

高温動作対応2波長ホログラムレーザ

Dual-Wavelength Hologram Laser for Automotive Applications

高木 輝一*
Terukazu Takagi

石黒 敬英*
Takahide Ishiguro

長浜 敏也*
Toshiya Nagahama

要 旨

ホログラムレーザは、光ピックアップの光源として使われ、ピックアップの組み立ての簡素化、高信頼性を特徴として普及し、現在では多種に渡る光ディスクに使われている。近年、車載ネットワーク機器が急拡大する市場環境下、車載用DVDビデオプレーヤ、ナビゲーションやCDチェンジャー用としてDVD & CD再生用ピックアップのコア部品となる高温動作対応2波長ホログラムレーザを開発した。本稿では、組立て調整が容易で、しかも小型集積化が可能となるこの2波長ホログラムレーザの構造及び特徴について詳細に説明する。

The hologram laser has been used as the light source for many kinds of optical pickups, since it has the feature of simplification and high reliability for optical pickup assembly. Recently, network machines for automotive applications spread throughout suddenly in the market environment. We have developed the dual-wavelength hologram laser for automotive applications. This hologram laser is the core component of the optical pickup for DVD/CD players such as DVD video players, the car navigation systems, and CD changers. This paper explains the structure and characteristic of the dual-wavelength hologram laser that enables easy assembling adjustment and miniature accumulation.

まえがき

ホログラムレーザとは、パッケージ内にレーザチップ、モニタ用受光素子に加えて信号検出のための多分割受光素子(OPIC^{注1})を内蔵し、パッケージ上部にディスクから戻ってきたレーザ光を曲げるホログラム素子を搭載した光ピックアップ用集積型レーザのことである^{注2}。1988年にCDプレーヤの光ピックアップ用として開発されたこのホログラムレーザは、それまでの光ピックアップシステムに比べ、光学系の簡素化と周囲環境に対する信頼性の向上により、ピックアップ市場で一気に普及が図られ、現在ではCD-ROM以外にもDVD-ROM、CD-R/RW、MD、DVD±R/RW用とすべての光ディスク用途に使われている。

本技報では、CD、DVD両者に再生可能な2つの波長に対応するホログラムレーザの機能を1つのデバイスに集約化し、小型で軽量かつ高信頼性を兼ね備えた高温動作対応2波長ホログラムレーザの特徴及び動作原理について、特に本開発のポイントである以下2点

を中心に説明する。

- (1) CD、DVD両者に再生可能となる2段積み偏光ホログラム素子の採用
- (2) 車載環境(Tc=90°C)での温度特性改善レーザチップの開発

注1：OPICはシャープの登録商標で、受光素子とその信号処理回路を1チップに集積したOptical ICを表象している。

注2：シャープ技報第84号2002年12月P58-62参照

1. 光ピックアップ光学系の構成

図1に今回開発した2波長ホログラムレーザを搭載した光ピックアップと、従来のホログラムレーザを搭載した光ピックアップの光学系構成比較を示す。2波長ホログラムレーザを用いた光ピックアップの利点は、まず光ピックアップの部品点数削減にある。即ち、CD、DVD用として搭載していた個々のホログラムレーザが1つのホログラムレーザに集約化し、波長選択プリズム、5/4波長板が削減されることになる。

* 電子部品事業本部 化合物半導体事業部 第3技術部

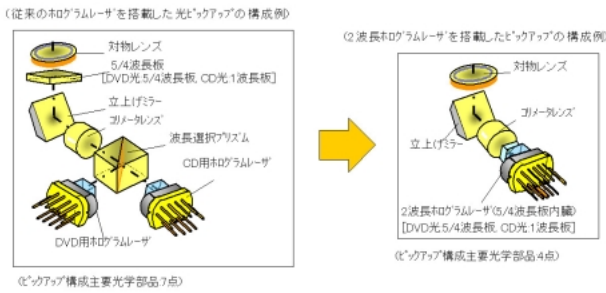


図1 光ピックアップの光学系の比較
Fig. 1 Comparison of the optical configurations.

ピックアップの構成部品点数は従来の7点から4点に削減される。これにより同時にピックアップの組み立て工程も簡略化され、組み立てに伴う各部品間の調整も減少した。このように2波長ホログラムレーザは、光ピックアップの小型軽量化、低価格化に大きく寄与するものと考えられる。また、2波長のレーザチップ、共用OPIC受光素子が1つの金属製ステム上に固定されており、素子相互間の位置関係は極めて安定に保たれ、ピックアップの耐環境性能を優れたものとしている。

2. 2波長ホログラムレーザの構成

図2に2波長ホログラムレーザの概略図を示す。今回開発した2波長ホログラムレーザは金属製ステム上に1チップ2波長レーザと2波長共用OPIC受光素子が配置され、ホログラム素子は、パッケージのキャップ上面に接着固定し一体化されている。キャップの上部にあるCD用ホログラム素子は、下面にトラッキング

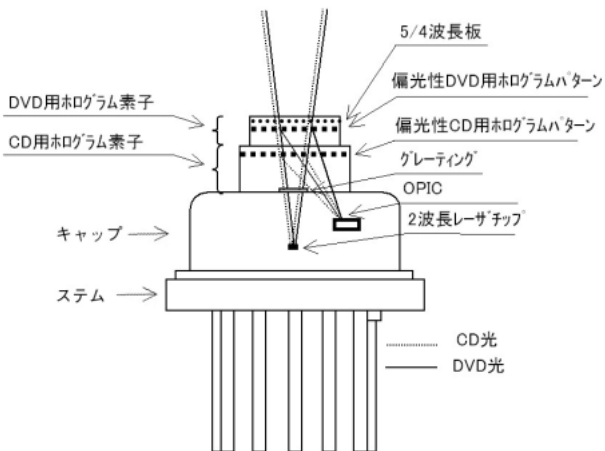


図2 2波長ホログラムレーザの概略図
Fig. 2 Outline figure of Hologram Laser.

グビーム生成用回折格子が形成されており、上面に後述する偏光性CD用ホログラムパターンが形成されている。また、CD用ホログラム素子の上部にあるDVD用ホログラム素子は、上面に後述する5/4波長板^{注3}及び偏光性DVD用ホログラムパターンが形成されている。このようにホログラム素子2段積み構造を採用したことで、従来のホログラムレーザと同様、DVD、CD信号を個々に光学調整することができる。

注3：5/4波長板とは、DVD光に対しては1/4波長板として作用し、ディスク上で円偏光出射となる為、ディスク複数屈折のばらつきに強く、プレイアビリティを高める効果がある。また、CD光に対しては1波長板として作用する波長板のこと。

3. 信号検出原理

図3には2波長ホログラムレーザの信号検出原理を説明する。ホログラムパターンは、DVD、CD用とも格子周期の異なる三つの領域からなり、主ビームの反射光は、その半円の領域に入射したものは光検出部S5、S6の分割線上に、1/4円の領域に入射したものは光検出部S2、S9上にそれぞれ集光される。また、副ビームの反射光は光検出部S1、S4、S8及びS3、S7、S10上にそれぞれに集光される。これらの集光ビームは、ディスク上のビームの収束状態に応じて変化する。これらの信号を演算することによって各サーボ信号とRF信号が形成される。

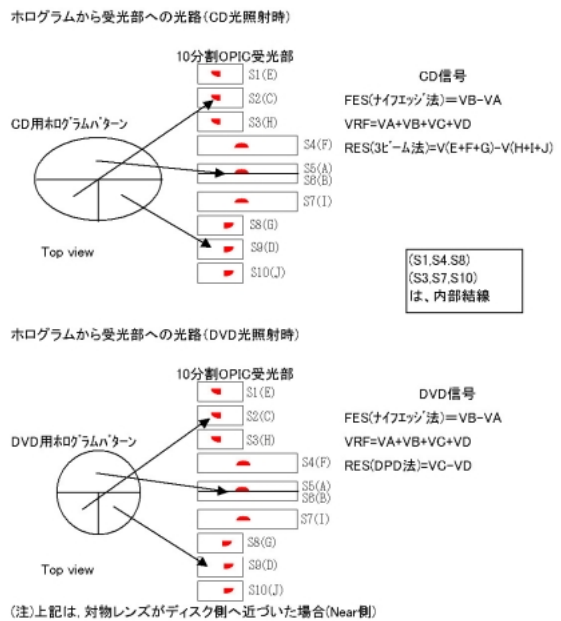


図3 ホログラム形状と光検出器上の落射位置
Fig. 3 Hologram pattern and spot diagrams at the surface of the PD.

表1 公差解析の結果 (DVD)

Table 1 Typical result of tolerance analysis (DVD).

パラメータ	設計値	スポットfar側		スポットnear側	
		公差	スポット位置変動量(μm)	公差	スポット位置変動量(μm)
ホログラス厚さ	2.66mm	60 μm	14.7	-60 μm	-14.7
キャップ高さ	2.74mm	30 μm	7.4	-30 μm	-7.4
レーザダイボンド位置	0 μm	34 μm	3.7	-21 μm	-2.3
OPIC厚さ	0.38mm	-20 μm	7	20 μm	-7
OPICダイボンド位置 (X)	0 μm	-15 μm	1.5	15 μm	-1.5
OPICダイボンド位置 (Y)	1.05mm	-15 μm	1.5	15 μm	-1.5
OPICダイボンド傾き位置 (αd)	0°	-0.477°	3	0.477°	-3
OPICダイボンド傾き位置 (βd)	0°	-0.716°	-1.3	0.716°	1.3
波長 (公差成分)	665nm	3nm	5.5	-5nm	-8.6
ホログラス傾き (αH)	0°	-0.448°	3	0.448°	-2.9
ホログラス傾き (βH)	0°	-0.512°	1.1	0.512°	-1.1
ホログラス位置 (Y)	0 μm	-50 μm	3.7	50 μm	-4.1
波長 (温度成分)	665nm	18nm	31.5	-18nm	-31.1

4. 最適化設計

ホログラムレーザの特徴の一つとして、レーザチップ、OPIC受光素子が一つのステムに配置されていることが挙げられるが、このことはレーザチップ、OPIC受光素子を極めて高い精度で配置する必要があることを意味している。またホログラムレーザは、種々の構成部品のばらつき及び組立公差をホログラム素子の接着固定時にその位置を調整することにより補償する。従ってホログラムレーザは、各種の組立誤差発生要因への公差配分とホログラム素子位置調整時の必要精度低減が重要な課題となる。今回開発した2波長ホログラムレーザは、前述のようにホログラム素子2段積み構造を採用したことで、従来のホログラムレーザと同様、DVD、CD信号を個々に光学調整することができる。即ち、1つのホログラム素子で異なる2つの波長光に対応した構成でホログラム素子位置調整を行う場合に比べて、レーザチップ及びOPIC受光素子の実装精度を緩和することができ、生産性を向上させることができる。表1にOPICセグメント形状検討の一部を示す。従来のホログラムレーザと同様、レーザチップの発光点に対するOPIC受光素子及びホログラム素子の位置ずれ、傾き、回転などの配置上の公差がホログラムレーザの誤差信号に与える影響を回折素子を含めた光線追跡法シミュレーションを用いて評価することで、各誤差信号のばらつき評価を行い、最悪公差時においても良好な信号が得られるような設計を行った。光の回折角が光源の波長変動によって変化する問題に対しては、OPICの分割線の角度を最適化することによって対応し、レーザの発振波長の個体間ばらつき及び温度変動による発振波長変化により、フォーカス誤差信号にオフセットが発生しないように設計してある。

5. CD, DVD両方で再生可能となる2段積み偏光ホログラム素子の採用

従来よりホログラムレーザに使用している透過型ホログラム素子は、ガラスやプラスチックなどの表面に細かい溝を刻んだ回折格子の一種であるが、これはレーザチップからディスクへ光が導かれる往路では0次回折光を、ディスクからOPIC受光素子へと光が導かれる復路では1次回折光を利用することで、往路と復路の光路を分離する為の素子として機能している。この為、異なる2つの波長光それぞれに対応した透過型ホログラム素子を2段積みした場合、個々に光学的調整を行うことができる反面、光の利用効率の低下が懸念される。通常、光の利用効率として重要となるのは、0次回折光×1次回折光の往復利用効率であるが、透過型ホログラム素子により発生する0次回折光及び±1次回折光等の回折光は、図4に示すように格子の溝深さに対して回折効率（即ち、回折光の発生

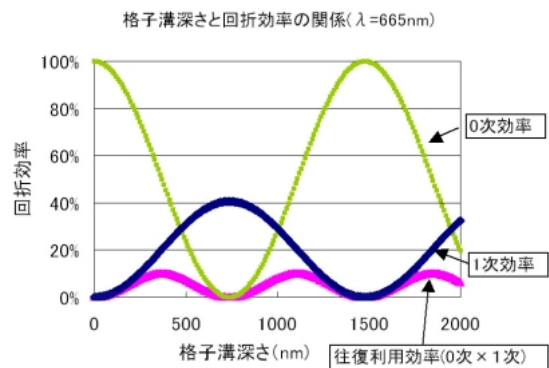


図4 格子溝深さと回折効率の関係
Fig. 4 Relationship of lattice depth and diffraction efficiency.

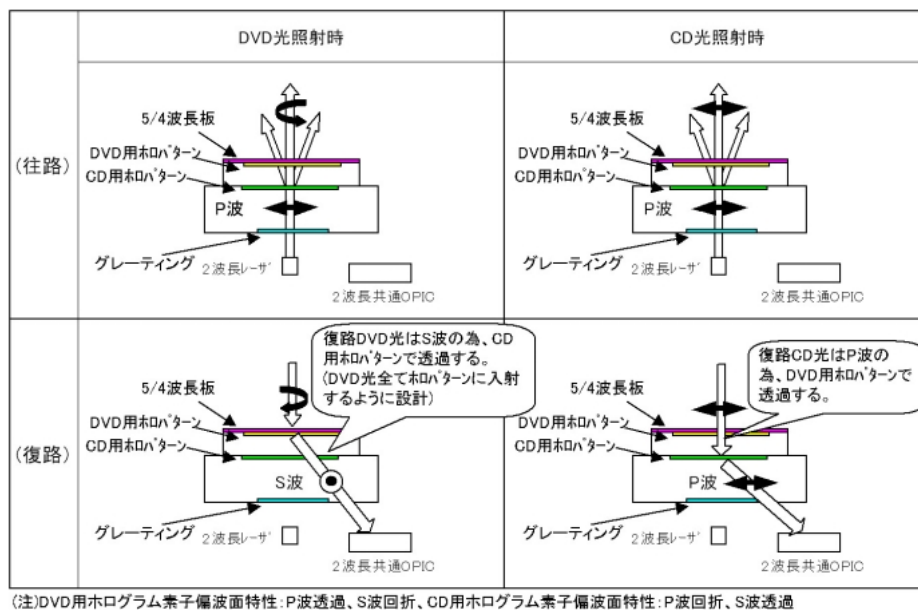


図5 2段積み偏光性ホログラム素子の光路図

Fig. 5 Optical way figure of the polarized Hologram which it has two steps-fold.

率)が周期的に変化する為、その積である往復利用効率は最大で10%程度である。さらに透過型ホログラム素子2段積みでは、各ホロパターンで1次回折効率が発生する為、透過型ホログラム素子1段積みと同等の往復利用効率10%程度を実現することが困難である。そこで、今回開発した2波長ホログラムレーザには、光の偏光方向により回折効率の異なる偏光性ホログラム素子を用いた。即ち、往路光の偏光方向に対しては0次透過率を高くし、ホログラム素子とディスク間に1/4波長板を挿入することにより、復路でのホログラム素子に到達する偏光方向を90度回転させて、この偏光方向に対しては1次回折効率を高くすることで、理論往復利用効率の最大値は、矩形格子の場合、40.5% (= 100% × 40.5%)と飛躍的に大きくすることができる。

しかしながら、異なる2つの波長光それぞれに対応した前述の偏光性ホログラム素子を用いた場合、上部ホログラムパターンで回折された1次回折光が、下部ホログラムパターンに干渉し、不要な回折光(迷光)が発生することから、上部ホログラムパターンから下部ホログラムパターンまでの距離をある一定距離保つ必要があり、ホログラム素子全体の厚みが大きくなるという問題があった。そこで、図5に示すような異なる偏波面特性をもつ2段積み偏光性ホログラム素子の構成、即ち、上部には5/4波長板を一体化した偏光性DVD用ホログラム素子(P波^{注4}透過、S波^{注5}回折特性)、下部にはトラッキングビーム生成用回折格子付き偏光

性CD用ホログラム素子(S波透過、P波回折特性)を順に重ねることで、ホログラム素子全体の厚みを抑えることができる。レーザチップから出射されたP波CD光は、下部CD用ホログラム素子の下面に形成されたトラッキングビーム生成用回折格子により、2つのトラッキング用副ビームと情報信号読み出し用主ビームの3つのビームに分けられる。そして上面のCD用ホログラムパターンの0次光として透過した光は、上部DVD用ホログラム素子上面に形成されたDVD用ホログラムパターンを透過し、5/4波長板を透過する。前述のように、CD光は、5/4波長板で1波長板として作用する為、CD光はP波のまま、コリメートレンズで平行光に変換された後、対物レンズによってディスク上に集光される。ディスク上のピットによる変調を受けた反射光は、再び、対物レンズ、コリメートレンズ、5/4波長板をP波のまま透過し、DVD用ホログラムパターンを透過した後、CD用ホログラムパターンによって回折され、1次回折光としてOPIC受光素子上に導かれる。このように、CD光は往復路でP波のまま偏波面を変えないことから、DVD用ホログラムパターンでの1次回折光による光ロスを抑えることができる。DVD光もCD光と同様の経路を通るが、前述のように、DVD光は、5/4波長板で1/4波長板として作用し、復路ではS波となる為、DVD用ホログラムパターンによって回折された1次回折光が、CD用ホログラムパターンを透過し、OPIC受光素子上に導かれる。このように、DVD光は往路でP波、復路でS波

というように偏波面を変えることを利用して、CD用ホログラムパターンでの1次回折光による光ロスを抑えることができる。以上説明してきたように、異なる偏波面特性をもつ偏光性ホログラム素子2段積み構造を採用したことで、迷光の発生量を抑えることが可能となり、1つのパッケージでCD、DVDそれぞれの再生信号が得られるようになった。

注4：P波とは、ここでは紙面に対して平行な方向、即ち、レーザーチップの接合面に平行な振動の波。

注5：S波とは、ここでは紙面に対して垂直な方向、即ち、レーザーチップの接合面に垂直な振動の波。

6. 車載環境(Tc=90°C)での温度特性改善レーザーチップの開発

車載用機器は、家庭用・コンピュータ用に比べて、はるかに厳しい環境性能が要求されている。そこで、車載用途として開発した2波長ホログラムレーザーでは、高温動作時におけるレーザーの信頼性を向上させる為、レーザー発振波長をシフトさせることで温度特性の改善を行った。

半導体レーザーは、図6に示すように半導体の伝導帯から価電子帯への遷移発光を利用する。励起準位に相当する伝導帯にある電子が、基底準位に相当する価電子帯に遷移して正孔と再結合し、そのエネルギー差(バンドギャップ)に等しい光を放出する。2波長ホログラムレーザーに搭載しているレーザーチップは、AlGaInP系赤色レーザーダイオードとGaAlAs系赤外レーザーダイオードを1チップ化したものである。例えばGaAlAs系赤外レーザーダイオードは、図7に示すように誘導放出により増幅を行う活性層をp型及びn型のクラッド層ではさみ込んだ構造になっており、これに順方向バイアスを加えると、電子と正孔が活性層に注入される。注入された電子と正孔は、図6に示すよ

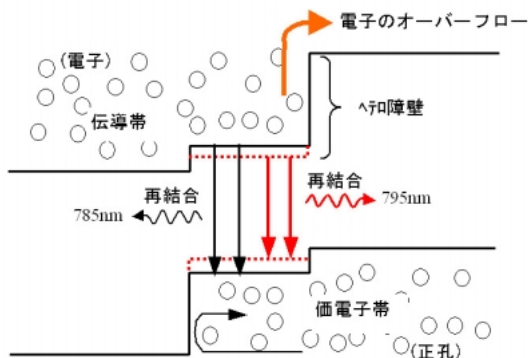


図6 半導体レーザーのエネルギー分布図
Fig. 6 Energy level diagram of GaAlAs laser.

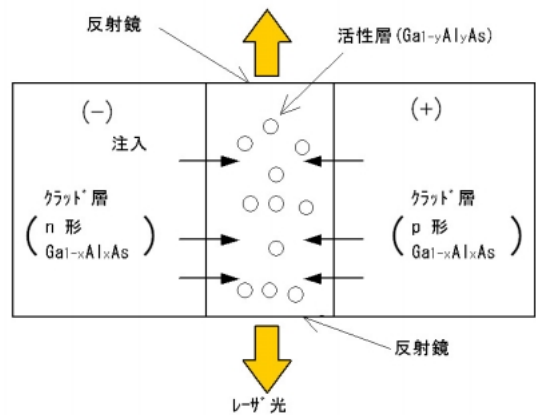


図7 半導体レーザーの断面構成図
Fig. 7 Cross section of GaAlAs laser diodes.

うに、クラッド層のバンドギャップが活性層のバンドギャップよりも大きい為活性層とクラッド層の間に作られたヘテロ障壁によって拡散が抑えられ、効率よく閉じ込められる。しかしながら、温度が上昇すると活性層からp型クラッド層への電子が増加するため、動作電流が増加する。この高温動作時の電子のオーバーフローを抑える為、GaAlAs系結晶の組成を調整した。つまり、従来の波長よりも長波長へシフト(785nm→795nm)させて活性層のバンドギャップを縮小させることにより、ヘテロ障壁が増大し、動作電流を低減させることで、Tc=90°C、Po=5mWでのレーザー寿命がMTTF^{注6}(CD)=20,000時間を満足できるレベルにまで到達した。AlGaInP系赤色レーザーダイオードに關しても、結晶組成をコントロールし長波長へ(654nm→665nm)シフトさせることで、Tc=90°C、Po=5mWでのレーザー寿命がMTTF^{注6}(DVD)=5,000時間を満足できるレベルにまで到達した。一方、レーザーの発振波長が長波長にシフトすることでプレイアビリティの悪化が懸念されるが、室温時、レーザーの個体間発振波長ばらつきを抑えることで、現行と同等のプレイアビリティが得られている。

注6：Tc=90°C、Po=5mWでの動作電流値が初期値(12時間)に対して、20%変化したときを故障とし、500時間以内に故障しないものは、400時間から500時間の動作電流値を外挿し、平均故障寿命(mean time to failure：MTTF)を求めたもの。

7. 試作結果

今回試作を行った2波長ホログラムレーザーの概観を写真1に、写真2、3には、CD、DVDそれぞれのRF再生波形を示す。室温でのジッター値は、CD、DVDそれぞれ13.5nsec、8%と共に良好な再生特性が得られ、その実用性が実証された。

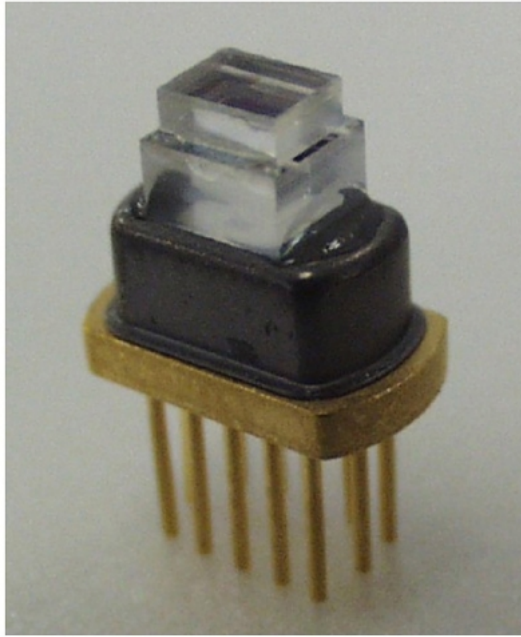


写真1 2波長ホログラムレーザーの外観
Photo 1 Appearance of Hologram Laser.

むすび

光ディスクメモリの大容量化と読取/書込速度の高速化が進み、現在では既にCD-R/RWやDVD±R/RW用途のホログラムレーザーも商品化されている。今後、記録用途においても2波長ホログラムレーザーへの展開が進んでいくものと考えられる。これらは、ディスクの特性及び記録方式が再生系とは異なるところが多く、複数メディアに対応するゲイン切り換え型OPIC受光素子の開発や信号検出方法の改善が必要と考えられる。また、青紫色レーザーの普及が進むことで、赤/青紫色レーザーに対応した2波長ホログラムレーザーや、さらには赤外/赤/青紫色レーザーに対応した3波長ホログラムレーザーの開発など、今後も時代を先取りしたホログラムレーザーを世の中に出すべく技術開発に取り組んでいきたいと考えている。

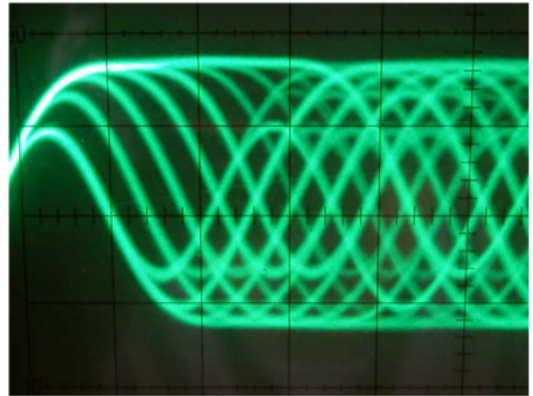


写真2 CD再生信号波形
Photo 2 Oscilloscope trace of a CD RF signal.

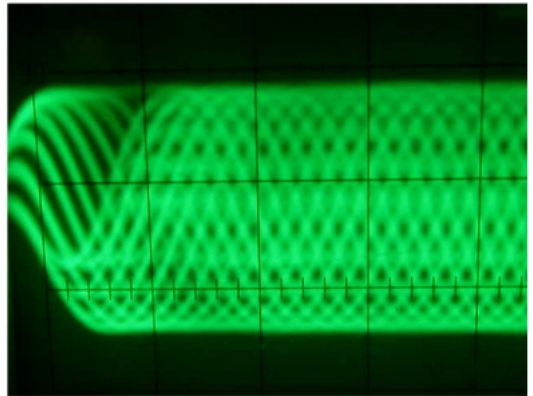


写真3 DVD再生信号波形
Photo 3 Oscilloscope trace of a DVD RF signal.

参考文献

- 1) 谷善平編著, “オプト・デバイス応用ノウハウ”, CQ出版 (2000).

(2005年1月27日受理)