

感光体の物理過程と新しい展開

内藤 裕義 (ないとう ひろよし)

大阪府立大学 教授



電子写真のプロセスは、帯電、露光、現像、転写、定着から成立しているが、感光体で生起している物理現象には、光電荷生成、電荷輸送、局在準位での電荷捕獲などがある。感光体の特性向上や感光体の設計のためには、これら物理過程を理解する必要があった。

感光体として用いられていた非晶質カルコゲナイドや現在主流の有機半導体の光電荷生成効率、通常の無機結晶半導体とは異なり、印加電界に大きく依存する。低移動度半導体に共通した現象であるこのような光電荷生成効率は、弱電解質の電流-電圧特性を説明するため1932年にOnsagerにより提案された解離理論を用いることにより、定量的に解釈されている。光励起による電子・正孔対生成後、geminate再結合を免れた電子・正孔対の解離確率がOnsagerの解離理論により記述されている。1970年代から1980年代にかけて、非晶質Se (a-Se)、a-As₂Se₃、および、有機半導体であるフタロシアニン類、有機高分子であるpolyvinyl carbazoleなどの広範な物質の光電荷生成効率がOnsagerの解離理論により説明されている。

感光体の電荷輸送特性の評価にはtime of flight (TOF)法が用いられている。TOF法はドリフト移動度のみならず、キャリアの光生成効率、飛程、寿命、拡散係数、および試料内部の電界分布、局在準位のエネルギー分布を評価できる感光体と縁の深い測定法である。TOF法では、過渡光電流を測定し、解析することによりドリフト移動度を決定する。a-As₂Se₃で観測される光励起後単調に減少する光電流は分散型伝導として知られており、1970年代には、その解釈が試みられていた。1980年代に入ると分散型伝導はバンド端から指数関数的に減少する裾準位により生じる走行時間分散により理解できることが広く受け入れられるに至った。この解釈はmultiple trapping model (MTM)と呼ばれ、a-Si:Hや低温におけるa-Se、a-As₂Se₃の電荷輸送過程が明らかにされていった。

一方、1980年代に市場投入された有機感光体の電荷輸送層には、正孔輸送性低分子を絶縁性のバインダーポリマーに分散させた分子分散ポリマー(MDP)が用いられている。無機非晶質材料とは異なり、MDPの電荷輸送の

解析にはMTMで用いたバンド端の存在を前提とできず、hopping伝導をあからさまに取り入れる必要があった。このため、現在においてもかなり大胆な仮定の下でしか解析的な表式が得られていない。1980年代から1990年代にかけては、Monte Carlo simulationに基づいたGaussian Disorder model (GDM)が用いられてきた。GDMでは、単純立方格子上の各格子点に、ガウス分布に従うエネルギー的乱れと幾何学的乱れが存在し、それらが独立にキャリア移動に影響を及ぼすと仮定し、Monte Carlo simulationによる数値データから経験式を導出している。実験データからエネルギー的乱れと幾何学的乱れが評価できるが、エネルギー的乱れは、電荷輸送性分子の双極子と電荷との相互作用に起因することが明らかになっている。

感光体において、構造の不規則性、不純物などに起因する局在準位が与える影響で最も顕在化する現象は残留電位の上昇であろう。深い局在準位に捕らえられた電荷が空間電荷を形成し、露光後も表面電位が有限の値を保持する。残留電位と空間電荷との関係が簡単であるため、1980年代半ばより残留電位の減衰を解析することにより深い局在準位のエネルギー分布を解析する手法が開発されてきた。

感光体の物理過程に関する知見が有機発光ダイオード、有機トランジスタ、有機太陽電池の開発の礎になり、開発速度を加速している。低コスト、大面積、軽量などの特長を有するこれら有機デバイスは、次世代のディスプレイ、照明、太陽電池として期待されている。一方で、有機感光体は、大気下でも安定に動作し、長寿命である極めて完成度の高い有機デバイスである。では、有機感光体は完成された有機デバイスであろうか。例えば、年々高い特性が求められる感光体の開発効率を飛躍的に向上させるため、上述の物理過程に基づき、シミュレーション技術で感光体特性を評価できないか。コンピュータの中で分子凝集体を作り、各分子のエネルギー固有値、分子間のtransfer integralを逐次計算することにより局在準位分布や電荷輸送特性を評価し、感光体特性の評価を可能にするのである。現状では夢物語であるが、今後の計算機科学の進展にともなう新しい展開として期待したい。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。