

(4) サブテーマ2：近接場利用光記録の研究

研究機関：九州松下電器株式会社

① 研究の概要

近接場を利用した光記録実現のためフェーズⅠでは主に市場調査と技術課題の抽出を行い、フェーズⅡでは SIL 光学系の制御方法の開発と非破壊記録再生方法の開発に取り組んだ。以下に研究成果をフェーズⅠとフェーズⅡについて述べる。

②フェーズⅠの取り組み (H9年11月～H12年3月)

②-1 研究の目的

図4-1に磁気記録、光記録、近接場光記録のそれぞれにおける面記録密度の推移予測を示している。現在、磁気記録および光記録の限界は数十 Gbit/in²であると言われており、さらに飛躍的な記録密度の向上が期待できる有力技術として、近接場光記録が注目されている。近接場光を利用すると、光の回折限界を超越することができ、従来の光記録に用いられる集光スポットより、さらに微小な領域に光を絞り込むことができる。このような、

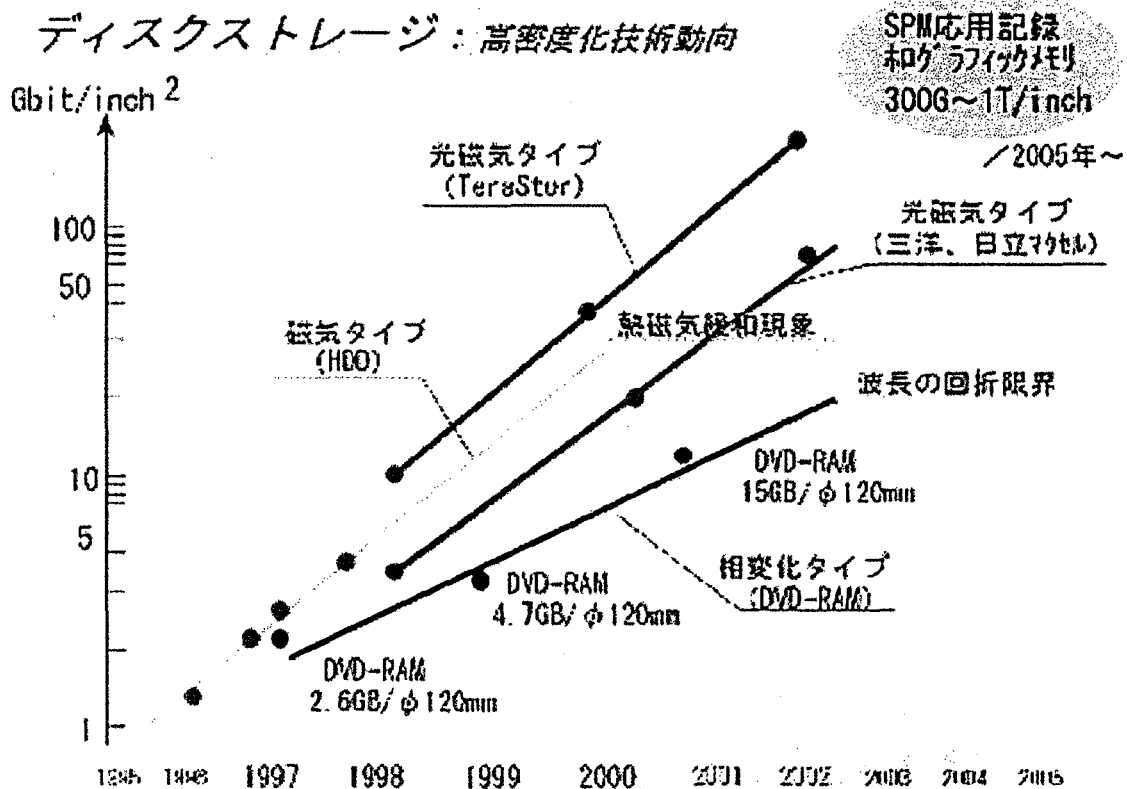


図4-1 各種ディスクストレージの記録密度推移予測

近接場光を光記録に応用する研究は、まだ始まったばかりであり、今後の進捗に大きな期待が寄せられている。本研究は、近接場光を用いた超高密度記録の基礎研究を行い、要素技術の確立を目的とする。

②-2 近接場光に関する技術動向把握

我々は、近接場光に関するこれまでの研究・技術状況を把握するため、技術文献および特許調査を行った。技術文献の調査は、JICSTによる検索を行い、近接場光記録の文献104件（V. 検索文献参照）を抽出し、分析を行った。特許については、「エバネッセント」、「近接場」、「ニアフィールド」のキーワードで、PATLISによる特許検索を行い、検索結果をもとにパテントマップを作成（V. 検索文献参照）し、技術内容を整理した。図4-2は、近接場に関する年度別の特許出願件数の推移を表したものである。図4-2から1993年以降急激に出願件数が増加していることがわかる。この中から近接場光による記録関連のみを抜粋すると、全体の約11%であり、合計しても100件程度と出願数はまだまだ少ないことがわかった。

近接場光の発生手段については、光ファイバの先端に微小開口を設けた光プローブを用いるものと、SIL（Solid Immersion Lens：固体浸透レンズ）という特殊なレンズ光学系を用いるものに大別される。ここで、近接場光は、開口やレンズから数十nm離れると強

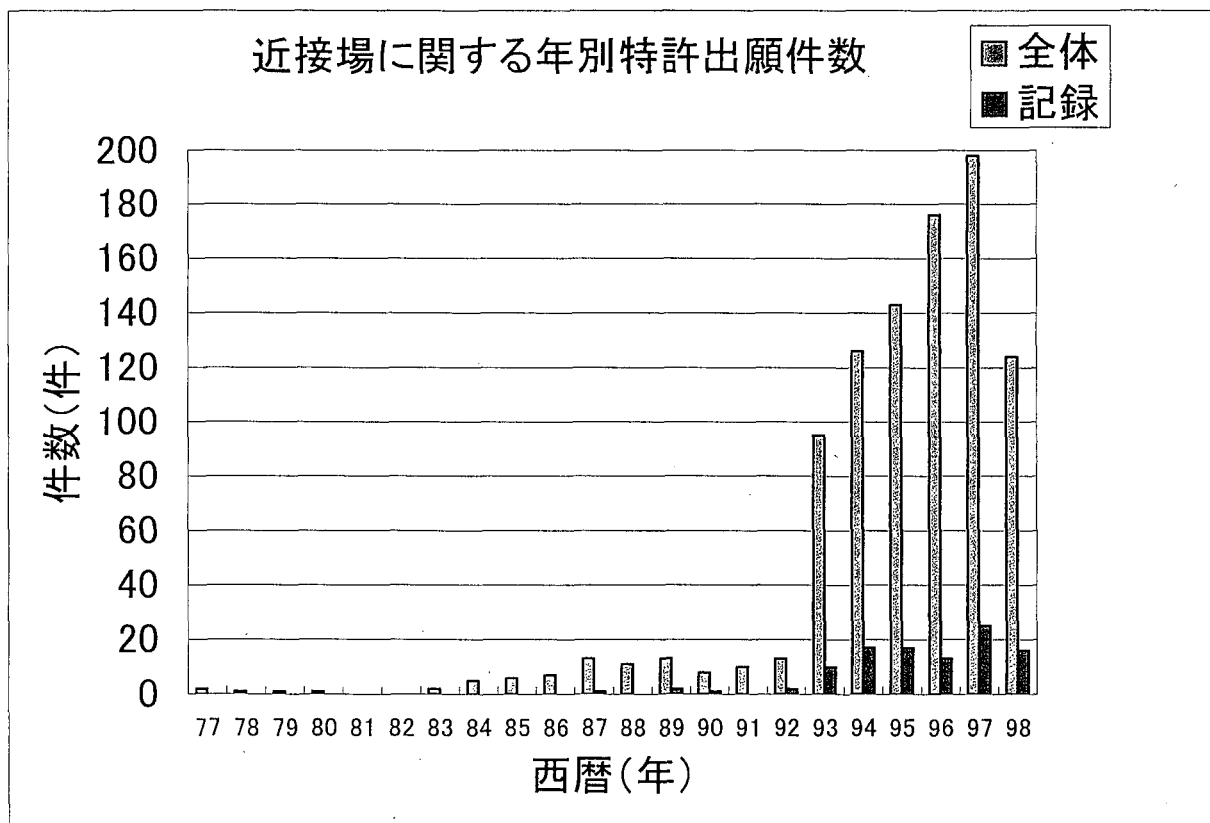


図4-2 近接場に関する年度別特許出願件数のまとめ

度が極端に低下するため、記録ディスクとの距離管理が重要である。ゆえに、近接場光を利用した実用的なドライブ装置を考えた場合、光ファイバ方式は可動ヘッド部の小型軽量化にメリットはあるが、ディスクとの距離管理が難しい。SIL方式は磁気ヘッドのようにスライダによる浮上方法が使用できることから、距離管理が容易に行えることが推測できる。

②-3 考察

上述の文献および特許調査により、今後の構想検討における課題を以下の2点に絞った。

- (1) 近接場光強度は、開口からの距離の変化が数十 nm オーダであっても急速に低下するため、開口と記録層間の距離を正確かつ安定に保つ必要がある。また、実用化を考慮した場合、大量生産が可能なシンプルな光ヘッド構造が重要である。
- (2) 近接場光は、従来の光記録パワーに比べ、極めて微弱であるため、高感度な記録メディアが必要である。従来の光磁気記録や相変化記録材料がヒートモード記録であるのに対して、フォトンモードでの記録が可能なフォトクロミック材料は、近接場光記録には最適な材料であり、このフォトクロミック材料への記録／再生に関する要素技術が不可欠である。

上記(1)の課題に対して、実用的なドライブ装置を考え、開口とディスク記録層との距離管理が容易なスライダによる浮上ヘッド方式とSILを組み合わせることによる光ヘッド構造を考案し、関連する特許を4件出願した。また、上記(2)に対しては、九州大学・入江研究室からフォトクロミック材料の提供を受け、「材料の特性把握を行うとともに光記録媒体としての可能性を探索、記録／再生に関する要素技術の確立」を目標にフェーズIIでの検討を行うこととした。

③フェーズIIの取り組み (H12年4月～H14年11月)

③-1 研究の目的

フォトクロミック材料を用いた記録媒体に、近接場光を利用して情報記録／再生を行う場合の課題は、フェーズIでも述べた「近接場光が発生する開口と記録媒体との距離制御」と「フォトクロミック材料の光記録媒体としての可能性検討」である。フェーズIIではこれら2つの課題を解決し、フォトクロミック材料への近接場光による記録／再生技術の要素技術確立を目的とした。なお、本研究では可能性検討に主眼を置き、静的な状態（記録媒体は回転させない）で特性評価を行った。

③-2 研究方法及び結果

③-2-1 開口と媒体との距離制御

近接場光が発生する領域（：エバネッセント深さ τ ）は、図 4-3 中に示す式で与えられ、高屈折率側の屈折率 $n=2.0$ 、入射角 $\sin\beta=0.7$ 、光波長 $\lambda=633\text{nm}$ と仮定すると、 $\tau=103\text{nm}$ となる。ゆえに、このような条件下で記録／再生を行う場合、記録層は常に開口から 100nm 以下の領域に保持しておく必要がある。ここで、HDD 等に用いられるスライダは、ディスクが回転する際の空気の流れを利用して、ヘッド／ディスク間の距離を nm オーダーで一定に保つことが可能である。しかし、我々は静的に各種検討を行うことから、正確に nm オーダーでヘッド／ディスク間距離を調整、保持することが必要となる。

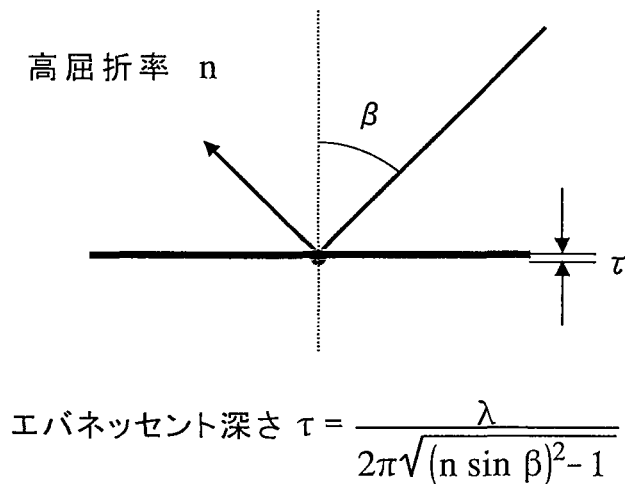
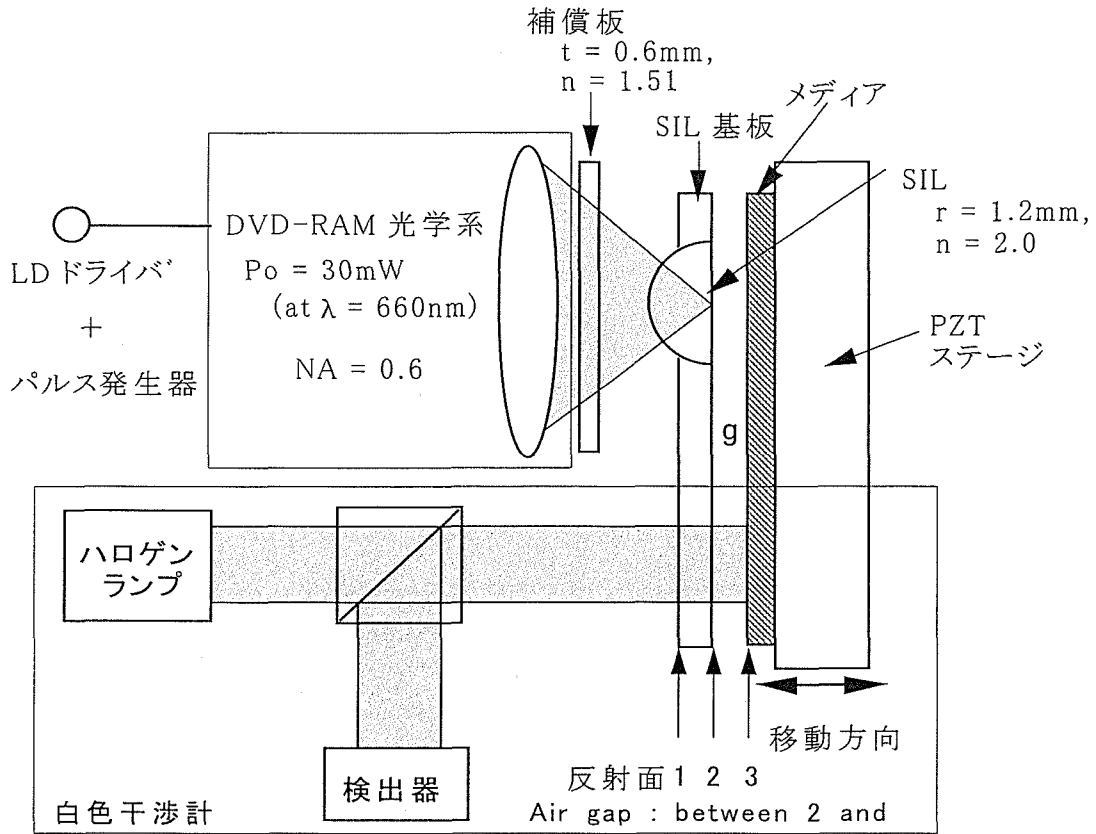


図 4-3 近接場光（エバネッセント光）の発生領域

【微小エアギャップの調整／決定法の検討】

我々は、まず正確に nm のオーダーでの距離（エアギャップ）調整を行うため、白色光干渉計と微動ステージを融合させた光学系を採用した。図 4-4 にその光学系の概略構成を示す。本光学系は、近接場光による静的な記録／再生特性を把握することを目的とし、近接場光による記録／再生用光学系と nm オーダーでのエアギャップ調整／決定用干渉光学系を併せ持った構成としている。近接場光ピックアップは、松下電器製 DVD-RAM のピックアップ（ $\lambda=660\text{nm}$ ）を改造して作製したものであり、ピックアップの対物レンズの同一光路上に球面収差補正板および $r=1.2\text{mm}$ の半球からなる SIL（Solid Immersion Lens： $n=2.0$ ）を固定し、ピックアップからの出射光が SIL の底面に集光、近接場光が発生する形態をとっている。なお、ここで、ピックアップからの出射光は、常に SIL 底面へ集光できるようにピックアップ本来のフォーカサーボ（FS）機構を使用して制御している。記録メディアは、この対面に位置するフルストローク $50\ \mu\text{m}$ 、分解能 1nm の PZT ステージに固定され、クローズドループ制御により nm オーダーでの距離調整を可能としている。ここで、所望エアギャップ g の調整および決定は、SIL 近傍に構成した干渉計の測定値をもとに、上述の PZT ステージを駆動させることによって行う。なお、ここで構成し

た干渉計は、ハロゲンランプを光源とした白色干渉計である。



3

図 4-4 近接場光用ピックアップとエアギャップ制御光学系

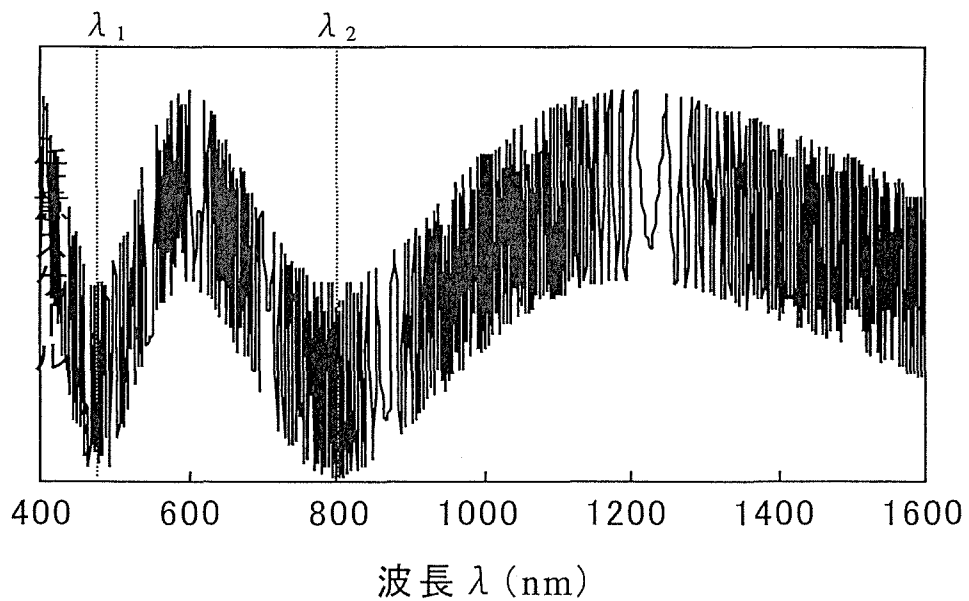


図 4-5 SIL 基板とエアギャップの干渉波形

微小なエアギャップの調整／決定を単純に考えれば、“エアギャップ=0”を基準として、微動ステージを遠ざけさえすれば、所望のエアギャップを設定できることになるが、この点を定義することは非常に難しい。そこで我々は、あるエアギャップをあらかじめ測定、その値を基準値とし、微動ステージで所望エアギャップまで追い込んでゆく方式を採用した。

図4-4に示す白色干渉計において、検出器へ入射される光はSIL基板の表裏面およびメディア表面の3つの反射光成分であり、SIL基板とエアギャップの2層モデルと考えることができる。この場合、検出器側で得られる干渉信号波形は、SIL基板 ($n=1.51$, $t=500\mu\text{m}$) とエアギャップ ($n=1$, $t=x$) の各々の干渉波形が重畳した形で現れる。図4-5はエアギャップを600nmと仮定した場合に得られる干渉信号波形の計算結果であり、非常に周期の短いSIL基板の波形がエアギャップの周期で大きく“うねって”いるのがわかる。図4-5に示すようにエアギャップの波形が最低1周期分確認できれば、その包絡線のピークもしくはバレイ波長からエアギャップを導出できる。しかし、この原理において測定可能なエアギャップは500nm程度であり、近接場光記録のフライングハイトに相当する100nm以下は測定できない。ゆえに、この導出されたエアギャップを基準として、クローズドループ制御可能な微動ステージ(分解能=1nm)で所望エアギャップへの調整を行う。なお、微動ステージの送り精度の確認は、上記基準のエアギャップから特定の距離(例えば300nm)を微動ステージで移動させ、その干渉波形から導出されるエアギャップと対比させることにより検証することができる。

上述した内容は、以下の名称で特許出願を行った。

発明の名称：空隙間距離の調整方法および調整装置

出願番号：特願2000-274629(公開番号：特開2002-81918)

出願人：松下電器産業(株)

発明者：丸山英樹

また、ここで実際に作製した近接場光用ピックアップの外観を写真4-1に示しておく。

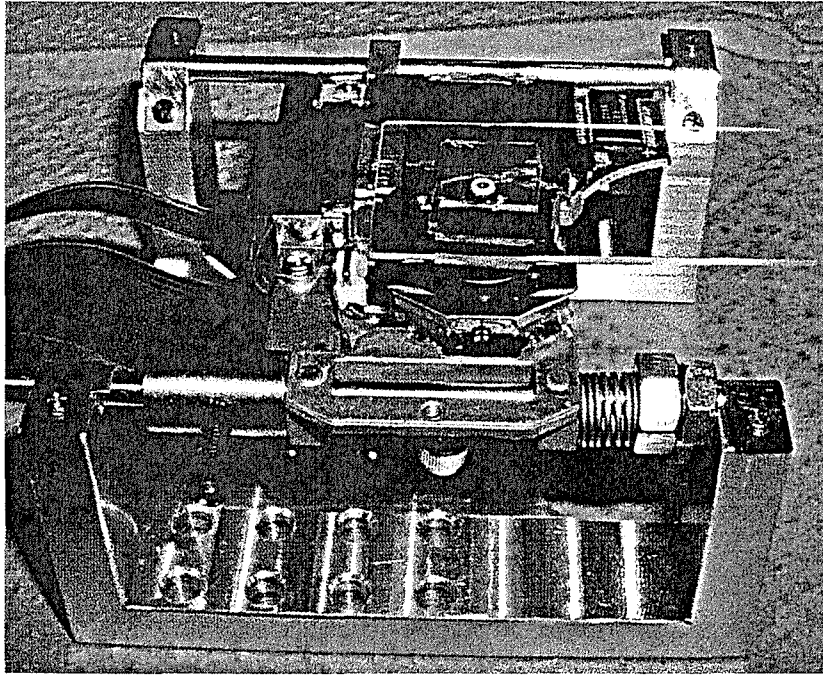


写真 4-1 試作した近接場光用ピックアップ

③-2-2 フォトクロミック材料の可能性検討

③-2-2-1 フォトクロミック材料の特性把握

極微弱な近接場光を利用した情報記録／再生媒体において、フォトンモードでの記録が可能なフォトクロミック材料に大きな期待が寄せられている。本研究においては、この超高感度材料どのように記録媒体へ応用するかが最も大きなポイントとなる。我々はまず、九州大学・入江研究室より提供されたフォトクロミック材料（ジアリールエテン）の感光特性を把握するため、DVD-RAM ピックアップ（ $\lambda=660\text{nm}$, $P=30\text{mW}$ ）を用い、書き込み実験を行った。

i 試料の準備

今回の実験に使用した試料は、スライドガラス上にフォトクロミック材料をスピコートしたものである（図 4-6 参照）。

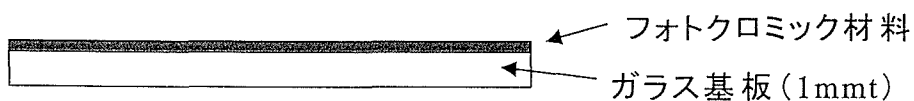


図 4-6 実験用試料の断面構造

ここで用いたフォトクロミック材料は、図4-7に示す光吸収特性を示し、 $\lambda = 380\text{nm}$ および $\lambda = 590\text{nm}$ 付近の光が、それぞれ閉環、開環反応に寄与する。フォトクロミック材料に、これらの波長を照射すると、閉環 \rightarrow 開環もしくは開環 \rightarrow 閉環の状態変化を可逆的に繰り返すことが可能である。ここで、閉環状態の材料は濃青色を示し、開環状態では透明である(図4-8)。

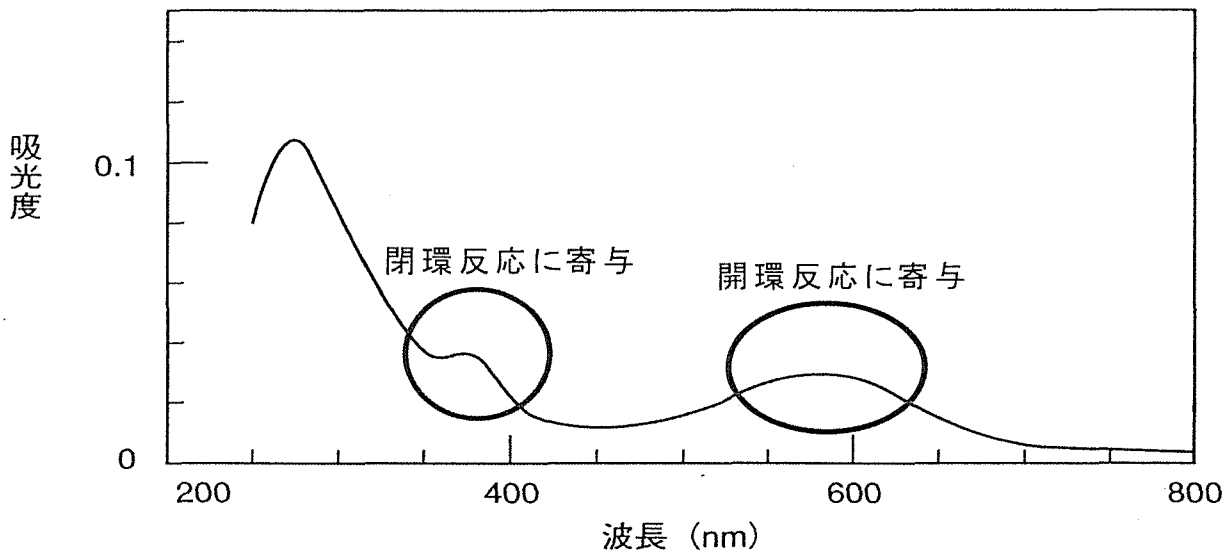


図4-7 フォトクロミック材料の光吸収特性

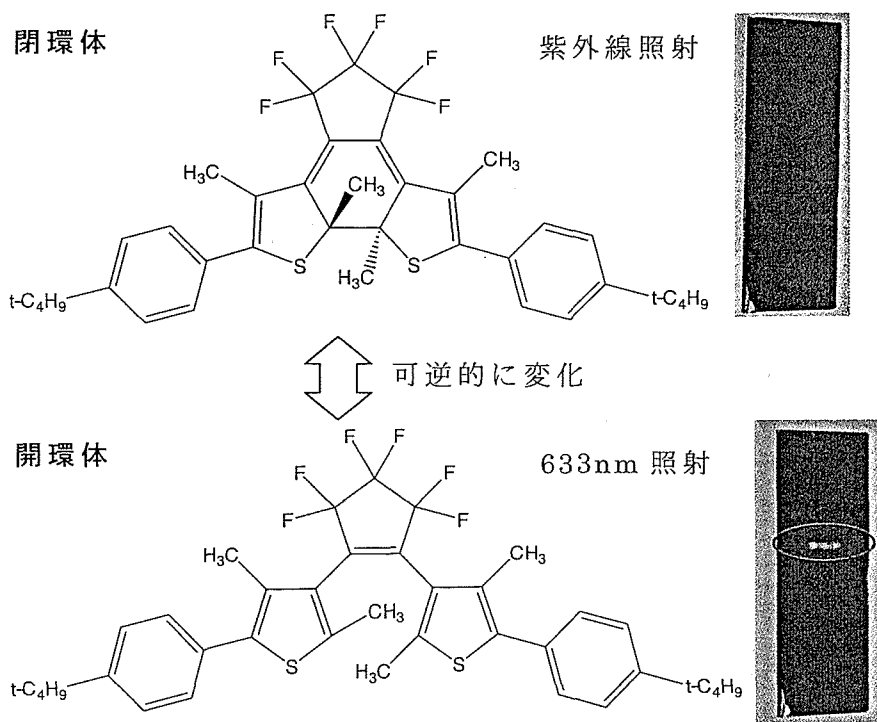


図4-8 フォトクロミック材料の状態変化

検討1. DVD-RAMピックアップによる記録（書き込み）実験

実験光学系を写真2に示す。DVD-RAMピックアップを治具に固定し、自動X, Zステージ上に搭載した。フォトクロミック材料を塗布した基板（図4-6）はピックアップの対面に固定、ピックアップのFSを使用して所望の面（表または裏面）に焦点を結ばせる。ピックアップの出射光パワーを任意の値に設定し、自動X, Zステージを所望速度で走査させることにより、フォトクロミック材料を感光させ、濃青色から無色透明（閉環状態から開環状態）に変化したラインを評価する。なお、今回の実験では、フォトクロミック材料の感光特性把握を目的としているため、球面収差補正板は挿入していない。

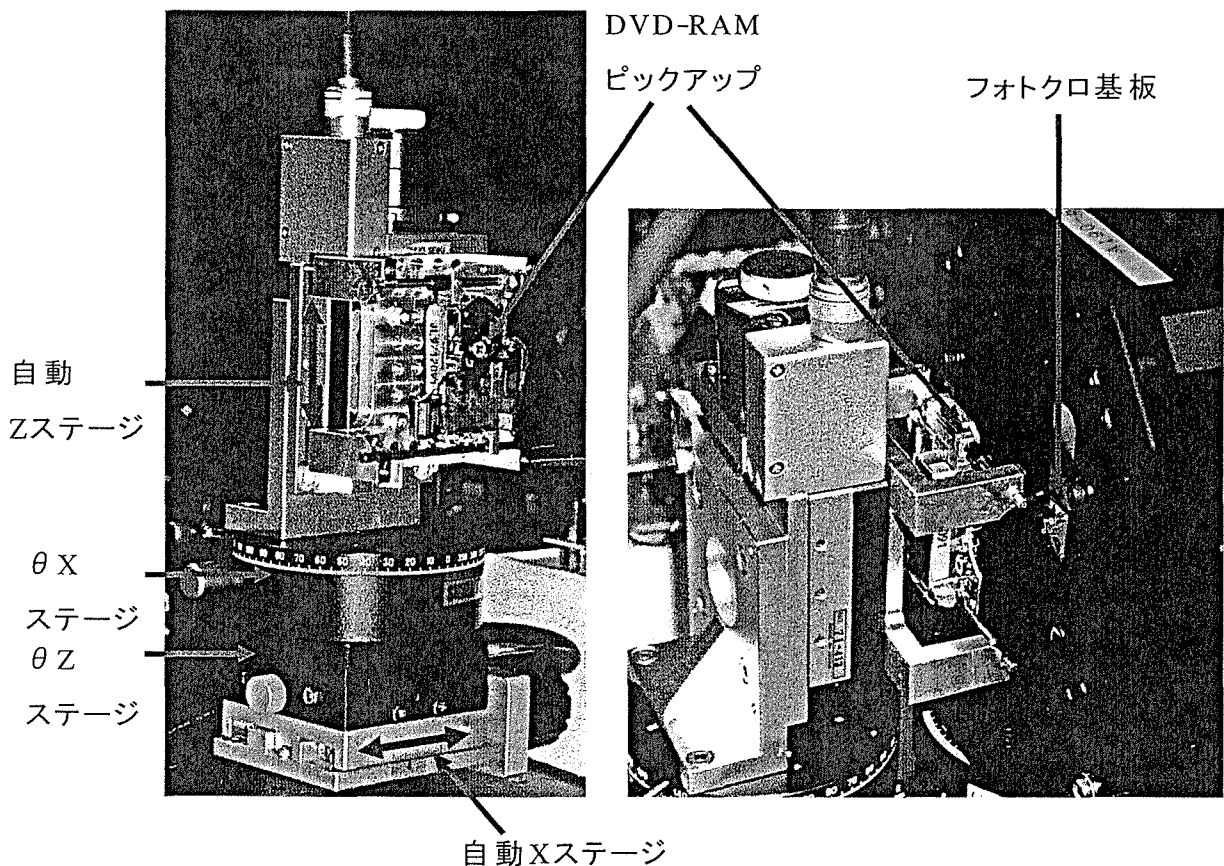


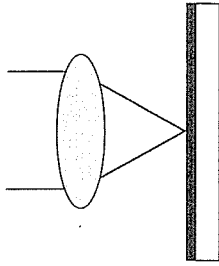
写真 4-2 DVD-RAM ピックアップによる実験光学系

ii 実験パラメータ

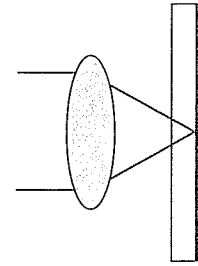
- 1) 書き込みレーザーパワー（対物レンズ出射直後、5mmφにて測定）
2.0, 1.0, 0.5, 0.2, 0.1mW : (5段階: CW光、 $\lambda = 660\text{nm}$)
- 2) ピックアップ走査速度
1.0, 5.0, 10.0mm/sec : (3段階)

3) 基板書き込み方向 (2方向)

a. フォトクロミック材料側 (表面)



b. ガラス基板側 (裏面)



なお、書き込み時には所望の面にFSをかけ、スポットが最小となるように調整した。

検討1. 実験結果

(a) 基板への書き込み方向：

b. のガラス基板裏面側から書き込んだ場合、非常にシャープな透明ラインが観察された。対照的に a. のフォトクロミック材料側から書き込んだ場合、透明なラインが幅 1~2 mm 程度の“ピンぼけ”の状態であった。

原因は、ガラス基板裏面からの反射光が影響したと考えられ、書き込みのレーザーパワーが大きかったことに加え、フォトクロミック材料の感光性の良さを証明することとなった。表面側から高いレーザーパワーで書き込む場合、塗布面直下 (ガラス基板の塗布面側) に反射層等の形成が必要である。

なお、今回の実験において、レーザーパワーを 0.1mW 以下にできなかったのは、FS をかける際の反射光量を確保するためである。

(b) 書き込みレーザーパワー：

上述 b. 方向からの書き込みにおいて、まずピックアップ走査速度を 0.1mm/sec に固定し、レーザーパワーを変化させ、書き込みを行った。結果のイメージを図 4-9 に示す。

実測した記録ライン幅は、レーザーパワー = 0.2mW において 20 μm、0.1mW において 10 μm であり、0.1mW のパワーでも十分に記録可能であることを確認した。

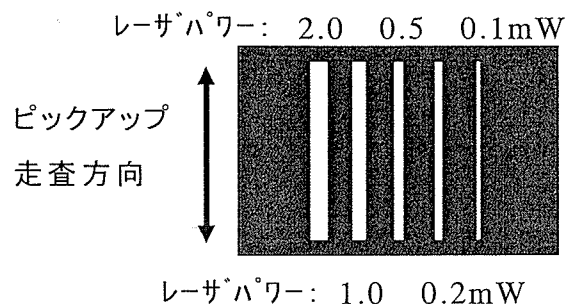


図 4-9 書き込みレーザーパワーと記録ライン幅のイメージ

(c)ピックアップ走査速度：

上述の書き込みレーザパワーの実験により、0.1mWでも十分に書き込み可能なことが確認できたため、レーザパワーは0.1mWに固定し、ピックアップの走査速度をパラメータとして書き込み実験を行った。ここで、走査速度の最大値（10mm/sec）は使用した自動ステージ仕様からの制約である。

その結果、走査速度=1.0, 5.0, 10.0mm/secの各条件において、1 μ m以下のライン幅が記録されていることを確認した。

ここで、“1 μ m以下のライン幅”と表現したのは、金属顕微鏡で観察した結果である。今回の実験結果の観察、評価は、すべて金属顕微鏡で行ったが、観察する倍率を上げると書き込み部と未書き込み部のコントラストが低くなり、境界の識別が困難となった。ゆえに、正確なライン幅の測定まで至らなかった。

検討2. DVD-RAMピックアップによる再生実験

検討1で使用したDVD-RAMピックアップを用い、記録／再生の検討を行った。実験では、記録、再生ともに同一波長（ $\lambda = 660\text{nm}$ ）を使用し、記録時と再生時におけるレーザパワーを変化させた。なお、再生信号はDVD-RAMピックアップに最初から組み込まれているPDの出力をオシロスコープによってモニタすることとした。

記録媒体試料は、検討1の経験を活かし、材料側からの記録を前提として、Al膜をスパッタしたガラス基板の上にフォトクロミック材料を約1 μ m厚でスピコートしたもの（図4-10）を用いた。

iii記録／再生条件（ $\lambda = 660\text{nm}$ ）

記録：レーザパワー=0.5mW, 線速：2.0mm/sec

再生：レーザパワー=0.1mW, 線速：2.0mm/sec



図 4-10 記録／再生実験用試料の断面構造

検討 2. 実験結果

写真 4-3 に実際に記録および再生実験を行った試料の顕微鏡写真を示す。X方向が記録ラインであり、10 μm 間隔で記録を行ったものである。この記録ラインを記録時の 1/5 のパワーで垂直に走査し、再生を試みたが、オシロスコープ上の PD 出力波形に変化は見られず、単にオーバーライトを確認したのみであった。

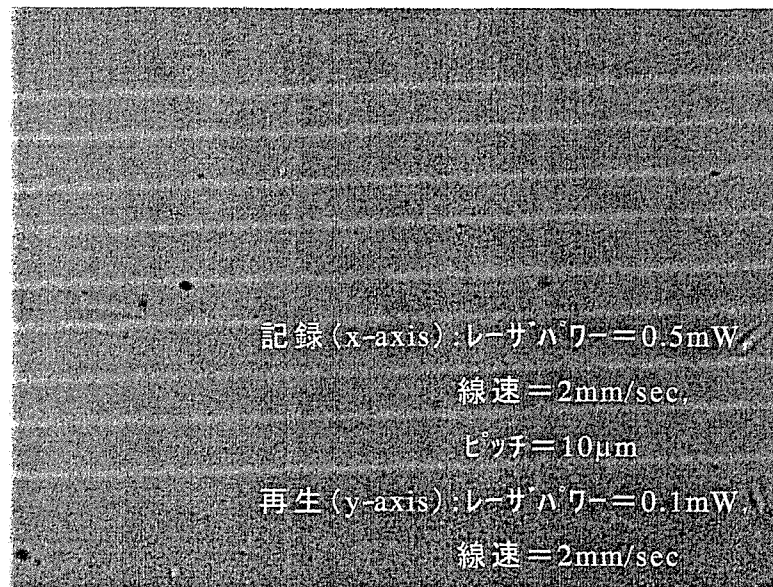


写真 4-3 DVD-RAM ピックアップによる
記録 / 再生実験結果

iv 記録 / 再生実験 (検討 1, 2) での考察

フォトクロミック材料の感光性の高さを認識した。実験での最小レーザパワーは 0.1mW であり、線速も 10mm/sec と、まだまだ遅いものであったが、材料自信の余力を十分に感じ取ることができた。ただ、同時に高感度であるがゆえの問題点も明らかとなった。

フォトクロミック材料の光吸収帯は、閉環もしくは開環反応に寄与する 380nm 付近 (紫外領域) と 590nm 付近 (赤色領域) である。ゆえに、閉環もしくは開環状態のどちらかを初期状態として、開環もしくは閉環に状態変化させる光を照射することにより、容易に記録を行うことが可能である。しかし、再生を考えた場合、従来の CD-RW のように記録層の吸収率の差をもってピットの有無を検出しようとする、本材料には上述した 2 つの吸収帯しか存在しないため、紫外領域または赤色領域のいずれかの波長を使用せざるを得ない。このことは、極微弱光でも感応するフォトクロミック材料にとって、記録情報のオーバーライトもしくは消去を引き起こすという光記録媒体にとっては致命的な問題となる。

③-2-3 新たな再生方法の提案

フォトクロミック材料の特性把握検討において、材料の吸収帯波長を用いての記録／再生では、光記録媒体にとって致命的な、オーバーライトもしくは消去を引き起こすという現象を確認した。そこで我々は、このような破壊的再生を解決すべく、新たな再生原理の提案を行った。

③-2-3-1 光の導波モードを用いた新再生原理の提案

我々は、フォトクロミック材料が閉環／開環の状態変化の際、材料の色とともに屈折率が微小に変化することに着目した。今回の検討に用いている九州大学・入江研究室提供のアモルファスジアリールエテンは、閉環および開環状態での最大屈折率差 $\Delta n = 0.08$ (at $\lambda = 817\text{nm}$) を実現した材料である。媒質の屈折率は、波長に対して一義的に決定されるが、その屈折率波長分散を考慮しても、幅広い波長帯域において閉環および開環状態における屈折率差 Δn は存在する。換言すれば、どのような光波長を用いても、この屈折率差は発生している。そこで、この「屈折率変化をうまく利用して、材料の吸収がない波長帯域で記録ピットの有無を検出することができないか？」ということ熟考し、光の導波モードの差を検出することによる新たな再生原理を提案した。以下にその原理を説明する。

(a)再生原理

ここではまず、透明基板上に製膜したフォトクロミック材料を光導波路として考える(図4-11)。このとき、製膜された材料が光導波路として機能する条件は、基板 n_s と材料 n_f との屈折率差、材料の膜厚 t および光の波長 λ で決定される。ここで、材料の製膜厚さ t が一定でかつ、光波長 λ は、フォトクロミック材料の吸収帯を外した赤外光(例えば、 $\lambda = 817\text{nm}$)と考えると、導波条件は材料の屈折率 n_f に依存する。使用するフォトクロミック材料の屈折率は、閉環時 $n_{fc} > \text{開環時 } n_{fo}$ であるため、この屈折率変化に伴い、光の導波状態(モード)も変化する。

我々は、この導波モードの変化を近接場光で検出するため、以下のような膜厚 t の条件を設定した。

- ・閉環(高屈折率)時: 光が導波
- ・開環(低屈折率)時: 光が非導波(cut off)

なお、再生光は、図4-12に示すプリズム結合法の原理により、導波層上面から近接場光での励振が可能であり、この原理による再生時の検

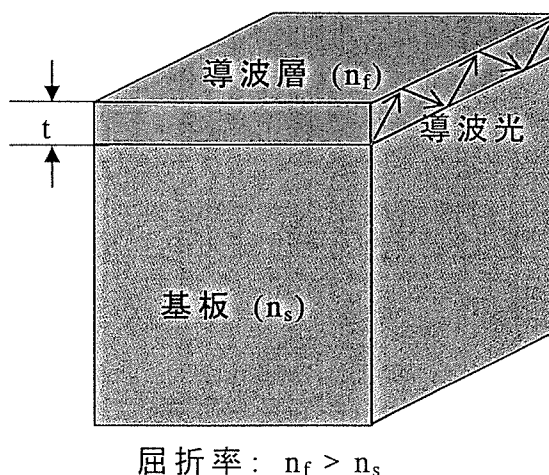


図4-11 基本的な光導波路の構造

出信号は、

- ・ 非記録部位（閉環状態）：再生光が記録層内を導波するため、反射強度 小
- ・ 記録部位（開環状態）：再生光が記録層で全反射するため、反射強度 大

となる。ここで再生光には、赤外光を使用するため、記録層に対するオーバーライトや消去といった悪影響は無視することができる（図4-13）。

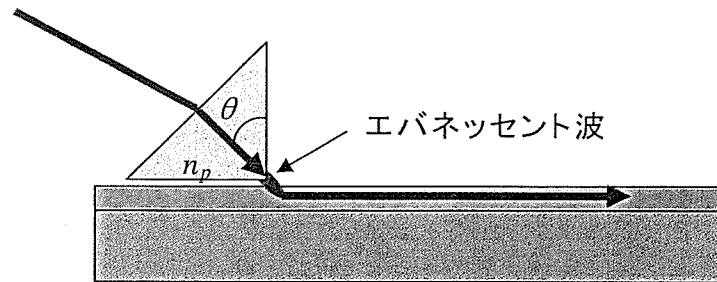


図 4-12 プリズム結合による導波光の励振

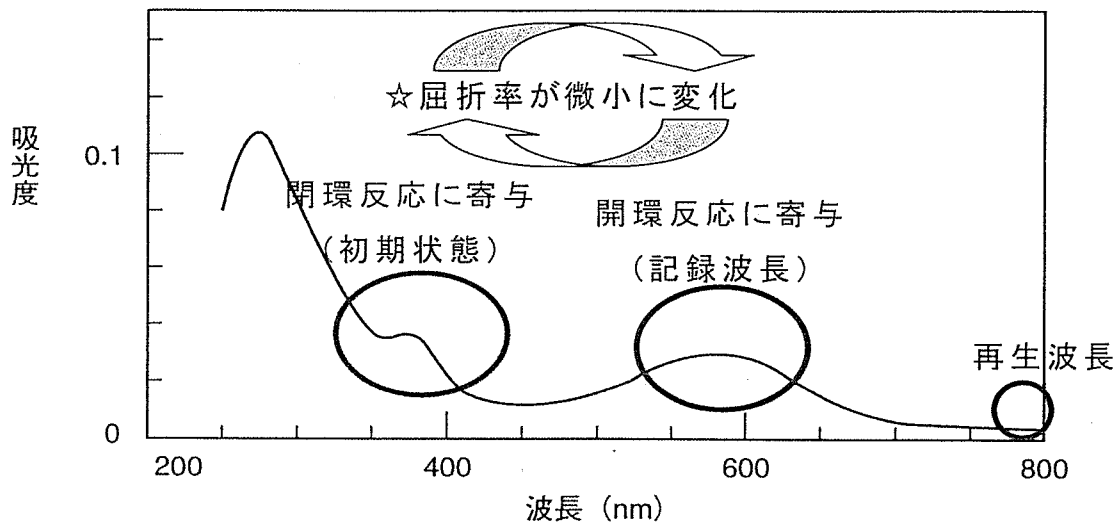


図 4-13 新再生原理に使用する光波長帯域

(b)導波モード再生のシミュレーション

まず、フォトクロミック材料の閉環および開環時の屈折率を測定した。その結果、測定波長817nmにおいて、閉環状態 $n_{fc}=1.648$ 、開環状態 $n_{fo}=1.611$ であった。この測定値をもとに各々の状態における導波モードシミュレーションを行った。シミュレーションは、サイバネットシステム（株）製“OptiBPM5.0”を用い、スラブ導波路を前提に、フォトクロミック材料の膜厚 t をパラメータとして、下記条件下での導波モード（実効屈折率）を求めた。

条件：

- ・ 基板屈折率 n_s : 石英, スライドガラス, 光学ガラス等、入手可能な材料を選択
- ・ 光波長 λ : 817nm (材料評価に使用) および780nm (CD-ROM用LD) の2条件
- ・ 偏光 : TEおよびTMモード

表4-1は、スライドガラスを基板 ($n_s=1.52$, at $\lambda=817\text{nm}$) として用いた場合の計算結果を示したものである。TE偏光を入射した場合、閉環状態では膜厚 $\geq 0.24\ \mu\text{m}$ で0次モードが導波可能となり、膜厚 $\geq 0.87\ \mu\text{m}$ から1次モードも導波を始める。一方、開環状態では、膜厚 $< 0.3\ \mu\text{m}$ はカットオフであり、0次モードが導波可能となるのは、膜厚 $\geq 0.3\ \mu\text{m}$ からである。この計算結果より、スライドガラスを基板として用いた場合、フォトクロミ

表 4-1 スライドガラス基板における導波モードシミュレーション結果

$\lambda=817\text{nm}$ TEモード					TMモード				
t	Close		Open		t	Close		Open	
	m0-eff	m1-eff	m0-eff	m1-eff		m0-eff	m1-eff	m0-eff	m1-eff
0.23	-	-	-	-	0.23	-	-	-	-
0.24	1.5214	-	-	-	0.24	-	-	-	-
0.25	1.5227	-	-	-	0.25	-	-	-	-
0.26	1.5243	-	-	-	0.26	-	-	-	-
0.27	1.5261	-	-	-	0.27	-	-	-	-
0.28	1.5281	-	-	-	0.28	-	-	-	-
0.29	1.5302	-	-	-	0.29	-	-	-	-
0.30	1.5323	-	1.5208	-	0.30	1.5209	-	-	-
0.31	1.5346	-	1.5214	-	0.31	1.5218	-	-	-
0.32	1.5369	-	1.5223	-	0.32	1.5230	-	-	-
0.33	1.5392	-	1.5233	-	0.33	1.5245	-	-	-
0.34	1.5415	-	1.5244	-	0.34	1.5261	-	-	-
0.35	1.5438	-	1.5255	-	0.35	1.5279	-	-	-
0.36	1.5460	-	1.5267	-	0.36	1.5297	-	1.5205	-
0.38	1.5505	-	1.5293	-	0.38	1.5337	-	1.5217	-
0.40	1.5548	-	1.5320	-	0.40	1.5379	-	1.5234	-
0.60	1.5880	-	1.5566	-	0.60	1.5762	-	1.5479	-
0.80	1.6070	-	1.5727	-	0.80	1.5999	-	1.5669	-
0.86	1.6110	-	1.5762	-	0.86	1.6048	-	1.5711	-
0.87	1.6116	1.5203	1.5768	-	0.87	1.6056	-	1.5718	-
0.88	1.6122	1.5210	1.5773	-	0.88	1.6063	-	1.5724	-
0.92	1.6145	1.5253	1.5793	-	0.92	1.6091	-	1.5748	-
0.93	1.6150	1.5265	1.5798	-	0.93	1.6098	1.5202	1.5754	-
0.94	1.6155	1.5278	1.5803	-	0.94	1.6104	1.5206	1.5760	-
0.95	1.6160	1.5292	1.5807	-	0.95	1.6110	1.5213	1.5765	-
1.00	1.6184	1.5360	1.5829	-	1.00	1.6139	1.5265	1.5791	-
1.05	1.6205	1.5427	1.5848	-	1.05	1.6165	1.5328	1.5813	-
1.06	1.6209	1.5440	1.5851	1.5204	1.06	1.6170	1.5341	1.5818	-
1.08	1.6217	1.5466	1.5858	1.5214	1.08	1.6179	1.5367	1.5826	-
1.11	1.6228	1.5503	1.5869	1.5233	1.11	1.6193	1.5405	1.5838	-
1.12	1.6231	1.5515	1.5872	1.5241	1.12	1.6197	1.5418	1.5842	1.5202
1.15	1.6241	1.5551	1.5881	1.5264	1.15	1.6209	1.5456	1.5853	1.5216

ック材料を厚さ0.24~0.29 μm の範囲内で製膜すれば、TE偏光において、先に述べた「閉環時に光が導波し、開環時には非導波（カットオフ）」なる条件を満たすことが示された。なお、再生光にTM偏光を用いる場合は、0.30~0.35 μm の範囲内で製膜すれば良い。

このシミュレーションにより、我々が新たに提案した導波モード再生原理に理論解があることを示すことができた。

表4-2に各種屈折率基板を用いた場合のシミュレーション結果をまとめた。表2から、使用する基板の屈折率を上げるに従い、製膜の許容厚さが広くなることがわかる。これはフォトリソ材料と基板との屈折率差 Δn_{f-s} に依存しており、 Δn_{f-s} を小さくするほど、許容厚さを大きくとれる。但し、実際の記録層を考えた場合、形成されるピットは極微小であるため、記録/再生光の層内での拡散や散乱を抑制すべく、できる限り薄くすることが望ましい。

表4-2 各種屈折率基板における導波モードシミュレーション結果のまとめ

λ	基板	屈折率	膜厚(μm):TE		膜厚(μm):TM		膜厚(μm):TEM	
			t(min) ~ t(max)	t(min) ~ t(max)	t(min) ~ t(max)	t(min) ~ t(max)		
817nm	石英板	1.4530	0.17 ~ 0.19	0.24 ~ 0.26	- ~ -	- ~ -	- ~ -	
	スライド	1.520	0.24 ~ 0.29	0.30 ~ 0.35	- ~ -	- ~ -		
	BaCD11	1.5567	0.30 ~ 0.41	0.36 ~ 0.47	0.36 ~ 0.41	0.36 ~ 0.41		
	FL6	1.5576	0.30 ~ 0.41	0.36 ~ 0.48	0.36 ~ 0.41	0.36 ~ 0.41		
	BaC4	1.5611	0.31 ~ 0.43	0.37 ~ 0.49	0.37 ~ 0.43	0.37 ~ 0.43		
780nm	石英板	1.4537	0.17 ~ 0.18	0.23 ~ 0.24	- ~ -	- ~ -		
	スライド	1.521	0.23 ~ 0.28	0.29 ~ 0.34	- ~ -	- ~ -		
	BaCD11	1.5575	0.29 ~ 0.39	0.35 ~ 0.45	0.35 ~ 0.39	0.35 ~ 0.39		
	FL6	1.5587	0.29 ~ 0.40	0.35 ~ 0.46	0.35 ~ 0.40	0.35 ~ 0.40		
	BaC4	1.5620	0.29 ~ 0.41	0.35 ~ 0.47	0.35 ~ 0.41	0.35 ~ 0.41		

(c)導波モード再生原理の検証

上述したシミュレーションにより導出した膜厚をスピコート法で製膜し、実験による理論検証を行った。なお、

ここで実験に用いた基板は、スライドガラスとBaC4である。各々の基板に製膜したサンプルは、図4-14に示すプリズム結合評価装置により、導波層への入射角度 θ を走査し、反射光強度を評価した。図4-15に

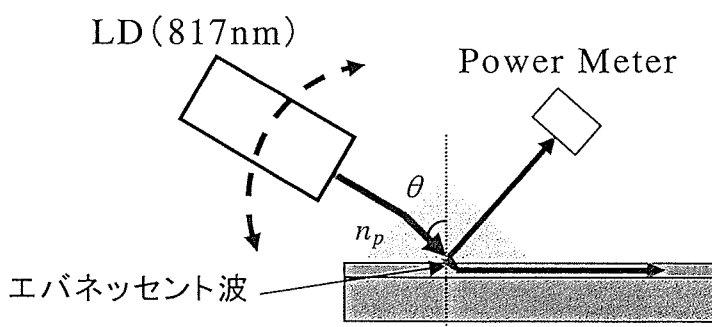


図4-14 プリズム結合による導波光励振実験の光学系

BaC4基板を用いた場合の結果を示す。なお、ここで測定に用いた光波長 $\lambda = 817\text{nm}$ 、プリズムの屈折率 $n_p = 1.9521$ であり、BaC4基板上に製膜したフォトクロミック材料の厚さ $t = 0.4\ \mu\text{m}$ である。

図4-15において、閉環状態と開環状態の反射光強度を比較すると、入射角度 $\theta = 53.53^\circ$ のとき、閉環状態の強度が低下していることがわかる。これは、この角度においてフォトクロミック材料層に光が伝搬しているためであり、材料層はシングルモード導波路として機能していることを示す。一方、開環状態では、材料の屈折率が低下するため、もはや材料層は導波路として機能せず、入射光の多くが全反射されていることを示している。なお、ここでの閉環／開環状態における変調度（反射率の違い）は、20%であった。この結果は、我々が提案し、シミュレーションにより理論解を求めた「導波モード再生」を実験的に実証したものであり、閉環→開環の反応を利用した記録ピットを変調度=20%で再生可能なことを示唆している。

また、我々は今回の理論検証実験を通じて、新たな知見を見出した。図4-15において、 $\theta = 53.53^\circ$ の導波モードによるピーク以外に、 $\theta = 53.1^\circ \sim 52.2^\circ$ の範囲で変調度が20%を越えており、かつピーク時には31%（ $\theta = 52.9^\circ$ ）の値を示している。この現象は、プリズムと基板間の臨界角 $\theta_p (= \sin^{-1}(n_s/n_p)) = 53.1^\circ$ 以下で発生しており、基板への放射モードが影響していると考えられる。この基板放射モードを再生に利用すれば、導波モー

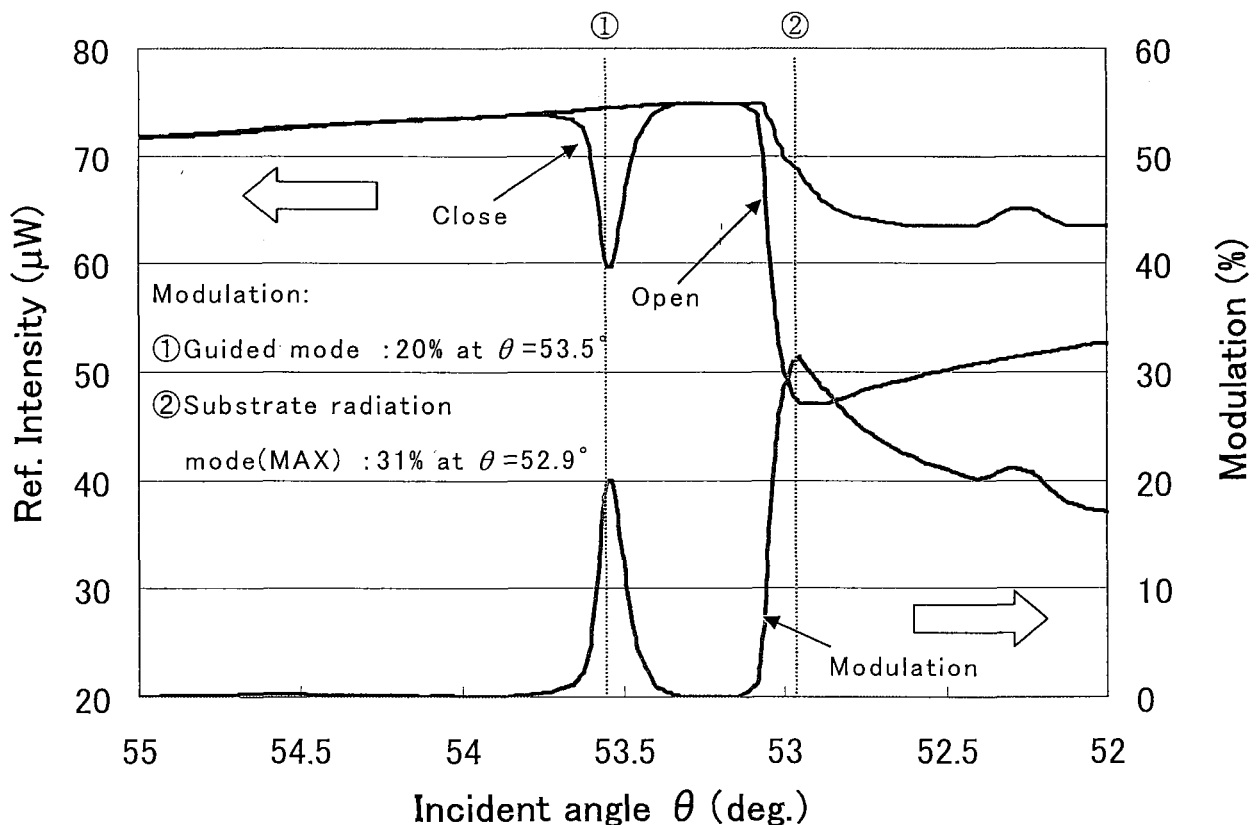


図4-15 BaC4基板を用いた場合の光入射角度に対する反射強度と変調度の関係

ド再生に比べ、入射角度 θ の許容幅が拡大し、かつ変調度の向上も可能なため、より実用的な方式と言える。なお、上述した「導波モード」および「基板放射モード」は、スライドガラス基板を用いた実験でも同様に確認され、導波モード=8%、基板放射モード(MAX)=28%の変調度を得た。

また、上記した再生原理および結果の内容に関連し2件の特許出願を行った。

(d)SILを用いた記録／再生／消去実験

プリズムによる実験で新再生原理は実証できた。そこで、フェーズIでも述べた実用的なヘッド構成を実現するため、SILを用いた記録／再生実験を行った。実験に用いた構成を図4-16に示す。光源には記録用として発振波長 $\lambda = 633\text{nm}$ のHe-Neレーザを、再生用として発振波長 $\lambda = 780\text{nm}$ のLDを、また、消去用として記録層全面をカバーできるUVランプを用いた。なお、SILには屈折率 $n_p = 2.0$ 、半径 $r = 1.2\text{mm}$ の半球レンズを使用した。ここで、SILに入射される光はSILの中心に約 $200\ \mu\text{m}^{\phi}$ で集光するようにレンズで調整している。測定サンプルは、前記プリズム実験に使用したBaC4基板にフォトクロミック材料を $0.4\ \mu\text{m}$ 厚で製膜したものをを用いている。

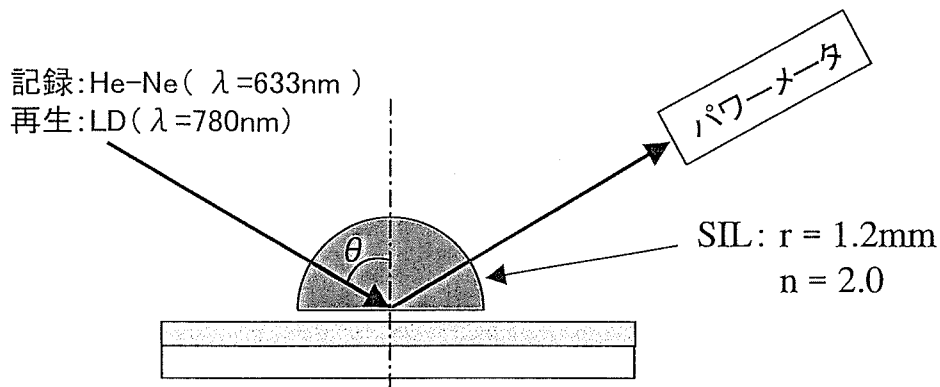


図 4-16 SIL を用いた実験光学系

・実験1 (導波モード)

入射角 $\theta = 52^\circ$ において、フォトクロミック材料の閉環状態から、記録(開環： $\lambda = 633\text{nm}$)→消去(閉環：UV照射)のサイクルを10回繰り返す、その都度、 $\lambda = 780\text{nm}$ による再生信号(反射光強度)を測定した。その結果を、図4-17に示す。

・実験2 (基板放射モード)

入射角 $\theta = 51.5^\circ$ において、実験1(導波モード)と同様の測定を行った。その結果を、図4-18に示す。

・ 実験結果

両実験ともに、10回のサイクルを繰り返したにも関わらず、バラツキの少ない安定した再現性を得るとともに、変調度(導波モード平均=16%、基板放射モード平均=23%)を実現した。これらの実験結果は、フォトクロミック材料を光情報記録媒体へ応用した場合の、記録/再生/消去に関わる基本特性の可能性を示したものである。

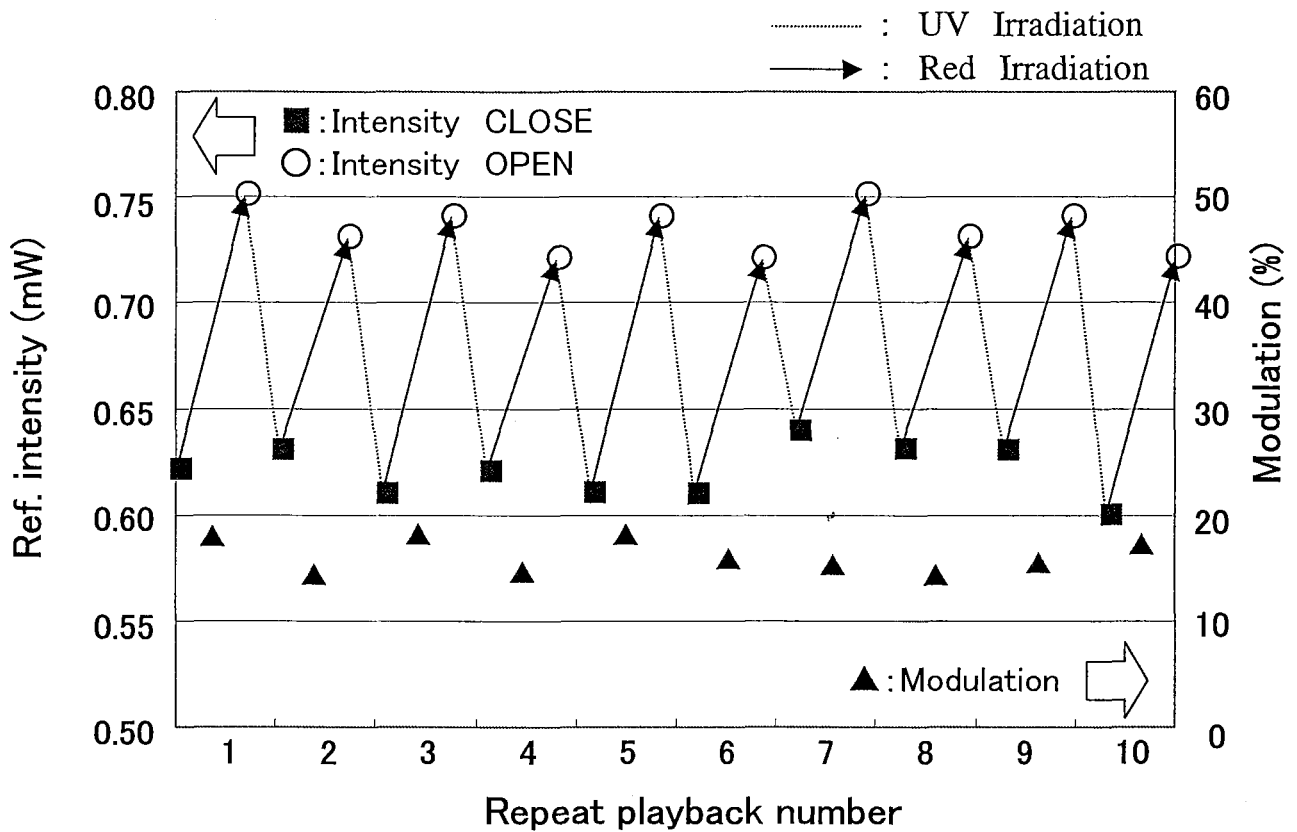


図 4-17 SIL を用いた導波モードによる繰り返し記録/再生実験結果

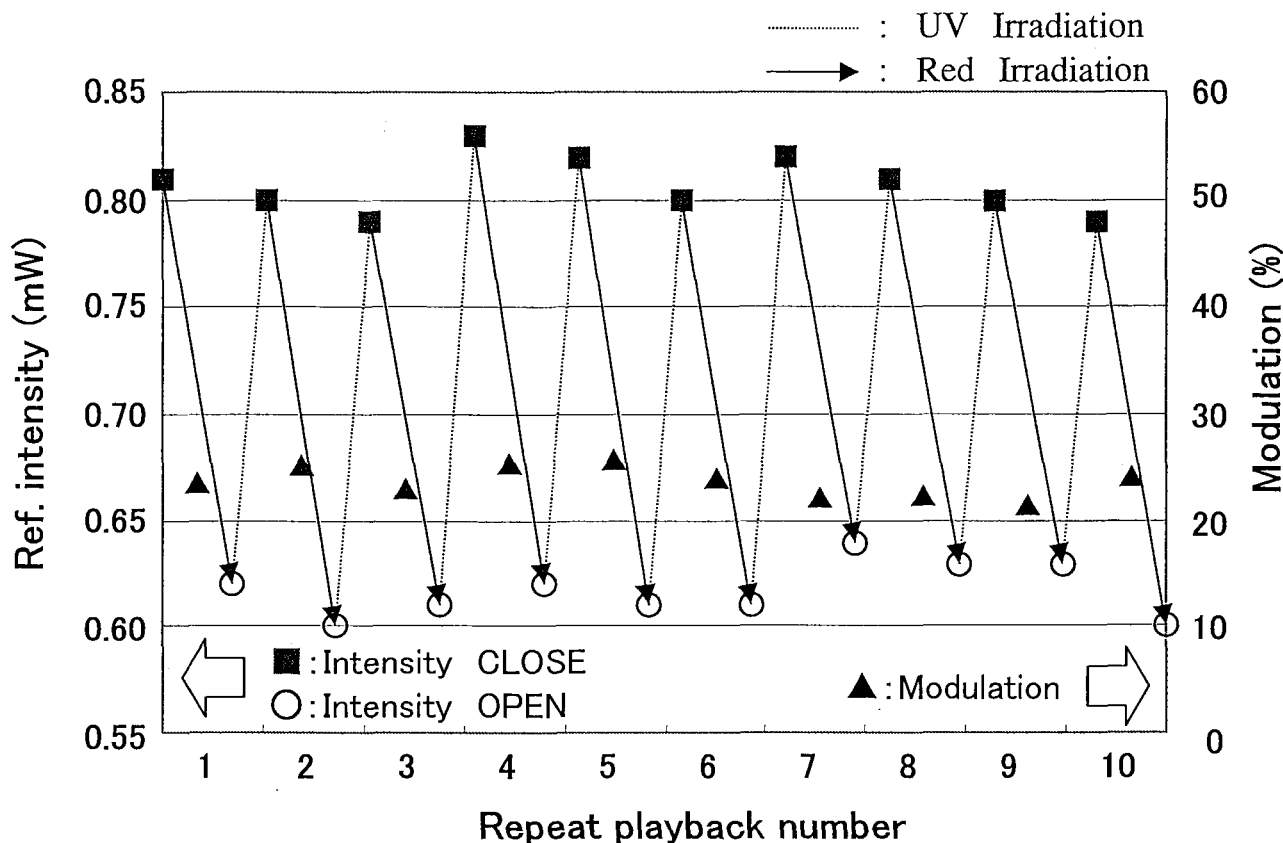


図 4-18 SIL を用いた基板放射モードによる繰り返し記録／再生実験結果

③-3 成果の達成度

③-3-1 フェーズ I (H9年11月～H12年3月)

近接場光に関する技術動向把握のため、技術文献および特許調査を行い、我々のテーマである「近接場利用光記録の研究」の構想を検討、解決すべき課題を以下の2点に絞り込んだ。

- (1) 近接場光ヘッド構造のシンプル化
- (2) フォトクロミック材料での光記録／再生に関する要素技術開発

ここで、(1)については、SIL (Solid Immersion Lens) を用いることが現状での最良解と判断、SILでの記録／再生を目標に検討を進めることとした。一方、(2)については、九州大学・入江研究室より、フォトクロミック材料の提供を受け、材料の特性把握を手始めに、光記録媒体用の材料としての可能性を検討することとした。

③-3-2 フェーズ II (H12年4月～H14年11月)

フォトクロミック材料に対する近接場光での記録／再生を最終目標として、それに関わる要素技術確立を目指した。

まず、我々はフォトクロミック材料の特性把握実験において、「再生時に記録情報の消去もしくはオーバーライトが起こる」という、光記録媒体にとって致命的な問題を確認した。

これは、フォトクロミック材料が超高感度であるがゆえの問題であり、材料の光吸収帯を利用して再生を行った場合、避けられない現象であった。我々は、このような破壊的再生という問題を解決すべく、フォトクロミック材料の閉環および開環状態における物性変化を再検討し、材料の屈折率変化に着目、この屈折率差を利用した新たな再生方法を考案し、実証した。原理は、基板上にフォトクロミック材料によって形成された記録層を光導波路として考え、記録層の屈折率変化に伴う導波モードの変化を材料の吸収帯を外した光波長で検出するものであり、記録ピットの非破壊再生を実現した。また、SILを用いた光学系において、記録／再生／消去の繰り返し実験を行った結果、再現性の良い安定した変調度を得ることができた。

上述の結果は、本研究の目標であった「フォトクロミック材料に対する近接場光での記録／再生」を実現するとともに、本材料の光記録媒体への応用の可能性を示したものである。

③-4 今後の課題

今回、一連の検討で使用した光ビームは200 μm 程度であり、近接場光の特長を活かした微小スポットではない。今後、記録密度の向上を目指した微小スポット (<100nm) による検討が必要である。