



エレクトロクロミックデバイス用ポリマー材料

国立研究開発法人 物質・材料研究機構
樋口昌芳

1. エレクトロクロミック (EC) デバイスの現状と課題

エレクトロクロミズムとは、物質において電気化学的酸化還元により色が変わる現象を差し、40年以上前から材料・デバイス研究が行われている。これまでエレクトロクロミック (EC) 特性を示す物質として、酸化タングステンなどの無機材料、ビオロゲンや π 共役高分子などの有機材料が知られている(表 1)。これらの物質の一部は、ボーイング 787 の客室の窓 (調光ガラス) や、後続車のライトのまぶしさを低減させる車のバックミラー (防眩ミラー) として実用化されている。しかし、研究期間が長いにもかかわらず実用化に至った例は極めて少なく、またそれらの普及も限定的である。その理由の一つは、機能とコストのバランスが悪いことにある。基本的に、EC デバイスの機能は着色状態と別の着色状態 (あるいは無色状態) を電気で切り替えることである。無色透明状態になる材料を用いれば、電気で遮光状態 (着色状態) と透明状態を切り替えることができるガラス (調光ガラス) としての利用が期待される。一般に、調光を必要とするガラスは、オフィスの窓など日光のあたるところに設置される。従って、デバイスには耐光性や耐熱性が求められる。それら耐久性の観点では、酸化タングステンなどの無機系の EC 材料が適している。しかし、透明電極基板への無機材料の製膜には、真空蒸着装置など高額な製膜装置を必要とする。調光ガラスによる遮光の効果が体感するには、大きな窓に設置するの效果的だが、大きなガラスを製膜するためには高額な設備投資が必要になる。設備投資は製品の価格に跳ね返ってくる。一方、窓ガラスなどの建材は一般的に非常に安い。つまり、(性能が実感できる) 大きなサイズの調光ガラスの普及には、サイズが大きくなるにつれて価格がより高くなるというジレンマがある。

デバイスサイズが大きくなっても安価に製造するためには、roll-to-roll プロセスによるフレキシブル調光フィルム型デバイスの作製が考えられる。この場合、作製したフィルムデバイスを 2 枚のガラスで挟むことで調光ガラスとして使用する。しかし、roll-to-roll プロセスは、真空または高温での製膜を必要とする無機材料に使用できない。また、たとえ常圧かつ 100°C 以下の温度で製膜できたとしても、無機材料は高い結晶性を有する場合が多く、フレキシブルデバイスの曲げにより無機材料膜に細かいクラック (亀裂) が生じやすく、その結果デバイスの EC 性能が劣化する。従って、調光フィルムデバイスを作製しようとするなら、有機材料を選択するのが自然と言える。

しかし、エレクトロクロミック特性を示す有機材料は、無機材料以上に取り扱いが難しい。最も大きな問題点は耐久性の低さである。代表的な有機系エレクトロクロミック材料であるビオロゲンにしてもポリチオフェンにしても、電気化学的酸化還元により π 共役長を変化させることで色が変化する。 π 共役長の変化は分子構造の変化を意味するが、酸化または還元後の分子構造は元の構造に比べて水や酸素に対して反応性が高い場合が多い。つまり、有機材料自体が安定でも、電気化学的な酸化還元により不安定化する。そのため、着色と消色の繰り返し駆動、光、熱などにより徐々に材料劣化しやすい。ビオロゲン等の低分子系の有機材料においては別の問題点として、高い溶解性が挙げられる。高い溶解性のため、これらの材料は電解質溶液に溶解させて使用される。そのため、電解液が漏れ出