

Lead Free 高溫製程的挑戰-

DICY Cured FR-4 板材耐熱性提昇研究

一、前言

歐盟之 RoHS (Reduction of Hazardous Haste)及 WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment)兩項重要環保立法於 2006 年 7 月 1 日實施，全球電子業為因應無鉛時代，紛紛將傳統錫鉛焊料改為無鉛焊料。此項變革將使原本 SnPb(Sn63/pb37) 焊料熔點溫度 183 ，大幅提昇如錫銀銅(SAC305)熔點溫度 217 ，故其 IR Reflow 之 wave solder 溫度也將由 220 提高至 255 左右。PCB 業者反應爆板比率急劇升高，對於銅箔基板廠而言面對最大的挑戰便是如何提升材料的耐熱性問題。

目前普遍業界認為 DICY 硬化之 FR4 耐熱性不足以應付高溫無鉛製程要求，故改用耐熱性較佳之 PN 硬化板材做為因應對策。考量一般 Tg FR4(DICY Cured)目前佔全球基板產量約 40-50%，且使用時間長達 30-40 年，對於 FR4 板材各項材料特性，PCB 加工條件等技術皆相當成熟，若全數轉用 PN 硬化板材，從基板廠的成本增加，乃至於 PCB 製程條件變更，總生產成本增加等因素考量，對 PCB 業者將造成不小的衝擊。

為降低成本及製程變更衝擊，因此由傳統 FR4(DICY Cured)進行配方改良，主要物性提升為耐熱性提升、降低吸水率以及提高其熱裂解溫度(Td)，設計板材成本與 PCB 加工特性能與一般 FR4 相近，能符合消費電子產品 10 層板以下應用在無鉛高溫製程需求。

二、高溫無鉛製程對板材的衝擊

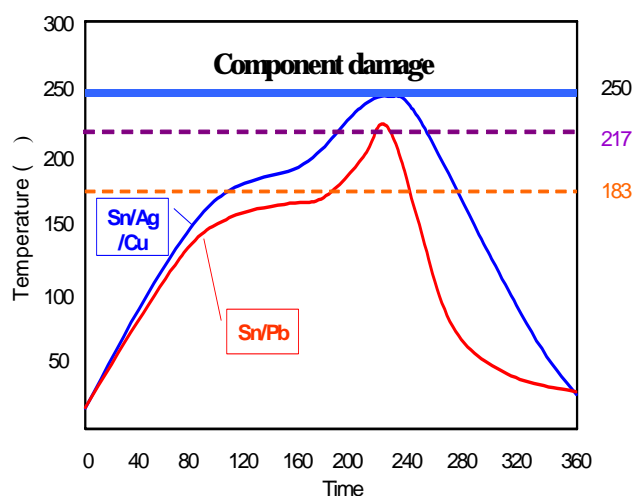


Fig1 Temp Profile for Pb-Free Assembly

	SnPb Solder(Sn63/Pb37)	Lead-Free Solder(SAC305)
Peak Temperature	215~225	250~260
Melting Point	183	217
TAL sec	60	90
Solder Cost	1	2.5

Table 1 Pb free Reflow vs.SnPb Reflow
TAL-Time above liquidous

Figure 1 and Table 1 顯示板材在經由組裝時，在 IR Reflow 中所受到熱應力的衝擊狀況，就最高溫度而言約提高了 35 °C，就時間而言增加了 30 秒，為了承受溫度提高與時間增加的衝擊，板材需要做那些調整才能符合 Lead Free 高溫製程需求呢？從提高玻離轉移溫度 (Tg)、提高熱裂解溫度或是耐熱性提升能產生較大的效果呢？將是下節討論的重點。

三、如何選擇適合高溫無鉛製程的板材？

過去在有鉛焊接的製程中，判斷板材耐熱性的優劣，業界一般均以硬化後樹脂之 Tg 做為判斷基準，認為高 Tg 的板材其耐熱性，耐化性及機械強度等都比低 Tg 者來的好，但進入無鉛焊料時代，上述觀點是否仍適用？以下即是對這些觀點的澄清及探討。

	Normal FR4 (DICY)	High Tg FR4 (DICY)	FR4 Modify (DICY)	Tg-150 (PN)
Thickness	1.6	1.6	1.6	1.6
DSC Tg	140	170	135	150
1/2hr PCT moisture	0.23%	0.19%	0.21%	0.15%
1/2hr PCT +288	3' 4'	3' 4'	10'	10'
Solder dipping				
Peel strength(1oz)	12.0	11.0	12.0	9.5
C.T.E 1	50-70	50-70	50-70	50-70
ppm/ 2	250-300	230-280	250-300	250-300
T-260	> 20	> 25	> 30	> 60
T-288	> 2	> 2	> 5	> 40
Td(5%Loss)	311	312	325	350

Table 2 Comparison of characteristics of base materials.

從 Table 2 中可比較 Normal Tg 之 FR4 與 High Tg 之 FR4 其耐熱性相當，T-260、T-288 分層時間亦差異不大，顯示 Tg 之高低並不足以完全表示板材受熱應力攻擊時所能抵抗的能力。比較 FR-4 Modify 雖然 Tg 較一般 FR-4 低 5 °C，但在 288 °C solder dipping 卻較 High Tg FR4 有更好的表現，同樣在 T-260 或 T-288 也勝過 High Tg FR-4，其

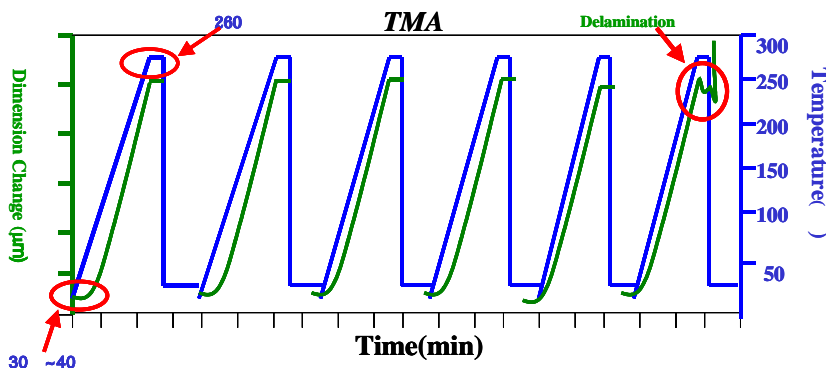
最主要的原因在於熱裂解溫度的提高，FR-4 Modify Td 較一般 FR-4 或 High Tg FR4 高出約 13 ，表示在高溫的無鉛製程中可忍受較嚴苛的組裝製程。

同樣的情況使用 PN 硬化之板材 Td 為 350 其耐熱性、T-288 等均遠高於 DICY Cured 之板材但其 Tg 為 150 ，證明板材能否經的起高熱攻擊，Tg 並非判斷依據，Td 才能直接反應板材之優劣。

四、高溫無鉛製程的模擬

就板材本身能否在 IR 260 下，通過多次組裝考驗，以藉由 TMA 採用 Thermal cycle 的方式進行實驗模擬。

測試方法如 Fig2，由 Table3 得知結果在 T-260 cycle 測試中 Normal FR4 與 High Tg FR4 相當，僅能維持 9-10 次 cycling 測試但 FR-4 Modify 及 PN 板材皆超過 20 個 cycle，足以證明其耐熱性大幅超越 Normal FR4 材。另外以 10 層 PCB 板以同樣方式進行測試，結果如 Table4 所示，無論最外層含銅或不含銅，FR4 Modify 材均較 Normal FR4 有更好的耐熱性。



TEST-Method
 step1.Start at about 30 ~40
 step2.Ramp 20 /min to 260
 step3.Isothermal for 90 sec at 260
 step4.Repeat step 1~3 check how many cycles does the laminate material will be de-lamination.

Fig2 Lead Free High Temp Process Simulation by TMA Cycling Test

	Normal FR4 (DICY)	High Tg FR4 (DICT)	FR4 Modify (DICY)	Tg-150 (PN)
T-260 °C Cycle	9	10	20	20

Table 3.1 Test Result by TMA Cycling Test(Test sample : 1.6mm de-clad CCL)

	Normal FR4 (DICY)	FR4 Modify (DICY)	Tg-150 (PN)
With copper	4	10	15
Non copper	5	12	15

Table 3.2 Test Result by TMA Cycling Test(**Test sample : 10 LB PCB**)

五、Td 量測與板材爆板的關聯性

Td 的定義一般為樣品重量損失達 5% 時的溫度，但當樹脂開始減重 2-3% 時，即可視為樹脂已開始發生劣化現象，傳統錫鉛熔焊 (Reflow) 之峰溫可達 210-235℃，一般傳統板在此溫度下，短時間內尚不會有重量損失狀況發生，如 Fig3；無鉛之熔焊溫度約 250-260℃，TAL 因 wetting 效果考量時間較長，因溫度的提高也加速板材裂解的速度，如 Fig4 通常一片 PCB 板可能要焊到三次以上(熔焊、波焊、重工)，樹脂 Td 不高者，於無鉛焊接經常會發局部之分層爆板情形。

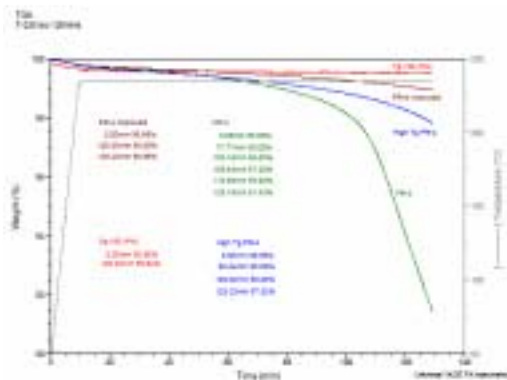


Fig3 TGA Isothermal 120min at 235

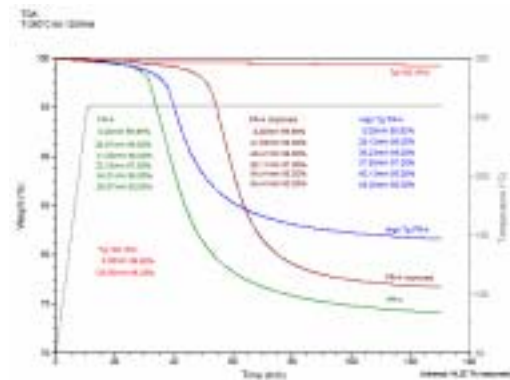


Fig4 TGA Isothermal 120min at 260

六、性賴性測試

(一) 耐 CAF 測試

比較 Normal FR-4 與 FR-4 Modify 材料之 CAF 特性，使用 0.8mm 基板製作成 CAF 測試板，線寬線距、孔徑孔距請參考 Table4.1，第一次測試印加電壓為 24V、相對溼度 85 %、溫度 85℃，測試電壓為 250V，經過 2000 小時後 Normal FR-4 與 FR-4 Modify 材料均能通過測試，以原測試 sample 將印加電壓升至 250V，繼續測試結果如 Table4.2，以孔徑 0.25mm 為例，Normal FR-4 在 27 至 68 小時即有電阻過低現象；而 FR-4 Modify 材料至少超過 198 小時才有電阻過低現象。

(1) CAF TEST =>Test 2000 hrs

85 85% applied 25V test 250V	L/S (90/90)(80/80) μ m	TH(0.35mm) 0.8/0.75/0.7mm	TH(0.3mm) 0.75/0.7/0.65mm	TH(0.25mm) 0.7/0.65/0.6mm		
Normal FR-4	pass	pass	pass	pass	pass	pass
NP-140 Modify	pass	pass	pass	pass	pass	pass

Table4.1 CAF Test Result(Applied 25V)

(2)CAF TEST =>Increase Applied Voltage to 250V

85 85% applied 250V test 250V	L/S (90/90)(80/80) μ m	TH(0.35mm) 0.8/0.75/0.7mm	TH(0.3mm) 0.75/0.7/0.65mm		TH(0.25mm) 0.7/0.65/0.6mm	
Normal FR-4	pass	156	176	58	68	27
NP-140 Modify	pass	315	198	327	198	407

Table4.2 CAF Test Result(Applied 250V)

(二)HDI 成品板經 IR-Reflow 測試

以 FR-4 Modify 材料製作成 10 層板，經 IR-Reflow 測試(260 × 40s)10 cycle 測試，以微切片分析觀察孔壁狀況，在埋孔與內層銅均無任何 crack，盲孔底墊亦無分層狀況。

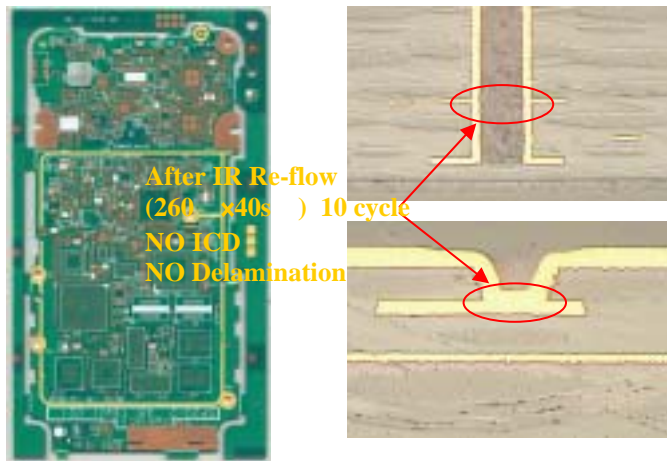


Fig5 PTH and Via hole interconnect reliability of NP-140 Modify

七、PCB 加工製程條件探討

應用於印刷電路板之基板材料，除了考慮本身材料之特性外，更重要的是加工特性，PCB 製程中乾、溼製程多達 20-30 道，材料加工特性除了牽涉到成品之特性外也會影響成本的增加，一般而言 DICY 系統切換成 PN 系統材料，首先遭遇的問題有(a)鑽針磨耗較快，造成成本增加；(b)除膠渣時間較長且需用極性較強之醃胺類藥水為佳，一般 FR4 系統則用醚醇類即可咬出蜂窩狀結構；(c)內層板之銅箔黑、棕化處理面接著較差問題，甚至一般銅箔處理面與 prepeg 之間或 prepeg 與 prepeg 之間接著較差等情形，其主要原因在於 PN 板材在樹脂結構上較硬、脆，而 DICY 板材較為柔軟且接著性佳。

	Drilling Conditions	Wear Evaluation			
		1000 hits	2000hits	2500 hits	3000hits
Normal FR-4	: 12 mil rpm : 160 Krpm feed : 122 lpm back : 984 lpm				
FR-4 Modify					
Tg-150 (PN)					

Table 5

1 : Based on evaluation of the wearing situation for drilling bits ,the drilling number of NP-4 Modify material is similar with normal FR-4.

2 : The number of normal FR4 is about 3000 hits and the number of Tg-150 (PN) is about 1000 – 2000 hits.

	Normal FR-4	FR-4 Modify	Tg-150 (PN)
SEM			

Fig 6 FR4 and FR-4 Modify 使用醚醇類藥水
Tg-150 (PN)使用醯胺類藥水

從無鉛製程對 PCB 的材料選擇及加工條件的設定與最佳化，足已讓業者耗費許多人力及時間，此時若能將既有 FR-4 板材做特性上的調整，以符合 Lead Free 之要求，相信對 PCB 將是一大福音，傳統之 FR-4 材料在 Lead Free 所遇之問題歸究其原因在於耐熱性不

足。如 Table 2 所示，FR-4 Modify 在材材特性上已可符合 Lead Free 要求。

加工性方面(a)鑽針磨損在 2500 孔至 3000 孔時與 Normal FR4 相當，PN 板材在 2000 孔時即有相當的損耗，如 Table 5。(b)除膠渣方面使用現有製程醚醇類藥水，不需改變條件即可咬出相當之粗度與蜂窩狀結構，優於 PN 板材使用醃胺類之狀況，如 Fig6。(c)與黑、棕化接著則與現有 FR-4 相當優於 Tg-150 (PN)板材如 Table 6 就加工性而言 FR-4 Modify 操作條件可與現狀 FR-4 相同較 PN 板材更容易加工。

	Black Oxidation	Brown Oxidation
FR-4	4.5 5.5	4.0 5.0
FR-4 Modify	4.5 5.5	4.0 5.0
Tg-150 (PN)	3.5 4.5	2.5 3.5

Table6 Bonding strength between oxide and prepreg.

比較加工成本如 Table 7，整體而言使用 FR-4 Modify 之 PCB 成本可維持現有水準，而採 PN 板材則需多 5-10%之成本。

	DICY Type	PN Type
Laminate price	1.0	1.05 1.15
drilling cost	1.0	1.5 2.0
Desmear Time	1.0	1.5 2.0
PCB Total cost	1.0	1.05 1.1

Table 7 Comparison between DICY and PN Laminate for PCB process cost.

八、Conclusion

1. 板材的耐熱性除了利用 T-260 或 T-288 的方式來模擬 Lead Free 製程外，亦可用使用 TMA Thermal cycle 方式搭配 TGA Td 來加以確認。
2. FR-4 Modify 之耐熱性比 Normal FR-4 有顯著的提升，且其價格與 PCB 加工性兩者相近。
3. 使用 PN 板材在加工時需注意鑽孔條件、層間接著能力、除膠渣條件以及壓合條件等須再評估修改，無法以現狀 FR-4 條件生產如 Table 8 所示。
4. FR-4 Modify 板材在各項加工條件，可比照現有 Normal FR-4 板材，可節省 PCB 加工條件確認時間。

5. 對於 Lead Free 的製程所選用的材料並沒有一定的限制與規則，應考量產品特性或自身加工能力，建議在 10LB 以下產品可選用 FR-4 Modify 材料。

	Normal FR-4	FR-4 Modify	Tg-150(PN)
Drilling Ability	3000hits	Same as FR-4	1500hits
Bonding with black/brown oxidation	OK	Same as FR-4	Lower
Desmear conditions	OK	Same as FR-4	Need modify
T-260 min	>20	> 30	> 60
T-288 min	>2	> 5	>40
Td (10 /min)	>310	> 325	>350
Press working window	wide	Same as FR-4	Need modify

Table 8 Comparison of DICY and PN based material in processability.