Ag-Sn 系の液相焼結現象を応用した高多層一括積層基板の開発

近 藤 宏 司^a

^a(株)デンソー 生産技術部(〒470-2298 愛知県知多郡阿久比町大字草木字芳池 1)

Development of a New Multi Layer Substrate using Ag-Sn Liquid Phase Sintering Process

Kouji KONDO^a

^aProduction Engineering Department, DENSO Corporation(1, Yoshiike Kusaki, Agui-cho, Chita-gun, Aichi 470-2298)

Keywords : Multilayer, Substrate, Sintering, Embedded

1. はじめに

プリント配線板の層間接続技術は、スルーホールめっき技術であり、電子製品の高密度化とともに進化してきた。近年、3次元実装基板¹⁾あるいは部品内蔵基板^{2),3)}という、より高密度に実装する技術が要求されるようになってきた。それにとともに、ドライプロセスで層間接続を達成するため導電ペーストを用いる技術が開発され^{4),5)}実用化に至っている。しかしながら、導電ペーストは金属粉と樹脂との混合物であり、「金属」という意味では、めっきに変わるメタライゼーション技術は実用化されていなかった。

PALAPTM (Patterned Prepreg Lay up Process)^{†1}とは、熱可塑性樹脂と粉末冶金技術を応用することで、プラスチックの耐熱温度範囲以内において金属を形成する、いわゆる「ドライなメタライゼーション技術」であり、多層基板構造における接合と接着および封止を一度のプレスにより実現できる技術でもある(図1)。次の三つの特徴があり、めっきを用いずドライプロセスにより接合と封止を達成するPALAP技術は、部品内蔵構造や3次元実装に適している^{6),7)}。

図1 PALAPのコンセプトと特徴

- ①耐リフロー性のある高融点(480℃)メタルによる全層IVHスタックドビア接続構造,
 - ②層間と素子接続を同時に形成する3次元一括接続,
 - ③高耐熱熱可塑性樹脂によるPKGレベルの封止性確保
- 以上の特徴を活かして、高多層(23層)半導体PKG基板や^{8),9)}コンデンサおよびチップ抵抗などの受動部品を内蔵した「受動部品内蔵基板」を量産している¹⁾(図2)。使用する熱可塑性樹脂基材としては、表1に示したように、液晶ポリマー

	半導体PKG基板	受動部品内蔵基板
基板構造		チップコンデンサ (0603サイズ) チップ抵抗 (0603サイズ)
配線層数	23層	11層
ビアピッチ	250μm	500μm
基板サイズ	27~35mm□	55×90mm(279個部品内蔵)

図2 PALAP基板の事例

表1 PALAPで使用する熱可塑性樹脂基材

項目	FR-4 ガラスエポキシ	熱可塑性樹脂	
		LCP*	PEEK アロイ**
比誘電率	4.8	3.0	3.2
誘電正接	0.02	0.003	0.005
Tg(℃)	130	>230℃	180
CTExy(ppm)	17	~17	~17
吸湿率(%)	0.2	0.1	0.15
導体接着力(N/mm)	1.4	0.8	1.2
寸法変化率(%)	>1	0.015	<0.01
レーザー加工性	可能	容易	容易
軟化温度(℃)	130	280	260
ハロゲン	Br	含まず	含まず
リサイクル	困難	容易	容易

*: ジャパンゴアテックスほか, **: 三菱樹脂 IBUKITM†2

†1 "PALAPTM" is a registered trademark of DENSO Corporation.

†2 "IBUKITM" is a registered trademark of Mitsubishi Plastics, INC.

(LCP)と PEEK アロイ (ポリエーテルエーテルケトンとポリエーテルイミドの混合樹脂)¹⁰⁾がある。

2. PALAP 技術の概要と特徴

図 3 に PALAP の基本プロセスを示す。出発材料としては、片側銅張り熱可塑性樹脂フィルムを使用する。エッチングにより回路形成した後、所定位置に有底のビアホールをレーザー加工により形成した後、Ag/Sn の金属ペーストを充填する。部品を内蔵する領域には部品サイズに合った穴加工を施す。その後、各層のフィルムを位置合わせして重ね、熱プレスにより基板を形成する。プレス時において、層間あるいは部品電極との電氣的接合と、樹脂の流動による接着・封止が同時に行われる。

図 4 に熱可塑性樹脂の一般的な弾性率の温度依存性と PALAP 工程における挙動についての模式図を示した。熱可塑性樹脂は常温付近では弾性体であり、エッチングやビア加工など通常の機械加工が容易であり、寸法変化はきわめて小さい。T_g 以上の温度では粘性を示すがプレス圧力(4～5 MPa)程度では変形しない。パターンの存在でビアに圧力が集中するため、金属ペーストが圧縮焼成し接合を実現する。さらに温度を上昇させることにより樹脂流動が始まり、パターンの段差や部品のクリアランスは樹脂充填され、全体として静水圧となり一定の圧力が均一にかかることになる。したがって、内蔵部品などへの過度の圧力集中を抑えることができる¹¹⁾。

図 3 PALAP 基本プロセス

図 4 熱可塑性樹脂の効果

3. 液相焼結現象を応用した接合技術

一括プレス成型により接合および封止を実現するためには、まず接合が達成され、しかる後に封止、接着が実現されなければならない。銅からなる配線パターン同士あるいは、部品と配線パターンが接合され固定された状態で、隙間に樹脂が流動することで 3 次元構造が実現できる。したがって、金属ペーストの材料設計と樹脂の流動挙動の解析技術が重要となる。

PALAP に用いている粉末冶金技術は、Ag-Sn 混合粉末である^{12),13)}。粉末状態からプレスにより焼結した状態の模式図および断面写真を図 5 に示した。Ag と Sn は 200℃ 以下で固相拡散(融点以下の固体間での相互拡散)が進行し、Ag₃Sn が形成される。220℃ 以上で余剰の Sn が溶融するとともに銅と拡散接合が進行し Cu₃Sn 層を形成する。熱可塑性樹脂として用いる材料は、はんだ耐熱性確保の点から融点は最低 280℃ 以上必要である。したがって、プレス中における 250℃ 付近の温度領域において樹脂の塑性変形によりペーストが圧縮焼成されることで接合が達成され、しかる後に樹脂流動が起きることで封止・接着が実現する。AgSn ペーストはプレス中は Sn の存在で変形はできるが流動せず部品に過剰な応力を与えることなく接合が達成される。

表 2 に、Ag₃Sn 焼結体と比較のため鉛フリーはんだの諸物性を示す。融点は 480℃ と十分な耐リフロー性を持つ。弾性率ははんだ材料の 1.5 倍程度であり、強度は約 2 倍あることから、この Ag₃Sn を接合材料として採用することで、耐リフロー性に優れた接合が鉛レスで実現される可能性がある。層間接合だけでなく、受動部品との接合、さらにはベアチップとの接合および放熱ビアとして使用可能と考えられる。

表 2 Ag₃Sn 焼結体の物性

	PALAP ビア材料	鉛フリーはんだ
組成	Ag ₃ Sn	Sn-3.0%Ag-0.5% Cu
融点(℃)	480	220
強度(MPa)	50	23
弾性率(GPa)	75	45
線膨張係数(×10 ⁻⁶ /℃)	22	22

図 5 Ag-Sn 粉末の焼結模式図

構造

仕様

項目	値
基板サイズ	25mm × 25mm
層数	29層(フィルム厚: 75 μm)
内蔵部品	
抵抗	16個(1608サイズ, t=0.4mm)
コンデンサ	16個(1608サイズ, t=0.8mm)
ベアチップ	1個(9mm × 9mm × 0.65mm)

断面写真

試作品断面写真

X線透視写真

図6 LSI内蔵PKG 構造の代表例

4. PALAP 技術を用いた部品内蔵基板

図6にベアチップ内蔵の代表的な構造および断面写真を示す。部品を内蔵する場合は、線膨張係数差からなる応力を緩和しつつ封止性を確保すること、および接続信頼性を確保することが重要である。

4. 1 封止性の確保

半導体は、チップコンデンサなど受動部品とは異なり、形状が扁平であり、極めて小さな線膨張係数と大きな弾性率を持つ剛体である。そのため、ベアチップの内蔵を実現するためには、樹脂との線膨張係数差からくる巨大な応力をいかにして緩和し、強度を保つかが必須項目となる¹⁴⁾。さらには腐食させないための低不純物濃度を満足しなければならない。通常の半導体PKGにはエポキシモールド樹脂が使われる。高充填フィラーにより線膨張係数を低く抑え、不純物濃度を管理した樹脂が開発されている。PALAPで採用する材料は、熱可塑性樹脂フィルムであるため、フィラーを高充填することは事実上困難であり、線膨張係数はせいぜい銅並みの17 ppmである。一方、弾性率は熱硬化性樹脂よりも低いという特徴を持つ。さらに、フィラーがなくとも樹脂強度という点で極めて優秀という利点もある。これらのことを総合すると、モールド樹脂よりもSiの封止性能は勝るとも劣らないと考えている。

表3に、一般的なモールド樹脂とPALAPで用いている熱可塑性樹脂との物性比較表を示した。同時に ΔT を200℃とした場合の発生応力の概算を示した。線膨張係数では劣るものの、弾性率は約1/10であり、強度は同等と言える。線膨張係数が50 ppmのノンフィラー熱可塑性樹脂を使用したと仮定しても、発生応力は約20 MPaであり、モールド樹脂の約40 MPaと比較すると約1/2と低く、樹脂の強度を考慮すると十分な余裕度があると推定できる。したがって、半導体を内蔵封止した場合の樹脂が受ける熱応力だけでなく、半導体自身が受ける圧縮応力、あるいは接合ビアの受ける応力についても十分な信頼性が確保できることが推定できる。

4. 2 接合信頼性確保

LSIを内蔵する場合の課題として、封止とともに接合が重要である。とくにファインピッチパッドに接続させるためにはプレス中の位置ずれ挙動を把握することが必要となる。流

表3 PALAP に使用する熱可塑性樹脂の物性(常温付近)

	熱可塑性樹脂	エポキシモールド樹脂
線膨張係数($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	17 ~ 50	11 ~ 13
弾性率(GPa)	2.0	24.0
強度(MPa)	120	150
$\Delta T 200^{\circ}\text{C}$ 概算応力(MPa)	≈ 20	≈ 40

動解析および実機の確認からプレス充填によるずれは5 μm以内であることがわかっている¹⁵⁾。このことから100 μmピッチレベルの接合が可能と考えられる。LSIの電極がNiおよびCuである場合は、PALAP接続材料であるAg₃Snが使用できる。接合メカニズムは、ビアと同様である。発生応力に対するAg₃Snおよび樹脂の強度余裕度が高く、十分な信頼性が確保できることがわかっている¹⁵⁾。

5. おわりに

今後ますます需要が増えると予想される3次元実装PKG製品では、受動部品に加えて能動素子をも内蔵させる必要がある。さまざまな部品と基材などとの線膨張係数差は複雑で巨大な熱応力を発生する。この応力をいかに緩和させ、接合を確保するかが重大な課題となる。そこではめっき技術に替わる、「ドライなメタライゼーション技術」が必要である。PALAPTM技術は、低弾性で強靱な樹脂物性と高強度なAg₃Sn焼結金属の組み合わせにより、より複雑な部品内蔵PKG構造に適した技術と考えている。ファインピッチなマイコンだけでなく、今後ますます重要となるパワー半導体についても、Si素子電極に直接接合可能で、しかも大面積ビア接続や両面電極構造も容易に実現できると考えている。

(Received June 29, 2011)

文 献

- 1) 神谷博樹, 竹内 聡, 久保田克典, 清水元規, 三宅敏広, 青山雅之, 近藤宏司; エレクトロニクス実装学会誌, 13, 440 (2010).
- 2) 福岡義孝, 笹岡賢司, 田中雅也, 相楽秀次, 島田 修, 高野 敦; エレクトロニクス実装学会誌, 13, 351 (2010).
- 3) 石原政道, 澤地茂典; エレクトロニクス実装学会誌, 13, 358 (2010).
- 4) S. Nakatani; The 9th National Convention Record JIPC, p.57 (1995).
- 5) Y. Fukuoka; International Symposium on Microelectronics, p.405 (1998).
- 6) K.Kondo, F.Kojima, M.Hanai; NIKKEI MICRODEVICES, 12, 196 (2001).
- 7) K.Kondo, R.Kamimura; DENSO Technical Review, 7, 91 (2002).
- 8) A. Hayashi, M. Nakagoshi, T. Murai; The 7th VLSI Packaging Workshop of Japan, Session 5.3 (2004).
- 9) R. Kataoka, K. Suzuki, T. Yokochi, K. Kondo; DENSO Technical Review, 10, 77, (2005).
- 10) J. Takagi; Proc.(C) Short Communication, 49, 4393 (2000).
- 11) Y. Yazaki, Y. Shiraishi, K. Kondo; DENSO Technical Review, 10, 85 (2005).
- 12) K. Kondo, Y.Yazaki, Y.Shiraishi, K. Tada, H. Miura; J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 57, 10 (2010).
- 13) K. Kondo, Y. Yazaki, Y. Shiraishi; J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 57, 678 (2010).
- 14) 吉田圭佑, 小金丸正明, 池田 徹, 宮崎則幸, 友景 肇; エレクトロニクス実装学会誌, 14, 45 (2011).
- 15) H. Kamiya; 2005 International Symposium on Electronics Materials and Packaging (EMAP 2005), p.183 (2005).