

Title	低熱膨張・高熱伝導回路基板
Author(s)	鮫島, 壮平; 佐藤, 貞夫; 井上, 淳史 他
Citation	電気材料技術雑誌. 2010, 19, p. 12-18
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/76855">https://hdl.handle.net/11094/76855</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 低熱膨張・高熱伝導回路基板

鮫島 壮平<sup>1)</sup>、佐藤 貞夫<sup>2)</sup>、井上 淳史<sup>3)</sup>、鈴木 顕太郎<sup>3)</sup>、大須賀 弘行<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1

<sup>2)</sup>通菱テクニカ株式会社 〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1

<sup>3)</sup>三菱電機株式会社 鎌倉製作所 〒247-8520 神奈川県鎌倉市上町屋 325

衛星用電源の小型・軽量化を実現する1つの手法として、高出力の大型セラミック部品を基板に直接表面実装することが有効である。そのためには、高放熱性と低熱膨張性を有する基板が必要である。しかし、一般的なガラスエポキシ基板では、放熱性が不足し、高放熱基板として知られているアルミコア基板では、熱サイクルによってはんだ接合部分が断線するという問題がある。そこで、低熱膨張・高熱伝導のCFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics,カーボン繊維強化プラスチック)をコア材に用いた基板の開発を検討した。作製したCFRP コア基板の放熱性と部品実装信頼性を測定した結果、従来基板よりも優れた特性を有することを確認した。

キーワード：カーボン繊維強化プラスチック、プリント配線板、部品実装信頼性、放熱性

### Low Thermal Expansion and High Heat Dissipation Printed Wiring Boards

Sohei SAMEJIMA<sup>1)</sup>, Sadao SATO<sup>2)</sup>, Atsushi INOUE<sup>3)</sup>, Kentaro SUZUKI<sup>3)</sup>,  
Hiroyuki OSUGA<sup>3)</sup>

1) Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

8-1-1, Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo 661-8661, Japan

2) Tsuryo Technica Corporation

8-1-1, Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo 661-8661, Japan

3) Kamakura works, Mitsubishi Electric Corporation

325, Kamimachiya, kamakura, kanagawa 247-8520, Japan

It is important to find ways to reduce the size and weight of satellite power supplies. This goal requires the development of surface mounting technology, in which the devices supply high power while using large-scale ceramic packages. The technology has been developed to make printed wiring boards (PWBs) with high heat dissipation and low thermal expansion. However, conventional glass-epoxy and aluminum core PWBs do not provide enough high heat dissipation and low thermal expansion to develop reliable PWBs. In this study, therefore we attempted to develop a new type of core PWB by utilizing Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP) in order to overcome the above problems. It has been confirmed that the CFRP core PWB developed shows higher heat dissipation and lower thermal expansion than the conventional PWBs.

Keywords: Carbon Fiber Reinforced Plastics, Printed Wiring Boards, Surface mount reliability,  
Heat dissipation ability

## 1. はじめに

近年、電子機器の小型軽量化、高性能化に伴い、電子部品の高出力化、高密度実装化が急速に進んでいる。そのため、部品から発生した熱の実装部への集中を回避できる高放熱のプリント配線板が望まれている。特に、宇宙環境で使用される基板は、大気対流がないため、高放熱基板に対する要求が強い。たとえば、人工衛星の軌道制御に用いられる電気推進器では、以下のような課題がある。

電気推進器の電源には、高出力トランジスタなどの高発熱の大型セラミック部品が使用されている。しかし、一般的なガラスエポキシ基板では、ガラスエポキシ基材の熱伝導率が  $0.3 \text{ W(m}^{-1}\text{K}^{-1})$  と低く、放熱性は残銅率に依存することになる。しかしながら、銅配線のみでは熱伝導率向上は限界があり、部品温度の上昇を招き、動作安定性が得られない。ここで、残銅率とは、パターンニング時に基板上に残った銅箔（配線）の割合を示す。

一方、高放熱基板として知られているアルミコア基板では、アルミ合金の熱膨張率が、 $24 \text{ ppm/K}$  とセラミック部品の熱膨張率である約  $7 \text{ ppm/K}$  に比べて大きい。熱サイクルなどによって部品と基板とのほんだ接合部分で亀裂、断線するという問題があった。

そのため、図1に示すように、これら大型セラミック部品は、筐体に固定され、ワイヤーハーネスによって基板に接続されてきた。

このように、放熱性と大型セラミック部品の実装信頼性を両立できる基板がなく、従来の実装方法では、衛星用電源の小型軽量化、高性能化に限界があった。

一般の電子機器と同様に、これらの部品を基板に表面実装し、衛星用電源の小型軽量化を実現するためには、低熱膨張でかつ高放熱性の基板が必要不可欠である。カーボン繊維強化プラスチック（CFRP：Carbon Fiber Reinforced Plastics）は低熱膨張で、かつ高熱伝導を有することが知られており<sup>(1)</sup>、CFRPをコア材に用いた基板も検討されている<sup>(2)</sup>。

しかしながら、アルミコア基板の製造プロセスでCFRPコア基板を製造すると、CFRPコア特有

の課題があることが分かった<sup>(3)</sup>。本稿では、その課題を解決するCFRPコア基板の製造プロセスについて述べ、得られた基板の放熱性と部品実装信頼性について報告する。

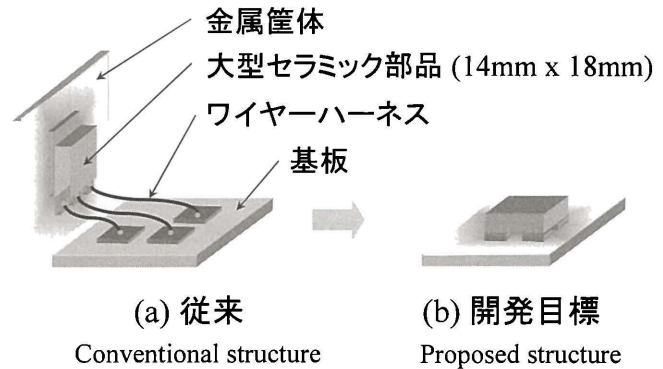


図1 衛星用電源における大型セラミック部品の実装構造

Fig. 1 (a) Conventional and (b) proposed mounting structures for satellite power supplies.

## 2. CFRPの利点と課題

CFRPは、カーボン繊維と熱硬化性樹脂からなる複合材料であり、カーボン繊維は、大別するとピッチ系とPAN（ポリアクリロニトリル）系に分類される。カーボン繊維の熱膨張率は、ピッチ系、PAN系ともに $\pm 2 \text{ ppm/K}$ 程度と低い。また、カーボン繊維の熱伝導率は、ピッチ系繊維の方がPAN系繊維に比べて高く、 $500 \text{ W(m}^{-1}\text{K}^{-1})$ 以上の特性を有するものがある。高熱伝導のピッチ系繊維からなるCFRPをコア材に用いて基板を作製できれば、放熱性と大型セラミック部品の実装信頼性を両立でき、衛星用電源の小型軽量化に貢献できる可能性がある。

しかし、CFRPは基板製造プロセス上で、以下の2つの大きな課題があった。ひとつは、穴あけ、切断時に生じる導電性のカーボン粉が、配線間や層間に混入し、絶縁信頼性が低下することである。もうひとつは、CFRPは、銅箔や絶縁基材に比べて、より低熱膨張であるため、積層や熱サイクルによって応力が発生しクラックや剥離を生じることである。すなわち、CFRPをコア材として適用することで、大型セラミック部品の実装信頼性は

向上するが、基板の加工性、信頼性が低下するという課題があった。

### 3. CFRP コア基板製造プロセスの概要

上記課題を解決するため、新たに基板構造、構成材料、製造プロセスの開発を行った。図 2 に CFRP コア基板の製造プロセスを示す。

まず、高熱伝導のカーボン繊維織物と熱硬化性樹脂からなる半硬化状態のプリプレグを準備した。次に、プリプレグの両面に銅箔を配置して積層することで、両面銅張 CFRP 板を得た。次に、両面銅張 CFRP 板に 1 次貫通穴を形成した。

このとき、カーボン繊維が露出するため、穴壁面からカーボン粉が発生する。そこで、カーボン粉の飛散を防止するため、銅めっきにより穴壁面を被覆した。

続いて、不要な銅を除去するため、パターニングを行った。その結果、基板重量増加を抑制すること、さらに銅と CFRP の熱膨張率差によって発生する応力を緩和することが可能となる。パターニング後の CFRP 表面は、銅箔と接着していた樹脂で覆われているため、カーボン繊維は露出しておらず、この部分からカーボン粉は発生することはない。

次に、半硬化のアルミナ含有エポキシ樹脂シート、ガラスエポキシプリプレグを重ねて、真空プレスにより加熱硬化した。このとき、CFRP コアに形成した 1 次貫通穴は、アルミナ含有エポキシ樹脂 (30 ppm/K、 $3.0 \text{ W}(\text{m}^{-1}\text{K}^{-1})$ ) で充填されるため、通常のエポキシ樹脂 (60 ppm/K、 $0.2 \text{ W}(\text{m}^{-1}\text{K}^{-1})$ ) を充填したときに比べて、貫通スルーホールめっきと CFRP コアの熱膨張率差に起因する応力の緩和と貫通スルーホールめっきから CFRP コアへの良熱伝導化が実現できる。

続いて、1 次貫通穴の同軸上により小径の 2 次貫通穴を形成し、銅めっき、パターニングを行った後に、ソルダーレジスト形成、はんだ浸漬、外形加工を行った。

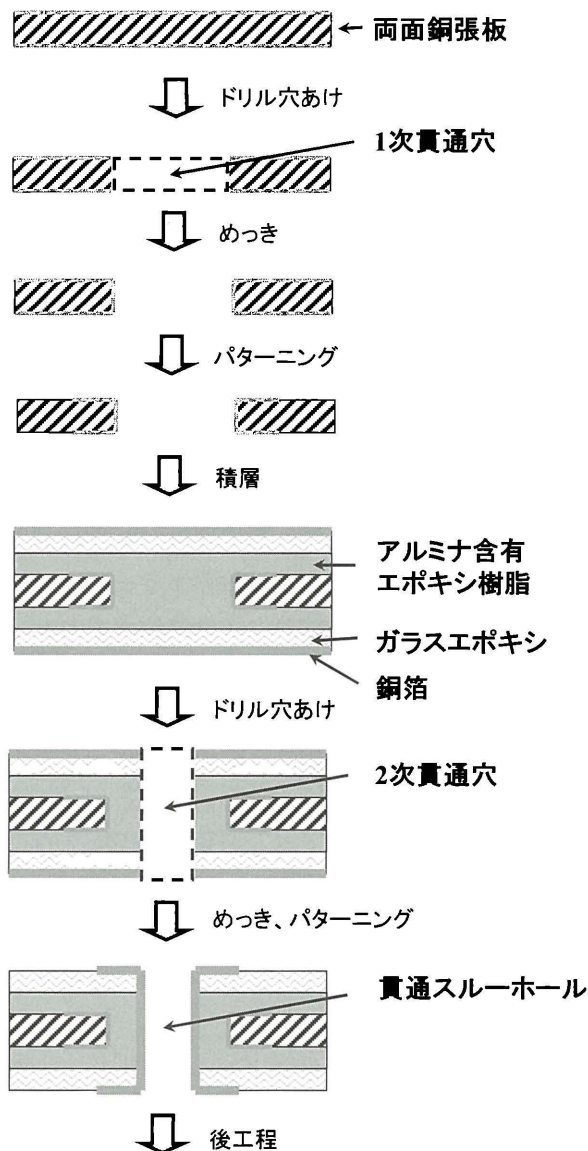


図 2 CFRP コア基板の製造プロセス  
(断面模式図)

Fig. 2 Schematic representation proposed process flow.  
 Each step is depicted in cross-sectional view.

基板は定尺のワークサイズと呼ばれる大きさと製造され、後工程の外形加工によって製品サイズに分離される。従って、ワーク全面に存在する CFRP が製品分離後、基板側面に露出する。そのため、カーボン粉が配線間や他基板に付着する恐れが生じる。

そこで、図 3 に示すように、製品外形部が 1 次貫通穴と 2 次貫通穴の長穴で構成されるように、重ねて形成し、長穴の中央を外形加工した。外形



加工後の基板側面は、1次貫通穴が存在した部分は、アルミナ含有エポキシ樹脂があり、2次貫通穴の存在した部分は、銅めっきがあるため、外形加工後もカーボン繊維の露出が防止可能となる。

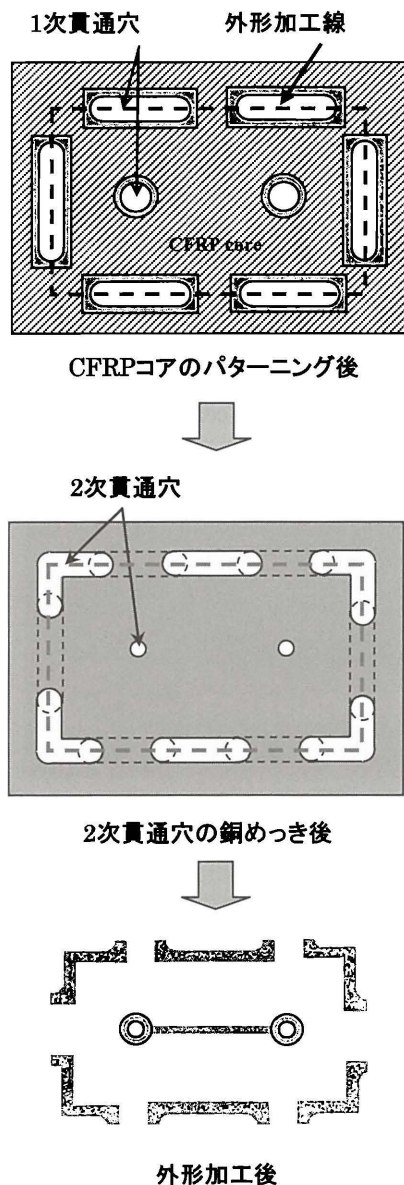


図3 CFRP コアが基板側面に露出しないための製造プロセス上の工夫（上面模式図）  
Fig. 3 Position relation of First and Second through holes.

4. CFRP コア基板の特性  
4.1 基板外観及び断面

図4 に作製した CFRP コア 4 層板の外観を、図5 にその断面を示す。基板側面にカーボン繊維は

露出しておらず、アルミナ含有エポキシ樹脂もしくは、はんだによって被覆されている。1次貫通穴の壁面は銅めっきにより被覆されており、CFRP コアと貫通スルーホールは、アルミナ含有エポキシ樹脂により絶縁されている。これにより、すべての貫通スルーホールにて、250V で 65MΩ 以上を達成し、従来に比べて優れた絶縁性が得られることが確認できた。

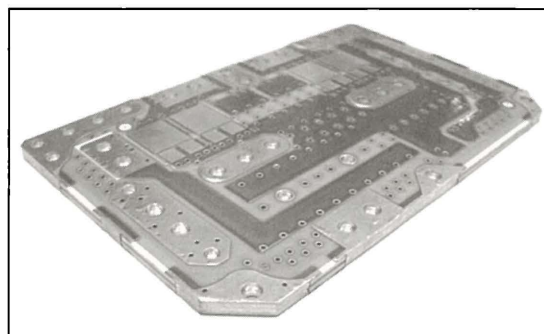


図4. CFRP コア基板外観  
Fig. 4 CFRP core PWB developed.

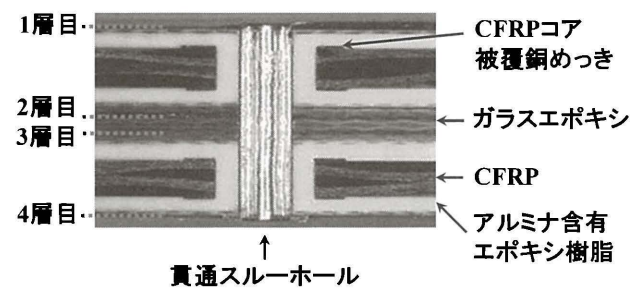


図5. CFRP コア基板断面  
Fig. 5 Cross-sectional view of CFRP core PWB developed.

4.2 熱膨張率と熱伝導率

表1 に CFRP コア基板の熱膨張率を、表2 に熱伝導率を示す。CFRP コア基板の熱膨張率、熱伝導率は、残銅率に依存するため、全層銅なしの場合と全層銅ありの場合にて測定を行った。

30~100℃における CFRP コア基板の面内熱膨張率は、2.1~9.3ppm/K とセラミック部品の熱膨張率である約 7 ppm/K に近い値を示した。

一方、面外熱膨張率は、通常のガラスエポキシ基板に比べて、約 34ppm/K と低い値を示した。

また、CFRP コア基板の面内熱伝導率は、48

$W(m^{-1}K^{-1})$ 以上と銅配線が存在しない場合でも高い値を示すことが確認された。なお、熱伝導率測定では、 $500 W(m^{-1}K^{-1})$ のピッチ系カーボン繊維からなるCFRPをコア材に用いた。

表1 CFRP コア基板の熱膨張率

Table 1 CTE of the CFRP core PWB.

温度範囲	面内熱膨張率		面外熱膨張率	
	銅なし	銅あり	銅なし	銅あり
30~100°C	2.1	9.3	34.3	34.9
100~200°C	6.8	14.6	112.1	94

単位：ppm/K

表2 CFRP コア基板の熱伝導率

Table 2 Thermal conductivity of the CFRP core PWB.

	面内熱伝導率	面外熱伝導率
銅なし	48	0.8
銅あり	---	1.1

単位：W (m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)

#### 4.3 基板信頼性

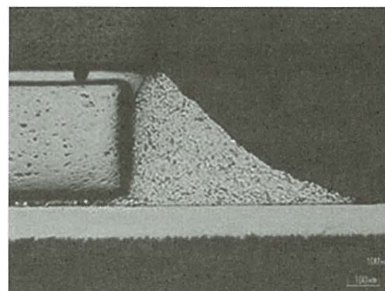
作製したCFRP コア基板の貫通スルーホール信頼性を調べるため、熱サイクル試験(-65°C⇔125°C、500cyc)を実施した。その結果、熱サイクル試験前後で、層間導通抵抗値は±10%と変化は見られず、さらに、CFRP コア基板特有の課題である熱膨張率差に起因するクラックや剥離も見られなかった。

貫通スルーホール信頼性は、面外熱膨張率が小さいほど良好となる。CFRP コア基板の面外熱膨張率は、100~200°Cにおいても、通常のガラスエポキシ基板に比べて低い。従って、熱サイクル試験の上限温度が125°C以上とさらに高い場合でも、高信頼性が得られると予想される。

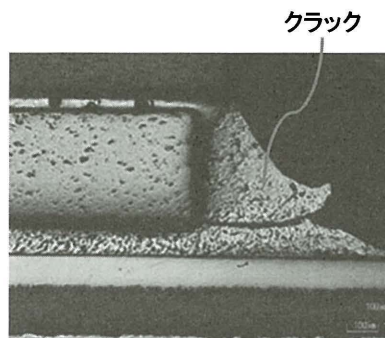
#### 4.4 大型セラミック部品の実装信頼性

電界効果トランジスタ MosFET (14mm×18mm)を同一構成のCFRP コア基板、アルミコア基板、ガラスエポキシ基板に実装し、熱サイクル試験(-30°C⇔100°C、1000cyc)を行った。図6に各基板のはんだ接合部における断面を示す。

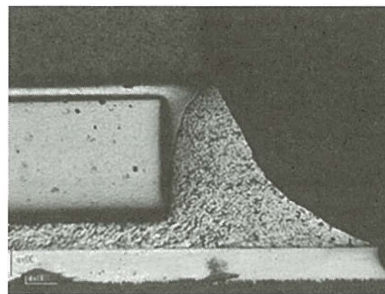
CFRP コア基板、ガラスエポキシ基板では、異常は見られなかったが、アルミコア基板では、はんだ接続部にクラックが発生し、断線を確認した。このように、CFRP コア基板は、アルミコア基板よりも高い実装信頼性が得られることを確認した。



(a) CFRPコア基板  
CFRP core PWB



(b) アルミコア基板  
Aluminum core PWB



(c) ガラスエポキシ基板  
Glass epoxy PWB

図6 部品実装後のはんだ接続信頼性  
 Fig. 6 Cross-sectional view of (a) CFRP core and, (b) aluminum core, (c) Glass epoxy PWB's after heat cycle test in the range from -30 to 100 °C with 1000cyc.

## 4.5 放熱性

次に各基板の放熱性試験を  $1 \times 10^{-4}$  Torr の真空下で実施した。放熱性は、基板に実装したチップ抵抗 (3 W) を発熱させ、発熱体付近と 100 mm 離れた排熱箇所に取り付けた熱電対の温度差にて評価した。図 7 に、各評価基板の放熱性の比較を示す。

最高クラスの熱伝導率を有する  $800 \text{ W}(\text{m}^{-1}\text{K}^{-1})$  のカーボン繊維を用いた場合、CFRP コア基板は、アルミコア基板よりも高い放熱性が得られることを確認した。なお、 $500 \text{ W}(\text{m}^{-1}\text{K}^{-1})$  のカーボン繊維からなる CFRP コア基板は、アルミコア基板と同程度の放熱性を示す。

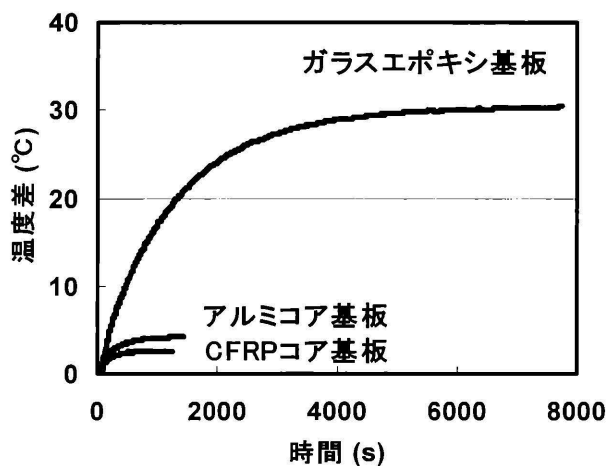


図 7 各評価基板の放熱性

Fig. 7 Time dependence of temperature between thermo couple near source and about 100mm from source in glass epoxy, aluminum core, and CFRP core PWB assemblies for electric power input of 3W.

一般的に、高熱伝導のカーボン繊維ほど、高弾性率であるため、銅と CFRP との熱膨張率差によって発生する応力が高くなり、クラックや剥離を生じやすい。また、高熱伝導のカーボン繊維ほど、高価である。そのため、実用化の観点では、求められる放熱性が得られるカーボン繊維を選択することが好ましい。

## 5.まとめ

高出力の大型セラミック部品が基板に直接表面実装可能な低熱膨張、高放熱基板を得るため、低熱膨張・高熱伝導のピッチ系繊維からなる CFRP をコア材に用いた基板を開発した。

CFRP コア基板は、導電性のカーボン粉の配線間や層間絶縁樹脂への混入による絶縁信頼性の低下や銅箔や絶縁基材との熱膨張率差に起因して熱サイクル後にクラックや剥離を生じるという課題があった。そこで、CFRP コアを部分的に銅めっきやアルミナ含有エポキシ樹脂で被覆することで、絶縁信頼性、熱サイクル特性に優れた基板を得た。

得られた CFRP コア基板の熱膨張率は、セラミック部品の熱膨張率に近く、大型セラミック部品の実装信頼性に優れることを確認した。また、CFRP コア基板は、アルミコア基板と同等以上の放熱性を有することを確認した。

最後に、本開発は経済産業省殿の委託を受けて、「次世代イオンエンジン技術開発」の一環として行ったものであり、関係各位から多くの助言・御指導を頂きました。ここに記し、深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1)前田 豊：カーボン繊維の最新応用技術と市場展望、シーエムシー、pp.28-31 (2000)
- (2)K. Vasoya, C.Burch: Key Benefits of Carbon Fiber in a Printed Circuit Board (PCB) and Integrated Circuit (IC) Substrate, International SAMPE Symposium and Exhibition, Conf. Proc., 26 (2006)
- (3)Sohei Samejima, Sadao Sato, Tsuyoshi Ozaki, Atsushi Inoue, Kentaro Suzuki, Hiroyuki Osuga, and Katsuaki Matsui: Low Thermal Expansion and High Heat Dissipation Printed Wiring Boards, Proc. IMAPS 2008-41<sup>st</sup>-International Symposium on Microelectronics, 889 (2008)

(平成 22 年 8 月 20 日受理)



鮫島 壮平



1977年生まれ。1999年3月宇都宮大学工学部応用化学科卒業。2001年3月東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年4月三菱電機株式会社入社。主として、高機能プリント配線板の開発に従事。近年では、カーボン繊維強化プラスチック（複合材料）の応用開発に従事。エレクトロニクス実装学会会員。

佐藤 貞夫



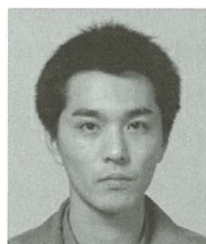
1950年生まれ。1969年4月三菱電機株式会社入社。2008年4月通菱テクニカ株式会社に出向。主として、プリント配線板の開発に従事。高分子学会会員。

井上 淳史



1967年生まれ。1992年3月横浜国立大学工学部生産工学科卒業。同年4月三菱電機株式会社入社。主として、電子部品の故障解析、プリント基板、はんだ接合部の信頼性試験に従事。

鈴木 顕太郎



1970年生まれ。1994年3月早稲田大学理工学部機械工学科卒業。1996年3月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。同年4月三菱電機株式会社入社。以来、衛星搭載機器の機械設計に従事。

大須賀 弘行



1961年生まれ。1982年3月国立宮城工業高等専門学校電気工学科卒業。同年4月三菱電機株式会社入社。現在、鎌倉製作所 宇宙システム部並びに長崎大学大学院生産科学研究科に属し、主として人工衛星搭載用電源、DC/DCコンバータ、電気推進システム、レーダ電源の研究開発に従事。電子情報通信学会、電気学会、日本宇宙航空学会、計測自動制御学会、各正員、IEEE学生員

(本論文は平成21年度電気材料技術優秀論文賞の受賞内容をまとめたものである)