



Title	銅モリブデン複合材料を用いた高放熱低熱膨張基板の開発
Author(s)	伊藤, 洋平; 高西, 謙二郎; 坂本, 竜也 他
Citation	電気材料技術雑誌. 2024, 33(1), p. 47–52
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/99608
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

銅モリブデン複合材料を用いた高放熱低熱膨張基板の開発

伊藤 洋平、高西 謙二郎、坂本 竜也、藤原 啓輔、新井 等

三菱電機株式会社
〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1

Development of high heat dissipation and low thermal expansion printed circuit boards using Cu-Mo composites

Yohei ITO, Kenjiro TAKANISHI, Tatsuya SAKAMOTO, Keisuke FUJIWARA, Hitoshi ARAI

Mitsubishi Electric Corporation
8-1-1 Tsukaguchi-honmachi, Amagasaki-shi, Hyogo, 661-8661, JAPAN

In recent years, there has been a strong demand for electronic devices to be smaller, lighter, and more powerful. As a result, mounted components have become smaller, more powerful, and denser, and the heat generation density on printed circuit boards (PCBs) has increased. Since a rise in component temperature can lead to failure, efficient heat removal has become an urgent issue. Since general PCBs have low thermal conductivity, when high heat dissipation is required, methods to increase the thermal conductivity of PCBs have been employed by increasing the copper (Cu) content in the PCB or by placing an aluminum (Al) alloy in the inner layer. However, while Cu and Al have high thermal conductivity, they also have high coefficients of thermal expansion (CTE) and Young's modulus, and the CTE of a PCB with increased thermal conductivity using these materials is high. If the thermal expansion difference between the PCB and mounted components is large, it can compromise the reliability against heat cycles. Thus, it is difficult to achieve both heat dissipation and low thermal expansion in current PCBs. Therefore, we have focused on copper-molybdenum (Cu-Mo) composite materials with high thermal conductivity, high elastic modulus, and low thermal expansion, and are developing PCBs using these materials. We have fabricated multilayer PCBs with an inner layer of Cu-Mo composite. We report on the thermal characterization of prototype PCBs.

キーワード：プリント基板、熱伝導率、熱膨張率、銅モリブデン複合材料

1. はじめに

近年の電子機器は、小型化、軽量化、それに加えて機器の高性能化が求められている。これらの要求に対応するために、高速処理、高出力部品の採用、部品実装の高密度化が進められている。高出力部品の適用や、部品密度の上昇は、その部品

や付近の発熱密度を増大させ、実装部品の温度が上昇することになる。部品温度の上昇は、部品の動作の不安定化や誤作動、故障を引き起こす原因となるため、発生する熱を効率的に取り除く必要があり、放熱対策が喫緊の課題となっている。

プリント基板上の実装部品で発生する熱は、実

装部品から周囲空気への対流、プリント基板へ、さらに筐体への伝導、実装部品から筐体等の周囲環境への輻射により輸送される。一般的に、電子機器の冷却は、対流を利用した方法で行われることが多く、実装部品にヒートシンクを取り付けた自然空冷、ファンの送風による強制空冷、冷却液を配管で循環させる液冷などが行われている。

これらの方針とは異なり、実装部品からプリント基板への熱伝導経路に着目し、プリント基板の熱伝導率を向上させ、プリント基板からの熱伝導によって部品から効率的に放熱する方法を検討している。

ここで、従来から用いられているプリント基板の特性の比較を行う。表1に、従来のプリント基板で用いられる材料の特性、熱伝導率、熱膨張率、ヤング率を示す。汎用的なプリント基板として、ガラスエポキシ基板が広く適用されている。このプリント基板に使用される材料の熱伝導率が低いため、ガラスエポキシ基板の熱伝導率は低い。ガラスエポキシ基板の熱伝導率を高めるために、基板に残留する銅の量を増加させる方法をとることが可能であり、銅の熱伝導率が高いため、プリント基板全体の熱伝導率は高くなる。しかし、銅の熱膨張率は高いこと、また、ヤング率も高いことから、プリント基板全体の熱膨張率は高くなる。

ここで、プリント基板の熱膨張率について考える。プリント基板のような積層体の熱膨張率は式(1)で求められる¹⁾。

$$\alpha_s = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i V_{fi} E_i}{\sum_{i=1}^n V_{fi} E_i} \quad (1)$$

ここで、 α は熱膨張率、 V_f は体積分率、 E はヤング率、添え字の s は基板全体、 i は材料 i であるこ

とを示す。式(1)から分かるように、プリント基板のような積層体の熱膨張率は、ヤング率の大きな材料に依存する。

低熱膨張率の基板材料を用いる方法も考えられるが、この表1で示すように、この基板材料のヤング率は低いため、低熱膨張の効果は得られにくい。そのため、低熱膨張率の基板材料だけでは、プリント基板全体の低熱膨張率化には限界がある。

周囲環境の温度変化や実装部品の発熱により、プリント基板と実装部品は温度変化にさらされる。プリント基板と実装部品の熱膨張差により、その接合部に熱応力が発生する。温度変化により接合部に繰り返し熱応力が加わり、その応力が大きいほど接合部の破壊までの時間が短くなる。プリント基板と部品の熱膨張の差を小さくすることが熱応力の低減となり、実装の信頼性が向上することになる。したがって、プリント基板と実装部品の熱膨張率を近づけることも重要である。

Al コア基板は基板内層にアルミニウムを挿入した基板であり、高放熱な基板として知られている。アルミニウムの熱伝導率が高いため、プリント基板全体の熱伝導率が高くなる。しかしながら、アルミニウムの熱膨張率が高いため、プリント基板全体の熱膨張率が高くなる。

低熱膨張な基板として、CIC 基板がある。この基板は Cu とインバーの積層体 (CIC) を基板の内層に挿入した基板である。インバーは熱膨張率が非常に低く、また、ヤング率が高いため、基板全体の熱膨張率を低くすることが可能である。しかし、インバーの熱伝導率が低いため、基板の放熱性を確保することが困難である。このように従来のプリント基板では放熱性と部品実装信頼性の両

表1 従来のプリント基板で用いられる材料の特性

Table 1 Properties of materials used in conventional printed circuit boards.

材料	熱伝導率(W/mK)	熱膨張率($10^{-6}/\text{K}$)	ヤング率(GPa)
基板材料	0.4	12-16	20
低熱膨張基板材料	0.4	4-6	30
Cu	390	17	120
Al	240	24	80
Invar	13	1.2	145

立が困難である。

そこで、放熱性と部品実装信頼性の両立が可能なプリント基板の実現に向けて、高熱伝導率かつ低熱膨張率である銅モリブデン複合材料に着目し、これを適用したプリント基板の開発に取り組んでいる。

本稿では、銅モリブデン複合材料を適用した多層基板の実現可能性を確認するため、銅モリブデン複合材料を基板の内層に配置したプリント基板を試作し、その性能を評価した結果について報告する。

2. 材料選定

プリント基板製造プロセスとの整合性を考え、銅をベースとした複合材料である、銅モリブデン複合材料に着目した。銅モリブデン複合材料はモリブデンの含有率を変化させることで、物性を調整することが可能であり、高い熱伝導率と低い熱膨張率を実現できる材料である。表 2 に銅モリブデン複合材料と比較のため銅およびモリブデンの物性を示す。この表から、銅モリブデン複合材料

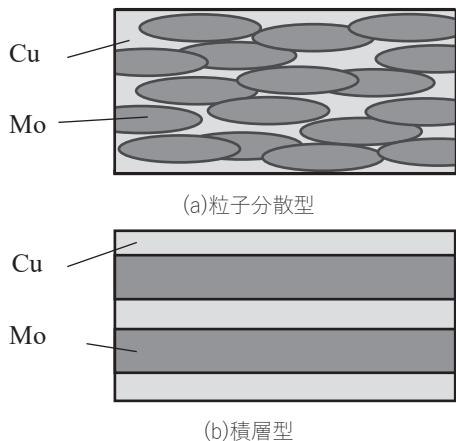


図 1 銅モリブデン複合材料の構造模式図

Fig. 1 Structural schematic of copper-molybdenum composite.

はヤング率も高く、基板全体の低熱膨張化に期待が持てる材料であることが分かる。銅モリブデン複合材料には、モリブデン粒子が銅中に分散した粒子分散型と、モリブデン箔と銅箔が積層された積層型が存在する。図 1 に銅モリブデン複合材料の構造模式図を示す。同一のモリブデン含有量では、積層型が低熱膨張率であることが報告されている²⁾。従って、放熱性と低熱膨張性を両立させようとする場合、積層型のほうが有利である。プリント基板の熱伝導率および熱膨張率を比較するため、粒子分散型銅モリブデン複合材料、積層型銅モリブデン複合材料、および同様の構成で銅モリブデン複合材料を銅に置き換えたプリント基板を試作した。それぞれ、粒子分散型銅モリブデン基板、積層型銅モリブデン基板、銅基板と呼ぶこととする。

試作したプリント基板の層構成を図 2 に示す。図 2 で示すように、試作したプリント基板は、粒子分散型銅モリブデン複合材料、積層型銅モリブデン複合材料、または銅、および基板材料（プリプレグ、コア材）を積層した構成である。それぞれの入手性を考慮するとともに、試作したプリント基板の熱膨張率が汎用のプリント基板よりも小さくなるよう

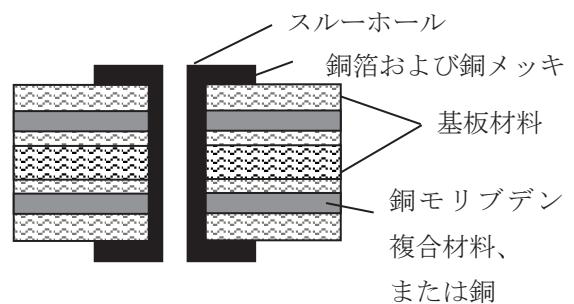


図 2 試作プリント基板の層構成

Fig. 2 Layered structure of prototype PCB.

表 2 銅モリブデン複合材料および関連材料の物性

Table 2 Physical Properties of Copper-Molybdenum Composites and Related Materials.

材料	熱伝導率(W/mK)	熱膨張率($10^{-6}/\text{K}$)	ヤング率(GPa)
Cu	398	17.1	120
Mo	142	5.2	320
CuMo 複合材料 (粒子分散型、Mo 60 vol%)	220	8.8	210

に、粒子分散型銅モリブデン複合材料、積層型銅モリブデン複合材料の厚みを設定した。

3. プリント基板の性能評価

銅モリブデン複合材料を適用したプリント基板の性能を評価するため、熱伝導率および熱膨張率を測定した。

3. 1. 热伝導率測定

図3に熱伝導率測定の概略を示す。試作したプリント基板に対して温度勾配を作ることで熱伝導率を測定する。試作プリント基板の中央部にヒータを配置し、試作プリント基板の両端部を銅プロックに接続する。銅プロックはヒートシンクに接続される。

ヒーターを用いて、基板中央部を加熱し、試作プリント基板に温度勾配を与える。試作プリント基板の表面に複数の熱電対を配置し、それらで温度を計測し、温度勾配を求める。測定は真空チャンバー内で行う。

一次元熱伝導を仮定し、ヒーターに与えた電力と求めた温度勾配から、式で示すフーリエの法則を用いて熱伝導率を算出する。

$$q = \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

ここで q は熱流束、 $\partial T / \partial x$ は温度勾配である。熱流束 q は電源から供給される電力 Q がすべてヒータに供給され、さらに試験片中央から両端

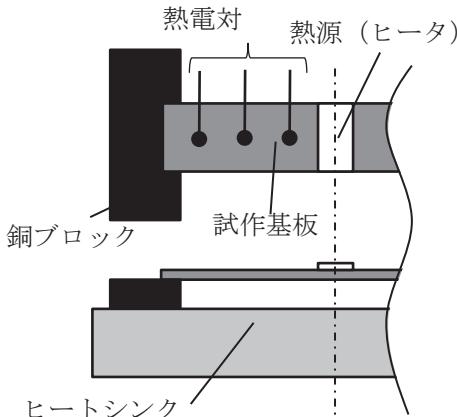


図3 热伝導測定概略図

Fig. 3 Schematic of thermal conduction measurement.

に向けて対称に熱が輸送されると仮定し、式(3)を用いて計算した。

$$q = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

ここで A は試験片の熱通過断面積であり、試験片の幅および厚みから計算した。温度勾配 $\partial T / \partial x$ は、ヒータの端部から 5 mm の位置から 10 mm 間隔で配置した 3 本の熱電対で測定した温度から算出した。電力 Q は、直流安定化電源の印加電圧 V および電流計で測定される電流 I から計算した。

得られた熱伝導率測定結果を表3に示す。粒子分散型銅モリブデン基板の熱伝導率は 40.4 W/mK、積層型銅モリブデン基板の熱伝導率は 34.6 W/mK、銅基板の熱伝導率は 56.9 W/mK であった。

粒子分散銅モリブデン基板の熱伝導率は銅基板と比較して 70%程度、積層型銅モリブデン基板は 60%程度であることが確かめられた。

3. 2. 热膨張率測定

熱膨張率の測定には、熱機械分析装置 (Thermo-mechanical analyzer、TMA) を用いた。試験片のサイズは 5 mm × 5 mm とし、各試作基板から切り出した。基板面内方向の熱膨張率を測定した。熱膨張率は式(4)を用いて計算する。

表3 試作基板の熱伝導率

Table 3 Thermal conductivities of prototype PCBs.

	熱伝導率 (W/mK)
粒子分散型銅モリブデン基板	40.4
積層型銅モリブデン基板	34.6
銅基板	56.9

表4 試作基板の熱膨張率

Table 4 Coefficients of thermal expansion of prototype PCBs.

	熱膨張率 (×10 ⁻⁶ /K)
粒子分散型銅モリブデン基板	11.4
積層型銅モリブデン基板	11.4
銅基板	16.4

$$\alpha = \frac{1}{l} \frac{\Delta l}{\Delta T} \quad (4)$$

ここで、 l は試験片の長さ、 Δl は試験片の長さ変化量、 ΔT は温度変化量である。

得られた熱膨張率を表 4 に示す。粒子分散型銅モリブデン基板の熱膨張率は $11.4 \times 10^{-6}/\text{K}$ 、積層型銅モリブデン基板の熱膨張率は $11.4 \times 10^{-6}/\text{K}$ 、銅基板の熱膨張率は $16.4 \times 10^{-6}/\text{K}$ であった。プリント基板を構成する材料のうち、弾性率の高い銅モリブデンまたは銅の熱膨張率に近く、基板の熱膨張率はこれらの材料の熱膨張率に強く依存していることが分かる。

また、粒子分散型銅モリブデン基板、積層型銅モリブデン基板のいずれの熱膨張率も、汎用的なプリント基板 ($16 \times 10^{-6}/\text{K}$ 程度) よりもセラミックス部品に近い熱膨張率（例えばアルミナの場合 $7 \times 10^{-6}/\text{K}$ 程度）であり、汎用的なプリント基板よりも高い部品実装信頼性が期待できる。

4.まとめ

プリント基板の放熱性と実装信頼性の両立を実現するために、高い熱伝導率と低い熱膨張率を有する銅モリブデン複合材料のプリント基板への適用を検討している。銅モリブデン複合材料を用いた多層プリント配線板の実現可能性を確認するため、粒子分散型銅モリブデン複合材料と積層型銅モリブデン複合材料を内層に配置した多層プリント配線板を試作し、熱伝導率と熱膨張係数を測定した。得られた結果を以下に示す。

- 銅モリブデン複合材料を適用した基板の熱伝導率は、同様の構成で銅モリブデン複合材料を銅に置き換えた基板の 60~70%程度の熱伝導率を確保することが可能である。
- 銅モリブデン複合材料を適用した基板の熱膨張率は $11.4 \times 10^{-6}/\text{K}$ であり、汎用基板よりもセラミックス部品の熱膨張率に近く、汎用基板よりも高い部品実装信頼性が期待できる。
- 開発した銅モリブデン基板は、熱膨張率を汎用基板に対して 30%低減しつつ、熱伝導率は銅を配置した基板の 60~70%を確保するこ

とが可能であり、低熱膨張と高放熱の両立が可能である。

参考文献

- 1) 中山肇、河添宏、塩田茂男、中尾正博、清水彰、多層配線板における熱膨張係数の設計、サーキットテクノロジー、8 [3] (1993) 201-208.
- 2) 有川 正、市田 晃、竹越 栄俊、銅-モリブデン系複合材料の機械的特性、J. Soc. Mat. Sci. Japan, 48 [3] (1999) 295-300.

(2024 年 5 月 31 日 受理)

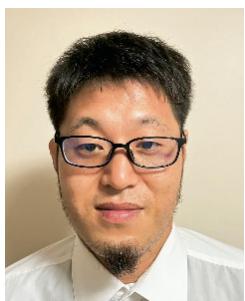
著者略歴

伊藤 洋平



九州大学大学院工学府航空宇宙工学専攻博士課程修了。三菱電機株式会社にて複合材料製品適用開発、プリント基板開発に従事。専門分野は複合材料、伝熱工学。

高西 謙二郎



横浜国立大学大学院工学物理情報工学専攻電気電子ネットワークコース修士課程修了。三菱電機株式会社にてプリント基板開発、設計に従事。

坂本 竜也



佐賀大学大学院工学系研究科電気電子工学専攻修士課程修了。三菱電機株式会社にてプリント基板開発に従事。



藤原 啓輔

早稲田大学大学院理工学研究科
機械工学専攻修士課程修了。三菱
電機株式会社にて、高周波回路並
びにプリント基板の設計・開発に
従事。



新井 等

工学院大学機械工学専攻修士課
程修了。旧金属材料技術研究所
木村啓造先生・鈴木敏之先生に
師事。三菱電機㈱にてプリント
基板・電子部品及び実装技術を
専門とし、設計・開発に従事。