液晶ポリマー材料と電子部品への応用

Liquid Crystalline Polymer in Electronic Components

近川 満*

1. はじめに

近年、携帯電話やノートパソコンなどの移動体情報機器が急速に普及し、その高性能化および小型化に対するニーズが高まっている。これにともない、電子機器および部品の小型軽量化に対する要求がますます強くなっている。

回路実装技術の面から見ると、基板の多層化とファインライン化により高密度化を目指すことになる。部品の実装方法としては、リフローはんだによる表面実装方式が採用されている。個々の部品に対しては、高性能化と同時に小型化および薄肉化を求めることになる。

電子部品用の材料面から見ると、リフローはんだ時の温度に耐える耐熱性を持ち、しかも小型薄肉化を実現する良好な加工性が求められることになる。

ここでは各種の耐熱樹脂材料との比較、特にコスト比較を行い、液晶ポリマー（以下 LCP と称する）を使いこなすことによりコストダウンを実現し、さらに LCP 特有の付加価値を加えた例を紹介する。

2. 耐熱樹脂材料

耐熱という特性だけをとりあげると熱硬化性樹脂が優れており、たとえば半導体の封止に使われるエポキシなどは理想的な樹脂である。ところが複雑な形状で薄肉の部品を歩留り良く、ハイサイクルで大量生産するとなるとお手上げである。ここではどうしても熱可塑性の耐熱

樹脂を使いこなさなければならない。Fig.1 に一般的に使用されている耐熱樹脂の比較を示す。

Fig.1 は縦軸に長期耐熱（連続使用温度）、横軸に短期耐熱（熱変形温度）をとり各樹脂をプロットしたものである。電子機器の多くは 100℃ 以上の高温にさらされることはまれで、長期耐熱はさほど重要視する必要はない。これに対して、はんだ付け工程に耐えるかどうかの指標として短期耐熱が目安となる。一般的なリフローは

LCP : Liquid Crystalline Polymer
 PPS : Polyphenylene Sulfide
 PET : Polyethylene Terephthalate
 PCT : Polycyclohexanol Terephthalate
 PPA : Polyphtal Amide
 PBT : Polybutylene Terephthalate
 66 PA : 66 Polyamide
 46 PA : 46 Polyamide

Fig.1 High performance engineering thermoplastics.

* Mitsuru Chikagawa

デュポン(株)エンジニアリングポリマー事業部 / Engineering Polymers, DUPONT K. K.

RESIN	ADVANTAGE	DISADVANTAGE
PPS	<ul style="list-style-type: none"> - MECHANICAL STRENGTH - DIMENSIONAL STABILITY 	<ul style="list-style-type: none"> - FLASH - BRITTLINESS - MOLD CORROSION - DEFORMATION AFTER REFLOW
46PA	<ul style="list-style-type: none"> - HEAT RESISTANCE - TOUGHNESS 	<ul style="list-style-type: none"> - BLISTERING - DIMENSIONAL CHANGE BY MOISTURE PICKUP
PCT	<ul style="list-style-type: none"> - RESIN PRICE 	<ul style="list-style-type: none"> - MOLDABILITY - TOUGHNESS
PPA	<ul style="list-style-type: none"> - RESIN PRICE - CREEP RESISTANCE 	<ul style="list-style-type: none"> - MOISTURE PICKUP - HIGH MOLD TEMPERATURE
LCP	<ul style="list-style-type: none"> - SUPER HIGH FLOW - NO FLASH - HIGH CYCLE MOLDING - HEAT RESISTANCE 	<ul style="list-style-type: none"> - RESIN PRICE - WELDLINE STRENGTH - ANISOTROPY

Fig.2 Comparison of thermal resistant resin for SMT.

んだのピーク温度は 220~240℃であり、理論上は PET や 66 PA (66 ナイロン) などの汎用エンブラが使用できるはずであるが、実際にはリフロー炉内の温度のばらつきと、各顧客により装置や条件が異なることを考慮すると、部品メーカーとしてはある程度マージンをとらざるをえない。その結果、熱変形温度が 250℃以上のスーパーエンブラが採用されてきた。PPS (ポリフェニレンサルファイド)、PPA (芳香族ナイロン)、46 PA (46 ナイロン) などである。

各樹脂はそれぞれ一長一短があり、いずれも決め手に欠ける。Fig.2 に比較をのせる。現在のところ、寸法安定性に優れる PPS が幅広く使われている。

3. LCP の登場

LCP そのものは世に出てすでに 10 年以上たち、新素材と呼ぶほどのものではない。これまではその価格の高さゆえに大きな用途を見出すことができなかった。kg 単価の比較でいえば PET, 66 PA などの汎用エンブラの約 10 倍、PPS, 46 PA などのスーパーエンブラに対しても約 2~4 倍と大きくかけ離れていた。

このため LCP の採用は他の樹脂では成形できないような超薄肉部 (0.5 mm 以下) を持ち、形状が複雑で寸法精度が要求される部品などに限られていた。ところがこの数年、携帯電話などの爆発的な普及により、表面実装用の電子部品に対して、より小さく、より薄くする要求が強まり、従来の樹脂では成形が難しく歩留りが悪化するという状況に直面した。このような背景のもとに LCP がやむをえず採用されるようになった。

4. LCP の特徴

Fig.3 に示すように、LCP は従来の樹脂とは際立った違いがある。右側が一般的な結晶性樹脂で、上の熔融した状態では分子がばらばらに自由運動をしていて無定形な状態である。これが成形されて固まるときに部分的に結晶部を形成する。

それに対して左側に示した LCP は、分子が剛直であ

Fig.3 Structure of LCP & crystalline polymer.

Fig.4 Typical LCP structure.

るがゆえに分子運動は溶融状態でも制限される。そのため分子が同じ方向を向いてかたまりになっている。これが光学的異方性を示し、液体であるにもかかわらず規則的な分子構造を持つので液晶ポリマーと呼ばれる。ちなみに LCP とは液晶性を示すポリマーの総称であり、特定の分子構造を示すものではない。

さて、LCP は分子同士の絡みが少ないため低い射出圧で容易に流れる。これが他の樹脂に比べて際立った高流動性を示す原因である。また、溶融状態と固まった状態では分子が並び変わっただけで、体積変化は非常に小さい。このことが成形収縮率が小さく、寸法精度が出しやすい原因である。

Fig.4 に代表的な LCP の分子構造を示したが、いずれも剛直な分子である。各社のさまざまなグレードは物性が異なるが、LCP としての共通な特性がある。

LCP は次の特徴がある

- ①高流動性
- ②速い固化速度（バリが出ない、ハイサイクル）
- ③耐熱性
- ④耐薬品性、ガスバリア性、耐加水分解性
- 低アウトガス
- ⑤低熱膨張率（流動方向は金属並み）
- ⑥寸法安定性、低吸水性
- ⑦機械物性（薄肉になるほど LCP の特徴が出る）
- ⑧難燃性（難燃剤なしで UL 94 V-0）
- ⑨電気特性（高周波領域でのロスが小さい）

いずれも電子部品にとっては好ましい特徴といえる。一方で以下の欠点を持っており、製品設計や金型製作時に配慮が必要である。

- ①異方性が強い（機械強度、熱膨張率）
- ②ウェルド強度が低い

5. コ ス ト 比 較

LCP は前述のとおり電子部品用の材料として適した特性を持っているが、最大の弱点は樹脂単価の高さである。ここ数年で数量の伸びにしたがってかなり価格も下がってきたが、まだ PPS に比べて 2 倍以上である。

ここでは実例に基づき部品製造コストをいくつかの要素に分けて分析し、トータルコストの比較を行った。

成形部品のコスト構成

樹脂単価	¥/kg, ¥/cm ³
樹脂製品化率	製品/ランナー比率
	再生材比率
金型寿命	ショット数
成形サイクル	秒/サイクル, 製品個数/時間
後工程	バリ取り, 検査
歩留り	

実 例

ボード to ボードコネクタ (0.8mm ピッチ, 30芯),
部品重量: 2g/個, ランナー重量: 6g/ショット

項 目	LCP	PPS
樹脂単価	¥2500/kg	¥1100/kg
材料コスト	¥5.0/個	¥2.2/個
取り回数	2個	2個
サイクル	10秒	22秒
生産数/時間	720個	327個
加工賃	¥2200/時間	¥2200/時間
成形コスト	¥3.06/個	¥6.70/個
成形部品コスト	¥8.06/個	¥8.90/個

ここでは既存の PPS の金型を用いて成形サイクルによる生産性比較を行ったが、それだけでも 10 % のコストダウンとなった。これに加えて以下のさらなるコスト

低減が期待できる。

(1)製品化率の向上

LCPの高流動性を生かしてランナーを細くすることにより、ランナー重量を2g減らして製品化率を上げる。最大¥2.5/個の削減。

(2)金型寿命

LCPは、PPSのように腐食性ガスを発生させないので、金型寿命が伸びる。PPSの20万~30万ショットに対して、LCPでは100万ショットは期待できる。金型費用を300万円としても、その差は最大¥1.875/個にもなる。

(3)バリ取りおよび検査

LCPのユニークな特徴にバリが発生しないことがあげられる。それに対して、PPSは常にバリとの闘いである。定量化は難しいが、バリ取りと検査が省けることは成形者にとっては大きなメリットになる。

(4)歩留り

歩留りを決定する要素はいろいろあるが、各樹脂の適切な加工条件幅のぎりぎりのところで条件を設定せざるを得ない場合は、歩留りが急に悪化する傾向がある。薄肉で狭ピッチになれば、成形時の流動性の差が歩留りに決定的な差をつけることになる。ここでは議論しなかったが、ピッチが1mmを切ると差が大きくなることが経験的にいわれている。

6. 樹脂の使い分け

前述したように、樹脂単価が高いことが必ずしも採用の障害になるとは限らない。要は適材適所の使い分けがコストパフォーマンスを最大にするのである。

Fig.5にコネクタの全長とピンピッチによって決定されるLCPとその他の樹脂との使い分けを示した。TRANSITIONと表示された領域がどちらにもなりう

Fig.5 Material selection-connectors (Surface mount).

るオーバーラップした部分である。この領域にある部品は樹脂単価の高さゆえ最初からLCPを除外するのではなく、一度それぞれのコスト要素を検討し、LCPによってトータルコストがどうなるか試算してみるべきである。

他の電子部品にも同様の関係が成り立つ。どこが境界領域かは部品によりさまざまである。1mm以下の肉厚の製品の場合、材料の選択にあたってはLCPも候補材としてコスト試算をしてみることをお勧めしたい。

コスト以外でLCPが価値を生み出す例を紹介する。

(1)低アウトガス性

LCPは熱安定性が良く成形時のガスの発生が少ない。また、ポリマー成分以外の混ぜものが少ないため他成分からの分解ガスもほとんど無い。これに加えてLCPはガスバリア性（ガス遮蔽性）に優れるため、成形品内部にトラップされている分解物が出てこれない。この特性は接点材料の腐食を嫌うマイクロリレーやスイッチの材料としては理想的である。実際に表面実装用のリレーやスイッチへの採用が増えている。

(2)非ハロゲンV-0

LCPはその分子構造から来る特徴として自己消火性が高く、難燃剤を加えなくてもULの94 V-0が達成できる。ヨーロッパが一番先行しているが、環境問題意識の高まりとともに樹脂からハロゲン成分を取り除こうという動きがある。いまのところ、使用量の多いABSやPS（ポリスチレン）などの汎用プラスチックにフォーカスされているが、いずれエンブラにまで波及するのは必至である。現在のところ非ハロゲンの難燃樹脂はPPS、PC（ポリカーボネイト）など数えるほどしか無く、将来の樹脂選定に大きな変化が起こる可能性がある。このトレンドは、LCPにとっては後述するアロイ材も含めて追い風になる。

(3)高周波特性

LCPは携帯電話に使われる0.8~1.5 GHzの高周波領域での損失が小さく、プラスチックの中ではテフロンについて良い特性を持っている。この特性は100℃を超える領域でもほとんど変化しない。このことが携帯電話などの部品への採用を後押ししている。

7. LCPの今後の展開

表面実装用電子部品の需要は今後も伸び続け、それともなっていくLCPの使用量も増えてゆく。幅広く使われるようになるにつれLCPの良さが認識され、表面実装用以外にも採用されるケースが増えてきた。

4項で示したように、LCPは電子部品にとって好ま

Tab.1 Property of LCP blend.

Property	Unit	Original polymer	LCP blend	30% GF LCP
Tensile strength	MPa	60	146	150
Elongation	%	50	3.2	2.7
Flex modulus	GPa	2.6	8.2	12
Mold flow	Index	1	2	4

しい特性を数多く持っているが、ウエルド強度や強い異方性などの欠点もかかえている。また非強化グレードは実用にならない。これはLCPの分子がはがれやすく、こすると糸屑状に剝離することによる。さらに非強化グレードのウエルド強度はゼロである。

今後幅広い用途に展開するには既存のグレードでは限界があり、コストと特性の両面で改善が必要である。

一つの有望な手法として、他のポリマーとのブレンドやアロイ化がある。

Tab.1に、LCPと非晶性エンブラとのブレンド品の特性を一例として紹介する。Original PolymerがLCPにブレンドされた相手樹脂の物性である。LCPの剛直な分子が補強材の役目をして、あたかも強化材入りの樹脂のような機械的強度を有している。これはLCPリッチのブレンドであるので樹脂単価の低減効果はさほどで

はなく、比重を考慮した体積換算で約20%程度のコストダウンである。ブレンド比を変えることにより幅広い製品ラインを作り出すことが可能になるが、用途に応じたグレード設定が重要になる。ブレンドおよびアロイに関しては詳細は別の機会にゆずる。

最後に表面実装用部品用途で広く認知されるようになったLCPであるが、耐熱性だけでなく他のユニークな特性を生かした用途が広がりがつつある。今まで樹脂単価の高さゆえ最初から候補から外していた設計者は、一度目を向けてみることをお勧めする。

【執筆者紹介】

近川 満 (ちかがわ みつる)

1973年、電気通信大学材料科学科卒業。1978年、デュボン(株)入社。電子材料部を経て現在、エンジニアリングポリマー事業部開発部長。

SHM E-mail アドレス変更

既に本誌上でお知らせしておりますが、当協会(社団法人SHM)のEメールアドレスが変更になりました。11月以降は旧アドレスでは届きませんのでご注意ください。

なお、アドレス帳機能をご利用の方は、ご面倒でも新しいアドレスに変更してください。

shm@marinet.or.jp

ホームページ <http://www2.marinet.or.jp/~shm/>