

# Chapter 1

---

FPD 動向 / SID2019 レポート

シアン、マゼンタ、イエロー、ホワイトの4色の帯電顔料により、従来のカラー電子ペーパーに比べて、1.5倍以上の反射率と数倍以上の色再現域を実現し、32,000色の表示が可能となった。PCやスマートフォンから簡単にPOPの表示内容を切り替えることができ、作業の大幅な効率化が期待できる。

電子ペーパーは表示の維持に電力を必要としないため、店内装飾で用いる際には、電源コンセントの確保、電源コードの取り回しが不要である。使用期間が終わると廃棄される従来のPOPと異なり、表示内容を切り替えることで継続的な使用を実現した。



図1.7 世界初のフルカラー電子ペーパーを使用したデジタルPOPのプロトタイプ  
【凸版印刷社資料】

## 2. SID2019概要

Display Week 2019はアメリカ San Jose McEnergy Convention Centerで5月12日から17日まで開催された。12日にSunday Short Course, 13日にBusiness ConferenceおよびMonday Seminars, 13日からSymposiumおよび展示会が開催された。参加者数は約8,000人と思われる。

今年のトピックスとしては、8K OLEDやTFT-LCD、フォーダブル、ローラブル、マイクロLED、ミニLEDバックライトを用いたローカルディミング、量子ドット(QD)および車載用HMIディスプレイなどの最新技術が紹介された。

ここでは、SID2019のトピックスとして、FPD技術ロードマップとKeynote(基調講演)およびソニー社のレーザーアドレスによるフルカラーのリライタブルシートを紹介する。なお、Symposiumの論文および展示詳細は各章に委ねる。

### 2.1 FPD技術ロードマップ

IHS Markit社のCharles A. Annis氏から“Roadmapping Strategies for Rapidly Diversifying FPD Applications and Manufacturing Technologies”(Session 55-1)と題した講演が行われた。以降にその概要を引用して示す(訳著者)。

1990年代半ば以降、フラットパネルディスプレイ(FPD)業界は急速で、かつ主に右肩上がりの成長を辿ってきた。この成長段階の大部分にわたって、FPDの応用と製造技術のロード

マップに関する主な傾向を予測することは比較的容易であった。

パネルを製造するために使用されるマザーガラスのサイズは一貫して増大し、工場はより生産的になり、パネルコストは減少した。この好循環によりノートパソコンが実用化され、デスクトップモニターとテレビの両方でブラウン管(CRT)がTFT-LCDに急速に置き換えられた。2010年頃、スマートフォン市場の急成長と AMOLED の商品化により、ディスプレイの製造が大幅に複雑化した。図 1.8 に FPD 技術ロードマップを示す。応用製品の拡大に伴って、新規ディスプレイ、デバイス、部材の開発および実用化が進むものと予測される。

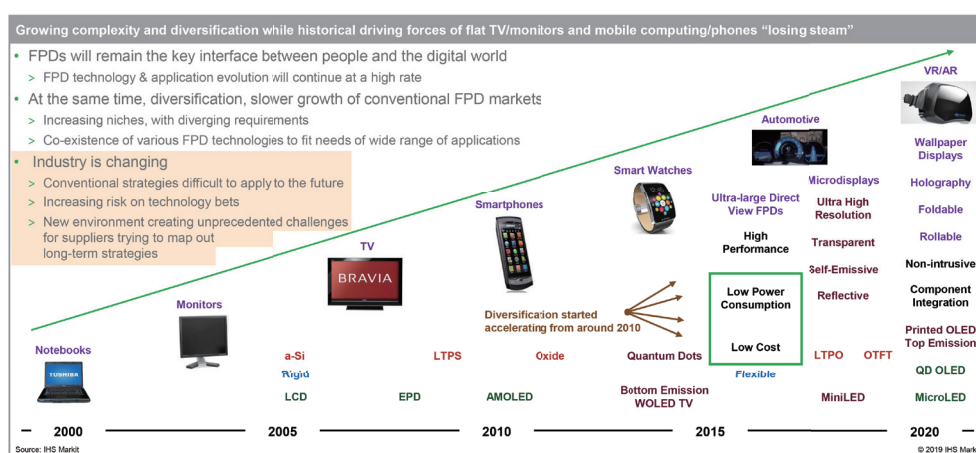


図 1.8 FPD 技術ロードマップ【IHS Markit 社資料】

多様化する要求に応じてニッチな用途が増えるであろう。しかも、幅広い用途のニーズに対応するための様々な FPD 技術が共存すると思われる。したがって、戦略立案は今まで以上に難しくなることが予測される。図 1.9 に FPD 装置予測と生産能力推移を示す。

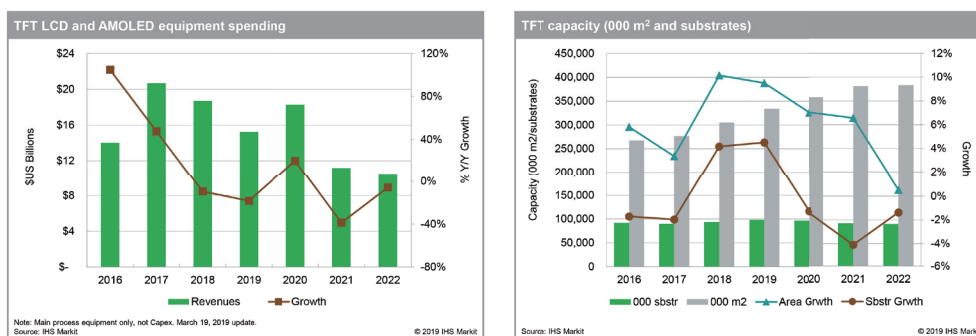


図 1.9 FPD 装置予測と生産能力推移【IHS Markit 社資料】

## Chapter 3

---

進化を続ける TFT-LCD

## 2. 有機TFT駆動フレキシブルTFT-LCD

コンバーティングテクノロジー総合展が、東京ビックサイトで2019年1月30日から2月1日まで開催された。1月30日に開催されたセミナー「フレキシブルを可能にする要素技術の変遷とその未来」からFlexEnable社のPrincipal Technology Transfer SpecialistであるSharijil Siddique氏の講演“Materials & Processes for Curved Organic LCD (OLCD)”の概要を以下に引用して紹介する<sup>2)</sup>。

### 2.1 FlexEnable社とOLCD

英国ケンブリッジに本社があるFlexEnableは、プラスチックエレクトロニクスの技術集団であり、650以上の特許を有している。2018年、中国のTruly Semiconductors社とOLCDの技術移転およびライセンス契約に署名した。FlexEnableはフレキシブルディスプレイとセンサ向け有機エレクトロニクスの開発および産業化のリーダーであり、Truly Semiconductors社は中国の大手ディスプレイメーカーの一社である。

高性能・低コストな製造工程によって製造されるOLCDは、大面積、低コスト、高輝度の長寿命フレキシブルディスプレイを供給できる唯一のディスプレイ技術である。曲げ半径20 mm以下が可能なOLCDは、コンシューマエレクトロニクス、スマートホームアプライアンス、自動車、デジタルサイネージなど、幅広いアプリケーションで市場ニーズに対応している。

OLCDは、FlexEnableのフレキシブル低温有機薄膜トランジスタ(OTFT)バックプレーン技術をベースにしている。これは、TAC(Triacetylcellulose)、PET(Polyethylene terephthalate)などのローコストプラスチック基板を用い、既存のa-Si TFT-LCD製造ラインで製造できる。

OTFTバックプレーンは、a-Si TFTよりも電気的性能が優れているので、プラスチックLCDにガラスベースのLCDと同等のディスプレイ品質と信頼性を付与できる。しかも、薄く軽量で表面は飛散防止になる。

### 2.2 OLCDの材料と加工技術

FlexEnableのOLCDについては、SIDやIDWで講演されているので聴講された方も多いと思われる。ここでは、講演タイトルにあるようにOLCDの材料と加工技術を中心に紹介する。

## 2.2.1 材料

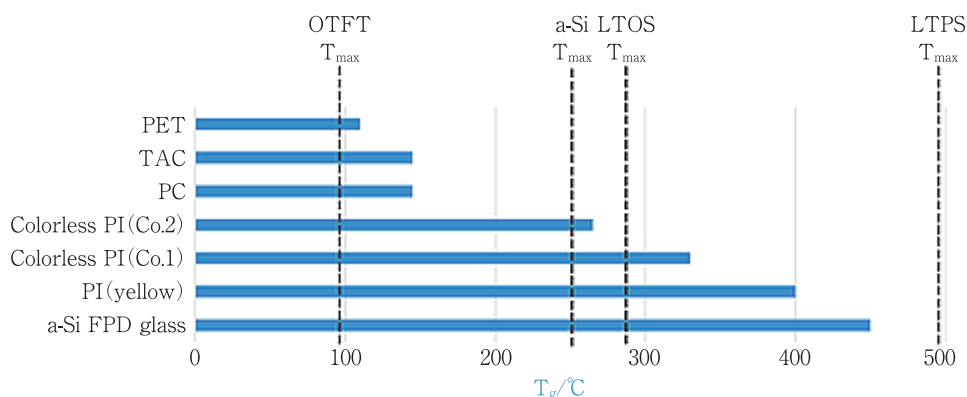
図3.16に曲面LCDの開発事例を示す。この事例で用いられている TFT はポリイミド上の無機 TFT か TAC 上の有機 TFT (OTFT) である。OTFT のプロセス温度は無機 TFT に比べ低温化が可能なことから、コストおよび性能に有意性がある。図3.17にプラスチック基板(ガラス転移温度  $T_g$ ) と TFT のプロセス温度を示す。図から、①  $T_g$  は TFT プロセス温度よりも十分に高くなければならない、②従来のポリイミド PI (フレキシブル OLED の場合黄色) は  $T_g$  が高いが、光学的には LCD には適していない、③無色の PI 材料は  $T_g$  が低いが時間の経過とともに改善する可能性が高い、といえる。



- All approaches involve either Inorganic TFT on PI, or OTFT on TAC
- Organic processing temperatures much lower than inorganic – better cost and performance

<http://informationdisplay.org/IDArchive/2011/February/DisplayMarketplace/FlexibleDisplays/Samsung.aspx>  
<https://technologyflex.com/588457/display-dynamics-jdi-to-start-mass-production-of-flexible-lcds-in-2018>  
<http://www.flexenable.com/newsroom/press-release-flexenable-announces-breakthrough-in-manufacturability-cost-and-performance-for-flex/>

図3.16 曲面LCDの開発事例【FlexEnable社資料】



- $T_g$  must be sufficiently higher than the TFT processing temperature.
- 'Conventional' PI (for flex OLED, yellow in colour) has high  $T_g$ , but is optically not suitable for LCD.
- Colourless PI materials have lower  $T_g$  – though will likely improve over time.

図3.17 プラスチック基板(ガラス転移温度  $T_g$ ) と TFT のプロセス温度【FlexEnable社資料】

## 4. SID2019展示会から

### 4.1 mini LEDと量子ドット(QD)を用いたUHD 4K HDR LCD

AUO社はmini LEDと量子ドットを用いた32" UHD 4K HDR LCDを展示した(図3.40)。このディスプレイの仕様は、以下の通りである。輝度，コントラスト比，色再現範囲および視野角とも AMOLED に比べ優れていることがわかる。

|                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| Resolution              | : UHD 4K 3,840×2,160                  |
| Brightness              | : 600 Nit(typical), 10,000 Nit (peak) |
| Color Gamut             | : 100% NTSC                           |
| Contrast Ratio          | : > 1,000,000 : 1                     |
| Viewing Angle (U/D/L/R) | : 89°                                 |
| Diming Zone             | : 1,152 zones                         |



図3.40 mini LEDと量子ドットを用いたUHD 4K HDR LCD【展示会場で著者撮影】

### 4.2 レーザーバックライト用いた8K TFT-LCD

JDI社は、17.3" 8K 120 Hz駆動のIPSモードTFT-LCDを展示した。画素数7,680×RGB×4,320(8K)，解像度510 ppi，色再現範囲BT.2020，フレーム周波数120 Hzである。バックライトにはレーザーを用いてBT.2020の仕様をクリアした(図3.41)。

TFT-LCDの色再現範囲を広げるために、量子ドットを用いたLCD TVなどが商品化されているが、BT.2020をクリアできるのはレーザーバックライトといわれている。

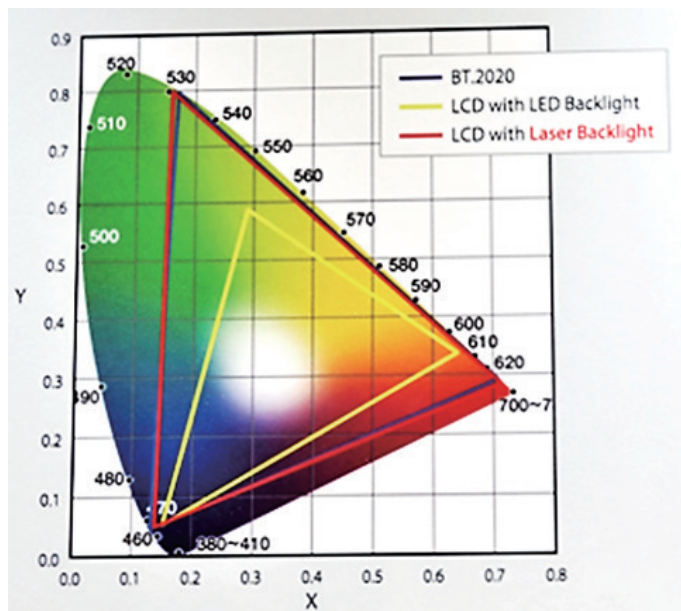


図3.41 JDI社のレーザーバックライトを用いた17.3" 8K 120 Hz IPS-LCD【展示会場で著者撮影】

### 4.3 ワイヤグリッド偏光板を用いたミラーディスプレイ

AUO社はナノワイヤグリッド偏光板(WGP)を用いたミラーディスプレイを展示した。WGPはナノインプリント技術を用いて作製した。8"のマスターモールドを用い、継ぎ目なしのタiling技術で15.6"ミラーディスプレイを開発した(図3.42)。この大きさは世界初である。透過率は、従来の偏光板とハーフミラーを組み合わせたものに比べ2倍明るい。WGPは無機偏光板の一種で、厚みは $0.5\mu\text{m}$ 以下と超薄型である。ミラーディスプレイの仕様は、解像度 $3840 \times 1080$ 、輝度400 Nit、コントラスト比1,000:1、WGP偏光度20,000、WGP透過率86.6%、WGPミラー反射率45%以下である。

## Chapter 4

OLEDの進展を支える高機能材料と製造技術

## 2. バリアフィルム&封止材料

### 2.1 フレキシブルOLED用耐熱バリアフィルム

OLED製造工程においては200℃以上の熱処理が望まれる工程があり、その観点からフレキシブル有機EL用耐熱バリアフィルムの開発が求められる。山形大学は倉敷紡績社が開発した200℃以上の耐熱性を有する「EXPEEK<sup>®</sup>(エキスピーク)」フィルムを用いたフレキシブル有機EL用バリアフィルムの研究開発を進めている。

#### (1)「EXPEEK<sup>®</sup>」の特長

二軸延伸PEEK(ポリエーテルエーテルケトン)樹脂フィルムであり、ポリイミドと同等の耐熱性( $T_g$ :320℃)を有する。耐薬品性に優れ、着色・濁りを抑えた良好な視認性(透明性の高さ)を有し、低熱収縮である。

#### (2) 主な技術成果

耐熱フィルム「EXPEEK<sup>®</sup>」上にバリア層を形成し、フレキシブルOLEDデバイスに適用した。その結果、OLED製造工程における低温化プロセス技術が不要(従来の有機EL製造プロセスが適用可能)であることを実証できた。さらに、バリア層付き耐熱フィルム「EXPEEK<sup>®</sup>」のバリア性評価し、フレキシブルOLEDデバイスへの適用技術を開発した。

図4.16にデバイス構造例を、図4.17にフレキシブルOLEDデバイス試作例を示す。

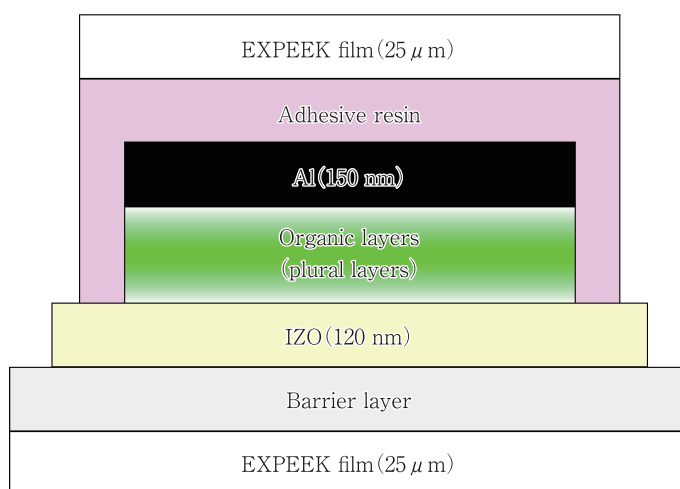


図4.16 フレキシブルOLEDデバイス構造例【山形大学資料】

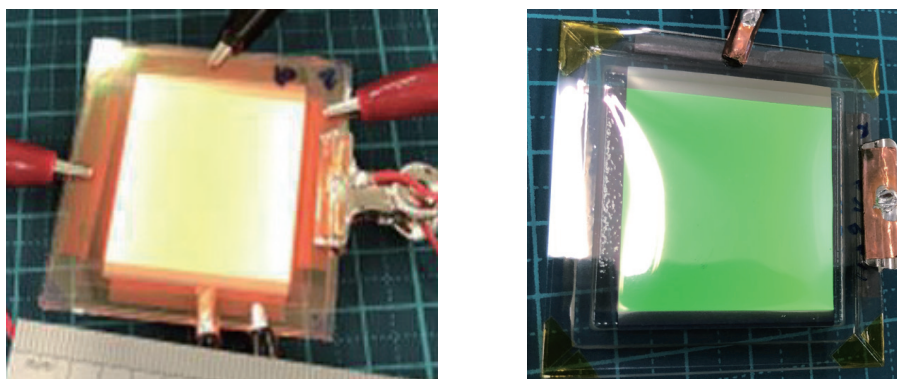


図4.17 フレキシブルOLEDデバイス試作例【山形大学資料】

## 2.2 OLED用ラミネート封止技術

山形大学は新しい簡便なOLEDデバイス用封止技術として、ラミネート型封止技術の開発を味の素社/味の素ファインテクノ社と連携して推進している。

技術の特徴は、デバイス側面からの水分侵入(サイドリーク)を阻止する樹脂技術を用いた封止基板「AFTINNOVA™ EF」を用い、シンプルなデバイス構成、簡便なプロセスを確立している(図4.18)。さらに、「AFTINNOVA™ EF」による応力緩和効果によりフレキシブル有機EL屈曲時の欠陥発生を抑止する。

主な技術成果としては、Ca腐食法にて、60℃ /90% RH 保存条件で8,000時間の封止性を実証し、WVTR(Water Vapor Transmission Rate) :  $10^{-6}$  g/m<sup>2</sup>/day 台(60℃ /90% RH) を実現した(図4.19)。フレキシブルOLED試作品に適用例を図4.20に示す。

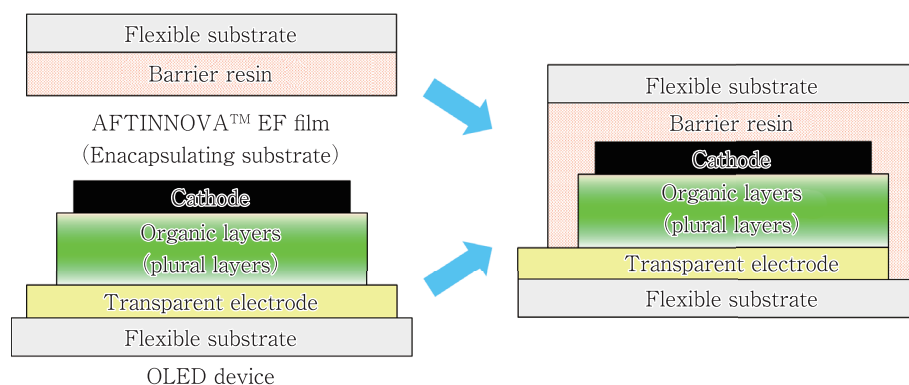


図4.18 「AFTINNOVA™ EM」フィルムによるデバイス構造【山形大学資料】

## 3. Light Polymers社のOLED用塗布型円偏光板

SID2019 Market Focus Conference on Foldable DisplayでLight Polymers社のDirector Sergey Fedotov氏から“Lyotropic Liquid Crystal Materials for Optical Enhancement of the Next Generation of Foldable and Rollable Displays”と題した講演があった。ここではその概要を引用して紹介する<sup>3)</sup>。

### 3.1 OLED用円偏光板

図4.21に円偏光板付きOLEDのデバイス構造と円偏光板による反射防止の原理を示す。同図上に示すように、円偏光板は標準の直線偏光板と、位相差特性を逆分散させた「1/4波長板」補償フィルムの2種類のフィルムから構成されている。

OLEDディスプレイにおける円偏光板の機能は、OLEDパネルの鏡のような表面からの光の反射を排除し、ディスプレイのコントラストを改善することである。

折り畳み式OLEDディスプレイの課題は、劣化することなく数十万回の曲げサイクルに耐えることができ、ディスプレイ設計を補完するのに十分薄い偏光子材料を見つけることである。

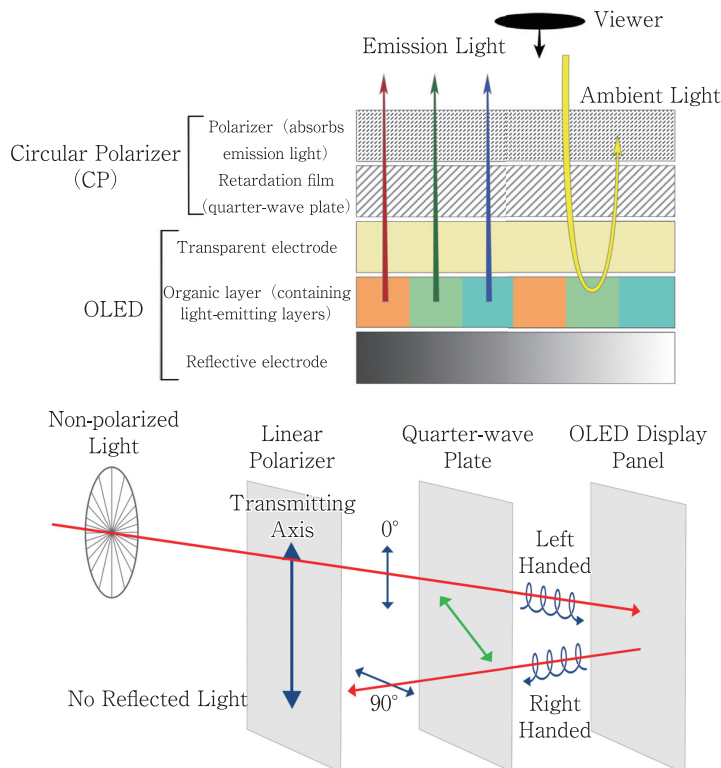


図4.21 OLED用円偏光板【Light Polymers社資料】

## Chapter 5

---

マイクロLEDはどこまでできたか

スケーラブル、かつシームレスなディスプレイを実現するために欠かせないディスプレイタイトル間の精密な機械的組み立てと色/輝度の調整法も開発した。これらの技術により、クリスタルLEDディスプレイシステムはこれまで以上に没入感のある視覚的体験を提供する。

## 1.6 著者所見

独創的なアイデアと開発力で高画質の没入感を体験できるビデオウォールの実現は、大いに評価される。マイクロLEDとマイクロICによるアクティブマトリックス駆動で、PWMを実現した。しかも、120 Hzのリフレッシュレートで超高速のビデオ応答を実現することで、遅延や動画はやけのない画像を再現できる。継ぎ目なしのタイリング技術で、大画面化、アスペクト比の自由な組み合わせで柔軟なフォーマットの実現に役立つ。

なお、このクリスタルLEDディスプレイシステムはSID2019のDisplay Industry Awards に選ばれた。

## 2. マイクロLED製造技術

マイクロLEDの製造技術に関する最新動向について紹介する。

### 2.1 Veeco Instruments社のマイクロLED製造技術

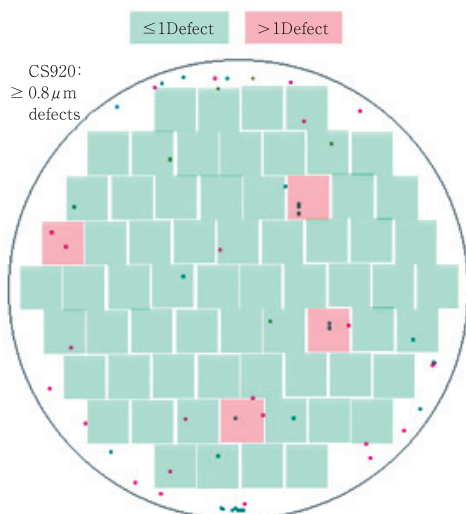
2018年に、Veeco Instruments社のChristopher Morath氏より“Epitaxy requirements for Micro-LED Display”と題して同社のマイクロLED製造技術に関する資料が発表された<sup>3)</sup>。以下に、発表内容を引用して紹介する。

Veeco Instruments社の垂直回転ディスク「TurboDisc™」テクノロジーは、マイクロLEDディスプレイのニーズを満たすのに理想的である。6” サファイアバッチの場合、「EPIK™ 700」バッチプラットフォームは、低い欠陥率と高い均一性で、14×6” バッチサイズにおいて高い生産性を有する。EPIKはアルキルおよび水素化物源が熱境界層の外側に注入されるため、その場での洗浄を行わずに100回以上の運転が可能であり、低欠陥性を維持することができる。

図5.12にスマートフォンとテレビの場合における、代表的なEPIKウエハの欠陥マップを示す。QHDスマートフォンの場合、ドナーフィールドサイズは $0.92 \text{ cm}^2$ であり、カラー欠陥サイズは約 $1 \mu\text{m}$ であるのに対して、4K TVではドナーフィールドサイズは $10 \text{ cm}^2$ 、カラー欠陥サイズは約 $3 \mu\text{m}$ である。どちらのアプリケーションにおいても、EPIKは90%以上の欠陥収率を達成することができる。

(a) QHDスマートフォンに対する欠陥率

Veeco EPIK-Defectivity yield for smartphone  
 $3 \times 3 \mu\text{m}^2$   $\mu\text{LED}$   $\rightarrow 1 \mu\text{m}$  killer defect size



94% Yield (62 of 66 Fields)

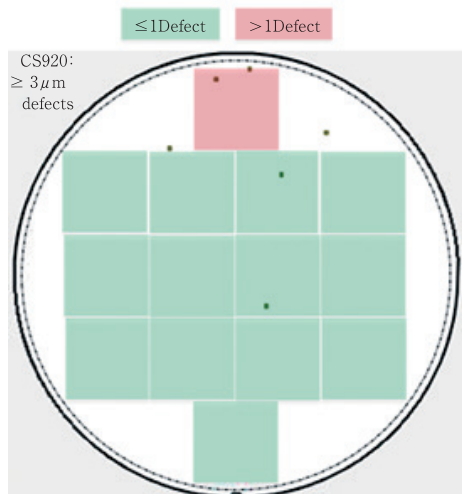


Display assumptions:

- QHD resolution (2,560 × 1,440)
- $3 \times 3 \mu\text{m}^2$  LED size
- $2 \mu\text{m}$  street width
- $\rightarrow 0.92 \text{ cm}^2$  Epi donor field per color

(b) TVに対する欠陥率

Veeco EPIK-Defectivity yield for TV  
 $9 \times 9 \mu\text{m}^2$   $\mu\text{LED}$   $\rightarrow 3 \mu\text{m}$  killer defect size



93% Yield (13 of 14 Fields)

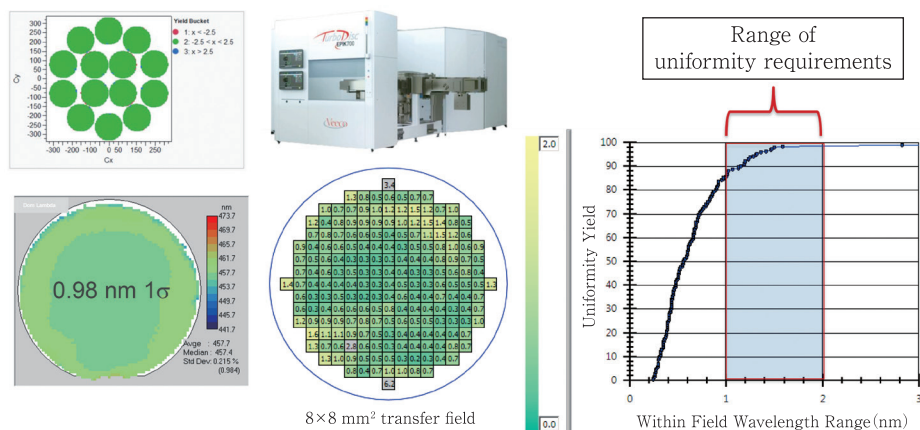


Display assumptions:

- 4K2K resolution (3,820 × 2,160)
- $9 \times 9 \mu\text{m}^2$  LED size
- $2 \mu\text{m}$  street width
- $\rightarrow 10 \text{ cm}^2$  Epi donor field per color

図 5.12 スマートフォン/テレビの場合に代表的な EPIK ウエハの欠陥マップ  
 【Veeco Instruments 社資料】

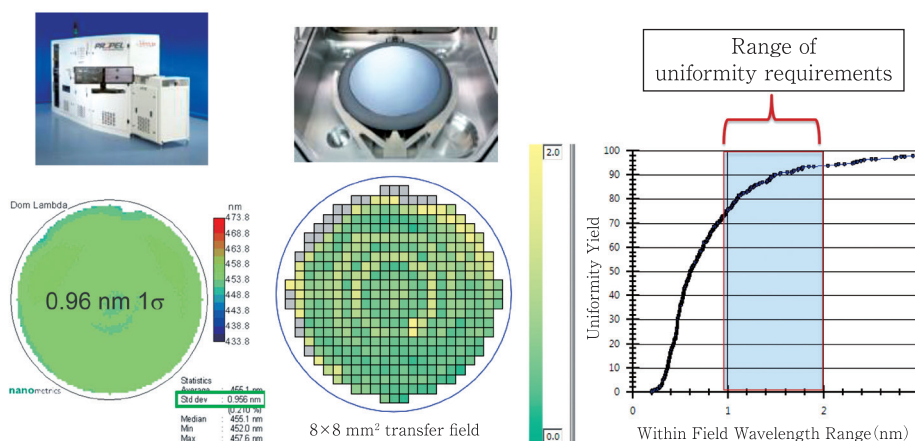
典型的な $8 \times 8 \text{ mm}^2$ 転送フィールドを使用した $14 \times 6"$ バッチサイズに対する青色LEDの波長均一性マップを図5.13に示す。1~2 nmの均一性範囲において80%の歩留まりを達成することができる。



Veeco EPIK can achieve > 80% uniformity yield for  $\mu$ LED Display

図5.13  $14 \times 6"$ バッチサイズに対する青色LEDの波長均一性  
1~2 nmの均一性範囲にわたって、歩留まり80%を達成【Veeco Instruments社資料】

図5.14にALLOS Semiconductor社と提携して達成されたVeeco Instruments社の「Propel™」枚葉式MOCVDシステムを用いて製造した8"シリコンウエハに対する青色LEDの波長均一性を示す。



Veeco Propel can achieve > 80% uniformity yield for  $\mu$ LED Display



図5.14 8"シリコンウエハに対する青色LEDの波長均一性  
1~2 nmの均一性範囲にわたって、歩留まり80%を達成【Veeco Instruments社資料】