中正嶺學報 第三十五卷 第一期 民國 95.11.
JOURNAL OF C.C.I.T., VOL. 35, NO.1, NOV.,2006

導電高分子作爲化學戰劑偵檢器材料之研究

李世鵬* 何子萬* 葉早發* 張章平* 張健男**

*國防大學中正理工學院應用化學系
**陸軍化學兵學校

摘 要

本文是研究共軛導電高分子聚苯胺(Polyaniline, Pan)應用其導電高分子之特性，作爲化學戰劑偵檢器感應材料，提高材料與化學戰劑作用效果並縮短其反應時程，使作業人員儘可能減少暴露於高致死、高危險、高污染之化學戰境況下之時間，期在「安全、快速、有效」原則下完成偵檢任務。本研究參考先進國家偵檢器材發展之趨勢，配合類似催淚、癱瘓戰劑之模擬化合物，進行常溫常壓下偵檢實驗，並使用四點探針電阻量測儀及半導體元件量測儀測試吸附作用後之電阻、電流變化作一系列探討。結果顯示，導電高分子聚苯胺與類似催淚、癱瘓戰劑之模擬化合物作用後，其導電度確有增強之趨勢，且電流變化量亦相當靈敏；其中以模擬癱瘓性戰劑之靈敏性最佳。因此共軛導電高分子聚苯胺可成爲高選擇性、高靈敏性、高安定性及來源獲得容易之化學戰劑偵檢器材料。

關鍵字：化學戰劑偵檢器、聚苯胺

Conducting Polymer as Chemical Warfare Agents Sensors

Shih-Pong Lee*, Chi-Man Ho*, Tsao-Fa Yeh*,

Cheng-Ping Chang*, and Jian-Nan Chang**

**Department of Applied Chemistry, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University*
*** Army Chemical School*

ABSTRACT

A prototypical conjugated polymer, polyaniline, was examined for chemosensor application to detect chemical warfare agents such as incapacitating agents and tearing agents simulants. The equilibrium adsorption of chemical agents was analyzed under polyaniline sensor condition by 4-point probe resistivity sheet resistance tester and semiconductor parameter analyzer, sensitive to changes in surface resistance and conductivity.

The results of the experiments show that responses to the chemical agent simulants can be achieved with higher semiconductivity samples. In summary, conductivity-based chemosensing method merits attention because of its sensitivity, selectivity and simplicity. The fact that polyaniline showed high conductive sensitivity toward incapacitating agent simulants indicated it is potential candidates chemosensor material for detecting chemical warfare agents.

KeyWords: Chemosensor, Polyaniline

文稿收件日期 94.10.31.;文稿修正後接受日期 95.6.7。
Manuscript received October 31, 2005; revised June 7, 2006.

一、前言

現代科技的進步，“反應速度”成爲主宰戰場的重要因素。例如：美國在伊拉克戰爭中，前線從火力申請，到砲彈發射擊中目標物，由10分鐘縮短到3分鐘。然而，當遭受化學戰劑攻擊時，早期預警，更可使戰鬥人員有更多的預警時間採取有效的防護措施。由東京地鐵沙林事件及美國碳疽熱事件後，恐怖活動利用生物、化學戰劑從事恐怖行動已是趨勢。因此，開發快速、靈敏、有效的偵檢器，已成爲十分重要的課題。

有機導電高分子(Conducting polymer)最近數十年，已被成功地開發出來，因其兼具高分子材料及導電材料特性，引起了高分子、化學、物裡及光電領域的學者廣泛的研究。此類高分子材料之共同特色爲主鏈是由單鍵及雙鍵交替的共軛鍵結構所組成。與一般的金屬導體相比較，共軛導電高分子可藉由化學合成的方式來改變其化學結構及特性，或與其他高分子材料摻合，以獲得所需之性質，並提升其應用範圍[1-6]。除此之外，導電性高分子材料，還具備質輕、性質穩定及價格便宜等優點，在軍事用途上，舉凡武器、船艦、砲彈等亦極需良好之材質改良，以適應戰場之所需。各先進國家對化學戰劑偵檢裝備持續進行研發，以達到早期預警效果，使部隊得以有較充分的時間完成防護作爲，以維持部隊戰力。近年來微機電製程與系統發展技術成熟，使未來化學戰劑偵檢器朝向輕、薄、小、快速、靈敏、穩定而臻完美。現有化學戰劑偵檢器及其原理分述如下：(1)以傅立葉轉換遠紅外光(Fourier Transform Infrared; FTIR)爲原理，如美國的M21化學戰劑偵檢器。(2)以離子躍遷光譜(Ion Mobility Spectrometry; IMS)爲原理，如英國的CAM化學戰劑偵檢器。(3)以火焰光度測定(Flame Photometry)爲原理，如以色列的CHAS化學戰劑偵檢器。(4)電化學反應偵檢(Electrochemical Reaction)爲原理，如中共的M02A化學戰劑偵檢器。(5)以表面聲波光譜偵檢原理(Surface Acoustic Wave；SAW)，如美國的MINICAD MkⅡ偵檢器。本研究擬以共軛導電高分子其獨特的導電性質，開發新的偵檢器材感應材料物質，期能提昇國軍化學偵檢及防護戰力。

二、理論

2.1 導電高分子導電原理

導電性高分子的發展，興起於1970年代，1977年MacDiarmid、Heeger及Shirakawa共同發現用碘摻雜的聚乙炔，在室溫下之導電率提高了12個數量級，摻雜後由絕緣體(σ~10^{-9}S/cm)變成導體(σ~10^{-3}S/cm)。藉由摻雜觀念，電子接受者如碘或五硫化二砷以及鈉等電子供應者的添加，導電性高分子可變爲P型或N型的半導體，導電度可增加數個數量級[7]。從此，高分子聚合體被認爲是絕緣體的傳統觀念完全的被打破了，一個全新跨領域的導電高分子學術及應用研究出現了。

一般固態物質的電子導電性質取決於電子能帶結構，可以電子能帶理論(Band Theory)[8]來解釋其電子性質。物質導電性的大小與導電過程中所參與的電子數目、電子能階的排列及電子佔據能階的方式有關，即最外層電子能帶的排列和電子填充的方式。由各單獨原子的原子軌域重疊組成的分子軌域，其能量分佈爲近似於連續性的能帶(Energy Band)，能帶中的電子數、最高電子佔據軌域(Highest Occupied Molecular Orbital; HOMO)和最低電子未佔據軌域(Lowest Unoccupied Molecular Orbital; LUMO)的位置，依原始電子軌域中的電子數和

軌域能量而定。價帶(Valence Band)的最高電子能量與導帶(Conduction Band)的最低電子能量之間的能量間隔爲能量間隙(Energy Band-gap)。材料的電子性質依這些能帶填充的情況及能帶間隙的寬窄而定，當能帶被完全填滿獲全空時，則無電荷傳遞發生。絕緣體與半導體兩者的能帶結構相似，價帶中的所有能階爲電子所完全填滿，且價帶與空導帶間並無重疊。不同的是，半導體的能帶間隙較窄，在一般室溫下電子可從價帶經由熱激發到導帶而產生導電現象；而絕緣體因能帶間隙大，電子一般室溫下仍未能被激發而無法跨越能量間隙。

當一個電子從共軛高分子的共價帶上被移除時，則產生一個空缺(Vacancy)稱之爲電洞或自由基陽離子(Radical Cation)。此空缺爲部分不定域化(Delocalize)，此部份不定域化將擴展至幾個單體單位，並造成高分子結構變形。由於自由基陽離子爲不安定的鏈軌域(Bonding Orbital)，因此其能階比價帶能階高；在物理學上稱此自由基陽離子或電子－電洞對(Electron-hole Pair)爲偏極子。若從已含偏極子的高分子再移去一個電子時，則可能會將先前形成偏極子的能階上再移去其未成對電子，而產生雙陽離子(Bication)也就是雙偏極子(Bipolaron)，這兩個正電荷並非各自獨立，而是形成一對。藉著共軛系統在電場下單雙鍵的重新排列，偏極子與雙偏極子可沿著高分子鍊移動，產生導電爲。一般來說，當共軛高分子摻雜的程度增加，較多的雙偏極子形成，則其能階發生重疊，因此在能帶間隙中產生較窄的雙偏極子能帶，提昇其導電性質。

2.2 四點探針原理

一般的電阻測試以三用電錶量測，使用兩隻探針做爲量測，其所量測的電阻(R)包含了探針的電阻(Rp)、探針與待測物接觸電阻(Rc)、探針到待測物的擴散電阻(Rsp)以及待測物電阻(Rs)，如圖 1：

$$R=2(Rp+Rc+Rsp)+Rs \tag{1}$$

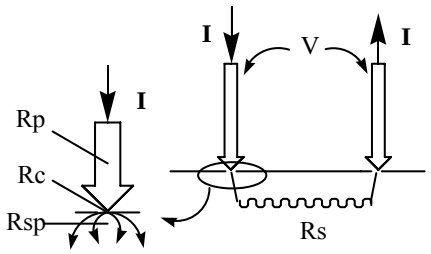


圖 1. 二點探針量測電阻率示意圖。

上式 Rsp＞＞Rs，應用於電阻測試無法測得待測物真正的電阻。使用四點探針法量測電阻可解決此一問題，四點探針量測電阻率示意圖如圖 2。

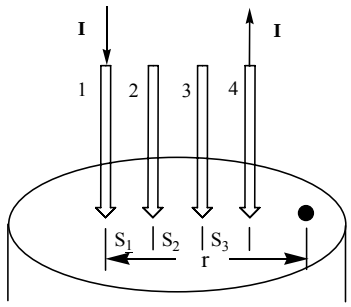


圖 2. 四點探針量測電阻率示意圖。

當電流(I)由 1 號探針輸入，由 4 號探針輸出，如圖 2 所示。材料中輸入電流(I)，在距離 r 處的電壓爲 V，而電阻率以 ρ 表示，彼此的關係式：

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \tag{2}$$

1 號探針與 4 號探針在 r 處的電壓差爲 V_0：

$$V_0 = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_4}\right) \tag{3}$$

當如圖 2，電流由 1 號探針輸入，四號探針輸出，探針間的距離爲 S_1、S_2 和 S_3，則 2 號探針的電壓 V_2 爲：

$$V_2 = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2 + s_3}\right) \tag{4}$$

3 號探針的電壓 V_3 爲：

$$V_3 = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{s_1 + s_2} - \frac{1}{s_3}\right) \tag{5}$$

總電壓 V 爲：$V = V_2 - V_3$

$$V = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2 + s_3} - \frac{1}{s_1 + s_2} + \frac{1}{s_3}\right) \tag{6}$$

所以電阻率 ρ：

$$\rho = \frac{2\pi V / I}{\left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2 + s_3} - \frac{1}{s_1 + s_2} + \frac{1}{s_3}\right)} \tag{7}$$

當 $S = S_1 = S_2 = S_3$，則方程式(7)爲：

$$\rho = 2\pi s\left(\frac{V}{I}\right) \tag{8}$$

三、實驗方法

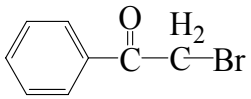
3.1 聚苯胺之合成

聚苯胺的合成：將苯胺、去離子水、$(NH_4)_2S_2O_8$ 及 0.1M HCl，於室溫下反應二十四小時後進行抽氣過濾，並以大量去離子水清洗；過濾完成後將沉澱物置於 0.1M 稀氨水中攪拌十二小時後再進行抽氣過濾，並以大量去離子水清洗；再次過濾並將沉澱物置於真空烘箱中以 120℃烘烤二十四小時後，取出之產物即爲聚苯胺。取 0.09 克聚苯胺，以 10kg/cm^2 壓製成厚度 0.50mm，直徑 1cm 之試片。

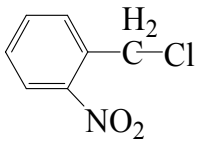
3.2 四點探針電阻率測試

本研究採用之模擬戰劑爲：

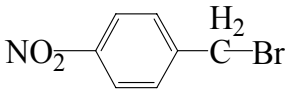
(1)2-Bromoacetophenone (2BP)



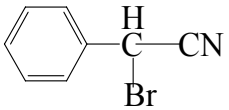
(2)2-Nitrobenzyl chloride (2NC)



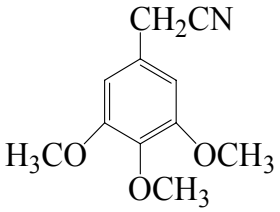
(3)4-Nitrobenzyl bromide (4NB)



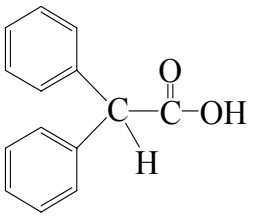
(4)2-Bromophenyl acetonitrile (2BA)



(5)3,4,5-Trimethoxybenzylamine (TB)



(6)Diphenylacetic acid (DA)



先量測聚苯胺試片空白電阻；爾後在室溫下將試片置入預先放入各類模擬戰劑之能緊密接合的樣品瓶中；經過一小時後，以四點探針量測其電阻值變化。

3.3 半導體元件特性量測儀測試

先在室溫下將試片置入預先放置各類模擬戰劑之緊密接合樣品瓶中，以半導體元件特性量測儀施以固定電壓(6V)連續量測聚苯胺試片，經過一小時後，分別測得其相對的電流變化。

四、結果與討論

4.1 四點探針導電率測試

$$\rho = 1/\sigma \qquad (9)$$

σ：導電率(S cm^{-1})

依據公式(8)及(9)知：當固定電壓及固定電流時，電阻率(ρ)與導電率(σ)成反比。

$$\rho \propto 1/\sigma$$

當以四點探針電來量測聚苯胺吸附模擬催淚戰劑及癱瘓戰劑之飽和蒸氣後，其所得之電阻率變化數值如表 1。由表內數值變化得知，當聚苯胺在吸附各類模擬催淚及癱瘓戰劑飽和蒸氣後，因其高分子結構受各模擬戰劑成份摻雜作用之影響，其電阻率皆有下降趨勢；就電子能帶結構之特性，假設有 N 個鋰原子所形成鍵結，也將形成 N 個分子軌域。圖 3 表示鋰原子鍵結後，會形成兩個能階，能量較低為鍵結區(Bonding Level)，能量較高為反鍵結區(Anti-Bonding Level)，兩者間的能量間隙稱為能隙。隨著鍵結的增加，能階數也隨之增加。然而，當原子數增加其能階數也增加，但是能隙卻隨之變小，因此我們看到許多的能階數伴隨著相當小的能量差，這是由鋰原子簡單鍵結所假設的模型。一個金屬結晶可能包含了 10^{20} 個原子而其能階範圍只有 10^{-19}J，因此分裂能階平均只剩 10^{-39}J，其最低能階差相較於鋰原子能階差竟有 10^{-18}J 級數差，在晶體中所表現出的能階差是極小，而這極小又多的能階我們可視其為一連續能量範圍，也就是所謂的能帶。金屬的能隙較小有利於電子傳遞，所以為導體。如公式(9)所示電阻率與導電率呈反比，因此得知聚苯胺之導電率皆有增加的現象。共導電高分子聚苯胺經與模擬化學戰劑作用後，改變電子能階，造成能隙變窄，導電率因此提高了，本實驗數值與理論相符。

表 1. 四點探針測試電阻率變化表

Sample	PAn-2BP	PAn-2NC	PAn-4NB	PAn-2BA	PAn-TB	PAn-DA
Ω_1(cm)	7.4	5.9	7.4	6.4	5.5	5.3
Ω_2(cm)	5.4	4.4	5.4	5.4	4.5	4.3
△Ω(cm)	-2	-1.5	-2	-1	-1	-1

Ω_1(cm)：空白電阻率
Ω_2(cm)：吸附模擬化學戰劑後之電阻率
$\triangle\Omega = \Omega_2 - \Omega_1$(cm)

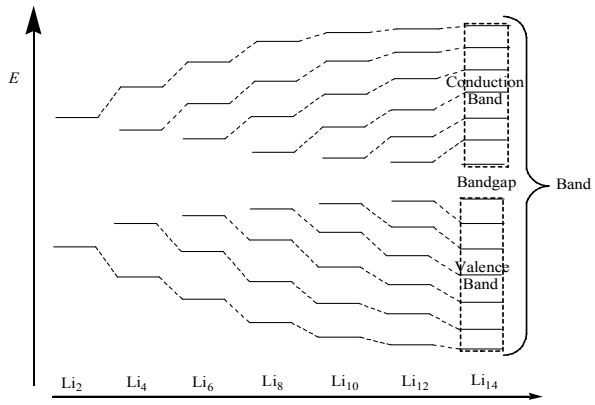


圖 3. N 個鋰原子增加之能階變化圖。

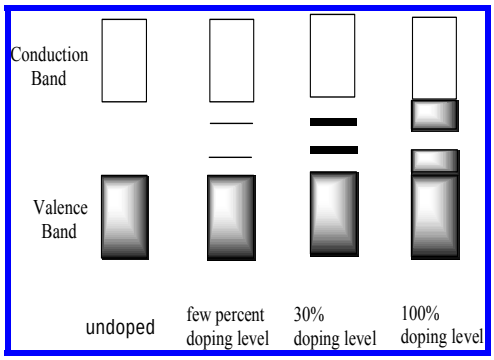


圖 4. 不同摻雜程度的能隙比較圖。

4.2 半導體元件特性量測儀測試

當以四點探針電來量測聚苯胺吸附模擬催淚戰劑及癱瘓戰劑之飽和蒸氣後，確定其電阻率皆有下降趨勢；但是在實驗過程中將試片由測試瓶中取出，此時改變了外在條件，試片所吸附模擬催淚戰劑及癱瘓戰劑之飽和蒸氣接觸空氣或許有部分脫附。爲求實驗更周延，而改以半導體元件特性量測儀連續量測聚苯胺吸附各類模擬催淚與癱瘓戰劑飽和蒸氣，所測得之電流值變化(如表 2 及表 3)作討論。

公式：

$V = I \times R$ (V：電壓 I：電流 R：電阻) (10)

依據公式(8) 、(9)及(10)知，當固定電壓時，電流(I)與電阻(R)成反比；所以電流(I)與導電率(σ)成正比。

$I \propto 1/R$ & $\rho \propto R$

且 $\rho \propto 1/\sigma$ $\therefore I \propto \sigma$

導電高分子經過摻雜後會產生極子(Polaron)，極子爲一個帶有自由基的陽離子，當摻雜百分率越高時，就會使傳導帶和價電子帶間的能隙變小，因此電子較容易由價電子帶躍升至傳導帶，所以導電度逐漸提高，當摻雜程度達飽和狀態時，因電子佈滿了價電子至傳導帶之間，導電率因此提升(如圖 4)。

表 2. 聚苯胺與各類模擬催淚及癱瘓戰劑作用電流變化數值一覽表

模擬戰劑 / 時間（秒）	PA-2BA	PA-TB	PA-DA
0	0.003421820	0.348960758	0.141689290
10	0.003474020	0.374979517	0.143703742
25	0.003549743	0.418344116	0.146497597
50	0.003655948	0.450948413	0.150200131
100	0.003828369	0.498319410	0.155698261
200	0.004076484	0.565453327	0.162108504
300	0.004286140	0.615480132	0.168069928
400	0.004452325	0.654157501	0.172569635
500	0.004579743	0.687294987	0.177133834
600	0.004691088	0.714182257	0.180984396
700	0.004801954	0.737164942	0.184246500
800	0.004911520	0.757984496	0.186928879
900	0.005010067	0.780061309	0.188796960
1000	0.005092371	0.795950198	0.190925013
1500	0.005460206	0.847942185	0.200573344
2000	0.005739951	0.884059470	0.206243254
2500	0.005989080	0.908932403	0.210854025
3000	0.006200521	0.923601974	0.214632467
3600	0.006422007	0.943440315	0.218248654

表 3. 聚苯胺與各類模擬催淚及癱瘓戰劑作用電流變化數值一覽表

模擬戰劑 / 時間（秒）	PA-2BP	PA-2NC	PA-4NB
0	0.003741142	0.004270333	0.006976586
10	0.003744130	0.004323847	0.010106900
25	0.003749118	0.004423537	0.015324133
50	0.003757414	0.004609693	0.019257777
100	0.003793732	0.005038108	0.024295551
200	0.003879950	0.005803404	0.030874481
300	0.003951062	0.006346017	0.035815899
400	0.004015979	0.006839780	0.040000773
500	0.004073683	0.007257618	0.042826494
600	0.004122080	0.007676061	0.046341980
700	0.004177343	0.007974874	0.048921078
800	0.004219383	0.008273068	0.050843125
900	0.004261135	0.008564150	0.053485233
1000	0.004287524	0.008846637	0.055842566
1500	0.004461458	0.010076613	0.065343969
2000	0.004597726	0.011148228	0.073975267
2500	0.004711111	0.012020883	0.081459073
3000	0.004807943	0.012884262	0.090307944
3600	0.004904493	0.013866371	0.100158950

依據表 2 及表 3 電流變化數值，以各類模擬催淚及癱瘓戰劑中電流變化量較佳者作比較(如圖 5-7)。由圖分析及比較得知聚苯胺在吸附不同模擬催淚與癱瘓戰劑飽和蒸氣後，均有隨著時間增加電流也跟著變大之現象；其代表了導電度變大，但也因模擬戰劑的不同有不同的導電度變化。圖 5 為聚苯胺吸附四類模擬催戰劑飽和蒸氣 2-Bromoacetophenone(2BP)、2-Nitrobenzyl chloride(2NC)、4-Nitrobenzyl bromide(4NB) 及 2-Bromophenyl Acetonitrile (2BA)等後其電流變化之比較圖。由圖得知，聚苯胺在吸附 2BP、2NC、2BA 後，其電流之變化甚微，但在吸附 4NB 後，在 10 秒時即有明顯之變化，100 秒時亦由 7×10^{-3}A 上昇至 2.4×10^{-2}A，因此可明顯得知聚苯胺對上述四類模擬催淚戰劑作用後產生之電流變化以 4-Nitrobenzyl bromide(4NB)較佳。

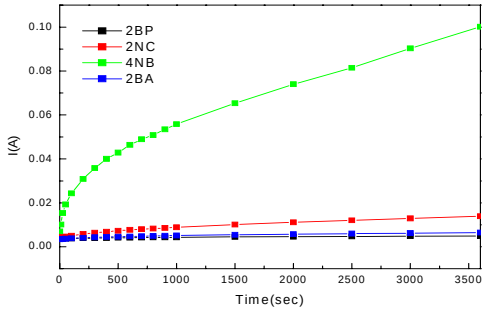


圖 5. 聚苯胺吸附模擬催淚戰劑電流變化比較圖。

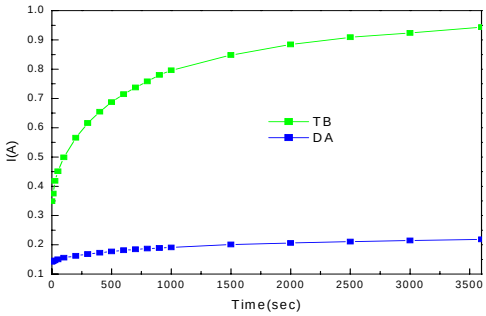


圖 6. 聚苯胺吸附模擬癱瘓戰劑電流變化比較圖。

圖 6 為聚苯胺吸附兩種模擬癱瘓戰劑飽和蒸氣 3,4,5-Trimethoxybenzylamine(TB) 及 Diphenylacetic Acid(DA)等後其電流變化之比較圖。由圖得知，聚苯胺在吸附 DA 後，其電流之變化甚微，但在吸附 TB 後，在 10 秒時即上昇 0.026 A，100 秒時亦由 3.48×10^{-1}A 上昇至 4.98×10^{-1}A，變化值達 0.15 A，因此可明顯得知聚苯胺對上述兩類模擬癱瘓戰劑作用後產生之電流變化以 3,4,5-Trimethoxybenzylamine(TB)較佳。

再以各類模擬催淚及癱瘓戰劑中電流變化量較佳者作比較（如圖 5 及圖 6）。由圖分析及比較得知聚苯胺在吸附不同模擬催淚與癱瘓戰劑飽和蒸氣後，均有隨著時間增加電流也跟著變大之現象；其代表了導電度變大，但也因模擬戰劑的不同有不同的導電度變化，其原因可能是與各模擬戰劑分子量及蒸汽壓有關。

依圖 7 得知聚苯胺在吸附模擬催淚及癱瘓戰劑飽和蒸氣後即產生不同程度的電流變化，在模擬催淚性戰劑中以吸附 4-NB 後電流變化量較大；而模擬癱瘓性戰劑中則以吸附 TB 後變化量較大。其中又以在吸附 TB 後之電流變化量最大，在 10 秒時爲 0.37A，600 秒時更達 0.714A。由此得知在常溫常壓下，聚苯胺對模擬癱瘓戰劑 TB 之偵檢在最短時間內可達到最佳效果，因此聚苯胺對模擬催淚及癱瘓戰劑而言，以對模擬癱瘓戰劑具有較高之靈敏度。

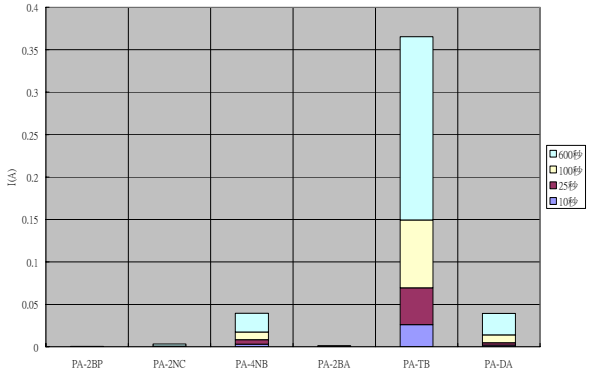


圖 7. 聚苯胺吸附各類模擬戰劑電流變化圖。

五、結論

聚苯胺的單體爲苯胺，其價格便宜、來源獲得容易，且聚苯胺安定性佳。當導電高分子聚苯胺與模擬化學戰劑作用後以四點探針量測，發現確實有導電度增加之趨勢。又以半導體元件特性量測儀連續量測後，在低電壓的驅動下，即可量測出聚苯胺與模擬化學戰劑蒸氣作用後的電流變化，而其電流變化的靈敏度足以做爲製作偵檢器之材料。由以上實驗發現聚苯胺吸附不同模擬癱瘓性戰劑及模擬催淚性戰劑蒸氣後所得之電流變化，在短時間內皆可產生較大差距電流變化現象，其中又以偵檢模擬癱瘓性戰劑有較高之靈敏性。依本研究初步結果得知利用『導電高分子聚苯胺』將可成爲特有模擬癱瘓性及部分催淚性戰劑之適當偵檢器材料。

參考文獻

[1] Anderso, M. R., Matter, B. R., Reiss, H., and Kaner, R. B., “Conjugated Polymer Films for Gas Separation, ” Science, Vol. 252, No. 5011, pp. 1412-1415, 1991.

[2] Cao, Y. and Smith, P., “ Liquid-Crystalline Solutions of Electrically Conducting Polyaniline, ” Polymer, Vol. 34, No. 15, pp. 3319-3143, 1993.

[3] Han, M. G. and Im, S. S., “Processable Conductive Blends of Polyaniline/Polyimide, ” J Appl. Polym. Sci., Vol. 67, No. 11, pp. 1863-1870, 1998.

[4] Faez, R., Gazotti, W. A., and Paoli Marco-A. De, “ An Elastomeric Conductor Based on Polyaniline Prepared by Mechanical Mixing, ” Polymer, Vol. 40, No. 20, pp. 5497-5503, 1999.

[5] Goh, S. H., Chan, H. S. O., and Ong, C. H., “Miscible Blends of Conductive Polyaniline with Tertiary Amide Polymers, ” J. Appl. Polym. Sci, Vol. 68, No. 11, pp. 1839-1844, 1998.

[6] Wei, Y., Yang, C., Wei, G., and Ferg, G., “A

new Synthesis of Aniline Oligomers with Three to Eight Amine Units," Synth. Met. Vol. 84, No.1-3, pp. 289-291, 1997.

[7] Kumar, D. and Sharma, R.C., Eur. Polym., Vol. 34, No. 8, pp. 1053-1060, 1998.

[8] Askeland, D. R., The science and engineering of materials, Thomson publishing, New York, Chap4.1-4.3, pp. 67-74, 2000.

[9] Nicolas-Debarnot, D. and Pancin-Epaillard, F.,"Review: Polyaniline as a new sensitive layer for gas sensors," Analytica Chimica Acta, Vol. 475, No. 1-2, pp. 1-15, 2003.

[10] Nicho, M. E., Trejo, M., Garcia-Valenzuela, A., Saniger, J. M., Palacios, J., and Hu, H., "Polyaniline composite coatings interrogated by a nulling optical-transmittance bridge for sensing low concentrations of ammonia gas," Sensors and Actuators B, Vol. 76, No. 1, pp. 18-24, 2001.

[11] Jin, Z., Su, Y., and Duan, Y., "Development of a polyaniline-based optical ammonia sensor," Sensors and Actuators B, Vo1. 72, No. 1, pp. 75-79, 2001.

[12] Agbor, N. E., Petty, M. C., and Monkman, A. P., "Polyaniline thin films for gas sensing," Sensors and Actuators B, Vo1. 28, No. 3, pp. 173-179, 1995.

[13] Sharma, S., Nirkhe, C., Pethkar, S., and Athawale, A. A., "Chloroform vapour sensor based on copper/polyaniline nanocomposite," Sensors and Actuators B, Vo1. 85, No. 1-2, pp. 131-136, 2002.