

大容量光メモリ用集光機能材料

㈱ニューガラスフォーラム
ナノガラスつくば研究室

山本 浩貴

Super Resolution Films for Optical Recording Media with High Recording Density

Hiroki Yamamoto

Nanotechnology Glass Project,
New Glass Forum, Tsukuba Research Laboratory

1. 光メモリの大容量化

現在、最大の容量を有する光メモリ（光ディスク）は、片面 4.7 GB（ギガバイト）の記録容量をもつ DVD である。この DVD は現行の地上波テレビ放送や BS アナログ放送を 2 時間記録できるが、ハイビジョン放送や BS デジタル放送といった高精彩画像はそのままの高画質では録画できず、2 時間録画するためには片面 20～30 GB の記録容量が必要となる。

著者も 4.7 GB の DVD レコーダーを購入して使用しているが、ユーザーサイドの実感としては、このような高画質録画のほか、記録時間も欲しいところである。6 時間までの長時間録画モードも存在するが、画質が低下するため、DVD の真価を味わうことはできない。さらに映画、クラシック音楽番組などは 2 時間で収まらない番組もあるため、一枚の DVD に収めようとすると画質を落とした状態で保存することになる。従って上記のような高画質をさらに長時間記録しようと考え、100 GB を超え

る超大容量光ディスクのニーズは比較的切迫したものであるといえる。また将来的には現行 12 センチの光ディスクをもっと小型化し、家庭用ムービーで生まれたばかりの赤ちゃんをデジタルハイビジョン録画したいといったニーズも出てくるであろう。この場合、さらに大きな記録密度が必要になる。

ただし、現行の 4.7 GB の記録再生可能な DVD も、非常に画期的な技術の集大成であり、上記のような高画質長時間録画を達成するためには、更なるブレークスルーが必要である。

そのような背景の中、経済産業省の国家プロジェクト「ナノガラス技術＜材料ナノテクノロジープログラム＞」が平成 13 年度より 5 年間の計画でスタートした。その中のテーマの一つが、上記のような光ディスクの大容量化のための新技術を開発するために提案された「大容量光メモリ用集光機能材料」である。㈱ニューガラスフォーラムでは新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から委託を受け、本プロジェクトを推進している。この研究開発は、前年度の補正予算によってスタートしたため、ナノガラスつくば研究室発足前からの立ち上げが必要という状況により、㈱日立製作所日立研究

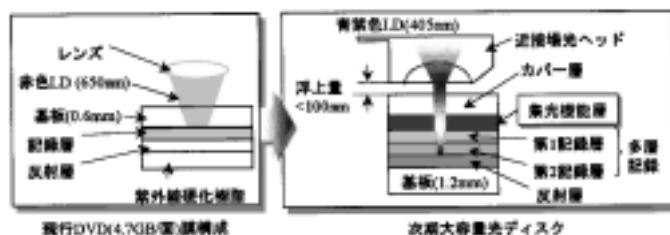


図1 光ディスクの大容量化技術

所内につくば研究室日立分室を設置し、その中で行われた。

このテーマでは、次々世代とも言うべき片面1 TB（テラバイト，1000 GB）の記録密度を有する光ディスクを作製するための要素技術の一つである「集光機能材料」に着目している。図1に現行のDVDの断面構成図と将来の例えば1 TBに対応した次世代光ディスクの断面構成図を示す。現在は650 nmの赤色レーザー光を基板を介して開口数（NA）0.65のレンズを用いて記録膜に集光照射することにより記録再生を行っている。一方、将来の光ディスクでは、記録密度を向上させるため、405 nmの青紫色半導体レーザーを用いる技術、レンズの高開口数化（NA=0.8）により、レーザー光をより絞り込む技術が検討されている。さらに近接場記録ヘッド導入により、浮上型の光ヘッドに開口数が1を超えるレンズを搭載することが検討されている。さらに記録膜を多層化することによる高密度化も検討されている。

しかしながらこれらの技術を融合しても1 TBの高記録密度化の達成は難しいと考えられる。そのため本プロジェクトでは「集光機能材料」に着目している。この集光機能材料はレーザー光が照射されると、照射されている間だけその部分の屈折率が一時的に変化する。レーザーは空間的に強度分布（ガウス分布）が存在するため、この強度に応じてこの膜に屈折率の分布が形成される。その結果、レンズ効果が生じ、照射されたレーザーをさらに細く絞ることができる。これが記録膜の直上にあるため、光

は広がることなく記録膜に照射され、高記録密度化が達成される。従って、集光機能材料の屈折率変化量が大きいほど高い集光機能性が得られる。

本プロジェクトでは、このレーザー照射による可逆的屈折率変化を有する集光機能材料として、コバルト酸化物に着目した。本稿では本薄膜材料の屈折率変化特性について、平成13年度内に得られた実験結果のうち、学会、論文発表が完了している最先端のデータについてご紹介する。

2. 集光機能材料としてのコバルト酸化物—ガラス系薄膜

図2に、コバルト酸化物—ガラス系薄膜の透過型電子顕微鏡写真を示す。このように平均粒径約7.8 nm、標準偏差1.2 nmの非常に粒径分布の整ったナノ微粒子から構成されていることが分かる¹⁾。図3に、この薄膜に波長650 nmのレーザー光を照射した場合の屈折率変化の時間変化を示す。時刻0でレーザーパルスが立ち上がり始め、100ナノ秒間、強いレーザーがこの膜に照射される。レーザー強度が弱い場合には3.17であった屈折率が、レーザー強度上昇によって2.92と低下している²⁾。

図4に、コバルト酸化物薄膜のレーザー強度に対する屈折率の依存性を示す。レーザー波長650 nm（赤色）と405 nm（青色）の場合について示した。赤色レーザーでは図3に示したものと同様に屈折率は3.3から3.0まで低

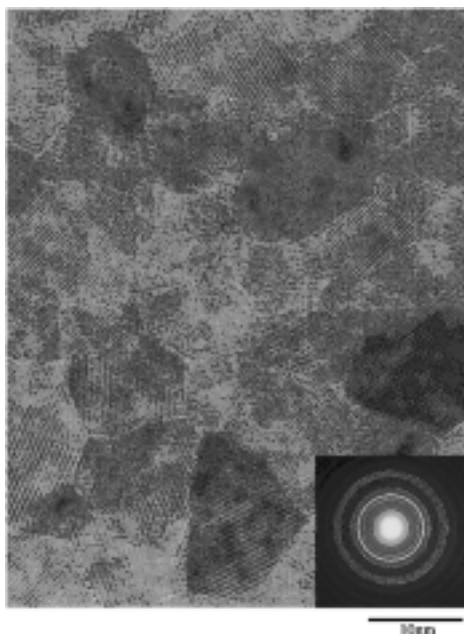


図2 コバルト酸化物-ガラス系薄膜の透過型電子顕微鏡写真

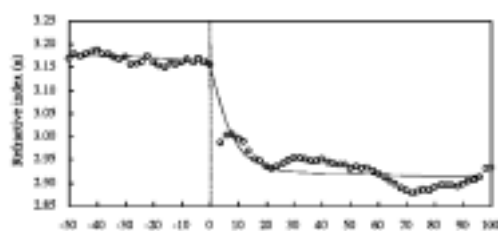


図3 コバルト酸化物-ガラス系薄膜の屈折率変化(時刻0からレーザーパルスが照射される)

下したが、青色レーザー照射時は屈折率が1.9から2.7に上昇した³⁾。このときの屈折率変化量は40%程度であり、この膜を光ディスクに搭載したときのレーザー集光による記録容量の増加分は約4倍程度と見積もられる。

図5に、この屈折率変化が見られるときの消衰係数(光の減衰を表す定数)を示す。このように消衰係数は屈折率とは異なり、いずれの波長においてもレーザー強度上昇に伴って低下する。

このような屈折率、消衰係数の変化は、コバ

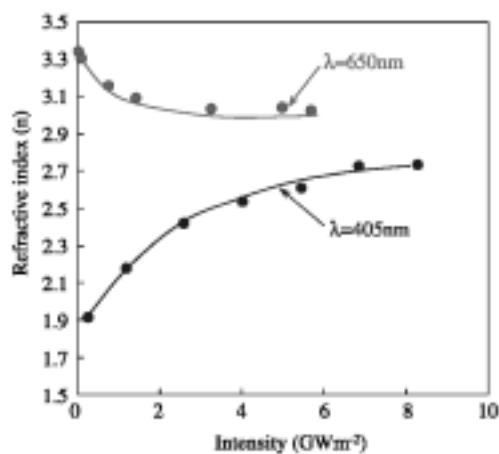


図4 コバルト酸化物系薄膜のレーザー屈折率のレーザー強度依存性

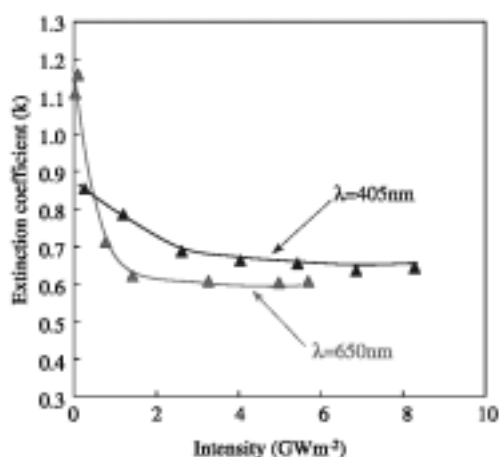


図5 コバルト酸化物系薄膜の消衰係数のレーザー強度依存性

ルト酸化物として代表的な正スピネル構造を有する Co_3O_4 でのみ見られ、もう一方の代表的なコバルト酸化物であるNaCl構造を有するCoOでは全く屈折率の変化が見られなかった。

このような大きな屈折率変化のメカニズムを究明するため、コバルト酸化物系薄膜のバンド構造を推定した。図6に Co_3O_4 薄膜とCoO薄膜の分光吸収曲線より算出した $h\nu - (ah\nu)^2$ プロットを示す。 Co_3O_4 は、正スピネル構造に起

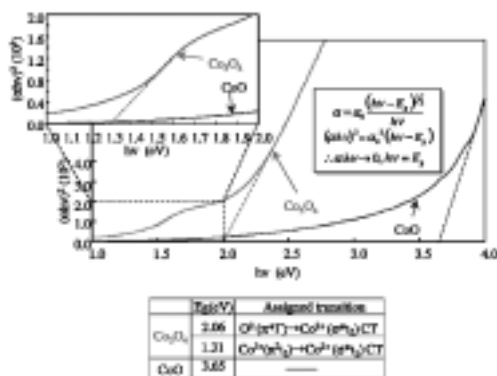


図6 コバルト酸化物系薄膜のバンドギャップ推定

因したいくつかのバンドギャップが見られ、2.0 eV と 1.3 eV にバンドギャップが観察された。この 2.0 eV のバンドギャップはスピネル中に存在する正四面体の A サイト内の O^{2-} イオンから Co^{2+} へのチャージトランスファーであり、1.3 eV のバンドギャップは Co^{3+} から Co^{2+} へのチャージトランスファーである⁴⁾。この 2.0 eV の遷移が波長 650 nm の光の持つエネルギーに近いため、このバンドが励起されることによってバンドフィリング効果⁵⁾が生じる。バンドフィリング効果では、光による電子励起のため励起中バンドギャップが広がる。このため吸収の波長依存性が全波長域でブルーシフトする。結果として吸収係数は全波長域で低下し、屈折率はバンドギャップ近傍では低下し、それより短波長側では上昇するという現象が見られる。

図 4, 5 に示した屈折率と消衰係数の変化の方向性から、この変化は上記のバンドフィリング効果の必要条件を満たしているので、メカニズムの一つとして考えられる。しかしながら、

励起状態である程度電子がトラップされる必要があることなど、実際に生じている現象を説明するためにはまだいくつかのデータ収集が必要である。

3. 今後の展開

以上、本年の大まかな実験結果について簡単に述べたが、平成 14 年度以降は、この屈折率変化のメカニズム究明をさらににつけていく。一方で、本薄膜を光ディスクに適用したときの大容量化の可能性についてさらに詳細に追求していく予定である。

謝 辞

本研究は、経済産業省のプロジェクトである「ナノガラス技術プロジェクト〈材料ナノテクノロジープログラム〉」の研究として、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) H. Yamamoto, S. Tanaka, T. Naito, K. Hidaka, K. Hirao. Phys. Rev. B (manuscript submitted for publication)
- 2) H. Yamamoto, et al. T. Naito and K. Hirao, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 703 V13. 20. 1 (2002)
- 3) 山本浩貴, 田中修平, 内藤孝, 平尾一之, 2002 年度第 49 回春季応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p. 638 (2002)
- 4) K. M. E. Miedzinska, B. R. Hollebone and J. G. Cook, J. Phys. Chem. Solids, 48 [7] 649-656 (1987)
- 5) S. Y. Auyang and P. A. Wolš, J. Opt. Soc. Am. B, 6 [4], 595-605 (1989)