

半導体モールド用 離型フィルムの開発

Development of Release Film for Semiconductor Molding Process



安部雄介

森田さより

鹿野創一

安部雄介 / 森田さより / 鹿野創一

Yusuke Abe

Sayori Morita

Soichi Shikano

研究開発カンパニー 研究開発センター 機能性樹脂開発室

Functional Resins Development, R&D Center, R&D Company

1

はじめに

近年、生成AIの急速な技術革新や生成AIを活用する企業や製品の拡大によって、半導体の需要が高まっている。2025年までの年平均成長率も約13%と見込まれており、その成長が著しい¹⁾。この半導体は現代産業の中心であり経済の心臓部ともいえるが、非常に複雑で高度な技術が必要となる製造工程には多くの課題がある。

半導体の製造工程は、「回路設計（フォトマスク製造）」、「前工程」、「後工程」の3つに分かれている。これまでの技術進化は、「前工程」において回路の線幅を狭め、集積度を高める「微細化」に集中していた。しかし、現在では回路の線幅が限界まで極小化され、物理的・コスト的な限界が近づいている。こうした状況の中で、「後工程」において、半導体の構造を立体化（2.5D/3Dパッケージ）するなどして集積化をさらに進める取り組みが活発化している。

本稿では、この「後工程」の1つで、物理的衝撃や水分、ほこり等から半導体素子を守るモールドングで使用される離型フィルムの開発について紹介する。

2

モールドングとは？

モールドングとは、半導体素子をモールド樹脂で封止する工程を指し、金型を使用する金型モールド法が主流となっている。前工程で製造された半導体素子は水分やほこりなどの影響を受けやすく、また数十 μm の金属線（ワイヤー）で回路基板と接続されるため、衝撃や振動に非常に弱い。このため、モールドングによって外部環境から半導体素子やワイヤーを保護する必要がある²⁾（[図1](#)）。

この金型モールド法には、トランスファー方式（トランスファーモールド）とコンプレッション方式（コンプレッションモールド）の2つの方式がある（[図2](#)）。

トランスファーモールドは、従来から半導体や他の電子部品の樹脂封止に使われてきた方式で、あらかじめ金型内に半導体素子を設置した後に、熔融したモールド樹脂を流

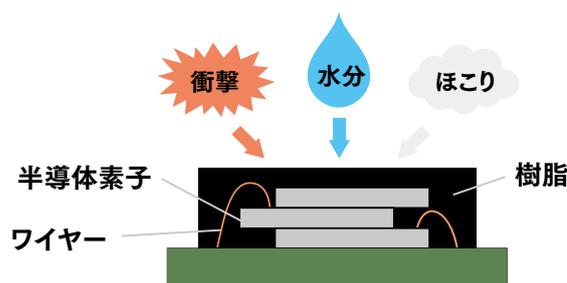
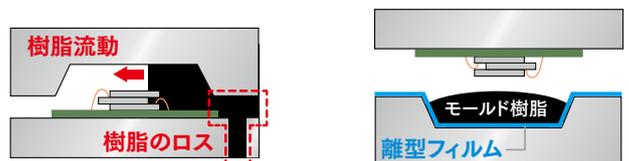


図1 モールドングの目的

し込んで硬化させる。熔融したモールド樹脂を流動させて成型するため、複雑な形状の成型には適しているが、流路でのモールド樹脂のロス、樹脂の流動によるワイヤーの変形や樹脂の金型への接触による金型汚染といったリスクがある。

一方、コンプレッションモールドは、下部金型で樹脂を熔融させた後、上部金型に配置した半導体素子を浸してから硬化させることで封止する方式である。トランスファーモールドに比べて樹脂の流動が抑えられ、半導体素子やワイヤーへの影響が少なく、金型とモールド樹脂の間に離型フィルムを使用することから、金型汚染のリスクを大幅に低減することができる。



トランスファーモールド

コンプレッションモールド

図2 モールドングにおける2つの方式

現在は従来からのトランスファーモールドが広く使用されている。しかし、求められる高機能化・薄型化に対応するパッケージの最小化・極薄化の実現、モールド樹脂のロスや樹脂流動による影響、金型汚染の回避から、コンプレッションモールドの使用が増えつつあり³⁾、同時に離型フィルムの重要性も高まっている。

離型フィルムに必要となる物性

コンプレッションモールドの成型プロセスを解説しながら、使用される離型フィルムに必要となる物性を以下に示す(図3)。

3-1 成型プロセスと離型フィルムの必要物性

成形プロセスでは、まず離型フィルムを金型に吸着させる(プロセス①)。このとき、隙間なく金型内にフィルムを追従させるため、フィルムの物性として【伸び】が必要となる。

次に、金型の熱でモールド樹脂を溶融し、高温高圧でモールド樹脂を硬化させる(プロセス②)。このとき、離型フィルムにも100°C~200°Cの熱がかかるため、フィルムの物性として【耐熱性】が必要となる。

モールド樹脂の硬化後、離型フィルムから剥がして成型を完了させる(プロセス③、④)。このとき、密着性の高いモールド樹脂を金型から剥がせるよう、フィルムの物性として【離型性】が必要となる。

モールド成型後、表面には製品情報や識別番号がマーキングされる。このマーキングの読み取り感度を上げるため、モールド樹脂の表面は微細な凹凸形状(梨地)に仕上げておく必要がある。このため、モールド樹脂が直接接触れる離型フィルム面には、モールド樹脂表面に梨地を賦形する【梨地性】が必要となる。

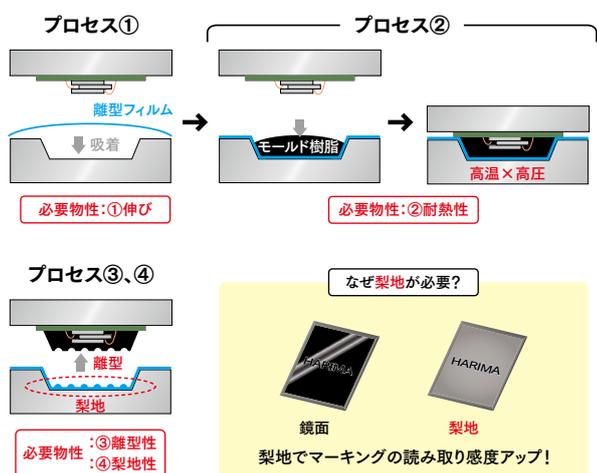


図3 コンプレッションモールドの成型プロセス

以上よりコンプレッションモールドに使用される離型フィルムには【伸び・耐熱性・離型性・梨地性】が必要となる。

3-2 従来の離型フィルムと課題

現在、コンプレッションモールドに必要な【伸び・耐熱性・離型性・梨地性】を満たすフィルムとして、高い機能を有するフッ素系のフィルムが使用されている。一方、フィルムに使用される一部のフッ素化合物には、PFAS等、

環境への影響が懸念されるものがある⁴⁾。欧州ではPFAS規制に向けた検討が進められており、化学物質管理法規である「REACH規則」などで制限が決まれば、PFASの製造、使用、輸入が制限されることになり、この動きは世界中に波及する可能性もある。

こうした状況の中、製造業ではPFASの製造を中止する企業も出てきており、半導体製造業界においてもPFAS代替材料の開発が急務となりつつある。

開発品のコンセプト

当社では、コンプレッションモールドで使用可能な、フッ素化合物を使用しない離型フィルム(半導体モールド用離型フィルム)の開発に着手した。開発コンセプトは、汎用フィルムにフッ素化合物を使用しない離型層を設けることで、離型フィルムとして要求される物性を付与するというものである(図4)。



図4 開発品のコンセプト

具体的には、【伸び・耐熱性】を満たす汎用フィルムに対し、当社で開発した専用の離型剤をコーティングして離型層を形成させることで【離型性・梨地性】を付与し、すべての物性を満たすフィルムの開発を目指した。また専用の離型剤は、設計の自由度が高く、当社で長年の製造実績があるアクリル樹脂で開発することとした。

4-1 必要物性【伸び】の付与

伸びの評価には、精密万能試験機(オートグラフ)を用いて、離型層を設けたフィルムを徐々に延伸していき、離型層が割れた点を目視で確認して伸び率^{*}を算出した(図5)。

※伸び率の計算方法

引っ張り前の試験片の長さ (cm) = X

離型層が割れたときの試験片の長さ (cm) = Y

伸び率 (%) = [(Y-X)/X] × 100

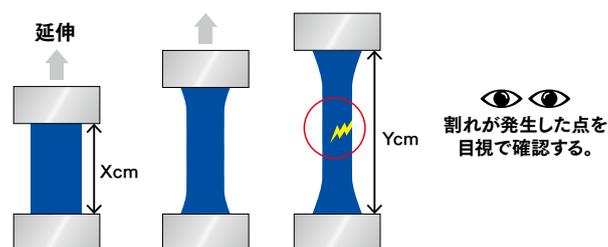


図5 伸びの評価方法

コンプレッションモールドの成形プロセスでは、まず金型にフィルムを追従させる工程でフィルムが伸びる。このとき、金型の形状によって異なるものの、少なくとも100%以上の伸び率が必要である。しかし、アクリル樹脂のみを使用した場合には、離型層の柔軟性が乏しく、成形プロセスで離型層の割れにつながるリスクがあった。そこで、離型層に柔軟な構造を導入し、伸びを付与する検討を行った(図6)。

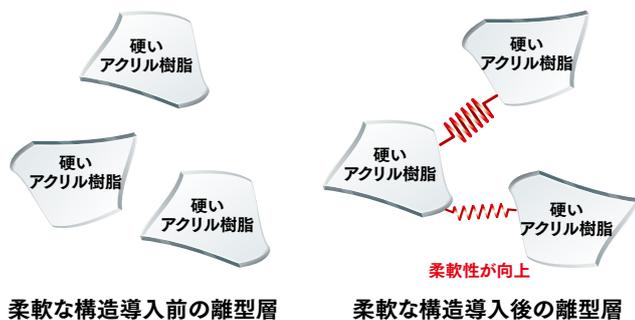


図6 柔軟な構造の導入による伸び向上のイメージ

柔軟な構造の導入による伸び率の変化を下図に示す(図7)。柔軟な構造を導入しない場合、伸び率は目標値以下であるのに対し、導入量に比例して伸び率が向上することがわかった。また、一定量以上の導入により、100%以上の伸び率を付与することができた。

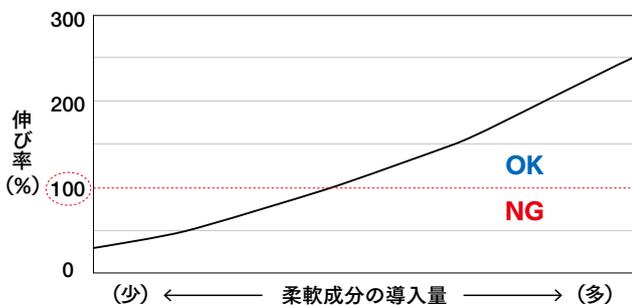


図7 柔軟な構造の導入による伸び率の変化

4-2 必要物性【耐熱性】の付与

耐熱性の評価には、示差走査熱量計(DSC)で融解熱のピークを確認した。

コンプレッションモールドで使用する金型の温度は100℃~200℃であり、離型フィルムには少なくとも200℃以上の耐熱性が必要である。しかし、離型層を形成するアクリル樹脂がコンプレッションモールドの温度で軟化すると粘着性が発現し、モールド樹脂の離型性が損なわれる可能性がある。そこで、アクリル樹脂に架橋構造を導入することで、離型層の耐熱性を向上させる検討を行った。

検討の結果、架橋構造の導入でアクリル樹脂の軟化点が大きく変化する傾向が見られた。例えば、-41℃で軟化

するアクリル樹脂に架橋構造を導入することで200℃まで軟化しない挙動が観察された(図8)。この架橋構造を導入する設計で耐熱性を付与することができた。

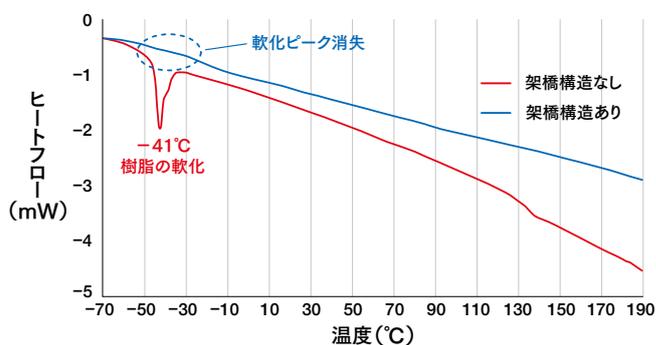


図8 架橋構造の有無による耐熱性

4-3 必要物性【離型性】の付与

離型性の評価には、幅1.9cmの31Bテープ(日東電工製)を使用して剥離強度を測定した(図9)。また目標値は現行のフッ素系フィルムの測定値から、1.0N/1.9cm以下に設定した。

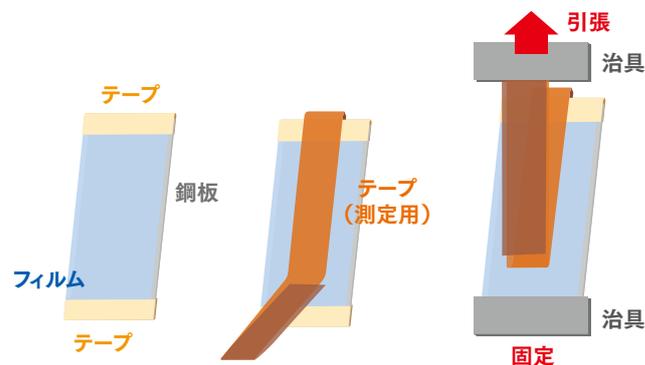


図9 剥離強度の測定方法

フッ素系フィルムは、フッ素化合物による疎水性の高さによって高い離型性を発現している。そこでアクリル樹脂での設計においても、疎水性の高い成分(モノマー)を使用することで離型性を向上させる検討を行った。また、疎水性の指標にはClogP(Poly)を用いて、ClogP(Poly)値を変化させたアクリル樹脂を試作し、剥離強度を評価した。

評価の結果、アクリル樹脂のClogP(Poly)値が高いほど(疎水性が高いほど)、剥離強度が低下(良化)する傾向が観察された。一方で、ClogP(Poly)値が一定の値を超えると離型層の伸び率が大幅に低下(悪化)する傾向も見られた(図10)。使用した疎水性の高い成分(モノマー)は嵩高い構造を有していたため、この構造が影響した結果と考えている。本結果から、剥離強度と伸び率のバランスを考慮してClogP(Poly)値の最適な範囲を見出し、離型層となるアクリル樹脂の組成を決定した。

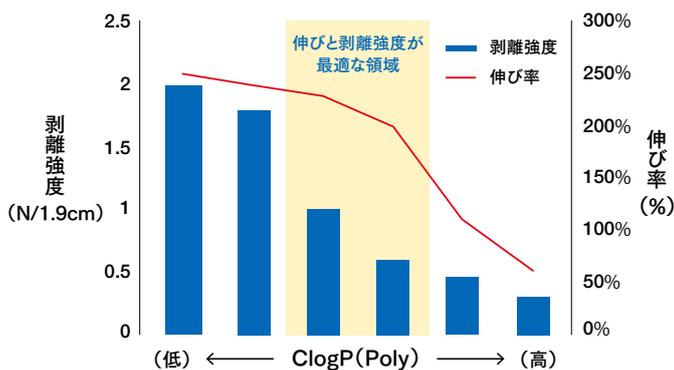


図10 アクリル樹脂のClogP (Poly) 値と剥離強度および伸び率

4-4 必要物性【梨地性】の付与

梨地性の評価では、ホットプレス機を用いて離型フィルムにモールド樹脂を押し当て、モールド樹脂の硬化後、離型フィルムを剥離して評価用サンプルを作製した (図11)。

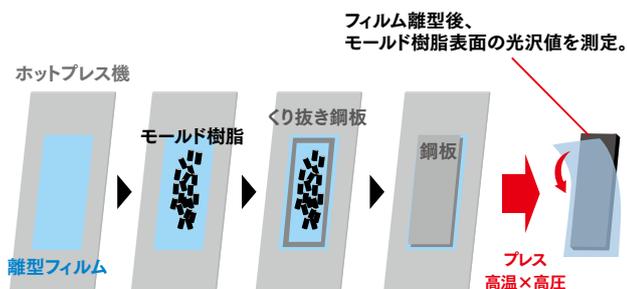


図11 梨地性評価用サンプルの作製方法

次に、評価用サンプルの離型フィルムと接触していた面の光沢値 (60° G値) をグロスメーターで測定した (値が低いほど梨地性が高い)。また目標値は、市販されているモールド成型物表面の光沢値から、20以下に設定した。

具体的な離型層への梨地性の付与には、離型層への粒子の配合を検討した。配合する粒子として粒子径が同じ有機・無機粒子を選定し、その配合量による光沢値への影響を下図に示す (図12)。結果として、有機・無機粒子、いずれも配合量に比例して成型物の光沢値が低下する傾向が確認できた。

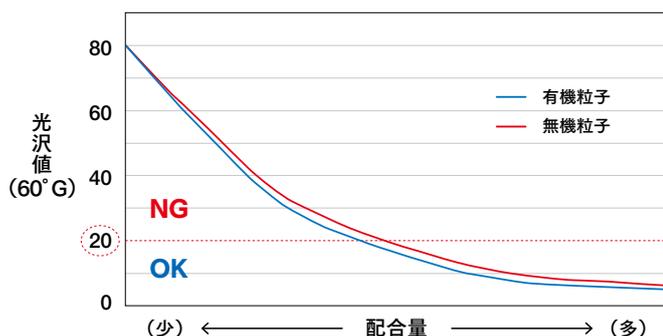


図12 有機・無機粒子の配合量と成型物の光沢値

なお、離型層への粒子の添加により、モールド樹脂側に粒子が転移するリスクがある。このリスクに関しては、実際のコンプレッションモールドにて検証することとした。

4-5 コンプレッションモールドによる検証

モールド成型物への粒子の転移を含め、付与した物性の効果を検証するため、有機粒子または無機粒子を配合した離型フィルムを用いてコンプレッションモールドを行った。

SEM-EDSにて、成形したモールド樹脂の表面や使用後の離型フィルムを分析した結果、有機粒子を使用した離型フィルムでは粒子の転移が観察されなかった (図13)。しかし、無機粒子を使用した離型フィルムの表面には粒子が転移している箇所が観察され、転移のリスクが高いことがわかった。離型層の主成分はアクリル樹脂のため、相互作用の強い有機粒子では、粒子の転移を抑えることができたと考えられる。

成型物の画像	有機粒子を使用した離型フィルム	無機粒子を使用した離型フィルム
SEM画像		
元素マッピング (金属元素)		
粒子の欠落	なし	あり

図13 成形したモールド樹脂の表面分析結果 (SEM-EDS)

また有機粒子を配合した離型フィルムは、伸びや耐熱性に加え、良好な離型性を示すことが検証でき、モールド成型物の梨地性も目標値を達成することができた。

5

おわりに

開発した半導体モールド用離型フィルムは、今後の伸びが期待できるコンプレッションモールドへの適用性が検証でき、従来のフッ素系フィルムからの置き換えによって半導体の製造工程における環境負荷軽減という価値を提供できるものと考えている。

今後、本開発品の市場への提案と、フィードバックを活かした更なる高機能化に取り組んでいく。

(参考文献)

- 1) 「2024年春季半導体市場予測について」世界半導体市場統計 (WSTS)
- 2) 越部茂 『半導体封止材料 総論』サイエンス&テクノロジー社
- 3) 『2022 エレクトロニクス実装ニューマテリアル便覧』株式会社富士キメラ総研
- 4) 経済産業省ホームページ、PFOAとその塩及びPFOA関連物質の有害性の概要 https://www.meti.go.jp/shingikai/kagakubussitsu/anzen_taisaku/pdf/r03_s01_02.pdf