

インクジェット塗布技術

Inkjet Coating Technology

桜井 直明

澤田 安彦

淵上 安彦

■ SAKURAI Naoaki

■ SAWADA Yasuhiko

■ FUCHIKAMI Yasuhiko

半導体やディスプレイ基板など電子デバイスの製造では、PEP (Photo Engraving Process) 法が多用されている。この方式は微細な配線が形成できるが、成膜、レジスト塗布、露光、現像、はく離など多くの工程が必要となるうえに、直接材料と間接材料に大量のロスが発生する。一方、インクジェット法は、必要な部分に材料を直接塗布できるため、材料ロスを軽減できる方法として注目されているが、実際にはわずかなミスショットも許されないため、量産レベルでの実用化は難しい。

東芝は、各種要素技術の考案によりこれらの課題を克服し、電子デバイス用の安定性の高いインクジェット塗布技術と装置を開発した。

A photoengraving process (PEP) is often utilized in the manufacturing of electronic devices such as semiconductors and flat-panel displays. Although it is useful for fabricating wiring, large amounts of direct and indirect materials are consumed in the resist, exposure, development, flaking off, and other processes. An inkjet process can solve these problems, but it is difficult to apply it to mass production because even one misdirection is not permissible in device manufacturing.

Toshiba has developed an extremely stable inkjet system for electronic device production processes by developing various elemental coating technologies to overcome these issues.

1 まえがき

半導体やディスプレイなどの電子デバイスの製造では、微細な配線の描画や着色レジストの塗布など、写真露光技術を応用したPEP法が使われている。このプロセスでは、いったん基板全面に膜を形成し、マスクで露光した後、現像液とはく離液による処理を行って目的のパターンを形成する。現像やはく離に伴うプロセスを要するため膨大な数の装置が必要となり、間接材料や直接材料のロスが発生するという問題がある。

これに対し、インクジェット法は直接描画方式であり、これらのロスを軽減できる手法として注目されているが、使用するインク材料に制約があったり、誤塗布を起こさない厳密なプロセス管理が必要なため、全面膜形成以外の塗り分けタイプでは、実際の製造ラインで使用されている例は極めて少ない⁽¹⁾。

今回、東芝は、塗布位置精度とその信頼性を向上するための各種要素技術を考案し、長期の安定性に優れたインクジェット塗布技術と装置を開発したので、それらの概要について述べる。

2 インクジェット塗布装置の概要

開発したディスプレイ用インクジェット塗布装置を図1に示す。全体が温湿度制御され、クリーンユニットを搭載している。MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術でカスタマイズした高精度な産業用インクジェットヘッド (以下、



ヘッドと略記) を複数搭載し、内蔵する基板搬送用ロボットでRGV (Rail Guided Vehicle) とのアクセスを行う。ノズルごとに独立して塗布の制御ができ、ドット単位で塗布量や塗布位置を制御できる。また、気泡による吐出不良を防ぐためのガス除去機構や、ヘッド内の沈着物滞留を防ぐためのインク循環機構を設けている。総合的な塗布位置精度は、ヘッド交換

直後で $\pm 3 \mu\text{m}$ 、数か月にわたる連続運転の間も $\pm 8 \mu\text{m}$ 以内を維持している。

製造工程でのインクの吐出方向のずれ、液量や液滴形状の変化などは、不良品発生に直結するため特別な配慮がなされており、これらの状態を監視し修正するシステムが組み込まれている。

各パーツやシステムは、年単位の長期間にわたる塗布安定性の確保を念頭において品質や運用の管理を行っており、初期性能だけでなく経時的な劣化も考慮したものとしている。これら以外に、後述するインク自動充てん装置やモジュールシステムによりヘッド調整を外段取り化している。

次章では、この装置の性能向上に寄与した要素技術の一部について述べる。

3 開発した要素技術

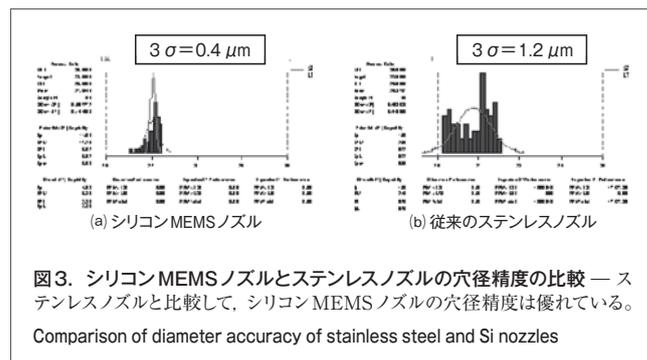
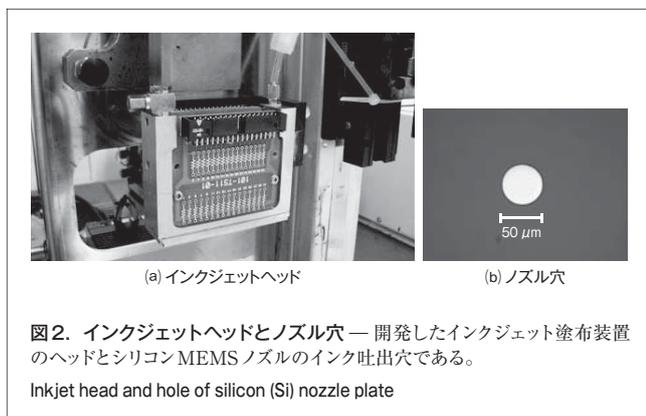
3.1 シリコンMEMSノズルとモジュールヘッド

電子デバイスの製造などに用いる産業用インクジェット塗布装置では民生用装置と異なり、溶解性の高い溶媒を用いたインクを使わねばならないことが多い。しかし、産業用装置のヘッドの大半は接液部に接着材や樹脂などを使用するものが多く、そのため長期的には、インク中への接着剤や樹脂など不純物の溶出が問題となる。

開発したインクジェット塗布装置のヘッドとノズル穴を図2(a)に示す。この装置のヘッドは、接液部がすべてステンレス製の市販品で、各種溶剤に対する耐久性が高い製品である。このヘッドのノズルにMEMS技術でカスタマイズしたシリコンを用い、ノズル穴の形状や位置精度を向上させた(図2(b))。

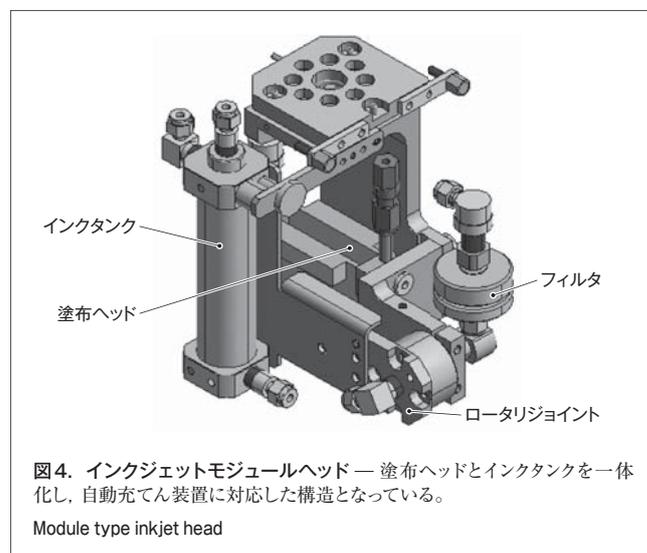
従来のステンレスノズルの加工では穴径精度が $\pm 1.2 \mu\text{m}$ ($\pm 3\sigma$ (標準偏差))であったが、このシリコンMEMSノズルでは $\pm 0.4 \mu\text{m}$ ($\pm 3\sigma$)とすることができた。図3は、穴径のばらつきを従来の加工法と比較したものである。

インクジェット塗布装置を量産で稼働させるためには、インク吐出状態の安定化と、ヘッドの交換及び性能確認作業の短



時間化が必須である。このため、インクタンクとヘッドを一体化したモジュールヘッドを開発し、吐出系の交換部品を外段取りで確実に調整できるようにした(図4)。このモジュールヘッドの主な特長を次に示す。

- (1) ヘッド着脱時の作業性向上 インクタンクとヘッドを一体化したカートリッジ構造とし、インクジェット塗布装置への取付け作業の簡略化と作業ミスの防止ができるようにした。
- (2) インク不吐出対策 ヘッドからのインク不吐出発生の原因の一つに、気泡の混入がある。モジュールヘッドでは、インクタンクからヘッドまでの配管を極力短くするとともに固定し、接触振動による気泡が発生しにくい構造とした。
- (3) インク充てん作業の自動化 インクを充てんするには、流路内の気泡を押し出しやすいように、充てんの進行に伴ってヘッドが任意の角度に回転する必要がある。このため、モジュール内のヘッドを自由に回転できるようにロータリジョイントを使用し、インク充てんの自動化に対応した。
- (4) 異物対策 インクに混入した異物はノズル詰まりの原因となる。そこで、塗布ヘッド近傍にフィルタを搭載し、



異物による不吐出の発生を防止した。

次に、モジュールヘッド用のインク自動充てん装置について述べる。この装置は複数の充てんポートを搭載し、同時に複数のヘッドのセットアップができる。インク充てん機能のほかにも、量産での使用に必要な下記の機能を備えている。

- (1) 不吐出からの自動回復機能 不吐出が発生したヘッドに対して、吐出を回復させるための手順を自動的に実行する機能を装備し、円滑な吐出状態への復帰ができるようにした。
- (2) ヘッドの乾燥防止機能 長期間ヘッドを使用しない場合には、その時間の長さに応じてノズル内部のメニスカス面（出口液面部）の微小振動、インクのダミー吐出、及びキャップによる先端の覆いを使い分けて乾燥防止を図った。
- (3) 吐出状態の確認機能 ヘッドからのインクの吐出状態を目視できる機能を搭載し、塗布装置への取付け前に不具合の有無を確認できるようにした。

以上のモジュールヘッドとインク自動充てん装置の開発により、高品質なヘッドの外段取りができるようになった。

3.2 吐出精度の安定化技術

ヘッドは多くのノズルで構成されており、高精度な塗布を実現するためには、各ノズルから吐出されるインクの吐出位置と吐出量を個別に制御する必要がある。

このため、ノズルごとに独立した吐出波形を任意のタイミングで生成できるヘッドコントローラ（図5）を開発した。この装置は、CPUボード、パルス発生ユニット、可変電源ユニット、及びドライバユニットから構成されており、それぞれのユニットを増設することで、任意のノズル数のヘッドに対応することができる。また、各ノズルへの吐出信号の波形とタイミングは、GUI

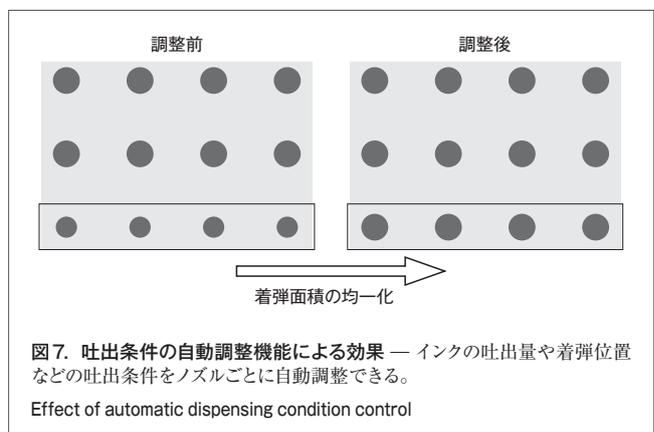
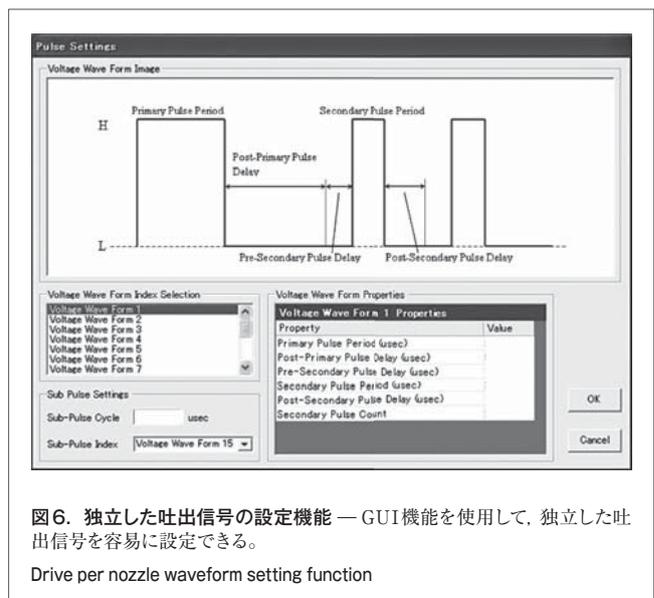


(Graphical User Interface) を使用した専用ソフトウェアで、ノズルごとに異なった値を容易に設定することができる（図6）。

インクジェット塗布装置には、ヘッドから吐出されるインクの着弾位置及びノズルごとの吐出量を自動調整する機能を搭載した。この機能では、吐出したインクの着弾面積を画像処理で算出し、これがノズル間で均一になるように吐出波形を調整して吐出量を合わせ込んでいる。調整前後での着弾形状の比較例を図7に示す。

また、自動調整中は着弾位置と吐出量の調整だけでなく、次の項目の確認も同時に実施している。

- (1) 着弾形状 正常に着弾したインクは真円で規則正しい配列となる。不具合が出ていないかどうかは、インクの実真円度の測定及びサテライトと呼ばれる微小インクの誤吐出の有無を検出することで判断する。
- (2) 着弾位置のばらつき ノズルごとの着弾位置のばらつきを検出し、別に設定する許容水準以上の場合は、異常であることをオペレーターに通知する。



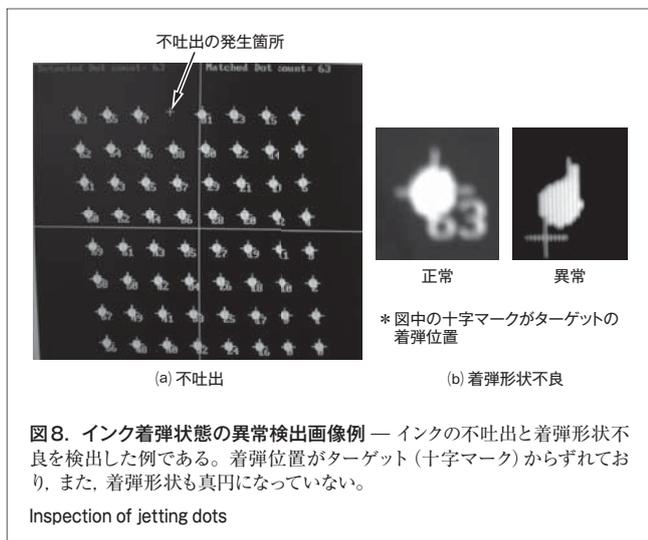
これらの自動調整機能により、多くのヘッドを用いても、インクの着弾位置及び吐出量の調整が安定して短時間で終わるようになった。また、吐出異常の前兆となるインクの着弾形状や着弾位置のばらつき悪化を早期に検出し調整できるようになったことで、量産稼働の安定化を達成できた。

3.3 検査システム

塗布システムの信頼性自体は十分に高かったとしても、塗布対象であるワークの表面状態や現場の温湿度などの変動もあり、長期的には想定していない要因で製品不良が発生することも考えられる。そのため、ワーク上へのインクの着弾状態を常に監視し、不良品の発生を検知するシステムを開発した。

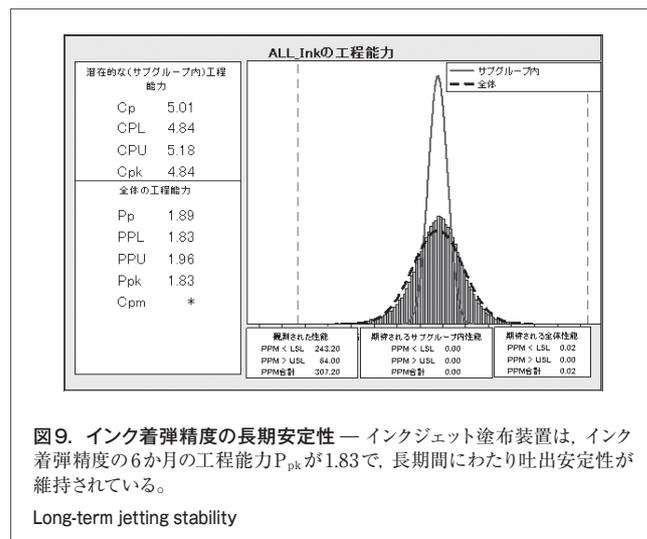
検査方法は、全ノズルから吐出したインクの着弾形状をカメラで撮影し、その画像を処理することで、不吐出及び着弾位置や着弾形状の異常などの有無を確認するものである。不吐出と着弾形状不良の発生を検出した例を図8に示す。ワークへの塗布動作ごとに毎回検査を実行することで、塗布状態の変化を早期に読み取ることができる。しかし、検査回数が増大は生産性を低下させることになるため、画像処理の高速化や測定機材のコンパクトな配置によって撮影動作の短時間化を図っており、独自の検査動作シーケンスの高効率化対策も盛り込んでいる。

また、異常を検出した場合でも、自動でヘッドの吐出回復動作を実行し、再検査で正常な状態が確認できれば装置を異常停止させないようにするなど、稼働率向上に配慮している。



4 インクジェット塗布装置の稼働実績(総合結果)

開発したインクジェット塗布装置を6か月間稼働させ、インクの着弾精度につき工程能力を分析した結果を図9に示す。この期間での工程能力 P_{pk} は1.83であり、長期間にわたり吐出安定性が維持されていることが確認できた。



また、塗布方法などのプロセスやワーク側の製品設計などの改善により、最終的には P_{pk} 7.88及び不良率0%を達成できた。

5 あとがき

各種要素技術の考案により、長期間の安定塗布ができる、電子デバイス製造に適したインクジェット塗布技術と装置を開発することができた。この装置は、3か月にわたる昼夜連続の製造評価試験において、インクジェット塗布に起因する製品不良が出ないことが確認された。

今後、電子デバイスの実製造ラインにおいて量産への適用を進める。

文献

- (1) 下田達也, ほか. インクジェット法で発光層を形成した発光ポリマーディスプレイ. 電子情報通信学会技術研究報告. 100, 650, 2001, p.19-24.



桜井 直明 SAKURAI Naoaki

生産技術センター ソリューションプロジェクト担当グループ長。
電子デバイス向け塗布技術の開発に従事。
応用物理学会会員。
Solution Project Group



澤田 安彦 SAWADA Yasuhiko

生産技術センター メカトロニクス開発センター研究主務。
電子デバイス向け塗布装置の開発に従事。
Mechatronics Development Center



瀧上 安彦 FUCHIKAMI Yasuhiko

生産技術センター ソリューションプロジェクト担当主任研究員。
電子デバイス向け塗布技術の開発に従事。
Solution Project Group