可視光レーザー光源を用いたレーザーTVの開発

長瀬 章裕¹, 桑田 宗晴¹, 岡垣 覚¹, 道盛 厚司¹, 染谷 潤¹, 杉浦 博明¹,平野 嘉仁², 中村 聡³, 都出 英一⁴, 吉原 徹⁴, 寺松 滋則⁴¹三菱電機(株) 先端技術総合研究所 (〒617-8550 京都府長岡京市馬場園所1)²三菱電機(株) 情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船5-1-1)³三菱電機(株) 生産技術センター (〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1)⁴三菱電機(株) 京都製作所 (〒617-8550 京都府長岡京市馬場園所1)

Development of Laser TV that Uses Visible Laser Light Source

Akihiro NAGASE,¹ Muneharu KUWATA,¹ Satoru OKAGAKI,¹ Atsushi MICHIMORI,¹Jun SOMEYA,¹ Hiroaki SUGIURA,¹ Yoshihito HIRANO,² Akira NAKAMURA,³Eiichi TOIDE,⁴ Toru YOSHIHARA,⁴ and Shigenori TERAMATSU⁴¹Mitsubishi Electric Corporation, Advanced Technology R&D Center, 1 Zusho, Baba, Nagaokakyo, Kyoto 617-8550²Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501³Mitsubishi Electric Corporation, Manufacturing Engineering Center, 8-1-1 Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo 661-8661⁴Mitsubishi Electric Corporation, Kyoto Works, 1 Zusho, Baba, Nagaokakyo, Kyoto 617-8550

(Received January 6, 2011)

We have successfully developed a new category of television, a laser TV, which uses a visible-ray laser. Our new laser TV has a color gamut that is approximately twice that of conventional liquid crystal TVs owing to the monochromaticity of the laser, which is one of the specific features of the laser system. The high efficiency of laser energy conversion, together with the optical systems optimized to our developed laser, managed to reduce the power consumption of the new laser TV to a level less than a half that of a liquid crystal television of the same size. On the other hand, the high coherency of the laser causes scintillation, and this degrades the quality of pictures. To solve this problem, we have succeeded in developing a new moving screen, which greatly contributes to the production of a laser TV system with high image quality.

Key Words: Laser TV, Display, Visible laser, Wide color gamut, Low consumption

1. はじめに

ディスプレイの性能を評価する指標の一つに色域がある。CRTがディスプレイデバイスの主流であった時代、ディスプレイの色域は、CRTに用いられていた蛍光体の発色性と、それを基準に定められた色空間sRGB¹⁾によって制限され、例えばMansell Color Cascade769色の約55%程度しか表現できていなかった。2000年頃から普及し始めたプラズマディスプレイや液晶ディスプレイといった、いわゆるフラットパネルディスプレイは、映像信号のデジタル化、高解像度化とも相まって、画像の精細感を飛躍的に向上させたが、色域に関しては、従来の範囲を大きく上回るものではなかった。

2006年にIEC(International Electrotechnical Commission)で発行された動画を対象とした拡張色空間規格xvYCC²⁾は、Mansell Color Cascadeの769色の100%を包含し、sRGBでは表現できなかった彩度の高い色までを

忠実に再現することを可能にする。マルチメディア符号化の規格であるMPEG(Moving Picture Experts Group)や、HDMI(High-Definition Multimedia Interface)といった伝送系でも相次いでxvYCCを準拠し始めたことで、広色域画像を表示する環境が整いつつあり、ディスプレイの広色域化に対する期待も高まっている。ディスプレイの色域を広げる方法には、各原色の色純度を高める方法と、多原色化が考えられる。我々はこれまでに、6原色LEDバックライト液晶モニタ³⁾や6原色プロジェクションTV⁴⁾といった多原色ディスプレイを多種開発してきた。そして今回、更なるディスプレイの広色域化を目指し、光源に単色性の高い3原色の可視光レーザーを採用することで、通常の液晶ディスプレイに比べて2倍の色域を持つレーザーTVを新たに開発した。エネルギー変換効率に優れるレーザーを光源に用い、またカラーフィルターや液晶で光源からの光を遮断しないレーザーTVは、大画面でも消費電力は少なく、昨今の省電力化のニーズにも

適合した新カテゴリーのディスプレイである。

2. レーザーTVの概要

レーザーTVの開発は、2005年から本格的に開始し、52型、56型のレーザーTVを試作し検証を行ってきた^{5,6)}。その後2008年に北米市場向けに65型の超薄型レーザーTVを開発⁷⁾し製品化した。更に2010年には75型のレーザーTVも開発し、現在北米と日本で販売している。Fig. 1は65型レーザーTVの外観写真である。レーザーTVはいわゆる背面投射型のディスプレイである。レーザーの高指向性を利用することで、光学系を小口径にすることが出来るため、光学系の小型化が可能になる。また、新たに開発した、投射レンズと非球面ミラーで構成される超広角の投写光学系を搭載したことで、レーザーTVの奥行きは、65型で約270 mmと、従来の背面投射型ディスプレイと比較して大幅に薄くすることが可能になった。さらに、液晶やプラズマのようにパネル面周辺に電極を設ける必要が無いため、狭額縁スタイルが可能になった。

Fig. 2は65型レーザーTVの概略光学系を示す図である。赤、緑、青の各レーザー光源から発せられた光はライトパイプに導かれる。ライトパイプではマイクロディスプレイ(レーザーTVではデジタルマイクロミラーデバイス⁸⁾)を使用しに均一に光が当たるように光を成形する。そして、マイクロディスプレイで空間的に変調された光は投射光学系を介してスクリーンに広角投影される。

レーザーTVの最大の特徴は、色域が広いことである。

Fig. 3はレーザーTVの色域を示す図である。原色点がスペクトル軌跡上にあるレーザーTVでは、CIE 1976 USC色度図(u' v' 色度図)において、NTSC⁹⁾比175%の広色域を達成する。これは、従来の液晶ディスプレイの約2倍の色域である。

レーザーTVのもう一つの特徴は省エネルギーである。半導体レーザーのエネルギー変換効率は、LEDやCCFLのエネルギー変換効率と比較して優れていること

Fig. 2 Structure of 65type laser TV.

Fig. 3 Color Gamut of laser TV.

に加え、液晶ディスプレイのようにカラーフィルターや透過型液晶等で光のロスが発生することもないため、例えば65型のレーザーTVは500 cd/m²の高輝度でありながら、定格135 Wと同サイズのプラズマディスプレイや液晶ディスプレイの半分以下の低消費電力になっている。

3. レーザーTVの要素技術

3.1 レーザー光源ユニット

Fig. 4は、65型レーザーTV用に開発したレーザー光源ユニットである。薄型のレーザーTVを実現するため、RGBのレーザーモジュールの他、レーザーモジュールの冷却機構、レーザー駆動電源およびレーザー制御回路が厚さ106 mmのユニット内部に納められている。

各レーザーモジュール内部には、半導体レーザーとカップリング光学部品が組み込まれ、半導体レーザーから出射された光は、カップリング光学系を介して、レーザー光源ユニット外部にある、マイクロデバイスや投射光学系などで構成される光学エンジンに送られる。またレーザーモジュールからの発熱は、ヒートパイプ、ファン、ペルティエ素子を組み合わせることで構成されてい

Fig. 1 65type laser TV.

る冷却機構によって効率よく排熱されている。

3.2 レーザー光源

今回、採用したRGBの3原色のレーザーの波長は、青が447 nm、緑が532 nm、赤が640 nmの3色である。青、赤は半導体レーザーを使用しているが、緑は半導体レーザーから直接高出力の発振を得るのが困難なため、赤外発振させた基本波を波長変換して生成している。

Fig. 5は新たに開発した緑のレーザー¹⁰⁾の内部写真である。808 nmの励起レーザーアレイ、Nd:YVO₄導波路、PPMgLN (Periodic-poled MgO-doped lithium niobate) 導波路で構成されており、Nd:YVO₄導波路から出力される1064 nmの基本波をPPMgLNに通すことで532 nmに変換している。

Table. 1に各レーザーモジュールの特性を示す。65型で500 cd/m²の輝度を得るため、各レーザーモジュールのピーク出力は赤が6.3 W、緑が5.0 W、青が8.1 Wで合計19.4 Wの出力を得ている。この比率は、画面に表示さ

Fig. 4 Laser source unit for 65type laser TV.

Fig. 5 Detail structure of new green laser.

れる白の色温度(ホワイトバランス)が最適になるように設計されている。

また、Table. 1に示すように各レーザーモジュールはマルチエミッタで構成されている。マルチエミッタで構成されるレーザーモジュールは、たとえ任意の1エミッタに故障が発生しても致命的な光量の低下につながらないことに加え、複数の位相の異なる光をスクリーンに投射するため、スペックルパターンの角度多重化によるスペックルコントラストを低減させる効果も期待される¹¹⁾。

3.3 光源駆動制御

Fig. 6は640 nm付近の分光視感曲線であり、640 nmの感度で正規化したものである。人の目は555 nm付近の黄緑色で最も視感度が高く、640 nm付近は波長が長くなるに従い、急激に視感度が劣化する。

レーザーはジャンクション温度が変化すると、エネルギー変換効率が変化するとともに、出射波長も変化する。特に赤のレーザーの出射波長は約0.2 nm/Kの温度依存性があり、例えば、レーザーのパッケージ温度が10 °C変化すると、出力が10 %程変化する。

Fig. 7は、レーザーTVの光源制御システムの構成を示した図である。RGBの各レーザーモジュールには、温度コントローラと、フォトセンサーも組み込まれている。温度コントローラはレーザーの温度が温度指令値になるように制御すると共に、温度測定結果を制御マイコンに出力する。フォトセンサーはレーザーの発光状態を検知し、結果を制御マイコンに出力する。また、各レーザーモジュールの近くにはスイッチング方式の定電

Table 1 Specific of laser module.

	Red	Green	Blue
Wavelength	640nm	532nm	447nm
Peak power	6.3W	5.0W	8.1W
Number of emitter	20	15	14
Modules volume	60ml	30ml	220ml

Fig. 6 Spectral luminous efficacy around 640 nm.

Fig. 7 Laser control system of laser TV.

流回路が配置されている。定電流回路は、レーザー制御回路から出力される電流指令値と、マイクロディスプレイ制御回路から送られてくるレーザーの点灯タイミングを示すストロブ信号に応じて、レーザーに電流を供給する。

ライトパイプの出口にはカラーセンサーが設置してある。カラーセンサーは各レーザー光源から出力される光量を検出し、結果を制御マイコンに出力する。制御マイコンではカラーセンサーの検出結果を解析し、各レーザーからの出力が予め決めておいた比率になるように各レーザーの電流指令値を更新すると共に、その結果をレーザー制御回路に出力する。レーザー制御回路では、ストロブ信号に同期させ、制御マイコンから出力されてくる各種指令値を、レーザーモジュールに出力する。

レーザーTVでは各レーザーの温度管理以外に、各レーザーから出力される光量の検出結果に基づき、レーザーに供給する電流量調節するフィードバック制御を導入することで、ホワイトバランスの劣化を防いでいる。

3.4 フィールドシーケンシャルカラー表示

単板のマイクロディスプレイで光源からの光を空間変調するレーザーTVは、いわゆる継時加法混色型のディスプレイである。入力する1フレーム分の映像信号を赤、緑、青の映像を表示させるサブフィールドに分解し、それらサブフィールドを順次表示させるため、フィールドシーケンシャルカラー表示とも呼ばれる本方式は、表示フィールド以外の色の光源は消灯させることが出来るため、消費電力の低減に効果的である反面、観測者の視線の移動に伴い色割れが視認されてしまうことが知られている¹²⁾。

色割れは、RGB各色の1周期表示期間である色表示周波数や、網膜上の像の移動速さ、画面輝度、観測者の視力などに依存していることが分かっており、衝動性眼球運動(サッケード)などの速い眼球運動が生じた場合などは、色表示周波数が1 kHzを超えていても視認されてしまうという報告もある¹³⁾。

一般的な液晶の応答速度がmsオーダーなのに対し、

マイクロミラーデバイスの応答速度は10 μ sオーダーと非常に高速である。しかし、UHPランプから放出される白色光をRGBの回転式カラーフィルターを用いて継時的に濾波して3原色の光を得る従来のプロジェクション方式のディスプレイでは、カラーフィルターの回転に用いるモーターの性能により色表示周波数を高めるのには限界があった。モーターの回転数をR rpm、RGBの繰り返し数をnとすると、色表示周波数 f_{color} は、

$$f_{color} = \frac{n \cdot R}{60} \quad (1)$$

但し、色表示周波数 f_{color} は入力する映像信号周波数の整数倍数。安価に入手可能モーターの回転数は10000 rpm程度までであるため、仮にモーターの回転数が10800 rpm、RGBの繰り返し数nが2であったとしても、色表示周波数 f_{color} は360 Hzしか得られない。

Fig. 8はレーザー光源の立ち上がり特性の一例を示した図であり、マイクロディスプレイ制御回路からストロブ信号が出力された後の出力光量(スクリーンからの出射光)の時間変化をプロットしたものである。レーザー制御回路では、各色の発光タイミングの微調整を行っているため、ストロブ信号を受信した後、定電流回路に電流が流れ出すまでに若干の遅延が発生する。さらに、レーザー発振後も出力が安定するまでに若干の時間がかかるが、これらは μ sオーダーの話であり、回転式カラーフィルターを用いていた従来の方式と比べると桁違いに速いスイッチング動作が可能である。このレーザー光源システムの高速スイッチング特性を利用し、レーザーTVでは色表示周波数 f_{color} を1680 Hzで動作させており、色割れが視認される可能性を大幅に軽減している。

3.5 シンチレーション対策

レーザー光源をディスプレイに用いる場合に問題になるのが、レーザー光のコヒーレントの高さに起因するスペックルノイズである。特にスクリーンをレーザー光が通過する際に生じる過干渉ノイズは画質に対する影響が

Fig. 8 Risettime of light source system.

大きく、我々はこれをシンチレーションと呼んでいる。シンチレーションを除去する有効な方法として、先に述べたマルチエミッタ光源を用いた角度多重以外にも、例えばスクリーンを動かす方法が古くから知られている¹⁴⁾。

65型のレーザーTV用のスクリーンの重量は、求められる剛性の高さから10 kg近くにもなる。この重いスクリーンを、ディスプレイに求められる長時間の耐久性を確保しつつ揺動させ、またレーザーTVの特徴である狭額縁スタイルに揺動機構を収めるためには、シンプルな駆動機構を導入する必要がある。今回我々は、複数の支持バネによりスクリーンを筐体に接続するとともに、位相の異なる2つのリニアモーターを使い、スクリーンを回転させる機構を開発した。

Fig. 9は、揺動スクリーンの構造を示す図である。スクリーンは、フレネルスクリーン、レンチスクリーンの2枚で構成されており、内側のフレネルスクリーンを揺動させる。フレネルスクリーンはその周囲を金属製フレームで固定され、フレームは複数のL字型のバネで筐体と繋げてある。スクリーンは筐体下部には2つのリニアモーターが設置されており、各々のモーターの動作方向はスクリーンの重心方向へ向いている。時刻 t におけるリニアモーターの軸方向の変位、 $MA(t)$ 、 $MB(t)$ は、リニアモーターの振動振幅を C 、周期を T 、駆動位相差を γ とした場合、

$$\begin{cases} MA(t) = C \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \\ MB(t) = C \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \gamma\right) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、2つの振動軸間の角度である配置角度を α とすると、

$$\gamma = \pi - \alpha \quad (3)$$

時刻 t を消去し、xy平面上における軌道軌跡を表すと、

$$x^2 + y^2 = C^2 \sin^2 \gamma \quad (4)$$

となる。これは、任意の配置角度 α に応じた位相差 γ を与えて2つのリニアモーターを駆動させると、スクリー

Fig. 9 Moving screen system for laser TV.

ンが駆動半径 $C \sin \gamma$ の円運動することを示している。

レーザーTVでは、リニアモーターの配置角度 α を約 50° とした。配置角度を 90° にした場合と比べて、約25%の駆動損失を発生させるが、外観のデザインを優先した結果である。また駆動仕様は、セットの加振力限界、スクリーンの固有周波数、そしてシンチレーションの評価結果を考慮して最適化を行った結果、半径約0.3 mm、周波数約3 Hzで駆動している。

4. まとめ

我々は、3原色の可視光レーザーを用いた新しいカテゴリのディスプレイであるレーザーTVを開発した。レーザー光源と共に、それに最適化した、駆動電源、信号処理技術、光学エンジン、スクリーン、筐体構造を新たに開発したことにより、レーザーTVは従来の液晶ディスプレイの約2倍の広色域表示が可能になったことに加え、高画質かつ低消費電力を実現している。

参考文献

- 1) IEC 61966-2-1 Amendment 1: Multimedia systems and equipment – Colour measurement and management – Part 2-1: Colour management – Default RGB colour space – sRGB (2003).
- 2) IEC 61966-2-4 First edition: Multimedia systems and equipment – Colour measurement and management – Part 2-4: Colour management – Extended-gamut YCC colour space for video applications – xvYCC (2006).
- 3) 香川 周一, 金子 英之, 染谷 潤, 杉浦 博明: 三菱電機技術 **80** (2006) 508.
- 4) 長瀬 章裕, 香川 周一, 染谷 潤, 桑田 宗晴, 笹川 智広, 杉浦 博明, 宮田 彰久: 映像情報メディア学会技術報告 **31** (2007) 21.
- 5) J. Someya, Y. Inoue, H. Yoshii, M. Kuwata, S. Kagawa, T. Sasagawa, A. Michimori, H. Kaneko, and H. Sugiura: Society for Information Display 2006 International Symposium Digest of Technical Papers, San Francisco, June, 2006, p.1134.
- 6) H. Sugiura, M. Kuwata, Y. Inoue, T. Sasagawa, A. Nagase, S. Kagawa, N. Watanabe, and J. Someya: Society for Information Display 2007 International Symposium Digest of Technical Papers, Long Beach, May, 2007, p.12.
- 7) H. Sugiura, T. Sasagawa, A. Michimori, E. Toide, T. Yanagisawa, S. Yamamoto, Y. Hirano, M. Usui, S. Teramatsu, and J. Someya: Society for Information Display 2008 International Symposium Digest of Technical Papers, Los Angeles, May, 2008, p.854.
- 8) 新地 修: 映像情報メディア学会誌 **51** (1997) 479.
- 9) SMPTE 170M: Composite Analog Video Signal-NTSC for Studio Applications.
- 10) Y. Hirano, T. Yanagisawa, S. Yamamoto, Y. Koyata, M. Okano, T. Hamaguchi, A. Nakamura, T. Yagi, and H. Sugiura: Society for Information Display 2008.
- 11) 黒田 和男, 山本 和久, 栗村 直編: 解説レーザーディスプレイ (オプトロニクス社, 東京, 平成22年) p.186.
- 12) 森 峰生, 畑田 豊彦, 石川 和夫, 最勝寺 俊大, 和田 修, 中村 旬一, 寺島 信義: 映像情報メディア学会誌 **53** (1999) 1129.
- 13) 岡本 成継, 杉野 道幸, 向殿 充浩: 映像情報メディア学会技術報告 **25** (2001) 73.
- 14) S. Lowenthal and D. Joyeux: J. Op. Soc. Am. **61** (1971) 847.