

発明から30年、 進化を続ける有機EL技術

スリ・ペルヴェンバ

Display Weekで講演者らは、有機ELのこれまでの素晴らしい成果を称えるだけでなく、この柔軟な発光技術とそれによって普及が促進されるであろう応用分野について、それぞれ今後の予測を示した。

LEDや液晶ディスプレイ(LCD: Liquid Crystal Display)などの他のディスプレイ技術と比べて、有機発光ダイオード(OLED: Organic Light Emitting Diode、有機EL)は「新しい」技術だと考える人は多い。実際には、有機ELが最初の実証されてから30年以上の年月が経過している。

1987年、当時米イーストマン・コダック社(Eastman Kodak)に勤めていたチン・タン氏(Ching Tang)とステイブン・ヴァン・スライク氏(Steven Van Slyke)は、先駆的な両氏の取り組みを世界初となる有機EL論文「Organic Electroluminescent Diodes」(有機エレクトロルミネッセンスダイオード)にまとめ上げた(<http://bit.ly/2x5GXta>)。そこには、両氏が発明した初めての実用的な有機ELが、極薄のマルチレイヤ構造を採用することによって(この構造は、今でも最先端の有機ELに採用されている)、駆動電圧を大幅に引き下げ、高い輝度を実現する様子が説明されていた。1987年のその歴史的な日以来、有機EL技術は、本質的にきわめて高いコントラストに基づいて高性能画質を実現するその能力で、脚光を浴び続けてきた。

P17の年表は、有機ELの進化における30件の主要な出来事を時系列に並べて示したものである。ご覧のとおり、学術機関や大手企業を含む多数の

主要組織が有機EL技術の進歩に貢献してきた。1996年には、TDKが初めて、アクティブマトリクス式有機EL(AMOLED: Active Matrix OLED)を実証し、AMOLEDは、同技術を大いに実行可能な形で具現化するものとなりつつある。韓国のサムスン社(Samsung)とLG社は、携帯端末やテレビ向けに有機ELを量産している。中国のビジョンオックス社(Visionox)などの企業は、パッシブマトリクス式有機ELをウェアラブル機器向けに出荷しており、数十社もの企業が、数十億ドル規模の多額の資金を有機EL技術に投入し始めている。

市場調査企業の英アイディーテックエクス社(IDTechEx)は、プラスチックおよびフレキシブルAMOLEDディスプレイの市場規模が2020年までに180億ドルに達すると予測している。将来的にAMOLEDの搭載が見込まれる応用分野としては、ディスプレイを埋め込んだ衣料、拡張現実/仮想現実(AR/VR)機器、ヘルメット、リストバンド、アクセサリ/腕時計、ゲーム機などがある。ディスプレイ以外にも、有機ELは、従来型照明に置き換わる技術として台頭しつつある。効率が高く、自然な形で光を拡散し、環境のニーズに応じて色を動的に変化させることができるためである。

AMOLEDの総出荷量のうちの約10



LG社は、曲面型有機ELテレビを市場に投入した最初のメーカーだった。このモデルは、厚さ4.3mmの55インチスクリーンを搭載する。

億ドル分が活用されることになるもう1つの市場が、自動車業界である。多くの自動車メーカーが、安全性、車内環境、インフォテインメントシステムを支えるために、さらに大きな車載ディスプレイを設計している。中には、曲面ディスプレイを採用するものもある。さまざまな機能を監視しつつも、運転の邪魔になりにくい適切な視野角を運転者に提供することのできる曲面ディスプレイに対し、AMOLEDは非常に適している。また、地図やナビゲーションを前面中央部ではなく計器類部分に表示するものもある(運転者の目の前の、通常はスピードメーターが位置する場所にディスプレイが表示さ

れる)。自動運転車を消費者が購入できるようにになれば、ディスプレイに対するニーズも変わり、搭乗者が情報を確認したり娯楽目的に使用したりできるように、現行の計器類部分から後部座席に移ることになるだろう。有機ELディスプレイは、この移行においても大きな役割を担うにちがいない。

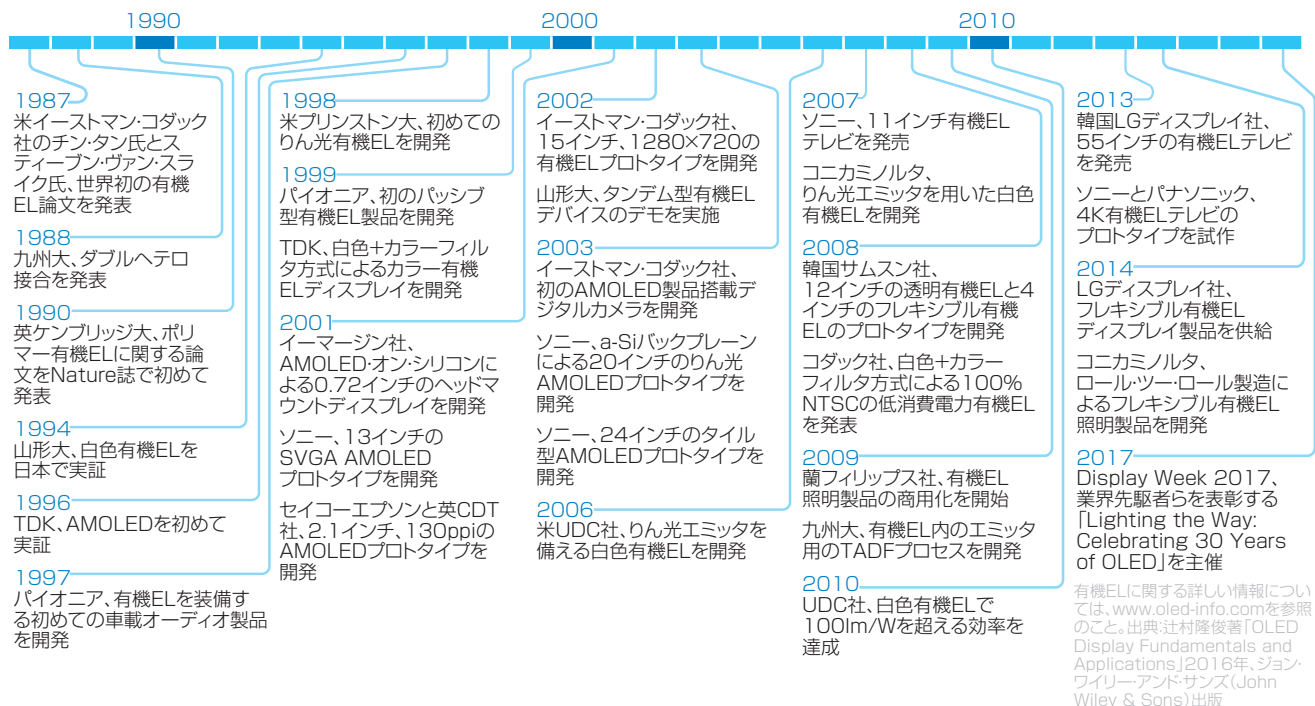
有機ELの発明者らによる最初の開発作業の後も、コダック社は、複数の初期の有機EL搭載製品を提供し、その名を上げ続けた。その1つが、2003年に発売された世界初のAMOLEDデジタルカメラ「EasyShare LS633」で、512×218ピクセル解像度の2.2インチディスプレイを搭載していた。コダック社は、有機EL技術のライセンスを他社に供与するかたわら、照明やディスプレイなどの応用分野を対象に有機ELの研究を続けた。2009年には、カラーフィルタ付き白色有機ELを利用した、業界初となる100% NTSCの低消費電力製品を発表した。

この数十年間で、さまざまな応用分野における有機ELの有望性が明らかとなった。代表的な例がテレビディスプレイで、同技術による鮮やかな色と画質を視聴者が享受できるようになった。ソニーは2007年に11インチの有機ELテレビを発売し、韓国LGディスプレイ社(LG Display)は2013年に55インチの有機ELテレビを発売した。LG社は引き続き、曲面ディスプレイ、フラットディスプレイ、4Kスクリーンなど、同社テレビ製品用の有機ELに投資している。有機ELのもう1つの新しい応用分野として、サムスン社や米プラナー社(Planar)が推進する半屋外タイプの透明ディスプレイがある。小売店舗のウィンドウを透明ディスプレイに置き換えて、従来のウィンドウ以上の情報を提供することによって、ウィンドウショッピングの体験を高めることができる。高級小売商品を提供する店舗には特に、これを実装することのメリットがある。ウィンドウ全体

を使って、買い物客に商品を比較してもらうことができるためである。

有機ELのこれまでの歩み、そして今後の発展を祝して

2017年5月に開催された年次カンファレンス兼展示会であるDisplay Weekでは、「Lighting the Way: Celebrating 30 Years of OLED」(行方を照らして:有機EL生誕30周年記念)と銘打たれた特別イベントの一環として有機EL業界の先駆者らが表彰された。講演者らは、有機EL技術の発明と、さまざまな環境におけるその実装事例を振り返るとともに、有機ELの将来にも思いをはせた。私たちは現在、折りたたみ可能でフレキシブルなモバイルディスプレイが、従来と新規の両方の応用分野、特にARとVRでまさに登場しつつある状況を目の当たりにしている。改良された製造方法が米国情報ディスプレイ学会(SID:Society for Information Display)に所属する多数

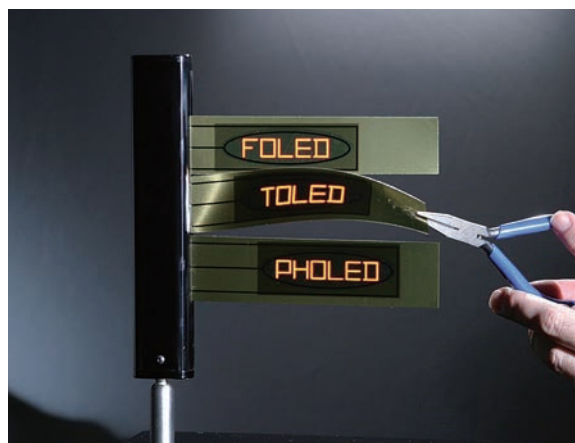


有機EL開発の主要成果。同技術が、カメラ市場からモバイルディスプレイ市場へと移行していった様子がうかがえる。

の企業や専門家によって開発されたおかげで、新しい形態の照明も有機ELによって実現されている。またウェアラブル機器も、サイズ、形状、柔軟性の面で進化し続けることだろう。

SID会長を務めるヨンソグ・キム博士 (Yong-Seog Kim) による開会の挨拶に続いて、チン・タン博士が壇上上がった。有機EL業界の生みの親として広く認められているタン氏は、その謙虚な人柄がよく表れた講演で、有機EL技術の発明における自身の伝説的な役割について語った。同氏は、「有機ELは、控えめに言っても私の人生である」と冒頭で述べたのに続いて、有機ELを単なる30年前の発明に終わらせることなく、実際の製品に転換するための発展に貢献してきた何千人ものエンジニアに感謝の言葉を述べ、その人々のおかげで、「私たち全員」、つまり業界全体にとっての祝典となるこのイベントを迎えられたと述べた。

タン氏が有機ELの研究を実際に始めたのは1970年代終盤で、同技術に関する最初の特許を取得したのは1982年のことだった。当時、ともにイーストマン・コダック社に在籍していたスティーブン・ヴァン・スライク氏と同氏は、当初は主に有機エレクトロルミネッセンス材料を活用した太陽光電池技術に取り組んでいたが、その取り組みの過程で、基本的に偶然有機ELを発見したという。根本的には、有機ELで今日実現されていることの少なくとも50%は、まだその初期の取り組みに基づいている。タン氏は続いて、分子構造の進歩や、パッシブマトリクスとアクティブマトリクスの進化、染料転写パターンニングなど、さまざまな業界専門家による長年にわたるその後の有機ELの発展の経緯を振り返った。同氏は、30年間かけて開発されてきた



りん光有機EL (PHOLED) は、UDC社が取り組みを進めている高度な有機EL技術の1つにすぎない。その他の技術として、写真に示すように、フレキシブル有機EL (FOLED: flexible OLED) や、透明電極と発光材料を有機ELの中に使用する、透明有機EL (TOLED: Transparent OLED) などがある。

今日の有機ELは、引き続き液晶ディスプレイ技術の領域を侵食していくと述べた。今後5~10年のうちに有機ELが液晶ディスプレイを上回ることになる、タン氏は確信している。

タン氏の基調講演に続いて登壇した3人の講演者は、有機ELのさまざまな応用分野と技術について語った。SIDフェローで山形大有機デバイス工学専攻教授の城戸淳二博士は、生活空間技術、つまり、私たちが日常環境として捉える領域に、白色有機ELが組み込まれている状況について洞察を示した。城戸氏は1993年に白色有機ELを初めて発明し、2008年には世界初の照明用有機ELパネル専業会社であるルミオテック社 (Lumiotech) の設立に助力した人物であり、これは同氏の主要専門分野である。その後の継続的な開発作業に続いて、同社の有機EL照明は2011年に量産体制に入った。

城戸氏によると、白色有機EL照明は現在、小売店舗、ホテル、レストラン、オフィスビルなどの職場空間といった、幅広い場所に採用されているという。将来については不明だ。人類の進化にともない、私たちの光源やその使用方法も進化していく。照明、テレビ、電話の各技術が引き続き収束していく中、まだ誰も思い描いていないよ

うな新しい何かへとそれが融合するのを、私たちは目にするようになる。

PHOLEDとAMOLED

城戸博士に続いて講演を行ったのは、米ユニバーサルディスプレイ社 (UDC: Universal Display Corp) の上級副社長兼最高技術責任者 (CTO) を務めるジュリー・ブラウン博士 (Julie Brown) だった。Display Weekにおいて初となる「Women in Tech」公開討論会にも参加した同氏は、りん光有機EL (PHOLED: phosphorescent OLED) の進化について概要を説明した。プリンストン大 (Princeton University) と南カリフォルニア大 (University of Southern California) の研究者らによって、この分野の最初の研究開発が行われたのは1997年のことで、2017年は、PHOLEDの技術開発においても20周年の節目の年である。2000年代半ばには、赤色PHOLEDが商用的に標準となり、折りたたみ式携帯電話やデジタルカメラのディスプレイ製造に採用されるようになった。「ターゲット仕様に促される形で、輝度レベルを上げつつ高効率と低電圧を達成するという次の目標に向けた取り組みが進んだ」とブラウン氏は述べた。2009年にかけて開発労力のほとんどがこの取り組みに注がれ、そ

の間に赤色と緑色の両方のPHOLEDで大幅な寿命の延長と消費電力の削減が達成された。次に予定されているのは濃い青色と薄い青色のPHOLEDだとブラウン氏は述べ、AMOLEDを新たな高みへと押し上げることを目標に、UDC社は、有機ELのさまざまな可能性を追求していくとした。

その流れを汲んで、SIDフェローで米Grantwoodテクノロジー社(Grantwood Technology)の最高経営責任者(CEO)を務めるゴペラン・ラジェスワラン博士(Gopelan Rajeswaran)は、AMOLED開発におけるこれまでの画期的成果と同技術の現状について洞察を示した。最初の商用AMOLEDディスプレイが市場に登場したのは2002～2003年で、歩留まりの向上に向けたその後の取り組みに続いて、2007年には、低温ポリシリコン(LTPS: Low Temperature Polysilicon)のAMOLEDが初めて利用可能となった。

ラジェスワラン氏によると、それに続く大きな画期的成果は、有機コネクタ付きのタンデム(直列)型有機ELスタックが発明されたことだという。これにより、白色有機ELとRGBWカラーフィルタによって大面積AMOLEDディスプレイを実現するための代替経路が開かれることとなった。本稿前半に記したとおり、AMOLEDには大きな機会が多数存在するが、ラジェスワラン氏が断言しているように、残るいくつかの開発課題を解決する必要がある。たとえば、小規模と大規模のアプリケーション用に異なるAMOLED技術プラットフォームを開発することや、中規模アプリケーションにAMOLEDディスプレイを投入して市場のすき間を埋めること、材料利用率の改善、スケール制約の除去、液晶ディスプレイに匹敵するコストの達成によって



さらにフレキシブルで巻き取り可能な方向へと進行する、有機ELの予想ロードマップ。(提供:米カティーンバ社[Kateeva])

製造コストを抑えること、そして、有機ELデバイスの寿命性能を高めることが求められる。最後の講演者は、クリス・ブラウン博士(Chris Brown)だった。同氏は、過蛍光(hyperfluorescence)の熱活性化遅延蛍光(TADF: Thermally Activated Delayed Fluorescence)材料を製造するキューラックス社(Kyulux)の製品担当副社長に最近就任している。ブラウン氏は、ユーモアあふれる講演で有機ELの歴史を振り返るとともに、興味深い未来にも触れた。同氏はまず、初期に開発されて有機ELの基礎を築いたいくつかの材料について詳しく説明した。AlQ₃、ZnQ₂、GaQ₃、InQ₃、MgAgなど、他にも多数の材料が、有機ELを支える土台となった。チン・タン氏とステイブ・ヴァン・スライク氏がイーストマン・コダック社在籍時に発明した有機ELデバイスに対し、性能を最適化するための取り組みが続く中で、重大な瞬間が訪れたのは1998年のことである。パイオニアが、コダック社の有機EL技術のライセンス供与を受ける初めての企業となり、有機ELディスプレイを搭載する製品を初めて商用化した。

現在では、上述の取り組みに加えて、サムスン社、ソニー、LG社、ビジョンオックス社、米イーマージン社(eMagin)

といった企業の努力の甲斐あって、有機ELが主要な役割を担う、ディスプレイの第三の波が訪れている。ブラウン氏によると、フレキシブル有機ELのロードマップの先には、折りたたみや巻き取りが可能なディスプレイの出現があるという。結局のところ、液晶ディスプレイは、モバイル有機ELのコスト削減のペースについていけないと同氏は断定している。リジッドな有機ELを搭載するスマートフォンの製造コストはすでに、液晶ディスプレイの製造コストを下回っており、フレキシブルディスプレイもまもなくそれに続く予測されている。スマートフォンにおける有機ELの採用率は、2020年までに70%を超える見込みである。この現象はノートPC、タブレット、テレビでも生じる可能性が高く、有機ELはさらに急速に市場シェアを拡大していくと予測される。同イベント後に開かれたパーティーでは、どこを向いても有機EL事業にとって胸躍る時代となっているという城戸氏の意見に、講演者も参加者も一様に同意していた。

著者紹介

スリ・ベルヴェンバ(SRI PERUVEMBA)は、米国情報ディスプレイ学会(Society for Information Display)の役員兼マーケティング担当議長。URL:sid.org