

光触媒断熱薄膜の建築物窓ガラスへの応用

室内環境を快適に保ち、省エネルギーに

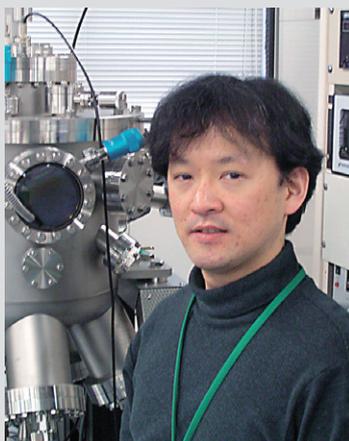
断熱機能と光触媒機能を同時に発現する $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2:\text{F}$ 積層膜の開発を行っている。スパッタリング法によって形成される TiO_2 薄膜の極表面の近くに所望の電子構造を持たせることにより、きわめて高い光触媒活性を発現できる。この積層膜を省エネルギーガラスに応用すると、極寒地域においても暖房の負担を大幅に低減でき、同時に室内環境を快適に保つことができると期待される。

Our group is developing multifunctional $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2:\text{F}$ stacked-films with both photocatalytic and low-emittance properties. The thin-films of TiO_2 are formed on $\text{SnO}_2:\text{F}$ -coated glass substrates by reactive magnetron sputtering under various deposition conditions. Control of the electronic structure in the near-surface region is the key to obtaining excellent photocatalytic performance, which is confirmed by low-energy electron energy loss spectroscopy in the core electron excitation regions. The application of these films to energy-efficient-windows allows the possibility for reducing the energy load of the heating system and making the living space comfortable.

岡田 昌久 Masahisa Okada
m-okada@aist.go.jp

サステナブルマテリアル研究部門
環境応答機能薄膜研究グループ 研究員

各種の機能性薄膜（光触媒機能、断熱機能、クロミック機能）に関する研究に従事している。具体的には、多機能化を目指した薄膜積層技術や光触媒の可視光応答化を目指した表面改質技術の開発とともに、薄膜材料の表面・界面物性に関する研究にも携わっている。今後は、新規な遷移金属酸窒化物薄膜を創製し、その物性探索を行いたいと考えている。



寒冷地域において、太陽光の熱は取り入れ、室内暖房の熱は逃がさない複層の低放射率（Low-e）窓ガラスの普及が目覚ましい。一般に、Low-e膜材料としてはAg膜をZnO膜で挟んだ積層膜が用いられるが、Ag膜は酸化によって劣化しやすいため、複層ガラスの内側にコーティングされる。また、Ag膜に比べてLow-e特性は劣るものの耐久性が非常に優れていることから、Fドープされた SnO_2 （ $\text{SnO}_2:\text{F}$ ）などの透明導電膜も、単板Low-eガラス用として使わ

れている。しかし、北欧などの極寒地域では、従来の複層Low-eガラスを上回る断熱性能が求められており、ガラスを三層にしたりLow-e膜を二重にするなどの技術が試みられている。

一方、光触媒 TiO_2 薄膜をコーティングした窓ガラスの実用化が始まっている。光触媒ガラスは、太陽光の紫外成分を吸収して、ガラス表面に付着した汚れ物質を光触媒反応によって分解したり、超親水化現象によって汚れ物質を洗い流してしまうものである。この

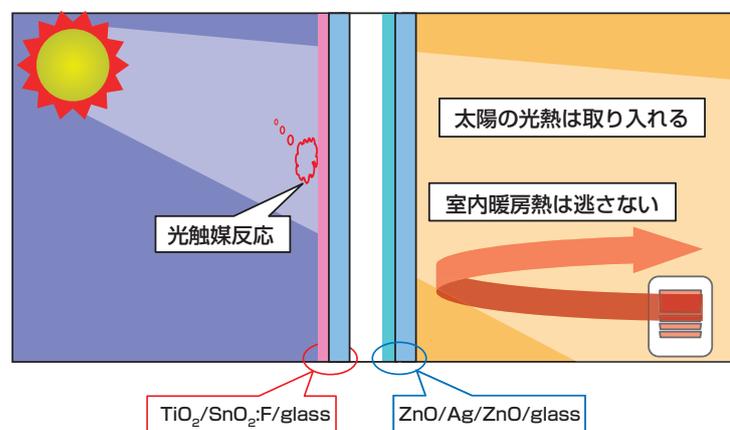


図1 光触媒断熱ガラスの概略

太陽光の紫外成分は吸収して光触媒反応を起こし、太陽光の可視成分と近赤外成分は室内に取り入れる。暖房熱や室内熱などの遠赤外成分は逃さない。

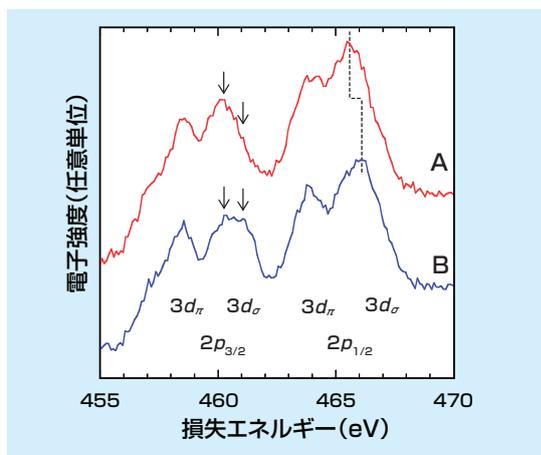


図2 TiO₂/SnO₂:F積層膜の内殻電子励起LEELSスペクトル
Ti 2p_{1/2}、Ti 2p_{3/2}内殻電子軌道からTi 3d_π、Ti 3d_σ非占有軌道への電子遷移に対応する。試料Aの方はアナターゼ型、試料Bの方はルチル型の電子構造に特有なスペクトルである。

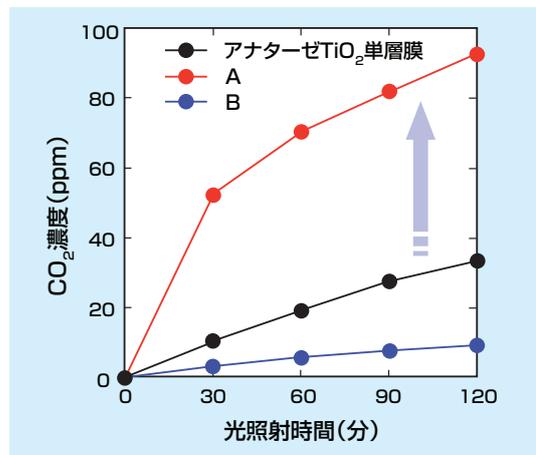


図3 光触媒活性の測定結果
アセトアルデヒドガスの分解によって生成されるCO₂濃度の照射時間依存性を示す。

作用により、ガラスの美観が長期間維持されるだけでなく、極寒地域では窓ガラスに着雪しにくくなるため、室内暖房の熱が窓ガラスの冷気によって逃げてしまうのを抑えることができると期待される。

こうした背景をふまえてわれわれは、図1に示すように、複層Low-eガラスの室外側にTiO₂/SnO₂:F積層膜をコーティングして、従来よりも高い断熱性能と光触媒性能を同時に発現させる技術の開発を行っている。

TiO₂/SnO₂:F積層膜の可視光透過特性を損ねないためには、TiO₂膜厚を40nm以下にする必要があるが、この場合は下地のSnO₂:F膜のルチル型結晶構造にならって、TiO₂膜もルチル構造もしくはルチル・アナターゼ混合構造になりやすい。しかし、光触媒反応の場であるTiO₂薄膜の表面は、活性の大きいアナターゼ型の電子構造をもつことが望ましい。われわれは、工業的に広く用いられている反応性スパッタリング法により、SnO₂:F膜がコートされたガラス基板上に、種々の成膜条件で40nm厚のTiO₂薄膜を作製した。さらに、内殻電子励起・低速電子エネルギー損失分光 (LEELS) 法を用いて、こ

れらの試料の極表面近傍の電子構造を調べ、光触媒特性との相関を明らかにした。

内殻電子励起LEELS法は、内殻準位から伝導帯への電子励起領域の損失スペクトルを測定することにより、薄膜試料の極表面近傍 (深さ2 nm まで) の電子構造に関する知見を得る手法である。また、特別な試料加工を必要とせず、試料をいったん大気に暴露した後や光触媒測定を行った後でもスペクトルが得られるため、光触媒特性と電子構造との相関を直接に調べることができる。図2に、TiO₂/SnO₂:F積層膜のLEELS測定例を示す。

多くの場合、試料Bのようなルチル構造もしくはルチル・アナターゼ混合構造を反映したスペクトルになるが、成膜中の基板温度、成膜圧力および酸素分圧を最適化することにより、試料

Aのようなアナターゼ構造を反映したスペクトルが得られた。アセトアルデヒドガスの分解試験による光触媒活性の測定を行ったところ (図3)、試料Aは、非常に高い活性を示した。さらに、同一膜厚のアナターゼTiO₂単層膜と比べても、格段に優れていることに注目しており、現在その要因を検討中である。

以上のように、TiO₂/SnO₂:F積層膜の極表面近傍に所望の電子構造を持たせることにより、きわめて高い光触媒活性を発現できる。このTiO₂/SnO₂:F積層膜を従来の複層Low-eガラスの室外側にコーティングすることにより、極寒地域でも暖房の負担を大幅に低減でき、同時に室内環境を快適に保つことができる。このようなガラスが実現できれば、地球温暖化防止にも大きく寄与することが期待される。

関連情報:

- 共同研究者: 吉村和記, 田澤真人 (サステナブルマテリアル研究部門) .
- M. Okada, Y. Yamada, P. Jin, M. Tazawa, K. Yoshimura : Thin Solid Films, Vol. 442, pp. 217-221 (2003) .
- M. Okada, P. Jin, Y. Yamada, M. Tazawa, K. Yoshimura : Surf. Sci., Vol. 566-568, pp.1030-1034 (2004) .
- 特願 2002-074432 「光触媒機能と低放射率特性を併せ持つガラス基材及びその製造方法」 (岡田昌久, 吉村和記) .