

ディビジョン番号	13
ディビジョン名	高分子

大項目	3. 高分子の機能
中項目	3-5. 耐熱性・難燃性
小項目	3-5-1. 耐熱性

概要（200字以内）

最も実用的な耐熱性高分子として芳香族ポリイミドが知られており、ハンダ耐熱性を有することから主にマイクロエレクトロニクス分野において電気絶縁膜として実用化されている。ポリイミドも含め、高分子の耐熱性向上そのものを目的とした研究の方向性はほぼ収束したが、近年のマイクロエレクトロニクス、オプトエレクトロニクスの急速な進歩に対応すべく、現在では耐熱性を維持しながら他の複数の要求特性も同時に満足する多機能性耐熱高分子の研究開発が盛んになってきている。用途毎に要求される特性と達成の難易度、更に将来必要になるであろう耐熱高分子材料の予測について大雑把に述べる。

現状と最前線

現存する有機高分子の中で最高クラスの耐熱性を有する芳香族ポリイミドは、そのハンダ耐熱性からフレキシブルプリント配線基板（FPC）、テープオートメーションボンディング（TAB）、チップオンフィルム（COF）や半導体チップのバッファークコート膜および層間絶縁膜等に用いられている。ポリイミドの用途の殆どが上記のようなマイクロエレクトロニクス分野での使用であるため、宇宙航空分野のような特殊な用途を除けば、耐熱性は現時点でほぼ十分であり、耐熱性そのものの更なる向上を目指す研究はほぼ完結した感がある。現在、物理的耐熱性（ガラス転移温度等）や化学的耐熱性（熱酸化安定性等）とポリイミドの化学構造との間の相関関係は大体解明されているとよい。耐熱性高分子研究の現在の流れは、耐熱性を保持したままで、用途毎に要求される特性を如何に達成するかという方向である。例えば近年芳香族ポリイミドはその自己配向性を利用して低線熱膨張係数（CTE）を発現させることで、接着剤を使用しない2層FPC用絶縁材料として用いられている。最近、更に高度な寸法安定性が求められるようになり、低CTEに加え、低吸湿膨張係数（CHE）が必要になってきている。

要求特性によってはトレードオフの関係にあり両立が困難な場合もある。例えば、ポリイミドを透明化するには脂環構造の導入が不可欠であるが、これにより難燃性が劇的に低下する。また液晶ディスプレイ（LCD）中のガラス基板を透明ポリイミドで置換え、耐折曲げ性や耐

表1 将来必要となる耐熱性高分子の用途別要求特性と達成難易度の例（10段階評価）

用途	低CTE	低CHE 低吸水性	高靱性	難燃性	高透明性	低誘電率	低誘電正接	溶媒 溶解性	難易度 レベル
次世代FPC	◎	◎	◎	○		○	○		7
ガラス代替	○	◎	◎	○	◎			◎	6
層間絶縁膜	◎	◎	○	○		◎	◎	○	8
次世代BCF	◎	◎	○	○	◎				7

衝撃性を高めたフレキシブルLCDの開発動向がある。この際ポリイミドには透明性、膜靱性、ガスバリアー性に加え、TFT-LCD製造工程上250°C以上のガラス転移温度が求められ、更に100μm厚のシート加工のため、溶液または熱加工性も必要となり、これらを全て満足することは分子設計上簡単ではなく、どのような高分子材料が採用されるか未だ決着していない。

半導体チップの層間絶縁膜としてポリイミドが用いられているが、配線層における信号伝播速度の低下を防止するために絶縁層には低誘電率・低誘電正接が求められ、更に熱応力緩和の観点から低CTE、デバイスの信頼性の観点から低吸水性も同時に要求される。またポリイミド絶縁層を形成する際、熱イミド化工程のような高温を適用できない場合があり、ポリイミド自身が有機溶媒に可溶であることが時として求められる。しかしながら溶解性を高める分子設計はTgの低下やCTEの増加等、しばしば好ましくない影響を同時にもたらす。

半導体チップの回路や無機のパッシベーション膜を外部応力から保護するためのバッファークコート膜としてポリイミド用いられているが、耐熱性、高弾性率、低熱膨張係数、低吸水性に加えて、外部電子回路との接続のための微細穴あけ加工性即ち感光性が必要である。環境への配慮からアルカリ現像可能なポジ型感光性ポリイミドシステムが望ましいが、現在知られているポジ型感光性ポリイミドでは解像度の点で十分ではない。現行のポジ型感光性耐熱材料としては感光性ポリベンゾオキサゾールの方が感光性ポリイミドより高解像度の点で優れているが、ポリベンゾオキサゾール系では入手可能なモノマーが限られており、上記の要求特性を全て満足することは困難であるのが現状である。上記要求特性を全て保持したまま解像度3μm、将来的には1μmを実現可能なポジ型感光性ポリイミドの開発が期待される。

その他の半導体用絶縁膜として低CTEと低弾性率を同時に有する耐熱高分子材料が求められているが、これらの物性は原理的にトレードオフの関係にあり、これを達成するにはなんらかの技術革新が必要である。10年後の実現が期待される。

(参考文献) 最新ポリイミド、今井・横田編、NTS、(2002)。

将来予測と方向性

・5年後までに解決・実現が望まれる課題

ガラス並みに透明で高靱性、溶液加工性、ガスバリアー性を全て満足する耐熱高分子の開発
解像度1μmのポジ型感光性ポリイミドバッファークコート膜

銅箔と等しい線熱膨張係数、低吸湿膨張係数、高い銅箔接着強度、高靱性、高い難燃性、高いガラス転移温度を同時に満足する2層銅張積層板用ポリイミドの開発

・10年後までに解決・実現が望まれる課題

低線熱膨張係数と低弾性率を同時に有する耐熱高分子材料の開発

低誘電率 (< 2.4)、低熱膨張係数、低吸水性を同時に有する可溶性耐熱材料の開発

キーワード

耐熱性高分子、ポリイミド、低吸湿膨張性2層FPC、フレキシブルLCD用ガラス代替透明耐熱材料、高解像度ポジ型感光性ポリイミド、低誘電率・低熱膨張可溶性ポリイミド

(執筆者：長谷川 匡俊)