

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

微型空氣負離子產生器研發--奈米碳管放電產生空氣負離子之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-002-139-
執行期間：95年08月01日至96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：碩士班研究生-兼任助理：廖弓普、管俊亭

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年08月27日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

奈米碳管放電產生空氣負離子微型裝置之研究

Development of microscale air ionizer -- Generation of negative air ions by carbon-nanotube electric discharging

計畫編號：NSC 95-2221-E-002 -139 -

執行期限：95 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

主持人：李慧梅 國立台灣大學環境工程學研究所

計畫參與人員：廖弓普 國立台灣大學環境工程學研究所
吳致呈 國立台灣大學環境工程學研究所

一、中英文摘要

本研究探討以負極放電產生空氣負離子的各項操作因子與空氣負離子之基礎特性。利用奈米碳管的特性與奈米等級的尖端於低電壓下在空氣中進行放電產生空氣負離子，進而設計微型空氣清淨裝置。實驗主要探討針尖曲率、電極直徑、電極材質、奈米碳管對起始放電電壓之影響；空氣負離子的有效距離、空氣負離子產生裝置之穩定度。使用負極放電方式產生空氣負離子，放電電極的針尖曲率愈大起始放電電壓就愈低；在相同的電極針尖曲率下，當電極直徑愈小時，其起始放電電壓亦愈低。對於不同材質的電極而言，在相同的電極直徑與針尖曲率情況下，銅有最低的起始放電電壓，其次為銀、石墨、鉛、鐵、鎢、鋁。使用奈米碳管作為負極放電產生空氣負離子之放電電極，其起始放電電壓可在 0.2 kV 以下，遠低於一般金屬電極。在溼度 40% 下，空氣負離子濃度在 6.3×10^5 ion/cm³ 左右時，會有 0.5 ppb 的臭氧產生；在溼度 70% 下，空氣負離子濃度在 9×10^5 ion/cm³ 左右時，開始有 0.5 ppb 的臭氧產生。研究顯示空氣負離子濃度會隨距離的增加呈現對數線性遞減之趨勢(logarithmic linear tendency)，在特定的對數線性距離後空氣負離子濃度隨著距離之增加呈現固定濃度。使用奈米碳管作為放電電極產生空氣負離子，在增加電壓時可以較穩定的產生空氣負離子。

關鍵詞：負極放電、空氣負離子、奈米碳管、起始放電電壓、針尖曲率

Abstract

This study investigated the operational factors and the basic properties of the negative air ions (NAIs) which were generated by negative electric discharge. This study also investigated the characteristics of carbon nanotubes which was used to generate negative air ions to develop a microscale air cleaner (MAC). First, this research evaluated the influence of the initial discharging voltage about needle-point curvature, electrode diameter, electrode material, and the characteristics of carbon nanotubes. Second, the effective distance of NAIs, stability of NAIs generator were also investigated. In this study, NAIs were generated by the negative electric discharge method. The results show that the initial discharging voltage gets lower when the electrode needle-point curvature gets bigger. At the same needle-point curvature, the initial discharging voltage is lower when the electrode diameter is shorter. For different electrode materials, when needle-point curvature and diameter are constant, copper had the lowest initial discharging voltage and followed by silver, graphite, lead, iron, tungsten, and aluminum. The initial discharging voltage of carbon nanotubes which was used as the negative electrode to generate NAIs can be under 0.2 kV that was much lower than the initial discharging voltage of any other experimental metal electrodes. At relative humidity 40%, ozone produced was at 0.5 ppb when NAI concentration was about 6.3×10^5 ion/cm³. At relative humidity 70%, ozone was generated at 0.5 ppb when NAI concentration was about 9×10^5 ion/cm³. The NAI concentration

decreased with the distance. The regression analysis of NAI concentration and distances from the discharge electrode suggested a logarithmic linear relationship. Additionally, NAIs generated by carbon nanotubes were more stable than any other metal electrodes when voltage was increased.

Keywords: negative electric discharge, negative air ions (NAIs), carbon nanotubes, initial discharging voltage, needle-point curvature

二、緣由與目的

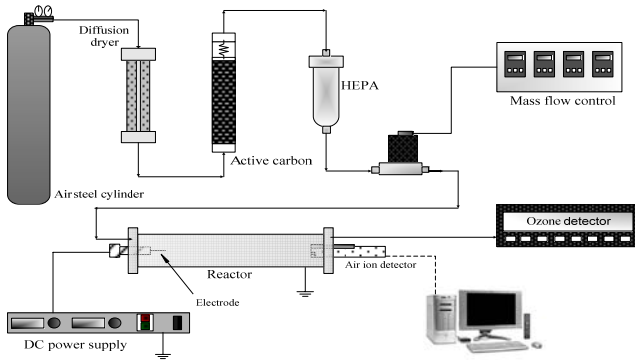
近年來隨著工商業的發展，人口大量集中在都市，人們在室內活動的時間逐漸增加。根據一份針對美國人口活動時間的調查指出一般民眾大約有 87.2% 的時間待在室內環境，約 7.2% 的時間用於通勤，僅僅只有 5.6% 的時間待在室外環境(Lance, 1996)。在相關研究中，人們處在室內環境的時間長達 80% 以上(李，民國 88 年；Robinson and Nelson, 1995)。由於人們在室內活動的時間增加，因此對室內的空氣品質(Indoor Air Quality, 簡稱 IAQ)的重視也愈來愈高。此外，由於室內污染物不容易靠室內的空調系統加以排除，而會隨著時間累積在室內環境之中，對人體健康造成隱形的傷害，例如頭痛，頭昏，容易疲勞，眼睛紅腫等症狀，這些症狀通稱為「病態大樓症候群(Sick Building syndrome)」。為了提升室內空氣品質，坊間更有許多各式各樣不同機制的空氣清淨機，諸如靜電清淨機、活性碳空氣清淨機、光觸媒清淨機與臭氧空氣清淨機等等，其中臭氧空氣清淨機有二次衍生污染物之問題，因此近年來以產生空氣負離子的負離子清淨機為主要訴求。而空氣負離子也不單單只是應用於空氣清淨機，另外還有健康醫療、食品保鮮與靜電消除等等。目前空氣負離子的產生方式包含：負極放電、水滴破碎、光空氣離子化與放射線空氣離子化等，而其中又以負極放電的方式產生空氣負離子是目前最普遍的方法。然而早期空氣負離子相關研究，由於放電裝置的設計不周，使得空氣負離子產生裝置常常伴隨著高濃度的臭氧與氮氧化物的產生，因而導致健康上

的危害與實驗的錯誤。傳統的空氣負離子產生裝置是以金屬針尖與高電壓進行放電，而使空氣離子產生空氣負離子；然而傳統的空氣負離子產生裝置，須具備耗能且較不安全的高電壓放電裝置；此外放電之金屬針尖經過一段時間之使用，會造成氧化與鈍化等問題。奈米碳管是近年來相當熱門的材料，由於具有極佳的場發射特性、導電性、機械強度與奈米級尖端等特性，讓它擁有廣泛的應用潛能。目前奈米碳管之應用包含：高性能平板顯示器、化學與基因探針(顯微探針)、機械式記憶體、微型感測器、燃料電池中的儲氫材料(Dillon et al., 1997; Liu et al., 1999)與掃描式顯微鏡等應用領域。本研究主要對空氣負離子產生裝置進行相關的基礎特性研究，並瞭解以負極放電的方式並在暗放電(dark discharge)下產生空氣負離子的各項操作因子與空氣負離子之基礎特性，以及利用奈米碳管的特性與奈米等級尖端於低電壓下於空氣中進行放電產生空氣負離子，進而作為設計製造律型空氣負離子產生裝置之依據。

三、結果與討論

本研究之主要實驗系統如圖一所示。包含空氣離子產生設備與偵測分析設備兩大部分。空氣離子產生設備包括：高壓電源供應器、放電系統、乾淨空氣供應系統與空氣離子反應器。實驗偵測裝置則包含：空氣離子偵測器、臭氧偵測器、溫溼度偵測器。高壓電源供應器：此電源供應器能提供最高電壓 30.0 kV，最大電流為 10 mA，最小單位為 0.1 kV。放電系統：以奈米碳管、銅、銀、鉛、鎢、鐵、鉛、鋁、石墨、碳纖維分別作為放電電極，並連接上高壓電源供應器提供電極針尖不同電壓產生空氣負離子。乾淨空氣供應系統以乾燥管來去除高壓空氣中的水分，再利用活性碳管吸附高壓空氣中微量的有機物，最後以 HEPA 高效率過濾器過濾高壓空氣中所有可能的粒狀物。並以質量流量控制器 (Mass Flow Controller) 控制流量。空氣離子反應器：以不鏽鋼製成直徑四吋並有 3 種不同長度，分別為 0.2 公尺、0.3 公尺與 0.5 公尺，每種長度皆有兩組，可以藉夾具自由組合改變空氣離子反應器之長度，空氣離子反

應器長度最多可至 2 公尺。各項偵測裝置包含：空氣離子偵測器 (Model ITC-201A, ANDES, Japan)、溫溼度偵測器 (Q-Trak, Model 8551, TSI, USA)、臭氧偵測器 (Model 400A, API, USA) 與氮氧化物偵測器 (Model 200, API, USA)。



圖一、實驗系統示意圖

起始放電電壓：空氣負離子起始產生電壓定義在當開啟高壓電源供應器時，空氣負離子偵測器在距離放電電極 20 cm 處偵測到空氣負離子量到達 1000 ion/cm^3 以上時，高壓電源供應器所提供之電壓即為起始放電電壓。

針尖曲率：針尖曲率的大小可以用針尖曲率半徑來表示。針尖曲率半徑可以定義為，將針尖之尖點當作圓的一弧，而可以畫出此圓弧的最小半徑即為針尖曲率半徑。

(1) 針尖曲率與起始放電電壓之關係

本研究利用銅、銀、鎢、石墨、碳纖維作為放電電極，實驗使用負極放電方式並以暗放電 (dark discharge) 產生空氣負離子，探討針尖曲率對負極放電之起始放電電壓之影響，本實驗只考慮針尖曲率的影響，並沒有考慮電極直徑的影響。實驗結果如表一所示，當針尖曲率直徑愈小時，起始放電電壓亦愈低。對於鎢電極而言，大致上會隨著針尖曲率直徑愈小，起始放電電壓會愈低。針尖曲率直徑 $<0.01 \text{ mm}$ 的起始放電電壓比針尖曲率直徑 0.01 mm 之鎢電極高。造成此類原因推論可能是因為電極尖端在製作時，機器磨損造成尖端不平滑，使得尖端的電壓分散所導致。以碳纖維電極而言，針尖曲率直徑 0.05 mm 的

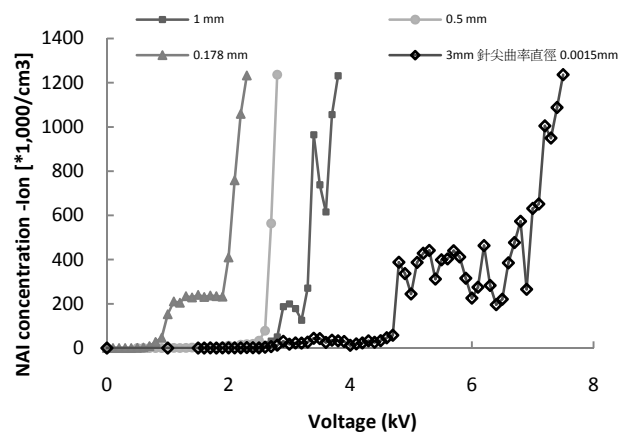
起始放電電壓比針尖曲率直徑 0.01 mm 與 $<0.01 \text{ mm}$ 之鎢電極低。造成此類原因是因為碳纖維在製作時，會有碳纖維剝落和結構崩解的情況，所以造成尖端的不規則，使電壓無法集中。

表一、針尖曲率直徑與起始放電電壓之比較

	0.5 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.01 mm	$<0.01 \text{ mm}$
銅	10.2 kV	7.4 kV	6.9 kV	5.3 kV	2.2 kV
銀	9.1 kV	6.8 kV	5.8 kV	4.7 kV	4.9 kV
鎢	8.8 kV	7.3 kV	5.7 kV	4.0 kV	4.5 kV
石墨	10.9 kV	7.7 kV	7.9 kV	7.5 kV	5.1 kV
碳纖維	8.1 kV	7.4 kV	6.2 kV	6.6 kV	6.6 kV

(2) 電極直徑與起始放電電壓之關係

電極直徑 0.178 mm 之銅電極在 0.5 kV 的電壓下時，空氣負離子的濃度大約在 1000 ion/cm^3 ；電極直徑 3 mm 針尖曲率直徑 0.0015 mm 之銅電極，則是在 2.2 kV 的時候空氣負離子濃度 1000 ion/cm^3 左右。對於負極放電的電極而言，電極直徑愈小，產生空氣負離子的起始放電電壓也愈低；即使是針尖曲率直徑 0.0015 mm 銅電極也因為電極直徑的影響，無法大幅度的降低起始放電電壓。針尖曲率愈小的電極雖然可以降低起始放電的電壓，但是卻不是單單的決定因素；從實驗中可以得知放電電極的直徑亦是關鍵的因素。使用負極放電產生空氣負離子，當放電電極的直徑與針尖曲率直徑皆小時，其產生空氣負離子所需的電壓便可以大幅的降低。



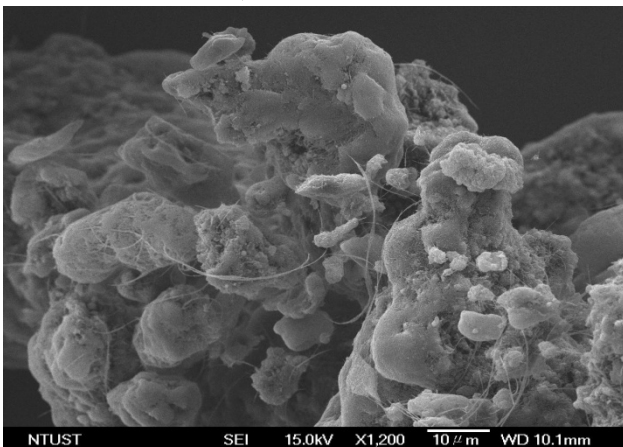
圖二、電極直徑 1 mm、0.5 mm、0.178 mm、3mm 且針尖曲率直徑 0.0015 mm 空氣負離子濃

度與電壓關係圖

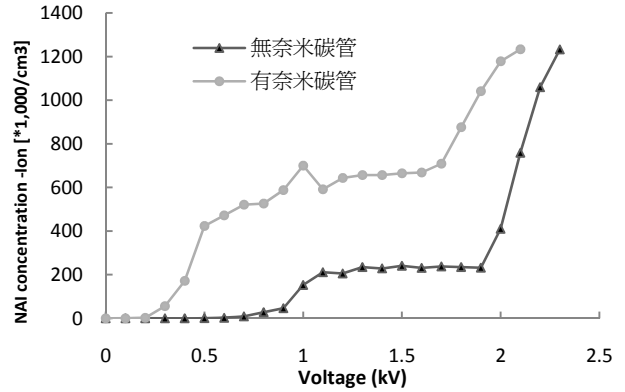
(3) 奈米碳管之起始放電電壓

本實驗是利用奈米碳管作為負極放電之放電電極，由於奈米碳管的尺寸屬於奈米級，肉眼無法觀察到；因此無法像使用一般金屬電極針尖般，直接將其與電源供應器裝置連接。所以，必須有基座先與電源供應器裝置作連接，再將奈米碳管置於基座之上。實驗中所使用的基座有三種，分別為直徑 1 mm、直徑 0.5 mm、直徑 0.178 mm，長度皆是 5 cm 的銅線。由於東元奈米應用材料公司所提供的奈米碳管如圖三所示，奈米碳管混雜在碳粉中，所以只能將銅線的尖端去沾附含有奈米碳管的碳粉，使電源供應器能提供電壓給奈米碳管。而沾附奈米碳管的量則是以精密天秤量測基座在沾附奈米碳管前後的重量差，由於奈米碳管的沾附量極少，所以只能取大約的平均值，每次奈米碳管沾附的量平均大約在 10 μg 左右。

對於不同基座對起始放電電壓的影響，當電極的直徑愈小與電極之針尖曲率直徑愈小時，起始放電電壓也就愈低；同理，對於奈米碳管來說，電極的直徑愈小奈米碳管愈能將起始放電電壓降低。圖四則是比較有沾附奈米碳管與沒有沾附奈米碳管的直徑 0.178 mm 銅線的起始放電電壓與空氣負離子濃度關係圖。有沾附奈米碳管的銅線的起始放電電壓小於 0.2 kV；而沒有沾附奈米碳管的銅線的起始放電電壓則是在 0.5 kV。在相同的電壓下，有沾附奈米碳管的銅線比沒有沾附奈米碳管的銅線有較高的空氣負離子濃度。使用負極放電產生空氣負離子，當放電電極的直徑與針尖曲率直徑愈小時，其產生空氣負離子所需的電壓便可以大幅的降低；而奈米碳管則可以再大幅降低原本的起始放電電壓。



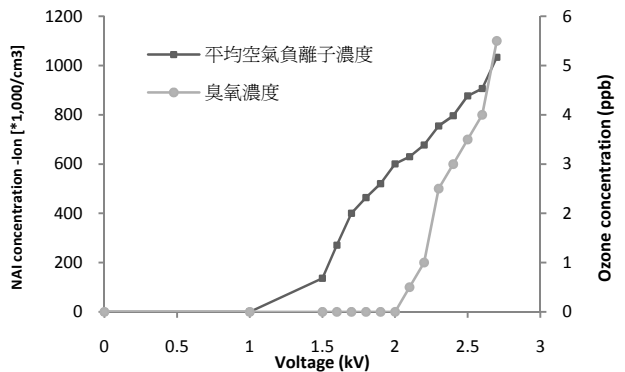
圖三、東元應材奈米碳管 SEM 圖



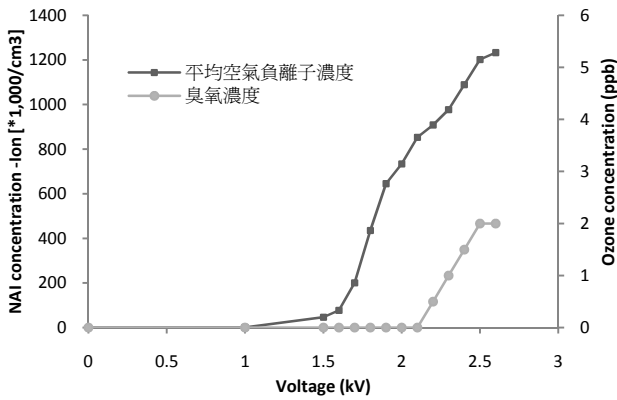
圖四、有奈米碳管與無奈米碳管之銅電極空氣負離子濃度與電壓關係圖

(4) 空氣負離子與臭氧之關係

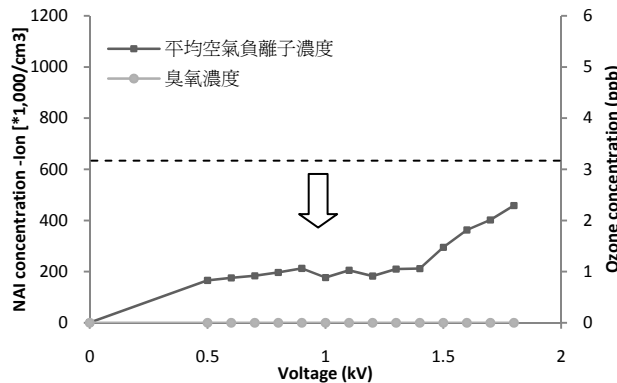
使用負極放電的方式產生空氣負離子，在相同的空氣負離子濃度下，溼度低的環境比溼度高的環境更容易有臭氧的產生，而且臭氧產生量也較高溼度來得多；Chen et al. (2005)在研究中亦指出，溼度增加會使臭氧的產生量相對減少。從實驗中可得知，不論是高溼度還是低溼度，只要空氣負離子濃度到達 9×10^5 ion/cm³ 左右時，一定會有臭氧的產生。然而，當電壓持續增加，空氣負離子濃度也隨電壓的增加而不斷的增加時，臭氧濃度也會因空氣負離子濃度的增加而持續的上升。實驗所使用的空氣負離子產生方式，所伴隨產生的臭氧遠低於室內空氣品質臭氧之建議值，而實驗所需的空氣負離子濃度大約在 2×10^5 ion/cm³ 到 3×10^5 ion/cm³ 之間，在此空氣負離子濃度範圍之下，並不會有臭氧的產生。



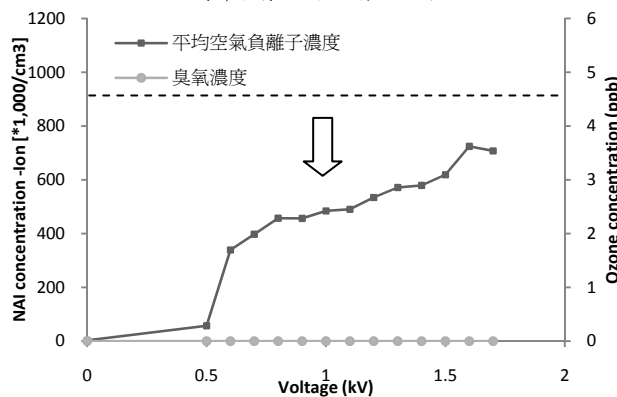
圖五、溼度 40% 銅電極空氣負離子濃度與臭氧增加量關係圖



圖六、溼度 70 % 銅電極空氣負離子濃度與臭氧增加量關係圖



圖七、溼度 40 % 奈米碳管空氣負離子濃度與臭氧增加量關係圖

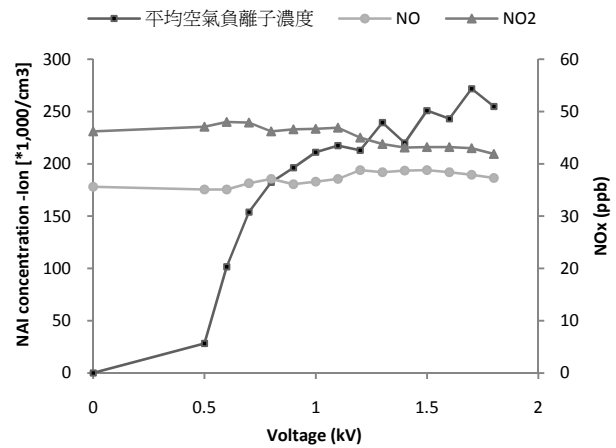


圖八、溼度 60% 奈米碳管空氣負離子濃度與臭氧增加量關係圖

(5) 空氣負離子與氮氧化物之關係

本實驗是以沾有奈米碳管直徑 0.178 mm 的銅線作為產生空氣負離子之放電電極，從圖九中可以發現，當增加電壓時空氣負離子濃度會快速的增加；但是對於一氧化氮與二氧化氮而言，並沒有太大的改變。當空氣負離子濃度到達 2.5×10^5 ion/cm³ 左右時，氮氧化物的濃度亦維持與環境濃度相同。在國內的室內空氣品質標準中，目前尚未有氮氧化物之建議值；參考日本的室內空氣品質標準，二氧

化氮濃度規範為 0.21 ppm。從實驗可以得知，利用奈米碳管放電產生空氣負離子並不會產生過量的氮氧化物。

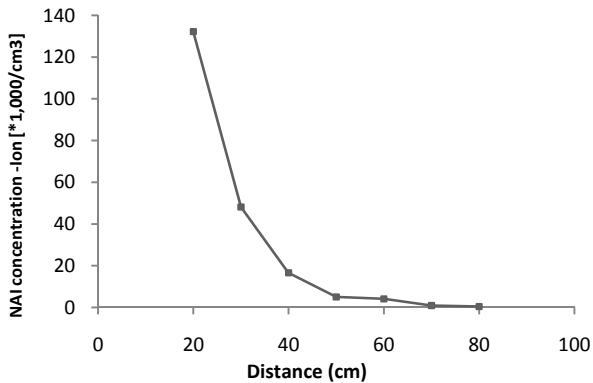


圖九、奈米碳管空氣負離子濃度與氮氧化物增加量關係圖

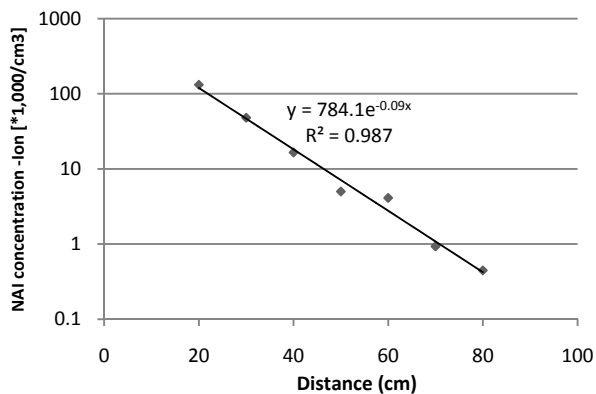
(7) 空氣負離子之有效距離

本實驗是以沾有奈米碳管直徑 0.178 mm 的銅線作為產生空氣負離子之放電電極在 0.5 kV 的電壓下，探討空氣負離子的有效作用距離；研究所使用的距離為相對放電電極的距離。圖十為距離與空氣負離子濃度的關係圖。在距離電極 20 cm 處，空氣負離子濃度大約在 1.32×10^5 ion/cm³ 左右；在距離電極 30 cm 處，空氣負離子濃度大約在 48200 ion/cm³ 左右；在距離電極 40 cm 處，空氣負離子濃度大約在 16600 ion/cm³ 左右；在距離電極 50 cm 處，空氣負離子濃度大約在 5000 ion/cm³ 左右；在距離電極 60 cm 處，空氣負離子濃度大約在 4100 ion/cm³ 左右；在距離電極 70 cm 處，空氣負離子濃度大約在 930 ion/cm³ 左右；在距離電極 80 cm 處，空氣負離子濃度大約在 450 ion/cm³ 左右，此時空氣負離子濃度大約是一般室內空氣負離子濃度值。圖十一則是空氣負離子濃度與距離之對數關係圖。可以明顯的看出來，空氣負離子濃度與距離之迴歸呈現良好的對數線性關係；而空氣負離子濃度與距離之迴歸係數值為 0.987。從圖十與圖十一可以看出，空氣負離子濃度會隨著距離的增加而快速的減少，而且是呈現對數的減少。在 0.5 kV 的電壓下，在距離放電電極 20 cm 處的空氣負離子的濃度大約在 1.32×10^5 ion/cm³ 左右，其有效作用距離可以設為 60 cm；因為在距離 70 cm 處的空氣負離子濃度大約在 930 ion/cm³ 左右，基本上接

近室內環境的空氣負離子濃度。參照吳 (2006) 空氣負離子濃度與距負極放電電極之距離之關係，從負極放電電極到一特定範圍之內，空氣負離子濃度隨著距離之增加呈現對數線性遞減之趨勢 (logarithmic linear tendency) $y=784.1e^{-0.09x}$ ， $R^2=0.987$ 。



圖十、空氣負離子濃度與距離之關係圖



圖十一、空氣負離子濃度與距離之對數關係圖

四、計畫成果自評

本計畫針對負極放電相關特性進行深入的研究，並且證明以奈米碳管作為放電電極，有效地降低起始放電電壓。研究成果能作為開發微型空氣負離子產生裝置之應用基礎。此研究之成果目前已投稿於環境工程年會，並準備投稿於相關的 SCI 期刊。

五、參考文獻

1. Lance, W., "Indoor Particles: A Review," *Journal of the Air and Waste Management Association*, 46, 98-126 (1996).

2. 李芝珊，室內空氣品質與辦公大樓病態建築物症候群相關性質探討，*生命科學簡訊*，第 13 卷 2 期(民國 88 年 2 月)
3. Robinson, J., W. C. Nelson, National Human Activity Pattern Survey Data Base. United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (1995).
4. Dillon, A. C., K. M. Jones, T. A. Bekkedahl, C. H. Kiang, D. S. Bethune and M. J. Heben, "Storage of Hydrogen in Single-Walled Carbon Nanotubes," *Nature*, 386, 377 (1997).
5. Liu, C., Y. Y. Fan, M. Liu, H. T. Cong, H. M. Cheng and, M. S. Dresselhaus, "Hydrogen Storage in Single-Walled Carbon Nanotubes at Room Temperature," *Science*, 286,1127-1129 (1999).
6. Chen, J. and P. Wang, "Effect of Relative Humidity on Electron Distribution and Ozone Production by DC Coronas in Air," *IEEE Transactions on Plasma Science*, 33, 808-812 (2005).
7. 吳致呈，空氣負離子控制室內空氣污染物之研究，博士論文，台大環境工程研究所，2006