

ODS2006 速報

石本 努(ソニー株式会社)

会議名: Optical Data Storage Topical Meeting

開催期間: 2006年4月23日 - 26日

開催場所: Le Centre Sheraton (Montreal, Quebec, カナダ)

*****要約*****

2006年4月24日から26日にカナダ モントリオールにて、Optical Data Storage Topical Meeting が開催された。世界各国から218名の参加者が集まり、光ストレージ技術について活発な議論が行われた。各発表は、10のセッションに分けられ(Holographic: 3、Near Field: 2、Super Resolution: 1、High Density: 1、Components: 1、Media & Testing: 1、Signal Processing & Applications: 1) 合計88件の発表(Invited: 14件、Contributions: 43件、Poster: 31件)がなされた。また、会期中に、Information Storage Industry Consortium (INSIC)による光ストレージについての5~10年先のロードマップが示され、今後の光ストレージの開発動向について議論された。

本稿では、各発表に対して、ホログラム、ニアフィールド等の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Optical Data Storage Topical Meeting (ODS)は、前回のInternational Symposium on Optical Memory(ISOM)との共催と異なり、ODS単独での開催であった。カナダ開催としては2003年バンクーバーに続く4度目の開催で、218名の参加者が世界各国から集まった。また、総発表数は88件であった。前回のISOM/ODS2005では、参加数385名、総発表数187件であったので、参加人数、発表数が共に少ない印象を受けた。

全発表88件の内訳は、Invited: 14件、Contributions: 43件(内Post Dead line paper: 6件)、Poster: 31件(内Post Dead line paper: 8件)であった。これらの発表は10のセッションに分けられ、3日間に分けられて発表された。セッション数の内訳は、Holographic: 3、Near Field: 2、Super Resolution: 1、High Density: 1、Components: 1、Media & Testing: 1、Signal Processing & Applications: 1であった。また、発表をトピック的に分類すると、Holographic: 20、Near Field: 12、Super Resolution: 7、High Density: 10、Components: 10、Media: 8、Cording: 7、Drive: 4、Others: 10(主催者側発表)であった。発表トピックから判断すると、「ホログラム」、「ニアフィールド」と「その他」という印象を受け、光ストレージの方向性がだんだんと見えてきたような印象を受けた。

今回の会議では、会期中あいにく雨にたたられたのだが、上述のようにホログラム、ニアフィールドの発表件数が多かったことを受けて、Chairmanが、“Rain, rain, rain....., Holo, holo, holo, Near, near, near”と閉会式でまとめていたのは、本会議の特徴を表しており印象的であった。

この他、会期中に、47機関からの研究者たちで構成されるInformation Storage Industry Consortium

(INSIC)による光ストレージについての5～10年先のロードマップが示され、今後の光ストレージの開発動向について議論された。

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、ODS2006での発表番号である。

2. ホログラム

ホログラムは最多の3セッションが開催された。ホログラムの記録方式としては、ページベース記録方式が主流であったが、最近、ビットベース記録方式の研究も活発化してきている。

ページベース記録方式としては、主に角度多重型とコリニア型の発表に絞られてきた印象がある。

角度多重型としては、まず InPhase が、彼らが開発中のホログラム記録ドライブの構造、機能を公表した [MA1]。記録方法は角度多重記録で、5.25inch のカートリッジにホログラムディスクが内蔵され、偏芯 $\pm 50 \mu\text{m}$ まで許容できるとしている。 $\lambda = 670\text{nm}$ のレーザーでサーボをかけ、 $\lambda = 405\text{nm}$ のレーザーでデータを読み書きし、300Gbyte、160Mbps での記録再生が可能であるとしている。また、光学系を見直して、片面に光学系を全て配置する構造にすることでシステムを小型化可能であるとしている。発表ではシステムデモの様子が示されたが、300Gbyte、160Mbps での様子は確認できなかった。この他、ROM のマスタリング技術として、多数のサブマスターと単板のメインマスターからなる 2 ステップマスタリングが提案され、また空間変調器とメディア間にレンズを配置する必要がないレンズレス再生方式を用いた ROM システムが報告された [WC6]。InPhase のシステムは本年中に商品化予定とのことであるが、実際に商品化されるかどうか注目される。

この他、韓国 Daewoo らにより、角度多重記録したホログラムから MPEG ビデオを再生するデモの様子が発表された [MA5]。但し、4トラック記録で容量は 500Mbyte とのことである。

一方、コリニア記録型としては、オプトウエアから、彼らが提唱する Holographic Versatile Disc (HVD) についてシステム概要、デフォーカス、デトラックマージンが示された [MA2]。この他、サーボアクチュエーター [MP3]、評価システム用ソフトウェア [MP2] などが紹介された。120mm ディスクで 100Gbyte の ROM タイプの HVD を本年中に商品化予定とのことであるが、こちらも InPhase 同様に実際に商品化されるかどうか注目される。この他、コリニア型としては、ソニーからも開発したシステムの発表、イメージ位置決めサーボ技術の発表がなされた [MA4、TuC4]。

ページベース記録方式に関するその他の発表としては、InPhase から、M ナンバーに関して角度多重型の方がコリニア型よりも有利であるとの報告がなされた [MA3]。また、CMU からは、ページベース記録方式に適する信号検出方式として、反復型 DFE (iterative magnitude-squared Decision Feedback Equalizer) の提案がなされた [TuC3]。

次に、ビットベース記録方式であるが、今年の ISOM/ODS にて発表されたマイクロホログラム (ISOM/ODS2005, MB1, MB3) が提案されてから、研究開発が活発化してきている。

GE から、マイクロホログラム向けの記録材料 dye-doped thermoplastic が提案された [WC1]。また、同じく GE から、このメディアを用いてマイクロホログラム記録した結果を示し、従来発表していた結果と比較して、400 倍高感度に記録できるとの発表があった [WC2]。GE が提案するマイクロホログラムは、ディスクの両面からビームを照射してディスク内部で干渉させてホログラムをビットベースで記録するものである。一方、ソニーからは片面からビームを照射してビットベースでホログラムを記録する方式を提案した

[WA4]。提案された方式では、ディスクの最下面に反射膜をつけたサーボピットを配置する。そして、まず一つのビームにて反射膜面にフォーカスを合わせ、ヘッドをディスクに追従させる。このもとで、次に別のビームを反射膜面に対してデフォーカスして入射する。さらにもう一つのビームを記録したいメディア内部の位置にフォーカスさせて入射する。そして、最終的にデフォーカスしたビームの反射面からの反射光とメディア内部にフォーカスされた光との干渉により、メディア内部にビットベースでホログラムを形成し信号を記録する。再生時には、フォーカスサーボを行った状態で反射面からのビームのみを遮ることで、記録された信号が得られる仕組みである。彼らは、本方式をマイクロリフレクターと呼び、シミュレーションにて再生 RF 信号波形、SNR を計算し、本方式が有望であるとした。

この他、メディアチルト許容度について、ページベース記録方式とビットベース記録方式との比較検討結果が、Stanford より示された[WC5]。本結果によれば、ビットベース記録方式の方がメディアチルト許容度的には有利で、ページベース記録方式の場合はページサイズとメディアチルト許容度は反比例するとの結果を示した。但し、メディアチルト許容度に関する結果であり、ビットベース記録方式の方がページベース記録方式よりも本質的に優れるのか否かは、現状では判断できないとしている。

以上のように、ホログラムの研究動向としては、ページベース記録方式とビットベース記録方式があり、ページベース記録方式については角度多重型、コリニア型の2種類が主流であるようである。ビットベース記録方式については、研究が始まったばかりであるが、従来の光ディスクと同様なシステム構成が可能であり、高い潜在能力があるよう思われる。

3. ニアフィールド

ホログラムに次ぐ2セッションが開催された。昨年同様に、主にソニー、フィリップスから活発な発表がなされたが、本年度は、LG、キャノンからも同様なシステム構成による発表がなされた。

まず、ソニーから、ニアフィールド光ディスクシステムにおけるリムーバブル技術についての発表があった[MC1]。本発表では、リムーバブル技術について、コニカル SIL、ヘッドクリーナー、高帯域サーボ、学習サーボ、自動引き込み技術等の8つの技術がビデオを交えて紹介され、最後にローディング機構を備えたリムーバブルシステムを用いて60Gbyte ROM ディスク再生デモの様子が紹介された。ギャップサーボ帯域を13kHzに上げることに成功し、この高帯域サーボと学習サーボとの組み合わせサーボにより、面ぶれ45 μm のディスクに対して、3000rpmにて $20 \pm 3\text{nm}$ のギャップサーボを実現している。また、半球型KTOによるSILを開発し、超半球型LHA79によるSILと同等のNAを確保しながら、レンズ厚み誤差許容マージンの拡大に成功している[TuB3]。従来、超半球型レンズの厚み誤差マージンの狭さが実用化の難点でもあったが、半球型KTOによりこの問題は解消されると思われる。

一方のフィリップスは、3 μm 厚のカバー付きメディアを用いて、初のニアフィールド記録再生に成功している。記録密度は43.3Gbyteである[MC4]。また、4層のニアフィールドについてシミュレーションにより検討し、実現可能であるとしている[TuB5]。そして、ソニーと共著で、チルトサーボ手法について提案した[TuB1]。本手法によれば、ギャップエラーのラジアル、タンジェンシャルのプッシュプル信号を得ることで、それぞれラジアル、タンジェンシャルチルトを検出でき、ダイナミックなチルトサーボの実現可能であり、実際に3軸アクチュエーターにてラジアルチルトサーボを行った場合の結果を示した。

また、韓国LGからは、トラッキングエラー信号のDCオフセットを、ギャップエラー信号のプッシュプル信号により補正することでキャンセルする手法の提案があった[MC3]。また、50Gbyte ROM (Si ディス

ク)のニアフィールド再生結果も報告された[TuB2]。

キャノンからは、NA=1.45の2層ニアフィールドについて、シミュレーションによる実現可能性が検討され、NA<1の光学成分に対しては従来の光ディスクと同様なフォーカスサーボを行い、NA>1の光学成分に対してはギャップサーボを行うハイブリットサーボが提案された[MP24]。

この他、CMUより、レーザーをアクチュエーターに設置し、レーザーとディスク間をニアフィールド状態にすることで照射スポットを1 μ m程度に微小化する基礎的な実験結果が示された[TuB4]。Univ. of Arizonaからは、SILによる超高解像度の観察技術が提案された[MC2]。

以上のように、ニアフィールドでは、昨年通りのソニー、Philipsによる活発な研究開発結果以外に、本年では、韓国LG電子、キャノンらの検討結果が出始め、研究の広がりが感じられた。

4. 超解像

日立から、3次元ピット選択による高密度化技術が提案された[WB1]。本手法は、超解像膜を有する多層構造のディスクを用い、各層の記録ピットを超解像技術により読み出すものである。各層の透過率の改善し、4層超解像ディスクまで開発に成功したとしている。記録回数は3000回程度まで可能で、超解像を用いない多層ディスクに比べて記録密度が上がるため、メディアコストも低いことも特徴であるとの提案であった。

また、Super-RENSによる高密度化技術としては、エラーレートの改善結果と、狭トラックピッチ化による検討結果が示された。韓国Samsungからは、75nmピット(2T)のキャリア信号をもつWROMディスクに対するSuper-RENSシステムにおいて、エラーレート改善結果が報告された[WB3]。2T信号のCNRを改善するために膜構成を最適化し、イコライザの2T信号帯域をブーストした。また、エラーパターンを分析し、ライトストラテジーを改善した。その結果、ビットエラーレートが 10^{-1} から 10^{-4} にまで改善したとの発表があった。但し、依然として頻度は低いもののエラーが生じるとのことであるが、この原因は依然不明とのことであった。AISTからは、狭トラックピッチ化によるSuper-RENS ROMディスクが提案された[WB4]。本方式によれば、グループトラック構造を採用すること、従来の1.5倍の高密度化が可能であり、また、隣接ピットからのクロストークを-20dB減少させることが可能である。

以上のように、超解像では、多層型超解像技術が提案されると共に、引き続きSuper-RENS技術による高密度化研究の結果が報告された。今後は、CNRの結果だけでなく、ランダム信号記録によるRF信号観察信号結果に期待が待たれる。

5. その他高密度化技術

Blu-rayベースのシステムで信号記録層を多層化する技術の最新結果が、ソニー、TDKから報告された[TuA3, WA3]。6層ディスク構造をもち、単層25GByteで150Gbyte、単層33.3Gbyteで200Gbyteの実現可能性を発表した。本発表によれば、適応イコライザ、適応PRMLにより、ラジアル、タンジェンシャル共に、各層十分なマージンが得られ、十分に達成は可能であると思われる。

多層ディスクについては、Univ. of Arizonaから各層の透過率による多層化限界についてのシミュレーション解析結果が報告された[WA1]。シミュレーション結果によれば、メタル膜+dielectric膜により、 $\lambda=405$ nm、NA=0.85のシステムにおいて、理論的には42層まで可能であるとしている。

この他、Imperial College of Londonからは、多重型記録光ディスクシステムが提案された[WA2]。ピットエッジの角度により反射光の偏光面が変化することを利用し、ピットエッジ角度を0-45°で振ることで

83 レベルが変化可能であるとしている。この結果、CDの記録密度で、理論的には216GBの実現可能性がある」と提案していた。しかしながら、現実的には正確にピットエッジ角度を制御するのは難しいと思われる。

また、日立マクセルから、薄膜ディスクを用いたチェンジャータイプの光ディスクシステムが提案された。[MP25]。本システムは、Stacked Volumetric Optical Discs (SVOD) と呼ばれ、92 μm の薄膜ディスクが、65mm のチェンジャーカートリッジに格納されており、チェンジャー容量としては、片面ディスクの場合で470GByte、両面ディスクの場合で940Gbyte としている。記録再生時には、カートリッジから抜き出された1枚の薄膜ディスクは0.5mm厚のガラスにのせられる。8X(27.92m/s)での記録再生を想定しており、ディスク回転により薄膜ディスクと0.5mm厚ガラスとの間にエア膜が生じ、薄膜ディスクは姿勢安定できるとのことである。実際に、本システムは稼働しており、ムービー再生デモも可能とのことである。SVODのようなシステムは、ホログラム、ニアフィールド、超解像等とは別なアプローチで大容量化を実現するユニークな手法だと思った。

6. コンポーネント

ソニーから波長チューニングが可能なレーザーの発表があった[WC3]。本レーザーは、ホログラム記録における温度補償用として開発されたものである。例えば25°から30°に温度変化した場合、波長405nm一定のままではホログラム再生は不可能であったが、本レーザーにより405nmから405.5nmにチューニングすることでホログラム再生が可能となる結果が示されていた。本レーザーは、ホログラムのシステム安定性向上に貢献するものと思われる。この他、高帯域レーザーノイズキャンセラーの開発により20dB以上のノイズ改善結果、[WPD1]、ROMとR/REとで検出パターンを変更できる1ビームサーボエラー検出用フォトディテクタの発表[WPD2]、BD/DVD/CD互換の対物レンズの発表[WPD4]があった。

この他、松下から、12.7mm薄型タイプのBD/DVD/CDピックアップの発表があった[WPD3]。本ピックアップでは、BD用とCD/DVD用の2つのピックアップを搭載し、コリメートレンズを調整することで収差を補正する構造となっていた。メカ的な構造は明示されたが、具体的にどのような信号でコリメートを調整するかどうかは明示されていなかった。

7. メディア

パイオニアから、Electron Beam Recording (EBR) 技術の進捗について発表があった[TuA2]。EBR装置において、基板に40kVまで電圧を印加(リタード電圧)できる回転ステージを用い、このリタード電圧と電子加速電圧(~50kV)とを最適調整することで、510Gbyte相当のピット成形に成功している。

リコーからは、ZnS-SiO₂薄膜を用いたヒートモードリソグラフィによる微小ピット成形の結果が報告されている[TuA5]。ZnSの含有率を最適化することでピット長100nmのクリアでエッジがスムーズなピットの成形結果が示された。

ソニーからは、Phase Transition Mastering(PTM)の開発進捗が報告されている[WA5]。発表によれば、レジストを最適化することで100Gbyte密度のピット成形に成功し、ニアフィールド信号再生によるジッター評価では9.9%であったとのことである。

キャノンからもPTMに関する発表があった[WPD6]。レジスト組成材料であるWO_xを最適化することで、25Gbyte密度のディスクにおいて、従来に比べて-5dBの改善が確認され、2層ディスクの場合でも同様な効果が確認されたとのことである。

高密度マスタリングでは、EBR のポテンシャルとして 510Gbyte までの結果が示され、さらなる高密度マスタリングの可能性の期待を感じさせるものであった。一方の従来からのレーザーによるマスタリングでは、PTM 技術により、従来では不可能であると考えられていた 100Gbyte のマスタリングも視野に入ってきている。こちらにもポテンシャルの高さが期待でき、将来、どこまで高密度化が達成できるのかが期待される。

8 . 信号処理

Philips、ソニーから、100Gbyte 超の高密度光ディスクに対して効果的な “ 1102PC ” という信号変調方式の提案があった。発表によれば、120 ~ 130Gbyte 容量の光ディスクに対して、信号変調方式として 17pp を用いた場合と比較して、60% のビットエラーレートの低減効果が確認されたとのことである。

NEC からは、HD DVD 向けの Partial Response Signal-to-Nose Ratio SNR (PRSNR) によるラジアルチルト調整方法について発表があった[TuD5]。HD DVD では、PRSNR がフォーマットのサポートされており、LSI にて PRSNR が検出できる仕組みが整っているとのことである。発表では、PRSNR とラジアルチルトとの相関が示され、これにより PRSNR 値を用いてラジアルチルトの補正が可能であるとした。

この他、§ 2 でも触れたように、CMU からページベース記録方式のホログラム向きの信号処理の発表なされた[TuC3]。

9 . INSIC

会期中日の 4/25 に、INSIC による特別セッションが開催され、今後の光ストレージについてのロードマップが示された。INSIC からは、今後 5-8 年間は DVD が主流であろうこと、光ディスクにとって互換性は重要な要素であること、次世代光ディスクのキラーアプリとしては、デジタルデータの長期保存を可能とする大容量アーカイブシステムであること、そのためにはハードディスクはもとよりテープも重要な競争相手であること、などが報告された。また、この内容を受けて、DVD and Follow-on Technologies, Near-Field and Alternative Technologies, Volumetric Technologies, Signal Processing の各パートから現状報告、課題などが示され、参加者とパネルディスカッションが行われた。各分野の今後の技術進展により、サブテラ、テラバイト級の光ストレージが実現され、ロードマップに順調にのることが期待される。

10 . おわりに

今回の ODS では、単独開催、カナダという場所のためか、参加者、発表件数も少ない印象を受けたが、中身の濃い発表が多かったように思う。次世代光ディスク技術として、様々な技術が提案、研究開発されているが、今回の発表件数をみる限り、ホログラムとニアフィールドの存在感が増してきた感じがする。これらの技術も含めて、今後の光ストレージの技術開発の進展に期待したい。

次回 OSD は、2007.5.20-24 に、The Benson Hotel (Portland, Oregon, USA) にて開催される予定である。