

究極の省電力ディスプレイ実現に向けた高効率・長寿命有機 EL デバイスの研究開発 (122103006)

Development of Highly Efficient and Stable Organic Light-Emitting Diodes Toward Realization of Display with Extremely Low-Power Consumption

研究代表者

深川 弘彦 NHK 放送技術研究所

Hirohiko Fukagawa NHK Science & Technology Research Laboratories

研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

概要

本研究開発では究極の省電力ディスプレイを実現するために、現在実用化されている蛍光有機 EL デバイスに比べ約 4 倍の高効率化を可能とするリン光有機 EL デバイスの長寿命化に適した革新的発光材料を開発した。これまで解明されていなかったリン光デバイス内の発光挙動を明らかにし、実用化へのブレイクスルーとなる高効率かつ長寿命な発光材料の設計指針を構築した。

1. まえがき

有機エレクトロルミネッセンス(EL)は次世代のディスプレイ表示技術として注目されており、応答速度が早い・高コントラストといった特長を持つ。既に実用化されている蛍光発光を利用した有機 EL デバイスでは、デバイス内に注入された電気エネルギーの約 25%を光として取り出せるが、残りは全て熱として放出されており、省エネルギーの観点からデバイスの高効率化が課題である。これに対し、リン光発光材料を用いたデバイスは、原理的には電気エネルギーのほぼ 100%を光として取り出すことができる。しかし、リン光デバイス内における発光挙動が完全に解明されておらず、これが高効率かつ長寿命な発光材料の開発のボトルネックになっていた。特に、ディスプレイのフルカラー化に必要な緑色・青色用の発光材料は、実用的な耐久性を有する材料がほとんど報告されていなかった。

本研究開発では、まだ解明されていなかったリン光デバイス内の発光挙動を直接観測する手法を新たに確立し、高効率・長寿命なリン光デバイス内における発光過程を直接観測することに成功した。この観測結果を基に、リン光デバイスの高効率・長寿命化に適した発光層材料を開発し、デバイス内部の量子効率がほぼ 100%かつ実用的な駆動寿命を兼ね備える緑色リン光デバイスを実現した。また、青色デバイスの高性能化に適した発光層材料も開発した。

2. 研究開発内容及び成果

以下にリン光デバイス内の発光挙動について説明する。リン光デバイスの発光層は、電気エネルギーを得て励起状態になるホストと、ホストからのエネルギー移動により発光するリン光材料(ゲスト)から構成されるが、デバイス内

のホスト材料が電気励起された際、一重項励起状態(S_1)と三重項励起状態(T_1)が 25%:75%の割合で生成する。図 1-a に示す通り、一般的なホスト(従来ホスト)を用いた場合には、 $S_1 \rightarrow S_1 \cdot T_1 \rightarrow T_1$ にエネルギー移動することでリン光発光が得られる。リン光発光層において、励起状態の 25% を占める S_1 - S_1 間のエネルギー移動は、ホスト-ゲスト間の距離がある程度離れていても十分にエネルギー移動が起こる Förster 機構によるものであり、非常に速い速度での高効率なエネルギー移動が期待できる。一方、励起状態の 75% を占める T_1 - T_1 間のエネルギー移動過程は Dexter 機構によるものとされているが、このエネルギー移動過程について詳細に調べる手法がなく、このエネルギー移動機構がデバイスの効率・寿命に及ぼす影響について明らかにした報告はなかった。

本研究開発では、ホストに依存したデバイス特性・デバイス内のエネルギー移動過程を詳細に調べた。その結果、図 1-b に示すように、電荷の再結合により生成した T_1 が S_1 に逆項間交差することで、ほぼ全ての励起状態が Förster 機構によりエネルギー移動でき、長寿命なデバイスが実現できることを見出した。図 1-c にはホスト材料に依存した緑色デバイスの駆動寿命データを示す。図 1-b に示す新ホスト-1 を用いることで、従来ホストに比べ約 20 倍の寿命が得られている。独自に開発した評価手法によりこの長寿命なデバイス内の発光過程を調べた結果、 T_1 から S_1 への逆項間交差を介することで、100 ns 以下の短い時間で全ての励起状態がゲストに移動していることが分かった。Dexter 機構によるエネルギー移動の場合には、一般的に不安定な状態とされるホストの T_1 寿命が μs オーダーであるのに対し、新ホスト-1 を用いたデバイス内では、その T_1 の存在寿命が短く、これによりホストの分解が抑制され、デバイスの長寿命化につながったと言える。

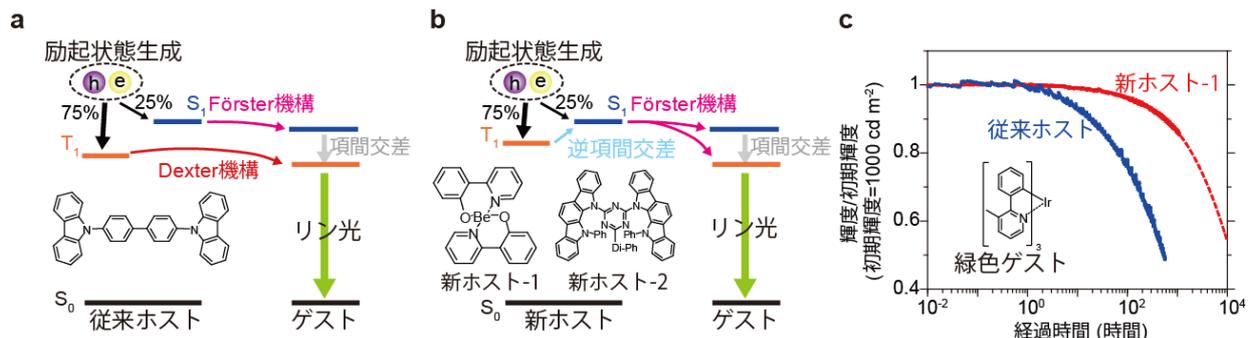


図 1 a, b:従来ホスト,新ホストを用いたデバイス内の発光過程, c: 各種ホストを用いた緑色デバイスの駆動寿命データ

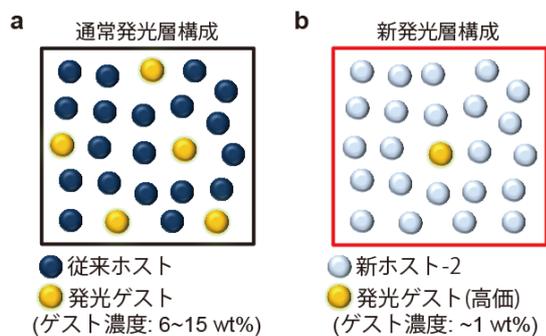


図 2 a: 従来ホストを用いた場合の最適発光層構成
b: 新ホストを用いた場合の最適発光層構成

以上の通り、 S_1 と T_1 のエネルギー差が小さく、室温で T_1 から S_1 に逆項間遷移が可能な熱活性化遅延蛍光材料が、高効率・長寿命なデバイスが実現できるホストに好適であることが分かった。さらに、本研究では、この Förster 機構によるエネルギー移動の有効距離が長いことに着目した。従来ホストを用いた場合には、Dexter 機構が支配的であり、エネルギー移動の有効距離がそれ程長くないため、十分な特性を得るためには高価な希少金属を含むリン光ゲストを 6~15 重量%発光層中にドーピングする必要があった(図 2-a)。これに対し、Förster 機構のエネルギー移動を積極的に利用できる新ホストを用いたデバイスでは、ゲストの濃度を大幅に減らせると考えた(図 2-b)。そこで、各種ホストを用いデバイス特性を評価した結果、図 1-b 中の新ホスト-2 を用いた場合には、ゲスト濃度が 1 重量%でも約 100%の内部量子効率と共に、図 1-c 中の新ホスト-1 と同等の長い駆動寿命が得られた。熱活性化遅延蛍光材料をホストに用いることで、高効率・長寿命なデバイスを低コストで実現できることを見出した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

先述の通り、本研究により、高効率かつ長寿命なリン光デバイスを実現するための明確な設計指針が得られた。その主な特長は以下 3 つである。

- ①通常の蛍光材料に比べ約 4 倍の発光効率が得られるリン光デバイスで実用的な駆動寿命を実現。
- ②リン光材料の使用量をこれまでの 1/6 以上減らせる。
- ③リン光材料用ホストに熱活性化遅延蛍光材料を用いる。

①により、低炭素社会に適した省電力なデバイスの実用化が見込める。既に携帯のディスプレイ等に実用化されている有機 EL デバイスの大部分は蛍光材料を使用したものであるため、これを長寿命なリン光デバイスに置き換えることで、ディスプレイの消費電力を大幅に削減できる。

②により、省電力な有機 EL デバイス関連機器の低コスト化が見込める。リン光材料は重金属である Ir や Pt を含むため、その材料コストが課題とされていた。しかし、本研究により、リン光材料の使用量を大幅に減らすことができることが明らかになったため、省電力なデバイスを幅広く普及させることが可能となる。また、世界的に問題となっている、希少金属の枯渇問題の改善も見込める。

③については、新規材料開発の産業創出が見込める。熱活性化遅延蛍光材料は、発光材料として精力的に研究が行われてきた。しかし、リン光材料のホストに適した熱活性化遅延蛍光材料の設計指針は得られていない。今後これを明らかにすることで、多くの新規材料の開発が見込める。

4. むすび

本研究開発で得られた成果により、高効率かつ長寿命な有機 EL デバイスを低コストで容易に作製することが可能となる。これにより、低消費電力で環境にやさしい大画面高精細ディスプレイや、長時間使用可能なモバイル情報端末の実現が期待できる。

また、本研究開発では、長寿命な有機 EL デバイス内の発光機構を世界で初めて詳細に解析することができ、デバイスの特性とデバイス内の発光機構を直接関連付けることに成功した。これまでの有機 EL デバイスの高性能化は、材料開発・デバイス評価のみに特化していたが、基礎的な発光現象解析とデバイス特性を関連付けることができ、デバイス高性能化の研究に一石を投じることができた。さらに、開発した解析手法は今後、有機 EL デバイスの長寿命化に大きく貢献できるのみならず、励起状態が関与する有機太陽電池等の有機デバイス内の解析にも応用することができる。

【誌上発表リスト】

- [1] H. Fukagawa, T. Shimizu, Y. Kiribayashi, Y. Osada, T. Kamada, T. Yamamoto, N. Shimidzu, T. Kurita, “Molecular Design of Hole-Transporting Material for Efficient and Stable Green Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes” *Applied Physics Letters*, Vol.103 p.143306 (2013 年 10 月 4 日)
- [2] H. Fukagawa, T. Shimizu, T. Kamada, Y. Kiribayashi, Y. Osada, M. Hasegawa, K. Morii, T. Yamamoto, “Highly Efficient and Stable Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes Utilizing Reverse Intersystem Crossing of Host Material” *Advanced Optical Materials*, Vol.2 pp.1070-1075 (2014 年 8 月 4 日)
- [3] H. Fukagawa, T. Shimizu, T. Kamada, S. Yui, M. Hasegawa, K. Morii, T. Yamamoto, “Highly efficient and stable organic light-emitting diodes with a greatly reduced amount of phosphorescent emitter” *Scientific Reports*, Vol.5 p.9855 (2015 年 5 月 18 日)

【申請特許リスト】

- [1] 深川弘彦、清水貴央、有元洋一、森井克行、長谷川宗弘、有機エレクトロルミネッセンス素子及びこれを用いた表示装置、照明装置、日本、2013 年 9 月 24 日
- [2] 深川弘彦、清水貴央、化合物および有機エレクトロルミネッセンス素子、日本、2013 年 11 月 25 日
- [3] 深川弘彦、清水貴央、高橋純平、新内聡暢、土屋和彦、化合物および有機エレクトロルミネッセンス素子、日本、2015 年 3 月 19 日

【報道掲載リスト】

- [1] “有機 EL パネル省電力部品開発”、日本経済新聞、2012 年 9 月 5 日
- [2] “劣化しにくい有機 EL 部品”、日経産業新聞、2013 年 5 月 30 日
- [3] “極めて少ない量の発光材料で実現”、電波タイムズ、2014 年 9 月 22 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- [1] URL:
http://www.nhk.or.jp/pr/marukaji/pdf_ver/339.pdf
- [2] URL:
https://www.nhk.or.jp/pr/marukaji/pdf_ver/351.pdf
- [3] URL:
http://www.nhk.or.jp/pr/marukaji/pdf_ver/380.pdf