

「有機発光機構を用いた高効率照明技術の開発 プロジェクト」

事業原簿(公開)

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部
-----	--

—目次—

概 要

プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について	I - 1
1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I - 1
1.1 NEDO が関与することの意義	I - 1
1.2 実施の効果（費用対効果）	I - 4
2. 事業の背景・目的・位置づけ	I - 7
2.1 事業の背景	I - 7
2.2 事業の目的	I - 8
2.3 事業の位置づけ	I - 8
II. 研究開発マネジメントについて	II - 1
1. 事業の目標	II - 1
2. 事業の計画内容	II - 1
2.1 研究開発の内容	II - 1
2.2 研究開発スケジュール	II - 7
2.3 研究開発予算	II - 8
2.4 研究開発体制	II - 9
2.5 研究開発の運営管理	II - 10
2.6 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性	II - 13
3. 情勢変化への対応	II - 14
4. 今後の対応	II - 15
III. 研究開発成果について	III - 1
1. 事業全体の成果	III - 1
2. 研究開発項目毎の成果	III - 4
IV. 実用化、事業化の見通しについて	IV - 1
1. 実用化、事業化の見通し（有機 EL 照明）	IV - 1
●エネルギーイノベーションプログラム基本計画（抜粋）	添付資料-1
●プロジェクト基本計画	添付資料-8
●技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）	添付資料-16
●事前評価関連資料	添付資料-20
●特許論文リスト	添付資料-26

概要

最終更新日

平成 22 年 7 月 6 日

プログラム (又は施策)名	エネルギーイノベーションプログラム				
プロジェクト名	有機発光機構を用いた 高効率照明技術の開発	プロジェクト番号	P07009		
担当推進部/担当者	新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 高井 伸之, 工藤 祥裕 (平成 21 年 7 月～平成 22 年 9 月現在) 担当者氏名 小高 一紀 (平成 19 年 9 月～平成 21 年 6 月)				
0. 事業の概要	民生部門のエネルギー消費は産業部門や運輸部門に比較して大きく増加している。特に家庭やオフィスなどの生活空間で消費されるエネルギーのうち、照明用途のエネルギー消費はそれぞれ 15%、25%という高い割合を占める。エネルギー消費削減のため、生活照明として広く使用される蛍光灯照明などを代替可能で高性能な光源として、有機発光機構を用いた面状光源の期待が大きい。一方、生活照明用途の蛍光灯では高演色型の割合が増加しており、家庭用途に広く消費される環形蛍光灯のうち 90%以上を高演色型が占める。このような背景から高効率且つ低コストな有機 EL 照明光源の早期実用化に向けて、高演色化技術及び製造プロセス技術を確認する研究開発を本事業にて取り組む。この技術開発により、有機 EL 照明の早期実用化を図り、民生部門の省エネルギー化を促進する。				
I. 事業の位置付け・必要性について	まだ未成熟段階で開発リスクが高いながら今後の日本を代表する基盤技術として有望な有機 EL 照明光源の技術開発を行うことにより、エネルギー消費の高い民生部門の照明分野への有機 EL 照明の早期普及を実現し、省エネルギー化を推進する。				
II. 研究開発マネジメントについて					
事業の目標	市販されている蛍光灯を上回る高演色性を有する高効率有機 EL 照明光源を実現するための高演色性光源技術および低コスト化を促進する製造プロセス技術を開発する。 具体的には、デバイス技術開発として平均演色評価数 (Ra) 90 以上の高演色性の白色面発光を有し、輝度 1,000 cd/m ² 且つ発光効率 35 lm/W 以上、輝度半減寿命 4 万時間以上の有機 EL 照明光源を 10 cm 角の基板サイズで実現する。 また製造プロセスの観点では、薄膜形成技術として膜厚 30 nm ± 3% 以下の有機層を 200 nm/秒以上の速度で均一に成膜可能で、成膜面周囲の不均一領域幅を 5 mm 以下とする有機 EL の薄膜形成を実現する。加えて高速蒸着技術により材料使用効率 70% 以上、発光層成膜速度 8 nm/秒以上、基板温度 100℃ 以下の蒸着プロセスを実現する。さらに高放熱薄型封止技術により、保管寿命 5 万時間以上を実現する有機 EL 照明光源を実現する。				
事業の計画内容	主な実施事項	H19FY	H20FY	H21FY	総額(百万円)
	① 生活照明を代替する高性能照明光源の開発(略称:デバイス技術開発)				
	(1)高演色性マルチユニット素子構造技術開発	→			735
	(2)有機 EL の寿命支配要因の研究	→			53
	② 高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発(略称:プロセス技術開発)				
	(1)大気圧下薄膜層形成技術の開発	→			262
	(2)省資源製造プロセス技術の開発	→			560
(3)高放熱型封止プロセス技術の開発	→			26	
開発予算 (会計・勘定別に 事業費の実績 額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H19FY	H20FY	H21FY	総額(百万円)
	一般会計	—	—	—	—
	特別会計(本予算) (一般・電源・需給の別)	360 (需給・実績)	361 (需給・実績)	343 (需給・実績)	1,064
	加速予算 (成果普及費を含)	0	225	347	572
	総予算額(実績)	360	586	690	1,636

開発体制	経産省担当原課	商務情報政策局情報通信機器課	
	プロジェクトリーダー	パナソニック電工(株) 菰田 卓哉	
	委託先*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	パナソニック電工(株)、出光興産(株)、タツモ(株)	
情勢変化への対応	<p>以下の情勢変化の対応を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●連続運転対応蒸着制御技術開発実現に向けた効率化・確実化のために、平成 20 年 4 月、緻密な蒸着制御技術を保有する長州産業株式会社と共に共同研究先として参加するよう、研究開発体制を強化した。 ●LED 等の次世代照明の長寿命化、海外企業による研究開発の進展と実用見通し、本事業の研究進捗状況を鑑みて、実用化普及加速に向けて、加速資金を投入して目標の高度化見直し(当初の寿命目標 1 万時間→2.5 万時間(平成 20 年 7 月)→4 万時間(平成 21 年 4 月)、薄膜層形成において不均一領域 5mm 以下の目標追加) 加えて、補正予算により有機 EL パネルの品質安定生産を実現する不良要因解析を行った。 		
評価に関する事項	事前評価	平成 19 年度実施	担当部 電子・材料・ナノテクノロジー部
	事後評価	平成 22 年度 事後評価実施	
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>研究開発項目①「生活照明を代替する高性能照明光源の開発」</p> <p>(1)高演色性マルチユニット素子構造の技術開発 マルチユニット素子光学設計技術の開発、光取り出し技術の開発、高性能電子輸送材料の開発等を行い、目標を上回り、平均演色評価数Ra=95、輝度 1,000 cd/m²、効率 37 lm/W、輝度半減寿命 4 万時間を達成し、基板サイズ 10 cm 角の有機EL照明光源で実証した。</p> <p>(2)有機ELの寿命支配要因の解明 有機層の界面部の膜質変化を分析・評価して、各プロセス処理における膜密度と膜特性の相関を解明した。また界面を備える素子を試作し、ルイス酸を用いた複合的界面処理により長寿命化を実現可能であることがわかった。</p> <p>研究開発項目②「高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発」</p> <p>(1)大気圧下での薄膜層形成技術の開発 均一な薄膜層形成を実現する方式を開発して、目標である膜厚 30 nm±3%、200 nm/秒以上の搬送速度、不均一領域幅 5 mm 以下の薄膜形成を達成した。</p> <p>(2)省資源型の高速蒸着プロセス技術の開発 共蒸着源を適用した高速蒸着プロセス技術を開発して、目標である材料使用効率 70%以上、発光層成膜速度 8 nm/秒以上、基板温度 100 °C 以下での省資源型蒸着を達成した。</p> <p>(3)封止プロセス技術の開発 薄型封止方式を開発して、目標である初期輝度 1,000 cd/m² 以上で輝度半減寿命 4 万時間以上、保管寿命 8 万時間以上の品質を達成した。本目標を 10 cm 角以上の有機 EL 照明光源で実証した。</p>		
	投稿論文	「査読付き」11 件	
	特許	「出願済」24 件、「登録」0 件、「実施」0 件(うち国際出願 0 件)	
	その他の外部発表(プレス発表等)	フランクフルト Light+Building2010 展示会出展(平成 22 年 4 月)など 20 件	
	Ⅳ. 実用化、事業化の見通しについて	<p>計画終了後は本技術開発の成果に基づき、有機 EL 照明の高演色性付加価値を生かした装飾照明などの新規市場に向けて平成 23 年度からのサンプル供給・製品化を予定。</p> <p>今後、本技術成果をさらに発展させ、一般照明(蛍光灯、白熱電球)を代替する高効率照明として製品化する予定。</p>	
Ⅴ. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 19 年 6 月 制定	
	変更履歴	<p>平成 20 年 7 月 改訂 目標の高度化(輝度半減寿命:1 万時間 → 2.5 万時間) 目標の追加 (成膜面周囲の不均一幅 5 mm 以下の追加)</p> <p>平成 21 年 3 月 改訂 目標の高度化(輝度半減寿命:2.5 万時間 → 4 万時間)</p>	

プロジェクト用語集

用語	説明
有機 EL 素子	発光を伴う物理現象を利用した有機発光素子であり、有機発光層内に注入されたホールと電子の再結合によって発光を生じるもの。有機 LED、OLED(Organic Light Emitting Diode)とも称される。 陽極と陰極の間に数十～数百 nm の有機薄膜を備えた構造であり、一般的な構造として、ガラス基板／透明電極(陽極)／ホール注入層／ホール輸送層／発光層／電子輸送層／電子注入層／金属陰極などが知られている。
発光ユニット	例えば、ホール注入層・輸送層／発光層／電子輸送層・注入層から形成される有機 EL 素子の構成 (発光ユニットを電極間に形成すると、一般的な有機 EL 素子として機能する)
マルチユニット素子	陽極と陰極との間に、複数の発光ユニットを備える素子 <ul style="list-style-type: none"> ・発光ユニット間には、発光ユニットを電気回路的には直列に接続する機能を果たす中間層が設けられている ・本構造を取ることで、同一発光ユニットを2つ備えるマルチユニット素子の場合、一定電流を流した時の発光強度が約2倍、駆動電圧も約2倍、となり、低電流でも高輝度を得ることが可能となる。また、同一発光強度を得るための電流量を半減できるために、長寿命化が可能である ・異なる発光色のユニットを組み合わせることで、混色が可能である ・薄膜を積層した光学多層構造であるため、光学設計は複雑化する 他に、タンデム素子、マルチフォトン素子 とも称される
中間層	マルチユニット素子において、発光ユニット間に挿入され、両発光ユニットを電気回路的に直列接続する機能を果たす層。 光が透過するため透明性が高く、また熱的・電氣的に安定性が高いことが必要である。
輝度	面状の光源がある方向に単位立体角あたりに放射する光の、光源における単位面積あたりの明るさ。単位はカンデラ毎平方メートル(cd/m^2)。
平均演色評価数 (Ra)	JIS(日本工業規格)で定められた基準光との比較の上で測定対象となる光源が、演色評価用の色票を照明したときに生じる色ずれを指数として表した演色評価数(R1～R15)の内、R1～R8を平均したもの。
量子効率	電流(電子)から光(光子)への変換効率
発光効率	照明機器が一定のエネルギーでどれだけの明るくできるかを表す指標であり、単位電力あたりの全光束 lm/W (ルーメン毎ワット)で表す 前記量子効率とは、白色光の原理的な変換効率(約 $240\text{lm}/\text{W}$)を用いて、下記式で関連づけられる。 なお、下記式中の電圧ロス率とは、理論的限界駆動電圧(約 2.7V)と実駆動電圧の比である(= $2.7/\text{実駆動電圧}$)。 発光効率 (lm/W) = 量子効率 × (1 - 電圧ロス率) × $240 (\text{lm}/\text{W})$

輝度半減寿命	ある輝度で発光させた有機ELデバイスの初期輝度が半減するまでの時間
保管寿命	規定の条件で保管する場合の故障寿命
ホスト	発送層を構成する主材料であり、主として電荷輸送と、再結合エネルギーのドープメントへのエネルギー移動を司る
ドープメント	発送層を構成する副材料・発光材料であり、発光を司るとともに、電荷輸送も一部担う
ITO	インジウムスズ酸化物(Indium Tin Oxide) スパッタ法等によって成膜され、 10^{-4} Ωcm 程度の比抵抗を有する透明電極として使用される
IZO	インジウム亜鉛酸化物(Indium Zinc Oxide) スパッタ法等によって成膜され、 10^{-4} ~ 10^{-3} Ωcm 程度の比抵抗を有する透明電極として使用される
インピーダンス分光法	微小正弦波電圧信号を素子に印加し、その応答電流信号の振幅と位相からインピーダンスを算出し、印加電圧信号の周波数の関数としてインピーダンススペクトルを得る測定法。有機EL素子の有機層を、抵抗や静電容量などで表現した等価回路を決定することが可能となり、動作解析や劣化解析に有用である。
スパッタ	金属表面に高エネルギー粒子を当てると金属表面から原子が飛び出すこと
スパッタリング	真空チャンバー内に薄膜としてつけたい金属をターゲットとして設置し、高電圧をかけてイオン化させた希ガス元素や窒素を衝突させることにより、ターゲット表面の原子がはじき飛ばされ、基板に到達して膜が形成される金属成膜技術
NPD (α-NPD)	有機ELに用いられるホール輸送材料 以前から使用されてきた比較的シンプルかつ性能にも比較的優れた材料の一つであり、さらに分子構造を改良することによって、より優れたホール輸送材料も開発されている
スリットコート	固形分が溶解および／または分散した塗布液を、スリットノズルから移動する基板上に均一に塗布し、乾燥して薄膜を得る成膜方法
スリットノズル	前記スリットコート装置に備えられている塗布液吐出口
メニスカス	ノズル-基板間に形成される液膜
CAE	Computer-aided engineering / experiment コンピュータを使用した設計あるいは実験
ホットウォール	成膜対象物質の蒸発温度以上に加熱した壁面 蒸着源で気化された成膜対象物質は、ホットウォールの壁面に衝突するため飛散方向が制限され、かつ壁面温度が高いため、基本的には弾性衝突(あるいは付着-最蒸発)によって壁面には付着しない この結果、成膜レートおよび材料使用効率を大幅に向上させることが可能
インラインプロセス	対象物を移動させながら対象工程(本研究の場合は蒸着)を行う方法 対象物を停止させ作業を行う(バッチプロセス)に対して、作業性が高い
膜厚プロファイル	領域内に形成された膜厚の分布
蒸着	金属や酸化物などを蒸発させて、素材の表面に付着させる薄膜を形成する方法の一種

モルフォロジー	有機 EL の分野では、電極上に形成された薄膜層の膜質およびその代替としての表面形状を意味することが多い
インライン蒸着	<p>基板をライン状に並んだ複数の蒸着源に沿って移動させることによって、連続的に蒸着する方法</p> <p>一般的に用いられているクラスター型蒸着プロセスに対して、</p>
封止	金属やガラスなどを用いて有機ELデバイスへの水分や酸素の進入を抑制し、有機ELの劣化を防ぐこと。
OLLA (high brightness Organic Light emitting diodes for ICT & Lighting Applications)	<p>2004年 10 月～45 ヶ月間実施された欧州の有機 EL 照明開発プロジェクト 第6次フレームワーク(EU の最大の研究開発支援制度:2002～2006 年)の支援を受けたもの</p> <p>本プロジェクトの目標は、照明用高輝度高効率有機 EL の開発と、照明としてのデモンストレーションである</p>
OLED100	<p>2008 年9月～36 ヶ月間実施中の欧州の有機 EL 照明開発プロジェクト 第6次フレームワーク(EU の最大の研究開発支援制度:2007～2013 年)の支援を受けたもの</p> <p>本プロジェクトの目標は、欧州に於ける主照明としての高性能有機 EL のすべての要素技術を開発すること</p>
OPAL (OPAL2008) (Organic Phosphorescent lights for Applications in the Lighting market 2008)	<p>1cm²あたり数ユーロを実現できる、高性能白色有機 EL の製造技術の開発を目標とするドイツのプロジェクト</p> <p>German Ministry of Science and Technology (BMBF)が支援</p>

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義

エネルギー分野は、第3期科学技術基本計画(2006年3月閣議決定)において、推進4分野のひとつに位置づけられ、総合エネルギー効率の向上に資する技術はエネルギー基本計画(2007年3月閣議決定)において重点課題として位置づけられている。経済産業省研究開発プログラム「エネルギーイノベーションプログラム」の「I.総合エネルギー効率の向上」では、エネルギー消費効率を2030年までに少なくとも30%改善することを唄っている。またNEDOでは中期目標のひとつに、「高度な情報通信社会の実現」を掲げ、高機能化、省エネルギー化、生産性の向上といった共通課題に取り組むこととしている。本研究開発は、これらの国の産業技術政策、及びそれを受けたNEDOの中期目標に基づき、高度な情報通信社会を実現するための中核技術であるユーザビリティ分野に該当する照明技術の高効率化・高性能化に資することを目的とするものである。

我が国において照明用途での電力消費量は国内の家庭の全電力消費量の約15%に相当する1,355億kWh/年(2005年)に達している。(図1.1.1参照)これはCO₂排出量に換算すると、約5,285万トンであり、総排出量の約4%に相当する。したがって、省エネルギー、CO₂排出量削減という地球規模の課題に影響を与える照明の高効率化を目指した研究開発は、高い公益性を持つものと考えられる。

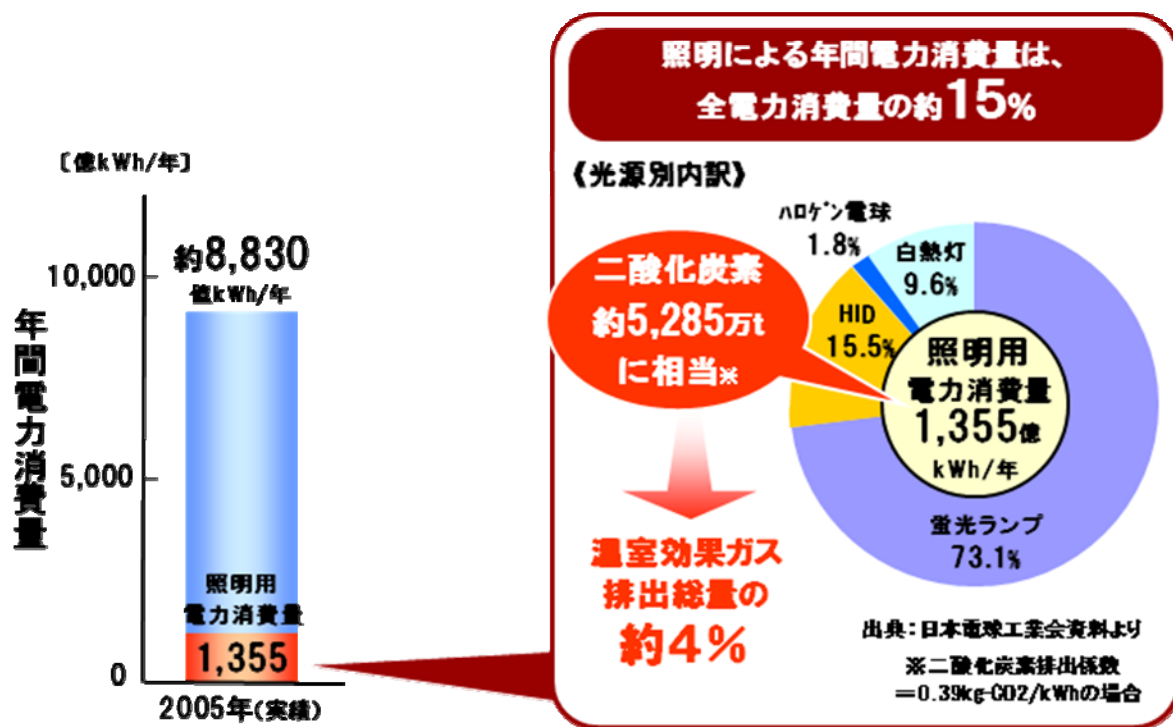


図 1.1.1 国内照明の電力消費量グラフ

さらに現在では、日本は2020年までに1990年比で25%の温室効果ガスを削減するという国際公約を2009年に発表したが、本公約を実現することは容易なことではなく、国がリーダーシップをとって省エネルギー問題の抜本的解決に取り組まなければ目標達成は困難な状況にある。その実現のために経済・社会活動を支えるあらゆる分野で省エネルギー化を図る画期的な技術革新や、技術の導入・普及の促進活動が必要である。

また経済産業省は2010年6月、総合資源エネルギー調査会の総合部会及び基本計画委員会合

同会合において「資源エネルギー政策の見直しの基本方針」を示し、大幅な省エネ性能の向上が見込まれる次世代照明については、2020年までにフローで100%、2030年までにストックで100%とすべく、研究開発の加速、導入支援策、省エネ基準の強化等を通じて、普及拡大を図るという方針を打ち立てた。具体的には、2013年度までに従来型照明の2倍の総合効率を実現する次世代照明の基盤技術の確立と標準化の推進を行い、その後はトップランナー制度、エコポイントなどの施策によって次世代照明の普及を後押しする計画である。

高効率照明としては、LEDと有機ELが期待されているが、双方とも特質があり、適用に向いている分野が異なる(図2.1.1)。点光源であるLEDに対して、面発光光源として高効率な有機EL照明に対する期待が高い。

図1.1.2に、NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部の電子・情報技術に関する取り組みをまとめて示す。ここで示す5つの技術分野(半導体技術、ストレージ・メモリ技術、コンピュータ技術、ネットワーク技術、ユーザビリティ技術)は、経済産業省の「技術戦略マップ」における情報通信分野の区分、及びNEDOの「技術ロードマップ」の区分に対応するものである。NEDOでは、本プロジェクトを、ユーザビリティ分野に位置づけ、省エネルギー化、CO₂削減、低消費電力化に取り組む。

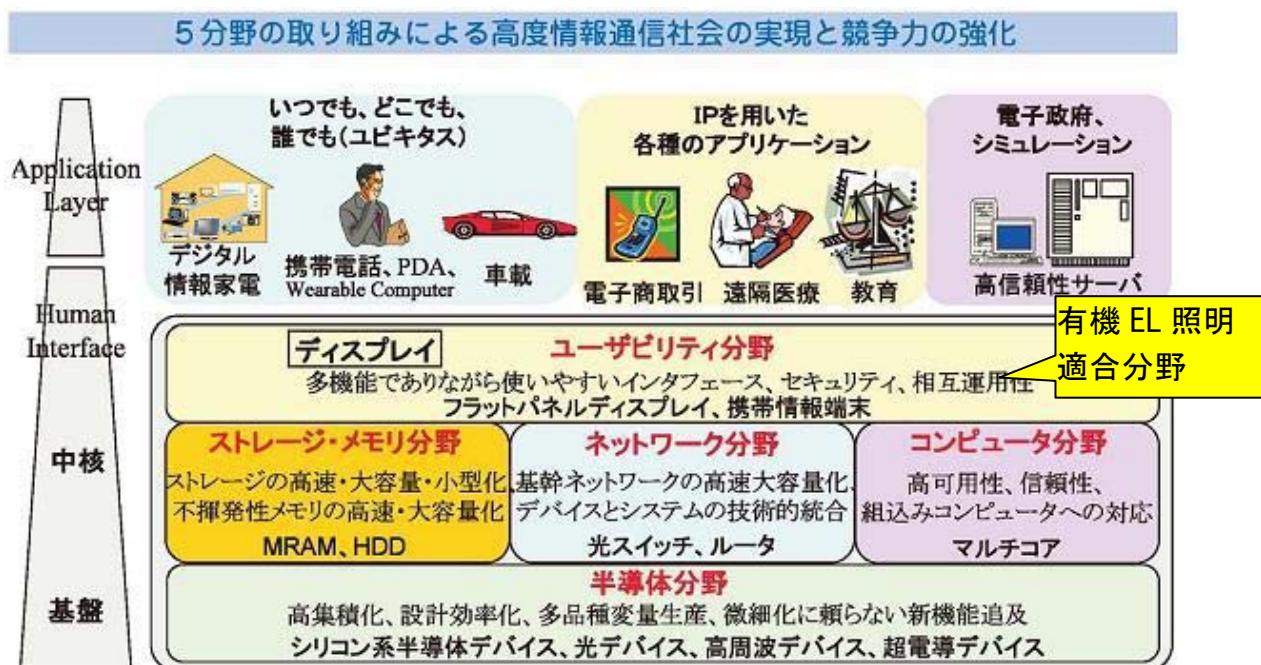


図 1.1.2 NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部の取り組む技術分野

本プロジェクトは、次の視点からNEDOが関与する必要性・意義がある。

(1) 公益性

前述したように、照明による年間電力消費量は、家庭用電力消費量の約15%を占めており年間電力消費量換算して、1,355億kWh/年(CO₂換算量で、約5,285万t相当)に達する。効果的な省エネルギー化、CO₂削減、さらに水銀レスによるエコロジー化促進を達成するためには有機EL照明の実用化を早める技術開発が望まれる状況にある。

(2) 産業力強化

有機EL照明技術は、日本から発祥して、現在もなお世界をリードする日本有数の最先端技術である。有機EL照明は前述のように今後世界的にも白熱電球、蛍光灯を代替する次世代照明として期待されている点から市場規模は巨大であり、その技術開発は日本の国際競争力に寄与する。

最近は、世界の 3 大照明企業と言われるオスラム(欧州)、フィリップス(欧州)、GE(米国)を含み複数の照明企業が有機 EL にも研究開発に力を入れつつある。オスラム、フィリップスは日本に追いつくため、OLLA や OLED100 等の国家プロジェクトにて欧州各国から資金を得て、高発光効率且つ長寿命の有機 EL 照明の技術開発に注力し、GE は、米商務省国立標準技術研究所(NIST)との共同研究開発成果を活用し有機 EL 照明の基盤技術の強化と実用化をめざしている。このように、欧米の企業は、将来の有機 EL 照明の事業化を見据えて、国家資金を得て、日本を追い越すべく急加速な技術開発を進めている。(表 1.2.1)

日本においても国家プロジェクトにより有機 EL 照明技術開発を支援して国際競争力を維持・強化していくことが必要であり、国内産業育成につながる。特に日本の総力を結集して材料メーカ、装置メーカ、器具メーカ等の複数の事業レイヤの企業群と、基礎研究を推進する大学等の研究機関が協力した産学連携体制を築くことが国際競争力を強化につながる。

(3) 民間企業ではリスクのある研究開発内容

直接照明による高発光効率性等の有機 EL 照明の潜在的能力が高いことは周知の事実であるが、まだ萌芽期の技術であり有機 EL 照明の実用化はこれからである。有機 EL 照明の性能を引き上げるためには光取り出し方式、有機発光材料、白色光生成方式、製造プロセスなどの技術的難易度が高い課題を解決する技術開発が必要であり企業が取り組むには開発リスクが高く、将来を見据えて国が主導的に低消費電力化技術の開発支援が必要な分野である。

以上のように、本研究開発によって世界に先駆けて高性能の有機 EL 照明を実現することは、省エネルギー化及び CO₂ 削減に貢献するとともに、新たな高付加価値製品の創出によって、我が国の照明関連産業の活性化、国際競争力強化に貢献することが期待できる。また開発するべき課題の技術的難易度が高く、基盤的要素技術の開発が必要であることから照明産業・材料産業・装置産業といった産業間の連携、加えて大学の英知を結集して取り組む必要があり、国家プロジェクトとして NEDO が関与すべきものと考えられる。

1.2 実施の効果（費用対効果）

経済の観点では、今回、省資源型製造プロセス技術開発に着手したことにより、低コストで省資源化を図る高性能高品質の有機 EL 照明の製品展開が期待できる。また有機 EL 照明の特性を生かした新規市場創出による経済効果も今後期待できる。2011 年より有機 EL 市場が立ち上がり、2018 年には 60 億ドルの売り上げ規模が予測される。（米 DisplaySearch 社予測（2009.3）より引用）

省エネルギー化の観点では、本プロジェクトにて実現目標とした有機 EL の発光効率 35 lm/W によれば、有機 EL 照明の普及により、8.43 億 kWh（注 1）の省エネルギー化が予測される。これは原油換算で、20 万 kl に相当する。有機 EL の発光効率は将来的に向上の余地があり、日本の省エネルギー化へのさらなる貢献が期待できる。本効率によれば、例えば、2320 lm の明るさを照らすためには、蛍光灯照明では、92.8W の電力が必要であるのに対して、有機 EL 照明では 66.2W の電力に抑制できる。

加えて、エコロジーの観点では、有機 EL 照明は有機物であるため、蛍光灯と異なり、水銀レスで照明を実現できる利点がある。蛍光灯の代替が今後実現すれば、国際的なエコロジー化にも貢献できる。

技術の観点では、有機 EL 照明の本基盤技術開発をすることにより、実用化普及に重要なポイントである発光効率を 3 年前倒しで、輝度半減寿命を 7 年前倒しで実現し、且つ生活照明普及に必要な高い演色性を同時に達成した。特に輝度半減寿命については、当初計画段階の 1 万時間から、4 倍の 4 万時間（10 年利用）に目標を引上げることができたため、本成果により実用化普及を早めることができた。（図 1.2.1 経済産業省 技術戦略ロードマップ 2008 参照）

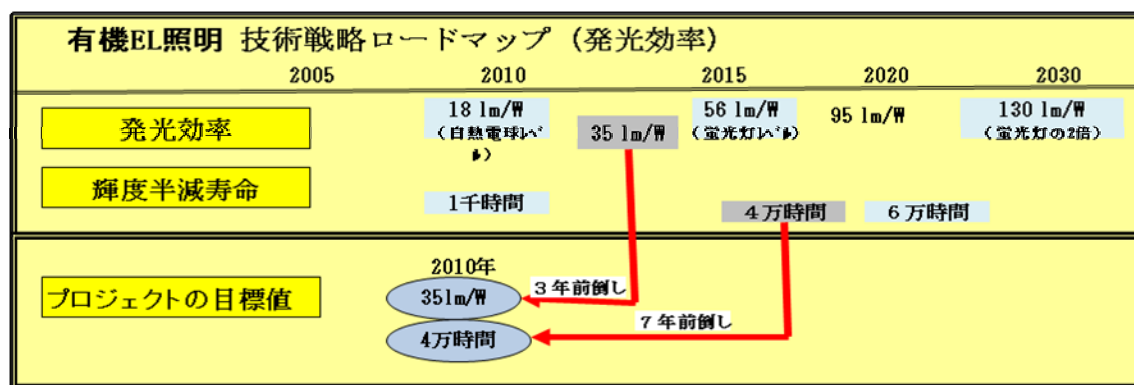


図 1.2.1 経済産業省 技術戦略ロードマップ 2008(有機 EL 照明抜粋)

(注1) 前提は以下の通り。

基準として 2320lm の明るさで照らすことを想定して、一般的な高演色性蛍光灯光源（発光効率：50 lm/W、器具効率；50%）と、有機 EL 照明（35 lm/W、器具効率 100%）を比較する。現在使用される蛍光灯（2.18 億個）が、2030 年に 50% 普及するとした場合に、1 日平均 8 時間利用と仮定した場合には、省エネルギー量は、以下の通り。

$$((2320/25 - 2320/35) (W)) \times 2.18 \times 10^8 (\text{個}) \times 8 (h) \times 365 (\text{日}) \times 0.5 = 84.3 \text{ 億 kWh}$$

成功確率 10% を前提として、8.43 億 kWh \times 0.1 = 8.43 億 kWh

(注 2) 電力と原油換算値を、 2.36×10^{-4} kl/kWh とする。

表 1.2.1 に、海外の有機 EL 技術開発プロジェクトと、NEDO プロジェクトの比較表を示す。性能では国際的にはトップレベルである(図 1.2.2、図 1.2.3)が、投資額では大きな差があり、目標に対する投資効果が高いことを示している。

表 1.2.1 日米欧の有機 EL 照明技術開発の公的支援

地域	プロジェクト	期間	投資費用 ^(注1) 下段括弧()内は、その内訳の国家投資額	メンバー
欧州	OLLA (EU)	2004～2008 (完了)	1200 万 Euro	Philips Technologie, Philips Lighting, Osram Opto Semicon., Fraunhofer, Philips Research Lab., Siemens, Merck, HC Starck, Aixtron, Novaled, 他計 23 団体／企業
	OLED100 (EU)	2008/09 ～ 2011/08 (36 ヶ月)	1250 万 Euro	Philips Research, Osram Opto Semicon., Fraunhofer, Novaled, Siemens, 他計 15 団体／企業
	OPAL (Germany)	2006～2010	6 億 Euro	BASF, AIXTRON, Schott, Philips, Merck, Novaled, FhG-IPMS, 他計 33 団体／企業
	合計 (欧州)		62,450 万 Euro	
米国	DoE プロジェクト	2004～2009	50.0 百万ドル (40.0 百万ドル)	Universal Display Corp., Univ. of California, Santa Barbara, GE Global Research 他計 37 団体
		2008～2010	17.8 百万ドル (14.9 百万ドル)	Universal Display Corp., GE Global Research 他計 8 団体
	合計 (米国)		67.8 百万ドル (54.9 百万ドル)	
日本	本プロジェクト	2007～2009	16 億円 (16 億円)	パナソニック電気(株)、出光興産(株)、タツモ(株)
	合計 (日本)		16 億円 (16 億円)	

(注 1) €1=120 円 \$1=100 円で計算。投資費用は国家投資資金と民間負担を含む

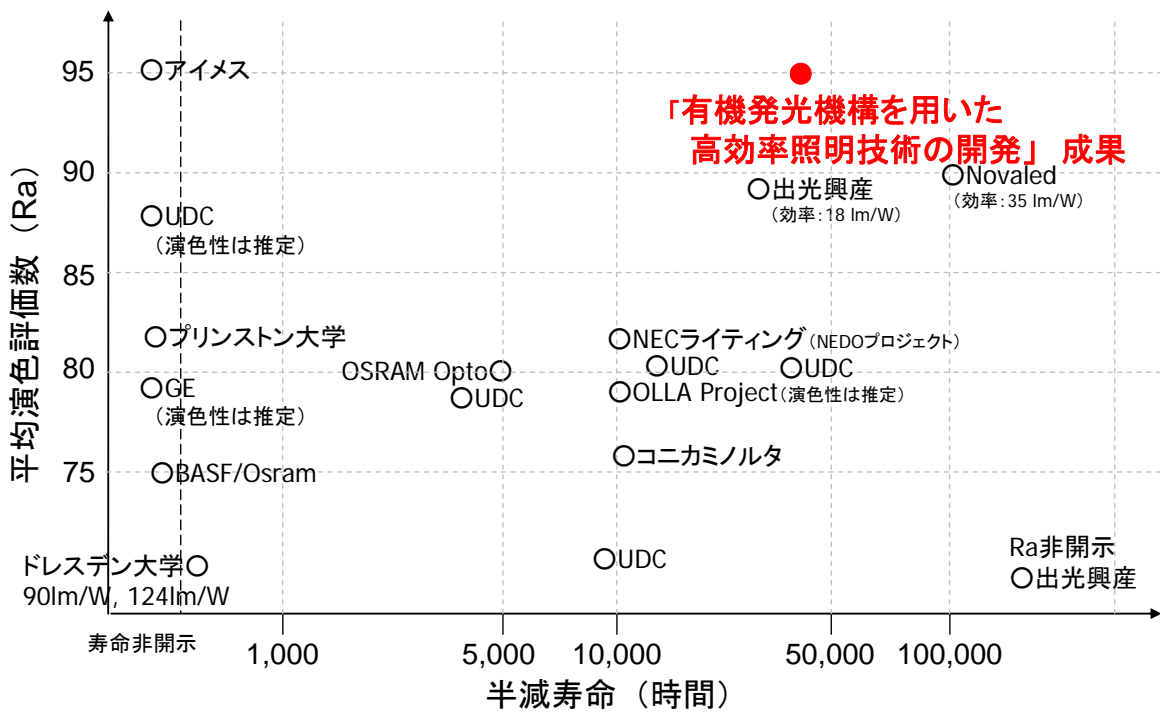


図 1.2.2 成果の国際的な位置づけを示す技術マップ(演色性-半減寿命)

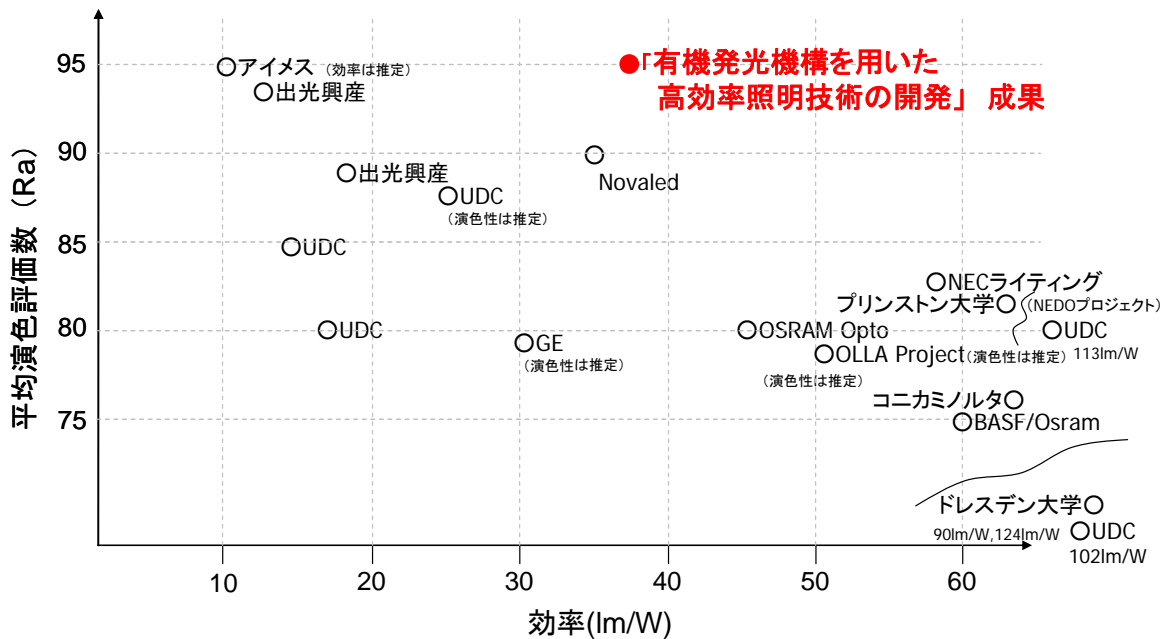


図 1.2.3 成果の国際的な位置づけを示す技術マップ(演色性-輝度半減寿命)

2. 事業の背景・目的・位置づけ

2.1 事業の背景

2.1.1 社会的背景

前述のとおり、エネルギー分野は、第3期科学技術基本計画(2006年3月閣議決定)において、推進4分野のひとつに位置づけられ、総合エネルギー効率の向上に資する技術はエネルギー基本計画(2007年3月閣議決定)において重点課題として位置づけられている。また NEDO では中期目標のひとつに、「高度な情報通信社会の実現」を掲げ、高機能化、省エネルギー化、生産性の向上といった共通課題に取り組むこととしている。家庭の消費電力中、約15%を占める照明に対して、地球温暖化抑制のため、白熱電球、蛍光灯を代替する省エネルギー効果の高い有機EL照明の早期の実用化が求められている。

蛍光灯は先進的な環境保全施策である欧州特定有害物質使用規制(RoHS)にて特定有害物質として使用を制限される水銀を含有し、適切な代替手段がないことからRoHSの適用免除となっているものの、早期に代替手段の確立が望まれている。

2.1.2 技術的背景

次世代照明のひとつとして白熱電球からLED光源への置換も先行して行われている。LEDは指向性光源でありスポットライト、ダウンライト等には適しているが、広範囲の面発光には必ずしも適しておらず未だ蛍光灯光源が主流の状況である。そのため、面発光、高演色性を実現しつつ、蛍光灯光源の限界を超える高効率光源の開発が不可欠な状況であった。

その点、有機発光機構を用いた照明は、LEDや蛍光灯の白色発光の拡散損失がなく、蛍光灯光源の理論限界を超える高効率を実現できる可能性があり、さらに①面発光性、②高演色性、③折り曲げが可能で凹凸のある壁面にも実装可能な柔軟性、④水銀を使用しないエコロジー性、⑤紙以上に薄く製造できる超薄膜性、⑥超軽量等、優れた特性を発揮可能であることから、家庭用照明を置き換える高効率次世代照明として期待されると同時に、これまでにない新しい分野への適用による新事業の創出も期待できる。このように次世代照明として期待されているLEDと有機EL照明であるが、一般的に、適した利用分野が異なるために、補完しつつ白熱電球、蛍光灯の代替は進むことが予想される。、図2.1.1に、LED照明と有機EL照明に適した利用分野のすみ分けを示す。



図 2.1.1 有機EL照明とLED照明のすみ分け

有機 EL 照明は新しい利用分野、事業分野を切り開く起爆剤として期待されていたものの、LED より 5 年後発で開発されつつある技術であるため、実用化の目途がたっていない状況であった。その中で、海外の国家プロジェクトや主要照明企業が相次いで有機 EL 照明基盤技術開発に着手しており、実用化に向けた国際的な技術競争が加速化している状況にあった。本状況下でも、白色有機 EL 照明を最初に実現してこれまで研究開発成果を積み上げてきた日本に、まだ技術的アドバンテージがある状況にあり、実用化にはもう一步踏み込んだ基板技術開発が必要な状況にあった。

2.2 事業の目的

本プロジェクトでは、生活照明代替高性能照明となる有機 EL 照明の早期実用化のため、高演色性を有する高効率有機 EL 照明光源の実現に必要な生活照明を代替する高性能照明光源の開発、及び低コスト化を実現する高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発に取り組む。

2.3 事業の位置づけ

本事業は、エネルギーイノベーションプログラムの一環で、有機 EL 照明の生活照明での実用化の促進を狙いとして、事業終了後、数年以内の有機 EL 照明の市場導入を行うための技術開発と位置づける。将来的には白熱電球、蛍光灯を代替する次世代照明への展開だけでなく、有機 EL 照明による装飾照明などの多目的照明に向けた新市場の創出、及び事業機会の拡大を狙いとする技術を確立する。

次に国際競争力の観点での評価を示す。有機 EL 照明の実用化に向けて長寿命化、演色性、発光効率が大きなポイントである。これらの性能はトレードオフの関係にあり、他の性能項目を犠牲にして一部の性能向上を行うことは可能であるが、実用化のためには3つの性能項目全てをバランス良く向上させる必要がある。各国で研究開発が進んでいるが、本プロジェクトの基盤技術開発により、高演色性有機 EL デバイスとして寿命、演色性で世界トップの成果をあげており、今後の日本の照明事業において優位な立場にある。図 1.2.2、図 1.2.3 の有機 EL 照明の本プロジェクト成果と海外企業の実績比較を表す技術マップにより本事業の国際的な位置づけを示す。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

日本の家庭で消費されるエネルギーのうち、照明用途で約 15%を占め、世界的に見ても、約 20%を占める現状を踏まえて現在広く使用されている白熱電球や蛍光灯などを置き換える高効率照明光源技術の開発が、エネルギー消費量削減のための重要かつ緊急の課題である。

生活照明への適用に際しては、発光効率だけでなく高演色性照明が要求される。例えば、家庭用途に広く消費される環形蛍光灯のうち 90%以上を高演色性の照明が占める。また、オフィスや店舗で多用される直管形蛍光灯でも約半数が高演色性の照明である。そのため蛍光灯照明の代替を促進する上で、高演色性が必要とされる。さらに生活用の照明として一般家庭に受け入れられるためには、高品質発光(均一発光・長寿命など)、発光体の形状(面状光源・拡散光源としての使用が可能であることなど)、さらに低コスト(現状の照明器具に代替できる程度の低価格化)などの要求を満たしていくことが望まれる。

本プロジェクトでは、エネルギーイノベーションプログラムの一環として、生活照明を代替できる高性能照明となる有機 EL 照明を早急に実用化するため、2009 年度までに、高効率であるとともに低コスト化を踏まえた有機 EL 照明の高演色性化技術を確立する研究開発を行う。これにより、生活照明の高効率な代替照明の早期実用化を図り、民生部門の省エネルギー化促進に寄与することを目標とする。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

有機 EL を省エネルギー化に貢献できる生活照明代替高性能照明光源として早期に実用化するために、光源の高性能化のための「研究項目① 生活照明を代替する高性能照明光源の開発」(略称:デバイス技術開発)と、それを具現化するために必要な「研究項目② 高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発(略称:プロセス技術開発)」の2項目の研究開発を並行して総合的に取り組む。各 2 項目の詳細研究項目は以下の通りである。

研究項目① 生活照明を代替する高性能照明光源の開発の研究開発

(1) 高演色性マルチユニット素子構造の開発

現行の蛍光灯光源を上回る高い演色性を有する、省積層型・高演色性マルチユニット構造の有機 EL デバイス技術を開発する。

(2) 有機 EL の寿命支配要因の研究

目標である輝度半減寿命の目標達成のため、有機 EL の寿命支配要因を研究分析する。

研究項目② 高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発の研究開発

(1) 大気圧下薄膜層形成技術の開発

大気圧下での高速且つ超薄膜層を形成する製造プロセスを開発する。

(2) 省資源型高速蒸着プロセス技術の開発

材料効率を向上させ高速な蒸着プロセスを実現する技術を開発する。

(3) 高放熱薄型封止プロセス技術の開発

長寿命を実現する薄型封止プロセス技術を開発する。

本事業の目標は、高演色性・高効率白色素子および省資源型製造プロセス技術実現のための要素技術を確立することである。各研究項目における具体的な目標を以下に列記する。

なお、[]内の数値は、本事業の中間目標、2008 年度末に達成することを目指す目標値である。また※は本事業の期間中に目標値を見直したものである。

研究項目① 生活照明を代替する高性能照明光源の開発(デバイス技術開発)

(1) 高演色性マルチユニット素子構造の開発

(2) 有機 EL の寿命支配要因の研究

以下の特性を有するマルチユニット素子構造を開発する。

平均演色評価数(Ra):	90 以上	[90 以上]
効率:	35 lm/W 以上	[25 lm/W 以上]
輝度:	1,000 cd/m ²	[同左]
輝度半減寿命:	40,000 時間以上※	[10,000 時間以上]

研究項目② 高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発(プロセス技術開発)

(1) 大気圧下薄膜層形成技術の開発

有機薄膜層を、大気圧下で高速・均一に塗布後、均一乾燥・焼成可能な成膜プロセス技術を開発する。

膜厚:	30 nm 以下	[50 nm 以下]
塗布速度:	200 mm/s 以上	[100 mm/s 以上]
均一性:	膜厚分布±3%以下	[±5%以下]
不均一塗布領域:	塗布端部から各 5 mm 以下※	[塗布端部から各 30 mm 以下]

(2) 省資源型高速蒸着プロセス技術の開発

以下に示す性能を有する蒸着源、および蒸着装置を開発する。

材料使用効率:	70%以上	[50%以上]
成膜速度:	8 nm/s 以上	[5 nm/s 以上]
基板温度:	表面温度 100℃以下	[同左]

(3) 高放熱薄型封止プロセス技術の開発

以下に示す性能を有する封止能力を備えた封止構造を開発する。(初期輝度 1,000 cd/m²時)

半減寿命:	4 万時間以上※	[8,000 時間以上]
保管寿命:	50,000 時間以上	[同左]

以下に、各目標値の設定理由について示す。

研究項目① 生活照明を代替する高性能照明光源の開発の目標設定理由

(1) 高演色性マルチユニット素子構造の開発

(a) 平均演色評価数(Ra)

照明とは単に照らすだけの光源ではなく、生活空間を創造するために必須の光源である。生活照明への適用に際しては、発光効率だけでなく自然光と同等に見えることが望ましく、その性質を演色性と呼ぶ。一般照明に適用する場合、有機EL照明には高い演色性が要求される。演色性の評価指数は、自然光との比較係数である平均演色評価数(Ra値)で表わし、自然光と同一の光スペクトルは、Ra=100である。100に近ければ近いほど、自然光に近く演色性は高い。有機EL照明として、これまで発表されている有機ELの性能(平均演色評価数: Ra=60~80)を凌ぎ、一般的な高演色型蛍光灯の演色性(Ra=80~89)をも超える目標として、本プロジェクトでは、平均演色評価数としてRa=90を設定した。Ra=90レベルの高演色性の光源が実現できれば、より自然な色に囲まれた、極めて快適な生活空間が実現可能である。

また、平均演色評価数と人間が明るさ感的に適性だと感じる照度に関する金谷らの報告(S. Kanaya, CIE Proceedings, 19th session, 274 (1979))では、平均演色評価数Raが増大するとともに、人間が明るさ感的に適正と感じるために必要な照度は低く、Raが90を超える高演色光は、Ra60の光の約2/3、Ra70の光の約3/4、Ra80の光の約6/7の光の量、すなわち消費電力で、同等の適性感が得られるという結果が示されている。よって、高演色光はエネルギー消費量削減の観点からも有機であるといえる。

(b) 発光効率

下図には、既存の高演色性光源である、高演色型蛍光灯(蛍光灯単体)の演色性と発光効率との関係を示した。Ra=90以上の高演色型蛍光灯の発光効率は、30~50 lm/W程度に分布していることがわかる。

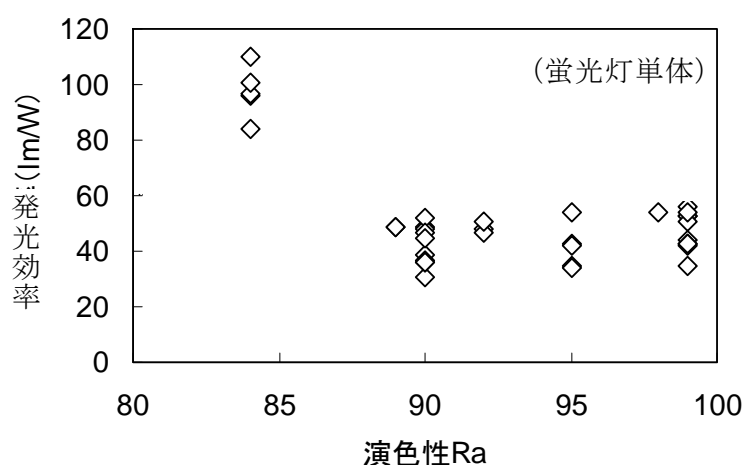


図2.1.1. 高演色型蛍光灯の発光効率の演色性依存性

さらに、蛍光灯器具の器具効率(器具に蛍光灯をセットして用いるときに、反射板での反射、白色カバーによる散乱や吸収等によってロスされる光量を考慮して算出した光の有効利用率)が50%～70%程度であることを考えると、照明器具としての効率は20～35 lm/W程度に相当する。よって、本プロジェクトは35 lm/Wという効率は、Raが90以上の超高演色性光源としては未到達の極めて高い値である。当時の有機EL照明として、また蛍光灯と比較して比類ない値として目標設定した。

(c) 輝度半減寿命

現行の主たる照明光源である電球の寿命が約千～3千時間、蛍光灯の寿命が1万時間～1.5万時間であるため、計画当初の寿命目標を1万時間という値に設定した。その後、昨今のLED照明(寿命2万時間～4万時間)の進化を踏まえ、有機EL照明の早期実用化を見据えて、半減寿命目標を4万時間に引き上げ再設定した。

また、開発項目「(2)有機ELの寿命支配要因の解明」により 有機ELの寿命を支配する主要因の一つが界面の存在であることから、寿命支配要因の存在箇所を有機層－有機層界面、有機層－無機層界面、塗布・乾燥によって形成される膜およびその界面のの3つに分類し、大学研究機関の協力を得て、各界面における劣化メカニズムを解明する。

(d) 輝度

輝度1,000 cd/m²の有機ELを実現することによって、装飾照明光源、高演色照明光源等の照明用途への展開が可能となる。

(e) 基板サイズ／発光面積

面状光源である有機ELは、それを複数並置することによって光束を増大させることが容易に可能である。また、大面積化によって歩留まりの急激な低下が起こりうること、今後の輝度向上に伴いより高い信頼性が必要とされることを考慮してサイズを決定すべきである。

これらの観点から、有機EL照明を構成する歩留まり・信頼性の高い発光ユニットとして使用するときに適したサイズ目標として「基板サイズ10 cm角以上」を設定した。

研究項目②高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発

(1) 大気圧下薄膜層形成技術の開発

(a) 塗布速度

有機ELを生活照明の代替照明光源として実用化するためには、効率や寿命などのデバイス特性を向上させるとともに、低コストで生産可能なプロセスを具現化することも重要である。

1本あたり1.5秒程度という蛍光灯の生産スピードを考慮すると、300 mm長のA4サイズの基板に対して同程度の時間(1.5秒/枚)での成膜を行うためには、200 mm/sにまで革新的に高速化された成膜プロセスが必要となる。よって、有機ELの照明光源としての実用化の観点から適切な目標として塗布速度200 mm/s を設定した。

(b) 均一性

有機ELの注入層として必要な膜厚は、その電気的特性、光学的特性を鑑み、電極の特性や膜厚、注入層に隣接して形成される輸送層の特性や膜厚に依存して決定され、特定の値のみに限定して設定できない。しかし、本プロジェクトの目標値 $30\text{ nm}\pm 3\%$ は、塗布工程で形成可能な膜として想定される膜厚およびその分布として最も厳しい値と考えられる。均一な極薄膜の形成技術を確立できると、任意の厚みの膜を高速に形成する極薄膜形成プロセスとしての応用が可能となるものと期待できる。よって、高演色性有機EL素子の光学的設計および電気的設計の自由度をより高め、より広い範囲の素子設計に対応するプロセス技術として活用できる。

(c) 不均一領域

有機ELの発光領域は、必ずしも基板全面ではなく、基板上の所定の箇所に分布するものであり、材料使用効率向上の観点からも、広範囲の均一で領域に成膜が可能な塗布技術の確立は有効である。従来は $15\text{ mm}\sim 30\text{ mm}$ の不均一領域が発生していたが、材料効率化、発光領域の影響抑制の観点から塗布領域端部からの不均一領域を大幅に削減することを目指して、 5 mm 以下と目標設定した。

(2) 省資源型高速蒸着プロセス技術の開発

(d) 材料使用効率

一般に蒸着源の材料使用効率は $10\sim 20\%$ と非常に低い値である。しかし一方、有機EL照明の販売価格に占める材料費用の比率は非常に高い。本プロジェクトでは、実用化に向けて、有機EL照明の低コスト化は必要条件と考えて、非常にチャレンジングな目標設定でありながら材料利用効率 70% を設定した。

(e) 成膜速度

8 nm/s は、未達成の超高速成膜速度であり、技術的難易度が非常に高い。たとえば2004年度から2006年度にかけて実施されたNEDOプロジェクト「照明用高効率有機EL技術の研究開発と実用化先導調査研究」での達成値は 3 nm/s である。照明用有機ELのA4サイズ基板をベースにした高スループットの作製プロセスに適用可能な成膜速度として 8 nm/s を目標値として設定した。

(f) 基板温度

有機EL素子に用いられる有機材料のガラス転移温度は、概ね $100\sim 150^\circ\text{C}$ 程度である。成膜された有機膜が、それ以降のプロセス中に熱によって変質することを抑制し、意図した電気的・光学的特性を保つことが必要であるという理由から、基板温度 100°C 以下を目標として設定した。

(g) 発光面積

面状光源である有機ELは、それを複数並置することによって光束を増大させることが容易に可能であるが、それを構成する発光面積は、大面積化によって歩留まりの急激な低下が起こりうること、今後の輝度向上に伴いより高い信頼性が必要とされることを考慮して決定すべき値である。

発光面積 10 cm 角の有機ELを用いて封止構造および封止プロセスの開発を行うことは、当該サイズが有機EL照明を構成する歩留まり・信頼性の高い発光ユニットとしての適切なサイズである。

(3) 高放熱薄型封止プロセス技術の開発

(h) 点灯寿命(輝度半減寿命)

一般的に有機ELでは2 mm角程度のサイズのもものが試験用に用いられる。サイズ増大に伴い寿命特性は一般に低下するが、本検討で用いる10 cm角の有機EL素子でも、実用に値する4万時間の点灯寿命を確保するという観点で、目標設定を行った。

(i) 保管寿命

有機ELは点灯・消灯を繰り返して使われるため、点灯状態の寿命の2倍程度の実時間を保管寿命とし、封止性能として保管寿命4万時間を目標として設定した。

2.2 研究開発スケジュール

研究開発スケジュールは以下の通り。

事業項目	2007年度				2008年度				2009年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
① 生活照明を代替する 高性能照明光源の開発 (デバイス技術開発)												
(1) 高演色性マルチユニット 素子構造の技術開発												
(2) 有機ELの寿命支配 要因の解明												
② 高演色性光源デバイスの 省資源型製造プロセス 技術の開発 (プロセス技術開発)												
(1) 大気圧下薄膜層 形成技術の開発												
(2) 省資源型高速蒸着 プロセス技術の開発												
(3) 高放熱薄型封止 プロセス技術の開発												

図 2.2.1 研究開発スケジュール

2.3 研究開発予算

開発項目別の研究予算は以下の通り。

表 2.3.1 開発項目別予算表

(単位:百万円)

		2007	2008	2009	合計
① デバイス技術開発	(1)高演色性マルチユニット素子構造の技術開発	187	220 (加速:内 96)	328 (加速:内 159)	735 (加速:内 255)
	(2)有機 EL の寿命支配要因の研究	14	22	17	53
② プロセス技術開発	(1)大気圧下薄膜層形成技術の開発	52	125 (加速:内 45)	85	262 (加速:内 45)
	(2)省資源型高速蒸着プロセス技術の開発	102	208 (加速:内 84)	250 (加速:内 188)	560 (加速:内 272)
	(3)高放熱型封止プロセス技術の開発	5	11	10	26
	合計	360	586 (加速:内 225)	690 (加速:内 347)	1,636 (加速:内 572)

2.4 研究開発体制

(1) 研究開発の実施体制

先進性、効率性且つ早期実用化を重視して機器メーカ、材料メーカ、製造装置メーカ等の異なる事業レイヤの企業群と、基礎研究を推進する大学研究機関が協力した産学連携体制を目指して実施体制は以下の通りとした。

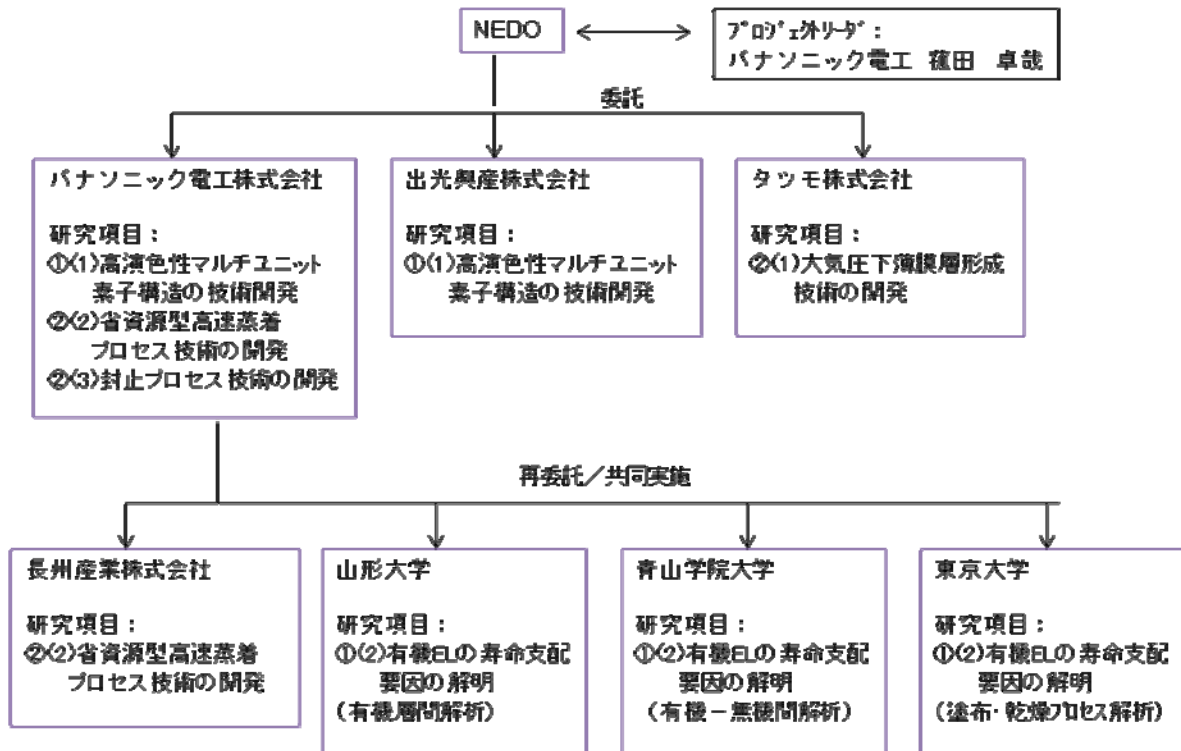


図 2.4.1 実施体制図

(2) 委託先におけるテーマ別研究体制

主要なテーマと担当する研究員の構成を以下に示す。

表 2.4.1 開発項目別開発体制表

NO	開発項目	開発項目リーダー	参加メンバ
1	高演色性マルチユニット 素子構造の技術開発	パナソニック電気(株) 井出 伸弘	パナソニック電気(株):8名 出光興産(株):4名 合計:12名
2	有機 EL の寿命支配要因の 研究	パナソニック電気(株) 井出 伸弘	パナソニック電気(株):3名 東京大学:2名 山形大学:2名 青山学院大学:2名 合計:9名
3	大気圧下薄膜層形成技術の 開発	タツモ(株) 山本 稔	パナソニック電気(株):3名 タツモ(株)14名 合計:17名
4	省資源型高速蒸着プロセス 技術の開発	パナソニック電気(株) 宮川 展幸	パナソニック電気(株):4名 長州産業(株):4名 合計:8名
5	高放熱型封止プロセス 技術の開発	パナソニック電気(株) 宮川 展幸	パナソニック電気(株):4名 合計:4名
合 計			50名

2.5 研究開発の運営管理

2.2 に示した実施体制に基づいて、研究開発の運営管理は以下のように行った。

NEDO と委託先間、委託先内の情報交換としての会議や打ち合わせを以下に示す。NEDO は、春と秋の年 2 回、委託先と定例ヒアリングを開催して、研究開発内容の進捗状況確認を行うとともに、課題の共有や開発計画の見直し、加速資金の必要性などを議論する場を設けた。委託先間では、効率的な進捗管理運営のため、代表委託先のパナソニック電気株式会社を中心として、出光興産株式会社、タツモ株式会社)間のプロジェクト運営会議、有機 EL 寿命要因の基礎研究を行う大学間の技術会議の2グループに分けて各々年3回ずつ、定期的に行った。実施者の各会議にはオブザーバとして NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部も適宜参加して、速やかな課題把握と対策に努めた。

(1) 定例ヒアリング

- －主催者:NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部
- －出席者:NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部、委託先、経済産業省
- －開催頻度:年2回(春・秋)
- －議事内容:研究開発内容の進捗状況報告

(2) プロジェクト運営会議

- －主催者：パナソニック電気(菰田 PL)
- －出席者：出光興産、タツモ、NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部
- －開催頻度：年3回
- －議事内容：研究開発成果・状況報告

(3) 技術会議

- －主催者：パナソニック電気(菰田 PL)
- －出席者：山形大学、青山学院大学、東京大学、NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部
- －開催頻度：年3回
- －議事内容：研究開発成果・状況報告

下表に本プロジェクト運営に際して開催し、公式な会議、ヒアリングを列記する。このほかにも、共同研究者間の技術的打ち合わせ、その他のミーティングは必要の都度、実施した。

2007 年度

開催日	項目	場所	メンバー	内容
2007/09/13	キックオフ会議	パナソニック電気 東京本社	出光興産・タツモ・パナソニック電気	プロジェクトキックオフ
2007/02/15	技術検討全体会議 (第1回)	パナソニック電気 大阪本社	出光興産・タツモ・パナソニック電気	研究開発内容に関するディスカッション

2008 年度

開催日	項目	場所	メンバー	内容
2008/04/17	2008 年度第1回プロジェクト運営会議	パナソニック電気 東京本社	NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電気	2007 年度成果と 2008 年度計画の概要
2008/05/14	2008 年度 第1回『有機 EL の寿命支配要因の解明』に関する技術会議	パナソニック電気 東京本社	山形大学・青山学院大学・東京大学・パナソニック電気	研究進捗状況報告と、 研究開発内容に関するディスカッション
2008/05/28	技術検討全体会議(第2回)	パナソニック電気 大阪本社	出光興産・タツモ・パナソニック電気	研究開発内容に関するディスカッション
2008/06/02	2007 年度第2回進捗状況ヒアリング	NEDO 川崎	NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電気	研究進捗状況ヒアリング
2008/08/26	2008 年度第2回プロジェクト運営会議	パナソニック電気 東京本社	NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電気	2010 年度の研究開発 状況報告
2008/10/02	2008 年度第2回『有機 EL の寿命支配要因の解明』に関する技術会議	パナソニック電気 東京本社	NEDO・山形大学・青山学院大学・東京大学・パナソニック電気	研究進捗状況報告と、 研究開発内容に関するディスカッション
2008/11/12	2008 年度第1回進捗状況ヒアリング	NEDO 川崎	経済産業省・NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電気	研究進捗状況ヒアリング
2008/12/17	2008 年度第3回プロジェクト運営会議	パナソニック電気	経済産業省・NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電気	2008 年度の研究開発 状況報告

	プロジェクト運営会議	大阪本社	光興産・タツモ・パナソニック電工	状況報告
2009/02/02	2008年度第3回『有機ELの寿命支配要因の解明』に関する技術お打合せ	パナソニック電工 東京本社	NEDO・山形大学・青山学院大学・東京大学・パナソニック電工	研究進捗状況報告と、研究開発内容に関するディスカッション

2009年度

開催日	項目	場所	メンバー	内容
2009/04/23	2009年度第1回プロジェクト運営会議	パナソニック電工 大阪本社	NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電工	2009年度の研究開発状況報告
2009/05/22	2009年度第1回『有機ELの寿命支配要因の解明』に関する技術お打合せ	パナソニック電工 東京本社	NEDO・山形大学・青山学院大学・東京大学・パナソニック電工	研究進捗状況報告と、研究開発内容に関するディスカッション
2009/06/22	2009年度第2回進捗状況ヒアリング	NEDO 川崎	経済産業省・NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電工	研究進捗状況ヒアリング
2009/08/26	2009年度第2回プロジェクト運営会議	タツモ 本社	NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電工	2009年度の研究開発状況報告
2009/09/15	2009年度第2回『有機ELの寿命支配要因の解明』に関する技術お打合せ	パナソニック電工 東京本社	NEDO・山形大学・青山学院大学・東京大学・パナソニック電工	研究進捗状況報告と、研究開発内容に関するディスカッション
2009/11/11	2009年度第1回進捗状況ヒアリング	NEDO 川崎	経済産業省・NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電工	研究進捗状況ヒアリング
2010/01/21	2009年度第3回『有機ELの寿命支配要因の解明』に関する技術お打合せ	パナソニック電工 東京本社	山形大学・青山学院大学・東京大学・パナソニック電工	研究進捗状況報告と、研究開発内容に関するディスカッション
2010/02/05	2009年度第3回プロジェクト運営会議	パナソニック電工 大阪本社	NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電工	2009年度の研究開発状況報告
2010/03/18	2009年度第4回『有機ELの寿命支配要因の解明』に関する技術お打合せ	パナソニック電工 東京本社	山形大学・青山学院大学・パナソニック電工	研究進捗状況報告と、研究開発内容に関するディスカッション
2010/06/09	春ヒアリング	NEDO 川崎	経済産業省・NEDO・出光興産・タツモ・パナソニック電工	研究進捗状況ヒアリング

2.6 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

本プロジェクトの研究開発の成果を迅速且つ効果的に実用化、事業化に展開するために、有機 EL 照明の技術開発を段階的・継続的に進める戦略的アプローチを採用した。

具体的には図 2.6 のように進めた。2002 年～2006 年の先導研究の成果を生かして、本プロジェクトにて高演色高効率照明を実現する技術開発を行った。本成果を生かして2～3年度に実用化開発を経て量産化を実現して付加価値市場へエントリー可能とした。さらに本成果を基盤として本格的に蛍光灯の2倍の効率を実現して、蛍光灯を有機 EL で置き換える革新的な次世代照明プロジェクトを2009年度末よりスタートしている。

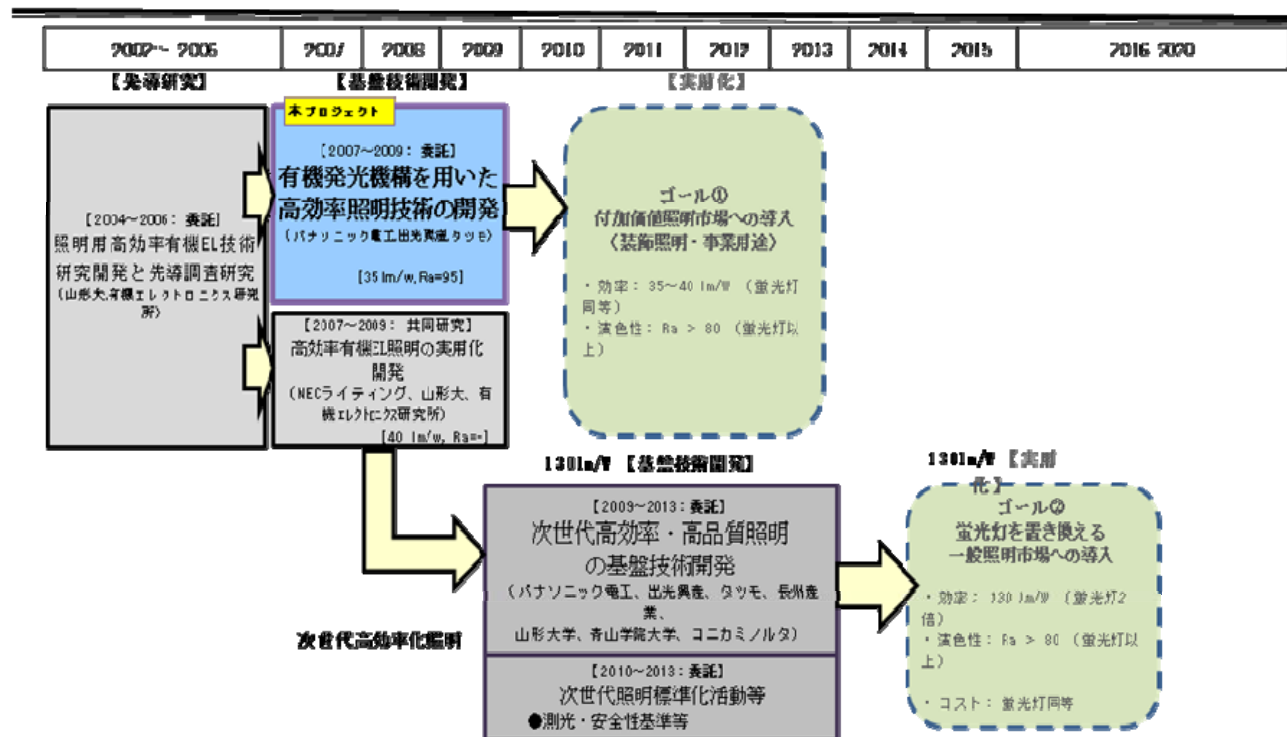


図 2.6 有機 EL 照明開発プロジェクトの連携

また有機 EL 照明の製品化は国際的にも未だ進んでいないが、研究開発完了後、2～3年後には量産化が進み市場が立ち上がる状況を踏まえると、標準規格化が望まれる状況にある。有機 EL 照明を国際的な事業展開の機会ととらえ、本プロジェクト後に本成果と連動して、NEDO 事業により日本が主導して積極的に標準化活動を推進する戦略マネジメントを行った。

3. 情勢変化への対応

(1) これまでの情勢変化への対応

本プロジェクト推進に当たり、随時発生する事象について、適宜対策を講じて、目標達成を図った。

主要な対策は以下の通り。

表 3.1 情勢変化への対応推移

時期	情勢の変化	対策	投入加速資金 (単位:百万円)
2008年4月	高速蒸着プロセス技術の研究開発を進めていった結果、蒸着の高速化に際して蒸着の異常防止、膜品質向上、材料劣化防止には、バルブ型蒸着セルのきめ細かい温度の均一制御処理が効果的であることが判明した。	バルブ型蒸着セル技術、温度均一制御技術など、真空関連の製造装置分野における高度な先進的研究開発能力を保有する長州産業(株)を再委託先として調整を行い、新規参画する体制強化を行った。本対策により目標を達成した。	—
2008年7月	海外照明メーカー(No valed 社)による急速な研究進展により高性能パネル(Ra:90、寿命:4万時間)が開発された。	加速対策として以下の上位目標を設定して加速資金を投入した。 ・2008年度の半減寿命目標を1万時間 → 2.5万時間に引き上げ本目標を達成した。	180
	海外、国内ともに有機 EL 照明の実用化の機運が高まり、低コスト化の重要度が増した。	加速対策として以下の追加目標を設定して加速資金を投入した。 ・2009年度末の不均一領域を塗布端部から各5mm以下と目標を追加(2008年度目標:30mm以下)し本目標を達成した。	45
2009年4月	次世代の点光源の代表であるLEDについて4万時間寿命の製品発表があった	加速対策として以下の上位目標を設定して加速資金を投入した。 2009年度の半減寿命目標を2.5万時間→4万時間に引き上げ本目標を達成した。	347
合計			572

4. 今後の対応

本プロジェクトの成果を生かして今後の発展を促す、現在計画されている対策を参考に示す。

① 蛍光灯の2倍の発光効率の次世代照明の実用化

本プロジェクトの基盤技術開発により、有機 EL 照明の実用化の目途が立った。本基盤技術により、蛍光灯に対して演色性、輝度半減寿命を凌ぐ有機 EL 照明の実現が可能であることから、装飾照明や高付加価値照明として有機 EL 照明の実用化が可能となった。しかし現在、家庭やオフィスで使用されている蛍光灯を、一般利用者により積極的に有機 EL 照明に置き換えてもらうためには、さらなる発光効率向上及び、低コスト化の課題を今後解決する必要がある。本有機 EL 照明プロジェクトの成果を生かして、さらに発展させるために NEDO 事業として「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」プロジェクトを 2009 年度より立ち上げて、発光効率としては蛍光灯の2倍以上に当たる 130 lm/W、コストとして蛍光灯並みの 0.3 円/lm・年以下の有機 EL 照明を実現する次世代有機 EL 照明の実現に必要な基盤技術開発をスタートした。本基盤技術開発完了後は有機 EL 照明の蛍光灯代替が急速に加速普及することが予想される。経済産業省戦略の2020年の蛍光灯の次世代照明による全代替の実現が期待でき、国内の省エネルギー化、CO₂削減が大幅に進展する。

② 有機 EL 照明の国際標準化

さらに日本の有機 EL 照明が国際的にグローバルに普及するためには、全世界共通の製品規格が確立される必要がある。青色 LED の発明がありながら LED 照明の標準化の立ち遅れにより日本企業の海外市場で苦戦している現在の状況を鑑みて、NEDO 事業として全世界共通の規格づくりに向けた国際標準化活動に取り組む予定である。有機 EL 照明分野においては日本の技術力の優位性を損なわれない性能項目及び性能項目を計測する測光方式に力点を置いて、有機 EL 照明技術のトップを走っている日本から標準規格を発信して、地盤固めすることにより、日本の有機 EL 照明をグローバルに拡大することを目指す。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

輝度 1,000 cd/m²において、平均演色評価数 Ra=95、電力効率 37 lm/W、輝度半減寿命 4 万時間以上を同時に実現した、演色性、電力効率、半減寿命の全てを高いレベルで同時に満たす高性能白色有機 EL 素子を実現した。各種特性は、発光面サイズ 2×2 mm²~100×100 mm²の範囲で同等であった。また、本有機 EL 素子の発光色の角度依存性は、Energy Star が 2008年に規定した”ENERGY STAR® Program Requirements for Solid State Lighting Luminaires, Eligibility Criteria”に記載の範囲に収まるものであり、照明用光源として優れたものであるといえる。また学術的には、電極-有機膜界面や有機層-有機層界面などに存在する寿命支配要因の解析を行い、長寿命化に関する指針を得た。また、スパッタプロセス、塗布プロセスにおいて膜特性に影響を与える要因の解析を実施したとともに、極薄の有機膜の熱伝導率および界面熱抵抗に関する定量的な知見を得ることができた。

一方前記有機 EL 素子を作製するための製造プロセス要素技術として、塗布、蒸着、封止に関するプロセス技術の開発を行った。塗布プロセスに関しては、極薄ホール注入層の高速均一塗布形成プロセスの開発を CAE も活用して実施し、A4 サイズの ITO 付ガラス基板に対して、有機 EL に求められる約 30 nm (膜厚分布±3%) の極薄膜を、塗布速度 200 mm/s で塗布し、所定の形状にパターンニング後均一に乾燥・焼成可能な一貫プロセスを開発した。また本プロセスは実際の白色有機 EL パネルの作製にも有効であった。

蒸着プロセスに関しては、バルブ付き蒸発機構とホットウォールを融合した新規蒸着源を新たに開発し、材料使用効率 70%以上、成膜速度 8 nm/s 以上、膜厚分布±3%以下の優れた成膜特性を実現した。本蒸着源は、20 nm/s 程度までの成膜速度範囲で良好な成膜速度制御性を有するとともに、0~100%の速度制御を 10 秒以内で行え、また複数の材料を±3%以内の膜厚分布で均一混合可能なものであった。また連続運転への対応のため、蒸着速度を安定に長時間維持でき、かつ材料の熱劣化を抑制可能なバルブ付き蒸着機構を開発した。さらに本蒸着源を用いたインラインプロセス要素技術開発を、基板高速搬送および基板冷却の観点から実施し、基板温度を 100℃以下に保持可能なインライン蒸着プロセスを実現した。

封止構造およびプロセスに関しては、過去に開発した金属箔固体封止構造の高信頼性化を実現するための技術を開発した。防湿層の挿入により、非発光部の成長速度を 1/10 以下に抑制し、初期輝度 1,000 cd/m²における半減寿命 4 万時間、および 10 万時間を超える室温での保管寿命を実現した。なお本封止構造を備えた有機 EL パネルは、5,000 cd/m²などの高輝度でも長時間の安定点灯が可能なものであった。

目 標	研究開発成果	達成度
<p>①生活照明を代替する高性能照明光源の開発</p> <p>(1) 高演色性マルチユニット素子構造の技術開発 (出典:基本計画 p4-5)</p> <p>平均演色評価数 Ra: 90 以上 効率: 35 lm/W 以上 輝度: 1,000 cd/m² 半減寿命: 4 万時間以上 (10cm 角基板で)</p> <p>(2)有機 EL の寿命支配要因の解明 (出典:基本計画 p4-5)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・有機層界面部の劣化機構、電極に隣接する有機層自体に於ける劣化機構の分析・解析" ・有機層と無機層との界面部に於ける劣化機構の分析・解析" ・塗布成膜される有機層の形態的・電気的特性と膜形成プロセスとの相関解析 ・当該塗布層とそれ上に形成される蒸着層との界面の解析" ・極薄膜均一高速成膜プロセス技術の開発 	<p>(1)以下の特性を有する白色発光素子を実現 (出典:事業原簿公開版 pⅢ-9～Ⅲ-28)</p> <p>平均演色評価数 Ra:95 効率:37 lm/W 輝度:1,000 cd/m² 半減寿命: 推定 4 万時間以上</p> <p>(2)以下の寿命支配要因を解明 (出典:事業原簿公開版 pⅢ-28～Ⅲ-30)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・傾斜型素子構造の有効性、すなわち界面蓄積電荷が寿命に与える悪影響を排除する方策を提案した ・電極上に有機単分子層を設け、ドーピングする方法において、寿命向上に大きく貢献する表面処理法(材料・プロセス)を見いだした ・ホール注入層組成とホール輸送層との相互作用の定量的評価 ・膜厚 100 nm 以下の極薄膜の熱伝導率の定量的評価 ・無機導電膜成膜プロセス中の高エネルギー粒子の in-situ 解析 ・off-axis スパッタ法のダメージ低減方法としての有効性確認 ・有機薄膜構造の成膜プロセス依存性として、乾燥速度と分子配向性・結晶性・移動度の関係について解析 	<p>(1) 達成</p> <p>(2) 達成</p>

目 標	研究開発成果	達成度
<p>②高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発</p> <p>(1) 大気圧下薄膜層形成技術の開発 (出典:基本計画 p6-7)</p> <p>膜厚: 30 nm 以下 塗布速度: 200 mm/s 以上 均一性: 分布±3%以下</p> <p>選択塗布プロセスの開発に関し、 不均一領域: 塗布端部から 5 mm 以下"</p> <p>(2)省資源型高速蒸着プロセス技術の開発 (出典:基本計画 p6-7)</p> <p>材料使用効率: 70%以上 成膜速度: 8 nm/s 以上 基板温度(表面温度): 100℃以下"</p> <p>(3)高放熱薄型封止プロセス技術の開発 (出典:基本計画 p6-7)</p> <p>半減寿命: 4 万時間以上 保管寿命: 5 万時間以上 (10cm 角発光面で)</p>	<p>(1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・膜厚:30nm 塗布速度:200mm/s 均一性:±3 % 不均一領域: 塗布端部から 5mm 以下を実現 <p>(出典:事業原簿公開版 pⅢ-30～Ⅲ-38)</p> <p>(2)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料使用効率 70%、成膜速度 8 nm/s・試作デバイスの良好な発光特性を確認 ・バルブ型蒸着セルの蒸着温度低減を 長州産業株式会社と実施し、 約 20 度の温度低減を実現 ・材料の熱分解を抑制し、長期間良好な 特性の素子作製が可能であることを確認 <p>(出典:事業原簿公開版 pⅢ-38～Ⅲ-49)</p> <p>(3)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半減寿命推定4万時間・保管寿命10万時間 (推定)を達成 <p>(出典:事業原簿公開版 pⅢ-41～Ⅲ54)</p>	<p>(1) 達成</p> <p>(2) 達成</p> <p>(3) 達成</p>

本プロジェクトは、生活照明を代替できる高性能照明となる有機 EL 照明を早急に実用化し、民生部門の省エネルギー化促進および京都議定書の目標達成への貢献に寄与することを目的として実施した。また、現在の照明光源の世界シェアは日本が 20%程度であるのに対し、欧米は 65% (欧州: 50%、米国: 15%) という状況であるとともに、欧米メーカー (オスラム・フィリップス・GE) の照明光源は、日本国内でも事業展開されるようになってきている。これらのメーカーが先行して次世代照明を市場に投入した場合には、欧米メーカーに国内シェアを大幅に つかわれかねず、世界的にみると弱小な日本国内の照明企業は大半が存在すらくることが される。これに対 するため、日本でもいち早く次世代照明を開発し、新たな照明市場を切り開くことも本プロジェクトの目標であったといえる。

今回開発された高演色性・高性能有機 EL 照明デバイス要素技術、省資源型製造プロセス要素技術は、前記目的実現のために活用可能なものであり、生活照明の代替に貢献可能な有機 EL 照明の実現に貢献する有力な要素技術であるため、本プロジェクトは、その位置づけおよび目的に照らし合わせると成したと断できる。しかし今後、本プロジェクトでの開発技術をより進化・高度化し、また有機 EL 照明の実現に必要な他の技術を開発するための活動を継続して行うことが、本プロジェクトの成果を有効に活用し、前記目標を真に達成するために必要であると考えられる。

2. 研究開発項目毎の成果

2.1. 各開発項目に於ける成果要約

研究項目①生活照明を代替する高性能照明光源の開発

(1) 高演色性マルチユニット素子構造の技術開発

a) 短波長・高効率青色発光材料の開発(出光興産株式会社)

発光ピーク波長 460 nm 未満の青色蛍光ドーパントの設計指針を設定し、分子設計・合成した多数の材料群から有望な構造を見だし、2007 年度にはピーク波長 452 nm、2008 年度は更に短波長化かつ高効率・長寿命化した複数の青色発光材料を開発した。外部量子効率 8 %を実現した BD-NP04 は、パナソニック電気株式会社で白色マルチユニット素子に用い、平均演色評価数 95 を達成した。2009 年度はさらなる短波長化と長寿命化を実現する分子設計を行い、BD-NP04 の性能に匹敵する3つの青色発光材料を見出した。また BD-NP04 に関しては 100 g スケールでの高純度製造法を確立し、白色有機 EL 素子の製造プロセス開発検討に適用した。

b) マルチユニット素子中間層の開発

b-1) 中間層材料の開発(出光興産株式会社)

金属化合物系材料と有機薄膜界面との接合時の課題を整理し、表面修飾技術の開発を行った。スパッタ時に発生するプラズマに耐性がある無機化合物として種々の遷移金属酸化物を選定し、アルカリ金属化合物との組み合わせと比率を検討した結果、有機電子注入層同等の特性を示す無機型電子注入層を見出した。また、製造プロセスへのより高い適合性を考慮し、別途有機電子注入層の選定と評価を進め、低電圧駆動かつアルカリ金属との複合化を実現する電子輸送材料を出光興産株式会社が保有する材料の中から抽出して、b-2)での構造検討に供した。

b-2) 中間層構造の開発(パナソニック電気株式会社)

電子注入性ダメージ低減層としてのアルカリ金属含有無機層または有機層と、導電性キャリア注入/輸送性薄膜からなる中間層構造を開発した。b-1)で選定された材料を用い、ダメージ低減層としての安定性をトラップ評価によって解析し、適切な組み合わせおよび組成を決定した。また低ダメージ成膜に対応可能な材料・プロセス、および光学的な観点から導電性材料の選定を行い、マルチユニット素子に与える光学的悪影響を低減することによって、発光効率および発光色の角度安定性を向上させることに成功した。本構造の中間層構造は、有機系の中間層の課題の一つとして知られる駆動時の電圧上昇をほぼ完全に抑制可能なものであった。また、この中間層構造を形成するための低ダメージ成膜プロセスの開発も行った。

c) 高演色性マルチユニット素子構造の開発(パナソニック電気株式会社)

RGB3色の発光材料の組み合わせによる演色性シミュレーションおよび実デバイスでの検討によって、高演色性、かつ発光色の角度依存性を抑制可能なマルチユニット素子構造を検討し、f-1) 高性能発光ユニット構造の設計指針として設定した。前記高性能発光ユニットを用い、マルチユニット素子内の光干渉挙動および光取り出し層内での光の振る舞いを考慮した光学的、電気的観点からの素子全体設計を行うことによって、平均演色評価数 Ra 95 を実現するとともに、照明として好ましくない発光色の角度依存性をほぼ完全に抑制した、高演色性マルチユニット素子を実現した。

d) 光取り出し技術の開発(パナソニック電気株式会社)

パナソニック電気株式会社の保有する光学機能層を本プロジェクトで開発した高演色性マルチユニット素子に適用し、光学的マッチング性向上検討を行った。10 mm 角の発光面の白色マルチユニット素子において、光取り出し効率は約 1.5 倍に向上し、かつ発光色の角度依存性がほぼ完全に抑制されること、演色性、寿命に対して悪影響を及ぼさないことを確認した。

e) 高性能電子輸送材料の開発(出光興産株式会社)

耐久性の高い電子輸送材として、高いガラス転移温度と電子輸送能を両立するものを出光興産株式会社の保有する材料から選定した。さらに、マルチユニット素子の低電圧化を鑑み、中間層形成時に求められるスパッタ耐性を発現し得る高耐久性有機電子輸送材料を、アルカリ金属を用いた場合の電子注入特性および電子トラップ特性を評価指標として選定した。

f) 高性能発光ユニット構造の開発(パナソニック電気株式会社)

f-1) 高効率発光ユニット構造の開発

c) で示された設計指針に基づき、a) の短波長青色蛍光発光材料、e) の高性能電子輸送材料を用い、また緑／赤色リン光発光材料および各種の周辺材料を選定して、低電圧構造設計、発光領域制御などによる発光ユニット構造の開発を行った。これらの発光ユニットを用いて2層マルチユニット型白色発光素子を構成したところ、光取り出し技術を併用する前の状態で、輝度 1,000 cd/m²において約 30 lm/W の高効率白色発光を示す素子が得られた。

f-2) 青色発光ユニットの長寿命化技術の開発

青色発光ユニットを形成する電極の表面エネルギー制御、有機薄膜のエネルギー状態および電気的特性など種々の特性値に基づくデバイス構造設計・材料選定により、青色発光ユニットの長寿命化検討を行った。その結果、白色化時の輝度 1,000 cd/m²時、4 万時間を十分に超えるレベルの長寿命・高効率青色発光ユニットを得ることができた。得られた結果はリン光発光ユニットの開発にも展開した。また、素子の形成プロセスとリーク欠陥の程度・位置の相関についての評価・解析を実施し、寿命特性、信頼性を向上させた。

(2) 有機 EL の寿命支配要因の解明

g)有機 EL の寿命支配要因の研究

g-1)有機層間および電極界面有機層の解析(国立大学法人山形大学)

陽極と有機層の界面に存在する寿命支配要因に注目し、当該界面への極薄有機層の導入およびハロゲン処理が寿命支配要因に与える効果についての検討を行った。長鎖アルキル系の有機材料での処理によって電極表面状態を制御し、さらに当該表面に対する適切なハロゲン処理条件を見いだした結果、NPD/Alq₃系の有機 EL デバイスにおいて、単にハロゲン処理を行った場合に対して約 2 倍の長寿命化が確認された。また有機材料に特定の置換基を導入することで、さらに 3 倍程度の長寿命化が実現された。ハロゲン処理は一種のドーピング処理であり、その適切な制御によって電極と有機材料の界面に存在する非常に強い寿命支配要因を有効に排除可能であることが実証された。

g-2)有機-無機界面に関する解析(青山学院大学)

・有機層-無機層の界面における電荷注入機構の解明

種々の構造を有する無機系ホール注入層 MoO_x($x \approx 3$)をプロセス条件を制御することによって形成し、ホール輸送層 α -NPD との積層界面を、ラマン分光法および X 線光電子分光法により詳細に分析した。界面に形成される α -NPD カチオン量は MoO_x 組成依存性を示し、MoO_x の酸素欠損量(酸化状態)が α -NPD との反応性(電荷授受性)を支配することが示唆された。金属酸化物の酸素欠損量の制御による陽極から有機層へのホール注入特性の調整手法は、有機 EL 素子の発光特性、寿命特性の向上法としての活用が期待できる。

・有機層-無機層の熱伝導機構の解明

膜厚 100 nm 以下の有機薄膜(α -NPD、Alq₃ など)、金属薄膜(Al)、透明導電膜(In₂O₃-ZnO(IZO))の熱拡散率をサーモリフレクタンス法を用いて高い精度で定量的に測定することに成功した。有機膜の熱拡散率は、電極層(Al、IZO)の熱拡散率よりも一桁から二桁程小さく、電流駆動時の有機層での著しい温度上昇が、有機膜の小さい熱拡散率に起因していることが示唆された。加えて、薄膜界面に存在する界面熱抵抗の実測も初めて可能となった。これらの値は有機デバイスの熱設計に有用であると考えられる。

・有機 EL デバイスの透明電極材料、および有機層 - 無機層界面における電子状態解析

SPring-8 での硬 X 線光電子分光法(HAX-PES)により、有機膜上に形成した透明電極と有機材料との界面状態を非破壊かつ直接的に測定し、内殻電子のケミカルシフトから有機材料の化学的結合状態の変化を示唆する結果を得ることができた。通常的手段系では評価が困難な、多層膜の内部に存在する界面の情報が得られた数少ない例である。また一般的な蛍光量子収率法では検出できないレベルの有機膜への影響を評価できたことから、本法は界面状態評価法として非常に有用であると考えられる。

g-3)塗布・乾燥プロセスの解析(国立大学法人東京大学)

有機薄膜を、乾燥速度を大きく違えた種々の条件で塗布法によって作製し、有機薄膜構造の成膜プロセス依存性を光学的評価法、電気的評価法などの種々の手法を用いて比較検討した。光

学特性から示唆された有機分子の凝集状態の系統的差異は、異なる分子間隔および配向方向に由来することが X 線回折評価によって示された。また乾燥速度と移動度の相関も確認された。別途、薄膜形成の動的過程に着目し、界面の揺らぎ(光散乱の変化)、質量変化、温度変化の同時測定によって、乾燥過程で生じる現象を定量的に観察した結果、塗布溶液の初期濃度に依存して、薄膜開始状態および得られる膜の質が異なることが判明した。一般に、半導体有機薄膜の塗布成膜過程の直接観察手法は確立されているとは言い難いため、今後の実験系の精緻化は必要であるものの本動的評価手法は有望であると考えられる。

研究項目②高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発

(1) 大気圧下薄膜層形成技術の開発

h) 極薄膜均一高速成膜プロセス技術の開発(タツモ株式会社)

h-1) 極薄膜高速成膜プロセス技術の開発

スリットノズルの形状および表面状態の設計、およびコーティングプロセス条件の制御により、塗布速度 200 mm/s、乾燥後の平均膜厚約 30 nm、膜厚分布 $\pm 3\%$ を実現する、A4 サイズの ITO 付ガラス基板への極薄膜均一高速成膜プロセスを開発した(基板の周辺 30 mm 幅の領域を除く)。また、ノズル上流側メニスカス部の圧力が塗布条件および塗布膜に与える影響を実験的に確認するとともに、CAE での検証も行うことによって、塗布領域拡大に有効と考えられる要素技術を開発した。乾燥プロセスに関しては、液膜の乾燥条件、乾燥過程および乾燥・焼成時の雰囲気制御が可能な乾燥装置などから構成された、塗布から乾燥までの一貫プロセス条件制御を行うための装置導入を行ない、前記高速成膜プロセスと融合した。また、これらのプロセスを用いたデバイス作製および評価によって一貫プロセスとしての要素技術の抽出を行うとともに、本プロセスが有機 EL 素子の作製に適用可能であることを実証した。

h-2) 不均一塗布領域発生要因の解明および選択塗布を指向した塗布要素技術の開発

塗布膜厚が不均一な領域が基板端部に発生する要因を、塗布液膜の動的挙動評価(高速度カメラ評価など)および得られた膜の不均一性(不均一な膜厚プロファイルなど)の定量的評価によって解析した。また、CAE を用いたノズル内および流路内における液体の流動解析・検討を行い、不安定領域の発生メカニズムを抽出した。その結果、塗布時のメニスカス(ノズル先端と基板間の塗布液)の安定制御が不均一領域の解消に効果があることを見いだした。この結果を活用することによって、基板移動方向、ノズル幅方向それぞれで、不均一領域 5 mm 以下で、乾燥後の平均膜厚 30 nm、膜厚分布 $\pm 3\%$ の極薄膜均一高速成膜を実現した。

(2) 省資源型高速蒸着プロセス技術の開発

i) 高速蒸着プロセス技術の開発

i-1) 高速・高材料使用効率蒸着源の開発(パナソニック電気株式会社)

シミュレーションを活用して構造設計したホットウォールを、長州産業のバルブ付蒸発機構と融合した新規蒸着源を試作した。本蒸着源は、材料使用効率 70%以上、成膜速度 8 nm/s 以上、膜厚分布 $\pm 3\%$ 以下の優れた成膜特性を有するものであった。また、20 nm/s 程度までの成膜速

度範囲で良好な成膜速度制御性を有するとともに、0～100%の速度制御が 10 秒以内で可能であることを確認した。共蒸着対応に関しては、3 材料が±3%以内の膜厚分布で均一混合される構造を同シミュレーションによって設計し、実験的にも均一に混合されていることを確認した。

i-2) 連続運転対応蒸着制御技術の開発(パナソニック電気株式会社・長州産業株式会社)

i-1) で開発した蒸着源のバルブ開度制御によって、蒸着速度を長時間に渡って安定的に保持可能であることを実験的に確認した。蒸着速度を速くした際に、特定の材料は熱劣化を示すという課題に対し、通常の蒸着源よりも加熱温度が高くなる要因となっていたバルブ周りの蒸気流路抵抗の低減のため、コンダクタンスの増大と蒸発断面積の拡大によって狭隘部の改良を行った。本改良を行ったバルブ付蒸着機構は、15～20℃程度加熱温度を低減でき、適用可能な有機材料の種類を増やすことに成功した。また、連続運転可否の一つの基準として設定した 144 時間連続加熱後でも、加熱初期に作製した有機 EL 素子の特性(初期特性・寿命)と同等の特性を示す有機 EL を作製可能であることを実証できた。

j) 高速搬送機構・冷却技術の開発(パナソニック電気株式会社)

基板温度制御として間接冷却方式を選定し、冷却板の放射率、基板と冷却板の距離、蒸着源温度、基板搬送速度などをパラメーターとする検討によって、基板温度を 100℃以下に保持可能な能力を有すると考えられる冷却技術を開発した。この冷却機構とi) で開発した蒸着源を組み込んだインライン蒸着実証実験機を作製し、同装置で基板搬送および基板冷却能力を検証した。その結果、搬送速度が約 30 mm/s で、成膜速度 8 nm/s に蒸着源の温度条件を設定した時にも、基板表面温度を 100℃以下に保つことが可能であることを確認した。また、多数の蒸着源上を順に移動する連続プロセスを想定した運用検討評価で、約 30 層の連続成膜時にも基板表面温度は 100℃を超えないことを確認した。

(3) 高放熱薄型封止プロセス技術の開発

k) 高放熱&低透湿封止材料・プロセス技術の開発(パナソニック電気株式会社)

低ダメージ性の観点で選定したプロセスによって形成する無機系防湿性向上層を、伝熱/放熱特性に優れる金属箔固体封止構造内に挿入した新封止構造を、発光面積 10 cm×10 cm の白色発光パネル上に形成した。本パネルおよびサイズの異なる参照素子の半減寿命および通電劣化挙動を種々の輝度および雰囲気で評価した。得られた結果を室温・初期輝度 1,000 cd/m² 時に換算すると、4 万時間を超える推定輝度半減寿命が得られた(実測によって算出した加速定数である 1.45 で換算した場合)。また 85℃・85%の高温高湿加速劣化条件で非発光部の成長速度を評価したところ、前記防湿性向上層の挿入によって成長速度は 1/10 以下に抑制されており、室温での保管寿命は 10 万時間以上であると推定できた。

2.2. 研究開発項目の成果詳細

研究項目①生活照明代替高性能照明光源の開発

(1) 高演色性マルチユニット素子構造の技術開発

a) 短波長・高効率青色発光材料の開発(出光興産株式会社)

高い演色性を有する有機 EL 白色パネルを実現するために、460 nm 未満の発光波長を有する青色蛍光ドーパントが必要である。また、実用寿命を得るために、耐久性のあるドーパントの設計指針が必要である。そこでその設計指針として以下の3点に着目し、ドーパントの設計、合成を行った。

- ・ホストからドーパントへのスムーズなエネルギー移動を起こさせるため、ホスト材料の蛍光スペクトルに対して、ドーパントの吸収スペクトルが十分に重なる母骨格を有すること
- ・蛍光量子収率の高い分子骨格を導入すること
- ・ドーパントは共役長が制限される骨格とし、かつストークスシフトを小さくするため、励起状態での分子変形がより小さな剛直な分子骨格構造とすること

発光波長 460 nm 未満の青色蛍光ドーパントを実現するために、基本となる分子構造(母骨格)を4系統(骨格 I~IV)選定し、さらに、各母骨格に好ましい置換基(側鎖)を導入することにより青色蛍光ドーパントを得た。シリカゲルカラム、再結晶操作による精製の後、昇華精製を施すことにより、99.5%以上の化学純度にまで精製した。母骨格 I、II から各 3 材料、母骨格 III から 2 材料、母骨格 IV から 1 材料の計 9 種の青色ドーパントの合成を完了した。量子収率と発光ピーク波長、エネルギーギャップの測定を行った結果を表a) - 1 に示す。量子収率と蛍光の発光ピーク波長はトルエン溶液で測定した。

表a) - 1 合成した青色ドーパントの量子収率と発光ピーク波長

母骨格	No.	PL量子収率(%) (トルエン溶液)	PL発光波長(nm) (トルエン溶液)	Eg (eV)
I	BD-N01	51	438	2.97
I	BD-N02	17	448	3.07
I	BD-N03	69	460	2.82
II	BD-N04	17	384	3.35
II	BD-N05	90	391	3.18
II	BD-N06	23	395	3.28
III	BD-N07	41	428	2.96
III	BD-N08	43	447	2.85
IV	BD-NP01	97	450	2.79

9 種全てのドーパントの蛍光発光波長は 450 nm 以下を示しており、有機 EL 素子とした場合、目的の 460 nm 未満の EL 発光波長を実現する発光特性を有していることがわかる。しかしながら、量子収率は母骨格 I では 17~69%、母骨格 III では 41~43%と非常に低い値であるので、母骨格 I、III の系統は、励起されたエネルギーを効率よく発光に変換できない可能性がある。母骨格 II でもその傾向が強いが、BD-N05 のみ非常に高い量子効率を示した。しかし、発光波長

が 391 nm と著しく短波長であり、開発コンセプトの1つに挙げた、ホスト材料からの効率よい励起エネルギーの受け渡しができない可能性が高い。唯一母骨格 IV の BD-NP01 が量子収率および溶液での発光波長の点で目標とする性能を満足する可能性があった。そこで、BD-NP01 の有機 EL 素子評価を行うこととした。

有機 EL 素子は蒸着法で作製した。素子構成は発光層のほかに、正孔輸送層、電子輸送層を用いる標準的な構成とし、蛍光ドーパント以外の有機材料は出光興産が保有する独自の材料を用いた。初期特性を表a) - 2 に示す。

表a) - 2 BD-NP01 の初期特性と半減寿命

	電圧 (V)	輝度 (cd/m ²)	色度		L/J (cd/A)	η (lm/W)	EQE (%)	λ_p (nm)	半減寿命 (h)
			x	y					
BD-NP01	4.58	849	0.148	0.184	8.49	5.83	5.94	459	638

初期特性: 電流密度 10 mA/cm²、輝度半減寿命: 初期輝度 5,000 cd/m²

BD-NP01 は有機 EL 素子の初期特性として、目標波長 460 nm 未満となる EL 発光波長 459 nm を示した。また、電流効率 8.49 cd/A、発光効率 5.83 lm/W、外部量子効率 5.94% という高い値を示し、高品質白色照明を実現するための青色蛍光ドーパントとして有望であることがわかった。初期輝度 5,000 cd/m² からの輝度半減寿命は 638 時間であった。初期輝度 1,000 cd/m² の白色パネルの半減寿命に換算すると 2 万時間を越える。よって、マルチユニット構造を持つ白色パネルでの性能評価のために本ドーパントをパナソニック電工に供給した。

BD-NP01 は 460 nm 未満である 459 nm の発光ピーク波長を示したが、パナソニック電工での検討の結果、スペクトルの立ち上がり急峻であるため、白色パネルの平均演色評価数は Ra=90 が限界と判断した。そこでさらなる短波長ドーパントの開発として、母骨格 IV の系統で高い量子収率を保ったまま発光波長を短波長化するため、置換基(側鎖)の分子構造に注目し、分子骨格の見直しを行った。鋭意探索を進めた結果、BD-NP01 の発光波長を 8 nm 短波長化した、発光波長 451 nm を有する BD-NP02 の開発に成功した。初期特性と輝度半減寿命を示す。

表a) - 3 BD-NP02 の初期特性と輝度半減寿命

	電圧 (V)	輝度 (cd/m ²)	色度		L/J (cd/A)	η (lm/W)	EQE (%)	λ_p (nm)	半減寿命 (h)
			x	y					
BD-NP02	4.09	810	0.146	0.134	8.10	6.22	7.06	451	461

初期特性: 電流密度 10 mA/cm²、輝度半減寿命: 初期輝度 5,000 cd/m²

BD-NP02 を用いた青色蛍光 EL 素子は外部量子効率 7.06% を達成し、BD-NP01 を大きく上回る値を示した。当時の青色蛍光有機 EL 素子としては世界トップレベルの性能である。輝度半減寿命は BD-NP01 を下回ったが、本材料を用いたマルチユニット構造の白色パネルをパナソニック電工で試作した結果、平均演色評価数 Ra=94、発光効率 26 lm/W、輝度半減寿命 2 万時間以上の白色パネルを実現することができた。

高演色性を維持し、高い発光効率と寿命耐久性を併せ持つ照明光源を実現するため、さらに青色蛍光ドーパントの開発を進めた。発光効率の損失を防ぐために、ホストからドーパントへのエネ

ルギー移動が 100%維持できるよう、蛍光量子収率の高い母骨格の選定と材料合成を新たに実施(母骨格 V~VI)すると共に、BD-NP02 と同系統の母骨格(母骨格 IV)を用いて最適な置換基を選定し、合成した。溶液中での量子収率と発光ピーク波長、エネルギーギャップの測定を行った結果を表a) - 4 に示す。量子収率と蛍光の発光ピーク波長はこれまでと同様にトルエン溶液として測定した。

表a) - 4 合成した青色ドーパントの量子収率と発光ピーク波長

母骨格	No.	PL量子収率 (%) (トルエン溶液)	PL発光波長 (nm) (トルエン溶液)	Eg (eV)
IV	BD-NP01	97	450	2.79
IV	BD-NP02	99	442	2.82
V	BD-N09	97	481	2.61
V	BD-N10	95	478	2.61
V	BD-N11	94	485	2.59
V	BD-N12	96	475	2.61
V	BD-N13	89	504	2.61
IV	BD-N14	98	440	2.82
IV	BD-N15	92	433	2.88
IV	BD-N16	96	440	2.83
IV	BD-N17	98	439	2.83
IV	BD-N18	100	432	2.89
IV	BD-NP03	100	447	2.75
IV	BD-N19	100	417	2.97
IV	BD-N20	87	440	2.82
IV	BD-NP04	98	443	2.81
VI	BD-N21	53	422	3.03
VI	BD-N22	55	432	2.96
VI	BD-N23	55	428	2.98

リファレンスとしての BD-NP01 と BD-NP02 の物性値を上段に示した。新規母骨格 V (BD-NP09~BD-NP13)においては母骨格 IV と同等である 90%前後の量子収率を示し、ドーパントの母骨格として有用であることがわかった。しかしながら、置換基をデザインしても発光波長の長波長化を防ぐことができず、高い演色性を発現する青色ドーパントとしては適用できないことがわかった。また、新規母骨格 VI (BD-NP21~BD-NP23)は量子収率が低く、効率的な発光ができない骨格であることがわかった。一方母骨格 IV を有する青色発光材料は、全て非常に高い量子収率を示し、発光波長も 417 nm~447 nm とおおよそ最適な EL ピーク波長を発現する材料群を揃えることができた。

これら母骨格 IV を有する材料を用いて同一の素子構成で青色発光素子を作製し、発光効率、発光波長、輝度半減寿命を評価した。このうち BD-N14 と BD-N18 は熱的な安定性が不十分であり、昇華精製において分子の分解が観測されたため、素子評価を断念した。評価の結果、BD-NP03 と BD-NP04 の 2 材料が有望であることがわかった。BD-NP03 は発光波長が BD-NP02 より 6 nm 長波長化(457 nm)し、発光効率、外部量子効率も低下したが、輝度半減寿命が 2 倍以上改善した。また、BD-NP04 は発光波長が BD-NP02 とほぼ同等(452 nm)であ

るだけでなく、電流効率 9.25 cd/A、外部量子効率 8.08%と、共に BD-NP02 を大きく上回る値を示した。データを表a)－5 に示す。この値は世界最高レベルのものである。白色パネルの性能向上検討のため、BD-NP03 および BD-NP04 をパナソニック電工に提供した。

表a)－5 BD-NP03 と BD-NP04 の初期特性と輝度半減寿命

	電圧 (V)	輝度 (cd/m ²)	色度		L/J (cd/A)	η (lm/W)	EQE (%)	λ_p (nm)	半減寿命 (h)
			x	y					
BD-NP03	4.34	754.4	0.149	0.179	7.54	5.46	5.36	457	951
BD-NP04	4.00	925.0	0.145	0.134	9.25	7.26	8.08	452	589

初期特性: 電流密度 10 mA/cm²、輝度半減寿命: 初期輝度 5,000 cd/m²

BD-NP04 は、本プロジェクトの成果である輝度 1,000 cd/m²、平均演色評価数 Ra=95、電力効率 37 lm/W、輝度半減寿命 4 万時間以上の性能を有する白色素子に用いられたものである。また BD-NP04 は、量産を見据えて 100 g スケールの製造検討と高純度化検討を実施し、製造上困難性がないことを確認すると共に、100 g の高純度製造を完了した。

BD-NP04 の輝度半減寿命は、BD-NP01 および BD-NP03 に劣るものであった。BD-NP04 の寿命を向上した材料を見出すため、更に母骨格 IV を有する高効率青色ドーパントの探索を実施し、計 6 材料の合成を完了した。表a)－6 に物性値を示す。

表a)－6 合成した青色ドーパントの量子収率と発光ピーク波長

母骨格	No.	PL量子収率 (%) (トルエン溶液)	PL発光波長 (nm) (トルエン溶液)	E _g (eV)
IV	BD-N24	78	436	2.87
IV	BD-N25	84	440	2.82
IV	BD-N26	82	441	2.81
IV	BD-N27	83	441	2.82
IV	BD-N28	83	438	2.83
IV	BD-N29	80	442	2.81

量子収率は BD-NP03 や BD-NP04 に比べて少々低い値を示したが、これら青色ドーパント材料を用いて同一の素子構成で青色発光素子を作製し、発光効率、発光波長、輝度半減寿命を評価した結果、BD-N27を用いた青色蛍光素子は、BD-NP04 と電流効率がほぼ同等となる 9.11 cd/A、外部量子効率 7.95%、BD-NP04 と同一の発光波長を示すことを見いだした。さらに、BD-NP04 を用いた素子に比べて駆動電圧が 0.2V 低減することから、発光効率は 7.51 lm/W と BD-NP04 を上回る値を示した。特筆すべきは、寿命が BD-NP04 の素子に比べて 30% 向上することであり、さらなる高耐久性白色パネル実現に大きく寄与することが期待できる。BD-N27 を用いた青色有機 EL 素子の性能を、表a)－7 に示す。

表a)－7 BD-N27 の初期特性と輝度半減寿命

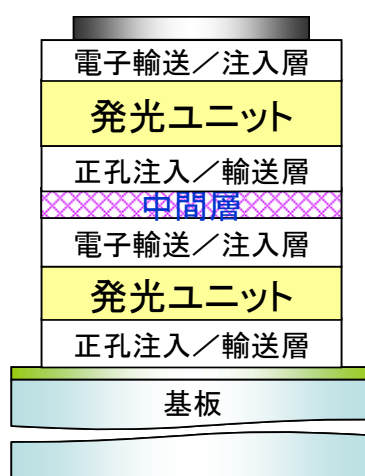
	電圧 (V)	輝度 (cd/m ²)	色度		L/J (cd/A)	η (lm/W)	EQE (%)	λ_p (nm)	半減寿命 (h)
			x	y					
BD-N27	3.81	911.1	0.148	0.133	9.11	7.51	7.95	452	780

初期特性:電流密度 10 mA/cm²、輝度半減寿命:初期輝度 5,000 cd/m²

この BD-N27 をパナソニック電工に BD-NP05 として供給し、青色発光材料として、BD-NP04 の代わりに BD-NP05 を用いた場合の白色素子特性をシミュレーションによって評価した。その結果、平均演色評価数は 95、発光効率は同等、寿命特性は 1.3 倍ほど向上する白色素子が得られる、という結果が得られた。

b) マルチユニット素子中間層の開発

有機 EL 素子の長寿命化には材料自身による長寿命化のほかに、マルチユニット構造が有効である。マルチユニット構造とは、図b-1)－1 に示すとおり、通常の有機 EL ユニットの複数直列に積み上げた構造である。両電極からホールと電子が注入されると同時に中間層からもホールと電子が発光ユニットへ注入され、複数の発光ユニットが同時に発光することを特徴とする。マルチユニット素子は、高輝度での長寿命化が可能となるため、特に照明用有機 EL 素子としての特性向上が期待できる。



図b-1)－1 マルチユニット型有機 EL 素子の例

高性能なマルチユニット型素子を実現するには、各発光ユニットの高効率化と共に、高性能な中間層の開発が必須である。中間層には透明導電膜を用いる方法と化学ドーピングされた有機膜を用いる方法などがあるが、本プロジェクトでは、熱的により安定な無機材料を中間層として用いることで長寿命を実現することを目指し、透明導電膜を用いたマルチユニット型素子および中間層を開発するものとした。中間層に透明導電膜を用いる場合、透明導電膜の成膜には通常スパッタリング法を用いるため、下地有機層へのプラズマダメージを低減させる必要がある。ここでは、スパッタダメージによる高電圧化を抑制することが可能な、蒸着成膜に対応した電子注入層(ダメージ低減層)と、低ダメージスパッタプロセスおよびこれらを活用した中間層構造の開発を行なった。

b-1) 中間層材料の開発(出光興産株式会社)

蒸着プロセスで成膜でき、スパッタダメージを抑制しつつ良好な電子注入を実現するために必要な技術を調査した結果、電子輸送性マトリックスとしての遷移金属酸化物と電子注入材料としてのアルカリ金属化合物からなる無機電子注入層を有望なものの一つに選定した。はじめに青色発光素子に無機電子注入層を適用し、良好な組み合わせを検討した。無機電子注入層を形成する遷移金属化合物とアルカリ金属化合物の組み合わせに関しては、遷移金属酸化物として2種類、アルカリ金属化合物として3種類の材料を組み合わせ、電子注入層とした。それらを用いた青色発光素子を作製し、性能を評価した結果、有機物とフッ化リチウムの積層体で構成された電子注入層と同等の特性を示すものを見出した。

次に、無機電子注入層上に透明電極をスパッタリングの手法を用いて成膜した素子を作製した。スパッタにより有機薄膜へのダメージが発生すれば、電極からのキャリア注入特性が悪化し、その結果駆動電圧が上昇する。素子駆動電圧と、キャリア注入特性を評価するために電圧に対する電流密度の関係を測定した。その結果、電子注入層の膜厚が2.5 nmではスパッタダメージを低減することができないが、5 nmに厚膜化することにより、スパッタダメージの低減効果が発現することを見出した。しかし、無機電子注入層のキャリア注入特性は、発光開始電圧近傍においては一般的な有機物とフッ化リチウムの積層体で構成された電子注入層と同等であったものの、高輝度領域では差が大きくなることが認められ、ダメージ低減が十分でないことが示された。これを改善するにはスパッタ条件を最適化するだけでなく、無機電子注入層をさらに厚くすること、対向ターゲットスパッタなどの低ダメージスパッタ法を採用すること、などが有効であると考えられる。なお、ダメージを低減するスパッタプロセスや無機電子注入層の最適な膜厚等の検討はプロセス部分を担当するパナソニック電工で検討するものとした。

一方、中間層の屈折率が、有機EL素子の光学設計に大きな影響を与えるというパナソニック電工からの情報に基づき、上記の検討と併行して、スパッタダメージ低減層としての可能性がある有機材料をe)高性能電子輸送材料の開発での検討結果に基づいて選定し、パナソニック電工に提供した。

b-2) 中間層構造の開発(パナソニック電工株式会社)

前記の通り、電子注入層と透明導電膜を組み合わせ、熱安定性に優れると考えられる中間層構造の開発を行った。本テーマでは、出光興産から提供された情報・材料を活用し、低抵抗でありまた各発光ユニットへの電荷注入性にも優れる中間層構造を有するマルチユニット型有機ELを開発する。特にプロセス、構造の2つの観点から

・中間層形成プロセスの検討

スパッタプロセス中のダメージ要因の検討および下地にダメージを与えず発光ユニット特性の悪化を抑制することが可能な成膜プロセスの検討

・下地へのダメージを抑制する界面層の検討

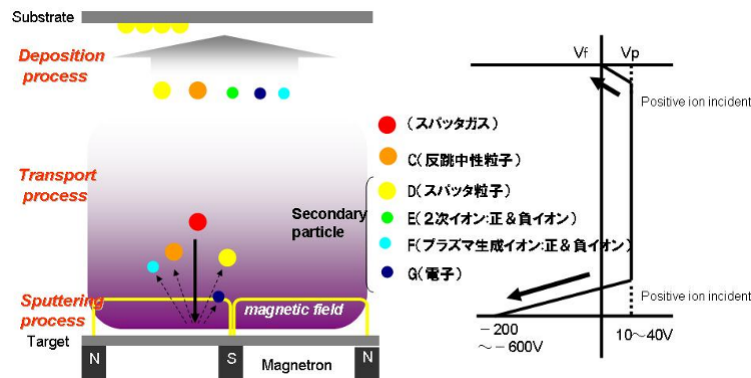
無機材料とアルカリ金属材料の複合体、有機材料とアルカリ金属材料の複合体など、スパッタのダメージを十分に抑制可能であるとともに下地有機層への電子注入性を確保可能な電子注入層・ダメージ低減層の検討

・上記2つの要素技術を元に設計した中間層構造の検討

ダメージ低減層/透明導電膜(IZO)/ホール注入層からなる中間層構造の設計および最適化を行った。

中間層形成プロセスの検討

図b-2)-1 にスパッタプロセス中に存在する各種粒子をまとめた。基板に入射する粒子には、主にターゲットから叩き出されたスパッタ中性粒子、スパッタ負イオン粒子、反射中性粒子(Ar)、更にはターゲット近傍に発生するプラズマからの電子や正イオン粒子がそれぞれ存在する。これらの中から、下地有機発光層にダメージを与える主要因を明らかにし、低ダメージスパッタ成膜条件を確立した。



図b-2)-1 スパッタプロセス中に存在する各種粒子

図b-2)-2 は種々の成膜圧力でスパッタしたときの基板に入射する代表的な負イオン(O⁻)のエネルギー分布図を示したものである。負イオンは最大で数百Vのエネルギーをもって基板に入射しており、下地有機材料をスパッタしてしまうほどの高いエネルギーを持っていることがわかった。このような高エネルギーを有する負イオンは、図b-2)-1 に示したようにターゲットに印加された数百Vの負電位によって加速されたものであると考えられる。またその入射エネルギーと入射量はそれぞれ磁場強度と成膜圧力に依存しており、高磁場設計、高成膜圧力条件で高エネルギー粒子の入射を制御できることを見出した。

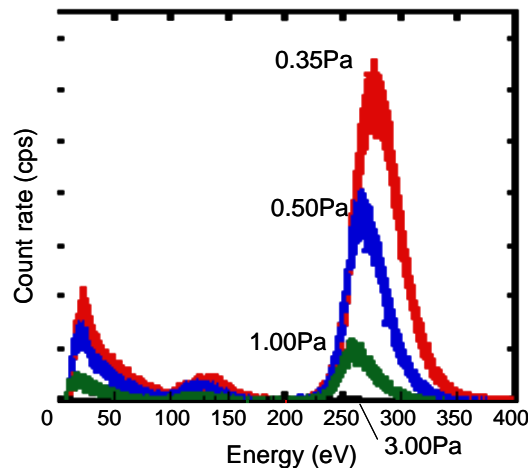


図 - 2) -2 種々の成膜圧力でスパッタしたときの基板に入射する

代表的な負イオン(O⁻)のエネルギー分布図

次に、有機膜(Alq₃:30 nm)上にスパッタ膜(IZO:5 nm)を形成し、Alq₃のPL発光強度変化によって有機膜へのダメージを評価した。図b-2)-3に異なる成膜圧力でIZOを成膜したときのPL評価結果を示す。圧力を増加させることでPL劣化強度が抑制されたが、これは負イオンの基板入射量が減少したことによると考えられる。また別途、磁場依存性を検討した結果から、磁場強度を高めることによって負イオンの入射エネルギーを低下させた場合でも同様にPL劣化強度が抑制されることもわかった。

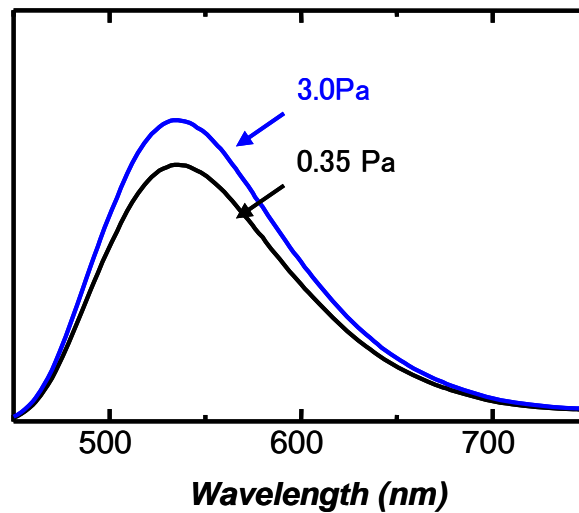


図 - 2) - 3 PLによるダメージ評価

このような解析手法を用いて整理した、スパッタプロセス中の粒子とその効果(PL劣化評価)を下表にまとめた。

表b-2)-1 エネルギー粒子解析とその粒子の影響(PL劣化度合いで評価)

エネルギー因子	因子のもつエネルギー	有機膜上へのダメージの影響 (PL劣化度合い)
負イオン粒子	250 ~ 300 eV	非常に大きい
スパッタ粒子	5 ~ 50 eV	小さい
中性反跳粒子	59 ~ 70 eV	非常に大きい
正イオン粒子	11~25 eV	小さい

以上、高成膜圧力化、強磁場化により成膜ダメージが抑制される結果が得られた。また磁場の設計やシールド板の配置をも最適化することによりプラズマ中の電子のエネルギーや基板への照射量を抑制することができ、低ダメージ成膜が可能となった。

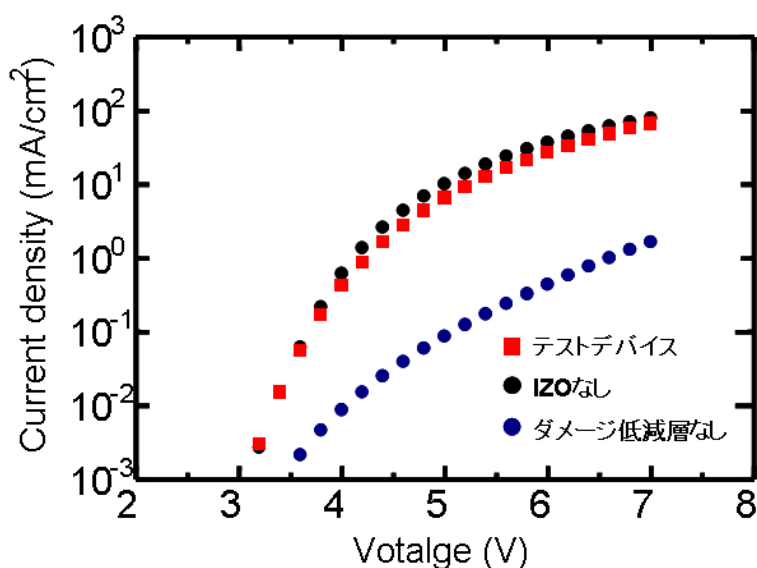
無機型中間層の検討

出光興産から提供された中間層材料および構造をマルチユニット素子に適用し、電氣的、光学的に発光ユニットの接続に関する検証を行った。b-1)に記した構造を有するダメージ低減層を用い、上記検討によってダメージを抑制したスパッタプロセスで5 nmのIZOを成膜することによって、ダメージ低減層としての効果を高演色性ユニットで検討した。その結果、十分なダメージ低減には、約20 nm程度のダメージ低減層が必要であると判断した。しかし、無機ダメージ低減層は屈折率が高く、干渉等の影響により高演色性白色素子としての発光特性に影響を与えることが判明した。この課題に対処するためには、周辺の層を構成する有機材料と同等の屈折率を有する材料で構成されるダメージ低減層を用いることが好ましいと考えられるため、別途有機材料をベースとするダメージ低減層の検討を行った。

有機型ダメージ低減層の検討

e)での検討に基づき出光興産から提供されたアルカリ金属との相性に優れると考えられる電子輸送材料の、ダメージ低減層としての活用を検討した。アルカリ金属材料と混合した際の安定性を電荷トラップ解析(熱刺激電流解析法)および電気特性(電流-電圧特性)評価によって解析・評価し、電荷トラップが生成することなく、従来から知られる電子注入層(LiF)と同等以上の電気特性を示す材料をここで選定した。

本有機材料とアルカリ金属を共蒸着して形成したドーパ層をダメージ低減層として、スパッタダメージの抑制検討を行った。図b-2)-4は、ITO/有機層/ダメージ低減層/IZO(5 nm)/Alというテストデバイスの電流-電圧特性結果である(比較対象は、ITO/有機層/ダメージ低減層/Al(IZOなし)、およびITO/有機層/IZO(5 nm)/Al(ダメージ低減層なし)の2つである)。ダメージ低減層の挿入により、IZO層のない参照デバイスと同等の電圧-電流特性が実現でき、スパッタプロセスに対するダメージ低減層としての機能を確認できた。またこのダメージ低減層は、無機材料をベースとするダメージ低減層よりも光学的に優れており、高演色性デバイスの設計に有効であることも確認した。



図b-2)-4 テストデバイスの電流電圧特性

中間層構造の検討

前記ダメージ低減層を用いた中間層構造の検討を、マルチユニット構造のモデル素子(2ユニット構造)を用いて行った。中間層構造は、前記ダメージ低減層/IZO(3 nm)/ホール注入層とした。ここで、透明導電膜 IZO の厚みは、光学的な影響の少ない値に設定した。その結果得られたマルチユニット素子の寿命は、公知の有機系中間層を用いて形成したマルチユニット素子の寿命と同等以上であり、また駆動時の電圧上昇は有機系中間層の場合に対して小さい(各ユニットの電圧上昇の和と同等であり、中間層に由来する電圧上昇はほぼない)ことを確認した。これは透明導電膜上下に形成されたホール注入層とアルカリドープ層とが確実に分離され、相互作用が抑制されたためだと考えられる。このように、開発した透明導電材料を用いた中間層は、電氣的にも光学的にも優れたものであることを実証した。

c) 高演色性マルチユニット素子構造の開発(パナソニック電気株式会社)

高演色発光を実現するためには、可視光の全波長領域を適切にカバーする発光を示す有機 EL 素子を開発する必要がある。複数の発光色をバランス良く得ることが可能な素子構造としては、複数の発光材料を含有する発光層を用いる方法や、異なる発光層を複数積層する方法、発光色の一部を蛍光体により色変換する方法などが提案されている。しかし、演色性、効率、寿命およびその他の要求特性を完全に満足する方式はなく、それぞれの方式には、たとえば、高演色性を得にくい、高い発光効率を得ることが難しい、発光色の再現性が悪い、寿命が十分に確保できない、発光色の角度依存性が大きい、などの問題点がある。本プロジェクトでは、これらの問題を解決する手段として、積層数の少ないマルチユニット素子構造、すなわち省積層型マルチユニット素子構造が、高演色性かつ高効率の有機 EL 素子を得るために最も有利であると判断した。

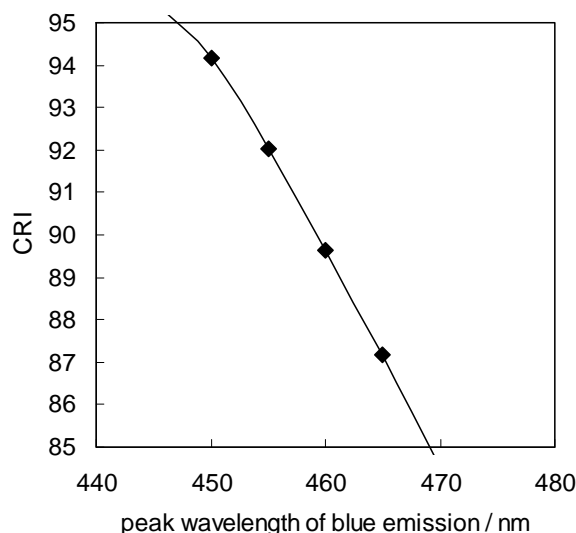
本検討では光学設計性や高速製造プロセスへの適合性に優れた省積層型マルチユニット構造において、高効率かつ高演色性、発光色の低角度依存性を実現可能なマルチユニット構造の開発を行った。具体的には

- ・発光スペクトル、発光効率、演色性の関係に関するシミュレーションを行い、高性能発光ユニット構造(後述の項目f)の開発方針に対する指針の提案
- ・光取出し構造を素子に付与した際の発光特性を考慮したデバイス設計技術開発
- ・中間層としてb)で開発された中間層材料および中間層構造を採用して、電氣的および光学的に優れた発光ユニットの接続

など、発光ユニットおよび中間層を含む素子構造設計によって、高効率かつ高演色性、小さい発光色の角度依存性を実現可能なマルチユニット素子構造を開発した。

光学シミュレーションを用いて、高演色性の実現が可能な発光スペクトルに関する検討を行った。予備検討により、演色性は緑色、赤色発光スペクトルにも影響を受けるものの、特に青色発光スペクトルのピーク波長に大きく依存することを見いだしたため、赤色スペクトルとしてはピーク波長 605 nm の燐光発光材料 $\text{Pq}_2\text{Ir}(\text{acac})$ の発光スペクトルを、緑色スペクトルとしてはピーク波長 514 nm の燐光発光材料 $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ の発光スペクトルを代表例として用いるものとした。青色スペクトルとして、蛍光発光材料 TBP の発光スペクトルの形状を仮定し、そのピーク波長を 445 nm

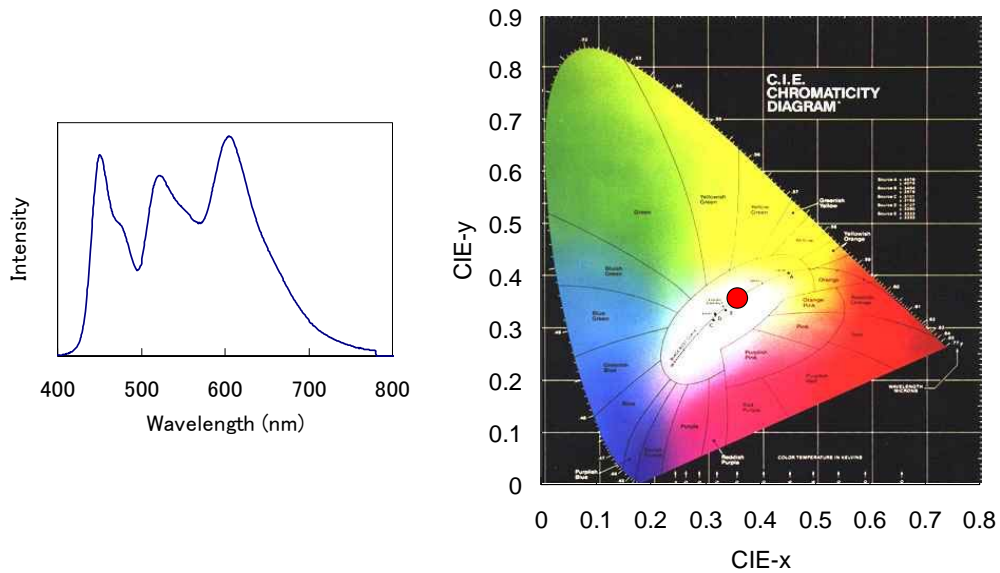
から 470 nm までシフトさせて平均演色評価数を見積った。結果を図c)－1 に示す。Ra が 90 を超える高演色有機 EL を実現するためには、ピーク波長が 460 nm 以下の短波長青色発光材料が必要であると判断した。この結果を踏まえ、a) の青色発光材料の開発目標値、および開発された青色発光材料の評価基準を設定した。



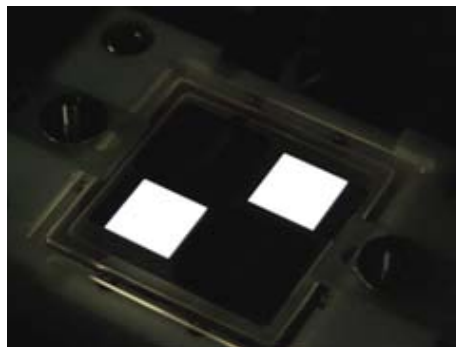
図c)－1 青色発光スペクトルピーク波長と演色性の関係

また、マルチユニット構造の有機 EL において高品質な白色発光を実現するためには、デバイスの光学設計が非常に重要である。マルチユニット構造の有機 EL 素子は多数の薄膜から構成されるため、光学的に複雑な挙動をすることがその理由である。さらに、光取出構造を有するマルチユニット構造の有機 EL デバイスについては、光学設計が不十分であると効率の低下や発光色の角度依存性の増大などの問題が強く生じる。そこで、光取出し構造を付与した際に優れた発光特性を実現するために、発光ユニットおよび発光層の積層順、発光領域、干渉などの光学的なパラメーターを含み、光取出し構造を付与した際に高効率かつ発光色の角度依存性低減が可能な、デバイスの光学的設計手法を開発した。

以上の手法を活用し、f) で開発した青色蛍光発光ユニットと、緑／赤色リン光発光ユニット構造を用い、マルチユニット素子内の光干渉挙動および光取出し層内での光の振る舞いを考慮した光学的、電氣的観点からの素子全体設計を行うことによって、平均演色評価数 Ra95 の高演色性マルチユニット素子を実現した。発光スペクトルと発光色度を図c)－2 に示す。また 1 cm 角の素子の発光時の写真を図c)－3 に示す。



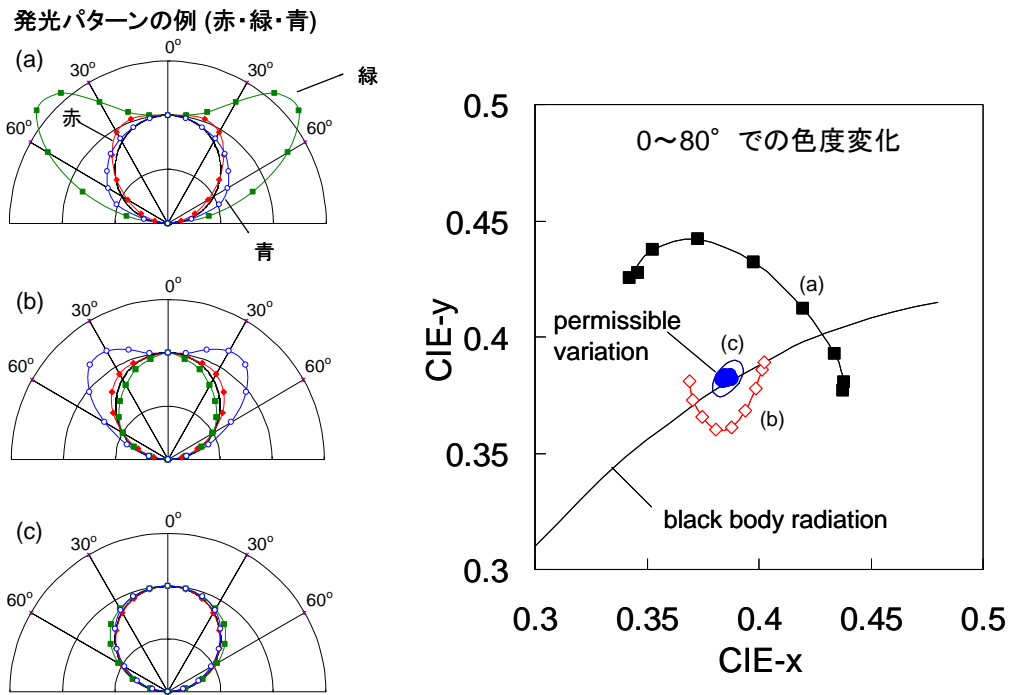
図c) - 2 高演色性マルチユニット素子の発光スペクトルと色度



図c) - 3 高演色性素子の発光状態(1cm 角テストピース)

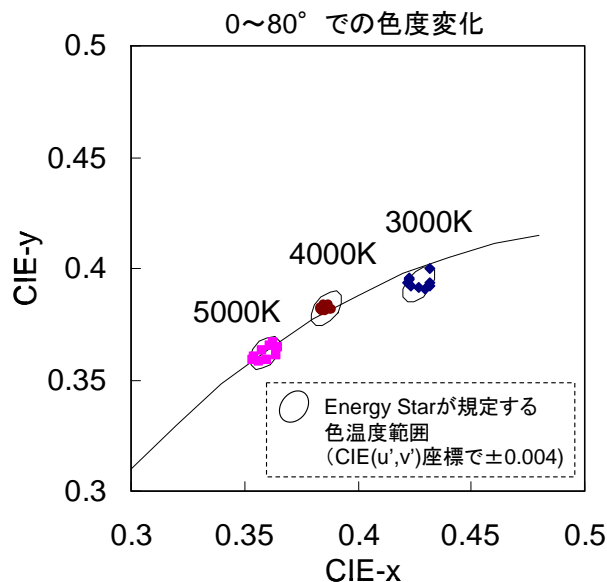
本有機 EL 素子は、輝度 1,000 cd/m² 発光時において、平均演色評価数 Ra95、電力効率 37 lm/W、輝度半減寿命が 4 万時間以上であり、演色性、効率特性、および寿命特性の全てにおいてバランスの取れた高品質な白色有機 EL 素子であることを確認した。

また、発光色の配光特性を考慮した光学設計を行い、角度 0 から 80° の範囲における色度の x と y 値の変化がともに 0.01 以下になるように発光色の角度依存性を抑制した。図c) - 4 には、検討の各段階に於ける白色マルチユニット素子の赤・緑・青色領域の発光パターン、および発光色の角度依存性を示す。当初のマルチユニット素子は、色領域によって異なる発光パターンを示していたが(a)、光学設計の改善に伴い、各色の発光パターンをほぼ同一にすることができた(c)。また発光色の角度依存性も大幅に低減され、最終的に得られた素子の発光色角度依存性は Energy Star が 2008 年に”ENERGY STAR® Program Requirements for Solid State Lighting Luminaires, Eligibility Criteria”として規定した範囲(図中の楕円に相当)内に収まるものであった。



図c) -4 発光色の角度依存性の改善

さらに開発した光学的素子構造設計技術と発光位置制御技術の有効性を種々の色温度のマルチユニット白色素子を用いて検証した。結果を図c) -5 に示す。いずれの色温度でも、その角度依存性は、前述の Energy Star の規定する範囲に収まるものであり、ここで開発した技術を用いることで、種々の色温度で角度依存性の小さい高品位白色有機 EL 素子を実現できることを確認した。



図c) -5 各色温度の白色素子の発光色度角度依存性

d) 光取り出し技術の開発 (パナソニック電工株式会社)

有機 EL 素子の効率向上の有効な手段が光取り出し技術である。一般的な有機 EL 素子の発光

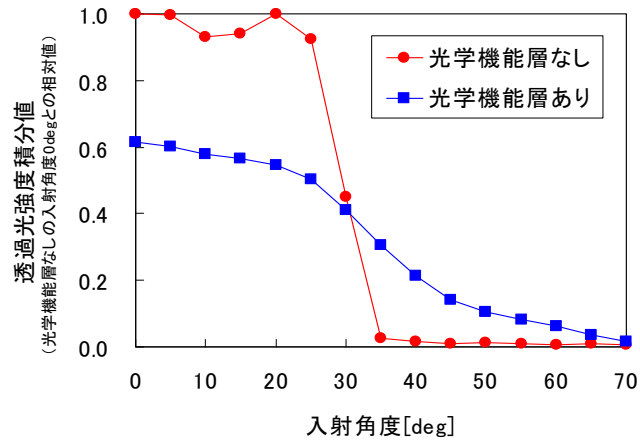
層の屈折率は約 1.8 と空気の屈折率 1.0 や一般に基板として用いられるガラスの屈折率 1.5 より高いことから、屈折率の異なる界面に於ける全反射ロスが存在する。全反射ロスがスネルの法則に従って起こると仮定した場合、発光層で発光した光を 100% とすると、基板中を導波して失われる光が約 30%、素子中を導波して失われる光が約 50% であり、空气中へ放射される光は約 20% にすぎない。従って、基板表面へ貼り付けて基板中を導波して失われる光を取り出す光取り出しシートだけでなく、基板－透明電極間界面での光の全反射を抑制することは、光取り出し技術として非常に有効であると考えられる。

前述の仮説を確認するために、高演色性マルチユニット素子に関して、ガラスによる半球レンズと高屈折率ガラス基板および高屈折率ガラスによる半球レンズを用いて、ガラス基板に到達する光(以下、基板到達光と示す)と高屈折率ガラス基板に到達する光(以下、高屈折率基板到達光と示す)を計測した。なお、高屈折率ガラス、高演色性マルチユニットの透明電極である ITO の波長 550nm での屈折率はそれぞれ 1.91 と 1.82 であり、高屈折率ガラスの屈折率は ITO より高いため、高屈折率基板到達光は ITO に到達する光と近似的に言うことができる。前述の計測の結果、外部放射光に対する基板到達光の光取り出し倍率は 2.07 倍、高屈折率基板到達光の光取り出し倍率は 2.77 倍であった。

高屈折率ガラス基板は全反射ロス低減にきわめて有効であるが、大面積化が困難であること、高価であること、強度が低いものが多いこと、などの理由により、実用性に課題がある。そこで、基板と電極の界面に光の進行方向を制御する光学機能層を挿入することによる全反射ロスの低減を試みた。

ここで用いた光学機能層は、光制御粒子とマトリクスを組み合わせたものである。具体的には、ガラス基板上にガラス基板と同等の屈折率を持つマイクロオーダーの光制御粒子を塗布し、乾燥した上で、マトリクスを積層したものである。マトリクスには ITO からの伝搬光がほぼ全て光学機能層に入射するように ITO と同等以上の屈折率を持つものを選定した。

ガラス上に光学機能層と ITO を積層した基板(光学機能層あり)、および ITO のみ形成した基板(光学機能層なし)の透過光強度積分値の入射角度特性を図d) - 1 に示す。ITO のみを備える基板の場合、透過光強度積分値は臨界角(35 度)以上の入射角度の場合、全反射のために 0 となった。一方光学機能層を挿入した場合は、臨界角以下の透過光強度積分値は減少したものの、臨界角以上の光が大気へ放射されていることが確認できる。これにより、通常基板－電極間で全反射する光の一部が光学機能層により基板へ入射することが確認できた。



図d) - 1 光学機能層有無による透過光強度積分値の入射角度特性比較

表d) - 1 光学機能層と光取り出しシートの比較

	素子単体	光取り出しシート	光取り出し層	光取り出し層 光取り出しシート 併用
構造例	 ガラス基板 光透過性電極	 光取り出しシート	 光取り出し層 高屈折マトリクス + 光制御粒子	 光取り出し層 光取り出しシート併用
白色マルチユニット素子 特性向上倍率 (量子効率)	1.00	1.3程度	1.35程度	1.45程度
シングルユニット・単色 有機EL素子での 特性向上倍率 (量子効率)	1.00	1.4~1.6	1.7~1.8程度	(1.8~1.9程度)

本光学機能層を有する基板上に高演色性マルチユニット素子を作製した場合の外部量子効率の向上倍率は1.40倍であり、光取り出しシートを適用した場合の外部量子効率向上倍率1.33倍を上回っていることを確認した(表d)-1)。基板到達光および高屈折率基板到達光の評価によって見積った、光学機能層の光取り出し効率が光取り出しシートを上回っていることを反映したものと考えられる。特に光学機能層と光取り出しシートを組み合わせた場合の外部量子効率の向上倍率は1.44倍などの約1.5倍程度の非常に高い値を示し、本構造の有効性を確認することができた。また本構造は、発光色の角度依存性低減効果を強く有するものであった。

なお、一般的な単色発光・単ユニットの有機EL素子に対しては、どの光取り出し手段も白色マルチユニット素子に対してよりよい光取り出し性能を示した。本事業の成果である光取り出し構造は、他の光取り出し構造に比して高い1.8~1.9倍もの光取り出し性能を有することを併せて確認している。

e) 高性能電子輸送材料の開発(出光興産株式会社)

有機EL照明は高輝度、大電流密度で駆動した場合にも長寿命が必要となるため、熱的安定

性が非常に重要である。そのためには高いガラス転移点(Tg)を持ち、電子注入・輸送能に優れた電子輸送層が必要である。本プロジェクトのマルチユニット構造では、電子注入層として、一般的な電子輸送材料/フッ化リチウム(LiF)の積層ではなく、電子輸送材料とアルカリ金属との積層構造を採用している。したがって、アルカリ金属との接合時に構造変化を起こしたりせず、電子注入・輸送能が低下しない材料を設計することが重要である。

ここでは出光興産で実績のある電子輸送材料から優れた電子注入・輸送能を有する材料を選定し、素子性能の評価によって課題を抽出し、新たな分子設計を行った。同時に、実績のある出光興産の保有材料の中から、候補となるものに対する評価を進めながら最適な電子輸送材料を選定した。

まず優れた電子注入・輸送能を有する電子輸送材 A を選定した。しかし電子輸送材 A は、アルカリ金属と積層すると、LiF を積層した素子と比較して高電圧化することが判明した。この評価結果から、電子輸送材 A はアルカリ金属によって何らかの電子注入・輸送能を阻害する化学的变化を起こしたものと推察した。そこで、新たに電子輸送材 B を選定し、評価したところ、高電圧化は観測されなかった。つまり、アルカリ金属と電子輸送材料で化学反応が起こり絶縁層を形成することが想像され、その反応性は材料の化学構造によって大きく異なることが示唆された。

そこで電子通電デバイスを用いたインピーダンス分光法により、アルカリ金属と電子輸送材料の積層による電子輸送性材料の本質的物性の変化を複数の電子輸送性材料に関して評価した。インピーダンス分光とは、素子に微小正弦波電圧を印加してその応答電流の振幅と位相からインピーダンスを算出、印加電圧の周波数の関数としてインピーダンススペクトルを得る手法である。

出光が保有する電子輸送材料を用いて電子通電素子を作製し、インピーダンス特性および I-V 特性を詳細に調べて抽出した 3 種の電子輸送材料を新たにパナソニック電工に提供し、有機 EL 素子としての性能を評価した。また、b-1)、b-2) に記したとおり、本材料は中間層を構成するダメージ低減層としての可能性検証にも適用した。

f) 高性能発光ユニット構造の開発(パナソニック電工株式会社)

高演色性白色マルチユニット素子に用いる発光ユニットには、発光特性および寿命が優れていることに加えて、

- ・中間層を介して積層した場合にも発光ユニットの特性を損なわないこと
- ・マルチユニット素子全体としての光学設計を満足できること
- ・各発光ユニットのスペクトルの和によって、高演色性の白色を実現できること

などが要求される。しかし、現実のマルチユニット素子には、

- ・光学的設計のために膜厚を調整することによって、発光特性や駆動電圧が変化すること
- ・積層構造に基づく光学干渉によって発光スペクトルが変化し、得られる白色が各ユニットのスペクトルから想定される白色とは異なるものとなること
- ・干渉によって発光色の視野角依存性が大きくなること

等の問題があるため、高演色性白色マルチユニット素子に適した発光ユニットの開発が必要である。

本検討ではc)で示された設計指針を踏まえ、駆動電圧を低下させ、また発光効率を向上させる

とともに、マルチユニット素子の光学特性をも最適化することを考慮したユニット構造の設計を行った。具体的には、

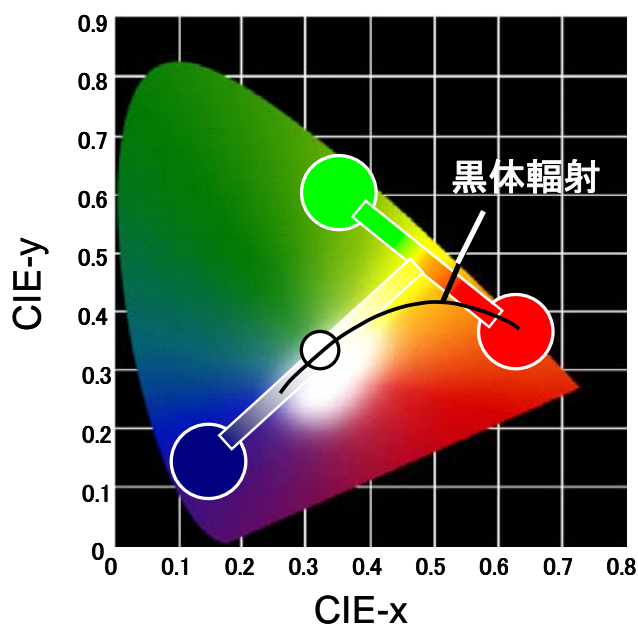
- ・a)で開発された短波長・高効率青色発光材料の活用
- ・e)で開発された高性能電子輸送材料の活用
- ・緑／赤色リン光発光材料および周辺材料の選定
- ・発光領域の制御
- ・キャリアバランスの制御

による、高性能発光ユニットの開発を行った。また、有機 EL 素子の寿命および耐ショート性などの信頼性付与を考慮した塗布型ホール注入層に関する検討も行い、h) 極薄膜均一高速成膜プロセス技術の開発内容との連携を行った。

f-1) 高効率発光ユニット構造の開発

開発項目 a)、e) で開発された材料および外部から導入した材料を用い、各発光ユニットの高性能化を行った。青色ユニットの発光材料として a) で開発された短波長発光材料 NP-04 を用い、電子輸送層には e) で開発されたアルカリ金属との積層構造でも良好な特性が得られ、かつ、高移動度な電子輸送材料を選定することで低電圧化を実現した。また、ホール輸送材料としては、発光層からのキャリアの漏れを防ぐことが可能なホール輸送材料を選定し、短波長発光が実現可能な光学設計技術と組み合わせることによって、 $1,000 \text{ cd/m}^2$ の白色発光時に必要な電流密度での駆動電圧が 3.3 V と低電圧であり、外部量子効率が 5% を超える高効率青色発光を示す素子が得られた。

赤／緑色ユニットには、高性能発光材料とその材料よりも高い励起三重項エネルギーを有する電子輸送材料とを組み合わせることで高効率化を行い、 $1,000 \text{ cd/m}^2$ の白色発光時に必要な電流密度での外部量子効率が 20% に迫る高効率化を実現した。白色発光を得るためには、図 f) - 1 に示すように、開発した青色発光ユニットの発光色に最適な緑／赤色発光ユニットの発光色を実現する必要があることから、発光材料のドーパ濃度調整と発光層の膜厚調整により、緑色発光と赤色発光の強度比の最適化も行った。



表f) -1 青色ユニット・赤緑ユニットの特性の例

f-2) 青色発光ユニットの長寿命化技術の開発

青色発光ユニットを形成する電極の表面エネルギー制御、有機薄膜のエネルギー状態および電気的特性など種々の特性値に基づくデバイス構造設計・材料選定により、青色発光ユニットの長寿命化検討を行った。例えば、塗布材料と電極との塗れ性すなわち表面状態および相互作用、電子注入層を構成する電子輸送層とアルカリ金属との相互作用、発光層のホストとドーパントの混合状態、成膜条件と得られる膜質(移動度、光学特性など)、電極や有機膜のモルフォロジー、有機 EL 素子のリーク挙動(小面積有機 EL 素子、大面積有機ELパネル)に関する種々の解析を行い、その結果をデバイスおよびプロセス設計に反映する活動を行った。その結果、白色化時の輝度 $1,000 \text{ cd/m}^2$ 時、4 万時間を十分に超えるレベルの長寿命・高効率青色発光ユニットを得ることができた。得られた結果をリン光発光ユニットの開発にも展開した結果、外部量子効率が 20% に迫る高効率化を維持した上で、 $1,000 \text{ cd/m}^2$ の白色発光時に必要な電流密度での輝度半減寿命が 4 万時間以上の高効率化と長寿命化を両立したリン光発光ユニットを開発した。

ベンチマーク

近年報告されている、高効率白色有機 EL 素子のベンチマークを以下に示す。

(再掲: 図 1.2.1-2 演色性-半減寿命 図 1.2.1-3 演色性-効率)

本事業で開発した白色発光有機 EL 素子は、ずば抜けて高い演色性を備えるとともに、長寿命、高効率をも同時に実現したものであることがわかる。

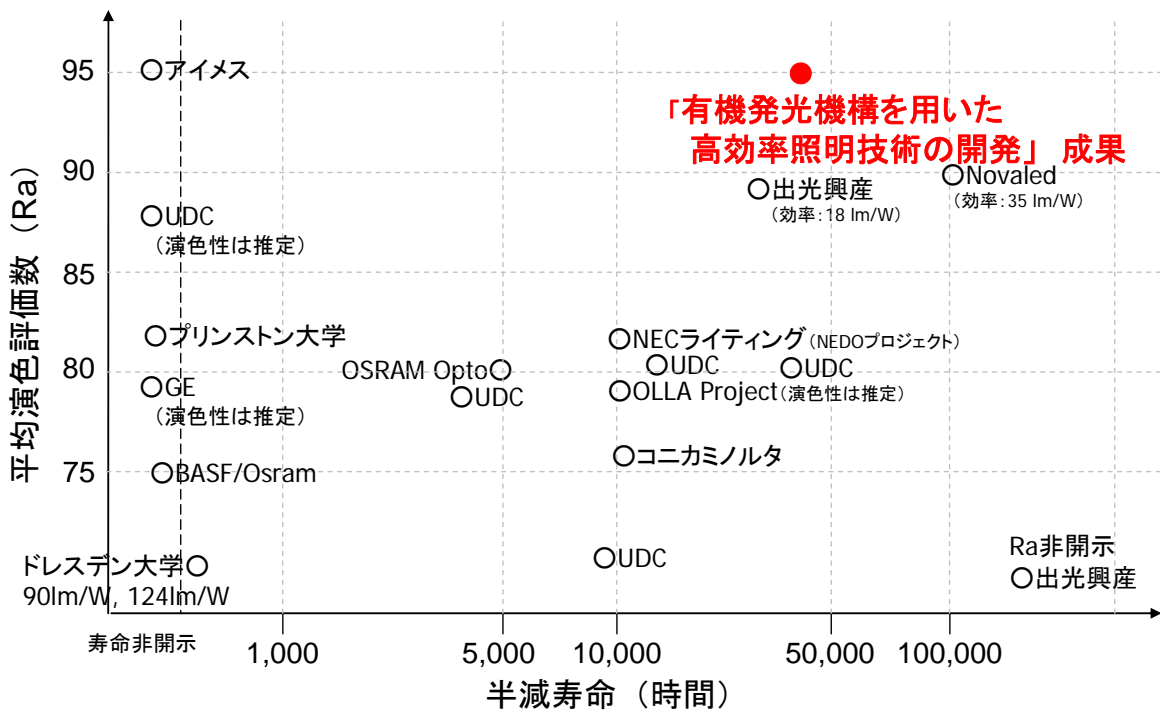


図 1.2.1-2 本プロジェクト成果の技術マップ (演色性-半減寿命)

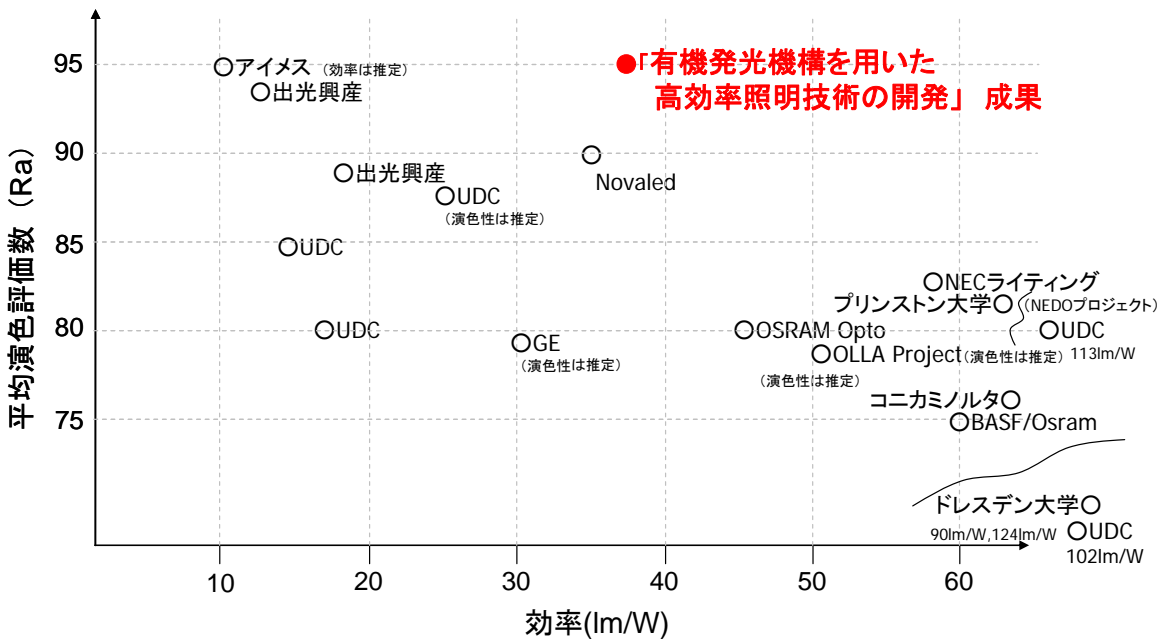


図 1.2.1-3 本プロジェクト成果の技術マップ (演色性-効率)

有機 EL 素子の特性は、発光体の性能と光取り出し特性とを乗じて決定されるものである。高い光取り出し特性を実現するための以下2つの方策は以前から知られている。


1. 高屈折率基板を用いた系
2. マクロレンズを用いた系

1の高屈折率基板を用いた系は、電極と基板間の屈折率段差を低減することによって全反射を抑制

し、また2のマクロレンズを用いた系は、基板と空気間の全反射を抑制することによって、高い光取り出し効率を得ることができるものであり、前記マップに記した素子のうち、高効率・長寿命を実現したもののほとんどは、これらの光取り出し技術を使用したものである。しかし、1の高効率基板は、高効率ガラスがそれに該当するが、現状非常に高コストでありまた強度的な問題もあることが、2のマクロレンズは小面積には対応可能であるが、10cm角といった大面積には光学的に対応不可であることが課題であるため、本事業では、大面積発光に対応し、かつ、早期実用化を考慮した光取り出し技術を開発し、前述の結果を得たものである。

ここで、本事業の成果および他機関からの報告値、および本事業の成果に前記2種の光取り出し技術を応用した際の素子特性を表にして示した。高屈折率基板あるいはマクロレンズを用いた場合には、約55 lm/W、半減寿命約7万時間が、両者を併用した場合には74 lm/W、約10万時間となることが実験的に推定されている。この推定からも、本事業の結果は非常に高いレベルにあり、この種の光取り出し技術の実現によって、さらに高い効率と長寿命の有機EL素子を実現可能なものと見なすことができる。

報告者	年	光取り出し方法	平均演色評価数	効率 (輝度1,000 cd/m ² 時)	半減寿命 (輝度1,000 cd/m ² 時)	発光材料 (RGBの順)
本プロジェクト成果	2009	光取出構造	95	37 lm/W	4万時間以上	リン光・リン光・蛍光
		高屈折ガラス基板 または レンズ使用時	95	55 lm/W	7万時間以上	↑
GE/コニカミノルタ	2010	不明	報告なし	56 lm/W	報告無し	オールリン光
NEDOプロジェクト「高効率有機EL照明の実用化研究開発」 (NECライティング)	2010	基板加工 (高屈折率基板と推定)	82	55.7 lm/W 62.1 lm/W(小サイズ)	1万時間以上	(リン光材料使用)
BASF/Osram	2008	不明	>75	60 lm/W	—	オールリン光
OLLA Project(欧州)	2008	高屈折ガラス基板	報告なし	51 lm/W	1万時間	リン光・リン光・蛍光
Novalled(ドイツ)	2008	不明	90	35 lm/W	10万時間	リン光・リン光・蛍光
オスラム(ドイツ・OPAL)	2008	不明	80	46 lm/W	0.5万時間	リン光・リン光・蛍光

↑  平面・光取り出し構造付与系

↓  マクロレンズ(半球・プリズム)付与系

本プロジェクト成果	2009	高屈折ガラス基板 レンズ使用時	95	74 lm/W	10万時間以上	リン光・リン光・蛍光
UDC(米国)	2010	高屈折率レンズ 高屈折ガラス基板	80	113 lm/W (2.8x out coupling)	70%寿命 1万時間 (半減寿命~3万時間)	オールリン光
UDC(米国)	2009	レンズ	80	64 lm/W (2x out coupling)	1.4万時間(LT ₇₀) (2x out coupling)	オールリン光
University of Dresden and Novalled(ドイツ)	2009	高屈折ガラス 基板・レンズ	69	124 lm/W	報告なし	オールリン光
UDC(米国)	2008	レンズ	70程度	102 lm/W	0.8万時間	オールリン光

(2) 有機ELの寿命支配要因の解明

g) 有機ELの寿命支配要因の研究

g-1) 有機層間および電極界面有機層の解析(国立大学法人山形大学)

有機層界面に存在する寿命支配要因への対策として、インライン蒸着法を用いた傾斜組成構造素子についての検討を行った。本手法により隣接する層間の界面がなくなるために電荷の蓄積が起りにくく、同時にカウンターキャリアによる輸送材料の劣化も抑制できることを、短寿命な青色蛍光素子を用いて検討した。その結果、通常の界面を有するヘテロ構造素子に対する約1.5

倍の高効率化と2-3倍の長寿命化を達成した。高効率化は再結合領域の拡大、長寿命化は前述のメカニズムに由来するものと考えられる。また、陽極と有機層の界面に存在する寿命支配要因に注目し、当該界面への極薄有機層の導入およびハロゲン処理が寿命支配要因に与える効果についての検討を行った。電極を長鎖アルキル系の有機材料で処理することによって表面状態を制御し、さらに当該表面に対して適切な条件でのハロゲン処理を行った結果、NPD/Alq₃系の有機ELデバイスにおいて、これまでに報告されている単なるハロゲン処理を行った場合に対して約2倍の長寿命化が確認された。また有機材料に特定の置換基を導入することで、さらに3倍程度の長寿命化が実現された。ハロゲン処理は一種のドーピング処理であるが、その適切な制御によって電極と有機材料の界面に存在する非常に強い寿命支配要因を有効に排除可能であることが実証された。

g-2) 有機-無機界面に関する解析(青山学院大学)

有機層-無機層の界面における電荷注入機構の解明

種々の構造を有する無機系ホール注入層 MoO_x($x \approx 3$)をプロセス条件を制御することによって形成し、ホール輸送層 α -NPD との積層界面を、ラマン分光法および X 線光電子分光法により詳細に分析した。具体的には、Mo 金属ターゲットと酸素ガスを反応性ガスとして用いた反応性スパッタ法により MoO_x 薄膜を作製した。酸素ガス流量比を調整することで、膜中酸素量を細かく変化させた。X 線光電子分光法(XPS)による評価によって、酸素ガス流量比 15%未満の場合に MoO₃、Mo₂O₅、MoO₂が存在すること、15%以上の場合には MoO₃のみが存在することを確認した。また、大気中光電子分光法評価により、酸素ガス流量比を小さくすることで、バンドギャップ内に生成する膜中の酸素欠陥に起因する欠陥準位が増大することがわかった。

MoO_{3-x} 膜上に、真空蒸着法により積層したホール輸送材料(ここでは一般的な α -NPD を用いた)の界面を、ラマン分光法および X 線光電子分光法により詳細に解析した。 α -NPD カチオンの生成と、低級酸化物を多く含む MoO_{3-x} における Mo の酸化状態の変化、すなわち、MoO_{3-x} と α -NPD 間の電荷の授受を確認できた。界面に形成される α -NPD カチオン量は MoO_x 組成依存性を示し、MoO_x の酸素欠損量(酸化状態)が α -NPD との反応性(電荷授受性)を支配することが示唆された。以上、金属酸化物の酸素欠損量の制御による陽極から有機層へのホール注入特性の調整手法は、有機 EL 素子の発光特性、寿命特性の向上法としての活用が期待できる。

有機層-無機層の熱伝導機構の解明

膜厚 100 nm 以下の有機薄膜(α -NPD、Alq₃ など)、金属薄膜(Al)、透明導電膜(In₂O₃-ZnO(IZO))の熱拡散率を、サーモリフレクタンス法を用いて高い精度で定量的に測定することに成功した。具体的な手順は以下の通りである。真空蒸着法により、Alq₃ 薄膜もしくは α -NPD 薄膜を Al 薄膜で挟み込んだ 3 層膜を作製した。ただし中間層である有機層の膜厚は 1~100 nm に設定した。これらの試料の熱拡散率および界面熱抵抗を、裏面加熱・表面测温型サーモリフレクタンス法熱物性解析装置での測定結果を用いて解析した。熱拡散率として Alq₃: 1.6×10^{-7} [m²/s]、 α -NPD: 1.2×10^{-7} [m²/s]、界面熱抵抗として Al/Alq₃: 2.2×10^{-9} [m²K/W]、Al/ α -NPD: 1.4×10^{-9} [m²K/W]という定量的な結果が得られた。また前記界面熱抵抗は、有機層に換算するとそれぞれ Alq₃ 0.44 nm、 α -NPD 0.32 nm 分に相当することもわかった。薄膜界面熱

抵抗の実測は今回初めて可能となったものである。前記有機膜の熱拡散率は、電極層(Al、IZO)の熱拡散率よりも一桁から二桁程小さく、電流駆動時の温度上昇が有機膜の小さい熱拡散率に起因していることが示唆された。これらの値は有機デバイスの熱設計に有用であると考えられる。

・有機 EL デバイスの透明電極材料、および有機層・無機層界面における電子状態解析

積層膜界面の電子状態の観察は、従来の光電子分光法を用いた場合には非常に困難であるため、薄膜試料の内部からの光電子を測定できる硬 X 線光電子分光法が精度の高い唯一の評価方法であると考えられる。高輝度かつ高分解能を持つ放射光が得られるビームラインを有する SPring-8 での硬 X 線光電子分光法 (HAX-PES) により、有機膜上に形成した透明電極と有機材料との界面状態を非破壊かつ直接的に測定し、内殻電子のケミカルシフトから有機材料の化学的結合状態の変化を示唆する結果を得ることができた。例えば、IZO 薄膜のスパッタ成膜時の Alq₃ 下地へのダメージを評価するために、IZO ターゲットの中心、エロージョン、サイド等に対向する基板位置における Alq₃ の内殻電子のケミカルシフトを観察した。IZO 積層により下地の Alq₃ の結合状態が変化していると思われること、位置依存性があまり見られないこと、さらに Alq₃/Al および α-NPD/Al 積層膜では、Alq₃ と α-NPD 単層と比較して N 1s スペクトルが変化していることなどである。これらは、通常的手段系では評価が困難な、多層膜の内部に存在する界面の情報が得られた数少ない例である。また一般的な蛍光量子収率法では検出できないレベルの有機膜への影響を評価できたことから、本法は界面状態評価法として、また積層構造を持つ有機 EL デバイスの寿命支配要因を議論するための手段として、有効なものであると考えられる。

g-3) 塗布・乾燥プロセスの解析(国立大学法人東京大学)

有機薄膜を、乾燥速度を大きく違えた種々の条件で塗布法によって作製し、有機薄膜構造の成膜プロセス依存性を光学的評価法、電気的評価法などの種々の手法を用いて比較検討した。光学特性から示唆された情報、たとえばスペクトルあるいは屈折率の差異は、有機分子の凝集状態の系統的差異であり、異なる分子間隔および配向方向に由来するものと考えられることが X 線回折評価によって判明した。また乾燥速度と移動度の相関も確認された。以上のように、各種の手法を総合的に用いた、膜の種々の特性を評価・解析手段を構築した。別途、薄膜形成の動的過程に着目し、界面の揺らぎ(光散乱の変化)、質量変化、温度変化の同時測定による、乾燥過程で生じる現象の定量的な観察手法を検討し、解析に用いた。その結果、薄膜開始状態および得られる膜の質が、塗布溶液の初期濃度に依存することが判明した。一般に、半導体有機薄膜の塗布成膜過程の直接観察手法は確立されているとは言い難いため、今後の実験系の精緻化は必要であるものの本動的評価手法は有望であると考えられる。

研究項目②高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発

(1) 大気圧下薄膜層形成技術の開発

h) 極薄膜均一高速成膜プロセス技術の開発(タツモ株式会社)

h-1) 大気圧下における薄膜塗布プロセス技術

有機 EL 照明の実用化のためには、信頼性の確保は重要な課題である。特に、有機 EL 素子中に存在する不良点は、主として基板上あるいは膜内に混入する異物に由来するものである。そのため、異物を排除しかつ異物に対する冗長性を有するプロセスおよび素子構造が必要である。

この課題に対して、本プロジェクトでは、塗布プロセスによる電極上へのキャリア注入層の形成を試みた。しかし、有機 EL を構成する膜は、キャリアを注入・輸送するという電氣的機能のみならず、薄膜デバイスである有機 EL の光学的機能を高めるための重要な要素部材でもある。特に、電極から発光層までの距離を正確に規定することが、有機 EL 素子の発光効率および発光特性を強く支配することを鑑みると、本プロセスで形成される膜には、厚みおよび膜質の均一性が強く要求される。

また、塗布法による極薄膜形成プロセスは、省エネルギーの観点からも非常に注目されるプロセスである。蒸着プロセス、塗布・乾燥プロセスそれぞれを稼働させるに必要な電力量と生産エネルギーを算出、比較すると、いずれの数字も、塗布・乾燥プロセスが蒸着プロセスに対してより低消費電力である結果となった。

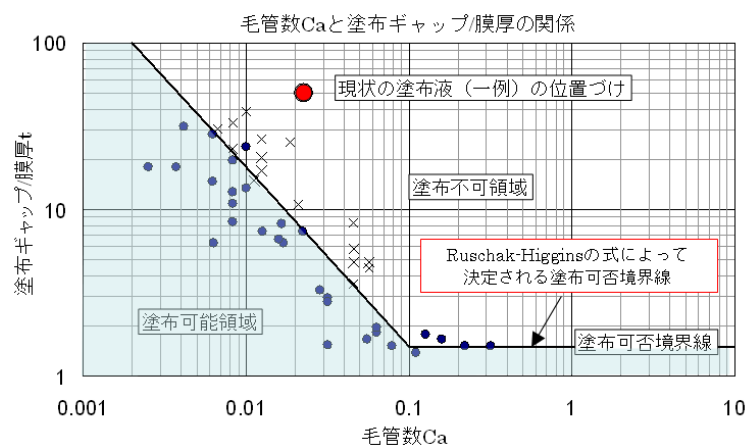
現状、塗布プロセスによって有機 EL 素子全体を形成することは、得られる素子の寿命、効率、塗布プロセスによって形成できる素子構造の限定等、種々の理由によって困難であり、当面は蒸着プロセスによって高性能・長寿命の有機 EL 素子が形成されていくものと考えられる。しかし、将来的に材料系が進化すると、塗布プロセスによって有機 EL 素子を形成することも想定されるため、極薄膜を均一に高速で塗布できる本開発の目標とするプロセスは、今後の有機 EL 製造プロセスの重要要素技術としても活用可能と期待される。

本プロジェクトは、基板上の電極に隣接する層を塗布によって形成し、有機 EL の信頼性と性能の向上を目指している。しかし、他の層が真空プロセスで成膜されること、有機 EL は水その他の不純物を強く嫌うことを考慮すると、塗布膜からの揮発物たとえば溶剤・水などが十分に除去できることが必要である。よって、極薄膜の均一塗布成膜から乾燥・焼成等の後処理までを、高速かつ管理された条件下で行われるプロセスの構築が課題となる。よって本テーマでは、「極薄膜高速塗布プロセス基本技術」および「一貫ライン装置によるプロセス技術」の 2 つを重点的に検討し、極薄膜高速成膜を可能とするプロセス技術を開発した。

極薄膜高速塗布プロセス基本技術開発

スリットコート法とは、コーティングギャップと呼ばれる間隙をあけてスリットノズルから基板上に塗布液を塗布する方式であり、蒸発速度の速い有機溶剤系の塗布に多く利用されている。塗布液がスリットノズルから吐出されるまで外界から隔離され、送液した液がそのまま定量的に塗布される前計量タイプであることを特徴とし、特に薄膜を高精度で塗布するための塗布方法として広く知られている。

このような薄膜高精度塗布に関しては、Leeらによるダイコート塗工理論 (K.Y. Lee, L.D. Liu, and T.J. Liu, Chem. Eng. Sci., 47, 1703. (1992))によって見積もられる塗布可否境界線の考え方が参考とされる(図h-1)-1)。この図にプロットされている点は我々の実験結果および種々報告されている塗布可否検討結果であり、理論で示される塗布可能領域/塗布不可領域と実質的に一致していることがわかる。



図h-1)-1 塗布可否境界線と実験結果

一方、代表的な有機 EL 用塗布材料および塗布の条件は、200 mm/s という高速で塗布することを前提とすると図中の「●」の位置近傍にあり、前述の塗布可否境界線から塗布不可領域側に大きく離れた点に位置することがわかる。特に、塗布目的とする膜が 30 nm といった極薄膜であるために、単に基板－ノズル間距離を小さくして縦軸 t を小さくすることは、基板－ノズル間距離がサブミクロンオーダーと非常に小さくなり、ノズルや塗布ステージに高い精度が要求されるとともに、基板のうねりによる凹凸や、電極上に形成される各種構造物との接触が懸念されるため困難である。また塗布液を希釈して固形分濃度を下げ、毛管数および t を小さくすることで塗布液の特性を塗布可能領域に近づけることも考え得るが、本対処方法は膜厚均一性の低下を招き、また塗布面内のムラ発生にもつながるため、現実的ではない。さらに環境に配慮した観点からも、塗布液希釈による溶剤使用量の増加は望ましくないという課題があった。

我々は、前図の塗工可能領域が Ruschak-Higgins 式によって決定されていることに着目した。すなわち、Ruschak-Higgins の式が成立するための必要条件を崩し、本式では塗布不可となっている領域内にも塗布可能条件を作り出すことでスリットノズルによる塗工可能領域を広げ、高速で極薄膜が形成できる新規な塗布プロセスを創成することを目指した。具体的には、CAE の手法を用いたシミュレーションを主体として、精密スリットノズル形状を設計し、かつ、スリットノズルの材質・表面微細形状・表面状態などでノズル先端部の表面エネルギーを制御することによって、ノズル－基板間の液膜形状をコントロールする方法を見いだした。また、その液膜形状を塗布プロセス中に維持可能とする、高精度に供給圧力および液量を制御可能な高精度定量吐出ポンプの開発を行った。これらによって、塗布可能領域を拡大したコーティングプロセスを開発した。また、極薄膜を均一に塗布し、均一な薄膜として乾燥させるのに適する塗布液の特性についての検討も行った。開発した高精度定量ポンプの写真を図h-1)-2 に示す。



図h-1)-2 高精度定量吐出ポンプ

また乾燥・焼成工程では、塗布対象物が有機EL用の極薄膜であること、良好な電気的特性を要すること(有機EL膜としての成膜品質)ことを鑑み、前述のスリットコート装置により塗布された均一な液膜を、均一な薄膜としてムラなく乾燥させ、かつ焼成によって良好な特性を有する有機EL用薄膜を得ることに加え、塗工中の異常乾燥、パーティクルの混入などを抑制するための技術開発も行った。

次に、スリットコート法による超薄膜成膜に適した塗布液特性を検討した。具体的には、特性(粘度、表面張力)の異なる塗布液を数種類用意し、それぞれの塗布可能範囲(速度、膜厚)を検証した。また、乾燥ムラなどの乾燥時に発生する膜厚均一性に与える影響と塗布液特性の関係を検証するものとした。これらの検証結果を基に、超薄膜塗布と超薄膜乾燥の両方に適応する塗布液特性を検討した。

塗布可能範囲と粘度、表面張力の関係を検証するために、粘度と表面張力の異なる塗布液を複数用意した。各塗布液を大気圧プラズマ処理済のA4サイズのITO付ガラス基板上に塗布し、各塗布速度での塗布可能な最小膜厚を求めた。その結果、塗布液の粘度が低い方が高速薄膜塗布に有利であり、また表面張力の違いは塗布可能最小膜厚にあまり影響を与えないことを確認した。

次に、乾燥時に発生する問題と塗布液特性の関係を検証した。具体的には、塗布後の乾燥状態を複数の塗布液に関して比較検討した。図h-1)-3は、スリットコーターで成膜(乾燥後膜厚30 nm 狙い)した後、乾燥させた膜の状態を撮影したものである。

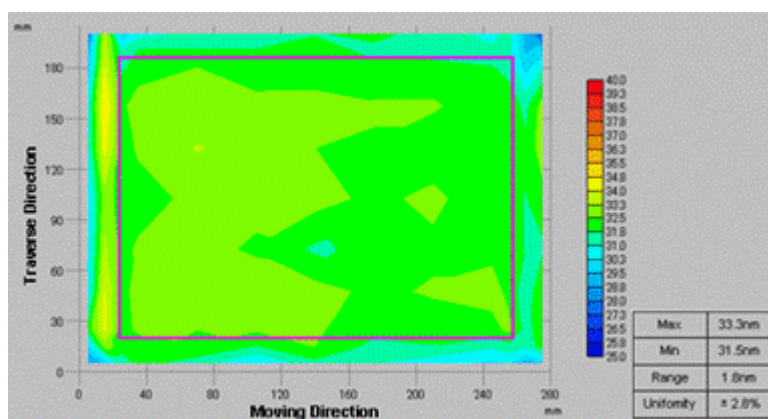


図h-1)-3 乾燥後の成膜状態

低表面張力液は乾燥過程において塗布膜の収縮が発生せず、良好な膜面を形成したのに対し、高表面張力液1および2は、乾燥過程で薄膜を維持できなくなり、塗布膜が収縮していることが分かる。これらの結果から乾燥過程での薄膜維持においては、塗布液の表面張力が支配的であり、塗布液の溶媒検討時の重要なポイントの一つであることを確認した。また、『塗布膜が安定しない

＝膜厚均一性が悪くなる』と考えると、塗布液の表面張力は膜厚均一性を向上させるための重要な要素の一つであると考えられる。

以上、CAE 解析結果を盛り込んだ精密スリットノズル、材質・表面微細形状・表面状態などによるノズル先端部の表面エネルギー制御、および、超薄膜成膜に適した塗布液を用いて、A4 基板への塗布検証を行い、さらに、高精度定量吐出ポンプの運用と、圧力制御を含むコーティングプロセス条件の最適化により、本テーマの目標である塗布速度 200 mm/s, 乾燥後の平均膜厚約 30 nm, 膜厚分布±3%(基板周辺 30 mm を除く)を達成した。塗布結果を図h-1) - 4 に示す。



図h-1) - 4 膜厚分布

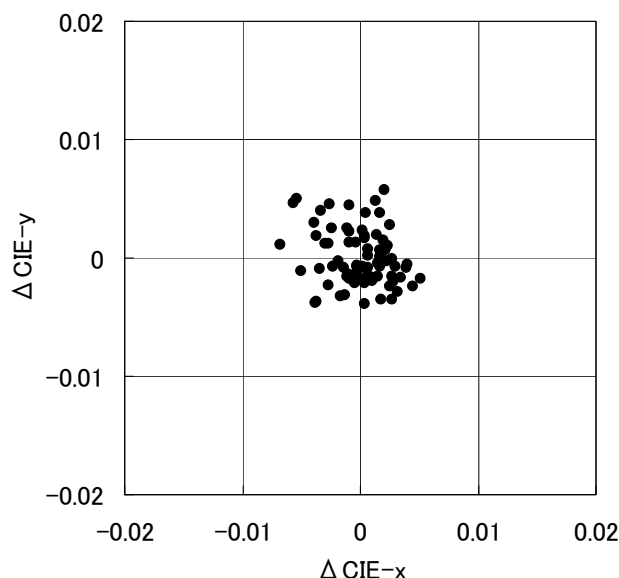
一貫ライン装置によるプロセス技術開発

有機 EL 照明の実用化には、信頼性の確保が重要な課題である。ダークスポットの原因となるパーティクルの管理、寿命低下の原因となる雰囲気管理、高速連続処理する際の再現性の確保など考えるべき課題は多い。そこで、前記極薄膜高速塗布プロセス基本技術開発と融合し、液膜の乾燥条件、乾燥過程および乾燥・焼成時の雰囲気制御が可能な乾燥装置などから構成された、塗布から乾燥までの一貫プロセス条件制御を行うための装置導入を行ない、塗布から乾燥までのこれらのプロセスを用いたデバイス作製および評価によって一貫プロセスとしての要素技術の抽出を行うとともに、本プロセスが有機 EL 素子の作製に適用可能であることを実証した。

スリットコーター、仮乾燥ユニット、パターンニング処理ユニット、ロードロックチャンバー(LLC)、焼成ユニット、クールプレート/バッファユニット、基板搬送用ロボットで構成される塗布～乾燥一貫プロセスラインを開発し、導入した。

有機 EL 作製プロセスとしての検証

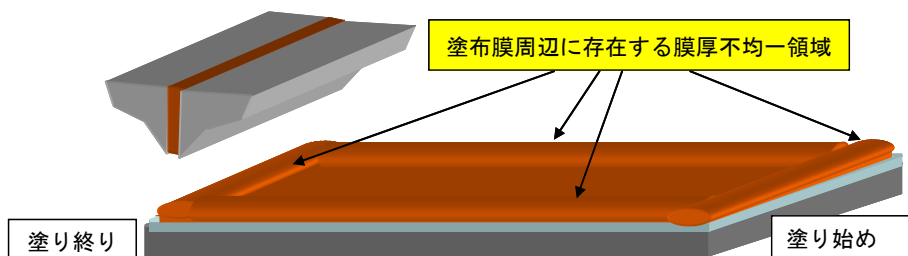
上記開発した装置を使用して、発光面積 80 mm 角の白色有機 EL パネルを作製した。得られたパネルの色度座標のバラツキを、図h-1) - 5 に示す。色度のバラツキは比較的小さいことから、ここで開発したプロセス/装置は、再現性のよいものであると判断できる。このバラツキは、従来の塗布プロセスを用いて試作した白色有機 EL パネルの場合と同等のものである。また電気的特性も従来プロセスで試作した有機 EL パネルと比較して遜色ないものであった。これらの結果から、本装置および成膜プロセスは、有機EL照明の試作デバイスとして、活用可能と判断できる。



図h-1)-5 開発したプロセスを用いて試作した有機 EL パネルの色度バラツキ

h-2)不均一塗布領域発生要因の解明および選択塗布を指向した塗布要素技術の開発

一般的に特定の基材に対して均一な薄膜が形成可能とされるスリットコート法においても塗布膜の周辺から約数十 mm は不均一な膜厚領域となることが多い(図h-2)-1)。そのため、実際の生産現場においては、基材一面に塗布膜を形成し、その後に露光やエッチング、または拭き取りといった工程によって、塗布膜の不均一な膜厚領域を除去している。しかし、塗布膜の除去工程には、高額な装置が必要となることや除去する部分の塗布液が無駄になるという問題点がある。本テーマにおいて塗布膜の膜厚不均一領域発生の要因を解明、実践することで、塗布膜の除去エリアの縮小と、塗布液の省液化が期待できる。さらに最終製品においても均一な発光領域をより広域で得ることが可能となる。本開発テーマは今後求められるようになると考えられる「1枚の基板上に複数の塗布エリアを形成する選択塗布」を目指すにあたり必要な要素技術の中の一つとなることから、本要素技術を開発することが選択塗布技術確立への足がかりとなると考えられる。



図h-2)-1 膜厚不均一領域概略

スリットコート法は液晶ディスプレイ用カラーフィルタや PDP といった、高精度で均一な成膜面を必要とする分野において採用されている。しかし、前述のとおり、塗布膜の周辺から約数十 mm は多岐にわたる様々な要因により膜厚が不均一な領域となることが多い。そこで、本テーマでは塗布膜周辺に存在する膜厚不均一領域発生の要因を解明し、対処することで、塗布膜周辺 5 mm を

除くエリアで平均膜厚 30 nm、均一性±3%を目指すものとした。

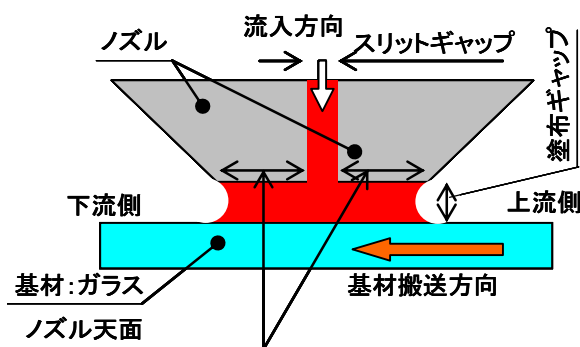
上記目標に対して、主に CAE を用いて塗布解析およびノズル内部の流動解析を行い、これまでの塗布経験から推測される「ノズル形状」や「制御軸の動作遅れ」、または「塗布液と基材の相性（濡れ性）」、「塗布液の乾燥」といった多種多様に存在する膜厚変動要因を系統だてて絞り込み、膜厚不均一領域発生の要因を解明した。同時に実験用スリットコーターを製作し、CAE による塗布解析の妥当性を確認すると共に、CAE の塗布解析の精度を高めた。膜厚不均一領域発生の要因を抽出した後に、膜厚不均一領域低減を実践するための手段を検討した。

膜厚不均一領域発生要因の CAE による解析

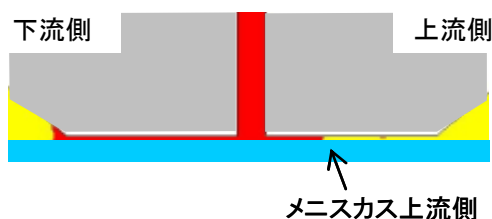
一般的に特定の基材に対して均一な薄膜が形成可能とされるスリットコート法においても塗布膜の周辺から約数十 mm は膜厚が不均一な領域となることが多い。その膜厚不均一領域は様々な要因により発生していると考えられている。悪化要因としては、

- ・ノズルと基材の相対運動による影響、これら運動の微小な動作ずれ
- ・ノズル形状(内部のキャビティ(液だまり部)形状や基材と最も接近する先端の形状)の影響
- ・塗布液の特性
- ・塗布液と基材の相性(濡れ性など)
- ・塗布後の乾燥条件

などが考えられる。しかもこれらの悪化要因はそれぞれが複雑に関連するため、現象を可視化し解決法を見出すために、CAE(Computer Aided Engineering)による塗布解析を行った。図h-2)-2 に各部の名称および初期状態を示す。メッシュ形状やメッシュサイズについても検討を重ね、ノズル先端と基材の間にできる「メニスカス」(液だまり部)の挙動が安定するまでの間を解析した。図h-2)-3 に解析結果を示す。上流側のメニスカスが上流側天面の中腹あたりまで後退する結果が得られた。



図h-2)-2 各部の名称および初期状態



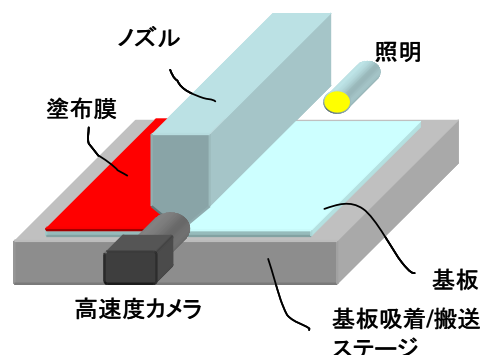
図h-2)-3 解析結果

CAE 塗布解析の妥当性確認

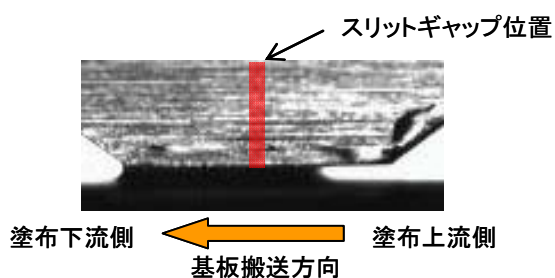
CAE による解析結果の妥当性を確認するために実験装置を製作した。図h-2)-4 に実験装置の外観を示す。塗布中のノズル先端と基材の間に存在するメニスカスを観察するために、実験装置に高速度カメラを搭載した(図h-2)-5)。高速度カメラより得られたメニスカスの形状(塗布中で、メニスカス形状が十分安定した状態の画像:図h-2)-6)と CAE による塗布解析結果(図h-2)-3)を比較することで CAE 塗布解析の妥当性を確認した。両者を比較した結果、メニスカスの形状はほぼ一致し、CAE による解析結果の妥当性は確認された。このことから CAE 塗布解析は膜厚不均一領域の発生要因をつきとめる有効な手段であると判断した。



図h-2)-4 実験装置外観



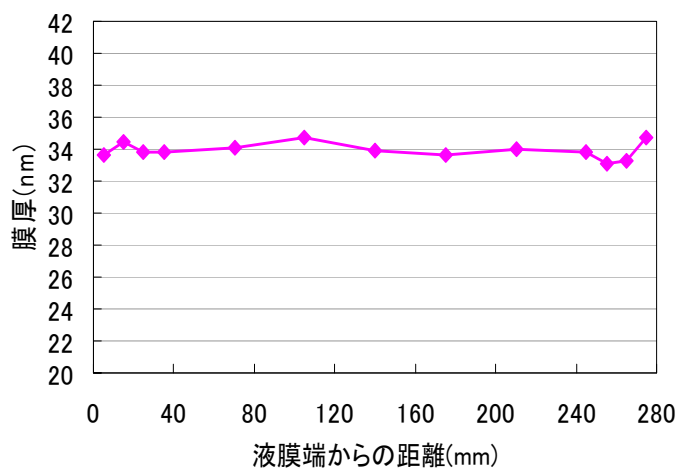
図h-2)-5 高速度カメラ設置概要



図h-2)-6 高速度カメラによるメニスカス画像

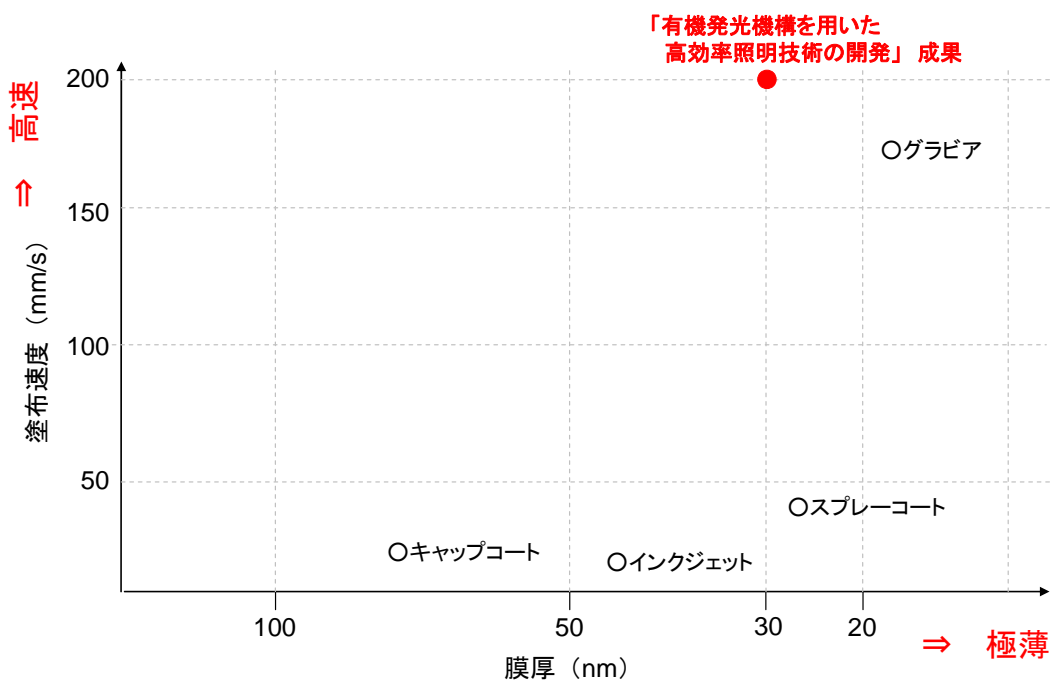
塗布実験による検証

前記 CAE での解析結果を踏まえて、ノズルおよび圧力制御条件を検討した。基材搬送パラメーター、ノズル昇降動作パラメーター、ポンプによる塗布液供給パラメーターといった複数のパラメーターの組み合わせの最適解を見だし、さらに圧力を各動作に同期させる複雑な制御が必要であったが、塗り始めから 5 mm からの領域において塗布挙動を安定させることができた。結果、本プロジェクトの目標である不均一膜厚領域 5mm 以下で、膜厚 30 nm、均一性 $\pm 3\%$ を達成した(図h-2)-7)。



図h-2)-7 負圧塗布による膜厚分布

本プロジェクトで開発された塗布技術の位置づけを図h-2)-8 に示す。対象物にダメージを与えない非接触式の塗布方式であって、大面積に超薄膜を、最高速の塗布速度で均一に形成可能な塗布技術を実現したといえる。



図h-2)-8 極薄膜塗布プロセスのベンチマーク

(2)省資源型高速蒸着プロセス技術の開発

i) 高速蒸着プロセス技術の開発(パナソニック電気株式会社)

i-1) 高速・高材料使用効率蒸着源の開発(パナソニック電気株式会社)

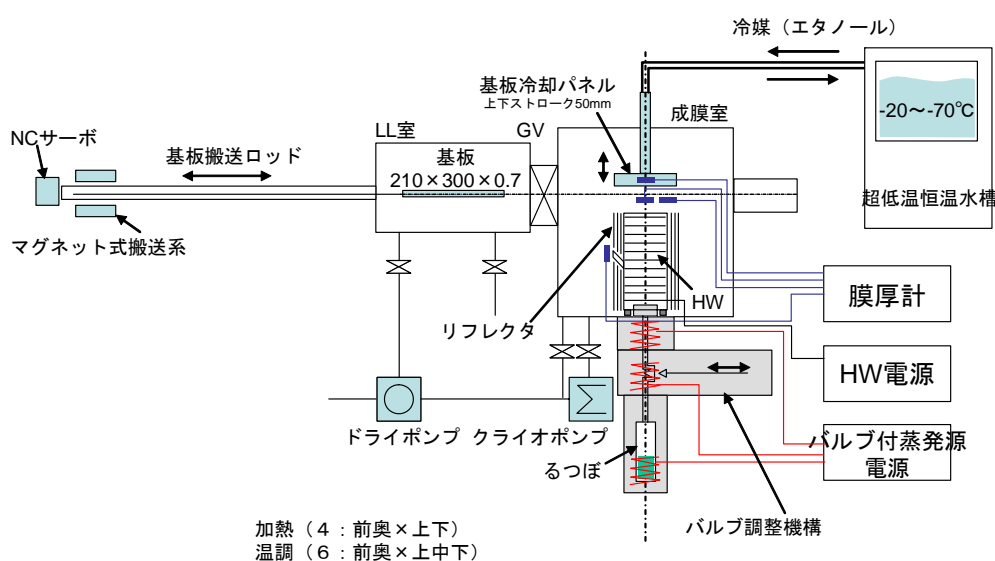
真空蒸着法は、有機 EL の有機薄膜の形成法としてもっとも簡便な方法だが、材料使用効率が低いこと、蒸着速度を上げた場合に突沸などがおこるために膜厚や膜質の均一な膜を得にくいこと、などが課題として認識されている。

一方ホットウォール式蒸着源は、蒸発源の周囲に加熱壁を設けた構造の蒸着源であり、壁に付着した分子を再蒸発させることによって蒸発源からの分子流を高速にかつ高い割合で基板に付着させることが可能であることが知られている。本蒸着源はシンプルな構造であるにもかかわらず、蒸着流の幅方向の均一性をコントロールすることが比較的容易であり、また材料種類、蒸着レートの変更への対応性も高いことが特徴である。しかし蒸着源を構成する蒸発源として一般的な低温セル等を用いた場合、所定レートを得るまでに時間を要し、また成膜待機中にも材料が継続的に蒸発するために、材料ロスが相当に大きくなるという課題がある。

上記を鑑み、ホットウォールと蒸着流量を制御するためのバルブ機構を有する、長州産業のバルブ付蒸発源(以下、バルブ付きセルと記す)を融合することで、高い成膜速度と高い材料使用効率の両方を同時に満たし、バルブ開閉による材料ロスの低減を実現した、量産などの実用化に適する可能性が高い新型蒸着源の開発に取り組んだ。

蒸発源のコンセプト検証

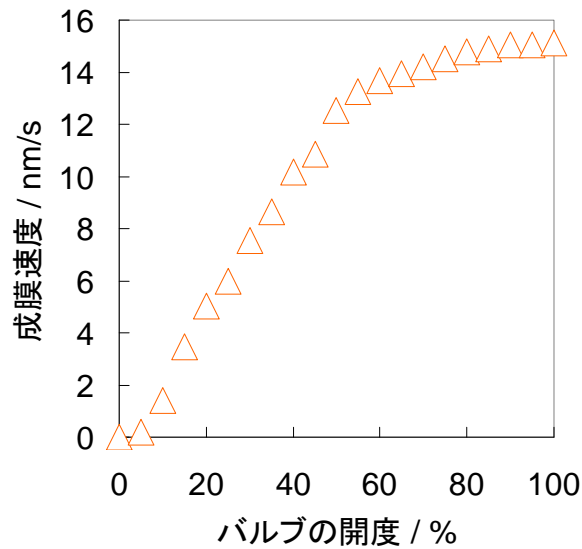
前記コンセプトを検証するために、実験機を作製した。図i-1)-1 に実験機の模式図を示す。蒸発源を組み込んだ成膜チャンバーとロードロック室(LL室)で構成される。成膜チャンバーとLL室はゲートバルブで接続され、真空一貫で210 mm×300 mm×0.7 mmのガラス基板を自動搬送させながら成膜することができる。



図i-1)-1 実験機の模式図

成膜速度

本実験機を使い、 Alq_3 をガラス基板に成膜した。図i-1)-3 にバルブ付きセルのバルブ開度に対するガラス基板の中心部での成膜速度の結果を示す。成膜速度のバルブ開度依存性は、約10 nm/sまで良好な直線性を示し、本プロジェクトの目標である8 nm/sの高速蒸着を実現した。

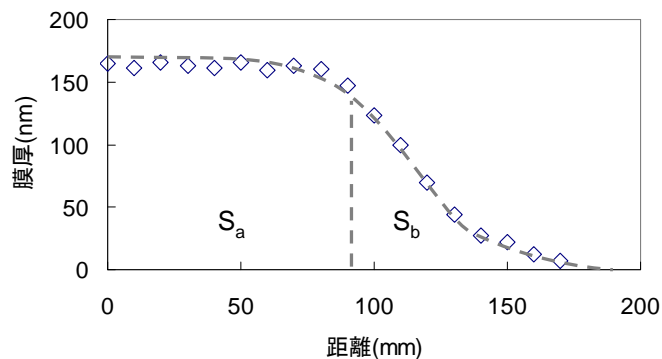


図i-1) - 3 成膜速度とバルブ開度との関係

ホットウォールの中心に近い部位の膜が厚くなる傾向を示したため、ホットウォールに膜厚分布補正を施すことで、190 mm 幅の成膜エリアに対して、搬送幅方向の膜厚分布を±10%にまで低減することができた。

材料使用効率

図i-1) - 4 に、実験機の高速度・高材料使用効率蒸着源で成膜した Alq_3 膜の搬送幅方向の膜厚分布の測定結果を示す。 S_a 、 S_b は膜の断面積を表し、 S_a と S_b の境界は、基板の中心から 90 mm (180 mm 幅) とした。 S_a 、 S_b それぞれが基板上で成膜の有効な領域、材料ロス領域となる。対象基板サイズを 210 mm 幅としているので、片側 15 mm を材料ロス領域としているが、有機 EL パネルは発光部分の外側に封止幅、端子接続領域などを必要とするため、妥当と判断した。材料使用効率 η は式 i-1) - 1 から 82% と算出された。

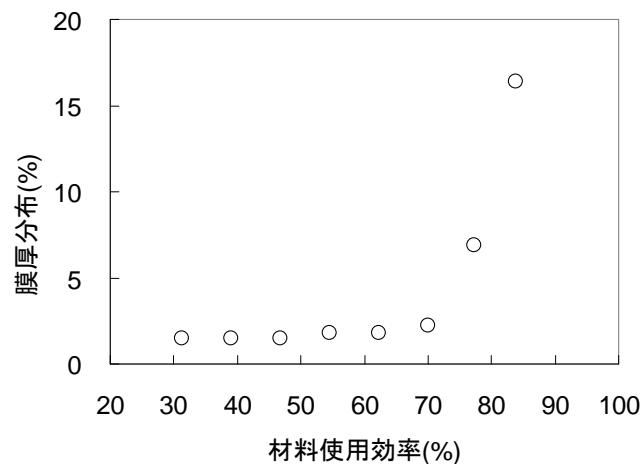


図i-1) - 4 搬送幅方向の膜厚分布

$$\eta = \frac{S_a}{S_a + S_b}$$

式i-1) -1 材料使用効率の算出式

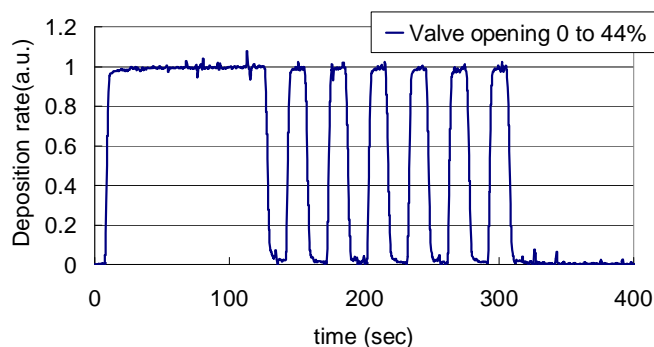
なお、 S_a と S_b の境界を基板の幅方向に広くとると材料使用効率が高くなるが、膜厚分布が大きくなる。図i-1) -5 に材料使用効率に対する膜厚分布の関係を示した。有機 EL の実用上の観点から発光の均一性のために必要となる「膜厚分布±3%以下」を確保した場合の材料使用効率は、目標とする70%を超えるものであった。



図i-1) -5 膜厚分布と材料使用効率との関係

レート制御性

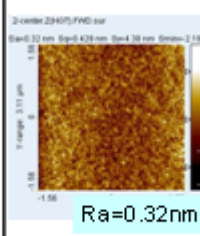
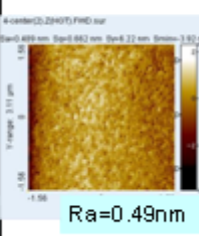
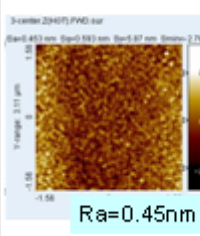
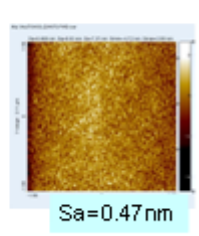
開発した蒸発源は、レート(時間当たりの蒸発量)をバルブ付きセル内部で材料を加熱する温度と、バルブの開閉度によって制御する。蒸発実験に用いた有機半導体材料は、高効率発光素子で典型的に使用するものであり、被成膜体であるガラス基板を蒸発源上で32 mm/sで搬送した。成膜レートが本プロジェクトの目標である約8 nm/sとなる条件にバルブ温度を設定した。なおこの検討では、バルブの開度を0%(閉状態)から44%開放している状態の間に制御しており、図i-1) -7のDeposition rate=1が8 nm/sに相当する。図i-1) -6に示すとおり、高速成膜レート8 nm/sと成膜停止状態の0 nm/sを5秒以内という極めて短時間で設定することが可能であった。本プロジェクトが目指す材料ロスが少ない蒸発源が実現できたといえる。



図i-1)-6 バルブ開閉による蒸着レートのコントロール性

膜質

有機膜のグレインサイズがキャリア移動度に影響を及ぼす可能性があるため、膜質に関する検討を行った。本方式による成膜速度 9 nm/s, 16 nm/s, 23 nm/s におけるガラス基板上の Alq₃ 膜の表面モフォロジーを AFM で観察した(図i-1)-7)。3 μm 角の範囲内の算術平均粗さ (Ra)は、それぞれ 0.32 nm, 0.49 nm, 0.45 nm であった。前記成膜速度の範囲では、モフォロジーの成膜速度依存性はないと考えられる。また一般的な蒸発源であるるつぼから 0.1 nm/s で成膜した Alq₃ 膜の粗さ(Ra)は 0.47 nm と同程度のレンジにあることも確認できた。

成膜方法	本方式			従来法
成膜速度	9nm /s	15nm /s	23nm /s	0.1 nm /s
Alq ₃ 膜の表面モフォロジー (AFM)	 Ra=0.32nm	 Ra=0.49nm	 Ra=0.45nm	 Sa=0.47nm

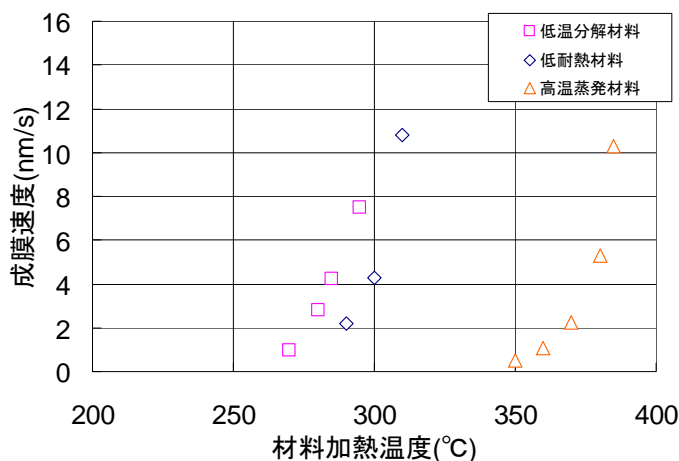
図i-1)-7 Alq₃ 膜の表面モフォロジーの成膜方法・成膜速度依存性

各種材料への対応性

低コスト有機 EL を実現するためには、上記の蒸発源を気化温度の高い難蒸発材料や低温分解材料などにも対応させて、スループットの高い一貫プロセスを構築する必要がある。本プロジェクトの開発項目i-2)連続運転対応蒸発制御技術 で開発した横型バルブ付きセルとホットウォールを融合させた実験機を作製し、効果を検証した。対象にした有機半導体材料は、以下の 3 種類である。

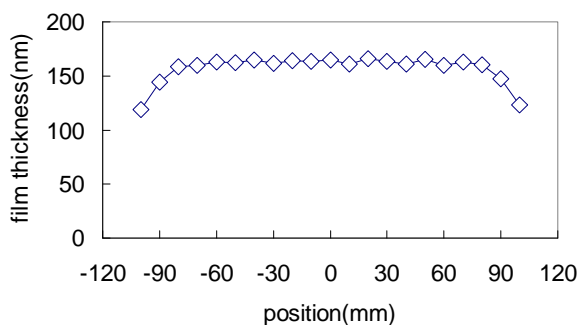
- ・低耐熱材料
- ・低温分解材料
- ・高温蒸発材料

材料加熱温度と成膜速度の関係を図i-1)-8に示す。本方式で各種材料でも 8 nm/s を上回る高速成膜が実現可能であることを確認した。



図i-1)-8 各種材料の成膜挙動

なお、低温分解材料の搬送幅方向に対する膜厚分布は±3%を達成するものであった(図i-1)-9)。他の低耐熱材料、高温蒸発材料についても同程度の膜厚分布であり、膜厚分布に材料依存性はほとんどないことを確認した。



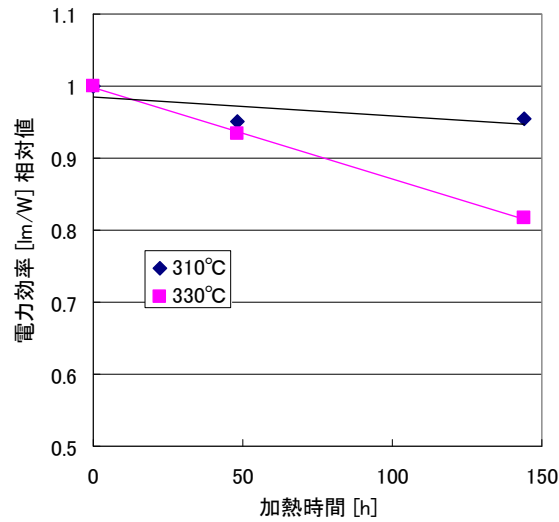
図i-1)-9 低温分解材料の膜厚分布

ホットウォールの構造および制御条件の検討により、蒸着レートおよび材料使用効率をともに向上させることを目的とした蒸着源を開発し、各種の有機材料に関して、材料使用効率70%以上、成膜速度8 nm/sでの、高速・高材料使用効率での蒸着成膜が可能であることを確認した。本蒸着源の蒸着速度制御性は10 nm/s程度まで良好な直線性を有し、また膜厚分布は±3%程度を達成するものであった。

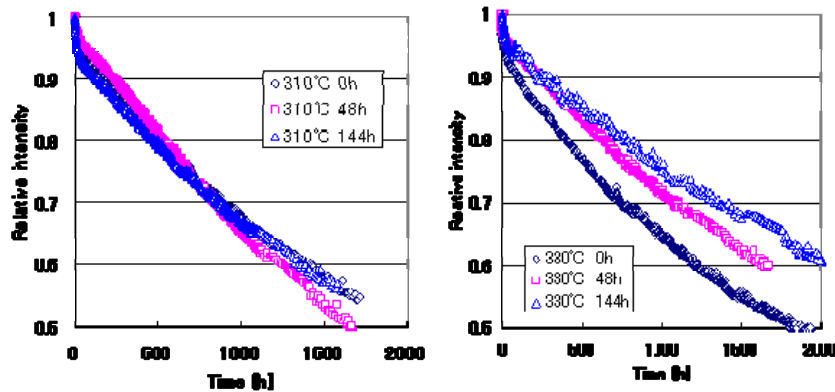
i-2) 連続運転対応蒸発制御技術の開発

(パナソニック電気株式会社・長州産業株式会社)

330°Cと310°Cで48時間または144時間連続加熱した電子輸送材料を用いて有機EL素子を作製し、材料の熱安定性に関する検証を行った。前記2つの温度は、バルブの開度を調整することにより、8 nm/sの蒸着レートが得られる温度の一例である。初期特性の変化を図i-2)-1に、寿命特性の評価結果を図i-2)-2に示す。



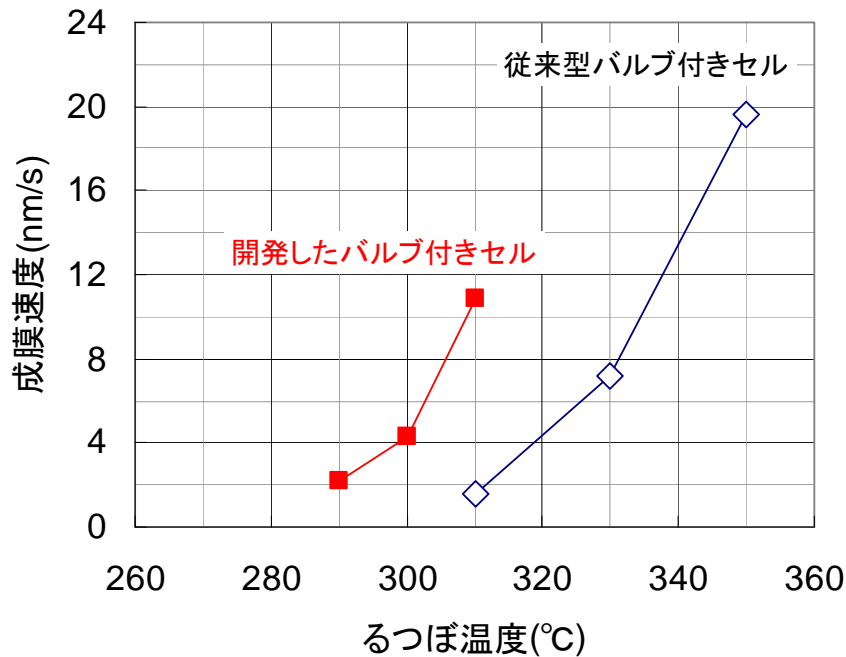
図i-2)-1 初期特性



図i-2)-2 寿命特性

加熱温度が 310°C の場合、連続加熱された電子輸送材料を用いた有機 EL 素子の特性はほとんど変化していないのに対し、加熱温度が 330°C の場合には明らかな特性劣化が見られた。加熱温度が高いことが、特に長時間の連続加熱時に有機 EL 素子の特性に悪影響を与えることがわかる。

バルブはコンダクタンスの低下要因となり、蒸着時の加熱温度を高くする理由になりうることから、長期間の安定連続運転性を確保することを目的とした開発を行った。加熱温度の低減による材料劣化抑制のため、バルブ付きセル内部のコンダクタンス向上で材料の蒸気抵抗を低減することを試みた。成膜速度とろつぼ温度の関係を図i-2)-3 に示す。開発した横型バルブ付きセルを用いることにより、20~30°C 程度加熱温度を低減することができた。なお本プロジェクトにおける高速蒸着レートの目標値である 8 nm/s 時においては約 20°C の低減である。新たな構造を有するバルブ付きセルは、蒸気抵抗の減少によるレートの向上と、高速蒸着時の加熱温度低減が同時に実現することができるものである、といえる。



図i-2) -3 バルブ付きセル材料加熱温度の低温化

j) 高速搬送機構・冷却技術の開発(パナソニック電気株式会社)

j-1) 高速搬送プロセスの開発

有機材料を蒸着する製造装置には、比較的広い面積に、高速かつ高材料使用効率で成膜できるとともに、長期にわたって安定して稼働させられることが要求される。一方、現行の有機 EL 蒸着装置は、中央に位置する搬送室と各プロセス室との間がゲートバルブで仕切られたクラスター式蒸着装置であり、搬送時間、マスクアライメント時間、蒸着速度の安定待機時間などの成膜に関与しない時間がスループットの律速になっている。従って、高いスループットを実現するためには、基板を連続的に供給しながら成膜するなどの、成膜時間を有効に活用可能なプロセスの採用が長いことが求められる。また、待機時間の長さは、その間の材料ロスによる材料使用効率の低下を招いている。また蒸着速度を高めるほど材料ロス量も増えるため、高速蒸着に適した蒸着源構造と基板搬送機構を組み合わせた開発が必要となる。

上記を鑑み、高速蒸着・高材料使用効率の実現可能な蒸着源を組み込んだインライン式プロセス装置を開発した。基板搬送機構として、基板とマスクをセットする前室とそこから基板が送り出される基板送出し機構、搬送速度可変機構を備えた成膜準備エリア、基板とマスクを保持するトレーを下部および側面からガイドし搬送する駆動機構、基板回収機構を備えた。これにより、高速成膜と有機膜積層の中で厚い膜厚の形成が可能な搬送速度の実現を図った。

インライン式基板搬送機構

インライン式装置において、蒸着速度と搬送速度とを速くすることで、短時間で設定膜厚を得ることができる。その関係は、次式で表すことができる。

$$\text{搬送速度} = \text{搬送方向の成膜可能距離} / (\text{設定膜厚} / \text{平均蒸着速度})$$

ここで、「搬送方向の成膜可能距離」とは、蒸着源からの分子流が基板に付着することが可能な搬送距離を意味しており、「平均蒸着速度」と共に、本研究 i-1) 高速・高材料使用効率蒸着源の開発にて設計されたホットウォール型蒸着源を用いることを前提として設定した。具体的には、A4 サイズ基板(搬送治具を含め長さ 320mm)、有機膜積層の中でも比較的厚い膜厚 40 nm、蒸着源からの蒸着速度 8 nm/s を想定し、前式に当てはめ搬送速度 32 mm/s が達成できるインライン式基板搬送機構を設計した。図j-1) -1 に開発したインライン蒸着装置の外観を、図j-1) -2 に装置内に配置した基板送り出し機構の概略を示す。



図j-1) -1 インライン装置外観



図j-1) -2 インライン装置の基板送出し機構内部

開発したインライン式蒸着プロセスのタクトタイムは、A4 サイズ基板1枚あたり 10 秒であり、従来にない生産性の高い高速プロセス実現の可能性を確認した。

j-2) 基板冷却機構の開発

高速蒸着を行う場合、蒸着源の温度は高く設定することが必要であるため、基板への熱輻射量が大きくなる。有機EL材料の成膜工程において基板温度が高い場合、デバイス特性に悪影響が生じる可能性が高い。よってデバイス特性の劣化しない温度 100℃以下に基板温度を保持することを目標とした開発を行った。

インラインプロセスで基板温度を低減するには移動中の基板を冷却する必要がある。一般的な、可動部に冷却機構を設ける方式では、機構が複雑でありまた冷却構造と基板の接触信頼性など

に課題があるため、より簡便な基板冷却機構の実現が必要であった。ここでは、基板搬送部に低温のパネルを設置し、搬送されている基板に対し非接触で冷却を行う方式を検討した。基板搬送部と冷却機構を分離でき、搬送機構に複雑な機構を設ける必要がないため、j-1)で開発する高速搬送プロセスにも有効であり、また、例えば基板搬送の停止時間を設ける必要もないため高い生産性が確保できる。

基板温度

真空蒸着法において基板温度は、基板を取り巻く構造体の温度およびその熱放射係率、構造体の配置や面積などの幾何条件から与えられる形態係数により定まる。中でも蒸着中に基板温度が上昇する最大の要因は、蒸着源からの輻射熱であり、特にホットウォール蒸着源では、蒸着材料の通過する開口部以外のホットウォール外面からの熱輻射もあること、基板と蒸着源が近く形態係数が大きいことから、基板温度の上昇が大きくなる。そこでまず、放射係数の小さい鏡面加工を施した遮熱構造を、ホットウォールの周囲に設置した。これにより、基板温度の上昇する主要因を、基板がホットウォールの開口部を通過中にのみに限定することができた。

しかし、有機ELデバイスは、多数の蒸着源上を順に移動する連続プロセスで形成されるため、多層成膜プロセスになるほど基板温度が上昇する可能性が高い。そこで、移動搬送中の基板を冷却する機構として、基板とは非接触だが放射熱は受けることができるパネルを基板搬送部に設置した。この冷却パネルは、熱源である蒸着源と逆の熱輻射条件となることを考慮して、放射係数、形態係数などの設計を行った。具体的には、冷却機構を備えたパネルを基板搬送部の上部に設置して低温に保持し、基板がパネル下部を通過する際に冷却される構成とした。基板温度の測定は、ガラス基板に熱伝対を埋め込んだ測定用基板を用いて、真空中で搬送しながら行った。蒸着源の温度が 320°C の場合、冷却機構がなければ蒸着源を通過後に基板温度が 10~15°C 上昇したが、本冷却機構を用いることで温度上昇を約 7°C にまで抑制できた。

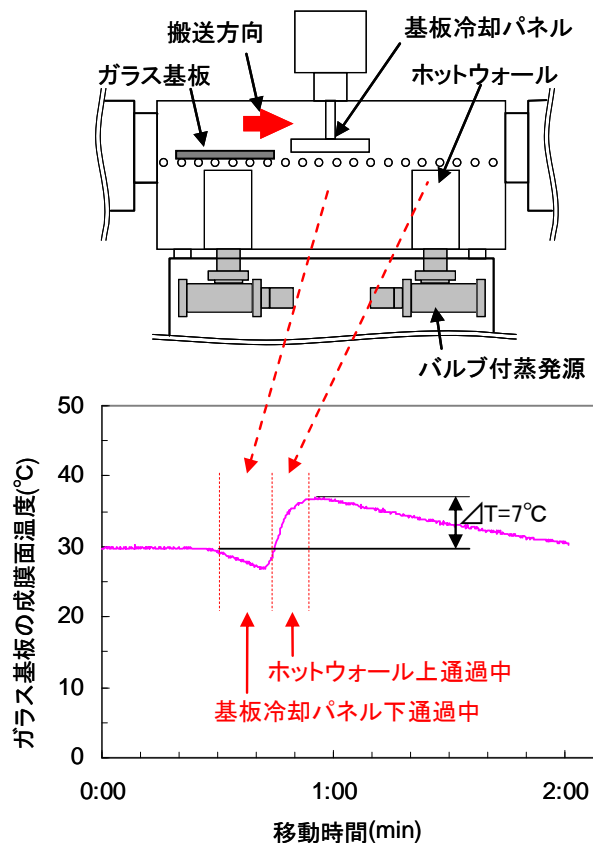
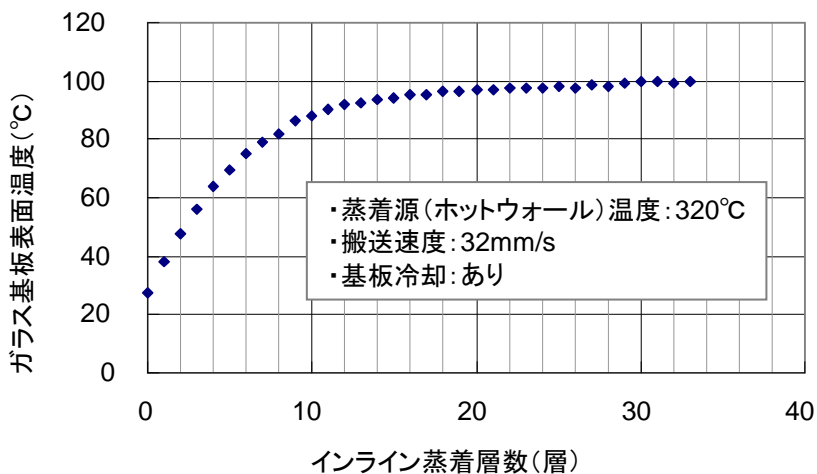


図 j-2) -1 搬送中のガラス基板の成膜温度変化

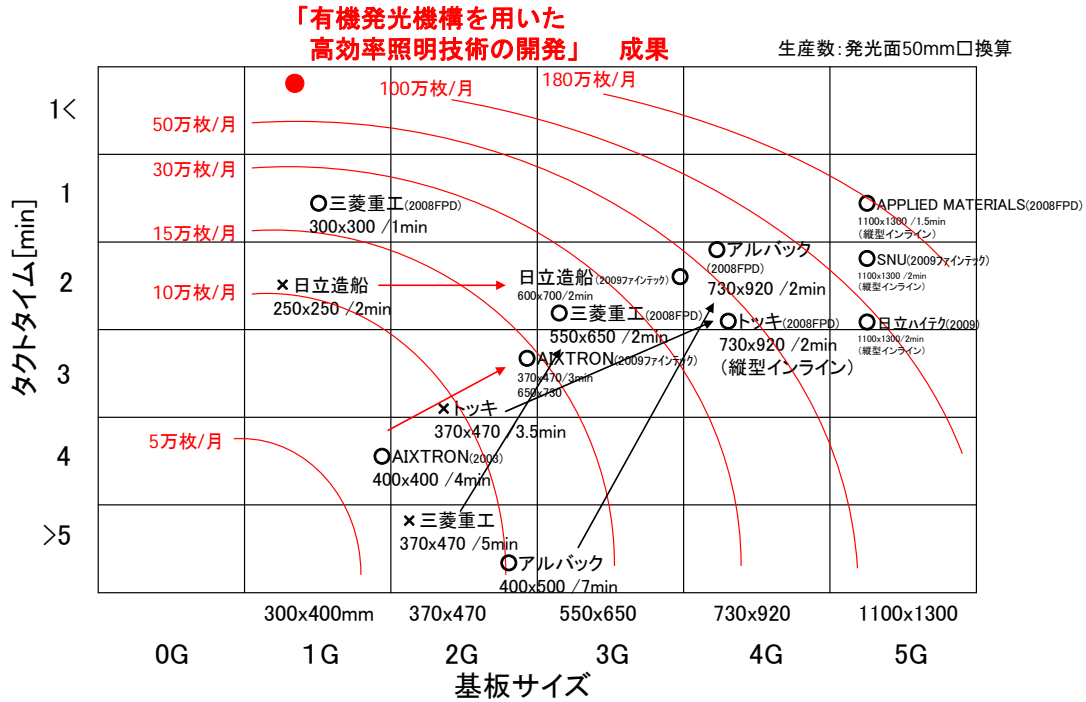
インラインプロセスでの連続蒸着

インライン装置において有機ELデバイスを作製する際には、複数並んだ蒸着源から熱輻射を受けるため、連続蒸着プロセスにおける基板温度を評価する必要がある。320°Cに加熱した蒸着源と低温に保持した冷却機構を配置したインライン装置中で基板を往復させ、基板温度の変化を評価したところ、約 30 層を連続的に積層しても、基板温度が 100°C以下となることを確認し、開発した冷却機構のインラインプロセスへの適用可能性を確認した。結果を図j-2) -2 に示す。

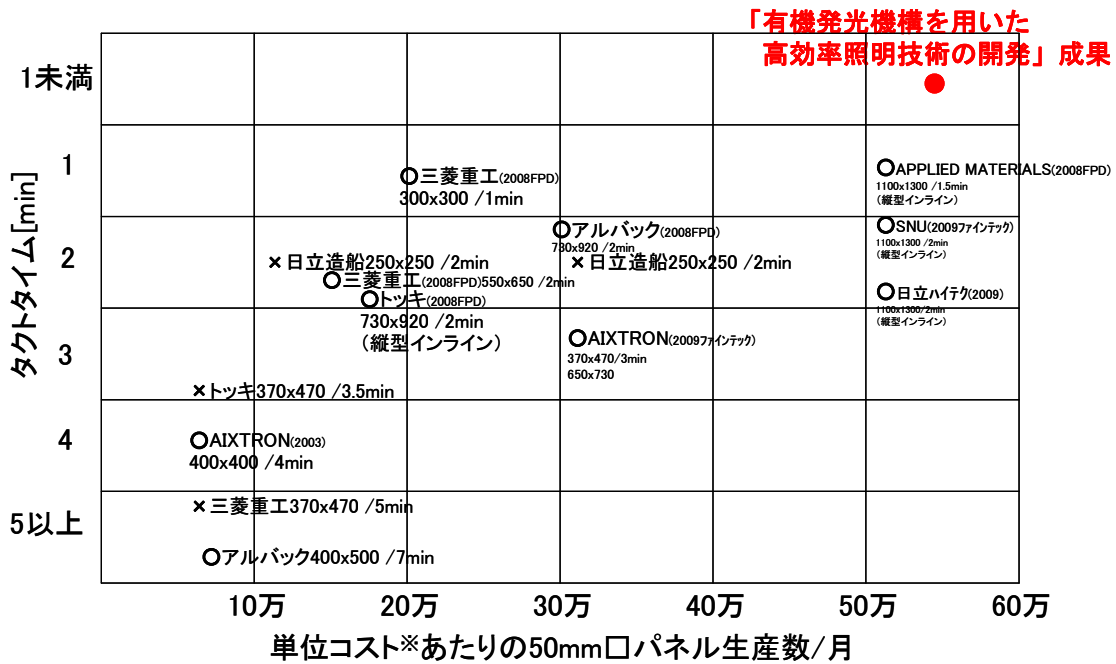


図j-2) -2 インライン連続蒸着(疑似プロセス)での基板温度変化

本事業の成果の位置づけを以下の図i-2) - 3(タクトタイムと基板サイズを設定し、有機 EL パネルの生産数を発光面 50mm□換算で算出)、図i-2) - 4(単位装置コストあたりのパネル生産数の見積り)に示す。した。なおこの種の成膜プロセス・装置に関する発表は近年も種々なされているが、スペックに関する詳細な値は示されていないため、タクトタイム、基板サイズは推定して得た値である。この結果からも、本事業の成果は、小規模の装置でも非常に優れた生産能力を実現できる可能性があるものであり、装置規模の拡大によって、トップレベルの生産性を実現可能なものと推定できる。



図i-2) - 3. 蒸着プロセスのベンチマーク(パネル生産数)



図i-2) - 4. 蒸着プロセスのベンチマーク(装置コストあたりの生産数)

(3) 高放熱薄型封止プロセス技術の開発

k) 高放熱&低透湿封止材料・プロセス技術の開発(パナソニック電気株式会社)

k-1) 高放熱&低透湿封止構造・材料技術の開発

水分および酸素に非常に弱い有機 EL 素子を照明光源として実用に供するには、電球や蛍光灯などの従来光源に匹敵する保管寿命を得るための封止構造が必要である。特に有機 EL は高温封止に対応することが困難であるため、低温プロセスで高い封止性能が得られる封止技術の開発が必要である。また、有機 EL 自体が発する熱は、有機 EL パネルの寿命特性にも大きな影響を及ぼすため、高い放熱性をも兼備する必要がある。よって、以上の要求特性を満たす高放熱・低透湿型封止構造を開発することを目的とした。

開発した高放熱・低透湿型封止構造を図k) - 1 に示す。ガラス基板上に形成した有機 EL 素子に対し、吸湿層および放熱構造を形成した金属箔を設けたものであり、封止構造の総厚みは 0.2 mm 以下、ガラス基板を含めても 1 mm 以下、と非常に薄型の構造である。さらに本構造内に防湿層を設けることで、封止特性の向上を図った。なお生産性を考慮し、防湿膜の厚みは極力薄い範囲(~100 nm)に限定した。ここで封止構造の寿命とは、非発光部が 250 μm(目視で非発光部の存在が確認される大きさ)まで成長するまでの時間と定義した。

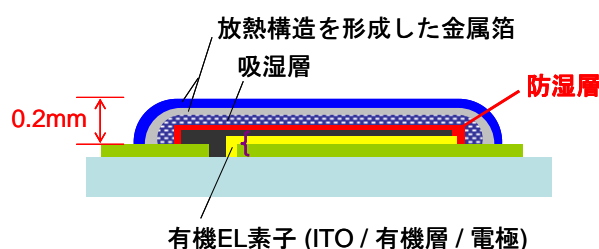


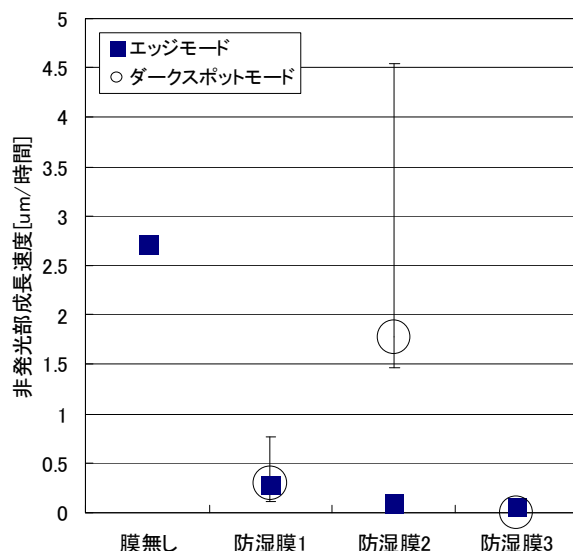
図) - 1 高放熱・低透湿型封止構造

熱特性の検討

上記構造の熱特性を有限要素法によって見積った。パネルサイズを 10 cm 角程度に設定し、上記構造に用いられる材料の熱伝導性および厚みをパラメータとして種々の検討を行ったところ、特定の層がパネルの平均温度の低減および発光面内の温度均一化に強く寄与することが見いだされた。この結果を踏まえて、各層を構成する材料および厚みに関する設計を行い、基本となる封止構造を決定した。

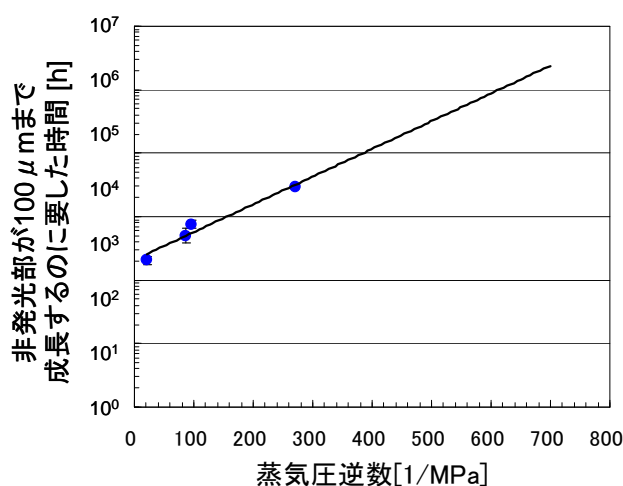
防湿膜と封止性能の評価

図k) - 2 に防湿膜のみの封止性(防湿膜のみで評価)を示す。エッジモード(発光面端部より成長してくる非発光部)の成長速度は、防湿膜 1~3 いずれを成膜した場合にも、防湿膜がない場合の 1/10 以下にまで抑制された。しかし、ダークスポットモードの成長速度は、防湿膜によって大きく異なる結果となった。よって防湿膜 3 がエッジモードおよびダークスポットモードの双方に対してもっとも封止性に優れると判断した。



図k) - 2 防湿膜の非発光部成長速度の比較

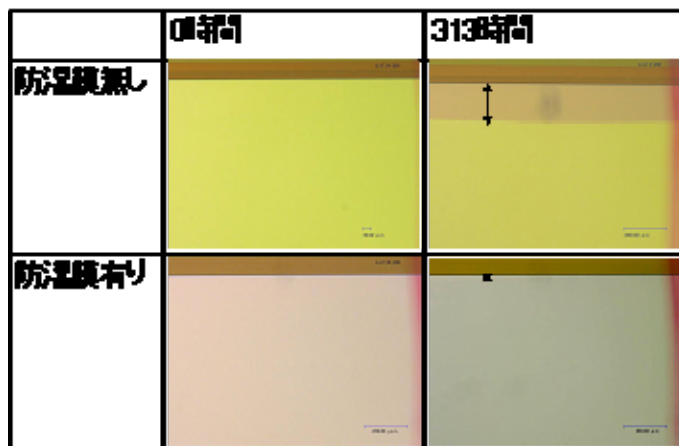
封止性の加速評価を行うために、高放熱・低透湿型封止構造に関する加速係数の見積もりを行った。図k) - 3 に恒温恒湿条件に対する封止寿命の関係を示す。種々の温度、湿度で評価した封止寿命は蒸気圧の逆数と良好な相関を示すことが確認できたため、この関係から加速係数を算出した。なお評価時間の短縮のために、非発光部が発光面端部またはダークスポット(点状の非発光部)から 100 μ m まで成長した時間で防湿膜の封止性を比較した。実環境 (25°C・45%RH) に対して高温高湿加速劣化条件 (85°C・85%RH) における加速係数は 270 倍程度であると推定された。よって、以降の封止特性の評価では、85°C・85%RH における封止寿命を 270 倍することで実環境の封止寿命を見積もるものとした。



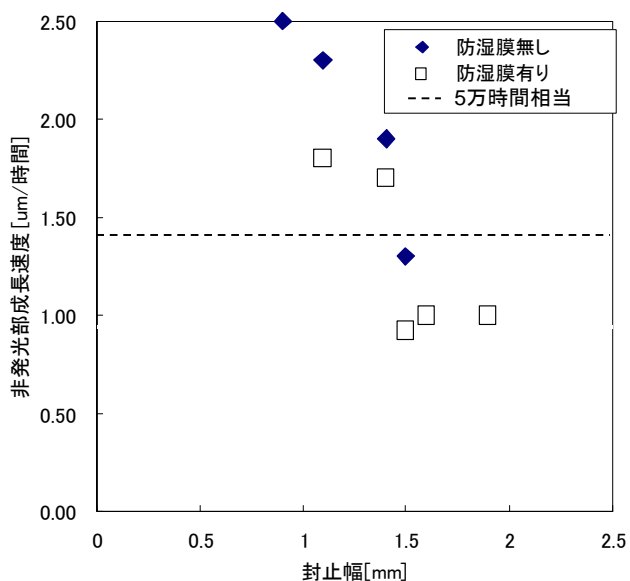
図k) - 3 蒸気圧と封止寿命の関係

防湿膜3を挿入した高放熱・低透湿型封止構造の封止特性を高温高湿加速劣化条件 (85°C・85%RH) で評価した。素子端部の観察画像および封止幅に対する非発光部成長速度 (85°C・85%RH) を図k) - 4 および図k) - 5 に示す。なお加速係数を考慮すると、目標である 5 万時間は非発光部成長速度が 1.45 μ m/時間以下の場合に相当する (図k) - 5 中に点線で示す)。防湿

膜の挿入により非発光部成長速度は大幅に低減され、封止幅が 1.5 mm 以上であれば目標とする封止特性を確保できることがわかった。また、防湿性を改善した封止構造を発光面積 10 cm × 10 cm の白色発光パネルに施したところ、非発光部成長速度をさらに抑制できた。本パネルの室温での保管寿命は 10 万時間以上に相当するものと考えられる。



図k)－4 エッジモードの観察画像(200倍)

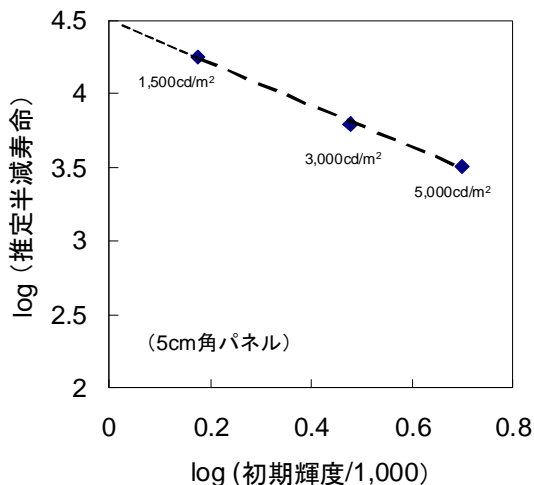


図k)－5 封止幅と非発光部成長速度の関係

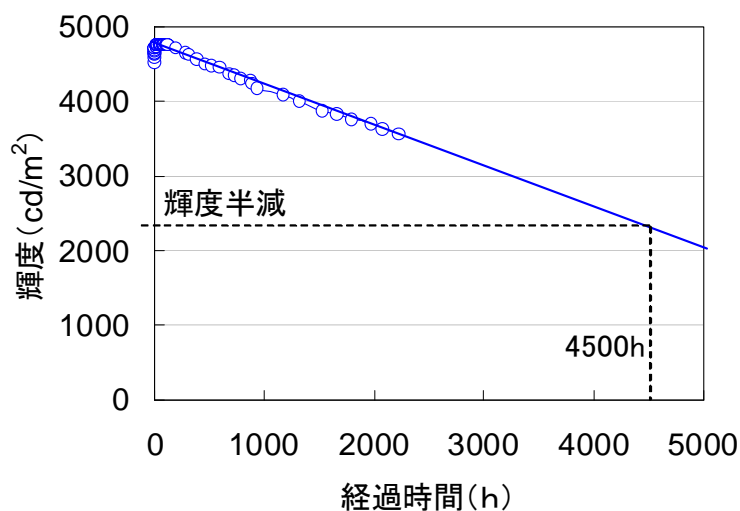
点灯寿命特性

発光面積 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ の白色有機 EL パネルを用いて、各輝度での輝度半減寿命を評価するとともに、輝度半減寿命と初期輝度との関係を算出した。図k)－6 に半減寿命の初期輝度依存性を示す。半減寿命は輝度比の 1.45 乗に反比例するという結果が得られた。次に、より大きな白色有機 EL パネル(発光面積 $6 \times 8 \text{ cm}^2$) の寿命評価を行った。初期輝度 $4,600 \text{ cd/m}^2$ からの半減寿命は 4,500 時間程度であり(図k)－7)、先に見積った半減寿命と輝度との関係に基づくと、輝度 $1,000 \text{ cd/m}^2$ 時の半減寿命は4万時間以上であると推定できる。また、発光面積 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ の白色有機 EL パネルの輝度低下挙動も、 $6 \times 8 \text{ cm}^2$ の場合と同一であった。よって、発光面積 10

× 10 cm²のパネルも半減寿命4万時間以上を達成しているものと考えられる。

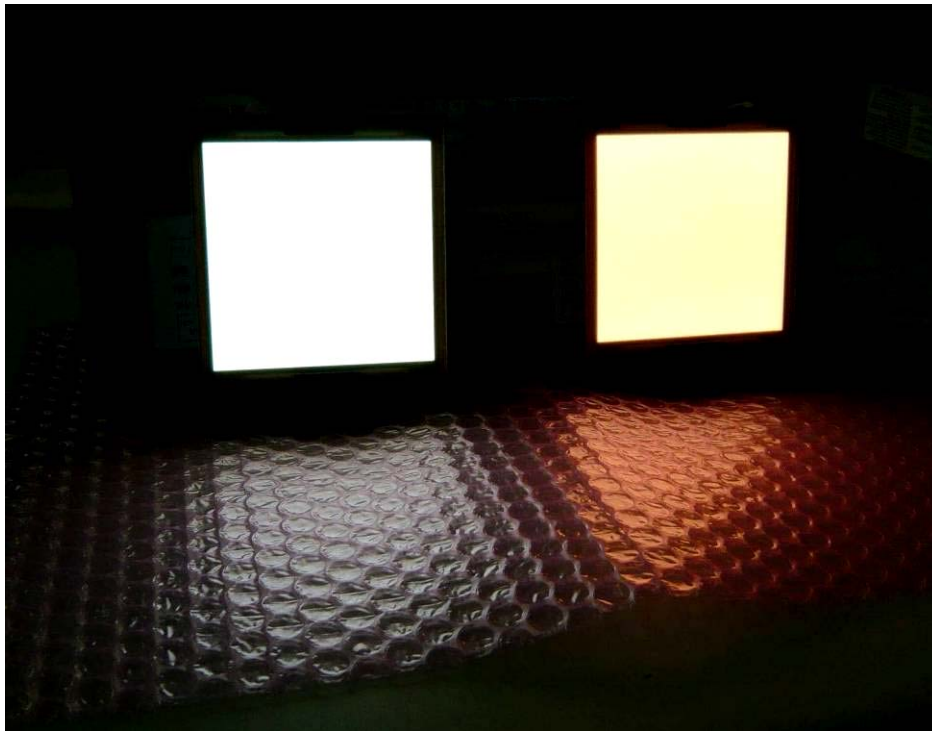


図k)－6 半減寿命の初期輝度依存性



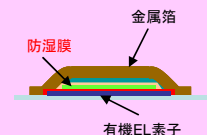
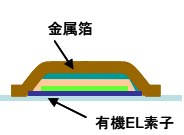
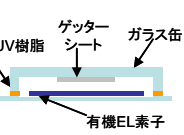
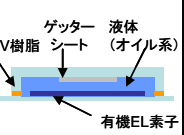
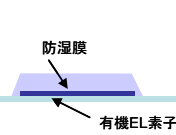
図k)－7 6×8 cm²の白色有機 EL パネルの輝度寿命評価結果

以上の検討によって開発された封止構造を施した 8 cm 角の白色有機 EL パネルは、照明として今後必要になると考えられる高輝度 (3,000 cd/m²～5,000 cd/m²) でも、均一な発光が長時間にわたって安定に得られることを確認した。図k)－8 に輝度 3,000 cd/m² で点灯したパネルの写真を示す。



図k)-8 輝度 3,000 cd/m²で点灯中の 8cm 角白色有機 EL パネル
(左:色温度 5,000 K 右:色温度 3,000 K)

各種封止構造のベンチマークを図 k)-9 に示す。一般に知られる中空封止構造(ガラスキャップ封止)では放熱特性に、放熱性を考慮した液体封止構造には耐久性(液漏れなど)の観点での課題などがある。実際に中空封止構造を用いた大面積有機 EL パネルでは、高輝度では熱による有機 EL 素子の破壊が起こることが問題となっており、本構造の優位性は明らかに示されている。

封止構造	本事業での開発構造	金属箔封止構造	中空封止構造 ガラス缶 樹脂接着構造	液体封止構造	膜封止構造
構造概略図					
封止信頼性 (保管寿命)	・金属箔と防湿膜の相乗効果 (推定保管寿命10万時間) ・高い構造強度	・構造強度高い ・側面からの水分侵入に弱い	・樹脂接着面からの水分侵入に弱い (ゲッターシートで捕捉)	・樹脂接着面からの水分侵入に弱い (ゲッターシートで捕捉)	・防湿膜の信頼性に依存(欠陥レス必要) ・保護層必要
放熱性 (点灯寿命)	○ 推定点灯寿命4万時間	○	× 高輝度で熱暴走	△	△
薄型	<1mm	<1mm	~1.8mm	~1.8mm	<1mm
ゲッターシート	不要 (構造中に吸湿材を含有)	不要 (構造中に吸湿材を含有)	必須	要	— 装着不可
高速プロセス適合性	高い 防湿層厚みは50nm程度であり高速形成に適する	高い		低い 液体充填	低い 防湿層厚み~数μm ピンホール対処必要

図k)-9 封止構造のベンチマーク

IV. 実用化、事業化の見通しについて

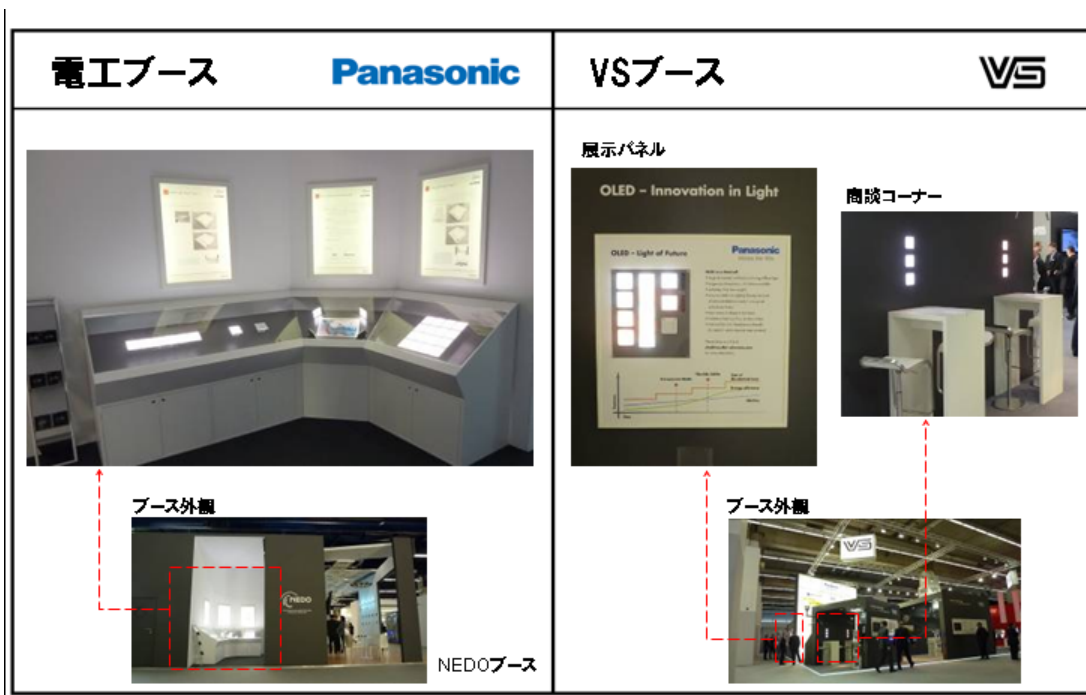
1. 実用化、事業化の見通し(有機 EL 照明)

1.1. 顧客の声の調査およびデバイス性能ベンチマーク

照明に関する世界最大の展示会である“light+building 2010”が、2010年4月11日から16日にドイツ・フランクフルトで開催された。本展示会に出展した有機ELモジュールおよびその展示の様子を図IV-1、図IV-2に示す。NEDOブースおよびパナソニック電気株式会社の子会社であるVossloh-Schwabe(VS)のブースでの展示を行い、有機EL照明のPRおよび情報収集を行った。



図IV-1 有機ELモジュール



図IV-2 light+building 2010 での出展の様子

多くの関係者が来場し、発売時期、寿命、効率、価格、サイズなどに関する種々のコメント、質問、リクエストなどをいただいた。また表IV.1-1に、本展示会に出展された各社の有機 EL 照明デバイスの性能ベンチマークを示す。本事業の成果を活用し、かつ、より高い輝度での駆動性能を高めた構造にモディファイして作製したパナソニック電工株式会社の有機 EL パネルは、輝度、演色性、効率、寿命をバランスよく実現する、という観点で、出展品の中でダントツの性能を有するものであることが確認できた。特に光学的&電気特性的なデバイス設計技術、材料開発技術で他社比較優位があることが確認できた。

表IV-1 有機 EL 照明デバイスの性能ベンチマーク

	日		米	欧		
	パナソニック電工	NECライティング	GE・コニカミノルタ	Philips	OSRAM	
						
製造方法	蒸着(一部塗布)	蒸着	塗布	蒸着	蒸着	
性能	輝度	3,000 cd/m ²	1,000 cd/m ²	1,200 cd/m ²	~3,000 cd/m ²	1,000 cd/m ²
	Ra	90	?	70~75	80	75
	効率	~20 lm/W	?	23~30 lm/W	25 lm/W	23 lm/W
	寿命	15 万h	?	0.9 万h	5 万h	0.5 万h
	サイズ	80mm□	150mm□	75 × 150mm	100 × 50mm	79mm φ

※寿命は初期輝度1,000cd/m²、半減寿命の換算値、Raは平均演色評価数

なお、light+building 2010 への出展に合わせ、有機 EL 照明のプレゼンス向上を図るため、パナソニック電工株式会社の Web サイト内に有機 EL 照明パネルに関するサイトを立ち上げ(図IV-3)、同時期に開催された Milano Salone(国際家具見本市:イタリア・ミラノ)に関する情報も併せ、有機 EL パネル、およびこれらの展示会への有機 EL パネル出展に関する発表を行った。



図IV-3 パナソニック電気株式会社 web サイト内、有機 EL 照明パネルのサイト

1.2 実用化を見込む製品に対する市場(顧客)からの要求スペック確認

実用化を見込む製品に対する市場(顧客)からの要求スペック確認のため、放送用有機 EL 照明器具に関する共同研究の実施、パナソニック電気および出光興産の社内美術館向けの美術館用有機 EL 照明器具の研究開発品としての展示によって、顧客の声を確認した。

1.2.1 放送用有機 EL 照明器具の評価

放送用有機 EL 照明器具の試作品(図IV-4)を用いた実証実験を、実際の放送現場で実施した。

名称: 放送局用照明

特徴: ①薄型

②面発光照明であるため、まぶしくなく、影が出にくい



図IV-4 放送用有機 EL 照明器具の試作品

1.2.2. 美術館用有機 EL 照明器具の評価

展示ケース用有機 EL 照明の試作品(図IV-5)を美術館に試験設置した。

名称: 美術館・博物館向け展示物照明

特徴: ①薄型

②面発光照明であるため、展示物の近傍から照射可能







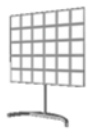






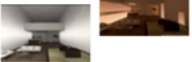

図IV-5 展示ケース用有機 EL 照明の試作品
(パナソニック電気株式会社 汐留ミュージアム)

これらの活動から得られた顧客の声、要求事項は以下ようなものであった。

- ① 蛍光灯と同等の発光効率
- ② LED と同等の長寿命
- ③ 主照明に対応できるだけの光束を得るための大面積化
- ④ デザイン自由度(厚み・形状)

1.3. 実用化、事業化に向けた活動

本プロジェクトの開発成果を活用した、パナソニック電気株式会社の有機 EL 照明デバイスの商品ロードマップを図IV-6 に示す。2011 年から、高演色性光源の特徴を活用した放送用照明器具、美術館照明などで照明市場にエントリーする。2012 年には、上記分野での市場展開を加速すると共に、新たな高付加価値エントリー市場の開発を実施する。2013 年度からは、高性能化素子を市場投入することで、店舗照明、サイン照明、車載を中心に用途開発を進める。2016 年度からは、効率が 100 lm/W を超える効率と低コストを実現することで、住宅、店舗、オフィス等の主照明で蛍光灯の置換えを進める。

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 有機ELのネームバリュー 薄型面光源 調光容易 			<ul style="list-style-type: none"> 長寿命 大面積 透明・調色 			<ul style="list-style-type: none"> 高効率&高輝度&長寿命 フレキシブル 低コスト 				
商品イメージ	 照明モジュール		 美術館照明		 誘導灯		 ペンダント照明		 フラッドライト		 フィルムライト
	 機器組込照明		 デスクスタンド		 店舗照明		 車載照明		 ベースライト		 光る天井材、藍材
							 屋内サイン				

図IV-6 商品ロードマップ

1.4 ライセンス、ノウハウの保護・管理状況

特許出願を積極的に進め、デバイス・プロセスに関する 24 件の出願を行った。

また、上記とは別にパナソニック電気株式会社では、点灯回路、給電構造、アプリケーションに対して、多くの出願を実施している。

添付資料

エネルギーイノベーションプログラム基本計画（抜粋）

平成20・03・25産局第5号

平成20年4月1日

1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。以下に5つの政策の柱毎に目的を示す。

1-I. 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

1-II. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

1-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

1-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時にCO₂を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

1-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

2. 政策的位置付け

○ エネルギー基本計画（２００７年３月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術

2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

○ 新・国家エネルギー戦略（２００６年５月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

○ 第３期科学技術基本計画（２００６年３月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進４分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（２００６年３月総合科学技術会議）における「推進４分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

○ 経済成長戦略大綱（２００６年７月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画
5. 資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

○ 京都議定書目標達成計画（２００５年４月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

3. 達成目標

3-I. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、エネルギー消費効率を２０３０年度までに少なくとも３０％改善することを目指す。

3-II. 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入に

より、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを旨とする。

3-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

3-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30～40%程度以上とすることを旨とするため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

3-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先進的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

4. 研究開発内容

4-I. 総合エネルギー効率の向上

4-I-i. 共通

(1) エネルギー使用合理化技術戦略的開発（運営費交付金）

①概要

省エネルギー技術開発の実効性を高めるために、シーズ技術の発掘から実用化に至るまで、民間団体等から幅広く公募を行い、需要側の課題を克服し得る省エネルギー技術開発を戦略的に行う。

②技術目標及び達成時期

中長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を構築し、技術開発の相互連携によりシナジー効果が発揮され技術開発が促進されるよう、超燃焼システム技術、時空を超えたエネルギー利用技術、省エネ型情報生活空間創生技術、先進交通社会確立技術、次世代省エネデバイス技術の技術群に重点化して、省エネルギー技術戦略に沿った技術開発を戦略的に推進する。

③研究開発時期

2003年度～2010年度

(2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業（運営費交付金）

①概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

②技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

③研究開発期間

2000年度～

(3) 研究開発型中小企業挑戦支援事業（スタートアップ支援事業）

①概要

省エネルギー対策に資する中小企業の優れた技術シーズ、ビジネスアイデアの事業化による創業・新事業展開を促進するため、実用化研究開発に要する経費（原材料費、直接人件費、機械装置費、知的財産取得費等）の一部を補助するとともに、補助事業を行う中小・ベンチャー企業等に対して中小企業基盤整備機構によるビジネスプランの具体化・実用化に向けたコンサルティング等を一体的に実施發揮できることを確認する。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

4-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

4-V-i. 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

(1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型／特別研究（運営費交付金）

①概要

石油及び可燃性天然ガス資源の開発に係る技術の振興を図る観点から、大水深、複雑な地層といった悪条件が進む石油・天然ガスの探鉱・開発技術、利用拡大が見込まれる天然ガス田の開発促進に資する天然ガス有効利用技術等について、短期間で実用化が期待され、民間ニーズに直結した研究開発を提案公募により実施する。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、我が国の石油・天然ガスの探鉱・開発技術力の向上、及び天然ガスの利用の促進に向けた天然ガスの有効利用技術の開発を行う。

③研究開発期間

2001年度～2012年度

(2) 石炭生産技術開発（クリーン・コール・テクノロジーの研究開発の一部）

①概要

石油代替エネルギーである石炭の安定供給を図るため、低品位炭の有効利用、石炭生産性の向上のための研究開発等を行う。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、インドネシアにおいて低品位炭の有効利用を図ることを目標に、低品位炭の発熱量を高め、自然発火性を抑制する低品位炭改質技術を確立する。

③研究開発期間

2001年度～2009年度

(3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発（運営費交付金）

①概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro*培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた*in vitro*系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動

物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセットを完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 石油資源遠隔探知技術の研究開発

①概要

我が国が開発・運用する多様な地球観測センサ（ASTER、PALSAR等）の地球観測データを用いて、石油・天然ガス等の安定供給確保のため、資源開発・探査、環境観測等に有効なデータの処理解析手法の研究開発を行う。また、地球観測データのような大容量のデータを容易に扱えるシステムの研究開発を実施することで資源開発・探査、環境観測を含む多様な分野でのリモートセンシングの利用拡大を図る。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、資源開発・探査、環境観測等の分野における地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データの利用の拡大を図る。

③研究開発期間

1981年度～2010年度

(5) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発（運営費交付金）

①概要

資源開発に有効な岩石・鉱物や地質構造解析の高次元解析を可能とするハイパースペクトルセンサの開発を行うとともに、軌道上におけるデータ取得の実証を行い、センサ技術の確立を行う。

②技術目標及び達成時期

2011年度までにスペクトル分解能200バンド前後のハイパースペクトルセンサを開発し、地表面のスペクトル情報を取得して資源開発に有効なセンサ技術の実証を行う。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 次世代合成開口レーダ等の研究開発

①概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した合成開口レーダである次世代合成開口レーダ（PALSAR）の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

②技術目標及び達成時期

PALSARの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、レーダ技術の高度化（アンテナ指向の電子制御化、分解能の向上、多偏波観測等）を図る。

③研究開発期間

1993年度～2010年度

(7) 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発

①概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した光学センサである資源探査用将来型センサ（ASTER）の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

②技術目標及び達成時期

ASTERの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、センサ技術の高度化（ポインティング機能の追加、分解能の向上、熱センサの搭載等）を図る。

③研究開発期間

1987年度～2010年度

4-V-ii. 石油・天然ガスの有効利用技術

(1) 石油燃料次世代環境対策技術開発

①概要

バイオマス燃料から製造した石油製品が自動車排出ガスに及ぼす影響、新たな自動車燃焼技術（自着火燃焼（着火までに燃料と空気を十分に混合し、その混合気体を点火プラグの使用なしで圧縮することにより着火させる燃焼法でNO_x排出低減、熱効率が高等の利点がある））に適応した燃料に関する技術開発を実施する。

また、建設機械、発電機等のオフロードエンジンの排ガスによる環境負荷低減や石油燃焼機器の効率的な利用を進めるための技術開発を実施する。

②技術目標及び達成時期

バイオマス燃料の利用時における、燃料と自動車エンジン技術の両面の影響評価を進め、技術的課題を解決し、運輸部門における燃料多様化を目指す。また、オフロードエンジンの規制は欧米が先行していることから、2012年頃、欧米において規制強化が予定されている排ガス規制に対応した技術を確立し、我が国における規制強化に対応可能な燃焼技術を実現することを目指す。

③研究開発期間

2002年度～2011年度

(2) 石油精製高度機能融合技術開発

①概要

石油精製業を中心とする石油コンビナート全体の横断的かつ高度な運営機能の融合を図り、単独企業のみでは達成困難なコンビナート域内の省資源、省エネルギーの向上を進めるため、異業種異企業間における限りある貴重なエネルギー資源の利用効率の高い生産技術に関し技術の開発・実証を行う。

②技術目標及び達成時期

5. 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

5-I. 総合エネルギー効率の向上

- ・ 事業者単位の規制体系の導入
- ・ 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- ・ セクター別ベンチマークアプローチの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- ・ トップランナー基準の対象機器の拡充等
- ・ アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- ・ 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

5-II. 運輸部門の燃料多様化

- ・ 公共的車両への積極的導入
- ・ 燃費基準の策定・改定
- ・ アジアにおける新エネルギー協力
- ・ 国際標準化による国際競争力向上

5-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

- ・ 事業者支援補助金等による初期需要創出
- ・ 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大

- ． 新エネルギー産業構造の形成
 - ． 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討
- 5－Ⅳ． 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保
- ． 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
 - ． 資源確保戦略の展開
 - ． 次世代を支える人材育成
 - ． 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
 - ． 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
 - ． 国と地域の信頼強化
- 5－Ⅴ． 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用
- ． 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
 - ． 化石燃料のクリーンな利用の開拓
- 6． 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

●プロジェクト基本計画

プロジェクト基本計画は、NEDO のプロジェクトを効率的かつ効果的に実施するために、次に掲げるプロジェクトの基本事項を定めるものである。

- ① プロジェクトの目的・目標・内容
- ② プロジェクトの実施方式
- ③ 研究開発の実施期間
- ④ 評価に関する事項
- ⑤ その他の重要事項

基本計画は、原則として全研究期間に渡り、有効であるが、技術評価の結果や内外の研究開発動向、政策動向、研究開発予算の状況などの外部状況変化、あるいは研究体制、当該研究開発の進捗状況などの内部変化に対して適宜、その内容を適正に変更する。

本プロジェクト「有機発光機構を用いた高効率照明技術の開発」の基本計画を次頁に示す。

(エネルギーイノベーションプログラム)
「有機発光機構を用いた高効率照明技術の開発」
基本計画

電子・情報技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

民生部門のエネルギー消費は産業部門や運輸部門に比較して大きく増加している(資源エネルギー庁「エネルギー需要実績」)。とくに、家庭やオフィスなどの生活空間で消費されるエネルギーのうち、照明用途のエネルギー消費はそれぞれ約 15%、約 25%という高い割合を占める。したがって、現行の生活用の照明として広く使用される蛍光灯照明などを置き換える高効率照明光源技術の開発がエネルギー消費削減のための重要かつ緊急の課題の一つとして挙げられる。近年、LED 照明が白熱灯の代替光源として採用されるようになってきた。しかしながら LED 照明は白熱灯と同様に、点光源であるとともに指向性光源であることから、イルミネーションや演出照明、自動車用のランプ、信号機などに用いられるが、家庭やオフィス、店舗などにおける生活用の照明には依然、蛍光灯照明が多く使用されているのが現状である。

生活用の蛍光灯照明では、高演色性の照明の割合が増加している。例えば、家庭用途に広く消費される環形蛍光灯のうち 90%以上を高演色性の照明が占める。また、オフィスや店舗で多用される直管形蛍光灯でも約半数が高演色性の照明である。以上の状況から蛍光灯照明等の代替を促進する上で、高演色性の実現は重要である。さらに、生活用の照明として一般家庭に受け入れられるためには、高品質発光(均一発光・長寿命など)、発光体の形状(面状光源・拡散光源としての使用が可能であることなど)、さらに低コスト(現状の照明器具に代替できる程度の低価格化)などの要求を満たしていくことが望まれる。

本プロジェクトでは、エネルギーイノベーションプログラムの一環として、生活照明を代替できる高性能照明となる有機 EL 照明を早急に実用化するため、平成 21 年度までに、高効率であるとともに低コスト化を踏まえた有機 EL 照明光源の高演色化技術を確立する研究開発を行う。これにより、照明器具効率を約 10%改善する基盤技術を開発する。本開発により、生活用照明の高効率な代替照明の早期実用化を図り、民生部門の省エネルギー化促進に寄与することを目的とする。

(2) 研究開発の目標

市販の蛍光灯光源の演色性を上回る高演色性を有する高効率有機 EL 照明光源を実現するための高演色性光源技術および低コスト化が促進される製造プロセス技術を開発する。

なお、具体的目標は、別紙を参照のこと。

(3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を委託により実施する。

- ① 生活用照明を代替する高性能照明光源の開発
- ② 高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO 技術開発機構」という。）が、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定し、委託して実施する。

また、必要に応じてプロジェクトリーダーを選定し、プロジェクトリーダーと密接な関係を維持し、効果的な研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO 技術開発機構は、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 19 年度から平成 21 年度までの 3 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO 技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部の有識者による研究開発の事後評価を平成 22 年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直しするものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO 技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

② 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、すべて受託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO 技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 項第 1 号ハに基づき実施する。

(4) その他

特になし。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成 19 年 6 月、制定。
- (2) 平成 20 年 7 月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。
- (3) 平成 20 年 7 月、加速事業の追加により（別紙）研究開発計画を改訂。
- (4) 平成 21 年 3 月、加速事業の追加により（別紙）研究開発計画を改訂。

(別紙) 研究開発計画

研究項目 ①「生活用照明を代替する高性能照明光源の開発」

1. 研究開発の必要性

生活照明用途におけるエネルギー消費量の大幅な削減を考えると、現行の白熱灯、蛍光灯を代替可能な特性を有する新規光源の実用化が大きな鍵になる。RoHS 規制などによる環境問題の観点からも、今後は水銀を含む蛍光灯の代替が世界的により強く求められるようになると考えられる。生活用照明としては、対象物の色調を正しく再現できる光を発する光源、すなわち高演色性光源であることが重要である。特に、現状の高演色性蛍光灯に匹敵する高いレベルの演色性を実現することによって、自然な色に囲まれた快適な生活空間が得られる。

有機発光機構を用いた面状光源である有機 EL は現段階では照明用途実用化には至っていないが、発光スペクトルを可視域全般に拡張できるので、高効率かつ演色性に優れた発光を実現でき、さらに、有害物質を含有しないことなどの優れた特徴を有する。したがって、有機 EL は高演色性、高効率、長寿命の各種特性を兼ね備えた面状光源として蛍光灯を代替し、生活照明の省エネルギー化に貢献することが期待できる。

本研究項目では、生活用照明を代替する高性能照明となる有機 EL 照明光源を実用化するため、高効率・長寿命な有機 EL 照明光源の高演色性化技術を確立する研究開発を行う。また、輝度または寿命が他原色に比べ劣る青色材料について抜本的な改善が高演色性の実現に不可欠であり、これらを実現する新たな青色発光材料等の材料開発とユニット素子構造の開発を行う。さらに、更なる長寿命化を実現すべく、有機 EL の寿命支配要因を解明する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 高演色性マルチユニット素子構造の技術開発

スペクトル全般に渡る広範な発光による高演色性を実現するため、高輝度、長寿命な新たな青色発光材料の開発と、高発光効率と長寿命化に寄与する発光ユニットの均一発光を成し得るキャリア輸送材料を開発する。また、製造工程の簡略化による低コスト化に寄与すべく、これら材料を用いた高効率で、長寿命な省積層型マルチユニット素子構造を開発する。

具体的な方策として、高演色性を実現可能なデバイス構造を光学シミュレーション等による各発光ユニットを構成する発光材料の最適化、発光ユニットおよび発光ユニットを接続する中間層や電極等に関する光学設計による高演色性化を図ること、革新的な光取り出し構造を付与すること、さらには、各発光ユニットの特性を相加的に利用可能な中間層の材料や構造に関する技術開発を並行して行うこと等が挙げられる。これらの検討によって、その発光特性を向上させた高演色性マルチユニット素子を具現化する。

(2) 有機 EL の寿命支配要因の解明

有機 EL の劣化機構を種々の分析法を駆使し、詳細な解析を行うことで、高演色性に貢献する寿命支配要因を解明する。特に、界面における寿命支配要因解明を重要視する。

3. 達成目標

(1) 高演色性マルチユニット素子構造の技術開発

基板サイズ 10cm 角以上で、現状の高演色性蛍光灯の平均演色評価数 (Ra=80~89) を上回る、Ra=90 以上の高演色の白色発光を有し、輝度 1000 cd/m²、かつ、効率 35 lm/W 以上の初期特性を有し、輝度半減寿命 4 万時間以上の有機 EL 照明光源を実現する。

(2) 有機 EL の寿命支配要因の解明

寿命支配要因の解明においては、界面部分の膜質の変化、キャリア輸送性の変化、電極からの注入性変化などの分析および解析を行い、有機 EL の寿命支配要因を解明する。

研究項目②「高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発」

1. 研究開発の必要性

生活用照明のエネルギー消費を削減し、家庭やオフィスなどの生活空間の省エネルギー化を推進するには、有機 EL 照明光源の早期実用化とともにその普及が重要であり、高演色性などの高付加価値機能は普及推進の原動力の 1 つである。さらに、より広く普及を図るためには既存の蛍光灯照明器具を代替し得る製品低価格化が望まれるため、製造時コストの大幅低減、原料使用効率の向上、保管寿命の向上等が有効な方策である。

製造時コストの低減を実現するためには、脱真空プロセスの適用が重要で、大気圧下での有機薄膜層形成技術を開発することによって、製造装置の小型軽量化や消費電力の削減が可能となる。このとき、光学干渉の影響を抑制し、光取り出し効率を向上させた素子構造を作製するには、均一性の高い極薄膜構造を作製する必要があり、大気圧下での極薄膜層形成技術の確立が急務である。一方、EL 素子の複層構造を作製するには、蒸着工程も当面併用する必要があることから、高価な有機材料を高効率に使用し、薄膜層変質防止機能が付随する省資源型高速蒸着プロセス技術開発が必要である。また、有機 EL 照明パネルに必要とされる高輝度点灯下での安定した放熱特性、ならびに、長期間（5年以上）の保管寿命を両立する封止プロセス技術を開発・実証する。

これら技術の確立により、生活用照明に適した有機 EL 照明光源を低コストに製造することが可能となるとともに、材料合成に要する環境負荷の低減や製造プロセスエネルギーの低減に貢献する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 大気圧下での薄膜層形成技術の開発

有機 EL 素子の膜厚は発光の波長に近いので、有機 EL 素子は層構造からの光学干渉の影響を強く受ける。この影響を極薄膜構造の採用によって抑制すれば、光取り出し効率を上げた有機 EL 照明光源が実現できる。極薄膜を大気圧下で高速に均一塗布し、乾燥を連続して行う、世界最高速レベルの大気圧下均一薄膜厚形成技術を開発する。

(2) 省資源型の高速蒸着プロセス技術の開発

高価な有機 EL 材料の蒸着時損失を抑制する高効率な蒸着機構、および、蒸着源等からの輻射熱に起因する有機薄膜層変質を防止する冷却機構等を有する省資源型高速蒸着プロセス技術を開発する。

(3) 封止プロセス技術の開発

吸湿防止などのガスバリア特性に優れた封止プロセス技術を開発する。このとき、照明パネルとして十分な光束を得るために、大電力投入時にも熱暴走することなく安定点灯させる十分な伝熱・放熱特性も兼ね備える固体封止プロセス技術を開発する。具体的な方策として、バリアフィルムや薄ガラス、金属シートなどの可撓性のある封止材の連続接着工程等が挙げられる。

3. 達成目標

平均演色評価数 Ra=90 以上の高演色性有機 EL デバイスに適用可能な各技術開発を行う。

(1) 大気圧下での薄膜層形成技術の開発

膜厚 30nm±3% 以下の有機層を 200mm/s 以上の速度で均一に成膜可能で、成膜面周囲の不均一領域幅を 5 mm 以下とする、塗布技術等を用いた大気圧下均一薄膜形成技術を開発する。

(2) 省資源型の高速蒸着プロセス技術の開発

材料使用効率 70%以上、発光層成膜速度 8 nm/s 以上、基板温度 100℃以下で保持できる高速搬送が可能な省資源型の高速蒸着プロセス技術を開発する。

(3) 封止プロセス技術の開発

初期輝度 1000cd/m² 以上で輝度半減寿命 4 万時間以上の安定点灯が可能な放熱特性を有し、かつ、保管寿命 5 万時間以上の封止性能を有する封止プロセス技術を開発する。保管寿命とは無負荷状態での輝度半減時間、加速劣化試験によって無負荷時間を換算する。10cm 角以上の発光面積で実証する。

技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）

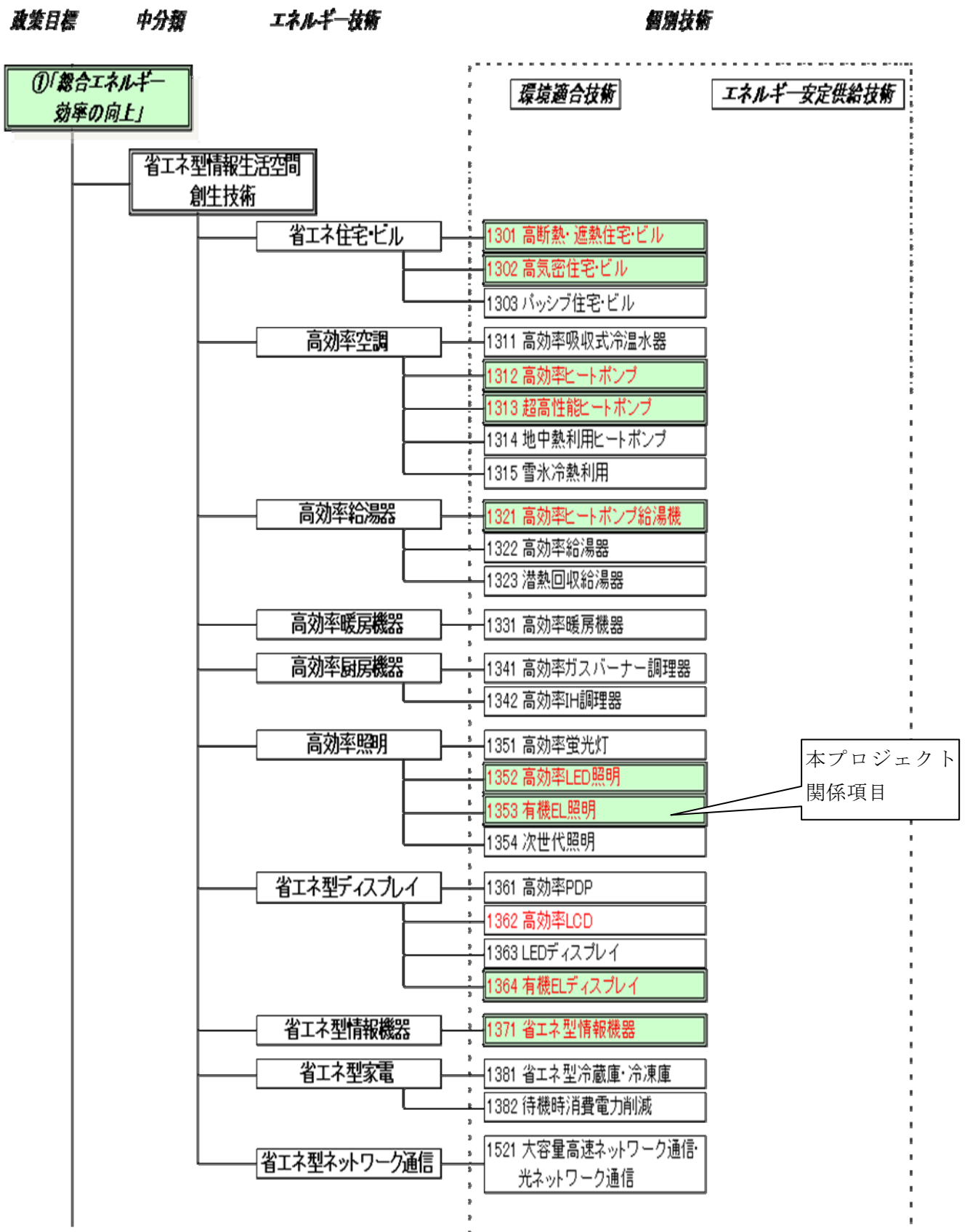
技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術項目や製品・サービス・コンテンツの需要を創造するための方策を示したものであり、経済産業省および NEDO が、産学官の専門家の英知を結集してとりまとめたものである。

照明技術については、従来は白熱電球、蛍光灯などが主流であったが、有機 EL 技術などの新技術が創造され、新世代へ向かって 2020 年には蛍光灯並み、2030 年には蛍光灯の 2 倍以上の発光効率の実現が予想されている。有機 EL は、その柔軟性、超軽量・超薄膜性等の特質を生かした国際的な新利用形態、新市場創出も期待されている。

照明に関するロードマップを以下に示す。

(2) エネルギー技術マップ

※それぞれの政策目標への寄与が大きいと思われる個別技術を **赤字** で示す。



(3) エネルギー分野におけるロードマップ(抜粋)

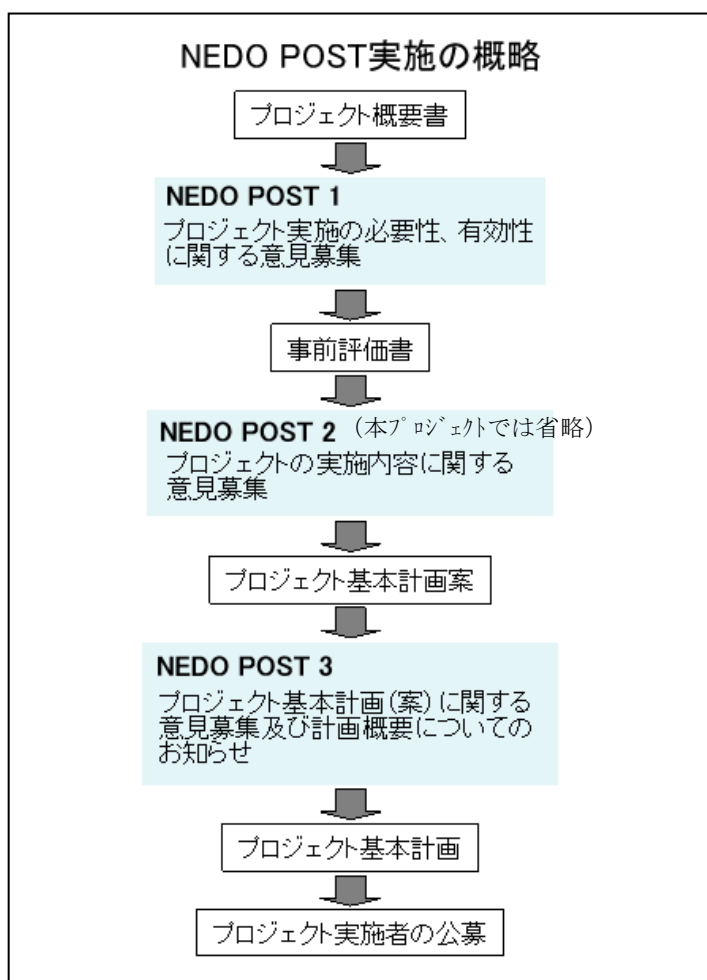
エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
高効率照明	発光効率、寿命				
	50～100 m/W				
	1万時間				
高効率蛍光灯					
	高効率蛍光材料		高効率無水銀蛍光灯		
	熱損失低減技術				
高効率照明	発光効率、寿命				
	65lm/W	100 lm/W			200 lm/W
	4万時間				6万時間
高効率LED照明					
	高効率LED素子				
	白色LED用蛍光材料(高効率近紫外励起蛍光材料)				
	光センサー/人感センサーとの組み合わせ				
	低コスト化				
高効率照明	発光効率				
		100 lm/W			200 lm/W
		寿命			6万時間
有機EL照明					
	高輝度白色EL				
	高効率化				
	長寿命化				
	大面積化				
高効率照明	次世代照明				
	高効率高演色白色光源				
	マイクロキャビティ				
	クラスター発光				
	蓄光技術、燐光材料				
	光伝送技術				

事前評価関連資料

事前評価資料として、NEDOPOST および事前評価書を示す。

NEDOPOST とは、NEDO が新規に研究開発プロジェクトを開始するのに当たって、プロジェクト案の概要を示し、ウェブを活用して広くパブリック・コメントを集める手段であり、その結果をプロジェクト検討に役立てることによって、より社会のニーズに適合したプロジェクトを効率的に実施するためのコミュニケーションツールである。図のようにフェイズ毎に意見収集を行い、プロジェクト基本計画策定などに利用している。これによって事業目的、目標設定根拠の明確化、実施内容の重複排除等を行い、事業の効率的かつ効果的な実施を行っている。

事前評価書は NEDOPOST 等を通して取得した情報を元にして作成した本プロジェクト立ち上げに関する評価報告書である。本プロジェクト立ち上げに当たって公開された NEDOPOST および事前評価書を次頁に示す。



研究テーマ名 有機発光機構を用いた高効率照明技術の開発

研究目的

背景、目的、必要性 (政策的位置付け、市場ニーズ、技術ニーズ)

- ①背景：照明分野の省エネルギーを実現する上で、白熱電灯等からLED等の高効率光源への置換が進みつつある。しかしながらLEDには、①点光源である、②輝度・色温度が低い等の欠点があり、リビング、オフィスや店舗等における生活用照明用途には未だ蛍光灯光源が主流である。面発光、高演色性を実現しつつ、蛍光灯光源の限界を超える高効率光源の開発が不可欠である。
- ②市場ニーズ：面状薄型で形状自在、環境低負荷材料(水銀不使用)等の特徴を有する、低消費電力による高効率な照明方法の実現が期待されている。
- ③技術ニーズ：高演色性と高輝度性の両立、均一な面状発光特性、低コストで量産可能な製造プロセス技術の開発が求められている。

研究内容概略

研究開発課題 (目的達成のための技術課題)

- ①照明用有機EL素子の高性能化の研究開発
(高効率、高演色、高輝度、長寿命性に優れる有機EL素子の開発)
- ②量産プロセスの研究開発
(大面積、高スループット、低コストで量産する製造プロセス技術の開発)

キーテクノロジー、ブレークスルーのポイント、オリジナリティ (課題を解決するためのポイントおよびその現状)

- ①リン光系新材料の発現によって有機EL素子の発光効率の急速な向上に成功した。
- ②実用有機EL素子製造のためには、界面制御技術による長寿命化ならびに量産プロセス技術の確立がポイント。

プロジェクトの位置付け

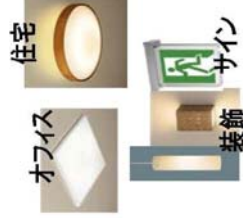
- ①「エネルギー技術戦略の基本的考え方について(2006年5月資源エネルギー庁)」において、2030年頃までを見据えた技術面の課題として「住宅・建築物の断熱、空調・給湯・照明等の高効率機器の開発」が明記され、高効率照明として有機EL照明が挙げられている。
- ②「新・国家エネルギー戦略(2006年5月経産省)」において、有機EL照明は【次世代省エネデバイス技術】のなかで重要技術として位置付けられている。

プロジェクトの規模

事業費と研究開発期間(目安として)

- ①事業費総額 1.2億円(未定) ②研究期間 3年

その他関連図表



量産プロセス技術の開発

高効率、高輝度、高演色、長寿命性に優れる有機EL素子の開発

2006年8月 現在

研究テーマ名 有機発光機構を用いた高効率照明技術の開発

研究目的

背景・目的、必要性(政策的位置付け、市場ニーズ、技術ニーズ)

①背景：民生部門のエネルギー消費は産業や運輸部門に比較して大きく増加し、家庭における照明用途の電力消費はエアコン等の冷暖房用途に次ぎ16%と高い。白熱灯などから高効率なLED光源への置換も進みつつあるが、点光源であることから生活照明用途は未だ蛍光灯が主流である。代替光源として有機発光機構を用いた面状光源が期待され、諸外国では大型プロジェクトが進展している。我が国においても研究開発の加速推進が急務である。

②市場ニーズ：家庭用途で用いられる環形蛍光灯のうち90%以上が高演色型で、オフィスや店舗で多用される直管形蛍光灯でも約半数が高演色型である。生活照明の省エネルギー化を推進するため、演色性に優れた有機EL光源の実現が強く望まれる。

③技術ニーズ：高演色性、高品質(均一な面状発光特性など)、高効率性の両立を実現する有機EL光源の開発、ならびに、低コストで製造速度を高速度化した製造プロセス技術の開発が求められている。

プロジェクトの規模

○事業費と研究開発期間(目安として)

- ①事業費総額 10.5億円(未定) ②研究期間3年

技術戦略マップ上の位置付け

- ①「省エネルギー技術戦略(2006年9月資源エネルギー庁)」において、有機EL光源は次世代高効率照明として位置付けられている。
- ②「新・国家エネルギー戦略(2006年5月経産省)」において、有機EL照明は【次世代省エネ子デバイス技術】のなかで重要技術として位置付けられている。

研究内容概要

○研究開発課題(目的達成のための技術課題)

- ①生活照明代替高性能照明光源の開発
 - ・高演色性マルチユニカラー構造の技術開発
 - ・有機ELの寿命支配要因の解明
- ②高演色性光源デバイスの高演色性素子構造の開発
 - ・大気圧下薄膜蒸着プロセス技術の開発
 - ・省資源型高速蒸着プロセス技術の開発
 - ・封止プロセス技術の開発

○キーテクノロジー、ブレークスルーのポイント

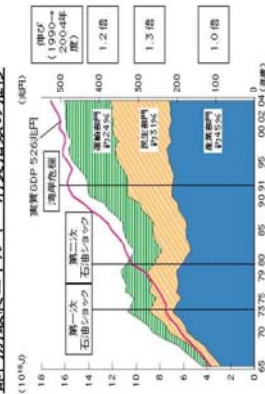
- ①新たな青色発光材料と均一発光を成し得るキャリア輸送材料等を開発するとともに、これらを用いた高演色度・長寿命な高演色性素子構造を開発する。
- ②製造時コストの低減に寄与する、脱真空プロセスの確立が不可欠。

○目標値とその条件および設定理由

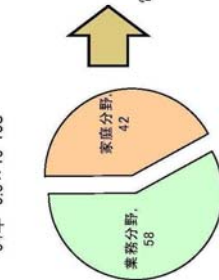
- ①目標値：平均演色評価数Ra=90以上の省積層構造型高効率光源の開発、膜厚30nm以下の高速塗布技術の開発、材料使用効率70%以上の蒸着プロセス技術の開発、保管寿命5万時間以上の封止技術の開発を行う。また、劣化機構を分析し、界面などの有機EL光源の寿命支配要因を解明する。
- ②設定根拠：現状の高演色型蛍光灯の演色性(Ra=80-89)に匹敵する性能を設定。製造時のコスト低減に寄与する脱真空プロセスの導入を図るとともに、薄膜塗布により光学干渉を低減し高い光取出し効率を実現する。蒸着プロセスでの高価な有機EL材料の使用効率を上げ低コスト化を図る。また、実用性の高い保管寿命を設定。

その他関連図表

部門別最終エネルギー消費指数の推移



民生部門のエネルギー消費の内訳
04年 5.0×10¹⁸J



家庭分野のエネルギー消費の内訳

事前評価書

	作成日	平成 19 年 4 月 26 日
1. 事業名称	有機発光機構を用いた高効率照明技術の開発	
2. 推進部署	電子・情報技術開発部	
3. 事業概要	<p>(1) 概要</p> <p>エネルギー消費全体に占める照明の割合は高い。非常に近い将来に市場での普及が可能な高効率光源の開発による、照明の省エネルギー化の推進が望まれている。</p> <p>本プロジェクトでは、このような要求に応えるべく、生活照明を対象とした高演色性にすぐれる高性能有機 EL 光源の開発、ならびに、低コストで製造速度を高速化した製造プロセス技術を開発し、蛍光灯照明を代替可能とする有機発光機構を用いた高効率面状発光光源を得ることを目的とする。</p> <p>(2) 事業規模</p> <p>平成 19 年度事業費 3.6 億円 (委託)</p> <p>(3) 事業期間</p> <p>平成 19 年度～21 年度 (3 年間)</p>	
4. 評価の検討状況	<p>(1) 事業の位置づけ・必要性</p> <p>民生部門のエネルギー消費は全エネルギー消費の 30%強を占め、近年のエネルギー消費の伸びは、産業部門や運輸部門より大きい。民生部門のうち 40%強は家庭で消費され、照明用途のエネルギー消費はエアコンなどの冷暖房用途に次ぎ 16%と高い。白熱灯などから高効率な LED 光源への置換も進みつつあるが、点光源であることから生活照明用途は未だ蛍光灯が主流である。現行の生活照明として広く使用される蛍光灯照明などを置き換える高効率照明光源技術の開発がエネルギー消費削減のための重要かつ緊急の課題の一つとして挙げられる。</p> <p>有機発光機構を用いた面状光源である有機 EL は、蛍光灯を代替する新たな光源として期待されており、「省エネルギー技術戦略(2006 年 9 月資源エネ庁)」において、次世代高効率照明として位置付けられている。また、「新・国家エネルギー戦略(2006 年 5 月経産省)」において、有機 EL 照明は【次世代省エネデバイス技術】のなかで重要技術として位置付けられている。世界的にも有機 EL 照明は注目されており、2004 年 10 月から 45 ヶ月間の予定で欧州 8 カ国 24 機関から成る大規模な OLLA(*1) プロジェクトが推進されているところである。</p> <p>研究開発が激化している有機 EL 照明分野において、市場展開を優位に進めるためには、現行の蛍光灯 (演色性、効率、寿命など) と同等またはそれ以上の性能の光源を安価に実現することが重要である。このために本事業において、高演色性ならびに高品質を実現する有機 EL 光源の開発、脱真空プロセスを含む高速製造プロセス技術の開発、高価な有機 EL 材料の損失を抑制する高速蒸着プロセス技術の開発、および安定点灯させる十分な伝熱・放熱特性を備えた封止プロセス技術の開発を行うことは必要不可欠である。これにより、市場への早期浸透が促進され、現行の蛍光灯照明から有機 EL 照明への代替が実現可能となる。</p> <p style="text-align: center;">*1 : <u>O</u>rganic <u>L</u>ight-emitting-diodes for <u>L</u>ighting <u>A</u>pplication.</p>	

(2) 研究開発目標の妥当性

生活照明用途の蛍光灯では、高演色型の割合が増加している。家庭用途に広く消費される環形蛍光灯のうち 90%以上を高演色型が占める。また、オフィスや店舗で多用される直管形蛍光灯でも約半数が高演色型である。価格でも 40W 直管タイプの通常型蛍光灯が百数十円であるのに対し、40W 円形タイプの高演色型蛍光灯は千数百円と高価であり、新製品を市場展開する上でも高演色性の実現は非常に重要である。

演色性の尺度である平均演色評価数では、高演色性の領域は $Ra=80\sim 89$ と定義され、これと同等の $Ra=90$ を今回目標設定した。省積層型光源の開発、光源寿命の支配要因解明の検討を、機動的に研究開発を実施することで、高演色性光源の技術基盤を構築する。

また、高速製造プロセス技術では、高い光取り出し効率を得るため有機層の膜厚30nm以下の薄膜塗布プロセスとして、世界最高レベルの200mm/secの高速大気圧下均一膜厚成膜技術を開発する。高速蒸着プロセス技術では、世界最高レベルの材料使用効率70%を目指す。封止プロセス技術では、蛍光灯と同等の寿命1万時間を目標設定値とした。一方、達成目標の設定値については、研究開発を実施するにあたっての必須の目標値のみを基本計画に設定することで、委託先公募において広く提案を収集し、より優れた提案を採択する。したがって、提案者が技術の優位性を示したい場合には、達成目標等を適時追加または改訂することによって対応する必要がある。

なお、これら目標設定については、今後も委員会ならびに有識者ヒアリングなどで聴取した意見を適切に反映させる。

(3) 研究開発マネジメント

公募を行い、早期の実用化に向けた最適な実施体制を構築する。また、必要に応じてプロジェクトリーダーを選定し、プロジェクトリーダーと密接な関係を維持する。本研究開発の目的及び目標を踏まえ、予算配分や事業計画の策定・見直しを行う。さらに、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させ、適切な運営管理に努める。

(4) 研究開発成果

省積層型光源の開発により高演色性に優れた高性能有機 EL 光源が実現し、大気圧下工程による脱真空プロセスや高速蒸着プロセス技術、封止プロセス技術の確立により省エネルギー効果に優れた高スループット製造が可能となる。このように、本事業により低コストで有機 EL 照明光源を生産するための基盤技術が確立する。

また、大気圧下均一膜厚形成技術や基板冷却技術は、フレキシブル基板への応用にも寄与することが期待されるなど波及効果が大きいと見込まれる。

以上の成果から、現行の蛍光灯照明から有機 EL 照明への代替が実現可能となることから、生活照明の省エネ化が期待でき、また我が国が優位にある有機 EL 分野での革新的基盤産業技術がより堅固になることで、国際的な産業競争力の強化も期待できる。

(5) 実用化・事業化の見通し

国内蛍光ランプの市場規模は 7 億 1230 万個、2630 億円、この他に蛍光灯ランプを取り付ける照明器具として 4260 万個、3650 億円の関連市場がある (2004 年時点) (*2)。

本事業成果を元に、2010 年度から 3 ヶ年間を目処に照明器具の実用化技術開発および製品 (器具) 開発を実施し、2012 年度末より市場投入を見込む。

*2 : 2005 年版照明市場の展開と事業戦略 (株)矢野経済研究所

(6) その他特記事項

特になし。

5. 総合評価

実用化に向け国際的な研究開発競争が激化している有機 EL 照明分野において、蛍光灯照明からの置換えを進める上で、低コスト化のみならず高演色性の実現が重要である。さらに、これにより、製品競争力の強化を成し遂げることができ、我が国産業競争力強化の観点からも大きな意義がある。

特許論文リスト

【特許】

2007 年度

なし

2008 年度

番号	出願人	受付番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	パナソニック電 工(株)	特願 2008-015733	国内	2008/01/28	公開	真空蒸着装置	佐々木、他
2	パナソニック電 工(株)	特願 2008-025421	国内	2008/02/05	公開	蒸着装置	宮井
3	パナソニック電 工(株)	特願 2008-070032	国内	2008/03/18	公開	有機エレクトロルミネッセンス素子および照明装置	佐々木、他
4	パナソニック電 工(株)	特願 2008-163842	国内	2008/06/23	公開	有機エレクトロルミネッセンス素子の製造方法	井出、他
5	パナソニック電 工(株)	特願 2008-192750	国内	2008/07/25	公開	有機エレクトロルミネッセンス素子及び有機エレクトロルミネッセンス素子の製造方法	井出、他
6	パナソニック電 工(株)	特願 2008-192755	国内	2008/07/25	公開	有機エレクトロルミネッセンス素子及び有機エレクトロルミネッセンス素子の発光色調整方法	小原、他
7	パナソニック電 工(株)	特願 2008-196996	国内	2008/07/30	公開	有機エレクトロルミネッセンス素子	井出、他
8	パナソニック電 工(株)	特願 2008-196997	国内	2008/07/30		有機エレクトロルミネッセンス素子およびその製造方法	井出、他
9	パナソニック電 工(株)	特願 2008-204667	国内	2008/08/07	公開	有機エレクトロルミネッセンス素子	辻、他
10	パナソニック電 工(株)	特願 2008-262177	国内	2008/10/08	公開	有機エレクトロルミネッセンス素子	井出、他
11	パナソニック電 工(株)	特願 2008-277408	国内	2008/10/28	公開	有機エレクトロルミネッセンス素子の製造方法	伊藤、他
12	タツモ(株)	特願 2009-067839	国内	2009/03/09	出願	基板用塗布装置	五十川
13	パナソニック電 工(株)	特願 2009-077427	国内	2009/03/26	出願	薄型封止有機 EL 素子	寶角、他

2009 年度

番号	出願人	受付番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
14	パナソニック 電工(株)	特願 2009-121256	国内	2009/05/19	出願	有機 EL 素子	小原、他
15	タツモ(株)	特願 2009-146778	国内	2009/06/19	出願	基板用塗布装置	五十川
16	タツモ(株)	特願 2009-146781	国内	2009/03/19	出願	基板用塗布装置	五十川
17	パナソニック 電工(株)	特願 2009-172426	国内	2009/07/23	出願	有機エレクトロルミネッセンス素子 およびその製造方法	井出、他
18	パナソニック 電工(株)	特願 2009-183710	国内	2009/08/06	出願	有機エレクトロルミネッセンス素子	辻、他
19	パナソニック 電工(株)	特願 2009-221589	国内	2009/09/25	出願	有機電界発光素子	佐々木、他
20	パナソニック 電工(株)	特願 2009-285483	国内	2009/12/16	出願	有機エレクトロルミネッセンス素子	松久、他
21	タツモ(株)	特願 2009-298220	国内	2009/12/28	出願	基板用塗布装置	田辺
22	パナソニック 電工(株)	特願 2010-073617	国内	2010/03/26	出願	有機エレクトロルミネッセンス素子	伊藤、他
23	パナソニック 電工(株)	特願 2010-083860	国内	2010/03/31	出願	有機エレクトロルミネッセンス素子	松久、他

2010 年度

番号	出願人	受付番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
24	パナソニック 電工(株) タツモ(株)	特願 2010-104036	国内	2010/04/28	出願	有機膜の焼成装置及び該装置によって焼成された有機膜を有する有機素子	葛岡、山本他

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

2007 年度

なし

2008 年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	N. Ide, H. Tsuji, N. Ito, H. Sasaki, T. Nishimori, Y. Kuzuoka, K. Fujihara, T. Miyai, T. Komoda	パナソニック電 工株式会社	High-Performance OLEDs and Their Application to Lighting	SPIE 7051-41	有	2008
2	H. Tsuji, N. Ito, N. Ide, T. Komoda	パナソニック 電工株式会社	Multi-unit white OLED with high CRI and high efficiency for lighting application	IDW08 (OLED3-2)	有	2008

2009 年度以降

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
3	T. Komoda, H. Tsuji, T. Nishimori, N. Ide, T. Iwakuma, M. Yamamoto	パナソニック 電工株式会 社、出光興産 株式会社、タ ツモ株式会社	High-Performance and High-CRI OLEDs for Lighting and Their Fabrication Processes	IDW'09 (OLED5 -1)	有	2009
4	H. Tsuji, N. Ito, Y. Matsuhisa, S. Houzumi, N. Ide	パナソニック 電工株式会社	High-Performance White OLEDs for Lighting Application	IDW'09 (OLED5 -1)	有	2009
5	T. Kawaguchi, Y. Ikagawa, M. Yamamoto	タツモ株式会 社	Visualization technique and evaluation of meniscus shape in slit coat method for uniform coating of nano-meter film under atmospheric environment	IDW'09 (OLED5 -1)	有	2009
6	N. Oka, H. Watanabe, Y. Sato, H. Yamaguchi, N. Ito, H. Tsuji, Y. Shigesato	青山学院大学 パナソニック 電工株式会社	Study on MoO _{3-x} films deposited by reactive sputtering for organic light-emitting diodes	The Journal of Vacuum Science and Technology A 28, 886 (2010)	有	2010

7	N. Ide, H. Tsuji, N. Ito, Y. Matsuhisa, S. Houzumi, T. Nishimori	パナソニック 電工株式会社	White OLED devices and processes for lighting applications	SPIE Photonics Europe 7722-01	有	2010
8	T. Komoda, H. Tsuji, N. Ito, T. Nishimori, N. Ide	パナソニック 電工株式会社	High-Quality White OLEDs and Resource Saving Fabrication Processes for Lighting Application	SID 66.4	有	2010
9	T. Komoda, T. Iwakuma, M. Yamamoto, N. Oka, Y. Shigesato	パナソニック 電工株式会 社・出光興産 株式会社・タ ツモ株式会 社・青山学院 大学	High-Performance and High-CRI OLEDs for Lighting and Their Fabrication Processes	CIMTEC FI-3:IL02	有	2010
10	N. Ito, N. Oka, Y. Sato, Y. Shigesato	パナソニック 電工株式会 社・青山学院 大学	Effects of Energetic Ion Bombardment on Structural and Electrical Properties of Al-Doped ZnO Films Deposited by RF-Superimposed DC Magnetron Sputtering	Japanese Journal of Applied Physics 49 (2010) 071103	有	2010
11	N. Oka, K. Kato, T. Yagi, N. Taketoshi, T. Baba, N. Ito, Y. Shigesato	青山学院大学	Thermal diffusivities of Alq ₃ and α -NPD thin films with sub-hundred nanometer thicknesses	Japanese Journal of Applied Physics (2010), in press	有	2010

【研究発表・講演（口頭発表も含む）】

2007 年度

なし

2008 年度

時期	発表先	タイトル	発表者
2008/04/11	第 72 回有機デバイス研究会	白色有機 EL 照明の最新動向と展望	パナソニック電工(株)
2008/04/16	半導体産業新聞社	照明用有機 EL パネルの現状と将来展望	パナソニック電工(株)
2008/06/25	Plastic Electronics Korea	OLEDs for Solid State Lighting	パナソニック電工(株)
2008/07/03	日本有機材料ミーティング	有機 EL が蛍光灯に代わる日	パナソニック電工(株)
2008/08/12	SPIE Optics+Photonics	High Performance OLEDs and Their Application to Lighting	パナソニック電工(株)
2008/09/19	日本化学会関東支部大会	白色有機 EL 素子の開発	パナソニック電工(株)
2008/09/26	化学工学会第 40 回秋季大会	有機 EL デバイスにおける薄膜構造形成と性能に関する研究	東京大学
2008/10/29	オルガテクノ 2008	白色有機 EL 照明技術	パナソニック電工(株)
2008/11/20	有機 EL 討論会第 7 回例会	反応性スパッタ法による MoO _x 薄膜の構造と物性評価および MoO _x / α -NPD 界面の解析	青山学院大学 パナソニック電工(株)
2008/11/20	有機 EL 討論会第 7 回例会	ナノ秒サーモリフレクタンス法による Alq ₃ 薄膜の熱物性解析	青山学院大学 パナソニック電工(株)

2008/11/28	高分子学会 第 17 回 ポリマー材料フォーラム	有機 EL の技術開発動向と照明への応用	パナソニック 電工(株)
2008/12/01	2008 MRS Fall Meeting	In-situ analyses on magnetron sputtering processes to deposit ITO and IZO films	パナソニック 電工(株) 青山学院大学
2008/12/01	2008 MRS Fall Meeting	Thermophysical and Electrical Properties of Polycrystalline ITO and Amorphous In ₂ O ₃ -ZnO Films	青山学院大学 パナソニック 電工(株)
2008/12/01	2008 MRS Fall Meeting	Characterization of MoO _{3-x} Films Deposited by Reactive Sputtering	青山学院大学 パナソニック 電工(株)
2008/12/03	IDW	Multi-unit white OLED with high CRI and high efficiency for lighting application	パナソニック 電工(株)
2008/12/03	SEMICON Japan	Current status and future trend of white OLED light source	パナソニック 電工(株)
2009/02/20	Printable Electronics	白色有機 EL 光源の最新動向	パナソニック 電工(株)
2009/03/13	有機 EL 研究会 第 6 回異業種交流会	未来を照らす有機の光	パナソニック 電工(株)
2009/03/30	第 56 回応用物理学関係連合 講演会	Alq ₃ および α-NPD 薄膜の熱物性に 関する研究	青山学院大学 パナソニック 電工(株)

2009 年度

時期	発表先	タイトル	発表者
2009/04	第 56 回応用物理学関係連合 講演会	アモルファス酸化インジウム亜鉛 (a-IZO) 薄膜のスパッタ成膜プロセス中の 高エネルギー負イオン In-Situ 解析	青山学院大学 パナソニック 電工(株)
2009/04/15	6th International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics	Molybdenum oxide films deposited by reactive sputtering for organic light emitting diode devices	青山学院大学 パナソニック 電工(株)
2009/04/16	6th International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics	Thermal transport properties of Alq ₃ and α-NPD films	青山学院大学 パナソニック 電工(株)
2009/04/27	IMIC/Asia Display '09	Current status of next generation lighting technology-OLED and BSD for lighting application	パナソニック 電工(株)
2009/06/20	有機 EL 討論会	有機 EL 照明の現状と展望	パナソニック 電工(株)
2009/09/18	化学工学会第 41 回秋季大 会	スリットコートにおけるメニスカスの 可視化技術とその検証	タツモ(株)
2009/09/29	OSC-09 (Organic Semiconductor Conference)	New Trend in OLED Lighting	パナソニック 電工(株)
2009/09/18	化学工学会 第 41 回 秋季大会	有機半導体薄膜の構造と電気特性の 塗布プロセス依存性	東京大学
2009/10/16	電子情報通信学会 集積光 デバイスと応用技術研究会	高効率白色有機 EL 技術の照明への応用	パナソニック 電工(株)
2009/10/16	有機 EL 研究会 国際シンポジウム	The way to realize OLED Lighting and its technical issue	パナソニック 電工(株)
2009/10/28	第 30 回 日本熱物性シンポジウム	サーモリフレクタンス法を用いた Alq ₃ および α-NPD 薄膜の熱物性に関する研究	青山学院大学 パナソニック 電工(株)
2009/11/06	応用物理学会 応用電子 物性分科会研究例会	有機 EL 照明技術の現状と将来展望	パナソニック 電工(株)

2009/11/13	有機 EL 討論会第 9 回例会	反応性スパッタ法による MoO _{3-x} 薄膜の作製 ならびに α-NPD 薄膜との界面における 結合状態解析	青山学院大学 パナソニック 電工(株)
2009/11/27	応用物理学会 日本光学会 第 114 回微小光学研究会	有機 EL 照明	パナソニック 電工(株)
2009/11/12	AVS 56 International Symposium	Thermophysical properties of Alq ₃ and α-NPD films measured by nanosecond thermoreflectance techniques	青山学院大学 パナソニック 電工(株)
2009/11/13	AVS 56 International Symposium	Study on MoO _{3-x} films deposited by reactive sputtering for organic light-emitting diodes	青山学院大学 パナソニック 電工(株)
2009/12/10	IDW'09	High-Performance and High-CRI OLEDs for Lighting and Their Fabrication Processes	パナソニック 電工(株) 出光興産(株) タツモ(株)
2009/12/10	IDW'09	High-Performance White OLEDs for Lighting Application	パナソニック 電工(株)
2009/12/10	IDW'09	Visualization technique and evaluation of meniscus shape in slit coat method for uniform coating of nano-meter film under atmospheric environment	タツモ(株)
2010/02/19	有機 EL 研究会 第 7 回異業種交流会	有機の光で世界を照らそう	パナソニック 電工(株)
2010/03/20	化学工学会、第 75 年会	有機薄膜の塗布乾燥過程の動的観察と 構造評価	東京大学
2010/03/26	日本化学会第 90 春季年会	有機 EL 素子作製のための スリットコート技術	タツモ(株)

2010 年度

時期	発表先	タイトル	発表者
2010/04/12	SPIE Photonics Europe	White OLED devices and processes for lighting applications	パナソニック 電工(株)
2010/05/27	SID	High-Quality White OLEDs and Resource Saving Fabrication Processes for Lighting Application	パナソニック 電工(株)
2010/06	CIMTEC	High-Performance and High-CRI OLEDs for Lighting and Their Fabrication Processes	パナソニック 電工(株)
2010/09/08	照明学会	白色有機 EL 照明の開発	パナソニック 電工(株)

【成果普及の努力 (プレス発表等)】

2007 年度

日付	媒体	概要
2007/09/06	化学工業日報	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/09/07	日本経済新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/09/09	日本経済新聞中国版	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/09/10	日刊建設工業新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/09/12	日刊自動車新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/09/12	中国新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/10/01	EExpress	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/10/02	電波新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/10/03	山陽新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/10 月号	Electric Journal	(本プロジェクトの意義・内容について)

2007/10/24	半導体産業新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/11/06	中国新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/11/13	化学工業日報	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/11/28	電気新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)
2007/12/17	電気新聞	(本プロジェクトの意義・内容について)

2008 年度

日付	媒体	概要
2009/02/10	山陽新聞	「タツモ極薄塗布技術を確立（有機 EL 実用化へめど）」（タツモ株式会社）
2009/03/03～06	ライティング・フェア 2009（東京ビッグサイト）	高演色性白色パネル（Ra 94）の技術展示（パナソニック 電工株式会社）

2009 年度

日付	媒体	概要
2009/10/28～30	Green Device	展示ブースで白色照明パネルを展示（出光興産株式会社）

2010 年度

日付	媒体	概要
2010/04/07	パナソニック 電工ニュースリリース（関連記事：日経産業新聞・日刊工業新聞・電波新聞・時事通信など）	ドイツ「light+building 2010」とイタリア「2010年ミラノサローネ」に有機 EL 照明パネルを参考出品
2010/04/11～16	light+building 2010	NEDO ブースへの白色有機 EL パネル出展（パナソニック 電工株式会社）

特許、論文、外部発表等の件数(内訳)

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読付き	その他	
2007FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	15 件
2008FY	13 件	0 件	0 件	2 件	0 件	21 件
2009FY～	11 件	0 件	0 件	9 件	0 件	28 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)