

8. 記録デバイス・システムの研究

放送のデジタル化や高画質化、およびスーパーハイビジョンや立体テレビなどの将来の放送サービスの実現に向けて、記録装置のさらなる大容量・高速・省電力・小型化を実現するために、磁気記録や光記録、およびスピントロニクスなどの記録材料やデバイスの研究と、それらのデバイスを応用した記録装置、記録システムの研究を進めた。

磁気記録デバイスの研究では、磁気テープと磁気ディスクを記録媒体とする研究を行った。前者は、回転ドラム搭載型の磁気抵抗効果型ヘッドや超薄磁性層メタルテープなどによる高密度化の研究を進め、2001年にそれらのデバイスを用いた高密度テープストレージを開発し研究を収束した。これにより、開所早期から取り組んできた磁気テープ、およびVTRの研究に区切りをつけた。

1995年に開始した垂直磁気記録方式によるハードディスクの研究では、磁気ディスクの高密度化とヘッド材料の高性能化に取り組んだ。この間、磁気ディスクの構造や構成、および記録材料の改良などによる高密度化を進め、2007年には記録ビット長17 nm(線記録密度1500 kbp)において実用上問題のないビット誤り率を達成した。また、3.5型ドライブ装置や厚さ2.5 mmの超薄型1インチハードディスク装置などを試作し、ハイビジョンコンテンツの記録再生の実証により、垂直磁気記録方式によるハードディスク装置が映像記録装置として実用可能であることを示した。

光記録デバイスの研究では、光ディスク、磁気テープ光再生デバイス、ホログラム記録技術の研究を進めた。光ディスクの研究では、高速相変化記録媒体、高速光ヘッド技術、信号処理方式などの要素技術開発に取り組み、映像および4チャンネルの音声を約45分間記録できるハイビジョン光ディスクカムコーダーを開発した。また、ビットレートの一層の高速化を目指して、ディスクの高速回転が可能な薄型光ディスクと、ディスクの高速回転時にも高精度で追従可能な光ヘッドビーム制御技術の研究などに取り組んだ。2008年には、厚さ0.1 mmの薄型光ディスクを用いて15000 rpmの高速回転による252 Mbpsの高ビットレートでの記録再生に成功した。さらに、超薄層による大容量化を目指した、電圧を印加することで発色/消色を繰り返す性質を有するエレクトロクロミック材料の基礎研究や、光ビームの間隔を狭くしてビーム数を増やすことのできる可視光導波路の開発などを進めた。

このほか、磁気テープに記録されている情報をレーザー光で検出する磁気テープ光再生デバイスの研究にも取り組んだ。膜厚0.5 μm において緑色レーザー(波長532 nm)で約2.5度のファラデー回転角をもつ磁性ガーネット膜を試作し、D-3フォーマットで記録された磁気テープの情報を明りょうに転写でき、最短記録ビット長のレーザー再生実験において30 dB以上のCN比で再生できることなどを確認した。

ホログラム記録技術は、コンテンツの長期保存が可能で大量の情報を2次元のデジタルデータとして一括で扱うことができ、記録媒体の厚さ方向にも記録できる。基本的な記録再生実験装置を試作し、多重記録技術や波面補償技術などの開発によって、厚さ1 mmの記録媒体に300多重記録を行い、ビット誤り率 10^{-4} 台の再生信号を得た。変調符号や誤り訂正など信号処理方法を検討し、映像コンテンツの記録再生装置として動作することを確認した。また、時間領域差分法および平面波展開法を用いて、ホログラムの記録から再生までの特性を統一的に解析できるシミュレーション技術を開発した。ホログラムのビット誤り率とSN比の関係を評価し、それに基づいたSN比の定義や、ノイズを発生要因ごとに分けて測定・評価する手法などを提案した。

スピントロニクスデバイスの研究では、高密度磁気記録用の再生ヘッドおよび多値記録や演算機能を有する大容量メモリーを目指して、磁気抵抗効果の大きなTMR(Tunnel Magneto-Resistive)素子、希薄磁性半導体、スピン注入磁化反転素子の研究を行った。TMR素子材料および希薄磁性半導体素子の研究で得られた磁性薄膜中の電子のスピンに関する知見や作製・

評価技術、微細加工技術などは、2004 年以降、スピントラップ磁化反転素子の低駆動電流化の研究に生かすこととした。また、ナノメートルオーダーの微小領域での磁化制御を目指した磁性量子ドットの研究や、可動部のない磁気記録デバイスの創出を目指した微小磁区制御デバイスの研究などを行った。

[林 直人]

8.1 磁気記録デバイス

8.1.1 高密度テープストレージ

デジタルコンテンツをコンパクトに保存し有効利用できる大容量、高転送レートのテープストレージの実現を目指して、回転ドラム搭載型 MR (Magneto-Resistive: 磁気抵抗効果型) ヘッドと超薄磁性層 MP (Metal Particulate: メタル塗布型) テープの研究開発を進めた。

MR ヘッドはコンピューターシミュレーションによって形状の最適化を図り、従来の誘導型磁気ヘッドに比べ 20 倍の再生感度が得られることを明らかにし、トラック幅 $2.5\ \mu\text{m}$ の高感度 MR ヘッドを試作した。また、ヘッド基板にフェライトを用いることにより耐摩耗性を向上させた。MP テープは、高感度 MR ヘッドの再生特性にあわせ、磁性層厚を従来の $1/8$ の $35\ \text{nm}$ まで薄くするとともに、磁性粒子の微粒子化と表面性の改善を進め、低ノイズ化と広帯域化を図った⁽¹⁻³⁾。

試作した高感度 MR ヘッドと超薄磁性層 MP テープを組み合わせ、ヘッドテスターにより再生特性を評価し

た。その結果、面記録密度 $1\ \text{Gbit}/\text{inch}^2$ ($1.55\ \text{Mbit}/\text{mm}^2$)、体積記録密度 D-3 VTR 比 40 倍以上を実現できることがわかった⁽⁴⁻⁶⁾。2000 年に、MR ヘッドを動作させるためのセンス電流を接触部のない回転トランスを介して伝送する方式を開発し、試作 MR ヘッドを VTR に搭載した映像記録再生実験を行い、バイト誤り率 10^{-5} を実現した。2001 年に、 $6\ \text{mm}$ 幅テープの小型カセット (図 8.1) を用いたヘリカルスキャン方式のストリーマーを試作し (図 8.2)、HD-D 5 相当の高画質ハイビジョン映像を 2.5 時間記録できる高密度記録を達成した。

超薄磁性層 MP テープの研究は 2001 年まで、富士写真フイルム (株) と TDK (株) との共同研究により行った。

以上の研究は、上原年博、真島恵吾、武藤一利、田口亮が主に担当した。

[林 直人]

8.1.2 垂直磁気ハードディスクドライブ

携帯端末用の超小型大容量ハードディスク装置 (HDD: Hard Disk Drive) やハイビジョン映像サーバー用高速・大容量 HDD の実現を目指して、垂直磁気記録方式 HDD の開発を 2003 年から 2006 年に行った。さらに、2008 年から 2009 年には、ハードディスク高速化技術の研究を行い、フラッシュメモリー複合型 HDD を試作した。

2003 年は Co-Cr-Pt グラニューラー膜を記録層とする直径 3.5 インチの垂直磁気ディスクを試作し⁽⁷⁾、ハイビジョンコンテンツ (MPEG-2、ビットレート 25 Mbps) の記録再生実験に成功した (図 8.3)。その後、小型 HDD の開発に取り組み、2004 年は垂直磁気ディスクの実用性能を検証するために直径 1 インチの垂直磁気ディ



図 8.1 試作 6 mm 幅テープカセット



図 8.2 試作高密度テープストリーマー (口絵参照)



図 8.3 垂直磁気ハードディスク装置 (2004 年技研公開) (口絵参照)

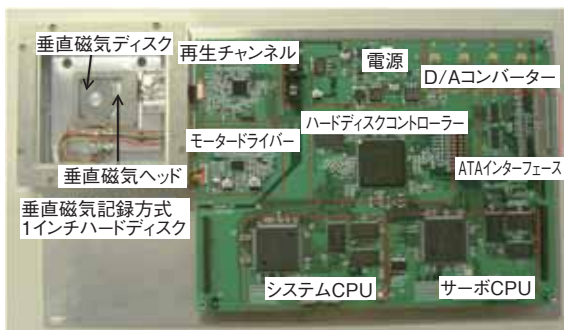


図 8.4 垂直磁気 1 インチハードディスク装置

スクを試作し、従来型のリングヘッドと信号処理回路を用いてもハイビジョン映像が記録再生できることを実証した。この実験での記録容量は、ヘッド性能の制約から 2 ギガバイトであったが、垂直磁気ヘッドへの変更と垂直磁気ディスクの記録密度特性の改善によって 5 倍の 10 ギガバイトが実現できる見通しを得た⁽⁸⁾。その研究成果を反映させて 2005 年に垂直磁気記録方式による HDD のプロトタイプを試作した (図 8.4)。この装置は、試作した 1 インチ垂直磁気ディスク、垂直磁気ヘッドおよび HDD として動作するための回路をすべて実装しており、ATA (Advanced Technology Attachment) インターフェースを介してコンピューターから外部記憶装置として認識できる。2006 年は、垂直磁気ディスクの低ノイズ化と垂直磁気ヘッドの狭トラック化により面記録密度 200 Gbit/inch² を達成し、厚さ 2.5 mm の超薄型 1 インチ HDD を試作した⁽⁹⁻¹¹⁾。高精度サーボ技術や LDPC (Low Density Parity Check) 符号との組み合わせでディスク片面 10 ギガバイトの記録容量を達成した。

2008 年から、フル解像度スーパーハイビジョン (転送レート 72 Gbps) ハードディスク記録装置の小型化を目指して、HDD 単体の連続転送レートを高めるための要素技術開発に取り組んだ⁽¹²⁾。HDD では一定のディスク回転数でデータを記録再生するため、線速度が低いディスク内周部ではセクター (HDD に記録されるデータブロックの最小単位) 数が少なく転送レートが低い。固体メモリーとの複合によってセクター数をディスク全周にわたって一定にするデータブロック管理手法を考案し、固体メモリーとして NAND 型フラッシュメモリーを用いた複合ハードディスク装置を試作した。HDD のセクター数が少ない内周部では、フラッシュメモリーに割り当てるセクター数を多くし、HDD とフラッシュメモリーの合計セクター数を一定とすることで連続転送レートを一定にできる。記録再生実験の結果、複合するフラッシュメモリーのセクター数に応じて転送レートが向上し、HDD 記録容量の 33% 程度の容量のフラッシュ

メモリーを割り当てた場合に連続転送レートが 2 倍に改善することなどが確認できた。

この研究のうち、厚さ 2.5 mm の超薄型 1 インチ HDD の開発は、2004 年から 2006 年に経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業「大容量・超薄型ストレージデバイスの研究開発」へ参加して行った。

以上の研究は、宮下英一、林直人、玉城孝彦、中村昇一、川那真弓、椎野弘崇、田口亮、船橋信彦が主に担当した。

[林 直人]

8.1.3 垂直磁気記録媒体

小型で高速・大容量の記録装置を実現するため、高密度記録に適した垂直磁気記録媒体の研究を進めた。媒体の試作については、2000 年から 2009 年に富士電機デバイステクノロジー (株)、2002 年から 2007 年に富士フィルム (株) との共同研究により行った。

(1) 複合垂直磁気記録媒体

従来の合金膜媒体では、結晶粒を微細化して SN 比を向上させると熱揺らぎが大きくなり熱安定性が劣化してしまう。そこで熱揺らぎを低減するため、連続膜と Co-Cr-Pt 合金膜を積層した新構造の複合垂直磁気記録媒体を 2001 年に提案した。新構造の媒体の記録特性を技研で開発したマイクロマグネティックシミュレーション⁽¹³⁻¹⁵⁾を用いて解析した結果、連続膜の膜厚増加に従い結晶粒間の交換相互作用が大きくなり熱安定性が向上するものの、媒体の分解能が低下することがわかった。また、連続膜の膜厚を調整することで、約 400 Gbit/inch² の記録能力があることを示した⁽¹⁶⁻²¹⁾。連続膜の材料を変えて試作を行い、非晶質の Tb-Fe-Co が最も記録特性が良いことがわかった。最適な Tb-Fe-Co 膜厚の媒体で記録特性を評価した結果、記録ビット長 50 nm (線記録密度 500 kFCI) で従来型媒体と比べ鮮明な記録パターンが観察できた。

垂直磁気記録専用の記録ヘッドは 2003 年まで実用化されていなかったため、それまで媒体の評価にはリングヘッドを用いた。媒体の軟磁性層材料についても材料を検討した結果、Co-Zr-Nb が最適であることがわかった。しかし、記録特性が軟磁性層の膜厚とともに大きく変化する問題があった。この原因を調べるため、軟磁性層の膜厚に対するヘッド磁界分布と記録パターンのシミュレーションを行った。その結果、軟磁性層が薄い場合はギャップ近傍の磁界が強く、記録はギャップ部で行われるが、厚い場合は磁極全体で磁界が強くなり磁極全体で記録が行われることがわかり、リングヘッドによる記録メカニズムの詳細が初めて明らかとなった⁽²²⁾。そこで、軟磁性層の膜厚を変えた媒体を試作し、磁気力顕微鏡で記録パターンを観察した結果、シミュレーション

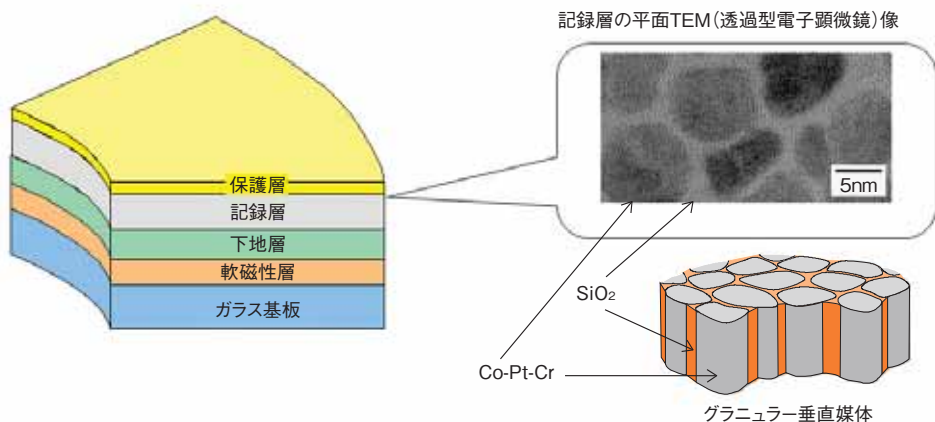


図 8.5 グラニューラー垂直磁気記録媒体の微細構造

と良く一致することが確認できた⁽²³⁾。また、2層媒体ではヘッド磁極全体で記録がなされるため、ヘッドが傾いて記録される場合、ヘッド幅より大幅に広い記録パターンとなり、高密度記録では大きな問題となることがわかった。

以上の研究は、玉城孝彦、宮下英一、久我 淳、田口亮、船橋信彦が主に担当した。

(2) グラニューラー垂直磁気記録媒体

2002年から、結晶粒の磁氣的結合を分離する材料を非磁性金属から SiO₂に変更した CoPtCr-SiO₂ グラニューラー垂直磁気記録媒体 (図 8.5) の開発に着手した。グラニューラー構造とすることで、記録層中の非磁性原子の割合を少なくできるため、垂直磁気異方性が大きくなり、磁気特性・記録特性ともに大幅に改善され、線記録密度を 900 kFCI まで引き上げた。

媒体の記録層の高性能化は、結晶粒の微細化、下地層の材料と作製条件の最適化により進めた。しかし、記録層の磁気特性の改善を進めた結果、記録層の保磁力が大きくなりすぎ、磁気ヘッドでの十分な記録ができなくなることが問題となった。そこで、記録層の構造を変えたシミュレーションを行い、記録層の結晶粒間の磁氣的相互作用を大きくすることで、磁気異方性の大きさを保ったまま保磁力の低減が可能になることがわかり、保磁力を低減した垂直磁気ディスクの試作に成功した⁽²⁴⁻³¹⁾。

次に、媒体の軟磁性層で発生するノイズの低減に取り組んだ。軟磁性層は、記録ヘッドの磁界強度を確保するために必要であるが、再生時にはノイズ源となる。軟磁性層の厚さをどこまで薄くできるか、非線形効果を考慮した有限要素法を用いて、磁気ヘッド磁界分布と記録パターンを解析した。その結果、50 nm 程度と従来の 1/4 の厚さまで薄くしても記録層を十分に飽和記録できることがわかった。そこで、軟磁性層厚 50 nm の垂直磁気ディスクを試作し、記録再生特性を測定した結果、十分

な記録磁界強度を確保したうえで、SN 比を 2-3 dB 改善できた。

2007 年からは、結晶粒をさらに微細化するとともに、媒体の記録層を多層化し、結晶粒間の相互作用の強度を細かく調整できる構造とした。磁気異方性、飽和磁化、および結晶粒間の相互作用について記録特性をシミュレーションした結果、相互作用により複数の結晶粒に磁気クラスターを形成させ、そのサイズが記録ビット長の 1~1.5 倍のときに SN 比が最大となり、熱安定性も向上できることがわかった^(32,33)。記録層の組成や構造を変えた媒体を試作・評価した結果、シミュレーションとの良い一致が得られ、磁気クラスターサイズを 20 nm 程度とした垂直磁気記録媒体において、線記録密度 1500 kbpI 以上の高密度で明りょうな記録パターンの観察に成功した⁽³⁴⁾。また、浮上量を制御できる磁気ヘッドが開発され、これを用いることで浮上量を大幅に低減でき、高密度記録時の SN 比を 10 dB 程度改善した⁽³⁵⁾。線記録密度 1500 kbpI において実用上問題のない 10⁻³ 以下のビット誤り率が得られた (図 8.6)。

また、2008 年より次世代の大容量記録方式として期

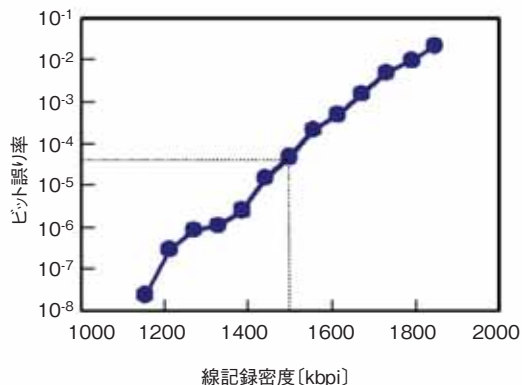


図 8.6 線記録密度に対するビット誤り率

待されている熱アシスト記録方式の研究に着手した。高密度記録を進めるため記録層を構成する磁性粒子を微細化すると記録磁化の熱安定性が劣化する。その抑制には磁性粒子の磁気異方性を高くする必要があるが、書き込みが困難になってくる。この問題を抜本的に解決するため、熱アシスト記録(書き込み時にレーザーを照射して局部的に媒体を加熱することにより、現行の磁気ヘッドで記録できる程度まで媒体の保磁力を下げた記録)の検討を始めた。現行ヘッドでは記録できない保磁力9 kOeのグラニューラー垂直磁気媒体を試作し、熱アシスト記録実験を行った結果、熱アシストなしではほとんど記録できないが、熱アシストにより記録が可能になることが実証された⁽³⁶⁾。また、レーザー照射位置と記録ヘッド位置による再生出力の変化について検討し、レーザーが記録ヘッドより前に位置するときに再生出力が最大になることなどの知見を得た^(37,38)。

以上の研究は、玉城孝彦、奥田治雄、林直人、宮下英一、田口亮、船橋信彦、川那真弓、椎野弘崇が主に担当した。

[宮下 英一]

8.1.4 垂直磁気ヘッド

垂直磁気記録による高密度記録を実現する要素技術として、磁気ヘッドおよび磁気ヘッド材料の研究を行った。

高密度垂直磁気再生用ヘッドの研究においては、マルチチャンネルMRヘッドの研究⁽³⁹⁻⁴²⁾を2000年で終了し、その後、面記録密度の飛躍的な向上を目指して、新構造のヨーク型TMR(Tunnel Magneto-Resistive: トンネル磁気抵抗効果)ヘッド(図8.7)の研究を開始した。2000年は、3次元磁気計算によってヘッドの構造設計を行い、ヨークの前面を積層構造にすることで再生出力が大きく歪みの少ないローレンツ型波形が得られることを見いだした⁽⁴³⁻⁴⁵⁾。これにより従来必要であった波形等

化用微分回路を不要にでき、400 Gbit/inch²程度の高密度記録に適用できる見通しを得た。その後、ヘッドの磁路長を短くしてTMR素子を効率良く励磁することで高出力・広帯域化が図れること⁽⁴⁶⁾や、フロントヨーク近傍に磁気シールドを設置することで隣接トラックからのクロストークを-27 dB以下にできること⁽⁴⁷⁾などを明らかにした。また、このヘッドに適用する材料の開発に取り組み、TMRヘッド用Al₂O₃絶縁膜を反応性スパッター法で作製することでピンホールの少ない良質な低抵抗膜を形成でき^(48,49)、TMR特性を向上させることができた⁽⁵⁰⁾。さらに、このヘッド用ヨーク材料として、Pt-Mn(反強磁性体)をCuの下地膜上に成膜することによってTMR動作の高安定化が図れることを明らかにし、1 GHzの高周波で透磁率が600以上のNi-Fe/Pt-Mn 2層膜を開発した^(51,52)。

記録密度の向上のためには磁気ディスクの記録層の磁気異方性を上げる必要があり、大きな記録磁界を発生させる高飽和磁化ヘッド材料の開発が不可欠となる。1999年から2000年にかけて開発したFe-N膜は飽和磁束密度2.1 T、保磁力0.5 Oe、10 MHzでの比透磁率2620と比較的良好な特性をもつが⁽⁵³⁾、300℃程度の加熱によって磁気特性が劣化する。Fe-N膜はN添加によるFe結晶粒の微細化によって軟磁気特性が改善されるが、加熱によって結晶粒が増大し保磁力が大きくなる。記録ヘッド作製には280℃程度の加熱プロセスが必要であるため、耐熱性も要求される。そこで、N添加ではなく下地膜の選択によって、遷移合金中で最大の2.45 Tの飽和磁化をもつFe₇₀Co₃₀膜の軟磁気特性を改善することにした。その結果、わずか1%のAl₂O₃を添加することや5 nm程度のCuを下地膜として用いることにより、劇的に軟磁気特性を改善できることがわかった⁽⁵⁴⁻⁵⁶⁾。また、下地膜材料を変えて、構造と磁気特性の関係を調べ、下地

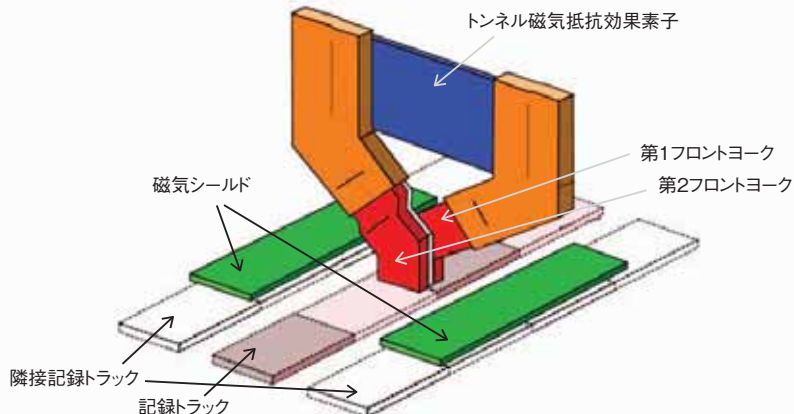


図 8.7 フロントヨーク積層型再生ヘッド

膜材料固有の表面自由エネルギーの差を利用した磁性膜の微細化によって、軟磁気特性が改善されることを明らかにした⁽⁵⁷⁻⁵⁹⁾。さらに、膜厚 2 nm の Ru 膜とのサンドイッチ構造とすることにより、磁気異方性の大きさを 30 Oe 以上に大きくでき、強磁性共鳴周波数を 3 GHz 以上と高くできることを確認した。

また、関連する技術として、ナノサイズ加工技術の開発を進め、膜厚方向の加工精度が 0.1 nm の高精度な微細加工が可能な TMR 素子形成のためのイオンミリング加工技術、電子線描画による 60 nm 幅のフロントヨークパターンの形成技術などを開発した。

この研究は 2006 年に収束したが、ここで蓄積した薄膜作製技術と磁気シミュレーション技術はスピントロニクスデバイスの研究に生かされた。

以上の研究は、林直人、町田賢司、宮本泰敬、玉城孝彦が主に担当した。

[林直人]

8.2 光記録デバイス

8.2.1 ハイビジョン光ディスクシステム

DVD などの光ディスクの普及や研究進展に伴って、光ディスクの番組制作への利用の期待が出てきた。このような状況を背景に、収録時間が短時間で済む取材用途ハイビジョン光ディスクカメラの開発を 1998 年から 2005 年まで行った。カメラに搭載するハイビジョン光ディスク装置の目標性能は、取材用途で主に使用されている HDCAM VTR の性能(転送レート約 150 Mbps、記録容量約 23 ギガバイト)とした。これらの性能実現には、転送レート、記録容量ともに大幅な向上が求められた⁽⁶⁰⁾。

2000 年は両性能のうち、赤色レーザー(波長 635 nm)を使用した転送レートの向上を優先させ、赤色光で高速に記録可能な相変化光ディスク媒体および信号処理方式の研究を行った。1999 年に試作した光ディスク評価装置の光ヘッドや信号処理回路の広帯域化を図り、高速化を図った試作光ディスク媒体を用いて 100 Mbps のビットレートで記録し、ビット誤り率 10^{-5} を実現した⁽⁶¹⁾。実験には、RLL(Run Length Limited)符号と新たに復号方式として考案した PR(1, 1, 1)ML(Partial Response Maximum Likelihood)を組み合わせた信号処理方式⁽⁶²⁾を使用し、ビット誤り率の測定はソフトウェア処理で行った。また、1999 年 7 月から始まった(社)電波産業会(ARIB)スタジオ設備開発部会放送用光ディスク検討作業班に参加し、ユーザー要求を技術資料としてまとめた⁽⁶³⁾。

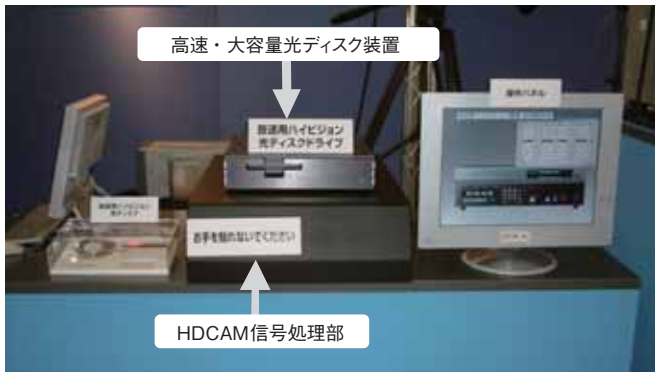
2001 年は、DVD などで使用されている赤色レーザーに比べ微小な光スポットが形成できる波長 405 nm の青

紫色レーザーの開発が進展してきたので、青紫色レーザーを用いた記録容量の向上に取り組んだ。青紫色レーザー光ヘッドを搭載した光ディスク評価装置を試作し、青紫光での高速記録に対応した試作相変化光ディスク媒体を用いて、赤色レーザーに比べ 2 倍以上の大容量化を実現した⁽⁶⁴⁾。また、前年に作成した ARIB 技術資料「取材・制作用光ディスク記録機器の設計ガイドライン」に基づき、光ディスクカメラに求められる性能や機能を実現する光ディスクフォーマットを検討した⁽⁶⁵⁾。一方、2001 年頃から SMPTE の技術委員会 V 16(Television Recording and Reproduction Technologies)において放送・業務用光ディスクの標準化の議論が始まり、研究成果を標準化活動に寄与した。

2002 年には、さらに記録容量を向上させるために対物レンズの開口数を 0.85 と高くした青紫色レーザー光ヘッドを試作した。また、1 個のヘッドでは 100 Mbps 以上の高転送レート化が困難であることから、ヘッド 2 個を搭載し、2 チャンネル並列記録による転送レートの向上を図ることとした。試作した相変化光ディスク媒体に、約 17 Gbit/inch²(記録容量 23 ギガバイト相当)の記録密度で 200 Mbps(100 Mbps、2 チャンネル)の高ビットレート記録再生実験を行い、バイト誤り率 10^{-3} ~ 10^{-4} を達成した⁽⁶⁶⁾。これにより HDCAM フォーマット相当の映像を 20 分間程度記録できる見通しを得た⁽⁶⁷⁾。そのほか、リアルタイムでの誤り率を測定するため、FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いた PR(1, 1, 1)ML の高速リードチャンネル⁽⁶⁸⁾、および放送用光ディスクフォーマットを検討するための光ディスクエミュレーターを開発した^(69,70)。

2003 年には、2 チャンネル記録再生のための光ディスク装置と信号処理装置を開発し、相変化光ディスク媒体での約 20 分間の HDCAM フォーマット映像の記録再生に初めて成功した⁽⁷¹⁾(**図 8.8**)。これにより、取材用途では光ディスクが技術的に実用レベルであることを実証した⁽⁷²⁾。また、放送用途のハイビジョン光ディスクに適した高速ファイルシステムを考案し、その有効性を前年に開発した光ディスクエミュレーターを用いて確認した⁽⁷³⁾。

2004 年には、小型化した光ディスク装置をハイビジョンカメラ(2/3 インチ 220 万画素 CCD 3 板式)に搭載したハイビジョン光ディスクカメラを開発した^(74,75)(**図 8.9**)。映像圧縮方式として MPEG-2 4:2:2 P@HL(LONG GOP)を採用し記録レートを 50 Mbps に下げ、1 チャンネル記録再生とすることにより、前年に試作した光ディスク装置を小型化した。HDCAM フォーマットよりさらに圧縮を図ったので映像および 4 チャンネルの音声(リニア PCM、20 ビット/48 kHz 標本化)を約 45



HDCAM 再生映像

図 8.8 HDCAM フォーマット映像の記録再生実験

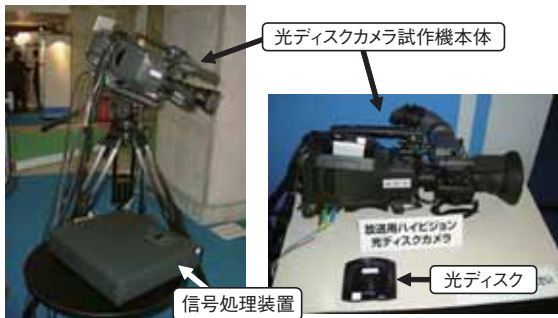


図 8.9 試作したハイビジョン光ディスクカメラ（口絵参照）

分間記録することが可能になった。また、開発したハイビジョン光ディスクカメラでの記録再生を実証し、ニュース取材用として十分な画質を確保できることを示した。

2005年には、再生機、ノンリニア編集機(オフラインとオンライン)を加えて、取材から編集まで光ディスクを記録媒体とするテーブルス取材・制作システムを開発した^(76,77)。オンライン編集機では、LONG GOPのMPEG-2圧縮映像データそのものを使うことにより、編集による画質劣化を最小限に抑えつつフレーム精度での編集を実現した。また、オフライン編集で生成した編集点データによるオンライン編集機での自動編集を可能にした。

高速大容量相変化光ディスク媒体の研究については、(株)リコーと2000年から2003年まで共同研究を行った。

以上の研究は、徳丸春樹、上條晃司、清水直樹、高野善道、柳澤 斉、石川清彦、岸田雅彦、小出大一、佐々木憲太郎、中村昇一が主に担当した。

(徳丸 春樹)

8.2.2 薄型光ディスク

光ディスクの性能向上を図り、取材用途の光ディスク装置の開発を2005年まで実施したが、放送局のさまざまな用途に使用するには記録容量、転送レートともにまだ十分な性能ではなかった。一方、コンテンツの重要性

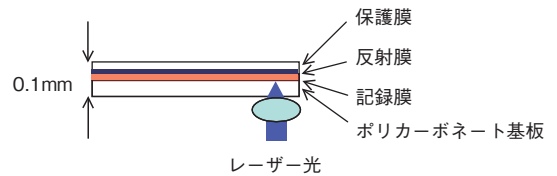


図 8.10 薄型光ディスク外観（口絵参照）と構造図

がますます高まり、放送局に蓄積された膨大な量のコンテンツを安定に保存する記録媒体が求められるようになった。そこで、2006年から、磁気テープに代わるコンテンツの保存用記録媒体を目指して薄型光ディスクの研究を行った。厚さが0.1mm程度の薄型光ディスクは市販されているBlu-ray Disc (BD)に比べ、約1/10の厚さのため、体積あたりの記録容量の向上、および高速回転化による転送レートの向上が見込める。

2006年は、まず薄型光ディスク媒体の基本構造について検討した。BDの媒体構成から1.1mm厚の基板を取り除いた厚さ約0.1mmの構成を薄型光ディスク媒体の基本構造とすることに決め(図8.10)、試作を始めた⁽⁷⁸⁾。薄型光ディスクは薄いため柔らかく、安定に回転させるには安定化機構⁽⁷⁹⁾を必要とする。そこで、安定化機構を設けたディスクの高速回転実験装置を試作した。この装置に試作した薄型光ディスクを装着し、安定化機構を約0.1mmの距離に近接させたところ、15000rpmまでの高速回転において面ぶれを現状の光ディスクの約1/10(10μm以下)に低減でき、安定に回転することを実証した。

2007年には、薄型光ディスク媒体の機械特性の改善を進め、研究を進めてきた零位相誤差トラッキング制御方式(8.2.3項参照)を適用することにより、ディスク回転数15000rpmでの光ヘッドの高精度なトラッキングを実現した⁽⁸⁰⁻⁸²⁾。これにより、約250MbpsのビットレートのHD-D5フォーマット映像を光ディスク全周に記録再生できる見通しを得た。また、安定化機構を設け、市販のBDドライブのモーターを高速回転できるように改修して搭載した小型のディスク回転実験装置を製作し、15000rpmまで安定に回転することを実証した^(80,83)。

2008年は、高線速度で記録再生できるように薄型光ディスク媒体の記録感度改善を図り、高速PRML信号処理装置を試作し、252Mbpsの高速記録再生時にバイト誤り率をBD規格(2×10^{-4})以下に低減することに成功した^(84,85)。これにより、薄型光ディスクにHD-D5フォーマットのビットレートで記録できることを実証した。また、市販のBDドライブに安定化機構⁽⁸⁶⁾を付加した薄型光ディスク装置を試作し、MPEG-2@100Mbpsのハイビジョン映像の記録再生を行った⁽⁸⁵⁾(図8.11)。さらに、ディスク装着機構付きのプロトタイプの薄型光ディスクドライブを試作した。

2009年は、薄型光ディスクの装置化に関する要素技術開発に取り組んだ。薄型光ディスクは、安定化機構に

近接させる必要があるため、回転の開始および停止時にディスクが機構に接触し、損傷する恐れがあった。そこで、安定化機構の動作を解析し、ディスクとの間に流入する空気量を制限することで、機構とディスクとの間隔を広げ接触を回避できる見通しを得た⁽⁸⁷⁾。また、ディスク高速回転時の光ヘッドのトラッキングをさらに高精度化するため、零位相誤差トラッキング制御系で発生する位相遅れを補償する技術を開発した⁽⁸⁸⁾。また、薄型光ディスクを100枚収納可能なカートリッジ(記録容量2.5テラバイト)とカートリッジに収納されたディスクを光ディスク装置に分配する機構を試作した。

薄型光ディスクの研究については、2006年から(株)リコーと、2008年から2009年まで日本電気(株)との共同研究を行った。高速制御方式の研究については、長岡技術科学大学との共同研究を行った。

以上の研究は、徳丸春樹、高野善道、小出大一、梶山岳士が主に担当した。

[徳丸 春樹]

8.2.3 光記録ヘッド・記録材料

光ディスクの転送レートおよび記録容量の大幅な向上を図るために、光ヘッドのマルチビーム化技術、レーザービーム制御技術、および記録媒体、記録材料などの要素技術の研究を行った。

(1) マルチビーム光ヘッド

転送レートの向上を図るには光ヘッドのビーム数を増やして並列に記録再生することが有効である。2001年から2002年には、開発が進んでいる青紫色半導体レーザー(波長405nm)を2個使い、2個から出射したビームの偏光状態を利用して記録時にはビームを合成、再生時には分離する光学系をもつ2ビーム光ヘッドを開発した。さらに、同光ヘッドの光検出部を低ノイズ化、広帯域化することにより200Mbps(100Mbps/ビーム×2ビーム)の高ビットレートで信号を再生できることを実証した⁽⁸⁹⁾。

一方、飛躍的な転送レートの向上を目指して、半導体レーザーアレーと光導波路を用いた小型マルチビーム光源の研究を進めた⁽⁹⁰⁾。2000年から2002年には、青紫色光を透過しやすい非晶質フッ素ポリマー材料を用いた矩形型直線光導波路を試作し、伝搬効率39%を実現した^(91,92)。2003年から2004年には、光導波路のコア材料および作製プロセスを改良し伝搬効率を70%に向上させた⁽⁹³⁾。2005年から2006年には、光ディスク上に微小間隔で光スポットを形成させるために、レーザーの発光点間隔を125 μm から12 μm へ約1/10に縮小できる4チャンネルのピッチ変換光導波路デバイスを試作した⁽⁹⁴⁾。また、同デバイスにおいて光記録に必要とされる20mWの出力を得られることを示した⁽⁹⁵⁾。2007年



図8.11 試作薄型光ディスクドライブと再生画像(口絵参照)

には、作製プロセスをさらに改善し隣接する導波路へのクロストークを1/1500以下に低減した10チャンネルの光導波路デバイスを試作した⁽⁹⁶⁾。2008年には、前年試作したピッチ変換光導波路デバイスに青紫色レーザーを光ファイバーで接続したものを光源(図8.12)として用いた4ビーム光ヘッド光学系を光学定盤上に構成し、縮小光学系で絞られた4個の光スポットが、DVD上に1.4 μm の狭間隔かつ高精度に形成されていることを確認し、4ビームによる並列記録を実証した⁽⁹⁷⁾。

以上の研究は、佐々木憲太郎、徳丸春樹、河村紀一が主に担当した。

(2) レーザービーム制御技術

ディスク回転数の高速化によって転送レートを向上させるには、高速で回転する光ディスクの記録トラックに対してレーザービームを高精度で安定に追従させる必要がある。2000年には、フィードバック制御系にフィードフォワード制御系を併用した光ビーム制御方式(零位相誤差トラッキング法)(図8.13)が高速追従に有効であることをシミュレーションにより明らかにした。2001

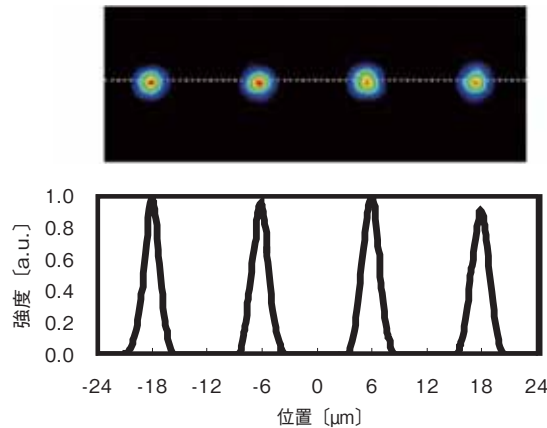


図8.12 光導波路デバイスからの青紫色レーザー射出像と光強度

年には、DSP(Digital Signal Processor)を用いた制御装置を試作し、100 Mbpsの転送レートに必要なディスク回転数7200 rpmにおいて、トラッキングの残留誤差量をDVDの規格値(0.022 μm 以下)まで低減できることを確認した^(98,99)。2003年には、トラックピッチが0.42 μm の青紫色光ディスクにこの方式を適用し、線速度26 m/s(BDの約5倍の線速度)において高精度な制御を実現した⁽¹⁰⁰⁾。2004年には、光ディスクカメラに搭載される光ディスク装置などに外部から加わる衝撃に対して強い性能をもつ制御系を考案し、加速度1 Gの衝撃に対応可能なことを実証した^(101,102)。2005年には、高速DSPに実装し、トラックピッチが0.32 μm のBDに対して、従来に比べ約2倍の回転数の9000 rpmにおいて、規格値(9 nm以下)の残留誤差量でのトラッキングを実現した^(103,104)。さらに2006年には、ディスク回転数10800 rpmにおいて残留誤差量6.5 nmの高精度なトラッキングを実現した⁽¹⁰⁵⁻¹⁰⁷⁾。

2006年以降は、さらに高速回転が可能で転送レートの向上が見込める薄型光ディスクへ適用した。

この研究は、長岡技術科学大学と共同で行った。

以上の研究は、小出大一、徳丸春樹、柳澤 斉が主に担当した。

(3) 記録媒体、記録材料

青紫色半導体レーザーの開発の進展に注目し、光ディスクの記録密度および転送レートの向上を目指して、青紫色レーザーで高速に記録、再生できる相変化光ディスク媒体の研究を行った。相変化光ディスクの転送レート向上への最大の課題は高線速度における高い消去率の実現であった⁽¹⁰⁸⁾。2000年から2001年は、青紫色光にて高い線速度で消去できる記録媒体を探索した⁽¹⁰⁹⁾。記録材料の組成、層構成、および基板の平坦化などの機械特性の検討を行い、線速度18 m/s(DVDの約2倍)、ビットレート100 Mbpsで記録した信号の再生ジッター値が

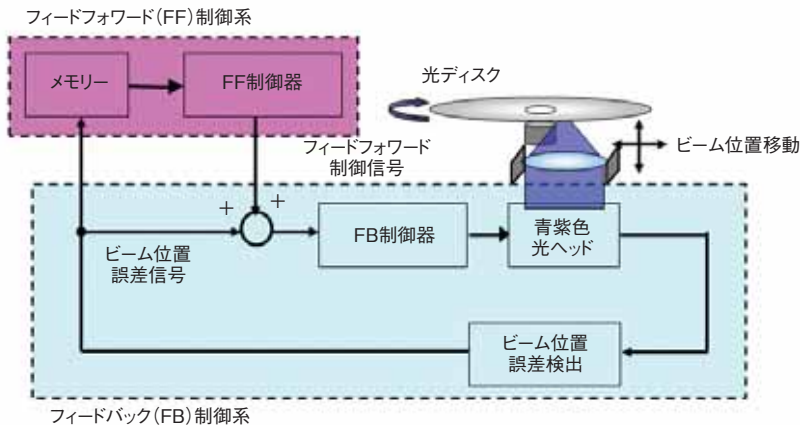


図8.13 フィードフォワードを併用した高速光ビーム位置制御系のブロック図

10% 以下と実用的な値が得られ、赤色レーザーに比べて2倍以上の高密度化を達成した⁽¹¹⁰⁾。

2003年から、記録容量を大幅に向上させるため、エレクトロクロミック(EC)材料を用いた超多層媒体による大容量化の研究を行った⁽¹¹¹⁾。2005年には、EC材料である酸化タングステン膜(WO₃)を作製し、青紫色光で発色前後の透過率差70%を実現した。2006年には、WO₃膜の発色後の透過率および消色速度を膜の微細構造を調整し制御できることを見いだした⁽¹¹²⁾。2007年には、同じEC材料である酸化イリジウム膜を組み合わせた構造とすることで発色電圧を8Vから1.2Vへ低電圧化した⁽¹¹³⁾。WO₃膜に酸素欠陥を導入することにより、2008年には電圧印加時と同じように発色すること⁽¹¹⁴⁾を、2009年には導電性が発現することを明らかにした。さらに、この膜を熱処理することにより抵抗率が2けた程度低下することがわかった⁽¹¹⁵⁾。

高速大容量の相変化光ディスク媒体の研究については、(株)日立製作所と2000年から2003年まで共同研究を行った。

以上の研究は、徳丸春樹、佐藤龍二、清水直樹、石井紀彦、木下延博が主に担当した。

[徳丸 春樹]

8.2.4 磁気テープ光再生デバイス

膨大な数の磁気テープに記録されたコンテンツのファイル化、および光ディスクなどの次世代記録メディアへの高速コピーを目指して、磁気テープ高速再生技術の研究を2005年から行った。

磁気テープの高速読み出しのために、磁気テープの複数トラックの情報を磁性ガーネット膜に一括磁気転写し、それらの情報をレーザーで磁性ガーネット膜のファラデー回転(磁性膜の磁化の方向に応じて偏光面が回転する現象)を利用して読み出す方式の開発を進めた。

2006年には、膜厚1μmあたり約5度という大きなファラデー回転角をもつ磁性ガーネット膜を試作し、記録波長1.2μmまでの信号の磁気転写を確認した⁽¹¹⁶⁻¹¹⁹⁾。

2007年は、1トラックをレーザーで再生する装置を試作し、記録波長7.7μmの信号をD-3 VTRの60倍のテープ速度(5 m/s)で読み出せることを確認した⁽¹²⁰⁾。

2008年は、ガーネット膜や反射膜の性能改善を進め、D-3 VTRの信号を明りょうに転写することに成功した^(121, 122) (図 8.14)。また、磁気テープに記録された、D-3フォーマットの最短記録波長0.77μmの信号を磁性ガーネット膜に転写し、緑色レーザーを用いて30 dB以上のCN比で読み出せることを確認した^(123, 124)。

2009年は低周波数領域でのノイズが磁気テープの磁性体の形状に起因することを明らかにし、トラック幅方向に幅広の読み出し光を用いて再生することによって

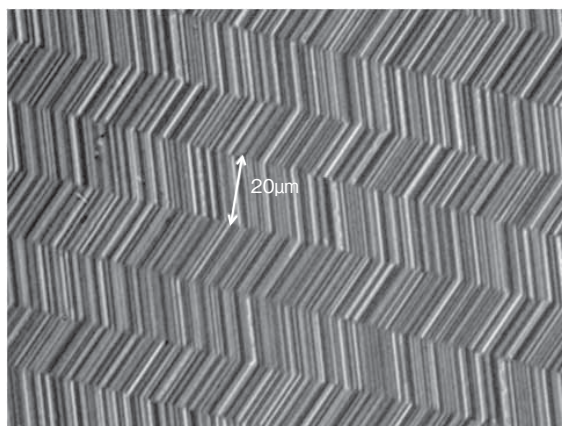


図 8.14 磁気テープの磁性ガーネット膜への転写パターン

CN比を改善した⁽¹²⁵⁾。また、複数トラックの再生用光学系を試作し、20μmピッチで記録されたデータを並列再生する見通しを得た⁽¹²⁶⁾。

磁気転写膜の開発は、2006年から2009年まで静岡理工科大学との共同研究として行った。

以上の研究は、岸田雅彦、林直人、玉城孝彦が主に担当した。

[林 直人]

8.2.5 ホログラム記録

映像信号の長期保存が可能な大容量・高速記録装置の実現を目指し、ホログラムを利用した光記録技術の研究を行った。ホログラム記録では大量の情報を2次元のページデータとして一括で扱うことができ、記録媒体の深さ方向にも記録できる。ランダム信号より構成されるページデータを厚膜の光感光性樹脂(フォトポリマー)媒体に記録し、再生するなど基礎的な記録再生実験を2003年より開始した。

(1) 多重記録技術

大容量化を目指し、同一スポットに異なるデータを記録できる多重記録方式の検討を行った。2004年は光の位相を規則的に変調して多重する位相コード多重方式において、離散コサイン変換(DCT)を用いた方式を新たに提案した⁽¹²⁷⁾。また、円筒波を用いた多重化方式も提案した⁽¹²⁸⁾。離散コサイン変換を用いた位相コード多重記録⁽¹²⁹⁾においては、記録再生装置を2005年に試作した。さらに、光の位相をランダムに変調し、クロストークの少ない多重記録方式としてスペckルパターンを重畳した参照光を用いる装置(図 8.15)を2006年に試作した^(130, 131)。ページデータを200枚以上同一場所に多重記録し、ビット誤り率10⁻⁴台で読み出した。

2007年はランダム位相板により発生させたスペckル光を位相測定用の平面波に重畳し、位相補償用信号を取り出し、記録時の位相補償を行った^(132, 133)。

次に、光の位相を用いて多重する方式よりさらに高多重化を目指して、角度多重記録方式の開発を行った。この方式において、角度の変化量を可変にすることで誤り率を低減できることを見だし、記録時の角度間隔を制御する手法を開発した。開口数 0.45 の対物レンズ、位相共役光学系とこの手法を組み合わせた記録再生実験装置を 2008 年に試作した⁽¹³⁴⁻¹³⁹⁾。

2009 年には開口数 0.65 の対物レンズを作製し、位相共役光学系、後述する波面補償技術を組み合わせた記録再生実験装置を開発した(図 8.16)。厚さ 1 mm の記録媒体へ 300 多重記録を行い、ビット誤り率 10^{-4} 台の再生信号を得るとともに、5-9 変調、低密度パリティ検査(LDPC)符号を用いてカード形状の記録媒体にオフラインでハイビジョン映像ファイルの記録再生を実現した。

(2) シミュレーション技術

時間領域差分法および平面波展開法を用いたホログラムの記録から再生までの特性を統一的に解析できるシミュレーション技法を 2004 年に開発した⁽¹⁴⁰⁻¹⁴³⁾。これを用いて角度多重記録について動作を検証した^(144,145)。また、2005 年には波面補償の効果を理論的に解析した。さらに、記録媒体の収縮により物体光と回折光がずれることによって生じる干渉縞の間隔からホログラム記録媒

体の体積収縮を解析する手法を開発した⁽¹⁴⁶⁻¹⁴⁸⁾。

(3) 波面補償技術

ホログラム記録では光の干渉縞を記録するため、記録再生で高い SN 比を得るには光の等位相面(波面)が安定していなければならない。しかし、使用するレーザー光の波面はレーザーの発振モードの安定性や周辺の大気のじょう乱、振動などによって大きく変動する。そこで、記録再生時の光波面を安定化させる波面補償技術を開発した。

記録時の光位相誤差を測定する手法を 2005 年に開発した⁽¹⁴⁹⁾。光学系の光位相誤差を測定する手法を拡張し、ページデータについても適用できる技術を開発した⁽¹⁵⁰⁻¹⁵⁴⁾。

また、再生時にもホログラム記録媒体の歪みを補償する波面補償技術を開発した。再生時に記録媒体に照射する光波面を制御するデフォーダブルミラーと再生された光を検出する光波面センサーを用いた。制御手法に遺伝的アルゴリズムを適用し、白色画像の再生像において評価指数を最大 5 dB 改善した⁽¹⁵⁵⁻¹⁶³⁾。

2008 年は、この遺伝的アルゴリズムにおいて、新たにページデータに対応できる評価指標を見だし、これにより、波面補償を最適化した。記録媒体の歪みにより十分な再生信号を得ることが困難な場合でも、この手法により再生データを得ることに成功した。さらに、温度変化による記録媒体の膨張収縮に伴う再生像劣化の改善、波面補償の高速・高精度化を図った⁽¹⁶⁴⁻¹⁶⁷⁾。

(4) その他の技術

ホログラム記録再生特性について、ビット誤り率と SN 比の関係を評価し、それに基づいた SN 比の定義を提案した。また、ノイズを発生要因ごとに分けて測定・評価する方法を提案した^(168,169)。

ホログラム記録媒体にデータを記録再生する際には、光ディスク装置と同様にサーボ信号による位置制御が必要になる。データに重畳した周期信号から直接サーボ信号を取得する方式について検討した。また、多重記録したページデータ間のクロストークを低減する手法として、この周期信号をページデータに埋め込み記録し、再生時にマーカーを基準として各ページデータを読み出す方法を考案した⁽¹⁷⁰⁻¹⁷⁶⁾。

ホログラム記録の研究は、2009 年から客員研究員 静岡大学 川田善正 教授の協力を得て行った。

以上の研究は、清水直樹、上條晃司、石井紀彦、木下延博、室井哲彦、椎野弘崇が主に担当した。

[清水 直樹]

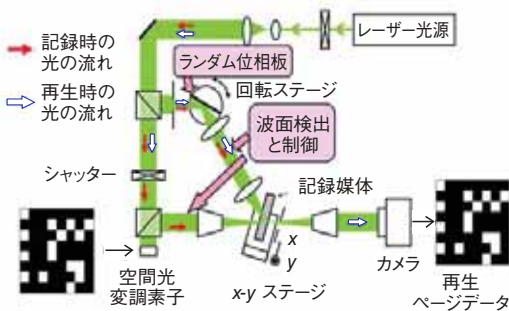


図 8.15 ランダム位相板と記録補償を用いたホログラム記録系

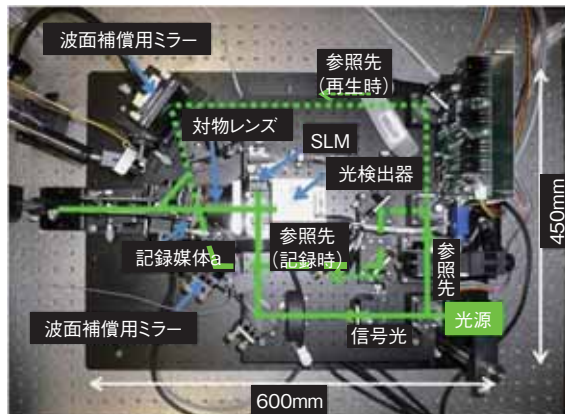


図 8.16 試作したホログラム実験装置 (上面図)

8.3 スピントロニクスデバイス

8.3.1 スピントロニクス材料

高密度磁気記録用の再生ヘッドおよび多値記録や演算機能を有する大容量メモリーを目指して、磁気抵抗効果の大きな TMR (Tunnel Magneto-Resistive) 素子、希薄磁性半導体、スピン注入磁化反転素子の研究を行った。

(1) TMR 素子用材料の研究

TMR 素子は厚さ数 nm の薄い絶縁層を 2 つの強磁性層で挟んだ素子構造であり、2 つの強磁性層間のトンネル電流に巨大磁気抵抗効果が現れる。2000 年はトンネル絶縁層として Al_2O_3 を反応性スパッター法で作製し、ピンホールの少ない良質な低抵抗膜の作製に成功した⁽¹⁷⁷⁾。2001 年はイオンビームミリングを用いて素子加工する際に基板温度を -10°C に冷却させることで、フォトリソの熱硬化を抑制できることがわかった。さらに、TMR 素子の基板表面汚染や強磁性層の性能劣化を防ぐため、反応性イオンエッチング法でパターン作製を行った。イオンビームの加速電圧およびビーム照射時間のインターバルを調整することで、TMR 素子形状の加工が可能になった。

2002 年はスタンフォード大学と共同で、強磁性層の 1 つを針形状とする BMR (Ballistic Magneto-Resistive) 素子の研究を開始した。強磁性層の材料として、理論的にスピン偏極率 100% が期待されるハーフメタル Fe_3O_4 の作製に着手した。2003 年にはデュアルイオンビームスパッター装置を用いて結晶性の良好な Fe_3O_4 膜を作製する際、基板上に照射するアシストイオンガンの最適加速電圧を見いだした⁽¹⁷⁸⁻¹⁸¹⁾。2004 年は絶縁層/強磁性層の積層膜を単磁区化するため、素子サイズ 80 nm の微細化プロセスを確立した⁽¹⁸²⁾。また RLSA (Radial Line Slot Antenna) 装置を導入し、トンネル絶縁層の Al_2O_3 をマイクロ波励起高密度プラズマ中で成膜することで MR 比 50% を達成した。2005 年は MR 比のさらなる向上を目指してトンネル絶縁層材料として単結晶の MgO の試作に着手した。単結晶の MgO はトンネル電子が 100% スピン偏極したバンド構造をとることが知られており、高い MR 比が期待できる。BMR 素子は点接触型素子のために電流特性が不安定になり、実用化は困難であることがわかった。2006 年からはこの研究で得られた TMR 素子作製技術をもとにスピン注入磁化反転の低駆動電流化の研究を行っている。

(2) 希薄磁性半導体の研究

磁気抵抗効果の大きな材料開発を目指して半導体 In-Sb 中に微量の磁性元素 Mn を添加した希薄磁性半導体 In-Mn-Sb の研究を行った。2000 年はスパッター法による In-Mn-Sb 薄膜の作製実験を行い基板温度 350°C の作製膜では膜中に Mn が均一に分布することがわかっ

た^(183,184)が、単結晶膜化が課題となった。2001 年からは単結晶の In-Mn-Sb 薄膜を作製するため、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法による In-Mn-Sb 薄膜の作製を行った。GaAs 基板上に格子整合の中間層として GaSb を形成し、かつ基板温度を 235°C 以下で単結晶の In-Mn-Sb を作製できることを見いだした。

2002 年は成膜時の基板温度を 150°C まで下げることで、Mn 組成比を 5% とした $\text{In}_{0.5}\text{Mn}_{0.05}\text{Sb}_{0.45}$ 薄膜を作製した。この膜は -258°C において 28% の MR 比を得た⁽¹⁸⁵⁻¹⁸⁸⁾。2003 年は In-Mn-Sb の磁性について解析し、磁性発現の原因が Mn イオンの正孔に基づくキャリア誘起であることを解明した⁽¹⁸⁹⁾。室温における MR 比が 1% と小さく、実用化するためには Mn 組成比を大幅に増加する必要があることがわかり、現在の成膜技術では実現が困難であることから研究を収束した。

この研究は、東京工業大学と共同で行った。

(3) スピン注入磁化反転素子の研究

磁気固体メモリーの大容量化を目指してサブミクロンサイズの微小磁性体の記録に適したスピン注入磁化反転素子の研究を 2004 年から行った。2004 年は、[上部電極/Co-Fe/Cu/Co-Fe/Ir-Mn/下部電極] から成る積層構造の CPP (Current Perpendicular to Plane) -GMR (Giant Magneto-Resistive) 素子を試作した⁽¹⁹⁰⁻¹⁹³⁾。上部電極から Ir-Mn までエッチングした構造にすることで抵抗率 $0.069 \Omega \cdot \mu\text{m}^2$ の低抵抗化を実現した。さらに、スピン注入磁化反転素子実験装置 (図 8.17) を試作してスピン注入磁化反転動作を確認した。2005 年は Co-Fe をホイイスラー合金の CO_2MnGe に変えた素子

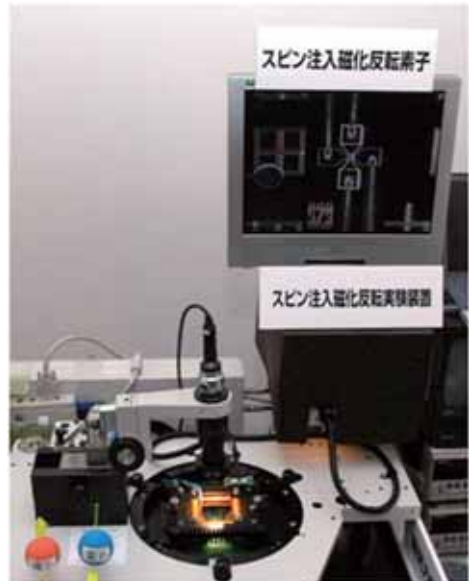


図 8.17 スピン注入磁化反転実験装置 (図輪参照)

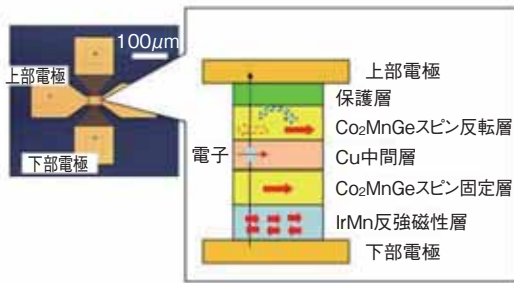


図 8.18 試作したスピン注入素子と断面構造

(図 8.18) を作製した。成膜時の基板温度を 275°C とすることで B2 規則化構造をとることに成功した。この素子のスピン注入磁化反転では反転電流が $1.3 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ となり、従来の Co-Fe を使った素子の 1/5 に低減できた。この研究成果をもとに 2006 年からスピン注入磁化反転を応用した高精度な空間光変調器の研究に移行した。

なお、サブミクロンサイズの磁化状態の形状依存については東京農工大学と共同で研究を行った⁽¹⁹⁴⁻¹⁹⁶⁾。

以上の研究は、久我 淳、青島賢一、町田賢司、宮本泰敬、船橋信彦、椎野弘崇、林直人が主に担当した。

[久我 淳]

8.3.2 量子デバイス

数 nm サイズ以下の微小領域の磁化制御を目指して磁性量子ドット (図 8.19) の研究を進めた。2001 年は、磁性原子から成る数 nm サイズの磁性量子ドットを数 nm 程度の微小規則間隔で整列させ、そのときの複数の磁性量子ドットの磁気的なふるまいを調べた。超高真空中で清浄な Cu 単結晶基板上に N イオンを照射した後、熱処理により 5 nm 間隔の微細な角型格子マスクパターンを作製し、このパターン基板の上に厚さ 2 原子層の Co を蒸着することで磁性量子ドットを形成した。この磁性量子ドットの表面磁気光学効果を測定したところ、磁性量子ドット間のパターン構造に起因する磁性の発現

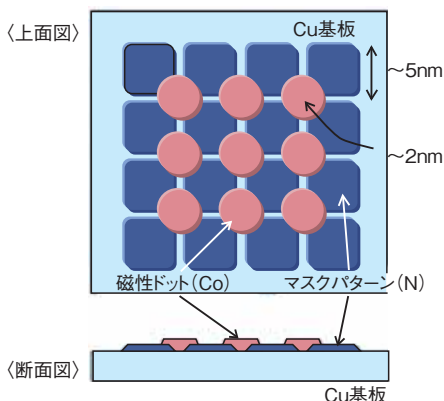


図 8.19 磁性量子ドットの概念図

を確認した⁽¹⁹⁷⁻¹⁹⁹⁾。2002 年は Co と Fe 合金の磁性量子ドットを作製し、その磁気特性を測定した。Co と Fe 合金の磁性量子ドットは面内と面直の磁化成分をもつことを明らかにした⁽²⁰⁰⁻²⁰⁵⁾。

磁性量子ドットの配置のもととなる格子パターン形状を制御する目的で、新たに Cu(001) の微傾斜基板を使用することによって異方性のある格子パターンの作製に成功した (図 8.20)。さらに、この格子パターンの上に形成した磁性量子ドットは強い面内磁気異方性をもつことを見いだした。2003 年は規則正しく配列した Co と Fe の合金の磁性量子ドットのキュリー温度が、Co 単一元素からなる磁性量子ドットに比べ、約 140°C 向上することを見いだした。

磁性量子ドットの磁気構造に及ぼす各原子の役割を解明するために、非線形磁気光学効果の観測に着手した。2004 年に非線形光を用いた磁性量子ドットの観察技術確立し、Cu(001) 面上の N 吸着面、Co 薄膜に関して SHG (第 2 高調波発生) を観察した^(206, 207)。清浄な Cu(001) 表面に N または Co が吸着すると、表面の対称性が乱され、<001> に関する非線形光が観測された。また、Co の場合、磁化が大きくなるにつれて非線形光の強度が増すことを明らかにした。2006 年は非線形光の観測結果の解析を進めた。Cu(001) 単結晶基板の上の N および Co を 1 原子層吸着させた膜の非線形光の偏光特性が第一原理計算から求めた値と一致した⁽²⁰⁸⁾。2007 年は非線形光観察装置の高感度化と低ノイズ化を図り、磁性量子ドットを原子レベルで光学的に評価できる見通しを得た。

さらに、磁性量子ドット間の磁気的相互作用を電流特

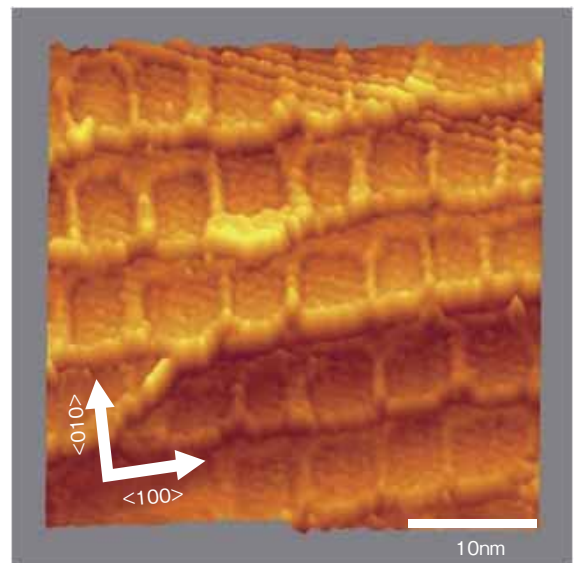


図 8.20 微傾斜面の観察像

性として検出するため、プローブ測定手法の開発を進めた。2006年はプローブ材料としてRuシリサイド化合物が有望であることを見だし、スピン検出用プローブの試作を進めた。さらに、2007年は磁性量子ドットの磁気的な状態を直接的に解析するため、Si基板上のRu化合物の原子レベルでの成長様式を明らかにした⁽²⁰⁹⁻²¹⁵⁾。

将来の量子情報技術の動向を調査するために2005年、2006年とNTT物性科学基礎研究所において派遣研究を行い、AI超伝導体を用いた量子ビットの動作検証を行った。

以上の研究は、河村紀一、宮本泰敬、および宮岡秀治（ポストドクター）が主に担当した。

[久我 淳]

8.3.3 微小磁区制御デバイス

可動部のない高速磁気記録デバイスの実現に向けて、磁性細線を用いた微小磁区制御デバイスの研究を2008年より開始した。

2008年は、面内に磁化した磁性細線中に形成される微小磁区の位置を高精度に検出する手法の研究を進め、磁気転写膜を用いることにより、細線中の磁区のその場観察を初めて実現した⁽²¹⁶⁾。特に、これまでは検出限界のため困難と考えられていた幅300nmの微細なCo-Pt磁性細線においても、細線に密着させた磁気転写膜を介して磁気光学カー効果の2次元測定を行うことによって、磁区状態を同定できることを示した。

2009年は、電流による微小磁区の移動制御を目指して磁性細線の構造を検討し、Landau-Lifshitz-Gilbert方程式を用いたシミュレーションによってその効果を検

証した⁽²¹⁷⁾。この構造を、CoとPdの人工格子膜で構成した垂直磁化をもつ磁性細線に適用し、細線中に存在している複数の微小磁区を、磁気光学効果を利用してその場で検出することに成功した⁽²¹⁸⁾。また、磁性細線に微細形状加工を行いながら、同時に磁化状態を検出できる走査型プローブ顕微鏡を導入し、微小磁区の移動制御の基礎実験を開始した。さらに、磁性細線の研究にかかわる要素技術として、電子線リソグラフィーによる線幅150nmの磁性細線の作製技術（図8.21）、1nmの加工精度でシリコンをエッチングする溝加工技術、そこへ磁性体を充填する技術、充填した磁性体とシリコンの段差を数nm以下に平坦化する研磨技術などを開発した。

以上の研究は、宮本泰敬、川那真弓、岸田雅彦、奥田光伸、林直人が主に担当した。

[林 直人]

文 献

- (1) 田口, 真島, 武藤, 上原, 奥田, 江尻, 柏木: 超薄磁性層MPテープの回転ドラム搭載型MRヘッドによる記録再生特性, 映情学年次大, 7-3 (2000)
- (2) 武藤, 真島, 田口, 上原, 奥田, 江尻, 柏木: 超薄磁性層MPテープの低ノイズ化の検討, 信学ソ大, C-7-6 (2000)
- (3) K. Ejiri, A. Kashiwagi, R. Taguchi, K. Majima, K. Muto, T. Uehara and H. Okuda: Investigation of Particulate Media with an Ultra-thin Magnetic Layer Suitable for MR heads on a Rotating Drum, IEEE Trans. Magn., Vol. 37, No. 4, pp. 1605-1608 (2001)
- (4) 真島, 田口, 武藤, 上原, 奥田, 近藤, 新庄, 長谷川: 回転ドラム搭載型MRヘッドの高密度再生特性, 映情学誌, Vol. 54, No. 10, pp. 1438-1445 (2000)
- (5) 真島, 田口, 武藤, 上原, 奥田: 回転ドラム搭載型MRヘッドの高密度再生特性~大容量・高転送レート of テープストレージをめざして~, NHK 技研 R&D, No. 69, pp. 20-27 (2001)
- (6) K. Muto, K. Majima, R. Taguchi, T. Uehara, H. Okuda, M. Kondo, Y. Shinjo and N. Hasegawa: High-density reproduction characteristics with MR head for rotary drum in helical-scan tape system, IEEE Trans. Magn., Vol. 37, No. 4, pp. 1912-1914 (2001)
- (7) 宮下, 玉城, 船橋, 田口: 超高密度記録用垂直磁気ディスクの開発, NHK 技研 R&D, No. 80, pp. 38-43 (2003)
- (8) 林: ハードディスクの高速・大容量化技術, NHK 技研 R&D, No. 97, pp. 32-37 (2006)
- (9) 椎野, 北野, 宮下, 竹野入, 林: 2.5mm厚1インチHDDにおける垂直磁気ディスクの記録再生特性, 映情学冬大, 3-2 (2006)
- (10) M. Kaneko, T. Naito, N. Shigematsu, E. Miyashita and Y. Okazaki: 2.5-mm-thick 10 GB Hard Disk Drive Using 1-inch Single Side Perpendicular Recording, IEEE Trans.

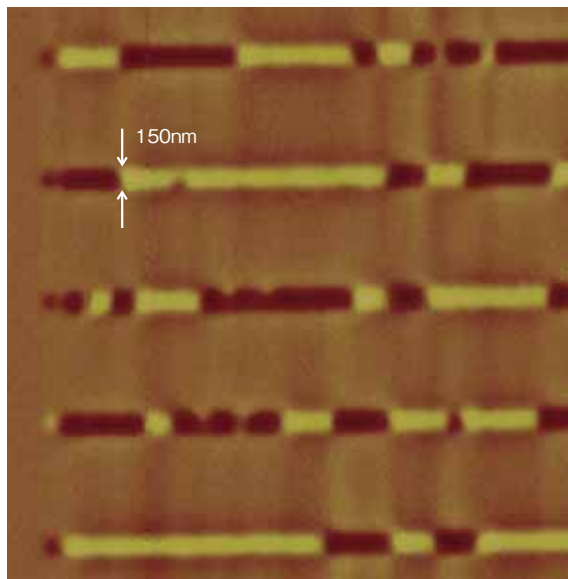


図 8.21 試作した線幅 150 nm の磁気力顕微鏡像（口絵参照）

- Magn., Vol. 43, No. 2, pp. 698-703 (2007)
- (11) 椎野, 北野, 宮下, 竹野入, 林: 2.5 mm 厚 10 GB 1 インチ HDD 用垂直磁気ディスクの開発, 信学技報 MR 2006-72, 映情学技報, MMS 2007-7, CE 2007-7 (2007)
 - (12) 林, 栗田: 高密度磁気記録技術の研究動向, NHK 技研 R&D, No. 113, pp. 4-11 (2009)
 - (13) 宮下, 田口, 久我, 玉城, 奥田: 垂直磁気記録媒体の記録磁化パターンシミュレーション, 日本応用磁気学会誌, Vol. 25, pp. 595-598 (2001)
 - (14) 宮下, 久我, 田口, 玉城, 奥田, 大久保, 大月: 粒間相互作用が記録パターンへ与える影響, 信学技報, MR 2001-17 (2001)
 - (15) E. Miyashita, K. Kuga, R. Taguchi, T. Tamaki and H. Okuda: Simulation of magnetization patterns of perpendicular media for ultra-high recording density, J. Mag. Mag. Mater., Vol. 235, pp. 413-417 (2001)
 - (16) E. Miyashita, K. Kuga, R. Taguchi, T. Tamaki and H. Okuda: Simulation of Magnetic recording Process of Amorphous Continuous Media, IEICE Trans. Electronics, Vol. E 83-C, No. 9, pp. 1505-1510 (2000)
 - (17) 宮下, 久我, 田口, 玉城, 奥田: 非晶質垂直磁気記録媒体への磁気記録シミュレーション, 日本応用磁気学会誌, Vol. 25, No. 3-1, pp. 126-132 (2001)
 - (18) 北野, 宮下, 久我, 田口, 玉城, 奥田, 酒井, 榎本, 大久保, 竹野入, 渡辺, 大月: 非晶質 Tb-Co/Co-Cr-Pt-B 複合垂直媒体の記録特性と熱緩和特性, 日本応用磁気学会誌, Vol. 26, No. 4, pp. 238-242 (2002)
 - (19) 船橋, 宮下, 田口, 久我, 玉城, 奥田: 非晶質/Co-Cr 系複合垂直媒体の記録特性と熱緩和特性, 信学技報, MR 2002-4 (2002)
 - (20) 宮下, 藤巻, 船橋, 田口, 玉城, 酒井, 大月: Tb-Fe-Co/Co-Cr-Pt-B 複合垂直媒体の記録特性と熱揺らぎ, 日本応用磁気学会第 133 回研究会資料, pp. 43-49 (2003)
 - (21) N. Funabashi, E. Miyashita, R. Taguchi, T. Tamaki and S. Nakamura: Read/write characteristics and thermal decay on Tb-Fe-Co/Co-Cr-Pt-B hybrid perpendicular magnetic recording media, J. Mag. Mag. Mater., Vol. 287, pp. 255-259 (2005)
 - (22) 宮下, 北野, 林: 垂直媒体の軟磁性層膜厚変化に対する記録過程のシミュレーション, 信学技報, MR 2005-27 (2005)
 - (23) M. Kitano, E. Miyashita, K. Kuga, R. Taguchi, T. Tamaki and H. Okuda: MFM analysis of recorded bit patterns of perpendicular media, J. Mag. Mag. Mater., Vol. 235, pp. 459-464 (2001)
 - (24) 宮下, 久我, 田口, 玉城, 奥田: 垂直媒体高密度記録特性の交換ステイフネス依存性~超高密度記録に適した垂直磁気記録媒体を設計する~, NHK 技研 R&D, No. 69, pp. 36-43 (2001)
 - (25) 宮下, 田口, 船橋, 玉城, 奥田: 垂直媒体の磁気クラスターサイズと記録特性, 信学技報, MR 2002-17 (2002)
 - (26) E. Miyashita, R. Taguchi, N. Funabashi, T. Tamaki and H. Okuda: Effect of the exchange stiffness constant and distribution on the recording characteristics of perpendicular media, IEEE Trans. Mag., Vol. 38, No. 5, pp. 2075-2077 (2002)
 - (27) 宮下, 船橋, 田口, 玉城, 奥田: 垂直記録媒体の熱揺らぎのグレイン間交換ステイフネス依存性, 信学技報, MR 2003-6 (2003)
 - (28) 北野, 宮下, 林, 玉城, 竹野入: CoPtCr-SiO₂ 垂直磁気記録媒体の磁気クラスターサイズと記録特性, 信学技報, MR 2005-40 (2005)
 - (29) E. Miyashita, N. Funabashi, R. Taguchi, T. Tamaki and S. Nakamura: Dependence of thermal decay on the magnetic cluster size of perpendicular magnetic recording media, J. Mag. Mag. Mater., Vol. 287, pp. 96-101 (2005)
 - (30) 宮下, 川那, 椎野, 林: グレイン間相互作用が磁化曲線・記録特性へ与える影響, 信学技報, MR 2006-21 (2006)
 - (31) 北野, 宮下, 林, 玉城, 竹野入: CoPtCr-SiO₂ 垂直磁気記録媒体の保磁力角形比と記録再生特性, 日本応用磁気学会誌, Vol. 30, No. 6-1, pp. 535-539 (2006)
 - (32) 宮下, 川那, 椎野, 林: グレイン間相互作用境界による高密度記録特性の最適化, 信学技報, MR 2007-48 (2007)
 - (33) E. Miyashita, M. Kawana, H. Shiino and N. Hayashi: Effect of intergranular interactions on recording characteristics, J. Mag. Mag. Mater., Vol. 320, pp. 2921-2924 (2008)
 - (34) M. Kitano, E. Miyashita, N. Hayashi and S. Takenoiri: Bit-Percolation Studies on CoPtCr-SiO₂ Perpendicular Magnetic-Recording Media, IEEE Trans. Mag., Vol. 43, No. 6, pp. 2094-2096 (2007)
 - (35) 北野, 竹野入, 椎野, 宮下, 林: フライングハイトコントロール付ヘッドによる CoPtCr-SiO₂ 垂直媒体の記録再生特性, 信学技報, MR 2007-8 (2007)
 - (36) 椎野, 川那, 宮下, 渡辺, 林: 熱アシスト方式によるグラニューラー垂直磁気媒体の記録特性改善, 映情学年次大, 2-9 (2008)
 - (37) 椎野, 川那, 宮本, 宮下, 渡辺, 林: CoPtCr-SiO₂ グラニューラー垂直磁気媒体における熱アシスト記録の高密度記録特性, 日本磁気学会第 33 回学術講演概要集, 14 aB-1 (2009)
 - (38) H. Shiino, M. Kawana, E. Miyashita, S. Watanabe and N. Hayashi: Characteristics of thermally assisted magnetic recording in granular perpendicular media, J. Appl. Phys., 105, 07 B 906 (2009)
 - (39) K. Machida, N. Hayashi, Y. Yoneda, J. Numazawa and M. Kouro: Characteristics of cross-talk in the reproduced output of a newly developed multi-channel MR head, ICM 2000, 2 R-14 (2000)
 - (40) 町田, 宮本, 林, 玉城, 奥田: マルチチャンネル MR ヘッドのシミュレーションと素子評価, 信学技報, MR 2000-16 (2000)
 - (41) K. Machida, N. Hayashi, Y. Yoneda and J. Numazawa: Characteristics of crosstalk in the reproduced output of a newly developed multi-channel MR head, J. Mag. Mag. Mater., Vol. 226-230, pp. 2054-2055 (2001)
 - (42) 町田, 宮本, 林, 玉城, 奥田: マルチチャンネル MR ヘッドのシミュレーションと素子評価~超高速・大容量記録装

- 置の実現に向けて～, NHK 技研 R&D, Vol. 69, pp. 28-35 (2001)
- (43) 町田, 林, 上原, 奥田: 高感度ヨーク型 MR ヘッドの設計と解析, 信学総大, C-7-4 (2000)
- (44) 町田, 林, 宮本, 玉城, 奥田: 垂直磁気記録用フロントヨーク積層型 TMR ヘッドの再生特性解析, 信学総大, SC-5-7 (2001)
- (45) K. Machida, N. Hayashi, Y. Miyamoto, T. Tamaki and H. Okuda: Yoke type TMR head with front-stacked gap for perpendicular magnetic recording, J. Mag. Mag. Mater., Vol. 235, pp. 201-207 (2001)
- (46) 町田, 林, 宮本, 玉城, 奥田: 垂直磁気記録用フロントヨーク積層型 TMR ヘッド解析, 日本応用磁気学会誌, Vol. 26, No. 4, pp. 293-296 (2002)
- (47) 町田, 林, 宮本, 玉城, 藤田, 沼澤: フロントヨーク積層型 TMR ヘッドの再生特性シミュレーション, 信学技報, MR 2002-29 (2002)
- (48) Y. Miyamoto, K. Machida, N. Hayashi, T. Tamaki, H. Okuda and M. Naoe: Stoichiometric Ta₂O₅ Films for Insulation Layers in TMR Devices by Reactive Ion Beam Sputtering, Inter-mag 2000 (2000)
- (49) Y. Miyamoto, K. Machida, N. Hayashi, T. Tamaki, H. Okuda and M. Naoe: Deposition of Stoichiometric Ta₂O₅ Films for TMR Devices by Reactive Ion Beam Sputtering, Ferrite, ICF 8, p. 728 (2000)
- (50) Y. Miyamoto, K. Machida, N. Hayashi, T. Tamaki and H. Okuda: Deposition of [Ni-Fe/Al-O/Co-Fe] Films with Tunneling Magnetoresistance Effect using The Interfacial Modulation Technique, J. Appl. Phys., Vol. 89, No. 11, pp. 6647-6649 (2001)
- (51) 林, 宮本, 町田, 玉城, 奥田: イオンビームアシストした Pt-Mn/Co-Fe 膜の交換結合, 第 25 回日本応用磁気学会, 25 aB-7 (2001)
- (52) N. Hayashi, Y. Miyamoto, K. Machida, Y. Fujita and J. Numazawa: Effects of ion bombardment on the exchange field at the Pt₄₈Mn₅₂-Ni₈₁Fe₁₉ coupled thin film interface, 18 th Int. Col. Mag. Film and Surface Colloquium Digest, 2-31 (2003)
- (53) N. Hayashi, K. Machida, Y. Miyamoto, T. Tamaki and H. Okuda: Soft Magnetic Properties of Fe: N Films for Magnetic Recording Head Deposited by Dual Ion Beam Sputtering, Ferrite, Proceeding Eight International Conference on Ferrite (ICF 8), p. 1088 (2000)
- (54) N. Hayashi, Y. Miyamoto, K. Machida and T. Tamaki: Soft Magnetic Properties and Microstructure of (Fe₇₀Co₃₀)₉₉(Al₂O₃)₁ Films Deposited by Ion Beam Sputtering, Trans. Mat. Res. Soc. Jpn., Vol. 29, No. 4, pp. 1611-1614 (2004)
- (55) 林, 宮本, 町田, 玉城: Cu 下地膜を用いた Fe-Co-Al-O 膜の磁気特性, 信学技報, MR 2003-29 (2003)
- (56) 林, 宮本, 町田, 玉城: Cu 下地膜を用いた Fe-Co-Al-O 薄膜の磁気特性, 日本応用磁気学会誌, Vol. 28, No. 3, pp. 397-400 (2004)
- (57) N. Hayashi, Y. Miyamoto, K. Machida and T. Tamaki: Influence of underlayers on the soft magnetic properties of Fe-Co-Al-O films, J. Mag. Mag. Mater., Vol. 287, pp. 387-391 (2004)
- (58) 林, 細野, 玉城: Fe-Co-Al-O 膜の下地膜による低保磁力化, 第 28 回日本応用磁気学会, 24 pC-3 (2004)
- (59) 細野, 林, 鈴木: Fe-Co 合金膜の下地膜による磁気特性の変化, 第 53 回応用物理学関係連合講演会, 22 a-G-3 (2006)
- (60) H. Tokumaru: Application of the optical disk to TV broadcasting, Proc. 12 th Symposium on Phase Change Optical Information Storage, pp. 61-64 (2000)
- (61) 石川, 岸田, 上條, 徳丸, 奥田: 記録補償用マルチパルスを用いない相変化光ディスクへの高速記録, 映情学誌, Vol. 56, No. 10, pp. 1657-1662 (2002)
- (62) M. Kishida, K. Ishikawa, K. Kamijo, H. Tokumaru and H. Okuda: PRML channel for high-transfer-rate optical disk, Proc. SPIE, Vol. 4342, pp. 401-408 (2001)
- (63) ARIB TR-B 19, 取材・制作用光ディスク記録機器の設計ガイドライン (2000)
- (64) 岸田, 石川, 徳丸, 奥田: 高速記録再生時の実測孤立再生波形による誤り率の予測, 信学技報, MR 2001-113 (2002)
- (65) 石川, 岸田, 徳丸, 奥田: 放送用光ディスクのための高速再生フォーマットの検討, 信学技報, MR 2001-114 (2002)
- (66) 岸田, 石川, 徳丸, 藤田: 記録補償用マルチパルスを用いない方式による光ディスクへの高速記録実験, 信学技報, MR 2002-87 (2003)
- (67) N. Shimidzu and H. Tokumaru: High-speed and High-density Optical Disk for Broadcasting Use, SMPTE 144 Technical Conference Proc., pp. 1-7 (2002)
- (68) 石川, 岸田, 徳丸, 藤田: 光ディスク用高速ハードウェアリードチャンネルの開発, 映情学技報, MMS 2002-56 (2002)
- (69) 小出, 岸田, 石川, 徳丸, 中村: 放送用ハイビジョン光ディスクエミュレータの開発, 映情学年次大, 1-4 (2004)
- (70) 光産業技術振興協会: 光ディスクエミュレーションシステム, OITDA-DC 01-2005 (Ed. 1) (2005)
- (71) H. Tokumaru: Progress in developing an HDTV optical disk system for broadcast use, Proc. 15 th Symposium on Phase Change Optical Information Storage, pp. 77-81 (2003)
- (72) 徳丸: 近未来放送通信と光メモリ技術, レーザー研究, Vol. 32, No. 1, pp. 29-32 (2004)
- (73) K. Ishikawa, D. Koide, M. Kishida, H. Tokumaru and S. Nakamura: New High Speed File Format for High Definition Television Optical Disks, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 7 B, pp. 4900-4903 (2004)
- (74) 徳丸, 岸田, 小出: 放送局のテープレスをめざした HDTV 光ディスク, 放送技術, Vol. 57, No. 11, pp. 1354-1360 (2004)
- (75) H. Tokumaru, M. Kishida and D. Koide: HDTV Optical Disk for Broadcasting, SMPTE Motion Imaging Journal, Vol. 115, No. 1, pp. 24-30 (2006)
- (76) 高野, 小出, 岸田, 佐々木, 徳丸: ハイビジョン光ディスク取材・制作システム, 映情学年次大, 10-8 (2004)
- (77) 徳丸: ハイビジョン光ディスク取材・制作システム, 放送

- 技術, Vol. 58, No. 9, p. 89 (2005)
- (78) 小出: 薄型光ディスク, NHK 技研 R&D, No. 110, pp. 4-9 (2008)
- (79) Y. Aman, N. Onagi, S. Murata, Y. Sugimoto, D. Koide and H. Tokumaru: High Speed Flexible Optical Disk with Cylindrically Concaved Stabilizer, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 6 B, pp. 3750-3754 (2007)
- (80) D. Koide, Y. Takano, H. Tokumaru, N. Onagi, Y. Aman, S. Murata, Y. Sugimoto and K. Ohishi: High-Speed Recording up to 15,000 rpm Using Thin Optical Disks, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 7, pp. 5822-5827 (2008)
- (81) 早野, 渋谷, 大石, 宮崎, 小出, 徳丸: 光ディスク装置のためのエラー予測型トラッキング制御系の高速応答の実現法, 電学論 D, Vol. 127, No. 9, pp. 942-949 (2007)
- (82) 渋谷, 吉田, 大石, 宮崎, 小出, 徳丸: 高速光ディスク装置のための高性能エラー予測型ロバストトラッキング制御系, 電学論 D, Vol. 28, No. 6, pp. 785-792 (2008)
- (83) 小名木, 村田, 杉本, 阿萬, 小出, 高野, 徳丸: 薄型光ディスクを用いた 15000 rpm、250 Mbps 記録, 信学技報, MR 2007-51 (2008)
- (84) D. Koide, Y. Takano, H. Tokumaru, N. Onagi, Y. Aman, S. Murata, Y. Sugimoto and K. Ohishi: A 252 Mbps Recording Experiment Using Flexible Optical Disks for Broadcast-Use, IEEE Trans. Mag., 45, pp. 2190-2193 (2009)
- (85) D. Koide, Y. Takano, H. Tokumaru, N. Onagi, Y. Aman, S. Murata, Y. Sugimoto and K. Ohishi: High-Speed Flexible Optical Disk for Broadcast Archival Storage, International Symposium on Optical Memory 2009 Technical Digest, Tu-F-01 (2009)
- (86) Y. Sugimoto, Y. Aman, S. Murata, N. Onagi, D. Koide, Y. Takano and H. Tokumaru: Improvement of Aerodynamic Stability in Flexible Optical Disk System with Cylindrically Concaved Stabilizer, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, No. 3, pp. 03 A 021.1-5 (2009)
- (87) T. Kajiyama, D. Koide, Y. Takano, H. Tokumaru, N. Onagi and Y. Aman: Reducing Axial Runout in a Flexible Optical Disk by Restricting Airflow to the Aerodynamic Stabilizer, International Symposium on Optical Memory 2009 Technical Digest, Tu-G-09 (2009)
- (88) D. Koide, Y. Takano, H. Tokumaru, K. Ohishi, Y. Kamigaki, Y. Nabata and T. Miyazaki: High-Speed Tracking Servo of Modified ZPET-Feedforward Control for Optical Disk Drives, Proc. 35 th Annual Conference of the IEEE Ind. Electron. Soc., pp. 3120-3125 (2009)
- (89) K. Sasaki, D. Koide, H. Yanagisawa and H. Tokumaru: Blue-Violet Two-Beam Optical Head for High-Speed Recording, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 11 A, pp. 7508-7512 (2004)
- (90) H. Okumura, K. Arai, N. Kawamura, H. Tokumaru and H. Okuda: Multi-beam light source using optical waveguide for optical recording, Proc. SPIE, Vol. 4090, pp. 329-334 (2000)
- (91) 佐々木, 河村, 徳丸, 藤田: 非晶質フッ素ポリマーを用いた可視光導波路, 信学技報, LQE 2002-125 (2002)
- (92) K. Sasaki, N. Kawamura, H. Tokumaru, S. Nakamura and Y. Sakane: Waveguide of amorphous perfluoropolymer for visible light, Proc. SPIE, Vol. 5351, pp. 96-104 (2004)
- (93) K. Sasaki, N. Kawamura, H. Tokumaru and Y. Sakane: Waveguide of amorphous perfluoropolymer for visible light, Appl. Phys. Lett., Vol. 85, No. 7, pp. 1134-1136 (2004)
- (94) K. Sasaki, N. Kawamura, H. Tokumaru and Y. Kuwana: Blue-violet multi-beam light source using multiple waveguides with a narrow pitch, Proc. 17 th Symposium on Phase Change Optical information Storage, pp. 89-94 (2005)
- (95) K. Sasaki, N. Kawamura, H. Tokumaru and Y. Kuwana: Blue-Violet Four-Beam Light Source using Waveguides, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 6 B, pp. 3729-3736 (2007)
- (96) K. Sasaki, N. Kawamura and H. Tokumaru: Design of pitch conversion component for formation of multibeam optical recording head, Appl. Opt., Vol. 47, No. 11, pp. 1802-1809 (2008)
- (97) 佐々木, 河村, 徳丸: 光導波路デバイスを用いた光記録用青紫色多ビーム光源, 映情学年次大, 2-10 (2008)
- (98) D. Koide, H. Yanagisawa, H. Tokumaru, H. Okuda, K. Ohishi and Y. Hayakawa: Feed-Forward Tracking Servo System for High-Data-Rate Optical Recording, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, pp. 939-945 (2003)
- (99) 大石, 工藤, 柳澤, 徳丸: 光ディスク記録装置の高速ロバストトラッキングサーボ系の一構成法, 電学論 D, Vol. 122-D, No. 5, pp. 421-429 (2002)
- (100) D. Koide, H. Yanagisawa, H. Tokumaru, S. Nakamura, K. Ohishi, K. Inomata and T. Miyazaki: High-Speed Tracking Method Using Zero Phase Error Tracking-Feed-Forward (ZPET-FF) Control for High-Data-Rate Optical Disk Drives, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 7 B, pp. 4811-4815 (2004)
- (101) 大石, 猪股, 宮崎, 小出, 徳丸: 光ディスク記録装置の非周期外乱を考慮したロバストフィードフォワード制御系の一構成法, 電学論 D, Vol. 124, No. 12, pp. 1197-1204 (2004)
- (102) 柳澤, 小出, 徳丸, 藤田, 早川, 大石: 光ディスク装置へのフィードフォワード制御の適用, 映情学誌, Vol. 59, No. 10, pp. 1510-1519 (2005)
- (103) D. Koide, H. Tokumaru, K. Ohishi, K. Kuramochi and T. Miyazaki: High-Speed Tracking Control System for Broadcast-Use Optical Disk Drive, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 45, No. 2 B, pp. 1187-1192 (2006)
- (104) 小出, 徳丸, 宮崎, 大石: 高密度光ディスクにおける零位相誤差トラッキング法を用いた高速トラック追従制御系, 電気学会研究会資料, IIC-06-135 (2006)
- (105) D. Koide, H. Tokumaru, K. Ohishi, T. Hayano, I. Shibutani and T. Miyazaki: High-Speed Tracking Servo Using Zero Phase Error Tracking-Feed-Forward Method for Professional-Use Optical Disks over 10000 rpm, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 6 B, pp. 3765-3770 (2007)
- (106) 早野, 大石, 宮崎, 小出, 徳丸: カセンサレスロバスト

- ラッキング制御系による光ディスク記録装置の周期外乱と突発外乱の抑圧法, 電学論D, Vol. 126, No. 10, pp. 1374-1381 (2006)
- (107) K. Ohishi, T. Miyazaki, K. Inomata, H. Yanagisawa, D. Koide and H. Tokumaru : Robust Tracking Servo System Considering Force Disturbance for Optical Disk Recording System, IEEE Trans. Ind. Electron. , Vol. 53, No. 3, pp. 838-847 (2006)
- (108) N. Ishii, N. Shimidzu, H. Tokumaru, H. Okuda, A. Hirotsune, J. Uchiyama, M. Terao and T. Maeda : Feasibility of high-data-rate media with GeSbTe phase-change material, Jpn. J. Appl. Phys. , Vol. 40, pp. 1565-1568 (2001)
- (109) N. Ishii, N. Kinoshita, N. Shimidzu, H. Tokumaru, H. Okuda, A. Hirotsune, Y. Anzai, M. Terao and T. Maeda : GeSbTe Phase Change Material for Blue-Violet Laser at High Linear Speed, Jpn. J. Appl. Phys. , Vol. 41, pp. 1691-1692 (2002)
- (110) 石井, 木下, 清水, 徳丸, 藤田, 沼澤 : 高速記録時における相変化記録媒体のマーク形状シミュレーション, 映情学技報, MMS 2002-57 (2002)
- (111) 佐藤 : エレクトロクロミック膜を用いた次世代超多層光記録, MATERIAL, Vol. 6, No. 11, pp. 5-9 (2007)
- (112) 佐藤, 徳丸 : エレクトロクロミック材料を用いたTB級の記録容量をもつ超多層光記録, 信学技報, MR 2004-68 (2005)
- (113) R. Sato, N. Kawamura and H. Tokumaru : Relaxation Mechanism of Electrochromism of a Tungsten-oxide Film for Ultra-multilayer Optical Recording Depending on Sputtering Conditions, Jpn. J. Appl. Phys. , Vol. 46, No. 6 B, pp. 3958-3964 (2007)
- (114) R. Sato, N. Kawamura and H. Tokumaru : The coloration of tungsten-oxide film by oxygen deficiency and its mechanism, Appl. Surf. Sci. , Vol. 254, No. 23, pp. 7676-7678 (2008)
- (115) R. Sato, M. Sugiyama and Y. Kunugi : Control of Electrical Conduction and Optical Absorption of Tungsten-Oxide Film with Oxygen Deficiencies Control of the Electrical Conduction and the Optical Absorption of Tungsten-Oxide Films with Oxygen Deficiencies, 19th MRS-J Academic Symposium, P-P 19 (2009)
- (116) 岸田, 玉城, 林 : レーザーを用いた磁気テープ高速再生のための基礎検討, 映情学冬大, 3-1 (2006)
- (117) 永井, 野村, 岸田, 林, 玉城 : 磁性ガーネット膜を用いた磁気転写と光磁気読み出し特性, 映情学年次大, 8-2 (2007)
- (118) 野村, 永井, 岸田, 林, 玉城 : 磁性ガーネット膜の磁気特性と転写磁区パターン, 第31回日本応用磁気学会, 11 aB-4 (2007)
- (119) 野村, 永井, 岸田, 林, 岩崎, 梅澤 : 磁気テープ磁化パターンの面内磁化ガーネット膜への転写, 第32回日本応用磁気学会, 13 pF-10 (2008)
- (120) 岸田, 林, 岩崎, 梅澤, 野村 : 磁気転写膜を用いた磁気テープの光再生実験, 映情学年次大, 2-8 (2008)
- (121) 野村, 岸田, 林, 岩崎, 梅澤 : ガーネット膜の保磁力、異方性の傾きが転写分解能に与える影響, 第33回日本応用磁気学会, 14 pE-8 (2009)
- (122) 野村, 岸田, 林, 岩崎, 梅澤 : 磁気転写光磁気読み出しに適したガーネット膜の磁気諸量, 映情学冬大, 7-6 (2009)
- (123) M. Kishida, N. Hayashi, K. Iwasaki, H. Umezawa and T. Nomura : Optical reading from videotapes using magnetic garnet film, IEEE Trans. Magn. , Vol. 44, pp. 3289-3292 (2008)
- (124) 岸田, 林, 岩崎, 梅澤, 野村 : 磁気転写膜を用いた磁気テープの光再生実験, 信学技報, MR 2008-52 (2009)
- (125) T. Nomura, M. Kishida, N. Hayashi, K. Iwasaki and H. Umezawa : Carrier-to-Noise Ratio in Magneto-Optic Transfer Readout Using Magnetic Garnet Film, J. Mag. Soc. Jpn. , Vol. 33, No. 6-2, pp. 477-480 (2009)
- (126) 岸田, 林 : 磁性ガーネット膜を用いた磁気テープの光再生, NHK 技研R&D, No. 113, pp. 32-37 (2009)
- (127) 石井, 木下, 藤掛, 上條, 清水, 中村 : 直交位相コード多重を用いたホログラム記録, 映情学年次大, 1-2 (2004)
- (128) 椎野, 木下, 石井, 清水, 上條, 佐藤 : 円筒形レンズを用いた角度多重ホログラム記録, 映情学冬大, 8-8 (2004)
- (129) 石井, 木下, 椎野, 藤掛, 上條, 清水, 佐藤 : 位相対称離散コサイン変換行列を用いた位相コードホログラム多重記録方式, 映情学誌, Vol. 59, No. 12, pp. 1869-1874 (2005)
- (130) 木下, 椎野, 室井, 石井, 清水, 上條 : スペックル参照光を用いた角度多重ホログラム記録, 映情学年次大, 6-8 (2006)
- (131) 木下, 室井, 石井, 上條, 清水 : スペックル参照光を用いた角度多重ホログラムの実験的評価, 信学技報, MR 2006-63 (2006)
- (132) 木下, 石井, 室井, 上條, 清水 : ホログラフィックメモリ用変調テーブルの一構成法, 映情学年次大, 8-4 (2007)
- (133) 石井, 清水 : 二光束干渉法におけるホログラム記録システム, 映情学誌, Vol. 61, No. 6, pp. 732-734 (2007)
- (134) N. Ishii, N. Kinoshita, T. Muroi, N. Shimidzu and K. Kamijo : SNR Improvement Using Phase Compensation in Shift- and Angle-multiplexed Holographic Data Storage, International Symposium on Optical Memory (ISOM) 2007 Technical Digest, We-J-08 (2007)
- (135) T. Muroi, N. Kinoshita, N. Ishii, N. Shimidzu and K. Kamijo : Holographic Data Storage for Broadcasting Systems, International Workshop on Holographic Memory (IWHM) 2007 Technical Digest, 27 o 06 (2007)
- (136) N. Kinoshita, T. Muroi, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu : Angular interval scheduling for angle-multiplexed holographic data storage, The Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage (ISOM/ODS) 2008 Technical Digest, TD 05-111, pp. 250-252 (2008)
- (137) N. Kinoshita, T. Muroi, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu : High-Spatial-Frequency Pre-Enhancement for Holographic Memory, International Topical Meeting on Information Photonics 2008 Technical Digest, P 1-15 (2008)
- (138) N. Kinoshita, T. Muroi, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu : Control of Angular Intervals for Angle-Multiplexed Holographic Memory, Jpn. J. Appl. Phys. , Vol. 48, No. 3 pt. 2, pp.

- 03 A 029.1-4 (2009)
- (139) N. Kinoshita, T. Muroi, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu : Pre-enhancement for High Spatial Frequency in Holographic Memory, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 48, No. 9 issue 3, 09 LA 03, pp. 09 LA 03.1-4 (2009)
- (140) 木下, 石井, 清水, 上條, 中村: ホログラム記録における回折効率のFDTD解析, 映情学年次大, 1-3 (2004)
- (141) 木下, 石井, 椎野, 清水, 上條: ホログラム記録における角度選択性のFDTD解析, 信学ソ大, C-3-81 (2004)
- (142) N. Kinoshita, N. Ishii, N. Shimidzu, K. Kamijo and S. Nakamura : 3-D FDTD Simulation for Volume Holographic Gratings, *International Symposium on Optical Memory (ISOM 2004) Technical Digest*, We-G-10 (2004)
- (143) 木下: デジタルホログラム再生のFDTDシミュレーション, 第2回ポリウムホログラフィックメモリ(VHM)技術研究会(2005)
- (144) 木下, 椎野, 石井, 清水, 上條: 有限差分時間領域法のホログラム解析への適用, 信学技報, MR 2004-69, CPM 2004-182 (2005)
- (145) N. Kinoshita, H. Shiino, N. Ishii, N. Shimidzu and K. Kamijo : Integrated Simulation Technique for Volume Holographic Memory Using Finite-Difference Time-Domain Method, *Jpn. J. Appl. Phys.*, pt. 1, Vol. 44, No. 5 B, pp. 3503-3507 (2005)
- (146) 椎野, 木下, 石井, 清水, 上條: 参照光と信号光を用いたホログラム記録媒体の収縮率測定, 映情学冬大, 5-7 (2005)
- (147) 関口, 石井, 木下, 椎野, 清水, 鈴木: フォトポリマー系ホログラム材料の記録特性, 第53回応用物理学関係連合講演会, No. 3, 22 p-E-10 (2006)
- (148) 関口, 石井, 木下, 椎野, 清水, 田巻: フォトポリマーのホログラム多重記録特性, 第54回応用物理学関係連合講演会, No. 3, 30 a-S-11 (2007)
- (149) N. Ishii, N. Kinoshita, T. Muroi, H. Shiino, K. Kamijo and N. Shimidzu : Phase Compensation Method for the Holographic Data Storage, *ISOM 2006 Technical Digest*, Th-I-2 (2006)
- (150) 石井, 木下, 室井, 上條, 清水: ホログラム記録における位相補償, 平成18年度第4回光ディスク懇談会, H 18-4-4 (2006)
- (151) N. Ishii, N. Kinoshita, T. Muroi, K. Kamijo and N. Shimidzu : A Method of Phase Compensation for Holographic Data Storage, *Jpn. J. Appl. Phys.*, pt. 1, Vol. 46, No. 6 B, pp. 3862-3866 (2007)
- (152) N. Ishii, T. Muroi, N. Kinoshita, K. Kamijo and N. Shimidzu : Adaptive Optics For Holographic Data Storage, *SPIE Photonic West, Optoelectronics 2007 (OPTO 2007) Technical Abstracts*, SPIE, 6488-15 (2007)
- (153) N. Ishii, N. Kinoshita, T. Muroi, K. Kamijo and N. Shimidzu : Improved Signal-to-Noise Ratio Using Phase Compensation in Shift- and Angle-Multiplexed Holographic Data Storage, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 47, No. 7, issue 2, pp. 5989-5992 (2008)
- (154) N. Ishii, T. Muroi, N. Kinoshita, K. Kamijo and N. Shimidzu : Wavefront Compensation for Holographic Data Storage, *The 20th Symposium on Phase Change Optical Information Storage*, pp. 64-67 (2008)
- (155) T. Muroi, N. Kinoshita, N. Ishii, N. Shimidzu and K. Kamijo : Improved Intensity and Distribution in Reconstructed Beam Using Adaptive Optics in Holographic Data Storage, *International Symposium on Optical Memory (ISOM) 2007 Technical Digest*, Th-K-02 (2007)
- (156) 室井, 木下, 石井, 上條, 清水: ホログラム記録における適応光学を用いた再生像輝度分布の改善, 信学技報, MR 2007-40 (2007)
- (157) 室井, 木下, 石井, 上條, 清水: 適応光学を用いた角度多重ホログラム記録の再生像輝度分布の改善, 信学総大, エレクトロニクス2, C-7-8 (2008)
- (158) T. Muroi, N. Kinoshita, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu : Compensation and Improvement of Intensity and Distribution in Reconstructed Image Using Adaptive Optics in Holographic Data Storage, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 47, No. 7, issue 2, pp. 5900-5903 (2008)
- (159) T. Muroi, N. Kinoshita, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu : Improvement of reproduced digital-bit-data quality using adaptive optics in holographic data storage, *The Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage (ISOM/ODS) 2008 Technical Digest*, TD 05-159 (2008)
- (160) 室井, 木下, 石井, 上條, 清水: 厚いホログラム記録媒体における再生像輝度分布の改善, 映情学年次大, 2-12 (2008)
- (161) T. Muroi, N. Kinoshita, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu : Optical Compensation Method for Reproduced Digital-Bit-Data in Holographic Data Storage, *International Topical Meeting on Information Photonics 2008 Technical Digest*, P 1-16 (2008)
- (162) 室井, 木下, 石井, 上條, 清水: 適応光学を用いたホログラム記録技術, 平成20年度第4回光ディスク懇談会(2008)
- (163) 室井, 木下, 石井, 上條, 清水: 角度多重ホログラム記録における再生像補償速度の向上, 信学総大, エレクトロニクス2, C-7-6 (2009)
- (164) T. Muroi, N. Kinoshita, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu : Optical compensation of distorted data image caused by interference fringe distortion in holographic data Storage, *Applied Optics*, Vol. 48, No. 19, pp. 3681-3690 (2009)
- (165) 室井, 木下, 石井, 上條, 清水: ホログラム記録媒体における収縮の温度依存性とその光学的補償, 映情学年次大, 2-9 (2009)
- (166) N. Ishii, T. Muroi, N. Kinoshita, K. Kamijo and N. Shimidzu : Wavefront Compensation for micro distortion in interference fringes, *3rd EOS Topical Meeting on Optical Microsystems (OMS 09)*, 2133 (2009)
- (167) T. Muroi, N. Kinoshita, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu : Optical Compensation of Distorted Interference Fringes Depending on Temperature in Holographic Data Storage, *Inter-*

- national Symposium on Optical Memory (ISOM) 2009 Technical Digest, Th-J-05 (2009)
- (168) 木下, 上條, 石井, 室井, 清水: ホログラム記録における SNR 評価方法, 第 5 回ポリウムホログラムメモリ (VHM) 技術研究会 (2007)
- (169) 室井, 木下, 石井, 清水, 上條: ホログラム記録における新しい SNR の検討, 信学総大, エレクトロニクス 2, CS-6-6 (2007)
- (170) 室井, 木下, 石井, 清水, 上條: ホログラム記録技術におけるモアレパターンの低減による SNR の向上, 映情学冬大, 3-4 (2006)
- (171) 室井, 木下, 石井, 清水, 上條: ホログラム記録における再生像に重畳するモアレの低減と SNR の改善, 日本光学会年次学術講演会, 26 pD 8 (2007)
- (172) 石井, 室井, 木下, 上條, 清水: ホログラム記録用フォトポリマー記録媒体の散乱特性, 映情学冬大, 1-9 (2007)
- (173) 石井, 室井, 木下, 上條, 清水: ホログラム記録用集光レンズの位置決め手法の検討, 映情学年次大, 2-11 (2008)
- (174) N. Kinoshita, T. Muroi, N. Ishii, K. Kamijo and N. Shimidzu: Evaluation of Classified Noises in Holographic Data Storage System, International Symposium on Optical Memory (ISOM) 2009 Technical Digest, Tu-PP-13 (2009)
- (175) 木下, 室井, 石井, 上條, 清水: ホログラム記録における雑音の定量的評価, 日本光学会年次学術講演会, 25 aD 8 (2009)
- (176) 石井, 室井, 木下, 上條, 清水: ホログラム記録における新しい再生ページデータ評価指標の検討及びその応用, 日本光学会年次学術講演会, 26 pPD 12 (2009)
- (177) Y. Miyamoto, K. Machida, N. Hayashi, T. Tamaki and H. Okuda: Deposition of [Ni-Fe/Al-O/Co-Fe] Films with TMR Effect using Interfacial Modulation Technique, J. Appl. Phys., Vol. 89, No. 11, pt. 2, pp. 6647-6649 (2001)
- (178) Y. Miyamoto, N. Hayashi, K. Machida, K. Kuga and Y. Fujita: Fabrication of Stoichiometric Fe₃O₄ Films at Room Temperature by Reactive Ion Beam Sputtering, IUMRS-ICAM (International Union of Materials Research Societies-International Conference on Advanced Materials) 2003, B 9-09 (2003)
- (179) Y. Miyamoto, H. Shiino and K. Kuga: Investigation of Surface Conductance for Fe₃O₄ Films Deposited by Dual Ion Beam Sputtering at Room Temperature, NANOMAG (International Workshop on Nano-Scale Magnetoelectronics), p. 22 (2003)
- (180) Y. Miyamoto, K. Kuga, K. Machida, K. Muto and N. Hayashi: Direct observation of the surface structure and conductance of Fe₃O₄ half-metals using tunneling atomic force microscopy, 2003 SOMMA (International Symposium on Magnetic Materials and Applications), Br-25 (2003)
- (181) Y. Miyamoto, K. Kuga, N. Hayashi, K. Machida and K. Aoshima: Influence of Magnetic Field on the Tunneling Current in Magnetic 10-nm-scale Point Contact Junctions Using Tunneling Atomic Force Microscopy, J. Appl. Phys., Vol. 95, No. 11, pt. 2, pp. 7246-7248 (2004)
- (182) Y. Miyamoto, H. Shiino and K. Kuga: Fabrication of 100-nm-Dimension [Co-Fe/Al-O/Fe₃O₄] Pillar by Dual Ion Beam Sputtering at Room Temperature Using Electron Beam Lithography, American Ceramic Society, Westerville, pp. 931-936 (2005)
- (183) 久我, 玉城, 奥田, 宗片: InMnSb 希薄磁性半導体の作製, 第 47 回応用物理学関係連合講演会, 29 p-YC-1 (2000)
- (184) 久我, 玉城, 奥田: 磁性半導体 InMnSb 薄膜の作製, 映情学冬大, 11-1 (2000)
- (185) 久我, Slupinski, 柳, 宗片: 希薄磁性半導体 (In, Mn)Sb の作製と磁気抵抗効果, 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 30 a-ZH-7 (2003)
- (186) S. Yanagi, K. Kuga, T. Slupinski and H. Munekata: Preparation and characterization of the narrowest gap III-V magnetic alloy semiconductor (In, Mn)Sb epitaxial films, 第 9 回半導体スピン工学の基礎と応用研究会, PB 5 (2004)
- (187) K. Kuga, S. Yanagi, T. Slupinski and H. Munekata: Fabrication and Magnetoresistance of Diluted Magnetic Semiconductor (In, Mn)Sb films, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., Vol. 29, No. 4, pp. 1539-1542 (2004)
- (188) K. Kuga, S. Yanagi, T. Slupinski and H. Munekata: Magnetic properties and magnetoresistance of diluted magnetic semiconductor InMnSb, International Workshop on Nano-Scale Magnetoelectronics, p. 3 (2003)
- (189) S. Yanagi, K. Kuga, T. Slupinski and H. Munekata: Carrier-induced ferromagnetic order in narrow gap III-V magnetic alloy semiconductor (In, Mn)Sb, Physica E, Vol. 20, No. 3-4, pp. 333-337 (2004)
- (190) 青島, 町田, 武藤, 林, 宮本, 久我: イオンビームスパッタ成膜による CoFe 合金スピバルブ膜の CPP-GMR 特性, 第 28 回日本応用磁気学会, 22 aG-5 (2004)
- (191) 青島, 船橋, 町田, 久我: イオンビームスパッタ成膜による CoFe 合金スピバルブ膜の CPP-GMR 特性, 電気化学会情報機能材料研究会資料, pp. 3-5 (2004)
- (192) 青島, 船橋, 町田, 久我: イオンビームスパッタ成膜による CoFe 合金スピバルブ膜の CPP-GMR 特性, 信学技報, MR 2004-61 (2005)
- (193) K. Aoshima, N. Funabashi, K. Machida, Y. Miyamoto and K. Kuga: Low resistance spin-valve type current-perpendicular-plane giant magnetoresistance with Co 75 Fe 25, J. Appl. Phys., Vol. 97, No. 10-2, 10 C 507 (2005)
- (194) 町田, 手塚, 山本, 石橋, 森下, 纈纈, 佐藤: Si 埋め込み磁性ドット配列の磁気特性と磁化状態の解析, 信学技報, MR 2003-56 (2004)
- (195) K. Machida, T. Tezuka, T. Yamamoto, T. Ishibashi, Y. Morishita, A. Koukitu and K. Sato: Magnetic structures of cross-shaped permalloy arrays embedded in silicon wafers, J. Mag. Mag. Mater., Vol. 290-291, pt. 1, pp. 779-782 (2005)
- (196) K. Machida, T. Yamamoto, T. Yamaoka, T. Ishibashi and K. Sato: Magnetic Structure of Y-shaped Permalloy-Arrays Fabricated Using Damascene Technique, Jpn. J. Appl. Phys., pt. 2, Vol. 45, No. 9, pp. L 265-L 267 (2006)
- (197) 宮岡, 河村, 飯盛, 大野, 柳生, 小森: 窒素吸着した Cu

- (100) 表面上の Co ドット配列の磁性, 日本物理学会秋季大会, Vol. 57, No. 2, pt. 4, 6 aSN-3 (2002)
- (198) 河村, 小森: Cu(100)-c(2×2)N 基板上への磁性金属ドットの作製, 第 26 回日本応用磁気学会, 17 pC-19 (2002)
- (199) 河村, 宮岡, 飯盛, 中辻, 小森: Cu(100)-c(2×2)N 上の磁性金属ドット作製とその磁気特性, 第 63 回応用物理学会学術講演会, No. 1, 24 a-P 2-9 (2002)
- (200) 河村, 宮岡, 藤田, 飯盛, 小森: Cu(100)-c(2×2)N 上への Co-Fe 合金超薄膜の形成とその磁性, 第 50 回応用物理学関係連合講演会, No. 3, 28 a-ZD-13 (2003)
- (201) 宮岡, 河村, 飯盛, 小森: 合金ドットの磁性, 第 58 回日本物理学会年次大会, No. 1, pt. 4, 28 pPSB-58 (2003)
- (202) 宮岡, 河村, 小森: 磁性ナノドット配列の作製と Kerr 効果観察, 金沢大学理学部複雑系物理学講座講演会
- (203) 宮岡, 河村, 飯盛, 小森: Cu(001)上と N/Cu(001)上に作製した Fe-Co 合金薄膜の Kerr 効果観察, 表面低次元ナノ構造機能物質の創製と物性 (2003)
- (204) N. Kawamura, S. Miyaoka, Y. Fujita, T. Iimori and F. Komori: Magnetic characteristic of Co, Fe and its alloyed ultrathin films on Cu(100)-c(2×2)N, Proc. Int. Conf. Mag., 2 Y-pm-50 (2003)
- (205) S. Miyaoka, N. Kawamura, T. Iimori and F. Komori: Magnetic properties of Fe-Co nano-dots array on N/Cu(001) surfaces, Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures(ACSIN)7, 19 P 097 (2003)
- (206) 宮岡, 河村, 飯盛, 小森: 窒素吸着した Cu(001)表面の SHG 観察, 日本物理学会秋季大会, Vol. 59, No. 2, pt. 4, 15 aPS 67 (2004)
- (207) 宮岡, 河村, 飯盛, 小森: Co/N/Cu(001)からの SH 光観察, 第 60 回日本物理学会年次大会, Vol. 60, No. 1, pt. 4, 24 aPS-168 (2005)
- (208) 佐野, 水谷, W. Wolf, R. Podlucky, 宮岡, 飯盛, 河村, 小森: Cu(001)表面の非線形光学応答の第一原理計算, 日本物理学会秋季大会, Vol. 61, No. 2, pt. 4, 24 aYC-1 (2006)
- (209) 小林, 寅丸, 大野, 首藤, 宮本, 河村: Si 単結晶上における Ru シリサイドの形成, 第 5 回ナノ学会, PS 79 (2007)
- (210) 小林, 寅丸, 大野, 首藤, 宮本, 河村: Ru シリサイドの形成とその局所電子状態の測定, 日本物理学会秋季大会, Vol. 62, No. 2, pt. 4, 22 pPSA-78 (2007)
- (211) M. Toramaru, N. Kobayashi, S. Ohno, K. Shudo, Y. Miyamoto and N. Kawamura: Microstructure and local density of states of Ruthenium silicide, 9th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-9), PS 1-23 (2007)
- (212) N. Kobayashi, M. Toramaru, S. Ohno, K. Shudo, Y. Miyamoto and N. Kawamura: Formation of Ru silicide on Si(111) surface, 9th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-9), PS 1-25 (2007)
- (213) 小林, 寅丸, 大野, 首藤, 宮本, 河村: Si(111)面と(001)面上での Ru シリサイドの形成と島の初期成長過程, 第 48 回真空に関する連合講演会, 14 p-27 (2007)
- (214) 寅丸, 小林, 大野, 首藤, 宮本, 河村: Si 表面上での Ru シリサイドの初期成長過程, 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28 p-N-17 (2008)
- (215) 小林, 寅丸, 大野, 首藤, 宮本, 河村: Si 表面上における Ru の拡散と表面構造の観察, 日本物理学会秋季大会, Vol. 63, No. 2, pt. 4, 23 aXB-3 (2008)
- (216) Y. Miyamoto, K. Machida, N. Funabashi, K. Kawamura, K. Aoshima, K. Kuga and N. Shimidzu: In-situ observation of magnetic domain wall motion in magnetic nanowires by magneto-optical imaging, 52nd MMM conference, AS-15 (2008)
- (217) S. Noh, Y. Miyamoto, N. Hayashi and Y. Kim: Magnetic domain wall motion in magnetic nanowire with constrictions, ICM 2009, Tu-B-7.8-02 (2009)
- (218) Y. Miyamoto, M. Kishida, M. Kawana, M. Okuda and N. Hayashi: In-situ magneto-optical imaging of magnetic domain wall motion in notched magnetic nanowires with perpendicular magnetic anisotropy, 11th Joint MMM-Intermag conference, EX-10 (2009)