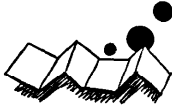


解説

2. 光の基本素子



2.4 光記憶素子†

野田 健一†† 菊池 克昭†††
 河口 仁司†††† 船越 宣博†††††

1. まえがき

光記憶素子は光コンピュータを構築する重要な要素として構成や性能が追求されるとともに、情報の伝送や交換などのデジタル回路における電子的記憶素子の役割をも、より高い性能で担おうとしている。しかし光記憶素子は高速・並列処理などの本質的特色を持ちながら総合的優位性を発揮するにはなお開発努力が要求される状況にある。

電子回路のフリップフロップなどの論理記憶素子を光で実現した光双安定素子 (BOD) などが主として時系列処理のためのビットメモリとして利用できるもので、多くの形式の着想が試みられている。そのほかに光の有利性を発揮できると考えられている並列処理用の空間的光記憶素子も研究の対象であり、画像情報処理などのほかに交換への適用が試みられている。本稿ではまず光データ処理のアーキテクチャから見た光記憶素子の分類と若干の新しい適用の試みを紹介し、着想が次々に生まれている光ビットメモリの技術の現況を概観する。

光ファイルメモリは技術の内容もかなり異質であり、開発の段階も違う。すでに一部、民生用を中心として実用の域に達し、しかも今後の大きな伸びが期待されている。そこで高記憶密度を達成している光ディスクの現状と今後が期待されている書換光ディスク用記録材料の開発状況について述べる。

2. 光データ処理と光メモリ

光データ処理技術は、現在以下の3つに大別することが一般的である¹⁾。

- (1) 時系列 (一次元) デジタル処理
- (2) 並列 (二次元) アナログ処理
- (3) 並列 (二次元) デジタル処理

これらの分類に基づく、光データ処理システムの構成および将来動向については3.で詳述されていることから、本章では、それぞれの光データ処理技術で必要となる光メモリの機能、構成について概観するとともに、光データ処理の一形態である光交換方式への光メモリの応用例を述べる。

(1) 時系列デジタル処理と光メモリ

時系列デジタル処理は信号処理を電子技術から光技術に置き換えようとするものである。この処理系は、従来の電子技術と類似の構成であり、光論理演算および光強度情報を記憶する光ビットメモリが基本機能となる。

光記憶の基本現象は光双安定であり、

- ① 純光学形: すべての動作を光で行う素子
- ② 混成形: 電気系が一部に介在する素子
- ③ 半導体レーザ形: 半導体レーザに双安定性をもたせた素子

が、検討されている。

純光学形は、その高速性、低消費電力の点から将来の本命のひとつと考えられている。これは、用いる材料の非線形吸収や分散を利用することから、一般に大きな入力光強度を必要とするが、GaAsなどの超格子構造による光双安定性の実現は²⁾、超小形化、集積化の可能性を示したものである。また、非線形有機光学材料 (ポリジアセチレン PTS など) では、超高速化の可能性も示唆されている³⁾。

混成形としては、電気光学位相変調器を用い出力光の一部を電氣的に帰還する構成⁴⁾、半導体レーザダイ

† Optical Memory by Ken-ichi NODA (Tokyo University of Agriculture and Technology, Faculty of Technology), Katsuaki KIKUCHI (NTT, Musashino Electrical Communication Laboratory), Hitoshi KAWAGUCHI (NTT, Atsugi Electrical Communication Laboratory) and Nobuhiro FUNAKOSHI (NTT, Ibaraki Electrical Communication Laboratory).

†† 東京農工大学工学部

††† 日本電信電話(株)武蔵野電気通信研究所

†††† 日本電信電話(株)厚木電気通信研究所

††††† 日本電信電話(株)茨城電気通信研究所

オードの出力を光検出器より電氣的に帰還する構成⁶⁾などが提案されている。これらの素子は、種々の動作が光学的にも電氣的にも制御できること、適用波長範囲が広いことなどの特長を有している。

半導体レーザを用いた光双安定素子としては、共振器内に飽和吸収領域を設けた構成⁶⁾が提案されている。この素子は、低エネルギーで動作可能なこと、光増幅作用があること、集積化に適していることなど優れた特長を有しているが、究極的な動作速度では、純光学的形に及ばないと考えられている。

光技術導入のねらいは、信号処理機能の高性能化(高速化、低消費電力化)にあり、高速半導体素子、超伝導素子などの性能と比べて光素子がどの程度凌駕できるかが重要な課題である。光双安定素子は応答時間がほかの素子と比べて最も速い可能性があるといわれている。また、光信号は、浮遊容量、電磁誘導の影響を受けないという特長も有しており、光の情報伝達能力を活かした高速光信号処理システム実現の可能性について検討する必要がある。

一方、時系列デジタル情報の大容量光メモリとして、ビットバイビットの記録方式による再生専用の光ディスクメモリが実用化されている。現在、書き換え可能な光ディスクの検討が進められており、近い将来、磁気ディスクの占める分野へ進出していくと予想される。

時系列デジタル処理の一形態として、近年交換技術の分野でも、光ビットメモリを用いた時分割スイッチの研究が開始されている。これは、時分割多重されているデジタル入力情報の時間位置を交換するもので、ランダムアクセス形のメモリを光ビットメモリと書き込み、読み出し用の光スイッチ素子で構成したものである(図-1)⁶⁾。光ビットメモリとしては、半導体レーザ形が用いられている。

(2) 並列アナログ処理と光メモリ

画像情報は二次元的な広がりを持ち膨大な情報量を含んでいるが、この情報を時系列に変換することなくそのまま並列的に処理する方式である。

並列アナログ処理は、デジタル電子計算機が得意としている二次元情報の並列処理に光の並列性、高速性という特長を活かした方式であるが、演算精度、汎用性の点で問題がある。したがって、汎用的な光コンピュータをこの方式で実現することは悲觀的に見られており、画像情報の入出力装置などの特殊用途への応用が考えられている。

一方、画像伝送の分野においては、画像情報を空間的に並列伝送する技術の検討が進められている。これには、いわゆるバンドルファイバを用いる方法⁷⁾と、一本のマルチモードファイバで直接画像情報を伝送し、位相共役波により伝送路での位相擾乱を補償する方法が提案されている。

この画像伝送技術と並列アナログ処理技術を融合させることにより、光の空間的並列性を活かした新しい画像処理システムの可能性について検討する必要がある。

並列アナログ処理で必要となる光記憶素子としては、高速かつ実時間で書き換え可能であることが必要であり、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 、サーモプラスチック、液晶などが検討されている。

この空間的光記憶素子の光交換技術への応用として、入出力光ファイバの空間的位置を交換する空間分割スイッチへの適用が提案されている(図-2)⁸⁾。これは、制御光と参照光により、サーモプラスチック上にグレーティングを形成し、入出力光ファイバ間の接続状態を実時間で変更するものである。サーモプラスチック上への書き込み、消去は加熱により実現している。

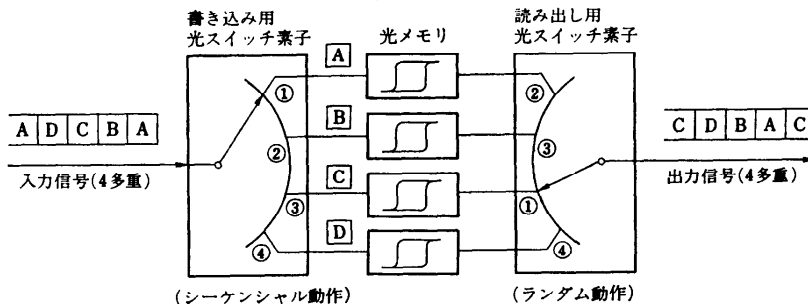


図-1 光ビットメモリを用いた時分割スイッチの構成

(3) 並列デジタル処理と光メモリ

並列アナログ処理の欠点であった演算精度の悪さと汎用性のなさをデジタル処理を導入することにより克服しようとするものである。光による二次元的な大容量性を確保しつつデジタル演算による高精度かつ汎用性を実現する並列デジタル処理が将来の光コンピュータの基本演算方式になるものと期待されている。

並列デジタル処理に必要な記憶素子は、二次元化された光ビットメモリであり、現状は光双安定素子の単体から二次元の拡張に有利なものを探している段階である。二次元化の可能性を有する光双安定素子としては、面発光レーザと積層ブラッグ反射膜およびフォトダイオードを組み合わせた構造⁹⁾が提案されている。

3. 光双安定素子によるビットメモリ

光双安定素子を用いたビットメモリは、光入力により記憶・再生されその応答速度がナノ秒 (10^{-9} s)~ピコ秒 (10^{-12} s) ときわめて速いため、光交換機のメモリまたは将来の光計算機用の一時メモリとしての可能性が検討されている。しかし、今のところメモリ保持のため光パワー（または電気パワー）を必要とする欠点がある。

2.3 で純光学的双安定素子や混成型双安定素子による光論理が述べられた。これら光双安定特性をもつ素子は、双安定領域の ON と OFF の2値を用いて光メモリとなる。図-3 にその概念図を示す。双安定領域のほぼ中央にバイアス光レベル P_B をおき、双安定領域の上限 P_1 を上まわる光パルスを重ねることにより ON 状態に、下限 P_2 を下まわるようにバイアス光をきるにより OFF 状態へ移すことができる。

本章では 2.3 との重複をさけ、純光学的双安定素子、および混成型光双安定素子について、ビットメモリ動作として重要となる、書き込みと消去法を中心に述べる。次に、半導体レーザを基本とした双安定素子について、双安定動作の原理およびメモリ動作について述べる。

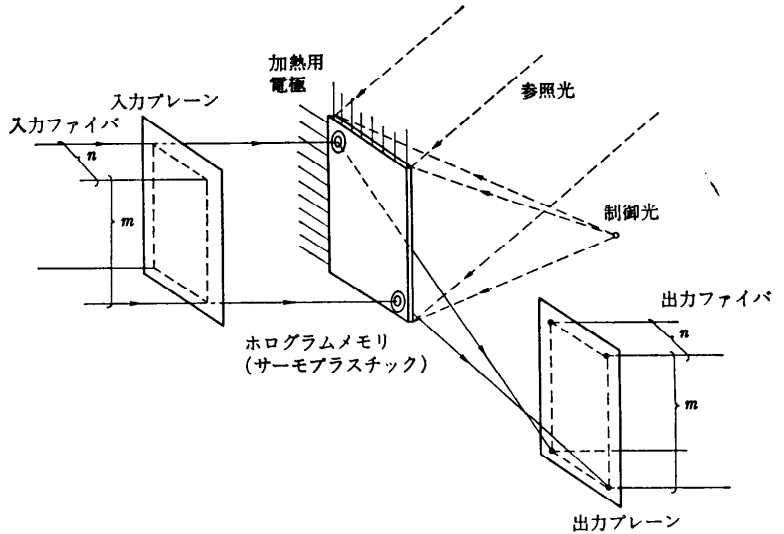


図-2 ホログラムメモリを用いた空間分割スイッチ

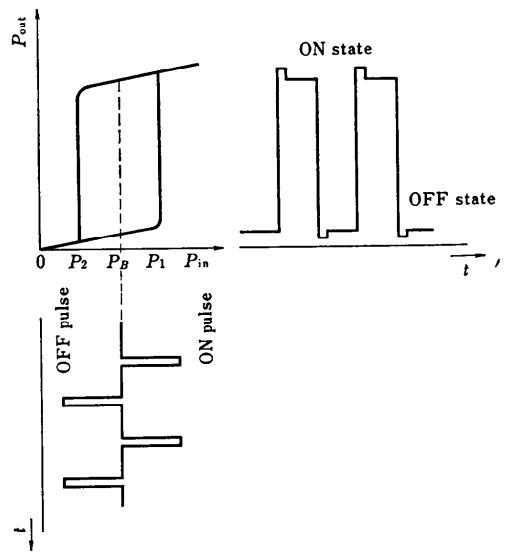


図-3 光双安定スイッチングの概念図

(1) 純光学的双安定素子

純光学的双安定素子は GaAs, InSb または GaAs/AlGaAs MQW (多重量子井戸) など光非線形媒質をフエブリ・ペロ共振器内に挿入して構成される。光の負パルスがないことから、単純には図-3 に示したように入力光を3レベルとして動作させることが考えられる。しかし、構成の自由度を増すためには、ON と OFF とを同じ大きさの光パルスで行うことが望ましい。そこで制御光が入ると出力が OFF になる Nega-

Optical Gate (NOG) を双安定素子 (BOD) の前段に入れ、BOD の ON パルスと同じ光パルスで入力を OFF とすることが提案されている¹⁰⁾。NOG および BOD とも色素セルを用いて、波長 550 nm の信号光を 514.5 nm のパルス光で制御したメモリ動作が実験的に確認されている¹¹⁾。しかし、速度が遅いなどの問題もあり、素子として固体化することが望ましい。NOG として NOT 特性をもつ吸収型の双安定素子¹²⁾を用いることなどの検討が今後必要となろう。

(2) 混成型光双安定素子

半導体レーザと光検出器を組み合わせ、出力光強度に依存する励起をフィードバックによって付加することにより構成される混成型の光双安定半導体レーザ¹³⁾や LiNbO₃ 方向性結合器型スイッチの光出力に依存したフィードバックをスイッチの駆動電圧に印加することにより実現される光双安定素子¹⁴⁾においても、3

レベルの光入力を用いてメモリ動作が得られている。また、GaAs 半導体レーザと光学的・電気的に結合する FET とを同一基板上に形成した双安定素子において、光入力を ON パルスとし、FET のゲート電圧に OFF パルスを重畳して、メモリ動作が得られている¹⁵⁾。

(3) 双安定半導体レーザ

(a) 不均一励起半導体レーザ

半導体レーザの電極を2分割したタンデム型レーザで双安定光出力が得られることが Lasher により提案された¹⁶⁾。最近になって、電流-光出力 (I-L) 特性に明瞭な双安定性が実験的に確認され、光入出力特性にも双安定性が得られるようになった。

図-4 に作製された双安定半導体レーザの構造を示す¹⁷⁾⁻¹⁹⁾。電流注入領域は図に示すようにいくつかの島状になっており、この部分が光増幅領域となる。他

方、非注入領域は光吸収領域となる。この光吸収は、レーザ共振器内の光強度が強いほど吸収係数が小さい過飽和吸収となり、双安定特性が実現される。

連続動作時の I-L 特性には、図-5 (a) に示すように顕著なヒステリシスが観測される。この双安定半導体レーザに外部からほぼ同一波長の半導体レーザ光を共振器方向から注入して得られる光入出力特性を図-5 (b) に示す^{20), 21)}。バイアス電流の設定により光のある入力レベルで出力光のジャンプあるいは双安定特性が得られる。また、バイアス電流を I-L 特性のヒステリシス領域に設定した場合 (図中(4))、一度光入力が入ると、光入力が 0 にもどっても双安定半導体レーザは ON 状態を維持し、光メモリとして動作することがわかる。

注入光用半導体レーザの動作電流を変化することにより、0, 1, 2 の3値をもつ (1は図-3のバイアス光レベル P_B) パルス光を形成して測定された、双安

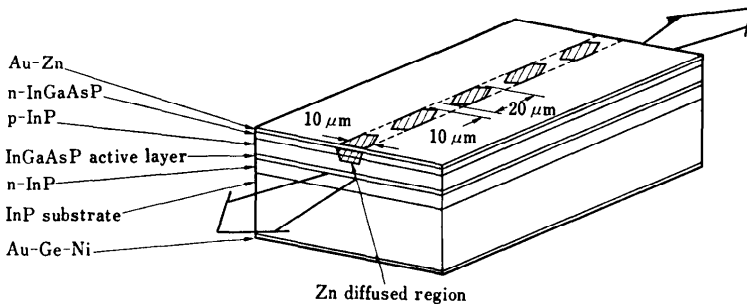


図-4 InGaAsP 双安定半導体レーザの概念図

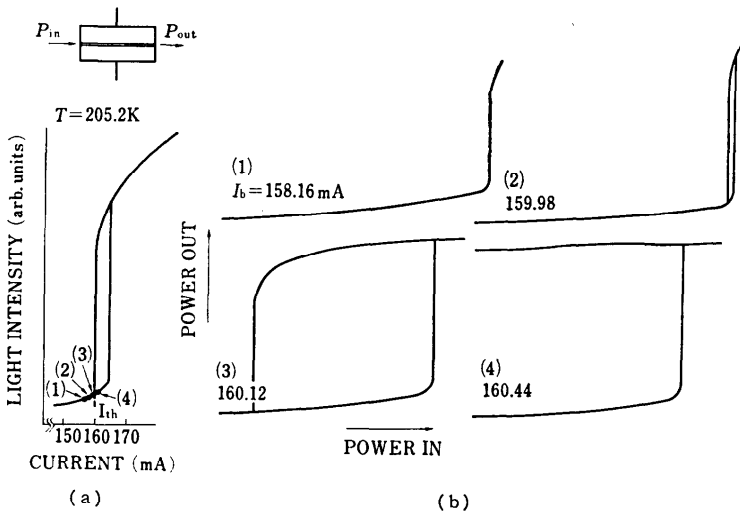


図-5 (a) 双安定半導体レーザの I-L 特性, (b) 光入出力特性のバイアス電流依存性, 各々のバイアス電流値は (a) に示されている。

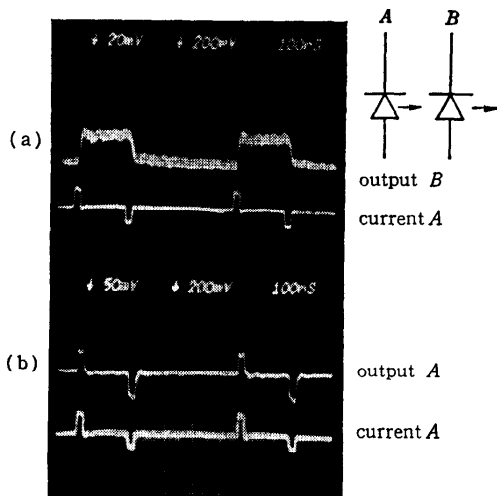


図-6 光入力による双安定スイッチング特性

定半導体レーザの光入力によるスイッチング特性を図-6に示す。この結果は、光メモリ作用を明瞭に示している。ns程度の速い応答速度をもつほか、小さい光信号入力(数 μW ~数十 μW)で数mWのレーザ光出力を制御できるという大きな特徴がある。もちろん、バイアス電流に制御電流を重畳することもできる¹⁷⁾。

最近、タンデム型電極構造は二重チャンネル型プレーナ埋め込み構造半導体レーザに適用され、光トリガ入力レベルの波長依存性が検討された^{22),23)}。双安定半導体レーザのOFF状態の発光波長とON状態の発振波長との間の波長域ではば一定のトリガ光レベルが得られ、約100Åの自由度があることがわかった。この広い波長感度特性は応用上の有利な点となっている。

(b) 半導体レーザ増幅器および注入同期半導体レーザにおける光双安定性

発振しきい値よりわずかに下にバイアスされた半導体レーザは共振型光増幅器となる。光増幅は活性層内キャリアの再結合によって行われるため、光増幅に伴いキャリア密度は減少する。一方、半導体本来の異常分散効果と自由キャリアプラズマ効果のため、活性層屈折率はキャリア密度に強く依存する。したがって、レーザ増幅器は共振器内屈折率が入力光強度に依存する非線形なファブリ・ペロ共振器とみなすことができ、入出力特性に双安定性が得られる^{24)~26)}。

一方、半導体レーザの注入同期特性においても、し

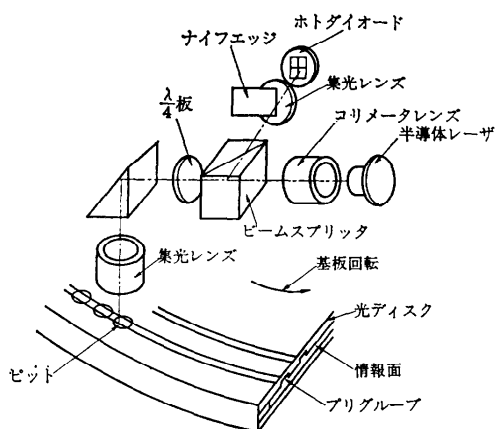


図-7 光ディスク記録再生原理

きい値電流に近い低励起レベルで双安定特性が得られる^{27),28)}。その機構は前述の半導体レーザ増幅器と同じく、活性層屈折率のキャリア密度依存性に由来する。

これら2つの光双安定性も、増幅作用をもつ光メモリ素子として注目される。

4. 光ファイル・メモリ

1960年にレーザが発明され、光ビームあるいは偏光を利用したメモリの研究が活発となった。さらに半導体レーザの開発により、直接変調が可能となるとともにレーザ大出力化が図られ、光ディスク用プローブが実現した。光ファイル・メモリの分野には、ホログラフィなどもあるが本稿では光ディスクに限定する。

(1) 光ディスクの原理、特徴

光ディスクは、その使用形態により、①再生専用、②write once、③消去可能の3種類に分類できる。再生専用ディスクは、あらかじめ記憶された情報を再生するのみであり、ビデオディスク、CD(コンパクトディスク)、CD-ROMなどがこの分野に属する。write once型は、情報をディスク面上に破壊記録するものである。消去可能型は、非破壊記録を行うことで何度でも消去記録が可能なもので、磁気メモリに匹敵する能力を持つものである。現在、実用的な観点からはwrite once型までと言ってよく、書換可能ディスクの研究が盛んに行われている段階である。

図-7に、光ディスクの記録再生の原理を示す。レーザ光はビームスプリッタ、 $\lambda/4$ 板を通り、円偏光となって情報膜上へ集光される。反射光は再度 $\lambda/4$ 板、ビームスプリッタを通して検出器に入る。情報ビットの

有無は、反射光量の変化として検出する。記録用レーザーとしては 20~30 mW、波長 780~840 nm 程度の半導体レーザーを使用し、集光レンズとして NA が 0.45~0.6 集光部ビーム径は 1.2~1.8 μm となるように設計されている。こうした微細なビームを用いるため、光ディスクは記録密度が高く、現在のレベルで $2 \times 10^9 \text{ bit/mm}^2$ であり磁気ディスクに比べ1桁高い。ただ、線記録密度が低いためにデータ転送速度が遅い欠点を有している。トラック密度は著しく高いため、ヘッドの位置決めを高精度に行う必要があり、また、クロストークを押えるためにあらかじめデータ記入部分を決めておく必要がある。このための方策として、データ記入部分を示す $\lambda/8$ 深さの溝を形成（ブリッグループ方式）する方法があり多用されている。このほか、平板の媒体に使用前にアドレスを書きこみ、これをマーカーとして用いる方法（プレビット方式）も一部で採用されている。ヘッドのアクセスは、この溝を再生しながら行うため、磁気ディスクに比較しアクセス時間が長くなる欠点を持ち、磁気ディスクの約 20 msec に対し、85 msec が現時点のトップデータである²⁹⁾。

光ディスクは、基板を通して情報面へ集光する方式を採り、基板表面へ付着するゴミなどがノイズ源となりにくい。また、情報面も裏面すなわち、基板との界面を使用するため、低ノイズである。したがって光ディスクは信号対雑音比 S/N が高い。しかしながら、ピットが小さいために、エラーレートが高く、エラーコレクションがどうしても必要とされる。また、コード情報用光ディスクでは、高性能を持続するため、カートリッジの採用が不可欠である。

(2) 光ディスク用記録材料

write once 型光ディスク用記録材料として、種々のものが提案されている。ピット形成型材料は、Te 系材料が主で、TeC³⁰⁾、SeTe、CS₂-Te³¹⁾ などがある。これらは、Te の持つピット形状の均一さを損わず、Te の寿命を伸ばすため合金化あるいは複合化した材料である。

光ディスクに用いるレーザーは、高出力を要求されるため、現在は 780~840 nm の波長で、20~30 mW の出力のレーザーを採用する。この限られた出力を有効に使用するためには、この波長域での光吸収が大きく、かつ記録膜厚が薄くなければならない。また再生も同一レーザーで行うため、低パワー域で材料劣化を起こさないことが必要とされ、高感度でかつ高 γ 特性（飽和特性がよいこと）を持つ材料でなければならない。

記録に、相変態を用いる材料として TeOx がある。この材料は、レーザー加熱によって非晶質→結晶相変態を起こし、相の反射率変化を光学的に再生するものである。これ以外には、反射防止構造を加熱破壊し、反射率変化を起こす方法や、変形に伴う反射光量変化を検出する方法なども提案され、一部実用化されている。また、有機色素膜へのピット形成、フォトリソミック材料の応用などの提案もあり、使用する分野に適した材料選択が今後行われてゆくと思われる。

現在の光ディスクの記録密度は、集光されたレーザービーム径によって制限されるが、感熱発色記録の原理を応用し、カラー発色層を多層組合せる方法で大容量化を図る試みもある。計算によれば100層以上の積層が可能で、片面 100 GByte 以上の記憶容量を持たせ得ることになる。

以上述べたものは、ほとんどがレーザーのヒートモードを利用するものであるが、フォトンモードを用いる試みとして PHB（フォトケミカルホールバーニング）が提案されている。これは波長空間の多重化によって超大容量メモリを実現しようとするものであるが、光源、動作温度などに難があり、実用的視点からはまだだいぶ距離がある。

磁気メモリの占める分野に光ディスクが進出するためには、光ディスクに書換性を付与しなければならない。現在、書換光ディスク用記録材料開発競争が激化しており、光磁気材料、相変態材料の2つの流れがある。現時点では、光磁気材料が先行している。この材料は、垂直磁気異方性を持つ材料であり、MnCuBi に代表される結晶磁気異方性を利用するものと、希土類-遷移金属の合金非晶質膜を利用するものとがあるが、粒界からのノイズ発生、形成方法の容易さなどから、非晶質膜が主流となっている。信号検出は、ポラカ効果を用いるが、回転角が約 0.5 度と小さいため、構造的なエンハンスあるいは検出法の工夫が不可欠である。実験値として C/N 値が 55 dB を越えた例もある³²⁾が、プラスチック基板上での C/N 値向上、劣化防止が今後の課題である。

相変態材料は、非晶質←結晶の相変態を光ディスクに応用しようとするものである。高温液相からの急冷（レーザー光 off により 10¹⁰°C/sec 程度の急冷速度が得られる）で、非晶質を形成し記録し、徐加熱し結晶化させて消去を行う。現在 Te 系材料の開発が主であるが、消去感度と室温下でのデータ保存寿命がトレードオフの関係にあり、Te 系材料の特性マージンが

広くとれないために、材料開発がかなり難しい。公表例としては、 TeOxGeSn^{33} 、 SnSeTe がある。また結晶 \leftrightarrow 結晶相変態に伴う材料変形を利用する試みもある。

(3) 光ディスク用基板材料

光ディスク基板は、透明でサーボ用溝形成が可能である必要から、ガラス、アルミ板を使う例もあるがプラスチック材料が主流となる。現在、PMMA、PC、エポキシ樹脂が用いられている。CD（コンパクトディスク）では、PCで規格化されている。ただ、プラスチック材料特有の吸湿性、複屈折、加工性などの点からは、現在の材料がすべての場合に適しているとは言いきれず、基板形成法を含め、種々の改良が必要である。

(4) 今後の光ディスク

光ディスクは応用の範囲の広いメモリであって、現在高性能化と汎用化の大きな流れがある。高性能化は高転送速度、アクセス時間の短縮、ビット密度の向上、エラーレートの低減化などが課題であり、汎用化は低コスト化、量産化などが課題となる。この分野は民生用が先行して開発された特殊な例と言え、それはまた、実用的見地からの確実な足がためができていても、今後の発展は疑う余地がない。ただしそれをゆるぎないものとするためには開発から実用までの総合的な研究が必須である。

5. むすび

以上光記憶素子を、それが用いられようとしているデータ処理のアーキテクチャとの関連から分類し、適用の新しい動向を概観した。光記憶素子を考える場合に、従来のデータ処理の電子を光におきかえようとすると電子計算機と類似のアーキテクチャが想定されビットメモリが基本となるので、最近試みられている各種の形式について紹介した。さらに利用が広がっている光ファイルメモリについて材料の問題を含めて技術の現状と将来の動向について述べた。

参 考 文 献

- 1) 世古：レーザによる情報処理—光コンピュータをめざして—、情報処理、Vol. 21, No. 11, pp. 1037-1048 (1981).
- 2) Gibbs, H. M., Tarng, S. S., Jewell, J. L., Weinberger, D. A. and Tai, K.: Room-Temperature Excitonic Optical Bistability in a GaAs-GaAlAs Superlattice Etalon, Appl. Phys. Lett., Vol. 41, No. 3, pp. 221-222 (1982).
- 3) Smith, P. W.: On the Physical Limits of Digital Optical Switching and Logic Elements, Bell Syst. Tech. J., Vol. 61, No. 8, pp. 1975-1993 (1982).
- 4) 樽茶, 皆方: 方向性結合形スイッチを用いた双安定光スイッチの検討, 信学技報 OQE 79-146, pp. 7-11 (1979).
- 5) 奥村, 小川, 伊藤, 稲場: 光双安定半導体レーザおよび発光ダイオードの多機能化, 信学論, J66-C, No. 5, pp. 393-400 (1983).
- 6) 鈴木, 小田切, 小松, 長島, 近藤, 後藤, 小林, 太田: 双安定 LD を用いた時分割光交換機の実験, 昭 59 信学総全大, S17-13 (1984).
- 7) Yariv, A.: Three-Dimensional Pictorial Transmission in Optical Fibers, Appl. Phys. Lett., Vol. 28, No. 5 (1976).
- 8) Gravey, P. and Le Rouzic, J.: Optical Switching Technologies for High Capacity Exchanges, ISS'84, Vol. 41A, No. 5 (1984).
- 9) 伊藤: 光論理素子, 第 19 回電気通信研究所シンポジウム, II-3 (1983).
- 10) Jewell, J. L., Tarng, S. S., Gibbs, H. M., Tai, K., Weinberger, D. A., Ovadia, S., Gossard, A. C., McCall, S. L., Passner, A., Venkatesan, T. and Wiegmann, W.: Advances in GaAs Bistable Optical Devices, in "Optical Bistability 2", Bowden, C. M., Gibbs, H. M. and McCall, S. L. eds., Plenum, New York (1984).
- 11) Jewell, J. L., Rushford, M. C. and Gibbs, H. M.: Use of a Single Nonlinear Fabry-Perot Etalon as Optical Logic Gate, Appl. Phys. Lett., Vol. 44, No. 2, pp. 172-174 (1984).
- 12) Wherrett, B. S., Tooley, F. A. P. and Smith, S. D.: Absorption Switching and Bistability in InSb, Opt. Commun., Vol. 53, No. 4, pp. 301-306 (1984).
- 13) 小川, 伊藤, 稲場: 光双安定半導体レーザ, 応用物理, Vol. 52, No. 10, pp. 877-882 (1983).
- 14) Tarucha, S., Minakakata, M. and Noda, J.: Complementary Optical Bistable Switching and Triode Operation Using LiNbO₃ Directional Coupler, IEEE J. Quantum Electron., QE-17, No. 3, pp. 321-324 (1981).
- 15) Lau, K. Y. and Yariv, A.: Bistable Optical Electrical/Microwave Switching Using Optical Coupled Monolithically Integrated GaAlAs Translators, Appl. Phys. Lett., Vol. 45, No. 7, pp. 719-721 (1984).
- 16) Lasher, G. J.: Analysis of a Proposed Bistable Injection Laser, Solid-State Electron., Vol. 7, No. 10, pp. 707-716 (1964).
- 17) Kawaguchi, H. and Iwane, G.: Bistable Operation in Semiconductor Lasers with Inhomogeneous Excitation, Electron. Lett.,

- Vol. 17, No. 4, pp. 167-168 (1981).
- 18) Kawaguchi, H.: Bistability and Differential Gain in Semiconductor Lasers, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. supplement 21-1, pp. 371-376 (1982).
 - 19) Kawaguchi, H.: Optical Bistable-Switching Operation in Semiconductor Lasers with Inhomogeneous Excitation, *IEE Proc.*, Vol. 129, Pt. I, No. 4, pp. 141-148 (1982).
 - 20) Kawaguchi, H.: Bistable Operation of Semiconductor Lasers by Optical Injection, *Electron. Lett.*, Vol. 17, No. 20, pp. 741-742 (1981).
 - 21) Kawaguchi, H.: Optical Input and Output Characteristics for Bistable Semiconductor Lasers, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 41, No. 8, pp. 702-704 (1982).
 - 22) Odagiri, Y., Komatsu, K. and Suzuki, S.: Bistable Laser Diode Memory for Optical Time-Division Switching Application, *CLEO '84*, THJ 7 (1984).
 - 23) 寺内, 小田切, 小林: 双安定 LD の光トリガ入力レベルの波長依存性, 第 45 回応物講演会, 15a-R-10 (1984).
 - 24) Otsuka, K. and Iwamura, H.: Analysis of a Mutlistable Semiconductor Light Amplifier, *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-19, No. 7, pp. 1184-1186 (1983).
 - 25) Otsuka, K. and Kobayashi, S.: Optical Bistability and Nonlinear Resonance in a Resonant-Type Semiconductor Laser Amplifier, *Electron. Lett.*, Vol. 19, No. 7, pp. 262-263 (1983).
 - 26) Nakai, T., Ogasawara, N. and Ito, R.: Optical Bistability in a Semiconductor Laser Amplifier, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 22, No. 5, pp. L310-L 312 (1983).
 - 27) Otsuka, K. and Kawaguchi, H.: Period-doubling Bifurcations in Detuned Lasers with Injected Signals, *Phys. Rev. A*, Vol. 29, No. 5, pp. 2953-56 (1984).
 - 28) 井上, 河口, 松岡, 大塚: 光注入同期におけるヒステリシスの観測, 第 32 回応物連合講演会, 31 p-ZB-9 (1985).
 - 29) Stahl, K. J.: An Overview of 7640 Storage Technology, *Top. Mtg. Opt. Data Stor.*, pp. 9-14 (1984).
 - 30) Mashita, M. and Yasuda, N.: Amorphous Te-C Films for an Optical Disk, *Proc. SPIE*, Vol. 329, pp. 190-194 (1982).
 - 31) 浅野, 山崎, 藤森: Te 含有 CS₂ プラズマ重合膜を用いた光ディスク, 信学技報, CPM 82-56, pp. 17-24 (1982).
 - 32) Kowalski, D. C., Chen, T., DePuy, C. W., Treves, D., Sitts, G., Klinger, L., Curry, D. G. and Sprague, R. A.: High Data Rate Erasable Magneto-Optical Media Tester, *Top. Mtg. Opt. Data Stor.*, pp. 116-118 (1984).
 - 33) Yamashita, T. and Takenaga, M.: Erasable Disk Memory Using Te-TeO₂ Thin Film, *ibid*, pp. 131-135 (1984).

(昭和 60 年 4 月 16 日受付)