

電子部品用アルミナ セラミックスとその応用例

Alumina Ceramics for Application in Electronic Field

Of all the ceramics the alumina ceramics command the widest application field in industry. The alumina ceramics have been developed originally as an insulating material for internal combustion engine spark plugs, but besides favorable mechanical and electrical properties they have proved to have superior thermal shock resistance, checmical erosion resistance and many other meritorious properties which have opened up extremely wide field of application for them. They are in extensive use in the electronic field, too. This report describes some of the electronic components using alumina ceramics including integrated circuit substrates, packages, screened multilayer ceramics, and functional blocs for thick film process, centering around their properties as displayed in actual service.

池田正義* Masayoshi Ikeda
竹岡哲雄** Tetsuo Takeoka
中田孝夫* Takao Nakata
小野利一* Toshikazu Ono

1 緒 言

石油危機に端を発した原料不足を反映してセラミックスを使用し、実装密度を高めた電子部品が出現し、セラミックスはこの工業分野で重要な役割を果たすようになってきた。一般にセラミックス材料は金属、有機材料に比べ電気絶縁性、高周波特性、耐熱性に優れ、化学的にも安定であるという特徴を有している。その代表的なアルミナ セラミックスは、電子機器用セラミックスの主流をなしている。

日立化成工業株式会社においては、従来から「ハロックス」の商品名でアルミナ セラミックスの製造を行なっているが、本稿では、これらの材料によるIntegrated Circuit Substrate（以下、IC基板と略す）及びその機能部品として検討

中のパッケージ、多層印刷基板、厚膜機能ブロックなどの電子機器用セラミックスの実用上の諸特性について紹介する。

2 アルミナ セラミックスの一般特性

アルミナ セラミックスは、一般にアルミナ含有率80%以上のセラミックスの総称で、その大部分がα-アルミナ結晶から成る。アルミナの含有率が低いものでは、多くのガラス相を含み、アルミナの結晶をガラス相で覆った状態となり、高純度のもものでは金属組織のような、美しい結晶の集合体として観察される。アルミナ セラミックスにおいては従来からガラス相を構成するフラックス（焼結助剤）の種類、添加量など

表1 日立アルミナ セラミックスの一般特性 電子部品に使用されるアルミナ セラミックス（商品名：ハロックス）の諸特性を示す。アルミナ80%から一般用96%、特殊用99.8%まで各種材質がありそれぞれの用途に活用されている。

Table 1 Properties of Hitachi Alumina Ceramics

項 目		「ハ ロ ッ ク ス」				
性 能	単 位, 摘 要	5 0 1	5 2 1	5 2 5	5 5 2	5 3 5
アルミナ含有率	%	80	90	96	96	99.8
特 長		機械的特性良好	メタライズ性良好	機械的特性良好	寸法精度良好	高周波特性良好
主 な 用 途		一 般 用	メタライズ部品	一 般 用	I C 基板用	I C 基板用, 耐熱用, 耐摩耗用
比 重		3.3	3.6	3.6	3.75	3.9
連続使用温度	°C	1,300	1,500	16,00	1,600	1,900
熱膨張係数	10 ⁻⁶ /°C 20~800°C	6.8	7.5	7.5	7.5	8.3
熱伝導率	Cal cm/cm ² °C	0.032	0.04	0.04	0.45	0.06
曲 げ 強 さ	kg/cm ²	1,800	2,500	2,700	2,700	2,500
圧 縮 強 さ	kg/cm ²	15,000	18,000	20,000	20,000	20,000
絶 縁 耐 力	kV /mm (15°C)	9.0	15.0	10.0	15.0	15.0
体積固有抵抗	Ω-cm (20°C)	> 10 ¹⁴	> 10 ¹⁴	> 10 ¹⁴	> 10 ¹⁴	> 10 ¹⁴
誘 電 率	ε (1 M Hz)	7.0	9.2	9.0	9.0	10.1
誘 電 正 接	tan δ (1 M Hz)	1.2×10 ⁻³	4.0×10 ⁻⁴	5.0×10 ⁻⁴	3.0×10 ⁻⁴	4.0×10 ⁻⁵

* 日立化成工業株式会社茨城研究所 ** 日立化成工業株式会社桜川工場

により特性の異なるセラミックスを製造できることが確認されていた。電子部品関係の用途においては、単なる絶縁性のほかに付随する特性が重要視される。表1は主として電子部品に使用される日立アルミナセラミックス（前記「ハロックス」）の一般特性を示すものである。

3 IC 基板

IC 基板は、セラミックス基板上にスクリーン印刷、真空蒸着、スパッタリングなどにより、導体、抵抗、コンデンサなどの回路を形成するものである。この回路膜の厚さが数ミクロン程度のものを薄膜、数十ミクロン程度のものを厚膜と区別している。これら基板には次にあげる特性が要求される。

- (1) 化学的に安定であること。
- (2) 熱伝導率が高く、動作中発生する熱をよく放散すること。
- (3) 表面が平滑であり、そり、うねりのないこと。
- (4) 機械的強度が大きいこと。
- (5) 表面抵抗及び体積抵抗値が高く、電気絶縁性に優れていること。
- (6) 熱処理時に安定であること。
- (7) 耐熱衝撃性に優れていること。
- (8) 量産性に富むこと。

現在 IC 基板として、アルミナ、ベリリア、ステアタイト、フォスファイトなどが用いられている。その中でもアルミナセラミックスは最も多量に使用されている。以下に日立化成工業株式会社で製作している IC 基板について述べる。

3.1 厚膜 IC 用基板

IC 基板に限らず一般のセラミックスは図1に示すように、原料の粉碎混合、成形、焼成という製造工程により生産される。IC 基板の場合には基板の形状、寸法により成形方式にプレス法とテープ法が採用されている。特にテープ法は量産性に富む製造方式で、基板厚さ1mmぐらいまでのものに適用され、IC 基板製造の主流をなすものである。テープ法のうちでもドクターブレード法は表2に示すように、焼成収縮率の方向性が少ない。日立 IC 基板は、特殊寸法以外はこの方法により成形されるので寸法精度が高い。

厚膜 IC 用基板は、導体あるいは抵抗ペーストをスクリーン印刷法によりその表面に回路を構成するので、表面粗さ2～3μ程度のものが要求される。図2はテープ品とプレス品

表2 テープ法による焼成収縮の異方性 テープ法による基板の焼成収縮率が成形方向により異なる。その差 $S_y - S_x$ を成形方法により示した。

Table 2 Differential Shrinkage of Green Tape Upon Firing

成形方法の種類	$S_y - S_x$ * (%)
ドクターブレード法	0.4~0.1
押出法	>1.0
ロール法	1.0~0

注：*成形方向に平行な収縮率を S_x 、垂直な方向を S_y とすると、 $S_y - S_x > 0$

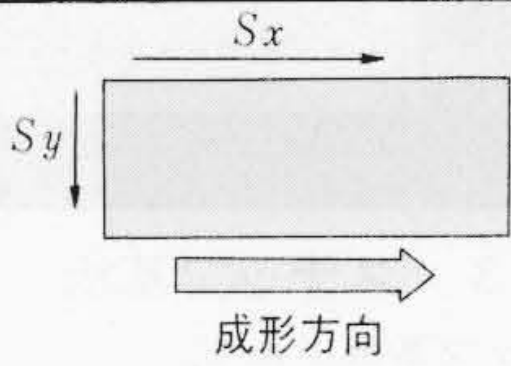


表3 IC 基板の寸法 IC 基板の寸法例を示す。日立 IC 基板はテープ法により作られるので寸法精度が高い。

Table 3 Design Parameters for IC Substrate

項 目		寸 法 ・ 公 差
最 大 幅 寸 法		75mm×130mm
厚 さ		0.25mm ～ 1.5mm
寸法精度	幅 寸 法	± 1.0%以下
	厚 さ	± 10%以下
	そ り	幅10mm当たり0.05mm 以下

の表面粗さ比較例を示すものである。寸法公差は基板の大きさ、形状により決まるが、表3はその一例を示したものである。最近急速に使われはじめたスナップ基板は、打抜き成形工程でテープにスリット（溝）を入れ、小さな基板がつながり合わさった基板である。この基板は回路の構成が多数個同時に行なわれ、あらかじめ設けたスナップ線から分割されるので、印刷能率が向上し、コストの低減に有効である。スナップ線の溝の深さを基板厚さの15～17%とすることにより分割が容易となる。図3はスナップ基板の一例を示すものである。

基板に印刷されたペーストのにじみ、だれ、焼付後の接着強度は基板の材質、表面状態のほかペーストの種類や粘性にも微妙に影響される。基板の材質と焼付後の接着強度については、一般に銀系のペーストのように750～850℃と比較的低温で焼き付けるものは、セラミックス中のフラックスとの反

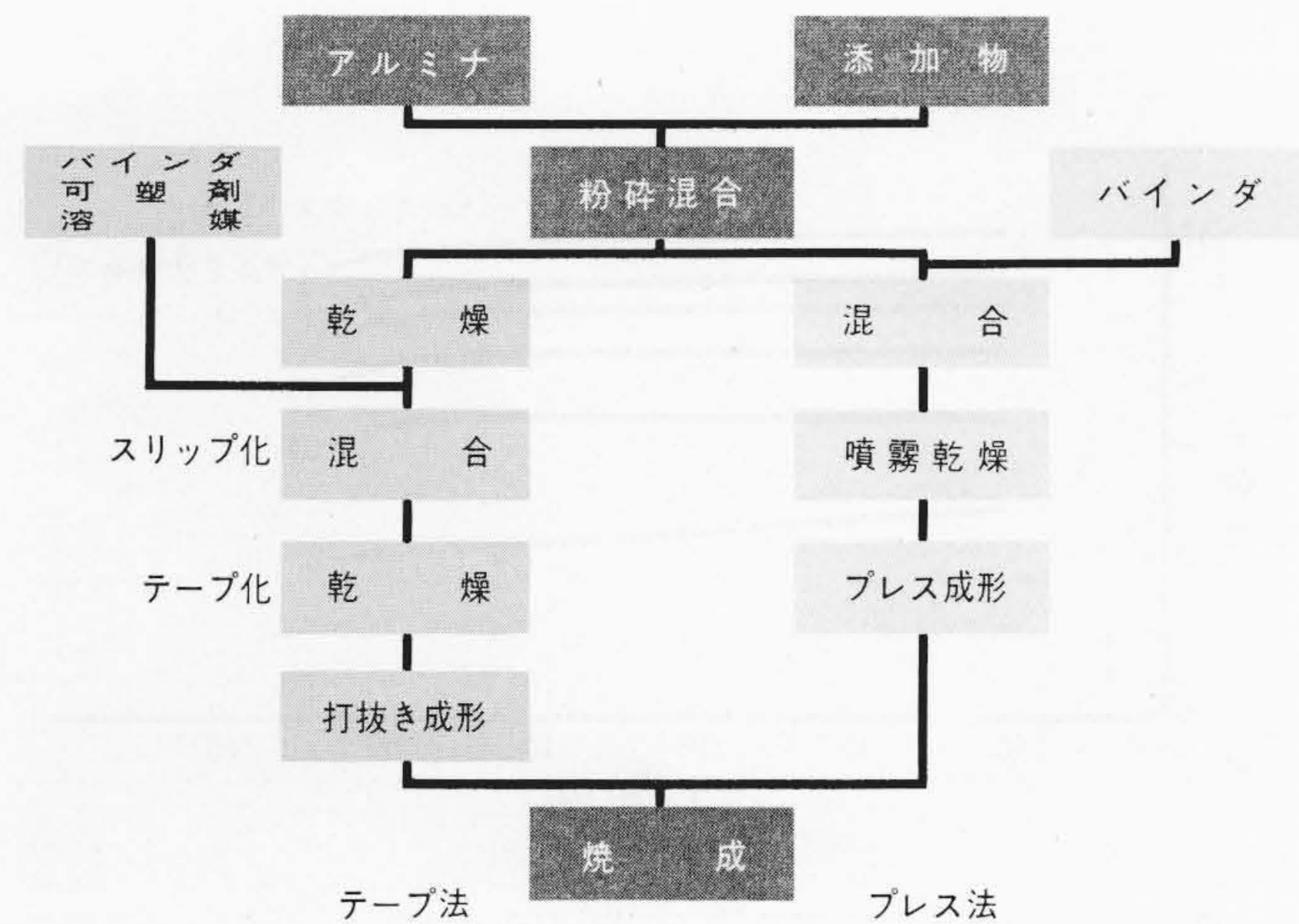


図1 IC 基板の製造工程 IC 基板の製造工程図で成形工程にテープ法とプレス法の違いを示す。

Fig. 1 IC Substrate Flow Chart

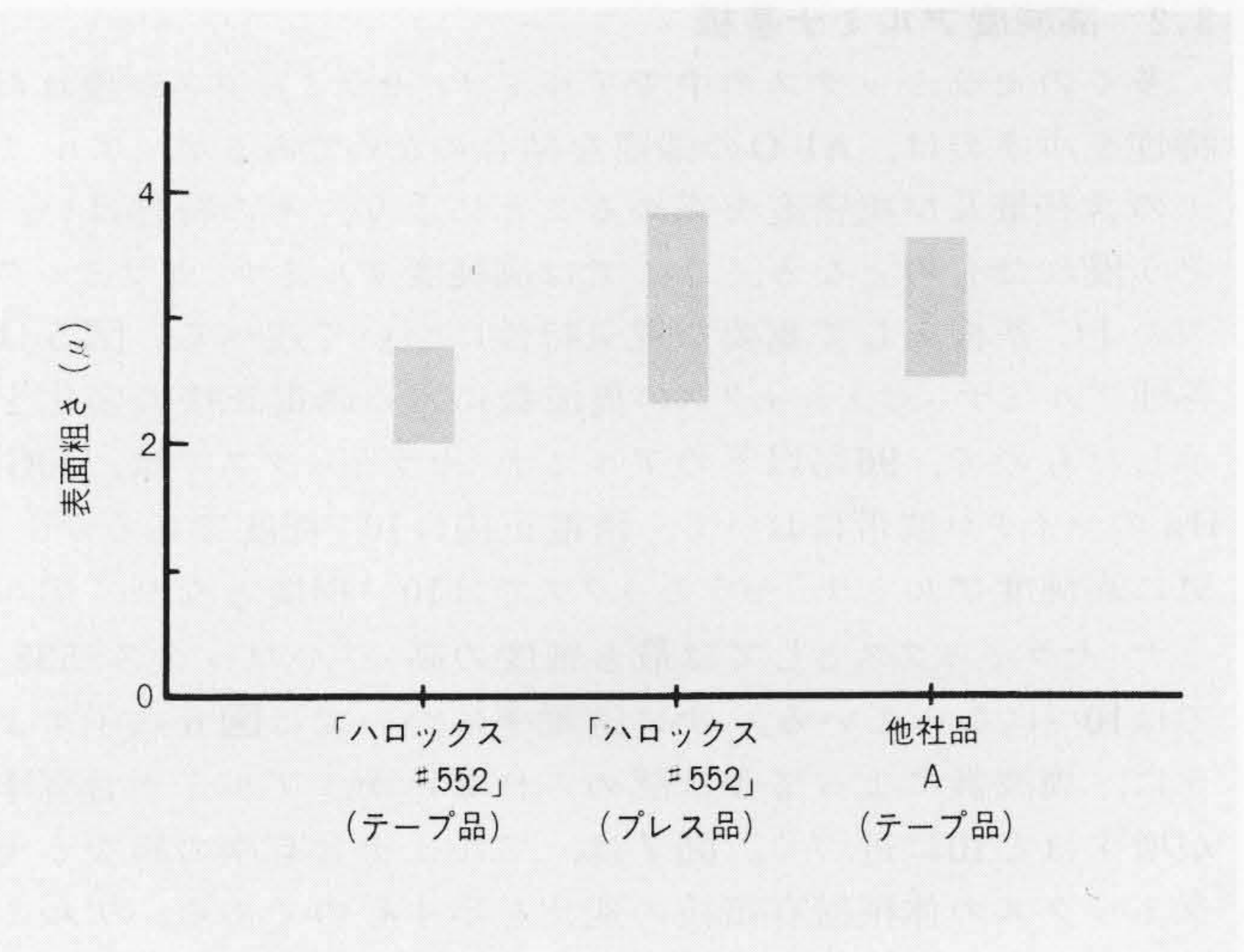


図2 IC 基板の表面粗さ比較 テープ品とプレス品の表面粗さの比較を示す。「ハロックス #552」テープ品は表面粗さ2～3μと小さい。

Fig. 2 Surface Roughness of IC Substrate

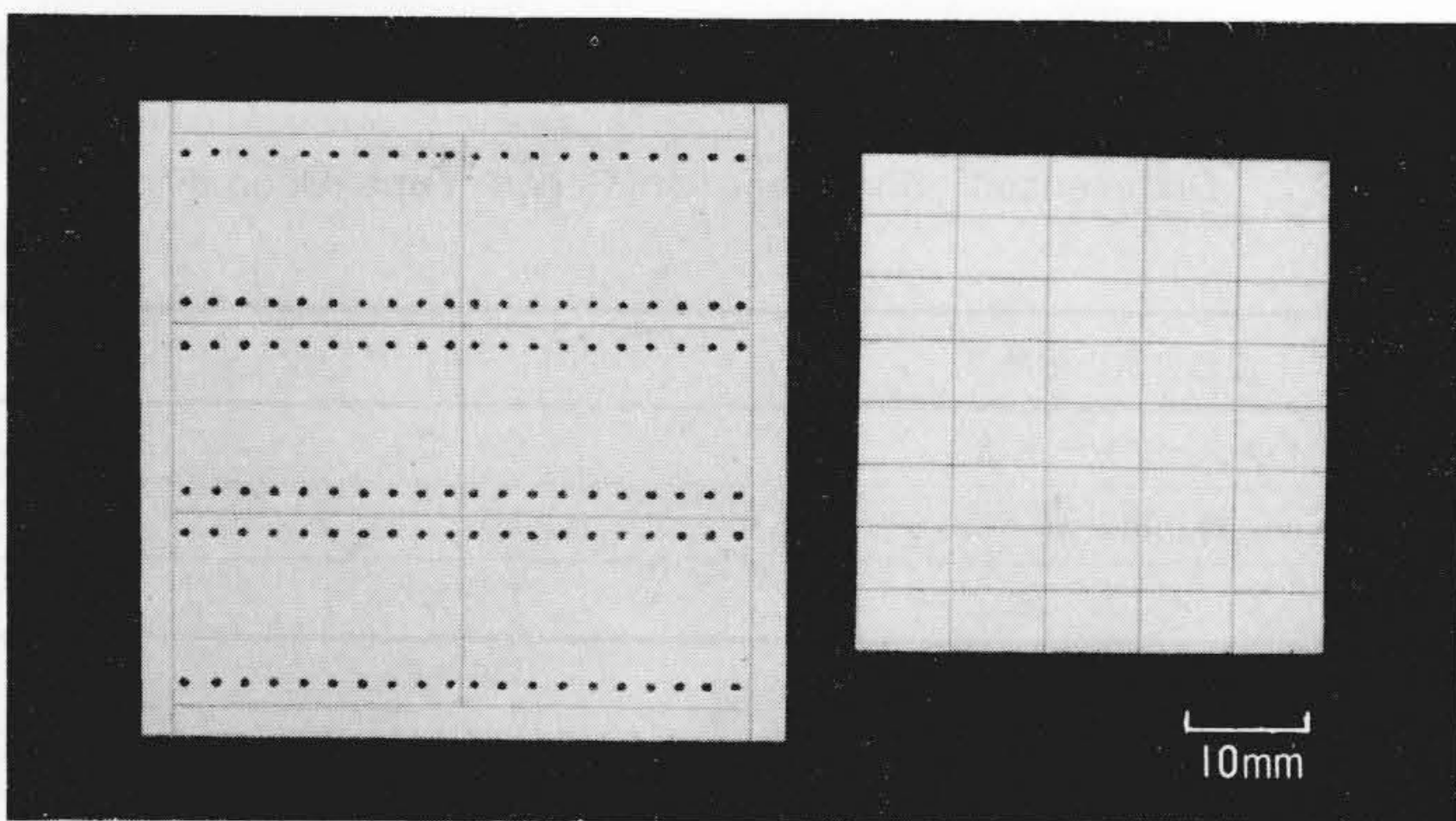


図3 スナップ基板 スナップ基板の一例を示すもので、左側は孔付スナップ基板である。

Fig. 3 Snapped Substrate

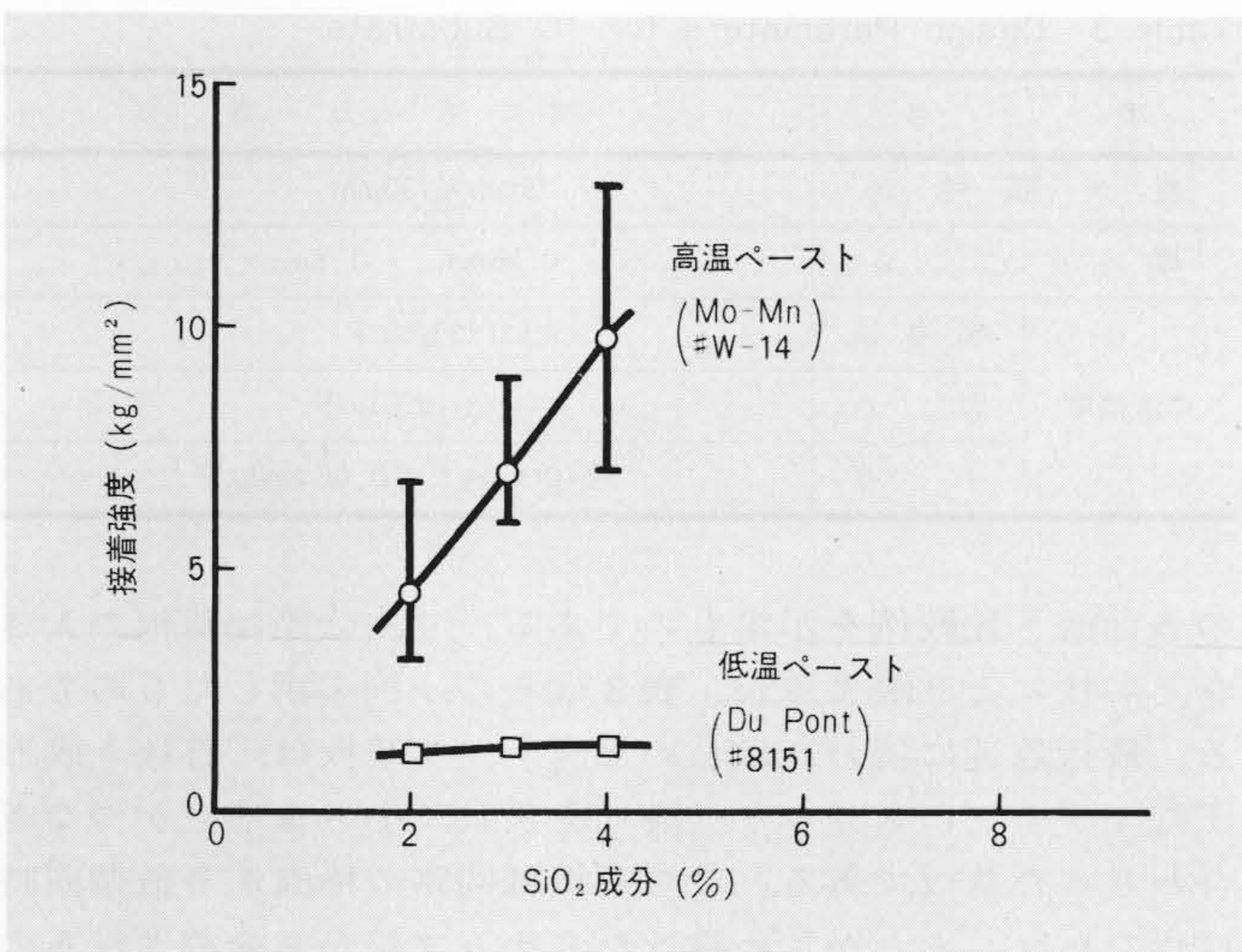


図4 基板中のSiO₂量と接着強度の関係 低温焼付ペーストと高温焼付ペーストの接着強度に及ぼす基板中のSiO₂の量の影響について示す。特に高温ペーストでは、SiO₂量の影響が顕著である。

Fig. 4 Relation between SiO₂ Contents and Bond Strength

応性まで考慮する必要はないが、高温焼付ペーストではこれが接着強度に大きく影響する。図4は接着強度に及ぼす基板中のフラックス（代表としてSiO₂量）の影響について示すものである。

3.2 高純度アルミナ基板

多くのセラムックスの中でアルミナ セラムックスが優れた特性を示すのは、Al-Oの強固な結合のためであるが、アルミナの含有量及び緻密度を高めることにより、その特性はますます優れたものとなる。ここでは高純度アルミナ セラムックスのIC基板として重要な電気特性について述べる。図5は各種アルミナ セラムックスの周波数による誘電正接の変化を示したもので、96%以下のアルミナ セラムックスでは、10GHzのマイクロ波帯において、誘電正接は 10^{-3} 程度であるが、更に高純度アルミナ セラムックスでは 10^{-4} 程度となり、アルミナ セラムックスとしては最も純度の高い「ハロックス#535」では 10^{-5} になっている。次に誘電率については図6に示すように、周波数によって差は認められないが、アルミナ含有率が増すほど10に近づく。図7は、アルミナ含有率の異なるセラムックスの体積固有抵抗の変化を示すものである。アルミナ セラムックスの固有抵抗は、フラックス量が多くなるとアルミナ本来の特性が失われて、ちょうど石英ガラスの固有抵抗に近づいている。これはSiO₂を含むガラス相がアルミナの

特質を変えているためである。

4 応用製品

電子機器における半導体IC、大規模集積回路(LSI)の使用は急速に増加しつつあり、これら機能素子のパッケージング及び機能ブロック化に伴う回路構成上、使用される回路板も高密度化が図られている。この目的のためにプリント回路板も多層化がなされているが、マイクロ エレクトロニクス用には配線機能の高密度化のみならず、機能素子を内部に含み、かつ信頼性の高い回路板としてセラムックス多層回路板が実用化されてきた。セラムックス多層回路板はその製造法により、表4に示すように積層法、印刷法、厚膜法に分けられる。この特徴を生かした応用製品代表例としてのパッケージ、多層印刷基板、厚膜機能ブロックについて以下に説明する。

4.1 パッケージ

パッケージは積層法による代表的な応用製品である。半導体素子のパッケージとしては次に示すことが要求される。

- (1) 外部環境に対して気密であり、しかも機械的にも保護されること。
- (2) 回路の使用に必要なだけの電気接続が可能なこと。

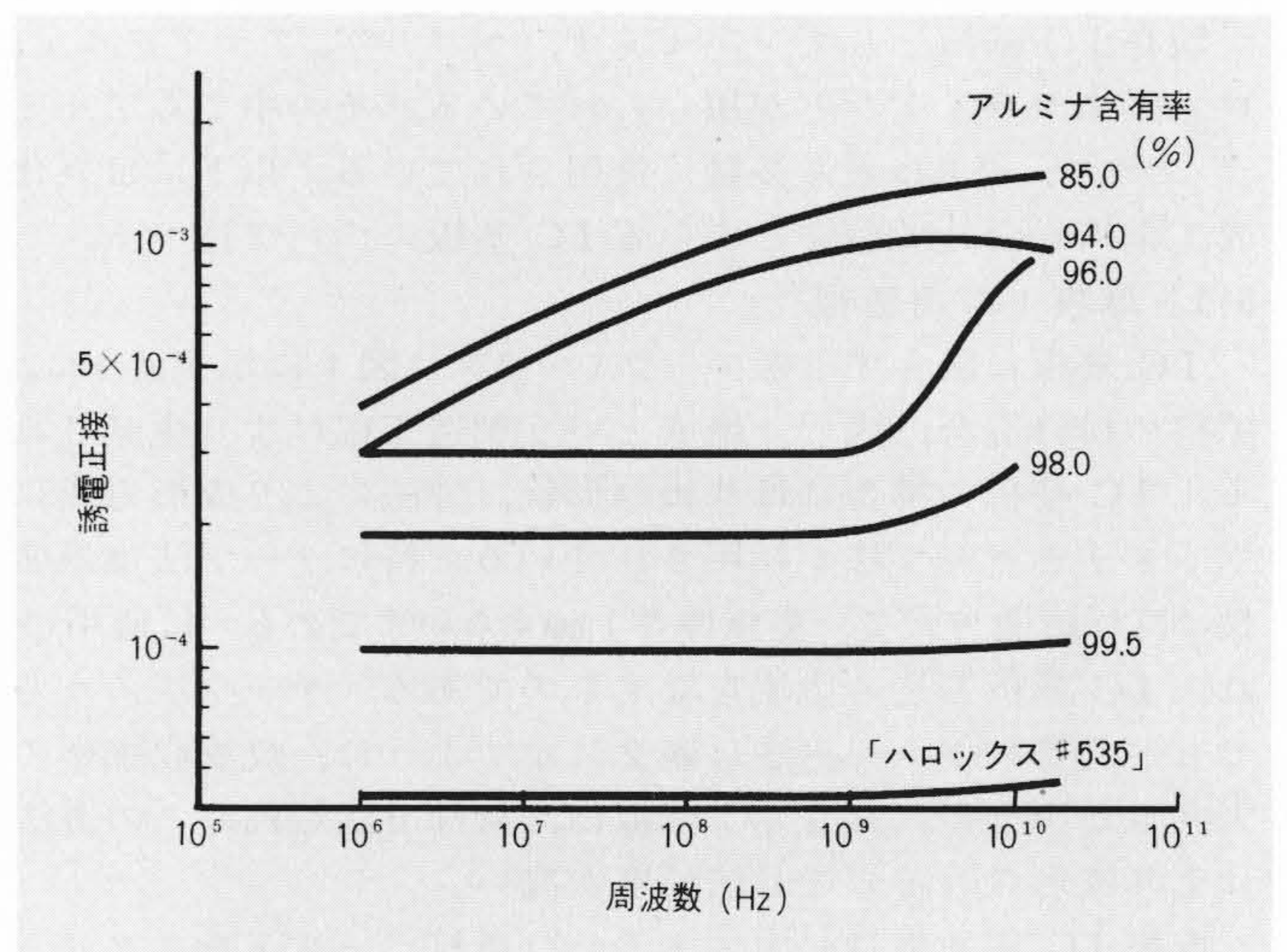


図5 アルミナ セラムックスの誘電正接 アルミナ セラムックスの周波数による誘電正接の変化を示す。特に高純度のものほど変化が小さい。

Fig. 5 Dielectric Loss Tangent of Alumina Ceramics

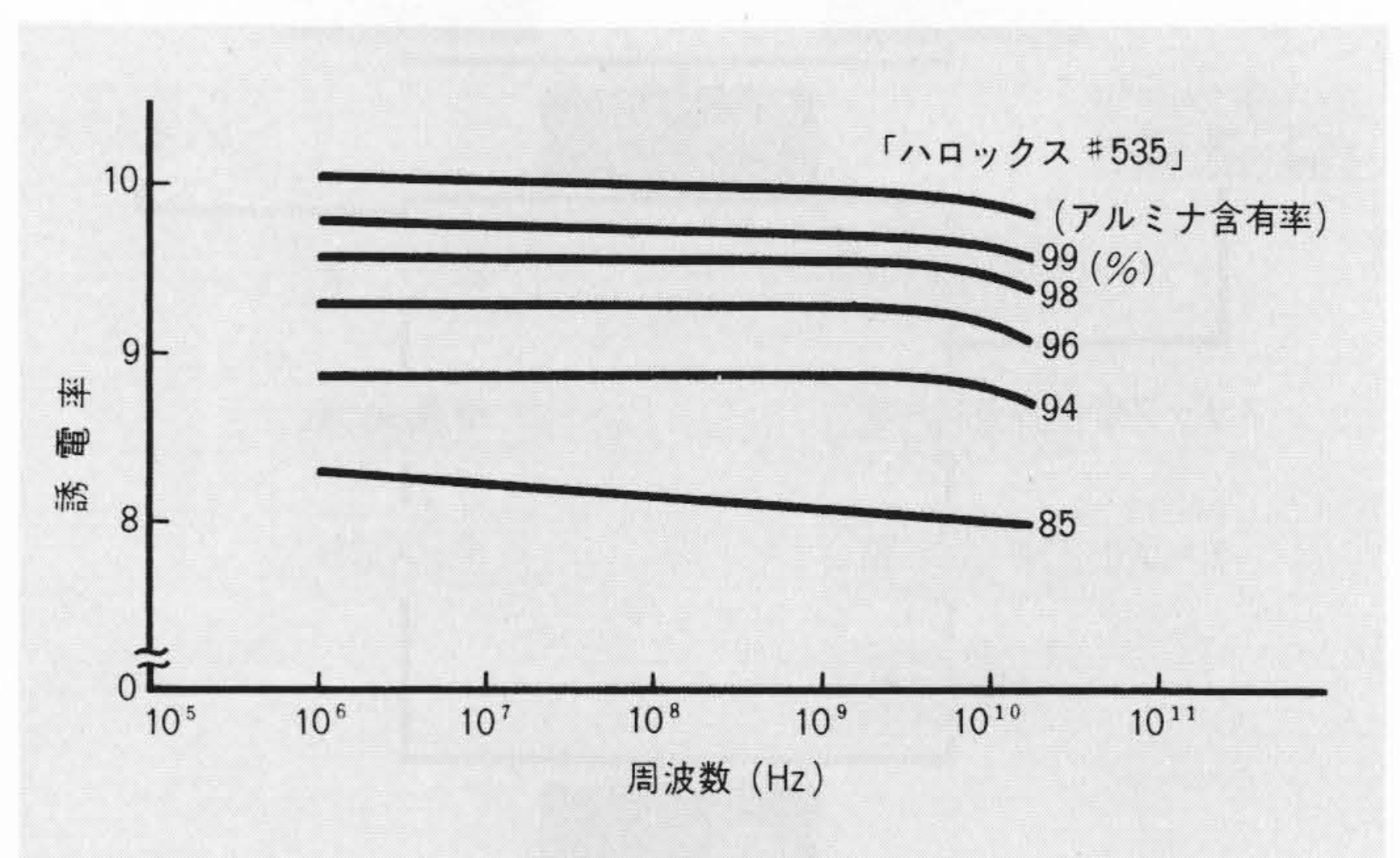
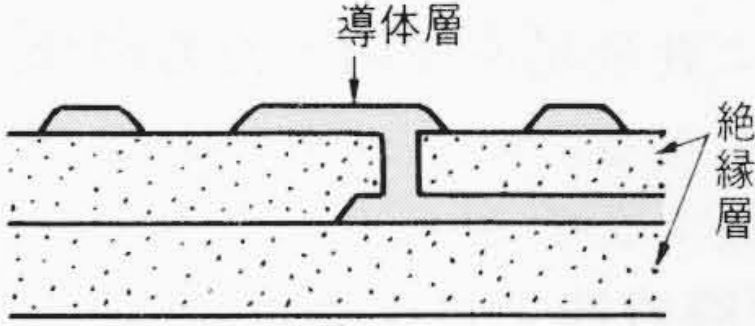
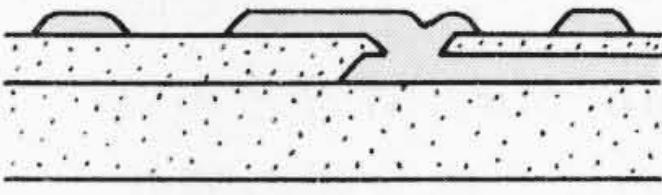
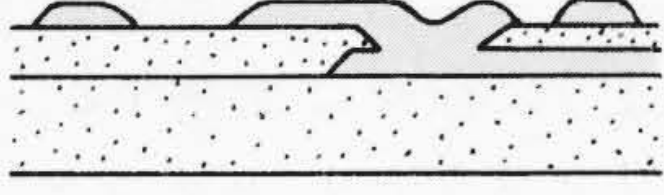


図6 アルミナ セラムックスの誘電率(25°C) 各種アルミナ セラムックスの周波数による誘電率の変化を示す。アルミナ純度の低下に伴い誘電率も下がる傾向にある。

Fig. 6 Dielectric Constant of Alumina Ceramics

表 4 多層化方式の比較 多層化方式の積層法、印刷法及び厚膜法についての各特徴を示すが、製品仕様に応じて最も適した方式を採用する。

Table 4 Comparison of Laminating Methods

項 目		方 式	積 層 法	印 刷 法	厚 膜 法
構 造					
基 層			グリーンテープ	グリーンテープ	ホワイト基板
絶 縁 層			"	絶縁ペースト	絶縁ペースト
導 体 層			Mo-Mn, W, Pt, Pd ペースト	Mo-Mn, W, Pt, Pd ペースト	Ag-Pd ペースト
多 層 化			各層ごと打抜き, 熱圧着	ペースト印刷	ペースト印刷
スルホール			プレス 打抜き	絶縁層のパターン	絶縁層のパターン
燃 成			同 時 焼 成	同 時 焼 成	個 別 焼 成
特 徴	スルホール化		導体のスルホール印刷困難	容 易	容 易
	金 型		各層ごとに必要	一 組	一 組
	回路変更		金 型 変 更	印刷パターンの変更	印刷パターンの変更
	そ の 他		少量生産割高パッケージに適す	回路の微細化が可能	抵抗など機能ブロック化可能

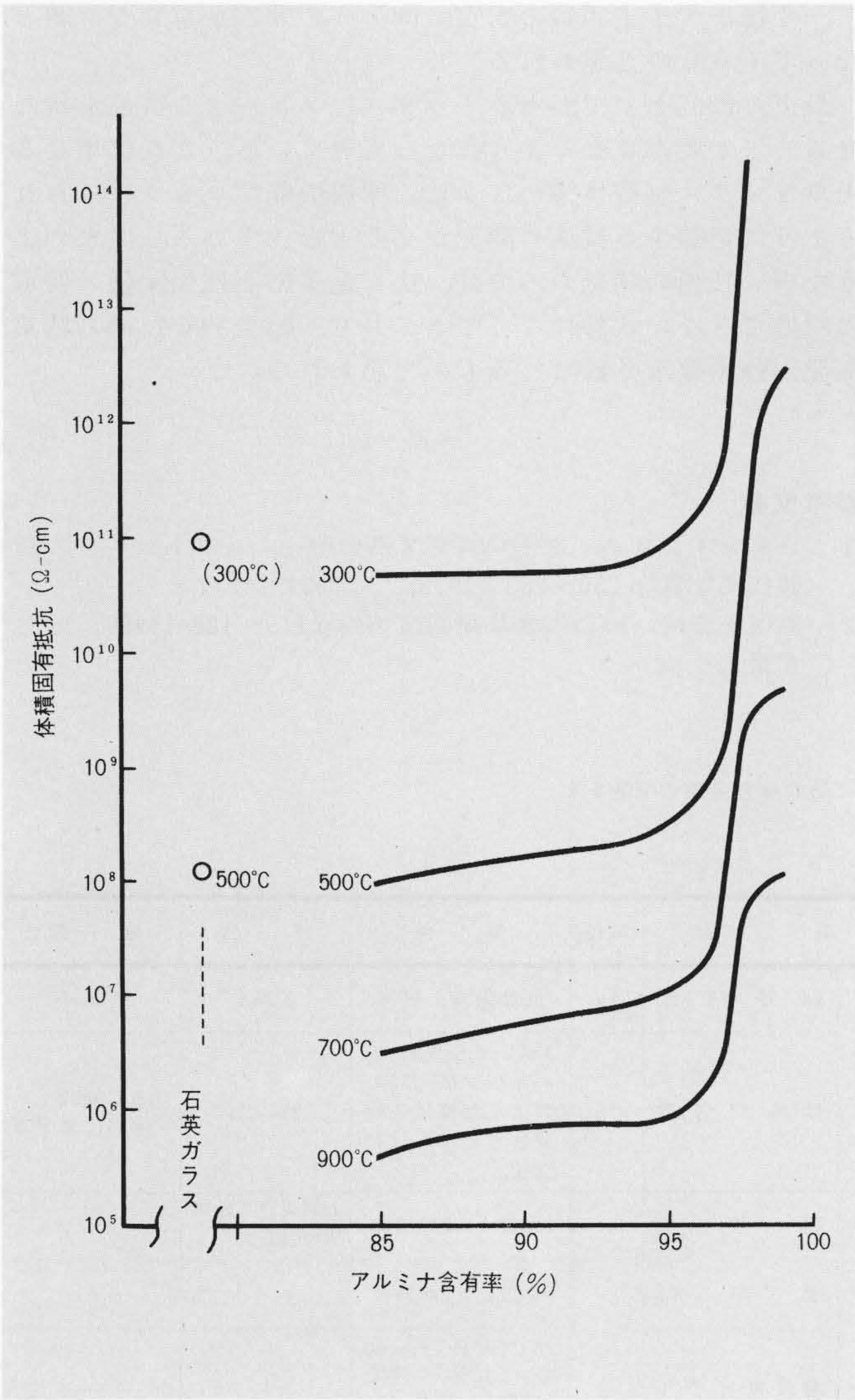


図 7 アルミナ セラミックスの体積固有抵抗 アルミナ セラミックスの体積固有抵抗とアルミナ含有率の関係を示す (○印は石英ガラスの値)。アルミナ95%以上で抵抗値は急激に高くなる。

Fig. 7 Volume Resistance of Alumina Ceramics

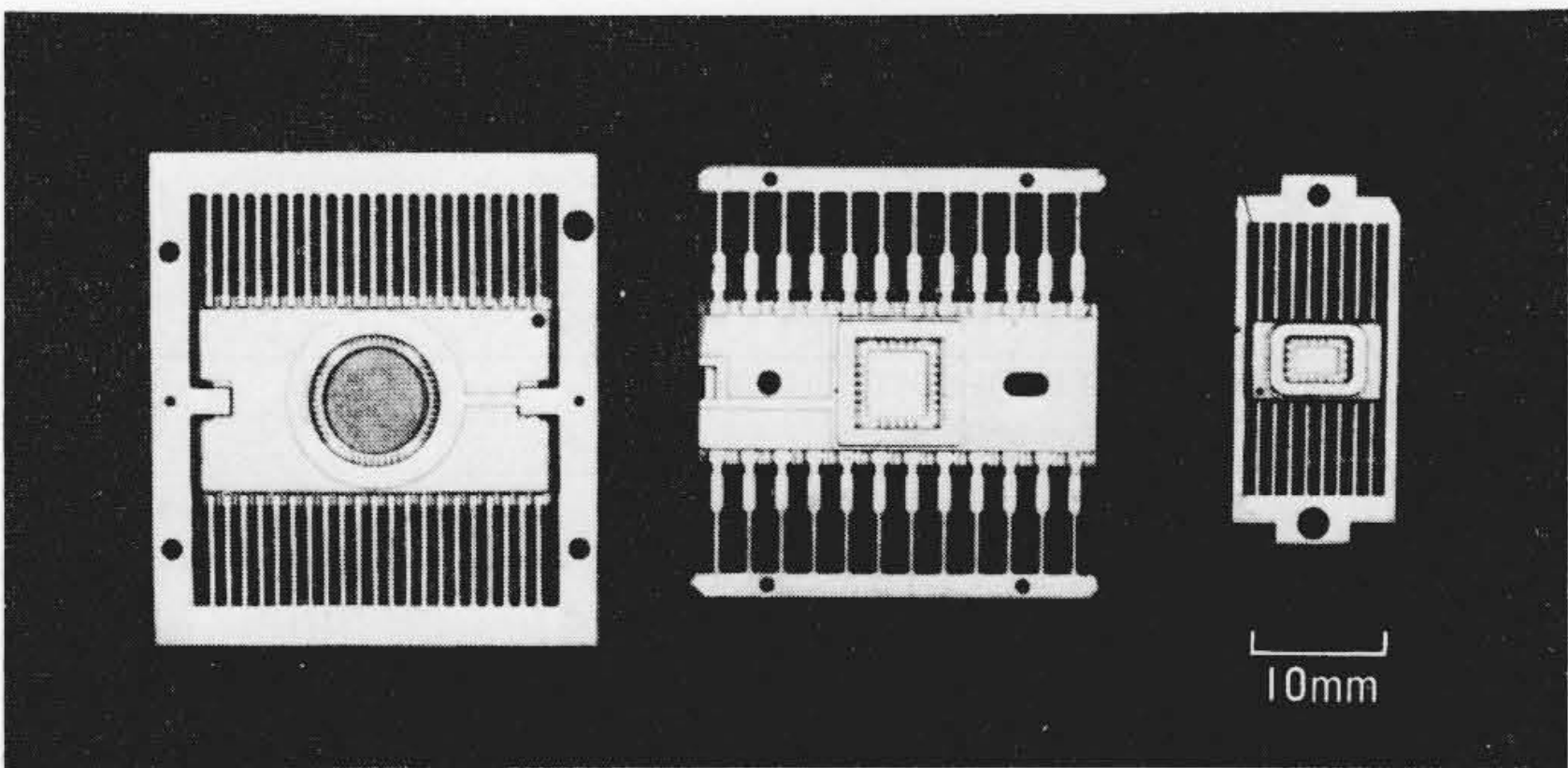


図 8 日立フラット パッケージ フラット パッケージの一例を示す。写真左より42ピン, 24ピン, 16ピンの例である。

Fig. 8 Hitachi-Chem, Flat Package

(3) 内部で発生する熱を外部へ良く放散させること。
更に回路の用途により、形状、重量などが考慮される。⁽¹⁾⁽²⁾
パッケージとして一般にTO-5形, DIP形, フラット形などがあり、セラミックスを使用する場合、封止方式によりセラミックス—ガラス—金属形, セラミックス—ガラス—セラミックス形及びセラミックス—セラミックス形に分けられる。ここでは積層法によるフラット形パッケージについて述べる。フラット形パッケージはセラミック基板にリード線を接続させた平形のパッケージの総称である。図8はその一例を示すものである。積層法によるパッケージの特徴は、
(1) 完全にモノリシックな構造を有し、その内部に回路を縦横に巡らすことができる。
(2) 機械的強度が高く、気密性が良い。
(3) 化学的に不活性である。
(4) 熱放散が良く、冷熱サイクル、熱衝撃に耐える。
(5) 信頼性が高い。
このパッケージの製造にはセラミックスの焼結と回路のメタライジングを同時に行なう、いわゆる Co-firing と呼ばれる技術が使用されている。この製造方式は次に述べる多層印刷基板の製造にも適用されている。表5は日立化成工業株式会社のフラット パッケージの特性例を示すものである。

4.2 多層印刷基板

グリーンテープ(生テープ)上に導体と絶縁体を交互にスクリーン印刷することにより多層構造とする方法である。この印刷物は $1,500\sim 1,600^{\circ}\text{C}$ でセラミックスの焼結と導体、絶縁体の焼付が同時に行なわれ、全体が一つのセラミックスとなる。焼成は2段階のプロセスで行なわれる。第一プロセスではグリーンテープ、印刷層にき裂を起こさずにバインダを除去するように徐々に加熱する。導体層にMo-Mn、Wなどのいわゆるリフラクトリメタルを使用したものは導体金属の酸化防止のため還元ふんい気により焼成するが、バインダの除去のためには酸化ふんい気を必要とする。このため両方の条件

表5 日立フラット パッケージの一般特性 積層法によるフラット パッケージの特性例で、同時焼成により一体化されているため、気密性、耐熱特性が優れている。

Table 5 Properties of Hitachi-Flat Package

項 目	試 験 条 件	単 位	特 性 値
絶 縁 抵 抗	D C 100V	Ω	1×10^{-9} 以上
導 通 抵 抗		Ω	0.5 以下
気 密 性	1 atm He	cc/s	1×10^{-9} 以下
端 子 強 度	45度方向引張り	kg	1.4 以上
熱 衝 撃 性	$0\sim 100^{\circ}\text{C}$, 5 サイクル 試験後の気密性	cc/s	1×10^{-9} 以下
温度サイクル	$-65\sim 25\sim 150^{\circ}\text{C}$, 5 サイクル 試験後の気密性	cc/s	1×10^{-9} 以下
高 温 寿 命	175°C , 1,000時間後の気密性	cc/s	1×10^{-9} 以下
耐 湿 性	80°C -RH90%, 100時間 後の気密性	cc/s	1×10^{-9} 以下
耐 熱 試 験	450°C , 3 分後の気密性	cc/s	1×10^{-9} 以下

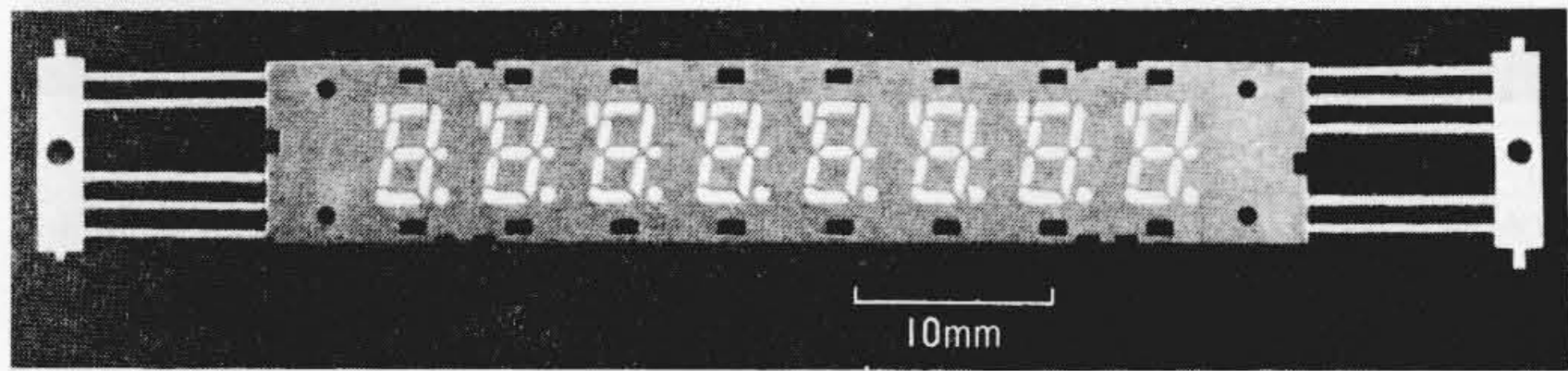


図9 表示管用多層印刷基板 電子式卓上計算機の表示管に使われる多層印刷基板の一例を示す。

Fig. 9 Screened Multilayer Ceramics for Digital Displays

表6 厚膜回路板の仕様 厚膜回路板の仕様で、ホワイトの基板に印刷することにより各種の機能をもたせることができる。

Table 6 Design Parameters and Properties of Hybrid Microcircuits

配線寸法					電気的特性						
項目	単位	条件	特性	備考	項目	単位	条件	特性	備考		
配線寸法	導体線幅	mm	焼付後の配線寸法	0.3	min 0.15	接着特性	端子強度	kg	90度方向引張り	2 以上	各端子
	線間幅	mm		0.3	min 0.15		はんだ付性	%	370℃×5 分間 ベークンク後 230℃ のはんだ槽に 3 秒 浸せきしはんだ付 面積	95以上	JIS C5202 6.5に準ずる
	スルホール	mm		0.5 φ又は 0.4×0.3	—						
	スルホール間隔	mm		0.5	—						
	クロス オーバー層厚み	μ		40	min 25						
電気的特性	導体抵抗	mΩ/□	—	25	min 5	耐候性	耐寒性	—	−40℃×240時間	上記電気特性接 着特性を満たす	—
	抵抗値精度	%	—	±20	min ±10		耐熱性	—	+85℃×240時間	〃	—
	トリミング精度	%	—	±1	—		温度サイクル	—	25℃(10分)〜−40℃ (30分)〜25℃ (10分)〜70℃(30分) 5 サイクル	〃	—
	絶縁抵抗	Ω	D C 100V	1×10 ¹⁰ 以上	導体間及びク ロスオーバー部		耐湿性	—	+40℃, RH90〜 95%, 240時間	〃	—
						熱衝撃	—	温度差 150℃	破壊しない	き裂などを生 じない	

を満たすよう調整したふんい気中に行なわれる。第二プロセスでは、第一プロセスよりも速い速度で昇温し、セラミックスの焼結温度で一定時間保持し冷却する。この方法により製造される多層印刷基板は、パッケージと同様の特徴を持つ。図9は応用例として表示管用基板を示すもので、基板表面の導体層に貴金属を使用したものは、はんだ付、ボンディングが可能である。リフラクトリメタル系ではNiやAuなどのめっきを施す必要がある。

4.3 厚膜機能ブロック

最近、電子回路を機能ブロック化するためのCircuit Technologyが重要視されている。電子計算機などにおいては早くから価格、信頼性、高速化の面からいくつかの機能単位を1ブロックとして実装されてきた。民生用機器においてもトランジスタ化からIC化を経て、機能ブロック化が急速に進みつつある。この機能ブロック化の目的は、(1) 低価格化、(2) 小形化、(3) 高信頼性があげられる。この中でも低価格化をねらう場合が多くなってきた。表6は厚膜基板の仕様例を示すものである。

5 結 言

最近この分野での発展は目覚ましいものがあり、したがって、今後ますます品質の安定、向上への要求が重要な課題となってくるものと思われる。

最近の傾向として、セラミックスにユニークな特性を持たせることが要求されるようになってきている。これは単なるセラミックス製造技術のほかに、厚膜機能ブロックにみられるように付随する技術の開発が必要となっている。従来のような単一技術の開発のみでは、広く電子応用技術関係の要求に対処できない状況になってきており、総合的な技術の結集、開発が強く要求されてくるものと思われる。

参考文献

- (1) 日本マイクロエレクトロニクス協会編 エレクトロニクス実装技術便覧 p.250~260 (1973, 工業調査会)
- (2) 原留美吉編 最新混成集積回路技術 p.119~128 (1969, 誠文堂新光社)