

鏡になったり透明になったりする 光学特性に優れた調光ミラー薄膜材料を開発

大型調光ミラーガラスの実用化に向けて大きな進展

産総研基礎素材研究部門では、優れた調光ミラー特性（鏡になったり透明になったりする性質）を持つマグネシウム・ニッケル合金薄膜の開発に成功した。従来報告されているマグネシウム・ニッケル合金薄膜では、透明状態における可視光の透過率が低く実用的ではなかったが、今回開発した材料ではこれを改善し50%の可視光透過率を持たせることが出来た。本材料はコストも安く大面積ガラスへのコーティングに適していることから、調光ミラーガラスの実用化へ向けての大きな一歩となる。調光ミラーガラスは建物や自動車用の窓ガラスとして画期的な省エネルギー特性を持っており、その実用化に対して、ガラスメーカーや自動車メーカーからも大きな期待が寄せられている。

大きな省エネルギー効果を持つ 調光ガラス

窓の目的は光を取り入れることにあるが、通常の窓ガラスは可視光以外に熱も透過し、建物の断熱性を悪くしている。そのため、建物における省エネルギーを考える場合、窓は非常に重要な部位となる。例えば、典型的な住宅を仮定したシミュレーションでは、冬の暖房時に逃げていく熱の半分近くは窓を通して出て行き、また夏の冷房時に外から進入する熱の7割は窓を通して入ってくるという結果も得られている。従って、窓の断熱性を高めるだけでも省エネルギー効果が大きく、最近では、断熱性の高い複層ガラスや低放射率ガラスの普及が進んでいるが、夏暑い日本ではこの断熱に加え、外部からの日差しを効果的に遮ることで、さらに省エネルギー効果が高めることが出来る。このような目的で、外部から入ってくる光や熱をコントロールするガラスが調光ガラスで、高断熱ガラスと組み合わせることで大きな省エネルギー効果を得ることが出来る。

鏡になったり透明になったりする 薄膜材料 - 調光ミラー材料 -

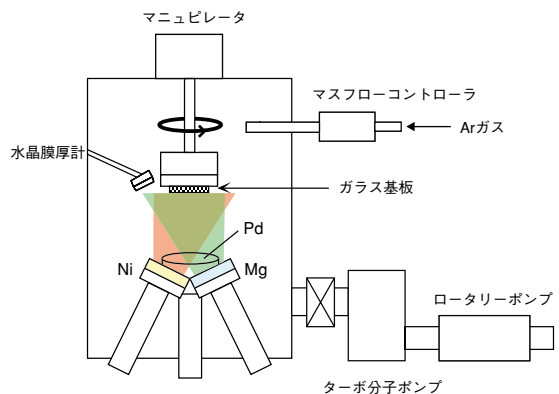
調光ガラスにも様々な種類があり、電氣的にスイッチング出来るガラスはエレクトロクロミックガラス、温度によって変化するガラスはサーモクロミックガラス、まわりの雰囲気（ガス）で変化するガラスはガスクロミックガラスと呼ばれる。これらの調光ガラスの中でも、酸化タングステン（ WO_3 ）薄膜を調光層として用いるエレクトロクロミックガラスは研究の歴史も長く、一部商品化も行われているが、薄膜部分で光を吸収することにより調光を行うため、ガラスの温度が上がり省エネルギーの効率が悪くなる

という欠点があった。

これに対して、光を吸収するのではなく反射することで調光を行う材料が調光ミラー（Switchable Mirror）である。これは触媒層をつけたイットリウムやランタンなどの希土類金属薄膜が、鏡になったり透明になったりする性質を持つことが1996年にオランダのグループにより発見され、注目されるようになった。また、2001年には、アメリカのグループにより、マグネシウム・ニッケル合金薄膜も同様の調光ミラー特性を持つことが発見された。こちらは、マグネシウムとニッケルという、希土類金属に比べて豊富で安価な材料を使うことから、大型ガラスへの応用を考える場合、より適した材料であると期待されるが、報告されている光学特性は悪く実用的ではなかった。

調光ミラー薄膜の作製

当研究部門では、いち早くこのマグネシウム・ニッケル合金薄膜に注目し、その実用化の可能性を探るため、光



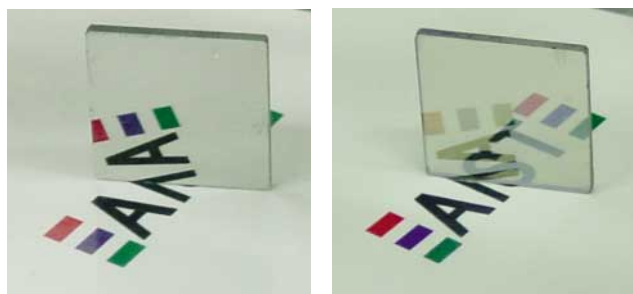
● 図1 調光ミラー薄膜の作製に用いるスパッタ装置の概略図

学特性を向上させる研究を2001年に開始した。図1に示したのは、調光ミラー薄膜の作製に用いているスパッタ装置の概略図で、真空装置の中に、3つのスパッタ銃をそなえ、それぞれ、金属マグネシウム、金属ニッケル、金属パラジウムのターゲットをセットしている。まず、ガラス基板上に、マグネシウムとニッケルの同時スパッタによりマグネシウム・ニッケル合金薄膜を作製し、その後、真空中で薄くパラジウムをつけて大気中に取り出し、その調光特性の評価を行った。

しかし、成膜条件を様々に変化させて良い光学特性が得られる条件を探るという研究は当初うまくいかなかった。それは、同じ条件で作成した膜でも得られる調光特性がばらつき、再現性が非常に悪かったからである。そこで、調光特性に関与しそうな成膜および測定条件を慎重に吟味していった結果、この系では当初想定していなかった幾つものパラメータが大きく関わっていることが判明し、それらを精密にコントロールすることで、システムティックな探索を行うことが可能になった。

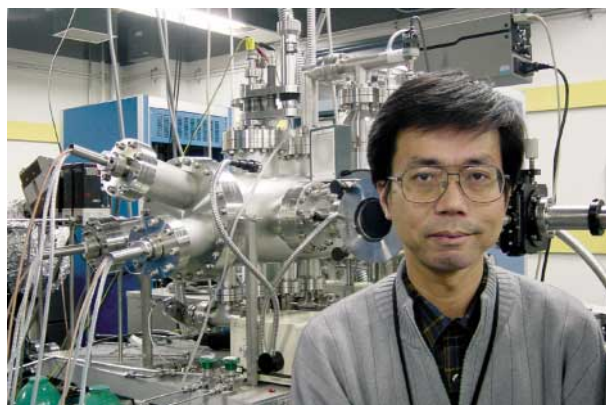
開発したマグネシウム・ニッケル合金薄膜の調光特性

従来の報告では、マグネシウム・ニッケル合金の中でも、 Mg_2Ni という組成を中心に研究が行われていた。薄くパラジウムをコートした Mg_2Ni 薄膜を作製し、水素雰囲気さらすと水素化が起こって確かに透過率は上がるが、その可視光透過率は15%程度でしかも濃い茶色に着色しており、実用的でないことがわかった。当研究部門では、系統的な組成制御と分析を行った結果、 Mg_2Ni とは全く異なった組成で光学特性に優れた領域があることを発見し、調光特性に優れた薄膜を再現性良く成膜する手法を開発した。



● 鏡状態

● 透明状態



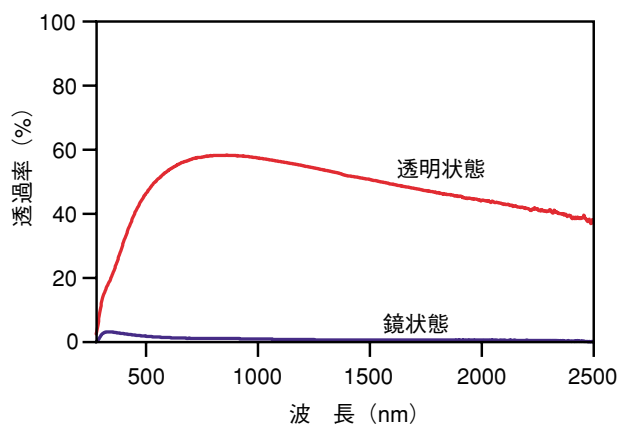
● 調光ミラー薄膜材料を開発した基礎素材研究部門 吉村研究グループ長

図2に今回開発したマグネシウム・ニッケル合金薄膜の鏡状態と透明状態の写真、およびそれぞれの状態における透過スペクトルを示す。蒸着直後の膜は金属状態で高反射率なのに対して、これを水素雰囲気さらすと水素化が起こり透明化する。 Mg_2Ni 薄膜と比較して、金属状態はほとんど変わらないが、水素化時の透過率は大きく向上し、スペクトルから計算した可視光透過率は約50%で、 Mg_2Ni 薄膜と比較して3倍以上になり、実用に近いレベルまで向上させることが出来た。透明化したものを酸素もしくは空気さらすと、脱水素化により元の金属状態に戻り、この変化を繰り返すことが出来る。

調光の方式

－ ガスクロミックとエレクトロクロミック －

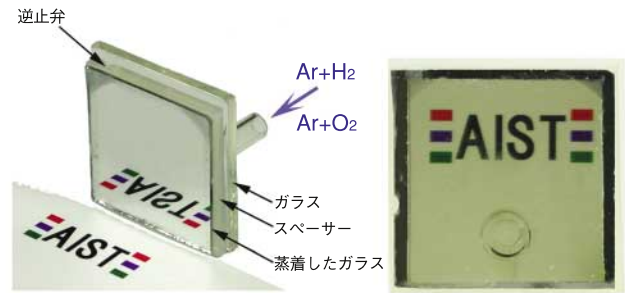
この材料を用いて調光を行う方法は大きく2種類ある。一つは、水素と酸素を含むガスを用いるガスクロミック方



● 図2 開発したマグネシウム・ニッケル合金薄膜の鏡状態と透明状態の写真および透過スペクトル

式で、図3に試作したガスクロミック調光ミラーガラスの写真を示す。これは今回開発したマグネシウム・ニッケル合金薄膜が蒸着された面が内側になるように、もう一枚のガラスとスペーサーで張り合わせペアガラスとしたもので、左が鏡の状態である。そこにアルゴンで1%程度に希薄した水素を導入すると水素化が起こり、右の透明状態に変化する。また酸素を含むガスを導入すると、脱水素化が起こって左の鏡状態に戻る。使用する水素と酸素は水を電気分解することで簡単に得られる。WO₃薄膜を用いたガスクロミックガラスは実用化に近い段階にきており、この技術はそのまま調光ミラー材料に適応することが出来る。

もう一つはエレクトロクロミック方式で、電解質を用いて電氣的にスイッチングを行う方法である。これには図4のような構成にしたガラスを用いる。今回開発した材料を用い、NaOHを電解液として電気化学的に電圧を掃引してその透過率変化を測定した結果が図4のグラフで、電圧に



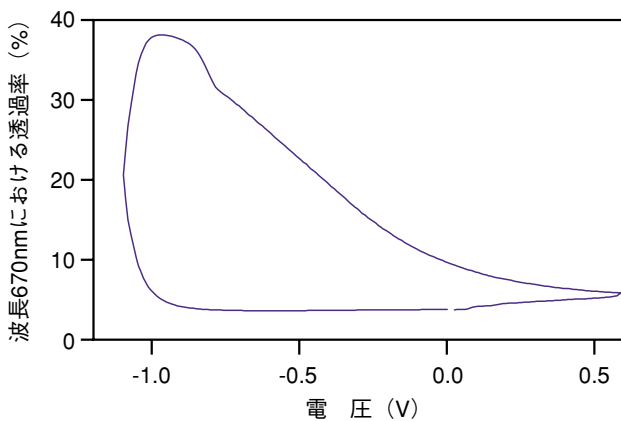
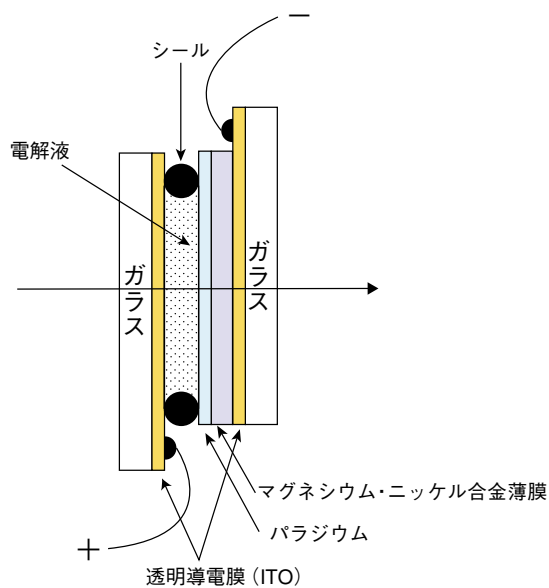
●図3 ガスクロミック調光ミラーガラス

よって光学特性をコントロールすることが出来ることを示している。エレクトロクロミック方式では電氣的にスイッチング出来るため、コントロール性は良いが、ガラス上に5層高品位の薄膜を形成する必要があるため、コストが高くなるという欠点がある。その点、ガスクロミック方式では、薄膜層は2層のみであり、しかもパラジウム層は非常に薄くてすむため、大型ガラスが安価に出来るという利点がある。従って、どちらの調光方式が良いかは、用途によって選択すべきで、双方の研究が望まれる。

自動車メーカーからも大きな期待

調光ミラーガラスの用途としては、建物の窓以外に、特に自動車のガラスとしても極めて有効である。夏の暑い時期に駐車中の車のガラスを鏡に変えることが出来れば車内の温度上昇が抑えられ、車内環境を快適に保つと共に、冷房に用いられるガソリンを大幅に節約することが出来る。このような変化がスイッチ一つで可能になればそのインパクトは大きく、自動車メーカーからもこの実用化に対して大きな期待が寄せられている。

調光ミラーガラスの実用化に向けては、光学特性の一層の向上および耐久性に関する研究が必要で、現在、新たな材料探索を含め総合的な取り組みを行っている。



●図4 エレクトロクロミック調光ミラーガラスの構造と光学特性

●問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所

中部センター 基礎素材研究部門

環境応答機能薄膜研究グループ 吉村 和記

E-mail : k.yoshimura@aist.go.jp

〒 463-8560

愛知県名古屋市守山区大字下志段味字穴ヶ洞 2266-98