

# フラットパネルディスプレイ概論(7) FPDを支える部品・材料技術(2) LED-BLU

Introduction to Flat Panel Display (7) FPD to Components and Materials Technology (2) LED-BLU

Ukai Display Device Institute 代表 工学博士 鵜飼 育弘  
YASUHIRO UKAI Ph.D.

Ukai Display Device Institute

## 1. はじめに

LCDの構造については、本概論(2)(THE CHEMICAL TIMES 2010 No.4)で取り上げ、非発光ディスプレイのLCDにはバックライトユニット(Back Light Unit: BLU)が必要なことを述べた。BLUの光源としては、CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)が大型LCD-TVやモニター用TFT-LCDに使われてきた。一方、LED(Light Emitting Diode)を用いたBLUは、ノートPC、携帯電話、デジタルスチルカメラなど中小型のTFT-LCDに広く用いられている。LED光源の利点は、低消費電力・長寿命であること、小型・薄型・軽量化を実現するデザイン性を持っていることなどが挙げられる。特に小型薄型化への対応の柔軟性が、携帯電話機などのモバイル機器やノートPCなどで普及する要因となった。

大型LCD-TV用やモニター用TFT-LCDのBLUではCCFLが大勢を占めていたが、最近の状況はLEDが過半数を越す勢いである。本稿では、LED-BLUを取り上げ、その仕組みや構造および特徴を述べる。さらに、LED-BLUの特徴を活かしたAdditive Dimming法を概説し消費電力削減への寄与について触れる。さらに、LED-BLUの今後の動向も紹介する。

## 2. バックライトユニットの方式

LCDのBLU用光源は、CCFLとLEDの2種類が主流である。CCFLは、蛍光ランプの1種である。放電させる電極に電流加熱のフィラメントを使わない。CCFLは管を細くでき、寿命も長いのでノートPCなどで技術が進み、テレビやモニターに使われている。

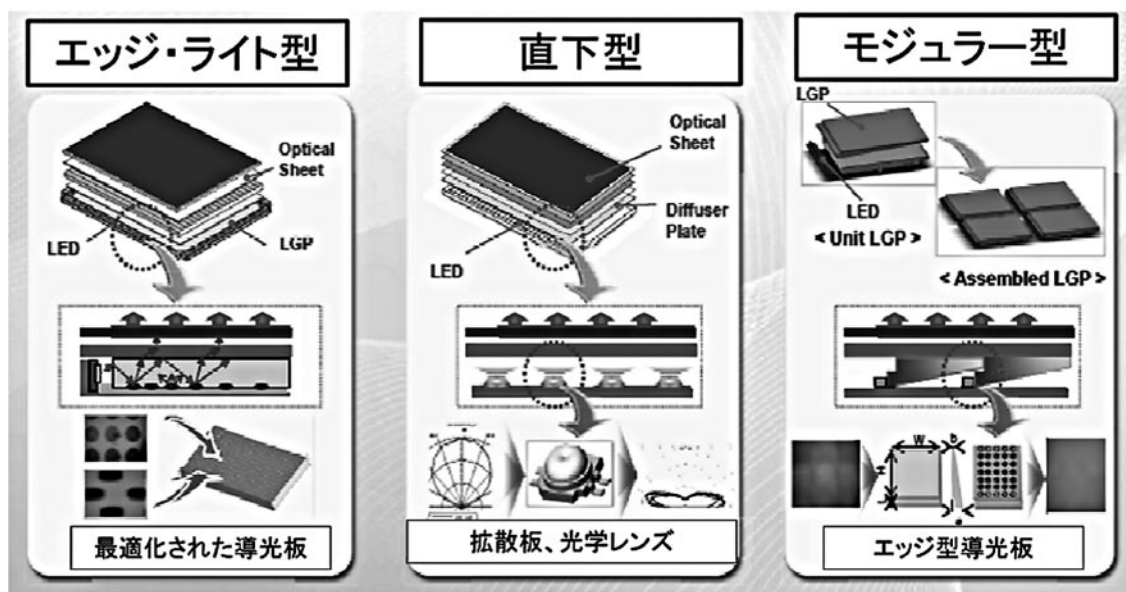


図1 TFT-LCD用LED-BLUの種類と構造

LEDは、省スペース、低消費電力という特徴からモバイル機器向けの小型パネル向けとして早くからBLU光源に使われてきた。しかし、ここへ来てLEDの別の付加価値、すなわち、高輝度、広い色再現性、Hg(水銀)レスなどの特徴から、大型パネルへの搭載が急激に広がり始めている。特にLCD-TVでは、LED-BLU搭載品の市場投入が相次いでいる。

LED-BLUは、図1に示すように、その配置部分で「エッジ・ライト型」と「直下型」および「モジュラー型」に分類される。ただし、それぞれが実現できる性能は一長一短がある。エッジ・ライト型は、TFT-LCDの側面に白色LEDを配置し、反射板や導光板を用いてパネル全体を照射する。薄型化に適しており、厚さが10mm前後であるLCD-TVはエッジ・ライト型を採用する。直下型は、白色または赤、緑、青の3色のLEDをTFT-LCDパネルの背後に多数配置する。パネルに表示する映像に合わせ、LEDの輝度を領域ごとに制御すると、コントラスト比が高められる。赤、緑、青の3色のLEDを使用すれば、色再現範囲の拡大が可能である。モジュラー型(スリムブロック方式とも呼ばれる)は、LED光を薄型導光板に入射し、面光源に変換してLCDを照射する導光板方式である。

### 3. LEDとLED-BLUの特徴

#### 3.1 LEDの発光原理

LEDとは「発光ダイオード」と呼ばれる半導体のことで、“Light Emitting Diode”の頭文字をとったもの。LEDはこれまでの白熱ランプや蛍光灯と異なり、半導体結晶のなかで電気エネルギーが直接光に変化するしくみを応用した光源である。図2に示すように、LEDに

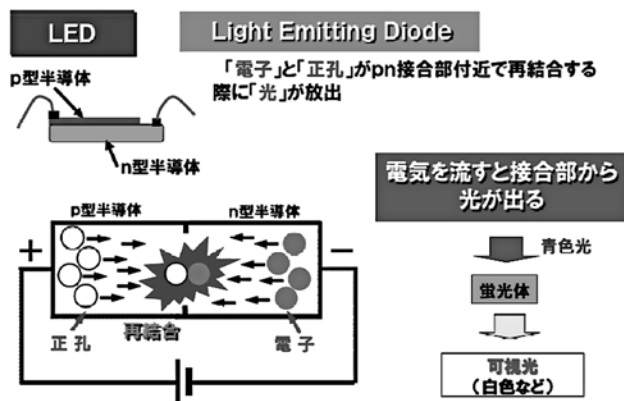


図2 LEDの発光原理

順方向に電圧をかけて電流を流すと電子と正孔(ホール)がpn接合部で結合し、電気エネルギーが直接光エネルギーに変換される。LEDは1907年に固体物質に電気を流すことで発光する現象が報告されてから、表示用途で実用化されてきたが、1993年に青色LEDが開発されて光の3原色である赤、緑、青のLED光源が揃った。1996年には青色LEDと黄色蛍光体による白色LEDが実現し、現在ではTFT-LCDのバックライト光源として広く採用されている。

#### 3.2 白色LED

LEDで白い光を作る代表的な方式は図3に示すように加法混色を用いたもので、ここでは次の3種類を説明する。LEDには図3に示したように赤、緑、青の個別のものを、BLUの光源として使う方式と、疑似白色LED(Pseudo White LED)がある。

#### 加法混色を利用

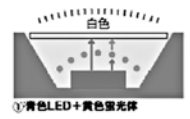


#### 混色方式の違い

##### 1. 青色LED + 黄色蛍光体

効率:100lm/W

※現時点では最も効率が高い  
(赤色・緑青蛍光体を加えて演色性をアップさせたものもある。但し、演色性向上タイプは効率は下がる)



##### 2. 赤色LED + 緑色LED + 青色LED

効率:30lm/W



##### 3. 近紫外(紫色)LED + RGB蛍光体

※蛍光灯のような光らせ方  
効率:80lm/W

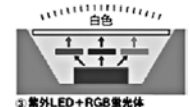


図3 白色LEDの方式

#### (1) 青色LEDと黄色蛍光体の組み合わせ

3方式の中で一番発光効率が高い方式である。LEDの青色光と、その光で励起される補色の黄色を発生する蛍光体(例えばYAG)の組み合わせで白色を作り出している。チップが青色光を放出し周囲の蛍光体層は励起され黄色の蛍光を発生する。黄色光は蛍光体層内で散乱と吸収を繰り返したのち外部へ放出され、補色関係にある青色と黄色の2色が混合されて白色光として見える。この方式の発光効率は100lm/Wと高いが、色再現範囲はNTSC比45~70%と広くはない。なお、制御回路は簡単で、使用部材が少ないことも特徴である。

## (2) 光の3原色(赤、緑、青)を組み合わせる

見た目には白色光が得られるが、放射エネルギーのない波長域があるために、物の見え方が不自然になることもある。広い色再現範囲を実現する上では、赤、緑、青の個別のLEDを使う方式が好ましいが、特性を揃える回路などが複雑になる。

## (3) 近紫外(紫色)LEDとRGB蛍光体の組み合わせ

3波長形蛍光ランプと同じ発光方式で、青色よりも波長の短いLED光源で、赤、緑、青の蛍光体を励起させる。きれいな白色が得られる特長がある反面、(1)の方式と比べ発光効率の向上が課題である。なお、色再現範囲はNTSC比72~100%と広い。また、色のばらつきが小さいことが特徴である。

### 3.3 LED-BLUの特徴

従来のCCFL-BLUからLED-BLUを用いることで、次のような特徴と機能を有するLCD-TVを実現できる(図4参照)。

- ① 広色再現範囲: LEDとカラーフィルタ(CF)との最適化によってNTSC規格比が72%以上の広色再現範囲を実現することが可能で、自然な色に限りなく近づけることが可能。
- ② グリーンテクノロジー: CCFLは水銀(Hg)を用いていたがLEDはHgフリーで環境に優しい技術である。さらに、ローカルディミング技術により消費電力の削減が可能。

- ③ 薄型・軽量・狭額縁化: 自発光ディスプレイのOLEDと比べると、BLUが必要なことからLCD-TVは薄型化には課題があったが、LED-BLUの採用でOLED-TVと同等の薄型・軽量・狭額縁化が実現可能。
- ④ 応答時間: 液晶本来の応答時間の課題をLED-BLUと新規駆動方式の採用および液晶材料の改善で、CRTと同等以上の動画応答時間を実現。
- ⑤ 輝度: 現在商品化されている3D-TVでは液晶シャッターのメガネが必要で、自ずと輝度が減少する。これに対して、高輝度LEDおよび光学設計の最適化で高輝度化を実現。屋外でのデジタルサイネージとしても応用が進んでいる。
- ⑥ コントラスト比: 非発光ディスプレイであるLCDは、自発光ディスプレイのCRTやPDPおよびOLEDに比べコントラスト比が劣っていた。しかし、LED-BLUの採用でアダプティブ・ディミング(Adaptive Dimming)技術を用いることで、ダイナミックコントラスト比を自発光ディスプレイと同等の値を実現。これにより、黒の映像を表現する際、最適なバックライト発光を制御、不要な発光をゼロ状態に近づけることにより、本来の黒の深み、奥行き感、立体感を表現できる。
- ⑦ 付加機能: 以上の特徴の他、IPTV、3D-LCD-TV、タッチ機能などの付加機能を付けられる。

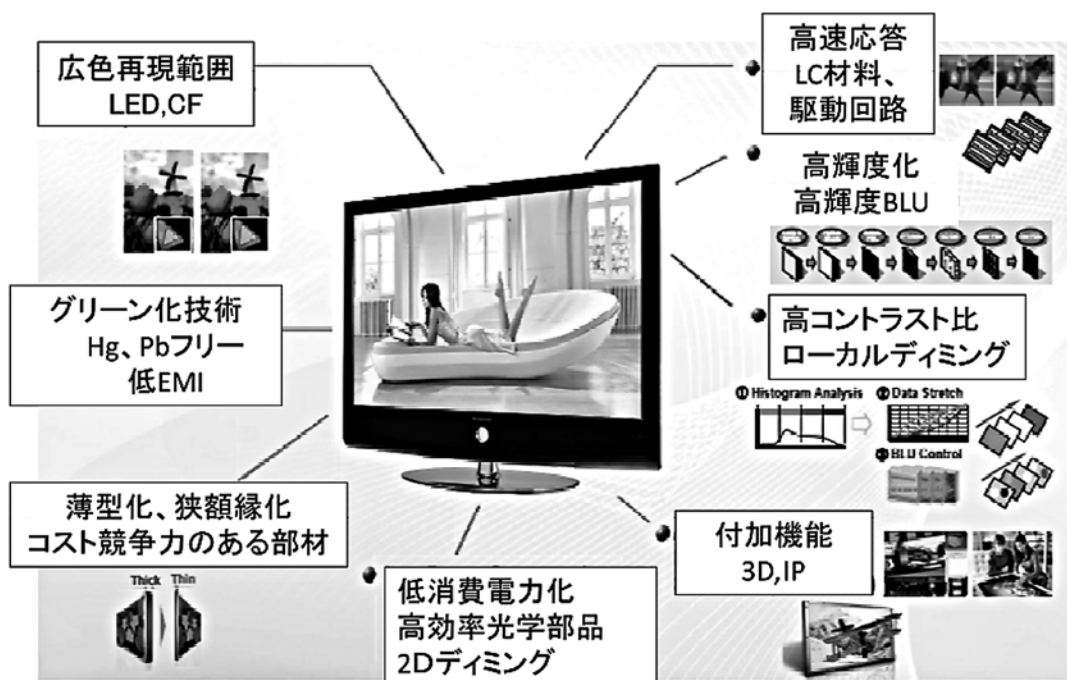


図4 LED-BLUによるTFT-LCDの高性能化

#### 4. アダプティブ・ディミング

LED-BLU方式では、映し出す映像信号に合わせて、BLUの光量を調節するアダプティブ・ディミングなどの電力低減技術が注目されている。これらの特徴は環境への配慮という点においても大きな意味を持ち、BLUのみならず、一般照明や信号機などLEDのさまざまな用途への展開が期待されている。

図5に入力信号に適切して調光を行うアダプティブ・ディミングによる消費電力低減の原理を示す。図5の最上行は、高輝度画像を表示する場合である。入力信号、BLUの消費電力を100%とおく。2行目の、例えば入力信号が25%の輝度レベルを表示する場合、従来の方式ではBLUの輝度を100%に保つため、BLUの消費電力は100%のままである。3行目のアダプティブ・ディミングにおいては、信号レベルを4倍の100%に拡大し、同時にBLUの輝度を1/4に落とす。その結果、表示輝度は25%のままであるが、BLU電力は25%に低下する。アダプティブ・ディミングには、図6に示すように0次元(0D)、一次元(1D)、および二次元(2D)ディミングがある。0Dディミングは、平板状蛍光ランプ、1Dディミングには、CCFLなどの線状ランプ、また、2DディミングにはLED

やマトリクス構造を有するOLEDなどに用いることができる。表1にLED-BLU方式と特徴の比較を示す。各方式の特徴を活かしたLCD-TV(2Dおよび3D)が市販されている。

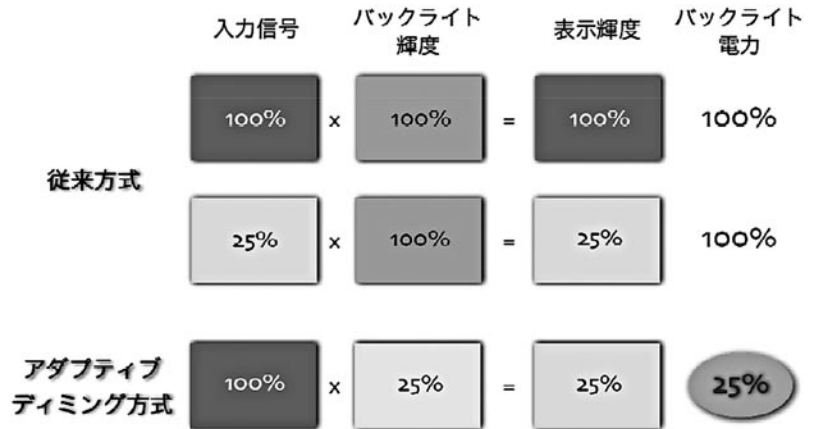
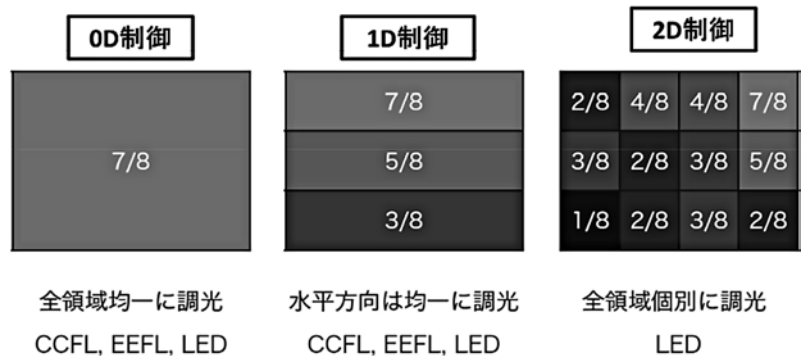


図5 Adaptive Dimming 技術の基本原理



消費電力低減効果は2D制御が最も高い  
ただし、表示画像に依存する

図6 調光領域制御方式と光源

表1 LED-BLUの方式と特徴

項目	エッジ・ライト型	直下型	モジュール型
モジュール厚み	◎	△	○
モジュール重量	◎	△	△
消費電力	◎	△~○	△~○
色再現範囲	◎	◎	◎
コントラスト比	10,000:1	100,000:1	100,000:1
ローカルディミング	0D-1D	2D	2D
LED個数	◎	△~○	○
価格	◎	△	○
適用LCD-TV	普及品	高級品、3D-TV	中級品から高級品

5. LCD-TVの消費電力削減とLED-BLUの個数削減

テレビは家庭内の電力消費量のうち10%程度を占め、大画面サイズによる大型化や複数台数の使用が進む傾向にある。LCD-TVの約80%の消費電力はBLUで消費されるため、LED-BLUの低電力化が重要である。

図7にIMID'10(The 10th International Meeting on Information Display、ソウルで開催)でSamsungから発表された、LED-BLUを用いたLCD-TVの技術変遷とBLUに用いられるLEDの数量を併せて示す。LED-BLUをLCD-TVに最初に用いたのはソニーで、赤、緑、青のLEDによる直下型であった。その後、白色LEDによる直下型からエッジ・ライト型へと移行している。用いられているLEDの数量は、例えば46型LCD-TVの場合、当初は2160個だったが2009年には324個となり、2010年では2XX個、2011年には1XX個と予測されている。

図8にエッジ・ライト型の変遷を示す。当初、TFT-LCDの4辺にLED-BLUを配していたが、上下2辺、左右2辺、下1辺さらには左1辺へと削減が進む。

LCD-TVの消費電力の大半はBLUによるもので、LED個数の削減は省電力化に大いに貢献できる。LG Displayは、消費電力が28Wの47型のTFT-LCDを2011年10月に発表した。画素数は1920×1080、輝度は400cd/m<sup>2</sup>。LCD-TV用としては「世界で最も低い消費電力を実現した」とのこと。使用する白色LEDの個数を減らすことで、低消費電力化を実現したとする。BLU光源である白色LEDを、TFT-LCDの1辺のエッジ部分にのみ配置した。使用する光学フィルムは3枚。入力信号に応じて、LEDの発光を部分制御する機能も備える。

PDPやOLEDのような自発光ディスプレイの消費電力は、一般に画面サイズ(表示面積)に比例する。NEDOが進めているOLEDプロジェクトのターゲットは、40型

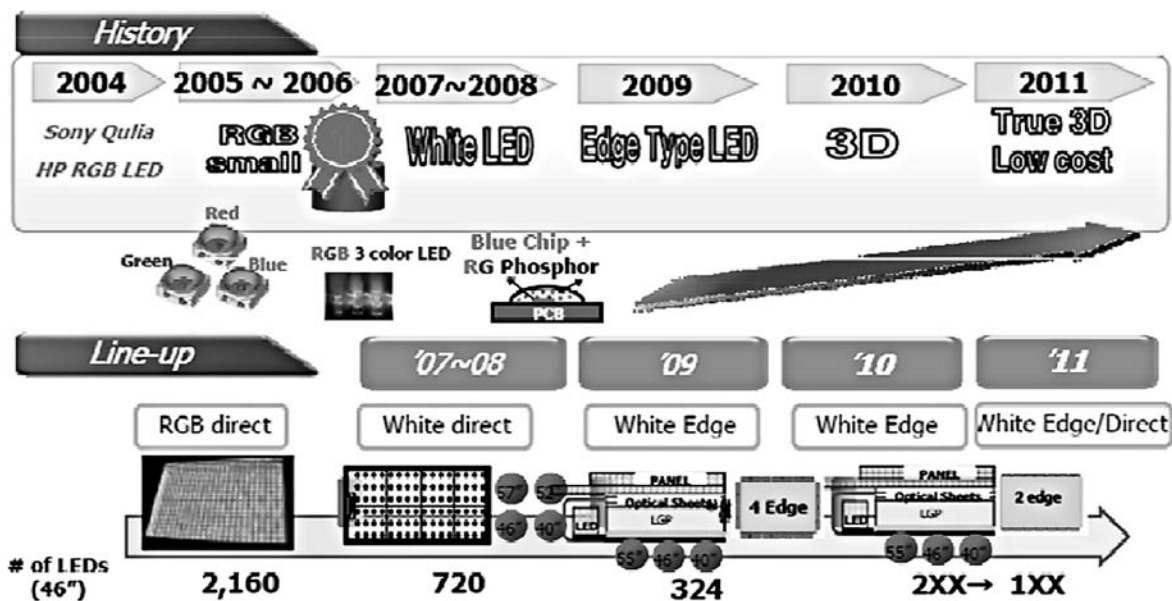


図7 LED-BLUの技術変遷

(Samsung:IMID'10)



図8 LCD-TV用エッジ・ライト型LED-BLUの変遷

40Wを目標としている。TFT-LCDとの比較で唯一の特徴と言われていたが、これで大型OLED-TVの出番は無くなったと言っても過言ではなからう。

また、BLUがTFT-LCDモジュールのコストに占める割合も大きいので、この面からも低価格化に寄与できる。したがって、現在のLED市場の大半はLCD-TV用であり、このLED-BLUの市場動向を十分把握する必要がある。即ち、LCD-TV用BLUの方式等は日進月歩であり、大きな流れはLED個数削減である。

上述したように、コスト低減にLEDの個数削減は大きな効果をもたらす。したがって、TFT-LCDの画面輝度を維持しながらLEDの個数削減を実現するには、LED単体の発光効率の向上が必要である。しかも3D対応には2D用に比べ高輝度が要求される。2011年からは、W(RG)に加えてW(RGY)のLEDが要求されるようになる(W:B+蛍光体)。これは、従来のR,G,Bの3原色にY(黄色)を加えることで色再現範囲に更なる拡大を目的にしたもので、LEDと合わせてカラーフィルタの構成もR,G,B,Yとなる。この構成は既にシャープから2Dおよび3D用LCD-TVに採用されている。

高輝度化を実現するために、従来は中・低出力のLED(20~200mA)が採用されていたが、今後は高出力LED(200~1,000mA)が採用されるようになる。その結果、LEDのデバイス構造も図9に示すようにLateral(Epi Up)構造から垂直(Vertical)構造となる。垂直構造の採用で、放熱特性は改善される半面、現状ではコ

ストアップとなる。したがって、現状では、中・低出力のLEDを数多く並べるか、高出力のLEDを用いて数量を減らすかはコストパフォーマンスの観点から選択されている。

## 6. おわりに

TFT-LCDにLED-BLUが採用されたことでLCD-TVの特徴が飛躍的に増え、OLED-TVの特徴を凌駕してしまった。具体的には、高ダイナミックコントラスト、広色再現範囲、ハイフレームレート駆動等による動画表示特性、低消費電力および水銀(Hg)フリーによるグリーン化対応、薄型化・狭額縁化(BLUが付いていてもOLED-TVと厚みが変わらない)、など枚挙に暇がない。

ここで述べたように、LED-BLUの採用と技術者の弛まない努力の結果、用いられるLEDの個数は激減し、低消費電力を実現した。これらの努力は、LED-BLUのコスト削減に寄与し、今や32型LCD-TVは3万円も出さなくても手に入るようになった。しかし、大半のパネルおよびテレビメーカーは赤字の状態である。技術開発は「儲かってなんぼ」の世界であることを考えると自己矛盾に陥る。

TFT-LCDはTFT-OLEDと比べ直材費比率が高いデバイスである。その結果、TFT-LCDを支える部品・材料メーカーは多いことも特徴と言える。今回取り上げたLED-BLUの採用でTFT-LCDの特性は飛躍的に向上した。過去にカラーフィルタ、液晶材料、配線材料等も同様に

貢献した。TFT-LCDには、これら部品・材料の技術革新と共に新しいデバイスの創生に期待したい。一方、TFT-OLEDは直材費比率が低いデバイスであり、技術革新のスピードはパネルメーカーと発光材料メーカーの開発力に大きく依存している状況である。この面でもTFT-OLEDが大きくブレークスルー出来るかが問われている。

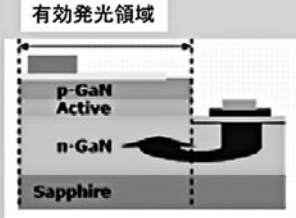
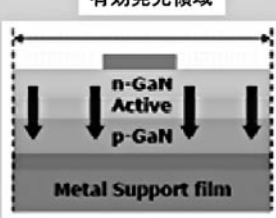
LEDの種類	Lateral (4-6マスク)	Vertical LED (6-8マスク)
構造		
発光領域	Nコンタクト領域は発光せず	チップの全面で発光
ESD/電圧	電流が偏る、信頼性低い	電流分布が均一、低電圧、ESDが改善
パッケージ(ボンディング)	3ヶ	1ヶ
基板	サファイア (絶縁体、低熱伝導)	金属(高熱伝導性、導体)

図9 LEDチップ構造比較