

表面実装パッケージ型IPMの パッケージ技術

鹿野武敏*
Takatoshi Shikano
作谷和彦*
Kazuhiko Sakutani

Packaging Technologies of Surface-mount Package Intelligent Power Module

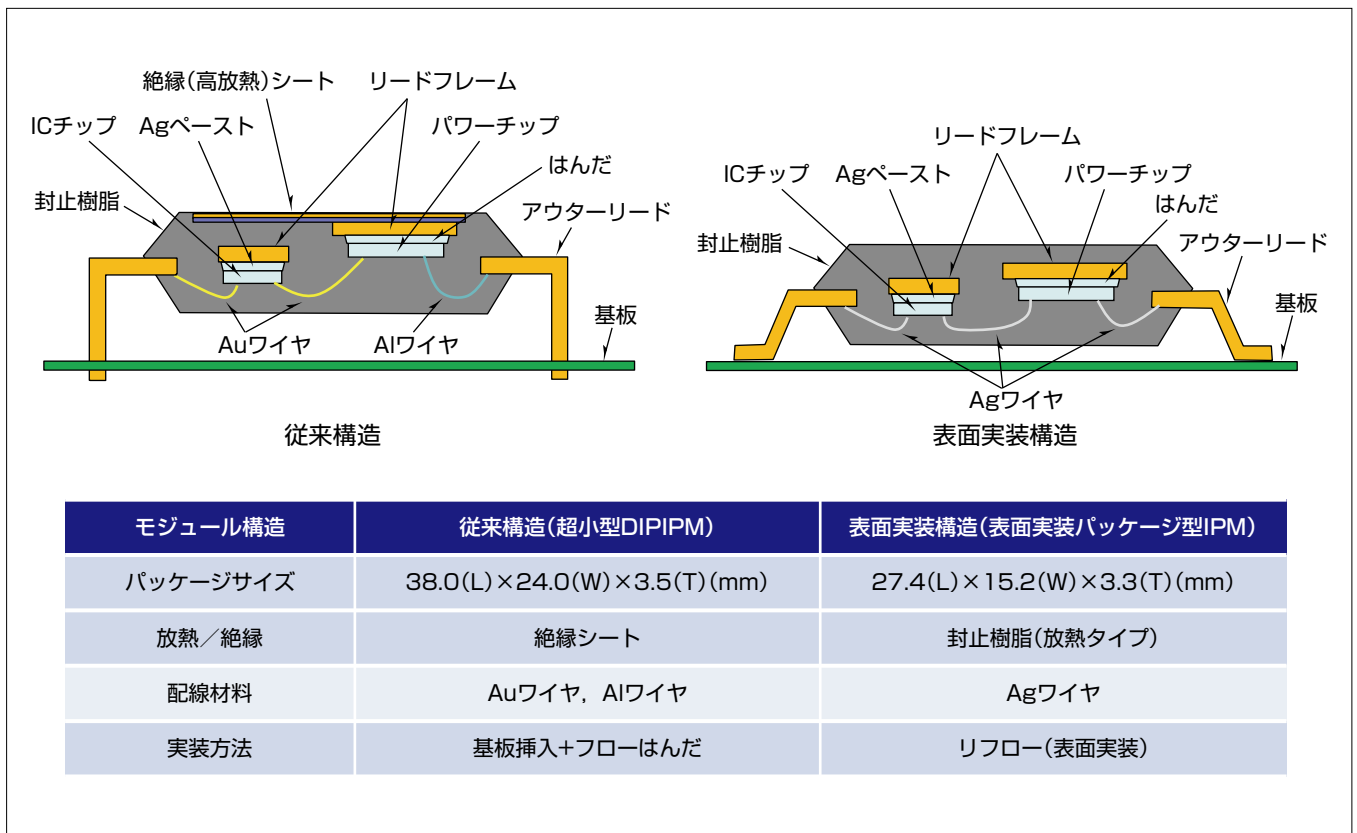
要 旨

近年、環境負荷低減や低炭素社会への貢献が求められており、エアコンなどに代表される家電向けパワーモジュールは全世界的に更に普及が進むことが予想される。パワーモジュールに対しては小型化、低コスト化が求められており、三菱電機では、エアコン内部や室外機に使用される小型モータ向けにリフロー実装が可能なモジュールの開発を進めてきた。

絶縁シートを使用した従来のトランスファーモールド型パワーモジュールでは、リフローによって基板に実装される他の部品とは別に、別工程で端子を挿入して実装する必要があったが、パワーモジュールもリフローによる表面実

装が可能になれば、他の実装部品と同時に基板実装が可能になる。

このたび、実装にリフローが使用できるパッケージ構造と、それに必要な高放熱封止樹脂を開発した。さらに、配線技術としてIC、パワーチップとリードフレームを結線する配線材料であるAu(金)、Al(アルミニウム)ワイヤに対する代替材として、パワーモジュールの使用に十分耐え得るAg(銀)ワイヤ技術を開発し、これらのパッケージ技術を、当社初の表面実装パッケージ型IPM(Intelligent Power Module)に適用して製品化した。



表面実装パッケージ型IPMのパッケージ技術

当社が開発した表面実装パッケージ型IPMと従来モジュール(絶縁シート構造)の比較を示す。開発したモジュールには表面実装に対応するための耐リフロー性を持つ高放熱封止樹脂によるフルモールド構造の適用と、チップとリードを結線する内部配線材全てにAgワイヤを採用した。

1. ま え が き

近年、世界中で環境負荷低減や低炭素社会への貢献が求められ、産業機器、自動車、電鉄、家電の各産業、風力、太陽光などに代表される発電事業などパワーエレクトロニクス機器を代表するパワーモジュールの用途は多岐にわたり、社会全体の省エネルギー推進と、持続可能な循環型社会の形成に向け、更に普及が見込まれている。

また、パワーエレクトロニクス機器の高密度化が市場要求であり、パワーモジュールに対して高性能化、高機能化及び小型軽量化が期待される。特に、エアコン、冷蔵庫などに代表される民生用のパワーモジュールは、各家電メーカーでの取り扱いやすさ、コスト面でも重要視される⁽¹⁾。

このような要求に対して、当社では、小容量(2~3A)の表面実装タイプの小型パワーモジュールを上市した(図1)。

従来の当社IPMである“DIPIM”では、基板に対して挿入型のモジュールであるため、リフローで実装する他の実装部品とは別工程で基板に端子を挿入してフローはんだ等で実装する必要があったが、小型、表面実装対応にすることで、他の搭載部品と同時に実装することが可能になった。

当社では、この製品のパッケージ開発に当たり、はじめてとなる耐リフロー性への対応と、IC、パワーチップとリードフレームを結線するAu、Alワイヤの代替材となるAgワイヤボンド技術を開発した。

2. 表面実装パッケージの特長

当社では、超小型DIPIMで採用した高放熱の絶縁シートを使ったモジュール構造が主流である(図2(a))。従来構造の特徴として、パワーチップを載せたリードフレームの裏面に薄い(約0.2mm)絶縁層を持つ絶縁シートを配置し、パワーモジュールで重要な機能である放熱特性、絶縁性を絶縁シートが担っている。また、同じパッケージでもIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)容量ごとに絶縁シートの放熱特性を変えることで、幅の広い容量帯のラインアップを増やせることが特長である。

今回、表面実装パッケージ型IPMの開発に当たり、実装での耐リフロー性に対して、絶縁シートのような薄い絶縁層では強度的にリフロー時に受ける熱ストレスに耐えられないことが予想されたため、構造の見直しを行った。

開発したパッケージ構造を図2(b)に示す。モジュール全体をトランスファーモールドする構造をベースにして、耐リフロー性を持ち、環境、信頼性を配慮したハロゲン性難燃剤レスの高放熱タイプの封止樹脂を開発した。

また、このパッケージを開発する中で、パッケージ内部

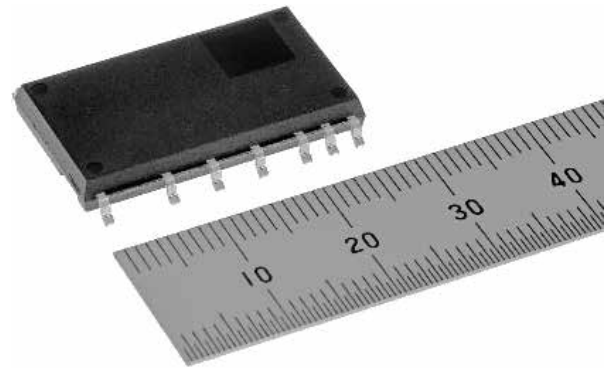


図1. 表面実装パッケージ型IPM

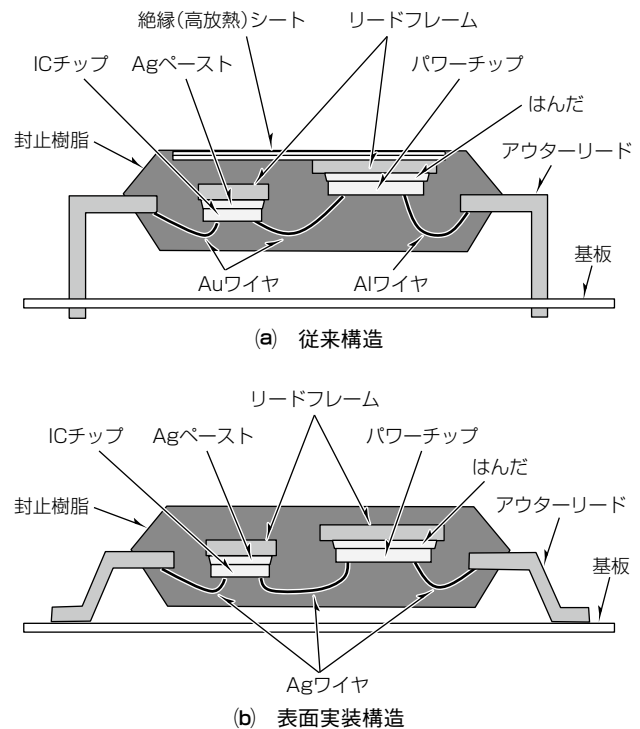


図2. トランスファーモールド型パワーモジュール断面模式図

では、IC、パワーチップ-リードフレーム間を結線する配線材料であるAu、Alワイヤの代替材として全ての配線をAgワイヤに統一した。ワイヤの接合面積の縮小によるパワーチップの小型化、及びそれぞれのワイヤ材料に対応したワイヤボンド装置を、生産性の高い細線ワイヤボンド装置に統一できた。

3. パッケージ要素技術

表面実装パッケージ型IPMで採用したパッケージ要素技術である耐リフロー性を持つ高放熱封止樹脂の開発と、制御用ICの結線を行うAuワイヤと、パワーチップの結線を行うAlワイヤ代替材として、Agワイヤの適用について述べる。

3.1 耐リフロー性⁽²⁾

表面実装パッケージ型IPMに対する耐リフローについて述べる。表面実装パッケージを基板に実装する際にリフロー装置を使い実装するが、パッケージが長期に外気にさらされると水分を吸湿し、リフロー時に受ける熱ストレスによってパッケージクラックが発生することがある(ポップコーン現象)。図3に開発時に行ったリフロー前後のSAT(Scanning Acoustic Tomography)画像とパッケージ表面に発生したクラックを示す。パッケージ表面に発生したクラックはリードフレームとモールド樹脂との剥離が起点となり進展することが確認された。

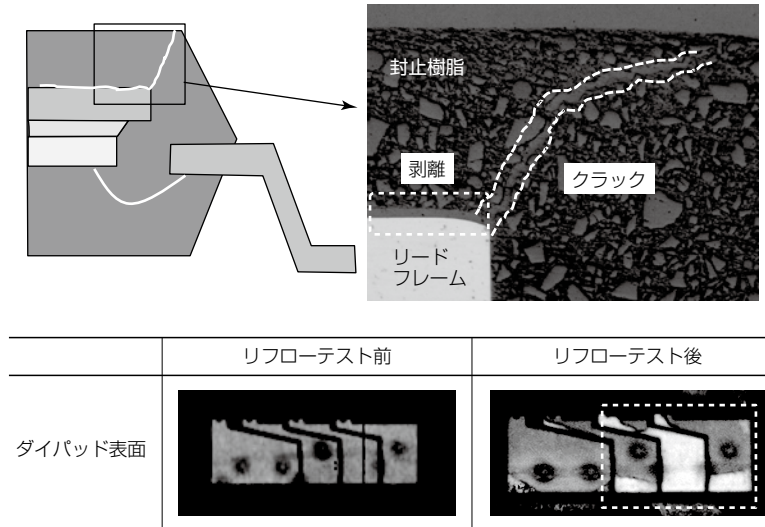


図3. パッケージのポップコーン現象

このようなリフローに対するパッケージの耐性を一般的に耐リフロー性と呼び、試験方法がJEDEC(半導体技術協会)によって決められている。耐リフロー試験の標準規格としてJEDEC規格J-STD-020に定められた温度プロファイルを用いた。また、評価条件についても、同様にJ-STD-020に定めたMSL(Moisture Sensitive Level)を参照し、評価サンプルを前処理として30℃/70%RH(Relative Humidity)に設定した恒温恒湿槽に規定の時間吸湿させた後に耐リフロー評価を実施した。耐リフロー用の封止樹脂は、リードフレームとの剥離及び吸湿に伴うリフロー時のクラックを抑制することが求められる。

図4に今回の開発で評価した封止樹脂の吸湿特性-応力指数の特性相関図と表1に吸湿クラックの結果を示す。応力指数とは、封止樹脂の線膨張係数と弾性率を掛け合わせた独自の指標である。クラックを抑制するため樹脂の低弾性、低線膨張係数化による低応力化と低吸湿化を図るため、高熱伝導化とともに封止樹脂の改良を進めた。図4に示すように改良前の汎用樹脂Aの吸湿率を100とした際に改良樹脂C及びDの吸湿率は46まで低減した。

また、モールド樹脂のベースレジン変更やモールド樹脂中に含まれるフィラーの種類の変更、添加剤の調整によって改良することで、汎用樹脂Bの応力指数を100とした場合の改良樹脂Cの応力指数は44、改良樹脂Dの応力指数は37にまで低減できた。

これによって、汎用樹脂からの改良でダイパッドへの剥離が抑えられ耐リフロー性の高い表面実装パッケージ型IPMを開発できた。

3.2 細線(Ag)ワイヤ技術⁽³⁾

パワーモジュール内に搭載するICチップの結線に用いられるボンディングワイヤは導電性が良く、加工性に優れた金属であることが必要である。大気中での化学的な安定

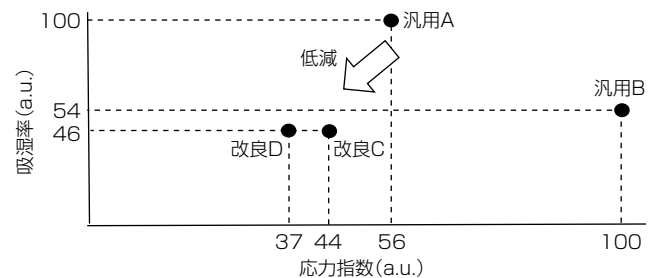


図4. 耐リフロー性封止樹脂の改良相関図

表1. 改良封止樹脂と吸湿クラック結果

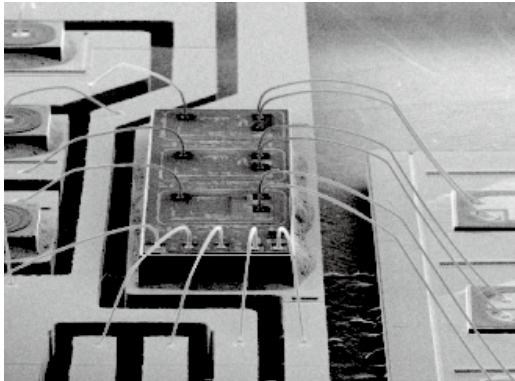
封止樹脂		汎用A	汎用B	改良C	改良D
相対値(a.u.)	吸湿率	100	54	46	46
	応力指数	56	100	44	37
剥離率(%)	ダイパッド	87	24	0	0

性や、取り扱いやすさから従来素材としてAuが用いられてきた。しかし、元々高価な素材である上に、近年の価格高騰もあり、安価な材料への転換が求められてきた。代表的な代替材としてCu(銅)ワイヤがある。ICでは一般的に使われているが、ボンディングプロセス中に酸化を防止するため、水素と不活性ガスの混合雰囲気が必要であり、水素を用いる点で安全面での対策が必要であった。当社ではCuやAuと同程度の電気伝導率を持ち、酸化に耐性があるAgを代替材として検討した(表2)。

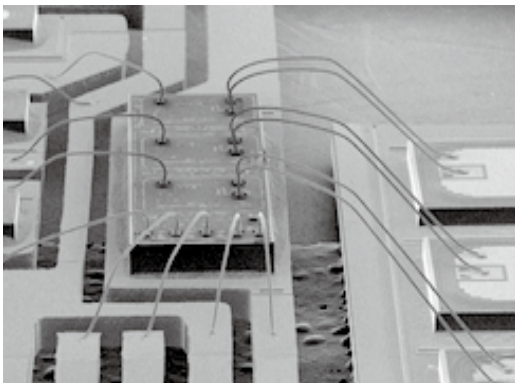
ただし、Agには酸化の耐性がある一方、空气中に放置されることで金属表面が硫化し、ボンディング時の接合性が悪化する懸念があった。この問題を解決するため、材料メーカーで、Ag材料に改良を加えてきた結果、大気放置による硫化の抑制と、不活性ガス雰囲気中でボール形成が可能なAgワイヤが開発された。素材のコスト面では、AgはCuと比較して高くなるが、細線への加工コストを含め

表2. Auワイヤ代替材相対比較

	Au	Ag	Cu
化学的安定性(表面変質)	◎	○	△
ボンディング性	○	○	△
コスト(材料+加工)	×	○	○
ボール形成時雰囲気	大気	不活性ガス	不活性ガス+H ₂



Auワイヤ



Agワイヤ

図5. Au, Agワイヤループ形状比較

た全体的なコストで見れば差は小さい。設備面では既存のワイヤボンド装置の改造で対応が可能であること、水素などの還元ガスが不要であることによって、安全面を含めてメリットが大きい。

図5に、同じチップ-リードフレームのレイアウトでのAuワイヤとAgワイヤのループ形状の比較を示す。ワイヤボンド装置によってワイヤ材質にかかわらず同様なループ形状を形成することが可能であり、レイアウトなど設計的な制約は従来のAuワイヤと同じであることが確認できた。

図6は、モジュールを高温保存(200℃/2,000hr)したAgワイヤボール-チップ接合部断面のSEM(Scanning Electron Microscope)写真である。AgワイヤボールとAlパッド間には、Ag-Alの金属間化合物(IMC)が形成されているが、高温保存によって発生する現象として知られ

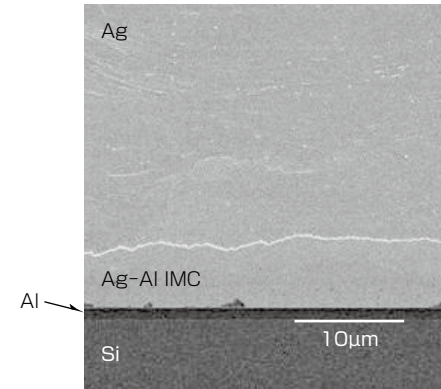
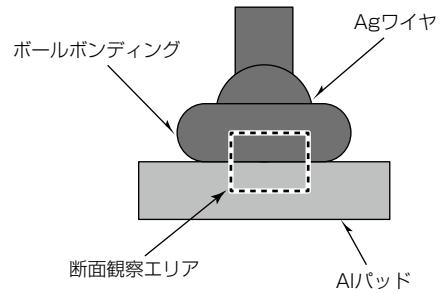


図6. 高温保存後(200℃/2,000hr)のAg-Al金属間化合物断面

ている金属間化合物中にカーケンダル効果(Kirkendall effect)によるボイドの発生も見られず非常に良好な接合界面を保っていることが確認できた。

4. む す び

小型・小容量のカテゴリーに対して従来の絶縁シートタイプのパワーモジュールから、フルモールドタイプに変更し、表面実装に対するJEDEC規格を満足するパッケージ構造を開発した。また、内部配線であるAu・Alワイヤに対して全てにAgワイヤを採用したことで、ユーザーでの組立て工程の取り扱いやすさ、コスト面でも改善されたパワーモジュールを実現することができた。今後も、市場要求に応じたモジュール構造を実現するために材料及び製造プロセスを含めたパッケージング技術によって、次世代のパワーモジュールの開発を加速して省エネルギー化社会への貢献を目指していく。

参 考 文 献

- (1) ゴーラブ マジウムダール, ほか: パワーモジュールの最新動向と展望, 三菱電機技報, 92, No.3, 158~162 (2018)
- (2) 原田啓行, ほか: パワーモジュールにおける表面実装パッケージング技術の開発, エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム論文集, 25, 35~38 (2019)
- (3) 作谷和彦, ほか: トランスファーモールド構造のモジュールへのAgワイヤ適用, エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム論文集, 23, 35~38 (2017)