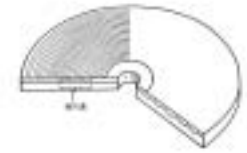


磁気光学効果の応用

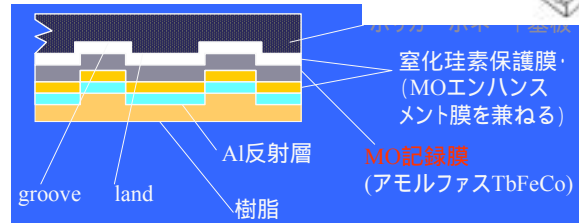
1. 光磁気記録 (記録情報の読み出し)
2. 光アイソレータ (光通信における方向性結合)
3. 高圧電流測定(磁気光学センサ)
4. 空間光変調器(光画像処理)
5. 微小磁区観察(磁気光学顕微鏡)

光磁気媒体
MOディスクの構造



MO (光磁気) 記録

- 記録: 熱磁気(キュリー温度)記録
- 光を用いてアクセスする**磁気記録**
- 再生: 磁気光学効果
- 磁化に応じた偏光の回転を電気信号に変換
- MO, MDに利用
- 互換性が高い
- 書き替え耐性高い: 1000万回以上
- ドライブが複雑(偏光光学系と磁気系が必要)
- MSR, MAMMOS, DWDDなど新現象の有効利用可能



MOディスクの構造

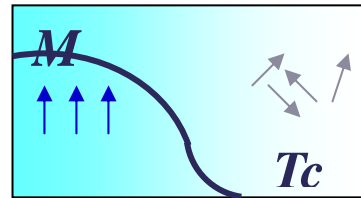
光磁気ディスク

1. MO: 3.5" 128→230→650→1.3G→2.3G
2. MD: 6cm
3. iD-Photo, Hi-MD

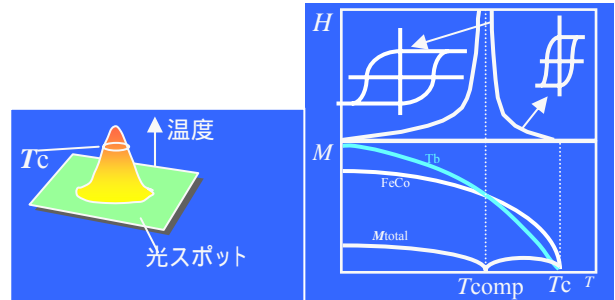
光磁気記録の歴史

- 1962 Conger, Tomlinson 光磁気メモリを提案
- 1967 Mee Fan ビームアドレス方式の光磁気記録の提案
- 1971 Argard (Honeywell) MnBi薄膜を媒体としたMOディスクを発表
- 1972 Suits (IBM) EuO薄膜を利用したMOディスクを試作
- 1973 Chaudhari (IBM) アモルファスGdCo薄膜に熱磁気記録(補償温度記録)
- 1976 Sakurai (阪大) アモルファスTbFe薄膜にキュリー温度記録
- 1980 Imamura (KDD) TbFe系薄膜を利用したMOディスクを発表
- 1981 Togami (NHK) GdCo系薄膜MOディスクにTV動画画像を記録
- 1988 各社 5"MOディスク(両面650MB)発売開始
- 1989 各社 3.5"MOディスク(片面128MB)発売開始
- 1991 Aratani (Sony) MSR(磁気誘起超解像)を発表
- 1992 Sony MD(ミニディスク)を商品化
- 1997 Sanyo他 ASMO(5"片面6GB: L/G, MFM/MSR)規格発表
- 1998 Fujitsu他 GIGAMO(3.5"片面1.3GB)発売開始
- 2001 Sanyo デジカメ用iD-Photo(2", 780MB)発売
- 2002 Canon-松下 ハンディカメラ用2"3GBディスク発表
- 2004 Sony Hi-MD発表

光磁気記録 情報の記録



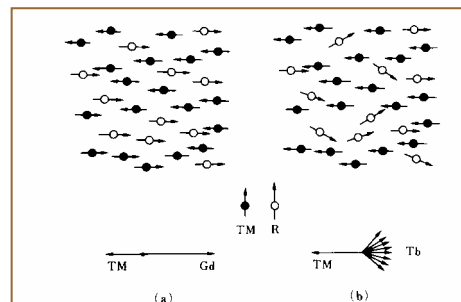
- レーザ光をレンズで集め磁性体を加熱
- キュリー温度以上になると磁化を消失
- 冷却時にコイルからの磁界を受けて記録



補償温度(T_{comp})の利用

- アモルファスTbFeCoは一種のフェリ磁性体なので補償温度 T_{comp} が存在
- T_{comp} で H_c 最大:
- 記録磁区安定

アモルファスR-TM合金



MOドライブ

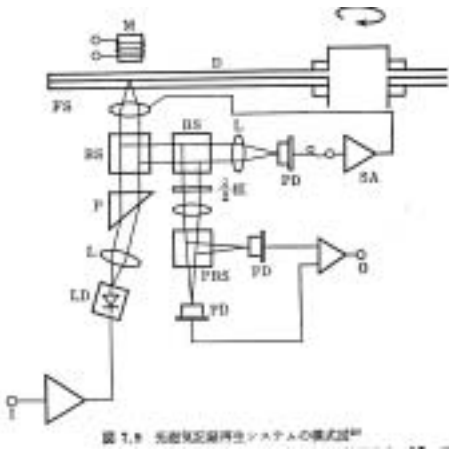
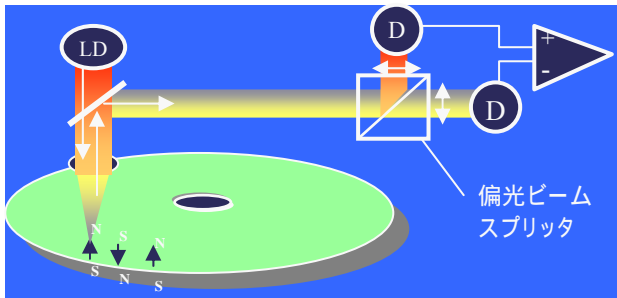


図 1.8 光磁気記録再生システムの模式図

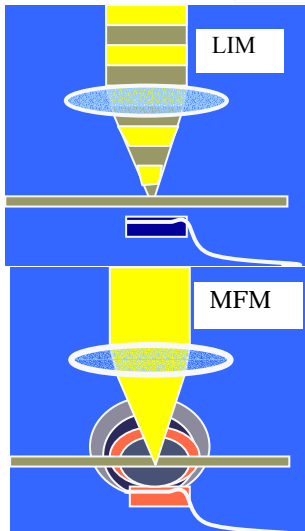
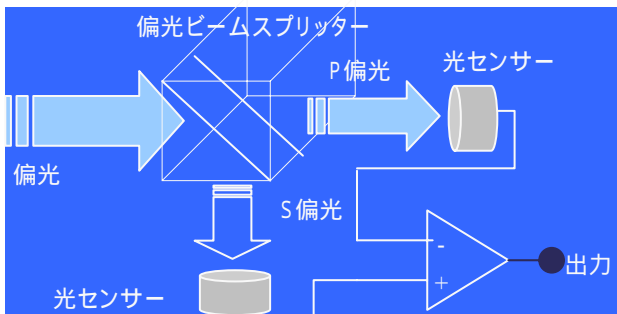
光磁気記録 情報の読み出し

- 磁化に応じた偏光の回転を検出し電気に変換



差動検出系

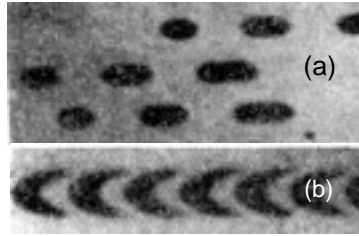
- 差動検出による高感度化



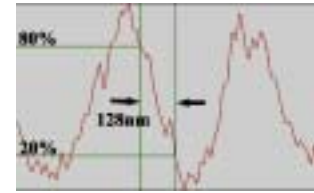
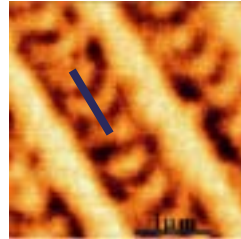
2種類の記録方式

- 光強度変調(LIM): 現行のMOディスク
 - 電気信号で光を変調
 - 磁界は一定
 - ビット形状は長円形
- 磁界変調(MFM): 現行MD, iD-Photo
 - 電気信号で磁界を変調
 - 光強度は一定
 - ビット形状は矢羽形

記録ビットの形状



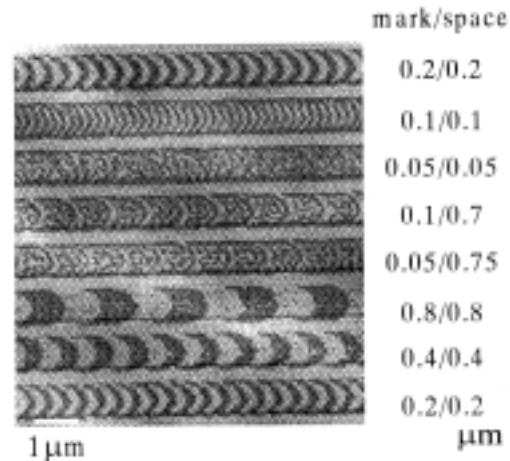
MO-SNOMで見た記録マーク



SNOM:近接場顕微鏡

佐藤勝昭: 応用物理 69 [10] (2000) 1220-1221

FeのL₃吸収端のXMCDを用いて観測したMO媒体の磁区像



光ディスク高密度化の戦略

- 回折限界の範囲で
 - 短波長光源の使用: 青紫色レーザーの採用
 - 高NAレンズの採用: NA=0.85
 - 多層構造を使う
- 回折限界を超えて
 - 超解像技術を使う
 - 磁気誘起超解像: GIGAMOに採用されている技術
 - MAMMOS, DWDD: 磁気超解像を強化する技術
 - 近接場を使う
 - SILの採用
 - Super-RENS
 - Bow-tie antenna

光源の短波長化

- 我が国で開発された青紫色レーザーは、最近になって複数の会社から安定供給できるようになり、これを用いた光ディスクが登場した。光ディスクの面密度は原理的に $1/d^2$ で決まるので、波長が従来の650nmから405nmに変わることにより、原理的に2.6倍の高密度化が可能になる。

光源の短波長化による高密度化

- $\lambda=405$ nmの青紫色レーザーを光源とし $NA=0.85$ の高NAレンズを用いると $d=0.28$ μm のスポットに絞り込みが可能
- ROMの場合は、ピットの内外からの反射光の干渉でデータを読みとるので、ピット径は d の半分以下にできる。従って、トラックピッチを $d=0.28$ μm としピット長を $d/2=0.14$ μm とすると16 Gb/in²以上の面密度が得られる。
- 高NA(2.03)のSILを用い、トラックピッチを詰める(0.16)ことで100Gb/in²が達成可能
- RAMの場合は、マークの直径は光スポットと同程度なので、記録密度は8 Gb/in²程度である。

多層化による高密度化

- 相変化記録の場合、4層程度にまで多層化できるので、記録密度はこの層数倍となる。
- 光磁気記録においても多層化技術が開発されており、少なくとも波長多重2層化については20 Gb/in²程度の記録密度が実証されている[i]。
[i] 伊藤彰義：「最先端光磁気記録技術」日本応用磁気学会第128回研究会「磁気ストレージ技術の趨勢はどこに」(2003.1.30)資料集p.31

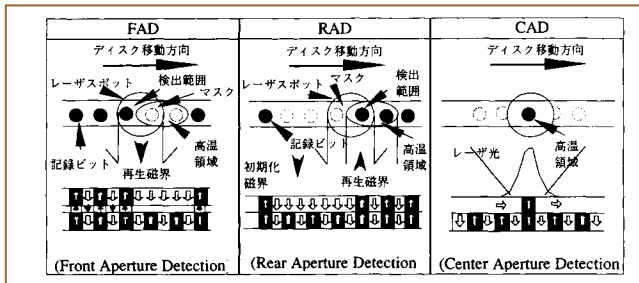
超高密度光ディスクへの展開

- 超解像
 - MSR/MAMMOS
 - Super-RENS (Sb)
- 短波長化
- 近接場
 - SIL
 - Super-RENS (AgO_x)

磁気誘起超解像技術(MSR)

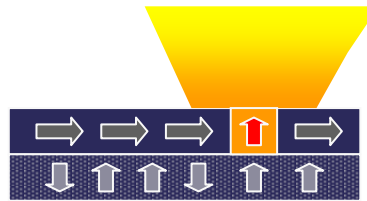
- 光磁気記録では、磁気誘起超解像(MSR)技術が実用化されており、これを採用したGIGAMOでは、 $\lambda=650$ nm(赤色レーザー)を用いて回折限界を超える直径0.3 μm のマークを読みとっている。直径3.5”のGIGAMOの記録密度は2.5 Gb/in²程度である。
- 次世代規格であるASMOでは磁界変調記録法を採用することにより0.235 μm の小さなマークを記録することが可能で、面記録密度としては約4.6 Gb/in²程度となる。

MSR方式の図解



CAD-MSR

- 解像度は光の回折限界から決まる
 - $d=0.6\lambda/NA$ (ここに $NA=n \sin\alpha$)
 - 波長以下のピットは分解しない
- 記録層と再生層を分離
- 読み出し時のレーザーの強度分布を利用
 - ある温度を超えた部分のみを再生層に転写する



磁気機能を利用した信号増大

- 光磁気記録においてさらに小さなマークを十分なSN比を以て光学的に読みとる方法として、磁区拡大再生

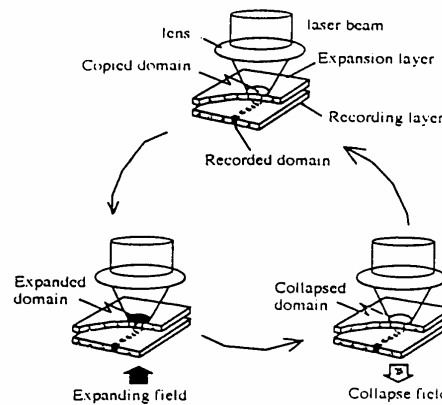
(MAMMOS)および磁壁移動再生(DWDD)という技術が開発された。これらは、光磁気記録特有の再生技術である。

MAMMOS

- MAMMOSでは記録層から読み出し層に転写する際に磁界によって磁区を拡大して、レーザー光の有効利用を図り信号強度を稼いでいる[1]。原理的にはこの技術を用いて100 Gb/in²の記録密度が達成できるはずで、実験室レベルで64 Gb/in²程度までは実証されているようである[2]。無磁界MAMMOSも開発されている。

[1] H. Awano, S. Ohnuki, H. Shirai, and N. Ohta: Appl. Phys. Lett. **69** (1996) 4257.

[2] A. Itoh, N. Ohta, T. Uchiyama, A. Takahashi, M. Mieda, N. Iketani, Y. Uchiyama, M. Nakata, K. Tezuka, H. Awano, S. Imai, and K. Nakagawa: *Digest MORIS/APDSC2000, Oct. 30- Nov. 2, Nagoya*, p. 90.



DWDD

- DWDDも記録層から読み出し層に転写する点はMAMMOSと同じであるが、転写された磁区を読み出し層の温度勾配を利用して磁壁を移動させて拡大するので、磁界を必要としない[1]。
- ソニーは2004.1.8にDWDDを用いたHi-MD(1GB)を発売する。 [2]
- また、松下が新規格のハンディビデオ用MO(2”, 3GB)として商品化を検討した経過がある[3]。

[1] T. Shiratori, E. Fujii, Y. Miyaoka, and Y. Hozumi: *Proc. MORIS1997, J. Magn. Soc. Jpn.* **22**, Suppl.S2 (1997) 47.

[2] 伊藤大貴：日経エレクトロニクス204.2.2, p.28

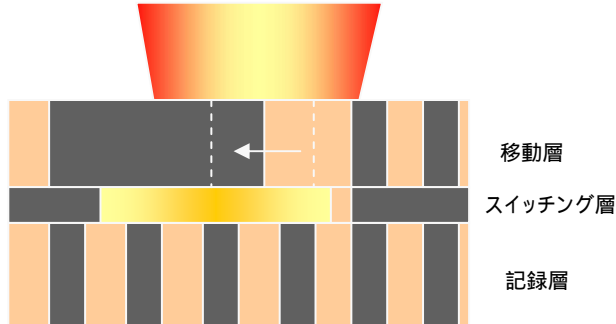
[3] M. Birukawa, Y. Hino, K. Nishikiori, K. Uchida, T. Shiratori, T. Hiroki, Y. Miyaoka and Y. Hozumi: *Proc. MORIS2002, Trans. Magn. Soc. Jpn.* **2** (2002) 273

DWDD(磁壁移動検出)

- 室温状態では、「記録層」の記録マークは、中間の「スイッチング層」を介し、「移動層」に交換結合力で転写されている。
- 再生光スポットをディスクの記録トラックに照射することにより昇温し、中間の「スイッチング層」のキュリー温度以上の領域では磁化が消滅し、各層間に働いていた交換結合力が解消。

- 移動層に転写されていたマークを保持しておく力の一つである交換結合力が解消されることで、記録マークを形成する磁区の周りの磁壁が、磁壁のエネルギーが小さくなる高い温度領域に移動し、小さな記録マークが拡大される
- まるでゴムで引っぱられるように、移動層に転写されている磁区の端（磁壁）が移動。磁壁移動検出方式という名称は、ここから発想されました。読み出しの時だけ、記録メディアの方が、記録層に記録された微小な記録マークを虫眼鏡で拡大するかのようにふるまうので、レーザービームスポット径より高密度に記録されていても読み取ることが可能になるわけです。

DWDD概念図



Hi-MD



近接場記録

- 回折限界を超えた高密度化に欠かせないのが、近接場光学技術である。1991年、Betzigらは光ファイバーをテーパ状に細めたプローブから出る近接場光を用いて回折限界を超えた光磁気記録ができること、および、このプローブを用いて磁気光学効果による読み出しができることを明らかにし、将来の高密度記録方式として近接場光がにわかに注目を浴びることになった[1]。
- 日立中研のグループはこの方法が光磁気記録だけでなく光相変化記録にも利用できることを明らかにした[2]。しかし、このように光ファイバ・プローブを走査するやり方では、高速の転送レートを得ることができない。

[1] E. Betzig, J.K. Trautman, R. Wolfe, E.M. Gyorgy, P.L. Finn, M.H. Kryder and C.-H. Chang: Appl. Phys. Lett. **61** (1992) 1432
 [2] S. Hosaka, T. Shintani, M. Miyamoto, A. Hirotsune, M. Terao, M. Yoshida, K. Fujita and S. Kammer: Jpn. J. Appl. Phys. **35** (1996) 443.

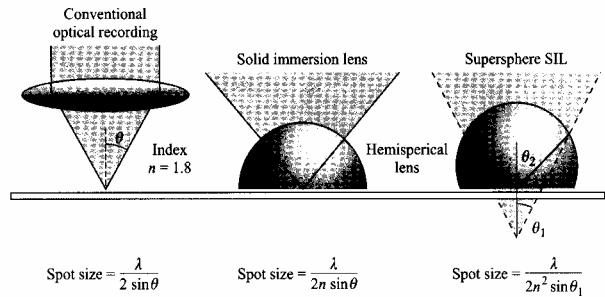
SIL (solid immersion lens)

- 高速の転送レートを得ることができない問題を解決する方法として提案されたのが、SIL[1]というレンズを用いた光磁気記録である。
- Terrisらは波長780 nmのレーザー光を光源としSIL光学系を使ってTbFeCo膜に光磁気記録し、直径0.2 μmの磁区が形成されることをMFMにより確認した[2]。
- SILを磁気ディスク装置のヘッド・アセンブリ(いわゆるジンバル)に搭載して光磁気記録を行うアイデアが1994年Terrisらにより出された[3]。この方法により、面記録密

度2.45 Gb/in²、データ転送速度3.3 Mbpsを達成している。

- 鈴木らはMFM(磁気力顕微鏡)を用いて、SIL記録されたマークを観測し2 Gmarks/in²を達成していると発表した[4]。
 [1] S.M. Mansfield and G. Kino: Appl. Phys. Lett. **57** (1990) 2615.
 [2] B. D. Terris, H.J. Mamin and D. Rugar: Appl. Phys. Lett. **68** (1996) 141.
 [3] B.D.Terris, H.J. Mamin, D. Rugar, W.R. Studenmund and G.S.Kino: Appl. Phys. Lett. **65** (1994) 388.
 [4] P. Glijer, T. Suzuki, and B. Terris: J. Magn. Soc. Jpn. **20** Suppl.S1 (1996) 297.

SIL (solid immersion lens)



相変化ディスクにおける超解像技術

- 相変化ディスクの場合には、磁気的な転写ができないので超解像技術を適用するのが難しいが、産総研で開発されたSuper-RENS方式により、回折限界を超えて0.1 μm径の微小マークの再生が可能になった[1]。
 [1] J. Tominaga, H. Fuji, A. Sato, T. Nakano and N. Atoda: Jpn. J. Appl. Phys. **39** (2000) 957.

1

Super-RENS (Super-resolution near-field system)

- Sb膜：光吸収飽和
 - 波長より小さな窓を開ける
- AgOx膜：分解・Ag析出
 - 散乱体→近接場
 - Agプラズモン→光増強
 - 可逆性あり。
- 相変化媒体だけでなく光磁気にも適用可能

熱磁気記録/磁束検出法

- 現在、通常の磁気記録は超常磁性限界を迎えつつあり、光でアシストして磁気記録して、MRヘッドで読み出すハイブリッド磁気記録が次世代磁気記録として注目されている。

