

外94-2

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

高密度光記録材料に
関する研究

申 請 者

杉 山 泰 之

Yasuyuki Sugiyama

1994 年 4 月

光ファイバ通信は長距離伝送路を中心に導入され、現在では、10 Gbit/sの大容量の光伝送路が計画されるなど、伝送路のデジタル化・高速化が進んでいる。さらに、すべての家庭にまで光ファイバを引き込むFTTH (Fiber To The Home) や情報ハイウェイ構想に見られるように、B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) を実現するための、光加入者網を含めた大容量高速光通信網の整備に向け、材料から、デバイス、システム、ソフトウェアまで幅広い研究が各所で精力的に続けられている。

通信回線の大容量・高速化は、これまで通信の主役であった音声に加え、データや画像など多様な情報を取り扱うことを可能にし、マルチメディアやHDTV (High Definition TeleVision:ハイビジョン) 画像などと融合して、近い将来、情報処理の分野に変革をもたらすと考えられている。

このような情報処理分野の変革に対応して、記憶容量のより大きくかつ高速な記憶装置が必要とされている。これまでも、情報処理システムで蓄積すべき情報量が増大するにつれて、外部記憶装置の高速・大容量化が図られ、記録媒体は、磁気テープから、磁気ディスク、光ディスクと進化を遂げてきた。光ディスクに代表される光記録方式は、これらの記録媒体に対する高速・大容量化のニーズを満たすものとして期待され、実用化が進められてきた。これからも、高密度光記録技術に対する期待はさらに広がる状況にあると考えられる。

本論文は、将来の高密度・高速光記憶装置の需要に応えるべく、その基礎となる記録媒体について、ビットバイビット記録方式における、大容量高速光ディスクとして有望な相変化型光ディスクに関して、その記録材料から保護膜材料までディスクとしてのトータルな性能向上のための基本的な指針を明らかにすること、また、干渉性を利用した方式としてのホログラムメモリにおいて、特に新しい形態である単結晶ファイバ型のホログラムメモリ素子について材料的な観点からその実現性を明らかにすること、を主眼に研究を進めた結果についてまとめたものである。本論文は6章から成り立っており、各章を要約すると以下のようなになる。

第1章は序論であり、高密度光記録方式の分類と研究の歴史的経緯を述べ、本研究の位置づけを明らかにする。また、本論文の目的と構成を述べる。

第2章では、相変化型光ディスクにおける、記録膜の高速消去性、長寿命性の両立を図るための材料的指針を得ることを目的に、In-Te合金系(融点が高く、二つの化合物組成間に共晶点を持つため、高速結晶化・非晶質安定性に優れると考えられる)をとりあげ、その基礎特性と結晶化過程について詳細に検討した。

①作製したInTe膜(In₄₀Te₆₀~In₅₀Te₅₀)の結晶化温度は200℃以上と充分高く、光記録膜として非晶質安定性に優れていることを明らかにした。

②結晶化の活性化エネルギー(E_a)・頻度因子(ν_0)は検討した組成範囲内でそれぞれ、2 eV以上、 10^{20} 以上と大きな値を示した。特に、InTe、

In₂Te₃の2つの化合物組成より2%ほど共晶点側にずれた組成で最大値をとる傾向があった。しかしながら、レーザー照射による結晶化速度はこの活性化エネルギーや、頻度因子が最大になる領域で速くならなかった。

③DSC(Differential Scanning Calorimetry)の等温アニーリング法で求めた結晶化の反応次数 n は、膜の組成に大きく依存した。特に、共晶点近傍組成領域の外側では、結晶化の核形成の前段に潜伏時間が存在することを見いだした。

④X線回折から同定した析出結晶形態から推定される結晶化過程は、反応次数 n から推定される結晶化過程に一致することを確認した。

以上の結果から、結晶化の核形成の前段に潜伏時間が存在するような場合には、従来から有効とされてきた E_a 、 ν_0 が必ずしも高速結晶化の指針とならない場合があることを示すとともに、反応次数 n の評価が相変化型記録膜の開発における材料指針として有効であることを明らかにした。

第3章では、良質な誘電体膜を制御性良く高速で堆積できることに着目して、新たに電子サイクロトロンプラズマCVD(electron cyclotron resonance plasma chemical vapor deposition: ECR PCVD)法を、記録感度・繰り返し特性などのディスク特性に大きく影響を与える保護膜の作製に適用することを提案し、ECR PCVDで作製したa-SiC:H膜及びa-SiN:H膜の基本的保護膜物性とそれらを用いた相変化型光ディスクのディスク特性の関係について詳細に検討した。

①a-SiC、a-SiN膜中に水素が含まれることを積極的に利用し、保護膜の熱伝導率の制御を行い、記録感度の大幅な向上を実現した。膜質を吟味したa-SiN:H膜を保護膜として用いたディスクではディスク線速30 m/sの高速でも20 mW以下のパワーで記録することが可能になった。

②a-SiN:H膜を用いた高感度光ディスクでは、総じて $10^5 \sim 10^6$ 回の繰り返し耐久性を示した。さらに、ディスク線速20 m/sの高速でも 10^6 回の耐久性を示すことを確認した。

③相変化型光ディスクの光学的なディスク構造最適化の手法として、多層膜の反射率計算に応用されるマトリックス法が適用可能であることを確認した。また、実際のディスク構成では、十分な「記録膜の吸収量」と「結晶-非晶質間の反射率変化」を得るための保護膜厚のマージンは比較的狭いことがわかった。

④ヘッドを媒体表面に近接させて記録・消去・再生を行う、浮上型光集積ヘッドに対応する相変化型媒体の保護膜として、ECR PCVDで作製したa-SiN:H保護膜が有望であることを確認した。特に表面性状の優れた引っ張り応力膜を用いることにより、スライダーの浮上・静止試験で、従来のスパッタ法で作製した保護膜では得られなかった、 10^4 回という抜群の耐久性を達成した。

以上の結果から、将来の高速・大容量相変化型光ディスクに適用可能な、高感度・高繰り返し特性を合わせ持つ媒体を初めて実現するとともに、ECR

PCVD法を光ディスク保護膜作製プロセスへ適用することの有効性を示した。

第4章では、記録感度が高くホログラムメモリ素子として有望なCeをドープしたSBN:60($\text{Sr}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{Nb}_2\text{O}_6$)単結晶について、レーザ溶融ペデスタル法を用いた単結晶ファイバ化とその基本的なホログラムメモリ素子特性について検討した。

- ①CZ(Czochralski)法によるバルクSBN:60単結晶の成長では困難であったa-軸方位での結晶成長が、レーザ溶融ペデスタル法を用いた単結晶ファイバの育成では、安定に成長可能であることがわかった。
- ②フォトリフラクティブ効果の原理に基づいて、結晶方位、結晶に誘起される電界の方向、及び入射偏波面の関係を検討し、SBN:60単結晶においては、成長軸がa-軸の単結晶ファイバの方が、従来のc-軸のものに比べて原理的に高感度(ファイバ材料としてのFigure of merit が大きい)であることを示した。また、a-軸、c-軸両単結晶ファイバへのホログラム記録実験において、a-軸単結晶ファイバがc-軸ファイバより高感度であることを確認した。
- ③ホログラム再生時における消去特性、角度分解能、画像記録特性を測定し、a-軸 Ce:SBN:60単結晶ファイバの基本的特性を明らかにした。
- ④外部電界を印加することで、ホログラムの記録感度、回折効率及び、2光波混合時の増幅係数、応答速度が向上することを確認した。

以上の結果から、a-軸 Ce:SBN:60単結晶ファイバが、従来のc-軸ファイバに比べて高感度なフォトリフラクティブ単結晶ファイバであることを示した。

第5章では、レーザ溶融ペデスタル法に 1. アフターヒータの付加、 2. 外気雰囲気制御、 3. 引き上げ速度の低速化、などの改良を加えるとともに、溶融部形状などの他の作製条件を変化させ、結晶成長時の固液界面、温度勾配を制御することにより、a-軸Ce:SBN:60単結晶ファイバの結晶品質の改善を検討した。

- ①作製条件を変えることにより、モロフォロジーの異なる3種類の単結晶ファイバ([010]方向にファセットを持つもの:facet、[010]方向にリッジを持つもの:ridge、[001]方向にリッジを持つもの:horn)が成長することを見いだした。
- ②作製条件と結晶品質の関係、各モロフォロジーファイバの特性を総合的に検討し、ridgeモロフォロジーにおいては、700 μm の太径でもコア領域のない、均質な単結晶ファイバが育成できることを示した。
- ③a-軸Ce:SBN:60単結晶ファイバの組成評価の結果から、facet、horn 両モロフォロジーのファイバにおいて、光学顕微鏡で見られたコア欠陥の場所では、Sr/Ba組成比が異なっていることを突き止めた。
- ④ホログラム記録特性については、コアのないridgeモロフォロジーファイバにおいて、記録画像の再生品質が従来に比べ大幅に向上することを確認した。

以上の結果から、ホログラムメモリ素子としてa-軸Ce:SBN:60単結晶ファイバが適用できることを明らかにした。

第6章では、以上の章の結論として、本研究で得られた結果の要点をまとめた。