

高熱伝導性ガラスコンポジット基板材料

Glass-composite Circuit Board Material with High Thermal Conductivity

野末 明義* ・ 鈴江 隆之**

Akiyoshi Nozue

Takayuki Suzue

電子回路基板に実装される部品からの発熱を効率良く放熱するため、ガラスコンポジット基板材料に粒径の異なる数種の無機酸化物を分散させて高充填化を図り、熱伝導率が高く、加工性と耐熱性に優れた銅張積層板を実現した。

開発品を使用した銅張積層板の熱伝導率は $1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以上を有し、実装された発熱部品の温度上昇は従来の一般的なガラスエポキシ銅張積層板を用いる場合の約 $2/3$ となることが確認できた。また、無機酸化物の高充填化にもかかわらず、加工性においては従来品同等のドリル摩耗率を確保している。

A new glass-composite circuit board material has been developed for efficiently dissipating heat from components on printed circuit boards by dispersing several types of inorganic oxides of different filler sizes into the material at a high filling rate. The new copper-clad laminated board made with this new material has high thermal conductivity and high heat resistance, and high processability.

The developed copper-clad laminated board has thermal conductivity of $1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ or higher, and the temperature rise of mounted heat-generating components is approximately $2/3$ of the conventional glass-epoxy copper-clad laminated board. Despite the high filling rate for the filler, the material's drill bit wear rate is comparable to that of the conventional board materials.

1. ま え が き

電子回路の高密度化や高周波化が進むにつれて機器内部の発熱密度が上がり、放熱の重要性が高まってきている。また、LEDは低消費電力で CO_2 排出量の削減ができ、長寿命・省スペースであることから今後も普及が予想されるが、さらに発光効率を高め、長寿命化を進めるためには放熱対策が課題となっている。

放熱対策としては、熱伝導、熱対流、および熱放射の三つの物理現象を利用して行われるが、LEDやパワー半導体のように局所的に発生する熱を効率的に外部へ逃がす方法としては、電子回路基板を介しての熱伝導を利用する方法が主流である。このため、これらの素子を実装する電子回路基板には、熱伝導性に優れたアルミニウムを用いた金属ベース基板を使う場合が多い。

しかし金属ベース基板は、電子部品の実装に幅広く使われているガラス布基材エポキシ樹脂銅張積層板（以下、FR-4と記す）や、ガラス布ガラス不織布基材エポキシ樹脂銅張積層板（以下、CEM-3と記す）に比べて、配線回

路を形成するプロセスが複雑で加工性などが悪いという問題がある。

図1にFR-4、CEM-3、および金属ベース基板の基材構成を示す。簡単に特徴を説明すると、FR-4は基材がすべてガラス布から成り、樹脂はエポキシ樹脂を用いる。CEM-3は機械的強度や寸法安定性向上のために最表層の基材にガラス布を用い、中心層にはガラス布の代りにガラス不織布を使用する。その際、パンチング加工性、電気接続信頼性、および寸法安定性を高めるため、水酸化アルミニウムやタルク等の無機充填材を導入する¹⁾。金属ベース基板は絶縁層を薄くするほうが熱が金属板に伝わりやすく、放熱性能が向上する。

* パナソニック電工四日市株式会社 Panasonic Electric Works Yokkaichi Co., Ltd.

** 電子材料本部 基板材料事業部 Advanced Laminates Division, Electronic Materials Business Unit

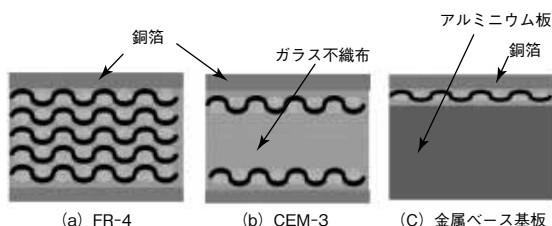


図1 代表的な基板の構成図

表1にガラス、エポキシ樹脂、代表的な無機充填材²⁾、および一般的なFR-4とCEM-3の熱伝導率を示す。無機充填材の熱伝導率はガラスやエポキシ樹脂より大きく、充填量を増やすことで全体の熱伝導率の向上が期待できる。

表1 各種材料の熱伝導率

材料		熱伝導率 (W/m·K)
ガラス	Eガラス	1.00
エポキシ樹脂	ビスA型	0.19
無機充填材	アルミナ	28.9
	長石	0.84~2.09
	ステアタイト	2.09
	フォステライト	3.35
	コーゼルライト	1.68~2.51
CEM-3	[R-1786]	0.45
FR-4	[R-1705]	0.38

筆者らは、このCEM-3のコンポジット構造と無機充填材に着目することによって、単に高熱伝導化というだけでなく、実際の電子回路基板加工や部品実装も考慮した高熱伝導性コンポジット銅張積層板「R-1787」を開発した。

開発した「R-1787」は、FR-4やCEM-3がもつドリル加工性、パンチング加工性、耐熱性に優れるという特性を維持しつつ1 W/m·Kを超える熱伝導率を有しており、これまでの金属ベース基板以外に新たな放熱対策の選択肢として期待される。

本稿では「R-1787」の加工性、耐熱性を含めた高熱伝導化の方法、および放熱性について報告する。

2. 高熱伝導化

2.1 開発目標

高熱伝導化にあたり、熱伝導率とともに加工性、耐熱性、信頼性に関する開発目標を以下に記す。

- (1) 熱伝導率が1 W/m·K以上であること。
- (2) 一般的な方法でドリル加工が可能なこと。
- (3) 鉛フリーはんだ実装が可能なこと。
- (4) 耐トラッキング性がCTI600を有すること。
- (5) 絶縁信頼性が十分であること。

なお、熱伝導率の目標は一般的なCEM-3やFR-4の2

倍以上の1 W/m·Kを目指す。

2.2 アプローチ

電子回路基板材料の熱伝導率を高めるには、樹脂、ガラス基材、無機充填材それぞれの熱伝導率を上げるか、熱伝導率が高い無機充填材の比率を増加させることが有効である。コストを考慮すると、安価な無機充填材の種類を選定し、添加比率を上げることが望ましい。熱伝導率が高い無機充填材としては、窒化アルミニウム、窒化ホウ素、ダイヤモンドが代表例として挙げられるが、これらの非酸化物の無機充填材はいずれも高価であり、汎用の電子回路基板材料には適さない。一方、表1にも示したように、アルミナは無機酸化物としてはもっとも高い熱伝導を有する物質に相当するが、モース硬度が9と非常に高くドリル加工性等を阻害することが予想されるため、通常はコンポジット銅張積層板の充填材としては用いられない。

今回、筆者らはアルミナの粒子径に着目し、約1 μmを下回る場合にはコンポジット構造を有する銅張積層板のドリル加工性にほとんど悪影響を及ぼさないことを見いだした。ただし、その充填量には制限がある。

また積層板成形時の樹脂流動性を低下させないためには、図2に示すように径の大きさが異なる複数のものを用いて無機充填材の量を増やすことがφ m理論として一般に知られている。

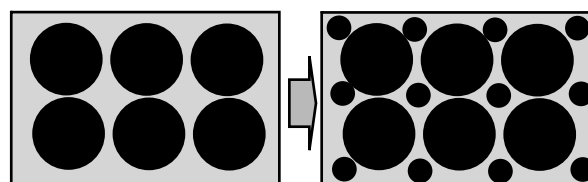


図2 高充填化設計の考え方

そこで、径の小さい無機充填材としてアルミナを主構成に、径の大きな無機充填材として水酸化アルミニウム、水酸化マグネシウム、タルク、クレイ、ペーマイト等を採用し、これらを組み合わせることで開発目標の達成を目指す。

エポキシ樹脂100体積部に対して無機充填材の合計が100体積部となるように検討した場合の評価結果を表2に示す。なお本データは、基材構成がCEM-3構成で板厚1 mmのサンプルを作製して行ったものである。なおドリル加工条件は、ドリルビット径0.6 mm、回転数60000 min⁻¹、送り速度0.035 mm/rev、重ね枚数3枚とした。

表2 無機充填材構成と主要特性

		配合 1	配合 2	配合 3	配合 4
無機充填材	アルミナ (4.0 μm)	0	30	0	0
	アルミナ (0.7 μm)	0	0	30	20
	無機酸化物 A (13 μm)	70	35	0	30
	無機酸化物 B (5.5 μm)	30	35	70	50
評価結果	熱伝導率 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	0.9	1.3	1.3	1.2
	260 $^{\circ}\text{C}$ はんだ耐熱性 (s)	70	180	180	180
	ドリル摩耗率 (%)	36	100	52	45

アルミナを用いない配合 1 は、熱伝導率が低く、はんだ耐熱性も十分ではないことがわかる。アルミナを併用すると熱伝導率は高くなるが、その粒子径が大きい配合 2 はドリル摩耗が顕著で実用的ではない。粒子径が 5.5 μm および 13 μm の無機酸化物と 0.7 μm のアルミナを組み合わせた配合 4 は、高熱伝導性を備え、ドリル加工性と耐熱性に優れたコンポジット銅張積層板として採用可能である。

3. 高熱伝導性コンポジット銅張積層板の特性

前章の配合 4 をベースに開発した「R-1787」と、当社一般 CEM-3 および FR-4 の特性を表 3 に示す。評価は板厚 1.6 mm、銅箔 35 μm の両面板で行った。

「R-1787」の熱伝導率は FR-4 の約 3 倍の値を示しているが、その効果である電子部品や導体の温度低減については次章で説明する。はんだ耐熱性や T_g は CEM-3 や FR-4 と同等であり、鉛フリーはんだ実装が可能であることを示している。耐トラッキング性も IEC 法で CTI600 を示し、高い絶縁信頼性を有している。また、厚み方向の熱膨張率が他に比べて小さい値を示しており、スルーホール信頼性が約 2 倍になることが確認されている。特筆すべきは、アルミナ粒子を用いながらもドリル加工性が良いことであり、それは CEM-3 や FR-4 に匹敵するレベルである(表 4)。

以上のように「R-1787」は、1 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ を超える高い熱伝導率を示しながらも高い信頼性を有しており、当社一般 CEM-3 および FR-4 と同等の条件ではんだ実装やドリル加工が可能である。

表3 「R-1787」・CEM-3・FR-4の基板特性

試験項目	測定方法	測定条件	単位	開発品「R-1787」	当社一般 CEM-3	当社一般 FR-4
熱伝導率	Laserflash	常態	$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$	1.1	0.45	0.38
絶縁抵抗	JIS C 6481	常態	$\text{M}\Omega$	5E+08	5E+08	1E+08
耐トラッキング性	IEC 法	常態	—	600	600	200
比誘電率	JIS C 6481	1 MHz	—	5.1	4.5	4.7
誘電正接	JIS C 6481	1 MHz	—	0.016	0.015	0.015
はんだ耐熱性	JIS C 6481	260 $^{\circ}\text{C}$	s	120 以上	120 以上	120 以上
T_g	TMA	—	$^{\circ}\text{C}$	140	140	140
熱膨張率 (厚み方向)	TMA	室温 $\sim T_g$	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	50	65	65

表4 ドリル摩耗性評価結果

		ドリル摩耗率 (%)		
		2000 hit	4000 hit	6000 hit
開発品「R-1787」		38	48	53
当社一般 CEM-3		27	38	45
当社一般 FR-4		39	49	54
加工条件	ドリル径 回転数 送り速度 重ね枚数	0.6 mm 60000 min^{-1} 0.035 mm/rev. 3 枚 (1.6 mm)		

4. 高熱伝導コンポジット材の効果

4.1 LED実装時の温度低減

消費電力 1 W レベルの LED パッケージを開発品「R-1787」と当社一般 FR-4 に実装し、LED 直下の基板温度と LED の表面温度を測定した。なお、測定条件は以下のとおりである。

- (1) 実装した LED パッケージ
「SPE-HCW1-F」(Ningbo Emitter Electron 製)
- (2) 評価サンプル
 - (a) FR-4 : 板厚 1.6 mm, 銅箔 35 μm 片面
 - (b) 「R-1787」: 板厚 1.6 mm, 銅箔 35 μm 片面
 - (c) 「R-1787」: 板厚 1.6 mm, 銅箔 35 μm 両面
- (3) 温度測定方法

LED 直下の基板温度 : 熱電対

LED 表面温度 : サーモグラフィ

図 3 に LED 直下の基板温度、および LED 表面温度の測定結果を示す。なお、雰囲気温度は 30 $^{\circ}\text{C}$ で測定を行った。FR-4 を用いた (a) の場合、LED 直下の基板温度は 70 $^{\circ}\text{C}$ 以上に、LED 表面温度は 90 $^{\circ}\text{C}$ 以上となった。同条件で基板だけを「R-1787」に変更した (b) では、LED の表面温度は 10 $^{\circ}\text{C}$ 以上、LED 直下の基板温度は 14 $^{\circ}\text{C}$ (a) より低下することがわかった。「R-1787」の裏側にも銅箔を配した (c) ではさらに効果が高まり、温度は (a) に比べてともに約 30 $^{\circ}\text{C}$ 低下することが確認された。

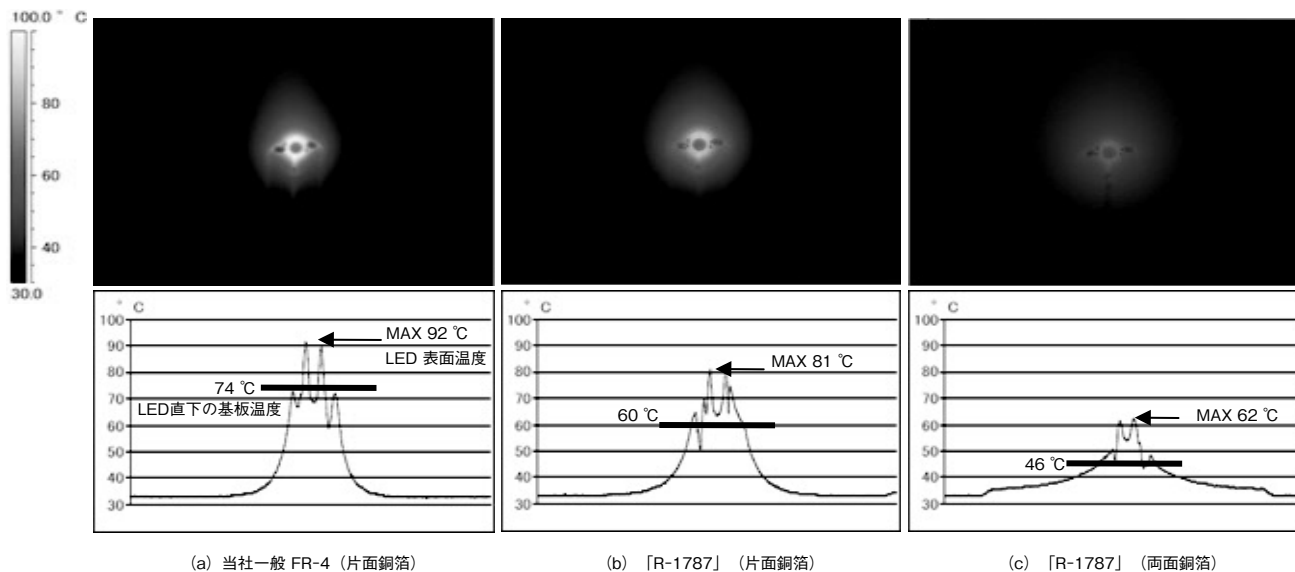


図3 LED表面温度およびLED直下の基板温度

4.2 通電時の導体温度低減

電子回路基板材料の熱伝導率の向上が通電時の導体温度上昇抑制に及ぼす効果を調べるため、当社一般FR-4との比較評価を行った。測定方法は以下のとおりである。

(1) 評価用導体回路

図4に示す回路パターンを表面に形成し、裏面は銅箔を全面除去したものを使用する。

(2) 測定方法

安定化電源装置を用い、図4のA-B間にDC 100 V, 5 Aを印加し、回路表面温度を熱電対で測定する。なお、雰囲気温度は25 °Cとする。

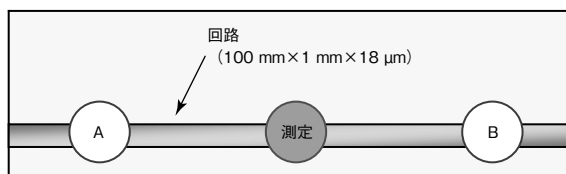
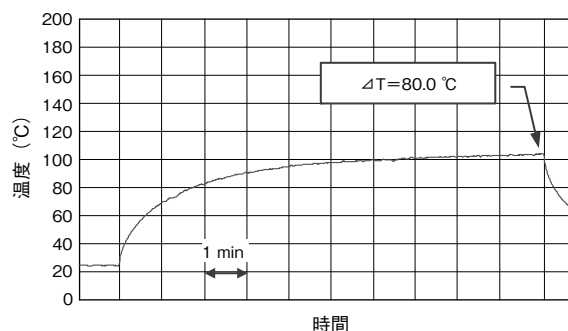
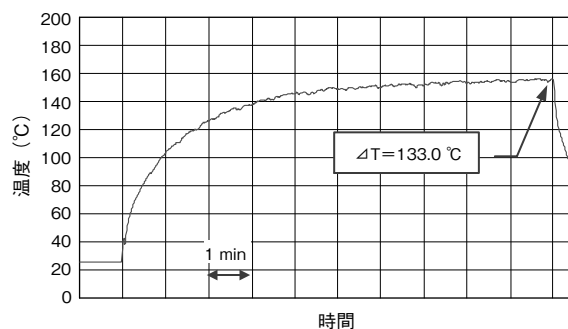


図4 導体温度測定用パターン回路

図5に、熱伝導率が1.1 W/m・Kの開発品「R-1787」と0.38 W/m・Kの当社一般FR-4との導体温度上昇結果を示す。電子回路基板材料の熱伝導率が高くなると、導体温度上昇が抑制されることが確認された。本条件下では基板の熱伝導率を約3倍にすることで、導体の温度上昇は約2/3に抑制される結果となった。



(a) 開発品「R-1787」



(b) 当社一般 FR-4

図5 導体温度上昇結果

5. あとがき

電子回路基板に実装される部品からの発熱を効率良く放熱するため、ガラスコンポジット基板材料に粒径の異なる数種の無機酸化物を分散させて高充填化を図り、熱伝導率が高く、加工性と耐熱性に優れた銅張積層板を実現した。

開発品を使用した銅張積層板の熱伝導率は1 W/m・K以上を有し、実装された発熱部品の温度上昇は従来の一般的なガラスエポキシ銅張積層板を用いる場合の約2/3と

なることが確認できた。また、無機酸化物の高充填化にもかかわらず、加工性においても従来品同等のドリル摩耗率を確保できた。

これにより、高熱伝導性コンポジット基板材料は放熱対策の新たな選択肢として今後の普及が期待される。

*参考文献

- 1) 三輪 晃嗣：表面実装技術，日刊工業新聞社，Vol. 4, No. 6, p. 34-35 (1994)
- 2) 一ノ瀬 昇，塩崎 忠：エレクトロセラミックス，技報堂出版，p. 38 (1984)

◆執筆者紹介



野末 明義

パナソニック電工四日市



鈴江 隆之

基板材料事業部