光ディスクヘッドの実装技術と将来技術動向

後藤 顕也*

Assembling Technology for Optical Disk Head and the Future Trends

Kenya GOTO*

*東海大学開発工学部情報通信工学科 (〒410-0395 静岡県沼津市西野317)

*Department of Information & Communication Technology, School of High-Technology for Human Welfare, Tokai University (317 Nishino, Numazu-shi, Shizuoka 410-0395)

パソコンのソフトをインストールするためのCD-ROMディスクとして、光ディスクは今やパソコンには不可欠となった。640MBの容量のソフトを最新の射出成形技術にてわずか数秒/枚で安価に大量生産できるからである。昨年度、CD-ROMドライブはパソコン組み込み用ユニットとして、国内生産額が2490億円¹⁾に達している。世界的にみれば、CD-ROMドライブユニットは台湾など東南アジアでの生産の方が日本国内生産額よりはるかに多い。台湾を始めとする海外で生産されるCD-ROMドライブ用の心臓部である光ピックアップヘッドは、韓国製か日本製である。しかし、ピックアップに使用するキー部品である半導体レーザや非球面対物レンズなど、量産光学部品の設計と生産は相変わらずほとんどすべて日本製であり、ここしばらくは海外メーカは日本製に太刀打ちできないと思われる。

電子部品の組み立てに比較すると、組み立て中に調整作業や測定作業が多すぎる点が問題であった。最初の頃は、どこのメーカも自社製のピックアップを自社のCDプレーヤに搭載しようと思っていた。しかし、ほとんどの電機メーカはピックアップの実装技術に悩み、一時的に光学メーカ製品であるオリンパス光学工業社のタオス (TAOS: Two Axes Optical System, 焦点方向とトラッキング方向の二軸アクチュエータ光学系) ピックアップを最初の頃は2万円で購入し、各社のCDプレーヤに搭載し、プレーヤ価格として、25万円から27万円もする値段で市場に出していた。1983年頃、家庭用CDプレーヤはステータスシンボルであった。日本の各電機メーカはその後部品技術開発と実装技術開発とで必須の努力をすることになる。それから16年が経ち、今やCD用ピックアップのOEM価格 (月産数百万台レベル) は数百円にまで値下げしている。メーカ側が価格を決めるのではなく、市場で価格が決まってしまう。残念ながらピックアップなどを始めとする部品メーカはいつまでもたっても利益を生み出すことができない。毎年赤字を続けることができないので、M社もT社もせっかく

よい製造技術を開発したにもかかわらず、事業としての将来性を疑問視して、1988年頃に、それぞれ韓国のメーカへ格安で製造設備を売却している。ほとんどの国内の電機メーカや光学部品メーカ、オーディオメーカが手がけていたピックアップ開発と製造の事業は、1984年当時の20数社から、現在、量産しているわずか3社か4社に激減してしまった。

ここでは、光ピックアップ量産技術の元となった各種測定技術と、調整技術を中心とする実装技術の概要を述べる。

1. 光ディスク技術の歴史的背景

1972年にオランダのフィリップス社で開発された現在の光ディスクの原型とも言うべき、直径30cmの亚克力板を背中合わせに2枚張り合わせたアナログパルス記録 (Pulse Frequency Modulation) されたビデオディスクと、波長633nmのHe-Neレーザ管を搭載したプレーヤから始まった光ディスク技術は、1982年10月発売のCDと、1996年11月発売のDVDとによって、開発から20年以上を経た今日に至ってようやく光ディスクの普及に加速度が加わった。1977~1980年当時、光ディスク装置はHe-Neレーザ管の最初の量産応用ということで東芝本社工場である堀川町工場 (現在の川崎駅前の川崎事業所) にて月産一万本のレーザ管量産設備が新設された。その後、1984年頃に日本のユニバーサルパイオニア社が、気体レーザ管に代わる半導体レーザをビデオディスクプレーヤに搭載することになって光ディスク光源としての半導体レーザ時代が幕を上げるようになった。本格的な半導体レーザを応用する光ディスクヘッドは、1982年10月15日発売のCDプレーヤに搭載された光ピックアップからである。CDプレーヤは波長780nmのAlGaAs半導体レーザを応用した世界最初の量産実用化品である。CDは小型な対物レンズ二軸アクチュエータを使用した光ピックアップを搭載している。当時CDというデジタル信号再生専用光ディスクにかかる各社の意気込みは大変なものであり、かなりの回路をLSI化してい

た。しかし、当時は自社開発のピックアップを最初から搭載したメーカは数えるほどしかなく、自社開発できなかったメーカは、岡谷オリンパスにて準量産化していたタオスを高価で購入していた。今にして思えば家庭用品としては高価過ぎて売れるはずがない。数年後にヤマハが10万円を切るプレーヤを出荷し、その後にソニーが5万円を切る小型プレーヤを出してから現在のCD時代が幕を上げたのである。以上から想像できるように、光ディスクは誕生当初から民生オリエンテッドの製品であり、量産技術によって購買層が買いやすいような価格設定をメーカの犠牲（赤字生産）でメーカ自身の手によって行われ、結果的に光ピックアップメーカの自然淘汰が行われ、最後に数社のみが生き残れる運命を背負っていた。

最初の頃に、なぜピックアップを低価格にすぐに開発できなかったかという点、電子部品の量産化に慣れきった電子機器メーカおよび電子部品メーカが光学部品の量産化を甘く見ていたからということができる。光学部品には、電子部品のように簡単に量産できないいろいろな制約が課せられている。まず、光ヘッドの光学系全体に課せられる厳しい波面収差をどうクリアするかの問題、次に対物レンズ等を焦点位置ならびにラジアル方向に自動調整する二軸アクチュエータのボード線図上の共振周波数の問題、対物レンズを組み立てる際の取り付け角度に依存するコマ収差発生によるピックアップ生産歩留まりの問題、また光強度プロファイル調整や全体の光軸調整の問題など微小光学部品の実装技術に関するノウハウが皆無であったからである。ここではこれら技術の一部を例にとってその概要を説明する。

2. 波面収差とマレシャルの規定

光ディスクはレーザ光の空間コヒーレンス性を最も厳しく要求するレーザ応用製品のひとつである。なぜなら、光ディスクはレーザビームを理論限界ぎりぎりに細く絞ることによって、空間光変調的に高密度記録を達成するレーザ応用製品であり、レーザから射出された空間波面（空間位相）をほとんど乱さないように使用光学部品を選ばないと、理想的な微小スポットサイズにレーザビームを絞ることができないからである。どの程度の許容波面収差の光学部品が使用できるかを定めたのがMaréchal Criterionという規定である。光波面の乱れは、光波を干渉させて得られる干渉縞の縞ピッチに対する乱れの大きさ比で表した波面収差のpv値、測定面内の多数点におけるpv値の根自乗平均（root mean square、すなわちrms値）をとったRMS波面収差で表される。

一般に、半導体レーザから射出されたレーザビームは空間的にコヒーレンスの高い、すなわち空間位相の揃った波である。ところが、そのレーザビームを光ディスクの情報記録面にビームウエスト（スポットサイズ）が形成される

ように焦点距離を合わせた対物レンズを挿入したり、自動焦点や自動トラッキングのための誤差検出光学系用にビームを二分割するビームスプリッタを挿入したり、トラッキング誤差検出のために主ビームと副ビームに分けるための回折格子などを挿入する。半導体レーザと光ディスク情報記録面との間にいろいろな光学部品を挿入するたびに、レーザビームの空間位相が挿入しない場合に比べて歪んでくるのは当然である。なぜなら、光ディスク基板を含めて何らかの光学部品をビームの中に入れるということは、多かれ少なかれ空間位相が必ず乱れるからである。フランス人のマレシャル（Maréchal）は、この位相の乱れを光波の14分の1波長以下に抑えれば回折限界で制限を受ける最小のビームウエストを形成できるとしている。

この規定は「波面が乱れれば、その分だけビーム断面の断面周辺でのパワーに対してビーム断面の中心における光パワーが低下する」ので、「周辺でのパワーがビーム中心の20%低下までなら許される」という規定である。半導体レーザの出力端面から出るレーザビームは、まもなくレーザキャップのガラス窓に照射される。その後、光ヘッドのトラッキングエラー信号を作り出すための回折格子、コリメータレンズ、ビームスプリッタ、直角にビームを折り曲げるためのミラー、波長板、対物レンズ、そして光ディスク基板などを経てディスク情報記録面に達する。このように、レーザチップと光ディスク情報記録面との間のレーザビーム全系に挿入される各々の光学部品挿入によってレーザ波が受ける空間位相の歪みをRMS波面収差を用いて、 $\delta\omega_1, \delta\omega_2, \delta\omega_3, \delta\omega_4, \dots$ で表すことにする。この光学系の全RMS波面収差 $\delta\omega_{\text{total}}$ は²⁾

$$\delta\omega_{\text{total}} = (\delta\omega_1^2 + \delta\omega_2^2 + \delta\omega_3^2 + \delta\omega_4^2 + \dots)^{1/2}$$

で表される。光ディスクの場合に一番問題になるのは、光ディスク基板厚の製造誤差変動による球面収差発生と対物レンズの取り付けの際に生じるコマ収差発生である。全波面収差を $\lambda/14=0.072\lambda$ 以内に収めるには、対物レンズの波面収差を 0.03λ 以内に製造しなくてはならない。目安として平面光学部品は 0.015λ に、球面部品は $0.025\text{--}0.03\lambda$ 以内に製造できていればよい。また、コマのある対物レンズは、アクチュエータに取り付ける際にコマ収差が少なくなる方向にレンズを傾けることにより、光学系全体の収差を小さくできる。

3. 実装技術

以上述べたように、光ディスクヘッドでは、半導体レーザの出力端面から光ディスクの情報記録面までに挿入されたレンズやプリズム、さらに光ディスク基板そのものも含め、各種光学部品の波面収差を厳しく管理しなければならないこと、ディスク情報記録面ではCDでは幅 $0.5\mu\text{m}$ （DVDでは幅 $0.4\mu\text{m}$ ）のビット列を、 $0.1\mu\text{m}$ の精度にてトラッキング（ラジアル方向に）制御しなければならないこ

と、また対物レンズの開口数NAがCDでは0.45 (DVDでは0.6) と非常に大きいのでレンズの焦点深度が、 $\pm 1\mu\text{m}$ と浅い。したがって、ディスク情報面に対する対物レンズの位置制御を焦点深度以内に収めなければならないこと、それらの制御のためのトラッキング誤差ならびにフォーカシング誤差信号を検出するためのエラー検出光学素子と検出のための多分割フォトダイオードとの光軸調整作業、半導体レーザからの光ビームを調整し、光量分布を前述多分割フォトダイオード面に対称に分布できるように調整すること、トラッキングエラー信号を得るための回折格子の向きをタンジェンシャル（回転の接線方向）方向に対して微調整する作業、半導体レーザの偏光面を光学系の光軸に合わせて取り付け、偏光ビームスプリッタを使用しているヘッドのp偏光とs偏光の分離効率向上を図る作業、ジッター値が最小となるように注入電流を調整しながらレーザ出力一定（APC調整）にするための調整作業などがある。最終的に評価データとして各ピックアップから得られる信号は、CDの場合には最短ビット長 $0.9\mu\text{m}$ の信号を3T信号と呼び、次の $1.2\mu\text{m}$ を4T信号と呼ぶ。以下 $0.3\mu\text{m}$ ずつ長くなって最長ビット長 $3.3\mu\text{m}$ からの信号を11T信号と呼ぶ9種のデジタル信号で成り立っていて、オシロスコープ上ではアイパターンの劣化として、電気的数値としてはジッター値にて評価する。ビーム直径を $1/e^2$ で表現したビームウエストサイズを σ で表せば、 σ は、

$$\sigma = K\lambda [1 + (f/r)^2]^{1/2}$$

で表される³⁾。ここでKは前述した光ビームの光量分布特性に関する定数（ガウス分布のときは1.34、均等分布のときは0.96）であり、 λ はレーザ波長、 f は対物レンズの焦点距離、 r はレンズへの入射ビーム瞳半径である。 σ の値はCDでは約 $1.7\mu\text{m}$ となり、DVDでは約 $1.1\mu\text{m}$ となる。ところで、光学系の組み立て調整作業の結果によっては波面収差が劣化し、この σ が上記値より大きくなる。そうすると、前述した9種のデジタル信号のうちビット長の短い3T信号や4T信号が再生できなくなる。すなわちジッターが大きくなる。したがって、光ディスクヘッド実装技術の最大のポイントは総合的に判断して、いかに前述アイパターンにおけるジッターを小さくするかを観察しながら組み立て調整を行うことにある。

4. ロボットによる実装技術

以上から電子部品の実装技術に比較すると、光学部品であるROMディスク用のピックアップヘッドやMO用、PC用あるいはCD-R、CD-RW、DVD-R、DVD-RW、DVD-RAMなど用の光ディスクヘッドでは2次元の位置制御だけでなく、光学部品全体の波面収差の劣化を最小に抑えるように、実装される光学部品の傾きやサブナノメータ精度によるx、y、z3次元位置制御が必要であることがわかる。そのための判断基準は最終的に得られる信号のジッター値

である。すなわち標準ディスクからの標準信号を再生し、アイパターンを表示する。アイパターンのアイが開いているか閉じているかがジッター値で表される。それをフィードバック信号としてロボットにて前述の光学部品を実装しているのが普通である。昨年のCD用光ディスクヘッド国内生産数は約6500万台であった（月産540万台）。1社で月産100万台以上なので、完全に自動生産ができる量である。一説によると、現在のCDに代わる光学部品を消費する電子機器はしばらく現れないとの見方があるほどの成熟した量産部品となっている。光ディスクヘッドの実装技術ならびに調整部を列举（順不同）すると、

① アクチュエータ自動組み立て、抜き取り検査による動きのヒステリシス特性測定とボード線図による周波数特性の自動測定

② 対物レンズのアクチュエータへの自動取り付けならびにパターン認識によるコマ収差測定・調整

レンズ固有のコマと傾斜取り付けによるコマとを補正することによる対物レンズの波面収差矯正作業であり、大変重要な自動化作業である

③ 半導体レーザ光軸調整ならびに光量分布調整

半導体レーザからの射出角度はニアフィールドパターンが約 $1\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ であるので、接合面に平行方向の回折角度 $\theta = \lambda/d = 0.26\text{rad}$ であり、接合面に垂直方向の回折角度 $\theta_{\perp} = \lambda/d = 0.78\text{rad}$ である。したがって、接合面を光軸のx軸に合わせy軸を接合面と垂直方向に合わせておくとファーフールドではy軸方向が 0.78rad と大きく広がり、x軸方向が 0.26rad とあまり広がらない縦長の楕円ビームとなっている。この楕円状に広がったファン状ビームのうちから中心付近の一部を切り取って使用するの、(1)レーザ光の利用効率は10%以下と低く、(2)y軸方向はほとんどフラットな光量分布になっているのに対して、(3)x軸方向は中心が強くて周辺が弱いガウス分布の形状になっている。光軸に対してレーザが少し傾いて取り付けられると、この分布が大きく偏ることになるので、レンズの焦点を合わせるためのz軸調整とともに、x軸、y軸の若干の平行移動調整が必要である。これは半導体レーザをピックアップ本体に取り付ける際に自動的に調整される。

以上のような光量分布をもつビームの対物レンズ射出後のビームウエストがx軸方向は細く、y軸方向は太い、その比が約1.3～1.2程度となる。したがって、ジッター値を低く抑えるにはx軸方向をトラック方向に合わせる。何らかの影響でビームサイズが大きくなり、トラック間隔に影響してトラッキング制御ができにくいときには、逆にy軸方向をトラック方向に合わせ、ジッター値を犠牲にする。

④ 対物レンズの自動焦点位置調整作業:フォトダイオード調整作業と共に行う

⑤ 回折格子傾き角度の自動調整（図1）

光ヘッドを最内周トラックから最外周トラックまでトラ

図1. ピックアップタンジェンシャル方向ずれを示す模式図

パスして、常に所定の3スポットがトラックのタンジェンシャル方向に対して同じ角度を保っているかどうか、すなわちヘッド移動用アクチュエータレールのラジアル方向に対する軸合わせ測定と調整作業である。

⑥ 多分割フォトダイオード調整 (図2(1), (2))

ピックアップ組み立て調整の自動機の中では一番複雑で重要な装置である。トラッキングエラー検出光学系調整、フォーカシングエラー光学系調整、およびジッター測定をしながら部品を挿入し、調整後に紫外線硬化樹脂を塗布し紫外線を照射して固定させる。

5. 各社の実装技術比較

民生用の光ヘッドは光通信の部品技術に比較して、はるかに厳しい組み立て精度を要求されるといっても過言ではない。なぜならば光ファイバにおけるコアサイズは数 μm もあるのに対して、光ヘッドの対物レンズの光束ウエストサイズは $1.8\mu\text{m}$ 以下であり、フォーカシング制御値は対物レンズの焦点深度以内の $\pm 1\mu\text{m}$ にしなければならず、トラッキング制御精度は $\pm 0.1\mu\text{m}$ 以下というように、位置合わせ精度が光ファイバの方がかなりゆるいからである。しかも、光ディスクヘッドの収束光学系に使用する各光学部品の許容波面収差は平面部品の場合で約 0.015λ 、表面が球面のレンズで約 $0.25\sim 0.03\lambda$ ときわめて厳しいからで

図2(1). 円筒レンズによる3ビームの位置合わせ

図2(2). 3ビームに対応する6分割フォトダイオード

ある。その精度にもかかわらず、市場価格からピックアップ全体の製造単価をわずか数百円にしなければならない。したがって部品数の削減と部品の集積化が光通信部品よりも進んでいる。今後の動向として、以下に述べる集積化微小光学素子化が一層進められることになろう。両面非球面对物レンズと集積化微小光学素子を搭載した二軸アクチュエータが、今後の光ディスクヘッドにおける実装上の主要部品である。

図3にソニー社のMD用光ヘッドの概略を示す。ソニー社では1992年頃このピックアップの原型とも言えるべきCDジャケットサイズのプレーヤを発売した。そこに使われていたピックアップの模式図が図4に示す光学ブロックと称されるハイブリッド集積化光学ヘッドである。ここでは、幅 1.8mm 長さ 3.4mm のマルチアンプ電子回路と多分割フォトダイオードでなるシリコンICチップの上に、幅 1mm 長さ 2mm 程度のガラス製マイクロプリズムと半導体レーザのシリコンサブマウントを載せている。シリコンサブマウ

パッケージサイズ: $7.5(\text{長}) \times 6.5(\text{幅}) \times 1.8(\text{高})$ (単位mm)

図3. ソニー社のMD用集積化MOヘッド

図4. CDジャケットサイズの集積化光ヘッド光学系

ントサイズはレーザ出力モニタ用のフォトダイオードを兼ねており、GaAlAs半導体レーザがマウントされている。レーザから射出されたレーザ出力ビームはプリズムの斜面で折り曲げられ、対物レンズへ向かう。CDで反射された光は再び対物レンズを通過して、プリズム斜面に戻る。ここで、半分はシングルモードで発振していたレーザをマルチモードで発振するように、レーザに戻る。残り半分のビームはプリズム内部に屈折し、一部はプリズム底面とシリコン多分割フォトダイオードに入射する。残り一部はプリズム底面で反射し、プリズムの天井にコートされた高反射率膜で反射し、再び底面に隣接した他の多分割フォトダイオードに入射する。これら2組の多分割フォトダイオードは、隣接部に設置されているオペアンプにて減算ならびに加算されてフォーカスエラー信号やトラッキングエラー信号ならびにピット信号となる。

図3は1997年からゲーム機に搭載されている光磁気ディスク（ミニディスク：MD）用に開発された光ヘッドである。図4と大きく異なる点はガラス製のマイクロプリズムに代わって、比較的大きな複屈折を示すKTP結晶を使用していることである。半導体レーザから射出されたビームは、プリズム斜面のハーフミラーによって対物レンズへ向かうビームとプリズムの内部へ進むビームとに分かれる。後者のビームは複屈折によって若干2つに分かれるも、少し面積の大きいフォトダイオードFによってまとめて光電変換され、温度に無関係にレーザ出力を一定に保つAPC制御信号用に用いられる。前者は光磁気ディスクから反射され、再びハーフミラーに戻る。斜面に入った光磁気ディスクからの光ビームは複屈折によって、常光線と異常光線とに分かれる。底面のハーフミラーで、その裏面に配置さ

れた多分割フォトダイオードAへ入射する光と反射光とに分かれ、反射波はさらに上面の高反射ミラーで反射された常光線と異常光線は両ビームの屈折率の違いを利用して分離角度が増長され、それぞれに独立した多分割フォトダイオードへ入る。これらの多分割フォトダイオードI、Jとそれぞれのフォトダイオード素子に対応したIC化された各信号増幅用オペアンプによって差動増幅器を構成しているので、光磁気ディスクや対物レンズなどプラスチックに付きまとう複屈折をキャンセルし、正味のMO信号のみを取り出すことができる。多分割フォトダイオードAからは図4の場合と同様にシリコンICと組み合わせてフォーカスエラー信号とトラッキングエラー信号とを作り出す。

図5(1)～(4)には、松下社の最近のMDジャケットサイズ用プレーヤに組み込まれた超小型光ヘッド概略を示す³⁾。この特徴はピックアップヘッドの光学系が図5(1)、(2)に示すように¹⁾、きわめて小型であるというだけでなく、図5(3)¹⁾に示されているように、ステッパを使用してガラス板へ各種グレーティングレンズやハーフミラーや、波長板を薄膜成形し、ガラス板を重ねて接着し、乾燥後にガラスカッターでサイコロ状に切断し、まるで半導体のウエハをカットするかのように大量生産できる点で、技術上の工夫がされていることである。

6. 将来技術動向

CDやビデオディスクなどの光ディスクの場合に、回転するディスク基板の上下変動は±1mmが許されており、ディスク情報記録面上にあるピット列が螺旋状のトラックを形成している。この、トラックの中心と回転の際に生じる円盤の中心とのセンターずれによって生じる偏芯は、

図5(1). 多層ガラスプリズム外観

図5(2). 集積化MOヘッド全体

図5(3). 多層ガラスプリズムの内部構成

図5(4). 多層ガラスプリズムの製造方法

±0.1mmも許される。対物レンズの開口数は $NA=0.45$ (DVDでは0.6) と大きいために、焦点深度が±1 μm ときわめて狭い。すなわち対物レンズを稼動させる範囲が2mmもあり、最小2 μm の制御を行わなければならないので、3桁のダイナミックレンジ(電圧換算60dB)が必要である。トラック位置調整についても同じことが言える。すなわち±0.1mmの偏芯による位置調整に対して±0.1 μm の精度で制御しなければならず、同じように3桁の制御が必要である。したがって、対物レンズをフォーカス方向(対物レンズの光軸z軸方向)ならびにディスクのラジアル(半径)方向に、それぞれ2mmと0.2mmも移動させる対物レンズ二軸アクチュエータが必須である。このようなダイナミックレンジを持つアクチュエータは、純粋に電氣的あるいは純粋に磁氣的に構成することは不可能である。そ

こで、電磁コイルを応用した対物レンズアクチュエータと集積部品化した光学系との2個に分かれた光ヘッドの形態は、今後も続くであろう。新方式としてピックアップ対物レンズアクチュエータのみを別にした光学系のみをGaAs半導体でモノリシック集積回路化を試みたピックアップ研究⁵⁾の例を、図6に示す。このピックアップは研究段階であり、現在の市販品に比べるとコスト的に絶対に引き合わないと思われるが、考え方としては素晴らしいものがある。有限共役共焦点対物レンズを使用しているところがポイントである⁶⁾。今後このようなモノリシックな光デバイスの研究が盛んになることを望むものである。

終わりに今から10年後に実現するであろう超高密度(テラバイト)光ディスクの1例として、筆者が提案し、現在研究中の超並列光ヘッドによる超高速(10Gbps)超高密

図6. モノリシックコンフォーカル光ヘッドの模式図

度（2テラバイト/片面）光ディスクシステムを紹介する^{7), 8)}。従来の半導体レーザのように結晶面や導波路面に垂直方向にある壁開面をレーザ共振器とするレーザは集積化や応用上非常にやりにくい面があるのに対して，東京工業大学の伊賀健一教授の発明による垂直共振器表面発光半導体レーザ（VCSEL）は，すべて一方の面内で結晶成長から共振器構成まで処理できる点が画期的である。このVCSELアレイを利用すれば，超高速（10Gbps）超高密度（2テラバイト/片面）光ディスクシステムが容易に可能となるであろう。例えば1000×1000アレイが非常に安価にできる時代（必ずやってくる）がくれば，光ディスクに新時代が訪れよう。

(1999.7.11-受理 1999.7.28-再受理)

文 献

- 1) 光産業技術振興協会編：“光産業の現状と展望”，オプトニ

- ユーズ，Vol.111，No.3，pp.2-15，June 15，1999
- 2) 後藤顕也：“オプトエレクトロニクス入門（改訂2版）”，オーム社，pp.199-233，pp.92-104，pp.183-189，pp.200-233，1991
- 3) 後藤顕也：“光ディスクストレージ”，電子情報通信学会誌，Vol.79，No.11，pp.1116-1127，Nov.，1996
- 4) 堀之内昇吾：“超小型光磁気記録用集積光ヘッドの開発”，オプトロニクス，No.166，pp.153-157，Oct.，1995
- 5) N.Nishi, K.Toyota, K.Okamatsu, K.Saito, K.Horie, K.Tanaka, K.Nemoto：“Integrated optical device-minidisc laser coupler”，Technical Digest of Optical Data Storage 1998，TuA4-1，pp.52-54，10-13 May，1998
- 6) H.Narui, M.Doi, T.Nakao, K.Sahara and O.Matsuda：“A monolithic confocal optical pick-up device”，Proceedings of SPIE，Vol.3401，Optical Data Storage'98，pp.48-61，10-13 May，1998
- 7) 後藤顕也：“高転送レート1テラバイト光ディスクメモリ”，東海大学紀要開発工学部，Vol.6，pp.99-120，Mar.，1997
- 8) K.Goto：“High bit rate and tera bytes optical memory in a disk system”，SPIE Vol.3109，pp.192-195，1997

後藤 顕也（ごとう けんや）

昭和13年生まれ。昭和38年，東北大学工学部電子工学科卒業。工学博士。昭和38年から株式会社東芝勤務。昭和48～50年，会社派遣によりコロラド大学へ客員研究員として留学。平成3年より東海大学開発工学部情報通信工学科教授。近接場光学を応用した超高密度・超高速光ディスクヘッドの研究に従事。