

有機半導体材料及び高性能有機 EL 素子の開発

Development of Organic Semiconductor Materials and High-Performance Organic Light Emitting Diodes



城戸淳二氏は山形大学において1989年より有機電子・光機能材料に関する研究を行っているが、特に、有機エレクトロルミネッセント素子(有機EL素子)の研究に注力し、基礎研究から工業化に至るまで幅広い分野で独創的な成果をあげた。以下に同氏の主な業績を紹介する。

1. 希土類金属錯体の電界発光

同氏は、希土類金属イオンが非常に鋭い発光スペクトルを有し、純度の高い発光を示すことにいち早く着目し、これら錯体を用いた有機EL素子の開発を世界に先駆けて行った。また、希土類金属錯体の発光は従来の蛍光色素とは異なり、f-f遷移由来の励起多重項状態からの発光であることから、有機EL素子の内部量子効率が、理論的には100%であると初めて予測した。当時は有機蛍光色素を用いた場合の内部量子効率が、三重項励起子の生成により25%と言われていた。現在では重原子効果を利用したイリジウム錯体などリン光材料を用いて、有機EL素子の内部量子効率が100%に達する極めて高効率なものまで開発されるに至っている。

2. 高性能電荷輸送材料

n型やp型の有機半導体開発では、ピリジン環を有するn型半導体材料において、水素結合による配向効果の違いを明らかにし、分子間相互作用を利用した分子配向による高移動度化を提案した。現在ではピリジン環含有材料が一般的に使用されるようになり、有機EL素子の駆動電圧の低減に大きく貢献した。また、p型半導体材料では、例えばヘキサフェニルベンゼン骨格を有するアリルアミン誘導体において、その骨格のねじれにより、HOMO-LUMOギャップが拡大し、リン光発光材料などを用いた素子において、高効率化、長寿命化を達成した。以上のような同氏らの分子設計指針は、有機半導体材料の開発の加速に大きく貢献している。

3. 白色発光素子の開発

同氏は、白色有機ELの分野で、高分子分散型、積層型、単層型などの種々の素子構造で白色発光を実現し、さらには、蛍光灯並の高輝度発光を得ることに成功した。例えば、異なる発光色を有する発光層間に、HOMOレベルの深い1,2,4-トリアゾール誘導体をホールブロック層として挿入して、電荷再結合領域を制御することにより、発光色を混色するという極めて斬新な技術を考案した。その後、ホールブロック層や電子ブロック層など、電荷の移動を制御する技術が一般的になり、有機EL素子の高性能化に用いられている。

4. 化学ドーピングによる低駆動電圧化

有機EL素子の低電圧駆動化、すなわち省電力化に対しても、多く

の重要な研究を行っている。その1つが、電子輸送性のn型有機半導体をアルカリ金属などでドーピングする化学ドーピング法である。例えば、有機EL素子の陰極界面に応用し、陰極電極であるアルミニウムからドーピングされたn型有機半導体材料のギャップ状態を介して電子が注入される、いわゆるオーミック接合を実現し、極めて低い電圧で発光する素子構造の開発に成功した。同様に、p型ホール輸送性の材料をルイス酸でドーピングする方法も考案し、現在では、p-i-n接合有機EL素子と呼ばれ、ディスプレイ用有機EL素子に広く使用されている。また、電子注入材料として、アルカリ金属に変わる金属錯体系も考案し、今では実用化されているディスプレイの陰極界面に広く使用されている。

5. 高輝度、長寿命素子構造の開発

同氏は、高輝度での長寿命化に関しても重要な技術の開発に成功している。これは、有機EL素子の発光ユニットを重ねて多段化するタンデム構造であり、それにより低い電流密度でも高い輝度を得ることが可能になった。特に発光ユニット間を接続する中間層を、電子供与性材料と電子受容性材料の組み合わせによる電荷発生層としたのは、極めて独創的かつ簡便な方法であり、有機EL素子の高輝度化、長寿命化にとっては、不可欠の技術となっている。これにより、従来不可能とされていた高輝度を必要とする照明用の光源としても白色有機EL素子が応用できるようになり、さらに大型有機ELテレビは、高輝度タンデム白色素子とカラーフィルターの組み合わせにより製造されており、同人の大型有機ELテレビ実用化への貢献は絶大である。

6. オール塗布型素子の開発

次世代の有機EL素子の分野において、オール塗布型素子の開発に対しても積極的に取り組んでいる。真空技術を用いない、印刷手法のみでの高性能有機ELパネルの実用化に必要な基盤技術の研究を行っており、特に、先に述べたタンデム型の素子においては、積層する薄膜の総数が多く、これまでは真空成膜でのみ可能と考えられてきた。しかし、同氏は有機半導体材料の溶解性を分子量や水素結合による相互作用、さらには酸化亜鉛などの無機微粒子などを組み合わせることにより積層化を可能にし、塗布型タンデム素子を世界に先駆けて開発している。

以上のように、城戸氏は、有機半導体材料、デバイスの研究開発を通じて、有機エレクトロニクス分野、特に有機ELの研究開発、産業化に尽くしたものであり、その功績は誠に顕著である。よって、同氏の業績は日本化学会賞に値するものと認められた。