

無鉛製程時代如何選擇適當板材因應高溫組裝需求

南亞塑膠 梁哲璋

一.前言

由於世界環保意識高漲，歐盟 RoHS(Restriction on the use of certain Hazardous Substrates)已於 2007 年 7 月 1 日實施將鉛(Pb)、鎘(Cd)、汞(Hg)、六價鉻(Cr⁺⁶)、聚溴聯苯(PBB)、聚溴化二苯醚(PBDE)等六種有毒物質列入禁用物質，故過去 PCB 組裝用的錫鉛焊料轉用為目前較通用的錫銀銅(SAC)合金焊料，無鉛焊料其熔點、焊錫溫度、波焊溫度較錫鉛焊料高 20 ~ 30°C 以上(參考表 1)，加上無鉛焊料沾錫性較差，一般組裝業者會調高錫溫以改善加工性，高溫加上較長的 IR Reflow 加工時間對現有的 FR4 板材耐熱性是一大衝擊，故後段組裝業者此起彼落反應爆板異常，無疑是宣告高耐熱新板材時代的來臨。

應用溫度	焊錫種類	熔點	IR Reflow Peak 設定溫度
Medium Temp.	Sn-Ag-Cu	217~220°C	245~260°C
Traditional	Sn-Ag-Cu-Bi (In)	200~210°C	235~245°C
High Temp.	Pb-Sn	183°C	225~230°C

表 1:傳統錫鉛焊料與無鉛焊料的特性比較

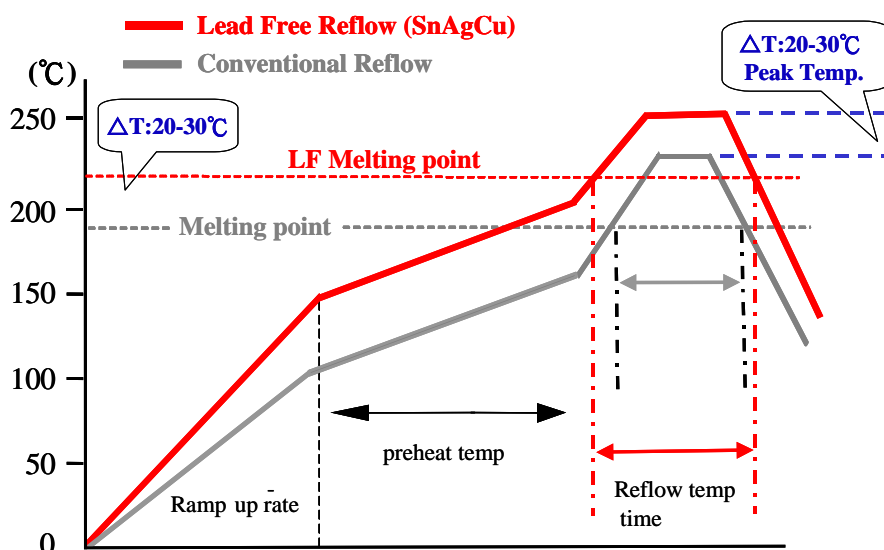
在業界的壓力下，美國電路板協會(IPC)欲訂定符合無鉛製程要求的板材物性規範，但在各方角力下 IPC 不得不訂出符合各方要求的規範(參考表 2)，但卻無法確保 PCB 業者按圖索驥後可

以高枕無憂，這就是目前 PCB 業者傷腦筋的地方。

Spec Sheet #	99	101	121	124	126	129
Tg min()	150	125	125	150	170	170
Td min()	325	310	310	325	340	340
Fillers	yes	yes	no	no	yes	no
Flame retardant	RoHS BR	RoHS BR	RoHS BR	RoHS BR	RoHS BR	RoHS BR
Curing Agent	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Flammability	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
Z-Axis alpha 1 max	60	60	60	60	60	60
Z-Axis alpha 2 max	300	300	300	300	300	300
% max	3.5	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0
T-260(min)	30	30	30	30	30	30
T-288(min)	5	5	5	5	15	15
T-300(min)	AABUS	AABUS	AABUS	AABUS	2	2

表 2:IPC 增訂符合無鉛製程板材物性要求

下圖為傳統錫鉛焊料與無鉛焊料 IR Reflow Temp. Profile 比較,很明顯無鉛焊錫其加工溫度較傳統錫鉛焊料高。

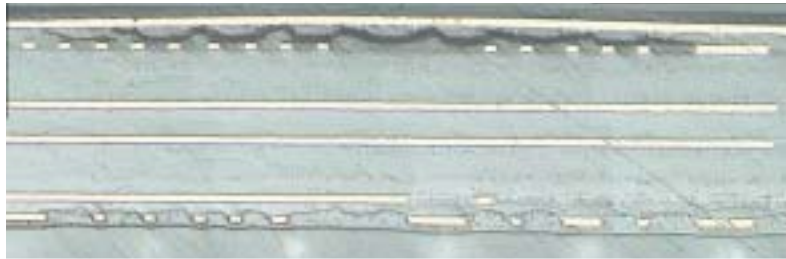


本文即是將目前 PCB 業者普遍的問題及如何選擇適當的板材因應做一說明。

二.無鉛高溫製程對板材的衝擊

由於無鉛焊料熔點較高，沾錫性較差，使得組裝廠不得不調高 IR Reflow 設定溫度，再加上較傳統錫鉛焊料較長的加工時間，高溫加上長時間代表有較大的熱量衝擊板材，過去高 Tg 代表高耐熱性的觀念受到嚴峻挑戰，板翹、爆板分層的慘況哀鴻遍野，下列異常寫真即是典型板材在高溫無鉛製程的破壞模式。

(1) HDI 板爆板:



(2) HDI 板基材 crack:



三.PCB 業者的因應方法

一般 PCB 業者目前傾向選擇以 PN 硬化板材取代 Dicy 硬化板材，過去高 Tg 即高耐熱性的觀念在無鉛時代來臨已被戳破，許多高 Tg 板材耐熱性甚至不如一般 Tg 140 的材料，取而代之如 Td、T-266/T-288、CTE 等特性更被 PCB 業界視為選擇高耐

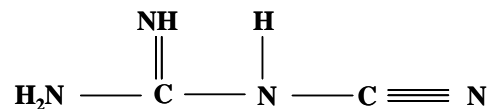
熱性及信賴性板材的指標,Dicy 與 PN 硬化板材一般物性比較如表 3:

Type	Dicy-cured	PN-cured
Td (°C)	300~340	330~380
T-260 (min.)	5~30	> 60
T-288 (min.)	0~5	30~60

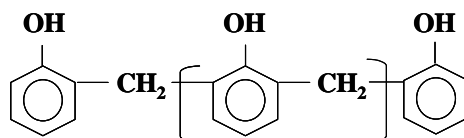
表 3:Dicy 與 PN 硬化板材比較

Dicy 結構因較易吸水，相對於 phenolic 樹脂結構多苯環結構，故吸水性較低，耐熱性亦較優，這就是為什麼目前業界普遍以 PN 硬化板材取代傳統 Dicy 硬化 FR4 的原因。

• Dicy



• Phenol Novolac



四.新的解決方案衍生新的問題

PN 硬化板材看來當定了無鉛製程時代的救世主，但實際使用上仍有些問題待解決。

(1) 板材價格較高

(2)PCB 加工成本上升

(3)PCB 加工條件須重新評估

PN 硬化基板目前各主要 CCL 業者均能供應，但受制於 PN 樹脂的產量規模，目前價格仍較高，PCB 加工部份則因 PN 樹脂系統硬度較高，鑽孔對鑽針磨耗較高及 Desmear 較難咬蝕，一般多以延長 Desmear 時間或以醃胺類藥液以增強咬蝕效果。

表 4 為一般 FR4 板材與 PN 硬化板材經鑽孔後鑽針刀刃磨耗比較,從照片很明顯可以看到 PN 樹脂系統的板材較硬對鑽針磨耗相對較嚴重對 PCB 加工成本有較大影響







	Drilling Conditions	Wear Evaluation	
		1500 hits	2000 hits
Normal FR-4	ϕ : 12 mil rpm: 100 Krpm		
Mid. Tg PN	feed: 70 Ipm back: 984 Ipm		
High Tg PN			

表 4:一般 FR4 與 PN 硬化板材鑽孔對鑽針磨耗比較

表 5 為 desmear 去膠渣 (以 EC 藥水處理)後孔壁粗糙度比較,一般 FR4 孔壁經 desmear 後孔壁表面呈蜂窩狀,其粗糙度足以應付後續鍍孔銅結合強度,PN 硬化板材孔壁經 desmear 後

孔壁呈片狀,粗糙度較低,與鍍銅結合的表面積相對較少,PCB業者應注意此現象,這對後續信賴性試驗影響值得更進一步研究探討:

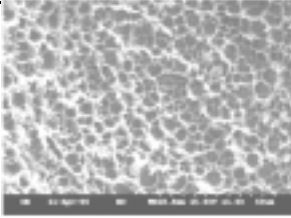
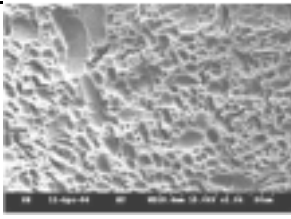
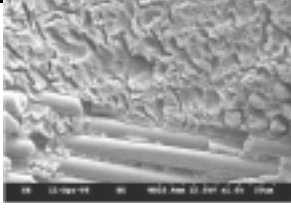
板材別	孔壁表面 SEM
Normal FR-4	
Mid. Tg PN	
High Tg PN	

表 5:Desmear 後孔壁粗糙度比較

另外,PN 基材普遍需以較高的溫度或較長的壓合時間才能完全硬化,上述種種與現狀 Dicy 硬化 FR4 加工的差異性,均造成使用 PN 材料總成本增加。

五.PCB 業界如何選擇板材

板材物性愈佳,經過無鉛高溫加工製程愈安全,但是成本也愈高,不符合成本效益,該如何選擇板材呢?建議以下流程圖方式選擇板材,因為如之前所述,沒有經實測的板材誰也無法保證一定可通過無鉛製程量產要求,尤其是針對高層、厚銅、小孔的設計.

確認組裝生產條件
reflow/wave solder/repair



建立允收標準



依要求(物性+PCB 結構)
選擇板材



製作測試樣板



測 試

六.CCL 業界的努力

PN 樹脂系統本身具有優良的耐熱性，但為應付低 Z 軸熱膨脹的需求，亦可以添加 filler 方式提升板材應用在高層板的信賴性。無鹵基板因樹脂系統特性及系統內一般均有添加 filler，故其亦能符合 Lead Free 嚴苛製程需求，但因價格偏高，本文不再詳述,各種板材優缺點可參考表 6.

Material	Advantage	Disadvantage
PN type material	<ul style="list-style-type: none"> · excellent anti CAF · high Td · low CTE · excellent thermal resistance 	<ul style="list-style-type: none"> · higher cost for PCB process: <ul style="list-style-type: none"> Drilling Inner copper treatment Lamination Desmear · lower peeling strength · different Dk, Df value · higher Cost · Supplier chain
Halogen Free	<ul style="list-style-type: none"> · good anti CAF · high Td · very Low CTE · good thermal resistance · maturity product · good for environment 	<ul style="list-style-type: none"> · higher cost for PCB process: <ul style="list-style-type: none"> Drilling, Inner copper treatment Lamination Desmear · lower peeling strength · different Dk, Df value · higher cost
Improvement from Standard material	<ul style="list-style-type: none"> · anti CAF better than STD · meet IPC Td spec · same PCB process · thermal resistance · cost similar with normal FR4 	<ul style="list-style-type: none"> · lower Tg · not suitable for great density of circuit lay up
Standard Material	<ul style="list-style-type: none"> · traditional 	<ul style="list-style-type: none"> · working widow is narrow for LF

表 6:目前泛用板材優缺點比較

目前可應用於無鉛製程各類板材耐熱性比較如下,PN 硬化板材還佔了絕對優勢,若考量高層板 Z 軸 CTE 的要求,可選擇加 filler 的樹脂系統.

	Mid. Tg PN		High Tg PN		Normal FR4	Tg140 Modify
	with filler	w/o filler	with filler	w/o filler		
Td	350	350	351	351	310	325
T-260	> 60	> 60	> 60	> 60	15	> 30
T-288	> 20	> 20	> 20	> 20	2.1	> 5

表 7:目前應用於無鉛製程板材耐熱性比較

另外，從成本考量亦可從現狀 Dicy FR4 做改良，使其價格、加工性與現狀一般 FR4 相近，可運用在 10LB↓的設計，是 PN 硬化板材外的另一種選擇考量,表 7 中可清楚看出經性能提升的 Dicy 硬化板材其耐熱性大幅提升,T-288 超過 5 分鐘,Td 接近 326 °C.

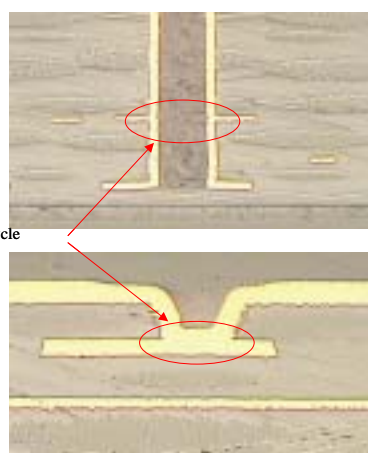
	Normal FR-4	Tg140 Modify
Thickness (mm)	1.6	1.6
DSC Tg	140°C	135°C
1/2hrPCT moisture	0.226%	0.210%
1/2hrPCT+288°C solder dipping	3'30"	10'
Peel Strength (1oz)	12.5 lb/in	11.5 lb/in
TMA 288°C delamination	> 2 min	> 5 min
TMA 260°C delamination	> 20 min	> 30 min
TGA 5%Loss (10°C/min)	311.3°C	325.9°C

表 7:改良 Dicy 硬化板材物性比較

一般 2、4LB 以目前 Dicy 硬化 FR4 板材應可應付,10、12LB 以上的設計或 HDI 板爆板風險則相當高,以改良 Dicy 硬化 FR4 板材事作 HDI 手機板經 IR reflow 260°C X 40sec X 10 次處理後,經切片確認 PTH 及 via hole 等部份互聯性完整無分層爆板問題,如下圖所示.



After IR Re-flow
(260°C x 40s ↓) 10 cycle
NO ICD
NO Delamination



七.如何選擇適當的板材

在成本考慮下,以下列因素來考量如何選擇材料

(1)客戶實際 IR Reflow Profile

無鉛 IR Reflow 製程組裝板子實際板溫約在 230°C-260°C , 這是依據板面佈線設計及組裝零件大小密集程度而定,可從加工溫度範圍去挑選適當耐熱性的板材。

(2)PCB 結構設計及總厚度

層數愈多表示 PCB 內部結合界面也愈多,所以整個 PCB 板內發生缺陷的機率也愈高。另外,PCB 總板厚愈厚的設計其 Z 軸熱膨脹量愈高,選擇高耐熱低熱膨脹率的材料是首要考量。

(3)PCB 業者本身製程能力

PCB 的製程差異會影響成品的耐熱性,以黑棕化為例,廠牌不同的藥水對基材的結合強度有很大的影響,故在選擇板材時亦須注意板材與藥水的相容性。

	Black Oxidation	Brown Oxidation (Horizontal process)		
	E supplier	R supplier	M supplier	A supplier
Normal FR4	4.93	3.85	3.57	4.56
Mid. Tg PN	3.56	3.21	3.01	3.53
High Tg PN	3.61	3.23	3.03	3.57

表 8:各家黑棕化藥水對板材結合強度的影響

據過去評估經驗，在考量總板厚及厚銅設計等因素下,建議 PCB 業者可參考下表選擇適用板材。

PCB Thickness	Suggestion	
	Br-Resin System	Halogen Free
70 mil (2L, 4L, 6L)	Normal Tg-140	Mid. Tg
70 mil 8L , HDI, 3oz inner copper	Tg-140 Modify Mid. Tg PN	
70 – 90 mil	Mid. Tg PN	
90 mil (Back Panel)	High Tg PN	High Tg

表 9: 應對無鉛高溫製程板材選擇建議

目前國內各家 CCL 如南亞、台燿、聯茂、台光、Isola 等廠均有生產 PN 硬化基板,其產品型號可參考表 10.

Dicy system	Mid-Tg Material Non-Dicy with filler	Hi-Tg material Dicy Curing	Hi-Tg material Non-Dicy	Hi-Tg material Non-Dicy with filler
NP140M	NP155F PCL254HR DE104 IT158 TUC662 EM825	NP-170 PCL-FR-370 FR406	NP-175 NP-180 PCL-370 TURBO IS410 IT180 EMC320	NP-180F NP-175F PCL370HR IS420 TUC722

表 10:各家 CCL 廠所生產應對無鉛高溫製程的基板型號

八.結論

1. 現狀 FR4 應付一般 2,4 層板無鉛製程尚無問題,但 HDI 或 10 層板以上的設計則爆板風險極高,就成本考量可考慮改良 Dicy 硬化 FR4,具有低成本高耐熱性等優點.
2. PN 硬化板材挾其優異的耐熱性,將為無鉛時代 PCB 業者主要的板材選項,尤其是對高層厚銅等設計的板子更顯 PN 硬化板材物性的優勢.
3. 各家 PCB 業者先進在選擇應對無鉛製程的板材時,建議不能只參考 datasheet,還是須了解板子 pattern 設計及後段組裝溫度條件,經實測後才能確保將量產風險降到最低.