コンデンサ内蔵低温焼成多層セラミック基板

Low Temperature Co-fired Multilayer Ceramic
Substrate with Embedded Capacitors

中井 恭一* 柴田 清人*
川南 修一* 高橋 繁*

1. はじめに

近年、半導体集積回路の技術進歩によりもたらされた電子機器の高機能化・小型化の流れは、チップ部品や基板を含めた実装技術の進歩を取り込んで新たなステップへさしかかってきた。ハイブリッドICでは、もともと基板表面に厚膜抵抗を形成し、高機能化と実装点数の低減等による信頼性面での特徴を有していた。低温焼成多層セラミック基板は、このハイブリッドICの進化型として登場し、多層化および抵抗・コンデンサ等の内蔵化により小型化・高機能化をさらに推し進める武器として期待を集めている。

当社では、1989年に抵抗・コンデンサ内蔵多層セラミック基板(RC基板)を上市し、現在まで基板材料の他にコンデンサ材料の多品種化等を図ってきた。以下にRC基板の概要と内蔵コンデンサの特徴について述べる。

用できるように、850℃で焼成可能な $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-PbO-CaO}$ 系ガラス-アルミナ複合組成を用いた。特に、ガラスとアルミナ各々の粒径および量は、基板の焼結性に大きく影響を及ぼす。また焼成した基板は、 ZnAl_2O_4 の結晶相が析出するため、再焼成による基板の軟化が少なく、絶縁特性もすぐれている。

内部導体には、配線用とコンデンサ電極用の2種類のAgペーストを用いている。配線用Agペーストについては、使用する球形Ag粉末(1 μm 程度)が約400℃で収縮を始めるのに対して、グリーンシートの収縮は700℃前後である。そのため、ペースト化に際してはフリットガラス等を適量加えることにより、収縮のタイミングと量の制御を行った。

一方、コンデンサ電極用Agペーストは、基板のみならず誘電体とのマッチングも考慮しなければならない。Ag導体が基板より早く収縮する場合は、両者間でのデラミネーションを引き起こす原因になる。逆に、収縮が遅い

2. RC基板の概要

2.1 構造および材料

RC基板の断面構造をFig.1に示す。基板の多層化方法として、グリーンシート積層法を採用した。基板を構成するすべての材料は、その焼成温度が最高850℃であることを前提に材料設計および開発を行った。

基板材料には、内部導体にAg系材料が使

Fig.1 RC substrate.

* Kyouichi Nakai, Kiyohito Shibata,
Shuichi Kawaminami, Shigeru Takahashi
日本セメント/Nihon Cement Co.,Ltd.

Tab.1 Properties of RC substrate.

Substrate	Camber (mm/75mm□)		<0.15			
	Surface roughness (μm/Ra)		<0.6			
	Flexural strength (kg/cm ²)		>2500			
	C.T.E. (×10 ⁻⁶ /℃)		7.0			
	Thermal conductivity (W/m・K)		4.3			
	Dielectric constant		7.8			
	Volume resistivity (Ω・cm)		10 ¹⁴			
	BDV (kV/mm)		>15			
Conductors			Ag	Ag-Pd	Ag-Pt	Au
	Line/Space (μm)	Internal	≥150	≥180	≥180	≥120
		External				≥120
	Via-hole size (μm)		≥150	25~35	6~8	≥150
	Sheet resistance (mΩ/□)		4~6			4~6
	Peeling strength (kg/2mm□)	Internal		≥1.5	Good	3~5
		External				
	Solderability			Good	Good	
Resistors			Internal		External	
	Resistance (Ω)		50~50K		6~3M	
	Resistance tolerance (%)		≤±30		≤±1	
	TCR (ppm/℃)		≤±200		≤±150	

場合には、基板中のガラス成分が誘電体に拡散してコンデンサ容量を低下させる。したがって、適度なバランスを取ることが開発のポイントとなった¹⁾。

抵抗体は、厚膜印刷法にて基板内部と外部両方に形成することができる。特に内部抵抗については、現状トリミング不可能なため、安定した抵抗値を得ることが要求されている。抵抗ペースト中の抵抗値調整用ガラスに基板と同様ガラスを用いたことと、RuO₂粉末の選定によって、実用可能なレベルの特性を有した内部抵抗ペーストを開発した。

外部導体は、厚膜印刷法にて形成可能な Ag-Pd, Ag-Pt, Au が標準である。さらに微細配線対応として、フォトリソグラフィ技術を用いた Cu および Au のパターンニングも開発されている²⁾。

2.2 一般特性

RC 基板の一般特性を Tab.1 に示す。

3. 内蔵コンデンサ

コンデンサを基板に内蔵する方法として、誘電体材料を厚膜ペースト化し、グリーンシート上に印刷により形成する方法と、誘電体材料をグリーンシート化して基板積層時に組み込み形成する方法とがある。いずれの方法においても、技術的な課題は内蔵した誘電体材料と基板材料、さらにそれらの間に介在する電極材料との相互の反応の制御および収縮率のマッチングを調整することに

ある。

現在、RC 基板に内蔵できるコンデンサの種類として、高容量コンデンサ・基板コンデンサおよび温度補償コンデンサの3種類が内蔵可能となっている。

以下に、高容量コンデンサと温度補償コンデンサについて説明する。

3.1 高容量コンデンサ

3.1.1 材料および特性

コンデンサ特性は、電子回路におけるバイパスコンデンサとして使用可能な Y5U 特性を目標に、誘電体材料として RC 基板の焼成温度である 850℃で焼成可能な鉛複合ペロブスカイト [Pb (Mg_{1/3}Nb_{2/3}) O₃-PbTiO₃-PbO 系] を使用した。この誘電体にエチルセルロースと溶剤を添加して厚膜ペースト化し、印刷法でコンデンサを形成する。

Tab.2 Property of dielectric.

BulK	Dielectric constant	7500
	tanδ (%)	0.3
	I.R. (Ω)	2 × 10 ¹¹
	Density (g/cm ³)	7.8
Capacitor	Capacitance (nF/cm ²)	60
	tanδ (%)	1.0
	I.R. (Ω)	5 × 10 ¹⁰
	B.D.V. (V)	800

Fig.2 Dielectric thickness vs. capacitance.

Fig.3 Terminal thickness vs. capacitance.

Fig.4 XRD pattern of substrate.

Fig.5 Capacitor's characteristics with temperature.

Fig.6 Supply voltage vs. change of capacitance.

Tab.2に誘電体のBulk特性および基板内蔵時のコンデンサ特性を示す。基板内蔵時のコンデンサ容量バラツキは、主に誘電体および電極の印刷膜厚精度に依存している。Fig.2に誘電体膜厚と容量の関係を示す。基板焼成時のガラス成分の拡散による影響を受けやすい誘電体において、その膜厚が薄くなると誘電率の低下がみられるため、容量は膜厚25 μ m近傍で最大値をもつ。

また、Fig.3に電極膜厚と容量の関係を示す。電極膜厚が厚いほど、誘電体中へのガラスの拡散が抑制され、容量増加を示す。いずれの場合も、初期焼成におけるガラスの拡散に比べ、2回目以降の焼成（外部導体や抵抗等の焼成）ではガラスの拡散が抑制されることにより、繰り返し焼成における容量変化は小さい。これは、基板中のガラスの一部がZnAl₂O₄スピネル結晶を生成するためである。Fig.4に焼成基板のX線回折データを示す。

SHM会誌

したがって、コンデンサ容量の精度を上げるためには、誘電体および電極の印刷条件を管理することが製造上のポイントとなる。

Fig.5にコンデンサの温度特性を示す。-30℃～85℃の範囲で容量変化は+10 %～-35 %以内であり、Y5U特性を充分満足している。

Fig.7 Insulation resistance with temperature.

Fig.8 Capacitor's characteristics after HBT.

Fig.9 Capacitor's characteristics after HHBT.

また、Fig.6にはDCバイアス特性を、Fig.7にはI.R.の温度特性を示す。標準的なセラミックコンデンサとほぼ同様な特性値を得ている。

3.1.2 信頼性

Fig.8～Fig.11に主な信頼性試験におけるコンデンサ特性を示す。

3.2 温度補償コンデンサ

3.2.1 材料および特性

一般に用いられる温度補償用コンデンサ材料は、すべて1,000℃以上で焼成しており、850℃で焼成可能な材料はない。したがって、RC基板材料と同思想で誘電体フィラーに基板材料と同じガラスを添加することで低温焼成を可能にし、同時にガラス拡散の影響も極力抑えるような材料系を検討することにした。ここで問題となるのは、ガラスの添加により誘電体の初期特性がどの程度劣化する

Fig.10 Capacitor's characteristics after temperature cycle test (-55~+125°C, 30min./step).

Fig.11 Capacitor's characteristics after PCT (121°C, 2.1atm, 100%RH).

Fig.12 Sintered density vs. dielectric constant.

Fig.14 XRD pattern of dielectric.

るかであった。検討の結果、CaTiO₃を主成分としたCaTiO₃-BaTiO₃-ガラス系材料を使用することとした。またコンデンサの形成方法は、容量制御が容易で、大面積コンデンサが形成しやすい等の理由から、シート積層法を採用した。

さらに、コンデンサ材料の特性改善を行うために、以下の検討を行った。

1) 誘電体の焼成密度アップ

誘電率および信頼性を向上させるためには、誘電体の焼成密度を高めることが不可欠である。ひとつの方法として、誘電体フィラーとガラスの粒径を最適化することで、焼成密度を高めることができた。Fig.12に誘電体フィラーの粒径の違いによる焼成密度と誘電率の関係を示す。当然ながら焼成密度がアップすると誘電率も大きくなる。その他に誘電体フィラーを粗粉化すると誘電率が増加し、同時にTCC(コンデンサ温度係数)値も大きく

変化する。このことは、X線回折の結果より、誘電体フィラー中のCaTiO₃がガラス中のSiO₂と反応してCaTiSiO₅を生成することが影響していると考えている。すなわち、CaTiO₃を粗粉化し、焼成後のCaTiO₃の残量を相対的に多くすることで、誘電率は増加し、TCCは負へ大きくシフトする(CaTiO₃のε_r=150, CaTiSiO₅のε_r=21)。

2) TCCのコントロール

負のTCC特性を有するCaTiO₃に、BaTiO₃を混合することによって、TCCのコントロールを可能にした。

Tab.3 Property of dielectric.

Dielectric constant	15.4
Q	1510
TCC (ppm/°C) [25~85°C]	-21.7
[−55~25°C]	-22.3
I.R. (Ω)	1.1×10 ¹³

Fig.13 TCC by mixture ratio of CaTiO₃ to BaTiO₃.

Fig.15 SEM cross-section of capacitor.

Fig.13に CaTiO_3 と BaTiO_3 の比と TCC の関係を示す。また強誘電体である BaTiO_3 を加えているにもかかわらず、誘電率の著しい増加がみられなかったのは、焼成時における反応生成物による影響と考えられる。Fig.14に誘電体焼成後の X 線回折チャートを示す。

最終決定した誘電体組成にて、グリーンシート化の検討を行った。得られたグリーンシートは、シート成形および基板作製において、現有の製造ラインでの製造が可能である。また、誘電体にもともと基板材料と同じガラスを添加しているため、ガラスの拡散による影響を気にすることなく、コンデンサ電極として配線用導体を用い

ることができる。そのため、基板-電極-コンデンサ間のデラミネーションに対する信頼性も向上している。

Tab.3にコンデンサ特性を示す。また、Fig.15にコンデンサ断面の SEM 写真を示す。

3.2.2 信頼性

Fig.16に温度補償コンデンサ信頼性試験基板の構成図を示す。この基板は7層構造を有し、4層目に温度補償コンデンサシートが組み込まれ、その上下にコンデンサの電極を形成し合計36個のコンデンサが内蔵される。Fig.17~18に主な信頼性試験におけるコンデンサ特性を示す。

また各信頼性試験が終了した試料のBDVを測定したので、結果をFig.19に示す。

Fig.16 Structure of reliability test substrate.

Fig.18 Capacitor's characteristics after HHBT (85°C, 85%RH, 250VDC).

Fig.17 Capacitor's characteristics after HBT (150°C, 250VDC).

Fig.19 BDV after reliability tests.

4. お わ り に

以上述べてきたように、低温焼成多層セラミック基板に多種類のコンデンサを内蔵することが可能になり、抵抗体も含めた高機能配線基板へのさらなるステップアップが実現できた。

今後も、RC基板の特徴を活かすことが可能な市場での要求に対応していくために、さらに多くの部品や機能を基板に取り込むための材料開発およびプロセス開発を推し進めていくとともに、安定した品質確保およびコスト低減等にも注力していく。

また、この種の基板の標準化を他社メーカーとの協調のもとで推し進めていくことにより、ユーザにとって、より使い易い基板を提供することがメーカー側の責任であると考えている。

参 考 文 献

- 1) 川南修一, 久保田 雅, 上赤日出人: 第3回マイクロエレクトロニクスシンポジウム (MES'89), p.54 (1989)
- 2) J.Asami, K.Nakai, T.Ezaki, O.Sugano, S.Takahashi and C.Yamagishi: ISHM'91 Proceedings, Orlando, p.402 (1991)

〔執筆者紹介〕

中井恭一 (なかい きょういち) 当協会正会員

昭和59年岩手大学工学部資源化学科卒業。同年日通工(株)入社、ハイブリッドICの開発に従事。平成元年日本セメント(株)入社。以来、低温焼成セラミック基板の開発に従事。現在、中央研究所新材料研究部勤務。

柴田清人 (しばた きよひと)

昭和60年千葉大学理学研究科修士課程修了。同年(株)村田製作所入社、フェライトの開発に従事。昭和62年日本セメント(株)入社。以来、低温焼成セラミック基板の開発に従事。現在、中央研究所新材料研究部勤務。

川南修一 (かわみなみ しゅういち) 当協会正会員

昭和57年名古屋工業大学工学研究科修士課程修了。同年京セラ(株)入社、セラミックコンデンサの開発に従事。昭和62年日本セメント(株)入社。以来、低温焼成セラミック基板の開発に従事。現在、開発本部電子技術センター勤務。

高橋 繁 (たかはし しげる) 当協会正会員

昭和42年上智大学理工学部卒業。同年東光(株)入社。以来、電子材料関連開発に従事。昭和63年日本セメント(株)入社。以来、低温焼成セラミック基板の開発に従事。現在、中央研究所新材料研究部主席研究員。