

スマートフォン用のカバーガラス

(2007年～現在)

Key-words: カバーガラス、化学強化、高強度、ディスプレイ、スマートフォン

注1 アルカリイオンを含むガラスを溶融硝酸塩への浸漬処理によって、よりイオン半径の大きなイオンへ交換することにより、イオン交換が生じた表面近傍に圧縮応力を発生させ、強度を向上させる技術。

注2 ガラスをガラス転移点以上に加熱した後、急冷することで、内部と表面での冷却タイミングをずらすことで、表面に圧縮応力を付与する技術。風冷強化とも呼ばれる。

化学強化されたカバーガラスは、スマートフォンなどの携帯用デバイスを落下による破損や擦傷から守るために不可欠な部材であり、スマートフォンの普及に大きく貢献してきた。スマートフォンは、タッチパネル一体型ディスプレイの採用によって、それまでの多くの携帯電話とは異なって、ディスプレイがむき出しになったデザインとなっている。そのため、ユーザビリティが向上した一方で、屋外での使用の際に、落下によって破損する可能性が高まっている。その破損リスクを低減するため、化学強化により強度を高めたガラスが保護用の部材として用いられている。化学強化は、ガラスの特長を活かした技術である。ガラス中のアルカリイオンをそれよりイオン半径の大きいイオンと交換することで、傷がつきやすいガラスの表面に、予め圧縮応力を与えることで、落下衝撃により発生する引張り応力を相殺し、高強度に保つ効果をもたらしている。

1. 製品適用分野

スマートフォンやタブレット PC のカバーガラス

2. 適用分野の背景

私たちが日ごろ利用しているスマートフォンは、2007年頃より本格的な普及が始まり、現在では、私たちの生活になくてはならないインフラの一つとなっている。スマートフォンやタブレット PC は、屋外で使用されることが多い。そのため、使用中に手を滑らせたり、ポケットから落としたりして、路上へ落下させてしまうことが多々ある。落下した際、ディスプレイ面から落下する、路面状態が悪い、といった悪条件が重なると、ディスプレイが破損してしまうことがある。また、タッチセンサがディスプレイと一体化されていることから、落下衝撃でタッチセンサが破損し、操作ができなくなってしまうリスクもある。このため、ディスプレイを保護するための、透明で高強度な部材が求められていた。この目的に合致したのが、**化学強化^{注1)}** 処理を施したガラスである。化学強化ガラスは、高い強度特性を持つことから、現在ではほとんどのデバイスのカバー材料として、化学強化されたガラスおよびガラス系材料が用いられている。

- 1) 散乱が無く透明で、ディスプレイの表示内容を劣化させない
- 2) 表面を平滑に加工することが容易であり、その結果高い質感を呈することができる
- 3) 傷がつきにくく、タッチ操作を繰り返しても傷だらけにならない
- 4) ヤング率が高く、少々力を加えても変形しない。
- 5) 光や熱に対して強く、変色などの劣化を起さない

一方で、ガラスは脆性材料であるため、一旦傷がつくと、強度が大幅に低下する。カバーガラスとして使用するためには、その克服が課題であった。板厚を厚くすることで、耐久性を高めることは可能であるが、携帯用デバイス向けとしては、重量が大きくなるため不適切である。また、自動車用の窓ガラスに使われているような**物理強化^{注2)}**も、板厚が薄いために適用できない。そこで、化学強化というガラスならではの**高強度化手法**が適用されている。

図2に化学強化の概念図を示す。アルカリイオンを含むガラスを、そのアルカリイオンよりも大きなイオン半径を持つアルカリを含む溶融塩中へ浸漬し、イオン交換を行うことで、イオン交換が生じた表面付近に圧縮応力を付与することで強度を向上させる手法である。図3に化学強化と物理強化での応力分布との比較を示す。化学強化では、応力層深さは、物理強化ほどには深くなりにくいですが、表面の応力値は物理強化よりもはるかに高くすることができる。

化学強化法が提唱されたのは、1960年代と古いですが、溶融塩に長時間浸漬するためコストが高くなるといった点から、限定された用途にしか用いられてこなかった。しかしながら、薄い板でも高強度化できるというメリットは、まさにスマートフォンのカバーガラスには打って付けであった。また、化学強化によって付与される圧縮応力値や応力層深さは組成によって大きく異なることから、専用組成を開発することで、より高い強度をより短時間のイオン交換で達成できる。例えば、アルミナ (Al_2O_3) を高

3. カバーガラスの特徴

図1に示すように、スマートフォンでは、ディスプレイを保護するよう形でカバーガラスが配されている。ディスプレイを保護するカバー材料としてのガラスの主な特長の代表的なものとして、以下のようものが挙げられる。

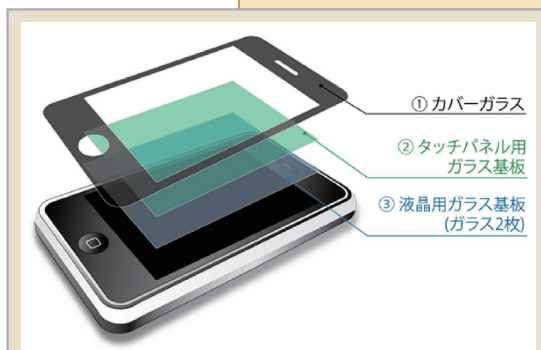


図1 スマートフォンの構造の例

最表面にカバーガラスが配置される。カバーガラスには、印刷や指紋付着抑制コーティング等が施されている。ディスプレイパネルにタッチセンシング機能を持っているものも多く、その場合タッチパネル基板は含まれない。近年では有機ELディスプレイが採用されている機種もある。

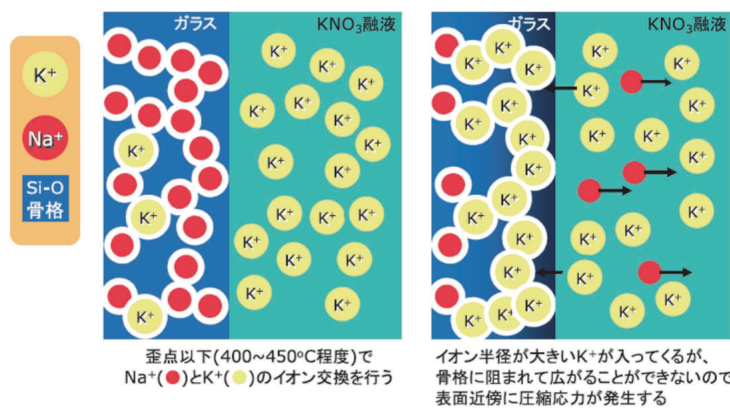


図2 化学強化の模式図

イオン交換法による化学強化は、アルカリイオンを含むガラスを、歪点以下の温度でそのアルカリイオンより大きなイオン半径を持つアルカリイオンを含む熔融塩(硝酸塩が多い)に浸漬することにより行われる。表面付近のイオン交換部分に圧縮応力が発生する。

濃度に含有するガラス(アルミノシリケートガラス)は、窓ガラスなど一般的に使われているソーダライムガラスと比較して、同じイオン交換条件でも、応力層深さが深く、かつより高い圧縮応力が入ることが知られている。図4に示すように、アルミノシリケートガラスは、高強度かつワイブルプロット上の強度分布も小さくなり、より高い信頼性を得ることが期待できる。一方、アルミノシリケートガラスは、融液の粘性が高くなるなどの理由で製造上の難易度は高くなるという課題はあるものの、このより高い信頼性が得られるという利点から、スマートフォンのカバーガラスとしての主流となっている。

4. 製法

カバーガラスの製造は、大きく、1) 板ガラスの製造、2) カバーガラス形状への加工、3) 化学強化、4) コーティング・印刷に分けられる。図5にカバーガラス製造工程の模式図を示す。以下に各工程の概要を述べる。

1) ガラスの製造

化学強化に用いられるガラスは、フロート法やフュージョン法といった、窓ガラスやディスプレイ用基板ガラスと同じ板状ガラスの製法を用いて製造される。原料としては、珪砂(SiO₂)やソーダ灰(Na₂CO₃)、アルミナ、その他の成分に応じた鉱物原料や化成品、および清澄剤等の微量成分が用いられる。原料を混合したバッチは、1500℃を超える温度の溶解炉に投入され、溶かされて融液となって均一化される。泡を除く清澄工程を通過した後に、フロート法であれば熔融スズ上に流され、フュージョン法であれば細長い樋からガラスを下方に流下させることで板状に成形される。冷却固化したガラスは、適当な大きさのガラス板(素板)に切断され、適宜フィルム等で保護された後、カバーガラスへの加工

および化学強化を行う工場へと出荷される。

2) カバーガラス形状への加工

受入れた板をスマートフォン程度の大きさに切断し、外形加工を施した後、デザインに応じてマイクや操作ボタン、スピーカ部のための穴あけが行われる。工程で傷がつくとガラスの強度が著しく低下してしまうため、取り扱いには十分注意し、傷がつかないようにすることが重要である。

また、必要に応じて研磨がなされている。熱間での曲げ加工が行われる場合もある。

3) 化学強化工程

カバーガラス形状に加工されたガラスは、400℃程度に加熱・熔融したアルカリイオンを含む塩の液体中に浸される。熔融塩としては、硝酸カリウムなどの硝酸塩が用いられることが多い。所望の応力プロファイルとなるように、数時間程度浸漬された後、熔融塩の槽から取り出され、冷却・水洗される。処理が進むにつれてガラス中のイオンの溶出が多くなり、その結果応力が低下していくため、その場合熔融塩を新品に交換する。強化後の**応力プロファイル**^{注3)}は、光弾性効果を利用した測定方法により、非破壊で測定される。

4) コーティング・印刷

多くのカバーガラスは、周辺部材との接着部分などを隠すため、黒色などの印刷が周辺部になされる。

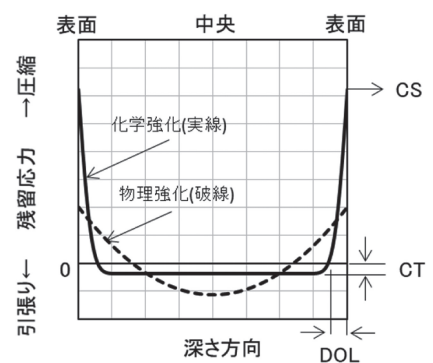


図3 化学強化と物理強化の応力プロファイルの違い

化学強化は、表面付近に大きな応力が付与される。このため、より高い強度が期待できる。

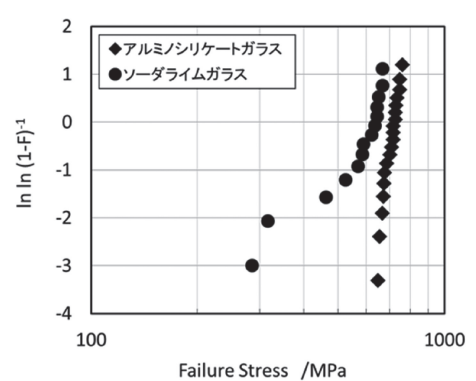


図4 同条件で化学強化したアルミノシリケートガラスとソーダライムガラスの3点曲げ強度のワイブルプロット

同条件で化学強化したアルミノシリケートガラスは低強度側でも強度分布が小さいのに対して、ソーダライムガラスは圧縮応力層深さが小さいため、大きな傷に対して高強度化の効果が不十分であり、低強度側では強度がより小さくなる。

注3 板厚方向の応力の変化のこと。主な指標としては、表面圧縮応力値(CS)、圧縮応力層深さ(DOLまたはDOC)、引張り応力値(CT)

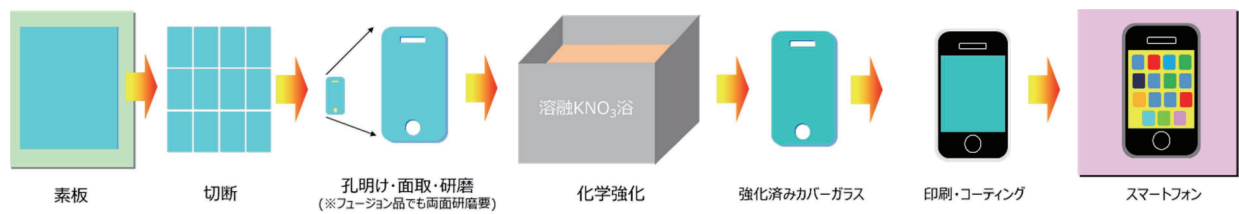


図5 カバーガラスの製造工程

カバーガラスは、ガラスメーカーによる素板製造後、加工メーカーによる機械加工、化学強化、コーティング等の工程を経て、ディスプレイパネルと一体化され、さらにスマートフォンに組み込まれる。

また、表面には耐指紋付着コーティングや反射防止膜などがコーティングされる。

検査が完了し、良品と認められたカバーガラスは、ディスプレイパネルメーカーあるいはEMS (Electronics Manufacturing Service) に送られ、スマートフォンの部材として組み立てられ、最終的にスマートフォンとして出荷される。

5. 製品性能・スペック

カバーガラスの各種性能指標の中では、強度に関する指標が最も重要である。高い強度を達成するには、化学強化により付与される内部の応力の断面方向の応力プロファイルと、機械加工による表面並びに端面部の仕上げ（潜傷除去）の双方の最適化が必要である。応力プロファイル設計は、注目する破壊モードやコストとの兼ね合いによって選択される。応力プロファイルの形成しやすさは、ガラスの組成に大きく影響を受ける。一般的な強度のものに対しては、ナトリウム (Na) を含むガラスが用いられ、 $\text{Na} \leftrightarrow \text{K}$ イオン交換により強化するが、ハイエンドモデルでは、落下強度を高めるため、より深くまで圧縮応力を付与する目的で、リチウム (Li) を含むガラスが用いられ、 $\text{Li} \leftrightarrow \text{Na}$ イオン交換と $\text{Na} \leftrightarrow \text{K}$ イオン交換が併用される場合がある。典型的には 500 MPa~1000 MPa の圧縮応力を最表面に持たせ、内部に向かって徐々に圧縮応力が小さくなっていくようなプロファイルとなる。表層の圧縮応力値を CS (Compressive stress) と呼ぶ。内部応力は、ある深さで引張り応力に転じ、ガラスの板厚方向の中心部分付近で最も大きな引張り応力となる。圧縮応力層の深さは表層から 30~100 μm 程度である。

一方、強度を高くしようとして圧縮応力を入れすぎると、歪エネルギーをガラスの中にため込みすぎることになり、一旦破壊が起きたときに、ガラスが木端微塵になって飛散してしまい、問題となる可能性がある。そこで、微細片に破碎しないという制約の下で、最大の強度となるよう、応力プロファイルが設計されている。

強度の評価方法としては、カバーガラス単体の試験としては、4点曲げ試験、リングオンリング試験、

落球試験がある。使用時のダメージを想定した、サンドペーパーやサンドブラストなどの加傷と組合せられることもある。さらに、それらに加えて、カバーガラスを実筐体もしくは模擬筐体へ装着し、特定の番手のサンドペーパーや模擬路面などへの落下させる耐久性試験が行われる。

6. 現在・将来展望

スマートフォンの登場以来、基本的な形状は、大きく変わっていないが、それでもデザインによる差別化が試みられている。例えば、端面付近を曲面形状としたラウンド形状のカバーガラスが普及してきている。さらには、樹脂を基板に用いた有機 EL ディスプレイの採用により、ディスプレイ面の形状の自由度が高くなってきたことで、加熱して曲げたガラスをカバーガラスとして用いられているモデルもある。カバーガラス面に曲面があると、落下時の路面への接触リスクが増大する。そのため、そのようなモデルには、より深い圧縮応力層を短時間で形成可能なリチウムを含有するガラスの採用が進められている。

さらに、材料そのものの進化として、一部のスマートフォンには、特殊なガラスを熱処理して得られる透明な結晶化ガラスが用いられており、耐久性が向上していると謳われている。一方、形状の進化としては、曲げられるディスプレイの登場により、折り曲げ可能なスマートフォンが登場している。このようなタイプでは、数 10 μm 厚の極めて薄いガラスが、樹脂と複合化され、カバー材料として用いられている。

取り換えが利きにくく、手放せないものとなっているスマートフォンでは、カバーガラスのさらなる高強度化に向けての期待が大きい。このようなニーズに応えるため、破壊のメカニズムの研究開発や、ガラス組成や応力プロファイルの開発が現在も続けられている。

[連絡先] 林 和孝 (はやし かずたか)
〒230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町 1-1
AGC 株式会社