

IV-6 自己走査型 LED を用いた 1200dpiLED カラー複合機の開発

池田周穂*、寺尾和男*、小野裕士**、楠田幸久**、小野博***

*富士ゼロックス（株）研究技術開発本部、**富士ゼロックス（株）モノ作り技術開発本部、**

*鈴鹿富士ゼロックス（株）オプトエレクトロニクス事業センター

1. はじめに

環境課題に対応する技術開発の必要性はかつて無いレベルで高まっており、電子写真システムにおいても、低消費電力化、小型・軽量化が必須となっている。電子写真システムの露光装置に関して、これまでのレーザ ROS (Raster Optical Scanner) に代えて、LED プリントヘッドを搭載すれば、デバイスの小ささを生かして機械本体の小型化に大きく寄与でき、また駆動部分がないため、静粛性に優れ、電力削減も期待できる。しかし、LED プリントヘッドは、光源、変調部が多数存在するため、光量を均一にすることが難しかった。

我々は 1200dpi-SLED、DELICIS 技術、精密実装技術を開発し、LED プリントヘッドの高解像度化と露光特性の均一化、および画像むらの安定化を実現した。さらに当社で培ってきた高解像度デジタルイメージング技術と組み合わせることで、高画質で環境にも配慮したカラー複合機を開発し、市場導入した。本稿では、これら主要技術に関して説明する。

2. 1200dpi-SLED (Self-Scanning Light Emitting Device) 技術

2-1 解像度 600dpi から 1200dpi へ

富士ゼロックスではこれまでに VCSEL を用いた解像度 2400dpi のレーザ ROS を開発し*1、高い解像度によってスクリーンや IE (Image Enhance) の自由度を上げることで高画質化を実現してきた。

LED プリントヘッドを使った複合機開発に当たってはこれらの技術が適用可能な高解像度 LED が必要だった。しかしこれまでの LED プリントヘッドを高解像度化しようとする、発光素子チップ上の発光ドットと、隣接して配置したドライバ上の駆動回路とを接

続するためのワイヤボンディングパッドを 1 列から 2 列にするなどの工夫が必要で、発光素子数の増加に加えワイヤボンディング工程の複雑化など、小型化、低コスト化することが難しかった。

2-2 1200dpi-SLED 開発

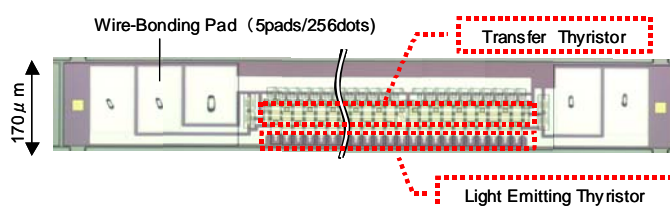


Fig.1 1200dpi-SLED

このような課題に対し今回開発した発光素子は、ドライバ機能の一部を素子チップ上に集積化した独自の自己走査方式 SLED (Self-Scanning Light Emitting Device) を採用することで、解像度 1200dpi で 256 ドット/チップの発光点に対し、5 本の制御線で動作が可能になった (Fig. 1)。このことで、ボンディングパッドは素子チップ両端に配置が可能となり、チップサイズの小型化と部品点数削減を可能にした。自己走査方式とは、PNPN サイリスタのスイッチング特性を利用し、PN 接合の一部を発光ダイオードとして利用することで、Fig. 2 に示すように走査機能を担う転送サイリスタを発光サイリスタと共に集積化したもので、P 型 GaAs 基板上に PNPN 構造を有するエピタキシャル層、エピタキシャル層上のカソード電極、コンタクトホール、ゲート電極、電極配線で構成されている (Fig. 3)。発光部は高発光効率のダブルヘテロ構造を採用し出力光量 $130 \mu\text{W}$ (波長 780nm) である。今回 35ppm の商品に適用したが、60ppm の中速機まで対応可能である。以上のように、新開発の 1200dpi-SLED により、従来の

LED プリントヘッドの課題であった、高解像度化、小型化、部品点数、製造コストの削減を可能とした。

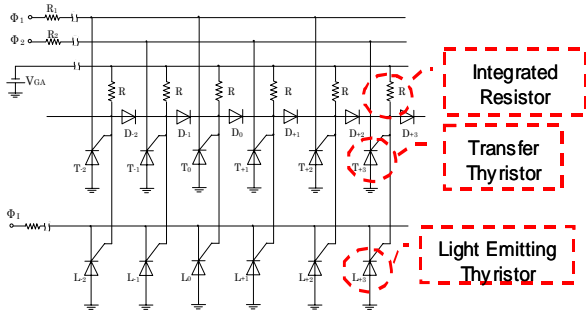


Fig.2 Equivalent circuit of 1200dpi-SLED

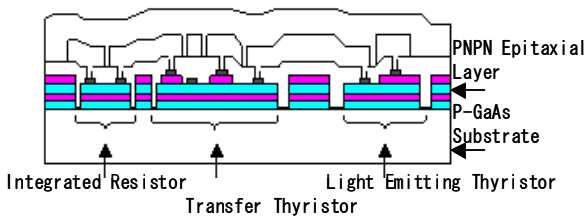


Fig.3 SLED Structure

3. 高精度露光のための DELCIS 技術

これまでの LED プリントヘッドは発光素子チップとドライブチップとを並行して配置し、発光素子チップ上の LED とドライブチップ上の電流源とを Au ワイヤで接続し、各電流源を制御して光量ムラを補正していた。このため回路数や配線数が高解像度化の障害となっていた。これに対し SLED は内部に ON すべき発光ドットを順次シフトする機能を持ち、外部からこのシフトに合わせて 1 系統あたり 1 本の制御信号を時系列で供給するだけで 1 系統に接続された全発光ドットの制御が可能になる高解像度化に適した技術である。この SLED の光量ムラを補正する方式として電流を制御する方式と電流を流している時間（駆動パルス幅）を制御する方式の二つの方式が考えられるが、我々はパルス幅制御方式を採用した。

パルス幅制御方式が電流制御方式より優れている第一の利点が制御精度である。Fig.4 に電流を変えた場合の光量、Fig.5 に駆動パルス幅を変えた場合の露光量を示している。この結果から電流よりもパルス幅で制御した方が線形性に優れていることがわかる。

LED の光量制御では多数の発光ドットを制御する必要性からレーザのような Closed Loop 制御ではなく Open Loop 制御が用いられる。Open Loop 制御では制御系の非線形性が収束時の誤差となり、この誤差が光量補正での精度悪化を招く。パルス幅で制御することによりこの制御系起因の精度低下を抑えることが可能になった。

次に第二の利点が安定性である。電流駆動を選択した場合、電流値の安定性はトランジスタの飽和領域特性で決定されるが、飽和領域であっても駆動電圧や温度によって電流値は変動する、さらに多数のドライブチップを並べた場合、ドライブチップ毎に駆動電圧や温度に対する依存性を揃えることが難しく、露光量ムラとなって画質に影響を与える。これに対してパルス幅による制御はパルス点灯する際の ON, OFF する時間が十分に小さければトランジスタ特性の影響を受けにくくできる。

第三の利点の実装性である。電流で制御する方式を選択した場合、電流源が必要となるが、従来のように発光ドットの数だけ電流源を設けると駆動側の回路規模が大きくなり SLED を使うメリットを減じる。また少ない電流源を使って時分割で制御しようとする高速電流制御が必要となるが、電流制御精度と高速性を保ちながら小型化するのが難しい。これに対しパルス幅制御はデジタル回路と組み合わせることなく電流源を使うことなく実現可能である。このデジタル回路を使ったパルス幅制御によって高精度に露光量制御を行うのが、今回開発した DELCIS 技術である。DELCIS とは、Digitally-Enhanced Lighting Control Imaging System の略で、1つの高機能 ASIC で全ての SLED チップの点灯パルス幅を集中制御するフルデジタル露光量補正、露光量制御技術である。1200dpi-SLED 技術とこの

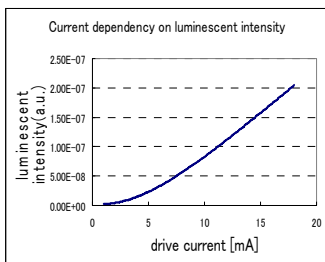


Fig.4 Current Dependency on Luminescent Intensity

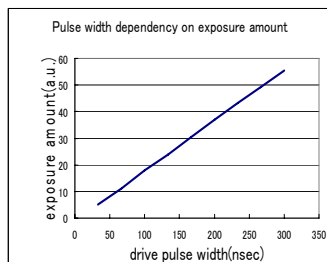


Fig.5 Pulse Width Dependency on Exposure Amount

DELICIS 技術の開発により従来 LED チップ毎に必要なだったドライブチップが不要となり、さらに 1 個の ASIC で制御できる結果、多数のドライブチップを使って個別に発光ドットを制御する方式に比べ各 SLED チップに対する発光制御ばらつきを抑えることが可能になった。Fig. 6 に弊社レーザ ROS 方式 (600×600dpi_多値) と本 LPH 方式 (1200×2400dpi) での画像濃度ムラの周波数分析結果を示した。この結果から LPH 方式の濃度ムラがレーザ ROS 方式同等に抑えられていることがわかる。

また 1 個の ASIC で全ドットの光量を集中制御する構成のメリットを最大限利用し、シリアル点灯による SLED の高い駆動周波数と 2400dpi という高い副走査解像度を両立しながら、高い光量補正精度を実現した。

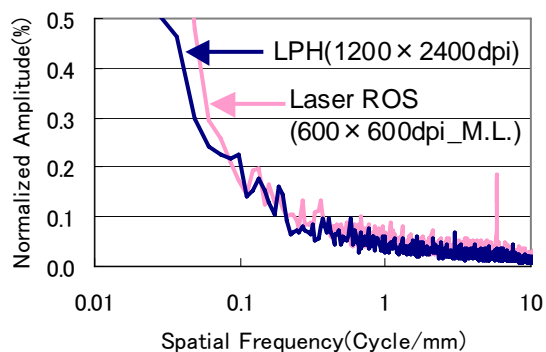


Fig.6 Normalized Density Amplitude as a Function of Spatial Frequency for LPH and Laser ROS Image Density Uniformity.

さらに、ASIC には、画像信号、画像コントロールに対応する露光制御信号を入力し、さまざまな補正がこれで行えるようにした。このことで、プリントヘッド内の複数の SLED チップ間で生じる制御に起因する誤差を抑制し、同時に、マシン制御に必要な発光制御に対応することを可能にした。以上 LED プリントヘッドの弱点とされてきた光量ムラを改善することができたが、一方で LED プリントヘッドの特徴は最大限生かした結果ハイライト部階調性が Fig. 7 に示すよう弊社同クラスのレーザ ROS 方式と比較し改善され、また高解像度化により Fig. 8 に示すように文字品質も改善することができた。

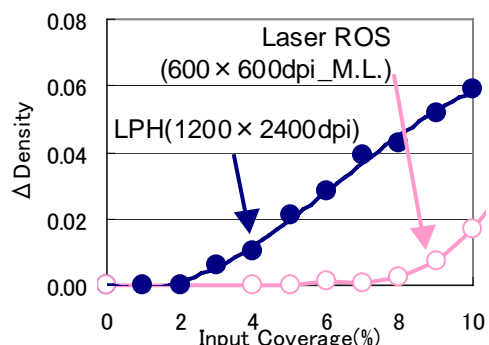


Fig.7 High-light Tone Reproducibility Comparison. (The Relationship between the Δ Density and the Input Coverage)

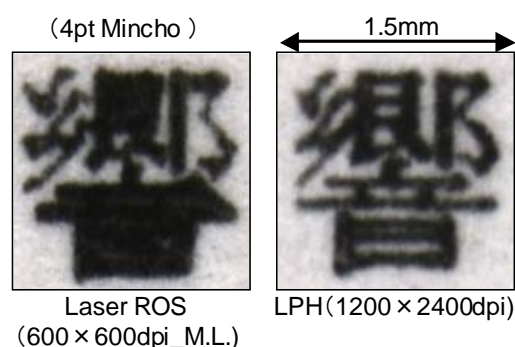


Fig.8 Font Reproducibility Comparison with the Laser Printer in the same class in Fuji Xerox

またフルデジタル化は、ドライブ ASIC の 1 チップ化による高解像度 LED プリントヘッドの小型化、及び、消費電力低減にも貢献している。

4. ヘッド本体構成、製造技術、低コスト化技術

Fig. 9 に今回開発した LED プリントヘッドの本体構成を示した。LED プリントヘッドの主要構成部品は、SLED チップを実装した基板、レンズアレイ、それらを保持する筐体と剛性メンバとしてのアルミベース、ASIC を搭載した基板である。

LED には GaAs 系素材を用いているが、Si 系に比べ高価であるため、SLED チップの幅を 0.17mm まで狭め、材料費の低減をはかった (Fig. 10)。

1200dpi の解像度の場合、発光素子間隔は約 21 μ m となり、製造段階では熱膨張も考慮し更に狭い隙間を実装する必要がある。この課題に対し、LED アレイを千鳥実装することで要求精度を実現した。また隣接す

る LED 光がワイヤに反射するのを防止するため、低ルーブワイヤボンド接続構造としている (Fig. 11)。

これらのプリントヘッドの構造設計、製造技術により、SLED のメリットを最大限に生かした高精度の露光性能を実現した。

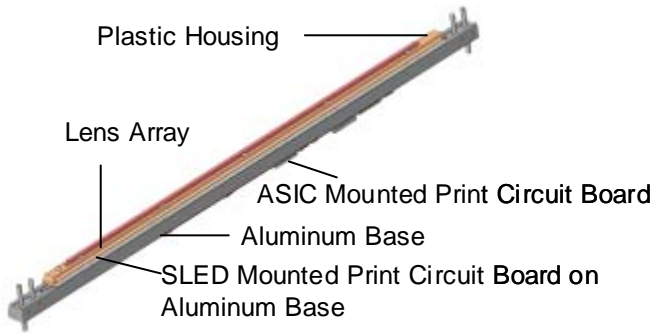


Fig 9. LED Print Head Configuration

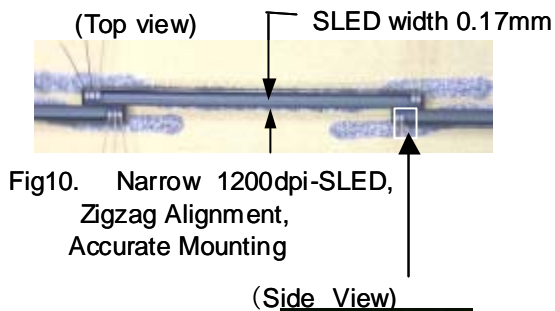


Fig.10. Narrow 1200dpi-SLED, Zigzag Alignment, Accurate Mounting

Fig.11. Low Profile Wire-Bonding

GaAs 素材のもう一つの特徴が Si 素材に比べ非常にもろいことである。通常のダイシング技術ではカット精度が悪く、ストリート領域 (切断領域) を細くすることが困難であった。この課題を改善するため、SLED のマスク設計の見直し、またダイシング設備、ブレード、加工条件等の最適化を図った。Fig. 12 に従来のカット精度, Fig. 13 に改善したカット精度を示している。

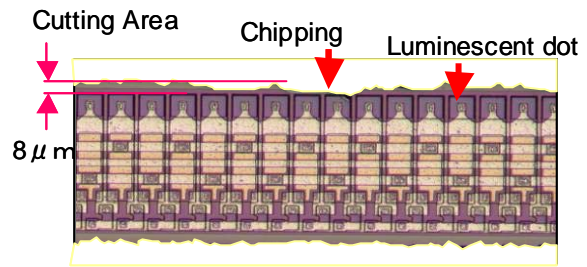


Fig.12 Dicing Sample by Conventional Method

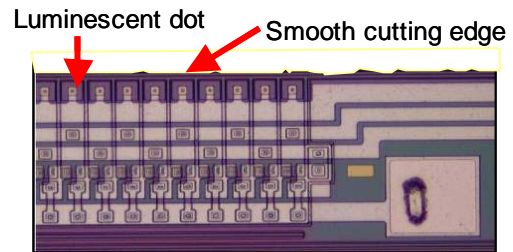


Fig.13 Dicing Sample after Optimization

また、従来ヘッドの多くは、放熱性、精度保証等の理由から金属管体のものが多かったが、より生産性の高い樹脂成形管体を適用した。これには、組立て後の精度、特に焦点精度に影響を及ぼす「そり」の保証が重要項目の一つで、金型、成型材料、成型法を見直し、温度特性上影響がないことを確認した。(Fig. 14)。

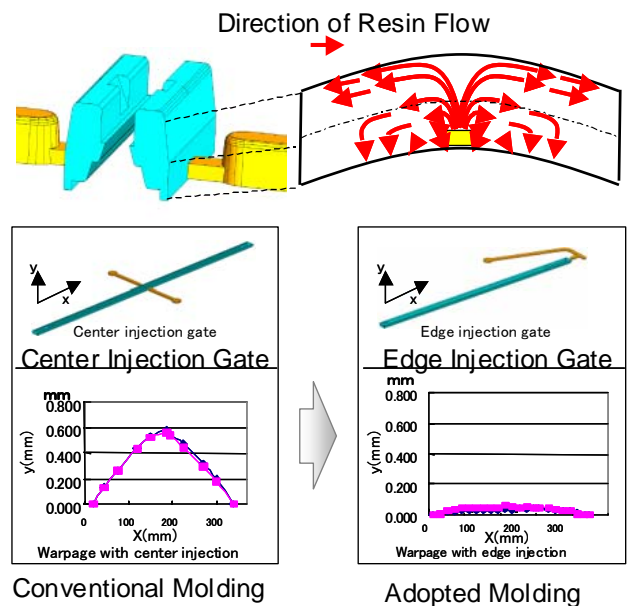


Fig.14 Improvement of Plastic Housing Warpage

5. まとめ

DELICIS 技術、1200dpi-SLED を新規開発し、これまで当社で培った高解像度デジタルイメージング技術と融合させることで、電子写真方式のプリンタ/複合機において、高画質と小型・省エネ・省資源化を同時に実現し、技術トレンドを大きく変えることに成功した。

以上説明した研究開発、製造技術の成果は、カラー複合機商品の中心的なマーケットエリアである 25～35ppm の速度領域において、2007 年 12 月に富士ゼロックスが発売した、カラープリンタ/複合機商品、ApeosPort/DocuCentre-III C3300/C2200、DocuPrint C2250 に搭載された (Fig. 15)。また、2008 年には ApeosPort/DocuCentre-III C3305/C2205、DocuPrint C3360 をリリースし、オフィスエリア商品へ継続的に技術展開している。



Fig.15 ApeosPort-III C3300

また露光装置の小型・軽量化 (当社比較: 質量 1/8) による複合機本体の小型化への貢献が認められ、平成 20 年度省エネ大賞、資源エネルギー庁長官賞を受賞した。

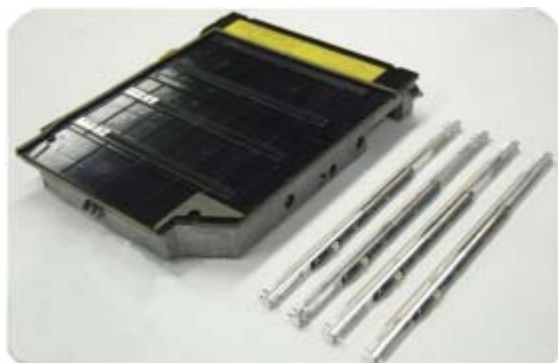


Fig.16 Down Sizing of Imager (Comparison between LED Print Head and Laser ROS)

尚、本稿は第104回日本画像学会研究討論会(2009)予稿集 a-1 に搭載した内容を転記したものであり、この著作権は日本画像学会が有している。

参考文献

*1NobuakiUEKI, HiroakiTEZUKA, AkiraOTA:

Vertical-cavity Surface-emitting Laser Diode (VCSEL) -VCSEL array and its application to the copier-. Journal of the Imaging Society of Japan Vol. 44 NO. 3 (2005)

*2Shunsuke Otsuka, Taku Kinoshita, Seiji Ohno, Minoru Matsumoto, Takahisa Arima, Hideaki Saito, Harunobu Yoshida, Shunsuke Sano, and Yukihiisa kusuda: Development of 600dpi and higher density SLED (Self-scanning Light Emitting Device) for Electrophotography printer. Japan Hardcopy (2003)

禁 無 断 転 載
2009年度「ビジネス機器関連技術調査報告書」“IV-6”部

発行 2010年4月
社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会（JBMIA）
技術委員会 技術調査小委員会
〒105-0003 東京都港区西新橋三丁目25番33号 NP 御成門ビル
電話 03-5472-1101(代表) / FAX 03-5472-2511