

平成 2 7 年度実施方針

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 件 名 :

(大項目) 次世代プリントドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発

2. 根拠法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 項第一号ニ及び第三号

3. 背景及び目的・目標

現在、電子ペーパーや携帯電話など情報機器においては、用途の多様化などから、フレキシブル性や軽量化が求められている。また、真空や高温を駆使して多量のエネルギー・資源を消費する既存のデバイス製造プロセスからの脱却を図り、省エネルギー・省資源化への転換が期待されている。このような社会的要求・課題を鑑み、本プロジェクトでは、省エネ・大面積・軽量・薄型・フレキシブル性を実現可能なプリントドエレクトロニクスの技術開発を行い、産業競争力の強化と新規市場の創出に貢献する。

我が国は本分野において、材料技術、印刷技術、プロセス技術、デバイス技術等の優位性の高いシーズ技術を有している。これらの技術の擦り合わせによる技術開発を通じて、新規市場を創出する。そのためには量産性、耐久性・信頼性の向上に加え大幅な低コスト化が不可欠である。また、国際的な市場拡大に向けた取り組みも必要である。

本事業では、プリントドエレクトロニクスの本格的な実用化のために要求される製造技術の高度化、信頼性向上及び標準化の推進等に資する基盤技術開発を行う。さらに、市場拡大・普及促進等に資する実用化技術開発を総合的に推進し、プリントドエレクトロニクスの普及のために必要な要素技術を確立することを目的として、以下の研究開発を実施する。

[委託事業]

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」

(1) 標準製造ラインに係る技術開発

【中間目標(平成 25 年度)】

on 電流の面内平均値からのばらつきが $\sigma \leq 10\%$ 以下のスペックを持つ A4 サイズ

の TFT (thin film transistor、薄膜トランジスタ) アレイを作製し、連続生産するための製造プロセスの課題を抽出する。

【最終目標(平成 27 年度)】

on 電流の面内平均値からのばらつきが $\sigma \leq 10\%$ 以下のスペックを持つ A4 サイズの TFT アレイを 50 枚連続生産が可能な製造プロセスの要素技術を確立する。生産タクトは 1 平米あたり 90 秒以下を実現する技術を確立する。

(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

【中間目標(平成 25 年度)】

(1) で作製される TFT アレイの性能評価手法を確立し、材料スクリーニングや、印刷プロセスの最適化検討を行う。

【最終目標(平成 27 年度)】

TFT アレイの信頼性の評価方法を確立する。あわせて評価手法の標準化の検討を行う。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」

【中間目標(平成 25 年度)】

位置合わせ精度 $\pm 20\mu\text{m}$ 、 150°C 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、印刷法で製造した TFT 素子において、動作周波数 0.3MHz 以上を示す材料・プロセス技術を開発する。

【最終目標(平成 27 年度)】

位置合わせ精度 $\pm 10\mu\text{m}$ 、 120°C 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、素子の動作周波数が 1MHz 以上を示す TFT アレイを印刷法で製造し、デバイスとして駆動することを実証する。加えて作製された TFT アレイを用いて、圧力、もしくは接触による情報入力デバイスを試作し、落下試験など耐衝撃性を評価し堅牢性を検証する。TFT アレイの大面積化(メートル級)においては、大面積 TFT アレイの連続製造に適用可能な製造プロセスの設計指針を提示する。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」

(1) 電子ペーパーに係る共通基盤技術開発(平成 22 年度～23 年度実施)

【平成 23 年度目標】

各種電子ペーパーの仕様を決めるための TFT アレイとの接合条件や駆動電圧などについて基礎データの収集を行い、デバイスとしての課題を抽出し、得られた結果をもとに設計指針を提示する。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」

(1) フレキシブルセンサに係る共通基盤技術開発 (平成 22 年度～23 年度実施)

【平成 23 年度目標】

各種フレキシブルセンサの仕様を決めるための TFT アレイとの接合条件や駆動電圧などについて基礎データの収集を行い、デバイスとしての課題を抽出し、得られた結果をもとに設計指針を提示する。

[助成事業 (助成率 : 2/3 以内)]

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」

(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発

【中間目標(平成 25 年度)】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50%以上である対角 6 インチのカラー (64 色) パネルを試作する。

【最終目標(平成 27 年度)】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50%以上である対角 10 インチのカラー (512 色) パネルを作製し、工業的に製造が可能であることを実証する。10 インチパネルの重量は 60g 以下を達成する。

(4) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発

【中間目標(平成 25 年度)】

印刷法を用いて A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクトは 1 枚あたり 10 分以内を達成する。

【最終目標(平成 27 年度)】

A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを完全印刷工程で安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクト時間は 1 枚あたり 3 分以内を達成する。作製された TFT アレイと表示部を組み合わせたパネルを作製し、軽量単色電子ペーパーが工業的に製造可能であることを実証する。パネルの重量は 40g 以下を達成する。また、得られた成果を基に大面積化に向けたプロセス・デバイスの設計指針を示す。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」

(2) 大面積圧力センサの開発

【中間目標(平成 25 年度)】

A4 サイズ相当の領域内で構成層間のアライメント精度 50 μ m 内、素子の特性ばらつき (移動度および閾値電圧) $\sigma < 10\%$ を達成する大面積 TFT シートの製造技術と製造装置の開発を行う。得られた加工精度と素子特性に基づき、メートル級の TFT アレイを大面積化するための設計指針を示す。

【最終目標(平成 27 年度)】

1mm角あたり1素子の密度で形成した TFT アレイの特性(移動度および閾値電圧)のばらつき $\sigma < 5\%$ 以下で、連続駆動が 10Hz 相当以上で可能なメートル級の大面積 TFT シートを試作する。これを背面基板に用いた圧力センサシートを試作し、情報入力のモデルデバイスとして実用可能であることを実証する。

4. 実施内容及び進捗(達成)状況

国立大学法人 東京大学 工学系研究科 教授 染谷隆夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

4. 1 委託事業内容

平成 22 年度には、基本計画に基づき委託先を公募し、応募のあった提案について外部有識者による事前審査を行った。契約・助成審査委員会を経て委託先を決定して、研究開発を開始した。

平成 23 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」のうち、(1) 標準製造ラインに係る技術開発については、印刷による TFT アレイ製造において、各工程の装置導入を行った。さらに、導入した装置にて、材料とプロセス条件を選別し、連続製造可能な装置のプロセス設計指針を得た。また、(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発については、作製したデバイスの評価方法の検討を行った。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」については、研究開発項目①で導入した装置により、TFT アレイ製造に使用する各種候補材料やプロセス及び、印刷の際の位置合わせ方法の初期検討を行った。また、材料の組成・プロセス検討及び各材料に要求されるスペックの洗い出しを行い低温化のための開発指針を得た。プロセス環境の温湿度制御の高精度化(23±2℃、40±10%RH)を達成した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(1) 電子ペーパーに係る共通基盤技術開発については、A4 サイズのフィルム基板上に印刷法を用いて 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを連続的に生産するための課題抽出を行った。またその評価手法の課題を抽出した。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(1) フレキシブルセンサに係る共通基盤技術開発については、有機 TFT アレイの電極間、層間短絡欠陥の修正技術による低減を図り、レーザーリペア方式による短絡箇所の除去と、その際のフィルム基材、他の有機材料層へのダメージの回避を行った。感圧ゴムを有機 TFT のドレイン電極に負荷抵抗として接続したタイプの圧力センサの試作、大型化への課題抽出を行った。

平成 24 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」のうち、(1) 標準製造ラインに係る技術開発については、フレキシブル基板上にA4サイズ以上のTFTシートを印刷形成するための小規模製造ラインを構築した。また、(2) TFTに特有の特性評価に係る技術開発については、印刷パターンならびにそれに用いるインク材料、プロセス材料及び構成部材の物性標準評価方法を検討した。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」については、印刷法で製造した TFT 素子において、遮断周波数 0.1MHz を示す高動作速度化構成部材のデバイスを開発した。A4 サイズフィルム基板上に、印刷で形成するフレキシブルシート TFT アレイにおいて、位置合わせ精度 $\pm 10\mu\text{m}$ 、面内ばらつき $\pm 10\%$ 、 120°C 、10 分の温度で焼成できるプロセスを開発した。

平成 25 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」のうち、(1) 標準製造ラインに係る技術開発については、標準一貫製造ラインを構築し、on 電流の面内平均値からのばらつきが $\sigma \leq 10\%$ 以下のスペックを持つ A4 サイズの TFT アレイを作製した。また、50 枚以上の連続印刷製造を検証可能にする技術要素の抽出を行い、高精度連続印刷法の開発、ならびにタクト 90 秒以下で A4 サイズのフレキシブル基板上高精度印刷製造技術を開発した。また、(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発については、印刷プロセスで作製する TFT アレイを構成する、導体、半導体、絶縁体各層の性能評価に関する標準評価法を定め、標準評価書を作成した。さらに、印刷プロセスで作製する TFT 素子の基本性能の標準評価法を定め、標準評価書を作成した。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」については、印刷で作製する TFT 素子の構成部材の開発を行い、印刷 TFT 素子の遮断周波数 0.3MHz 以上で動作させることを実現した。また、 120°C 以下の温度で配線、絶縁層を印刷形成する技術、および精度 $20\mu\text{m}$ 以下で位置合わせをするフィルム基板制御技術を開発した。

平成 26 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」のうち、(1) 標準製造ラインに係る技術開発については、標準一貫製造ラインの高度化を図ると共に、 $\pm 20\mu\text{m}$ 以下のパターン精細度で 50 枚以上の連続印刷製造を可能にする連続 TFT 製造技術を開発した。また、(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発については、印刷デバイスの特性、信頼性に関する評価技術の標準化を検討し、印刷製造 TFT の信頼性評価に関する標準評価法を作成した。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」については、印刷で作製する TFT 素子の構成部材とデバイス構造の開発を行い、印刷 TFT 素子の遮断周波数 1.0MHz で動作させることを実現した。また、配線、絶縁層を 120℃以下 90 秒で印刷焼成する低温高速化焼成技術を開発した。

4. 2 助成事業内容

平成 23 年度に研究開発を開始した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発、(3) 高速応答型電子ペーパーの開発、(4) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発については、対角 3.5 インチのアクティブ表示デバイスの作製と評価により、表示層構造を最適化するとともに製膜基本プロセスを確立した。特に浸透性絶縁層、電極層、電解層などの ECD 構成要素材料を開発した。また、表示層と TFT 基板の貼り合せプロセスを開発した。バックプレーン (TFT 基板) にはフォトリソグラフィ法で作製された TFT (LTPS-TFT) を使用し、結果を印刷 TFT の設計にフィードバックした。更に、対角 10 インチサイズ対応の製膜装置を導入し、プロセス開発を実施した。製膜装置としては、表示電極及び対極層形成用にスパッタ装置、EC 層、浸透性絶縁層、白色層の形成用にコーターを導入し、条件設定を行った。TFT 基板にはフォトリソグラフィ法で作製された TFT (LTPS-TFT) を用いて開発を進めるとともに、印刷 TFT の開発にも着手した。材料については、消色状態の着色低減、白色反射層の改良などにより反射率の向上を図った。また、クロミック反応を安定化させる対極層 (逆反応層) 材料を開発した。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(2) 大面積圧力センサの開発については、有機 TFT アレイの電極間、層間短絡欠陥の修正技術による低減、レーザーリペア方式による短絡箇所の除去と、その際のフィルム基材、他の有機材料層へのダメージの回避を行った。感圧ゴムを有機 TFT のドレイン電極に負荷抵抗として接続したタイプの圧力センサの試作、大型化への課題を抽出した。また、素子製造プロセスの開発として、デジタルフォトアシスト印刷にかかる設備導入・立上げを行った。

平成 24 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発、(4) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発については、対角 3.5 インチのアクティブ表示デバイスの作製と評価を進めて ECD 構成要素材料、製膜プロセスの改良および専用 TF の設計を行い、反射率 50%以上、色数 64 以上、色再現性 35%以上 (対ジャパンカラー比) の表示デバイスを開発した。更に、対角 10 インチサイズ対応の製膜装置を導入し、サイズアッププロセスの開発を実施した。製膜条件はフィルム基板が採用できる条件として、上限温度 120℃で設定した。

また、対角 11 インチサイズの TFT アレイの製造プロセスでは転写印刷法により 1 μ m ピッチの高解像パターンを実現し、全印刷プロセスによるフレキシブル TFT アレイの作製を実証した。更に、TFT 素子の特性として a-Si と同等以上の特性を得た。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(2) 大面積圧力センサの開発については、有機 TFT アレイの印刷製造装置を導入し、大面積化へ取り組んだ。圧力抵抗特性の最適な感圧素材を検討し、150mm 角圧力検出シートを試作して検出感度の評価を行った。

平成 25 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発については、対角 6 インチのカラーパネルを作製し、反射率 50%以上、色数 64 以上 (26 万色相当) のフレキシブルなアクティブ表示デバイスを開発した。また、対角 10 インチパネルの製膜および加工に向けた課題を抽出した。(4) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発については、完全印刷法によって 120ppi、対角 10.7 インチ、XGA (1024 \times 768) のフレキシブル TFT アレイを作製し、階調表示が 16 階調、重量 40g 以下のフレキシブル電子ペーパーを開発した。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(2) 大面積圧力センサの開発については、アライメント精度 20 μ m 以下で A4 サイズの有機 TFT アレイを作製し、同サイズの圧力センサシートを開発した。

平成 26 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発については、対角 6 インチパネルの試作評価により製膜プロセスを改良し、さらに印刷 TFT と組合せて駆動検討を実施し、TFT 仕様を設定し、駆動装置を試作した。また、曲面基板への印刷試作を行い、曲面基板上に電子ペーパー用フロントプレーン材料として開発したエレクトロクロミックインクを形成してクロミック反応の信頼性評価及び改良を実施した。

(4) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発については、タクト時間 3 分以内を達成した。また、大面積化へ向けてタイリング技術を開発した。この技術を用いて実際の商品を想定したレール型電子柵札の試作に成功した。各種展示会にてレール型電子柵板のデモ展示を行い、ビジネスに向けたニーズ、用途探索を推進した。(本テーマは平成 26 年度で終了となる)

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(2) 大面積圧力センサの開発については、メートルサイズ級のセンサシートの技術課題、製造プロセス課題を検証する目的で A4 サイズの TFT 6 枚を用いた 416mm \times 900mm の大面積圧力センサシートの実証試作を行った。また、各種展示会にて圧力センサシートのデモ展示を

行い、ビジネスに向けたニーズ、用途探索を推進した。

4. 3 実績推移

	22年度		23年度		24年度		25年度		26年度	
	委託	委託	助成	委託	助成	委託	助成	委託	助成	
実績額推移										
一般勘定（百万円）	0	2,204	160	1,732	652	681	265	-	-	
需給勘定（百万円）	-	-	-	-	-	-	-	1,221	107	
特許出願件数（件）	0	0	38	9	29	37	24	10 [*]	34 [*]	
論文発表数（報）	0	1	6	2	4	1	0	0 [*]	1 [*]	
フォーラム等（件）	0	17	18	22	11	13	7	7 [*]	1 [*]	

※平成26年9月30日時点

5. 事業内容

上記の目的を達成するため、国立大学法人 東京大学 工学系研究科 教授 染谷隆夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。また、本事業の運営等に活用するため必要に応じて調査を行う。

5. 1 平成27年度委託事業内容

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」

(1) 標準製造ラインに係る技術開発

on 電流の面内平均値からのばらつきが $\sigma \leq 10\%$ 以下のスペックを持つ A4 サイズの TFT アレイを 50 枚連続生産が可能な製造プロセスの要素技術を確認する。生産タクトは1平米あたり90秒以下を実現する技術を確認する。

(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

(1) で作製される TFT アレイの信頼性の評価方法を確立する。あわせて評価手法の標準化の検討を行う。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」

位置合わせ精度 $\pm 10\mu\text{m}$ 、 120°C 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確認する。また、素子の動作周波数が1MHz以上を示す TFT アレイを印刷法で製造し、デバイスとして駆動することを実証する。加えて作製された TFT アレイを用いて、圧力、もしくは接触による情報入力デバイスを試作し、落下試験など耐衝撃性を評価し堅牢性を検証する。TFT アレイの面積化（メートル級）においては、面積 TFT アレイの連続製造に適用可能な製造プロセスの設計指針を提示する。

5. 2 平成 27 年度助成事業内容

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」

(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発

対角10インチのカラー（反射率50%以上、色数512以上）フィルムパネルを試作し、印刷TFTによる駆動を実証する。

また、曲面基板へのプリンテッド技術の適用について課題を抽出するとともに、曲面上に塗布したエレクトロクロミックインクの特性評価を行うことで、実用化可能性を検証する。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」

(2) 大面積圧力センサの開発

メートルサイズ級のセンサシートの製造プロセス課題を検証する目的で、タイリング技術を用いた 400×1000mmの大面積圧力センサシートの実証試作に取り組む。

試作したセンサシートの高速駆動回路、圧力分布観測ソフトウェアを開発し、顧客候補と実用化へ向けたマーケティング活動、実証実験を進める。

5. 3 平成 27 年度事業規模（予定）

需給勘定 957百万円（委託、助成）

※事業規模については、変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有する独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的および目標に照らして適切な運営管理を実施する。また、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

(2) その他

本プロジェクトの委託研究によって得られたあらゆる知的財産、研究の過程又は成果に基づき開発したプログラム、サンプル、装置などの成果物を本プロジェクト外（国内外）への供試・開示する場合は、事前にプロジェクトリーダーとNEDOに連絡する。その際に、NEDOが申請書の提出を求めた場合は、これに応じ速やかに提出する。

(3) 複数年度契約・交付の実施

委託事業

平成26～27年度の複数年度契約を行う。

助成事業

平成26～27年度の複数年度交付を行う。

7. 実施方針の改定履歴

(1) 平成27年2月、制定

(2) 平成27年7月、開発成果創出促進制度適用による事業規模の変更に伴う改訂

「次世代プリンテッドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発」実施体制

