

# 高密度及高頻率電子連接之新材料設計

## New Materials Design for High Density and High Frequency Electronic Interconnections

計劃編號：NSC-88-2216-E034-002

執行日期：87年8月1日至88年7月31日

主持人：李豐明 文化大學材料科學與製造研究所

林芝欣、陳明華

### 摘要：

傳統上被沿用半個世紀以上的彈簧夾針(spring-pin)或彈簧夾墊(spring-pad)的連接器設計，近年來已經面臨尺寸空間以及電子傳訊的極限。電接觸的間距(pitch)要狹於0.5mm，電傳輸方向的電長度(electric length, EL)要短於2mm 或連接器背高(shoulder height, SH)要低於2mm 都必須仰賴新設計和新材料的開發。不斷走向高頻率或高速度的電子傳訊與構裝的趨勢也引發了電子連接器上電阻抗不相容，電交吵(cross talk noise)超限以及電訊號對電著地比值(signal/ground ratio, S/G)的降低等等前所未有的新挑戰。

本報告係一年來再國科會計劃NSC-88-Z216-E034-002 的補助下在中國文化大學工學院材料科學與製造研究所成立的「電子連接研究群」(Electronic Contact Study Group)所開發的研究成果之一。本報告針對高密度和高頻率的電子連接需求，配合本工學院紡織系特有的纖維紡織技術所開發出來的具高度設計靈活性，經緯交織的整齊列陣模樣，以及塑膠與金

屬導線的高度彈性，加上簡單製造技術與低成本等優點，終於完成製造一種高導電率、高彈性強度、多微接觸點(Multi-Micro-Contacts, MMC)【1】等多功能導電布。

目前本報告的導電布規格約略包括：(1)電接觸間距0.5mm，(2)接觸點密度約15~20/mm<sup>2</sup>，(3)電長度(EL)~0.4mm，(4)背高(SH)~2mm，(5)接觸電阻(Rc)~0.2mΩ，(6)電阻抗(Z<sub>0</sub>)~50Ω，(7)接觸正向力~40gf及(8)S/G比值=1等特點或優點。這些都超越目前任何連接器規格，正是「明日之星」的標準。

### 一、背景：

隨著電腦速度的不斷增加，訊號升時或脈衝時間(rise time)就不斷縮短，連接器的電性問題不再是單純的電阻問題而已。連接器的同義名詞，「端子」(terminal)，正表示它是末端的連接，一個末端和另一個末端的接觸或連接形成一個介面。介面不僅是機械性、也是材料性、同時是電性的介面。在介面的電性相容，包括電阻

(R)、電容(C)、電感(L)的相容與否在高速或高頻下成為重要的問題。當頻率增加時，電阻 R 以外，電阻抗或電隔(impedance, Z)的相容問題也隨之產生。

電隔 Z 和 L 和 C 的關係是：

$$Z = (L/C)^{1/2} \quad (1)$$

當 L 和 C 分別為本質上的電感( $L_0$ )電容( $C_0$ )時， $Z = Z_0$ 而稱為特殊電隔(Characteristic Impedance)：

$$Z_0 = (L_0/C_0)^{1/2} \quad (2)$$

從電路上電子傳輸速度(propagation velocity,  $v_p$ )的角度來看，

$$Z_0 = 1/(C v_p)^{1/2} \quad (3)$$

在單位電路長度內傳輸的時間為

【1】：

$$t_0 = (L_0 C_0)^{1/2} = C_0 Z_0 \quad (4)$$

上述脈衝時間  $t_r$  和傳輸速度  $v_p$  之關係或兩者的乘積稱為電長度(electrical length)：

$$L_r = v_p t_r \quad (5)$$

電長度  $L_r$  在連接器上可以看為連接器端子的大小或公、母兩端長度和( $l_c$ )的 3.3 倍，連接器材料本身的有效介電常數為  $\epsilon_{eff}$  時，

$$v_p = c/(\epsilon_{eff})^{1/2} \quad (6)$$

其中  $c$  = 光的速度(=  $3.3 \times 10^8$  m/sec)

上述連接器長度  $l_c$  若長於電長度  $L_r$  的三分之一時，

$$l_c > 0.3L_r \quad (7)$$

此時，連接器的電性就不能「視若無睹」，尤其連接器之交吵或串音(cross talk)干擾以及介面反射(reflection)都可能影響訊號傳輸。

以上關於連接器電性的背景介紹

提醒我們以下幾點：

- (1) 電腦中央處理單位 CPU 的鐘速或頻率  $f_{CPU}$  不高時從  $f_{CPU} = 0.35/t_r$  關係可知  $t_r$  時間相當長。
- (2) 從 eq.(5)可知  $t_r$  長時， $L_r$  也隨之增長。
- (3) 從 eq.(7)可知連接器長度  $l_c$  不大可能達到擾亂電路傳訊的程度。
- (4) 相反的，如果頻率  $f_{CPU}$  很大，例如今日的 PC 所達到的 350 MHz 時， $t_r$  就減短至 1 ns 或  $10^{-9}$ s。
- (5) 傳輸速度  $v_p$  為光速的五分之一時，或  $v_p \sim 0.6 \times 10^8$  m/s 時， $L_r \sim v_p t_r = 0.6 \times 10^8 \times 10^{-9} = 0.06$  m = 6 cm。從 eq.(4)連接器的相當長度  $l_c = 0.3L_r = 1.8$  cm。

可見，傳統的彈簧夾針或彈簧夾墊連接器其公母端長度都長過 2 cm，在 350MHz 或更高頻率下都會干擾電性。

高密度和高頻率兩個參數畢竟是互動關係。密度愈高，傳輸速度也愈快；速度愈快，電長度  $L_r$  愈短，(因為  $t_r$  愈短)，吵音和反射愈嚴重。

電性干擾包括特殊電隔  $Z_0$  在介面的不相容，如 eq.(2)所示， $Z_0$  是自電感  $L_0$  和自電容  $C_0$  的函數。尤其是自電容對傳統連接器的設計都偏高，而趨向於減少  $Z_0$  值。一般電路板或電路的  $Z_0$  值大部分在 50 至 100 附近【2】。圖一表示頻率、密度和干擾之間的複雜相應關係【3】。圖 1 也表示頻率的增加引發電壓變化率， $dV/dt$  的增加，同時引發吵擾和電隔  $Z_0$  的不相容等等問題。

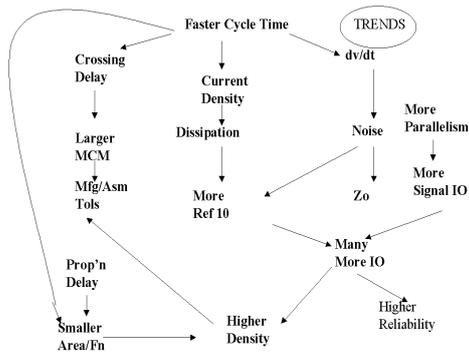


圖 1 流程圖

根據以上電性問題，本研究乃針對開發可以適用於高密度和高頻率的短電距離的新連接器。

## 二、異向性導電布新材料：

談到異向性導電 (anisotropic conduction) 一般都聯想到導電塑膠 (conductive polymer)。本報告所研發的是金屬線和塑膠纖維所織成的導電布。

### A. 材料：

- (1) 銅銀合金細線：0.07mm 直徑，2 % Ag-Cu 及 4 % Ag-Cu 的銅合金線。本材料由日本古川電器 (Furukawa Denki) 的金屬研究中心所供應，其機械和電子性質列於表一。選擇本銅合金線之主要因為其高導電率 (或低電阻率， $\rho = 4.829 \sim 5.189 \mu\Omega/m$  相當純銅電導率之 80~85 % )，其次為良好抗腐蝕及相當合理的機械性質。

表一 銅合金線之一般性質

成份 性質	2%Ag-Cu	4%Ag-Cu
切斷荷重 (gf)	126	142
伸長量 (%)	30	36
絕緣被膜厚 (mm)	0.005	0.007
電阻率 ( $\Omega/m$ )	4.829	5.189
絕緣破壞電壓 (kv)	2.5	2.5

- (2) 聚對苯二甲酸乙炔酯 (polyethylene terephthalate 或 Polyester, PET) 塑膠纖維：直徑在 0.1mm 及 0.27mm 兩種，看表二。

表二 實驗用 PET 的性質

PET 性質	0.1mm $\phi$ 的 PET 纖維	0.27mm $\phi$ 的 PET 纖維
張力 (kg)	0.49	0.57
強度 (g/den)	5.0	6.0
顏色	透明	黑色
伸長量 (%)	30	35

1 den = 1g / 900m

- (3) B-stage 環氧樹脂 (Epoxy)

### B. 機械及儀器：

- (1) 織布打樣機 (中國紡織研究中心自製供應)
- (2) 光顯微鏡
- (3) 掃描式電子顯微鏡
- (4) 四點接觸電性測儀

### C. 製程與實驗：

利用最簡的經緯紡織技術將上述銅合金線和 PET 纖維交織為導電布。經緯交織的方法有好幾種，纖維粗細也可以變化。經過各種嚐試後終決定採用以下兩種經緯織法：

- a. 交錯法 (staggered method)：將銅合金線和 0.1mm PET 線當作一組為經線，0.27mm PET 線為緯線所織成的示意圖如 2a 圖所示。

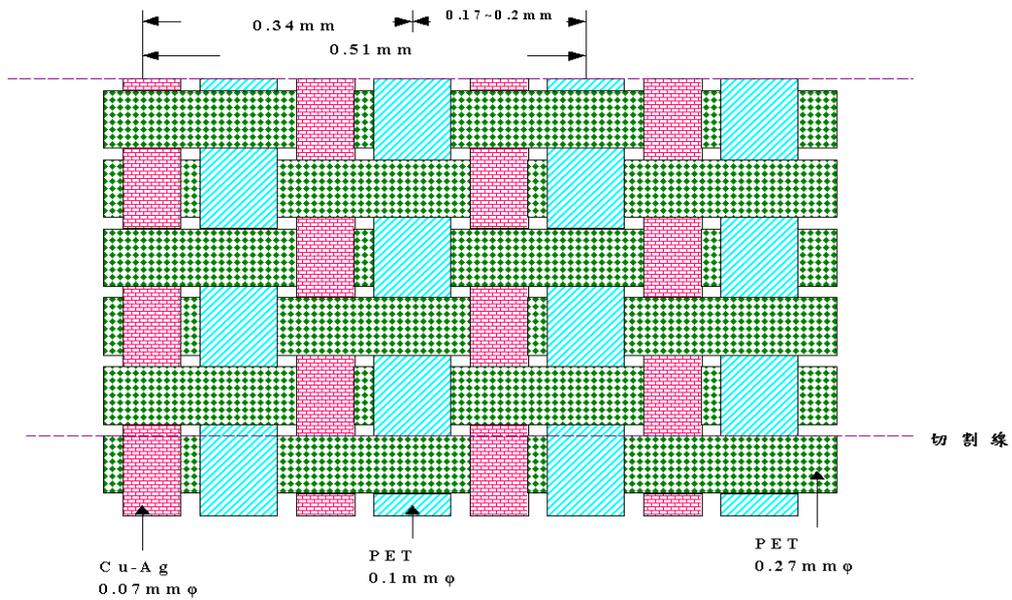


圖 2a. 導電布示意圖

b. 交換法(alternated method)：將銅合金線和0.1mm PET 線交互相鄰為經線；而0.27mm PET 線為緯線，所織成的示意圖如圖 2b 所示。

0.17~0.2mm，而緯向為 1.0~1.1mm。若以同軸可繞扁線的壓接為應用時，就採用方法 a，使同軸銅線平行於經線方向。同軸線之間距為 0.5mm，線徑為 0.15mm，銅線曝露長度為 1.5mm

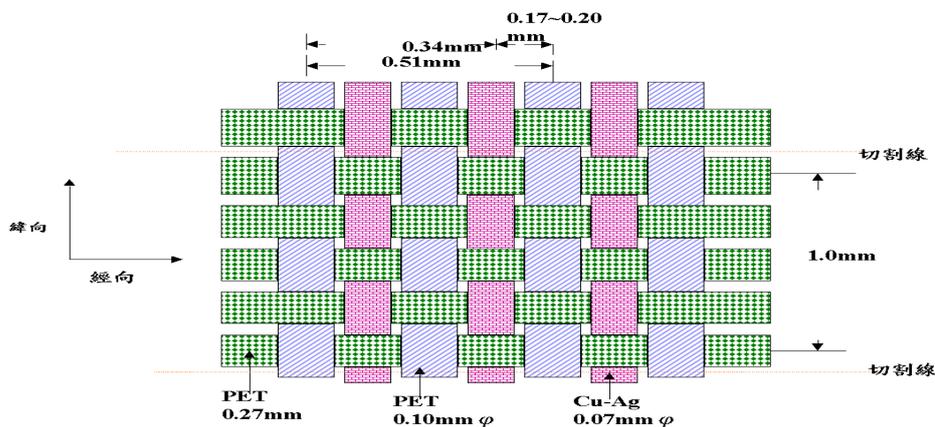


圖 2b. 導電布示意圖

這兩種織法雖然密度一樣，銅合金的高峰點分佈不一樣。方法 b 以直線排列，方法 a 就相錯開排列，依應用而選擇適合的方法。方法 b 所織成的試樣如圖 3 所示，經向導電點間距為

時，每一條同軸線有 4 點接觸。圖 3 的只是實驗中的一個例子，必要時 PET 線的線徑可以再細化使接觸點數增加。圖 3 的導電布可以依應用所需尺寸切割，以同軸扁線為例，只需切割 2mm×12mm 的小條安置在連接器的長

方形陷溝的 PC 板上，然後將同軸扁線放在這條導電布上就可以蓋上塑膠壓棒和金屬彈簧片，安裝後的橫斷面圖如圖 4 所示。

望的目標。本新材料在這一方面提供最經濟而有效的辦法。

綜合以上報告本導電布新材料具有以下優點:

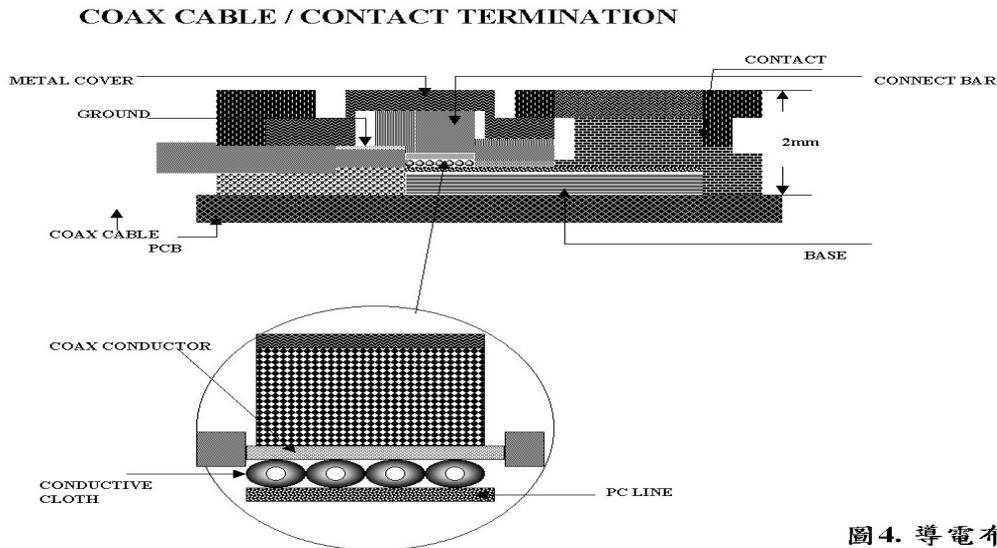


圖4. 導電布安裝

金屬彈簧片的作用除了施加正向力於導電布和同軸線外也同時壓接同軸線地線到共同導板。導電布的緯線將來也可以改用絕緣包裹的導線，接導線連接至地線導板。

### 三、結果與討論：

本報告將高密度、高頻率的導電布材料的製造及應用做一個簡單的介紹。迄今我們已成功製造實驗室規模的可用導電布，初步的測試也顯示電性方面滿足低電阻的要求。至於高頻率方面的測試尚待 TDR(Time Domain Reflectometry)儀器的安裝與初試後才能進行本應用的測試。導電布的厚度只有~0.3mm，包括同軸線和 PC 板導線也最多 0.5mm，在高頻下的電長度 (1c)不至於成為電路上干擾的負擔。上述可能增加地線在導電布的構想也是本新材料的優點之一。在高頻下，訊號線(s)和接地線(g)的靠近和 s/g 比例至少達到 1 比 1 是目前工業界所渴

- (1)採用傳統工業中成熟的紡織技術製造精緻而高附加價值之異向性導電布。
- (2)本導電布比其他市場上異向性導電交的導電率高，可靠性也高。
- (3)導電布本身具有正向力方向之彈性，足夠調整接觸之彎曲與凹凸，而且在接觸點有水平滑動量可以刮擦(wipe)接觸表面保持乾淨。
- (4)導電布可以大量生產，降低單位價格，紡織方法可以依應用而選擇最好的交織方法和材料配方。
- (5)導電布本身薄，而且可以使訊號線(s)和接地線(g)靠近並使 s/g 達到所需比值，可謂高頻應用上最理想的導電中介材料。

本資料與材料善用傳統的成熟的紡織工程，兼顧基本的接觸物理電子干擾理論及材料最佳化選擇等優點，而且符合低成本和高可靠性的起碼條件。

參考資料:

1. Stephen G. Konsowski,  
“Packaging of High-Speed And  
Microwave Electronic  
Systems”, Electronic Packaging  
and Interconnection  
Handbook(Ed. Charles A.  
Harper),Mcgraw-HILL, 1997.
2. Robert H. Katyl and John G.  
Simek,”Electrical Design  
Loncepts in Electronic  
Packaging”,Principles of  
electronic Packaging(Eds. D.P.  
Seraphim, R.C.Lasky,C.Y.Li),  
Mcoraw-Hill, 1989.
3. John Gillett, AMP  
Publication,”AMPSTAR”,  
1996.

作者簡介:

李豐明

中國文化大學工學院 院長  
材料科學與製造研究所教授  
美國史丹福大學 材料科學與工  
程博士

專長:電子材料、奈米構造材料、  
電子構裝材料、電子連接器

電話:02-2861-1801 ext396

傳真:02-2861-8287

林芝欣

中國文化大學 材料科學與製造  
研究所碩士 研究生

陳明華

中國文化大學 材料科學與製造  
研究所碩士 研究生

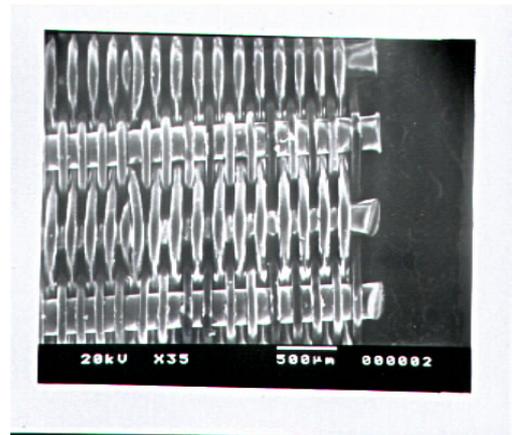


圖 3-1 導電布 SEM 照片

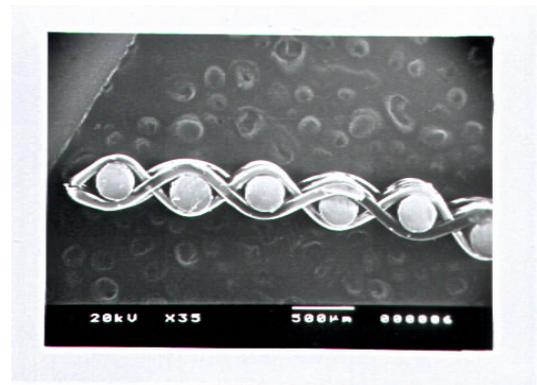


圖 3-2 導電布剖面 SEM 照片