

陽極接合できる貫通多層配線 LTCC 基板

ニッコー株式会社・研究開発部

毛利 護

Anodically-bondable LTCC Substrate

Mamoru Mori

R&D Division, Nikko Company

1 はじめに

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) はゲーム機のコントローラーや携帯電話などに使われるなど、次第に身の回りの生活を豊かにする部品として数多く使われるようになってきている。この MEMS 実装技術として、シンプルな工程で低コストかつチップサイズの MEMS が製造できる、ウエハレベル実装が積極的に検討され一部実用化されてきている。この MEMS ウエハレベル実装では気密封止が必要とされ、気密封止された MEMS チップから外部へ信号を取り出すためには、貫通配線基板の利用が有効である。

従来 MEMS ウエハレベル実装用貫通配線基板には、ガラスに貫通穴を形成し導体充填処理した基板が使われてきた。ガラスは、MEMS 分野で気密封止技術として多用されている陽極接合ができる利点はあるものの、脆性材料であるため貫通配線 (ビア) の形成コストと微細化等に課題がある。またストレートな貫通配線しか形成できないため設計自由度にかけるといった課題もあり、微細ビアピッチで多層配線が比

較的低コストで形成できる LTCC 基板で陽極接合できる材料が求められていた。

LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics) 基板は銀や金、銅などの低抵抗導体を内層導体に用い、グリーンシート誘電体によるプロセスで製造される多層配線基板であり、材料はガラスとセラミックファイラーからなっている。弊社では 1992 年から LTCC 基板の量産を行なってきた。2009 年夏商品化した、MEMS ウエハレベル実装に適した陽極接合できる LTCC について紹介させて頂く。

2. 陽極接合できる貫通多層配線 LTCC

2.1 陽極接合

陽極接合は図 1 に示すようなメカニズムで接合される、簡便な装置で歩留まりと信頼性の高い接合ができることを特長とする方法であり、圧力センサ、真空センサ、角速度センサ、高周波スイッチなど数多くの製品で実用化されている。例えば、400℃ に加熱した状態で 600 VDC の高電圧をかけると、ガラス中に網目修飾酸化物として添加されているナトリウムイオンが陰極側に移動する。フリーになった非架橋酸素イオンがシリコン原子と静電的に引き合い共有結合することで、強固な接合が得られる。

LTCC は銀等の内層導体と同時焼成するため

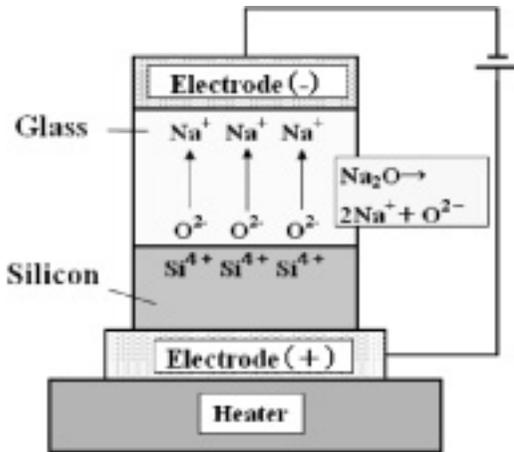


図1 陽極接合メカニズム

に 850~900℃ で焼成する。これまで開発されてきた LTCC ガラスでは、絶縁性の観点から網目修飾酸化物の成分としてアルカリ金属酸化物は、入れてもガラスの製造を容易にするために少量の添加に留められていた。しかし、陽極接合できる LTCC 基板を開発するためには、アルカリ金属酸化物を積極的に活用する必要がある。イオン半径の小さい Li や Na を含んだガラスで、ガラスと反応して結晶化が起こらないセラミックフィラーを用いた非晶質系ガラスセラミックが、陽極接合できる材料になることが分かった。

Na₂O-Al₂O₃-B₂O₃-SiO₂系ガラスとアルミナ、コーゼライトからなる非晶質タイプの LTCC (BSW と呼ぶ) を開発した。陽極接合は介在物を用いない接合方法なので、シリコンとの微視的な接合面積に関係する基板の平滑性が重要である。焼成した状態の基板表面粗さは 200 nmRa 程度であり、ガラスと同等な 3 nmRa 程度に鏡面研磨加工している。また熱膨張係数はウエハレベル実装の場合シリコンと LTCC に差があると、電極間での位置ずれや熱膨張差で生じた応力が MEMS の特性に影響する。シリコンの熱膨張係数曲線もデータ取りを行って、LTCC の熱膨張係数を 320℃ でほぼ同等、400℃ で 0.1 ppm/℃ 程度の違いとなる 3.3

ppm/℃ に調整した。

2.2 絶縁性

LTCC の場合内蔵キャパシタ等を形成できることから、絶縁抵抗信頼性を確認しておくことは重要である。

まず絶縁抵抗の温度依存性について測定した。室温、100、150、200、250℃ と温度を変えて、直流 3 端子法 (JIS C 4121 準拠) で体積固有抵抗率を求めた。この結果をアレニウスプロットの形で、図 2 に示す。室温における体積固有抵抗率は、 $6.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 、絶縁性の目安といわれる $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ になる温度は約 250℃ であった。一般的な電子部品は 150℃ 以下で用いられることから、使用温度的には十分に使えることが確認できた。

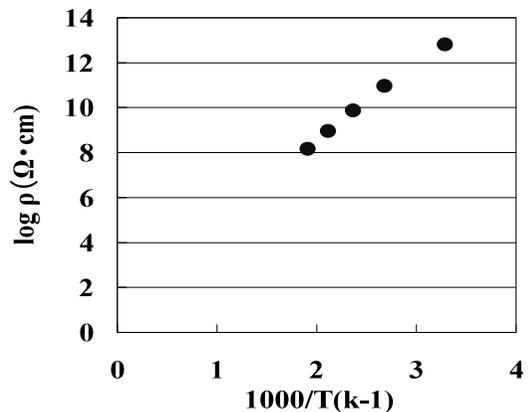


図2 体積固有抵抗率の温度差

また、配線基板としての絶縁信頼性を測定した結果を表 1 に示す。この結果から一般的な受動部品内蔵可能な配線基板として使用できることが確認できた。

表1 BSW 基板の絶縁信頼性

項目	規格	判定	条件
層間絶縁抵抗信頼性 (層間: 25μm)			
高温高湿バイアス試験	1.0×10^8	PASS	60℃ 90%RH DCSV 1000時間
プレッシャークッカーバイアス試験	$\Omega \cdot \text{cm}$ 以上	PASS	130℃ 85%RH DCSV 100時間
層内絶縁抵抗信頼性 (層内: L/S=50/50μm)			
高温高湿バイアス試験	1.0×10^8	PASS	60℃ 90%RH DCSV 1000時間
プレッシャークッカーバイアス試験	Ω 以上	PASS	130℃ 85%RH DCSV 100時間

2.3 気密封止性能

MEMSの機能を安定して維持するためには、気密封止実装できることが必須である。導体にはLTCC基板中に溶け込まない金を用いている。

気密封止性能評価に用いたLTCCは図3の断面写真に示すような内層に配線を1層もったものとした。この評価基板をダイヤフラムが加工されたシリコン基板と真空中で陽極接合させ、大気中に取り出した際の差圧で生じるダイヤフラムの凹み量を測定した。

800時間の室温保存において、ダイヤフラムの凹み量に有意な変化は測定されず、リークレートを計算すると 1.38×10^{-12} Pa・m³/sであり、気密封止性能の目安といわれる 1×10^{-9} Pa・m³/s以下が達成できた。引き続き試料を車載品の信頼性評価にしばしば使われる-40/+125℃(30分/30分)の熱衝撃試験に3000サイクルまでかけたが、有意な凹み量の変化が測定されておらず、安定性の高い気密封止ができていると考えられる。

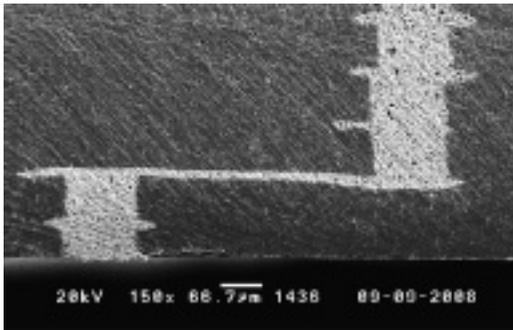


図3 LTCC基板断面SEM写真

2.4 BSW基板の物性および信頼性と利点

開発したBSW基板の物性を表2にまとめた。また陽極接合ができる性能以外にも以下の特徴があり、魅力のある新規実装基板になりうると考えている。

表2 BSW基板の物性

項目		値	条件
嵩密度	g/cm ³	2.43	
線熱膨張係数	ppm/°C	3.3	RT~400°C
抗折強度	MPa	150	
ヤング率	Gpa	81	
熱伝導率	W/m/k	1.67	
絶縁抵抗	Ω・cm	6.5×10^{12}	500VDC
誘電率		5.2	1GHz
		5.2	10GHz
誘電損失		0.006	1GHz
		0.01	10GHz

- 貫通配線やキャビティが、一般的なビアパンチ装置とスクリーン印刷で形成でき、簡便で量産性がある。
- 狭ピッチで形状のよいビアが形成でき、製品の小型化ができる。また穴数の限界がなく、大口径のウエハ対応ができる。ウエハ1枚あたりの製品数が増えることから、コスト低減に大きな効果がある。
- IVH構造の3D配線により自由度のある設計が可能である。狭ピッチのチップ側パッドレイアウトを、裏面でプリント配線基板に実装できるパッドレイアウトに再配線設計できるので、設計が容易になる。
- 受動部品を基板に内蔵させることで、より小型で機能性をもった製品の創出が可能になる。MEMSで無理をして受動素子を作りこむ必要が低減され、製品開発速度が向上する。