

業務用（画像検索用）光ビデオディスクの開発

Development of Optical Video Disc and Player

従来、光ビデオディスクプレーヤには、HeNeガスレーザがディスクからの信号検出に使われてきたが、プレーヤを格段に小形、長寿命、高信頼度化できる半導体レーザの実用化が望まれていた。

このたび、懸案であった半導体レーザの低雑音化に成功したので、高品位画像に加えて、長寿命、小形、軽量、低消費電力、高速アクセス、パーソナルコンピュータ制御による特殊再生などを特長とする半導体レーザ方式の光ビデオディスクプレーヤを開発し量産化した。

一方、高画質・高音質が得られ、微小欠陥(ドロップアウト)のほとんどない高品質の光ディスクの量産化にも成功した。

赤津光治* *Mitsuharu Akatsu*
間 剛** *Katashi Hazama*
有本 昭*** *Akira Arimoto*
後藤敏彦**** *Toshihiko Gotô*

1 緒 言

近年、「絵の出るレコード」ビデオディスクは、家庭用だけでなく、画像ファイル、教育・訓練、商品案内、ゲーム機など業務用への応用が開拓されつつある。

ビデオディスクには、主として家庭用に適した針(静電容量)方式、すなわちCED方式(溝あり)とVHD方式(溝なし)のほかに、高級家庭用及び業務用に適した光(レーザ)方式があり、既に市場化されている。

特に光方式は、画像の解像度が高いこと、信号検出がレーザ光によりディスクに非接触で行なわれるためディスクが全く摩耗しないこと、更に超高速アクセスが可能であることなど、針方式やVTR(ビデオテープレコーダ)システムの追従を許さない。

本論文では、従来のHeNeガスレーザ方式に比べて、格段に優れた特長をもつ日立独自の半導体レーザ方式光ビデオディスクプレーヤの主要開発技術、機能、応用例及び並行して量産化の進められた高品質光ディスクについて紹介する。

2 光ビデオディスク概要

直径300mmの光ビデオディスクには、片面に静止画で5万4,000コマ、動画で30分(60分の動画専用ディスクもある。)という膨大な映像情報と音声情報2チャンネルが記録されている。

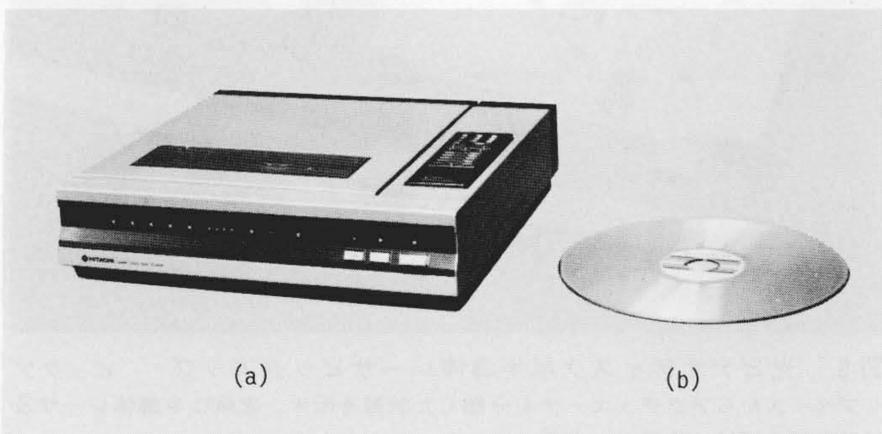


図1 光ビデオディスクプレーヤ(a)及び光ビデオディスク(b)の外観
光ビデオディスクの直径は300mmであり、写真の日立製半導体レーザ方式光ビデオディスクプレーヤは、従来のHeNeガスレーザ方式光ビデオディスクプレーヤよりも小形化されている。

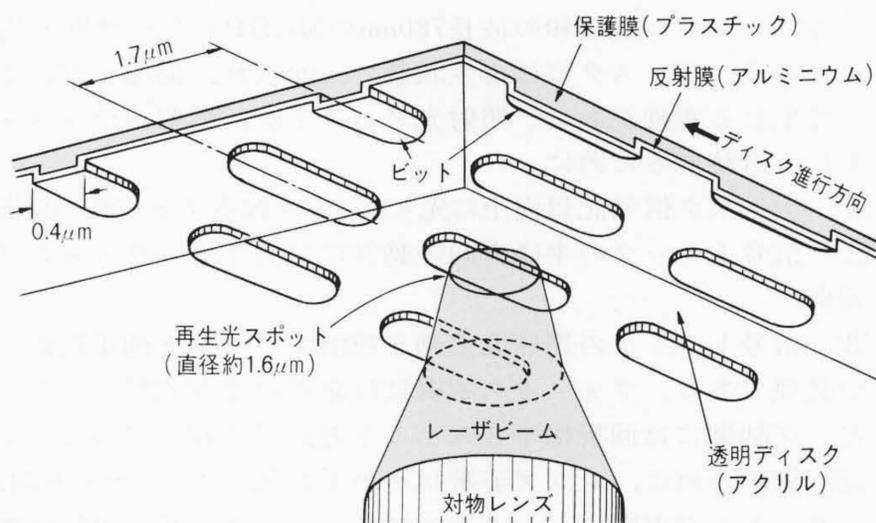


図2 光ビデオディスクの再生原理 高速回転(1,800回/分)する透明ディスクの下側からレーザ光を照射し、信号ビットの有無によって生じる反射光の強弱により信号を検出する。

プレーヤでは、希望のコマを瞬時に選び出す高速アクセス機能のほか、静止画、早送り、スローなど特殊再生が可能である。日立製半導体レーザ方式光ビデオディスクプレーヤの外観を図1に示す。大きさは幅435mm×奥行424mm×高さ112mmであり、従来のHeNeガスレーザ方式光ビデオディスクプレーヤよりも小形化されている。

光ビデオディスクの再生原理を図2に示す。高速回転1,800回/分する透明ディスクの下側から対物レンズで絞られたレーザ光を照射し、信号ビットの有無によって生じる反射光の強弱を検出し、電気信号に変換して映像と音声再生する。

3 半導体レーザピックアップ

今回開発したプレーヤの特長の一つは、半導体レーザの採用にある(図3)。本章では半導体レーザを用いたピックアップの構成と、半導体レーザ実用化の隘路となっていたレーザ雑音の低減方法について述べる。

半導体レーザピックアップの光学系構成を図4に、全体写真を図5に示す。レーザ～ディスク間の距離は75mm、全体寸法は幅45mm×奥行114mm×高さ72mmと小形化が図られている。

* 日立製作所横浜工場 ** 日立製作所研究開発部 工学博士 *** 日立製作所中央研究所 工学博士 **** 日立製作所家電研究所

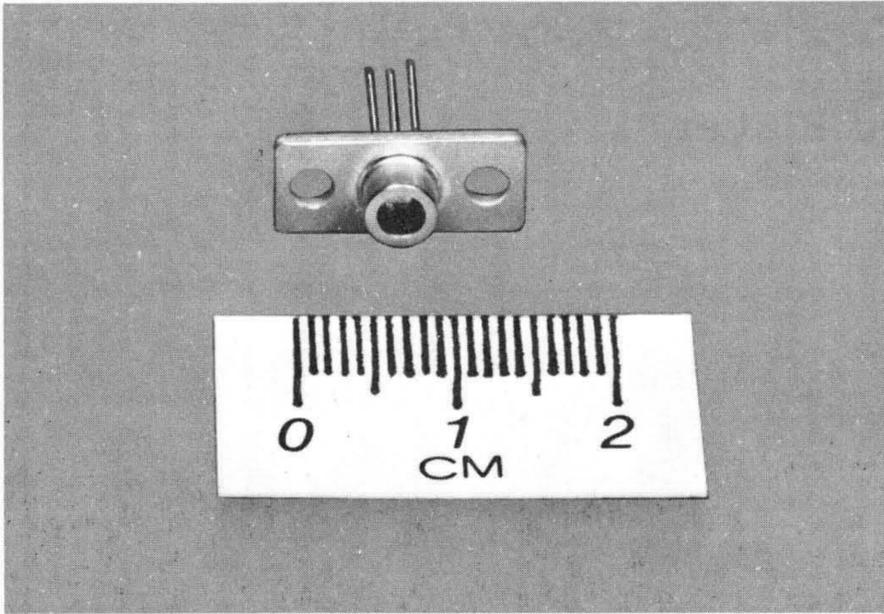


図3 半導体レーザ 波長780nm, 長寿命かつ横モード制御良好という特長をもっている。

半導体レーザは高信頼の波長780nmのMCSP形レーザ^{※1)}を用いている。ディスクには再生状態で、面振れ、偏心などによって生じる変動がある。照射光スポットが、情報トラックを正しく追跡するために、

- (1) ディスク信号記録面上に光スポットを絞るフォーカス制御
- (2) 信号トラックの半径方向の動きに追従するトラッキング制御

(3) 信号トラックの周速度変動を補償するジッタ補正制御が必要である。フォーカス制御には非点収差方式^{※2)}、トラッキング制御には回折格子3スポット方式^{※3)}を用いている。上記制御のために、レンズ姿勢はそのまま、フォーカス方向、トラッキング方向、ジッタ方向にレンズを3次元に平行移動させる3次元アクチュエータ方式を採用した。本方式の特徴は高NA^{※4)}の対物レンズの収差除去が容易となる点にある。ここに用いる3次元アクチュエータの構成を図6に示す。磁気回路部は1個の永久磁石と、2組みのくら形コイル及び1個のソレノイドで3次元方向に駆動可能な構成とした。対物レンズを鏡筒で保持し、鏡筒の上下を中心から外に向かって出る6条の金属スパイラルばねで支持している。コイルは鏡筒の外周に固定してあり、6条の金属スパイラルばねをその引出し線として利用しているため、対物レンズの平行移動が可能となった。このアクチュエータによって、対物レンズはフォーカス方向に±2mm、トラッキング方向、ジッタ方向に±0.5mmの移動が可能である。フォーカス方向アクチュエータの利得及び位相特性例を図7に示す。

次にレーザ雑音の低減方法について述べる。従来、単一モードの半導体レーザは、温度変化及びレーザ出射面へのレーザ光の帰還によって、単一モードが保てず、複数モードが競合発振し出力変動することが雑音を発生させていた¹⁾。光帰還量を変えたときの雑音特性を図8の点線で示す。雑音の定義は

$$\text{相対雑音強度} = (\text{レーザの雑音出力} / \text{レーザの直流出力})^2 / \Delta f$$
 ここに Δf : 雑音測定帯域幅
 である。今回開発した雑音低減方法は、レーザを高周波(>

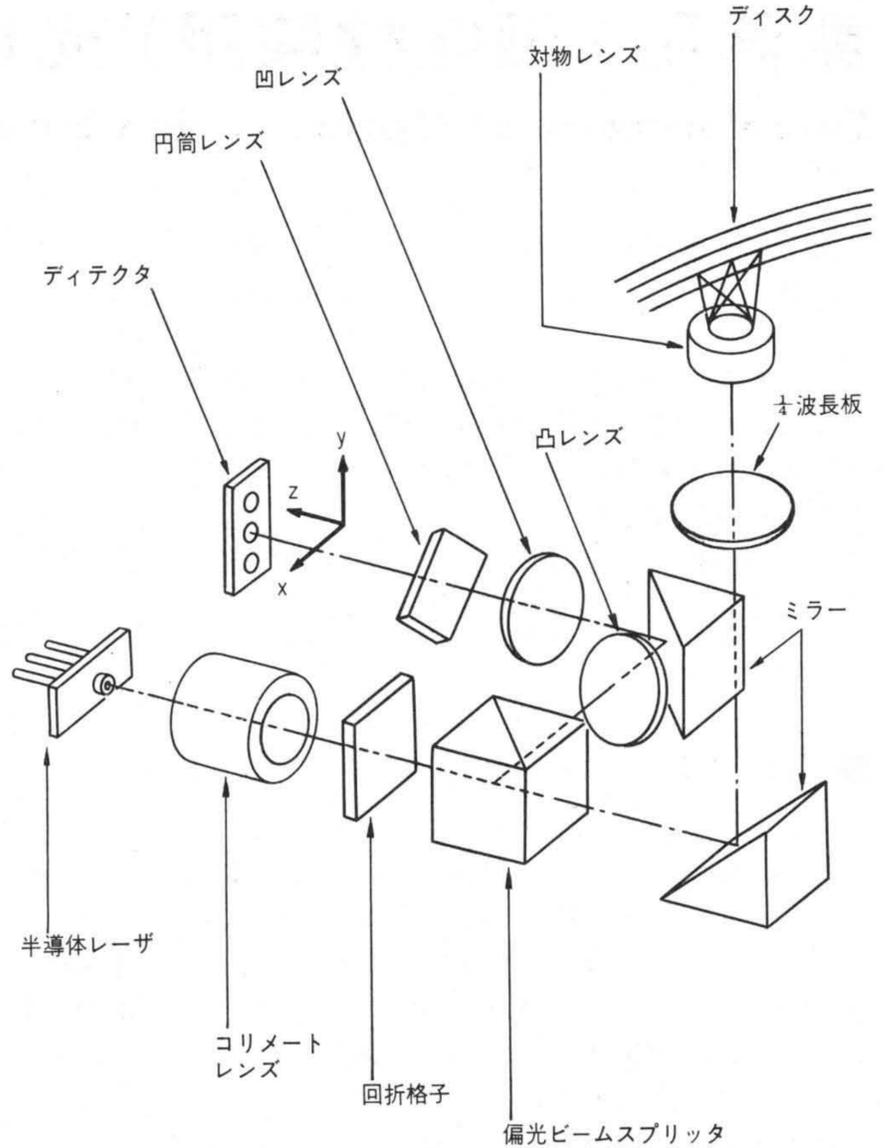


図4 光ビデオディスク用半導体レーザピックアップ光学系の構成
 本ピックアップはレーザからディスクまでが75mmと短くできるので、全体寸法も小さく構成できる。レーザから出たレーザ光はディスクに照射されたあと反射され、偏光ビームスプリッタを通して光検出器に導かれる。

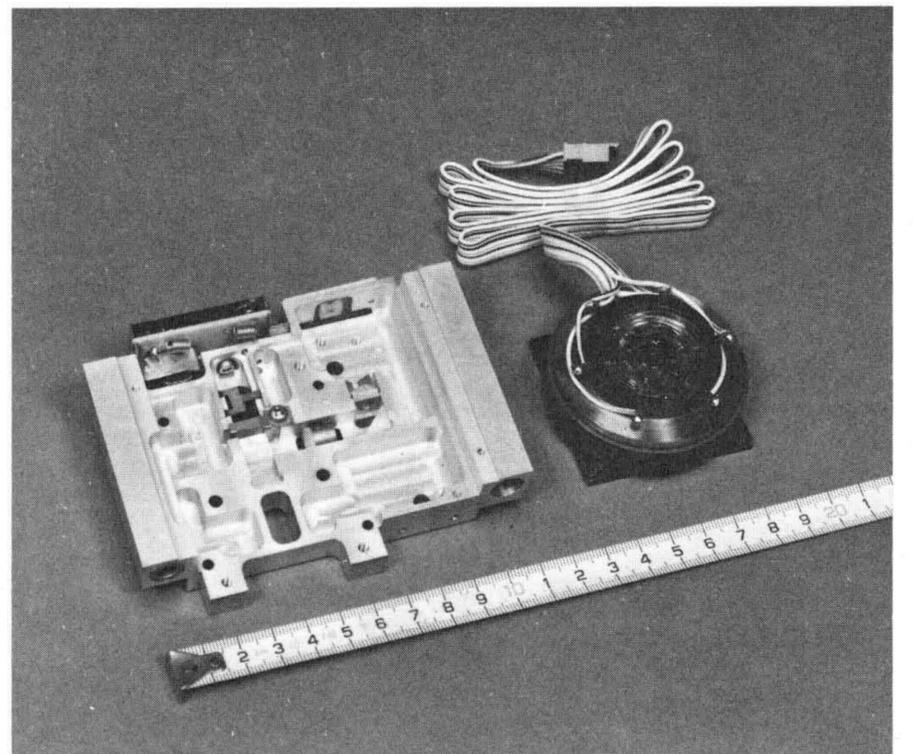


図5 光ビデオディスク用半導体レーザピックアップ ピックアップベースからアクチュエータを分離した状態を示す。左側に半導体レーザ及び光学部品組付け状態を、右側にアクチュエータを示す。

※1) MCSP形レーザ: Modified Channelled Substrate Planar 形レーザの略。本レーザは安定な横モード発振と長寿命の特長をもっている。
 ※2) 非点収差方式: フォーカス制御の一方式で円筒レンズのxz, yz面内(図4)の焦点位置が異なることを利用している。

※3) 回折格子3スポット方式: 回折格子によって作られる±一次の光を用いて、その光量トラッキング制御を行なう方式である。
 ※4) NA: Numerical Apertureの略。レンズの開口数で $NA = \sin \alpha$ で表わす。 α はレンズから出た(又はレンズに入る)光のうち、いちばん外側の光が光軸となす角を表わす。

500MHz)でパルス駆動させることで、常時10本以上の多モード発振をさせると、雑音特性が改善される特徴がある²⁾。レーザに高周波駆動電流を加える方法を図9に示す。すなわち、特定の点 P_0 を中心に、光出力しきい値電流値を下回るような変調電流を加えると、同図に示す高周波の光パルス出力が得られる。このときには、光出力が一周ごとに0になることが多モード発振の原因となっている。本雑音低減方法による雑音特性を図8に併せて実線で示す。

本技術開発の結果、温度変化、光帰還に対して雑音レベルの変動が少なく、画質規準をも満足する良好な画質が得られるようになった。本方法の問題点は、高周波の不要輻射による外部への電波の漏洩であるが、シールドにより電波法などの諸規格を満足しており問題とはならない。

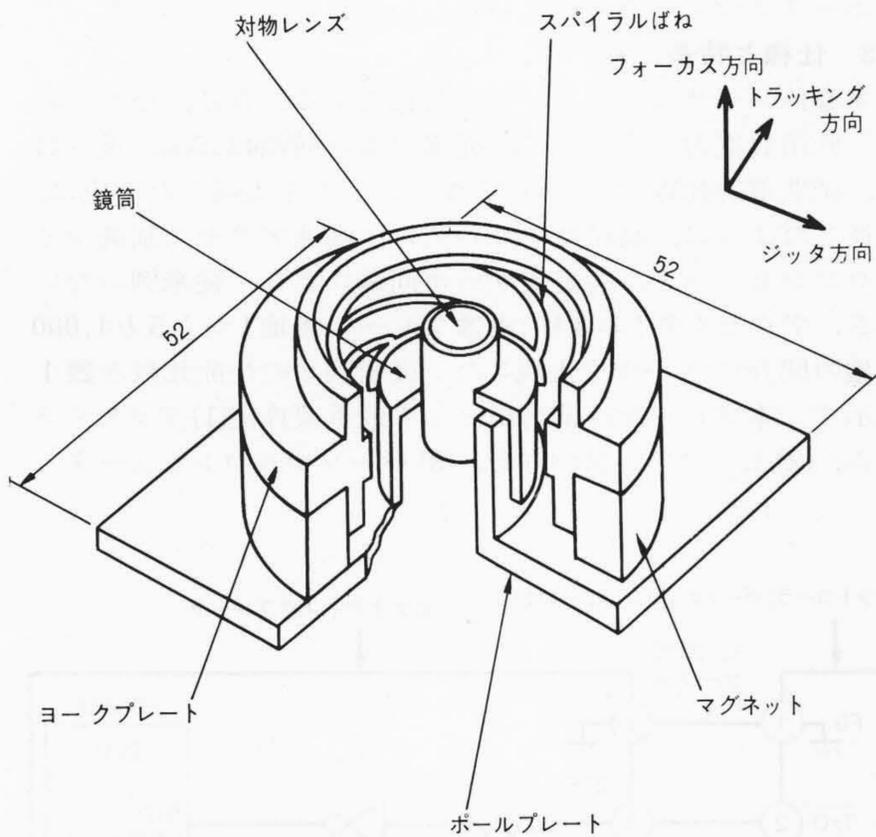


図6 半導体レーザピックアップ用アクチュエータの構成 対物レンズを鏡筒で保持し、鏡筒をスパイラルばねで支持し、対物レンズをフォーカス方向、トラッキング方向、ジッタ方向に3次元に平行移動させる構成を示す。

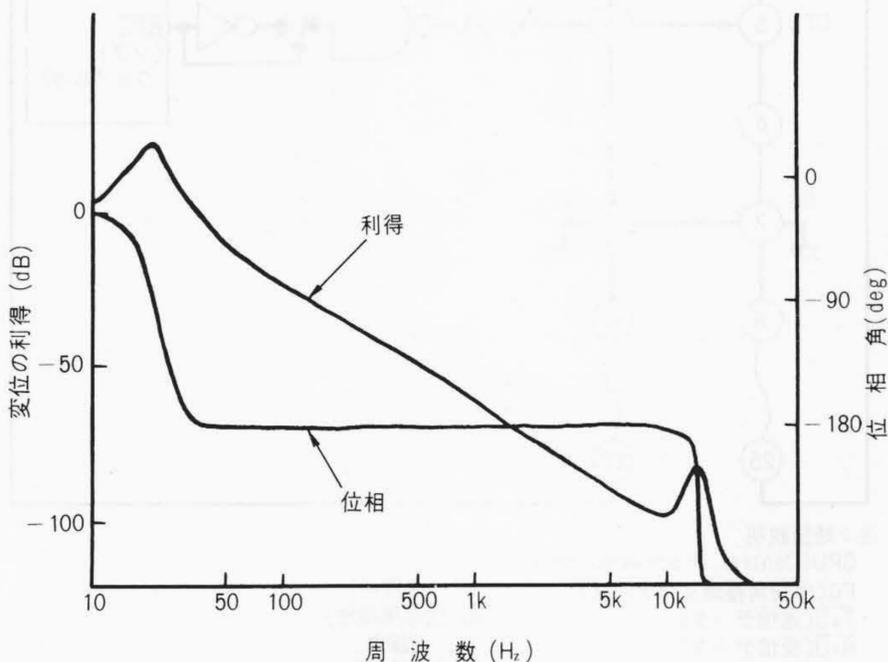


図7 フォーカス方向周波数応答特性 対物レンズの光軸方向の振幅と位相特性を示す。共振点が21Hz、副共振点が14kHzにあり、180度以上の位相周りは副共振点以下では見られない。

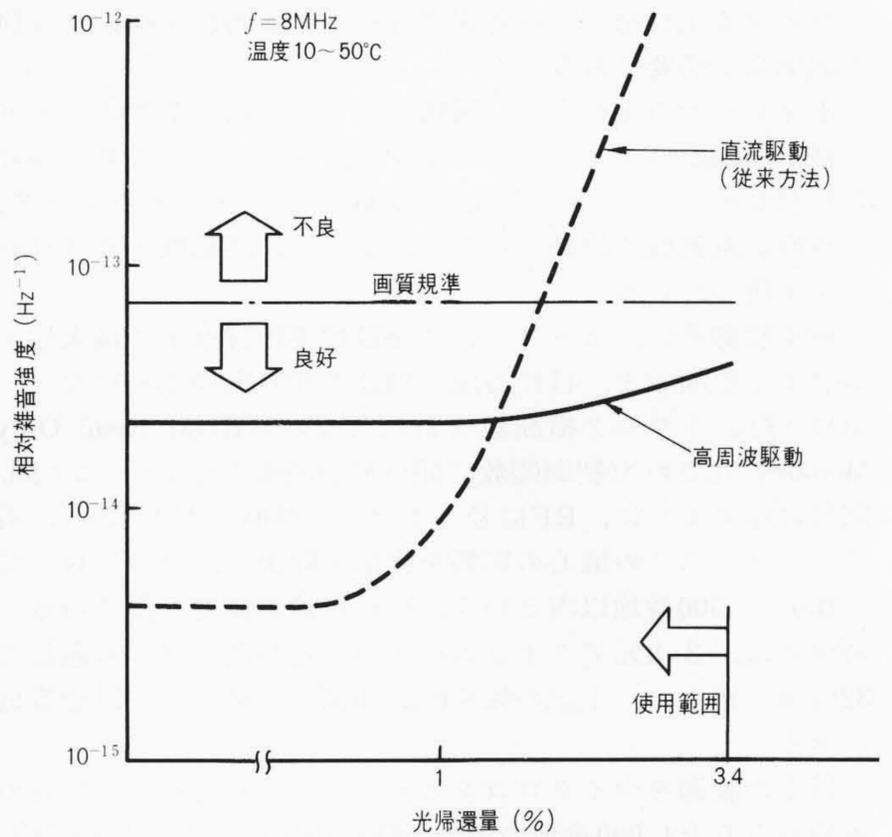


図8 レーザ雑音の光帰還量依存性 ディスクからの反射光はディスクの複屈折のため、全部が光検出器に行かず、一部がレーザに戻る。直流駆動したときの特性(点線)に比べ、高周波駆動(実線)のほうが依存性が少なく安定である。

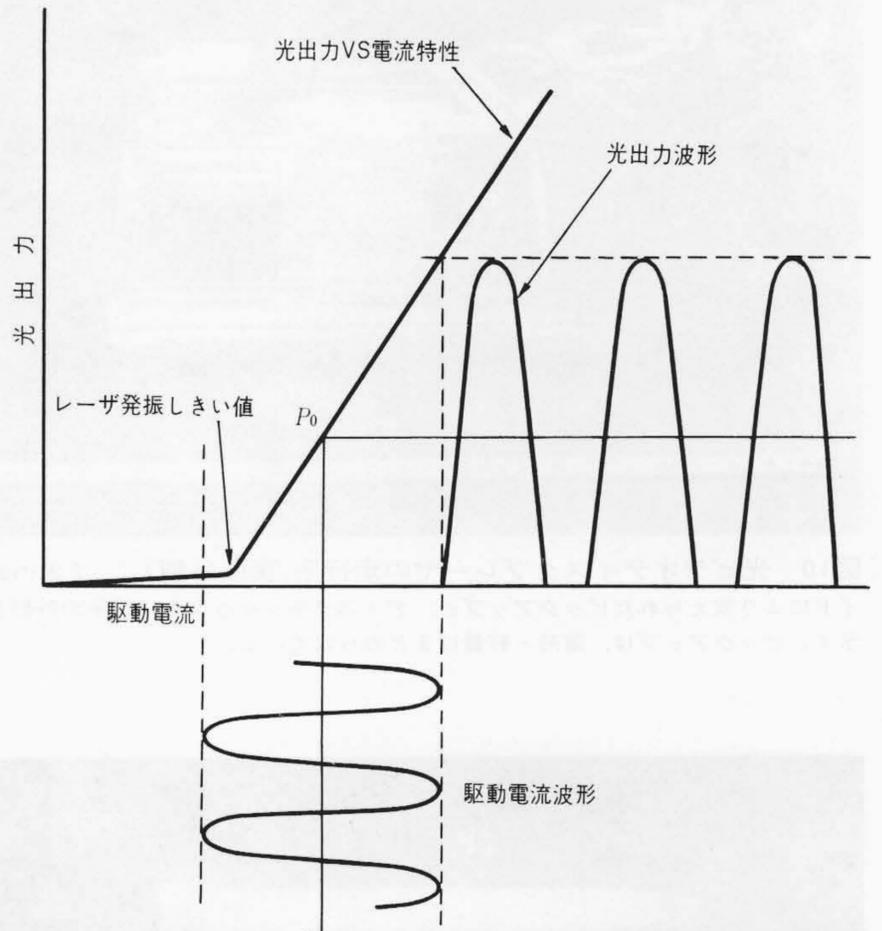


図9 高周波駆動法 特定の光出力点 P_0 を中心に、高周波電流を駆動させ、雑音の低減化を図る。レーザ発振しきい値を下回るように変調を加えることが特長である。

4 プレーヤ

4.1 高速アクセス機能

光ビデオディスクプレーヤでは、所望の番地(フレーム番号)へのアクセスが速いことが望ましい。ディスクの直径が300mmの場合、アクセスの距離は最大90mmであり、この間、フォーカス制御などに必要な精度を保ちながらピックアップ

を駆動する走行系と、短時間で目標とする番地を検索する検索制御系が必要である。

本プレーヤの走行系は、図10に示すように、2本のガイドと軽量(500g)にまとめられたピックアップ、及びこれに設けられたガイドブッシュから成り、DG(デジタルゼネレータ)付き直流電動機で駆動することによって、高精度・省スペースを実現している。

検索制御系は、ピックアップを目標番地付近まで最大加・減速する粗検索と、目標番地に到達させる密検索を行なう。粗検索は、トラック横断数を計数しながらROM(Read Only Memory)化された制御関数に従い最適制御を行なう。この間、図11に示すように、RF信号とトラック横断信号の位相に着目してディスクの偏心の影響を検出・除去し、目標に対して+100、-300番地以内という、高い粗検索精度を得ている。密検索は、3次元アクチュエータの整定時間などを考慮して32倍速で行ない、上記の幅を0.2~0.6秒で検索し、目標番地に至る。

以上の制御をマイクロコンピュータにより行ない、任意の番地から5万4,000番地の中の所望の番地へ、平均1秒以内、最大3秒以内で高速アクセスが可能となっている。

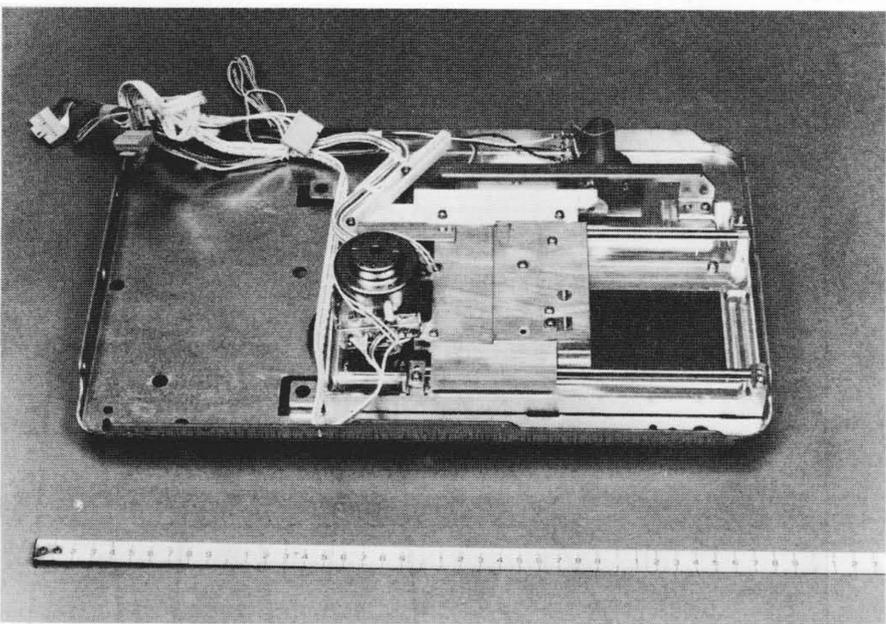


図10 光ビデオディスクプレーヤの走行系(裏面外観) 2本のガイドにより支えられたピックアップと、ディスクモータを含む走行系の外観を示す。ピックアップは、薄形・軽量にまとめられている。

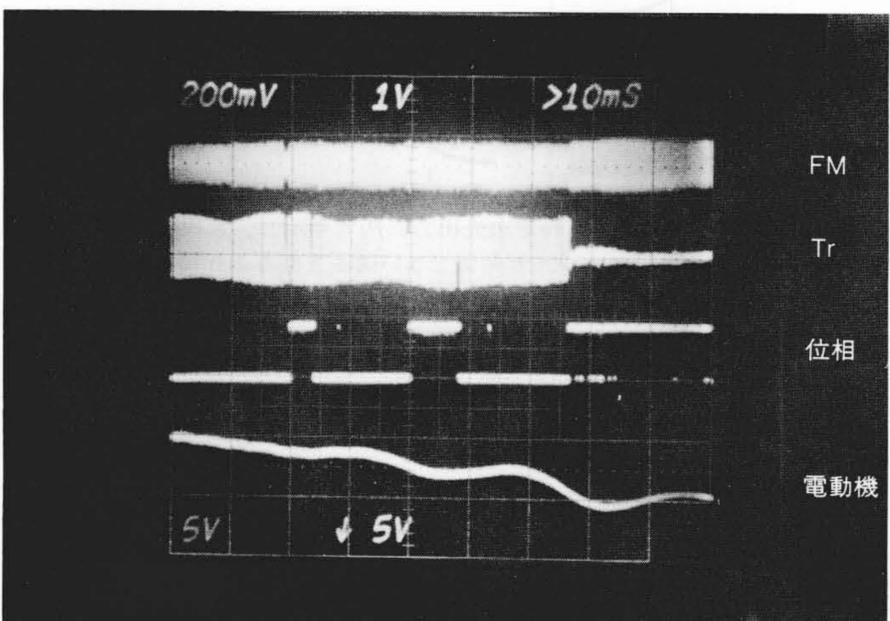


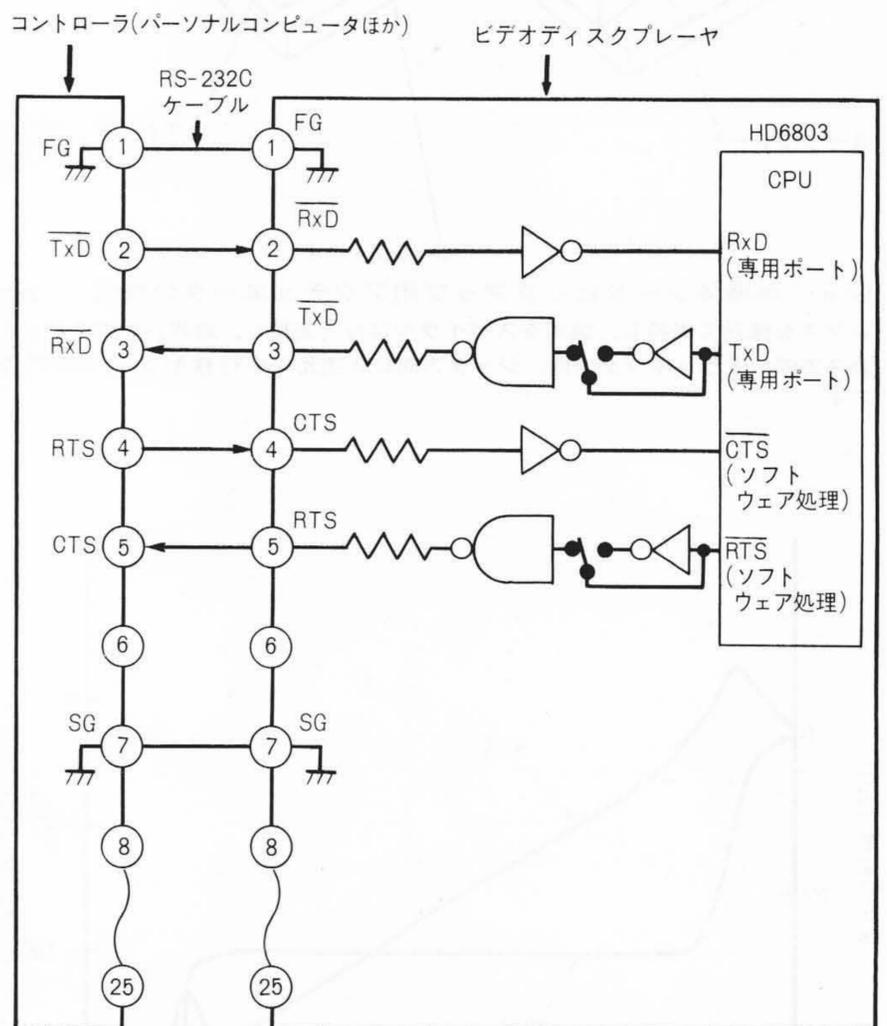
図11 高速アクセス時の各部信号波形 偏心に伴う見掛けのトラック横断信号を減算し、最適制御を行なう。上からそれぞれRF信号、トラック横断信号、位相判別信号、電動機制御信号を示す。

4.2 インタフェース

任意の画像を瞬時に検索できる高速アクセス機能を最大限に生かすため、パーソナルコンピュータ(専用コントローラを含む。)と容易に接続できるインタフェースを開発し、プレーヤの中に内蔵した。外部端子はRS-232C方式を採用した。図12に構成を示す。RXD(データの受信)とTXD(データの送信)は、2端子と3端子を通して行なわれ、データの確認やコマンドの割込みは、RTS(送信要求)、CTS(送信可能)の4端子と5端子を通して行なわれる。FG(Frequency Generator)とSG(Signal Generator)は筐体及び信号の接地線である。データ信号速度は300ボー、1,200ボー、9,600ボー(ビット/秒)の3種類が対応可能である。また、プレーヤを外部操作する静止、倍速、こま送り、スローモーション、早送り、サーチなどの主コマンド及び画像の番地(フレーム番号)表示、音声のオン、オフを行なう特殊コマンド、プレーヤの状態を確認するポーズコマンドをもっている。

4.3 仕様と特長

半導体レーザピックアップの特長である長寿命、小形、軽量、低消費電力を生かして、従来にない横幅43.5cm、重さ11kg、消費電力40Wのコンパクトなプレーヤを実現した。更に、前述したように、高精度メカニズム、高速アクセス制御マイクロコンピュータ、高安定サーボ回路により、従来例のない速さ、アクセスタイム3秒(画像フレーム番地1から5万4,000番地の間)のプレーヤを実現した。従来例との性能比較を表1に示す。本プレーヤは業務用として最重要性能(1)アクセスタイム、(2)ピックアップの寿命、(3)パーソナルコンピュータと



注：略語説明
 CPU(Central Processing Unit)
 FG(保安用接地又はアース) CTS(送信可)
 TXD(送信データ) SG(信号用接地)
 RXD(受信データ) XXX(正論理)
 RTS(送信要求) XXX(負論理)

図12 インタフェース構成図 RS-232Cケーブルは、25ピンの接続端子をもち、パーソナルコンピュータ機器の具備する汎用品である。

のインタフェースで優れている。

次に、プレーヤのシステム展開と用途を表2に示す。システムは、レベル1, 2, 3に大別される。レベル1は、プレーヤに備えられたリモートコントロール送信機によって画像を検索できる簡単なシステムであり、商品の動くカタログ、英会話や体育練習の教材、幼児向けのビデオライブラリ、百科辞典などに利用されている。レベル2は、ディスク(盤)の中に、マイクロコンピュータのプログラムや特殊な識別コードが内蔵されており、外部からキーボードによって操作(一部プログラム編集可能)できるシステムであり、企業のトレーニング、車やギフトの相談、スキー情報や娯楽映画などのサービス、ゲームなどに使用されている。レベル3は、パーソナルコンピュータ(又は専用プロセッサをもつコントローラ)と接続したシステムであり、パーソナルコンピュータからの制御命令によってすべての操作が行なわれる。ライトペンや音声認識、キャラクタディスプレイ上のタッチ操作などは、



図13 車選び相談システム 日産自動車株式会社と日立製作所が共同開発したシステムである。

表1 従来例との性能比較 今回開発したプレーヤと、従来例の性能比較を示す。

比較項目	日立 (VIP-9000)	従来例
寸法(mm) 幅×奥行×高さ (体積比)	435×424×112 (100)	(170~240)
重量 (kg)	11	20~24
消費電力 (W)	40	95~130
最大アクセスタイム (s)	3	4~6
ピックアップ	半導体レーザ	HeNeガスレーザ
ピックアップの寿命 (h)	10,000以上	5,000
パーソナルコンピュータ とのインタフェース	RS-232C インタフェース内蔵	オプション

すべてこのシステムの中に入る。プレーヤの制御プログラムはフロッピーディスクの中に蓄えられ、ディスク(盤)と対になって使用される。図13に、日産自動車株式会社と日立製作所が共同開発し、昭和57年秋から日本国内の日産ディーラー店で稼働中の車選び相談システムを示す。ディスクの中には、車のバリエーション、エンジン、オプションなど動画、静止画が1,000種類以上収められている。

5 ディスク

ディスクは直径300mm、厚さ1.25mmの片面ディスクを、情報

表2 ビデオディスクシステムと用途 レベル1, 2, 3とは、米国を中心にビデオディスク関連学界、業界で用いられている用途区分を示す。

	1	2	3
レベル	<p>テレビジョン マイクロコンピュータ 光ビデオディスクプレーヤ ビデオディスク(映像)</p>	<p>光ビデオディスクプレーヤ テレビジョン マイクロコンピュータ(RAM内蔵) ビデオディスク(映像+マイクロコンピュータプログラム) コントロールキーボード</p>	<p>キャラクタディスプレイ テレビジョン 光ビデオディスクプレーヤ ライトペン パーソナルコンピュータ プリンタ マイクロコンピュータ フロッピーディスク ビデオディスク(映像)</p>
用途	<p>1.販売促進 ・ビデオカタログ 2.学習 ・英会話教材 3.ビデオライブラリ</p>	<p>1.教育・訓練 ・トレーニングシステム 2.販売促進 ・車相談・ギフト相談 3.情報サービス 顧客サービス・スキー情報 4.ゲーム</p>	<p>1.販売促進 コンピュータ車選び相談システム 2.サービス ・旅行案内システム 3.訓練 ・トレーニングシステム</p>

注：略語説明 RAM(Random Access Memory)

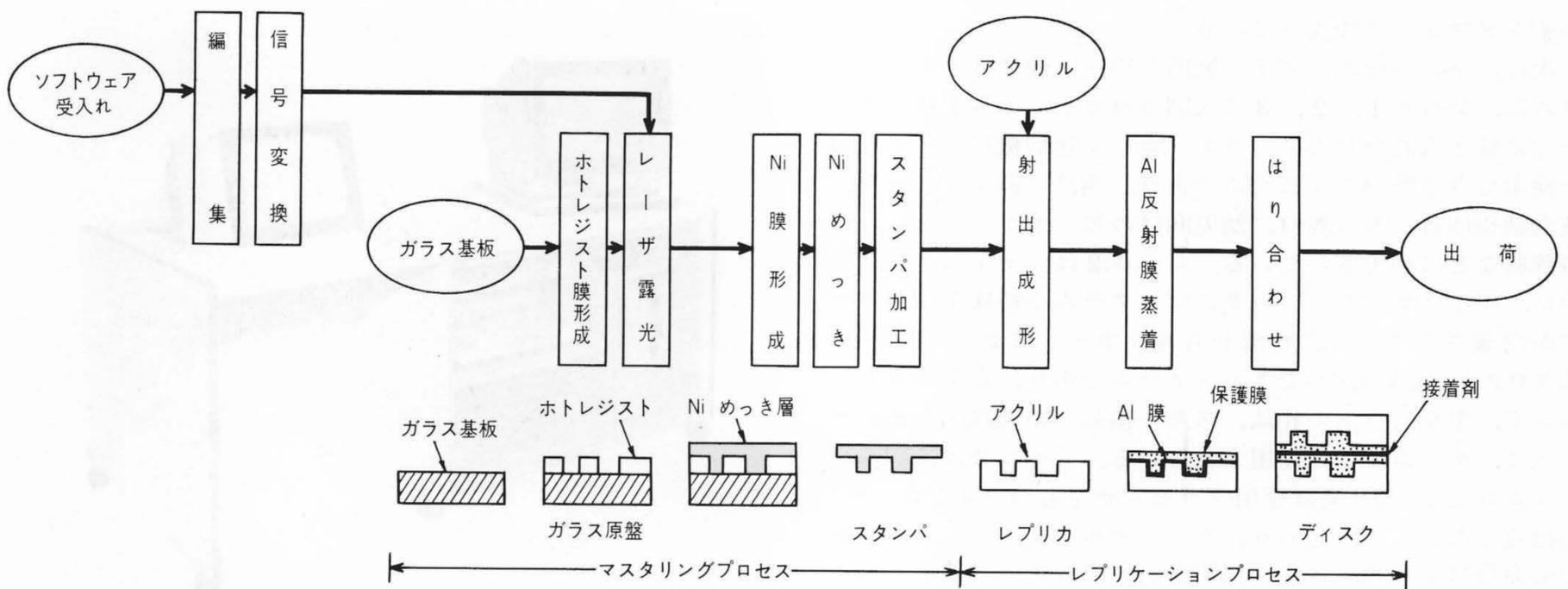


図14 ビデオディスク製造プロセス ガラス基板は直径360mmの青板ガラス、ホトレジストはポジ形で厚さ0.13 μ m、スタンプの厚さは0.3mm、レプリカは直径300mm、厚さ1.25mmで、完成ディスクの厚さは2.6mmである。

面を内側にして2枚はり合わせて作製される。製造プロセスの概要は図14に示すとおりであるが³⁾、以下では開発に当たって特に留意した点と特徴について述べる。

(1) 半導体レーザー対応

ガラス原盤のホトレジスト膜の厚さはそのままピットの深さとなり、これは再生プレーヤのレーザー光源の波長の $\frac{1}{4}$ とすべきなので、ここでは波長780nmの半導体レーザーを前提として、レプリカの屈折率1.5を考慮し0.13 μ mに設定している。

(2) 高画質

ホトレジスト膜の厚さのばらつきはピット深さのばらつきとなり、再生画質の劣化につながるので $\pm 5\%$ 以内に管理している。また、露光・現像後のホトレジスト面の荒れは、そのままスタンプ、レプリカへと転写されノイズの原因となるので、荒れの少ない条件設定が必要である。良好な例として、図15に走査形電子顕微鏡で観察したレプリカのピット列とその拡大写真を示す。射出成形工程とAl反射膜蒸着工程では、それぞれ複屈折と反射率が再生画質に影響するが、前者はフィリップス・MCA規格の20度(往復)に対し10度、後者は同じく75~85%に対し80~85%と良好な結果を得ている。以上の

結果、ディスクとしてC/N(Carrier to Noise Ratio)=63dB以上、S/N(信号対雑音比)=43dB以上の高画質を実現している。

(3) 低欠陥

直径300mmのディスクの情報面には幅0.4 μ m、長さ0.55~1.8 μ mの微細なピットが約 10^{10} 個形成されており、欠陥があると再生時の画面上にドロップアウトとして現われるので、欠陥管理は全プロセスを通じて重要である。特に、ガラス原盤の製造プロセスは最先端の半導体製造プロセスに匹敵するものであり、原盤はクラス100のクリーンルーム内で、特別に工夫した装置と作業によって作製している。また、スタンプ製造工程では、信号面はもちろんスタンプの裏面の欠陥もレプリカに転写されるのでなくす必要があり、更に射出成形工程は可動部が多く塵埃発生の原因となるので、細部まできめ細かな塵埃対策が必要である。以上により、ディスクのドロップアウトは、1テレビジョンフレーム当たり1個以下という良好な結果を得ている。

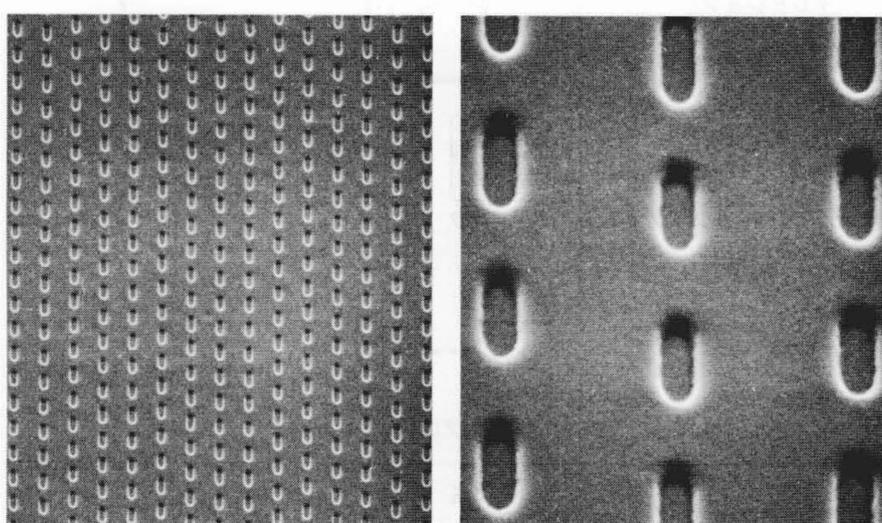
6 結 言

レーザー雑音の低減、3次元アクチュエータによる小形ピックアップなどの開発によって、パーソナルコンピュータ制御による高速アクセスが可能な半導体レーザー方式光ビデオディスクプレーヤを量産化した。また同時に、量産化した高品質光ディスクと組み合わせることによって、映像情報だけでなく、膨大なデジタル情報の自在な再生が可能となったので、光ビデオディスクは従来の映像媒体・機器の枠を越えた新たな発展の可能性をもつことになった。

最後に日立製作所の光ビデオディスクとプレーヤの開発に当たり、御協力・御指導いただいた日産自動車株式会社殿をはじめ関係各位に対し深謝申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 有本, 外: 光ディスク光学系における半導体レーザーの特性, 光学, 11, 6, 629~633(昭57-12)
- 2) M. Ojima, et al.: Paper (TuE12) Presented at 1980 OSA Meeting
- 3) 山本: 光ビデオディスク, テレビ誌, 36, 3, 183~187 (昭57-3)



(a) 3,000倍 (b) 20,000倍

図15 レプリカのピット列とその拡大写真 情報面側から見た写真のため、ピット部は凹状に見える。表面荒れも少なく、ピットの寸法、形状も良好に形成されている。日立走査形電子顕微鏡S-800で観察した(加速電圧3kV)。