

ガラスへのコーティング

日本板硝子（株）

平田 昌宏

Coatings on Glass

Masahiro Hirata

Nippon Sheet Glass Co. Ltd.

1. はじめに

ガラスは我々の日常生活の中で身近に存在する素材である。地球上に豊富に存在するケイ素を主成分とする酸化物であり、透明で硬く、かつ耐久性に優れるという素晴らしい物性をもつ素材の一つと言える。このガラスの特性を活かしつつ、ガラスにない性能を付与して高機能化する手段としてコーティングがある。ガラスへのコーティングには様々な手法が存在し、またその応用分野も多岐にわたる。また、一口にガラスと言っても多種多様なガラスが存在する。本稿では、所謂「板ガラス」を対象とし、特に大面積へのコーティングについて解説する。

2. コーティング技術

現在、流通する板ガラスのほとんどはフロート法（図1）と呼ばれる方法で製造されたものである。このフロートガラスへのコーティング手段として、ガラスの製造工程で成膜をおこなう「オンラインコーティング」、および製品となったガラス板に成膜をおこなう「オフラインコーティング」について説明する。また、コー

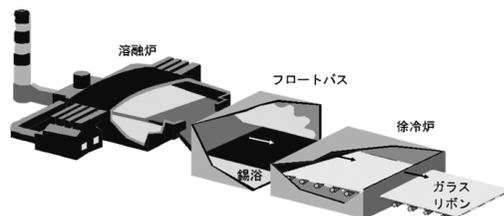


図1 フロートガラスの製造設備

ティングと密接な関係にある洗浄技術についても説明する。

2.1 オンラインコーティング

オンラインコーティング技術の代表例としてオンラインCVD（Chemical Vapor Deposition）がある。これはフロートガラスの製造プロセスにCVD法を組み込んだものであり、成型中あるいは成型直後の高温のガラス表面に原料ガスを供給し、熱分解反応によりコーティングをおこなうものである。図2にフロートバス内で成膜をおこなうオンラインCVD設備の模式図を示す。ガラスリボンの直上に、原料ガス供給と反応ガスの排気機構を組み込んだ「コーター」を配置しコーティングをおこなう。リボンの幅は3m程度であり、10~15m/分の速度で移動することから、その規模の大きさが想像できる。ガラス製造プロセスと一体化されているため、大量生産に適した手法であり、また成

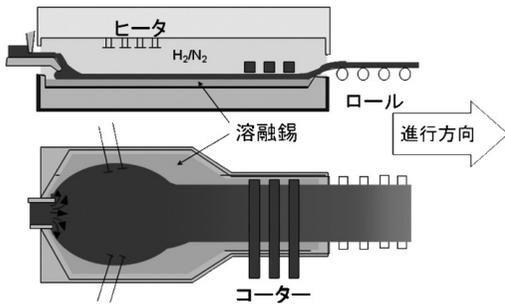


図2 オンラインCVD

膜反応にガラスのもつ熱を利用するという点で効率的な手法でもある。

膜材料は酸化物が主であり、5層程度までの多層膜が形成できる。高温での熱分解反応による成膜であるため、結晶性の良い SnO_2 や TiO_2 などのコーティングが可能である。ただし、非常に速い成膜速度が必要であるため、工業的に使用可能な原料に限られ、膜材料の種類は多くない。オンラインCVD法で得られる膜は耐久性に優れ、ガラスとの密着性も高いため、コーティング後に強化や曲げなどの二次加工をおこなうことが可能である。

2.2 オフラインコーティング

オフラインコーティング技術の代表例としては、スパッタ法がある。あらかじめ所定寸法に切断されたガラスを真空チャンバーに導入し、Arなどのプラズマでターゲット表面から叩き出された膜材料をガラス表面に堆積させるものである。成膜効率、生産能率を向上させるためにマグネトロンスパッタリング法が使われることが一般的である。図3に一般的なダブルエンドコーターの構成を示す。ガラスは搬入チャン

バーで大気圧下から真空下に持ち込まれ、プロセス全体の速度と整合させるためのバッファチャンバーに送られる。その後、成膜チャンバーでコーティングがおこなわれるのだが、異なる膜材料を連続的に積層できるようにチャンバー(複数のカソードが配置されている)間を真空ポンプで排気することでチャンバー間の干渉を防止している。成膜が完了したガラスはバッファ/搬出チャンバーを経由して大気圧下に戻される。

スパッタ法ではターゲット材料と反応性ガスの選択によってAgなどの金属、ZnOなどの酸化物、TiNなどの窒化物、等々、数多くの材料をコーティングすることが可能であり、10層程度の多層膜が形成できる。膜材料の種類が多く、膜厚制御性が高いことから、多層膜での光干渉を利用して色調、透過/反射率に多彩なバリエーションを持たせたコーティングが実現できる。ただし、膜の耐久性は前述のオンラインCVDよりも低く、コーティングガラスの取り扱いや使用方法には制限がある。

2.3 洗浄

オンラインコーティングはガラス製造工程中で成膜をおこなうため、成膜直前のガラス表面は清浄であり、洗浄などの前処理は不要である。一方、オフラインコーティングではガラス表面の状態が膜の密着性に影響し、ガラス表面の汚れは膜の欠点になるなど製品の品質に影響する。このため、オフラインコーティングでは成膜前洗浄は成膜と密接な関係のある重要な技術といえる。

通常、スパッタ設備の入り口直前に洗浄機が

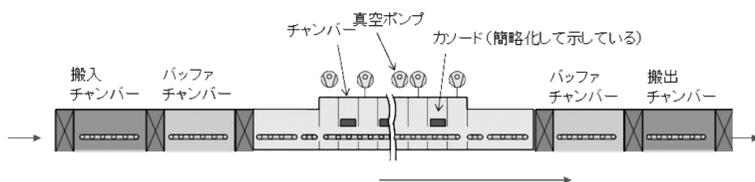


図3 スパッタ製造設備の例

設置される。数多くのメーカーから洗浄機、洗浄剤が市場に提供されている。ここで、ガラスの洗浄において最も重要であり注意すべきことは、洗浄の最終段階でいかにしてガラス表面から水分を取り除くか、という事である点を強調したい。ガラス表面に汚れを残さないために、エアナイフを利用して水膜として乾燥させる手法が用いられるが、オフラインコーティングの成膜前洗浄ではガラス表面に吸着した水分子の除去まで注意すべきとの指摘もある。

ガラスの表面状態は保管中に変化するため、消費期限を設定することで品質を一定に維持することがおこなわれる。ただし、保管の方法や環境によってもガラス表面状態の変化は起こりえる。このため、一定した品質のガラス表面を保証する目的で、酸化セリウムなどの微粒によりガラスの最表面をわずかに研磨する（一皮を剥ぐ）場合もある。

3. 製品例

機能性薄膜をコーティングしたガラスは我々の生活の中で数多く使われている。そのいくつかの例を紹介する。

低放射 (Low-E) ガラス：導電性薄膜による赤外線反射性能を応用したもので、ガラスの断熱性能を高めた製品である。オンラインコーティングによる透明導電性酸化物 ($\text{SnO}_2 : \text{F}$) あるいはオフラインコーティングによる誘電体／銀／誘電体の多層膜が一般的である。複層ガラスの片側に多く使用されている。

セルフクリーンガラス：酸化チタンの光触媒活性を利用したもので、紫外線によりガラス表面に付着した有機物を分解し、ガラスの親水性を維持することで汚れが雨などで浄化するガラスである。オンラインコーティングでは結晶性の高い TiO_2 膜が形成できるため、優れた光触媒性能が実現される。

遮熱ガラス：近赤外線を遮断することで室内へのエネルギー流入を抑制し、冷房負荷を低減させるガラス。オフラインコーティングによる

銀を含む多層膜で、自由電子による吸収・反射と多層膜の光干渉を利用し、可視光透過率を維持しつつ近赤外光の透過率を抑制するものが代表的である。2層の銀薄膜を含むものが一般的であるが、最近では3層として性能向上をはかったものもある。

低反射ガラス：多層膜による光干渉効果を利用してガラスと空気の界面での反射を抑制するもの。ガラスと空気は屈折率が異なるため界面では可視光の約4%が反射し、両側の界面の反射で透過率は8%低下する。 TiO_2 と SiO_2 など、屈折率の異なる膜材料を積層することで界面の反射を抑制する。ショーケースや各種スポーツのスタジアムなどでの利用が増えてきている。

導電ガラス：ガラス表面に透明導電膜を形成したもので、ガラスの透明性を保ちながら絶縁性のガラスに導電性を付与するというコーティングガラスならではの製品と言える。オンラインコーティングでは $\text{SnO}_2 : \text{F}$ が、オフラインコーティングではITOが代表的な透明導電膜材料である。ディスプレイ、タッチパネル、薄膜型太陽電池などのデバイスの電極として、また業務用冷蔵庫の曇り防止、電磁波遮蔽が必要な施設の窓など、広い範囲で利用されている。

4. おわりに

大面積、大量生産という観点でガラスへのコーティングについて解説した。ガラスへのコーティングは長い歴史を持つが、新しい機能の実現、既存製品の機能向上について世界中で数多くの研究開発が進められている。本稿がコーティングガラスへの興味をきっかけになれば幸いである。

参考文献

ガラスへのコーティングの総説として、Sandia National Laboratories がまとめた "Coatings on Glass - Technology Roadmap Workshop (2000)" が以下の URL で入手できる。

www.osti.gov/glass/Special%20Reports/coating_roadmap.pdf