「レーザー表示装置に向けての光源新展開」によせて

山本 和久, 水内 公典, 笠澄 研一

松下電器産業(株) AVコア技術開発センター (〒570-8501 大阪府守口市八雲中町3-1-1)

Preface to Special Issue on Recent Development of RGB Lasers for Laser Display

Kazuhisa YAMAMOTO, Kiminori MIZUUCHI, and Ken'ichi KASAZUMI

Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., 3-1-1, Yagumo-nakamachi, Moriguchi, Osaka 570-8501

(Received April 1, 2005)

Laser display has been attractive because extremely wide color expression can be realized by choosing the wavelength of laser sources. The highly efficiency and small etendue of laser sources contribute to downsizing, and long lifetime is also another merit for users. High power and compact red, green, and blue (RGB) lasers have been expected to realize the practical laser display. In this paper, highly efficient RGB lasers based on laser diodes and second harmonic generation devices are introduced. Also laser display systems by using these lasers are discussed.

Key Words: Laser display, Laser projector, RGB lasers, SHG, Laser diode

1. はじめに

レーザー表示装置の歴史は古く, TI(TEXAS INSTRUMENTS)の単色レーザーディスプレイ¹⁾に始まり, 日本でも1970年大阪で開催された万博で日立が一般公開し, またその後NHKが1080本のハイビジョンを初めてデモし, 今日の高精細テレビの先駆けとなった^{2,3)}. しかしガスレーザーを用いていたため消費電力が数10 kWと極めて大きく研究開発は縮小していった. 最近のレーザー光源の著しい進展により, 再び研究開発が活発化している⁴⁻⁷⁾. 例えば, 本年の愛知万博ではSONYにより2005インチという超巨大ディスプレイが展示された.

レーザー表示装置は, 色度図で通常のCRT, プラズマTV等の2倍の広い範囲を表現できることおよび高コントラスト化, 高精細化可能という究極の動画ディスプレイである. また高効率, 超小型の半導体レーザーをベースとすることで, 100 W以下の低消費電力, 小型装置が実現できるという特徴もありその期待は大きい. 本稿では進展が著しいレーザー表示装置およびそのキーとなる高出力3原色レーザー光源の開発の現状を中心に述べる.

2. レーザー表示装置の構成

レーザー表示装置はFig. 1に示されるようにsRGB規格比1.8倍の色再現領域を有し, また究極の光利用効率, コンパクト性等の特徴を持ち, その実現が大いに期待されている. 基本的にはFig. 2に示されるようにRGBの3原色の

レーザー装置と画像装置およびスクリーンにて構成される. 当初開発されたものは光変調器と, ポリゴン, ガルバノミラーによる光偏向器を組み合わせで画像を得るものであったが, 最近では1次元画像デバイス, または通常のプロジェクタで用いられている2次元画像デバイスを用いる研究開発が盛んである.

レーザー光源においては, 通常のTV並の輝度を得るためには数Wの出力が各光源に求められる. 光ディスク用に開発されている100 mW級半導体レーザーより1桁上大きな出力が必要であり, 各種アプローチにより高出力化の研究開発が行われている. 高効率かつ高出力レーザー光源以外の課題としては, スクリーンの微小凹凸の干渉に

Fig. 1 Color gamut of the laser display by using RGB lasers.

Fig. 2 Schematic drawing of the basic layout of the laser display.

よって生じるスペックルノイズがある。古くはスクリーンを動かす方法で回避していたが、大がかりなため普及を妨げていた。最近では光学系の工夫により低減が図られている。

2.1 レーザー表示装置の比較

レーザー表示装置における表示方法としては、Fig. 3に示すように、2次元スキャンを用いる方法、2次元画像デバイスを用いる方法、およびその中間の1次元画像デバイスと1次元スキャンを用いる方法に大別され、それぞれ一長一短がある。

Fig. 3 Three different approaches for laser displays; (a) 2D scan (b) 1D scan and 1D SLM (c) 2D SLM.

2.1.1 2次元スキャン方法

2次元スキャンを用いる方法は最も古くから用いられている方法である²⁾。基本的に単一発光領域から出たレーザー光を高速変調かつ高速スキャンを行うという技術的な難しさがある反面、低消費電力だけでなく高コントラスト、高解像度および照射面積可変というポテンシャルがある。Fig. 3 (a)に具体的構成を示す。変調器としてAO (Acousto Optics) 変調器、または高速性に優れるEO (Electro Optics) 変調器を用いる。変調帯域は数十MHzで、アナログ階調制御が行われている。変調された赤色、青色、そして緑色レーザー光はダイクロイックミラーにより1本に合波される。合波光の2次元スキャンを行うため、水平走査はポリゴンミラー、垂直走査はガルバノミラーの組み合わせが用いられる。走査線数1125本では、ポリゴンミラーは25面体で81000 rpmという高速回転が要求される。

最近ではMEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) の進展により小型化への道が拓けようとしている。さらに垂直方向と水平方向を同時スキャンするMEMSデバイスの研究も報告されている。縦52度、横23度の広角スキャンを20 V以下の電圧で実現している⁸⁾。

2.1.2 1次元画像デバイスを用いる方法

1次元スイッチエレメントを多数個集積したMEMSデバイスとガルバノミラーの組み合わせで画像が形成できる。Fig. 3 (b)にその具体的構成を示す。1素子のスイッチング速度は μs オーダーで良く、また高速ポリゴンミラーも不要である。回折型のMEMSスイッチとしてのGLV (Grating Light Valve) 1080素子をガルバノミラーでスキャンし1980×1080画素をコントラスト4000:1以上で実現している⁴⁾。装置に使用している波長は赤642 nm、緑532 nm、青457 nmであり、それぞれ数Wクラスのレーザー光源より投射スクリーン面で823ルーメンの明るさを得ている。赤色は半導体レーザー、緑色および青色は固体レーザーの波長変換である。

2.1.3 2次元画像デバイスを用いる方法

市販の高圧水銀ランプを用いたプロジェクタで用いられている2次元画像デバイスは安価であり、レーザー光源との組み合わせでもその威力を発揮する。Fig. 3 (c)にその基本構成を示す。空間変調素子 (SLM (Spatial Light Modulator)) としての2次元画像デバイスには大きく分けて3種類有り、DMD (Digital mirror device)、透過型液晶、反射型液晶のLCOSが用いられる。透過型液晶は安価、DMDはスイッチング速度が高速、LCOS (Liquid Crystal on Silicon) は高解像度とそれぞれに特徴を有する。画像デバイスにより解像度、コントラストが決まってしまう反面、レーザー光源以外に最先端部品は不要である。

3. レーザー光源

レーザー表示装置で最も重要となるのが高出力レーザー光源である。方式としては半導体レーザーの直接発生、または半導体レーザーをベースとした基本波の波長

変換という構成に分けられる。

Fig. 4は半導体レーザー直接発生方式である。シングルストライプでのレーザー光発生が理想であるが、W級になると端面パワー密度が極めて大きくなり現状では信頼性を確保できない。そのためワイドストライプやマルチストライプが用いられるが2次元スキャンには適用できないという問題もある。Fig. 5に示す波長変換を用いる方式はシングルモード発生が可能でどのレーザー表示装置の光学構成にも対応可能である。一方、総合効率の点で半導体レーザー直接発振に対し不利であるが、最近の分極反転技術による擬似位相整合SHGにて効率向上が著しい⁹⁾。

以下赤、青、緑の3種類のレーザー光源の現状について述べる。

3.1 赤色レーザー光源

半導体レーザーの赤色は波長650 nm、および635 nmが光ディスク用として実用化された。DVD書き込み用では変調ピークで200 mW級が実現されている。またワイドストライプレーザーアレイでは1チップで7 Wのものが実現している¹⁰⁾。発振波長644 nm、エネルギー変換効率は15 %である。

固体レーザーの波長変換でも赤色光は発生可能である。Nd:YVO₄レーザー1340 nmの波長変換により670 nmの

Structure of laser diode	
Single stripe (single mode)	Narrow Stripe
Wide Stripe	Wide stripe
Multi Stripe

Fig. 4 Three different structures for high power laser diodes.

Cavity	(a) LD + Solid state laser + SHG
	(b) LD + SHG
Single pass	(c) LD + Solid state laser + SHG
	(d) LD + Fibre laser + SHG
	(e) LD + SHG

Fig. 5 Comparison of representative structures of SHG lasers.

発生ができる。

3.2 緑色レーザー光源

波長変換用基本波光源としてNdまたはYbが添加された固体レーザーやファイバーレーザーが有望である。Nd添加のYAG, YVO₄, またはGdVO₄の固体レーザー結晶による共振器を形成し内部パワー密度を向上させ共振器内部に挿入したバルク型SHGの効率を大幅に向上することができる。固体レーザーの励起用にはワイドストライプの半導体レーザーを使用する。固体レーザーの縦モードコントロールを厳密にすることで安定な出力光が得られている。一方、Fig. 5 (b)に示すように外部に結晶を置く1パス構成は簡便で安定性に優れている¹¹⁾。SHG素子が極めて高効率であることが必要のためMgO:LiNbO₃(d₃₃)が用いられている。Fig. 6に示すようにMgO:LiNbO₃には周期状分極反転層が形成されており、擬似位相整合SHG方式にて基本波6 Wより1 Wの緑色光が得られている。マイクロチップ化¹²⁾による小型光源の実現も近いと思われる。

ファイバーレーザーの進展は著しく、高出力でかつ均一なビームが得られるようになってきたため1パス波長変換との組み合わせができる。8 Wの基本波(1080 nm)より3 Wの緑色光が得られている¹³⁾。

緑色はZnSse系半導体レーザーで発生可能(510-530 nm)であり¹⁴⁾、光ディスク用として精力的に検討された時期があった。しかしながら寿命確保が難しく現在に至っている。Be含による長寿命化の研究が行われている¹⁵⁾。

3.3 青色レーザー光源

青色は固体レーザーの波長変換方式と、GaN半導体レーザー直接発生方式があるが、構成が簡便なGaN半導体レーザーで既に波長440 nm品がサンプル販売されている¹⁶⁾。また波長は400 nmであるが半導体レーザーアレイで6.1 Wを得たという報告もある¹⁷⁾。

一方、Nd:GdVO₄固体レーザーのバルク波長変換により波長456 nmが高効率で発生している。2 W入力に対し167 mWの青色光出力が得られており、6~7 W入射でWクラスが実現できるところまで来ている¹⁸⁾。またこれ以外にも面発光半導体レーザーの共振器内にSHGを挿入する構成が実現されている^{6,19)}。さらに最近では、光導波路型SHGの進展も激しく、半導体レーザーの波長変換により100 mW青色光が得られている²⁰⁾。

Fig. 6 Photograph of a periodically domain-inverted structure in MgO:LiNbO₃ and configuration of the green SHG laser.

4. レーザー投射システム

スクリーンの微小凹凸の干渉によって生じるスペックルノイズは大きな障害であったが、最近は光学系の工夫により低減が図られている。

Fig. 7に筆者等によるレーザー投射装置⁷⁾を示す。赤色は波長636 nmの半導体レーザー、青色(457 nm)および緑色(532 nm)は固体レーザーの波長変換によるSHGレーザーである。画像デバイスとしては3板式の透過型液晶を用いた。Fig. 8にレーザー投射装置とその投射像を示す。インテグレートと揺動拡散板の組み合わせでスペックルを抑制し、極めて美しい動画描画に成功している。

5. おわりに

レーザーは半導体レーザーおよび半導体レーザーベースの波長変換によりRGBの3原色でかつ高出力な小型レーザー光源が揃いつつある。このようなレーザー光源の著しい進展により、夢と思われたレーザー表示装置が現実のものとなろうとしている。レーザー表示装置は色再現性、高効率という特徴を備えるため、現状機器を凌駕するだけでなく究極の表示装置となる可能性を有している。今後のレーザー光源のさらなる効率向上、コストダウンにより急速に一般市場への展開が図られるものと期待している。

謝 辞

本解説論文の執筆に当たりご助言をいただいた杉田知也氏、横山 敏史氏、森川 顕洋氏、北岡 康夫氏、水島哲郎氏、古屋 博之氏を含め各方面の方々に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) C. E. Baker, A. D. Rugari: *Proc. Society for information Display 6th* (1965) 85.
- 2) 山本 学, 橋本 章, 堀内 秀之, 加藤 重雄: *テレビジョン* **29** (1975) 124.
- 3) 種田 悌一, 愛甲 明毅: *NHK技研月報* **13** (1970) 120.
- 4) S. Kubota: *Opt. & Photo. News* **13** (2002) 50.
- 5) J.-H. Lee, Y.-K. Mun, S.-W. Do, Y.-C. Ko, D.-H. Kong, B.-S. Choi, J.-M. Kim, C.-W. Hong, and D.-Y. Jeon: *Proc. SPIE* **4657** (2002) 138.
- 6) J. L. A. Chilla, H. Zhou, E. Weiss, A. L. Caprara, Q. Shou, S. V. Govorkov, M. K. Reed, and L. Spinelli: *Proc. SPIE* **5740-05** (2005).
- 7) K. Kasazumi, Y. Kitaoka, K. Mizuuchi, and K. Yamamoto: *Jpn. J Appl. Phys.* **43** (2004) 5904.
- 8) M. Tani, M. Akamatsu, Y. Yasuda, H. Fujita, and H. Toshiyoshi:

Fig. 7 Schematic diagram of the optical setup of the laser projector.

Fig. 8 Overview of the developed laser projector.

Proc. Optical MEMS 2004 1-5 (2004) 188.

- 9) 水内 公典, 山本 和久: *レーザー研究* **32** (2004) 160.
- 10) D. Imanishi, Y. Sato, K. Naganuma, S. Ito, and S. Hirata: *Proc. Semicon. Laser Conf.* (2004) 49.
- 11) K. Mizuuchi, A. Morikawa, T. Sugita, K. Yamamoto, N. Paval, I. Shouji, and T. Taira: *Jpn. J. Appl. Phys.* **42** (2003) L1296.
- 12) 平等 拓範: *レーザー研究* **26** (1998) 847.
- 13) K. Mizuuchi, K. Morikawa, and K. Yamamoto: *Proc. CLEO 2005* (2005) CFL1.
- 14) 中山 典一, 石橋 晃, 江口 直哉: *レーザー研究* **25** (1997) 504.
- 15) S. B. Che, I. Nomura, A. Kikuchi, and K. Kishino: *Appl. Phys. Lett.* **81** (2002) 972.
- 16) S. Nagahama, T. Yanamoto, M. Sano, and T. Mukai: *Appl. Phys. Lett.* **79** (2001) 1948.
- 17) S. Goto, M. Ohta, Y. Yabuki, K. Naganuma, K. Tamamura, T. Hashizu, and M. Ikeda: *Phys. Status Solidi (a)* **200** (2003) 122.
- 18) K. Mizuuchi, A. Morikawa, T. Sugita, K. Yamamoto, N. Paval, and T. Taira: *Jpn. J. Appl. Phys.* **43** (2004) L1293.
- 19) E. U. Rafailov, W. Sibbett, A. Mooradian, I. G. McInerney, H. Karlsson, S. Wang, and F. Laurell: *Optics Lett.* **28** (2003) 2091.
- 20) 杉田 知也, 水内 公典, 山本 和久, 福田 一人, 甲斐 隆行, 中山 一郎, 高橋 健: 第51回応用物理学連合講演会 29p-ZC-16 (2004).

レーザーワード

レーザーディスプレイ (laser display)

レーザー光を使用した表示装置。文字、画像だけでなく図形を描く装置も含まれる。レーザー光をスキャンしてスクリーン、網膜上等に直接描画する方式、レーザー

光を空間変調素子を通して投射する方式がある。

(山本 和久)