

2020版

薄膜作製応用 ハンドブック

Handbook of Thin Film Fabrication and Application
2020 Edition

監修
権田 俊一

編集委員
酒井 忠司
田畑 仁
八瀬 清志

編集協力委員
宮崎 照宣

NTS

WEBサイト付録のご案内

「評価方法と評価対象一覧」（本書巻末掲載の付表）

「略語一覧」（編単位で掲載箇所を照合できる表）

エヌ・ティー・エス WEBサイトにてご覧いただけます。
本書と併せてご利用ください。

エヌ・ティー・エス WEBサイト  <http://www.nts-book.co.jp>

サイト内本書籍の概要ページ

http://www.nts-book.co.jp/item/detail/summary/buturi/20200200_146.html

もしくは



購入者限定サイト閲覧できます。

<https://www.nts-book.com/> にてご覧ください。

第4節

インクジェット法

1. はじめに

最近のコンシューマ向けインクジェットプリンタはカラー画像の高精細化、高画質化、高速プリント化が飛躍的に進歩し、産業用の大判商業印刷分野やデジタル捺染分野で、アナログ系のオフセット印刷プリントやスクリーン印刷プリントを置き換えるまでに迫ってきている。これはインクジェットヘッドの多ノズル化、小液滴化、高速化や多様なインクの開発や印刷媒体の最適化開発とプリンタ装置の高精度搬送技術に支えられたものである。

具体的には、インクジェットヘッドの一滴の射出液滴体積は2005年までの15年間で1 pl まで2桁減少して高精細画像を実現させ(図1)、ピエゾヘッドの最大射出駆動周波数は2010年までに50 kHzまで高速化し(図2)、単一ヘッドのノズル数は2,000個まで増大し(図3)、インクジェット印刷の高精細描画力と印刷生産性が大幅に向上した¹⁾。2005年以降はその勢いは止まったが安定性が増し

たために、インクジェット印刷技術はコンシューマ用途から産業用分野や工業用分野へ幅広く広がりがつつある。

これら応用分野における広がりの主体が機能性薄膜の作製技術であり、デジタル印刷技術と非接触印刷技術の長所が生かされる可能性が大きいと期待されている。本書の旧版では、インクジェットの要素技術、インクジェット液滴の特徴、インクジェット塗布成膜技術の実用例として有機ELディスプレイ開発の事例が紹介されていた。本節ではインクジェット法ならではの薄膜形成技術の特長、工業用分野での応用事例を述べる。

2. インクジェット技術の進歩

2.1 インクジェットヘッド技術

現在主流となっているインクジェットヘッドの射出方式はオンデマンド方式であり、吐出駆動力をピエゾ素子で発生させるピエゾ方式と発熱素子で発生させるサーマル方式とに分けられる²⁾。500℃近い

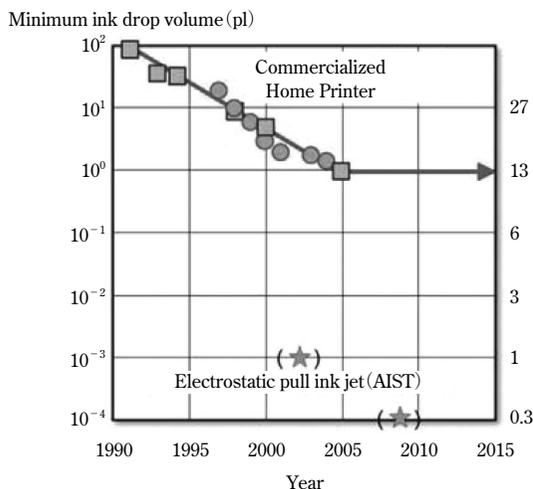


図1 インクジェットヘッドの液滴量の微小化推移

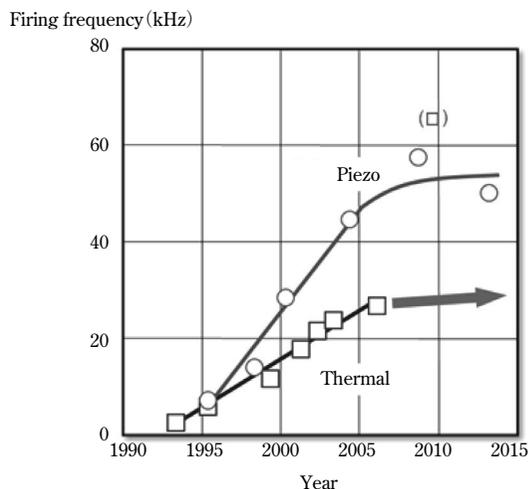


図2 インクジェットヘッドの射出駆動周波数の増大推移

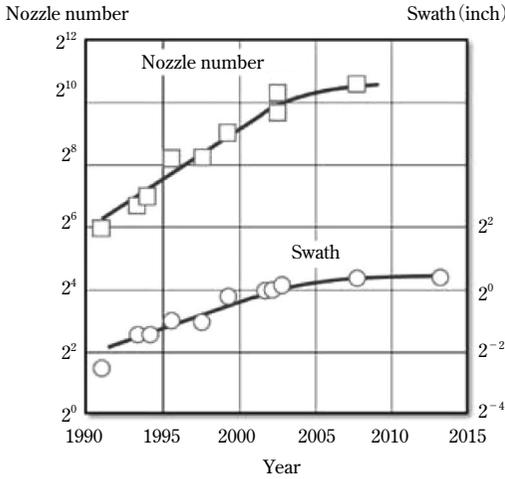


図3 インクジェットヘッドのノズル数の増大推移

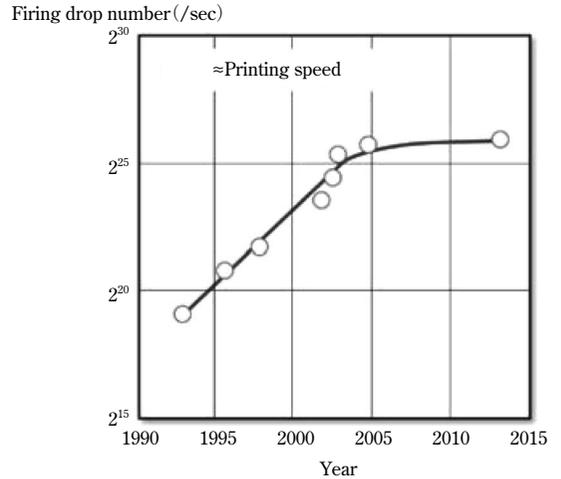


図4 インクジェットヘッドの1秒毎の最大射出液滴数の増大推移

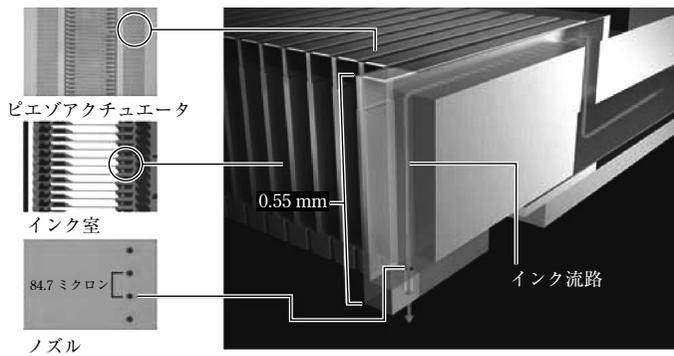


図5 セイコーエプソン(株)の薄膜ヘッドの構造模式図³⁾

高温にさらされるサーマル方式に比べて、インク組成物の熱耐久性が要求されないピエゾ方式が、薄膜形成分野では主に使用されている。

最近のインクジェットヘッドの技術進捗は目覚ましく、射出可能な最小液滴体積が1 plまで小さくなり、100 plまでの大液滴射出や、中液滴の射出量制御技術も進歩し、ノズル密度の高精細化と相まって塗布液膜の厚さコントロールや液膜のパターン幅の均一性も再現性が増大してきている(図4)。これが、インクジェット技術を機能性薄膜の形成に適用する推進力となっている。

セイコーエプソン(株)をはじめ各社が開発、製品化してきた薄膜ピエゾは、吐出駆動力の向上と小型化、高精度化を実現することにより、基本チップ構

造をモジュール化して高精細多ノズルのラインヘッドまで実現し印刷生産性を飛躍的に高めてきた。

さらに、MEMS(micro-electro mechanical systems)構造ヘッドの開発や製品化も進み、制御性の高いヘッドが生まれた。また、インク吐出安定性を向上させるために、ヘッド内のインクを循環させる機能を搭載したヘッドも各社が開発、製品化され、薄膜形成用にも使用可能な信頼性の高いインクジェットヘッドが提供されてきている(図5)。

2.2 インク技術

電極薄膜向けのインクジェットインクは、金属ナノ粒子の分散インクが主流で、Ag, Au, Cu, Niがよく知られている⁴⁾が、蒸着材料として知られてい

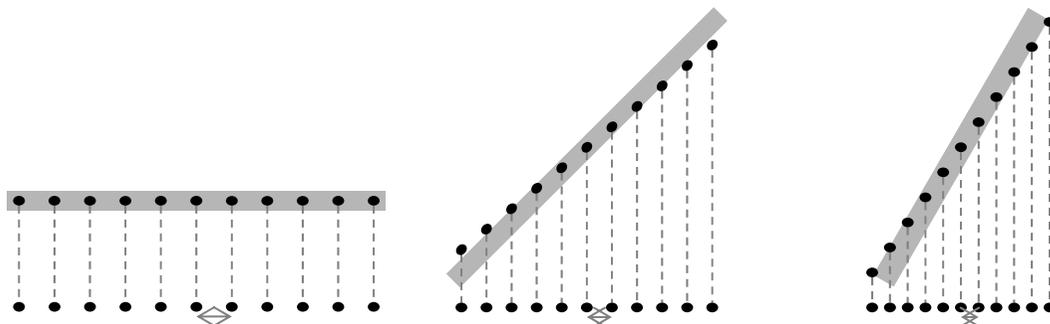
(a)ヘッド角度0度=ノズルピッチ 420 μm (b)ヘッド角度45度=ノズルピッチ 300 μm (c)ヘッド角度60度=ノズルピッチ 210 μm 

図6 インクジェットヘッドの角度制御とノズル列ピッチの関係(例)

る ITO ナノインクやフタロシアニン系分散インクもある。金属ナノインクの分散安定性は静電気力バランスやコロイド保護ポリマーの立体障害の力によるが、その安定耐久性とノズルからの吐出安定性、濡れ制御技術など多岐にわたり開発が進んだ。さらに焼成による薄膜形成時に電気抵抗成分を極力蒸発除去する技術も進歩した。

また、有機半導体や絶縁性高分子の薄膜で求められる純度向上、すなわち不純物の除去と混合溶剤系の選択による溶解適性の向上が、薄膜の機能発現性に寄与した。

2.3 インクジェットプリンタ技術

薄膜印刷装置であるプリンタ技術において、インクジェットノズルを高精細に移動させて射出制御する基本技術とそれらの再現性と高生産性が、装置の小型化とともに最近進歩している。吐出液滴の着弾精度は $\pm 5 \mu\text{m}$ 以内を実現している。

描画パターンの自由度を担保する技術は、図6に示すようにノズル列の角度制御により着弾液滴のピッチを自由に変えることで可能となっている。

3. インクジェット法による薄膜形成技術の特長

3.1 インクジェット法の長所と短所

インクジェット印刷塗布技術の特長は、所望の体積の液滴と、着弾精度を同時に高精度に制御して、複数の液滴を同時にまたは逐次連続的に基板上に着弾させて、液体塗膜を形成することにある。その液体塗布膜の流動または収縮を基板表面エネルギーの

界面制御と、熱による焼成、乾燥による溶剤の除去とを平衡させて、所望の形状や膜厚と表面粗さの薄膜パターンを得ることができる。機能性薄膜を形成する基板は主に非浸透性のプラスチックフィルムやガラス基板であることが多く、紙メディアのような溶剤浸透による溶質固形物の固定は期待できない。積層デバイスの場合は、インクジェット液滴の溶剤が下層の膨潤や溶解を起こさない材料を選ばなければならない⁵⁾。

これは、以下のようなインクジェット工法の利点を十分活用することで達成される。

- ① デジタル印刷技術の特長から、パターンマスクと印刷版が不要で大面積基板へのマイクロオーダーの高精細な位置精度で、薄膜形成が可能である。したがって生産現場ではパターンマスクと印刷版の保管が不要で省スペースとなる。
- ② 非接触印刷であるから、極薄基板やフレキシブル基板、非平滑な異形表面基板上にでも極薄薄膜形成が可能である。
- ③ 比較的高価なインク材料は必要なパターンだけに相当する量しか使用しないので、ロスが少なく結果として省資源、省エネ、低コストにつながる。
- ④ デジタル画像処理により短時間で薄膜パターンの設計変更が可能で、射出パターンデータの変更に即時対応できる。少量多品種生産にフレキシブルな対応が可能である。具体的には、(1)ノズル列ピッチに対応したパターン設計を行うことによるパターンマッチング画像処理法と、(2)基板領域をビットマップに割り

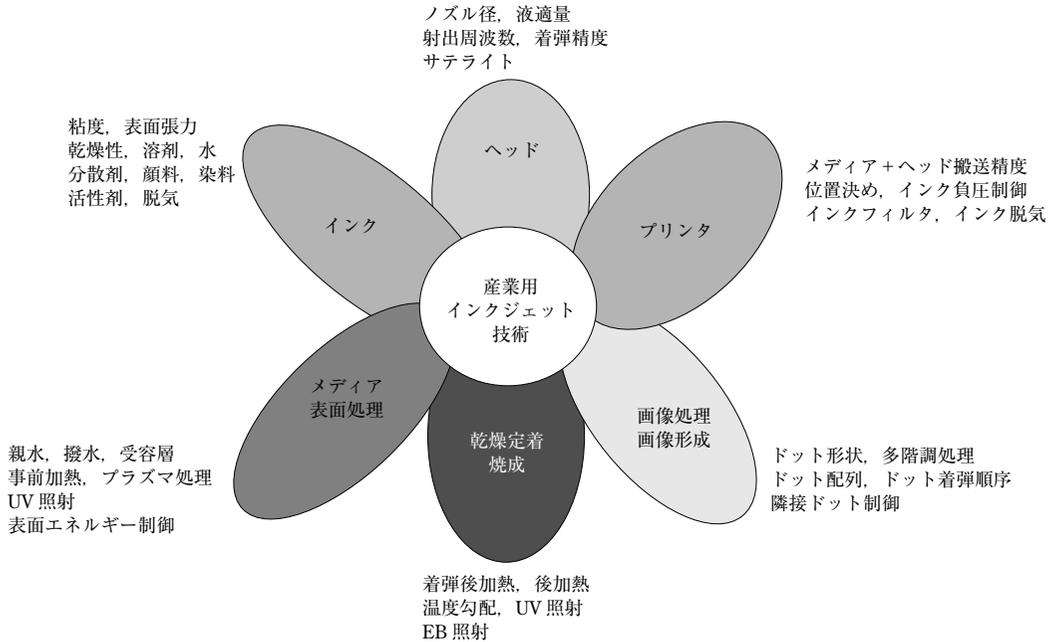


図7 産業用インクジェット技術を構成する6要素

あて、その画面上でパターン配置を設計するビットマップ法を選択して使用することができる。ヘッドを自由に回転させてノズルピッチを自由に選択できる機構が必要となる。

これに反して、インクジェット法の最大の弱点は、インク粘度の小さな液体しか射出できないことである。インク温度を60℃近くまで加熱制御する機構を装着したプリントヘッドもあるが、一般的には50 mPa·sec以下の粘度のインクしか使えない。そのためインクに含有できる溶質成分は少なくなり、薄膜の乾燥膜厚は1μmを超えない。極薄膜には最適だが、厚膜形成にはヘッドを多数回スキャンして重ね塗りをするか、溶質成分が低粘度のUV硬化インクを射出した後に溶質を光硬化させる特殊インクを開発準備する必要がある。もう一つの弱点は、パターン解像度が1 pl液滴を用いても30 μm程度で、オフセット印刷の10 μmには及ばないために、後述する親撥処理技術を併用する必要がある。

図7に示すように、6個の要素技術のパラメータや条件を摺り合わせて最適化することにより、産業用途や工業用途で設計通りの機能性薄膜を得ることができる。

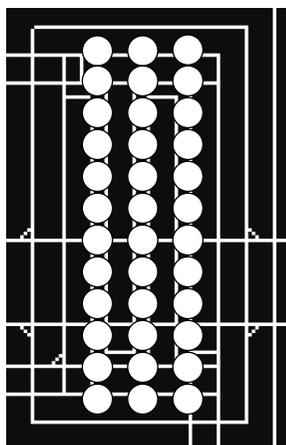
3.2 インクジェット法の特長を生かした薄膜形成技術

3.2.1 ベタパターン薄膜形成技術

LCDパネルの配向膜はポリイミドの前駆体であるポリアミック酸溶液インクの離散的な多数液滴のインクジェット塗布により、レベリングしながら連続液膜へ成長して、焼成後ポリイミド系の極薄薄膜となり、液晶分子の配向制御に用いられる。大面積化が著しいLCDパネルの高生産性と材料費、装置、維持管理費などのコストダウンに応えられる工法としてインクジェット法が目ざされて、従来のフレキソ印刷法に置き換わった。複数のインクジェットヘッドを連結したラインヘッドバーを高精度で移動させて連続液膜を作製するインクジェット法は、フレキソ版の接触印刷時の圧力歪の問題があり、大型基板に対応可能である。GEN 8サイズのなどの2m超の大面積基板でも数十nm厚レベルの超薄膜の性能均一性が重要であり、インクジェット吐出液滴量の均一性が有力な利点となった⁶⁾。

同様の利点があるが、LCDセル内に充填される液晶分子組成物の液量制御をインクジェット滴下装置で行うことが、4Kや8K対応の高精細LCDパネルの品質向上と、安定した量産性を実現することに役

(a)液滴着弾パターン



(x,y) = (12,3)

(b)Ag電極上の有機半導体薄膜形成(白点線で囲った内側の光学顕微鏡写真)

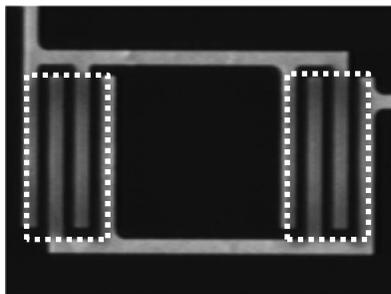


図8 インクジェット法による有機半導体薄膜の形成事例

立っている⁷⁾。

3.2.2 高純度な極薄薄膜形成技術

有機半導体は、結晶性を有する低分子系結晶物質、アモルファス状態の凝集体で成膜する高分子系非結晶物質、分子間力で様々な配列状態をとる液晶物質などがある。伝導度の高い結晶物質は大面積の薄膜状態では結晶状態を維持することが難しく、微結晶粒子の集合体である多結晶状態となってしまうため、インクジェット法による成膜には向いていない。それに対して、高分子系の有機半導体は、適切な混合溶剤系を選択することにより、大面積にわたって安定なアモルファス状態でインクジェット法により液膜を形成し、乾燥プロセス中の適切な下層表面との界面および空気界面との間で分子間配向と液膜内での配向により、高機能性有機半導体薄膜を形成することが可能になってきた⁸⁾⁹⁾。

上記の有用な高分子系の有機半導体インクは多くの場合、精緻に選択された混合有機溶剤でも溶解度が1wt%程度、粘度が数mPa·sec程度と小さいために、他の印刷工法には適合できず、インクジェット工法がデファクトスタンダードとなっている。スピコート法での成膜は可能であるが、パターンニングするためにはフォトリソ工程などの劣化の原因となる追加プロセスが必要となってくる難点がある。通常、インクジェットインク技術では増粘剤や添加物で粘度制御を自在にできるが、最も純度を求める

半導体薄膜を形成する工法としては採用できない。ましてや、インク粘度が数十～数百mPa·secを超えるレベルのみに適合する、スクリーン印刷やオフセット系印刷技術は使えない。

有機半導体インクをバンクなしに超薄膜で形成する我々の事例を図8に示す。図に示すように、高分子系のP型有機半導体インク0.5wt%濃度インクを1plで12個×3列描画し120μm幅×250μm長の連続液膜を形成した後に、100℃30分間の加熱乾燥で、均一な20nm厚の有機半導体薄膜を、マスクレスで基板サイズによらず設計パターンどおりに得ることができる¹⁰⁾。

3.2.3 高着弾精度の重ね印刷によるピラー形成技術

積層デバイスにおいて多層電極間を接続するピラー形成技術は、デバイスの性能と収率を決定する重要な技術である。我々は撥液性Agナノインクでインクジェット工法の着弾精度を±5μm以内に再現性良く高める生産プロセス技術を開発し(図9)、層間接続ピラー電極の形成に成功した¹⁰⁾。吐出安定性を確保するためには、撥液性Agナノインクの分散安定性、ヘッド内流路壁面とインクの親和性、ノズル面の清浄度維持のためのメンテナンスなどのプロセス条件の確保が必要であった。

図10に示すように、4plの液滴を8滴同一地点に重ね印刷することにより、焼成後に底面直径35μm、

高さ $4\ \mu\text{m}$ のピラーを形成した(図 11)。ピラー形成後に絶縁膜をスリットダイコートで印刷すると、撥液ピラー頂上部が絶縁膜インクをはじき頭を出して、次に積層する電極との電気接続を確保することになる。この間のプロセスは印刷版なしで非接触で行うことができるため、層間接続信頼性が格段に向上する¹⁰⁾。

3.2.4 微細パターン薄膜形成技術

東レエンジニアリング(株)と山形大学は、積層型電

子デバイス向けロール・ツー・ロール(R2R)フィルム搬送方式インクジェット塗布装置を開発し、細線描画技術を示した。図 12 に示すように、フレキシブル基材上に UV 光をパターン露光すると撥液状態が親インク状態へと変化し、金属ナノインク液滴で形成された液薄膜がパターン上のみ流動集合し熱焼成によりパターン形状どおりの細線薄膜を

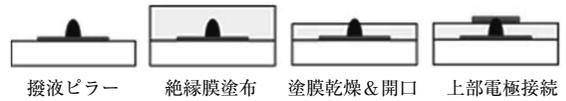


図 10 撥液性 Ag ピラー電極による層間接続プロセスフロー

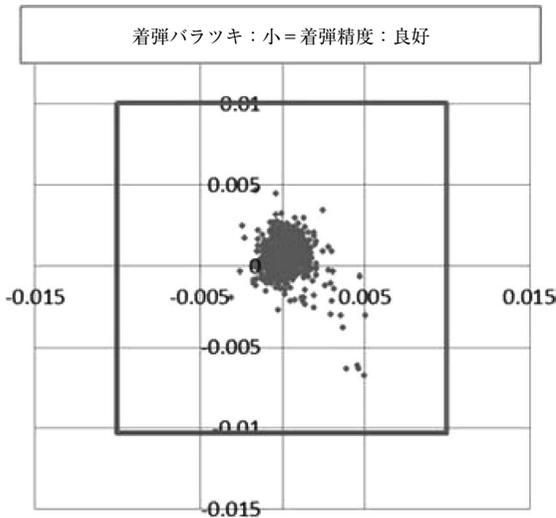


図 9 撥液性 Ag ナノインクの着弾精度

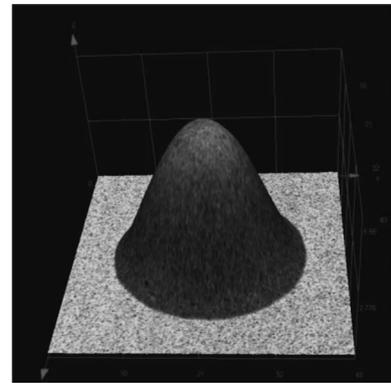


図 11 Ag ピラー電極のレーザ顕微鏡写真(縦横比 10 倍)

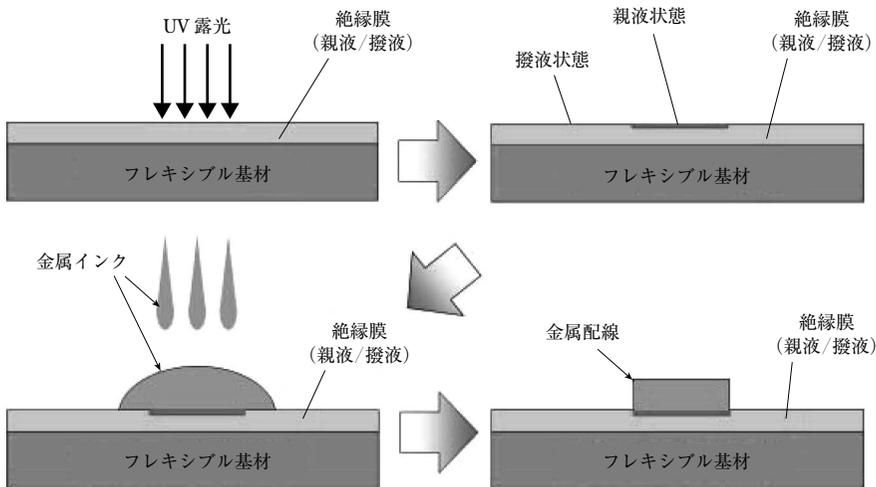


図 12 親撥処理による Ag 電極微細パターンの形成プロセスフロー

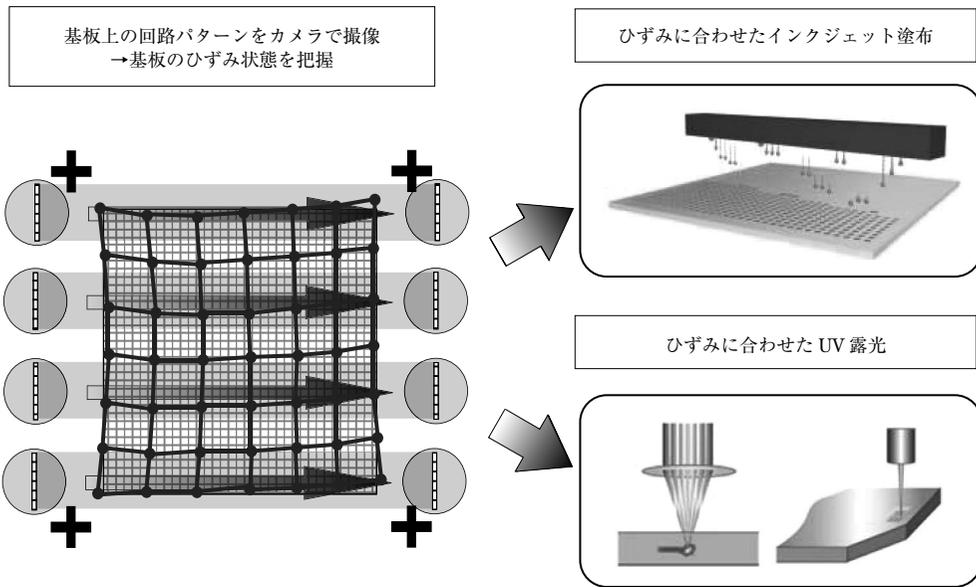


図13 インクジェット装置のひずみ補正機構の模式図

得ることができる。L/S=5 μ mまで実現している。またフィルム基板は900mm幅のR2R方式に対応している¹¹⁾。

図13に示すように、このインクジェット装置は、プロセス中に発生するフィルム基板のひずみに対応してそのひずみのレベルを検出し、インクジェット射出パターンを補正する機能を搭載しているので、TFTなどの積層デバイスの性能を確保することができる。

4. エレクトロニクスデバイスへの応用

エレクトロニクスデバイスは、電極層、絶縁層、半導体層、抵抗体層などの積層構造から成り立っており、インクジェット塗布法により原理的にはすべて成膜可能である。しかし、デバイスの駆動性能を達成するためには、パターン位置精度、パターン幅、パターン長、パターン膜厚、パターンエッジの直線性や曲面形状、表面粗さなどの要求性能を満たす必要がある。インクジェット塗布工法が適切であるかどうか十分に検討する必要がある。

そのうえで実用化に耐える性能を発揮できるエレクトロニクスデバイスの実例を、次に述べる。

4.1 有機TFT(薄膜トランジスタ)デバイス

4.1.1 次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合(JAPER A)

2011年に発足したJAPER Aは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクトを受託し、広範な印刷技術を用いたプリンテッドエレクトロニクス技術の生産技術と、デバイス技術の融合開発研究を行った¹²⁾。図14に示すように、フォトリソグラフィ工程を使わずに低温プロセスで成膜が可能である上に、プラスチック基板上に有機TFTアレイのような高機能デバイスを形成できる利点に注目し、曲げなどの変形に対応できるフレキシブル性がある。さらに、耐衝撃性にも優れることが期待され、インクジェット技術を含めた印刷技術を多用することで大面積を低コストで実現できる期待から、数多くの応用・活用の実証から社会実装が始まっている。

4.1.2 大面積有機TFTアレイ

図15に示した各層の印刷および焼成プロセスにおいて、それぞれの材料はインク状態でも焼成後の定着時にもハジキを発生しないように、かつ上下層間で混合しないよう、インク材料及び溶剤成分の組み合わせを最適化した。印刷する表面の濡れ性と印刷インクの表面エネルギーを調整するために、印刷層

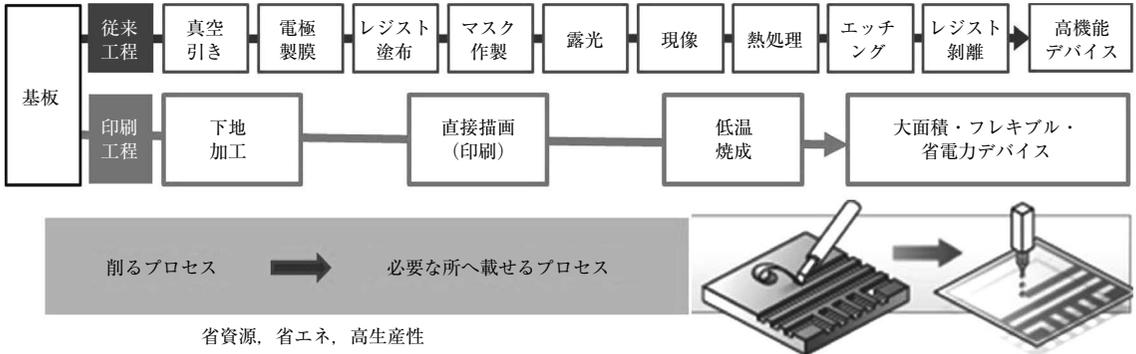


図 14 プリントドエレクトロニクス工程とフォトリソ工程の比較

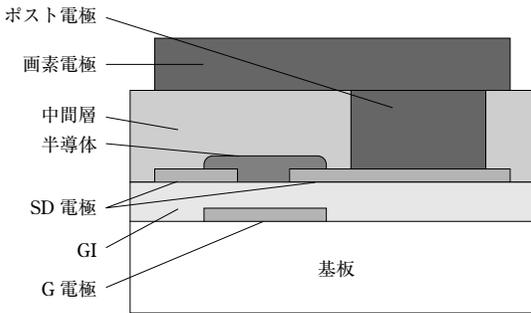


図 15 ボトムゲート型有機 TFT 素子の構造断面図

の焼成条件を摺り合わせて最適化した。

この印刷特性と印刷薄膜の電気的性能とを最適化した Ag ナノインクを開発して、ゲート電極およびソース/ドレイン電極を印刷積層した。高純度の高分子インクを開発しゲート絶縁膜を設けた。高分子系有機半導体インクをインクジェット射出に適合するように調合開発し、半導体層を設け TFT 活性化層を得た。これらの積層プロセスは連続印刷工程に適合するように印刷、乾燥、焼成等の個々のプロセスを生産技術的に最適化した。真空プロセスやフォトリソグラフィ工程は一切用いていない。プロセス温度の最大値は 180℃である¹³⁾。

4.1.3 フレキシブル圧力センサアレイ

図 16 に示すように、フレキシブル PEN(ポリエチレンナフタレート)フィルム上に有機 TFT アレイを数十万素子作成した最上層に感圧材料を印刷で積層し、対向電極を設けて駆動回路へ実装することで、フレキシブル圧力センサを製造することができ

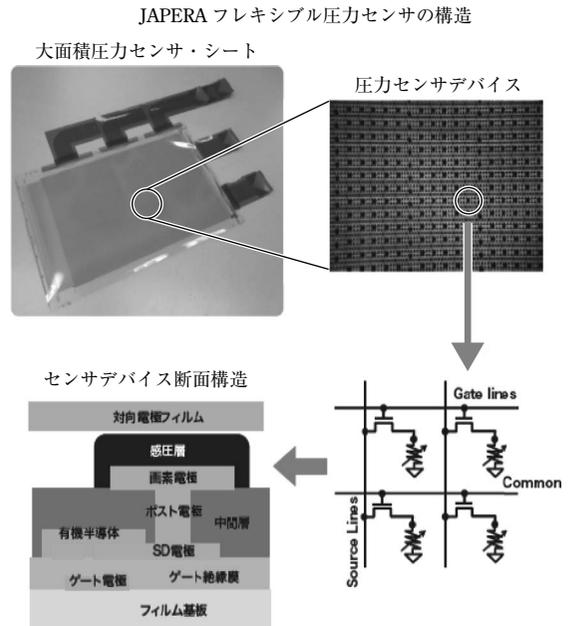


図 16 アクティブマトリクス駆動のフレキシブル圧力センサの構造

る。図 16 にはセンサ構造の対応回路図と有機 TFT 部分と感圧部の構造断面図の模式図を示した¹⁴⁾。

フレキシブル圧力センサシートの特長を生かして、図 17 には筒状に丸めて握力計測センサとしてのデモ状況を示す。詳細な握力データを 8 ビット相当で数万個の多点を同時に検出可能であり、今までにないデバイスを提供できることが明らかとなり、ヘルスケア現場での実証検討が進んでいる。

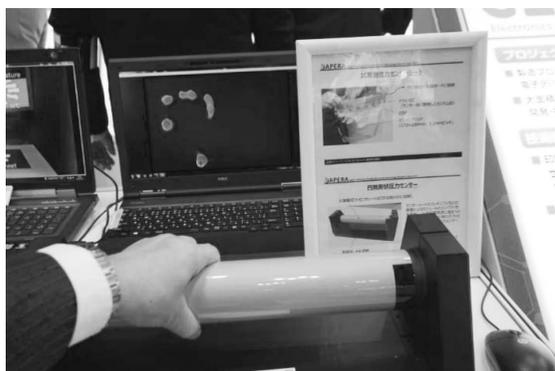


図 17 グリップセンサのデモの様子

4.2 有機 EL ディスプレイ

インクジェットによる有機 EL ディスプレイの製造は、2000 年には原理的な試作まで進んだが、サムスン電子(株)や LG エレクトロニクス(株)が蒸着法で作製した有機 EL ディスプレイをスマホや大型 TV で実用化および商品化して普及することに対抗して、2016 年頃からは製造コストダウン効果を狙って再びインクジェット技術のブラッシュアップが急速に進み始めてきた。2016 年には(株)JOLED が RGB 発光層におけるインクジェット印刷技術の量産化へ向けて、中型有機ディスプレイの開発に成功した¹⁵⁾。

JOLED のインクジェット RGB 印刷方式は、大気圧環境で製造できるので、真空装置やメタルマスク

が不要で生産効率が高く、印刷により必要な箇所だけに材料を塗布するため材料利用効率がよく、さらに同一印刷ヘッドで描画パターンを変更することで、異なる画素サイズのパネルを製造できるため、フレキシブルな生産対応が可能である。

2018 年には、G4.5 サイズの量産製造ラインを稼働させ、21.6 型 4 K 高精細の精細度 204 ppi、コントラスト比 106 : 1、パネル厚 1.3 mm、重量 500 g のディスプレイを出荷開始した(図 18)。

5. 3D 造形技術への応用

インクジェット技術でミクロン厚の厚膜を順次形成して 3D 積層造形物体を作り上げる分野が注目されてきており、多くのメーカーが参入し治工具や小ロット部品生産などに実用化されている。

5.1 UV 硬化インクの積層造形

(株)ミマキエンジニアリングはフルカラー UV インクジェットプリンタ Mimaki 3DUJ-553 で、フルカラー対応の 22 μm 厚の積層で 508×508×305 mm サイズのカラー樹脂造形品の製作を可能とした(2017 年)。

5.2 粉末バインダーージェットティングによる造形

図 19 に示すように、粉体層に光硬化性樹脂溶液

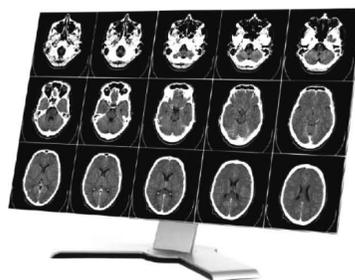
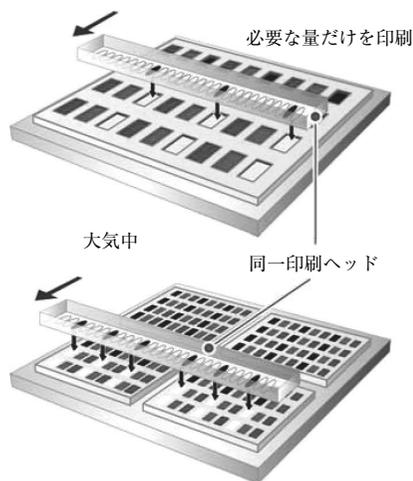
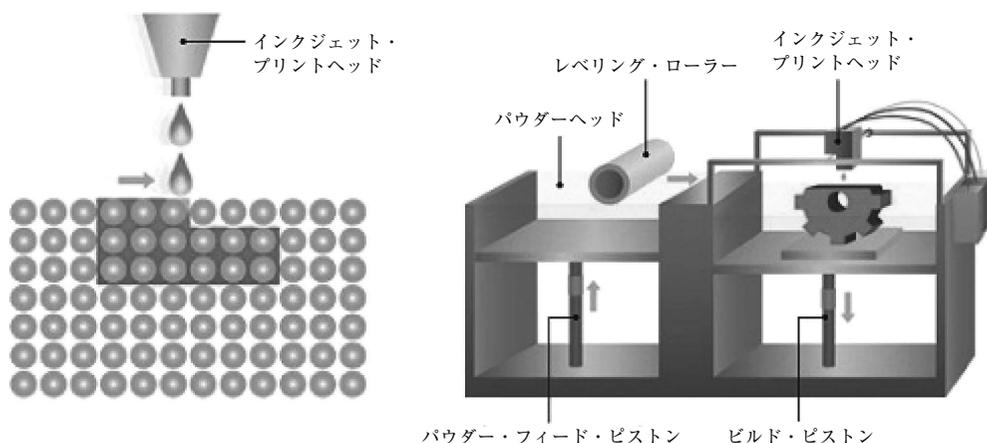


図 18 JOLED の RGB 印刷方式による OLED の製作と 21.6 型 4 K ディスプレイ

図 19 粉末バインダージェットの模式図¹⁶⁾

をインクジェット法で滴下し、UV 光照射により粉体を硬化させて順次積層して造形する方式で、米国 3D System 社が製品化している。カラー化対応も容易で、デザイン検証用のフィギュア作成にも用いられている。

5.3 金属造形

イスラエル XJET 社の NanoParticle Jetting™ 技術は、金属やセラミックのナノ粒子を分散したインクを使用し、インクジェット装置で描画した積層造形物を急速に 300℃ の高温焼成して焼結する(2016 年)。

5.4 医療用途

これら 3D 印刷技術による数十 μm 程度の厚膜積層造形工法は、ハイドロゲルでの人工臓器モデルのソフトマテリアルの造形製作等のほか、歯科用モデルやインプラント手術ガイドなどの医療分野でも活発に研究されている。

6. 国際標準化の動き / TC-119

2010 年からプリンテッドエレクトロニクス技術に関わる国際標準化活動の動きが進んでいる。2011 年に IEC(International Electrotechnical Commission ; 国際電気標準会議)の TC119(Printed Electronics)が発足した。日本国内では(一社)電子情報技術産業協会(JEITA)内に設置された TC119 国内審議委員会が対応している。

IEC TC119 は 5 つのワーキンググループ(WG)に分かれ、国際標準規格の提案、審議、決定を行っている。WG1 は Terminology, WG2 は Materials, WG3 は Equipment, WG4 は Printability, WG5 は Quality assessment を担当している。2016 年に、WG2 ではインクジェット用インクも含めた導電インクや基板材料全般の規格、性能の定義と測定法が決定された。2017 年に、WG3 では、インクジェットヘッドから飛翔する液滴体積や飛翔速度の測定法と飛翔観察法の標準(IEC 62899-302-2)が決定された¹⁷⁾。

7. 今後の展開 / 新たな基礎研究

インクジェット技術はデジタルプリント関連企業が主体となって開発・量産実用化されてきたが、2017 年から大学などの研究機関でさらに掘り下げた基盤技術の研究が開始された。山形大学インクジェット開発センターが開所し、酒井真理産学連携教授が関連企業と共同で高粘度インク射出可能なインクジェットヘッドの研究、インクレオロジーとインク吐出の解析研究などを始めている¹⁸⁾。

8. おわりに

インクジェット技術はコンシューマ用途から、商業印刷や捺染・テキスタイルなどの産業分野での応用拡大を経て、いよいよ機能性薄膜を形成する工業分野での発展が期待される。インクジェット工法は多くのパラメータの摺り合わせが必要だが、その特

長を十分に活用すれば他の工法には不可能な新たな価値を生み出すと考えられ、特定の応用領域ではデファクトスタンダードになり得る。

文 献

- 1) M. Fujii: *Journal of Imaging Science and Technology*, **62** (4), 40502-1-40502-7(7) (2018).
- 2) 日本画像学会編, 藤井雅彦監修: 改訂インクジェット(シリーズ「デジタルプリンタ技術」), 東京電機大学出版局, 52-64(2018).
- 3) https://www.epson.jp/technology/core_technology/inkjet/micro_piezo.htm(参照 2019.3.4)
- 4) https://www.ulvac.com/userfiles/files/Services/Metal%20Ink/NANOMETAL_INK_CATALOG_update_2011%204%2014.pdf(参照 2019.3.4)
- 5) 日本画像学会編, 藤井雅彦監修: 改訂インクジェット(シリーズ「デジタルプリンタ技術」), 東京電機大学出版局, 95-105(2018).
- 6) 小澤康博: ディスプレイ, **14**(6), 55(2008).
- 7) 阿部猪佐雄, 中村秀男, 川澄幸宏, 小菅忠男: 第15回新機械振興賞受賞者業績概要, 5(2017).
- 8) 半那純一: 日本画像学会誌: **55**(2), 250(2016), **55**(3), 389(2016).
- 9) https://www.sumitomo-chem.co.jp/printedelectronics/application/organic_semiconductors/(参照 2019.3.4)
<https://www.sumitomo-chem.co.jp/printedelectronics/features/>(参照 2019.3.4)
- 10) 仲島厚志, 西眞一, 鎌田俊英: Imaging Conference JAPAN 2018(日本画像学会年次大会), 117(2018).
- 11) 友枝哲, 畠山辰男, 平田肇, 後藤芳政, 熊木大介, 時任静士: 情報ディスプレイ. 研究会予稿集(2017).
- 12) <http://www.japera.or.jp/>(参照 2019.3.4)
- 13) S. Nishi and T. Kamata: Proc. ICFPE2014, 27(2014).
S. Nishi, T. Miyoshi, H. Endoh and T. Kamata: Proc. NIP32, 305(2016).
- 14) T. Miyoshi, H. Kondoh, S. Nishi and T. Kamata: Proc. IDW2018., 1617, Nagoya, Japan (2018).
- 15) <https://www.j-oled.com/technology/>(参照 2019.3.4)
- 16) <http://www.rioh.co.jp/3dp/lineup/byMethod/?anchor=scrollTerm3>(参照 2019.3.4)
- 17) K. Hyodo and S. Sakai: Printing for Fabrication 2018, 119(2018).
- 18) 酒井真理: 山形大学インクジェット研究センター発足記念セミナー講演資料(2018).

＜西 眞一＞

キーワード

インクジェット, 射出液滴体積, 射出駆動周波数, ノズル数, ピエゾ方式, サーマル方式, MEMS(micro-electro-mechanical systems)構造, 金属ナノ粒子, 着弾精度, デジタル印刷, 非接触印刷, 少量多品種生産, インク粘度, 配向膜, 連続液膜, 有機半導体, 純度, P型有機半導体, 積層デバイス, ピラー, 撥液性, 層間接続, 重ね印刷, ロール・ツー・ロール, UV光, 撥インク, 親インク状態, 親撥処理, 有機TFT, 薄膜トランジスタ, フォトリソグラフィ, ゲート電極, ソース/ドレイン電極, フレキシブル, 圧力センサ, ヘルスケア, プリンテッドエレクトロニクス, アクティブマトリックス, 有機ELディスプレイ, RGB印刷, 積層造形, 粉末バインダーージェッティング, 光硬化性樹脂, 4Kディスプレイ, 金属造形, 人工臓器, 国際標準化, TC-119

2020版 薄膜作製応用ハンドブック

発行日	2020年2月14日 初版第一刷発行
監修者	権田 俊一
発行者	吉田 隆
発行所	株式会社 エヌ・ティー・エス 〒102-0091 東京都千代田区北の丸公園 2-1 科学技術館 2階 TEL：03(5224)5430 http://www.nts-book.co.jp/
印刷・製本	株式会社 双文社印刷

© 2020 権田 俊一

ISBN978-4-86043-631-5

乱丁・落丁はお取り替えいたします。無断複写・転載を禁じます。
定価はケースに表示してあります。
本書の内容に関し追加・訂正情報が生じた場合は、(株)エヌ・ティー・エスホームページにて掲載いたします。
※ホームページを閲覧する環境のない方は当社営業部(03-5224-5430)へお問い合わせ下さい。