

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 超高速ペタバイト情報ストレージ

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

研究代表者

井上 光輝 (豊橋技術科学大学 研究専任教授)

主たる共同研究者

堀米 秀嘉 (株)オプトウエア 取締役 CTO)

田中 善嘉 (メモリーテック(株) 技術開発部長 (平成 14 年 4 月～))

3. 研究内容及び成果:

3.1 研究課題全体の内容及び成果

本研究は、光ディスク技術とホログラムメモリとの融合によって、究極的には 1 PB(ペタバイト)の記憶容量と、10 Gbps(ギガビット/秒)のデータ転送レートを同時に具備する「超高速ペタバイト情報ストレージ」の基礎的研究開発を行ったものである。このための基本メモリとして、1 TB(テラバイト)/ディスクの容量と 1 Gbps のデータ転送レートをもつホログラム光ディスクメモリを開発し、これをジュークボックス技術と連携させることで究極的なペタバイト情報ストレージを実現する方策を採った。

ホログラム光ディスクメモリと言っても、回転する光ディスクにホログラムの記録再生を実用レベルで実現した例は国内外にない。我々はコリニアホログラフィーという光ディスク技術との整合性が極めてよい手法を用いて、装置の小型化さえも見据えた装置開発を行った。そこでは、高密度記録を支える新しいフォトポリマ材料の開発や、高速データ転送を達成するに不可欠な空間光変調デバイスなどのキーコンポーネントの開発を材料レベルから実施した。

本研究は、開始当初は米国スタンフォード大学との共同研究によって光学系評価や信号処理法などについて基礎的検討を行い、その後、産学官の強い連携によりプロジェクト目標の達成を図った。ホログラムメモリ装置開発は主に株式会社オプトウエアが担当し、記録メディア開発は主にメモリーテック株式会社が担当した。またプロジェクト協力企業として、共栄社化学株式会社にはフォトポリマ記録材料そのものの開発をお願いし、FDK株式会社には豊橋技術科学大学で開発した磁気光学式空間光変調デバイスの実用化を担当していただいた。更に、船井電気株式会社には、FDK 株式会社とも共同してユニバーサルな利用が可能なコリニアホログラム光ディスクメモリの構築を協力していただいた。

サブテーマごとの成果は後述するが、1ピクセルあたり 10 ns 以下の速度で駆動可能な世界最高速度を有する固体空間光変調器(磁気光学式空間光変調器:MOSLM)と、ナノスケールで反応場を制御したナノゲル構造をもつ新しいフォトポリマ材料、並びにこれらと連携させたコリニア方式ホログラムメモリ装置を開発し、連続回転するホログラム光ディスクにホログラムの記録再生に世界で初めて成功した。現時点で容量は密度換算で約 200 GB/disc のユーザエリア記録再生が、約 120 Mbps の転送レートで達成した。

3.2 サブテーマごとの内容及び成果

(1) 基本ハードウェア (豊橋技科大、FDK(株))

コリニアホログラフィーはホログラムの記録再生いずれも空間光変調器を利用することから、高いデータ転送レートを得るには高速型の空間光変調器が不可欠である。我々は磁性体中の磁化の反転スピードが極めて速いことに着目し、磁気光学効果を利用する新しい空間光変調器 MOSLM を開発した。最終的に 1 ピクセルあたり

10 ns オーダのスイッチング速度を有する MOSLM を得た。この値は固体空間光変調器としては世界最高速度といえる。このデバイスは FDK(株)の協力を得て(JST 委託開発)、128×128 ピクセルを有するデバイスへと実用化した。更に、電圧で磁化方位を制御するマルチフェロイック MOSLM の原理試作に成功した。このデバイスも、NEDO 事業との連携により FDK(株)で実用化のための研究開発が行われている。

#### (2)ホログラムメモリドライブ (株)オプトウエア、豊橋技科大)

コリニアホログラフィーに基づくドライブのプロトタイプ装置として、HVD(Holographic Versatile Disc)システムを構築した。このドライブ装置は、反射型ホログラム光ディスクをフォーカス・トラッキングサーボ機構により制御することで、連続回転する光ディスクにホログラムの記録再生を行うものである。ホログラムの記録再生は緑色レーザ光を用い、ディスク制御には赤色レーザ光を用いた。この装置を用い、回転する光ディスクに密度換算で約 200GB/disc のユーザエリア記録再生が、約 120 Mbps の転送レートで達成され、世界で初めて連続回転する光ディスクへのホログラム記録再生に成功した。更に、微小光学系の導入と高速信号処理系を導入することで、1 TB/disc、転送レート 1 Gbps の性能が得られることを期待している。これらの成果を踏まえ、コリニアホログラフィーの国際標準化も推進している。

#### (3)記録材料、ホログラム光ディスクメディア(メモリーテック(株)、共栄社化学(株))

ナノスケールで反応場を制御したナノゲル構造を有するフッ素系フォトポリマ記録材料を世界で初めて開発した。収縮性の感光性モノマーと膨張性ナノゲル、膨張性トリガーとをうまく組み合わせることで、収縮率の低減をねらった材料である。感度 8 cm/mJ, M/# > 13 (400 μm 厚)、収縮率 0.05 %をもつフォトポリマ材料を得た。上述したコリニアホログラフィーにより 130 個のページデータを記録再生したところ、BER < 5%, SNR > 1.7 以上の良好なコリニアホログラムの記録再生に成功した。また 20,000 回のページデータ再生時の BER は 1.43 %以下であり、優れた再生耐久性を有していることが分かった。

#### (4)その他の成果

CREST プロジェクトの成果を踏まえ、コリニアホログラムメモリの実用化を推進する先端フォトニック情報メモリリサーチセンターを豊橋技科大内に設立した。産学官連携でホログラムメモリの実用化と、次世代コリニアホログラムメモリとして超光情報メモリの基礎開発を実施している(文部科学省キーテクノロジー事業)。

### 4. 事後評価結果

#### 4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

外部発表は論文誌 112 件、国際会議 162 件で十分に行われ、Journal of Applied Physics、IEEE Transaction on Magnetics など引用率の高い国際学会誌への採録論文も多い。研究成果を国際的に大きく PR できたと言える。招待講演も国際会議 35 件国内会議 17 件と多く影響は大きい。

特許の出願件数については 52 件が多いが、キーパーツの空間変調素子は CREST の成果として特許が得られているが、他のほとんどが装置に関連するもので、(株)オプトウエアの単独出願である。特許の取り易さ、侵害発見の容易さなどから妥当ではあるが、他のキー技術である媒体関係の出願が少ない。

この研究は、従来、実現が不可能であった回転ディスクによるホログラム記憶を実現した。更に、企業との共同研究により実用化が見える所までシステム化をおこなった。従って、基礎フェーズは終了し、これから開発フェーズに入る段階にあり、十分研究成果は出たとと言える。

具体的には、コリニア方式による回転型光ディスクへの高密度記録・再生、空間変調素子、伸縮の少ないフッ素系フォトポリマ材料とディスク化、小型記録・再生光学系、データの変調・復調方式を含む信号再生方式などを開発し、システムとして、コリニア方式によるホログラムメモリ実現の可能性が示された。

#### 4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

当初の目的であった1TB、1Gbpsのプロトタイプの完成には至っていないが、方式的にはその見通しは立っており、妥当な成果が出ている。従来、ホログラムの記録は停止状態でかつ2高速光学系が必要とされ、コンパクトで扱いが簡単な民生用への展開は見えなかった。しかし、今回、コリニア方式を用い、連続回転する光ディスクでホログラムの記録と再生を実証したことは、科学的・技術的にも大きなインパクトがあったといえる。これによって、DVDの先となるデバイスの可能性が示され、世界の技術方向を作ったという意味が大きい。この実現は、世界に誇れる成果である。

今後は、実用化と、更なる高性能化である。広く使われるためには未だ実用化のさまざまな研究が必要ではあるが、密度の向上、速度の向上、他分野への応用など、未だ展開の余地があり、この分野の発展が期待できる。

#### 4-3. その他の特記事項(受賞歴など)

途中、研究が行き詰ったことがある。密度が上がらず、方式としての限界を議論し、別案として複雑な方式の採用を検討し始めた時期があった。しかし、アドバイザーの意見を入れて元の方式の詰めに戻りバリアを超えた。その後は順調で、研究代表者の指導性、デバイス企業の精密機構技術、メディア企業の工夫が相まって、ホログラム記憶が実現できた。これらはいずれも不可欠の要素であり、体制は適切であったといえよう。

提案しているコリニア方式は、諸外国での追試研究を生むとともに、国際標準化(ECMA)に向けて進んでいる。また、次世代コリニアホログラムメモリ開発として、文部科学省のキーテクノロジー開発事業が始まっており、研究代表者の大学では、この実用化研究のために、リサーチセンターを設置し、企業間のコンソーシアムが作られている。

一方、本研究成果はメモリだけに限られるものではないので、表示・ディスプレイなどを含め、もっと幅広い応用への展開を考える余地がある。