

平成29年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「高性能有機TFTを実装した超大型サインージ技術の開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局 関東経済産業局

補助事業者

株式会社オルガノサーキット（法認定中小企業・研究実施機関）

国立大学法人東京大学（事業管理機関・研究実施機関）

目 次（例）

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

○研究開発の背景：超大型サイネージの社会的インパクト

2000 年前後から普及を始めたデジタルサイネージも間もなく 20 年を迎え、ますます社会インフラニーズは増してきている(図 1)。ところが、現状のディスプレイでは、一般的な普及に必要な軽量化と低コスト化のいずれも困難なため、これ以上の大面積化は難しく(図 2)、新しい発想のデバイスが求められている。提案者らが保有する革新的な有機半導材料と有機トランジスタ集積回路化技術は、大面積ディスプレイの実現に必要な軽量化と低コスト化を両立できるため、本課題を解決する研究開発を提案する。即ち、高移動度かつ低ばらつきの有機半導体塗布技術と、有機トランジスタ集積回路技術により、画像を表示するためのアクティブマトリックス回路を実現することで、軽量化とフレキシブル性を兼ね備えた大面積ディスプレイを実現する。この大面積ディスプレイは、軽量・フレキシブルのシート状の形態であるため、従来必要だった大型ディスプレイ設置時の事前内装工事や設置工費を大幅に軽減することができ、低コスト化を可能とする。さらに、有機半導体は印刷プロセスにより作製できることから、将来的にはデバイスそのもののコストを下げられることを特徴とする。従って、提案者らの技術をフレキシブルディスプレイに適用すると、デジタルサイネージ分野における大型サイネージ市場(200 インチ超)の創成、普及に直結する大きな社会的・経済的インパクトがある。実際、広告媒体としてのデジタルサイネージの期待も、今後ますます高まり、屋外や店頭、交通機関などに設置されるデジタルサイネージ市場全体は、東京オリンピックイヤーの 2020 年には、2014 年の 2.5 倍強の 2,717 億円規模に拡大すると予想されている(富士キメラ 2015)。



図 1 大面積ディスプレイの例

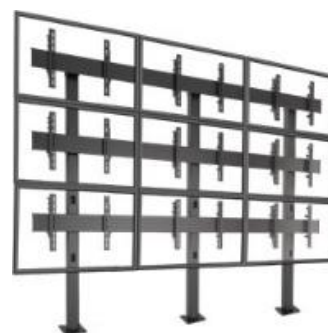


図 2 160 インチ・100kg 超の大面積ディスプレイの裏面模式図

○従来技術での課題：現状の大型ディスプレイ開発の限界

200 インチ超の大型ディスプレイの普及に対する課題は、10 万円/インチ以上のデバイスコストとともに、設置に重機を必要とするなど設置工費が巨額であることと、円筒状の柱など多様な設置形態に対応するフレキシブルディスプレイの実現である。従来のデジタルサイネージ向け液晶ディスプレイは、ガラス基板を用いた真空プロセスをベースにしているため、軽量化には限界があり、また形状は原理的にフラット状に限られる。また、大型液晶ディスプレイの設置には、内装工事を含めると 1,000 万円程度にも達するため、普及への障壁が高い。一方 LED ディスプレイの大型パネルは、ディスプレイ価格は液晶ディスプレイよりもさらに高価であり、重量も 1 桁重いという問題を抱えている。フレキシブルな基板を用

いて曲げられる大型パネルも存在するが、その重量のために鉄板による補強が必要であり、設置工事費用は大型液晶ディスプレイと同等か高価であるのが現状である。これら技術に用いられる、各画素のオンオフを制御する電気回路は、軽量化の限界とフラット形状に限られる課題が存在する。そのため、ディスプレイの軽量フレキシブル化には、アクティブマトリックスと呼ばれる画素駆動回路のフレキシブル化が事実上必須といえる。

提案者らが保有する、革新的な有機半導体材料および有機トランジスタ集積化回路を、上記アクティブマトリックス回路に適用することにより、フレキシブルシート上にLED発光パネルや液晶層を製作することが可能となり、従来よりも20分の1程度の重量のLEDディスプレイが実現でき、重機不要の設置による工費の大幅な低減、軽量フレキシブルの特徴による設置場所の大幅な拡大が見込めるため、大面積サイネージデバイスの拡大普及を牽引する技術となる。従来技術と、本提案技術が拓く変化について図3にまとめる。



図3 従来型大面積ディスプレイの課題(左)およびこれを解決する本事業の構想(右)

○新技術を実現するために解決すべき研究課題

(九) 複合・新機能材料に係る技術に関する事項

1 複合・新機能材料に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

ア. 高機能化

本提案研究において、軽量・フレキシブル・低コストな大型ディスプレイ技術を実現し、大型サイネージを普及させるために、連携する東京大学の研究グループが独自に開発した、印刷可能な高性能有機半導体技術を用いたアナログ・デジタル信号処理回路の技術とフレキシブルな基板上の印刷プロセス技術の研究成果をベースに、これらをフレキシブル基板上に実装し、シート状の画素スイッチデバイスとして機能させるための技術を開発し、実用化の道を拓く。

解決すべき第一の研究課題は、大型のLEDパネルを駆動するためのフレキシブルアクティブマトリックスを開発することである。これまで、現状の大型LEDパネルは、大型でフレキシブルのアクティブマトリックスを安定して生産する技術がないため、TFTが不要なパッシブ駆動を採用しており、回路の大型化によってさらなる重量の増加につながっていた。これに対し、本提案では、印刷法によるシート状高性能有機TFTアレイを安定して製造するプロセスを確立して、本課題を解決する。また、TFTアレイの不良素子を交換することができる、独自技術「ラミネーション実装」を提案し、パネル全体としての歩留まりを大幅に向上させる工夫を行うことにより、実用化時期の加速を目指す。

次に、大型パネル化を容易にし、設置コストを下げるためのモジュール化とモジュール間接続を可能にする製品設計を実現する課題がある。大型サイネージパネルについて、設置場所や公告に最適な場所

の制約があるため、自由にサイズを規定できることが望ましい。そこで、50cm 角程度のモジュールを構成し、モジュール間の接続には、連続画像表示が可能のように、シームレスに接続する技術を開発する。電気接点を兼ね備えたボタン式の連結部のような形態で、工具なしにモジュールの固定と電氣的接続を可能とする構成を発案する計画である。

最後に、高性能の TFT アレイが LED 画素を駆動するための低コストの周辺回路を設計し、フレキシブル基板上に実装する。LED 駆動に必要な大電圧対応のドライバ回路はこれまでに存在しないため、本研究グループが保有する有機半導体 CMOS 技術を適用し、新規に開発する。

以上の研究課題を解決することで、高性能有機半導体技術による軽量・フレキシブル・低コストな大型ディスプレイ技術を世界に先駆けて実現することを目指す。

○これまでの実績

有機半導体デバイスは、軽量で柔軟性を持った薄い電子デバイスを低コストで生産することが可能である。東京大学の竹谷教授(申請会社 CTO)の研究成果である、従来材料より 1 桁以上の性能である移動度 $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える、印刷可能な有機半導体材料と印刷塗布技術は、従来の有機半導体の課題であった低性能・不安定性を解消し産業利用への道を切り開くものであり、世界的に注目を集めた(図 4)。

これらの有機半導体技術をベースとして、本提案の事業機関であるオルガノサーキット社を設立し、協同してフレキシブル大面積の電子デバイス製品を実現する研究開発を行っており、世界でいち早く印刷半導体回路を実用化することが目されている。本事業に関する、具体的な保有シーズは以下のとおりで、いずれも世界トップのレベルにある。

① 「塗布結晶化法」による世界最高速の印刷できる有機半導体回路集積技術

提案者らの研究グループが独自に開発した「塗布結晶化法」は、有機半導体を溶液で塗布すると同時に結晶化させて膜にすることができ簡便な手法である。フィルム基板上に一様な p 型及び n 型の有機単結晶薄膜を成長し、チャンネル長 $5\mu\text{m}$ の有機トランジスタからなる高速化回路設計によって、 26.5 kHz の NFC 規格速度の有機 CMOS-DFF 回路の製作に成功している(図 5)。

さらに、約 100 個のトランジスタより構成される集積化にも成功し、8 ビットの情報処理を実証した。集積化に適した多数の同じ特性のトランジスタを製作できる、フレキシブル基板上のプロセスを確立していることから、有機アクティブマトリックスへの応用に見通しを得ている。

② 印刷できるアクティブマトリックス

本研究グループは、IGZO など現行の高性能アクティブマトリックスに匹敵する、低コスト印刷法を用いたアクティブマトリックスの開発にいち早く成功し、すでにガラス基板上でのプロセスを確立している。本研究で用いる有機半導体材料は、高移動度、高耐熱性、化学的安定性、印刷プロセス適合性を兼ね備えた、数少ない実用化可能な高性能有機半導体材料である。図 6 に示したように、この材料を用いて、移動度 $15\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の超高移動度と素子間の低い性能バラツキ (1.5%) を両立することが可能である。



図 4 2012 年日経新聞記事

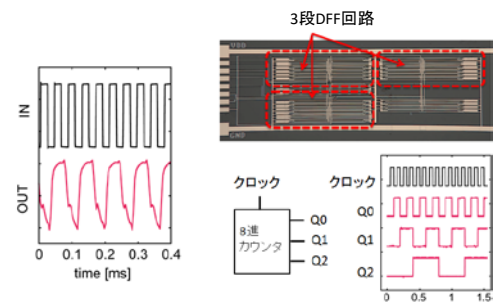


図 5 塗布結晶化法を用いて作製した有機 CMOS-DFF 回路とデジタル信号応答特性

素子間の均一性はアクティブマトリックスには必須であるため、この事実は、本単結晶トランジスタが、他の有機半導体の追従を許さない優位性を有することを意味する。

申請者はこれらシース技術の実用化研究の目的で、竹谷教授グループと共同で、有機単結晶 TFT の単素子と同程度の移動度を有する、世界一高速のアクティブマトリックス駆動液晶ディスプレイパネルを開発した実績を有する。具体的には、高移動度の印刷できる上記単結晶有機トランジスタをパターンニングし、マトリックス化することにより、10 cm 角程度の大きさで、8 倍速駆動する液晶ディスプレイパネルの製作に成功しており、nanotech2012 プロジェクト賞を受賞するなど、極めて高い評価を得たものである(図 7)。従って、画素駆動用デバイスの製作準備は整っている。

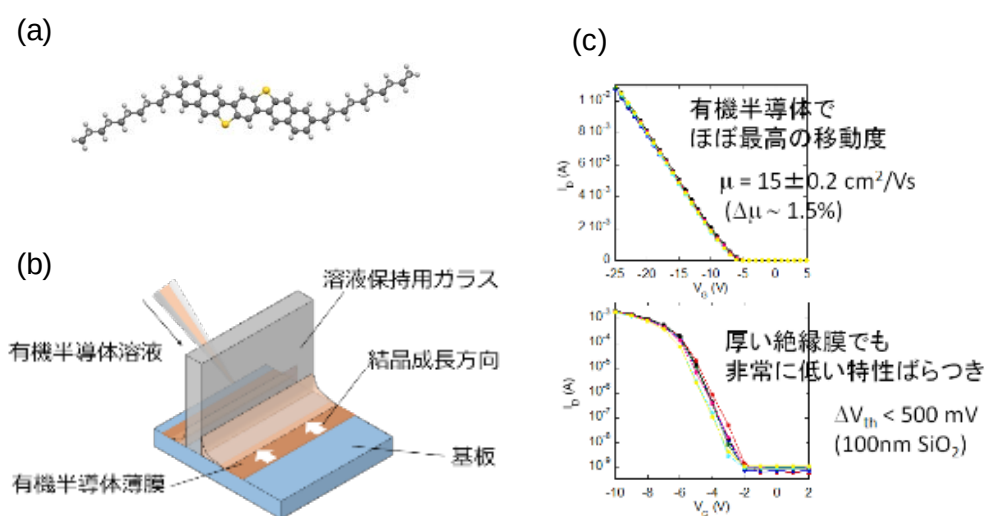


図 6 有機半導体の実用化を可能にするコア技術：高性能有機半導体材料(a)、塗布結晶化法(b)、高性能・高安定なトランジスタ特性(c)

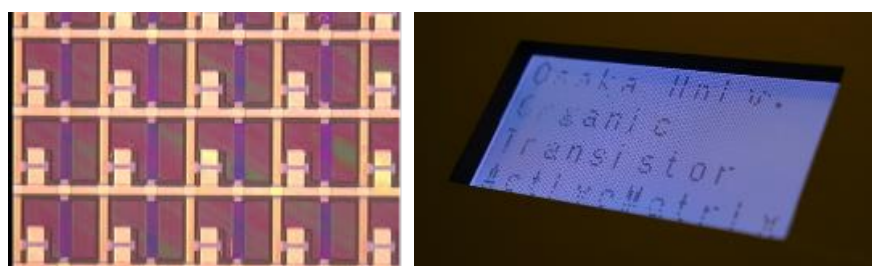


図 7 有機単結晶 TFT で形成したアクティブマトリックスの画素電極拡大図(左)と有機アクティブマトリックスで駆動する液晶ディスプレイ(右)

③ 歩留まりを大幅に向上させるラミネーション法による実装方式

超大型フレキシブルディスプレイ上面に分散して配置される画素の一部分に有機 TFT を実装する課題がある。画素表示デバイスのほうが画素の面積の大半を占めるため、有機半導体単結晶を必要とする面積は限られていることに着目し、大型サインージデバイスに必要な駆動用回路を小面積に形成することを計画した。そのため、アドバイザーのパイクリスタル社より大面積フレキシブル基板上にシールのように

貼りあわせる実装法（ラミネーション実装：特許出願済み）の実施許諾をうけ、10 cm 角程度の基板上に高性能の有機 TFT を集積して形成(図 8)したので、各 TFT を切り出し、発光・表示部に貼り合わせることが可能となる。

加えてフィルム基板を貼り合わせて配線を接続するフレキシブルデバイスチップの積層技術(特許出願済：特願 2015-027013)や、ラミネーション実装の基礎となる技術(特許出願済：特願 2015-085644)を有する。

これらの研究実績は、本研究の課題である印刷技術による大型デジタルサイネージの開発の基礎となっている。また、本研究で提案するフレキシブルマトリックスセンサを実現するための実装技術は、オルガノサーキット社が東京大学より実施許諾を得ている。このような実績を基に、本研究を確実に遂行する実力を有する研究体制である。

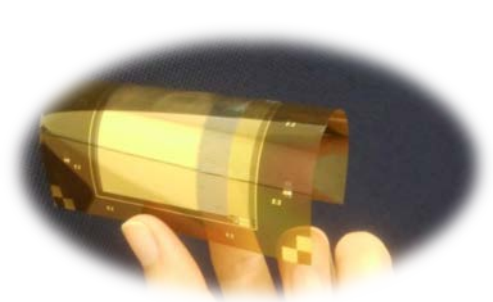


図 8 フレキシブル基板上に作製した有機アクティブマトリクス回路試作品

○他の研究開発動向

従来の a-Si TFT 技術を用いたディスプレイにおいては、高温・真空処理が必須なためディスプレイの大型化において、製造コスト面に大きなハンディがある。ベースとするガラス基板以上の大きさのディスプレイは作れない難点もある。現状の超大型ディスプレイパネルの分野では、LED を画素とするものと複数の液晶ディスプレイを組み合わせたものがあるが、いずれの場合も画素制御の TFT は固体半導体を使用しているため製造コストが高止まりする。また重量が大きくなるため、筐体等のディスプレイ全体の部材コストも大きくなる。

本提案技術によれば高温・真空処理なしで TFT が製造できるためこれに必要なコストは低く抑えられる。また高温が不要なので軽量フレキシブルな基板が使用でき、ディスプレイ全体の部材コストも低くできる。さらにフレキシブルであることによって、構造物の曲面に合わせてディスプレイを設置することが可能であるため、設置コストを低く抑えられることと美観を損ねないという大きなメリットにつながる。

表 1 従来技術と提案技術の比較

	大 型 液 晶 (＜100inch)	超大型(＞100inch) LED or 液晶組合せ	提案技術
製造コスト	高い	非常に高い	安い
パネル重量	重い	非常に重い	非常に軽い
フレキシブル性	不可能	不可能	容易
設置コスト	高い	非常に高い	非常に安い
設置場所	場所を選ぶ	場所が限定される	自由度が高い

一方で有機半導体をロールトゥーロールの手法などに適用して、超大型ディスプレイの製造を行うことは原理的に可能である。しかし実際には各画素において微細なパターンニング精度を要求される半導体 TFT 部分の製作精度と十分な駆動性能を実現するのは容易ではない。現在有機半導体 TFT の研究自体は世界各国で進められているが、いまだ、他研究機関では印刷プロセスによる高性能デバイス技術に関して十分な見通しが得られていない。

(目標と評価)

○高度化目標

(九) 複合・新機能材料に係る技術に関する事項

(3) 川下分野横断的な共通の事項

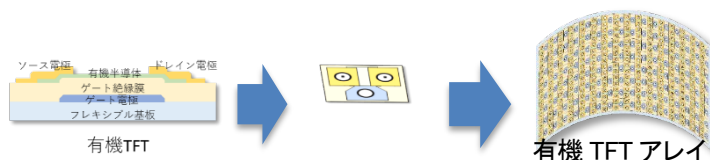
②高度化目標

ア. 高性能・高機能な材料及び複合技術の向上

に対応した、高性能な有機半導体材料およびその印刷プロセス技術をディスプレイ用途に適用することによる、従来の有機半導体技術に対して圧倒的な性能向上と、従来、ソリッドかつ重量物であった大型ディスプレイに対するフレキシブル性、軽量性といった新機能の顕現を目指した。この目標のため、各開発項目につき、下記の技術的目標値を設定し、実際に研究開発に取り組んだ。

【1. 高密度有機 TFT アレイ作製プロセスの開発】 (平成 29 年度～平成 31 年度実施)

フレキシブル基板上に有機 TFT アレイを安定して製作する技術の開発を行う(図 9)。10cm 角の基板上に 300 程度の TFT アレイを形成することを目指して、次に示す課題に取り組む。



【1-1】 フレキシブル基板上の有機 TFT アレイ作製プロセスの確立 (平成 29 年度～平成 31 年度実施)

図 9 有機 TFT の断面図、平面図ならびにフレキシブルフィルム上に形成した有機 TFT アレイ

本項目では、フレキシブル基板上に有機 TFT アレイを印刷技術を用いて作製するプロセスを確立する。フレキシブル基板は、熱膨張率、ガスバリア性や低コスト性の観点から適切な素材を選定する。初年度は 10cm フィルム基板を用いて基本的な作製プロセス条件を構築するとともに、次年度以降の 30cm への大型化に必要な装置開発を行う。次年度以降、30cm 基板への大型化とともに、素子間ばらつきの低減、歩留まり向上をはかる。ベースとなる技術は、東京大学で開発済みの、ガラス基板上の有機アクティブマトリクス作製技術である。フレキシブル基板上への有機 TFT アレイ作製は、東京大学と連携して開発を行う。

【1-2】 有機 TFT アレイ特性評価システムの構築 (平成 29 年度～平成 30 年度)

有機 TFT 特性のばらつき評価と行程中での欠陥検査に必須である、有機 TFT アレイ特性を効率的に評価するシステムの開発を行う。続いて、LED チップを集積した後のフレキシブルディスプレイの表示品質の検査システムの開発を行う。

【1-3】 有機 TFT アレイの歩留まり向上技術の開発 (平成 29 年度～平成 30 年度)

有機 TFT アレイのプロセス中のリスクとして、静電破壊や断線による歩留まりの低下が懸念される。これら想定されるプロセスリスクの影響を極小化する回路デザインを工夫するとともに、画素 TFT に欠陥があった場合に、次の貼り合わせ工程の前に排除することを可能にする。これにより、有機デバイスの歩留まりの向上技術開発を待つことなく、早期に事業化することを目指す。

【2. 大型フレキシブル LED パネル製作プロセスの開発】

本項目では、有機 TFT アレイを画素ごとにラミネーション実装し、LED チップをチップマウンターによって配置後に、印刷技術を用いた実装を行い、50cm 角モジュールを作製するプロセスを確立する(図 10)。

【2-1】大面積高速 TFT 実装技術の開発 (平成 29 年度～平成 31 年度)

有機 TFT アレイを 30cm 基板上に多数構成したのちに、個々の TFT 素子を輪転機によってはがし、50cm 角基板にはりつけるラミネーション実装方式により、低コストかつ効率的にアクティブマトリックスを 50cm 角基板上に構成する。印刷技術を用いて、接着剤や導電インクのパターンニングなど、要素技術を開発し、高速かつ高精度に実装および配線を行う実装技術を構築する。

【2-2】フレキシブル LED パネル用モジュールの開発(平成 29 年度～平成 31 年度)

50cm 角基板へ、LED チップをチップマウンターによって配置し、印刷技術をもちいた配線の接続によって実装を行い、50cm 角のフレキシブル LED パネル用モジュールを作製するプロセスを確立する。世代とともに高密度化する LED ディスプレイパネルに適した実装技術を開発する。

【2-3】フレキシブル LED パネル用モジュールの接続技術の開発(平成 29 年度～平成 30 年度)

フレキシブル LED パネル用モジュールを簡便かつ信頼性の高い接続方法を確認する。特に、画像がモジュール間に分断されないように、接続部分が目立たないような工夫が必要であるため、モジュール基板の裏面を用いた配線方法を開発する。

【3. フィルム上周辺回路技術の開発】

有機半導体 CMOS 回路によって、ディスプレイドライバもフィルム化し、【2】で開発した大型フレキシブルディスプレイにモノリシック集積することにより、大面積かつ軽量のフルフレキシブルサインージパネルを実現する(図 11)。

【3-1】有機 CMOS によるディスプレイドライバ用集積回路プロセスの開発(平成 29 年度～平成 31 年度)

近年、東京大学が研究に成功した、移動度が $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える p 型有機半導体トランジスタ及び、移動度 $1.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の塗布法による大気中安定な n 型トランジスタの研究成果を活用し、同じく東京大学が有する有機 CMOS 集積回路化技術に、これら新材料を適用することにより、高速の CMOS 集積回路プロセスを開発する。

【3-2】大面積サインージ用ドライバ回路の設計(平成 30 年度～平成 31 年度)

大面積サインージ用のドライバ回路を設計し、フレキシブル基板上にすべての回路素子を有機半導体を用いて実装したフルフレキシブルサインージデバイスを世界で初めて実現する。

これらの目的および目標に対してフレキシブルディスプレイデバイスを構成する要素技術に対する開発

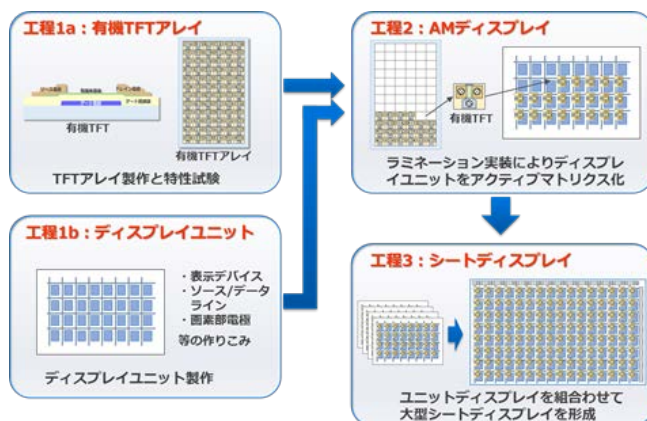


図 10 ラミネーション実装技術のコンセプトおよび大型フレキシブルディスプレイの製造工程

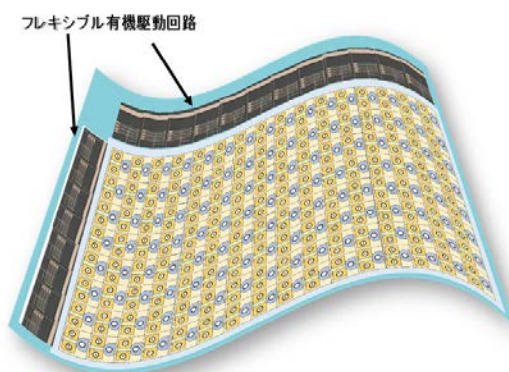


図 11 フレキシブル基板上に作製した有機ディスプレイ駆動回路試作品

や検討を行った結果、最終目標であるのフレキシブルディスプレイデバイスの実現性とその課題を確認することができた。この成果を踏まえて、これらの要素技術を組み合わせたフルフレキシブルサイネージデバイスの製品化に向けた開発に着手することが可能となった。そして、フレキシブルディスプレイデバイスに必要な基本技術および量産技術について個別に検討開発をこおない、十分な成果を得た。そして、動画映像を表示可能なフレキシブルディスプレイデバイスの試作品の作製に成功、フルフレキシブルサイネージデバイスの実現を確認することができた。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

【目標達成のための体制及び役割分担】

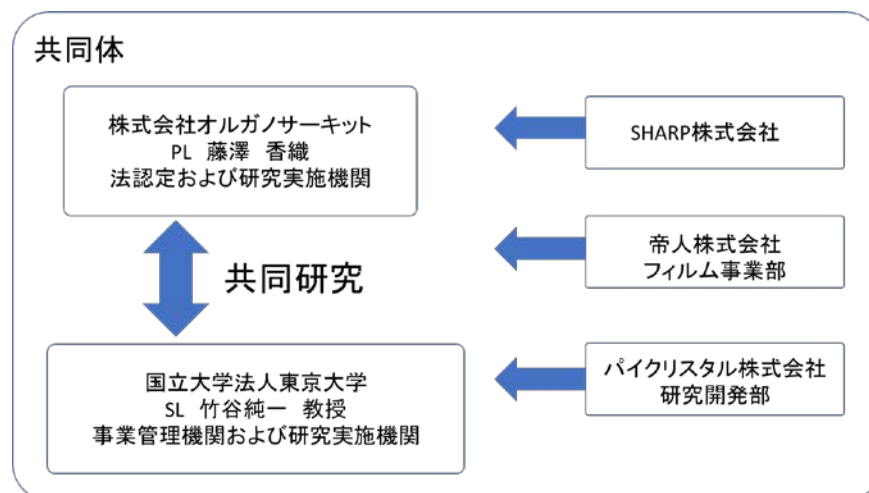


図 12 本提案事業の実施体制

本提案事業は、図 12 に示すように、(株)オルガノサーキットと東京大学との共同研究により実施された。(株)オルガノサーキットは事業全体の管理を行うい、主体となって研究開発を実施する。東京大学は、特に有機半導体の塗布プロセスや、有機アクティブマトリックスおよび有機ドライバ回路の作製プロセス開発を担当した。フレキシブルディスプレイの実現に対してはPLが監修し、有機半導体プロセスに関しては、SLが監修した。

アドバイザーとして参画する SHARP 株式会社には、市場動向、ニーズ変化について適時アドバイスをいただくとともに、本提案事業の事業化に際して、本技術の活用と協業について、市場動向に基づきアドバイスをいただいた。帝人株式会社には、有機回路のベースとなる種々のフィルム材料の検討に際してアドバイスをいただいた。パイクリスタル株式会社には、ラミネーション実装技術についてアドバイス、協力をいただいた。

以上のように、本提案事業の体制は、有機半導体をコアとしたディスプレイデバイスの研究開発および事業化に向けた協力体制により実施された。

1-3 成果概要

開発項目に対し検討・開発を行った結果、下記のような成果が得られた。

【1. 高密度有機 TFT アレイ作製プロセスの開発】

【1-1】 フレキシブル基板上の有機 TFT アレイ作製プロセスの確立

平成 29 年度にて、10cm フィルム基板に 0.75mm 角の TFT アレイの作製プロセスを確立した。10cm フィルム基板に 1mm×3mm 角の TFT アレイの作製プロセスを確立した。輪転プロセス及び配線プロセスの実証のため、TFT サイズを変更した。平成 30 年度にて、30cm フィルム基板に 0.15mm 角の TFT アレイの作製プロセスを確立した。これにより、30cm 角基板のための設備が整ったが、30 cm 用スピンコータのプロセス確立が必要であることがわかった。平成 31 年度にて、30cm フィルム基板の TFT アレイの素子間性能ばらつき 5%以内を目標とし、30 cm フィルム基板に、0.15mm 角の TFT アレイを実際に作成した。それにより、歩留まり 95%の達成、オン電流ばらつきの低減を実現した。(達成率 100%)

【1-2】 有機 TFT アレイ特性評価システムの構築

平成 29 年度にて、有機 TFT の性能および素子間性能ばらつきを評価する手法を構築。光学顕微鏡および電気特性の全数検査手法を構築した。平成 30 年度には、大面積高密度 TFT の測定時間を短縮するため自動評価システムを構築した。プローブカードの導入により、全点測定が可能となり、時間も大幅に短縮された。(達成率 100%)

【1-3】 有機 TFT アレイの歩留まり向上技術の開発

平成 29 年度にて、プロセス中の静電放電破壊対策を施したマスク設計と対策の実証を行い、静電放電対策(タイライン)を行ったマスクにより、静電放電 0 を実現した。平成 30 年度には、TFT の素子間性能ばらつき、不動態を排除してフレキシブル基板に貼り合わせる技術の開発を行った。その結果、TFT の歩留まり 100%、オン電流のばらつき低減を達成した。平成 31 年度にて、TFT の素子間性能ばらつき、不動態を排除してフレキシブル基板に貼り合わせる技術の開発を行い、30cm 角に 100,000 個の有機 TFT を集積したフレキシブルディスプレイモジュールの試作を完了した。(達成率 100%)

【2. 大型フレキシブル LED パネル製作プロセスの開発】

【2-1】 大面積高速 TFT 実装技術の開発

平成 29 年度にて有機 TFT の高速実装を行う方法を検討し、装置設計と製作を行った。自社設計開発したアライメント機構付き輪転機を用いて、有機 TFT を 10 分/回での転写を実現した。平成 30 年度には、有機 TFT アレイを 50cm 角モジュール上に実装する方法と、配線手法を開発した。この手法を用いて有機 TFT アレイを実装したディスプレイモジュールを作製した。平成 31 年度においては、増粘剤増量と補正值解析により歩留まりを改善することでラミネーション実装プロセスの最適化を行い、量産に必要な 1 時間程度のタクトタイムを実現した。(達成率 100%)

【2-2】 フレキシブル LED パネル用モジュールの開発

平成 29 年度において、50cm 角モジュールの内部配線部分の設計および作製、封止技術の開発 (6mmPitch) を行った。3mm Pitch の 50cm 角モジュールの内部配線部分の設計を完了させた。封止技術に関しては材料候補選定までが完了した。平成 30 年度には、50cm 角モジュールへの有機 TFT アレイおよび LED チップの実装、および高密度化検討 (3mmPitch) を行った。37*47cm 角エリアに 3mm ピッチ LED ディスプレイモジュールを作製し、点灯に成功した。平成 31 年度においては、有機 TFT アレイを実装した 50cm 角のディスプレイモジュールを実際に作成し、その点灯に成功した。この手法を拡大することで、大面積用 (10mm Pitch) LED ディスプレイ化も可能であることがわかった。(達成率 100%)

【2-3】フレキシブル LED パネル用モジュールの接続技術の開発

平成 29 年度において、50cm 角モジュールの外部接続の方針検討、設計および作製を行った。フレキシブルケーブル 9 本で外部と接続することとした。原理実証を前倒しするために、映像回路はすべて外部で作製した。平成 30 年度には、モジュール間接続不良を 1% 以下にする設計、作製プロセス開発を行い、モジュール接続部分の設計開発を完了した。平成 31 年度にて開発したモジュール接続部分を用いた 50cm 角のディスプレイモジュールを実際に作成し、その点灯に成功した。(達成率 100%)

【3. フィルム上周辺回路技術の開発】

【3-1】有機 CMOS によるディスプレイドライバ用集積回路プロセスの開発

平成 29 年度にて、既存の液晶ドライバを流用して駆動する方法を考案し、回路シミュレーション等によるドライバ回路設計を完了した。平成 30 年度には、20MHz 級高速有機 CMOS とシフトレジスタの開発を行った。有機 TFT を用いたドライバ回路・昇圧回路の設計と試作を完了した。平成 31 年度において、そのドライバ回路をディスプレイモジュール内に実装した試作品を作成し、映像表示に成功した。(達成率 100%)

【3-2】大面積サイネージ用ドライバ回路の設計

平成 30 年度において、回路シミュレーション等によるスケーラブル画像処理ドライバ設計を完了。動画対応のディスプレイ駆動回路を作製した。平成 31 年度にて、複数モジュールに柔軟な画像表示を実証するため、試作ディスプレイモジュールを 4 枚接続した大画面試作品を作成し、4 枚を 1 画面のディスプレイ画面として映像表示できることを確認した。(達成率 100%)

1-4 当該研究開発の連絡窓口

国立大学法人東京大学新領域創成科学研究科研究交流係

浦田雅子

Tel: 04-7136-5506

Fax: 04-7136-4021

E-mail: k-kenkyu@adm.k.u-tokyo.ac.jp

第2章 本論一（1）

【1. 高密度有機 TFT アレイ作製プロセスの開発】（平成 29 年度～平成 31 年度）

フレキシブル基板上有機 TFT アレイを安定して製作する技術の開発を行った。（図 13）。10cm 角の基板の上に 100,000 個程度の TFT アレイを形成することを目標として、次に示す課題に取り組んだ。フレキシブル基板上有機 TFT アレイ作製プロセスを確立し、フレキシブル基板上有機 TFT アレイを印刷技術を用いて作製するプロセスを確立した。フレキシブル基板を、熱膨張率、ガスバリア性や低コスト性の観点から適切な素材を選定する手法を確立した。

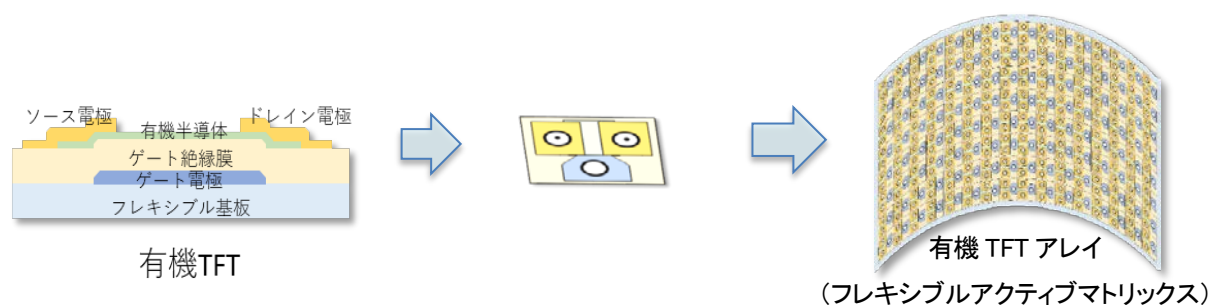


図 13 有機 TFT の断面図、平面図ならびにフレキシブルフィルム上に形成した有機 TFT アレイ

【1-1】 フレキシブル基板上有機 TFT アレイ作製プロセスの確立(平成 29 年度～平成 31 年度)

初年度において10cmフィルム基板を用いて基本的な作製プロセス条件を構築できたので、30cm への大型化に必要な装置開発を行った。そして、30cm 基板への大型化とともに、素子間ばらつきの低減、歩留まり向上を実現した。ベースとなる技術は、東京大学で開発済みの、ガラス基板上有機アクティブマトリクス作製技術である。フレキシブル基板への有機 TFT アレイ作製は、東京大学と連携して開発を行っている。フレキシブル基板上有機 TFT アレイを印刷技術で作製するプロセスを確立すべく、10cm フィルム基板に1mm×3mm 角の TFT アレイの作製プロセスを確立し、輪転プロセス及び配線プロセス

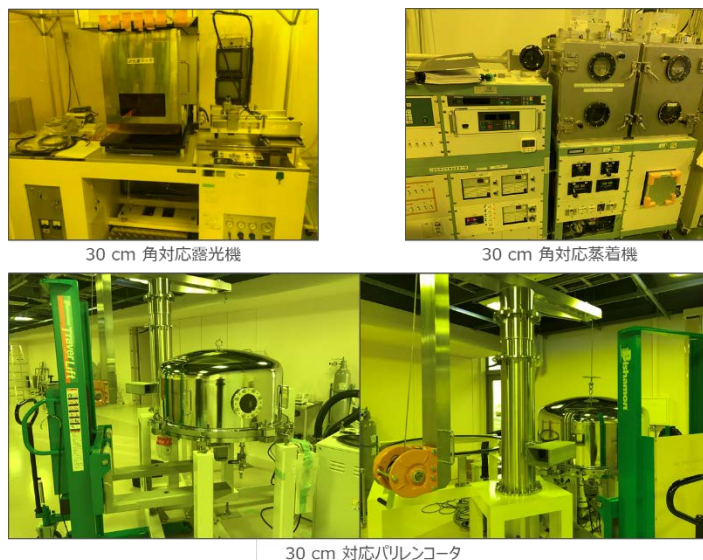


図 14. 30cm 角基板のための設備

実証のため、TFT サイズを変更し 0.75mm 角のデバイスのマスクの研究開発を行った結果を用いて、基板大型化をすべく、30cm フィルム基板に 0.15mm 角の TFT アレイの作製プロセスの研究開発を行った。短冊状に集積して有機 TFT アレイを作製し、後からカットし、転写することで大面積ディスプレイへ効率よく回路を構成する手法で、レーザ照射によりガラスから剥がしレーザにより短冊状に切り出して用いる方法の検討は完了した。これらの研究により 30cm 角基板のための設備が整った(図 14)。最終年度にて、30 cm 用スピンコータのプロセス確立が必要であることがわかったため、プロセス改善を行った。30 cm フィルム基板に、0.15mm 角の TFT アレイを実際に作成し、30cm フィルム基板の

TFT アレイの素子間性能ばらつき 5%以内であることを確認した。この技術開発の結果、フレキシブル基板上の有機 TFT アレイについて歩留まり 95%以上を達成した。

【1-2】 有機 TFT アレイ特性評価システムの構築（平成 29 年度～平成 30 年度）

初年度において、有機 TFT 特性のばらつき評価と工程中での欠陥検査に必須である、有機 TFT アレイ特性を効率的に評価するシステムの開発を行った。オートプローバによる自動測定を構築し、トランジスタの移動度並びにオン電流を評価するシステムを構築した。結果として、89%のトランジスタが LED 駆動に必要な 1mA 前後のオン電流を持つことを確認した。

その結果を用い、平成 30 年度においては測定時間の短縮を図るべく、大面積高密度 TFT の測定時間短縮自動評価システムの開発を行った(図 15)。新規に研究開発を行ったプローブカードの導入により、有機 TFT 特性の全点測定が可能となり、評価と行程中での欠陥検査を行う時間も大幅に短縮することができた。

オートプローバにより、トランジスタのオン電流をマッピング(測定時間: 約6時間)

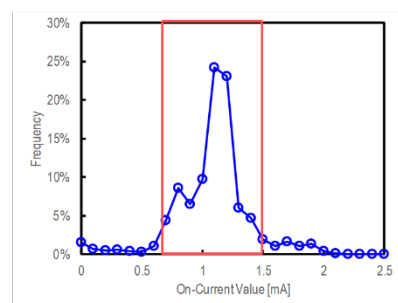


図 15. 評価結果

【1-3】 有機 TFT アレイの歩留まり向上技術の開発（平成 29 年度～平成 30 年度）

初年度にて、有機 TFT アレイのプロセス中のリスクとして、静電破壊や断線による歩留まりの低下が懸念される。これら想定されるプロセスリスクの影響を極小化する回路デザインにより、静電破壊によるロット不良はゼロに抑えることができた。当初、有機 TFT アレイは 50% 以下の歩留まりであったが、最終的には 89% に向上した(図 2)。主な課題は、有機単結晶膜の成膜不良、レーザによるスルーホール形成不良であった。前者は、基板洗浄工程の見直し並びに塗布条件の最適化により解決し、後者は、基板の反りを補償した分割レーザ照射プロセスの導入により解決した。

その研究成果を用い、平成 30 年度では画素 TFT に欠陥があった場合に、次の貼り合わせ工程の前に排除することを可能にすべく、低性能 TFT 素子、不作動素子を排除してフレキシブル基板上に貼り合わせる技術の開発を行った。その結果、TFT の歩留まり 100%、オン電流のばらつき低減を達成した(図 16)。

最終年度においては、【1-1】における製造上の課題であった 30 cm 用スピコートプロセス確立ののち、TFT の素子間性能ばらつき、不動品を排除してフレキシブル基板上に貼り合わせる技術の開発を行い、30cm 角に 100,000 個の有機 TFT を集積したフレキシブルディスプレイモジュールの試作を完了した。30cm 基盤によって作成された有機 TFT アレ

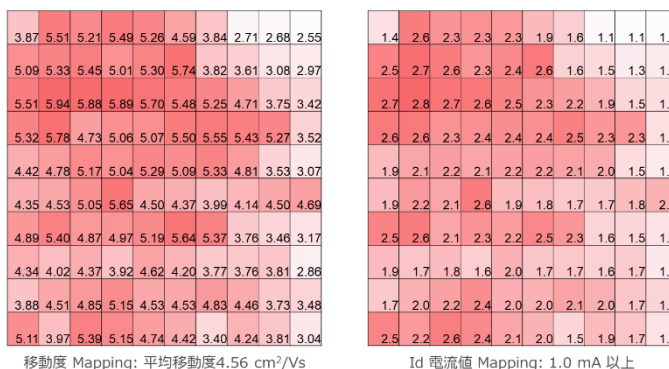


図 16 歩留まり100%達成例

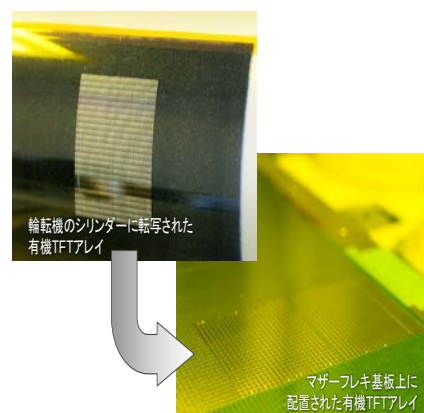


図 17 輪転プロセスによる
有機 TFT アレイの転写結果

イの歩留まり向上を行い、平成 30 年度にて達成した TFT の歩留まり 100%、オン電流のばらつき低減を達成することができた。

【2. 大型フレキシブル LED パネル製作プロセスの開発】

本項目では、有機 TFT アレイを画素ごとにラミネーション実装し、LED チップをチップマウンターによって配置後に、印刷技術を用いた実装を行い、50cm 角モジュールを作製するプロセス開発を行った（図 17）。

【2-1】大面積高速 TFT 実装技術の開発（平成 29 年度～平成 31 年度）

有機 TFT アレイを 10cm 基板上に構成したのちに、個々の TFT 素子を輪転機によってはがし、50cm 角基板にはりつけるラミネーション実装方式により、低コストかつ効率的にアクティブマトリックスを 50cm 角基板上に構成することができるようになった。あらかじめ TFT 素子はレーザカッタにより細断する計画であったが、カット断面部分のポリイミドが炭化し、絶縁不良が発生することが判明したため、物理カッターでカットすることとし、カメラ付きアライメント機構及び回転調整が可能な物理カッターを新規設計し対応した。

平成 30 年度については実装および配線を行う実装技術を構築すべく、有機 TFT アレイを 50cm 角モジュール上に実装する方法と、配線手法開発を行った。その結果、有機 TFT アレイを実装したディスプレイモジュールを作製できた（図 18）。

最終年度において、TFT の素子間性能ばらつき、不動態を排除してフレキシブル基板に貼り合わせる技術の開発を行った。レシピエント転写時または銀配線時に位置ずれが発生する課題について、フレキ基板が設計値から大きく熱収縮していた事が判明（図 19）。スクリーン印刷により、寸法精度の高いフレキ基板の作成をする技術開発を行い、印刷による高い寸法精度のフレキ基板の作成することが可能となった。

ラミネーション実装プロセスについて最適化と実装技術開発を行い、輪転によるずれが発生することが判明。ずれの傾向を検証し、増粘剤増量と補正值解析により歩留まりを改善することで解決した（図 20）。これにより、量産化にとって必要となるタクトタイム 1 時間を実現するための実装技術を実現した。

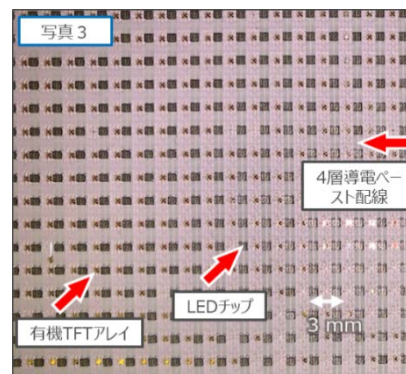


図 18. 3mm ピッチ LED ディスプレイモジュール

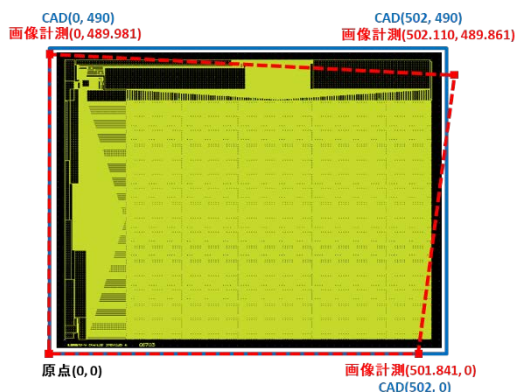


図 19. 熱膨張によるずれの解析結果



図 20 増粘剤増量と補正值解析により歩留まりを改善

【2-2】フレキシブルLED パネル用モジュールの開発(平成 29 年度～平成 31 年度)

50cm 角基板へ、LED チップをチップマウンターによって配置し、印刷技術をもちいた配線の接続によって実装を行い、50cm 角のフレキシブルLED パネル用モジュールを製作するプロセスを確立する。世代とともに高密度化する LED ディスプレイパネルに適した実装技術を開発するため、フレキシブルLED パネル用モジュールの製作プロセス要素技術を開発すべく、50cm 角モジュールの内部配線設計および作製、配線間隔 6mmPitch 対応の封止技術開発を行った。また、前倒して配線間隔 3mmPitch の内部配線設計を完了させている。そして、その結果を用いて、LED パネル用モジュールをLED ディスプレイパネルに実装する技術を開発すべく、配線間隔 3mmPitch で 50cm 角モジュールへの有機 TFT アレイおよび LED チップの実装技術開発を行った。その結果、37*47cm 角エリアに 3mm ピッチLED ディスプレイモジュールを作製し(図 21,22)、点灯に成功した。最終年度にて、10mm ピッチの大面积用 LED ディスプレイモジュールの実現に向けた回路設計および周辺回路接続手法の開発を行った。

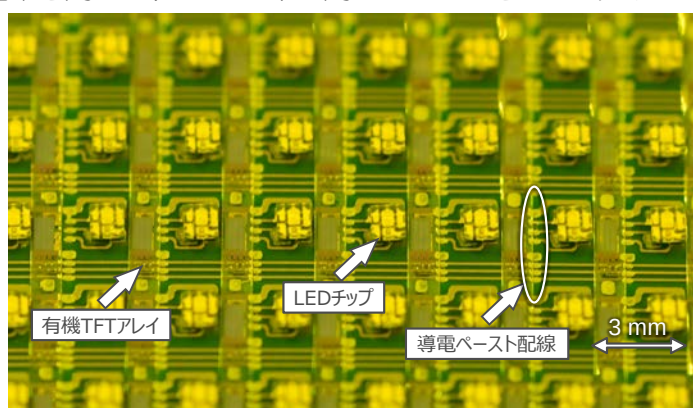


図 21 試作した 3mm ピッチアクティブマトリクス LED ディスプレイ

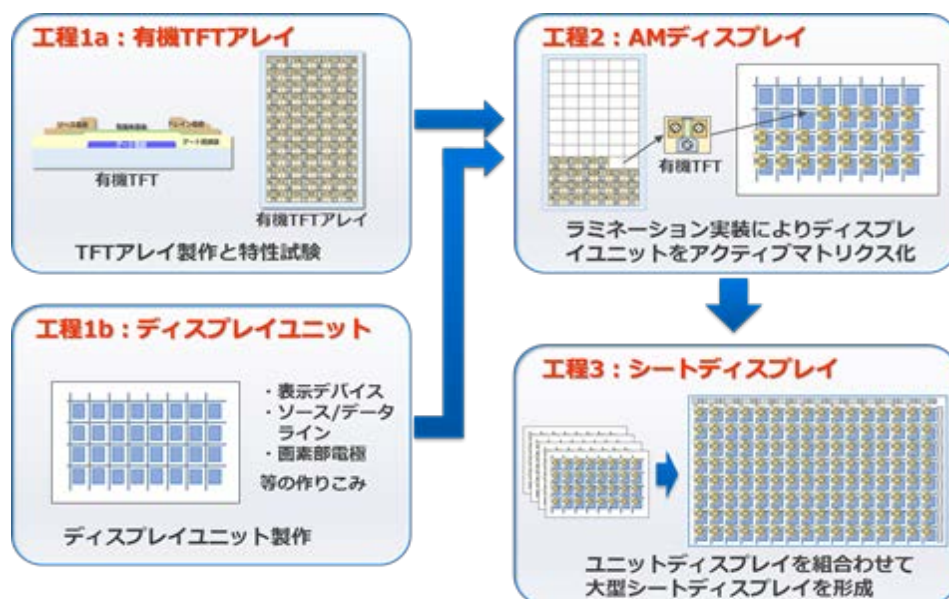


図 22 ラミネーション実装技術のコンセプトおよび大型フレキシブルディスプレイの製造工程

【2－3】フレキシブルLEDパネル用モジュールの接続技術の開発(平成 29 年度～平成 31 年度)

平成 29 年度についてはフレキシブル LED パネル用モジュールの簡便な接続方法を確立すべく、50cm 角モジュールの外部接続の方針開発を行いフレキシブルケーブル9本で外部と接続する（図 23）。

平成 30 年度についてはフレキシブル LED パネル用モジュールの信頼性高い接続方法を確立すべく、モジュール間接続不良を 1%以下にする設計、作製プロセス開発を行った。その結果、モジュール接続部分の設計開発に成功した。

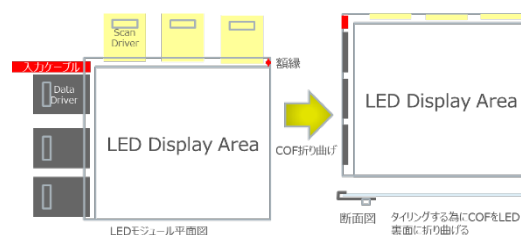


図 23. モジュール接続部分の設計

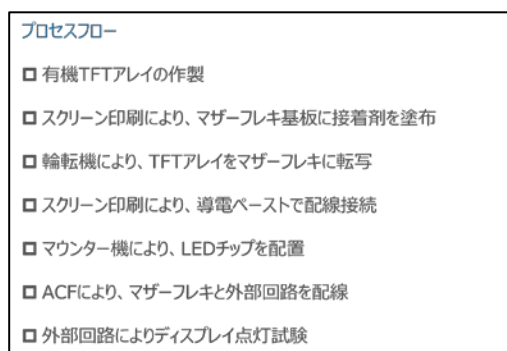


図 24 モジュール接続部分のプロセスフロー

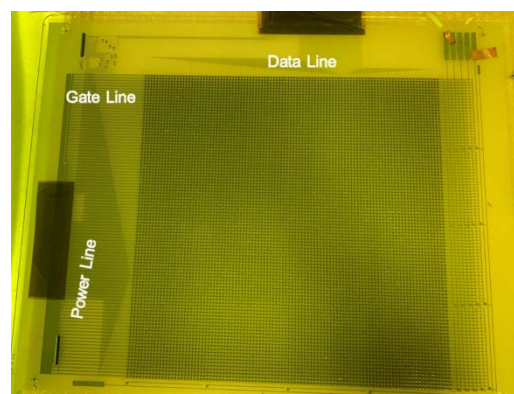


図 25 実際の配線

最終年度は、実際に2モジュールの接続工程を実施して、プロセス適合性の確認を行った。モジュールの接続工程（図 24）を実施して、プロセス適合性の確認実施。設計 CAD データを作成し、試作品の作成（図 25）を行い実際の点灯およびモジュール間接続不良 1%以下を確認できた。この結果、目標を達成できた。

【3. フィルム上周辺回路技術の開発】

有機半導体 CMOS 回路によって、ディスプレイドライバもフィルム化し、【2】で開発した大型フレキシブルディスプレイにモノリシック集積することにより、大面積かつ軽量のフルフレキシブルサインエージパネルを実現するための研究開発を行った。

【3-1】有機 CMOS によるディスプレイドライバ用集積回路プロセスの開発(平成 29 年度～平成 31 年度)

本項目に於いては、近年、東京大学が研究に成功した、移動度が $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える p 型有機半導体トランジスタ及び、移動度 $1.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の塗布法による大気中安定な n 型トランジスタの研究成果を活用し、同じく東京大学が有する有機 CMOS 集積回路化技術に、これら新材料を適用することにより、高速の CMOS 集積回路プロセスを開発する。これまでに高速 CMOS 集積回路プロセスの検証のため回路シミュレーションによるドライバ回路設計開発を行い、既存の液晶ドライバを流用して駆動する方法を考案している。本年度はこの方法を用いた高速 CMOS 集積回路を実現すべく、20MHz 級高速有機 CMOS 回路とシフトレジスタ回路の開発を行い、成功した。さらに、ドライバ回路をフレキシブルモジュールと一体化してに実装するための有機 TFT を用いたドライバ回路・昇圧回路の設計および試作を行った(図 26)。

平成 31 年度において、有機 CMOS によるディスプレイドライバ用集積回路に利用が可能な p 型および n 型の有機半導体の開発、およびその能力測定技術の開発を行った。

東京大学竹谷研究室が持つ有機半導体技術をベースに、ディスプレイドライバ用集積回路に使用する有機 CMOS に最適な n 型有機半導体材料を選択(図 27 上)。この有機半導体をオルガノサーキットの生産技術に適合できるか実証試験を行った。その結果、大気中で長期間安定なデバイス動作が可能であることが示された(図 27 下)。

さらに、当該 n 型有機半導体材料が生産プロセスにおいて必要となる耐熱性を備えているかについて解析し、実用的に必要なとされる耐熱温度である 150 度を超える、160 度でも安定なデバイス特性を実現していることがわかった。これにより、本事業の製品を製造する際のディスプレイドライバ用集積回路半導体材料として利用することができる優れた安定性を持つことがわかった(図 27 中)。

p 型有機半導体として、東京大学竹谷研究室が開発した連続エッジキャスト法による有機半導体をディスプレイドライバ用集積回路として利用するための技術開

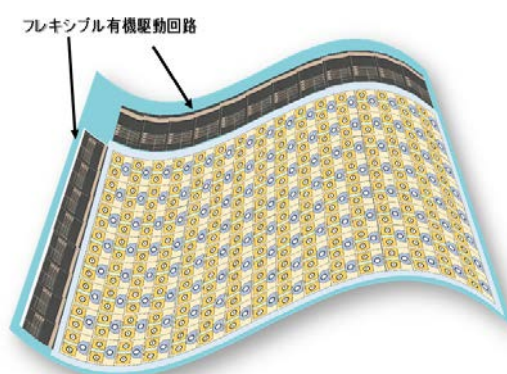


図 26 フレキシブル基板上に作製した有機ディスプレイ駆動回路試作品

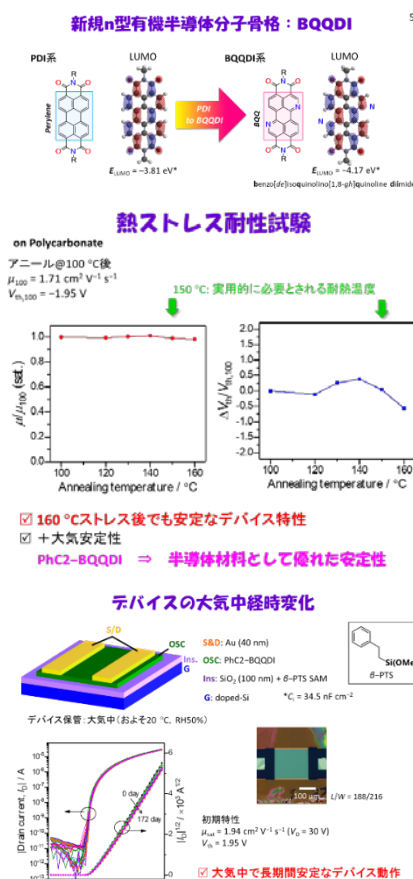


図 27. ディスプレイドライバ用 n 型有機半導体材

発を行った。東京大学では、有機半導体単結晶の薄膜上にフッ素系高分子膜を薄くコーティングすることで、有機半導体でのダメージフリーリソグラフィ手法を新たに開発し、1マイクロメートルスケールの微細加工を達成。10 cm²/Vs の高移動度と短チャネル化を同時に達成したことで、これまでに有していた遮断周波数の世界記録を2倍程度更新、世界最速となる38 MHzを達成した(図28上)。一方、この有機トランジスタにおいて、交流信号を直流信号に変換する整流性を調べた結果、100 MHzでもその整流性が失われないことを実証した(図28下)。

これにより、この有機半導体材料を用いて有機トランジスタを作成することで、ディスプレイドライバのための20MHz級高速有機CMOSを実現できることがわかった。

また、生産プロセスにおいて、マルチノズル塗布において大判チャックとなることから温度変化によるチャックの変形が生じる課題があり、加熱チャックの変位を正確に計測しギャップを制御することができた。塗布時のノズル温度上昇の抑制のために冷却用エアの追加で、ヒーターとの併用でノズル温度を±2℃以下に抑制した。

増速においても結晶分断が改善される高分子添加物の最適化を進めると共に、塗布速度、塗布結晶膜の情報をもとに混合比の再調整を実施した。ゲート電極パターン状での半導体結晶膜の連続性の確認では、膜厚100nm程度の段差でも連続した結晶膜が成膜されていることをレーザー顕微鏡で確認した。

更に、CMOS素子の作製に向けて、n型用有機半導体材料の塗布膜を用い、その移動度、ばらつき等の半導体特性を測定した。塗布幅10mmの場合において結晶膜作製の最適条件を導出した。p型、n型を用いたCMOS回路として、最も重要な基本回路となるCMOSインバータ回路を同一基板内に多数個作製し、その特性評価を行った。

これらの開発成果をもとに、開発できた有機半導体によるフレキシブルモジュールと一体化実装可能な有機CMOS回路について試作を行い(図29)、実際にディスプレイモジュールによる映像表示が可能であることを確認した。

【3-2】大面積サイネージ用ドライバ回路の設計(平成30年度～平成31年度)

平成30年度において、大面積サイネージ用のドライバ回路を設計し、フレキシブル基板上にすべての回路素子を有機半導体を用いて実装したフルフレキシブルサイネージデバイスを世界で初めて実現する。まず、大面積サ

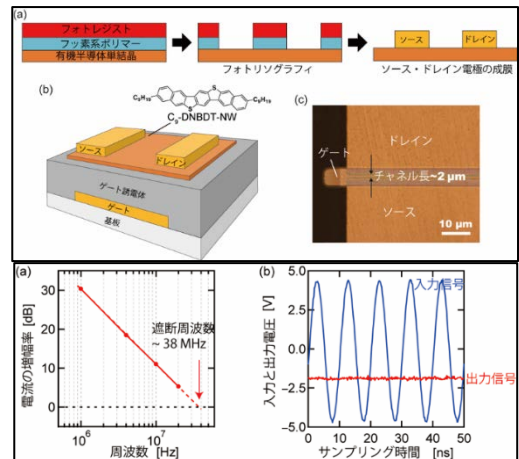


図28. ディスプレイドライバ用p型有機半導体材料

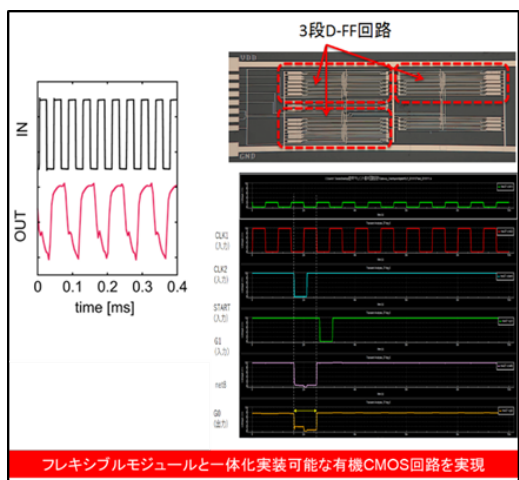


図29. 試作した有機CMOS回路

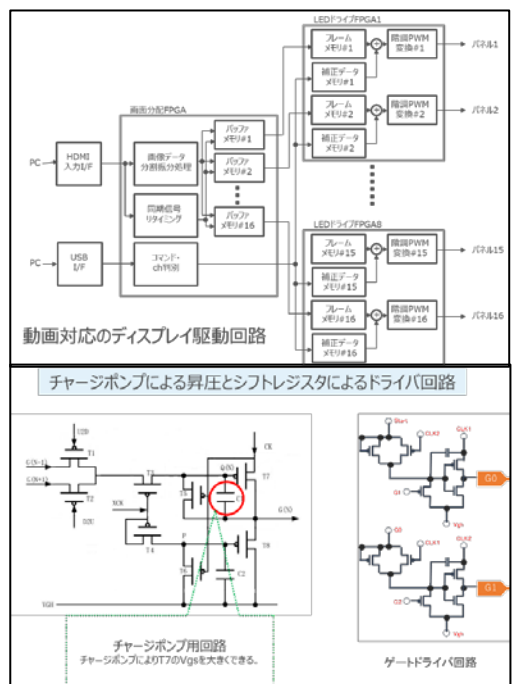


図30. ディスプレイドライバ用集積回路

イネージ用ドライバ回路の設計開発をすべく、回路シミュレーション等によるスケーラブル画像処理ドライバ回路設計の開発を行なった。

最終年度においては、20MHz 級高速有機 CMOS についての基礎的なデバイスパフォーマンスについてのデータを元に、有機 CMOS によるディスプレイドライバ用集積回路とフレキシブルディスプレイに実装するための動画対応のディスプレイ駆動回路、有機 TFT を用いたドライバ回路・昇圧回路の設計を行った。その結果、16 Display までタイリングを対応できる動画対応のディスプレイ駆動回路の設計図(図 30 上)、およびチャージポンプによる昇圧とシフトレジスタによるドライバ回路の設計を完了した(図 30 下)。

開発できた有機半導体によるフレキシブルモジュールと一体化実装可能な有機 CMOS 回路について試作、LED ディスプレイを駆動可能な動画対応のディスプレイ駆動回路を搭載したフレキシブルディスプレイモジュールを試作し、動画の表示を実現した(図 31,32,33,34)。



図 31. フレキシブルディスプレイモジュールの試作



図 32. タイリングによる大画面表示の試作



図 33.フレキシブルディスプレイ試作品

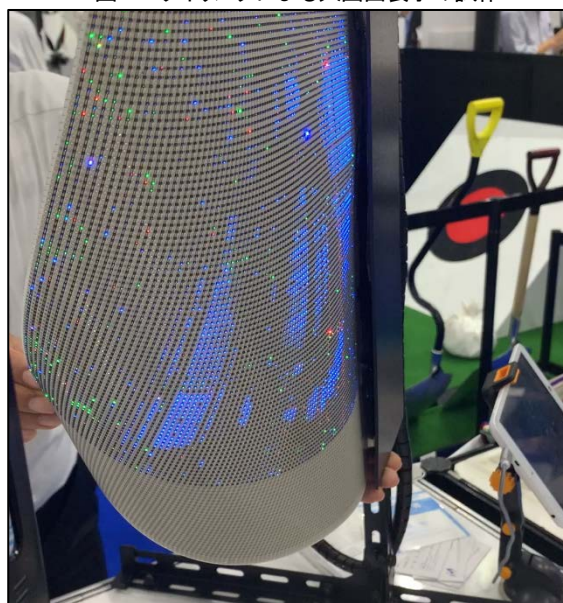


図 34.点灯状態でフレキシブルに曲げられる

最終章 全体総括

当初の計画に沿って事業を着実に進め、目標通りに成果を上げることができた（表 2）。残る課題としては、試作品に対する評価の結果を元に、実用化・製品化のための量産技術の開発を残している。

	目標	実績
1. 高密度有機TFTアレイ作製プロセスの開発	・フレキシブル基板上の有機TFTアレイ作製プロセスの確立	
	30cmフィルム基板に0.15mm角のTFTアレイの作製プロセスを確立	30cmフィルム基板に0.15mm角のTFTアレイの作製プロセスを確立した。30cm角基板のための設備設置が完了、30 cm用スピニングのプロセスを確立し、TFTアレイの素子間性能ばらつき5%以内を達成した。(達成率100%)
	30cmフィルム基板のTFTアレイの素子間性能ばらつき5%以内	
	・有機TFTアレイ特性評価システムの構築	
	有機TFTの性能および素子間性能ばらつきを評価する手法を構築	有機TFTの性能および素子間性能ばらつきを評価する手法を使い、大面積高密度TFTの測定時間を短縮するため自動評価システムを構築した。プローブカードの導入により、全点測定が可能となり、時間も大幅に短縮された。(達成率100%)
	大面積高密度TFTの測定時間を短縮するため自動評価システムを構築	
2. 大型フレキシブルLEDパネル製作プロセスの開発	・有機TFTアレイの歩留まり向上技術の開発	
	プロセス中の静電放電破壊対策を施したマスク設計と対策の実証	TFTの素子間性能ばらつき、不動態を排除してフレキシブル基板上に貼り合わせる技術を開発した。TFTの歩留まり100%、オン電流のばらつき低減を達成した。(達成率100%)
	TFTの素子間性能ばらつき、不動態を排除してフレキシブル基板上に貼り合わせる技術の開発	
	・大面積高速TFT実装技術の開発	
	有機TFTの高速実装を行う方法を検討し、装置設計と製作	有機TFTアレイを50cm角モジュール上に実装する方法と、配線手法を開発。有機TFTアレイを実装したディスプレイモジュールを作製した。(達成率100%)
	有機TFTアレイを50cm角モジュール上に実装する方法と、配線手法を開発	
3. フィルム上周辺回路技術の開発	ラミネーション実装プロセスを最適化し、量産に必要な1時間程度のタクトタイムを実現する	
	・フレキシブルLEDパネル用モジュールの開発	
	50cm角モジュールの内部配線部分の設計および作製、封止技術の開発(6mmPitch)	50cm角モジュールへの有機TFTアレイおよびLEDチップの実装、高密度化を行い、37*47cm角エリアに3mmピッチLEDディスプレイモジュールを作製し、点灯に成功した。超高密度(1.5mmPitch)も十分可能な設計となっているため、今後の量産工程および製品化に際し実現する予定である。(達成率100%)
	50cm角モジュールへの有機TFTアレイおよびLEDチップの実装、高密度化検討(3mmPitch)	
	超高密度(1.5mmPitch)LEDディスプレイ化検討	
	・フレキシブルLEDパネル用モジュールの接続技術の開発	
50cm角モジュールの外部接続の方針検討、設計および作製	モジュール間接続不良を1%以下にする設計、作製プロセスを開発。モジュール接続部分の設計開発を完了した。試作品で実際にモジュール間接続を行い、プロセス適合性を確認。モジュール間接続不良が1%以下であることがわかった。(達成率100%)	
モジュール間接続不良を1%以下にする設計、作製プロセス開発		
3. フィルム上周辺回路技術の開発	・有機CMOSによるディスプレイドライバ用集積回路プロセスの開発	
	回路シミュレーション等によるドライバ回路設計完了	有機半導体の開発、および高速有機CMOS回路とシフトレジスタ回路の開発を行い、成功した。フレキシブルモジュールと一体化実装可能な有機CMOS回路について試作を行い、実際のディスプレイモジュールによる映像表示を確認した。(達成率100%)
	20MHz級高速有機CMOSとシフトレジスタの開発	
	ドライバ回路をモジュール内に実装	
	・大面積サインエッジ用ドライバ回路の設計	
	回路シミュレーション等によるスクラブル画像処理ドライバ設計完了	有機半導体によるフレキシブルモジュールと一体化実装可能な有機CMOS回路、ディスプレイ駆動回路を作製し、試作品を作成した。そして、1枚および複数枚のフレキシブルディスプレイでの動画映像の表示を実現した。(達成率100%)
複数モジュールに柔軟な画像表示を実証		

表 2 本事業の実績まとめ

この成果は、東京大学と株式会社オルガノサーキットの研究開発体制が有効に機能していた結果である。工夫した点としては、以下の事項が挙げられる。

- ・東京大学から株式会社オルガノサーキットに研究員を派遣することで連携を強化した。
- ・プロジェクトリーダーとサブリーダーは、月 1 回以上の頻度で研究レビューを行い、事業推進上の問題が速やかに解決される体制をとったこと。

プロジェクトリーダー及びサブリーダーは、見込み顧客のニーズを受けて、開発方針にフィードバックするなど、情勢変化等の把握および対応に、十分に役割を果たした。成果の活用に向けては、量産技術の高度化が必要になるが、そのために、量産装置メーカーとの協力関係を構築し、量産技術の開発を進める予定である。

事業化展開について

デジタルサイネージ市場は 2014 年の 1,054 億円に対して、東京オリンピックイヤーの 2020 年には 2.5 倍以上の 2,717 億円に拡大する成長分野であると予測されている(富士キメラ 2015)。この予測の中ではディスプレイの大型化は考慮されているが、フレキシブル化技術の寄与は織り込まれていない。本提案技術の適用により、デジタルサイネージ市場のさらなる課題や成長の加速が見込まれる。フレキシブルなアクティブマトリックスディスプレイを実現する本提案技術の効用を再度整理すると次のようになる。

- パネルの自体の製造コストの削減
- 軽量化に伴う筐体を含めた製品コストの削減
- 軽量化とフレキシブル化による設置コストの削減
- 設置場所の自由度の拡大

今後拡大するデジタルサイネージ市場の売上げの半分以上は広告ビジネスが占めている。大型ショッピングセンター、駅構内や車両内、ビルボード等にディスプレイを設置し、ロケーションに応じた映像系広告や販促情報、店内での人の誘導を図る表示などで、小売事業に大きな効果をあげている。多種多様なロケーションにて消費者がビジュアル的に受け入れやすい形態でディスプレイを設置したいところである。しかし、既存のディスプレイは四角いパネル状であり、大型の場合は重量が大きくなるため、実際には設置場所はかなり制約が生じるといわれている。曲面になっている構造物に無理やり設置しようとすると設置コストが高くなる上に美観も損ねることになる。下図(左)は駅構内の丸い柱に、大型ディスプレイが設置された状況を示した写真である。丸い柱の外周に四角いパネル 4 つを組み合わせた支持機構を設けて、そのパネルの一つにディスプレイを埋め込むという手間を掛けている。手間(コスト)が増えるだけでなく、あきらかに美観を損ねており、混雑時には通行の妨げになりかねない状況となっている。

本提案技術により実現するシートディスプレイ技術を利用すると、設置コストが低く抑えられるだけでなく、美観を損ねることも回避できる。デジタルサイネージの設置場所に関する制約を大幅に緩和することが可能になる。

【その他波及効果】

加えて、大型のディスプレイは広告としての利用だけではなく、パブリックビューイングとしての役割も担うポテンシャルを有している。災害時の被災者への情報提供、首都圏で交通網が麻痺した際の通勤難民への情報提供等、商業目的以外での公共設備としての有効性が認識されてきている。大型ディスプレイは公共性の高い技術という側面も持ちつつある。さらに、フレキシブルなディスプレイはウェアラブルなディスプレイにも応用が効く。エンターテインメント性の高いショーやアミューズメントパークで、デザインがカラフルに変化する衣装は観客へのビジュアル効果は絶大である。観光立国 Japan 実現に対する寄与も考えられる。

【新たな事業展開の可能性】

オルガノサーキット社では、本研究開発で得られたフレキシブルアクティブマトリックス技術を、車載用の局面ディスプレイに展開する事業も併せて計画している。アドバイザーであるプジョー・シトロエン社などの自動車製作事業者からは、次世代の車内の動画表示のための曲面ディスプレイの開発依頼

も受けており、本市場への期待が高いことが分かる。ディスプレイ表示デバイスとして、マイクロカプセル液晶を用いたフレキシブル表示技術を同時に開発中であるため、これと組み合わせたデバイスを製作し、市場に展開する予定である。

⑥事業化計画

【想定する国内、海外市場（現状、今後の動向）】

① オリンピックに向け急成長。大型化が顕著な国内サイネージマーケット

前述の国内サイネージ市場において、ハードウェアは 2020 年には 823 億円市場と予測されている。この成長力をけん引するのは大面積ディスプレイである。特に、60 インチ以上サイズのディスプレイは、2020 年には金額ベースで 70%を構成すると予想されている(富士キメラ2015)。

② 成長する世界市場

TECHNAVIO.COM によると国内同様に海外市場でもこの先 5 年で成長する予想になっており 2015 年には全体で 1.3 兆円市場は年間平均成長率 12%で延伸し、2020 年には 20 兆円を超える市場になる予想されている。

地域的にみると図 35 に示すように日本はアメリカに次いで世界第二位の市場規模となっている。中国のほか、インドネシア、タイなどのアジア新興国が大きな市場となっていることは注目すべき点である。本案で提案しているフレキシブルな LED ディスプレイの導入段階においては高解像度高付加価値の商品性を活かし、市場の大きいアメリカ、日本、一部中国、イギリスといった先進国を中心に展開し、量産効果を上げ印刷技術によるデバイスコスト低減を機に、アジア新興国市場への投入を計る計画である。

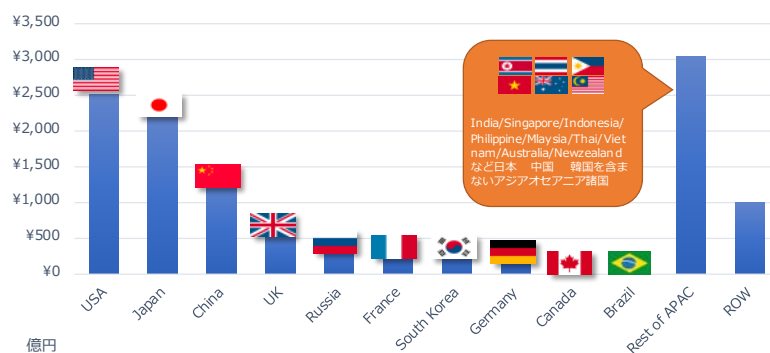


図 35 地域別 2015 年デジタルサイネージ市場規模

【川下企業（顧客）ニーズ】

・国内デジタルサイネージ事業の特色と参入戦略

国内のデジタルサイネージソリューション事業は、主幹を取るメーカー企業が、様々な周辺機器、ソフトウェアメーカー、設置工事業業者、コンテンツメーカー等との協業を指揮しクライアントへ運用サービスを含めたソリューションパッケージを提供する形態を取る。本事業で開発するフレキシブル大面積ディスプレイをコアとして、アドバイザーである SHARP 株式会社をはじめとした主幹企業とパートナーを組むことで、デジタルサイネージソリューション事業へ参入する。

・川下クライアントのニーズ

国内デジタルサイネージ向けディスプレイ数の伸び率を用途別に予測すると、伸び率の大きい順に、官公庁施設、公共施設、宿泊施設となっている。(図 36, 出典：(株)富士キメラ総研デジタルサイネージ市場総調査 2015)

中でも進捗率の大きい官公庁、公共施設は 2020 年のオリンピックパラリンピック需要を包括しており確実な需要が見込まれている。また合わせて起こっている多言語化ニーズにおいても公共交通機関や商業施設など、既存のポスターや案内板のデジタル化ニーズが起こっており成長が期待されている。公共施設や公共交通機関においては人のいない夜間での工事に限定される。また、レジャー・アミューズメントにおいては短期間の設置工事およびイベント等の仮設施設においては、短期間での撤収を必要とされるために軽量、小型マルチディスプレイ形式の本案 LED はとても有益である。(図 37)

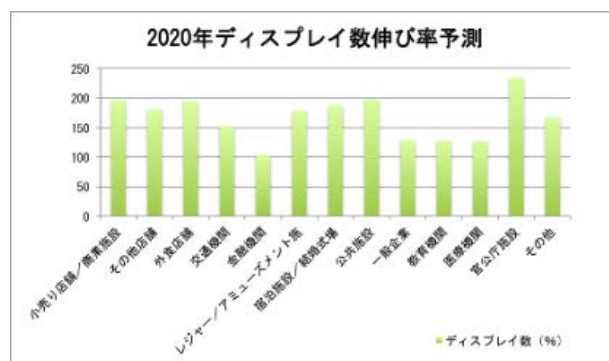


図 36 2020 年ディスプレイ数伸び率予想



図 37 実用化製品の利用シーン想定

【販売促進戦

略】

本案における BtoB サイネージにおける最大の販売促進はランドマークとなりえる人が大勢集まるランドマーク施設において実例を持つことに他ならない。特に本案における LED ディスプレイはかつてないフレキシビリティにおいてコンテンツ以前にその存在そのものが大きく目を引くデザインとなり得る。パートナー企業と連携し、設置した設備そのものに 5 秒程度のスポットで製品紹介を織り込むか、またはクライアントに対し施工時に製品名やパートナー企業名などの明記を要望するなどが考えられる。

【知財戦略】

本事業の共同研究者が持つ、有機半導体のコア技術に関する特許の権利取得と、有機半導体の応用技術に関しては提案者による特許出願を推進している。

【販売先、川下製造業者等を含めた事業化の体制】

本助成事業の成果を IDW(International Display Workshop)における招待講演において発表し、プロトタイプ品の展示を実施する。すでに、国内外の川下企業からの関心が寄せられており、これまでに獲得している顧客候補以上に、事業計画を拡大できる見通しがある。

ディスプレイ製造を行う川下企業である大手映像機器メーカー企業に対して、有機 TFT のサンプルを提供し、評価を得た結果、共同で生産する体制を構築することとなった。現在、技術移転が進められて

いる。今後、量産のタクトや信頼性評価を進める計画であるが、より確かなデータを得るために、製品化経験の豊富な大手映像機器メーカー企業と共同で評価を実施することとなった。事業の収益構造など、今後は同社と共同して、綿密な分析を行って、実施可能な事業プランを策定する計画である。

すでに、現状の製品に関しては、大手映像機器メーカー企業への製造委託に関する協議と一部の技術移転が進められており、少量の生産が来年度中に可能になる見込みである。一方、1mmの画素を有する高精細の次世代機について、追加で製品開発を実施することになっており、製品ラインアップを増加することで、収益体制を強化する計画である。そのために、引き続き、東京大学と共同した研究体制を維持し、数年で商品化のめどをつける見通しを有する。

広告事業者から、大型サイネージデバイスについての幅広いニーズがあることを確認しており、オルガノサーキット社と大手映像機器メーカー企業の協力によって、量産体制を拡大していく計画である。具体的には、2025年に10000㎡を超える生産能力を得て、国内市場の需要に対応する計画となっている。

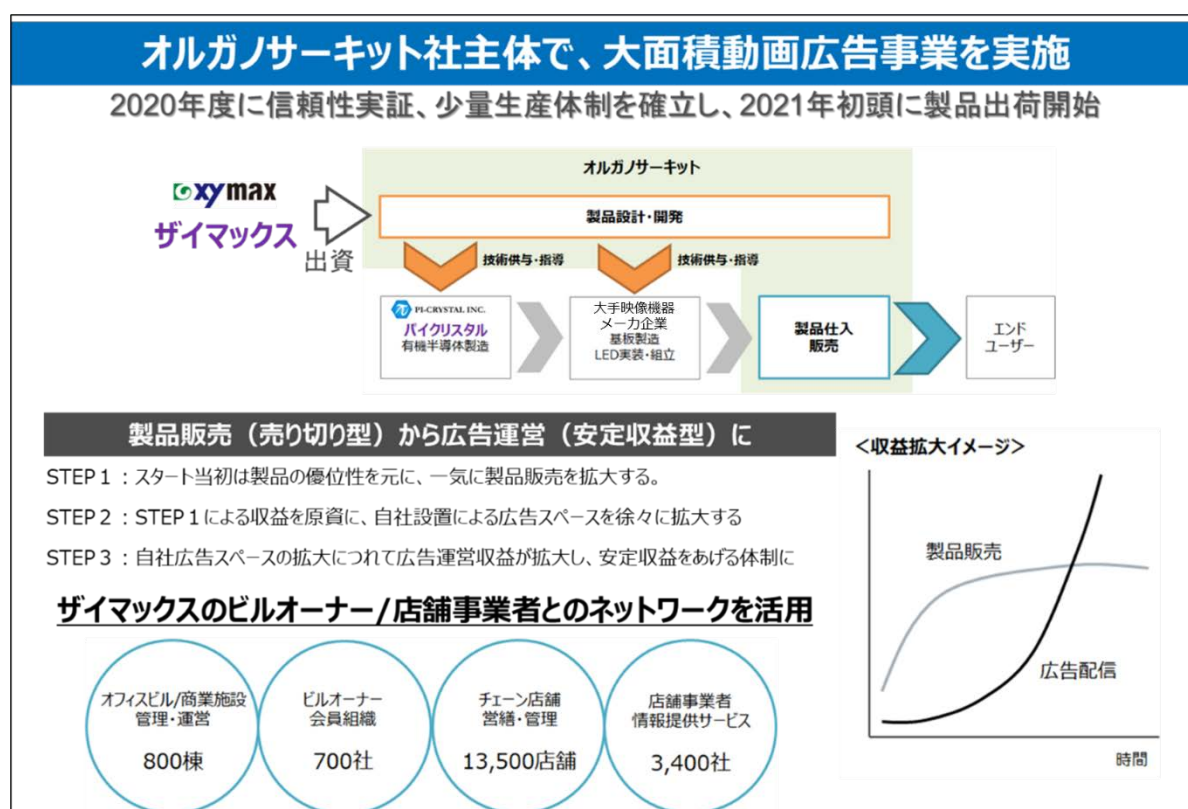


図 38 事業戦略・体制

すでに、ザイマックス社から、一次投資を得ており、間もなく大手映像機器メーカー企業と同社による2次投資が得られる見込みであり、この資金によって、少量の量産を開始する計画である。その後、販売の拡大とともに生産体制も拡大することとなっている。

製造販売事業の拡大にあわせて、ザイマックス社保有のビルにおける広告事業をスタートさせ、収益をより安定化させる体制を構築する。

さらに、オルガノサーキット社主体で、大面積動画広告事業を実施（図38）、製品販売（売り切り型）から広告運営（安定収益型）へと戦略的にビジネスを展開する計画である。