

LED バックライトの量子ドット技術、LCD で広い色域を実現

ジェイソン・ハートラブ

液晶ディスプレイのバックライトユニットに量子ドット技術を適用することにより、高輝度かつ高効率で鮮明な色を表示可能なディスプレイを実現するスペクトルを生成することができる。

液晶ディスプレイ (LCD) の技術は、高い解像度が実現されたり、3D のような革新が生み出されたりするなど、この数年間で大きく進化した。しかし、色性能の進歩は引き続き停滞気味である。例えば、人気の高いタブレット端末のディスプレイは、人間の目が認識できる色の約 20% しか再現することができない。HDTV (高精細テレビ) でもわずか 35% である。実は、一般的なディスプレイの色性能は CRT の時代よりも退化しているのだ。

それでも、LED バックライトを搭載した LCD は、現在では携帯端末やテレビの業界における標準となっている。なぜなら、高い解像度、低いコスト、薄いフォームファクタといった特徴を備えているからである。

最近になって、ディスクリートの RGB (赤 - 緑 - 青) LED、赤色蛍光体を使用する YAG (Yttrium - Aluminum - Garnet)、有機 EL (OLED) といった、より色性能の高い新技術が登場した。ただし、これらの技術では、主にコスト、大きさ、輝度が、広範な普及を阻む大きな問題となっている。これまで、消費者は、映画館のレベルの体感品質よりも、価格が安く、薄く、効率の高いディスプレイを選択してきた。将来的には、色性能も含めたすべてにおいて高い特性を備えるディスプレイを得られるようになるのだろうか。

現状のディスプレイの課題

現在のテレビメーカーやディスプレイメーカーが抱える課題を的確に理解できるように、まずは LCD の内部について簡単に説明しておく。一般的な LCD は、基本的に、バックライトユニット (BLU: Backlight Unit) と呼ばれる光源と液晶モジュール (LCM: Liquid Crystal Module) の 2 つの部分で構成される。

通常、LCD の稼働中には BLU が作動しており、LCM の背面に均一な白い光線を当てている。LCM は無数のピクセル (画素) から成り、各ピクセルは赤、緑、青のサブピクセルで構成されている。各サブピクセルが光を通過させる時間を制御し、さらに、人間は目で見た映像をしばらく記憶するという特性を利用することにより、赤、緑、青の組み合わせで表現可能な任意の色を、各ピクセルの位置に表示するという仕組みである。このようにして得た色の品質や忠実度は、サブピクセルの色品質に直接依存する。そのため、各サブピクセルからの赤、緑、青の光の品質を上げることが LCD における課題となる。

各サブピクセルの色は、BLU の光の品質と、サブピクセルにおけるカラーフィルタの 2 つによって決まる。カラーフィルタの役割は、BLU の白色光から各色の成分を分離することである。

例えば、赤のサブピクセル上の赤いカラーフィルタは、緑色と青色の光を遮断する。しかし、赤色の品質を高めるには、フィルタの透過範囲を非常に狭くするか (これを行うと、かなりの減衰が生じて輝度が低下する)、あるいは、BLU の白色光における赤いスペクトルの幅を狭くして、所望の赤色のピークに適切にマッチしたものにしなければならない。緑と青のサブピクセルについても同様である。

完璧なカラーフィルタを開発するのは、コストの観点からも輝度の観点からも現実的ではない。そのため、白色光を生成するより適切な方法を検討する必要がある。

問題は、BLU の中心にある LED 光源では、これらのカラーフィルタが透過させるべき色の強度が足りないということである。現在の白色 LED は、人間が白色と認識する光の一部のスペクトルを生成するには非常に適している。しかし、すべてのスペクトルの生成に優れているわけではない。LED から白色光を生成する方法としては多種多様なものが存在するが、従来型の手法は、すべて LCD での利用という面では欠点を抱えている。

YAG ベースの白色 LED (GaN [Gallium Nitride] 青色光を励起源とする YAG 蛍光体) は、青色波が強く、黄色成分の幅が広いスペクトルを生成する。具

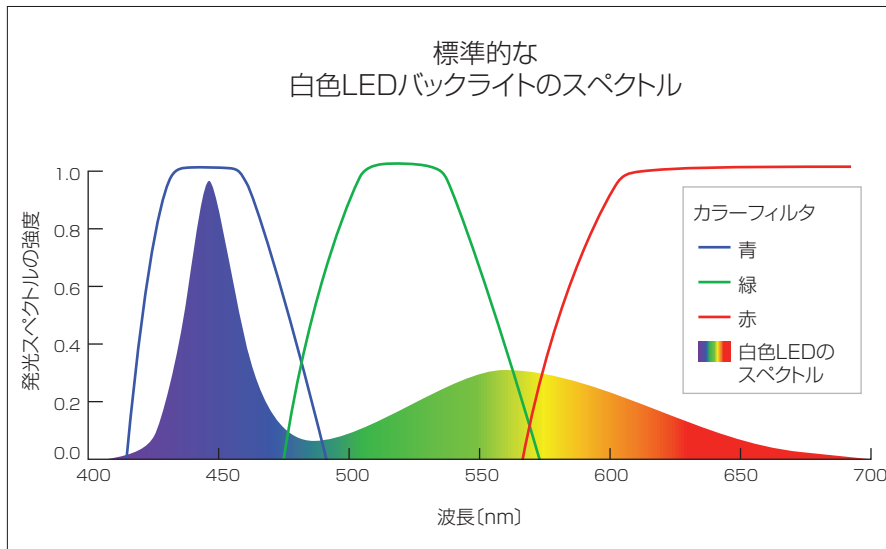


図1 従来の白色LED (GaN + YAG)バックライトのスペクトルは、LCMにおける赤、緑、青のカラーフィルタに適切にマッチしない。

体的には、図1のように、緑と赤の成分が非常に弱く、スペクトルが青緑から緑、黄、橙、赤まで広く分散している。サブピクセルにおいて、この光にRGB色成分のフィルタリングを行うと、得られた結果は精度に欠けるものとなる。つまり、太陽光に照らされた自然界で人間が目にする色品質を再現することはできない。

LCDのBLUに用いるLEDベースの理想的な光源は、太陽光と2色法における白色の間にあるものということになる。鮮明な色を表現するには、フィルタを適用する赤、緑、青の波長全体に大量のエネルギーを生成する必要がある。しかし、効率の観点からは、赤、緑、青の間の光の生成にエネルギーを消費してはならない。その光はフィルタで遮断され、人間の目には届かないからである。

量子ドットを利用する理由

上述した問題を解決するには、ディスプレイに対して適切な波長で、かつ、非常に効率良く発光する、自然界には存在しない新たな材料が必要である。

幸い、ナノテクノロジーの研究者らは、そのような材料を開発するために何十年間もの歳月を費やし、まさに原子を1つずつ生成するような作業を重ねてきた。そのようにして生み出された量子ドット技術は、水分子よりはやや大きいウイルスよりも小さい、微細なナノクリスタル蛍光体を利用するというものである。

固定のスペクトルで発光するYAGなどの蛍光体技術とは異なり、量子ドットは、可視スペクトルのほとんどすべての色に光を変換するよう製造することができる。GaNベースのLEDなどの青色光を励起源とし、励起源の波長よりも長い任意の波長で発光させることが可能である。効率は量子収量が90%以上と非常に高く、スペクトル分散は半値全幅(FWHM: Full Width at Half Maximum)がわずかに30nm~40nmと非常に小さい。

量子ドットの真の利点は、ドットの色出力を(製造工程において)調整できることにある。合成時にクリスタルのサイズを慎重に制御することにより、スペクトルのピーク出力を、ほとんどす

べての可視波長の2nm以内の範囲に調整することが可能だ。

この利点から、量子ドット技術は、新しく開発されたYAG蛍光体技術(黄緑色に発光するYAGに赤色蛍光体を混合することで色性能の改善を図るものなど)よりも優れていると言える。赤色蛍光体を混合するYAGも、発想は量子ドット技術に似ており、放射スペクトルの異なる材料を組み合わせることで白色光のスペクトルを操作しようというものだ。しかし、結晶構造の蛍光体材料は、根本的にその原子構造による制約を抱えているので、既存のカラーフィルタの仕様やメーカーが望む仕様に合わせて正確に調整を行うことができない。そのため、蛍光体のFWHM出力の幅が比較的広く、赤色蛍光体の変換効率や安定性が低くなる。このような理由から、ディスプレイメーカーは、光や効率に損失が生じるシステムしか製造できないことになる。

量子ドット技術を採用すれば、ディスプレイの設計者はバックライトのスペクトルをカラーフィルタに合わせて調整できる。これによって、高輝度かつ高効率で、非常に鮮明な色を再現するディスプレイが実現可能になる。

量子ドット技術の実現方法

ディスプレイ業界の要求仕様を満たす量子ドットを製造するだけでは、LCDのユーザーエクスペリエンスを大きく変革することはできない。この技術を広く普及させるには、ディスプレイシステムの設計に与える影響が最小限になるように、現行の製造工程に容易に組み込めるような形でドットを製造する必要がある。これを行うために、ナノシス社(Nanosys)は多大な時間を費やして、大手ディスプレイメーカーらと共同でパッケージの適正化に取り組ん

だ。それにより、製造ラインの一新やプロセス変更を一切必要としない、シンプルなドロップイン式の製品を実現した。その製品がQDEF (Quantum Dot Enhancement Film)である(図2)。

図3に示したように、QDEFは、LCDバックライトの既存のフィルム(ディフューザ)を置き換えるものとして設計されている。赤および緑に発光する量子ドットが、青色光で励起すると白色光を放射する光透過性の薄いシートと組み合わされている(もちろん、青色光の一部は通過して、LCMにおけるRGBのBを生成する)。LCDの製造工場や設備に莫大な資金を投入したメーカーは、このシートを自社のプロセスに導入し、白色LEDを青色LED(同じLEDだが蛍光体がないもの)に変えるわずかなコストを投じるだけでよい。それにより、最高級の有機ELと同等の色と効率を実現するLCDパネルの製造を開始することが可能になる。

現在、ナノシス社はディスプレイメーカー向けにQDEFのサンプルを出荷している。2011年末までには商用生産を開始する予定だ。

QDEFが広げる可能性

先述したように、今日のLEDバックライトを搭載したLCDでは、人間の目が認識可能なスペクトルの20%しか再現できない。それに対し、QDEFを採用したLCDであれば、60%以上を再現できる。つまり、タブレット端末上で写真を閲覧する際には、プロ並みの仕上がりの高品質な写真の束を手を持っているのと同じ感覚を得ることができる。また、自宅のリビングルームで大画面の映画を鑑賞するケースであれば、ハリウッドスタジオのプライベート試写会に参加しているのに近い気分が味わえるようになる。

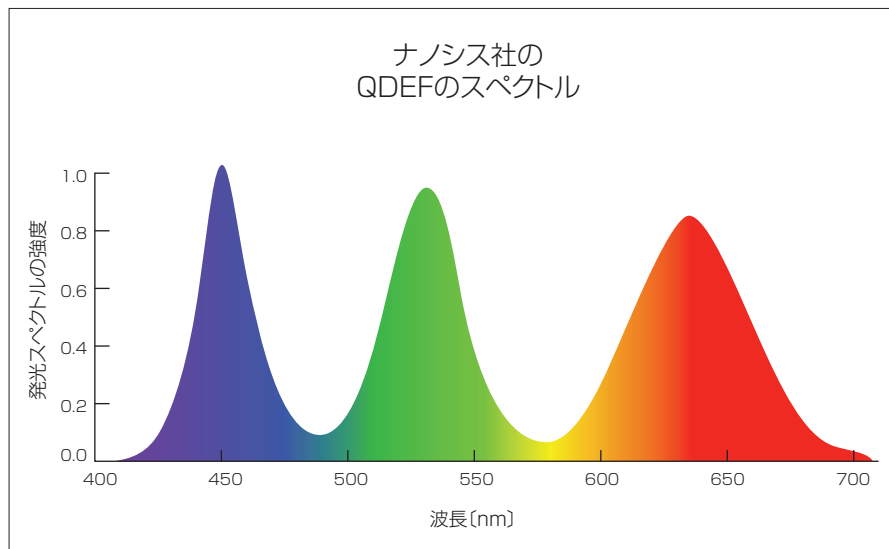


図2 QDEFのスペクトル。フィルムは黄色蛍光体と赤色蛍光体を含んでおり、GaNベースの青色LEDを励起に使用する。

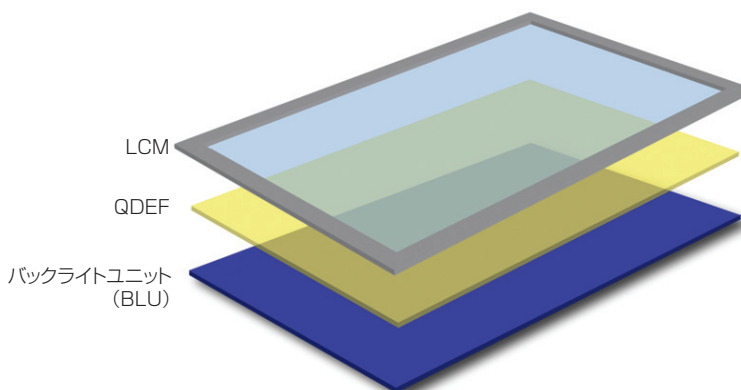


図3 ナノシス社のQDEFは、LCDのBLUにおけるディフューザを置き換えるものとして設計されており、BLUとLCMの間に配置される。赤色と黄色を発光する量子ドットが含まれており、BLU内の青色LEDによって照射する。

テレビの市場では、LEDバックライトを搭載したLCDが広く普及している。また、ほとんどの製品がLCDを採用しているタブレット端末の販売台数は、今後数年間で1億台を超えると予想されている。市場に新しく参入する企業が増加し、さらなる代替技術が開発されるにつれ、競争がますます激化する消費者向けディスプレイ市場において、次の大きな差別化要因として色性能が挙げられる可能性は高い。

優れた色性能を持つディスプレイによって、開発者やコンテンツ制作者は、

消費者があっという間に驚く新たな視覚的エクスペリエンスを生み出せるようになる。効率やコストを犠牲にすることなく、より現実の世界に近いユーザーエクスペリエンスを提供できるディスプレイメーカーが出現すれば、そのメーカーは市場においてかなり大きなシェアを獲得することができるだろう。

著者紹介

ジェイソン・ハートラブ氏 (Jason Hartlove) はナノシス社 (<http://www.nanosysinc.com>) のCEO。同社は米カリフォルニア州パロアルトを拠点とし、LEDバックライトおよびエネルギーストレージの構成材料を供給している。