

(3) 解像度リアル 2,400dpi を実現したデジタルカラー複写機用露光装置

(採用機種：DocuCenter C6550I, DocuColor 1256GA, 他)

市川順一、池田周穂、太田明*、植木伸明**

富士ゼロックス株式会社 技術開発本部、画像制御システム開発部*、光システム事業開発部**

1. はじめに

レーザプリンタ/複合機の開発はオフィス市場への適合性を向上させる一方で印刷・写真市場にも対応すべく高画質化が進められており、DTP やグラフィックのカラー専門市場における高画質要求、プロダクションやオンデマンド印刷領域における高画質、高速化要求はますます増大していくものと考えられている。

そのような市場要求のなかで電子写真の高画質高速化における重要な技術の一つが富士ゼロックス㈱では ROS (Raster Output Scanner) と称しているレーザ露光装置の技術である。今回、当社独自の半導体レーザ技術により新たに 32 ビームの発光源を持つ面発光型半導体レーザ VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser：図 1)、専用光学系およびレーザ駆動 IC を合わせて開発することによりリアル 2400dpi、100 枚/分を実現する ROS の開発に成功した。

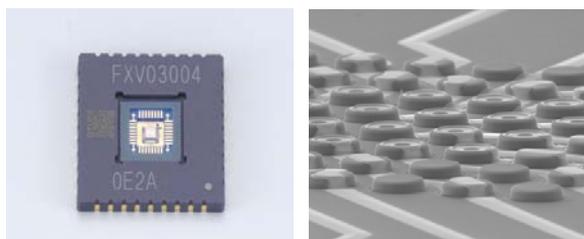


図 1. VCSEL

2400dpi の ROS を搭載することによりレーザプリンタ/複合機においては画像処理のフルデジタル化も可能となり高精細な印刷に迫るレベルの高画質を提供することが可能となった。

本技術は 2003 年 8 月にデジタルカラー複合機

DocuColor 1256 GA (カラー12.5 枚/分、白黒 50 枚/分) に搭載、業界初の解像度リアル 2400dpi を実現した。2004 年 9 月にはカラーオンデマンドパブリッシングシステム DocuColor 8000 Digital Press (カラー・白黒共 80 枚/分) に、そして 2005 年 1 月にはデジタル複合機 ApeosPort C6550I/DocuColor C6550 I (カラー50 枚/分、白黒 65 枚/分：図 2) に搭載され、中速から高速領域にわたる範囲で 2400dpi の高画質を提供している。



図 2. ApeosPort C6550 I / DocuColor C6550 I

本稿では、VCSEL ROS の主要技術 (VCSEL, 光学系、駆動 IC)、多数ビーム固有の画質課題、及び VCSEL ROS による 2400dpi 化の効果について説明する。

2. VCSEL ROS のコンセプト

ROS はレーザビームをポリゴンミラーと呼ばれる回転多面鏡によって偏向し、 $f\theta$ レンズと呼ばれる光学系によって感光体上をレーザビームスポットで走査露光するものである (図 3)。

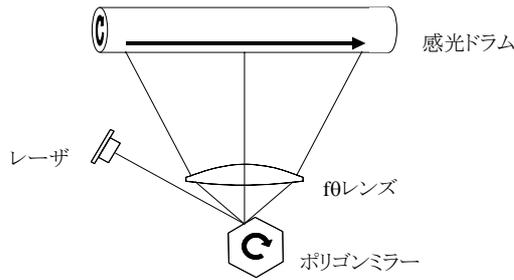


図 3. ROS の構成

今回、構造上 1 チップ上に多くの発光点を設けることが容易な VCSEL に着目し、従来は 1~4 本程度であったビーム数を 32 と大幅に増やし、単位時間当たりの走査線本数を大幅に増やすことによって 2400dpi, 100 枚/分を実現する ROS を実現させることを考えた(図 4 8×4 VCSEL)。

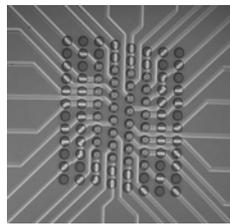


図 4. 8×4 VCSEL

従来の 2 ビームと 32 ビームによる走査の比較を図 5 に示す。ビーム数を増やすことにより少ない走査回数で多くの走査線を書き込むことができることがわかる。

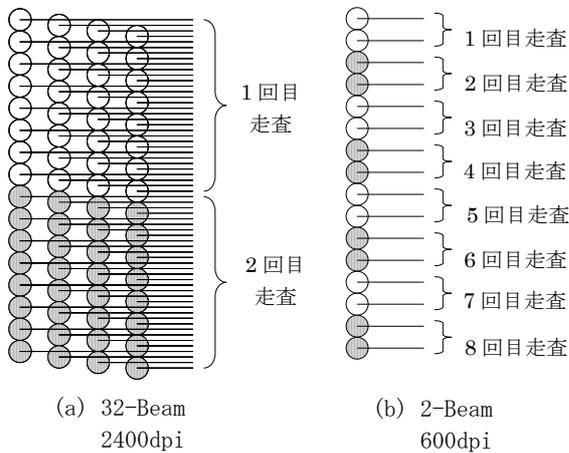


図 5. Multi-beam scanning

3. VCSEL

富士ゼロックスにおける VCSEL 開発の歴史は、1990 年代半ばの 780 nm 帯大規模二次元アレイ素子に始まる。1999 年にマトリックス駆動型 12×120 VCSEL アレイ¹⁾を発表し、その後独立駆動型に転じ、8×4 VCSEL アレ

イの開発に至った。

プリンタ用 VCSEL の開発に対しては波長 780 nm における基本横モード発振での高出力化、及び偏光制御性の向上が大きな技術課題であった。

今回我々が開発した酸化型 VCSEL の構造図を図 6 に示す。酸化アパーチャ (Oxidized portion) の径を狭くすると基本横モード発振にはなるが、活性層体積が減少して光出力が低下する。そこで我々は電流注入のための電極として用いている金属層 (Metal aperture) をモード制御に用い、高次横モードをカットオフして基本横モード出力を引き上げる試みを行った²⁾。

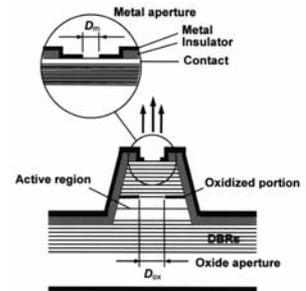


図 6. VCSEL cross section

図 7(a) は電極アパーチャ径 (D_m) を横軸に、高次横モードを含む最大光出力 (Total Power) 及び基本横モード発振での最大光出力 (Fundamental mode power) を縦軸に示したものである (酸化アパーチャ径 D_{ox} は $3.5 \mu m$)。また、Fig. 5 (b) は D_m が $4 \mu m$ 時の発振スペクトルを示したものである。 D_m の最適化によって 3mW を超える基本横モード出力を得られていることがわかる。

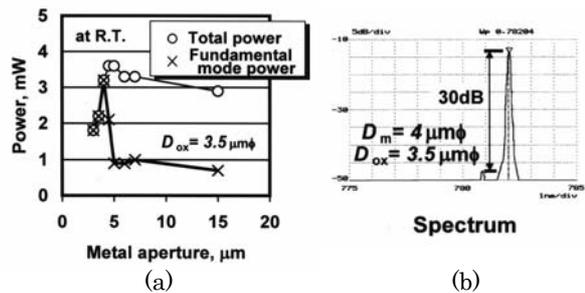


図 7. D_m vs. maximum output power and the spectrum at $D_m 4 \mu m$

基本横モード出力の確保に続く課題が VCSEL の偏光制御性である。傾斜エピタキシャル基板を用いた偏光制御に実績はあるものの、特殊基板のためコスト高であるという欠点があった。我々はマトリックス駆動型アレイで培われた偏光制御技術³⁾を足がかりに、VCSEL の偏光特性と横モード特性との関係に着目し、低転位

基板として広く流通している2度オフ基板を使用した偏光制御法を案出した。

図8は図7(b)の条件における光出力をグラン・トムソンプリズムを通して測定し、[01-1]および[011]方向の各成分に分けた偏光*L-I*特性である。

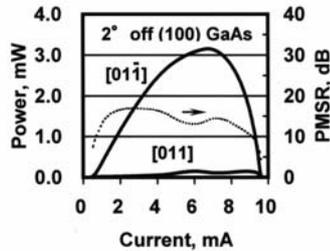


図8 Polarization resolved *L-I* curve and polarization mode suppression ratio for D_{ox} of $3.5\mu\text{m}\phi$ device with D_m of $4\mu\text{m}\phi$

偏光モード抑圧比 (PMSR) は最大 17dB に達し、本素子の偏光が良好に [01-1] 方向に制御されていることがわかる。電極アパーチャの効果により基本横モード性が向上した素子は、2度オフ基板のわずかな異方性に対しても、しきい値利得の差を発現し易くなるものと考えられる。

4. 光学系

マルチビーム対応光学系の設計においては、図9に示すようなBow差やビーム間隔誤差による画質欠陥が発生しないよう考慮する必要がある。

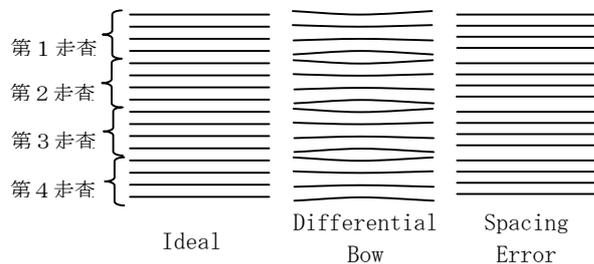


図9. Beam position error by multi-beam scanning

Bow差はポリゴンミラーや $f\theta$ レンズに対して副走査方向 (ビームの走査方向と直交する方向) に角度をもって入射すると発生する。また、複数のビームが非

平行な状態で感光体に対して入射すると、ROS 感光体の距離に誤差があったときにビーム間隔誤差が発生しやすくなる。

今回我々が採用した光学系は図10に示すようにレーザとポリゴンミラー間、そしてポリゴンミラーと感光体間を共にアフォーカル系とし、ポリゴンミラーと感光体間を走査方向のみパワーを有する $f\theta$ レンズ系と副走査方向のみパワーを有する2枚のシリンドリカルミラーを用いることによって、Bow差ゼロ、Defocusによるビーム間隔変動ゼロの設計となっている。

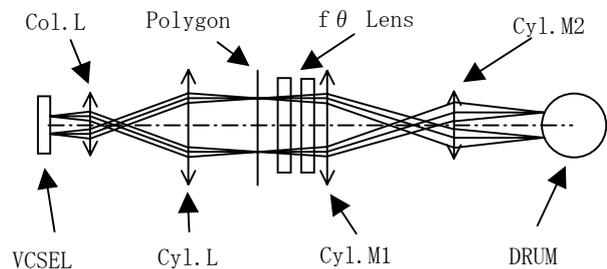


図10. Optical system

また、VCSELは端面発光レーザと異なり、レーザの後ろ側からビームを出力させることができないため(図6)、レーザから射出されたビームをレーザとポリゴンミラー間にハーフミラーを配置し、ビームの一部を分離して、その光量をフォトダイオードで検出している。

5. 駆動IC

5-1 電圧駆動・電圧電流駆動

VCSELは構造上、基本横モード出力を確保すると内部抵抗 R が数百 Ω と高くなる特徴がある (端面発光レーザは 10Ω 以下)。このため端面発光レーザで用いられている電流駆動方式では変調速度が一桁以上遅くなってしまふ。

図11(a)に電流駆動方式でVCSELを駆動した場合の電流・電圧・光量の波形を示した。矩形の電流波形に対し、光量は図12に示したレーザ内部抵抗 R と寄生容量 C の積である時定数 τ で立ち上がるため、内部抵抗の高い面発光レーザは電流駆動ではプリンタで要求さ

れる変調速度を得ることができない。

これに対して矩形の電圧波形を入力する図 11(b)の電圧駆動方式は、内部抵抗によらず立ち上がりを速くすることができる。ところがこの駆動方式は点灯による自己発熱によってレーザの電圧-電流特性が変わるため、光量が徐々に増大してしまう。

そこで今回我々は図 11(c)に示す電圧電流駆動方式を開発した。この方式は立ち上がり時

だけ電圧で駆動して立ち上がりを早め、その後は電流駆動にすることで光量安定性を確保している。

図 13 は電圧駆動と電圧-電流駆動の違いを連続点灯時とそれに続く変調時の光量で示している。電圧駆動では連続点灯時にレーザの温度が上昇して光量が増大し、変調時には

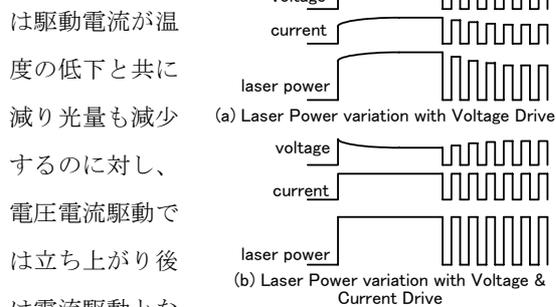


図 13. Laser power variation

でも駆動電流は一定で駆動電流の変動による光量変動が生じない。今回の VCSEL は定電流駆動時の発熱によ

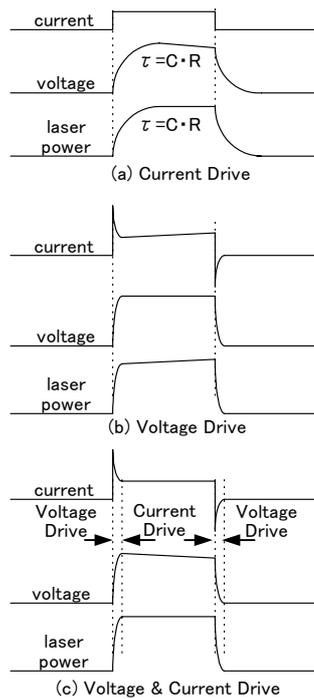


図 11. Laser Drive Method

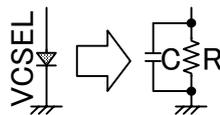


図 12. Equivalent circuit

る光量変動が端面発光レーザよりも小さいことが実験により確認されている。

5-2 高速光量制御

レーザプリンタでは光センサを用いて定常的に光量を検出し、常に所望の光量にレーザを制御しているが、VCSEL ROS においては光センサの受光電流が小さいという問題がある。

マルチビームの光量制御ではレーザを順次点灯し各レーザの光量を制御することが一般的であるが、VCSEL は 1 ビームの出力が端面発光レーザよりも少なく、さらに光量検出のためにハーフミラーでビームを分離して検出するため、センサに入射する光量が微弱で受光電流が小さい。

受光電流が小さいと光検出の応答性が悪くなり光量制御が不安定になるので、通常このような場合コンデンサで比較器出力の応答性を落として安定性を確保する。ところが応答性を落とすと各レーザ間の光量ばらつきが原因で制御速度が低下してしまう。そこで今回応答性を抑えるコンデンサ(Cfb)をレーザ毎に設けた。図 14 は VCSEL 光量制御の基本構成を示したものである。

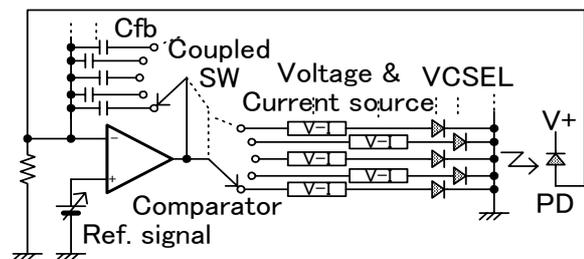


図 14. VCSEL APC circuit

従来は一つの Cfb に対してレーザ側のみを切り替えていたが、今回の回路は各レーザに対応した Cfb を設け、レーザ切り替えと同時に Cfb をレーザ毎に切り替えることでレーザ毎の特性ばらつきとは無関係に短時間に光量制御が収束させることができた。図 15 は全レーザを光量制御した後にレーザを順に 32 ビーム点灯した場合の実際の光量波形で光量制御が正確に行なわれていることがわかる。

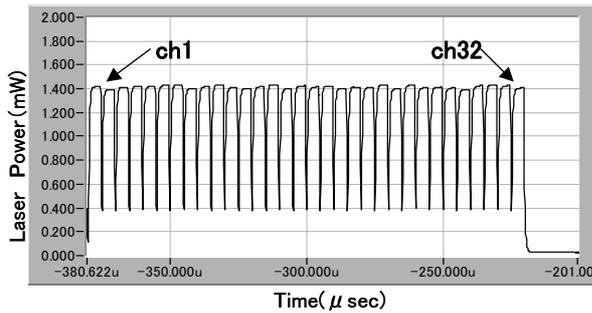


図 15. Ch1 to ch32 laser power after APC

6. 画質課題

マルチビームで複数の走査線を一括露光すると走査周期が低周波数となり、主走査方向の周期的な筋ムラ (Stitching) として視認されやすくなる。2 ビームによる 600dpi 走査の場合、走査周期は 0.084mm 周期と人間の目では視認できない高周波であるが、2400dpi を 32 ビームで一括走査すると、その周期は 0.34mm 周期となり、Stitching が目立つようになる (図 16)。

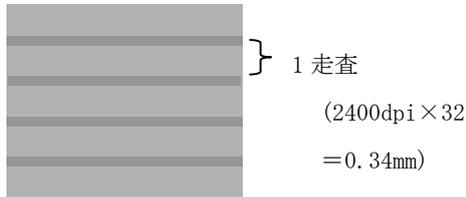


図 16. Stitching

Stitching の発生要因には前述した光学系によるビーム間隔誤差だけでなく、複数ビーム間の光量ムラ、ビーム径のばらつき、ポリゴンミラー・感光体の速度誤差、感光体の相反則不軌等の様々な要因がある。この問題に対して、我々は「二重露光」および「ビーム間独立光量制御」によって Stitching を抑制できることを確認した。二重露光とは走査と走査を半分ずつ重ねながら露光することによって Stitching を目立たないようにし (図 17)、ビーム間独立光量制御はつなぎ目部分のビームの光量を他のビームを変えることによって Stitching を低減させるものである (図 18)。

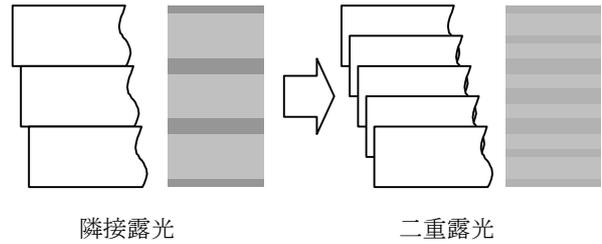


図 17. Double exposure method

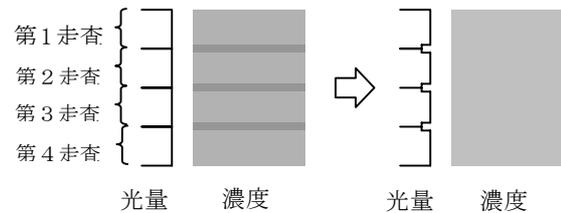


図 18. Power control

7. リアル 2400dpi による画質改善

VCSEL ROS による 2400dpi 化に対応したデジタルスクリーン技術 MACS (Micro Accurate Control Screen) により、従来のレーザプリンタ/複写機で発生しがちであったグラデーションやハーフトーンのトーンジャンプ (色の段差) を抑え、なめらかな階調表現を実現し、ハイライトの再現性が向上することが可能となった。

従来の 600dpi の場合、600dpi の画素毎の変調 (レーザの ON/OFF) では十分な階調性が得られなかったため、図 19(a) のように 1 画素内の点灯幅 (パルス幅) を変更することによって中間調を再現させていた。このようなスクリーンでは短いパルスの応答性のばらつきによりハイライトの再現性が不安定であり、グラデーションでトーンジャンプが発生するという問題があった。

VCSEL ROS によって解像度が 2400dpi になると、図 19(b) のように画素が細くなるので、スクリーン線

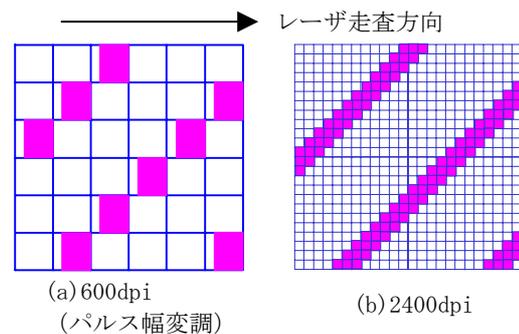


図 19. 解像度による画像構造の違い

数・形状・角度の自由度が増えパルス幅変調回路を用いる必要がなくなり、従来の問題を解決することが出来るようになった。図 20 は 2400dpi 化によって実現することができたスクリーンの例である。

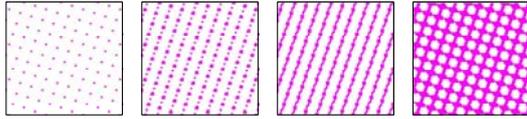


図 20. 2400dpi でのスクリーンの例

8. 画像処理でのカラーレジストレーション補正

2400dpi 化により、従来は機械的に補正していたカラープリントの色ズレを画像処理によって補正することが可能となった (IReCT: Image Registration Control Technology)。

図 21 のように本来は重なっているべき画像がスキューして色ずれが発生した場合、従来は露光装置のミラーやレンズを動かす等の機械的な処理によって補正を行っていた。

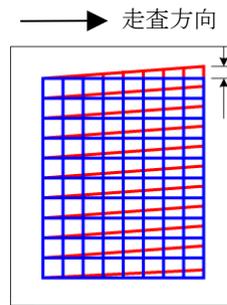


図 21. スキュー

IReCT はこのスキューを画像データ処理によって補正するものである。図 22 上側のように画像データが水平でも出力画像がスキューしている場合、IReCT は画像データを逆側にスキューさ

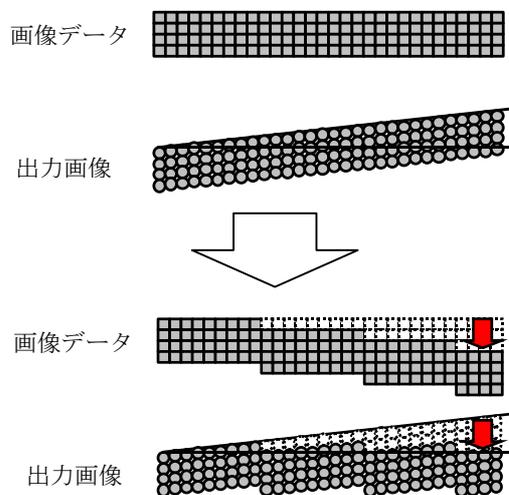


図 22. IReCT によるスキュー補正

せて出力画像のスキューを補正する。

600dpi や 1200dpi では、IReCT によって生じる出力画像の段差がプリント上に筋として現れてしまう問題があったが、2400dpi ではその段差が $10\mu\text{m}$ と小さいため筋を発生させることなく画像処理によってスキューを補正することが可能となった。

9. おわりに

VCSEL ROS は 32 本という従来に無いマルチビーム化を実現し、高解像度化・高速化の技術トレンドを大きく変える技術である。

本技術は当社の多くの新商品に搭載され、従来にない高画質・高生産性という価値の提供を始めている。オフィス市場だけではなく印刷・写真市場における高画質化の要求へ具体的に答えることができるようになるきっかけを作ることが出来、今後のますますの電子写真技術の発展、電子写真のあらたな事業エリアへの拡大につながるものとする。

10. 参考文献

- 1) J. Sakurai, et al., IEEE/LEOS Summer Topical Meeting, San Diego, 26-30 July 1999, WB2.2.
- 2) N. Ueki, et al., IEEE Photon. Technol. Lett. 11, pp. 1539-1541, 1999.
- 3) N. Ueki, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 15, L33-L35, 2001.