

積層セラミックコンデンサ

(1950年代後半～現在)

Key-words：積層セラミックコンデンサ、MLCC、情報通信、カーエレクトロニクス、静電容量

注1 IC動作に伴う不要な交流成分はノイズと呼ばれ、回路の安定動作を阻害する。コンデンサは、直流電流を遮断し、交流電流を通す特徴から、直流電圧で動作する電子機器に不要な交流成分のみをグラウンドに流し、ノイズの除去に使用される。

注2 IC動作に伴う急激な負荷変動に対して、コンデンサから電流を瞬間的に供給することで、回路の安定動作を実現する。

積層セラミックコンデンサ (MLCC) は、情報通信機器、データサーバー、通信基地局、車載機器など、さまざまな回路において、ノイズ除去^{注1)}や電源電圧の平滑化^{注2)}、フィルタなどに使用されている。スマートフォンを中心とした情報通信技術の進展や、自動車の電動化、自動運転技術の搭載進展により、搭載員数は拡大し、軽薄短小、高機能化が求められる。MLCCの基本構造は、誘電体層の上下を金属電極 (内部電極) で挟んだ形態であり、これらが、数層から多いもので1000層を超えて繰り返し積層されている。MLCCの容量密度の向上は、主に誘電体、内部電極の薄層化に起因する。薄層化には、各層の表面の凹凸、欠陥、ピンホールなどの構造欠陥の解消が必要であり、高いプロセス技術が求められる。近年では、4532形状で1000層以上積層することで1000 μF のX5R特性MLCCが量産されるなど、薄層・多層化を進めることで容量値を電解コンデンサと競合する水準に引き上げることができるようになってきている。

1. 製品適用分野

積層セラミックコンデンサ (MLCC) は、情報通信機器、データサーバー、通信基地局、車載機器など、さまざまな回路において、ノイズ除去や電源電圧の平滑化、フィルタなどに使用されている。

2. 適用分野の背景

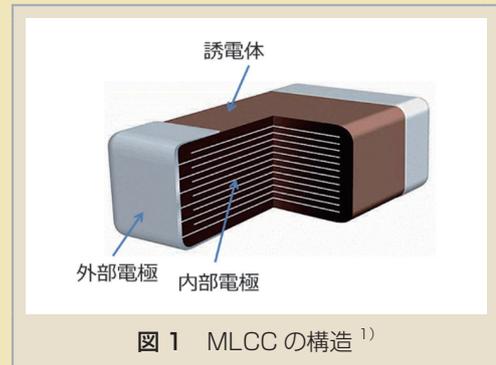
スマートフォンを中心とした情報通信技術の進展により、高速データ通信や演算処理スピードの向上が実現し、利便性が追及される一方で、機器においては、バッテリー容積の拡大、回路の低電圧動作、実装面積の削減が求められている。特に5G対応スマートフォンでは対応すべき周波数帯が増加し、帯域ごとに整合回路やバイアス回路などを要するため、MLCCの搭載員数の増加につながっている。

カーエレクトロニクスにおいても、電動化、自動運転技術の搭載進展により、電子部品の搭載員数は拡大される。スマートフォンのハイエンド機種1台当たりのMLCC搭載員数は約1300個に対し、電気自動車では1台当たり約10000個とされている。

MLCCは、2000年代は1608 (1.6 mm \times 0.8 mm \times 0.8 mm) サイズや1005 (1.0 mm \times 0.5 mm \times 0.5 mm) サイズが主流であったが、電子機器の小型化と高機能化に伴う電子部品の小型化要求と員数の増大を背景に、2018年頃には、0603 (0.6 mm \times 0.3 mm \times 0.3 mm) サイズへと切り替わってきた。また、2014年には、0201 (0.25 mm \times 0.125 mm \times 0.125 mm) サイズの量産が開始された。0201サイズに対応する実装機開発、はんだ粒子を微細化したソルダーペースト開発などの課題が克服され、各種モジュールやウェアラブル機器向けに採用が進展しつつある。

3. MLCCの特徴

MLCCの構造を図1に示す。基本構造は、誘電体層の上下を金属電極 (内部電極) で挟んだ形態である。このうち、それぞれの内部電極は外部電極に接

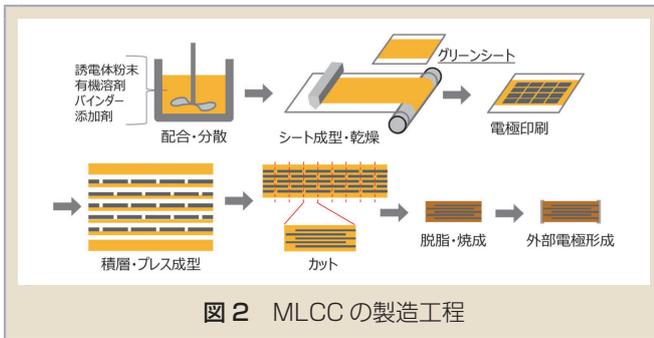


続される。誘電体層と内部電極は、数層から多いもので1000層を超えて繰り返し積層されている。内部電極には、パラジウム、銀-パラジウム、銅、ニッケルなどが使用される。誘電体の厚みはサブ μm から数 μm で、必要とされる静電容量や耐電圧、信頼性に応じて、設定される。

MLCCは、使用される誘電体材料によって、Class 1 (低誘電率系) と Class 2 (高誘電率系) に大別される。Class 1では、ジルコン酸カルシウム (CaZrO_3) などの常誘電体を使用されており、その比誘電率は数10程度と小さいが、低損失で、温度による容量変化が小さいため、温度補償用コンデンサとも呼ばれ、共振回路など、容量安定性が要求される回路に使用されている。Class 2では、チタン酸バリウム (BaTiO_3) などの誘電率の高い強誘電体を使用されており、その比誘電率は数1000から12000程度と大きい。そのため、小型大容量のMLCCが設計可能であり、デカップリング回路や平滑回路、バックアップ回路などで広く使用されている。一方で、環境温度や電圧の変動によって容量が変動するため、注意が必要である。

4. 製法

MLCCの製造工程を図2に示す。誘電体粉末は、有機溶剤やバインダー、添加剤と混合、分散され、流動性のあるスラリー状態に加工される。誘電体ス



ラリーは、PETフィルムなどのキャリアフィルム上に塗工され、溶剤成分を乾燥除去し、グリーンシートとなる。次いで、内部電極用の金属粉末と有機溶剤、バインダー、添加剤などと混合、分散した金属ペーストを、グリーンシート上にパターン印刷を行う。内部電極を印刷されたグリーンシートは、積層、プレス成型され、複数のMLCCを搭載した成形バーとなる。その後、カットされ、一つずつに個片化されたMLCCは、脱脂、焼成、外部電極形成ののち、検査、包装され、出荷される。

5. 製品性能・スペック

MLCCは所定の温度範囲における容量変化率によっていくつかの細分類に分けられる。表1に主要な分類を示す。日本工業規格（JIS）とアメリカ電子工業会（EIA）で定義や呼称に差があるので注意が必要である。例えば容量変化率の基準となる温度はJISでは20℃、EIAでは25℃である。

MLCCの選択においては容量の他に定格電圧の確認が不可欠である。MLCCには信頼性を担保できる電圧上限が定格電圧として定められており、2.5 Vdcから数10 kVdcまでラインナップが存在する。実使用環境においては、この定格電圧を超えないような回路設計とするか、もしくは十分に高い定格電圧のMLCCを採用する必要がある。ただし、一般に定格電圧が大きいMLCCほど厚い誘電体層が必要となるため、容量が小さくなるか、形状が大きくなる傾向にある。

6. 現在・将来展望

MLCCの容量密度の向上は、主に誘電体、内部電極の薄層化に起因する。並行平板コンデンサの静電容量は、次の式で表される。

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{nA}{d}$$

ここで、 C は静電容量、 ϵ_0 は真空の誘電率、 ϵ_r は誘電体の比誘電率、 n は積層数、 A は1層あたりの電極交差面積、 d は誘電体の厚みである。誘電体厚みの減少は、積層数の増加の効果もあり、容量増加が期待できる。内部電極の厚みは容量に直接寄与はないが、同様に、薄層化により積層数の増加が期待できる。

誘電体層を薄層化させるため、グリーンシートも

薄層化が進められるが、それに伴い、グリーンシート内の空隙や表面の凹凸、欠陥、ピンホールの悪影響が無視できなくなる。そこで、グリーンシートの薄層化に向けては、より高品位な均一性が求められるため、粒子径が均一な小径粉末や、それらを高分散に配置するための分散剤やバインダー、溶媒が用いられる傾向にある。また、分散時の過剰なエネルギーは、粉末粒子の欠け、摩耗による品質低下を引き起こすため、考慮が必要である。

内部電極の薄層化においても、より高品位な均一性が求められるため、粒径が均一な小径粉末や、それらを高分散に配置するための分散剤やバインダー、溶媒が用いられる傾向にある。また、誘電体グリーンシートと異なり、内部電極では、パターン印刷が要求されるため、印刷膜の転写精度の改善やにじみの抑制、矩形性の改善も重要な開発要素である。

比較的大型のMLCC、例えば4532形状（4.5 mm × 3.2 mm × 3.2 mm）においては、薄層化・多層化を進めることで、電解コンデンサ並みの大容量の実現が期待できる。もともとMLCCは電解コンデンサに対して低ESR・低ESLという特徴をもつため小型かつ低容量でインピーダンスを下げることで期待される特徴があるが、それでも電解コンデンサと比べるとラインナップ中の容量値は低い。しかし、比較的大型のMLCCであれば多層化による容量値増加の効果が大きく、薄層化・多層化を進めることで容量値を電解コンデンサと競合する水準に引き上げることが期待できる。例えば2018年には4532形状で1000層以上積層することで1000 μFのX5R特性MLCCが量産されており、これにより電源回路のコンデンサをオールセラミック化することも可能になってきている。

参考文献

- 1) 一般社団法人 電子情報技術産業協会, 電子部品技術ロードマップ, 16-28 (2021).
- 2) 野村武史, 積層セラミックコンデンサ (MLCC) の材料・製造・実装技術と最新動向, 15-21, 158, 165 (2020).

[連絡先] 水野高太郎 (みずの こうたろう)
太陽誘電株式会社・開発研究所 材料開発一部
〒370-3347 群馬県高崎市巾室田町5607-2

表1 MLCCの温度特性分類²⁾

Class 1

温度特性記号		使用温度範囲 [°C]	温度係数 [ppm/°C]
JIS	EIA		
CG	C0G	-55~+125	0±30
CH	C0H		0±60
CJ	C0J		0±120
CK	C0K		0±250
UJ	U2J		-750±120
UK	U2K		-750±250
SL	-		-1000~+350

Class 2

温度特性記号		使用温度範囲 [°C]	静電容量変化率 [%]
JIS	EIA		
B	-	-25~+85	±10
-	X5R	-55~+85	±15
-	X6S	-55~+105	±22
-	X7R	-55~+125	±15
-	X7S	-55~+125	±22
F	-	-25~+85	+30/-80
-	Y5V	-30~+85	+22/-82