SMTにおけるチップ部品の技術動向

Technical Trend of Surface Mount Device for SMT

石黒 勇*

1. はじめに

21世紀への展望が垣間見えてきた現在、次の世紀の基幹をなす産業としてエレクトロニクスへの夢と期待はますます膨らんでいる。

このエレクトロニクス産業のベースとなり、牽引力となってきたものは、機器の小型・軽量化、すなわち使用される部品を極限まで小型化し、高密度に集積しようという強いニーズにあったといえよう。

これらの進歩、発展を促進させたのは、トランジスタの発明からスタートし、ICから今日のVLSIに至る半導体の大規模集積化技術と高機能化にあったことは論をまたない。一方、これらを補い支えてきた技術、とりわけ1970年代後半から始まった表面実装技術の導入とその急速な普及発展は小型・軽量のハイテク商品を次々と誕生させ、それまでの実装の概念を一変させてしまった。現在、表面実装技術は自動車電装品、通信機器、計測器等の産業用分野にも急速な拡大を続けており、これに伴う各種表面実装部品のより高信頼性、実装品質の向上等が望まれている。また、高密度化の極限に迫るための回路部品の微小チップ化や複合部品化、またLSIの多ピン・狭ピッチ化、各種のベアチップ実装の開発も積極的に進められている。

これらに関連する課題として、基板のファインパターン化への対応の他、多層化、基板へのC・R内蔵化、パターンへの新しい接続技術の開発等、表面実装技術は今また新しい局面を迎えようとしている。

2. 電子機器の動向と表面実装部品へのインパクト

今後の電子機器の方向性については小型化、軽量化、多機能化と共に高周波化、デジタル化、また一方でカーエレクトロニクスの進展などが焦点とされている。これらの進展は、直接、間接にSMT化への移行を誘導するものとなり、表面実装部品の採用は今後も急ピッチで増大することになるだろう。

そのような中で民生用、産業用を問わず、表面実装部品に対し、最も大きなインパクトを与えるのは、機器の小型化、軽量化の進展であろう。たとえば、ビデオムービーにおいては将来400～600g台での熾烈な軽量化競争の展開が予想される。搭載される表面実装部品も極限まで微小化されるに違いない。

実装の形態もオール表面実装となり、チップ化率も急上昇してゆこう。

小型音響機器、液晶TV等においても、小型化と共に多機能の要求はさらに強まり、限られた空間への実装として、部品の微小化は当然のこととして、さらに部品の印刷化、複合化などの方向にも進むと思われる。

OA機器、情報機器の小型化、軽量化およびSMT化の進展も目覚ましい。ハンディワープロ/パソコン、電子手帳などでは、今後より小型化するためにも各種極小表面実装部品の採用や、半導体関係ではメモリモジュール部の樹脂パッケージからTAB実装への移行、さらにフリップチップなどのマルチチップモジュール化へと進展しよう。

カーエレクトロニクスの分野でもSMTは急速な拡大が行なわれよう。車載電子装置の使用条件は極めて過酷

*Isamu Ishiguro

松下電子部品/Matsushita Electronic Components.

である。小型、軽量でありながら、高電圧、振動、高温にさらされる中で長期間、信頼性を維持できるタフな部品が必要とされる。

その他、今後は情報通信分野の発展に伴い、通信衛星など宇宙空間での使用も含め、関連機器での使用拡大に対し、信頼性の向上は表面実装部品の今後の大きな課題のひとつとなろう。

3. チップ部品の技術動向

表面実装用の電子部品は、QFP、SOPのような半導体デバイスと受動部品のリードレスタイプ、いわゆるチップ部品とに大別される。

チップ部品の代表格とされる角形チップ抵抗器と積層セラミックコンデンサは、1950～60年の初期のハイブリッドICの開発過程でその製法技術が確立されている。その後はハイブリッドICの外付け用部品として限られた分野に採用されているにすぎなかったが、1974～1977年にかけて、樹脂系基板にチップ部品を全面採用した回路モジュール“ハイミック”とこれらの応用ともいえる表面実装技術を駆使した超小型音響機器の成功により、爆発的な需要増大を引き起こし、今日に到っている。Fig.1に主要表面実装部品のチップ化率の推移を示すがセラミックコンデンサではすでに70%を越え、固定抵抗器、タンタルコンデンサとも65%に達している。遅れていたインダクタのチップ化も急上昇を始めており、主要回路部品については完全にチップ部品主流の時代に入っている。

また、先に述べた電子機器の動向からくるインパクトの他、

- 1) チップ部品の価格が低下し、小・中量生産用低価格実装機の普及から、多品種少量生産の電子機器などにもチップ部品採用の底辺が拡大している。

Fig.1 Development of surface mount device

- 2) SMTの本格的普及から10年以上を経過、実装のノウハウが確立し、広く浸透を始めている。

等の背景から、チップ部品の市場はさらに拡大の気運にあり、各部品メーカーは、将来を見すえて活発な開発活動を進めているが、これらの技術動向、開発志向は、Fig.2のように整理することができる。

3.1 小型・薄型化への志向

(1) 角形チップ部品

角形抵抗器、積層セラミックコンデンサを中心として、当初の標準品であった3.2×1.6mmタイプの製品は、機器の小型化志向に伴って、2.0×1.25mmタイプに置き換っており、すでに全体の70%を占めている。1ランク小型の1.6×0.8mmタイプも、一体型VTR、液晶TV等の普及と共に需要を伸ばしており、20%ラインに達している。さらに昨年には極小チップ1.0×0.5mmタイプ(Tab.1, Tab.2参照)が超小型ムービーに初めて搭載され、その後、小型音響機器、携帯電話等に拡大し始めた。

ただし、1.0×0.5mmタイプは従来の実装技術の延長上では扱いきれない課題も多い。マウンタでの装着技術、リフロはんだ付けにおけるランドの取り方、クリームはんだの性状、加熱温度プロファイル等、新しいノウハウを付加しない限り、実装品質やコストに問題が生じ対応は極めて難しい。次の段階としては0.8×0.4mmタイプ等が考えられるが、これについては部品メーカーも、機器ユーザー側でも今のところ疑問視されているのが実状である。

抵抗器、セラミックコンデンサに次いでチップ化の高いタンタルコンデンサは、小型化という点では、やや遅れており、現在、3.2×1.6mmタイプが最小寸法であるが、次のターゲットである2.0×1.25mmに向って開発が進められている。課題は小さくなった分の容量の減少を素体粉末の改良などで、どこまでカバーできるかである。

Fig.2 Technical trend of surface mount device

Tab.1 1005 type thick film chip resistors

項 目	規 格 値
定 格 電 力	1/16W
抵 抗 値 範 囲	10Ω~2.2MΩ
抵 抗 値 許 容 差	± 5 %, ± 2 %
使 用 温 度 範 囲	-55℃ ~125℃
最 高 使 用 電 圧	50V (max.)

フィルムコンデンサも、従来からのモールド外装の概念を破り、積層構造でモールドレスにしたことにより、一気に小型化が進行、現在3.2×1.6mmが実現しており、 tantalumコンデンサ同様、2×1.25mmタイプが開発されるのも、そう遠くないと思われる (Fig.3参照)。

インダクタは巻線型で3.2×2.5mm、積層型で3.2×1.6mmが標準となっていたが、巻線型では極細線の巻線工法や特殊フェライト樹脂の導入により、2.5×2.0mmタイプが実現、積層型はさらに小さい2.0×1.25mmまで小型化されている。

(2) 円筒形チップ部品

円筒形チップ部品は方向性がなく、バルク包装が容易なため、バルク専用のチップマウンタとの組み合わせによ

Tab.2 1005 type multilayer ceramic chip capacitors

種類	特性	定格電圧	静電容量範囲(pF)	静電容量許容差
I	C	50V	0.5~100	±0.25pF(C), ±0.5pF(D) ± 5 % (J), ±10% (K)
	S L	50V	0.5~100	
II	B	25V	100~2200	±10% (K), ±20% (M)
	F	25V	1000~10000	+80, -20% (Z)

るコストメリットの有利さが買われている。最近では角形の価格の低下により角形との生産比率はかなり開いているが、根強いニーズは残っている。

寸法的には、3.5×φ1.4mmから2.0×φ1.25mmへ移行しており、後者の割合が70%に近い。角形の1.6×0.8mmタイプを迫る形で1.6×φ1.0mmの円筒チップ部品も生産を伸ばしており、さらに1.0×0.5mmに対抗する1.0×φ0.6mmの試作も行なわれているが、実現にあたっては実装上の課題が角形以上に問題となろう。

(3) 異形チップ部品

アルミ電解コンデンサには、金属ケースタイプとモールド外装タイプがあるが、特に異形チップ部品に属する金属ケースタイプは、実装面積が小さいという有利さはあるものの、背が高く、低背化のニーズが強い。

現在は5.0mmまで低背化されているが、アルミ電極箔の寸法幅、封口部材の薄型化等で5.0mmを切る低背化への挑

Fig.3 Structure of chip film capacitor

戦がなお続けられよう。

可変インダクタも異形チップ部品に属する。金属ケースの4mm角で $h=4\sim5\text{mm}$ が主体であるが、やはり、低背化が今後の課題となろう。

半固定ボリュームは、密封形モールドタイプと異形部品に属する開放形リフロ専用タイプがあり、双方とも需要としては4型から3型へ移行している途上であるが、ここへきて一時、構造的には不可能視されていた2型($2.2\times2.7\times1.75h$)の商品化が実現した。高密度な実装化の上で大きな貢献を果すことになろう。

トリマコンデンサ、スイッチ、コネクタ等では薄型化の傾向が目立っている。

3.2 高機能化、高信頼性化への志向

チップ部品は、産業機器分野への展開に伴って、使用される条件、環境の拡大により、従来より高機能、高実装品質、高信頼性が求められるという、新しい流れができてつつある。

チップ部品の小型化にも限界が見えはじめ、商品の品揃えもある程度整ってきた現在、市場のニーズは、これまでのリード付き部品がたどってきたと同様に多様化の方向をみせ始めている。すなわち、大容量化、高電力化、高精度化等の高機能を求めるもの、はんだ付け性、はんだ耐熱性、洗浄性等の実装品質を重視するもの、また、より厳しい環境条件に耐え、長寿命である等の高信頼性

を求める段階にステップアップしてきたように思われる。この流れは今後さらに拡大し、より多様化していくとみられる。

(1) 大容量化

コンデンサにおいては、小型で大容量を実現することが共通の課題であるが、最近、特にスイッチング電源等に低インピーダンスで大容量のセラミックコンデンサが求められている。現行の積層セラミックコンデンサの容量は高誘電率品でも $2.0\times1.25\text{mm}$ タイプで $0.2\mu\text{F}$ 、 $3.2\times1.6\text{mm}$ タイプで $1\mu\text{F}$ 程度であるが、アルミ電解やタンタル電解に置換えが可能な $4.7\sim22\mu\text{F}$ もの大容量品が開発されており、さらに領域を拡大する方向にある。Fig.4はセラミックコンデンサの技術動向をまとめたものであるが、大容量化に対しては高誘電率材料の開発とシートの薄層化、多層化の両面から進められている。

(2) 高電力／高電圧化

抵抗器関係では、超小型／低電力化とともに、電装品等の関連で大型／高電力化のニーズも出てきている。Fig.5は抵抗器の技術動向をまとめたものであるが、高電力化に対しては、一般品の $1/16\sim1/8\text{W}$ を上回る $1/4$ 、 $1/2\text{W}$ が商品化されており、現在 $1\sim2\text{W}$ 級の取組みも行なわれている。セラミックコンデンサでは 500V 級、 1kV 級から、さらに $3\sim4\text{kV}$ 級の高電圧回路に使用される商品のチップ化のニーズがあり、意欲的な開発が進められて

Fig.4 Technical trend of multilayer ceramic chip capacitors

Fig.5 Technical trend of thick film chip resistors

いる。

(3) 高精度化

角形抵抗器では、現行の抵抗値許容差 $\pm 5\%$ 、TCR $\pm 300\text{ppm}/^\circ\text{C}$ から、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 100\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 級へと高精度化への対応が可能になり、さらに薄膜技術を用いて $\pm 0.5\%$ 、 $10\text{ppm}/^\circ\text{C}$ への超精密級化の検討も行なわれている。また、円筒形金属皮膜抵抗器でも、現行の抵抗値許容差 $\pm 1\%$ 、TCR $\pm 100\text{ppm}/^\circ\text{C}$ から $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 10\text{ppm}/^\circ\text{C}$ への取組みが行なわれている。

(4) 高耐熱，長寿命化

チップ形アルミ電解コンデンサ（金属ケースタイプ）は商品化当初 85°C 用としてスタートしたが、複合封口材の採用、高沸点電解液の開発で 105°C から 125°C へと高耐熱化、寿命保証も2,000時間に延長されている。今後3,000時間ないし5,000時間のものもニーズとして出てこよう。

また、タンタル電解コンデンサでも産業機器用として 105°C 保証品が開発されており、特に耐湿、耐熱衝撃を向上させるための開発が進められている。

フィルムコンデンサでは、PPSフィルムの採用と積層構造、耐熱外装手法で小型化と共に耐熱性を 85°C から 105°C と伸ばし、フロー／リフロ両用対応が可能になっている。

(5) 高信頼性化

チップ化の進展はカーエレクトロニクスの分野にも及

んできているが、環境条件としての各種テストにはきわめて厳しいものがある。たとえば、保証時間が25,000～50,000時間にも及び、特にエンジン回りの熱衝撃の試験条件等は $-55\sim+125^\circ\text{C}$ 、各30分、2,000サイクルの保証が求められ、故障率も0.1fitオーダである等、民生機器での条件をはるかに越える信頼性の確保が必要とされる。

今後、これら条件に対する故障率水準、限界値把握とともに、性能クリアのための厳しい品質向上策が必要となつてこよう。

(6) 高実装品質化

チップ部品は小型化、特性向上等とともに実装上の品質向上も考慮に入れながら開発することも忘れてはならない。現在、実装品質向上策としてチップ部品に求められているものに、電極部へのはんだ付け性と自動装着機とのマッチングに対する寸法精度、実装上の取扱い性等がある。

過去にAg電極においては、マイグレーション、ホイスカ、はんだくわれ等、電極にまつわる課題があったが、これらは電極構造をAg-Ni-Sn/Pbの三層構造にすることにより解決されている。

一方で、 $1.6\times 0.8\text{mm}$ タイプの超小型チップ部品が普及して以後、実装上の課題になっているものにチップ立ち現象がある。これについては、はんだ付け時の余熱の条件、パターン設計、はんだクリームの塗布条件を整える

Fig.6 Flatness of electrode surface (thick film chip resistors)

ことにより一定の防止対策がなされてきたが、部品側としてもチップ立ちの起きやすい角形抵抗器で電極ファイン化による対策が提案されている。

このファイン化電極は、電極のはんだ表面を特殊な方法で平滑・鏡面化したもので、はんだの回りがきわめて良いことから、左右の電極のぬれの時間差がなく、結果的にチップ立ちが防止されるという特徴をもっている (Fig.6参照)。

このファイン電極化はタンタルコンデンサ、インダクタにも応用され、電極のはんだぬれ性向上に役立っている。

なお、最近の1.0×0.5mmタイプ極小チップのチップ立ち防止は裏面電極の幅を広くし、ランドへの表面張力を大きくするという方法で対処している。

チップ部品の寸法精度は実装機での装着率を大きく左右するが、この対応として角形抵抗器では製品個々に分割する際のバリの削減やガラス被覆面の平滑化、セラミックコンデンサでは電極塗布の方法を工夫し、製品のコーナー部のRを小さくすること等が行なわれている。

取扱い性の向上では、たとえばフロータイプの半固定ボリュームがある。これにははんだ、フラックスの内部機構への侵入を防止するため、フィルムによるシールが

Fig.7 Structure of SIP chip resistor network

Fig.8 Inner C·R element multilayer ceramic substrate

行なわれているが、現在は実装後のシール除去を不要としたフィルムレス型のフロータイプが登場し、実装時の省力化に効果をあげている。

3.3 複合部品化への志向

チップ部品が微小化するとともに実装効率、実装品質の低下が懸念され、当然小型化の限界も論じられている。これらの対応策のひとつとして、複数の素子または回路をワンパッケージ化し、実装面積の縮小化を狙った複合部品のニーズが高まっている。

特に1.0×0.5mmタイプ以降のことを考えると、無理して小型化するよりも2素子、4素子などの複合部品に期待しこれに移行する可能性も高い。すでにC・RのネットワークアレイやLCフィルタ、LCトラップ、EMIフィルタなどが開発されており、工法的には積層セラミックコンデンサとフェライトコアを組み合せ樹脂モールドしたものや、CとR、CとLを積層したもの、さらにこれらと半導体を三次元的に組み合せたハイレベルな複合部品も開発されている。これらはインダクタを付加することによって、より多彩な複合部品に発展する可能性をもっている。さらに、セラミック多層基板と組み合わせ、C・Rを内蔵した上、ベアチップICを実装したような機能モジュールも複合部品のひとつの延長上にある。ただし、複合部品に一度組み込まれた回路は、半導体の進歩で周辺回路がたえず変化してゆくことに対しての追従に難点がある。

C,R,Lを自由に組み合せた本来の個別チップ部品実装のほうが設計の自由度があり、変化への対応が速いといった評価もあるが、ある程度固定化された回路網には複合化のメリットが発揮される。(Fig.7, Fig.8参照)。

3.4 リフロ化に対応した全面チップ化

実装密度およびはんだ付け実装品質の向上を求めて最近の高密度実装機器は、フロー／ディップ方式からリフロ方式へと移行しつつある。たとえば、ビデオムービーなどにおける実装では、両面チップ実装のリード付き部品混載から両面リフロで、すべての部品をチップ化する方向に進んでいる。リード付き部品を使用する場合は、後から手付けはんだを行なうか、レーザなど特殊な方法で局部はんだ付けを行なわなければならない。このため、従来リード付きが多かったコネクタ、スイッチ類など機構関係のチップ部品化が活発である。まだチップ化率が低い可変インダクタ、LCフィルタ、小型トランスなどの異形部品も急速にチップ化が進むとみられる。

SMTの一方の柱である自動装着機も近年大幅な進歩を遂げており、供給もテープの他、マガジン、スティック、トレイによる異形部品への対応が容易になっている。

このため、搭載可能な部品の範囲は大きく拡大し、実装基板の全面チップ化に大きく貢献してゆくものとみられる。

4. SMTとチップ部品の将来課題

産業機器関係への拡大に伴いチップ部品にも高機能化、高信頼度化が求められているが、本来のニーズである、より高密度に、より小型化にという志向だけは今後も恐らく変わることはないだろう。

そのような中で、チップ部品はひたすら小型化、微小化を追い求めてきたが、実装上、将来的には限界のあることも明らかになってきた。

したがって、1.0×0.5mmタイプあたりを限界として一部では印刷実装という方式に姿を変えるかもしれないが、

Tab.3 SMT of next generation

	1985		1990		1995		2000
形態	片面表面実装 (リード付部品混載)	両面表面実装 (リード付部品混載)	両面表面実装 (全面チップ化)	両面表面実装 (ベアチップ混載)	厚膜/薄膜回路 混成	3次元 実装	
(点/cm ²)	5～10点		15点	20点	30点	50点	
半導体	DIP	SOP 100ピン 0.8mm	QPF 200ピン 0.65mm	TAB 300ピン 0.5mm	500ピン 0.3mm	フリップチップ MBB 0.1mm	COG 素子間ダイレクト実装 COC マルチチップ COW モジュール
受動部品	3.2×1.6mm	2×1.25mm	1.6×0.8mm	1.0×0.5mm	C・Rネットワーク 0.8×0.4mm 厚膜印刷C・R		C・R・L内蔵機能モジュール 薄膜C・R
樹脂形基板	フレキシ基板 片面プリント板 150μm		多層基板 4層基板 100μm		6層基板 80μm	8層基板 50μm	C・R/IC内蔵 機能回路基板
セラミック 基板	Ag/Pb導体 セラミック基板		Cu導体 多層セラミック基板		SiC・AlN基板 C・R内蔵基板		C・R/IC内蔵 機能モジュール

この方式も、たとえば抵抗値によってペーストを変更しなければならない。チップ型に比べて大きな容量値が出せない、樹脂系基板への対応が難しい等の不利な要素が多い。もう一方の対応として、複合部品化の流れがあるが、複合度が大きくなるに従って、個別チップ部品実装と比較すると、どうしてもカスタム性が強く、コスト、設計の自由度を考えると採用の範囲は自ら限定されてしまうことは否めない。複合度の低いものは、逆に導入は容易だが複合部品のメリットはそれだけ薄れることになる。

複合化の流れの延長上にある多層セラミック基板へのC・R内蔵化の話題もテクノロジーとして魅力はあるが、コスト、信頼性等の点で一般民生機器での実用化にはまだ困難な点が多い。

したがって、当面の間、微小チップによる個別実装にとどまるか、一気に他の形態に移行するのではなく、使

用される機器のコスト、実装の条件により、またメーカーの設計思想により、ハイブリッドテクノロジーの名が示すように、その時点での最高、最適な技術が各種組み合わせられた形で取り入れられてゆくものと思われる。

このような状態の中で、今後も半導体のベアチップ実装を中心とした関連技術が他の受動部品の実装にも、ますます大きなインパクトを与えてゆくことになるだろう。

次世代のSMTの概要をTab.3に示す。

参 考 文 献

- 1) 石黒 勇：微小化進むチップ部品の機能と応用，電子技術（1990年，12月別冊）
- 2) 石黒 勇：チップ部品の今後を探る，セミコンダクタ・ワールド増刊号，「サーフェイスマウントテクノロジー」（1991年冬号）
- 3) 永田 隆：SMTハンドブック（表面実装技術の将来動向），p. 567，工業調査会（1990.9.14）