

2光子吸収記録媒体を用いた超高密度・書換 可能3次元多層記録光メモリシステムの開発

大阪大学大学院基礎科学研究科助手

田中 拓男

2 光子吸収記録媒体を用いた超高密度・書換可能 3 次元多層記録光メモリシステムの開発

1. 研究の背景と目的

コンパクトディスク(CD)やデジタルビデオディスク(DVD)に代表されるビット記録型光メモリは、高密度・大容量の記録メディアとしてすでに実用化されており、広く普及している。しかしながら、光メモリの記録密度は、集光できるレーザービームスポットの大きさによって決定されるため、必然的に光の回折限界によって制限を受ける。実際、現在の光メモリ技術は、既にその限界に到達しており、現在の技術の改良もしくはその延長のみでは、今後この記録密度を大幅に向上させることは困難である。例えば、記録密度の高密度化手法の1つとしてピックアップに使用するレーザー光源の短波長化であるが、現在使用されている近赤外～赤色(波長720～630nm)のレーザー光の波長をその1/4の約200nm程度にして、青～紫外波長のレーザーを開発したとしても記録密度は1.6倍程度にしかない。しかも短波長域では、透過率の高い光学部品、光学材料が少く、また人体にも有害であるという新たな問題が発生する。このように光メモリの記録密度を上げるには、全く新しいブレイクスルーとなる技術が必要である。そこで、我々はこの光メモリの記録密度の限界に対し、これまでの考えを転換し、図1のようにデータを多層に記録することにより、光の回折限界の制限を受けながらも、大幅に記録密度を増大させる手法を考案し、その有効性を示してきた[1-6]。そしてさらに本研究では、2光子吸収媒体を用いた3次元多層記録光メモリシステムの設計と、特に実システムに応用可能な3次元ピックアップ光学系を試作し、その特性の解析、検討を行った。

2. 研究の方法

我々が提案する3次元光メモリのキーテクノロジーは、透明で厚みを持つ記録媒体内部に3次的に多層にデータを記録し、それを層間のクロストークなく再生することができるピックアップ光学系に関する技術である。特に本研究では、1)記録媒体として2光子吸収媒体を使用して、各層のデータを独立に非破壊で記録する手法の検討と、2)3次的に記録されたビットデータをクロストークなく再生できるピックアップ光学系の試作実験の2点に重点をおいた。本報告では、このうち特に2)に挙げた3次元ピックアップ光学系の試作実験について重点的に述べる。

3. 研究の内容

(1) 3次元ピックアップ光学系の原理

光メモリのピックアップ光学系は、ディスクを試料と見れば、一種のレーザー走査型顕微鏡である。つまり対物レンズで集光したレーザービームスポットを走査しながら(実際の光ディスクでは、ビームスポットではなく、ディスク側が走査されている)、信号つまり記録媒体の情報(像)を検出するものである。

一方、レーザー走査顕微鏡には、3次元的な分解能を有する共焦点顕微光学系が知られており、近年さかんに研究されている。共焦点顕微鏡は、点光源であるレーザーと、試料内部に集光したレーザービームスポット並びに受光面の非常に小さい点光検出器を互いに共役な位置に配置した顕微光学系で、特に点検出器を使用したことにより、焦点面に位置する物体の像のみを3次元的に選択して、非破壊で検出できるものである（詳しくは[7, 8]）。

そこで、本研究では共焦点顕微光学系の3次元結像特性に着目し、その光学系を積極的に利用することにより、多層記録されたデータを再生可能なピックアップ光学系を試作した。さらに、光源として使用した半導体レーザーの特性を利用することによりレーザーそのものを検出器としても使用し、光検出器が不要で小型かつ構造が単純なピックアップ光学系の試作を行った。

比較のため、まず現在コンパクトディスクなどで用いられている光ピックアップ光学系を図2に示す。通常光源には半導体レーザーが使用される。半導体レーザーから出たレーザー光は、対物レンズで光ディスク上に集光される。集光されたレーザーは、ディスク面で反射されるが、光ディスクには、ピットと呼ばれる凹凸がデータに応じて形成されているため、ピットのあるなしに応じてレーザー光の反射率が変化する。この反射して戻ってきたレーザー光強度を光検出器で検出することにより、光ディスク上のデータを検出する。これが光ディスクピックアップの原理である。これに対して、本研究で試作したピックアップの光学系を図3に示す。この光学系には、光検出器はなく半導体レーザーが光源であると同時に光検出器である。これは半導体レーザーに光を戻すと、半導体レーザーのp-n接合面間の電圧が光強度に応じて変化する現象を利用したものであり、ディスク面で反射したレーザー光の強度は、p-n接合面間の電圧を測定することにより検出することができる。さらに、半導体レーザーの光射出口は微小なため、光検出器としては点検出器と等価な特性を持ち、結果として光学系そのものは共焦点光学系と同等な3次元分解特性を示す。以上のように、この光学系では、光検出器がないため、検出器の位置調整が不要で光学系のセットアップが容易になるとともに、システム全体がコンパクトになる。これは光メモリのピックアップにとっては、大きなメリットである。

予備実験として、半導体レーザーの光を反射率が異なるミラーで半導体レーザーに戻し、その時のp-n接合面間の電圧を測定した。測定結果を図4に示す。図4より、p-n接合面間の電圧の変化は、半導体レーザーに戻ってくる光の強度に対して線形に変化していることがわかる。また図5には、レーザー光を戻した場合と戻さない場合において半導体レーザーへの注入電流とレーザー発振強度との関係を示す。このグラフから、半導体レーザーへ光を戻すとレーザー発振効率が高くなり、同じ注入電流でもより強いレーザー光が得られること、またレーザー発振の閾値電流も同様に下がることがわかる。

(2) レーザーフィードバック型3次元光ピックアップ

試作したレーザーフィードバック型3次元光ピックアップの光学系を図6に示す。

半導体レーザー（松下電子工業LNCQ02PS，波長660.1nm）の光をコリメータレンズでコリメートした後，対物レンズ（40×，NA=0.65）を用いて光ディスクに集光する．光ディスクで反射された光は，再度対物レンズで集められ，半導体レーザーに戻る．半導体レーザーは，定電流駆動されており，またp-n接合面間の電圧はコンピュータによって計測できるようになっている．光ディスクは，コンピュータコントロールされたx-y-zステージ上に固定されており，ピットの再生は，このステージを3次元的に走査することにより行う．

4. 実験結果

まず光ディスクの代わりにミラーを置き，そのミラーを光軸方向に走査することにより，試作したピックアップの光軸方向の応答特性を測定した．測定結果を図7に示す．図7より，試作したピックアップ光学系の光軸方向の応答は，半値全幅で4 μm であり，従って3次元物体を約4 μm 間隔で光軸方向に分解して観察可能であることが確認できた．

試作したピックアップを用いて大規模集積回路の回路パターンを計測し，3次元分解特性を調べた．実験結果を図8に示す．図8は，光軸方向に4 μm 焦点位置を変えて測定した像である．2つの画像を比較すると，デフォーカスした部分の像はボケるのではなく消えており，焦点の合った部分の像のみが検出されている．つまり，それぞれの像は，焦平面と同じ高さにある物体の構造が，それぞれ独立に検出されており，この結果からも試作したシステムが3次元解像力を持つことを確認できた．次に，実際のコンパクトディスクのピットを再生した結果を図9に示す．ピットに焦点を合わせると，光ディスク上に記録されたピットが再生されていることが確認できる．以上より，試作したシステムは，光軸方向の分解能を持つと同時に，面内方向も微小なピットを再生できる解像力を備えていることを確認した．

5. 研究がもたらす効果および波及効果

我々は，3次元分解能を持つ共焦点レーザー走査顕微鏡の原理を光メモリに応用することにより，これまで限界とされてきた光メモリの記録密度の壁を越える全く新しい光メモリシステムを提案し，またその有効性を理論解析ならびに実験によって示した．特に本研究では，大がかりな装置を用いなくとも，半導体レーザーの持つ特性を利用すれば，現在使用されているような光メモリ用のピックアップ程度，もしくはそれ以下のコンパクトな光学系で，データの多層記録ならびに再生が可能な光学系を作成できることを実際に示した．

この研究結果は，超高密度で大容量の次世代光メモリシステムを実現可能な1つの方法としてその応用範囲も広く，その影響は単なる情報処理分野にとどまらず，来るべき21世紀における1つのキーテクノロジーになり得る技術だと考える．

参考文献

- 1) S. Kawata, T. Tanaka, Y. Hashimoto, and Y. Kawata, "Three-dimensional Confocal

Optical Memory Using Photorefractive Materials", Proc SPIE, Vol. 2042, pp.314 - 324 (1993)

2) Takuo Tanaka, Yoshimasa Kawata, and Satoshi Kawata, "Three-dimensional Multi-layered Optical Memory with Laser Scanning Microscope Technology", Symposium on Optical Memory 1994 (SOM '94), pp. 19 - 20 (1994)

3) T. Tanaka and S. Kawata, "Three-Dimensional Optical Card Storage With Thirty Recording-layers", CLEO/Pacific Rim '95 (Conference on Lasers and Electro-Optics), (1995)

4) Y. Kawata, R. Juskaitis, T. Tanaka, T. Wilson, and S. Kawata, "Differential phase contrast microscope with a split detector for readout system of multilayered optical memory", Applied Optics, Vol. 35, No. 14, pp. 2466 - 2470 (1996)

5) T. Tanaka and S. Kawata, "Comparison of recording densities in three-dimensional optical storage systems: Multilayered bit-recording versus angularly multiplexed holographic recording", J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 13, No. 5, pp. 935 - 943 (1996)

6) Y. Kawata, T. Tanaka, and S. Kawata, "Randomly accessible multilayered optical memory using $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ crystal", Applied Optics, Vol. 35, 26, pp. 5308 - 5311 (1996)

7) T. Wilson and C. Sheppard, "Theory and practice of scanning optical microscopy," Academic Press (1984)

8) T. Wilson, "Confocal Microscopy," Academic Press (1990)

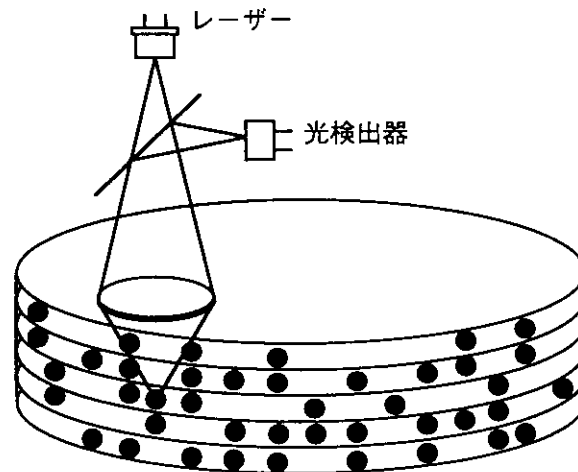


図1 多層記録型3次元光メモリ

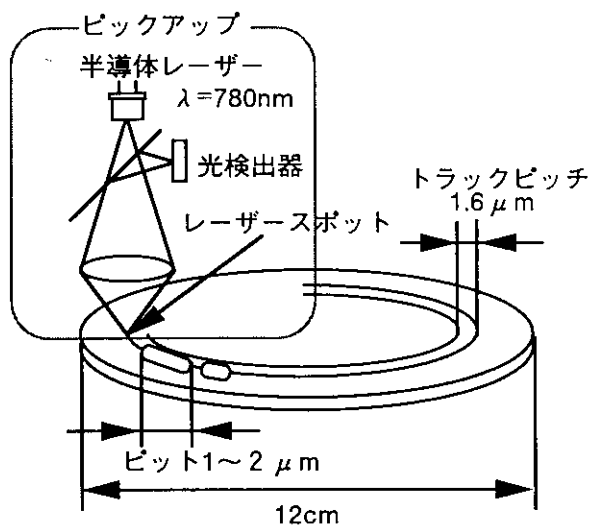


図2 コンパクトディスクの光学系

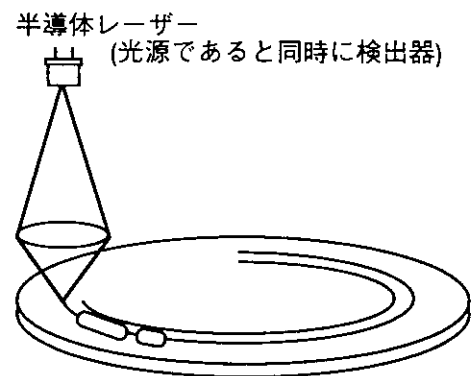


図3 レーザーフィードバック型ピックアップ

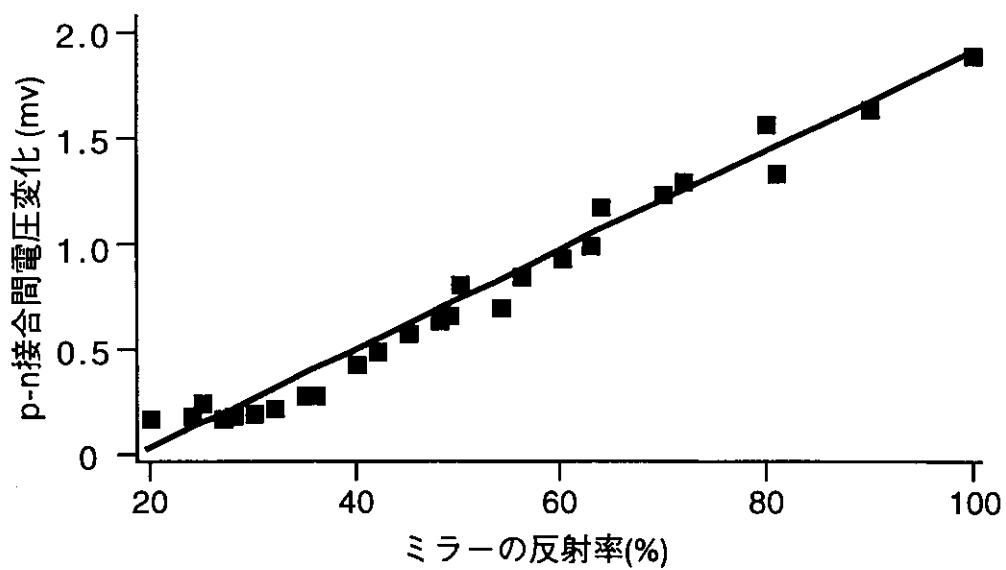


図4 レーザー光のフィードバック量に対するp-n接合間電圧の変化

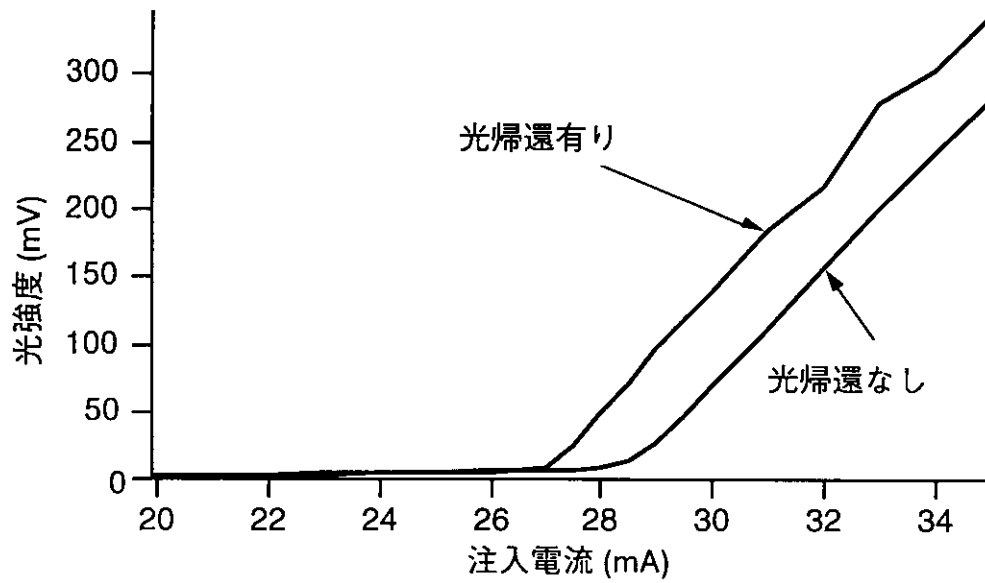


図5 注入電流に対するレーザー発振強度

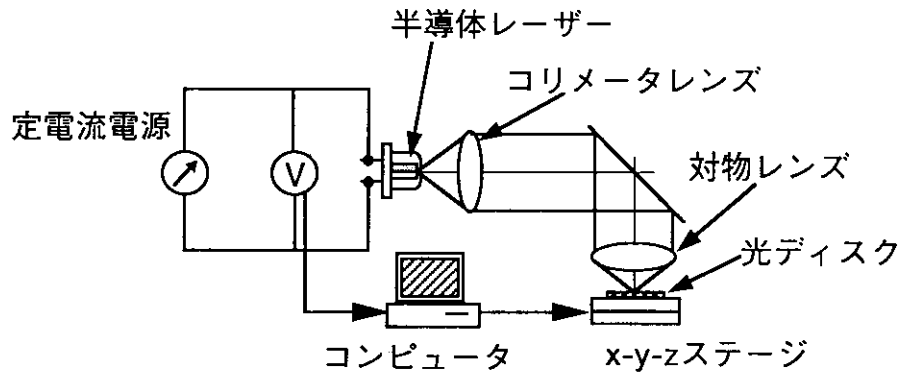


図6 試作したレーザーフィードバック型ピックアップ

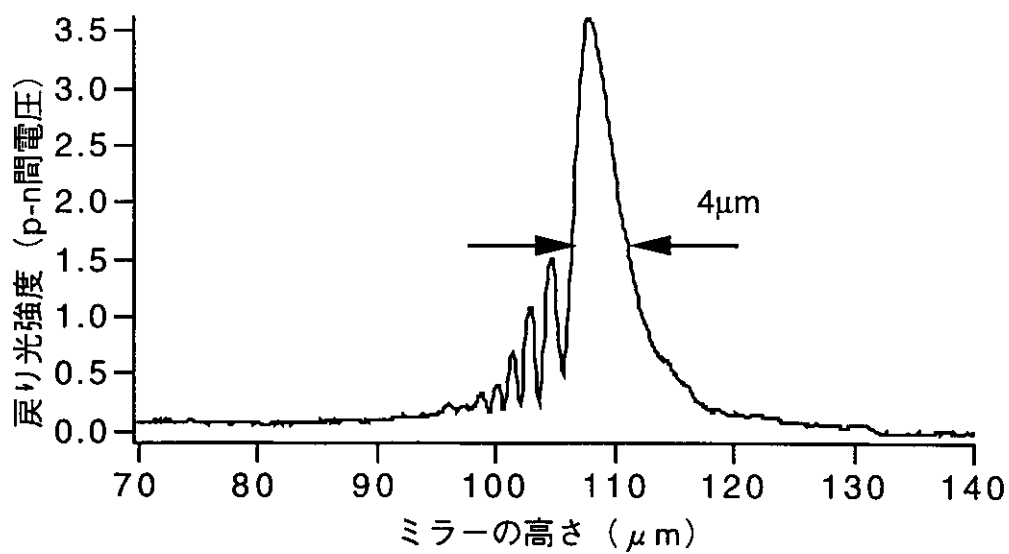


図7 光軸方向の応答特性

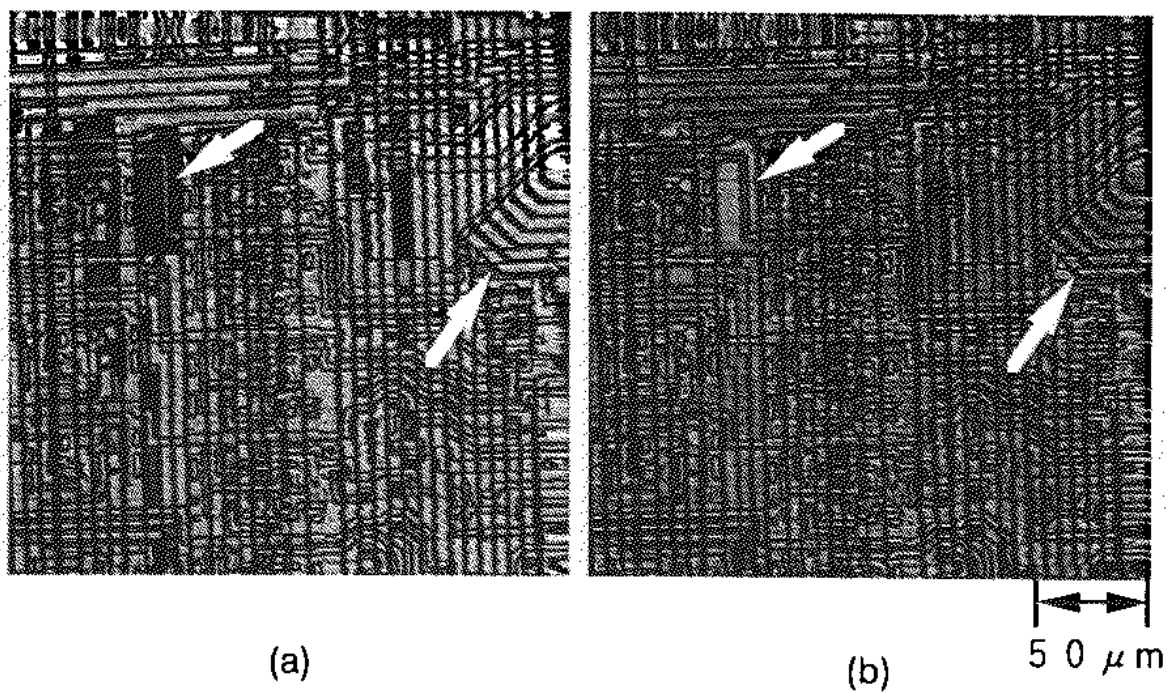


図8 LSIの観察結果 (a) $z=0$, (b) $z=4.0\ \mu\text{m}$

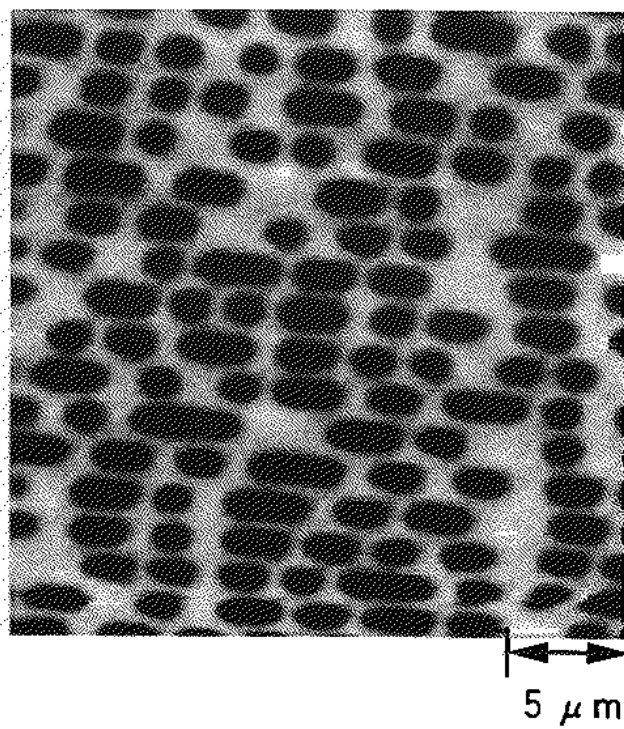


図9 コンパクトディスクの再生結果