

フォトリフラクティブ結晶を用いた 揮発性ホログラムの全光学的非破壊再生手法

学位論文内容の要旨

CD, DVDなどに代表される光記録は, 光源の短波長化, 対物レンズの高NA化による集光スポット径の縮小などによって大容量化, 高速化が急速に進展し, 近年では次世代DVDと称される青色半導体レーザーを用いた光ディスクメモリが発表され, これにおいて20GB以上の大容量と100Mbpsを超えるデータ転送速度が報告されている. そして記録密度を向上させる将来技術として, 多値記録や多層記録, さらに回折限界を打破する近接場記録などの研究が行われている.

その将来技術の1つとして提案されてきたホログラフィックメモリは, 2次元イメージのダイレクトな記録・再生, 記録媒体の奥行き方向を利用した多重記録が可能である. そのため, 従来の光メモリと比較して更なる大容量化, 高速化が期待されているが, 従来のホログラフィックメモリは基本的に書き換えができないROMタイプのもが多い. これに対し, 近年注目されているフォトリフラクティブ材料を用いたホログラフィックメモリ(フォトリフラクティブメモリ)は, 全光学的な操作によるデータの書換えが可能であり, さらに結晶の同一箇所にもホログラムを多重記録することが可能で, 角度多重方式, 波長多重方式, 位相コード多重方式, 球面参照光シフト多重方式等の様々な多重方式により高記録密度が達成される. しかしながら, フォトリフラクティブ結晶内に誘起されるホログラムは揮発性であり, 低強度の光のみでデータの書換えが可能であるということは, 記録されたデータが読出し用の光によって消去されてしまう(破壊読出し)という欠点をフォトリフラクティブメモリが併せ持つことを意味している. 電界や熱によるホログラムの定着技術も提案されているが, これではリアルタイム処理は困難であり, 定着用電子回路が必要となるためメモリシステム全体が複雑になってしまう. また最近では, 2色記録手法を用いたフォトリフラクティブメモリが注目されており, 光のみによるホログラムの非破壊再生を実現しているが, これには記録・再生に用いる光とは波長の異なる励起光を必要とし, また, LiNbO_3 結晶や LiTaO_3 結晶など, 電子の中間励起準位が存在する特定の無機フォトリフラクティブ材料を記録媒質として用いた場合にしか適用できない.

そこで本論文では, 読出し光とホログラムからの回折光との相互作用による再書込み効果に着目し, これをホログラムの維持に利用した再生手法を新たに提案した. 本手法と同様に, 読出し中に再生データのコピーを記録媒体にフィードバックし, 記録データと同一のデータを再書込みすることによって, 記録されたホログラムを全光学的に維持する手法は, 以前から盛んに研究されており, 様々な光学系が提案されている. この手法は, 記録媒質として無機フォトリフラクティブ材料だけでなく, 最近では高性能化が進んでいる有機フォトリフラクティブ材料を用いた場合にも適用可能である. しかし, これまでに提案された手法において, ホログラムの再書込みは, 参照光の透過光と記録情報を有

した回折光をフィードバックすることによって行われるため、2つの光フィードバック回路が必要であった。本手法は、参照光とそのホログラムからの回折光によって生じる再書込み効果を用いることによって、1つの光フィードバック回路でホログラムを効果的に維持することが可能である。本手法において、フォトリフラクティブ結晶内にホログラムとして記録されたデータは、通常フォトリフラクティブメモリと同様に、読出し光の入射によって再生される。このときに発生するホログラムからの回折光と読出し光によって光波の伝搬方向に元のホログラムと同一の情報を有するホログラムの再書込みが行われる。しかし一方で、先に述べた光の露光によるホログラムの消去効果の方が大きいいため、ホログラムは時間の経過にしたがって消失してしまう。そこで再生時に、読出し光が入射される結晶端面とは反対側の結晶端面からホログラムの位相整合条件を満たすような光波を同時に入射すると、この光波とその回折光による再書込みが読出し光の入射による再書込み方向とは反対方向に生じる。この2つの再書込みを適切な条件で組み合わせることによって、再生時には常に元のホログラムの再書込みが行われる状態となる。したがって、一波長かつ低出力のレーザー光のみで、本来揮発性であるホログラムを定着なしで全光学的に維持することが可能となる。

以下に本論文の概要を示す。

第1章では、本論文の背景、目的及び構成について述べた。

第2章では、これまでに提案されている代表的な揮発性ホログラムの維持手法について説明し、本手法との違いを明確にした。

第3章では、本手法において重要な鍵となるホログラムの再書込み効果とこれを利用した揮発性ホログラムの維持技術の原理について、いくつかの入射条件下でのフォトリフラクティブ結晶内におけるホログラム強度分布の時間特性解析を交えて説明した。次に、本手法を用いてホログラムの維持を行うためには、フィードバック回路のフィードバック率に対してある値以上のフォトリフラクティブ結晶の結合強度が要求されるため、この結合強度のしきい値を数値計算によって明らかにした。また、高反射率のビームスプリッタで構成される光フィードバック回路を用いたフォトリフラクティブメモリの実験を行い、再生時の出力光の時間応答特性を測定することによって、本手法において全光学的なホログラム維持が実現されることを示した。

第4章では、フィードバック光の位相補正を目的として、自己励起型位相共役鏡による光フィードバックを用いた揮発性ホログラムの維持手法を提案した。位相共役鏡によって生成されるフィードバック光を用いることによって、ビームスプリッタの反射面の精度やフィードバック光の伝搬路中での回折などの影響による記録情報の劣化が抑制され、高品質な画像の記録・再生が可能となることを実験により検証した。

第5章では、位相共役鏡として相互励起型位相共役鏡を用いた揮発性ホログラムの維持手法を新たに提案した。相互励起型位相共役鏡は相互励起型位相共役鏡は、互いにインコヒーレントな2本の光波をフォトリフラクティブ結晶に入射することで、一方の光波を他方の位相共役光として回折することが可能であり、簡便に生成できる位相共役鏡として知られている。また、相互励起型位相共役鏡は2本の入射光波の強度比を調整することによって、位相共役反射率の制御が可能であり、位相共役光の生成に対して強度しきい値を有する。したがって、相互励起型位相共役鏡を本手法に組み込むことによって、ホログラムからの回折光に対してしきい値処理を行うことができるため、データの暗部にノイズが混入し誤って再書込みされるのを防ぐことができる。はじめに、相互励起型位相共役鏡と自己励起型位相共役鏡の位相共役反射率を測定することによって、相互励起型位相共役鏡をフィードバック生成器として用いた場合に生じる効果について考察した。次に本手法を用いたフォトリフラクティ

ブメモリにおける画像再生実験を行い、相互励起型位相共役鏡による光フィードバックを用いることによって、ノイズの少ない出力画像を長時間再生できることを示した。

第6章では、本研究で得られた成果の総括を行った。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 島 瑛 人
副 査 教 授 小 柴 正 則
副 査 教 授 山 本 強
副 査 助 教 授 岡 本 淳

学 位 論 文 題 名

フトリフラクティブ結晶を用いた 揮発性ホログラムの全光学的非破壊再生手法

光記録の分野において、ホログラフィックメモリは、2次元イメージのダイレクトな記録・再生、記録媒体の奥行き方向を利用した多重記録が可能であるため、従来の光メモリと比較して更なる大容量化、高速化が期待されている。従来のホログラフィックメモリは書換えができないタイプがほとんどであるが、近年注目されているフトリフラクティブ材料を用いたホログラフィックメモリ（フトリフラクティブメモリ）は、全光学的な操作によるデータの書換えが可能であり、さらに結晶の同一箇所にもホログラムを多重記録することにより高記録密度が達成される。しかしながら、フトリフラクティブ結晶内に誘起されるホログラムは揮発性であり、光のみでデータの書換えが可能であるということは、記録されたデータが読出し用の光によって消去されてしまう（破壊読出し）という欠点をフトリフラクティブメモリが併せ持つことを意味している。電界や熱によるホログラムの定着技術も提案されているが、これではリアルタイム処理は困難であり、定着用電子回路が必要となるためメモリシステム全体が複雑になってしまう。また最近では、2色記録手法を用いたフトリフラクティブメモリが注目されており、光のみによるホログラムの非破壊再生を実現しているが、これには記録・再生に用いる光とは波長の異なる励起光を必要とし、また、電子の中間励起準位が存在する特定の無機フトリフラクティブ材料を記録媒質として用いた場合にしか適用できない。

そのような状況下で、本論文では、読出し光とホログラムからの回折光との相互作用による再書込み効果に着目し、これをホログラムの維持に利用した再生手法を新たに提案している。ホログラムの維持に適した光波の入射強度及び結合強度などの諸条件について、理論解析及び実験による詳細な検討を行った結果をまとめている。

以下に本論文の概要を示す。

第1章では、本論文の背景、目的及び構成について述べている。

第2章では、これまでに提案されている代表的な揮発性ホログラムの維持手法につい

て説明し、本手法との違いを明確にしている。

第3章では、本手法において重要な鍵となるホログラムの再書き込み効果とこれを利用した揮発性ホログラムの維持技術の原理について、いくつかの入射条件下でのフォトリフラクティブ結晶内におけるホログラム強度分布の時間特性解析を交えて説明し、読出し光とフィードバック光の同時入射が、ホログラムの維持に大きく寄与することを示している。また、高反射率のビームスプリッタで構成される光フィードバック回路を用いたフォトリフラクティブメモリについて記録・再生実験を行い、再生時における出力光の時間応答特性を測定することによって、本手法を用いてホログラムの再生劣化が抑制されることを示している。

第4章では、フィードバック光の位相補正を目的として、自己励起型位相共役鏡による光フィードバックを用いた揮発性ホログラムの維持手法を提案している。位相共役鏡によって生成されるフィードバック光を用いることによって、ビームスプリッタの反射面の精度やフィードバック光の伝搬路中での回折などの影響による記録情報の劣化が抑制され、高品質な画像の記録・再生が可能となることを実験により検証している。

第5章では、位相共役鏡として相互励起型位相共役鏡 (MPPCM) を用いた揮発性ホログラムの維持手法を新たに提案している。様々なタイプが提案されている MPPCM の中で、最も基本的な配置の2重位相共役鏡における結合強度しきい値と位相共役反射率を計算し、MPPCM が位相共役光の発生に対して強度しきい値を持ち、2本の入射強度比で決まるその反射率は、条件によっては1以上を達成できることを示している。次に、本手法を用いたフォトリフラクティブメモリにおける出力光の時間応答解析を行い、比較的大きな結合係数を有する記録用結晶を用いることによって非破壊再生が達成できることと、MPPCM の強度しきい値を用いることによって、グレースケール画像の2値化が可能であることを明らかにしている。また、画像再生実験では、MPPCM による光フィードバックを用いることによって、ノイズの少ない出力画像を長時間再生できることを示している。

第6章では、本研究で得られた成果の総括を行っている。

これを要するに、著者は、フォトリフラクティブ結晶中に記録されたホログラムを1つの光フィードバック回路を用いて全光学的に維持する手法を提案し、揮発性ホログラムの全光学的非破壊再生に関する有益な知見を得ている。本研究の成果は、光情報通信工学の分野に大きく貢献するものと考えられる。

よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。