

湾曲ディスプレイ

中川直紀* 吉本崇広*
 藤野俊明** 有田研二***
 山縣有輔*

Curved Display

Naoki Nakagawa, Toshiaki Fujino, Yusuke Yamagata, Takahiro Yoshimoto, Kenji Arita

要 旨

アミューズメント機器、自動車、列車等の車載機器、デジタルサイネージ用のディスプレイでは、設置された空間に溶け込みながら、必要な情報を自然に表示するデザイン性に優れた湾曲ディスプレイの要求が高まっている。

ディスプレイを湾曲化するには、プラスチックのような可撓(かとう)性を持つ基板を用いる方法と、ガラス基板を薄板化することで曲げを可能にする方法がある。特に、通常のプロセスでLCD(Liquid Crystal Display)パネルを形成後、ガラス基板を薄板化する方法は、従来の製造技術が流用でき、低コストで、高い信頼性を持つ湾曲ディスプレイを実現する最も有力な方法である。

薄型LCDパネルによる湾曲化する際の課題は、ガラス基板の機械強度の確保と、表示むらの抑制、湾曲したLCDパネルの保持方法である。薄型湾曲LCDパネルの機械強度を低下させる最大要因は、薄板化したマザーガラスから、個別のLCDパネルに切断する際にガラスの切断面に生じるクラックである。この開発では、切断プロセスパ

ラメータを最適化することで、クラックのない切断面を実現し、パネルの破壊歪(ひず)み量を従来の1.4倍まで改善、曲率半径200mmまでの湾曲化を可能にした。また、湾曲時に発生する表示むら対策として、液晶注入プロセスを最適化することで、液晶の偏りを抑制し、パネル両端部のセルギャップを均一化した。さらに、TFT(Thin Film Transistor)アレーの配線下部にシールド電極を形成することで、基板ずれによる光漏れを防止し、コントラスト500を達成した。

湾曲化した薄型LCDパネルを安定的に保持するために、あらかじめ湾曲化した保護板にLCDパネルを挟みこむモジュール構造を開発した。これらの技術を適用して、17.5型縦凹湾曲LCDモジュールと、9.0型縦凸湾曲LCDモジュールを試作し、産業用、車載用LCDモジュールに必要な機械強度を満足でき、製品化検討が可能なレベルにあることを実証した。



| 仕様 | 試作サンプル |
|-----------|---------------------------|
| サイズ/解像度 | 17.5型/WXGA(1280×768) |
| ガラス基板 | 0.2mm厚 |
| タイプ/曲率半径 | 縦凹型/300mm |
| 視野角 | 上下140° 左右160° NWモード |
| コントラスト | 500 |
| バックライト/輝度 | CCFL/300cd/m ² |

17.5型縦凹湾曲LCDモジュール

WXGA : Wide Extended Graphics Array
 NW : Normally White



| 仕様 | 試作サンプル |
|-----------|--------------------------|
| サイズ/解像度 | 9.0型/WVGA(800×480) |
| ガラス基板 | 0.2mm厚 |
| タイプ/曲率半径 | 縦凸型/400mm |
| 視野角 | 上下160° 左右160° NBモード |
| コントラスト | 700 |
| バックライト/輝度 | LED/400cd/m ² |

9.0型縦凸湾曲LCDモジュール

WVGA : Wide Video Graphics Array
 NB : Normally Black

湾曲LCDモジュール

薄型LCDパネルによる湾曲LCDモジュールの試作機と仕様を示す。

1. ま え が き

LCDを中心とするフラットパネルディスプレイは携帯電話などのモバイル用途から、車載、産業用、テレビ、デジタルサイネージ用に幅広く用いられている。これらディスプレイでは、高精細化や、高画質と並行して、狭額縁化や、薄型、軽量化が急速に進んでいる。また、近年のディスプレイに対するニーズはますます多様化しており、デジタルサイネージ用途として、駅構内などの柱への設置が容易なプラズマチューブディスプレイ、アミューズメント向けや、ゲーマー向けとしてプロジェクション型ディスプレイを応用した没入型ディスプレイ、プラスチック基板等の樹脂基板で形成された曲げ可能な自由形状ディスプレイなどの様々な形状のディスプレイに関する研究開発が進んでいる⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

特に、アミューズメント機器や、自動車、列車等の交通機器では、設置された空間に溶け込みながら、必要な情報を自然に提供する、デザイン性に優れた湾曲ディスプレイへの要求が高まっている。このような中で、三菱電機では湾曲ディスプレイの実現を目的として湾曲LCDの研究開発を行っている。

2. 液晶パネルの湾曲化

2.1 湾曲化方法

LCDパネルを湾曲化する方法として、主に、**図1**に示すような3つの方式が研究開発されている。形状の自由度が高い方法は、従来のガラス基板に代わり、プラスチックなどの樹脂基板を用いる方法である。これには、プラスチック基板上に、直接、アクティブ素子であるTFTアレーを形成する方式(**図1(a)**)と、通常ガラス基板上にTFTアレーを形成した後、素子を剥離(はくり)し、プラスチック

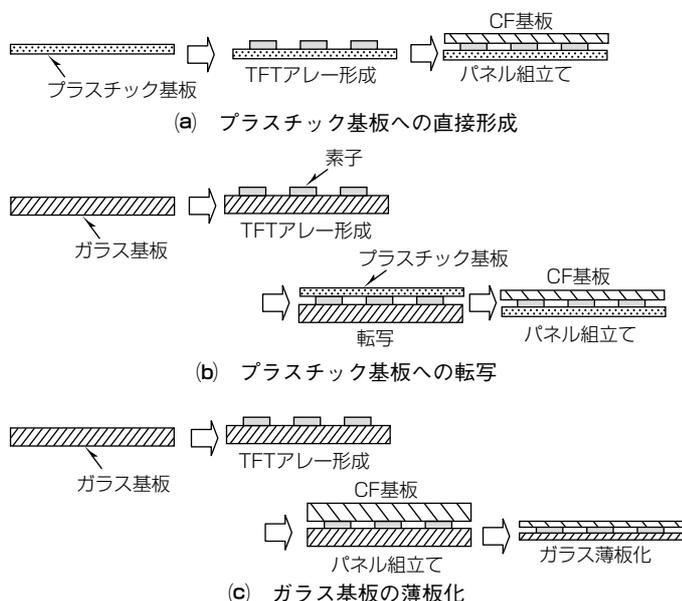


図1. LCDパネルの湾曲化方法

ク基板に転写する方式(**図1(b)**)がある。

プラスチック基板によるLCDパネルは、曲げ性能や軽量性に優れるが、製造工程における課題が多い。直接、TFTアレーを形成する方式では、製造工程中の基板の撓(たわ)み、膨潤、デバイス完成後の耐湿性に課題がある。また、基板の耐熱性が低いため、プロセス温度に制約があり、TFTの信頼性に課題を残し、実用化されていない。TFTアレーをプラスチック基板に転写する方式では、素子の形成温度に制約がないため、信頼性の高いTFTを形成できるが、ガラス基板からの素子の剥離や転写プロセスの難易度が高く、製品化に至っていない。

第3の方式は、通常ガラス基板を用いて、従来プロセスでLCDを形成後、0.2mm厚程度までガラスを薄板化する方法(**図1(c)**)である。通常LCDに用いる0.5mm厚から0.7mm厚のガラス基板では曲げることができない。しかしながら、厚さを0.2mmまで薄板化すると、割れることなく、比較的容易に湾曲化することが可能となる。湾曲可能な最小曲率半径 ρ とガラス基板の厚さ t の関係を式(1)に示す。

$$\rho = t / \varepsilon \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 ε はガラス基板の破壊歪みである。

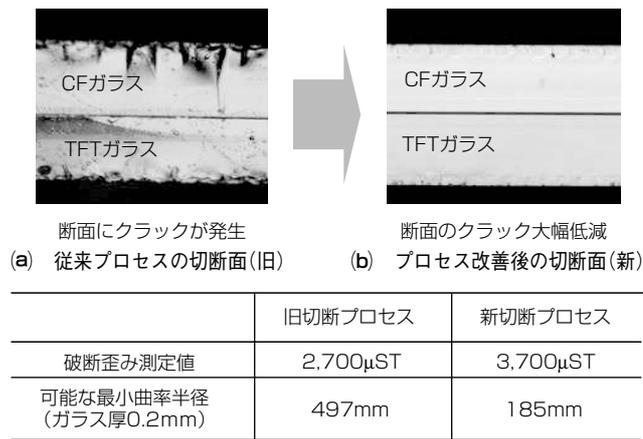
2.2 ガラス薄板化

LCDパネルに可撓性を持たせて湾曲化が可能な状態にするためには、ガラス基板の厚さを薄くする必要がある。しかし、薄板ガラス基板に直接、TFTアレーや、CF(Color Filter)を形成する方法は、プロセス中のガラス基板の撓みのため、製造が難しく量産は困難である。そこで、今回の湾曲ディスプレイの開発では、パネル組立てが完了した後にガラス基板をエッチングで薄板化する方式を用いた。

2.3 ガラス強度の改善

ガラス基板の薄板化による湾曲LCDの重要課題は、薄板化ガラスの機械強度の確保である。ガラス基板本来の曲げに対する破壊歪みは大きく、30,000 μ ST程度であることが知られており、目標とする曲率半径200mmは十分に可能である。しかし、実際のLCDパネルでは、切断面のクラックを起点とする破壊が低歪み領域から発生し、湾曲化を困難にしている。破壊の原因となる切断面を詳細に観察すると、**図2**に示すように、従来の切断プロセスでは、切断面に多くのクラックが発生しており、破壊強度低下の原因になっていることが判(わか)る。そこで、薄板ガラスの切断プロセスを最適化することによって、切断面のクラックの発生を大幅に抑制した。その結果、パネルの破壊歪みは2,700 μ STから3,700 μ STに約1.4倍改善され、実現可能な曲率半径も約500mmから約200mmへと大幅に改善できた。このようにして、パネル切断プロセスを改善した結果、薄板化したLCDパネルを湾曲化した際に発生するガラス割れを抑制することが可能となった。

◇ 一般論文 ◇



ST : Strain

図 2. 切断プロセスの改善と曲げ可能な曲率半径

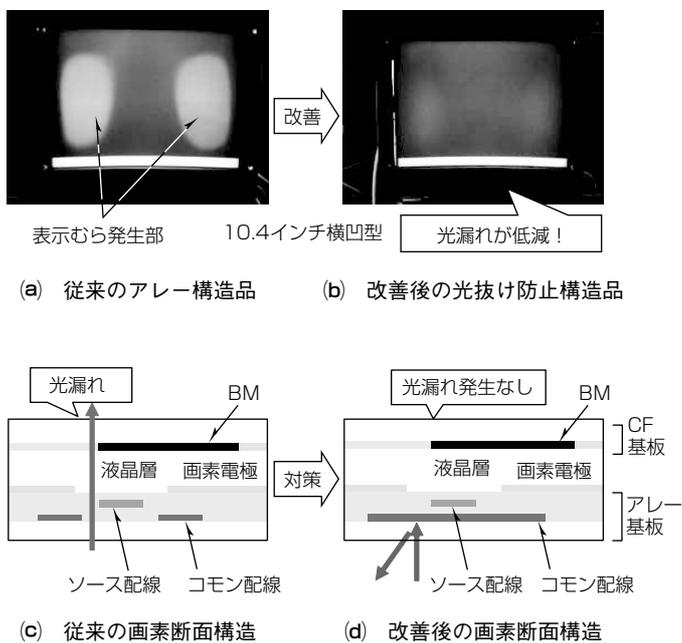


図 3. 配線シールド構造による光抜け改善

2.4 表示むらの改善

薄型LCDパネルを湾曲化すると、図3に示すように表示むらが発生した。表示むらが発生している領域の光学特性を詳細に評価した結果、TFTアレー基板とCFガラス基板との間の位置ずれが生じていることが判った。2枚のガラスを重ね合わせているLCDパネルでは、湾曲化すると、その内周と外周の差によって、位置ずれが発生する。このずれによって、液晶の配向の乱れているTFTアレーの配線近傍の領域が、BM(Black Matrix)で遮光されずに光が透過し、表示むらが発生する。このような場合、通常、BMエリアを広げることで、光抜けの発生を防止する。しかし、単にBM領域を広げるだけでは、開口率の低下を引き起こす。そのため、TFTアレーの配線領域の下層に遮光層を設ける構造を採用した。これによって、パネルの開口率を低下させることなく光抜けを改善できた。

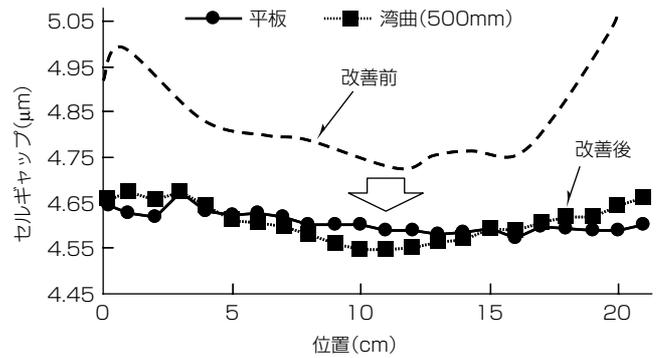


図 4. セルギャップの測定結果

もう一方の表示むらの原因は液晶層のギャップむらである。LCDは、TFTアレー基板とCF基板との間に形成されるセルギャップに液晶を挟むことで光の透過を制御している。そのため、セルギャップが変化すると光学特性が変化し、コントラストの低下によって、表示むらとなる。湾曲した状態でのセルギャップの評価結果を図4に示す。従来のパネルでは、パネル両端のギャップが増大し、コントラスト低下の原因となっていた。パネルに注入されている液晶が、湾曲化する際に加わる応力によって偏ることが原因と考えられる。液晶の偏りを防止するためには、液晶セルのギャップを保持するスペーサや、注入液晶量を適正化する対策が有効である。湾曲LCDでは、ギャップむらを抑制するため、液晶の注入後に封止を行う際、LCDパネルを加圧し、余分な液晶の量を取り除く対策を行った。これによって、湾曲時のセルギャップ変動が $\pm 0.2\mu\text{m}$ 程度から、平板のLCDと同程度の $\pm 0.06\mu\text{m}$ まで改善した。先に述べた光抜け対策を加えて、ギャップむら対策を行うことで、コントラストを100から500に改善した。

3. 湾曲ディスプレイモジュールの開発

3.1 縦凹型湾曲ディスプレイモジュール

ガラス基板を薄板化し湾曲化させる方式では、LCDパネルの保持固定がモジュール設計の課題である。外部応力や衝撃等が発生しても破壊せず、高い表示品質を保つモジュール構造を開発する必要がある。そこで、堅牢(けんろう)性、耐環境性、高信頼性が要求される車載用や産業用LCDモジュールで採用が始まっているガラスボンド構造を湾曲LCDのモジュールに応用した新モジュール構造を開発した。開発したモジュールの組み立て図を図5に示す。

まず、薄板化したLCDパネルを、あらかじめ目標の湾曲形状に成型した支持母体となる透明保護板に貼り付ける。次に、その上にもう一枚の保護板を設置して固定することで、サンドイッチ構造のパネルユニットに組み立てる。さらに、このパネルユニットをあらかじめ湾曲化したバックライトユニットに取り付けて、リヤフレームなどでカバーし、モジュールが完成する。パネルユニット化することで、

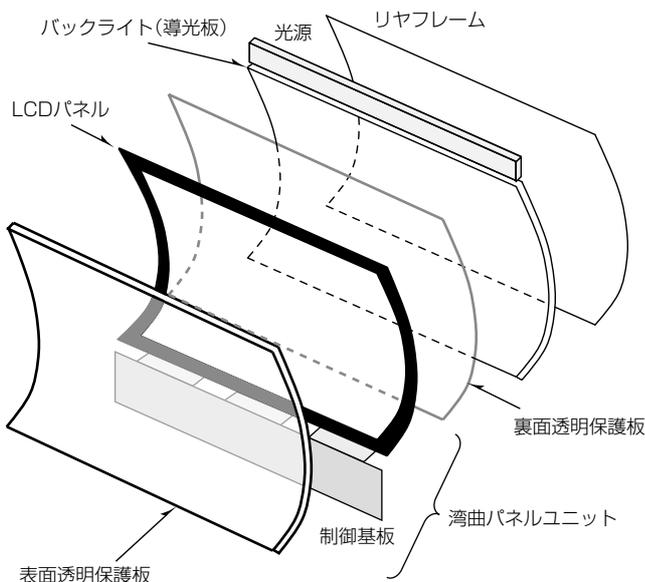


図5. 湾曲LCDのモジュール構造

その後の薄型LCDパネルの取扱いが飛躍的に改善でき、しかも、外部応力や衝撃に対しても強く、産業用や、車載用の機械強度試験に耐えることができる。

図6にこの構造を用いて試作した17.5型凹形状の湾曲LCDモジュールとその仕様を示す。モジュールを薄くするために、バックライトの導光板も湾曲化し、モジュール全体を湾曲形状にすることで、機器への搭載性を高めた。

また、アミューズメント用途の湾曲形状のディスプレイとして、9.0型凸形状の湾曲LCDモジュールを試作した。試作した湾曲モジュールの仕様を図7に示す。凸形状の場合には、凹形状より広い視野角性能が要求されるため、液晶のモードを広視野角モードに変更し、視野角特性、コントラストを改善した。また、長寿命化のために、CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) に替えて、LED (Light Emitting Diode) バックライトユニットを湾曲化し、適用した。

4. む す び

LCDパネルのガラス基板を薄板化することで可撓性を付与した凹型、凸型の湾曲ディスプレイを開発した。まず、薄板ガラスの切断プロセスを最適化することで、破断歪みを改善して、湾曲化によるガラス割れの発生を抑制した。次に、LCDパネルを湾曲化することで生じる基板間のずれによる光抜けと、ギャップむらによるコントラストの低下をパネル構造と製造プロセスを高度化することで改善した。さらに、実際の機器への組み込みを想定して、パネルをあらかじめ湾曲した保護板に貼り付ける構造のモジュールを開発し、機械強度試験や信頼性試験でガラス基板割れの発生しない実製品に適用可能なLCDモジュールを実現した。



| 仕様 | 試作サンプル |
|-----------|---------------------------|
| サイズ/解像度 | 17.5型/WXGA(1280×768) |
| ガラス基板 | 0.2mm厚 |
| タイプ/曲率半径 | 縦凹型/300mm |
| 視野角 | 上下140° 左右160° NWモード |
| コントラスト | 500 |
| バックライト/輝度 | CCFL/300cd/m ² |

図6. 試作した17.5型縦凹湾曲LCDモジュール



| 仕様 | 試作サンプル |
|-----------|--------------------------|
| サイズ/解像度 | 9.0型/WVGA(800×480) |
| ガラス基板 | 0.2mm厚 |
| タイプ/曲率半径 | 縦凸型/400mm |
| 視野角 | 上下160° 左右160° NBモード |
| コントラスト | 700 |
| バックライト/輝度 | LED/400cd/m ² |

図7. 試作した9.0型縦凸湾曲LCDモジュール

参 考 文 献

- (1) 吉野勝美, ほか: 液晶とディスプレイ応用の基礎, コロナ社 (1994)
- (2) ディスプレイデバイス事業委員会: FPDガイドブック, 電子情報技術産業協会 (2009)
- (3) 松本正一 編著: 液晶ディスプレイ技術—アクティブマトリクスLCD—, 産業図書 (1996)
- (4) 日経マイクロデバイス別冊フラットパネル・ディスプレイ2000, 日経BP社 (1999)
- (5) 川田 靖: 曲がる大型TFT-LCD, 月刊ディスプレイ, 9, No.3, 74~76 (2003)