

ISOM2007 速報

石本 努 (ソニー株式会社)

会議名 : International Symposium on Optical Memory 2007

開催期間 : 2007年10月21日-25日

開催場所 : Pan Pacific Hotel (シンガポール, Singapore)

*****要 約*****

2007年10月21日から25日にシンガポールにて、International Symposium on Optical Memory 2007が開催された。13ヶ国から合計285名の参加があり、光メモリ技術についての活発な議論が行われた。技術発表は、Media : 1、Basic Theory & New World : 1、High Density Recording : 3、Drive Technologies : 1、及び特別セッションである Hybrid Recording の5分野にわたってなされ、合計140件 (Invited : 14件、Contributions : 39件、Poster : 87件) であった。発表トピックスとしては、「ホログラム」が一番多く、続いて、「ニアフィールド」、「超解像」、「体積、多層、多値」等であった。また、会期中、シンガポールの Data Storage Institute(DSI)の15周年記念パーティー、及び、最終日には DSI の技術見学ツアーが開催された。本稿では、各発表に対して、主だったトピックに対して、印象に残った発表ポイントを報告する。

1. はじめに

今回の International Symposium on Optical Memory (ISOM)は、前回の四国・高松での国内開催からシンガポールでの海外開催であった。今回は海外開催にもかかわらず、日本、韓国、台湾、シンガポールといったアジア諸国を中心に、285人の参加者が世界13ヶ国から集まり、活発な議論が行われた。会期は、10月21日から25日の計5日間で、初日はショートコースと呼ばれる技術講義が開催された。本年度は、3次元記録とコンポーネント (光ピックアップ) 技術の2件に関して行われた。続く本会議では、全140件の技術発表がなされた。内訳は、Invited : 14件 (Keynote : 1件、Excellent paper : 13件)、Contributions : 39件 (内 Post dead line paper : 4件)、Poster : 87件 (内 Post dead line paper : 21件) であり、これらの発表は5つのセッションに分けられ、4日間にわたって発表された。セッションの内訳は、Media : 1、Basic Theory & New World : 1、High Density Recording : 3、Drive Technologies : 1、及び特別セッションである Hybrid Recording であった。また、発表をトピック的に分類すると、Holographic : 38、Near Field : 16、Super Resolution : 16、Media : 16、Volumetric, Multi-layer & Level : 9、Drive : 8、Hybrid : 8、Coding : 5、Mastering : 4、Others : 19 (Keynote を除く)であった。高密度化手法のトピックスとしては、「ホログラム」の発表件数が圧倒的に多く、続いて「ニアフィールド」、「超解像」、「体積、多層、多値」のような状況であった。また、これらと並んで、メディア、主に相変化膜を改善することによる高速記録、高密度化の発表が多く見られた。

この他、主催国のシンガポールの中心研究機関である Data Storage Institute (DSI)が、本年度が15周年の節目ということで、会期中に DSI 主催のパーティーが参加数700人以上を集めて盛大に行われた。また、会期後には、DSI への技術見学ツアーが開催され、こちらもバスを2台チャーターして、多くの研究者、技

術者が DSI を訪問し、DSI の研究設備、研究成果の見学を行った。

本稿では、以下、各トピックでの発表に対して印象に残った発表ポイントを報告する。以下、[番号]は、ISOM2007 での発表番号である。

2. 発表トピックス

2.1 ホログラム

本会議においてもホログラムは、オーラル、ポスターの両方において多数の発表がなされた。ビット記録方式としては、ソニーからマイクロフレクタ記録の進捗が報告された[Mo-D-01]。発表では、1.2GByte×10層、合計 12GByte の記録結果（線速度 0.16m/s）が示され、本方式による多層化の進捗結果が報告された。また、2T シングルキャリア記録ながら 3Mbps での記録結果（線速度 2.44m/s）、及び 3GByte（単層）の記録結果も報告され、高密度化、高転送レート化に向けた進捗を報告した。

一方、ページ記録としては、ソニーからコリニア方式ホログラムの進捗が連続 4 件[Mo-D-02～5]の発表があり、続く TDK からも同社のシステムを用いて評価したホログラム材料の発表があった[Mo-D-06]。発表では、NA を前回の ISOM での 0.65 から 0.85 まで高め、また各ページの記憶容量を上げることで、シンボルエラーレートが 10^{-2} の閾値で 150Gbit/in²、 10^{-1} の閾値で 270Gbit/in² を達成した結果を報告した[Mo-D-03]。また、再生信号に光学的な DC オフセットを重畳することで SNR を改善する手法[Mo-D-02]、再生ピクセルに同期した 2 次元クロックによりリサンプリングによる再生イメージの SNR を改善する手法[Mo-D-04]等を報告した。

また、米 InPhase から小型ホログラム ROM 装置の発表[Th-PP-01]、及び会場前での展示デモが行われた。青色レーザーを用いた ROM システムで、42×35mm のカードサイズで 4GByte との発表であった。この他、展示では、ROM ドライブの実機デモ、及び、従来から公表している記録ドライブの展示も行っており、会議の休憩時間に参加者らが熱心に見入っていた。

ビクターからは、コリニア方式に代表される反射膜を用いたホログラムメディアにおいて、相変化膜を反射膜として用いたメディアの発表があった[Th-K-03]。発表では、反射膜をアルミニウムから相変化膜にすることで反射膜からのゴーストノイズを抑制し、その結果、M ナンバーを 522 から 1044 に増大でき、また最大多重度のときの SNR も 1.77dB から 2.82dB に改善できることを示した。

北大からは、昨年の ISOM での発表からの進捗として、ホログラム ROM のコピー技術について報告した[Th-K-08]。発表では、コピー速度を従来の 10 倍以上に高速化し、また、回折効率を 4 倍以上に改善したとのことであった。

韓国 LG 電子からは、角度多重方式のホログラムシステムにおいて、回転軸、スライド軸の 2 軸のステップモーターを用いてミラー面を可動させるシステムを示し、小型ホログラム装置を発表した[Th-K-01]。

日本女子大からは、ホログラムディスクを用いた顔認識システムの発表があった[We-J-P09]。多重間隔 10 μ m、300rpm で 25 μ sec の演算時間、及び、2,400rpm で 240×320 ピクセルの情報を多重間隔 10 μ m で記録（100Gbps 相当）を実現したとの報告があった。検索システムの応用を想定しており、光情報処理の一例として興味深かった。

この他、ページ間のクロストークを評価する手法[Th-K-06]、変復調手法[We-J-02]、[We-J-12] [We-J-P15]、[Th-K-04]、ホログラム情報の SNR の改善手法[We-J-08]、ページ間クロストークの改善手法[We-J-11]などの発表があった。

以上、ホログラム関連では、従来の容量、転送レートの改善の発表よりも、ホログラム信号品質の改善、装置の工夫、メディアの工夫などの発表が目立った印象であった。

2.2 ニアフィールド

昨年度までニアフィールド関連の発表していた蘭 Philips が光ディスク開発を縮小したことに伴い、蘭 Philips からの発表はなかった。その代わりに、韓国勢の開発が非常に活発化してきた。

ソニーからは、チルトサーボ技術を中心としたニアフィールド向けのサーボ技術、チルトエラー信号を応用したギャップサーボ方式の発表[Tu-E-02]、及び、偏芯を改善するメカ機構の発表[We-J-P04]があった。

パイオニアからは、電子ビーム露光装置 (EBR) でマスタリングしたスタンパによるポリカーボネイト基板による 50GByte、75GByte、100GByte のディスクをパルステック製のニアフィールドテスターにて評価した結果を報告した[We-J-P11]。ジッターは、それぞれ 6.7%、9.5%、13.8%とのことであった。また、当日は、PTM マスタリングによる 100Gbyte 相当のピット写真、及び EBR マスタリングによる 200Gbyte 相当のピット写真を発表していた。なお、EBR については、従来のビームエネルギーが 50 keV であるシステムの改善に加えて、新規に 100keV まで上げたシステムが同社から報告された[We-H-07]。50 keV システムではグループピッチ 58.5nm まで可能であり、100keV システムでは 12nm 幅のグループが可能であるとの結果が発表された。

韓国 LG 電子からは 4 件の発表があった。まず、多層化に向けた球面収差補正用液晶板の発表があった[Tu-F-03]。トップコート付きニアフィールド 4 層向けの補正板でシチズン製とのことであった。また、トップコート付きメディア向けのソリッドイマージョンレンズ (SIL) による記録結果について発表があった[Tu-G-06]。

NA=1.65m、 $\lambda=405\text{nm}$ のシステムにおいて、Blu-rayディスクに屈折率 1.62、厚さ 3 μm のトップコートをつけたメディアに記録再生した結果を示していた。線速度 4.7m/sでの 25GByte相当の記録後のアイパターンを報告し、イコライザ前でジッター15.9%、イコライザ後で 12%とのことであった。また、線速度 3.92m/sでのオーバーライト結果も報告し、9 回オーバーライト後のジッターで 13.9%とのことであった。加えて、トップコートについて報告もあった[We-I-P03]。厚さ 3 μm のナノコンポジット上に 0.6 μm の誘電体膜をコートすることで、スクラッチ強度が 0.23GPから 0.38GPに改善し、その結果、SILの衝突時のキズを防止した結果を報告していた。表面性も $R_{\text{max}}=9.5\text{nm}$ 、 $R_{\text{rms}}=1.2\text{nm}$ とのこと、ギャップサーボも可能とのことである。この他、SILとディスク間の熱影響の考察結果の発表[We-J-13]もあった。

韓国サムソンからは、ニアフィールドによる超解像再生の報告があった[Tu-G-05]。再生限界ピット長 55nm に対して、NA=1.84 のニアフィールド系による超解像により再生限界以下のピット長 37.5nm を 33dB 以上で再生した結果を報告した。

韓国延世大学からは、SILホルダ面に設置された穴の位置、大きさを最適化することで、SIL先端部のエアフローを最適化し、ダストに対してロバストにする結果が報告された[We-I-01]。また、TiO₂を用いた光触媒を用いたSILのセルフクリーニング手法についての発表があった[We-J-07]。発表では、コニカル型の半球SILのテーパ部、及びディスク面にTiO₂を蒸着したものを、指紋などの汚れが付いた場合に、UV照射することで光分解反応を起こし指紋を除去するとのことであった。但し、完全除去に 300 分以上かかるとのことである。本論文[We-J-07]は、本年度のBest Poster Paper Awardを受賞した。この他、外乱オブザーバーを用いたギャップサーボの発表[We-J-15]、厚み許容誤差を拡大するSIL設計についての発表[We-I-35]があっ

た。以上、ニアフィールド関連では、実用化に向けた研究開発が活発化しており、特に韓国勢に勢いを感じられた。

2.3 超解像

超解像関連では、従来の GeSbTe 膜による超解像に加えて、それ以外の膜構成での超解像による ROM 再生結果が発表された。

シャープからは、Energy-Gap-Induced Super-Resolution(EG-SR)についての進捗が報告された[Mo-B-03]。ROM基板の上に、従来のZnO(150nm)/Si(50nm)からZnO(60nm)/Ta(7.5nm)に変更したEG-SR層を設けることで、ビットエラーレート (bER) が従来の 1/10 程度になり、単層 40GByteがBlu-rayの光学系にて実現可能であることを示した。また、仏MPO、LETIからは、InSb膜を用いた超解像ROMディスクの発表があった[Mo-B-04,Mo-B-06]。ソニーから提供された 50GByteのROM基板の上にZnS-SiO₂/InSb/ZnS-SiO₂を形成したディスクをBlu-rayの光学系にて再生し、リコーによる信号処理技術により、 2×10^{-3} のbERを得たと報告した。また、上述のZnS-SiO₂/InSb/ZnS-SiO₂とAIN/InSb/AIN、及び従来のZnS-SiO₂/GeSbTe/ZnS-SiO₂を用いたディスクにおいて、80nmシングルキャリアの再生結果の比較を行なった結果を示した。発表では、提案するZnS-SiO₂/InSb/ZnS-SiO₂では、他の膜と異なり半分程度の再生パワーで約 10dB大きいSNRが得られ、再生パワーを最適化することで、超解像効果により 2×10^{-3} の十分低いbERが得られたことを報告している。本論文[Mo-B-06]は、本年度のBest Student Paper Awardを受賞した。

この他、日立からは、超解像再生時のランダムエラーを改善するために、ディスク面を照射している通常スポットによるクロストークの影響をキャンセルする必要性を示し、2つのFIRフィルター、PRMLを組み合わせる手法の提案があった[Tu-G-03]。また、HD-DVDの光学系を用いたSuper-RENSにより50nmピットのROM再生の結果[We-I-07]、超解像ROMにおけるチャンネルモデルの提案[We-J-14]、Super-RENSディスクに対する非線形イコライザの提案[We-J-P05]がなされた。

以上、超解像関連では、ROMを中心として、超解像膜、信号処理手法などの報告がなされ、発表全般では主に企業以外の研究機関からの発表が多かった印象であった。

2.4 体積、多層、多値

体積記録関連については、富士フイルム、理研、イスラエル Mempile から2フォトン記録による発表があった。富士フイルムからは、2フォトン吸収感度を高感度化する材料の提案があり、4,330GMの吸収クロスセクションを達成したとの報告があった[Mo-B-01]。理研からは、Rhodamine-B(Rh-B)とAu(III)イオンがドーパされたポリメチルメタクリル樹脂を用いた蛍光材料を用いた体積記録光ディスクについて提案があった[Th-G-01]。本材料を用いて135×100ドット(2μmピッチ)の蛍光イメージなどの結果、及び、本材料をガラス材料を挟んで積層することで記録安定性の優れたWrite Onceディスクが可能であることを示した。イスラエル Mempile からは、DVD構造をした2フォトン記録システムの提案があった[Tu-G-04]。波長780nmのレーザーにてサーボをかけ、NA=0.7のレンズ、波長671nmにて信号を2フォトン記録するもので、発表では、0.6~3μmのデータ長の信号を108層記録し、最深部を最後に記録したときのSNRを評価していた。線速度13m/sで記録し、16m/sで再生したときのシングルキャリアのSNRが示され、層ピッチが4~5μmであれば、信号のSNR、フォーカスサーボは問題ないことを示し、1.2mmディスクで200層、1TByteが可能であるとのことであった。

多層記録関連では、日立から層間クロストークを抑制し、製造マージン拡大に寄与する手法の提案があった[Tu-G-02]。本手法によれば、スペーサー層の厚み誤差を $\pm 0.6\mu\text{m}$ まで許容できると報告された。

この他、多値記録関連としては、多値 ROM ディスク向けの再生システム、及び再生手法の提案があった[We-I-27]、[We-I-29]。

以上、体積、多層、多値関連では、2 フォトン記録の進捗があったものの、昨年まで多くの発表が見られた Blu-ray、HD-DVD 関連の多層化の発表がなかったことが印象的であった。

2.5 コンポーネント、ドライブ技術

コンポーネント関連では、Blu-ray、HD-DVD、DVD、CD の互換対物レンズの発表が NEC からあった[Tu-F-02]。本方式では、液晶開口部、1/4 波長板及び波長選択開口部からなる開口率制御板と 3 つのリレーレンズを対物レンズの前に組み込み、リレーレンズ間隔を調整することで、各光ディスクシステムに応じた開口率を実現する。ジッター値は BD-ROM: 6.4%、BD-R: <8%、BD-RE: <8%、DVD-ROM: 8.2%、CD-ROM: 5.2%であり、HD-DVD-ROM の PRSNR 値は 22.5 で十分な値を達成したとの報告があった。本発表[Tu-F-02]は、本年度の Best Oral Paper Award を受賞している。また、日立マクセルからも同様な発表があった。こちらの方式では、対物レンズに多重リングゾーンを設けることで Blu-ray、HD-DVD の両対応のシステムとする手法を提案している[Th-PP-02]。

ドライブ関連では、日立マクセルから SVOD の進捗が報告された[Th-E-01]。発表では、92 μm 厚の 25GB の Blu-ray ディスクを 48 枚スタックして 1.2TByte、2 層化することで 2.4TByte のシステムが可能であると報告した。また、当該ディスクの再生信号のジッター値(5.7%)、ロード&アンロード動作評価結果、環境試験結果、チルトマージン測定結果等のデータも示し、いずれも従来の Blu-ray ディスクと同等であるとし、実用的に問題ないことを報告していた。また、薄板ディスクの面ぶれ安定化に対しては、ディスク内径周辺部に複数の穴を開けたスタビライザを用いて、15,000rpm でも問題なく安定して回転できることも報告していた。

NHK、リコーは、日立マクセルとは異なり、固定スタビライザによる薄板ディスクを用いた高速回転光ディスクシステムを発表した[Tu-E-03]。スタビライザによりディスク面を安定化し、ディスク回転数 15,000rpm における安定したフォーカスサーボ、トラッキングサーボを実現し、同回転数にて 252Mbps での Blu-ray システムが実現できることを示した。

薄板ディスクについては、韓国延世大学からディスク面安定化に対するスタビライザの最適化シミュレーションが示された[We-I-03]。シミュレーション結果によれば、空気圧力の観点から、若干の差で固定スタビライザよりもディスクと逆回転に回転するスタビライザの方の性能が良く、準じてディスクと共に回転するスタビライザの性能が良いとの報告があった。

以上、コンポーネント関連では、Blu-ray、HD-DVD を含む従来の光ディスクの互換ピックアップが報告され、ドライブとしては、薄板ディスクを用いた光ディスクのドライブ技術の報告があったことが特徴的であった。

2.6 理論、新規技術

相変化記録構造についての研究成果が産総研からなされた[Mo-C-02]。GeSbTe 超格子からなる薄膜モデルにおいて、結晶、非結晶の変化は溶解ではなく、格子内原子が移動によりなされており、397°Cがトリガー

温度であること示した。

東芝からは、X線吸収微細構造解析(XAFS)及び硬X線光電子分光解析(HX-PES)を用いて相変化膜のインターフェース層の相変化膜への影響を調査した結果が示された[Mo-C-04]。その結果、インターフェース層は、記録層の電子状態を変えて結晶化を促進する効果はあるものの、原子構造への影響はほとんどないことを示した。

北大からは、相変化膜を用いたメモリについての発表があった[Mo-C-05]。発表では、相変化膜による記録マークは10nm程度が限界で、実用的には50nm程度であるとのことだった。ただし、相変化膜による多層化、多値化技術を応用することで高密度可能であるとした。

この他、産総研からBio-DVDという新規のものが発表された[Mo-C-06]。Bio-DVDは、バイオ分子を検出するプラットフォームとして従来のDVDを用いるもので、ディスク面にビオチン、チオールに固着されたDNAを $\lambda=635\text{nm}$ のレーザーを照射して、その反射率変化にて検出するものである。本論文[Mo-C-05]は、本年度のBest Academic Paper Awardを受賞した。

以上、新規技術としては、光メモリ技術の展開として相変化メモリ、バイオ関連への研究開発成果が報告された。また、相変化記録現象の解析研究成果も報告されたが、これらの成果は相変化メモリの研究開発にも寄与するものと期待される。

2.7 ハイブリッド記録

今回のISOMでは、特別セッションとして光と磁気の高ブリッド記録である熱アシスト(Heat Assisted Magnetic Recording; HAMR)記録について発表が行われた。発表は、Seagate関連2件、NEDO関連が5件、ソニーから1件が行われた。

米Carnegie Mellon大によりHAMRについての総括的なレビューが行われた[We-H-01]。磁気記録では水平記録から垂直記録へと進展したが、メディアのSNR、熱安定性、書き込み安定性の観点からHAMRが求められている旨の発表をした。米Seagateからは、HAMR用ヘッドとして、光導波路を組み込んだフライングヘッドを示され、HAMRによる熱アシスト記録結果を報告した[We-H-05]。本論文[We-H-05]は、本年度のBest Technical Paper Awardを受賞した。

NEDO関連では、日立らから、ナノビークヘッドを用いたHAMRが示された[We-H-02][We-H-04]。同ヘッドに偏光波を照射することでヘッド先端部にニアフィールドスポットを生じさせ、磁気記録を行う。静止テスターにて30nm周期で20nmでの記録マーク結果が報告された。リコーからは、プレーナー型プローブアレイを作製技術について発表があった[We-H-06]。ウェットエッチング、フォーカスイオンビーム(FIB)、高精度研磨技術により、直径40nmの開口を持つプローブアレイが報告された。東芝らからは、ナノパターンメディアの作製技術について発表があった[Th-PP-03]。Co/Pdによるドットアレイ形成結果(直径約20nm、ピッチ30~32nm、高さ20nm)などが報告された。

ソニーからは、レーザーダイオードを表面プラズモンヘッドに組み込んだHAMR用ヘッドが報告された[We-H-03]。本方式によれば、レンズを用いることなくプラズモンヘッドに光を照射することが可能となる。

以上、ハイブリッド記録についての最近の研究成果が報告されたが、ハードディスク技術と光ディスク技術の融合技術として今後の展開が期待される。

3. おわりに

今回の ISOM は、従来の密度、転送レートを競う発表よりも、各分野における要素技術の研究開発成果の発表、及び、大学、研究機関からの発表が多かったことが特徴的であった。また、昨年度よりも論文数が 22 件増加し、各セッションでは活発な議論が行われ、期待以上に充実した会議であった。

次回 ISOM は、Optical Data Storage (ODS) との共催で、2008.7.13-17 に、Hilton Waikoloa Village (Waikoloa, Hawaii) で開催予定である。また、特別セッションとして、“Applications”、“Nano-Optics”が予定されている。また、大学研究機関から研究成果も強く推奨されており、国内外の企業、大学からの多くの成果発表が期待される。