

陽極接合用ガラスの紹介と今後の方向性

旭テクノグラス株式会社
機能材料事業部

村井 淳一

Introduction of glass substrate for Anodic bonding and the market view

Junichi Murai

Electronic and Industrial materials Division, Asahi Techno Glass Corp.

1. はじめに

陽極接合は、1960年代後半に米国で開発されたシリコンとガラスの接合方法で、接合面が平滑に研磨されたシリコンとガラスを密着させてガラス中に含まれるナトリウムなどのアルカリ金属イオンの動きやすい温度まで加熱し、シリコン側を陽極にして直流電圧を印加することによってガラスのアルカリイオンが陰極側に移動し、ガラスの結合面に電荷層が形成されてガラスとシリコンの結合面の静電気が増大し、シリコン原子とガラス側の酸素イオンが化学結合する^{1),2)}ことによって大きな結合力が生じる接合方法である。

具体的には400-1000Vの直流電圧を印加しながら300-600°Cで10分から20分程度保持することで、強固で信頼性の高い接合状態が得られる。従来、この陽極接合に適したガラスとして、理化学・工業用途や食器用途によく使用される硼珪酸ガラスが広く使われてきた。しかしながら、センサの感度や精度要求が高まるに

つれ、硼珪酸ガラスより熱膨張特性がシリコンに近いガラスが要求されてきたことから、旭テクノグラスでは、陽極接合専用のガラス素材も開発、販売している。これらのガラスは通常両面を精密に研磨したウエファに必要に応じて孔あけ、座繰りなどの機械的加工を施して供給されることが多い。

この陽極接合ガラスの主な市場であるMEMs (Micro Electronic Mechanical Systems) は近年急速に注目されている技術で、従来の半導体が形成された回路を流れる電気信号だけで動作するのに対して、MEMs素子は一般的に振動を含む可動部分を持ち、物理量を電気信号に転換する構造を持った半導体と言える。シリコンを様々な加工したMEMsデバイスの実用例としてはシリコンのダイヤフラム構造をもつピエゾ抵抗型半導体圧力センサーや静電容量変化を利用した半導体加速度センサーなどが実用例として有名である。

2. 陽極接合用ガラス SW シリーズ

通常のLSIやメモリーなどに代表される半導体ではシリコンに回路パターンを形成した後

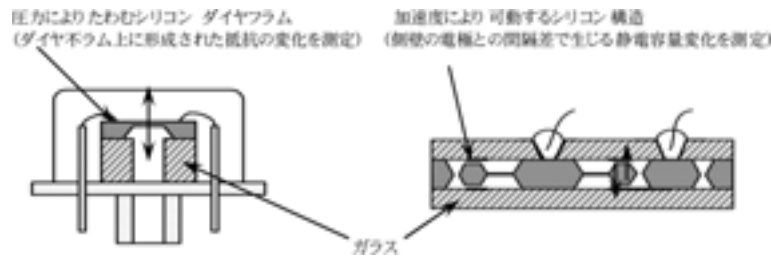


図1 ピエゾ抵抗型半導体圧力センサー

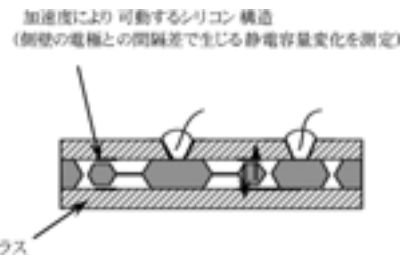


図2 静電容量式半導体加速度センサー

M. Esashi, The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators

ダイシングしてからパッケージングするのに対して、MEMsと呼ばれる可動部分を持つ半導体では楕円電極など微細な可動構造を持っているために、ダイシングする前にウエハレベルで封止を行い、微細な構造を保護してからダイシングするのが一般的である。その際に陽極接合は接合条件が緩やかであること、応力発生が少ないこと、クリーンな接合でガスや飛沫の怖れがないこと、強固な結合力が得られることなどからよく使われる接合方法である。この陽極接合ではガラスにアルカリイオンが含まれていること、熱膨張係数がシリコンに近いことが要求されるため、熱膨張係数が $32\text{-}33 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ の硼珪酸ガラス（商標 PYREX®や TEMPAX Float®）が昔から良く使用されており、今でも世界で広く使用されている。

ところが、これら大量に生産されている硼珪酸ガラスの熱膨張係数は $30\text{-}300^\circ\text{C}$ の間の平均で $32 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ でありシリコンの膨張と近いが、シリコンの膨張曲線が下に凸の形状を示すのに対し硼珪酸ガラスは上に凸の形状を示すことから各温度で見ると必ずしもシリコンとは膨張が一致していない。これにより温度によってシリコンにかかる歪みが増加する問題が生じる。ピエゾ抵抗型半導体センサーなどのようにシリコンの歪みを検知するタイプのセンサーでは計測温度によりオフセット電圧や感度特性が変化する可能性が高くなる³⁾ことから温度補償が必要になる。また生産規模を大きくするため

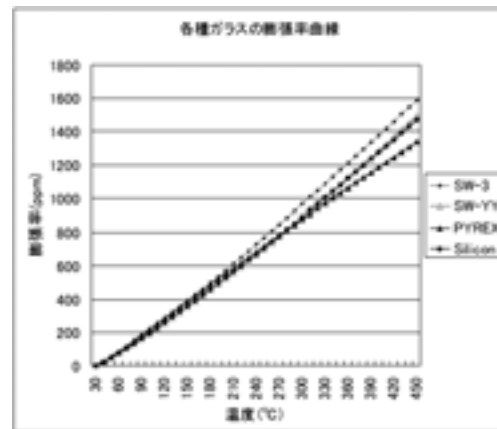


図3 各種ガラスの膨張率曲線

に基板を大型化するとさらに精度がばらつく原因となるため、様々な工夫が必要になってくる。

ここでガラスがシリコンと非常に近い膨張であればこのような問題がかなり解決されることが期待されたために開発されたのが SW-3 と名付けられたガラスである。SW-3 は '90 年代前半から生産を開始し、現在までに自動車用圧力センサーの基板として多くの使用実績がある。このガラスは従来から使用してきた硼珪酸ガラスと比較するとシリコンより若干膨張が高いものの膨張曲線の形状をシリコンと近似させている。さらにユーザーからもっとシリコンに膨張に近いガラスが欲しいというニーズが出てきたために 90 年代後半に膨張をシリコンにそるえることに主眼をおいて新しく SW-Y という

うガラスが開発され、さらにその後 SW-Y 同様シリコンと非常に近い膨張曲線をもつ特性に加えアルカリ成分をナトリウムからよりイオン半径の小さなリチウムに置換した SW-YY というガラスも開発された。SW-YY ではアルカリ成分がガラス中を移動しやすいために、より低温、低電圧、短時間で陽極接合できることを狙いとしている。

SW シリーズのガラスの組成を硼珪酸ガラスとして代表的な PYREX®ガラスと比較すると表 1 のように SW ガラスは、従来使用されている硼珪酸ガラスとは基本となる骨格成分を大きく変え、SiO₂、B₂O₃ の代わりに、Al₂O₃ を多く含有し、かつ R1O と R2O 成分の配合比を変えることによってシリコンにほぼ合致した膨張曲線が得られるようにしてある。SW-YY

の陽極接合条件を PYREX®と比較するとアルカリ成分を Li₂O に置き換えた効果により、下のテスト条件では接合の条件が 50°C 以上低温側にシフトしてきて 250°C でも接合可能となっている。(図 5)

MEMs デバイスが C-MOS 構造を持つような SiP (System in Package) や SoC (System on Chip) の一要素としたデバイスが研究される傾向が強まっていることから、SW-YY がより低温で接合できる可能性がある意味は大きいと予想される。実際、新規の開発では SW-YY のサンプル要求が多くなってきていて今後の成長が期待されている。

3. 陽極接合用ガラスの対象市場と今後の課題

MEMs デバイス市場は年々拡大を続け、2010 年には 2 兆円を越えると予想されているが、ガラスを使った陽極接合によるパッケージ

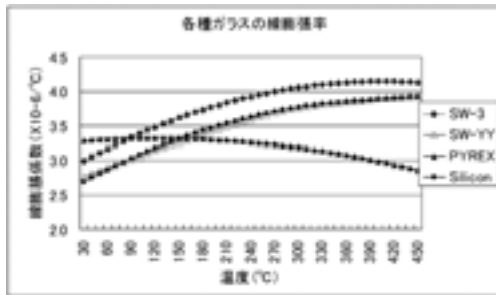


図 4 各種ガラスの線膨張率

表 1 PYREX と SW シリーズ陽極接合ガラスの組成比較

	PYREX®	SW-3/SW-Y/SW-YY
SiO ₂	83%	60 - 65%
B ₂ O ₃	12%	5 - 10%
Al ₂ O ₃	1%	12 - 20%
R1O(ZnO, MgO, CaO)	<1%	10 - 16%
R2O(Alkaline Oxide)	4%	2 - 4%

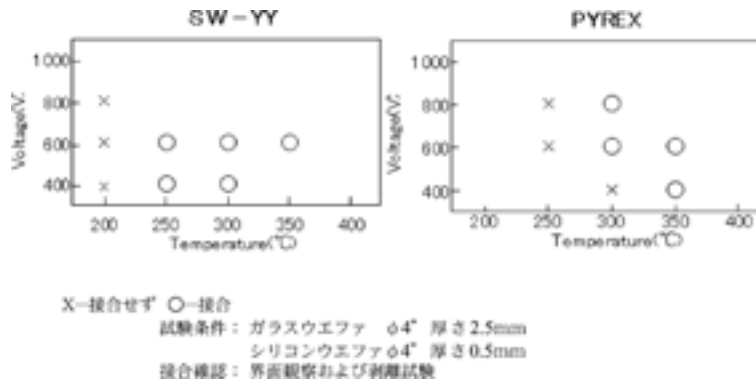


図 5 SW-YY ガラスと PYREX の陽極接合可能範囲

が採用されているのはその一部分で、その恩恵をフルに享受できるわけではない。MEMs デバイス市場は車載用や民生用を中心としたセンサー、インクジェットプリンタヘッドや背面投射型ディスプレイに使用される DMD (Digital Mirror Device) を代表とする情報関係、光ネットワークなどに代表される通信関係、その他医療など幅広い分野を含んでいるが、現時点では陽極接合用ガラスの市場はセンサー、特に車載用圧力センサーと加速度センサーの比率が高い。これらは、いずれもシリコンを使用する半導体センサーが主流で、使用条件が厳しく、高度の信頼性が求められる市場である。圧力センサー市場を見ると矢野経済研究所の推定⁴⁾では 2.4 億個/年、1426 億円/年で金額ベースで言えば、エンジン関係、エアコン、油圧、ブレーキ制御などの車載用が約 90%、加速度センサーは 1.6 億個/年、514 億円/年でエアバッグなど車載用が金額ベースで 96% である。センサー市場にはそれ以外にカーナビなどに使われる角速度センサーがあるが、セラミックや水晶素子が主体で半導体素子の比率は低く、陽極接合ガラスから見ると市場は小さい。

車載用途以外のセンサーで、数量の伸びが高い民生用はセンサーの単価が安く、かつ車載用ほど使用環境が厳しくないため、ガラスを使用した陽極接合が採用されるとは限らない。数量的に見ると産業用では一部まとまった数量が生産される品種もあるが、一般的には多品種少量であり、しかもガラスに要求される寸法仕様も孔あけや座繰りといった機械加工仕様も多様である。また DRAM などでも実用化されている 300 mm ウエファに対し、MEMs で使用されるシリコンウエファのサイズは 100 mm~150 mm が大半である。これは MEMs デバイスが多種多様で一品種あたりの数量が少ないことに加え、構造が複雑なために基板の大型化が難しいことが原因ではないかと推察される。

ちなみに陽極接合用のガラスウエファの市場は世界で 40~50 万枚/年程度のニッチな市場と

推定しているが、さらに中身を見ると、MEMs の多様性から一品種あたりのガラスウエファの生産ロットは非常に小さく、品種によっては陽極接合ガラスの納入数が試作ロットと量産ロットで同じといったケースさえある。

このため陽極接合用ガラスの量産効果は出にくく、機械加工を伴った陽極接合用ガラス基板の価格はパッケージ材料としては非常に高価にならざるを得ない。実際、東北大学 未来科学技術共同センターの江差正喜教授によれば MEMs デバイスのコストの内、70% はパッケージコストと検査コストで、この点が MEMs デバイスの問題となっている。

一方、MEMs デバイス市場の成長は低コスト化が数量の増加を後押ししてきた歴史があるため、当然パッケージコストの削減に向けては、さまざまな取り組みがデバイスメーカーによって行われている。たとえば基板の大型化に関しては 200 mm ウエファを採用して MEMs デバイスの量産受託を行っているところも出てきている。前述の通り、現在の陽極接合ガラス市場はまだ 100 mm~150 mm ウエファが主力を占めており、MEMs 市場の多様性からすぐに基板の 200 mm 基板化が進むとは考えられないが、今後の動向として注目される。特に大型基板では基板の歪みの影響が大きくなりやすいと思われ、シリコンと膨張が一致している SW ガラスの特性は有利に働くと期待される。一方、ガラスの生産面の問題としてこのような特殊用途ガラスは生産量が少ないために成型方法が限られ、大型基板を低いコストで生産することがなかなか難しい面があるのが現状である。

いずれにしても MEMs デバイスの低コスト化に対応して、陽極接合ガラスのコストを低減させていくことは非常に重要である。現在も高信頼性が要求されない家電品のセンサーなどではコスト面から一部樹脂封止などが使われているが、MEMs デバイスの低コスト化についていかなければ、現在は陽極接合が多用されている市場でも陽極接合を使わないパッケージ方法

が今後拡大していく可能性もあり、それらを阻止するためにも加工方法の見直しなどで多品種少量でも低コスト、かつ高品質の基板を生産する技術を確立していく必要がある。

また、MEMsを一要素として含む SiP や SoP 技術の開発が盛んになっていくに従い、IC と MEMs のガラスを通しての貫通配線を行うためにガラスに直径 100 ミクロン以下の孔を多数あけたいという要求が増えている。シリコン側は RIE（反応性イオンエッチング）技術の発達で微細加工に対応できているが、ガラスでは現在のところ商業的な孔あけ加工は未だ主に機械加工が中心になっていて、このような小さな直径の孔を多数、しかも低いコストで加工することは難しい。フェムト秒レーザーなどによる加工も行われているが、今のところ実用的なコストで加工できるとは言い難く、新しい加工方法の開発が重要なテーマになっている。

4. ま と め

MEMs デバイス市場の拡大は今後も続くと言われる。とくに陽極接合用ガラス基板の現在の主力市場である車載用センサー市場では車

一台あたりのセンサー搭載数の増加は今後も続いていくと予想され、市場の成長が期待される。そのなかで弊社の陽極接合用 SW シリーズガラスはシリコンと膨張曲線が近似しているので温度による歪みの発生がきわめて低い特徴があり、今後も新しいデバイスへの採用が期待される。その一方、MEMs デバイス市場は次々に新しい分野で応用されてゆき、それぞれのデバイスの加工方法や要求される仕様はますます多様化すると考えられる。それに対して陽極接合用ガラスの供給者として将来の MEMs でデバイスの成長を取り込むためにこれらのニーズに迅速に対応していく必要が出てきている。

参 考 文 献

- 1) Y. Kanda, K. Matsuda, C. Murayama and J. Sugaya, Sensor and Actuators, A21-A23, 939 (1990).
- 2) P. nitzsche, K. Lange, B. Schmidt, S. Grigull, U. Kreissig, B. Thomas and K. Herzog, J. Electrochem. Soc., 145, 5, 1755 (1998).
- 3) A. Hanneborg, M. Nese and P. Ohlckers, J. Micromech. Microeng., 1, 139 (1991).
- 4) 圧力・加速度・角速度センサの徹底研究 2004 株式会社 矢野経済研究所 発行.