

グラデーション変化する調光ガラスの開発に成功

配布日時：平成 29 年 10 月 17 日 14 時

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 (NIMS)

国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST)

学校法人 早稲田大学

学校法人 多摩美術大学

概要

1. NIMS は、早稲田大学、多摩美術大学と共同で、グラデーション変化する調光ガラスを開発しました。この調光ガラスは、使用者の好みに合わせて自由に調光範囲を変えることができるため、太陽の高さに合わせて遮光範囲を変えるなど、従来の調光ガラスでは困難だった「遮光と眺望を両立する窓」として、車やビルなど様々な用途への利用が可能になると考えられます。

2. 電気をかけることで遮光状態を変えることができるエレクトロクロミック方式の調光ガラス⁽¹⁾は、近年、飛行機の窓などに使用されています。しかし、これまでは、遮光状態をガラス全体で調整するしかなく、遮光後は窓外の景色を楽しむことはできませんでした。

3. 今回、研究グループは、これまで研究してきたエレクトロクロミック特性⁽²⁾を持つポリマー（有機／金属ハイブリッドポリマー⁽³⁾）を使用して、グラデーション変化する調光ガラスを開発しました（図1）。遮光部分の割合を変えるためには、電圧（3 V）の印加時間を変えるだけで良く、電源を切ってもそのグラデーション状態が保持されます。電気を流す方向を変えることで遮光方向も変えられるため、使用者の好みに合わせて自由に調光範囲を変えることができる、新しい調光ガラスの開発に成功しました。

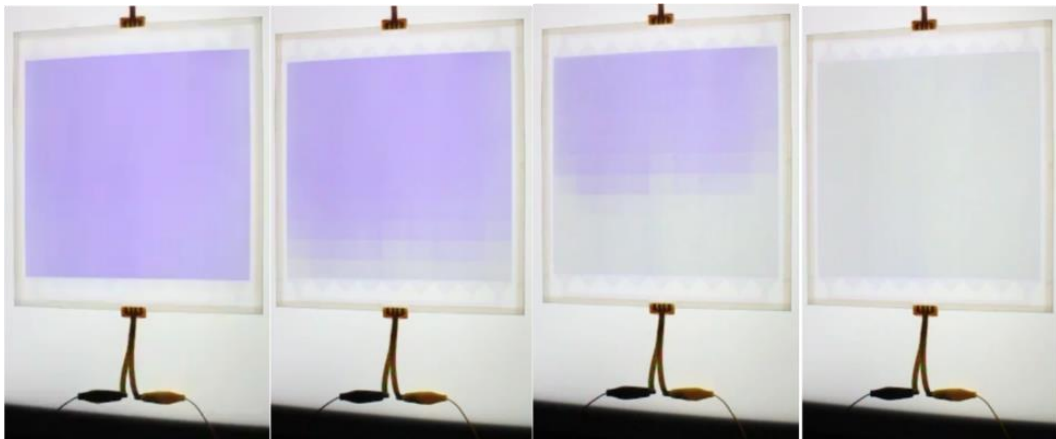


図1 遮光状態（左端）から透明（右端）にグラデーション変化する調光ガラス（サイズ：20 × 20 cm）

4. 今後は、車や飛行機などの乗り物やビルの窓などへの使用に向けた実用化研究を進める予定です。

5. 本研究は、物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 電子機能高分子グループ 樋口昌芳グループリーダーらの研究グループと、早稲田大学 ナノ・ライフ創新研究機構、多摩美術大学 美術学部との共同研究の成果です。また、科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CREST「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成」領域（研究総括 桜井貴康）研究課題「超高速・超低電力・超大面積エレクトロクロミズム」（研究代表者 樋口昌芳）の一環として行われました。

研究の背景

太陽光の効率的な遮断は、人々の居住空間や移動空間における空調の省エネルギー化に有効と考えられます。古来、日本ではひさしのある家に住み、高度の高い夏の太陽光を遮断し、高度の低い冬の太陽光は室内に取り入れる工夫をしてきました（図2）。一方、電気などを使って透過する光の量を調整できる調光ガラスは、その時の日差しの強さに合わせて窓の遮光度を調整することができるため、ひさしの設置できない窓（例えば、ビルや飛行機）への使用が期待されます。

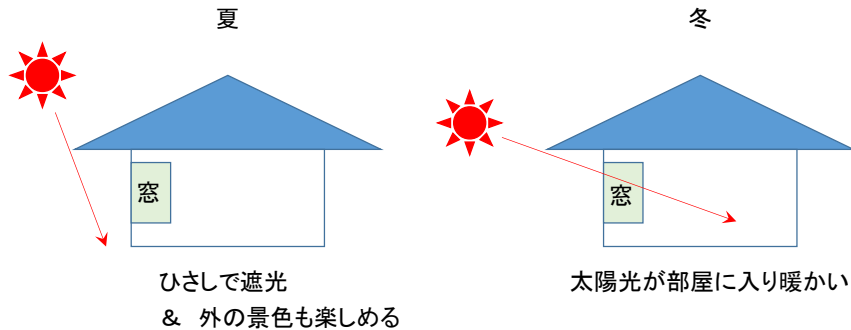


図2 遮光に関するひさしの効果

遮光可能な調光ガラスとしては、エレクトロクロミック（EC）方式、SPD（Suspended Particle Device）方式、ガスクロミック方式などが挙げられます。中でも、世界的に最も活発に研究が行われているのはEC方式です。これは電気で色が変わる物質（エレクトロクロミック（EC）物質）を用いた調光ガラスであり、遮光時の色や色変化の速度は用いるEC材料によって大きく変わります。物質の酸化状態がデバイス内で保持される限り、外部電力無しで遮光状態が続くため、低消費電力です。実用化例としてはボーイング787の窓が挙げられます。なお、遮光機能を持たない調光ガラスとしては、液晶を用いたデバイスがあります。これは、曇りガラス状態と透明状態が切り替わるので、会議室のパーティションなど主にプライバシーを守る目的で使用されます。

遮光を目的とした調光ガラスの従来の問題点の一つは、家のひさしと異なり、窓一面が遮光されるので、遮光された窓から外の景色は見えません。もし、遮光される部分やその面積を自由に変えることのできる調光ガラスであれば、家のひさしのように、遮光と眺望を両立することができると考えられます。

本グループではこれまで、鉄やルテニウムなどの遷移金属イオンを含む有機/金属ハイブリッドポリマーが、優れたEC特性（素早い色変化、色変化の繰り返し安定性が高い、豊富なカラーバリエーションなど）を有することを見出してきました。現在、更なる性能の向上と実用化に向けたデバイス応用に関して、JST-CRESTで「超高速・超低電力・超大面积エレクトロクロミズム」の研究課題に取り組んでいます。

研究内容と成果

今回、色変化の応答性に優れた有機/金属ハイブリッドポリマー（図3）をEC材料として用いることで、3Vの電圧印加により、透明部分と遮光部分がグラデーション変化する調光ガラスの作製に成功しました（図4）。グラデーション変化する途中で電力供給を止めると、そのグラデーションの状態が保持できます。電池を接続した側面から色変化するので、様々な遮光状態を作れます（図5）。

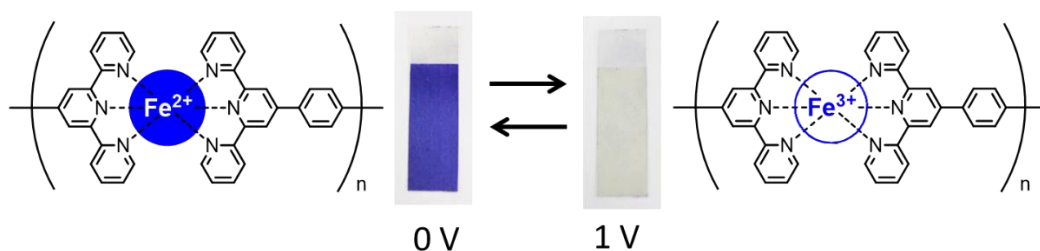


図3 今回使用した有機/金属ハイブリッドポリマーとそのエレクトロクロミック変化（ポリマーに含まれる鉄イオンの酸化状態（2価と3価）が電圧印加により変わることによって色が変わります）

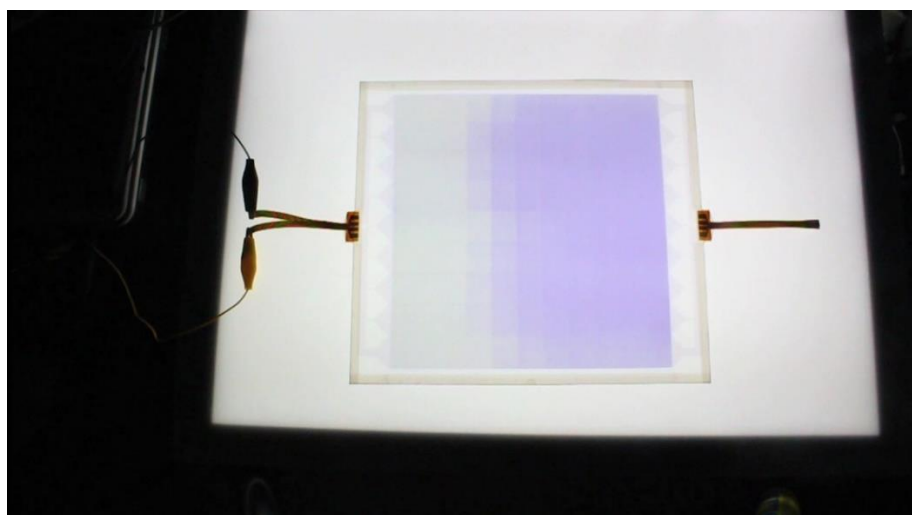


図4 グラデーション変化する調光ガラス（サイズ：20×20 cm）（左側が透明部分、右側が遮光部分）

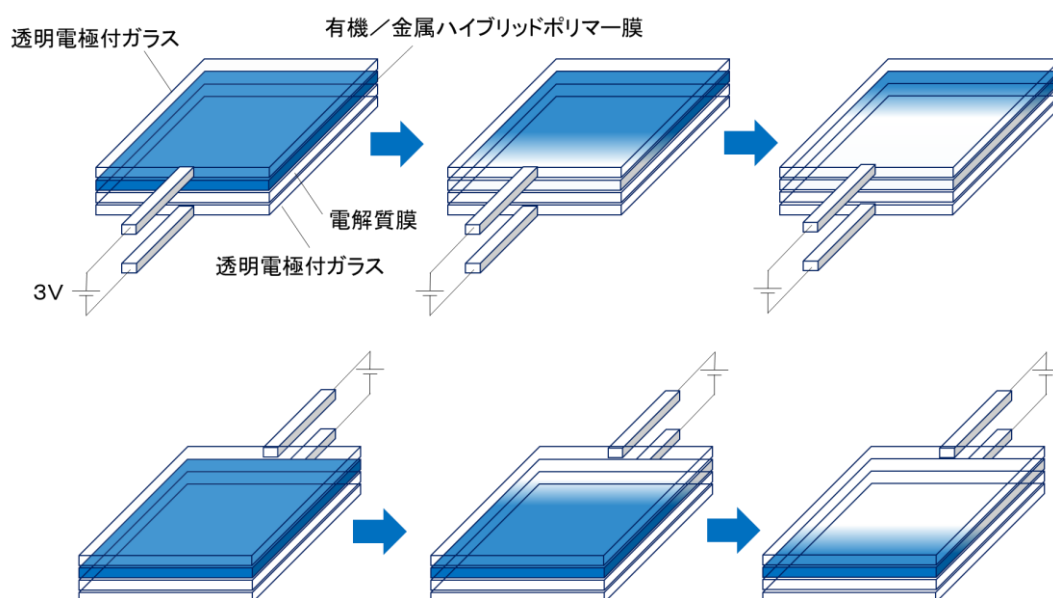


図5 デバイス構造と、電圧印加した際の色変化の模式図（電池を接続する位置に応じて、手前から奥への変化（上図）や奥から手前への変化（下図）を起こすことができる）

本有機/金属ハイブリッドポリマー膜は、遮光化に要する時間が0.31秒、透明化にかかる時間が0.58秒と非常に速いのが特徴です（電圧1.2V、膜面積1.0×1.5cmの場合）。また、透明化と遮光化の繰り返し耐久性も10万回を超えます。デバイスは、本EC材料と固体電解質⁽⁴⁾を2枚の透明電極付ガラスで挟んだ構造です。今回、本ポリマーの速い応答性を生かした電極設計を行いました。細かく分けられた透明電極をガラス上に作製し、分け部分極めて細い透明電極で接続しました（図6）（特許出願済み）。この極めて細い電極部分（接続部分）は非常に大きな配線抵抗となるので、図7のように一方向から電気を流すと、流す方向に沿って、電極の抵抗値が階段状に増える仕組みです。配線抵抗の増加は、各分けされた透明電極部分にかかる実効電圧を低下させるので、その結果、EC材料の色変化の速度が遅くなります。従って、電池をつないだ側から遠い場所ほど実行電圧が低下することで色変化が遅くなり、グラデーション変化が生じます。

試行錯誤の結果、3Vを電極間にかけるだけで、ガラス全体が遮光状態から透明状態までグラデーション変化し（変化時間：約80秒）、電池のプラスとマイナスを入れ替えると、今度は透明状態から遮光状態までグラデーション変化する（変化時間：約40秒）調光ガラス（サイズ：20×20 cm）（図4）の作製に成功

しました。

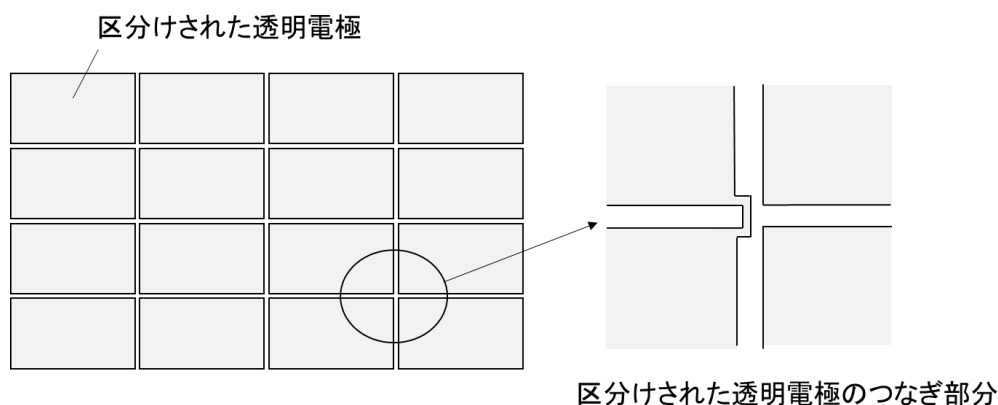


図6 透明電極の構造（区分けされた透明電極同士を細い透明電極でつないでいます）

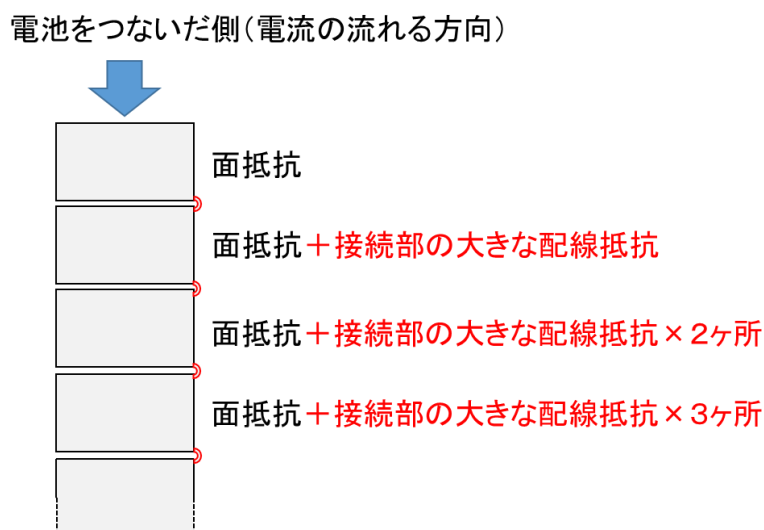


図7 電池をつなぐことで、透明電極内で抵抗値の階段が発生する仕組み

今後の展開

今回、有機／金属ハイブリッドポリマーの速い色変化特性を生かして、グラデーション変化する調光ガラスの作製に成功しました。今回の技術を活用することで、オートサンシェイド（自動遮光）機能を車のフロントガラスに付与して運転の安全性を高めたり、高層ビルの窓に導入して遮光による空調の省エネルギー化と眺望の両立を達成することで、快適で安全な暮らしへの貢献を目指します。そのために、今後、耐熱性や耐光性の性能向上や、色ムラの修正などの更なる開発を行い、高い機能性と信頼性を兼ね備えた調光ガラスの作製を達成する予定です。

用語解説

- (1) 調光ガラス
遮光状態を変えることができるガラス。
- (2) エレクトロクロミック特性（Electrochromic 特性（EC 特性））
電気化学的酸化還元により色が変わる特性。
- (3) 有機／金属ハイブリッドポリマー

金属イオンと有機配位子が錯形成することで合成される新しいポリマー（高分子）。金属から有機配位子への電荷移動吸収（MLCT 吸収）に基づいて着色する。ポリマー中の金属イオンを電気化学的に酸化還元すると、MLCT 吸収が消失／発現するために、消色／着色のエレクトロクロミック特性を示す。ポリマーの色は、含まれる金属イオンの種類や用いる有機配位子の構造によって変わる。鉄イオンを含むポリマーでは青色系、ルテニウムイオンを含むポリマーは赤色系、コバルトイオンを含むポリマーは黄色系、銅イオンを含むポリマーは緑色系の色を有する。また、コバルトイオンの酸化数を1価まで還元すると黒色になることを見出している。

(4) 固体電解質

カチオン（プラスの電荷を有するイオン）及びアニオン（マイナスの電荷を有するイオン）を多く含む固体層。本デバイスの場合、有機／金属ハイブリッドポリマーの電気化学的酸化に伴って生じるプラス電荷の増加を補償するためのアニオンの供給源。

本件に関するお問い合わせ先

（研究内容に関すること）

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 電子機能高分子グループ
グループリーダー 樋口 昌芳（ひぐち まさよし）

E-mail : HIGUCHI.Masayoshi@nims.go.jp

Tel : 029-860-4744 Fax : 029-860-4721

URL : <http://www.nims.go.jp/fmg/index.html>

早稲田大学 ナノ・ライフ創新研究機構
研究院教授 大橋 啓之（おおはし けいし）

Tel : 03-5286-8341

E-mail : k-ohashi@aoni.waseda.jp

学校法人 多摩美術大学 美術学部
生産デザイン学科プロダクトデザイン研究室
准教授 濱田 芳治（はまだ よしはる）

Tel : 042-679-5624

E-mail : hamada@tamabi.ac.jp

情報デザイン学科メディア芸術コース研究室
教授 久保田 晃弘（くぼた あきひろ）

Tel : 042-679-5634

E-mail : kubotaa@tamabi.ac.jp

（JST事業に関すること）

国立研究開発法人 科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ
中村 幹（なかむら つよし）〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's 五番町

Tel : 03-3512-3531 Fax : 03-3222-2066

E-mail : crest@jst.go.jp

（報道・広報に関すること）

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 経営企画部門 広報室
〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

Tel : 029-859-2026 Fax : 029-859-2017

E-mail : pressrelease@ml.nims.go.jp

国立研究開発法人 科学技術振興機構 広報課
〒102-8666 東京都千代田区四番町5番地3

Tel : 03-5214-8404 Fax : 03-5214-8432
E-mail : jstkoho@jst.go.jp

早稲田大学 広報室広報課
Tel : 03-3202-5454 Fax : 03-3202-9435
E-mail: koho@list.waseda.jp