放熱性能を有する発泡－MIDの開発

山 本 智 史*・遊 佐 敦*・浅 見 朗 子*

1. はじめに

1.1 背景

射出成形品上に立体的にめっき配線を形成するMID (Molded Interconnect Device) は部品の小型軽量化や複合化が可能であり、耐熱樹脂を用いることにより3次元実装部品を創製できる。代表的なMID工法はLDS (Laser Direct Structure) 法^{1),2)}であり、スマートフォンの内蔵アンテナ等のモバイル機器部品に多く使用されている。課題はめっき触媒の前駆体を樹脂中に練り込んでいるため、専用樹脂を必須とし、ベース樹脂の諸物性に制限があることである。例えば、高誘電率材料や絶縁放熱材料、高強度材料等、高機能化への展開には限界があると推定される。アンテナ以外のMIDの用途拡大のためにはアプリケーションの開拓が必要であり、立体回路に加え付加価値の高い機能を付与することが重要と考えられる。

こうした背景を鑑み、筆者らは放熱性を付与したMIDを開発した。熱伝導率1 W/m・k程度のPPS (Poly Phenylene Sulfide) 樹脂を用い、レーザー描画によりめっき回路パターンを形成した。絶縁熱伝導性の耐熱樹脂に熱源であるLEDを直接実装することにより、熱抵抗層を減らし放熱材料の特性を最大限に生かすコンセプトである。MIDの工法としては、新規ポリマーを用いた独自プロセスを用いた。触媒失活機能を有するポリマー薄膜を成形品表面に被覆することで樹脂材料やレーザー光源に制限されず、めっき配線を選択的に形成できるMID技術³⁾である。

さらに、PPS基板の成形時に低圧射出発泡成形技術⁴⁾を用いることによりPPSの課題であるバリやヒケを抑制しつつ放熱性を維持することに成功した⁵⁾。放熱性を付与した発泡－MIDは例えば、金属製ヒートシンクを削減でき、デザイン自由度および寸法精度の高い軽量LED照明デバイスへの応用が期待できる。

本稿では、これら放熱性と生産性に優れた発泡－MIDの概要について報告する。

1.2 触媒失活膜を利用したMIDプロセス

図1に本MIDのプロセスを、図2に触媒失活ポリマーの構造・模式図をそれぞれ示す。まず、触媒失活機能を有するポリマー薄膜をディップコートにより樹脂表面に形成する。触媒失活膜は図2(a)の化学構造を有するハイパーブランチポリマー (HBP) からなる。このポリマーの機能を図2(b)の模式図に示す。スチレンの主骨格により樹脂基材との接着性を確保する。そして、末端の官能基によりイオン性触媒を吸着し触媒の活性化を抑制する機能を有している。分岐構造により官能基を多く有する高分子でありながら、溶液の粘度は低く均一な薄膜形成が可能である。

こうしたHBPを薄膜塗布した樹脂基材表面にレーザー描画すると、図1の模式図に示す通りHBPと基材樹脂表層が部分的に除去される。この基材をパラジウム (Pd) イオン触媒に接触させると、触媒はHBPの官能基に吸着され活性化されなくなる。一方、レーザー描画部にはHBPは存在しないので、触媒が活性化可能な状態で吸着する。この成形品を無電解めっき液に浸漬すると、HBPを除去した部分のみ無電解めっき膜が成長する。これにより成形品の表面にめっき回路パターンが形成される。レーザー描画により形成された樹脂表層の凹凸および、樹脂中に含まれる無機フィラーによりめっき膜とのアンカー効果が発現

図1 MID プロセス

Development of Foam Molding MID with Heat Dissipation

* Yamamoto, Satoshi/Yusa, Atsushi/Asami, Akiko

マクセル(株) 開発本部

京都府乙訓郡大山崎町大山崎小泉1 (〒618-8525)

sa-yamamoto@maxell.co.jp

2019. 4. 1 受理

図2 触媒失活ポリマーの構造と模式図

図3 低圧発泡成形機模式図

する。それにより、めっき膜の樹脂基材との高い密着強度およびデバイスの信頼性が得られる³⁾。

1.3 低圧発泡射出成形技術

図3に本研究で用いた低圧発泡射出成形機の模式図を示す。ボンベから減圧弁により圧力制御された窒素ガスを、圧力保持容器を介して可塑化シリンダー内に直接導入し、スクリーンの飢餓ゾーンを一定圧力で常時加圧するシステムである。従来のMuCell®と比較し低い窒素圧力で発泡成形品を作製することが可能である。特にスーパーエンブラであるPPSは1~2 MPaの著しく低い窒素圧力で微細発泡成形が可能となる⁴⁾。低圧充填・保圧レスの発泡成形により、バリ、ソリおよびヒケが抑制され、窒素圧力を低くすることにより成形品に残存するガス量が減り、リフロー実装時のプリスター（膨れ）が生じ難くなる⁴⁾。それにより、耐熱性を維持した寸法精度の高いスーパーエンブラの成形品が製造可能となる。

2. 本研究の目的

本研究では、成形加工性や寸法精度に優れソリッドと同等の放熱性能を有する発泡-MIDの創製を目的とした。図4に発泡-MIDのコンセプトを示す。一般的に発泡成形品は、内部の発泡層が断熱層となり基材の放熱性能が低下するが、重量低減率を5 wt%程度に制御し発泡セル密度を低くすることによって、放熱性の維持と成形性改善の両立を目的とした。一般的にアスペクト比の高い熱伝導性フィラーはスキン層近傍では流動方向に配向しやすく、コア層においてはランダム配向する傾向にある。そのため、射出成形品は厚み方向よりも面方向における熱伝導率の方が高くなる。従って、面方向の放熱性に影響しにくいコア層の発泡セル密度が低ければ放熱性能に悪影響を及ぼさないと期待できる。

本研究では、絶縁熱伝導性PPS樹脂の発泡-MIDを作製し、基材表面に実装したLEDの温度から放熱性能を評価した。また、発泡成形によるバリ低減の効果についても検証した。

図4 発泡-MIDのコンセプト

3. 実験方法

3.1 射出成形品の作製

樹脂材料として絶縁熱伝導性PPS（開発グレード，DIC製：熱伝導率0.83 W/m・K）と汎用PPS（Z-230，DIC製：熱伝導率0.38 W/m・K）を用いた。型締力40 ton，スクリー直径22 mmの電動式射出成形機（日本製鋼所製 特殊仕様）を用い，図5(a)に示す80 mm×80 mm t=2 mmの平板形状の成形品を作製した。表1に各基材の成形条件を示す。発泡成形品はショートショット法で作製した。保圧を設定しない条件で，ソリッドに対する重量低減率は5 wt%とした。物理発泡剤である窒素の圧力は1 MPaとした。

3.2 めっき配線回路の形成

触媒失活ポリマー（HBP）を有機溶剤に溶解させた溶液を用いて，ディッピングにより膜厚約100 nmのHBP薄膜を成形品全面に形成した。次にYVO₄レーザー（MD-V 9929 WA，キーエンス製）を用いて図5(b)に示すような配線回路パターンを描画した。次に基材をパラジウムイオン触媒を含む溶液（AISL-ACT，JCU製）に浸漬した。触媒付与後の基材を80℃の無電解めっき液（トップニコロンRCH-LF，奥野製薬工業製）に10 min浸漬することでレーザー描画部のみに膜厚1 μm程度のニッケルリンめっき膜を選択的に形成した。さらに，電解銅めっき20 μm，電解ニッケルめっき5 μm，無電解ニッケルリンめっき1 μm，置換金めっき0.1 μmを順に積層した。

3.3 LEDの実装と温度測定

図5(c)に示す通り，回路パターンを形成した成形品それぞれに高輝度LEDを4個実装した。はんだによる面実

表1 各基材の成形条件

	単位	汎用 PPS	熱伝導 PPS	
樹脂グレード		z-230	開発グレード	
熱伝導率 ホットディスク法	W/m・K	0.38	0.83	
成形法		ソリッド	ソリッド	発泡成形
金型成形	℃	150	150	150
シリンダ温度	℃	365-330	365-330	365-330
射出速度	mm/s	100	100	100
型締め力	ton	40	40	10
保圧	MPa	50	50	0
発泡剤	-	-	-	窒素
発泡圧力	MPa	-	-	1
重量低減率	wt.%	-	-	5

図5 評価基材の模式図

装は、成形品の表面温度が240℃5分間維持するように、電気炉内で加熱して行った。実装後、発泡成形品においても表面の膨れは観察されなかった。各LEDを直列に接続し規定電流値である0.3Aの電流を加え、点灯15分後の各LED端部の温度をT型熱電対にて測定し平均温度を求めた(n=2測定)。また、熱伝導性PPSを用いた発泡成形を用いないソリッド成形品と発泡成形品の充填末端部バリの状態を、マイクロSCOPE(VHX-6000 キーエンス製)にて観察した。

4. 結果と考察

4.1 発泡成形MIDの放熱性能

図6に各基材のLED温度を示す。熱伝導性PPSを用いた発泡-MIDのLED平均温度は82℃であり、LEDの仕様温度である90℃以下となった。そして、汎用PPSのソリッド成形品と比較し21℃低く、ヒートシンクを削減できることがわかった。また、熱伝導性PPSのソリッド成形品と同等のLED温度であった。サーモグラフィにてLED周囲の熱拡散状態を調べたところ、熱伝導性PPSは汎用PPSに比べてLED周囲の温度が低く、面方向に熱が拡散することが判明している。その熱拡散状態における発泡成形品とソリッド成形品の差は認められなかった。これらより、本発泡成形によるMIDはソリッド成形によるものと同等の放熱性を有しているといえる。

図7に熱伝導PPSのソリッド成形品と発泡成形品の断面SEM像を示す。発泡セルはコア層中心部のみに形成されており、表層近傍での発泡セル密度は低いことがわかる。また、表層近傍のフィラーは、ソリッド成形品と同じMD方向に配向している。これより、本研究の発泡-MIDは放熱性に大きな影響を与えるスキン層近傍における熱伝導性フィラーの配向および接触状態に依存したパーコレーション性能が維持され、ソリッド成形品と同等の高い放熱

図6 各基材のLED平均温度

図7 熱伝導性PPS成形品断面SEM像

図8 熱伝導性PPS成形品末端部のマイクロSCOPE観察像

性能が得られたと考えられる。

4.2 バリ抑制効果

図8に成形品末端部のバリ観察結果を示す。発泡成形品の成形時の型締力は10tonでありソリッド成形品の1/4であるにも関わらず、流動末端部においてソリッド成形品のようなバリは観察されなかった。これにより、本低圧発泡成形は省電力化の効果も期待できることがわかった。また、発泡成形品はソリッド成形品で認められたエッジ部におけるヒケが抑制されたことを確認した。

5. まとめ

熱伝導性PPSを用いた発泡-MIDを開発した。低圧の窒素を用いた発泡成形により熱伝導性PPS樹脂の成形性改善と放熱性維持の両立が可能であることを明らかにした。

今後、汎用樹脂および汎用レーザーを用いた触媒失活ポリマーによるMID工法の更なる高付加価値化を目指し、MID業界の活性化に貢献したい。

謝 辞

また、本研究はDIC株式会社のご協力を得て実施しました。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本MID協会第14回定例講演会資料, 11(2016)
- 2) 特開2015-134903号公報
- 3) 浅見朗子, 遊佐敦, 山本智史, 臼杵直樹: プラスチックス, 11, 日本工業出版(2018)
- 4) 遊佐敦: プラスチックスエージ, 63(7), 54(2017)
- 5) 山本智史, 遊佐敦, 後藤英斗, 浅見朗子, 大嶋正裕: プラスチック成形加工学会 成形加工'18, 141(2018)