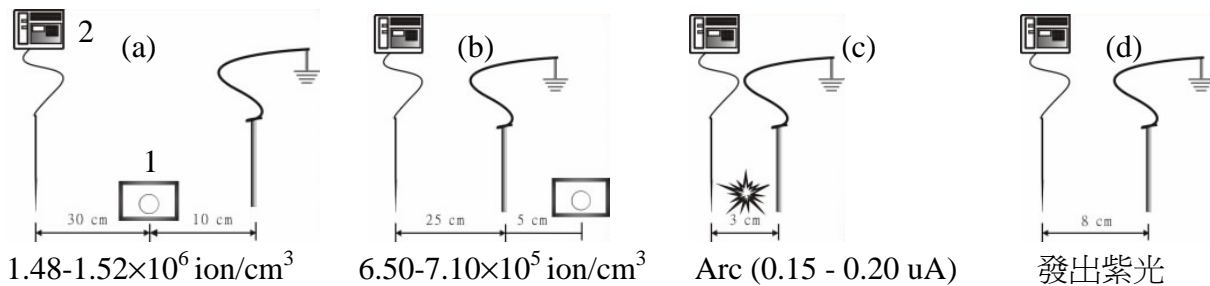


Figure 3 Negative air ion concentration at different position between induce electrode and discharge tip (1 Ion counter, 2 Power supply)

在 9 m (L)×5.7 m (W)×3.3 m (H) 的密閉室內進行空氣負離子分布的實驗發現，空氣負離子在乾淨且低溼度的室內空氣中約有每立方毫米數十個至上百個負離子 ($70 - 120 \text{ ion/cm}^3$ ，溼度：38.1% R.H.)。在高溼度的室內則幾乎測不到空氣負離子 (52.6 - 78.4% R.H.)。研究發現室內的正離子濃度一般高於負離子濃度，在偵測不到負離子的狀況下，正離子濃度仍具有 $600 - 1200 \text{ ion/cm}^3$ 的濃度。在一室內空間經由負極放電在空間中產生空氣負離子之後，可以迅速提昇室內的負離子濃度，在數秒鐘之內，即可提昇距離放電針尖 9m 處的空气負離子濃度達到數百個負離子每立方毫米的濃度水準。此時正離子濃度降至無法偵測的濃度。

實驗結果顯示溼度對空氣負離子濃度在空間中的分布有重要的影響，下圖 Figure 4 與 Figure 5 分別為低溼度 (38.1% R.H.) 與高溼度 (74.6% R.H.) 下空氣負離子在空間中的分布情形。低溼度下空氣負離子濃度隨距離遞減的趨勢與高溼度下的趨勢有明顯差異，低溼度下負離子在 6m 之內呈現對數線性遞減的趨勢，高溼度下則在 2m 之內負離子濃度快速遞減。高溼度下距離 2m 時的負離子濃度即下降到，低溼度下距離 4m 時的負離子濃度水準。此外在距離 5m 之後，高溼度下的空氣負離子濃度高於低溼度的空氣負離子濃度，推斷這個現象與空氣負離子與空氣中水分子的反應有關，空氣負離子與水分子有機會形成較穩定的水合離子團 (cluster ion) (10)。

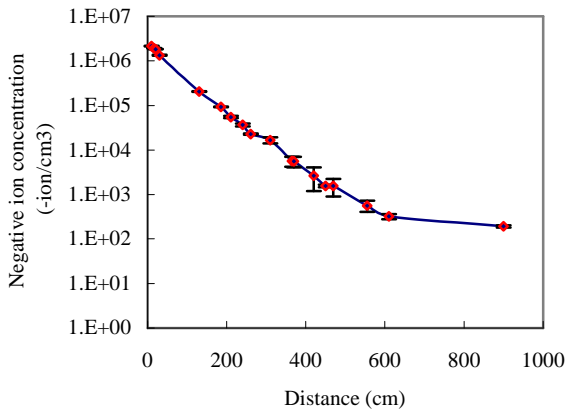


Figure 4 Negative air ion concentrations with different distances at 38.1% R.H.

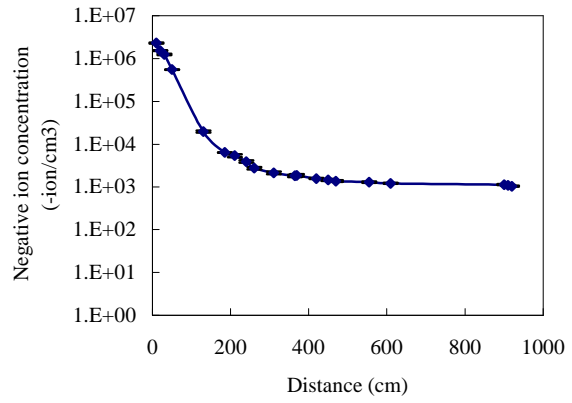


Figure 5 Negative air ion concentrations with different distances at 74.6% R.H.

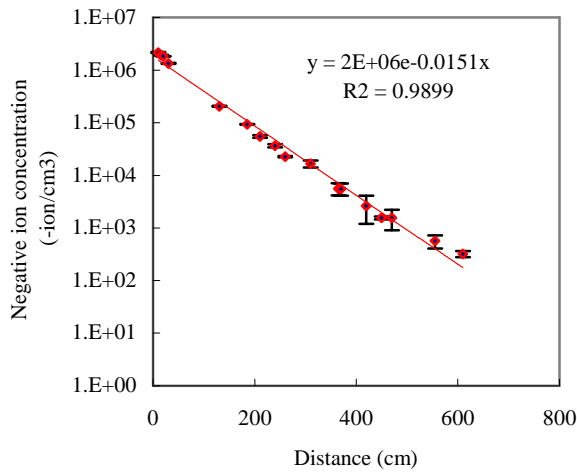


Figure 6 Linear regression of negative air ion concentration and distance at 38.1% R.H.

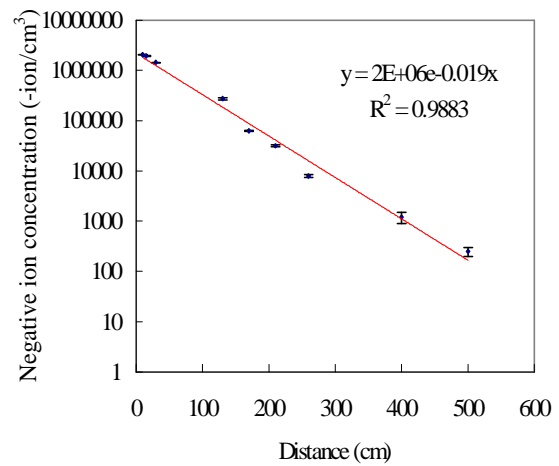
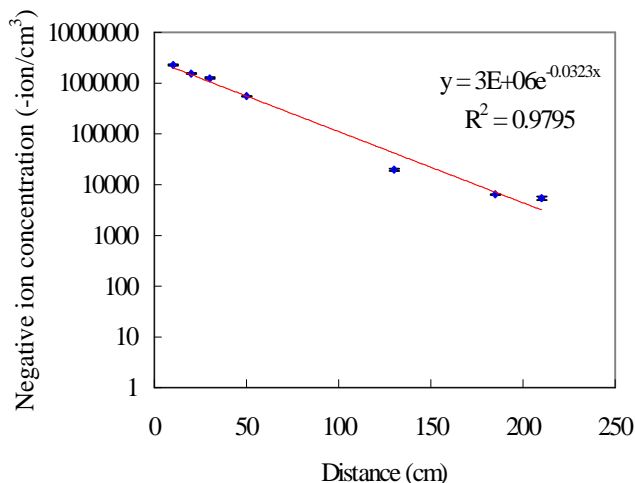


Figure 7 Linear regression of negative air ion concentration and distance at 52.6% R.H.

針對不同溼度下，針尖放電所產生之空氣負離子在室內空間中的分布，其結果顯示，空氣負離子濃度(Y)與放電電極距離(X)之間，在對數座標下呈現良好的線性之關係，如圖 Figure 6, 7, 8 所示。並在一定之距離內可以回歸出 $Y = a \text{Exp}(-bX)$ 之關係。其中 a 與 b 為正值，並隨溼度等條件而有所變化。隨著溼度的增加，空氣負離子濃度與距離所能保持線性關係的距離，也隨之下降。在溼度 38.1% R.H. 下，空氣負離子濃度與距離維持約 600 cm 的線性關係距離，在溼度 52.6% R.H. 下，維持約 500 cm 的線性關係距離，在溼度 74.6% R.H. 下，維持約 200 cm 的線性關係距離。空氣負離子在空間上的濃度分布，與溼度具有重要的相關。另外有關副產物臭氧與氮氧化物的生成，如 Table 3 所示，五次的實驗結果顯示單一負極針尖放電下臭氧生成濃度極低，或在偵測極限之下。氮氧化物的生成則皆在偵測極限之下。



By-product	Concentration (ppb)	
Ozone	1	ND
	2	ND
	3	2
	4	ND
	5	3
NOx	ND	

Figure 8 Linear regression of negative air ion concentration and distance at 74.6%R.H.

Table 3 Concentration of O₃ and NO_x in a closed chamber at operating discharge 3 hours

結論

本研究執行空氣離子化技術之建構與各項操作因子之探討。空氣離子化技術以單一負極針尖放電之方式，來產生空氣負離子，並探討空氣負離子濃度與電壓及針尖特性之關係、空氣負離子之生命週期、空間分布上的特性、溼度的影響、副產物 O₃ 與 NO_x 的生成等。研究結果顯示高反應性的負離子，其最大停留時間約 80 秒，半衰期約 25 秒，隨著溼度的上升在空氣中停留之生命週期下降。以 0.2 mm 的不鏽鋼針尖進行放電，在 2.6 kV 時開始產生少量不穩定的負離子，3.0 kV 距針尖 30 cm 之平均空氣負離子濃度為 1.72×10^4 -ion/cm³，30.0 kV 距針尖 30 cm 之平均負離子濃度升高為 1.22×10^6 -ion/cm³，結果顯示放電電壓在超過起始電壓之後將會產生大量的空氣負離子。在 O₃ 與 NO_x 副產物之偵測方面，結果顯示以單一負極針尖放電之方式產生空氣負離子，所生成之 O₃ 與 NO_x 極低。此外，空氣負離子濃度在空間的分佈上呈現指數遞減的關係，在 30 kV 放電下空氣負離子濃度(Y, ion/cm³)與空間距離(X, cm)呈現， $Y = a \cdot 10^6 \cdot \text{EXP}(-bX)$ 之關係，常數 b 介於 0.01-0.04 之間，常數 a、b 與溼度有重要的相關。

建議

1. 大量的空氣負離子會導致靜電的累積，需將實驗系統有效的的接地。
2. 大量的空氣正離子對人體健康可能會造成影響，應該避免大量及長時間的接觸。
3. 良好的放電針尖設計，可以降低操作電壓，並可節省能源。
4. 空氣離子化反應器的設計，應避免電暈的產生，並善用感應電極所提昇的負離子濃度。

四、參考文獻

1. Stacy, L. D., "Engineered Solutions for Mitigation of IAQ Problems", Proc. Second NSF International Conference on Indoor Air Health, 243-249, (2001).
2. Frost, C., Stacy, D. L., "Applications of Negative Air Ionization for Removal of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Particulate Matter", Second NSF International Conference on Indoor Air Health, 346-352, (2001).
3. Tammet, "Geophysics, Astronomy, and Acoustics, Atmospheric Electricity, B. Air Ions", CRC Handbook of Chemistry & Physics, vol.14, 30-32, (1997).
4. Pontiga, F., Soria, C., Castellaanos, A., "Electrical and Chemical Model of Negative Corona in Oxygen at Atmospheric Pressure", J. Electrostatics, vol. 40&41, 115-120, (1997).
5. Stacy L. D., "Applications of air ionization for control of VOCs and PMx", AWMA conference, (2000).
6. Weber, J. M., Kelly, J. A., Nielsen, S. B., Ayotte, P., Johnson, M. A., "Isolating the Spectroscopic Signature of a Hydration Shell With the Use of Clusters: Superoxide Tetrahydrate", Science, vol.287, 2461-2463, (2000).
7. Ingold, K.U., et al., "Oxidative Stress", Steacie Institute for Molecular Sciences, 4-5, (1999). <http://www.sirns/nrc.ca/report99.pdf>
8. Kondrashova, N., Marie, et al. "The primary physico-chemical mechanism for the beneficial biological/medical effects of negative air ion", IEEE Transactions on plasma science, vol.28, no.1, 230-237, (2000).
9. Stavrovskaya, I. G., et al., "Optimization of energy dependent processes in mitochondria after inhalation of negative air ions", Biofizika, vol.43, 766-771, (1998).
10. Bracken, T. D., "Small Air Ion Properties", Chapter 1, pp 1-12, CRC Press, Boca Raton, FL, (1987).

五、計畫成果自評

本計畫已達成原申請計畫之項目，建構空氣離子化技術與各項操作因子之探討，完成此控制技術重要相關之基礎研究。本計畫之成果能做為空氣離子化技術之參考，以利設計良好之反應器，並進而應用於半導體產業氣相揮發性有機污染物、粒狀物與製程中靜電消除等之控制。此外，空氣離子化技術對於室內環境污染物之控制，易具有發展之潛能。本計畫之發表成果如附錄所示，並已進行撰寫科技論文，投稿國際期刊。

六、附錄

本研究計畫目前為止，發表之相關論文：

1. Chih-Cheng Wu, Whei-May Grace Lee, Shin-Hao Yang, Kuo-Pin Yu , "Generation of negative air ions using electric Silent discharge", The 2003 Conference on Aerosol Science and Technology, p.p.349-354, 2003. (第十屆氣膠科技研討會)。
2. Chih-Cheng Wu, Whei-May Grace Lee, Shin-Hao Yang, Kuo-Pin Yu , "The

Temporal Aerosol Size Distribution in Indoor Environment with Negative Electric Discharge”, The 2003 Conference on Aerosol Science and Technology, p.p.591-595, 2003. (第十屆氣膠科技研討會)。

3. 吳致呈、李慧梅，半導體產業廢氣與無塵室中有機污染物之影響，第八屆海峽兩岸環境保護研討會，p.p. 1307-1312，2002。