

# 知っておきたいキーワード

## 量子ドットディスプレイ

(正会員) 都築俊満<sup>†</sup>

<sup>†</sup> NHK放送技術研究所 新機能デバイス研究部

"Quantum Dot Displays" by Toshimitsu Tsuzuki (Science & Technology Research Laboratories, NHK, Tokyo)

キーワード：量子ドット，ディスプレイ，色域，色純度

### まえがき

テレビ放送のデジタル化，フラットパネルディスプレイの技術革新などによって，誰もが美しい映像を楽しめるようになりました。テレビ，液晶モ

ニタなど，ディスプレイの性能を表す指標の一つとして，表現できる色の領域（色域）の広さが挙げられます。表現可能な色域が広いほど，自然界に存在する色をより忠実に表すことができます。ディスプレイの広色域化に向け，

さまざまな方法が検討されています。最近，量子ドットという材料を用いることで，広い表示色域を実現した液晶テレビが販売されるようになりました。ここでは，量子ドットディスプレイについて解説します。

### ディスプレイの色再現領域

色を数値で表現するため，色度図というものが用いられます。代表的なものに図1に示すようなCIE (Commission Internationale de l'Éclairage, 国際照明委員会) により定められたCIExy色度図があります<sup>1)</sup> <sup>2)</sup>。馬蹄形の外端の数字は，単波長光源の波長を示しています。世の中に存在するすべての色は馬蹄形の中に入っていて，大まかには，左下が青，上が緑，右下が赤の領域となっています。馬蹄形の内側の三角形は，現行HDTVとSHV（スーパーハイビジョン）の規格の色再現領域を表しています。三角形の頂点は，それぞれの規格の三原色

(青，緑，赤)に相当し，三角形の内側がその規格で表現できる色ということになります。個々のディスプレイの表示色域も色度図上で表すことができます。ディスプレイの三原色の位置をできるだけ広げて三角形を大きくすると，より広い範囲の色を表現できることとなります。そのためには，三原色の発光ピーク波長の最適化とともに色純度の向上が必要となります。色純度の向上は，発光スペクトルの半値幅を狭くして，色度座標を馬蹄形の縁に近づけることに相当します。したがって，半値幅の小さい光源（発光材料）の開発が，広色域ディスプレイ実現のための重要課題となります。

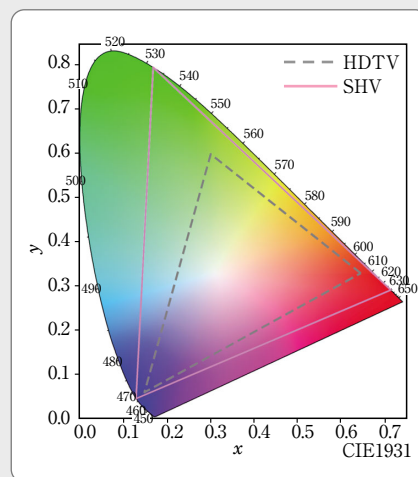


図1 CIEx, y色度図

### 量子ドット

量子ドットは、サイズが数nm～十数nm程度の半導体微結晶からなる材料です。サイズがボーア半径程度であるため、電子正孔対(励起子)の閉じ込めによりエネルギーレベルが離散化し、サイズが小さくなるにつれてバンドギャップが大きくなるというユニークな特徴を有しています<sup>3)</sup>。量子ドットは、ディスプレイ、LED、レーザ、太陽電池などの材料として注目を集め、国内外で研究開発が行われています。作製方法には、半導体の微細加工によるものと結晶成長によるものがあります。結晶成長により作製する量子ドットのうち、液相中の化学合成によって得られる材料をコロイダル量子ドットといいます。以下、コロイダル量子ドットについて説明します。図2(a)に示すように、コアとよばれるCdS(硫化カドミウム)やCdSe(セレン化カドミウム)などの半導体微結晶の表面に、リガンドとよばれる髭のような炭化水素が結合した構造をしています。図2(b)に示すように、コアの周りを別の半導体からなるシェル層で

取り囲んだコア/シェル型の材料もあります。リガンドは、コアまたはシェル表面に存在する不安定な部分(非結合手:ダングリグボンド)をなくし、水あるいは有機溶剤への溶解性や分散性を高める役割があります。先述のように、量子ドットはコアのサイズにより半導体のバンドギャップが変化するため、ディスプレイ材料として極めて有利な光学特性を示します。つまり、コアサイズが大きくなると発光スペクトルが長波長シフト、小さくなると短波長シフトし、サイズ制御により紫外

～可視光～赤外の広い波長領域で発光波長を自在にチューニングすることが可能です。さらに、サイズのばらつきを小さくすると、発光スペクトルの半値幅が小さくなるため、色純度の高い発光材料となります。コアのサイズおよびそのばらつきは、量子ドット合成時の温度や時間、原料の種類などによって制御することができます<sup>3)</sup>。半値全幅(Full Width at Half Maximum, FWHM)が約30nmの極めて先鋭な発光スペクトルを示す材料が報告されています<sup>4)</sup>。

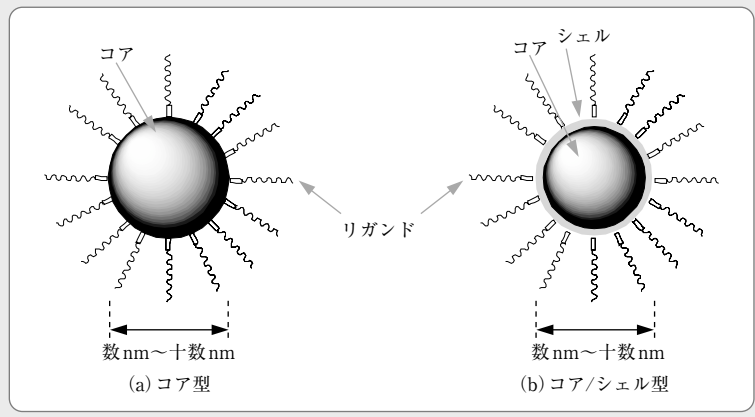


図2 コロイダル量子ドットの構造

### 量子ドットディスプレイ

色純度の高い量子ドットを適用した広色域ディスプレイの研究開発が行わ

れています。その一つとして、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を利用する試みがあります。具体的には、青光源としての青色

LEDと、緑・赤光源として青色LEDで励起した量子ドットのフォトルミネッセンス(光励起による発光)を組合せた白色光をバックライトとして

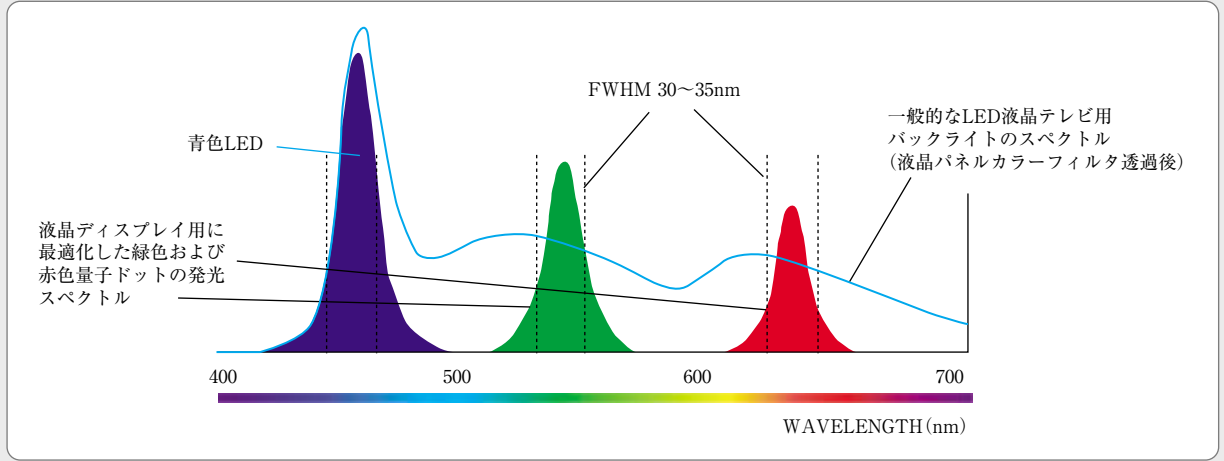


図3 量子ドットを用いた液晶ディスプレイのバックライトのスペクトル例 (Courtesy of QD Vision)

用いています。図3に、量子ドットを用いたバックライトのスペクトル例を示します。一般的なLED液晶テレビのバックライトのスペクトルと比較して、量子ドットを用いた液晶ディスプレイでは、緑色・赤色のスペクトルが極めて先鋭になっています (FWHM 30~35 nm)。この液晶ディスプレイの色再現領域を色度図で表すと、図4のようになります。量子ドットを用いた液晶ディスプレイでは、一般的なLED液晶テレビと比較して、緑と赤の色純度が向上し、色再現領域が拡大していることがわかります。バックライトユニットに量子ドットを配置する方式として、主に、図5に

示すような方式が検討されています。(a)量子ドットを樹脂フィルムに分散させた「量子ドットシート」をバックライト導光板の前面に配置する方式 (on-surface)、図5 (b)量子ドットを樹脂に分散して細長いガラス管に封入した「量子ドットアセンブリ」を青色LED光源部近くに配置する方式 (on-edge)、図5 (c)青色LEDパッケージ内に量子ドットを分散させる方式 (on-chip) です。コストや製造の難易度など、それぞれ特徴があり、用途に応じて選択されています。2013年に日本の家電メーカーから初めて市販された広色域液晶テレビでは、on-edge方式が用いられています。

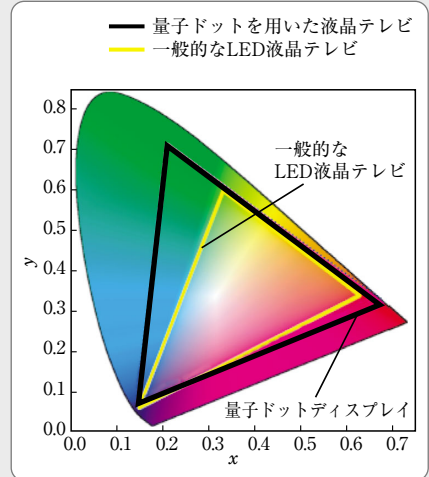


図4 量子ドットを用いた液晶ディスプレイの色再現領域の例 (Courtesy of QD Vision)

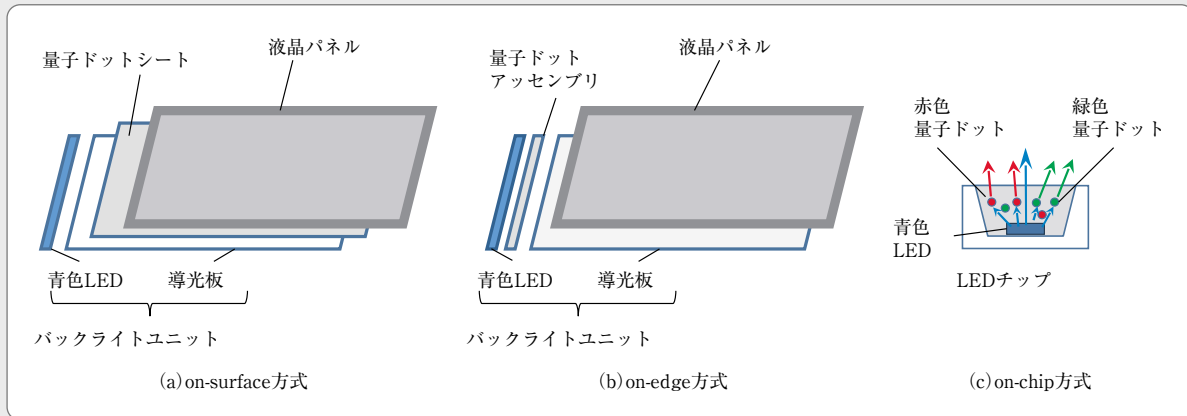


図5 バックライトユニットにおける量子ドットの配置方式

### むすび

量子ドットをバックライトユニットに用いた色域の広い液晶ディスプレイについて紹介しました。今後も、量子ドットの発光効率や色純度の一層の向

上を目指した研究、関連ディスプレイ部材の研究開発などの進展が期待されます。量子ドットをエレクトロルミネッセンス材料として用いた自発光型ディスプレイの研究例もあります。また、環境法規への対応としてカドミウ

ムを使用しない量子ドット材料の研究開発も行われています。量子ドットの応用展開がますます広がることが予想されます。(2014年6月27日受付)

### 参考文献

- 1) 日本色彩学会編：“新編色彩科学ハンドブック【第2版】”，東京大学出版会（1998）
- 2) 横井健司：“知っておきたいキーワード：色空間”，映情学誌，65，12，pp.1723-1725（2011）
- 3) Y. Shirasaki, G.J. Supran, M.G. Bawendi and V. Bulovic: "Emergence of Colloidal Quantum-Dot Light-Emitting Technologies", Nature Photonics, 7, 1, pp.13-23 (2013)
- 4) C.B. Murray, D.J. Norris and M.G. Bawendi: "Synthesis and Characterization of Nearly Monodisperse CdE (E=S, Se, Te) Semiconductor Nanocrystallites", J. Am. Chem. Soc., 115, 19, pp.8706-8715 (1993)



**都築 俊満** 1999年、大阪大学大学院工学研究科物質化学専攻博士課程修了。同年、トヨタ自動車入社。2002年、NHK入局、放送技術研究所にて、フレキシブルディスプレイの研究に従事。2008年、松山放送局、2010年、高知放送局、2013年、放送技術研究所、博士(工学)。正会員。