

コンパクトディスクプレーヤ用ピックアップ光学系

Optical Pickup for Compact Audio Disk Player

CDプレーヤは、半導体レーザによる高密度非接触再生、及びデジタル符号化による音声の超HiFi再生を大きな特長としている。プレーヤの中心をなすピックアップ光学系の開発には、サブミクロン精度のレーザ光の位置決め技術、半導体レーザの低雑音化など多くの新技術の開発を必要とした。

本論文では、日立製作所が開発したCDプレーヤ“DAD-1000”（昭和57年10月発売）のピックアップ光学系での(1)ディスク再生時でのトラッキング制御信号と焦点制御信号のクロストーク除去、(2)ディスク面からの反射光の一部分が半導体レーザ活性層に戻ってくることによって発生するレーザノイズの低減方式について述べる。

米澤成二* Seiji Yonezawa
山本節雄** Setsuo Yamamoto
福井幸夫*** Yukio Fukui
杉山俊夫** Toshio Sugiyama

1 緒 言

昭和47年にフィリップス社、日立製作所で独自に始められた光ディスクの研究は、現在VDP(ビデオディスクプレーヤ)、CD(コンパクトディスクプレーヤ)、そしてODR(データファイル)へと製品展開されつつある。

オーディオの分野に展開したCDディスクは、ダイナミックレンジが90dB以上と従来のLPレコードと比べて20dB以上増加し、特にほこりやきずなどで起こる耳障りなスクラッチノイズが完全に排除され、直径12cmの小形ディスク1枚で1時間以上の再生が可能である。

CDディスクの技術分野は、ディスクのサブミクロンパターンの原盤記録とその複製、音声信号のデジタル信号処理、そしてディスク読み取り光学系などと多岐にまたがっている。本論文では、半導体レーザを用いてディスクから信号を正確に読み出そうとするときに発生する光学的な問題と、その解決方法について述べる。

2 ピックアップ光学系

2.1 光スポット制御

CDディスクはトラックピッチ $1.6\mu\text{m}$ 、トラック幅 $0.4\mu\text{m}$ で、デジタル信号が凹凸ピットとして記録されている(図1)。ディスク上に記録されたこの凹凸情報を読み取るためには、レーザ光をディスク面にミクロンオーダーに集光し、各々の凹凸ピットからの反射回折光を光の強弱に変換し、更にトラックに沿って凹凸ピットを連続して追跡することが必要である。図2はピックアップ光学系を示す。同図で回折格子で分けられた3本の光束は、ディスクのピット面で各々焦点を結び、そして各スポットの反射光は図3の三つの光検出器で受光さ

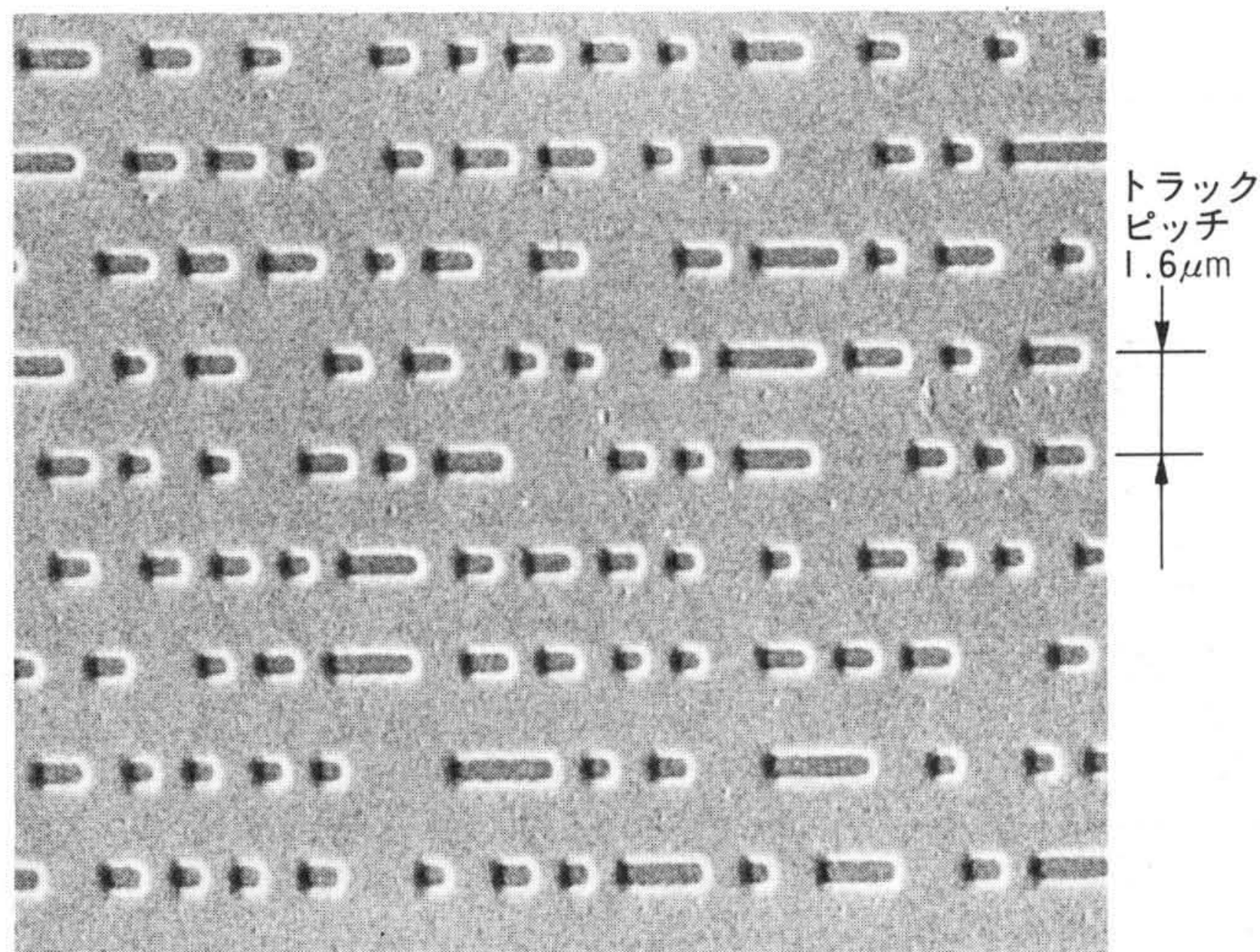


図1 コンパクトディスク電子顕微鏡拡大写真 ディスク上に情報は凹凸ピット記録されている。トラックピッチ $p=1.6\mu\text{m}$ 、トラック幅 $d\cong 0.5\mu\text{m}$ 、ピット深さ $t\cong 0.12\mu\text{m}$ 、ピット長さ l =最小 $0.7\mu\text{m}$ 、最大 $3.18\mu\text{m}$ である。

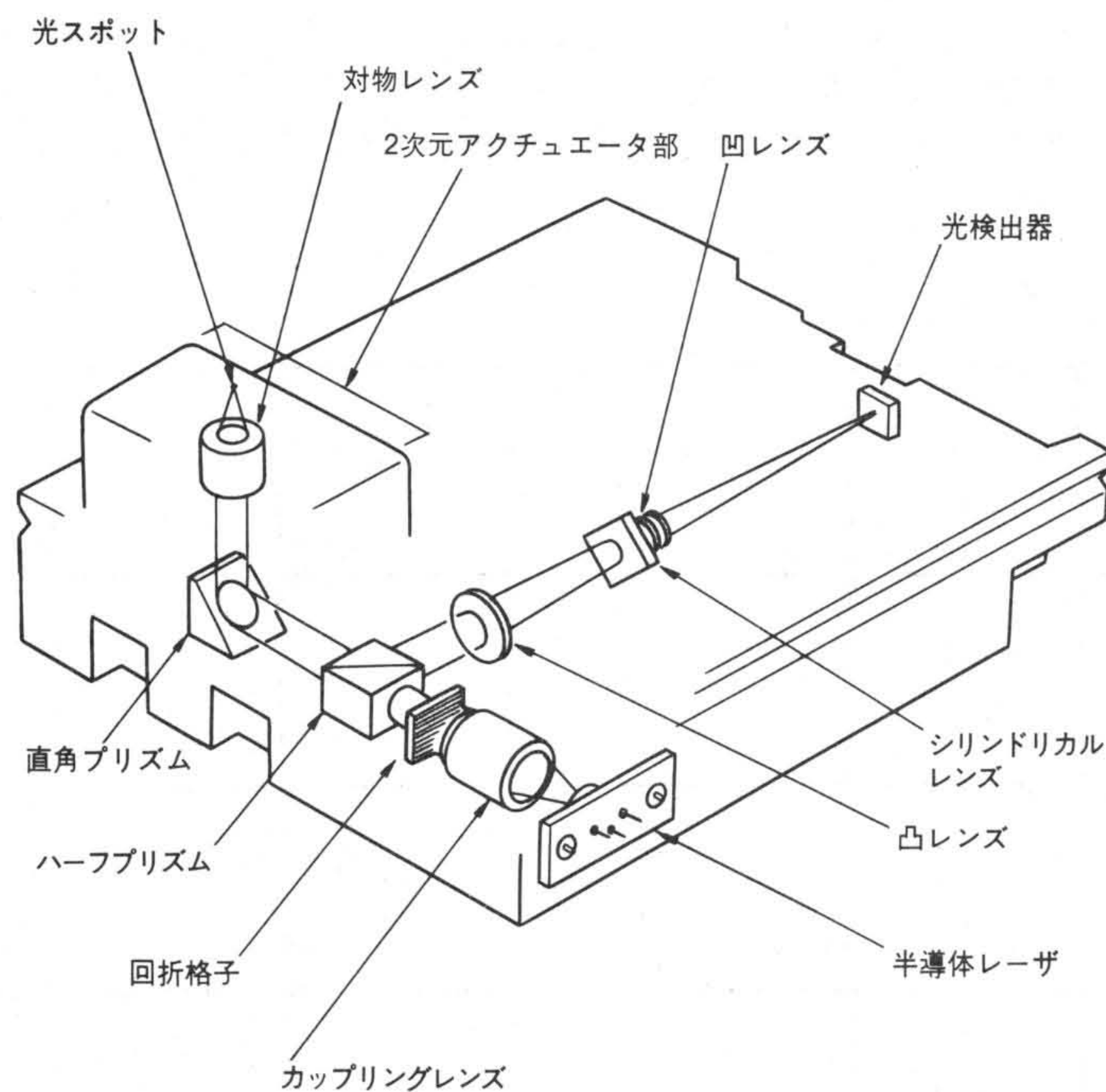


図2 ピックアップ光学系構成図 半導体レーザ($\lambda=790\text{nm}$, $W=3\text{mW}$), 対物レンズ($NA=0.47$)でディスク面上に焦点を結び、その反射光を光検出器で受光して、トラックずれ信号、焦点ずれ信号を検出しデータ再生を行なう。

* 日立製作所中央研究所 工学博士 ** 日立製作所豊川工場 *** 日立製作所家電研究所

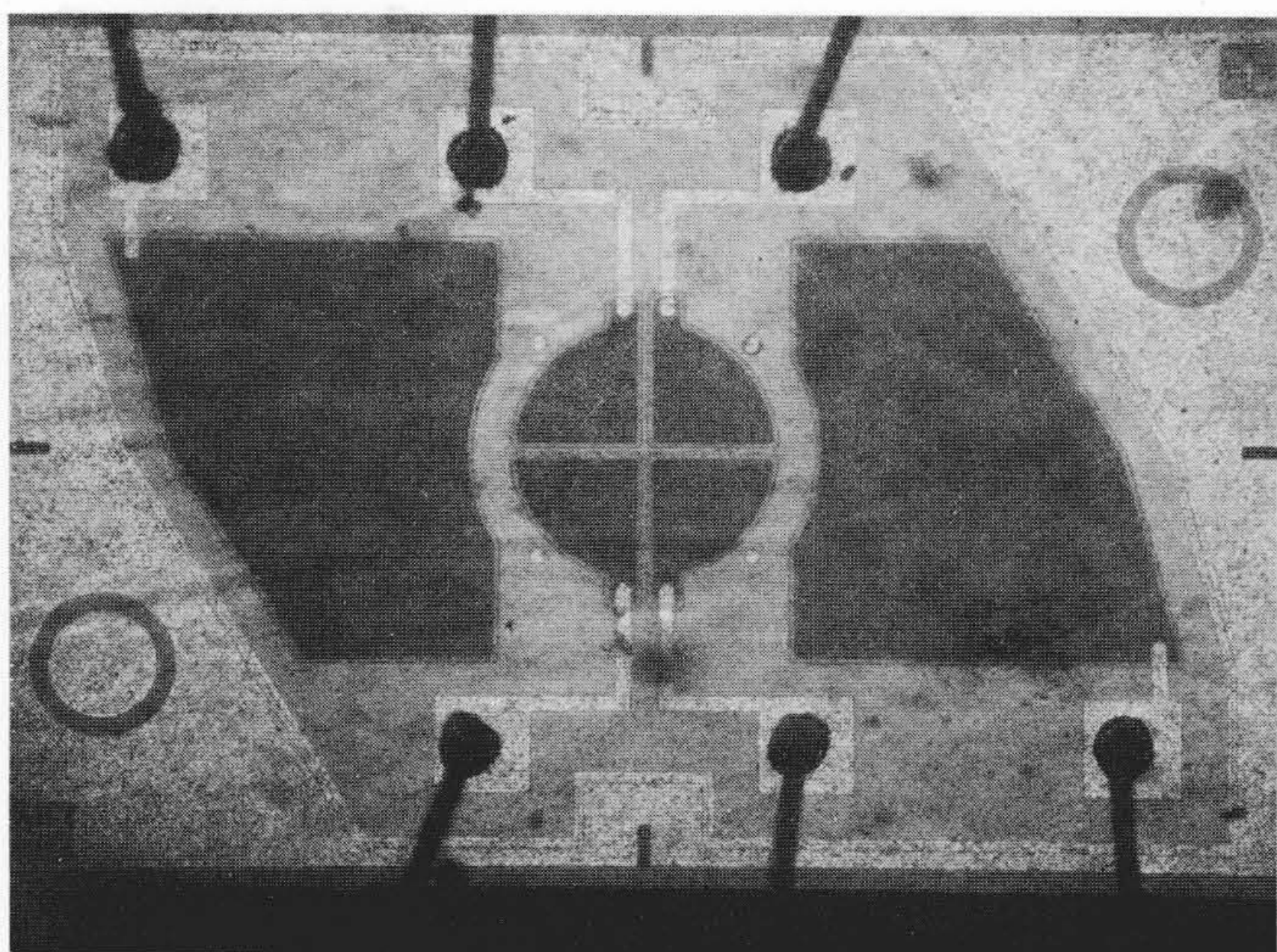


図3 光検出器の構造 中央4分割光検出器(直径 $500\mu\text{m}$)は、信号読み取りとシリンドリカルレンズとの組合せによって、焦点ずれ検出に用いられる。両側の素子は回折格子との組合せによって、その出力の差をとることによりトラックずれ検出に用いられる。

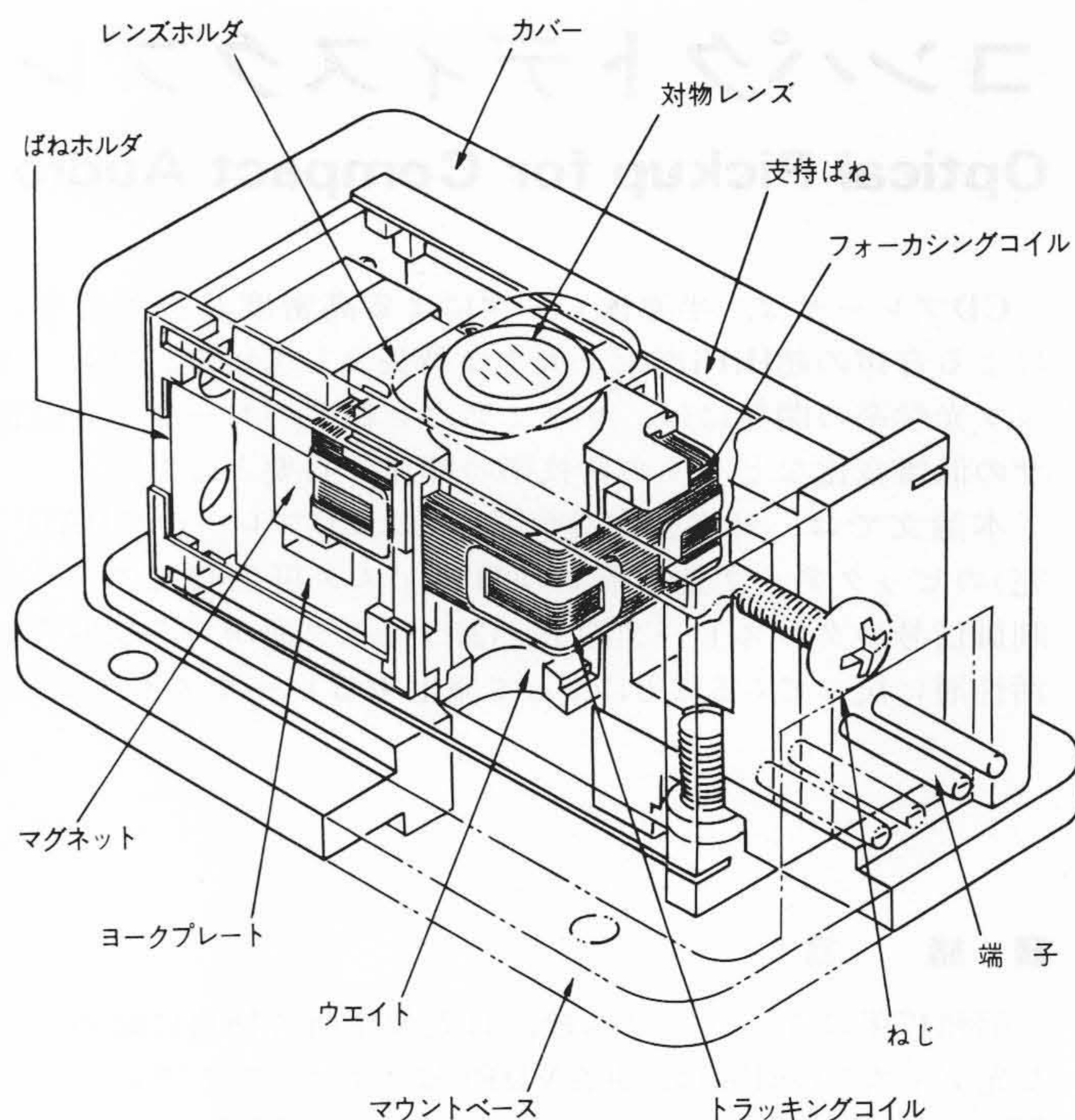


図4 2次元アクチュエータ構成図 2次元アクチュエータは、対物レンズ(0.45g)をレンズ光軸方向、ディスク半径方向に各々独立に駆動させて、光スポットの焦点合せ、トラック位置合せを行なう。

れる。中央の4分割光検出器(I_1, I_2, I_3, I_4)は信号読み取りとシリンドリカルレンズとの組合せによって焦点ずれの検出に用い、両側の素子 I_-, I_+ はこの差をとることによってトラックずれの検出に用いる。光スポットの位置決めは対物レンズをレンズ光軸方向、ディスク半径方向に各々独立に駆動させる2次元アクチュエータによって行なう(図4)。ディスク上の光スポット径は、トラックピッチとほぼ同じ $1.6\mu\text{m}$ が必要であり、そのために大口径 $NA=0.47$ の対物レンズを用いている。このレンズの焦点合せ許容量 δZ は図5の光スポットダイヤグラムの計算から $\pm 1\mu\text{m}$ であり、レンズをこの精度に制御する必要がある。これを次に述べる。図6は焦点ずれ δZ によるディスク反射光の4分割光検出器面(I_1, I_2, I_3, I_4)

でのスポットダイヤグラム計算値を示す。焦点ずれがない場合 $\delta Z=0$ (b)、スポットダイヤグラムは等方的である。焦点ずれがある場合 $\delta Z \neq 0$ 、長円パターンとなり内焦点 $\delta Z < 0$ (a)、外焦点 $\delta Z > 0$ (c)では各々長円パターンの主軸は -45° 、 $+45^\circ$ と変化する²⁾。したがって、焦点ずれの方向とその大きさは4分割光検出器の対向成分 I_1 と I_3 、 I_2 と I_4 の和信号(I_1+I_3)、(I_2+I_4)の差(I_1+I_3)-(I_2+I_4)を求めることによって得られ

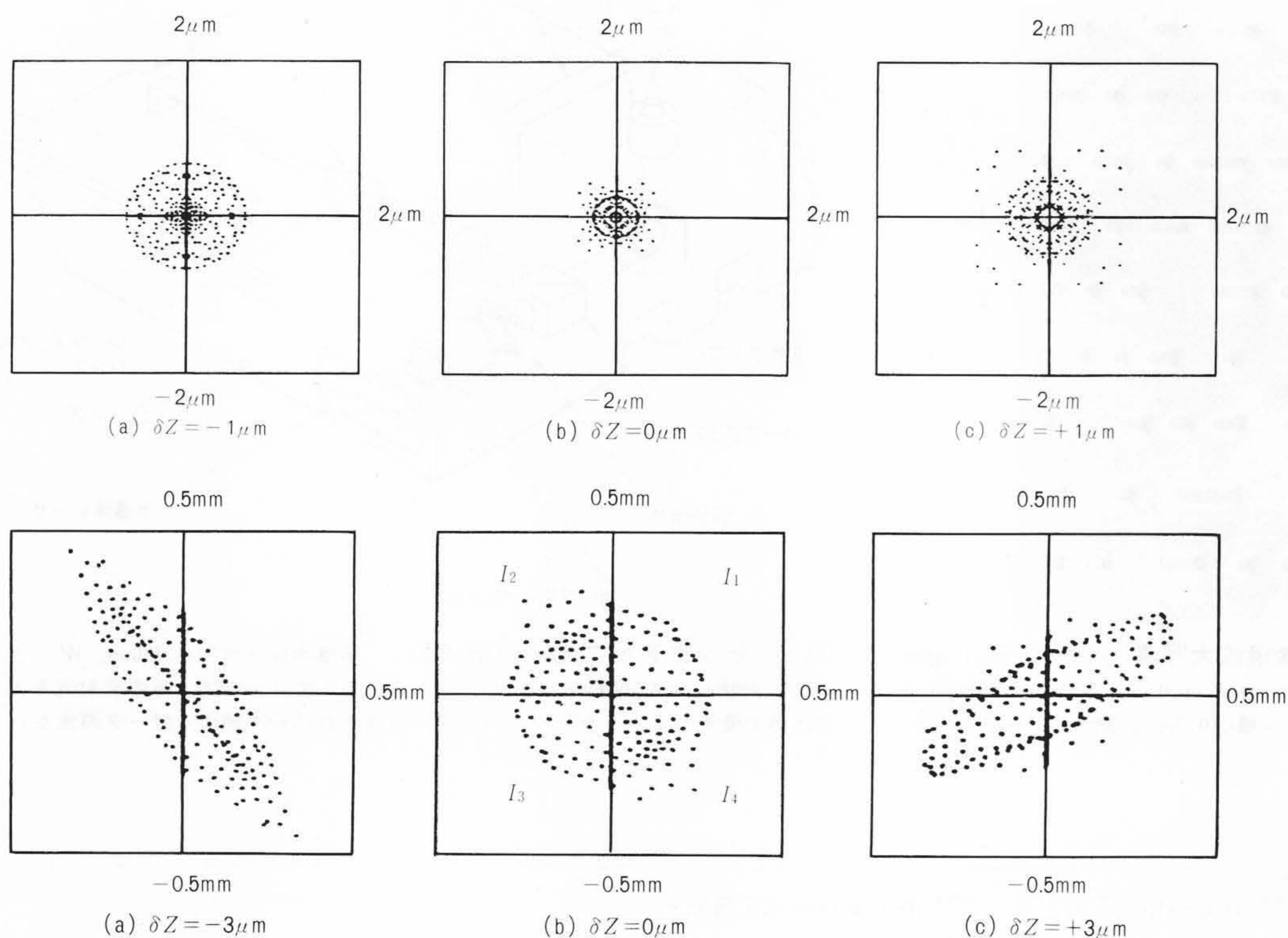


図5 ディスク面上の光スポット形状 焦点ずれがある場合のディスク面上光スポットダイヤグラムを示す(対物レンズの口径 NA は 0.47)。

図6 4分割光検出器面上での光スポット形状 焦点ずれがある場合の4分割光検出器面上の光スポットダイヤグラムを示す。

る。光スポットの焦点ずれに対する4分割光検出器上でのスポットダイヤグラムを求めて焦点ずれ特性曲線を計算した結果を図7に示す。引き込み範囲は $12\mu\text{m}_{\text{p-p}}$ であり、焦点制御信号はこれによって得られることが分かる。一方、トラックずれ検出は3スポット方式を用い、光検出器アレイのうち両側の2個の光検出器出力の差信号($I_- - I_+$)から制御信号を求め、2次元アクチュエータを駆動させる。

光スポットの制御精度はトラック幅 $0.4\mu\text{m}$ に対し再生信号が劣化しないためには $0.1\mu\text{m}$ 以下にすることが要求される。しかし、(a)凹凸トラックの構造がトラック中心に対して非対称、(b)光スポット位置が外乱によってトラック中心からわずかにオフセットした場合、4分割光検出器面上での回折分布はトラック軸に対して非対称分布になり、焦点ずれ検出信号にはオフセットが発生し、したがって光スポットは正しくディスク面上に集光しなくなる。これを解決する方法として、図2に示すように焦点ずれ検出光学系のシリンドリカルレンズの主軸を45度傾ける方式を開発した。すなわち、シリンドリカルレンズを45度傾けることによって4分割光検出器面上の光スポットダイヤグラム(図6)の I_1, I_4 に δ だけオフセットが発生しても差信号($I_1 + I_3$) - ($I_2 + I_4$)は δ に無関係となり、したがって、焦点ずれ検出信号にはオフセット δ を含まず正確な焦点合せ制御が可能となる。

2.2 半導体レーザノイズ

光源には出力3mW、発振波長790nmのGaAlAs系の単一縦モード半導体レーザを用いている。従来He-Ne気体レーザを用いたビデオディスク光学系では $\frac{1}{4}$ 波長板と偏光プリズムによって偏光分離を行ない、ディスクからの反射光を光検出器側へ導き、レーザには光を戻さない対策がとられている。しかし、半導体レーザではごくわずかな光量、例えばレーザ出射光量の0.01%程度の光量でもディスクからの反射光がレーザ側に戻ると、ディスク面は外部共振器として作用し半導体レーザノイズが発生して情報読み出しを妨害する。特に半導体レーザを用いた光学系では、半導体レーザの活性領域はデ

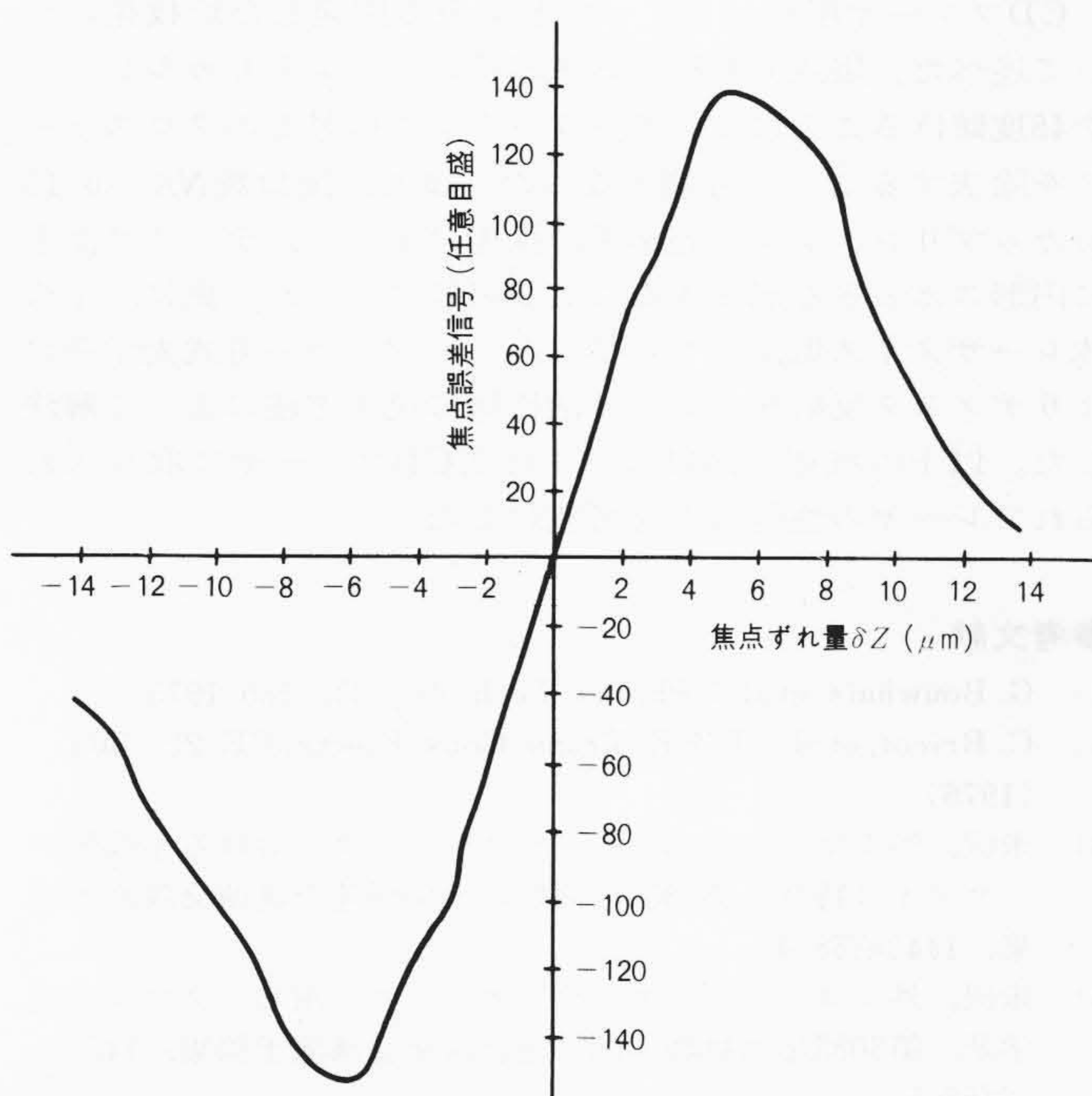
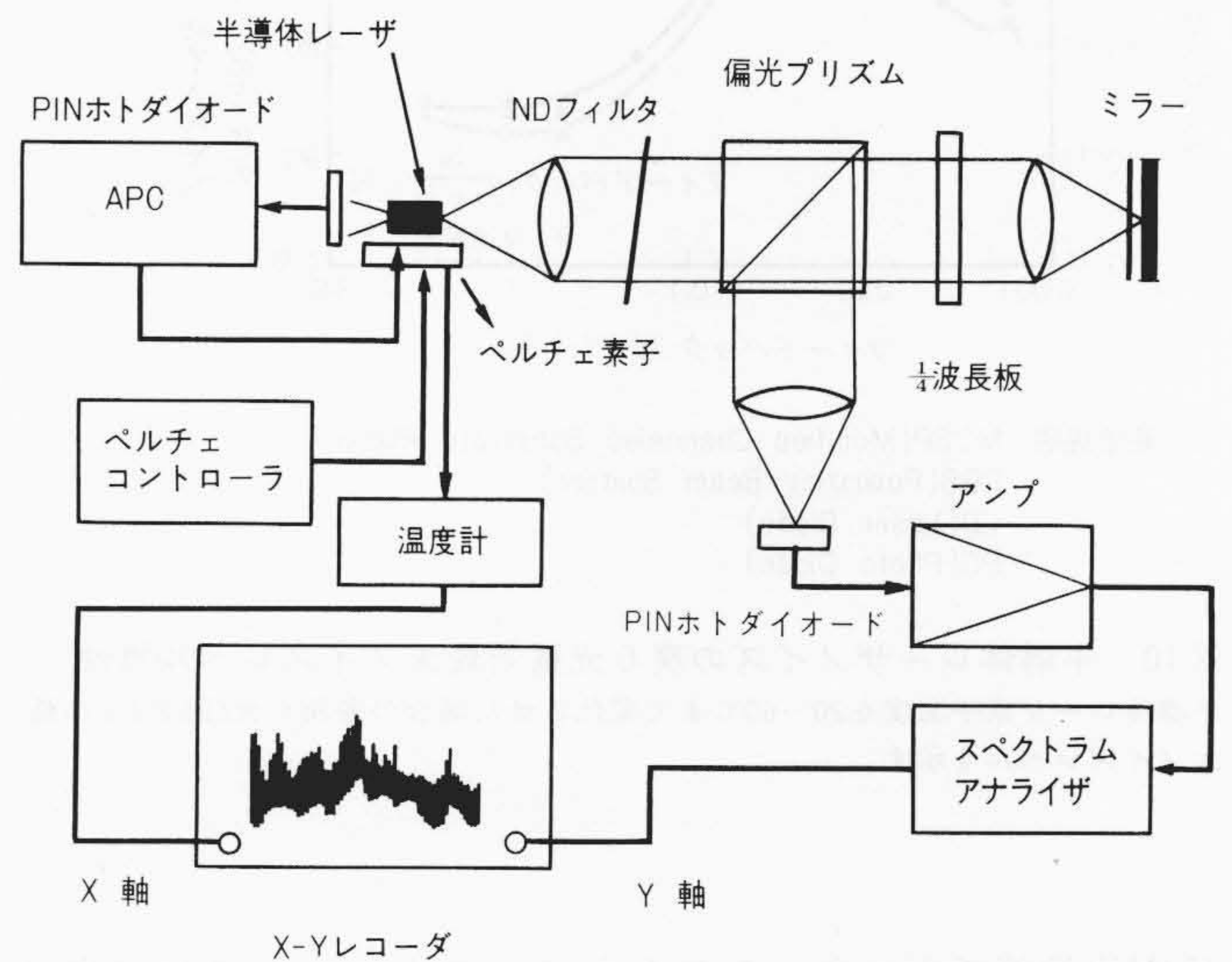


図7 焦点誤差信号特性曲線 4分割光検出器面上の光スポットダイヤグラム(図6)から計算した焦点制御信号を示す。

ィスク反射面と共役関係にあるために、半導体レーザはディスク反射光の影響を受けやすい。

図8は半導体レーザのフィードバックノイズ測定装置を示す。レーザ素子は、ペルチェ素子によって20~60℃まで温度変化し、ディスクからの戻り光量はデンシティフィルタによって設定される。

図9(a)は、単一縦モード半導体レーザの出射光量に対して、0.022%相当光量が半導体レーザへ戻った場合の半導体レーザノイズの温度特性を示したものである。横軸は素子温度℃、縦軸はレーザノイズの200kHz成分のノイズレベルをRIN及び



注: 略語説明 APC(Automatic Power Control)

図8 フィードバックノイズ測定装置 半導体レーザのフィードバックノイズ測定装置の構成を示す。半導体レーザはペルチェ素子で20~60℃まで変化させる。ディスク面からの戻り光量はND(Neutral Density)フィルタで行なう。

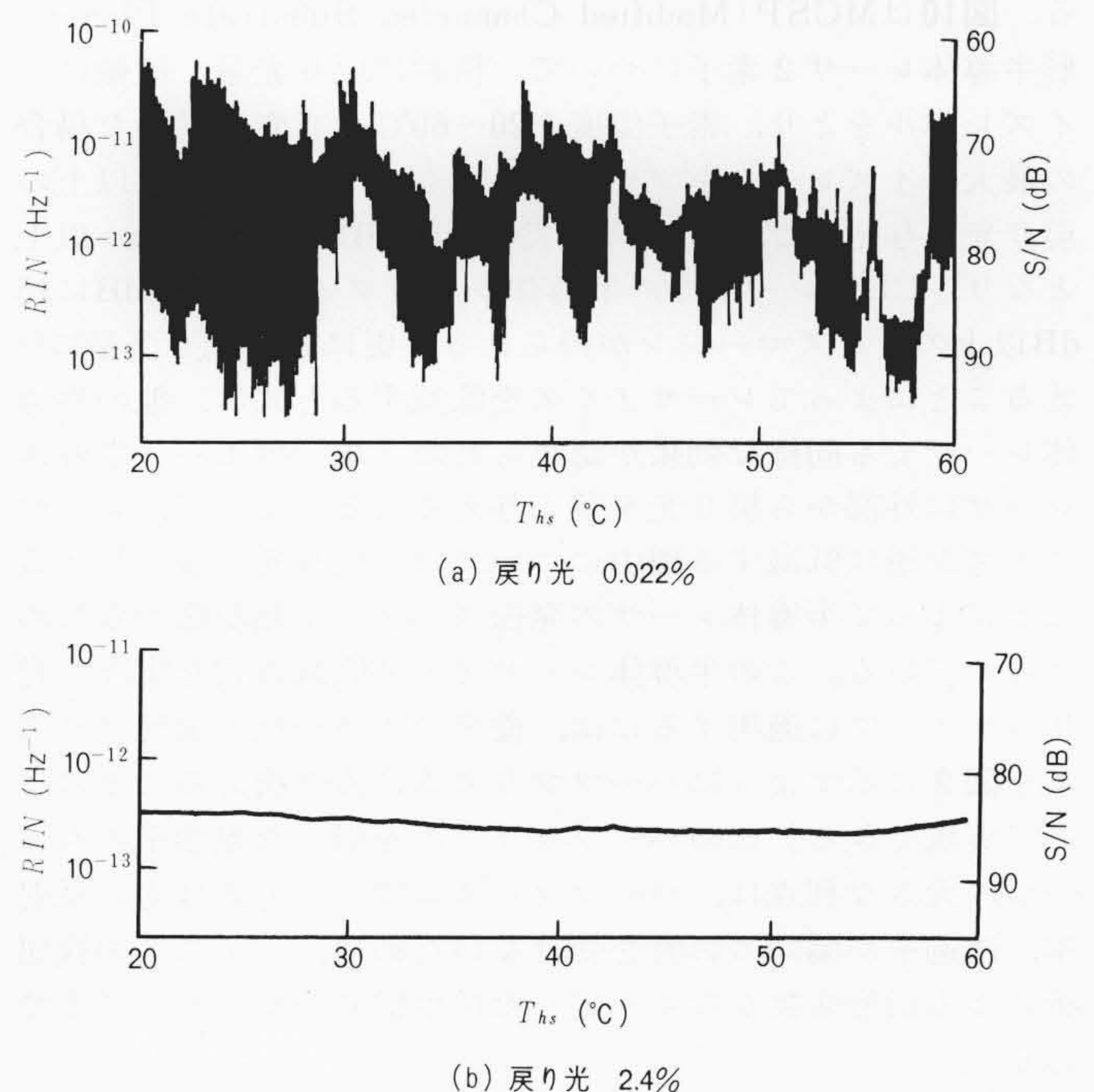
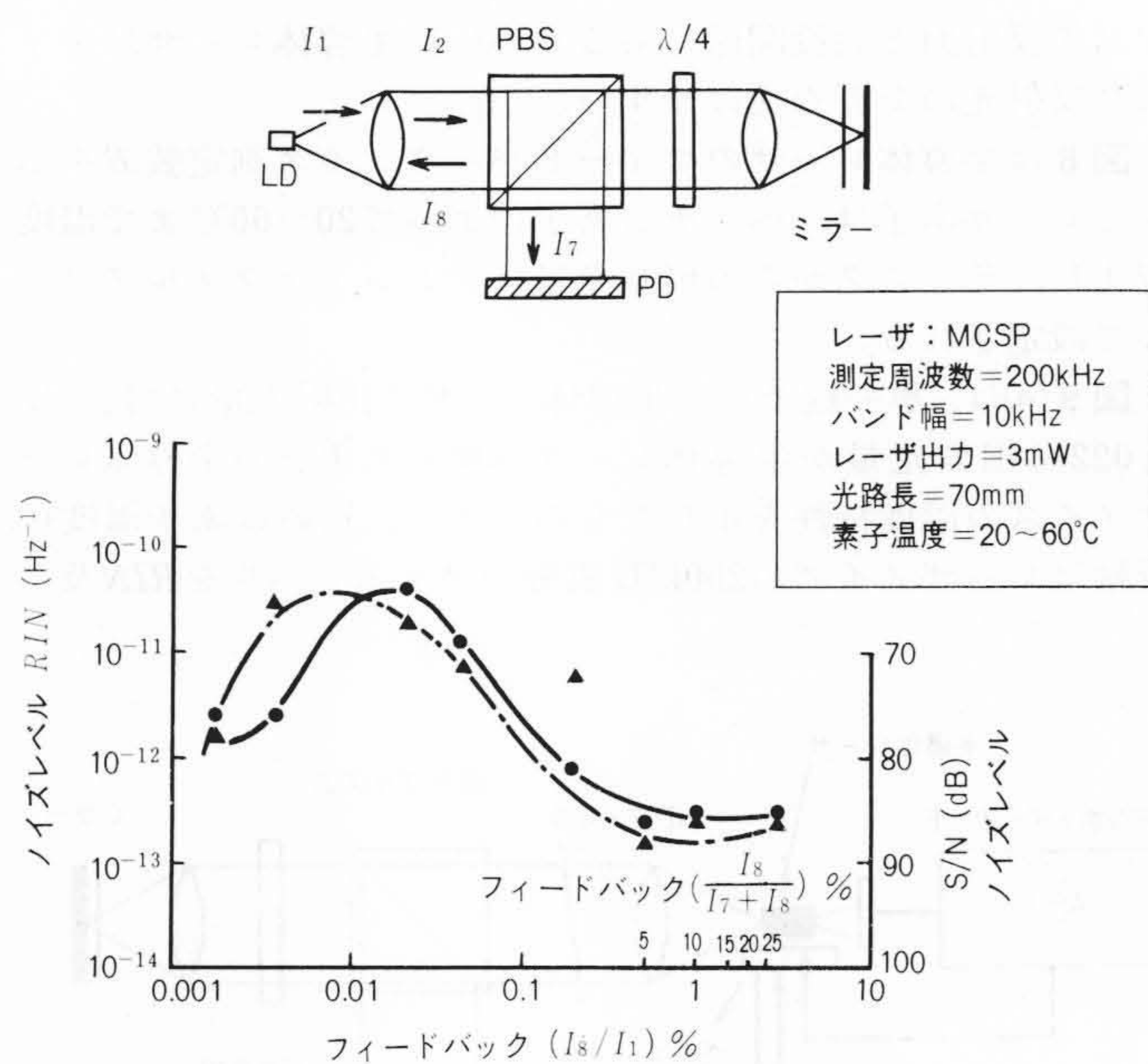


図9 半導体レーザノイズ温度特性 半導体レーザ素子に各戻り光がある場合の半導体レーザノイズの温度特性を示す($f=200\text{kHz}$, $\Delta f=10\text{kHz}$, $W=3\text{mW}$)。



注：略語説明 MCSP(Modified Channeled Substrate Planer)
PBS(Polarizing Beam Splitter)
LD(Laser Diode)
PD(Photo Diode)

図10 半導体レーザノイズの戻り光量対最大ノイズレベル特性
半導体レーザ素子温度を20~60℃まで変化させた場合の各戻り光(図8)での最大ノイズレベルを示す。

S/N比換算で表わす。このように、ごくわずかな戻り光によってノイズレベルは30dB以上も変動し、このノイズによって正常な信号読み出しが不可能となる。この半導体レーザノイズを低減化する方法として、今回、半導体レーザに多量の戻り光を与える方式を開発した^{3),4)}。同図(b)は戻り光量を同図(a)に対して約100倍の2.4%与えた場合の温度特性を示す。多量の戻り光を与えることによって素子温度変化によるノイズ変動はなくなり、全体のノイズレベルも低下することが分かる。図10はMCSP(Modified Channeled Substrate Planer)形半導体レーザ2素子について、横軸に戻り光量、縦軸にノイズレベルをとり、素子温度を20~60℃まで変化させた場合の最大ノイズレベルをプロットしたものである。1%以上の戻り光を与えることによってS/N比は80dB($\Delta f=10\text{kHz}$)以上となり、CDプレーヤでの半導体レーザノイズ仕様65dBに15dB以上のノイズマージンが得られる。更に戻り光を多量に与えることによってレーザノイズを低減する方式は、他の半導体レーザでも同様な効果が認められた。単一縦モード半導体レーザに外部から戻り光を多く与えることによって、レーザノイズが逆に低減する理由については、戻り光を多く与えることによって半導体レーザの発振スペクトル幅が広がるためと考えている。この半導体レーザノイズ低減方式を実際の光ピックアップに適用するには、従来の半波長板と偏光プリズムを図2に示すようにハーフプリズムに置き換えることによって実現できる。このハーフプリズムを用いた光学系のもう一つの大きな利点は、ハーフプリズムによる方式は光の反射率、透過率が偏向の影響を受けないために、ディスクの複屈折による信号変動がなく一定した再生信号が得られることである。

半導体レーザ光学系のもう一つの問題点は、半導体レーザの発光パターンは等方でないことである。半導体レーザの接



図11 コンパクトディスクプレーヤ(DAD-3000) 従来のアナログプレーヤでは望み得なかったダイナミックレンジ95dB, SN比95dB, 高調波ひずみ率0.003%という高性能を達成し、より高忠実度再生が可能になるとともに、自動ディスク装着装置、任意曲を任意順に演奏するプログラム演奏機能、演奏曲番、演奏経過時間表示装置など、多くの使い勝手の良い機能が備わっている。

合面に平行な方向の半値半幅を $\theta_{\parallel}$ 、垂直な方向のそれを $\theta_{\perp}$ とすると、MCSP半導体レーザでは $\theta_{\parallel} \cong 15^{\circ}$ 、 $\theta_{\perp} \cong 27^{\circ}$ であり、ディスク読み取り時の再生信号の周波数特性、隣接トラックのクロストーク特性に問題が起こる⁵⁾。今回CDプレーヤ光学系ではカップリングレンズの開き角をレーザ接合面に垂直な方向の半値半幅 $\theta_{\perp}$ よりも小さくし、 $\theta_{\parallel}$ と等しく、すなわちカップリングレンズの開口数を $NA = \sin \theta_{\parallel} = 0.15$ とすることによってビーム形状の一様化を行ない、ディスク読み取り時の性能向上を図った(図2)。対物レンズは開口数 $NA=0.47$ を用いているが、レンズの駆動を図4に示すように2次元アクチュエータ方式をとっているため、光は常にレンズに平行に入射し、レンズの収差補正は軸上近辺 $\pm 100\mu\text{m}$ だけで行なえばよい。このため、対物レンズは3枚構成の球面レンズで済み、また非球面レンズ1枚で実現できる可能性がある。

3 結 言

CDプレーヤ用ピックアップ光学系で開発した新技術について述べた。焦点ずれ検出器光学系はシリンドリカルレンズを45度傾けることによってトラッキング信号とのクロストークを除去することが可能となった。また、開口数 $NA=0.15$ のカップリングレンズ光学系の採用によって、ディスク面上に円形スポットを形成することが可能になった。更に、半導体レーザノイズ低減については、ハーフミラー方式光学系によりディスク反射光をレーザ活性層に戻す方法によって解決した。以上の技術は図11に示す日立CDプレーヤに取り入れられプレーヤの性能向上を可能にした。

参考文献

- 1) G. Bouwhuis et al.: Philips Tech. Rev. 33, 186(1973)
- 2) C. Bricot, et al.: IEEE Trans. Cons. Electr. CE-22, 304 (1976)
- 3) 米沢, 外: コンパクトオーディオディスクにおける半導体レーザノイズ特性, 第30回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 144(昭58-4)
- 4) 米沢, 外: コンパクトオーディオディスク用ピックアップ光学系, 第30回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 145 (昭58-5)
- 5) S. Yonezawa: Optical Head for Optical Disk, CLEO Optical Meeting (1980-2)