

建築用高性能Low-Eガラスの開発

Development of high performance Low-E glass for architecture

矢尾板和也

Kazuya Yaoita

AGC旭硝子は、省エネルギーに対する意識の高まりに対応し、断熱性能をさらに向上させた高性能Low-E窓ガラスを開発した。製品ラインアップとしては、太陽エネルギーの取り込みを重視した寒冷地域向けタイプと、太陽エネルギーの遮蔽を重視した温暖地域向けタイプがあり、それぞれのタイプにおいて、室内の明るさや建物との外観調和を考えた商品を開発した。

高断熱性能を発現するための低放射率化と太陽エネルギーの取り込みを両立するためには、銀1層系のLow-Eコーティングにおける銀層の膜質を向上させることが重要となる。一方、明るさを確保しつつ、太陽熱エネルギーを効率良く遮蔽するためには、銀2層系、銀3層系と多積層膜化することが必要となる。しかし、積層数が増えると膜厚が厚くなるため、膜応力と関係したコーティング膜の耐湿性・耐擦傷性が悪化するという問題が発生する。この課題に対し、材料選定と積層順序を見直し、最適な製造プロセスで膜応力を制御することにより、高い熱光学性能と耐久性の両立を実現した。

AGC has developed high performance Low-E glass while further improving the thermal insulation performance. The type with emphasizing the solar energy capture for cold regions and the one with emphasizing the solar energy shielding for temperate regions were added to its product lineup. Furthermore, each type contains the product considering the indoor brightness and the product harmonizing the outer building design.

It is important to improve the quality of the silver layer in the Low-E coating designed as a single silver stack for achieving both of the low emissivity expressing a high thermal insulation performance and the solar energy capture. On the other hand, multilayered silver stack, such as double or triple silver stack, is necessary for accomplishing the efficient shield of solar energy for keeping the brightness. However, the total film thickness becomes thicker when the number of layer is increased, due to the internal film stress, moisture resistance and scratch resistance is worsened. We have successfully improved the durability with the higher optical performance by reviewing the material selection and the stacking order, and controlling the film stress with optimized production process.

1. 緒言

昨今の省エネルギーに対する意識の高まりから、住宅、商業ビルへの高断熱、高遮熱ガラスの適用が広く要求されている。冬の暖房時と夏の冷房時の、建物各部位に出入りする熱量の比率を見ると、開口部の比率は、壁、床、天井や屋根よりも大きい。したがって、開口部の断熱性能、遮熱性能の向上により、冬の流出熱量および夏の流入熱量を減らし、建物の消費エネルギーの削減に大きく貢献できる。各空間における太陽の光と熱を快適にコントロールするためには、多様な使用環境を想定した窓ガラスの商品ラインナップが必要である。窓ガラスによる快適性を議論する際には、まず太陽光に関して理解することが欠かせない。地表に降り注ぐ太陽光には、紫外線、可視光線、赤外線などが含まれている。可視光線は、波長がおよそ400～800nmの人が視認できる光であり、明るさや色調に影響するため、ガラスの意匠性をデザインする場合には、まず、可視光線をコントロールする必要がある。

赤外線は、可視光線よりも長い800nmから1mmの波長に分布し、人に暑さ、暖かさを感じさせる電磁波である。波長によって、近赤外線、中赤外線、遠赤外線に分類されるが、このうち太陽光に含まれるものは近赤外線であり、赤色の光に近い800nm～2500nmの波長を持つ。主に、この近赤外線を室内に流入させないことが遮熱性であり、通常の透明1枚ガラスでは、この領域の透過率が高いため、遮熱性能が著しく悪い (Fig.1)。

次に、室内からの熱量流出は、放射、伝導、対流からなる熱伝達によって生じる。放射は熱を伝える物質の有無に関係なく電磁波により熱が移動する現象であり、伝導は熱が1つの物体中を順次移動する現象である。また対流は、熱せられた気体や液体の移動で流れが生じ、熱を運ぶ現象である。室内からの熱量の流出を減らすためのキーワードが『Low-E (low-emissivity: 低放射)』であり、ガラス表面の放射率をより低くすることで放射熱伝達を軽減する。室内からの熱量流出を抑制することは、断熱性能として表現される。

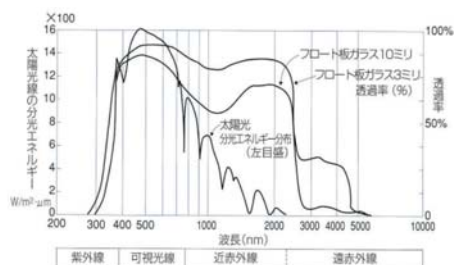


Fig.1 Wavelength distribution of the sunlight and Transmission spectra of the glass

2. 建築用Low-Eガラスについて

高断熱、高遮熱性能を有する建築用Low-Eガラスは、2枚のガラスをペアにし、そのガラスの間に空気やアルゴンなどの気体を封入したペアガラスにおい

て、片側のガラスの気体を封入した側に、Low-Eコーティングが施されている。ペアガラスとすることで伝導と対流を抑制し、Low-Eコーティングを施すことで放射を抑制する。

Low-E性能を担う放射率の低い物質は、金、銀、銅に代表される金属であるが、Low-Eコーティングには可視光吸収の少ない銀がよく用いられる。

AGC旭硝子では、1980年代から大面積スパッタ法でLow-Eガラスを生産してきたが、2012年以降、新タイプのLow-Eガラスを発売し、遮熱性能、断熱性能へのより高い要求を満足するとともに、建物との外観の調和に優れたラインナップを拡充してきた。

3. Low-Eコーティングの積層膜デザイン

3.1 日射熱取得タイプ高断熱Low-Eの開発

高断熱性能を付与するため、低放射率の銀をコーティングすることは前述のとおりであるが、放射率を低減しようと銀を厚くコーティングした場合、銀の金属光沢をもつようになり、反射率が高くなるため、室内に取り込まれる太陽光が減少してしまう。また、銀は腐食し易い材料であるだけでなく、Low-Eコーティングの銀層は、膜厚が数十nmの薄膜であるため、本来持っていたバルク特性が失われやすい。そこで、所望の性能を得るために、Low-Eコーティングを多積層化し、反射防止層の付与、銀の結晶性を促進させる下地層の挿入、耐久性向上のためのトップコート付与などの措置が取られる。

寒冷地の住宅では、室内の熱流出を抑制することはもちろんであるが、冬季の太陽光によるポカポカ感が遮蔽されてしまうことは好まれない。低放射率を維持したまま、高い日射熱取得率を実現するためには、いかに薄い膜厚で銀薄膜の結晶性を高めるかがポイントとなるが、各層の材料選択や、積層デザインによっては、銀の結晶性が大きく変わり、本来の物性が失われてしまう (Fig.2)。

AGC旭硝子では、高い光学シミュレーション技術と薄膜形成技術による、材料選択・積層デザインによって、透明感のある新しい日射熱取得タイプ高断熱Low-Eガラス『サンバランスピュアクリア』を発売した。

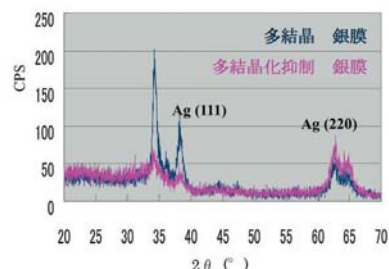


Fig.2 X-ray diffraction spectra of Silver in Low-E coating (Grazing-angle XRD method)

3.2 遮熱タイプ高断熱Low-Eの開発

商業ビルや、比較的温暖な地域の住宅においては、

高い遮熱性能が優先的に要求される。また、開口部面積の大きい高層ビルをデザインするにあたり、屋外側から見た場合のガラスの反射色調、透過色調はビルの外観を左右する重要な要素として挙げられる。

太陽熱を遮断するには、近赤外線の中でも短波長領域である800~1500nmの電磁波を効率良く反射させる必要がある。しかし、可視光線と隣り合う波長領域であるにもかかわらず、可視光とともに反射を高めてしまうと、建物を見た際、キラキラしていると感じられたり、建築物として特に嫌がられる赤色を感じさせたりすることになる。そこで、光の干渉効果により、可視光線の反射を抑制し透過を高め、逆に近赤外線の反射を高め透過を抑制するといった、特定波長に対する選択性を上げることが要求される。ここで、分光曲線におけるパス：カットの急激な立ち上がりを実現するためには、Low-Eコーティングにおける銀層を2層、さらには3層に分割し、誘電体膜と組み合わせた誘電体多層膜フィルタを形成することが効果的である (Fig.3)。

ビル用の遮熱タイプLow-Eガラスでは、ブルーに見えることが意匠性としてクールな印象を与える。また、建物の外壁との調和を重視する場合には、グレーに見えることが、ニュートラルかつ重厚感をもつ印象を与えるため、広く好まれる。ガラスを観察する際、人がグレー色と認識するために重要な要素は、反射率が特に低いことである。Low-Eコーティングを透明な材料のみで構成することは、明るさを確保する上で効果的であるが、一方で、多積層化による選択性の向上には限界が生じる。この場合、光の『透過』と『反射』に加え、新たな要素として可視光領域に『吸収』をもつ材料をLow-Eコーティングの構成材料として適用することが、遮熱性能の向上と低い反射率を両立させる上で特に有効である。

AGC旭硝子では、明るさを確保しつつ高遮熱性能を追求した銀3層系の遮熱タイプ高断熱Low-Eガラスとして『サンバランストリプルクール』を、新色遮熱タイプ高断熱Low-Eガラスとして、住宅用およびビル用の『サンバランスアクアグリーン』『サンバランスブルーグレー』を発売した。

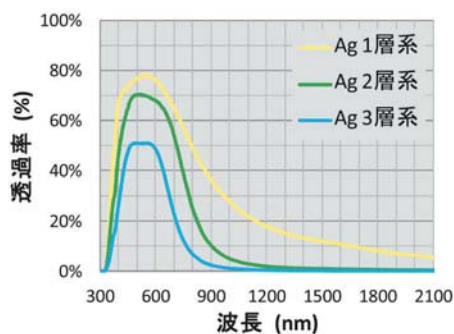


Fig.3 Transmission of Low-E glass in single, double, and triple silver stack

4. 熱光学性能と耐久性の両立

ここまでLow-Eコーティングに対する熱光学性能の

向上について述べてきた。しかし、銀の材料としての柔らかさ、耐腐食性の低さから、ペヤガラスを組み上げる製造過程での取扱いキズや、保管中の環境による劣化がもたらす欠点発生が、生産性上の課題として挙げられる。特に高遮熱タイプLow-Eコーティングでは、光学性能向上のために、積層数、各層膜厚ともに増加させることが必須であるため、コーティング全体の内部膜応力が増大することで、キズが発生し易く、また点状生成物が形成された場合にも、生成物を起点としたクラックが入り、視認できる欠点となりやすい。

Low-Eコーティングに発生する欠点を抑制する方法として、膜材料に少量のドーピングを行うことで、応力を低減する方法が用いられてきた⁽¹⁾。しかし、銀へドーピングを行った場合、赤外領域の反射率が下がってしまうため、結果としてLow-Eコーティングとしての性能を低下させるという問題があった (Fig.4)。さらに、銀2層系、銀3層系のLow-Eコーティングでは、銀にドーピングを行うだけでは、ペヤガラス組み上げ工程で要求される耐擦傷性を十分に付与することができなかった。そこで、銀層を挟み込む反射防止層の材料、および製膜を行う際のプロセスガスの選定、最適な順序での積層、を行うことで、高い熱光学性能と耐久性の両立を実現した (Table 1)。

AGC旭硝子では、使用環境に最適な熱光学性能と意匠性を併せたラインナップを提案することで、高性能Low-Eガラスをより広く普及させ、持続的に環境への貢献を果たしていきたいと考えている。今後もLow-Eガラス『サンバランス』の商品開発に注目して頂きたい。

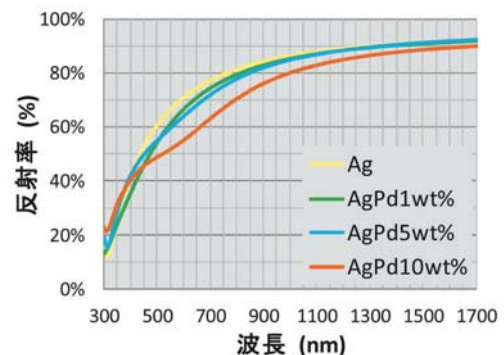


Fig.4 Reflection of silver layer which is 20nm thickness

Table 1 Internal stress about the layer material of Low-E coating, which is 50nm thickness

膜材料	プロセスガス	膜応力 (MPa)
ZnO:Al 2wt%	CO ₂	-790
ZnO:Sn 50wt%	CO ₂	-170
ZnO:Sn 50wt%	O ₂ +Ar	-240
ZnO:Sn 50wt%	O ₂	-440

—参考文献—

- (1) E. Ando, S. Suzuki, N. Aonime, M. Miyazaki, M. Tada [Sputtered silver- based low-emissivity coatings with high moisture durability], Vacuum 59 (2000)792-799