

パワー半導体向けの高耐熱性仮固定材料の開発

(三井化学株式会社) ○梶原陸生, 高瀬昂, 吉川太一, 安井浩登, 岡崎真喜

【要旨】

パワー半導体製造用のポリイミド系仮固定材の開発を検討した。1次構造の組成検討の結果、ポリイミド中に特定の構造を有するモノマーを共重合することで、耐熱分解性を維持しつつ、仮固定材に必要な熔融特性を付与できることを明らかにした。続いて、最適化した組成についてパワー半導体工程の適用性を検討した結果、プロセス適正があることが確認できた。以上の結果から本開発のポリイミドはパワー半導体の製造工程部材として有望であると考えられる。

【緒言】

半導体は導体と絶縁体の中間の電気特性を備えた物質で、その電気特性を利用し様々な半導体素子が製造されている。その中でもパワー半導体は電源の電力をコントロールする役割を持つ半導体素子である。パワー半導体は、電気自動車等に多く使用されていることから、近年ますます需要が高まっている[1]。

パワー半導体の製造は前工程と後工程に分かれており、後工程では半導体ウエハの研削や高温裏面処理が行われるのが大きな特徴である[2]。この後工程では、薄化したウエハの割れや高温によるウエハ反りを防止するため、加工前にテープでウエハをサポートする手法が用いられてきたが[3]、近年、製造プロセスにおいて、さらなるウエハの薄化、高温化が進んでいることから、テープよりも耐熱性に優れる「仮固定材+支持基材」を使用してウエハをサポートする手法が注目されている[4]。

「仮固定材+支持基材」を使用した後工程プロセスでは、前工程で回路形成済みのウエハに仮固定材を塗工し、仮固定材を介して支持基材を熱貼合することでウエハをサポートする方法が知られている(図1)。使用する仮固定材は、高温裏面処理に対する耐熱性が必要であるため、ポリイミド(PI)系材料の応用が期待されている。

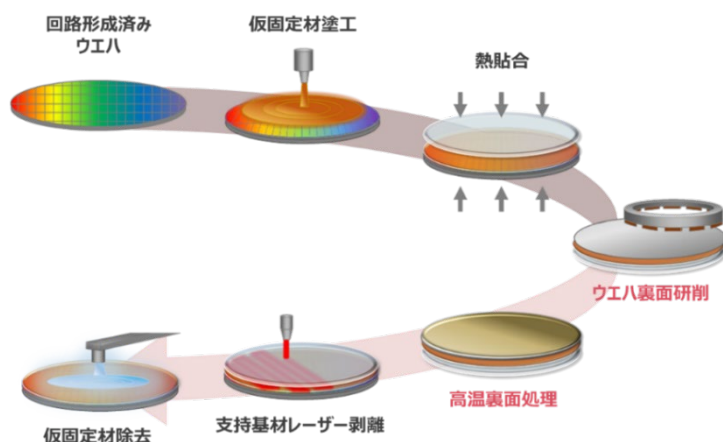


図1. パワー半導体の後工程プロセスの一部

しかし、一般的なポリイミドはその樹脂骨格の剛直さから、高温時にも熔融流動性が乏しいため、熱貼合プロセスへの適用が難しい。一方、熔融性向上のため、柔軟な骨格を有する熱可塑性ポリイミドの適用を考えた場合、高温裏面工程で必要な耐熱性に達しないことが想定される。

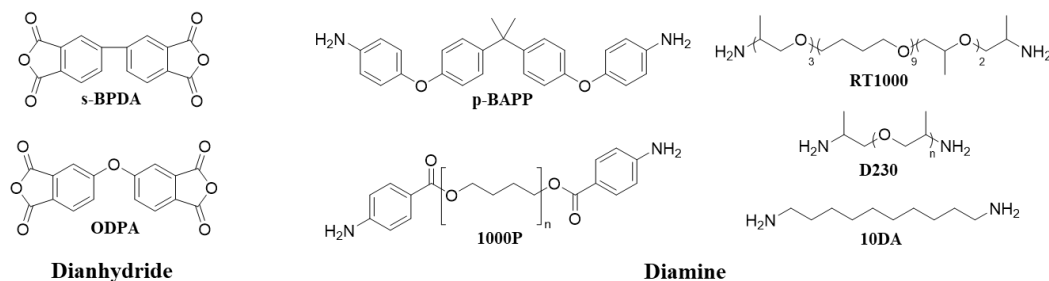
そこで、本開発では、パワー半導体用仮固定材への適用のため、耐熱分解性と適度な熔融特性を両立したポリイミドの開発を目的とし、ポリイミドモノマー中の脂肪族モノマーの種類や組成比が、耐熱分解性や高温時の熔融特性（弾性率）に及ぼす影響を調べた。

【実験】

溶媒に各モノマーを 15℃以下で添加し、その後、加温しながら攪拌することでポリアミド酸ワニスを得た。これらのワニスをガラス上に塗工し、熱イミド化させることでそれぞれのフィルムを作成した。得られたフィルムの耐熱性評価として、熱重量分析（TGA）にて 5%熱重量減少温度（Td5）を測定した。また、得られたフィルムの熔融性評価のために、動的機械分析（DMA）にて貯蔵弾性率（E'）を測定した。続いて、最適化した組成に関して、パワー半導体の想定プロセス評価を実施した。

【結果と考察】

フィルム物性評価



式 1. 使用したモノマーの構造

表 1. ポリイミドの組成とフィルム物性値

Run No.	Dianhydride			Diamine		Td5 ^{a)} [°C]	E' ^{b)} [GPa]
1	s-BPDA	ODPA	p-BAPP	RT1000		381	1.5
2	s-BPDA	ODPA	p-BAPP	1000P		342	0.0039
3	s-BPDA	ODPA	p-BAPP	D230		205	0.29
4	s-BPDA	ODPA	p-BAPP	RT1000	10DA	384	0.11
5	Monomer A		p-BAPP	RT1000	10DA	384	0.0040

a) 5% weight loss temperatures determined by TGA in air at a heating rate of 10°C. b) Storage modulus determined by DMA at 140°C.

組成検討に使用したモノマーを式 1 に、ポリイミドの組成と測定したフィルム物性値を表 1 に示す。

はじめに、当社がこれまで実施した開発組成の中で、耐熱分解性が高くかつ柔軟性のある組成では、Td5 が 381℃、E' が 1.5GPa となった (Run 1)。この組成から溶解性を向上させるため、ジアミンモノマーに 1000P、D230 といった脂肪族鎖含有ジアミンを使用した PI フィルムは、Run 1 よりも低い E' を示し溶解性の向上が示唆されたものの、Td5 に大きな低下が見られた (Run 2, 3)。一方、ジアミンモノマーの一部に 10DA を共重合した PI フィルムは、高い Td5 を維持しながら、低 E' を示した (Run 4)。さらに、酸二無水物に特定の構造を用いると、より E' を低下させることができた (Run 5)。1000P や D230 を含むフィルムは、耐熱分解性が大きく低下したことからエステル結合やメチン (C-H) 結合が熱分解しやすい構造であると言える。一方、10DA を共重合したフィルムは脂肪族鎖中に分岐が無いため、耐熱分解性を維持しながら、脂肪族鎖含有による高溶解性 (低 E') を付与できたと考えられる。

パワー半導体プロセス想定評価 (1) : 熱貼合評価

続いて、Run1 の組成と Run1 から溶解性を向上させた最適化組成 (Run 5) についてパワー半導体工程の熱貼合プロセスに対する適用性を検討した。それぞれのポリイミド酸ワニスをミラーウエハ上に塗工し、支持基材を熱で貼合した結果を図 2 に示す。

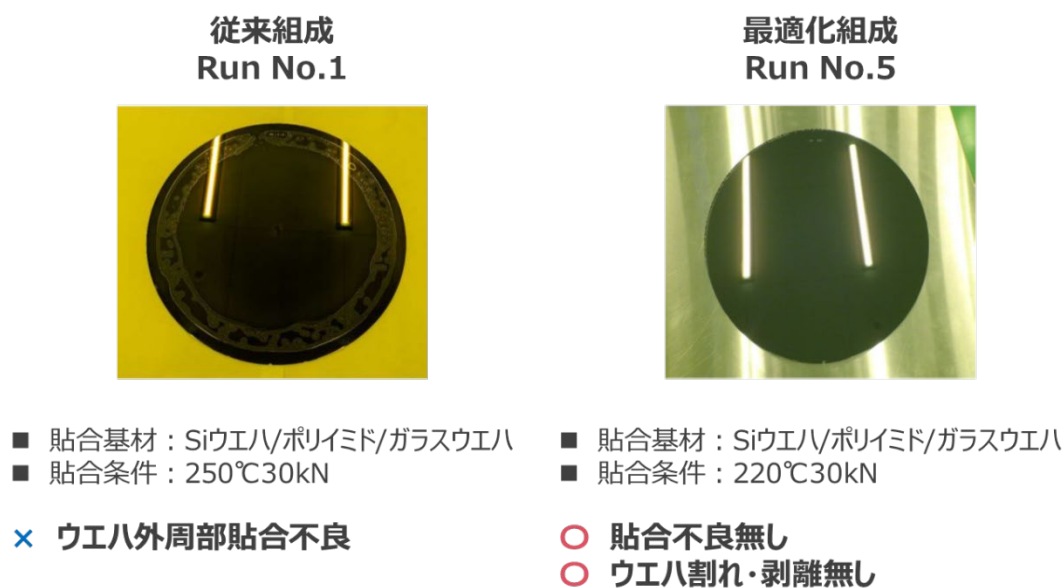


図 2. Si ウエハとガラスウエハの熱貼合評価の結果

各銘柄 220℃~250℃で加熱しながら 30kN で加圧貼合を実施したが、Run1 組成の時、ウエハ外周部に貼合不良部位が発生し、全面が空隙なく貼合されたウエハ積層体を得られなかった。一方、Run5 組成の場合、ウエハ外周部にも貼合不良部位が発生せず、空隙のないウエハ積層体を得ることができた。Run5 組成は高温下における E' を Run1 よ

りも低減させたことにより、貼合時の熱で仮固定材が適度に溶融し、全面に空隙なく貼合できたと考えられる。

パワー半導体プロセス想定評価（2）：加熱評価

次に、最適化組成のポリイミド（Run 5）を介して貼合したウエハサンプルについてパワー半導体工程の高温裏面処理工程を想定した加熱試験を実施した。加熱試験の結果を図 3 に示す。



- 貼合基材：Siウエハ/ポリイミド/ガラスウエハ
- 加熱条件：250℃10分減圧下

- 外観不良無し
- ウエハ割れ・剥離無し

図 3. 貼合サンプルの加熱評価の結果

減圧下で 250℃10 分間加熱したが、アウトガス由来のボイドやウエハの剥離等は発生せず、加熱処理前と同じ状態を維持していた。この結果から最適化した Run5 の組成である仮固定材は高温工程に対する耐熱性を十分に有していると考えられる。

【結論】

以上の結果、ポリイミド中に特定の構造を有するモノマーを共重合することで、ポリイミド特有の耐熱分解性を維持しつつ、仮固定材に必要な溶融特性を付与できることを明らかにした。本開発のポリイミドは高耐熱性が求められるパワー半導体の製造工程部材として有望であると考えられる。

【参考文献】

- [1] 株式会社富士経済 PRESS RELEASE 第 23040 号
- [2] 株式会社アルバック HP 「IGBT 向け製造プロセス」
https://www.ulvac.co.jp/wiki/process_g_igbtsolution/
- [3] 三井化学東セロ株式会社 HP 「ICROS™ TAPE」
<https://www.mc-tohcello.co.jp/icros/>
- [4] Mo, Z.; Wang, F.; Li, J.; Liu, Q.; Zhang, G.; Li, W.; Yang, C.; Sun, R. *Electronics* **2023**, *12*, 1666.