

建築用表面処理ガラス

日本板硝子株式会社筑波研究所 中井 日出海

Surface-Treated Glass for Architectural Application

Hidemi Nakai

Tsukuba Research Laboratory, Nippon Sheet Glass Co., Ltd.

1. 建築用ガラスの表面処理法

ガラスは風雨をさえぎり、太陽放射の透過や遮蔽を行う、安価で耐久性のある外装材としての役割を果たしながら発展してきた。21世紀に向けて“新しい窓”に求められる特性について広範な調査が行われ、ガラスへの要求はこれまで以上に多様化すると予測されている¹⁾。それらを基に、建築用窓ガラスに求められる機能、特性と応用例の関係を Table 1 に示した。このような多様なニーズに応えるために、種々の成形技術や強化・合せ・複層化などのガラス加工技術が利用されている。また、エレクトロニクス部品の製造に使われていた技術を、大型化・改良し建築用ガラスの製造技術として利用する研究開発も進められている。その中で、表面処理技術の利用が近年活発になってきており、すでに多くの機能性ガラスを生み出している。表面処理技術は、薄膜コーティング、表面加工、表面改質の3つに大別できる。既に応用されている例や、今後応用が期待される候補を Table 1 に示した。

古くから使用されているガラスにも表面処理が施されたものは少なくない。型板ガラスは製板時の成形用ロールに彫刻された型模様をガラス面に

転写して製造される。すり板ガラスは透明な板ガラスの片面を金剛砂と金属ブラシで不透明に加工したガラスである。種々の表面エッチングガラスも装飾や視界制御の目的で使用されている。エッチングガラスはすり板ガラスと同様に金剛砂を用いてサンドブラスト処理を行った後、さらにその表面をフッ酸で化学的にエッチングするものである。全面にこのようなエッチングを施したものをフロストとかタペストリーと呼び、絵柄模様をつけたものを特にエッチングガラス(ハイシルエTM)と呼んでいる。欧米で普及しているものの一つにセラミックコーティングガラスがある。これはフロートガラスにセラミック質の塗料を高温で色焼付けした不透明なガラスで装飾用に用いられる。最近の傾向は、この色焼付けガラスの色やデザインを多様化したり、適度な採光と透視性を確保するためストライプ模様を施したものなどがある。そこでは、ガラス表面へのスクリーン印刷技術が利用されている。強化ガラスも広い意味では表面処理技術を利用したものとしてとらえることができる。ガラスの強化には急冷強化法と化学強化法があるが、いずれも表面に残留圧縮応力層が形成されている。

Table 1 建築用窓ガラスに求められる特性、応用例と表面処理法

機能	特性・性能	応用例	表面処理法
光学的	・外への視界を確保 ・外からの視界を遮断可能 ・装飾的に美しい ・反射光がギラギラしない ・紫外線を遮蔽する	調光ガラス 一方視認型ガラス 装飾ガラス 低反射ガラス UV カットガラス	薄膜 薄膜(スパッタ, 熱分解, 印刷, 焼付け, CVD 等) 加工(エッチング) 加工(サンドブラスト) 薄膜(蒸着, ソルゲル, 塗布) 加工(エッチング, サンドブラスト) 薄膜
熱的	・断熱性がよい ・結露しない ・日射エネルギーを遮蔽する ・日射エネルギーを取入れる ・室内の熱を逃がさない	断熱ガラス 高性能熱線反射ガラス 低放射率ガラス	薄膜(スパッタ, CVD) 薄膜(スパッタ, 熱分解, CVD) 薄膜(スパッタ, 熱分解, CVD)
化学的	・変質しない ・表面が汚れにくい ・清掃不要	イージークリーンガラス 汚れ防止ガラス	改質(イオン注入) 薄膜(塗布, ソルゲル) 薄膜(塗布, ソルゲル) 改質(イオン注入)
機械的	・割れない ・変形しにくい ・傷がつきにくい	高強度ガラス 高弾性ガラス 耐擦傷性ガラス	改質(急冷, イオン交換) 改質(イオン注入, イオン交換) 薄膜 改質(イオン注入)
音響的	・音を遮る ・周波数選択的に音を通す	防音(遮音)ガラス	
電磁氣的	・電磁波を遮蔽する ・帯電しない	電磁波遮蔽ガラス 帯電防止ガラス	薄膜(スパッタ, イオンプレーティング, 熱分解, CVD 等) 薄膜(スパッタ, 熱分解, CVD)

新しい表面処理技術の中では真空成膜技術、特にスパッタ法が普及したが、最近では常圧 CVD 法、特にフロートガラスの製造プロセスの中に CVD プロセスを組み込んだ、いわゆるオンライン常圧 CVD 法の研究・開発が進んできている。従来は、金属塩化物や有機金属化合物の溶液や粉体をフロートガラス製造工程の成形用フロートバスの出口でガラス表面に吹き付けることによって被膜を形成するものであったのに対して、ガスを出発原料にしてフロートバス内での CVD 法により被膜を形成しようとするものである。Si, SiO₂, SnO₂, TiN などが成膜できるようになり、徐冷窯(レヤー)での成膜とも組み合わせて多層膜の形成も可能になった。既に Low-E ガラスや熱線反射ガラスの製造プロセスとして実用化され、さらに応用

範囲が広がるものと予想される。これらはオンラインで製造されるため生産性が高く、また高温のガラス表面での反応で被膜が形成されるため耐久性も高い。

2. 高性能熱線反射ガラス

表面処理加工を施したニューガラスの代表的な例として、高性能熱線反射ガラスが挙げられる。熱線反射ガラスは日射光の透過率を低く抑え、室内に流入する熱量を軽減する効果を持っている。これは 1970 年頃に開発されたものであって、熱分解して金属酸化物(酸化チタン, 酸化コバルト-酸化クロム-酸化鉄)になる金属キレート化合物溶液をフロートバスの出口でスプレー法で高温のガラスリボンに吹き付けて製造されている。一方、近

年急速に普及した高性能熱線反射ガラスは、オフラインの真空チャンバー内でスパッタ法を利用して製造されている。建築用ガラスのスパッタ法で特徴的な点はそのスケールの大きさにある。国内では4スパッタゾーンに各3カソードを備えた合計12カソードの装置が稼働している。ガラスの大きさとしては、 3.2×3.8 m 程度までコーティング可能である。スパッタ法を用いると従来の熱線反射ガラスと異なり、膜材料の種類が多く、膜厚の制御性もよいので、種々の材料の多層化が容易になり、色調や可視光、赤外線（熱線）の透過率、反射率に多様なバリエーションを持ったガラスが実用化されている。膜材料としては赤外線反射率の高いTiN、CrNといった遷移金属窒化膜や、透過率を調整するためのステンレス、Cr、Tiといったニュートラル色調の耐食性金属膜、それら窒化膜や金属膜と組み合わせて耐久性を向上させるとともに、光学干渉作用により所定の光学特性になるように設計されたTiO₂やSnO₂といった透明誘電体膜が利用されている。

日射エネルギーは、板ガラスによって「反射」「吸収」「透過」され、吸収されたエネルギーは熱となり、室内・室外の両方に再放射される。したがって、室内に流入する熱量は、直接透過したエネルギーと再放射された熱量を合計したものになる。ガラスに入射した全日射エネルギーの内、室内に流入する日射熱の割合を「日射熱取得率」、室外に除去した割合を「日射熱除去率」という。高性能熱線反射ガラスでは、再放射による室外への熱の除去割合が大きいため、日射熱除去率が高い。種々のガラスの可視光透過率と日射熱除去率の関係をFig.1に示した。残念ながら現状では、可視光の透過と日射熱の除去を独立して制御できていないことがわかる。透明フロートガラスでは可視光を大部分透過するので、十分に明るい室内環境が得られる代わりに、日射熱も大部分が流入する。高性能熱線反射ガラスでは日射熱除去率が80%にも達するが、同時に可視光の透過を犠牲にしているので、透視性に劣る。今後、可視光は十分に透過するが、日射熱は大部分を除去するというタイプのガラスのニーズが高まると予想されている。

高性能熱線反射ガラスに関する問題点としては耐久性が挙げられる。スパッタ法で形成される膜は、ガラスに対する付着力が低く傷が付き易いため、膜面を室内側にして施工される。膜の耐久性が向上して室外側で使用可能になると、遮蔽係数をさらに向上させることができる。最表面に耐久性に優れた保護膜を形成するのが効果的と考えられるが、スパッタ法で保護膜を形成する際に、成膜条件をコントロールして非晶質のオキシナイトライド膜とすることにより、機械的耐久性が向上する可能性が示唆されている²⁾。また、高性能熱線反射ガラスの普及を促進するため、膜のコーティング速度を向上させて生産性を高める、製造面での技術開発も活発に行われている。

3. Low-E ガラス（断熱ガラス）

板ガラスは熱伝導率は小さいが厚さが薄いいため断熱性は十分ではない。したがって、開口部を大きくする場合には、断熱性を高めることが重要である。この目的でLow-E ガラス (Low-Emissivity Glass) の開発が進められた。このガラスは放射率が低く（遠赤外線の反射率が高い）、一般のガラスの放射率が約0.84であるのに対して、0.05~0.3程度の値である。近赤外線よりも短波長の日射光は透過し、それより長波長側の室内からの熱放射（暖房器具や人体からの熱線）は反射するため断熱性が向上するのである (Fig.2)。

省エネルギー性能を比較するため、各種ガラスの遮蔽係数と熱貫流率の関係をFig.3に示した。遮蔽係数 (SC 値) は、3 mm 厚透明フロート板ガラスと比較して、各種ガラスの日射熱取得率（ヒートゲイン）を比率で表したもので、値が小さいほど流入する日射熱が小さいことを表している。一方、断熱性は、室内外の気温差によって移動する熱量を表す熱貫流値 (K 値) で表され、K 値が小さいほど断熱性が高い（ヒートロスが小さい）ことを意味する。

Low-E ガラスの表面には放射率の低い薄膜がコーティングされており、(1) 半導体膜 (SnO₂ 膜) の赤外線領域での金属的挙動を利用するタイプと、(2) 誘電体/貴金属/誘電体からなる多層膜で貴金属の特性を利用するタイプの2種類が実用化されている。SnO₂ 膜は通常粉末スプレー法など熱

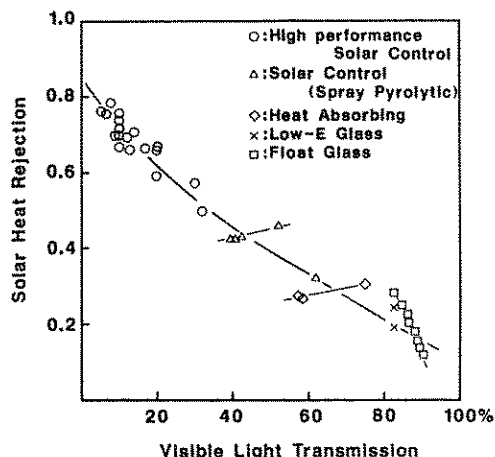


Fig. 1 Solar Control Property of Various Glasses

分解法を利用して成膜される。多層膜タイプに比べて、放射率が高く断熱性能は劣るが、耐久性が高いので二重窓や単板でも使用できる。最近では新しいオンラインCVD法によって放射率が0.20以下のものも出現している。SnO₂膜で低い放射率を達成するためには、比較的厚い膜が必要である。その場合干渉色の発生が問題になっていたが、オンラインCVD法で、酸化物膜/SnO₂膜の2層膜が形成可能になり、酸化物膜を適当な厚みに制御して干渉色の発生を抑えることが可能になった(Energy AdvantageTM)³⁾。また、可視光透過率と赤外線反射率をさらに高めるため、フォトリソグラフィの技術を利用して、SnO₂膜をメッシュ状にパターンニングすることも検討されている。多層膜を利用するタイプはスパッタ法で成膜され、放射率はさらに小さくなるが、銀などの貴金属膜が湿気等に弱いため、複層ガラスにして完全密封する必要がある。この場合、中間の空気層厚みとコート面の位置により断熱性に差が現われるが、適当な構成を選ぶことにより熱貫流率を1.5以下に抑えることも可能である。6mm厚透明フロートガラスの熱貫流率(5.0)と比較して、Low-E複層ガラスでは断熱性が3倍以上(ヒートロスが1/3以下)に向上している。

4. 汚れ防止ガラス

ガラスは透明性が優れているため、埃などが付

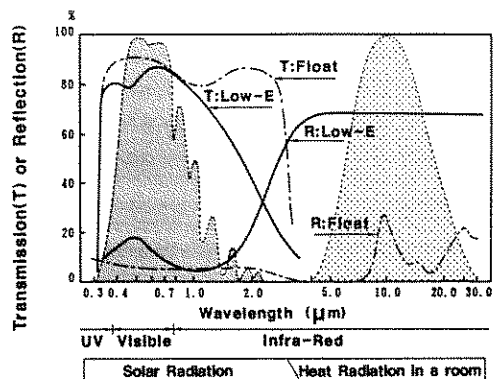


Fig. 2 Performance of Low-E Glass

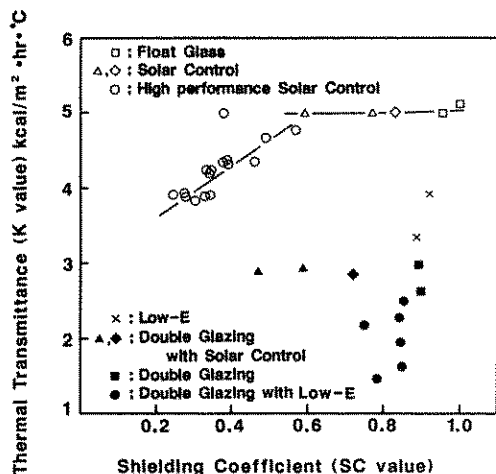


Fig. 3 Thermal Insulating Property of Various Glasses

着して汚れると外観が損なわれ、かつ光の透過性も低下して視界が悪くなってしまいます。ガラスの汚れはほとんどの場合、水を介して表面に作用することが知られている⁴⁾。付着性汚れとなる溶質を含む水滴が、ガラス表面で乾いていく過程で汚れが固着してしまうのである。したがって、水滴を残りにくすれば、汚れの固着が防止できるわけで、そのためには表面の撥水処理や撥水性被膜の形成が効果的である。最近、特殊コーポリマーとガラス表面のシラノール基を反応させて、強力な化学結合により耐久性の高い汚れ付着防止性被膜を形成したガラスが開発された(クリアシールドライトTM)。このガラスの撥水性被膜は、接触角が約

100° (通常のガラス表面は 30~40°) で、ガラス表面のシラノール基との反応で形成されているため非常に薄く、光学的に均一・透明、化学的に不活性、熱的に安定という特徴を持っている⁹⁾。

5. 低反射ガラス

ガラスと空気の界面では屈折率の差によって約 4% の反射があり、両側の界面で透過率が 8% 低下してしまう。この程度の反射率であっても外部光が優勢な場合、視認性を妨げることになる。ガラス表面の反射を低減させる方法として、サンドブラストなどで表面にキズをつけたり、強酸で処理して、散乱させる方法が古くから行われていた。また、珪フッ化水素酸溶液で処理することにより、ガラス表面からアルカリを除去して多孔質層を設けて反射防止する方式も実用化されている¹⁰⁾。この多孔質層の孔径は 40 nm 以下、厚みは約 100 nm である。低反射帯域が広いことに特徴がある。最近ではコーティング方式が普及してきた。屈折率の小さいフッ素系樹脂の単層コーティングの他、屈折率の異なる 2 種類以上の透明な材料を積層して、光学干渉により表面反射を 1% 以下のレベルまで低下させるものが実用化されている (Fig. 4)。コーティングの方法としては塗布法、ディッピング法 (ゾルゲル法)、真空蒸着法などが利用されている。現在のところ応用例としては、CRT パネルや絵画のカバー用ガラスなど室内用途がほとんどである。建築用途に普及させるためには耐久性の向上と、汚れ防止性を付加することが重要であると考えられている。

6. 将来の展望

西暦 2000 年のインテリジェントビルをモデルとしてニューガラスの可能性が調査されており、インテリジェントビルの概念図が作成されるなどきわめて興味深い⁷⁾。インテリジェントビルでの使用が期待されるニューガラスの内、多くの表面処理ガラスについては既に述べてきたが、その他の有望な用途として、電磁波制御ガラス、紫外線遮蔽ガラス、ホログラフィックウィンドー、太陽電池用基板ガラス、帯電防止ガラスなどが挙げられている。表面処理は今後とも建築用ガラスを高

機能化する最も有力な手段と考えられ、特に薄膜コーティングの応用がさらに進むと考えられる。また、イオン注入技術が大面積基板にも適用されるようになれば、新たな高機能ガラスが生み出されるものと期待される。

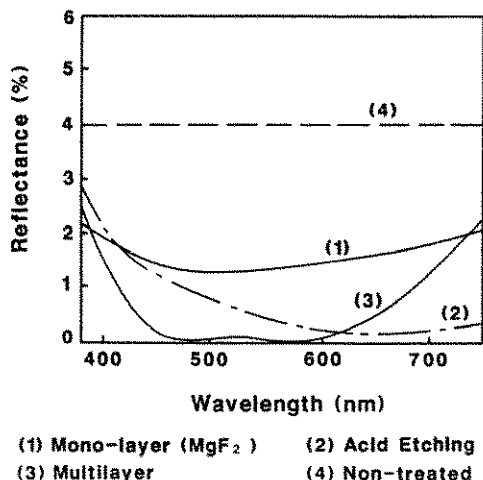


Fig. 4 Performance of Anti-Reflective Glass

参考文献

- 1) Fenestration 2000-Phase 1, Pilkington Glass, July 1989
- 2) H. Nakai and T. Nagase, Proc. Int'l Conf. Sci. Tech. New Glass, Tokyo, 1991, p. 141
- 3) Glass for Architecture, Libbey Owens Ford, 1992
- 4) 宇津木弘他, 日本セラミックス協会学術論文誌, 99 (1991) p. 233
- 5) 「クリアシールドライト」, 日本板硝子株式会社リーフレット, 1992
- 6) 永山裕嗣, 実務表面技術, 32 (1985) p. 421
- 7) ニューガラスフォーラム編, 平成 2 年度ニューガラス産業対策調査研究報告書, 1991

〔筆者紹介〕



中井 日出海（なかい ひでみ）
 昭和51年 岡山大学工学部工業化学
 学科卒業
 昭和53年 京都大学大学院工学研
 究科修了
 同 年 日本板硝子株式会社入
 社
 昭和57年 ペンシルバニア州立大
 学留学
 昭和59年 ワシントン大学材料科
 学科修了
 同 年 復職後、主として真空
 コーティングガラスの
 研究開発に従事

Abstract

Some examples of surface-treated glasses currently used and under development for architectural applications are described. Firstly, the processes and technologies of the surface treatments of glass are briefly reviewed. Secondly, the performances of film coated solar control and Low-E glasses, which are currently the most common surface-treated glasses, are explained in terms of solar heat rejection and thermal transmittance compared to various kinds of conventional glasses. It is clearly shown that sputtered solar control glasses have superior solar heat rejection. However, the necessity of the high performance solar control glass with high visible light transmittance is also explained. Next, anti-soiling glass and anti-reflective glass are introduced as other important applications. Finally, further advancement of surface-treated glasses is reviewed.