

担当

実用化ステージを迎えた 有機光エレクトロニクス

1 基礎研究から実用化へ向かって

電気伝導性の視点から物質を分類した場合、絶縁体、半導体、金属に分類することができる。一般に、炭素骨格からなる有機化合物は、プラスチック材料に代表されるように“絶縁体”として機能する。しかしながら、絶縁体であると考えられている有機化合物を0.1ミクロン(1/10,000ミリ)程度の極薄膜に形成することで事態は一変する。この有機薄膜に10Vの電圧を印加すると、陰極と陽極から電子(マイナスの電流)と正孔(プラスの電流)がそれぞれトンネル注入される。そして、注入されたキャリアは電界勾配に従って対極へ移動し、その移動の途中で両者が(再)結合するとエネルギーの高い状態(励起子)が生成され、その励起状態から基底状態に戻る際に光が放出される。これが有機エレクトロルミネッセンス(有機EL)である。超薄膜化する意味は、有機薄膜に 10^6V/cm (1cmに100万V)という超高電界を発生させることである。そのような状況下では、電極から有機薄膜に電荷注入が生じ、注入された電荷は分子間を容易に動くことができるようになるのである。極限状態では、まさに、常識では考えられない機能が発現する。

有機化合物の最初のELは、1965年にW. HelfrichとW.G.Schneiderによって、アントラセン単結晶において初めて観測されている。この当時、実は、液晶の黎明期でもあったが、Helfrichは液晶の研究も同時に進め、TN液晶の発明者となっていることは興味深い。この当時、有機ELと液晶のどちらが表示素子として優れているのかの検討がなされており、当時の文献から技術者たちの葛藤が伺える。その後、表示素子としては、液晶の研究に焦点が当てられ、有機ELの研究は、地道に単結晶の研究から低電圧を実現するために超薄膜タイプに研究がシフトしていった。そして、液晶に対して20年の遅れを取ってしまったが、約50年の月日を経て、現在、有機ELは実用化を迎えている。特に1990年以降、急速に有機ELの研究開発が加速され、2000年以降、携帯電話やMP3プレーヤー等の小型表示素子からフラットパネルTVへの実用展開が進められている。有機ELの開発によって、強電界印加下において、隣接する分子間の π 電子軌道の重なりが十分あれば、電荷は分子間を移動することができ、いわゆる有機化合物からなる薄膜を“あたかも半導体薄膜”として利用することが可能であることが確立されたのである。まさに新しい半導体、“有機半導体”の登場である。

有機半導体が最初に商品化された電子デバイスは、毎日、オフィスで使われているコピーやレーザープリンターの心臓部である“電子写真感光体(Organic Photo-conductor: OPC)”である。OPCは、感光体表面に形成された帯電層に光を照射することで有機半導体層に電流が流れ、潜像が形成される。現在では、OPCはレーザープリンターやコピーの飛躍的な普及に伴い、一大産業となっている。実は、有機ELで使われている材料は、まさにOPCで開発された材料の延長線上にある。よって、OPCの分子設計を足がかりに、1990年代初頭から様々な分子骨格が設計・合成され、90年代においては、蛍光デバイスを中心とした材料・デバイス開発が進み、2000年前後からリン光デバイスへ材料・デバイス開発が進展し、現在に至っている。特に、有機ELにおける材料開発のポイントは、電子輸送材料であり、有機ELによって、有機物で電子を流す物質の分子設計が確立されたのである。そして、今、有機ELの研究成果を基点として、有機太陽電池、有機トランジスタ、有機メモリー、有機半導体レーザー等の次世代有機デバイスに関する研究開発が幅広くスタートしている。

このような有機光エレクトロニクスの研究展開において、有機ELの研究は、初めて mA/cm^2 オーダーの電流密度を有機薄膜に本格的に通電して動作させたデバイスであり、“有機化合物が半導体として真に活用できる”と感じさせる、まさに有機光エレクトロニクスの中核デバイスである。そして、有機ELで開発された新しい有機半導体材料、デバイス物理、デバイス工学は、次世代のデバイス創製に生かされようとしている。2000年以降、急速に指数関数的に発表数が増大しており、2000年以降、“Organic Electronics”という言葉が学問的に離陸したことのみならず、新たな産業としての地位を築き始め、一定

安達 千波矢

九州大学大学院工学府応用化学部門 教授
最先端有機光エレクトロニクス研究センター(OPERAS) センター長
未来化学創造センター(CFC) 教授

の市場規模を形成し始めた時期とも一致する。今、まさに“新しい産業領域が開花”したのである。

2 次世代有機デバイスへの展開

有機 EL デバイスは、自発光型、面状発光、大面積化、高画質、高効率などの多くの優れた基本特性を有している。これまでの 20 年間の研究開発の期間を経て、液晶を凌駕するデバイス特性も得られている。しかしながら、高性能化のためには、発光材料として Ir や Pt などの希少金属を含有するためにコスト高であること、安定な青色発光が未だ困難であること、さらに、100nm 程度の有機超薄膜を用いるためにデバイスの安定性や量産性に問題があり、折角の有機半導体デバイスの優れた素子特性を十分に引き出すことができている状況にある。さらに、薄膜からの光取り出し効率に関しても、フォトニック結晶や光散乱体の導入によって様々な検討がなされている。また、有機 EL の最大の問題点である中小型ディスプレイとして必要とされる高精細化に関しては、数 10 ミクロンオーダーでの RGB の塗り分けが必要とされており、革新的なプロセス開発が必要である。現在、次世代の有機 EL デバイスを実現するための視点として、1) りん光発光を用いない高効率発光の実現、2) 分子が持つ本質的光・電子異方性の活用、3) 高精細 RGB 塗り分けプロセスの開発、4) 低コストプロセスの創出が必要とされている。最近では有機薄膜太陽電池 (OSC) に関する研究開発が活発化している。OSC の研究分野も有機 EL の様に長い歴史を持ち、1970 年代から実験的な検討が進められてきたが、近年、産学間での包括的な研究が進み、エネルギー変換効率 10% の達成が視野に入ってきた。今後、工業化を見据えた材料・プロセス開発が進むものと期待される。また、有機材料の材料設計の多様性を活用した単一材料における機能の複合化に関する研究ならびに、有機材料のエレクトロニクスとしての極限性能を追及した研究が増える傾向にある。前者では、有機磁性材料を活用した有機スピントロニクスに関する研究が新たなターゲットとなる予兆を見せている。後者では、有機レーザーや有機メモリへの取り組みが増加傾向にあり、特に有機レーザーは有機エレクトロニクスの極限への挑戦として注目を集めている。

このような有機デバイスの性能向上に対する研究開発に加え、実用化の視点からは、デバイスの信頼性・安定性追求のための性能評価技術に関する研究が数多くなされている。そのためには、高度なデバイス作成プロセスの開発と共に、微量不純物解析、界面評価にかかる有機界面電子状態解析、ナノメーターオーダーでの薄膜凝集状態解析など高度な分析技術が必要とされている。また、有機半導体デバイスは 100nm の膜厚を扱う電子デバイスであり、そのような薄膜状態におけるデバイスの劣化機構を電気的、光学的に非破壊で行う手法の解析は急務であり、熱刺激電流法、インピーダンス解析、高速時間分解発光減衰解析などが検討されている。

3 最後に

有機光エレクトロニクスは、省エネルギー、低コスト、大面積、フレキシブル、低環境負荷等を実現する次世代のエレクトロニクスの切り札である。有機分子の無限の分子設計の可能性を生かして、新しい有機半導体材料の創製を進めて行くことが、新しい日本の科学技術を支えていくと信じている。私たちのライフスタイルを、もっと地球に優しい形に変えていかなければならない。有機光エレクトロニクスで、そのことが実現できると信じている。



近未来の有機デバイスの概念図



略歴

- 1986年 中央大学理工学部物理学科卒業
- 1986年 九州大学大学院総合理工学研究科材料開発工学専攻修士課程入学
- 1988年 九州大学大学院総合理工学研究科材料開発工学専攻博士後期課程進学株式会社リコー入社 化成品技術研究所研究員
- 1991年 九州大学繊維学部機能高分子学科学科助手
- 1996年 米国 Princeton University, Center for Photonics and Optoelectronic Materials (POEM) 研究員
- 2001年 千歳科学技術大学光科学部物質光科学科 助教授
- 2004年 千歳科学技術大学光科学部物質光科学科 教授 昇任
- 2005年 国立大学法人 九州大学未来化学創造センター 教授
- 2010年 国立大学法人 九州大学最先端有機光エレクトロニクス研究センター センター長九州大学応用化学部門 教授 (兼任:未来化学創造センター教授) 5月より、主幹教授現在に至る

その他

- 1991年 工学博士の学位授与 (九州大学) 論文題名「Studies on Organic Electroluminescence Devices」