

回路基板用粉末ガラス

(株)富士通研究所 先端材料研究部 亀原 伸男

Glass powder for circuit board

Nobuo Kemehara

Advanced Material Laboratory, Fujitsu Laboratories LTD.

1. まえがき

回路基板は、LSI 素子ないしは個別部品を高密度に実装し、電子機器の小型化・高性能化を達成するキーポイントといっても過言ではない。このため、大型からパーソナルまでの各種コンピュータに素子搭載用の回路基板が使用されている。また、家庭用のテレビ、オーディオ、カメラおよび自動車など至るところで回路基板が使用されている。

これらの回路基板は、ガラス・エポキシあるいはポリイミドなどの樹脂基板ないしはアルミナなどのセラミック基板が広く使用されている。樹脂基板は比較的安価であり、また、誘電率が低く導体配線の抵抗が小さいという利点がある。また、セラミック基板は耐熱性に優れ、熱膨張係数が素子材料であるシリコンに近いという特徴がある。

ところでこれらの樹脂基板ないしはセラミック基板に無い新しい回路基板材料として、ガラスセラミック複合基板が注目されている。このガラスセラミック複合基板はガラスの持つ軟化・流動性を利用し、1,000℃近い低い温度での焼成を可能にした材料である。このため、金、銀、銅などの電気抵抗の低い配線材料と同時焼成ができる。また、ガラスの低い誘電率を利用し信号の高速伝送を可能にしておき、高速コンピュータ用の回路基板として実用化されている。

ここでは、高速コンピュータ用のガラスセラミ

ック複合基板に使用されるガラス粉末について述べる。

2. ガラスセラミック複合基板誕生の背景

コンピュータなどの小型化・高速化には、高性能な LSI 素子を高密度に実装することが不可欠である。樹脂ないしはセラミックスの回路基板は LSI 素子を高密度に実装するために、少ない面積に微細なパターンを数多く配線することが必要であり、内部に何層もの回路配線を有する多層セラミック回路基板が使用される。

従来の多層セラミック回路基板の多くは、絶縁材料にアルミナを使用している。アルミナは実用的なセラミックスのなかで比較的安価でありながら、耐熱性、機械強度などの諸特性に優れている。また、グリーンシート上にタングステンならびにモリブデンなどで回路を形成し、同時焼成することにより、多層化を行うことができる。

しかしながら、アルミナを用いた多層セラミック回路基板は信号の伝播という点から考えたとき、必ずしも満足のいくものではない。アルミナは樹脂プリント板に使用されているポリイミドやガラス-エポキシに比べ、大きな誘電率を示す。回路基板の誘電率はこの内部を走る信号の伝播速度に大きな影響を与える¹⁾。すなわち、Fig.1 に示すように、誘電率の小さい材料ほど信号の伝播遅延を小さくすることができる。したがって、アルミ

ナを回路基板材料として使用した場合は、樹脂プリント板の場合に比べ、信号の伝播遅延が大きいという欠点がある。

また、配線材料の電気抵抗も伝播特性に影響を与える。信号の伝送損失を小さくするには、電気抵抗の低い配線材料を用いることが必要である。しかしながら、アルミナなどのセラミックスは1,500-1,600℃の高温で焼成されるため、同時に焼成される配線材料はこの温度で溶融しない高融点金属に限定される。これらの高融点金属はTable 1に示すように、樹脂プリント板の配線材料である銅に比べ電気抵抗が高い。

電気抵抗の低い金属には金、銀、銅があるが、これらを配線材料として使用するには、これらの

金属の融点以下の温度で、十分焼結するセラミックスが必要である。

このため誘電率が樹脂なりに低い値を示し、しかも電気抵抗の低い銅などを配線材料に使用できる多層セラミック回路基板の出現が望まれていた。このような状況のもとで、低温焼成が可能なガラスセラミック複合基板が誕生した。

3. 回路基板用ガラス粉末

ガラスセラミック複合材料はガラスの母体中にセラミックスを分散させ、ガラスのもつ低い誘電率と小さい熱膨張性を利用するとともに、ガラスの軟化を利用して1,000℃以下の低温で緻密な焼結体を得ようとするものである。

このため、回路基板の焼成温度は使用するガラス粉末の軟化温度と添加量により制御することが出来る。また、誘電率、熱膨張率などの物性は、ガラスとセラミックスが反応し新しい相が出来ない場合、原料のガラスとセラミックス粉末の物性に支配される。ガラスセラミック複合材料に使用される主なガラス成分として、硼珪酸ガラス、鉛硼珪酸ガラス、石英ガラスがある。硼珪酸ガラスは化学的に安定であり、誘電率が低く、また、各種の軟化温度の異なる粉末が入手できるため、回路基板用ガラスとして広く使用されている。Fig. 2に各種ガラス粉末の誘電率と軟化温度の関係を示す。また、Table 2に代表的なガラスセラミック複合基板の種類と特性を示す²⁾。

3.1 ガラスの結晶化と抑制

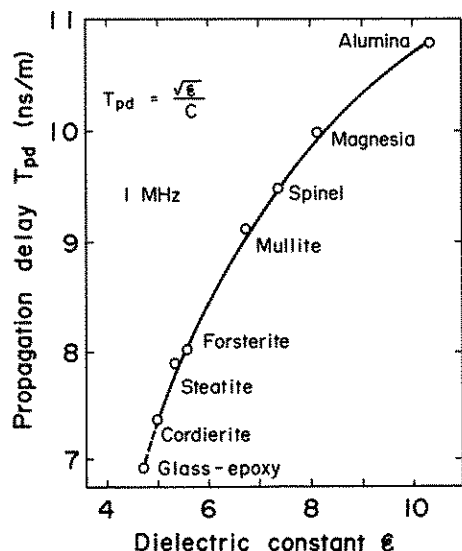


Fig. 1 Relation between dielectric constant and propagation delay time

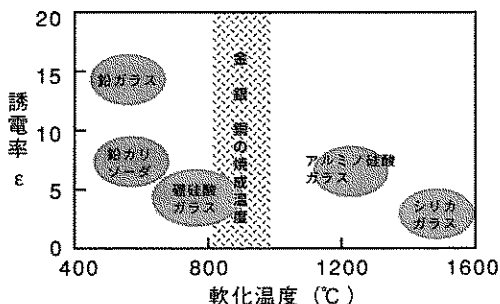


Fig. 2 Dielectric ratio and softning point of glasses

Table2 Species and Characteristics of Glass-Ceramics

材 料 系	抗折強度 (kg/cm ²)	誘電率 (1MHz)	誘電正接 (1MHz)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 (cal/cm $\cdot$ s $\cdot^{\circ}\text{C}$)	使 用 導体材料	導体抵抗 (m Ω /□)	焼成雰囲気	メーカ一
鉛ホウケイ酸ガラス + アルミナ	3000	7.5	0.003	4.2	0.01	Ag-Pd	3.5	Air 900°C	NEC
アルミノ・カルシウム ホウケイ酸ガラス + アルミナ	2000	7.7	0.0003	5.5	0.006	Ag Ag-Pd	2.5 20	Air 880°C	東海
アルミノ・マグネシウムホウケイ酸ガラス + 石英, 石英ガラス	1500	4.3 ~5.5	—	3 ~ 6	—	—	20	Air 700~900°C	日立
ホウケイ酸ガラス + アルミナ	2000	5.6	0.001	4.0	—	(Au) Cu	1.2	非酸化 1000°C	富士通
ホウケイ酸ガラス + アルミナ	2000	7.1	0.0025	—	—	Cu (Cu-Cu)	2 ~ 4	Air-N ₂ +H ₂ -N ₂ (1000°C)	松下
ホウケイ酸ガラス + アルミナ, フォルステライト	1500	7.4	—	7.6	0.02	Au Ag-Pd	2 ~ 3 12~15	Air 900°C	ノリタケ
ホウケイ酸ガラス + アルミナ, フォルステライト	2000	6.5	0.0015	6	0.007	Ag-Pd	2 ~ 3	Air 850~900°C	旭硝子
ホウケイ酸ガラス + 石英 + アルミナ + コージェライト	1700 ~2000	5.0 ~5.5	0.003	3.0 ~7.0	0.0048 ~0.0072	Cu	1.8~2.3	N ₂ 900~1000°C	京セラ
コージェライト系 β -スポンジューメン系	2000 ~4000	5.3~5.7 5~6.5	—	2.4~5.5 2~8.3	—	—	—	—	IBM
コージェライト系 ZnO-MgO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	1700	5.6	0.00013 (10.3GHz)	3	0.006	Au (Cu)	3 ~ 4 3 ~ 5	Air 950~1000°C	日特
コージェライト系 B ₂ O ₃ -MgO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	1900	5.5	0.0014	1.9	0.006	—	—	Air 950~1000°C	日本ガイシ

ガラスセラミックス複合系

結晶化
ガラス系

通常、セラミックスにガラスを添加し、この複合体を1,000℃近い温度で焼成するとガラスないしは、ガラスとセラミックスの界面で反応が起こり、新しい反応生成物ができる。例えば、マグネシア、コーゼライトなどとほうけい酸ガラスとを1,000℃近い高温で焼成すると、クリストバライト(SiO₂)などの結晶が生じ、熱膨張が著しく大きくなるなど、基板材料として不都合が生じる。このような結晶の生成を防ぐには、アルミナないしはムライトが有効である^{3,4)}。

3.2 ガラスとセラミックスの配合比

ガラスとセラミックスの混合割合から、ガラスセラミック複合材料の高い密度を得るための最適な焼成条件が決まる。ほうけい酸ガラスとアルミナからなるガラスセラミック複合材料において、ほうけい酸ガラスの添加量が増すにつれて、低い焼成温度でも緻密な焼結体を得られる。

アルミナもしくはムライトをセラミック成分としたとき、ほうけい酸ガラスとの間に反応生成物が生ぜず、緻密でかつ耐水性・化学的安定性に優れる焼結体となる。このように、ガラスとセラミックス間に反応生成物がなければ、ほうけい酸ガラスなどのガラス成分の量に応じて誘電率が低くなる。また、熱膨張も小さくなりシリコンに近づく。一方、逆にアルミナなどのセラミック成分の混合割合が増すと、機械強度および熱伝導率が大きくなる。アルミナないしはムライトとほうけい酸ガラスからなるガラスセラミック複合材料では、セラミックスのもつ優れた熱的および機械的性質を保ちながら樹脂なみの低い誘電率が得られる。Table 3 に LSI 素子の実装用のガラスセラミ

ック複合材料の代表例を示す。

3.3 微構造

アルミナとほうけい酸ガラスからなるガラスセラミック複合材料の微構造を Fig. 4 に示す。ガラスとセラミックスが適正な割合で混合されたガラスセラミック複合材料はポイド(空隙)がなく、ガラスとセラミックスとの界面での反応物も観察されない。一方、ガラス成分が不足したガラスセラミック複合材料は、セラミックス粒子の周辺にガラスが十分にいきわたらずにポイドが残る^{5,6)}。このようなポイドのあるガラスセラミック複合材料は耐水性および化学的安定性が劣るだけでなく、誘電率、熱膨張率などに均質性が欠け基板材料として使用できない。

ガラスセラミック複合材料の微構造は機械強度にも大きな影響を与える。セラミック大粒子が凝集した不均一なガラスセラミック複合材料は、機械強度が低く割れやすい。しかし、ガラスの母体

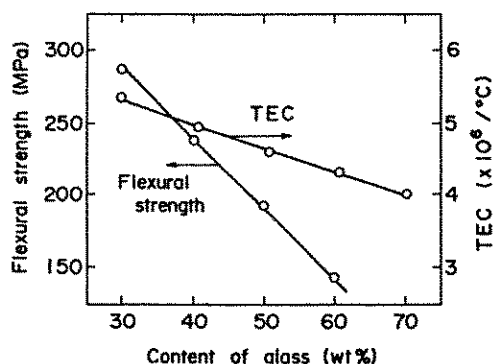


Fig. 3 Content, flexural strength and thermal expansion coefficient of glass-ceramics

Table 3 Properties of developed glass-ceramics

項 目		アルミナ/ ほうけい酸 系	ムライト/ ほうけい酸 /シリカ系
誘電率 ϵ	at 1 MHz	5.6	4.1
誘電正接 $\tan \delta$	at 1 MHz	0.002	0.002
電気抵抗 $\rho/\Omega \cdot \text{cm}$		$>10^{14}$	$>10^{14}$
熱膨張係数 $\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$		4.0×10^{-6}	2.2×10^{-6}
曲げ強さ F/MPa		200	—
ヤング率 E/GPa		83	—

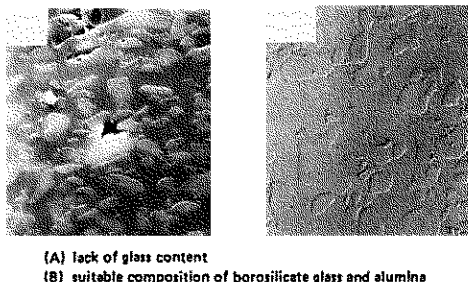


Fig. 4 Microstructure of glass-ceramic composite

の中に、微細なセラミックス粒子が均一に分散しているガラスセラミック複合材料は機械強度が高い。これは、ガラスセラミック複合材料にクラックが入った時、クラックがセラミックス粒子にあたり伝播が止められるためと考えられる。アルミナとほうけい酸ガラスからなるガラスセラミック複合材料は、微細なアルミナ粒子が均一に分散しており、200 MPaの曲げ強さを示す。

4. 高速コンピュータへの応用

アルミナと硼珪酸ガラスからなるガラスセラミック複合基板を高速コンピュータ用の回路基板に応用した例をFig.5に示す。このガラスセラミック複合基板はスーパーコンピュータVP-2000に適用されており、外形が245 mm角の大型基板であり、層構成は最大61層、このうち信号層は36層である。信号層には約40,000本の配線が収容され、配線長合計は約1 kmである。配線パターン特性インピーダンスは65 Ω で、電気抵抗の小さい銅配線を使用しているため、95 μm の微細回路ながら直流抵抗は100 m Ω /cmと低い値を得ている。ガラスセラミック複合基板の表面には、焼成時の収縮率変動を補正し、また、表面のマイクロクラックなどに起因する強度低下を防ぐ目的で、ポリイミド層を絶縁体とする薄膜層を設けている。

また、この回路基板には15,000ゲートの高速・高密度LSIを最大144個搭載することができる。

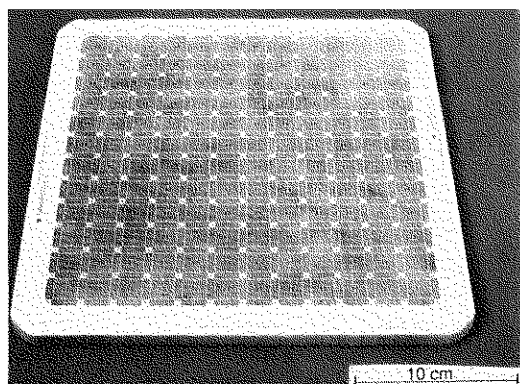


Fig. 5 Multilayer glass-ceramic substrate for super computer VP-2000

また、基板の裏側には8,640本のピンが取り付けられている。ピンの配列は1.8 mmピッチであり、従来のガラス布ポリイミド基板に比べ、LSIピン密度が約5倍の120ピン/cm²と飛躍的に向上している。

Fig. 6, 7に高速電子移動度トランジスタHEMT (High Electron Mobility Transistor) を高密度に実装するためのGaAs系HEMT素子実装基板を示す。この基板はジルコニアと硼珪酸ガラスを複合化したものであり、焼結時にガラスとセラミックスが反応し、ジルコンが発生するのを防ぐため、ジルコニア粉末にアルミナコーティングを行っている。アルミナコーティングした

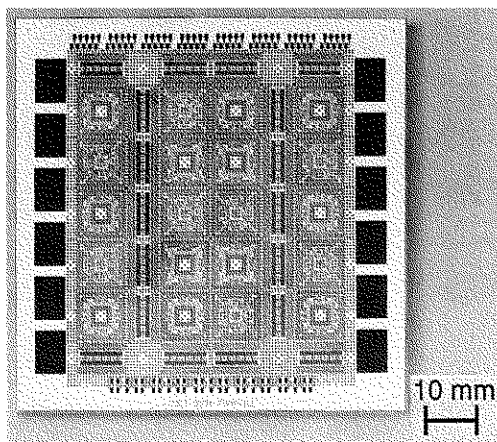


Fig. 6 Multilayer substrate prior to assembly

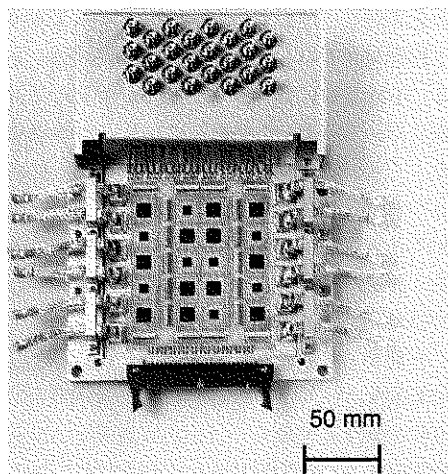


Fig. 7 Random number generator consists of twenty HEMT chips flip-chip-bonded to the multilayer substrates

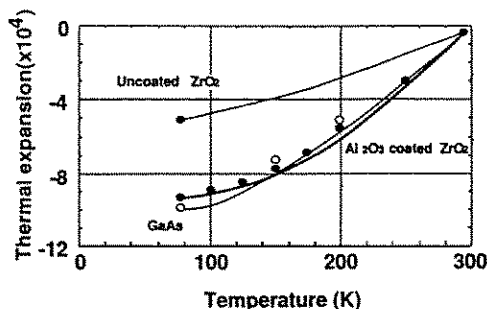


Fig. 8 Thermal expansion for glass-ceramics and GaAs between 300 K and 77 K

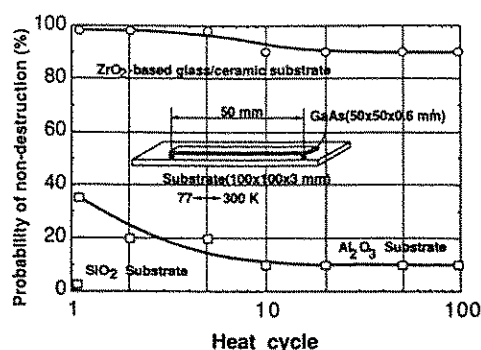


Fig. 9 Reliability of GaAs chips on ceramic substrates

ジルコニア粉末と硼珪酸ガラスからなる回路基板は Fig. 8 に示すように、室温から基板環境温度である 77 K までの熱収縮が素子材料である GaAs とよく近似している。このため、Fig. 9 に示すように熱衝撃にたいしても、高い信頼性が得られている。回路基板にはフリップチップ実装により、20 個の HEMT 素子を搭載しており、液体窒素に浸漬して使用することでクロックサイクルが 1.49 ns の高速な乱数発生装置を開発している。回路基板の大きさは 120 mm 角であり、16 層の内層と表面に 2 層の薄膜があり、基板の厚さは 4 mm、で HEMT 素子の搭載にはインジウム系はんだバンプを使用している。GaAs 系 HEMT 素子は液体窒素温度（約 77 K）付近の低温領域における移動度が室温より高く、このため基本ゲートの遅延時間が 77 K で高速になることを利用したものである。

5. むすび

これまでに、ガラスとセラミックスを複合化したガラスセラミックス複合材料の開発経緯と特長について述べた。この回路基板はガラスとセラミックスの配合比により、誘電率、熱膨張率、焼成温度などの制御が可能である。このため 1,000 °C 以下の低い温度で焼成でき、コスト面からも有利であるばかりでなく、電気抵抗の小さい銅を配線材料に使用できるため、微細回路の形成が可能である。さらに、熱膨張率をシリコンに近づけることができるため、LSI 素子の高密度実装に適している。新しいガラス粉末とセラミックスとの組み合わせにより、更に新しい機能を持ったガラスセラミック材料の開発も可能と思われる。

参考文献

- 1) 亀原伸男, 丹羽絃一: “銅配線の多層セラミック回路基板”, FUJITSU, 38-2, 149 (1987).
- 2) 西垣進: ハイブリット IC 用低温焼成基板とガラス, New Glass, Vol. 4, No. 2 pp. 37-49 (1989).
- 3) Y. Imanaka, S Aoki, N. Kamehara, and K. Niwa: “Crystallization of Low Temperature Fired Glass/Ceramic Composite” J. Ceram. Soc. Jpn. Inter. Ed. Vol. 95, 1066-1068 (1987).
- 4) 青木重憲, 今中佳彦, 亀原伸男, 丹羽絃一: 昭 62 窯業協会講演 (1987), 979.
- 5) Kamehara, N., Kurihara, K. and Niwa, K.: Multilayer Ceramic Circuit Board with Copper Conductor Extended Abst. of ACS, 87 (1985), 132.
- 6) Niwa, K., Kamehara, N., Yokoyama, H., Yokouchi, K. and Kurihara, K.: Advances in Ceramics, 19 (1987), 41.
- 7) 金子明, 瀬山清隆, 鈴木正博: “FUJITSU Vp 2000 シリーズのテクノロジー”, FUJITSU 41-1, pp. 12-19 (1990).

[筆者紹介]



亀原 伸男 (かめはら のぶお)
昭和45年3月 新潟大学理学部化学
学科卒業
昭和45年4月 (株)富士通研究所
入社
昭和59年12月 (株)富士通材料研
究部主任研究員
昭和60年12月 (株)富士通無機材
料研究部第二室室長
平成2年2月 (株)富士通無機材
料研究部部長
平成3年12月 (株)富士通先端材
料研究部部長
現在に至る

Abstract

Multilayer circuit boards for highspeed electronics need a ceramic material with a low dielectric constant and a coefficient of thermal expansion similar to that of Si or GaAs. Glass and ceramic composites depends on the proportions of glass and ceramics. The temperature of maximum density glass and ceramic composites can also be controlled by changing the softening point of the glass component.

A glass and ceramic circuit board of Alumina and Borosilicate glass has a coefficient of thermal expansion similar to that of Si, and has a low dielectric constant. Such circuit boards, with Cu conductors are used for high-speed computers.

This paper describes glass powders used for glass and ceramic composites for highspeed computer systems.