

Title	高耐熱・高熱伝導樹脂複合材料
Author(s)	三村, 研史; 中村, 由利絵; 正木, 元基 他
Citation	電気材料技術雑誌. 2020, 29, p. 7-17
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77720
rights	
Note	

# Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

# 高耐熱·高熱伝導樹脂複合材料

# 三村研史、中村由利絵、正木元基、西村隆

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 兵庫県尼崎市塚口本町8丁目1-1

# High Heat Resistance and High Thermal Conduction Resin Composite Material

Kenji Mimura, Yurie Nakamura, Motoki Masaki and Takashi Nishimura

ADVANCED TECHNOLOGY R&D CENTER, MITSUBISHI ELECTRIC Corp. 8-1-1 Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo, 661-8661, JAPAN

In the power module products, insulated materials are asked for high heat dissipation along with achievement of downsizing and high efficiency of the electronic equipment. In order to give high thermal conductivity to the thermosetting resin like the epoxy resin, composite with high heat conduction ceramic, such as boron nitride (BN), is investigated. The orientation control of BN particle by blending the aggregated BN filler realized the high thermal conductivity more than  $18W/(m\cdot K)$ . In addition, the adhesion strength with copper was greatly improved while maintaining the high heat resistance by adding flexible resin in high heat-resistant cyanate ester resin. By a combination in these techniques, the high heat resistance and high thermal conduction resin composite material was developed.

キーワード:窒化ホウ素粒子、高熱伝導、高耐熱、絶縁材料

# 1. 緒言

世界的な環境保護意識の高まりにより、化石燃 料消費削減やCO<sub>2</sub>ガス排出削減などの環境保全活 動が拡大している。このような活動に対し、資源 とエネルギーを有効活用するパワーエレクトロニ クスとそのキーパーツであるパワーデバイスは、 鉄道や自動車、産業用機器、一般の家電製品にい たる様々な分野に適用され、年々その需要が高ま っている。

近年、パワーエレクトロニクスの中心となるパ ワーモジュール製品の高性能化・コンパクト化が 著しく進展し、モジュールを構成するデバイス内 部から発生する熱が増大の一途をたどっている。 そのため、発生した熱を効率よくデバイス外部に 放熱することが重要な課題であり、従来にも増し て熱対策の重要性が増している<sup>1-3)</sup>。

パワーデバイスを実装する絶縁基板には、銅な

ど金属との接着性に優れ、加工性も良く比較的安 価である樹脂絶縁材料の適用が検討されている。 しかしながら、熱硬化性樹脂をベースとした樹脂 絶縁材料を絶縁基板に適用するにあたっては、樹 脂材料の弱点である熱伝導性や耐熱性の改善が必 須となっている。近年、この樹脂絶縁材料の放熱 性や耐熱性を改善するため、エポキシ樹脂などの 樹脂材料に電気絶縁性で高熱伝導性を有する無機 フィラーを充填する有機/無機複合化が検討され ている。そこで本報では、絶縁性で高熱伝導を有 する BN 粒子を配合した樹脂複合材料を絶縁基板 に適用するため、放熱性や耐熱性に優れ、銅など との接着性を改善した高耐熱・高熱伝導樹脂複合 材料について検討した。

# 電気材料技術雑誌 第29巻第1号

J. Soc. Elect. Mat. Eng. Vol.29, No.1 2020

#### 2. 実験

# 2.1 試料

高熱伝導化検討のマトリクス樹脂には、ビスフ ェノール A 型エポキシ樹脂 (jER828US、三菱ケ ミカル製)を用いた。また、高耐熱化検討のマト リクス樹脂として、ノボラック型シアネートエス テル樹脂 (XU-371:ハンツマン・ジャパン製)、 柔軟性付与剤として可とう性骨格型フェノキシ樹 脂 (YL7178BH40:三菱ケミカル製)を用いた。 ノボラック型シアネートエステル樹脂に配合する 可とう性骨格型フェノキシ樹脂の割合は 10~ 75wt%まで変化させた。高熱伝導フィラーとして 鱗片 BN 粒子や凝集 BN 粒子を用いた。BN 粉末を マトリクス樹脂に充填率が 50~75vol%となるよ うに配合し、9.8~19.6MPa の成形圧力で 150℃/30 分+230℃/1 時間成形することで評価用シート 状サンプルを作製した。



# 2.2 特性評価

樹脂複合材料の熱伝導率の測定は、両面 105 μ m 銅箔を貼りつけた 200 μ m から 800 μ m までの 厚みの異なる4種のシート状サンプルを作製し、 各試料の厚み方向の熱抵抗を定常法で測定し、試 料厚みに対する熱抵抗をプロットした傾きから熱 伝導率(厚み方向)を求めた。

シート中の BN 粒子の配向は、X 線回折 (RINT2500:リガク製)を用いて評価した。BN 充 填シートに X 線を照射し、h-BN 結晶面方向の (002)面と層方向の(100)面の回折ピーク強度比か ら下式により定量化した。

[配向度]=I<sub>(002)</sub>面/I<sub>(100)</sub>面 (IはX線回折強度)

樹脂及び樹脂複合材料の動的粘弾性の測定は、 強制振動型粘弾性測定装置(DMS)を用い、引張 モードで行った。測定温度は室温から 450℃、周 波数は 1Hz として測定した。

接着ピール強度の測定は、両面 105μm 銅箔を 貼りつけた厚さ 150μm (銅箔部分除く)の樹脂 複合材料を 10mm 幅に切断し、引張試験機(オー トグラフ AG-5000D:島津製作所製)を用い、引 張速度 50mm/min で測定した。

樹脂複合材料の絶縁破壊電圧の測定は、絶縁耐 圧試験装置(コロナフリー式交流試験用電源装置 D509:三菱電線製)にて測定した。測定は、1分 ごとに 0.5kV ずつステップ昇圧させる方法で実施 した。

樹脂複合材料の半田リフロー処理は、絶縁シートを260℃~300℃の半田浴に10分間浸した。

# 3. 結果及び考察

#### 3.1 高熱伝導化

はじめに高熱伝導を有する BN フィラーによる 樹脂複合材料の高熱伝導化について検討した。図 1 にエポキシ樹脂をマトリクスに用い、高熱伝導 性フィラーとして鱗片形状をした六方晶 BN を充 填した樹脂複合材料のフィラー充填量と厚み方向 の熱伝導率の関係を示す。鱗片 BN を 50vol%充填 した樹脂複合材料の熱伝導率は6W/(m・K)であ る。複合材料の熱伝導率は鱗片 BN の充填量の増 加に伴い向上し、充填量 67vol%のときに 10W/ (m・K) を示した。しかし、それ以上 BN 充填量 を増やすと熱伝導率は低下した。図2に鱗片 BN を充填した樹脂複合材料の断面 SEM 観察写真を 示す。上下方向が厚み方向であり、鱗片形状の BN 粒子が(水平)面方向に配向しているのがわかる。 これは、樹脂複合材料の厚み方向の熱伝導率の向 上を阻害する要因になる。BN 粒子の結晶は六方 晶構造を形成するために熱伝導率に異方性を示 し、結晶の面方向の熱伝導率は厚さ方向の数倍か ら数十倍と言われている<sup>4)</sup>。従って、BN 粒子が 面方向に配向すると厚み方向の熱伝導率が十分に 得られない。

そこで、熱伝導率に異方性を持つ鱗片状 BN 粒 子の面方向への配向を抑制するため、鱗片状 BN 粒子を凝集させた球状に近い凝集粒子(BN 凝集 体)の配合を試みた<sup>5-9)</sup>。この BN 凝集体は、図 3 に示すように様々な方向を向いた鱗片状の BN 一 次粒子が凝集して数十μmの凝集体を形成してお り、凝集体の熱伝導率は等方性を示すものと推察

#### 論文:高耐熱·高熱伝導樹脂複合材料



図 1. 樹脂複合材料における BN 充填量と熱伝導率の関係 Fig.1 Relationship between flake-like BN filler content and thermal conductivity.



図3. BN 凝集体の断面 SEM 写真 Fig.3 SEM micrograph of the aggregated BN particles.

される。この BN 凝集体をエポキシ樹脂に充填し た樹脂複合材料を成形すると、材料中の BN 粒子 の面方向の配向を抑制することができ、厚み方向 の熱伝導率を向上できる。

図4には BN 粒子の凝集体を配合した樹脂複合 材料の断面を SEM で観察した結果を示す。BN 凝 集体を充填した系では個々の BN 粒子が一定方向 に配向することなく種々の方向を向いているのが 分かる。このように BN 凝集体を配合すると BN 粒子の面方向の配向を抑制するのに効果的である ことが確認された。そこで、BN 凝集体をエポキ シ樹脂に充填して得られた樹脂複合材料の熱伝導 率や BN 粒子の配向について評価した。

図5には樹脂複合材料の厚み方向の熱伝導率と



図2. 鱗片状 BN を充填した樹脂複合材料の断面 SEM 写真

Fig.2 SEM micrograph of insulated layer in the resin composite material filled with flake-like BN particles.



BN凝集体

X 線回折における結晶面方向と層方向の回折ピー クの強度比より算出した配向度の関係を示した。 BN の充填率を 50vol%に固定し、BN 凝集体の配 合割合を変えることで複合材料中の BN 粒子の配 向度を振り、それぞれの配向度における熱伝導率 をプロットしている。比較として、鱗片 BN を異 なる充填率(50vol%、60vol%、70vol%)で単独充 填した系についても示した(図5中の△◇○)。鱗 片状 BN 粒子を単独で充填した系では、充填量 50vol%から 70vol%へと増加しても、BN 粒子の配 向が進むだけで厚み方向の熱伝導率の大きな向上 が得られない。これに対し、BN 凝集体を配合し た樹脂複合材料はBN 充填量が 50vol%と一定であ っても、BN 凝集体を配合して面方向への配向を



図4. 鱗片状 BN を充填した樹脂複合材料の断面 SEM 写真

Fig.4 SEM micrograph of insulated layer in the resin composite material filled with aggregated BN particles.



図5. 樹脂複合材料中の BN 配向度と熱伝導率(厚み方向)の関係

Fig.5 Relationship between orientation and thermal conductivity of the resin composite materials filled with aggregated BN particles.

抑制すると、すなわち配向度を小さくすると、樹 脂複合材料の厚み方向の熱伝導率は大きく向上 し、16W/(m・K)以上と高い熱伝導率が得られた。 このように、熱伝導率に異方性を示す BN 粒子の 面方向への配向を制御することで、樹脂複合材料 の厚み方向の熱伝導率を飛躍的に向上できる。ま た、図6に従来の鱗片 BN 粒子配合系と凝集 BN 粒子配合系の BN 充填量と厚み方向の熱伝導率の 関係を示したが、凝集 BN 粒子を配合して充填量 を増すと、18W/(m・K)以上とセラミック材料並み の高い熱伝導率が得られた。 これら凝集 BN フィラーを充填した樹脂複合材 料の電気絶縁性について評価を行った。図7に BN 充填率と破壊電界の関係を示す。これら BN 充填 した複合材料の破壊電界は鱗片や凝集など BN 形 状や充填率にかかわらず 50kV/mm と安定な値を 示す。これらは、フィラー種毎に充填性を考慮し たボイドレス設計を行うことにより、絶縁性を確 保できるものと考えられる。

以上、熱伝導率の異方性を示す BN 粒子の配向 を制御することによって低充填量で熱伝導率を大 きく向上することができ、アルミナなどのセラミ





Fig.6 Relationship between BN content and thermal conductivity of the resin composite materials.





Fig.7 Relationship between BN content and breakdown electric field of the resin composite materials.

ック材料に匹敵する熱伝導率を有し、成形性が容 易な樹脂複合材料を得ることができる。

# 3.2 高耐熱化

樹脂複合材料をパワーモジュールの絶縁基板に 適用するにあたっては、はんだリフローにおける 高温雰囲気下で電気絶縁性が低下しないような耐 熱性や銅など金属基材との接着性が求められる。 樹脂複合材料の耐熱性は、マトリクス樹脂の構造 が支配的である。一方、接着性については、マト リクス樹脂、フィラーの種類、形状、被着体の材 質、その表面状態など種々の要因がある。高熱伝 導化が実現できる BN フィラーは離型潤滑剤とし て使用され接着性は低い。そのため、BN フィラー 充填した樹脂複合材料に如何に接着性を付与でき るかが耐はんだリフロー性向上には重要である。

耐熱性の高いマトリクス樹脂として、300℃以上 のガラス転移温度(Tg)を示す高耐熱樹脂のひと

# 電気材料技術雑誌 第29巻第1号 J. Soc. Elect. Mat. Eng. Vol.29, No.1 2020

つであるシアネートエステル樹脂がある。シアネ ートエステル樹脂は、シアネート基が加熱により 付加重合反応(環化三量化反応)し、剛直なトリ アジン構造を生成するために耐熱性に優れる。そ こで、シアネートエステル樹脂の中でも特に耐熱 性に優れるノボラック型シアネートエステル樹脂 をマトリクス樹脂に選定し、凝集 BN を配合して 熱伝導率 18W/(m・K)以上の高熱伝導性を確保 する BN フィラー高充填(62vol%)した樹脂複合 材料で検討した<sup>9)</sup>。

シアネートエステル樹脂に BN フィラーを高充 填した樹脂複合材料の動的粘弾性を図 8 に示す。 測定温度 380℃付近まで、弾性率は 10<sup>10</sup>Pa と高い 値を示し、Tan δ も 350℃近くまで平坦で、402℃ に Tg に基づくピークが見られることから、ノボ ラック型シアネートエステル樹脂をベースにした 樹脂複合材料は非常に高い耐熱性を示すことがわ かる。 また、この樹脂複合材料の熱伝導率(厚み方向) は、表1に示すように18W/(m・K)以上の高い 熱伝導性を有する。一方、樹脂複合材料の90°ピ ールにて測定した接着ピール強度は2.6N/cmと低 い値であった。そのためBN 粒子を充填して高熱 伝導を有する樹脂複合材料を絶縁基板に適用する ためには銅など金属との接着性を向上する必要が ある。

図9にシアネートエステル樹脂単独の樹脂複合 材料の接着ピール試験後の試験片の断面写真を示 した。銅箔側に BN 粒子を含んだ絶縁層が付着し ており、接着ピール強度測定試験による破壊は BN フィラーと樹脂の界面で破壊が進行している ことがわかる。したがって、ノボラック型シアネ ートエステル樹脂を適用した樹脂複合材料の接着 性を向上させるためには、BN フィラーと樹脂の 界面の接着性を向上させることが重要と考えられ る。一般的に、無機フィラーと樹脂の界面の接着



図8.シアネートエステル樹脂単独の複合材料の動的粘弾性

Fig.8 Dynamic mechanical analysis of the material composited with only novolac type cyanate ester resin.

表1.シアネートエステル樹脂単独の複合材料の特性

Table1 The various properties of the material composited with only novolac type cyanate ester resin.

		特性
熱伝導率	W∕(m⋅K)	18.3
接着ピール強度	N/cm	2.6
ガラス転移温度	⊃°C	402



図9. シアネートエステル樹脂単独の複合材料の接着ピール試験後の断面 SEM 写真 Fig.9 SEM micrograph of the adhesion peel examination sample in the material composited with only novolac type cyanate ester resin.





性を向上させる手法として、無機フィラーのカッ プリング処理が考えられるが、BN フィラーの表 面には官能基が少ないため、カップリング処理に よる効果は小さい。

樹脂の特性改善の手法のひとつとして、複数の ポリマーを組み合わせるポリマーアロイがあり<sup>10</sup>、 シアネートエステル樹脂複合材料の接着強度向上 にもこの手法を適用した。ノボラック型シアネー トエステル樹脂に柔軟性に富む可とう性骨格型フ ェノキシ樹脂を配合した。図10には、ノボラック 型シアネートエステル樹脂に可とう性骨格型フェ ノキシ樹脂を配合した樹脂複合材料のフェノキシ 樹脂配合量と接着ピール強度の関係を示した。樹 脂複合材料の接着強度は、フェノキシ樹脂配合量 の増加に伴って向上し、フェノキシ樹脂を25wt% 配合すると接着強度はシアネートエステル樹脂単 独系に比べて約 1.8 倍、さらに 50wt%配合した場 合は約 3 倍まで向上した。これら樹脂複合材料の 接着強度測定後の破断面(図 11)は、先の図 9 で 示したシアネートエステル樹脂単独系と同様に、 BN フィラーと樹脂の界面で破壊が進行してい た。このことから、フェノキシ樹脂を配合するこ とにより、BN フィラーと樹脂との相互作用が強 くなり接着ピール強度が向上したものと推察でき る。このようにシアネートエステル樹脂と可とう 性骨格型フェノキシ樹脂のポリマーアロイ化は、

### 電気材料技術雑誌 第29巻第1号 J. Soc. Elect. Mat. Eng. Vol.29, No.1 2020

BN フィラーを充填した樹脂複合材料の接着性の 向上に有効である。

シアネートエステル樹脂に可とう性骨格型フェ ノキシ樹脂をブレンドしたときの硬化物構造を解 明するために、フィラー未配合の樹脂単独の硬化 物について検証した。フェノキシ樹脂の配合量 0wt%と 50wt%の樹脂硬化物の断面を SEM で観察 した結果を図 12 に示す。なお。SEM 観察の前に 予め断面を MEK (methyl ethyl ketone) でエッチン グすることによりフェノキシ樹脂を取り除いた。 図 12 (a) 及び (c) には低倍率で硬化物の全体を 観察した結果を、図 12 (b) 及び (d) には相構造 を高倍率で観察した結果を示している。なお、図 12 (d) は図 12 (c) の線で囲んだマトリクス部分を



図 11. 可とう性骨格型フェノキシ樹脂を 50%配合したシアネートエステル樹脂複合材料の接着ピール試験後の断面 SEM 写真

Fig.11 SEM micrograph of the adhesion peel examination sample in the cyanate ester resin composite material blended with the flexible phenoxy resin.



図 12. 可とう性フェノキシ樹脂を配合したシアネートエステル樹脂硬化物の断面 SEM 写真 Fig.12 SEM micrograph of the cyanate ester resin blended with the flexible phenoxy resin.

高倍率で観察している。フェノキシ樹脂を配合し ていないシアネートエステル樹脂単独硬化物の断 面は均一であるのに対し(図 12(a)、(b))、フェ ノキシ樹脂を 50wt%配合した硬化物では、シアネ ートエステル樹脂マトリクス中に直径約1µm程 度のフェノキシ樹脂相が分散する海島構造を形成 していることが観察された(図12(c))。さらに、 図 12(d) のマトリクスを詳細に観察すると、表面 の凹凸が大きくなっているのがわかる。図 13 に は、ノボラック型シアネートエステル樹脂と可と う性骨格型フェノキシ樹脂を50wt%配合した樹脂 硬化物 (BN フィラー未充填) の動的粘弾性挙動 をシアネートエステル樹脂単独及びフェノキシ樹 脂単独硬化物の粘弾性挙動と併せて示した。シア ネートエステル樹脂単独硬化物の粘弾性は、先の 図8で示した BN フィラーを充填した樹脂複合材 料と同様の挙動を示した。シアネートエステル樹 脂単独硬化物の Tan δ ピークは 391℃と 400℃近く であった。一方、可とう性骨格型フェノキシ樹脂 単独の Tan δ ピークは 21℃に見られる。フェノキ シ樹脂を 50wt%配合した系では、50℃付近から弾 性率が一段低下し、300℃を過ぎると弾性率は再び 低下した。この硬化物の Tan δ は 100℃と 300℃付 近に2つのピークを持つ。これら弾性率、Tanδ挙

動からもシアネートエステル樹脂とフェノキシ樹 脂は相分離していることが確認できる。しかし、 これら弾性率の低下する温度は、可とう性骨格型 フェノキシ樹脂 (Tg=21℃)、シアネートエステ ル樹脂(Tg=391℃)に比べて、フェノキシ樹脂 に基づく弾性率低下温度は高温側に、シアネート エステル樹脂に基づく弾性率の低下は低温側にそ れぞれシフトしている。これは、シアネートエス テル樹脂及びフェノキシ樹脂は互いに相溶しなが ら相分離していることを示す。今回ベース樹脂と して用いたシアネートエステル樹脂の硬化反応 は、環化三量化反応により強固な網目構造を形成 する。フェノキシ樹脂は長い分子鎖を持ち、両末 端にエポキシ基を有するものの反応性は低く、シ アネートエステル樹脂との化学結合はあまり起こ らない。そのため、フェノキシ樹脂を配合したシ アネートエステル樹脂硬化物では、環化架橋した シアネートエステル樹脂の網目構造に柔軟で分子 鎖の長いフェノキシ樹脂が物理的に密に絡まった semi-IPN (Interpenetrating Polymer Networks) 構造 を形成しているものと考えられる。

このように耐熱性の高いノボラック型シアネー トエステル樹脂に、柔軟性の高い可とう性骨格型 フェノキシ樹脂を配合して相溶させると、互いの



図 13. 可とう性骨格型フェノキシ樹脂を配合したシアネートエステル樹脂硬化物の動的粘弾性測定解析 Fig.13 Dynamic mechanical analysis of the cyanate ester resins blended with the flexible phenoxy resin.

#### 電気材料技術雑誌 第29巻第1号 J. Soc. Elect. Mat. Eng. Vol.29, No.1 2020

分子鎖が絡み合った semi-IPN 構造を形成し、樹脂 マトリクスと凝集 BN との凝集力が強化されて接 着ピール強度が向上したものと推察される。

# 3.3 高耐熱·高熱伝導樹脂複合材料

耐熱性の高いノボラック型シアネートエステル 樹脂に柔軟性の高いフェノキシ樹脂を配合し、BN フィラーを高充填した高耐熱・高熱伝導樹脂複合 材料を開発し、その特性を表2に示した。この樹 脂複合材料の熱伝導率は、19W/(m・k)とセラミ ックス材料並の高い熱伝導率を示すとともに、接 着ピール強度は8.0N/cmと高い接着性を示した。 また、この樹脂複合材料は、成形後の初期の破壊 電界が平均58kV/mmと絶縁性にも優れている。 長期信頼性として樹脂複合材料を280℃のはんだ 浴に曝した後に、85℃/85%の高温高湿環境下で電 圧1kVを印加して絶縁寿命を測る高温高湿バイア ス試験についても、1500時間以上絶縁破壊は起こ らず、長期信頼性にも優れることが確認できた。 さらに、図 14 に示すように、この樹脂複合材料 をはんだ浴に曝した後の絶縁破壊電界(BDE)は、 はんだ浴に曝していないプレス成形直後の BDE と ほぼ同等の高い値を保持しており、はんだリフロ 一温度 300℃までの範囲においてはリフロー後の BDE はほぼ低下せず高い絶縁特性を確保できた。

このように、BN 粒子の配向を抑えるために凝 集 BN 粒子を高充填し、マトリクス樹脂にはシア ネートエステル樹脂と可とう性骨格型フェノキシ 樹脂をポリマーアロイ化することで、高い熱伝導 率を保持しながら耐熱性と絶縁性に優れた樹脂複 合材料を得ることができた。

# 4. 結論

熱硬化性樹脂をベースに高熱伝導を有する BN フィラーを配合した有機/無機複合材料をパワー モジュールに用いる樹脂絶縁基板への適用を目指 し、高耐熱・高熱伝導樹脂複合材料の開発を行っ た。その結果、以下の知見が得られた。

# 表2. 高耐熱・高熱伝導樹脂複合材料の特性

Table2 The various properties of the high heat resistance and high thermal conduction resin composite material.

熱伝導率	W/(m·K)	19.0
接着ピール強度	N/cm	8.0
絶縁破壊電界BDE	kV/mm	58
高温高湿バイアス試験 (85℃/85% at 1kV)	hr	>1500



#### 図 14. 高耐熱・高熱伝導樹脂複合材料の絶縁破壊電界

Fig.14 Breakdown electric field of the high heat resistance and high thermal conduction resin composite materials.

- (1) 鱗片 BN を充填した樹脂複合材料では BN 粒子の面方向への配向が進み、充填量を 増やしても熱伝導率は 10W/(m・K) が 限界であったが、BN 凝集体を配合して BN 粒子の配向を抑えることにより低充 填量においても 18W/(m・K) 以上の高 熱伝導率を得ることができた。
- (2) マトリクス樹脂として耐熱性の高いノボ ラック型シアネートエステル樹脂に柔 軟性に富む可とう性骨格型フェノキシ 樹脂をポリマーアロイ化することにより、高い耐熱性を保持しながら接着ピー ル強度を約3倍に向上することができた。これは、ノボラック型シアネートエ ステル樹脂に可とう性のフェノキシ樹 脂の分子鎖が物理的に絡まった semi-IPN構造を形成し、マトリクス樹脂 の凝集力が向上したためと考えられる。
- (3)上記(1)(2)を組合せ、熱伝導率19W/ (m・K)と高い熱伝導率を保持しながら 耐熱性と絶縁性に優れた高耐熱・高熱伝 導樹脂複合材料を開発することができ た。開発した樹脂複合材料は、300℃ま での範囲において半田浴に曝したリフ ロー後の BDE の低下は抑えられ、優れ た半田リフロー耐性を示すことが分か った。

# 参考文献

- 1) 西村隆,三村研史,平松星紀,塩田裕基,上 田哲也,三菱電機技報,4,219 (2010)
- 2) 西村隆, MATERIAL STAGE, 11, 4, 52 (2011)
- 3) T. Ueda, N. Yoshimatsu, N. Kimoto, D. Nakajima, M. Kikuchi, and T. Shinohara, Proceeding of 22nd ISPSD, 47 (2010)
- 4) E.K.Sichel, R.E.Miller, M.S.Abrahams, and C.J.Buiocchi, Phys. Rev. B, vol.13, pp.4607-4611, 1976
- 5) 三村研史, 正木元基, 中村由利絵, 西村隆, 電子情報通信学会論文誌, 2012/11 Vol.J95-C No.11

論文:高耐熱·高熱伝導樹脂複合材料

- 6) 三村研史, ネットワークポリマー, Vol.35, No.2, pp.76-82 (2014)
- 7) K. Mimura, Y. Nakamura, M. Masaki and T. Nishimura, Journal of Photopolymer Science and Technology, Vol.28 (2), pp.169-173 (2015)
- 8) T. Nishimura, K. Mimura, K. Yamamoto, S. Idaka and T. Shinohara, CIPS 2016, March, 8-10, 2016, Nuremberg Germany
- 9) 中村由利絵, 三村研史, エレクトロニクス実 装学会誌, 19(6), pp.451-457 (2016)
- 10) K. Mimura, H. Ito, H. Fujioka, Polymer, 41, 4451 (2000)

(2020年5月20日 受理)

#### 著者略歷



# 三村 研史

1993 関西大学大学院工学研究科修士課程 了.同年4月三菱電機(株)入社.先端技術 総合研究所において,主として絶縁材料の開 発に従事.博士(工学).高分子学会会員.



# 中村 由利絵

2005 神戸大学大学院自然科学研究科修士課 程修了.2010 年 三菱電機(株)入社.先端 技術総合研究所において,主として絶縁材料 の開発に従事.



#### 正木 元基

2002 東京大学大学院工学系研究科修士課程 修了.同年4月 TDK(株)入社.2007年4月 三菱電機(株)入社.先端技術総合研究所に おいて,主として機能性セラミック材料の開 発に従事.日本セラミックス協会会員



#### 西村 隆

1984 名古屋工業大学工学部卒業,同年4月三 菱電機(株)入社. 先端技術総合研究所にお いて,主として電池材料,絶縁材料の開発に 従事.日本セラミック協会会員