

工学系12大学大学院単位互換e-ラーニング科目
磁気光学入門 第11回磁気光学効果の応用(1):光磁気記録

佐藤勝昭

磁気光学効果の応用(1)

- 光磁気記録(記録情報の読み出し):第11回
 - 光アイソレータ(光通信における方向性結合):
第12回
 - 高圧電流測定(磁気光学センサ)
 - 空間光変調器(光画像処理)
 - 微小磁区観察(磁気光学顕微鏡)
- } : 第13回

光磁気ディスク概説

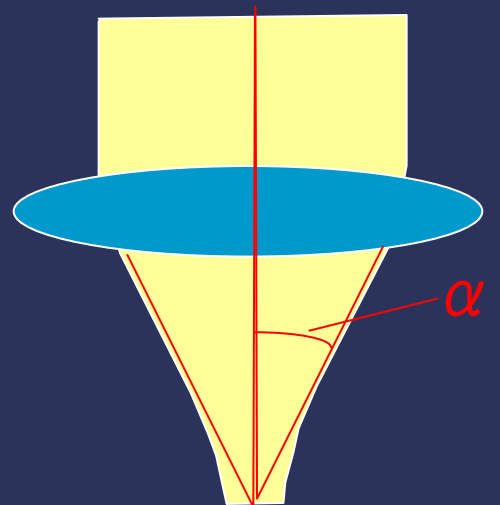
- この講義では、はじめに光ディスク全般について、どのような材料が使われ、どのような物理現象を利用して記録再生が行われているかについてお話しします。
- ついで光磁気記録技術について述べます。光磁気記録は、MOディスク、MD(ミニディスク)に使われる技術です。
- 光磁気記録の原理には、磁性物理が巧妙に利用されています。次世代の光アシスト磁気記録として利用される可能性を秘めています。

光ディスクの物理学



記録密度を決めるもの 光スポットサイズ

- 光ディスクの読み出しは、レーザー光を絞ったときに回折限界で決まるスポットサイズ $d=0.6 \lambda / NA$ で制限されます。
 - ここにNA(numerical aperture)はレンズの開口数で
 $NA=n \sin \alpha$ で与えられます。
- 現行CD-ROM: $NA=0.65$
CD-ROM: $\lambda = 780\text{nm} \rightarrow d=720\text{nm}$
DVD: $\lambda = 650\text{nm} \rightarrow d=600\text{nm}$
BD: $NA=0.85$
 $\lambda = 405\text{nm} \rightarrow d=285\text{nm}$
HD-DVD: $NA=0.65$
 $\lambda = 405\text{nm} \rightarrow d=373\text{nm}$



スポット径 d

光ディスクの分類

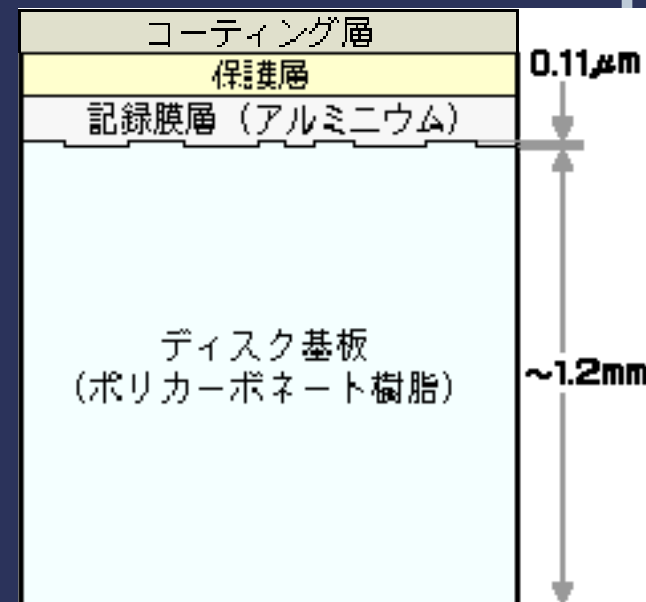
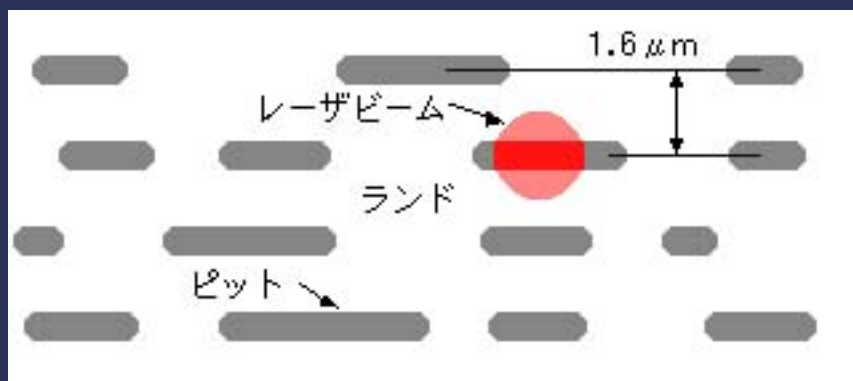
- 皆さんがよくご存じの光ディスクですが、分類すると、
 - CD-ROM, DVD-ROMのように読み出し専用のもの
 - CD-R, DVD-Rのように記録できる(recordable)が消去できないもの
 - CD-RW, DVD-RAM, DVD-RW, MO, MDのように繰り返し記録できる(rewritable)ものがあります。
- 光ディスクの物理については、よくご存じと思いますが、以下に復習しておきましょう。

光ディスクの物理(1) CD-ROM

- CD-ROMなどは、プラスチック基板に作ったピットというくぼみによって、ビットを記録しています。このピットの深さは110nm、プラスチック基板内の光の波長の約1/4の深さです。ピットの底から反射した光と、その周りから反射した光が打ち消し合うので光が戻ってこないのです。

CD-ROM: 光の干渉を利用

- ポリカーボネート基板: $n=1.55$
- $\lambda = 780\text{nm} \rightarrow$ 基板中の波長 $\lambda' = 503\text{nm}$
- ピットの深さ: $110\text{nm} \sim \frac{1}{4}$ 波長
- 反射光の位相差 π : 打ち消し



光ディスクの物理(2) CD-R

- CD-Rでは色素が使われています。レーザーの熱で色素が分解し、プラスチックが変形してピットが形成されます。

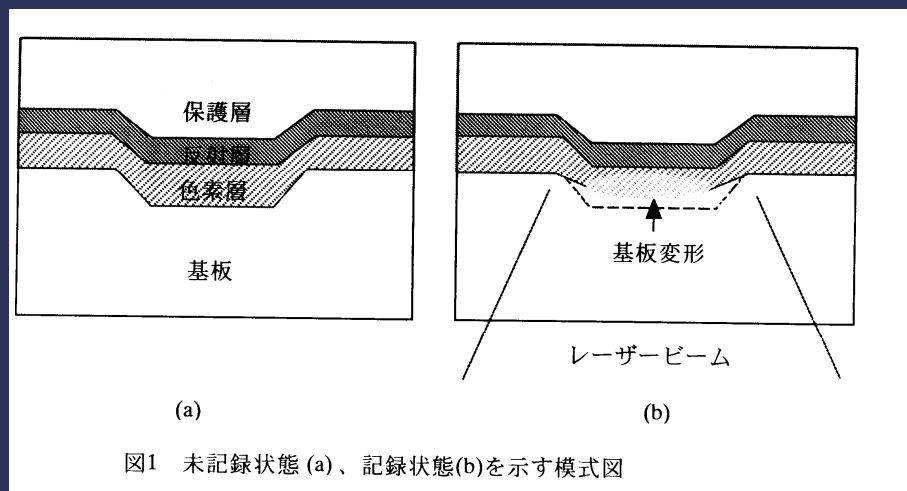


図1 未記録状態(a)、記録状態(b)を示す模式図

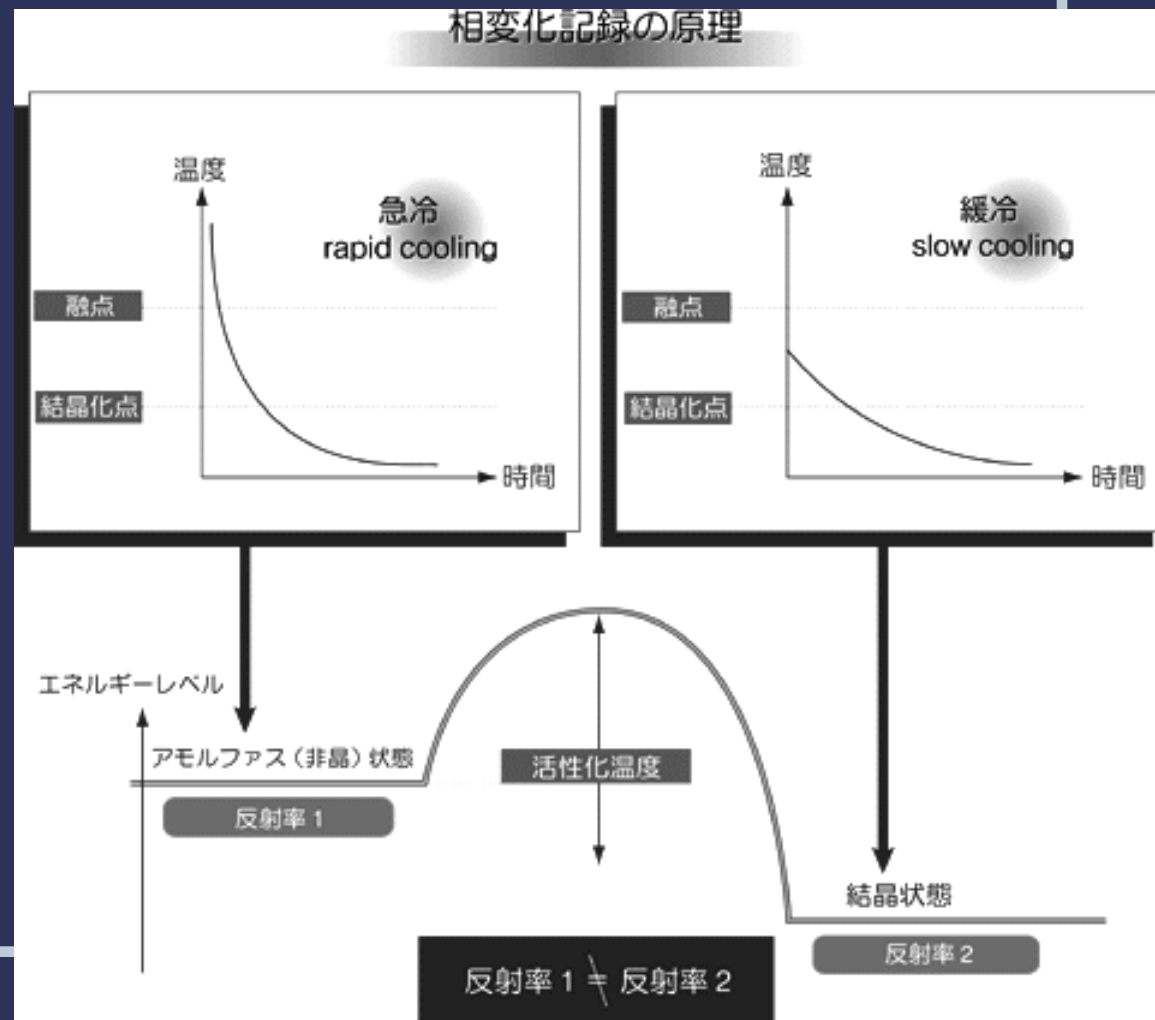
光ディスクの物理(3) CD-RWなど

- CD-RW, DVD-RAM, DVD-RWなどは、多元化合物材料(GeSbTeなど)の結晶相とアモルファス相の間の相変化を用いています。
 - 初期状態は多結晶相ですが、レーザ光で600°C付近に加熱し、急冷すると原子配列の長距離秩序がなくなり、アモルファスになり、加熱部分の反射率が低くなります。
 - 消去するには予めレーザ光を弱く当てておき、400°C付近に加熱して徐冷すると長距離秩序が回復し結晶相になります。

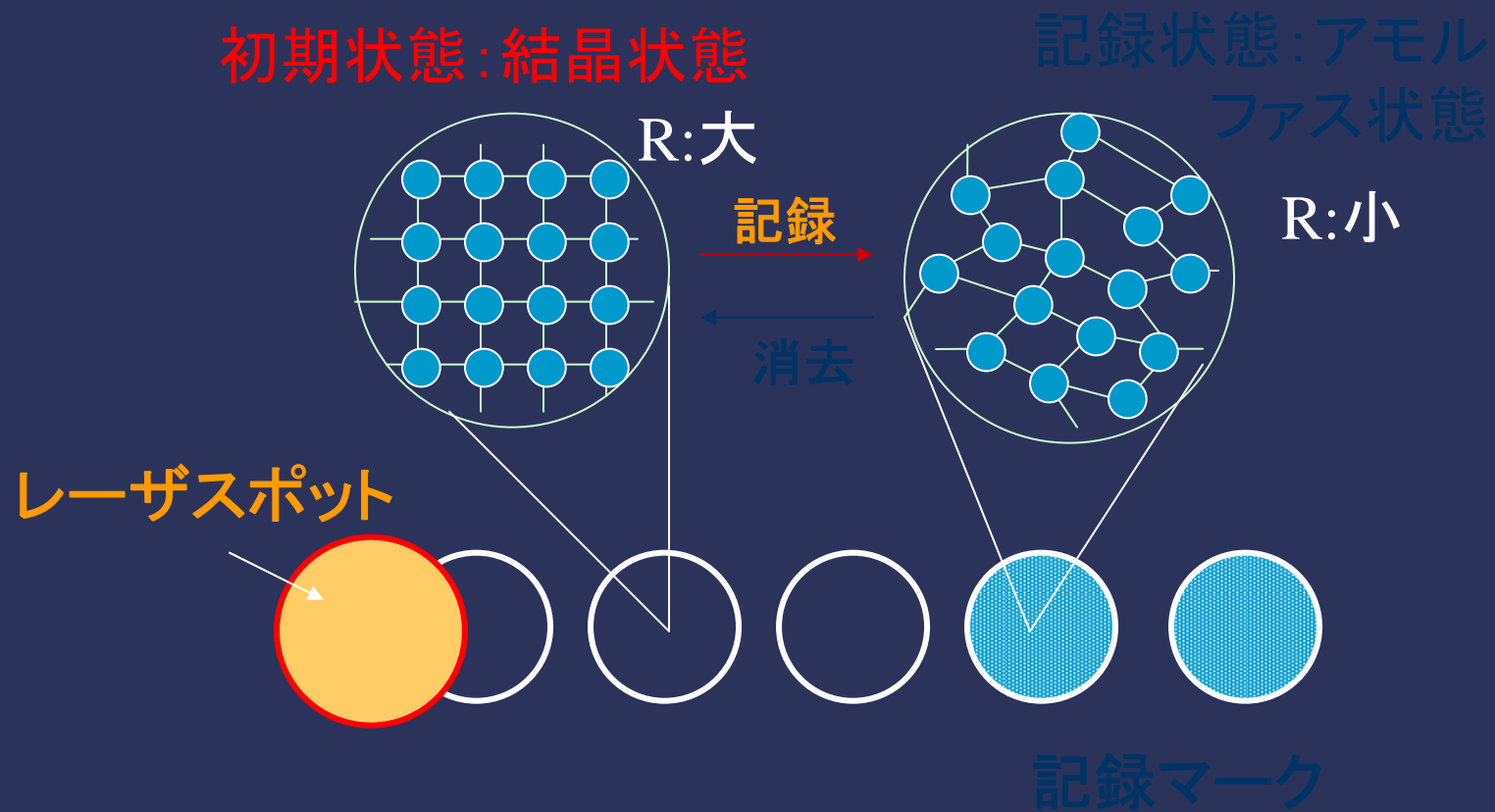
相変化ディスクの記録と消去

- 融点以上から急冷：
アモルファス
→低反射率
- 融点以下、結晶化温度以上で徐冷：
結晶化
→高反射率

http://www.cds21solutions.org/main/sj/j/cdrw/rw_phase.html



相変化と反射率



光ディスクの物理(4)

- 光相変化ディスクは、繰り返し耐性がよくありません。DVD-RWでは1000回程度、DVD-RAMでは10万回程度です。記録に要する温度が高いこと、融解させるので回転により薄くなることが原因です。
- これに対して、光磁気記録は、同じ熱を用いるけれど、磁性の変化を起こすだけのために加熱するので1000万回もの繰り返し耐性があります。

光ディスクの物理(5)

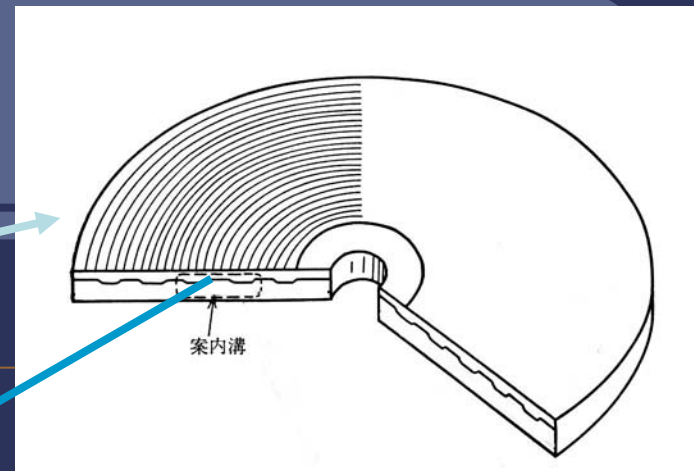
MO(光磁気)記録

- 光磁気記録は、正確には「熱磁気記録」と呼ぶべきものです。
 - 光を用いてキュリー温度以上に加熱し常磁性にしたのち、冷却時に外部磁界の助けを借りて磁気記録します。それで、キュリー温度記録と呼ばれます。
 - 磁気記録されたデータを再生するのに**磁気光学効果**を用います。磁化の向きに応じた偏光の回転を電気信号に変換します。ドライブが複雑(偏光光学系と磁気系が必要)

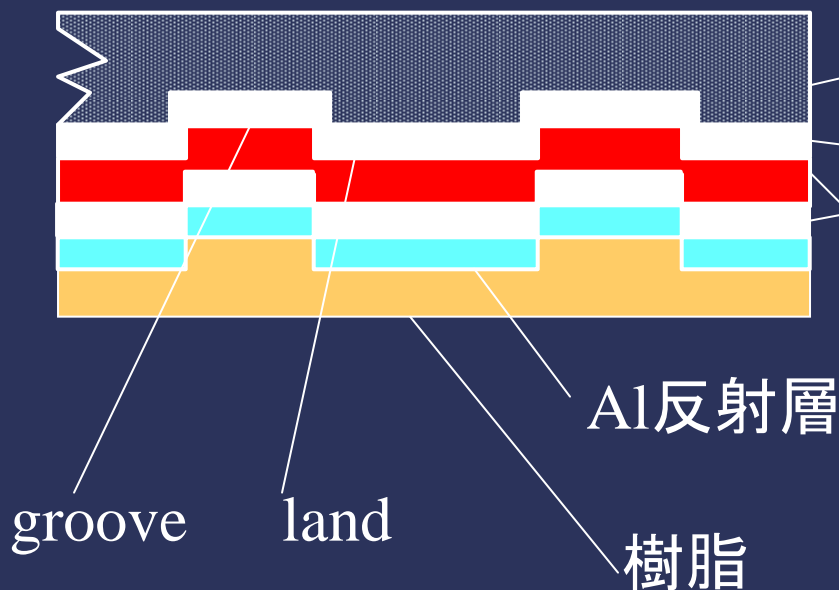
光磁気記録の歴史

- 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 (Honeywel) 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

光磁気媒体



● MOディスクの構造



ポリカーボネート基板

窒化珪素保護膜・
(MOエンハンス
メント膜を兼ねる)

MO記録膜
(アモルファスTbFeCo)

Al反射層

groove

land

樹脂

光磁気記録媒体に要求される条件

- 光磁気記録媒体に用いる材料は、熱磁気記録特性と磁気光学再生特性の両方の要請を満たしていなければならない。したがって、次のような条件が必要です。
 1. **記録特性**からの要請として、① T_c が低くレーザ加熱によって容易に磁化を失う、② M_s が小さく**小さな記録磁区が安定**に存在する、③ 熱的安定性が高い、④熱伝導率が大きくレーザ光が離れるとすぐ冷却される。
 2. **再生特性**からの要請として、①媒体ノイズが低い、②**磁気カー回転角が大きい**、③**垂直磁化**で極カー効果が使える、④反射率が高く検出に十分な反射光強度がある。
 3. 記録媒体としての要請として、①大面積で均質な膜が容易に低価格に製作できる、②化学的、構造的に安定である。

光磁気記録材料

- さまざまな記録媒体が研究されましたが、現在ではTbFeCo系のアモルファス希土類遷移金属合金薄膜に収束しました。
- この材料は記録に好都合ですが、磁気光学効果がやや小さいので再生からみるとGdFeCo系材料の方が優れています。
- それで、記録層と再生層を分けて役割分担させている場合もあります。

アモルファスとはなにか

- Amorphous aは否定の接頭辞morphは形
 - 非晶質と訳されます
 - 原子の並び方に近距離秩序はありますが、結晶のような長距離秩序がありません。
 - 液体の原子配列が凍結した状態に近いです。
 - 液体の急冷、あるいは、それに準じた方法で作られる準安定な状態です。
 - 金属合金系、カルコゲナイドガラス系、テトラヘドラル系、酸化物ガラス系などがあります。

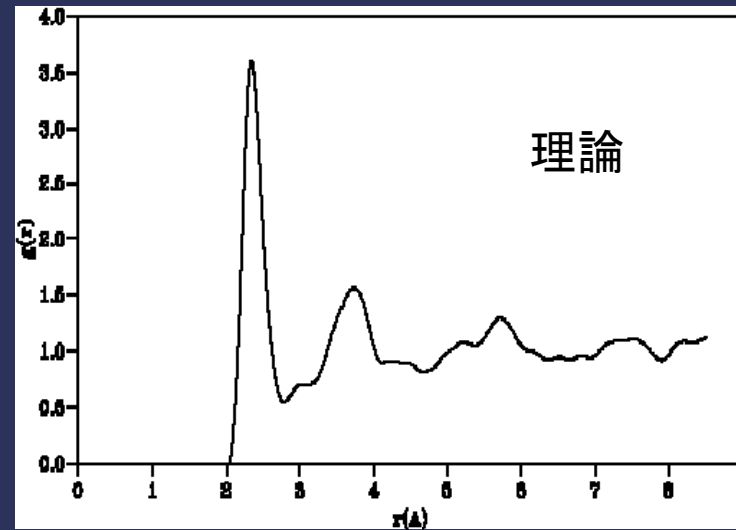
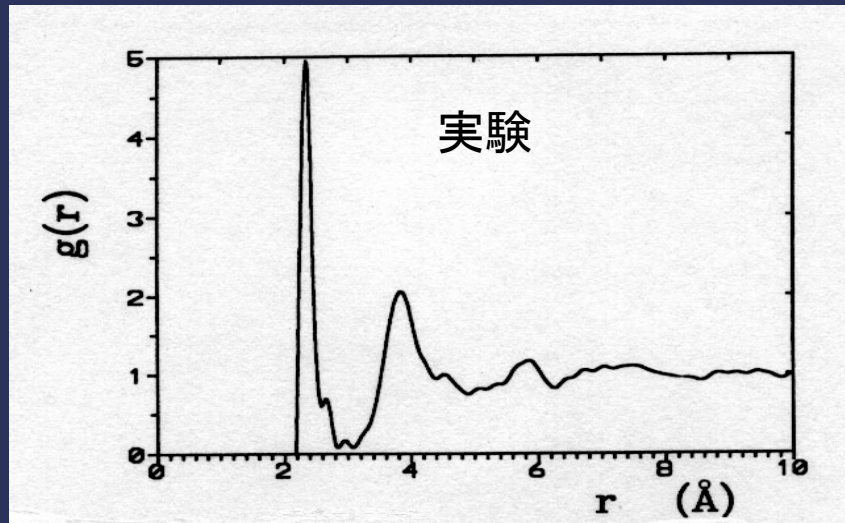
アモルファスの特徴

- 結晶ではないので結晶粒界がなく連続
 - 大面積を均一に作れる。
 - 光の散乱が少ない
- 結晶と違って整数比でない広範な組成比が実現：特性を最適化しやすい
- 低温成膜可能なので、プラスチック基板でもOK

動径分布関数(RDF)

- 1つの原子から r の位置に隣の原子を見いだす確率

<http://cmt.dur.ac.uk/sjc/thesis/thesis/node79.html>



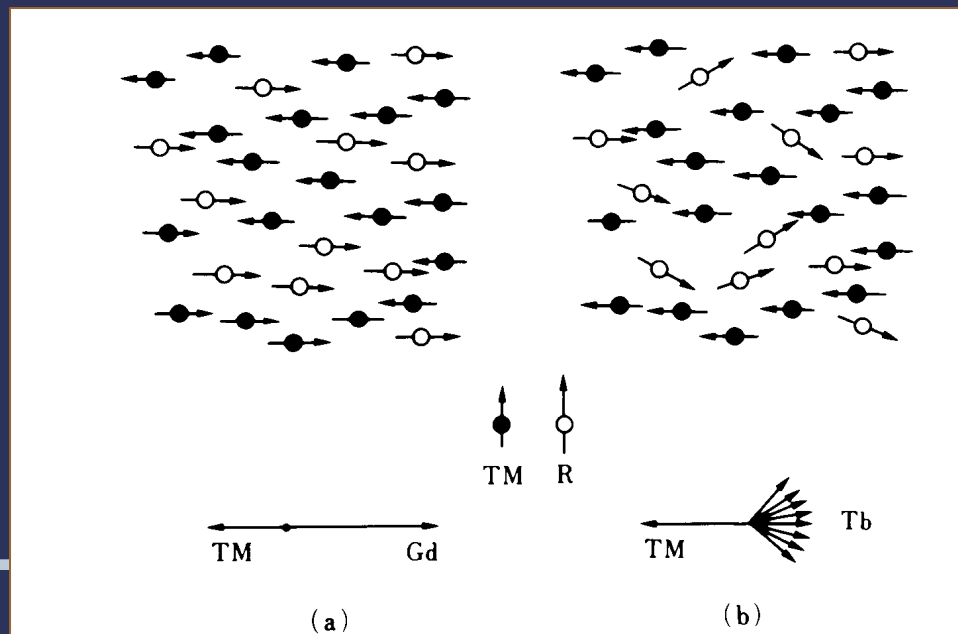
- 金属合金系の動径分布関数の実験結果は、DRPHS (dense random packing of hard spheres)モデルによるシミュレーションで説明できます。

アモルファス希土類遷移金属合金の磁性

- 光磁気記録に使われる媒体材料としては、TdFeCoなど、希土類と遷移金属のアモルファス合金薄膜においては、遷移金属TMの磁気モーメントは強磁性的にそろい副ネットワーク磁化 M_{TM} をもっています。
- 希土類Rの磁気モーメントの向きは一般には分布をもちその合成磁気モーメントが副ネットワーク磁化 M_R を作ります。
- TMとRの磁氣的な結合：
 - Rが軽希土類(Nd, Prなど)のときは平行に結合します。
 - Rが重希土類(Gd, Tbなど)では反平行に結合します。
- 光磁気記録に使われる膜は主として重希土類を用いているので、以下、希土類という場合、重希土類を指します。

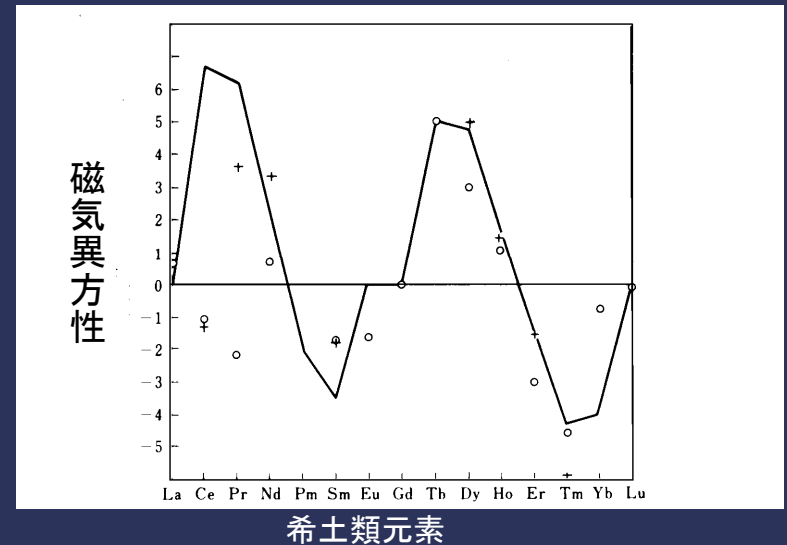
遷移金属と希土類の磁気モーメントのようす

- GdCoなどGd合金に関しては、図 (a)に示すようにGdと遷移元素のモーメントは同一方向を向きますが、その他の希土類合金、たとえば、光磁気記録に用いられるTbFeCoでは、図 (b)に示すようにRのモーメントの向きに広がり(spray)がみられます。
- Gdでは軌道角運動が消滅しているため原子配置の乱れの影響を受けないが、Tbなどでは軌道角運動量が消滅していないため配置の乱れの影響を受けてさまざまな方向を向くものと考えられています。



垂直磁気異方性

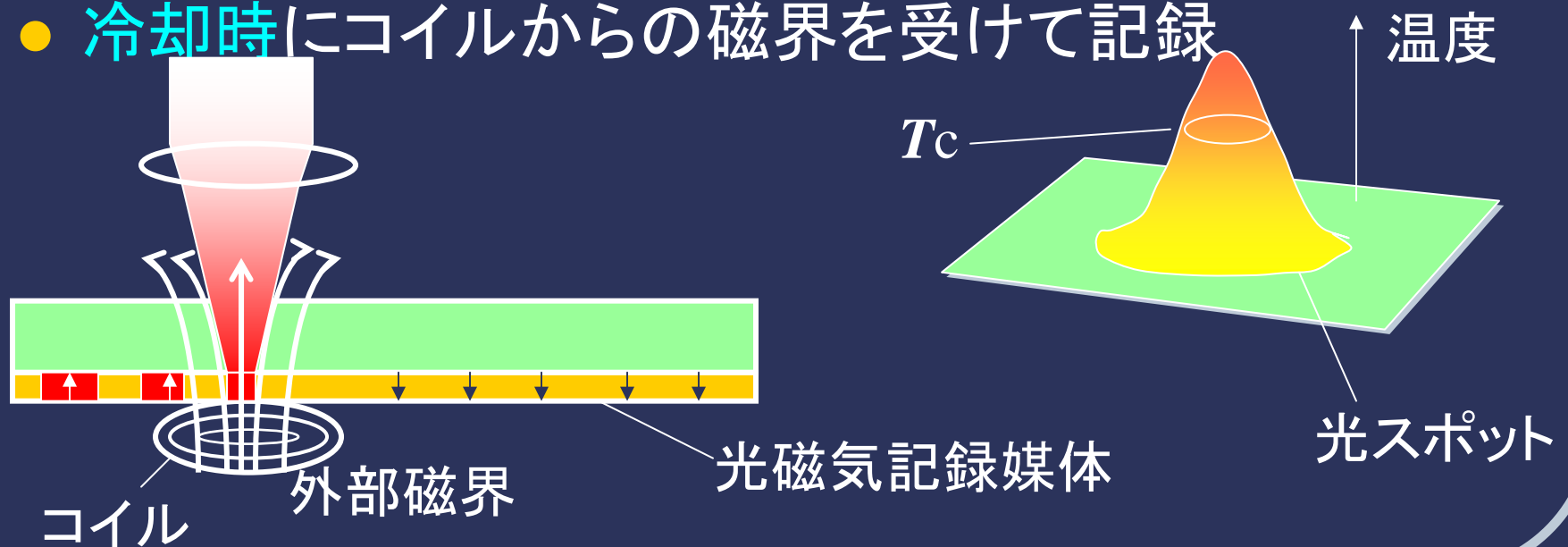
- アモルファスは原子の配置に長距離秩序がないので、本来は等方的で磁気異方性がないと考えられるにもかかわらず、垂直磁気異方性をもっています。
 - スパッタ製膜時に膜面に垂直にR-Rの原子対ができる
 - R-Co膜の磁気異方性は、Rの種類を変えることにより大幅に変化することから、Rの1イオン異方性が寄与している
 - 膜構造の異方性が軌道の異方性をもたらし、スピン軌道相互作用を通じて磁気異方性に寄与していると考えられます。



R-Co合金の磁気異方性の希土類元素依存性

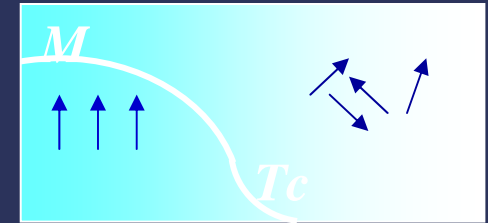
光磁気記録 情報の記録

- 光磁気ディスクの記録の原理図を示します。
- 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



記録のメカニズムの概略

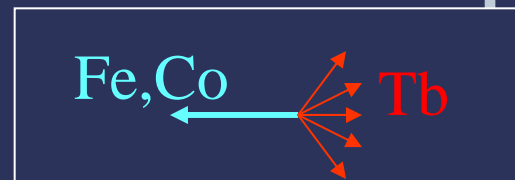
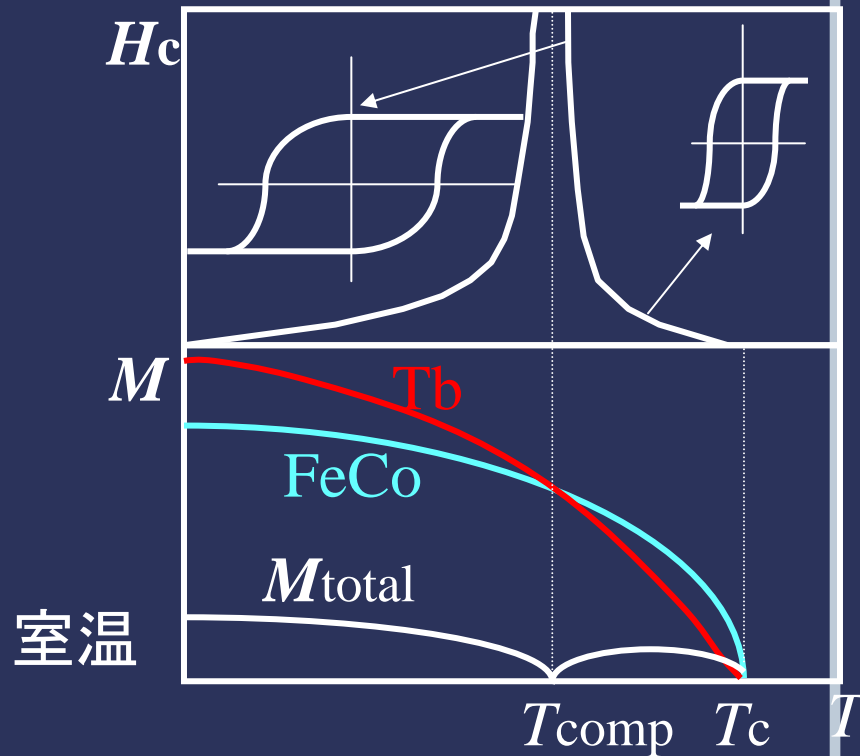
- この膜は予めある方向(下向き)に10kOe($\doteq 800\text{kA/m}$)程度の強い磁界で磁化しており, 記録したい部分のみをレーザー光で局所的に加熱します。



- 上右図はアモルファスTbFeCo薄膜の磁化の温度変化です。自発磁化はキュリー温度 T_c 付近で急激に減少して0になってしまいます。 T_c 以上の温度ではスピンの長距離の磁気秩序がなくなり常磁性となります。このとき逆方向の磁界を与えておくと, T_c 以上に加熱された部分のみ冷却時に磁化が反転して, マークが記録されます。
- これが光磁気記録の原理です。この記録方式は熱磁気記録, あるいは, キュリー温度記録とよばれます。

補償温度の利用

- アモルファス希土類遷移金属(R-TM)合金膜は一種のフェリ磁性体です。フェリ磁性体では互いに逆向きの磁気モーメントをもつ2つの副格子が存在しますが、それら2つの副格子磁化の温度依存性が異なっていて、ある温度で打ち消しあって巨視的な磁化が0になる場合があります。この打ち消しあいの温度を補償温度 T_{comp} といいます。
- 保磁力 H_c は、磁化を反転させるに要する磁界の強さで、巨視的な磁化 M_s にほぼ反比例しますから、補償温度付近で非常に大きくなります。補償温度が室温付近にある材料を使い、レーザー光で加熱すると、保磁力が小さくなって外部磁界の方向に磁化が向けられ磁気記録できます。これを補償温度記録といいます。



$$H_c \propto K_u / M_s$$

室温で大きな保磁力：減磁しにくい

- 室温付近に補償温度を示す膜を用いてキュリー温度記録すると、記録後は大きな保磁力をもつため記録された磁区が容易に反転しないので、記録されたマークは安定に存在します。
- このように、現在の光磁気記録ではキュリー温度記録と補償温度記録を組み合わせて用いています。
- 光磁気記録は外部磁界によって記録するのですが、記録される磁区はレーザで加熱された微小部分に限られている点が特徴です。

光磁気記録：再生の原理

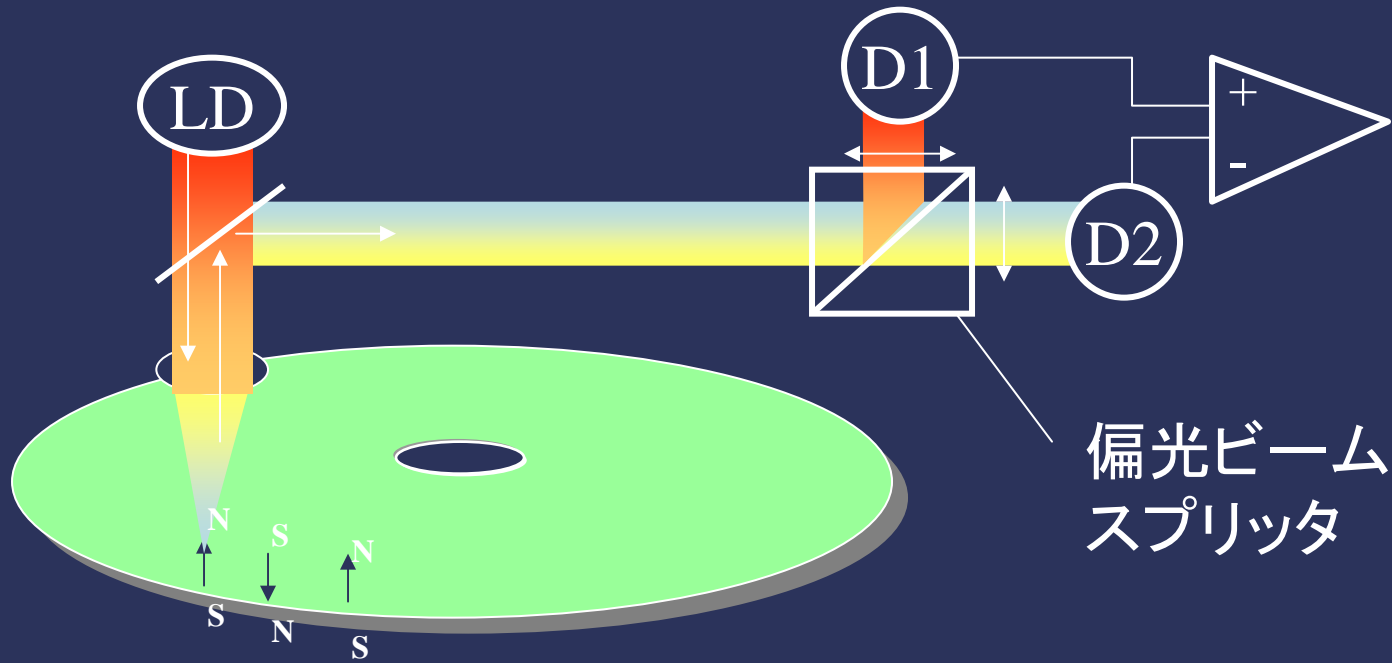
- 光磁気記録された情報の再生には、磁気光学効果を利用しています。
- 反射の磁気光学効果である磁気カー効果、または、透過の磁気光学効果であるファラデー効果が用いられます。
- 磁気光学効果の大きさは磁化 M の向きと光の進行ベクトル k とが平行なとき最も大きくなります。
- したがって、媒体の面に垂直な磁化をもつ材料が望まれる。面に垂直な磁化という条件は垂直磁気記録の要件も満たしているため、高密度記録にも適します。

補償温度付近なのに磁気光学効果

- 補償温度付近では、FeCoの磁化とTbの磁化が打ち消しあって磁化Mはほとんどゼロです。
- $M_s=0$ にもかかわらず、なぜ磁気光学効果が観測されるのでしょうか
- これは、MOディスクに使っている650nm付近の波長の磁気光学効果はFe,Coに関係する電子状態間遷移が寄与し、短波長では希土類に関係する遷移が寄与するからです。

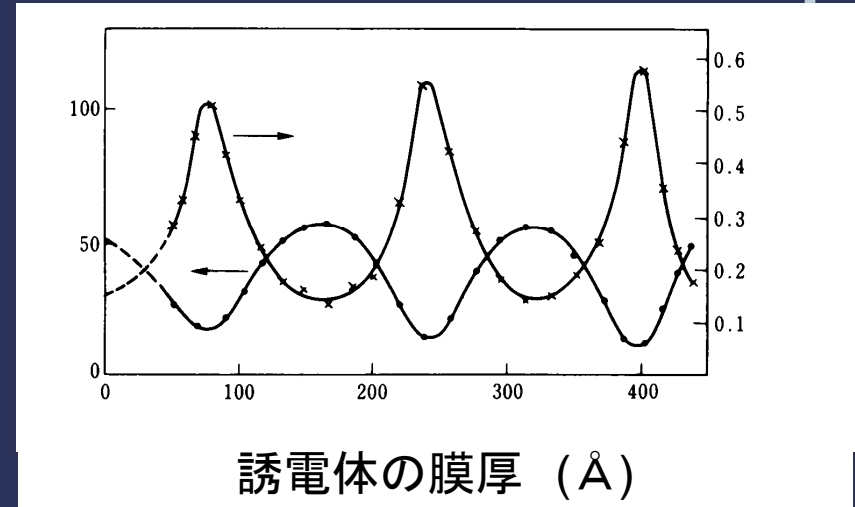
光磁気記録 情報の読み出し

- 磁化に応じた偏光の回転を検出し電気に変換



誘電体層による磁気光学の増大

- 図は、基板、誘電体膜、光磁気膜からなる多層膜構造におけるカー回転角・反射率の誘電体膜厚依存性を示しています。
- 厚みを変えることによりカー回転角が増強されたり、減少したりしていることがわかるでしょう。
- カー回転が最大になる膜厚では反射率が極小になります。それで実際の膜では両者の妥協を計り最適化されます。
- 現在使われている光磁気媒体は、基板/誘電体膜/光磁気膜/誘電体膜/金属反射膜の構造をとっていますが、光磁気膜の表面で反射された光だけでなく、光磁気膜を透過し金属膜で反射されて再び光磁気膜を透過して戻ってくる光も利用されているので、カー効果とファラデー効果の両方が寄与しています。

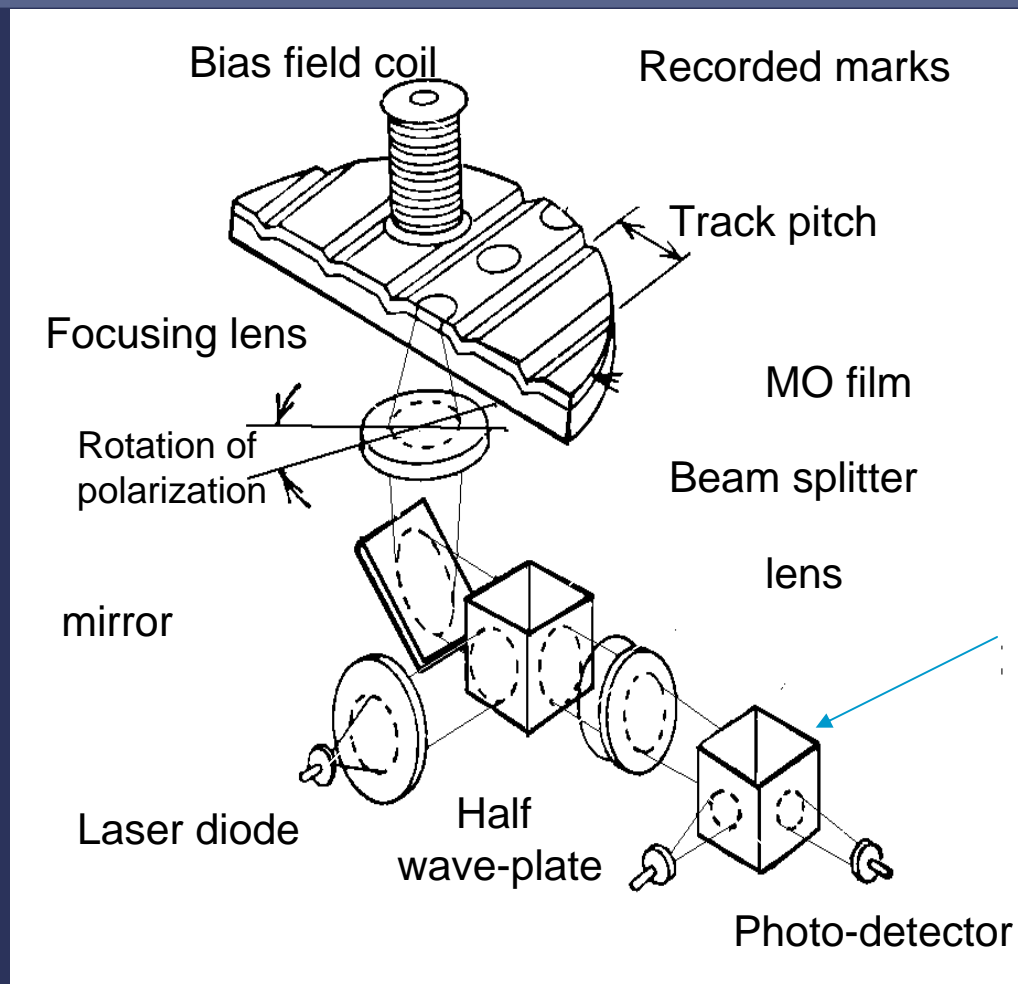


MOドライブ



- 光ヘッドは半導体レーザ, ビームスプリッタ, 対物レンズ(NA=0.5程度), サーボ用6分割フォトダイオード, 偏光ビームスプリッタ, 信号検出用フォトダイオード, レンズ移動用アクチュエータなどから構成される.
- 半導体レーザの波長は780~650nm程度, 膜面における光強度は記録時10mW程度, 再生時1~3mW程度である. 半導体レーザのビーム断面は楕円状なので, ビーム成形プリズムを用いるとともに斜め入射によって円形に変換している.
- 媒体からの反射光はビームスプリッタで検出系に導かれる. 信号検出系では偏光ビームスプリッタ(または, ウォラストンプリズム)でP偏光, S偏光に分割しそれぞれフォトダイオードで検出され, 差動方式でCN比を稼いでいる.
- ミニディスクについては, いくつかの光学部品を一体化した光ヘッドが開発され, 実装・調整作業の簡略化, ひいては, ドライブの低価格化が図られている(24,25).
- レーザ光を常に磁性体膜上に結像するよう, フォーカス・サーボとトラッキングサーボの2つのサーボ機構が使われている. フォーカス・サーボは非点収差, トラッキングサーボは, 3ビーム法, プッシュプル法などがよく使われる.

MOドライブの光ヘッド

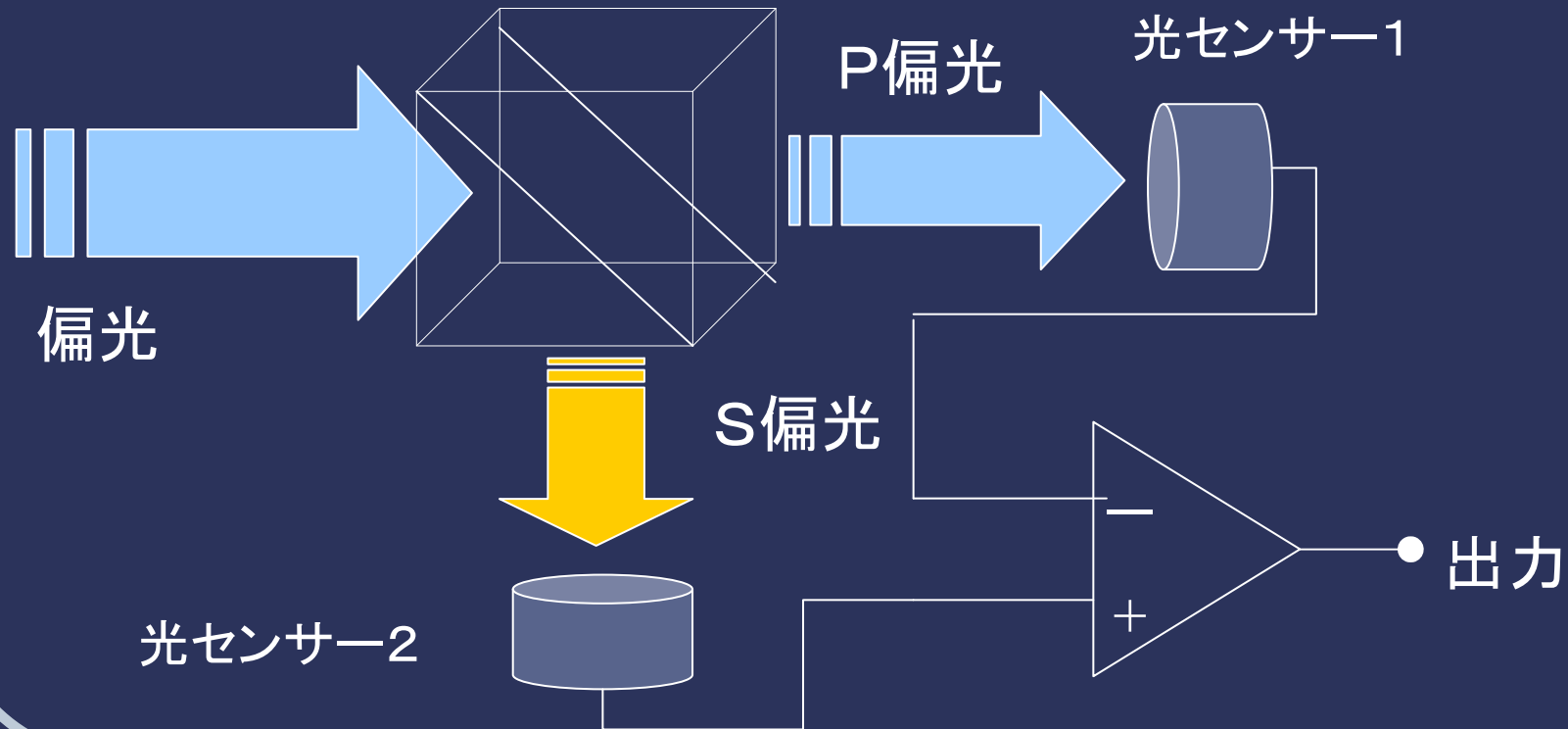


PBS
(polarizing beam splitter)

差動検出系

- 差動検出による高感度化

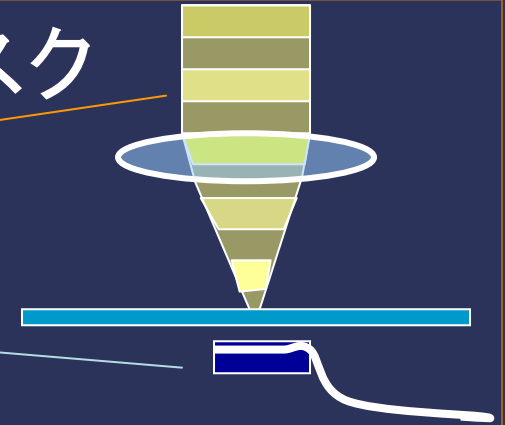
偏光ビームスプリッター



2種類の変調方式

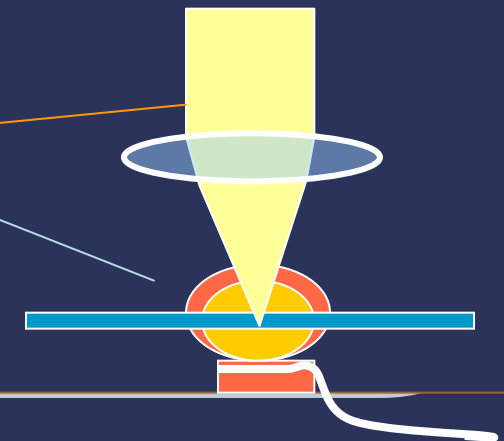
- 光強度変調(LIM): 現行のMOディスク

- 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

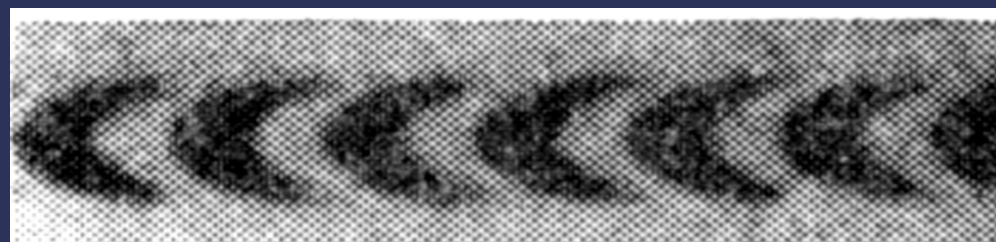
- 電気信号で磁界を変調
- 光強度は一定
- ビット形状は矢羽形



記録ビットの形状



(a)



(b)

FeのL₃吸収端のXMCDを用いて 観測したMO媒体の磁区像

mark/space



1 μm

0.2/0.2

0.1/0.1

0.05/0.05

0.1/0.7

0.05/0.75

0.8/0.8

0.4/0.4

0.2/0.2

μm

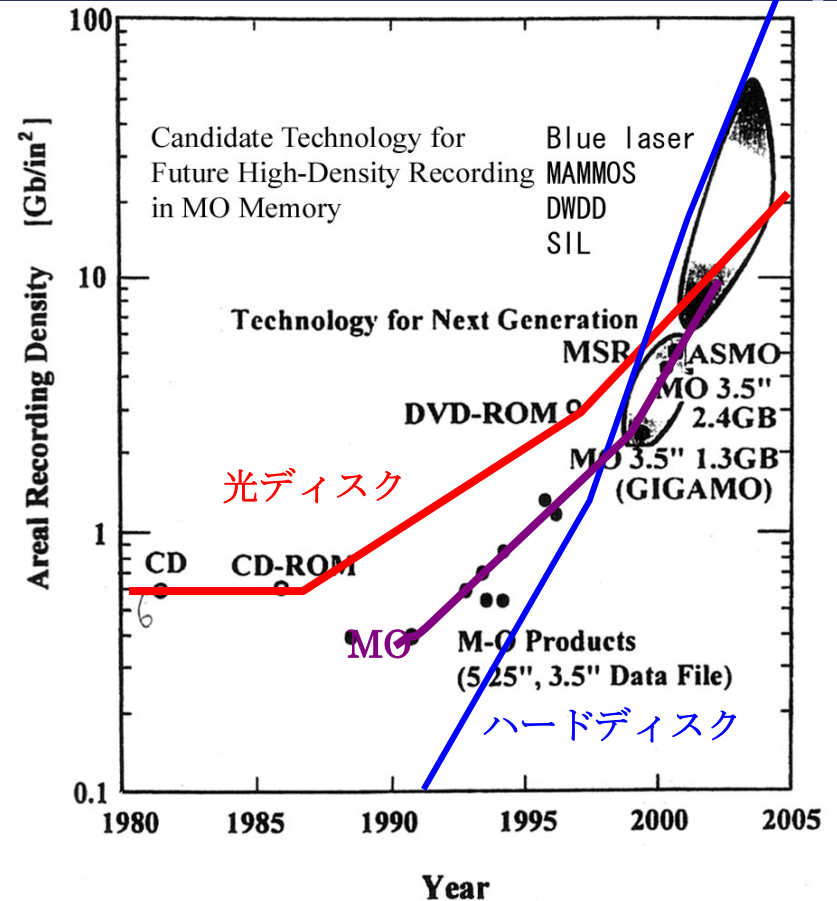
SiN(70nm)/ TbFeCo(50nm)/SiN(20nm)/
Al(30nm)/SiN(20nm) MO 媒体

N. Takagi, H. Ishida, A. Yamaguchi, H. Noguchi, M. Kume, S. Tsunashima, M. Kumazawa, and P. Fischer: Digest Joint MORIS/APDSC2000, Nagoya, October 30-November 2, 2000, WeG-05, p.114.

XMCD: X線磁気円二色性

光ディスクの記録密度

- 1980年代はハードディスク(HDD)の記録密度が低かったため、光記録は高密度化の切り札のように言われました。
- しかし、ハードディスクの技術が向上し、1990年代に追い抜かれてしまいました。
- 次世代のBDですら、1層では20Gb/in²です。HDDはすでに150Gb/in²を達成しています。



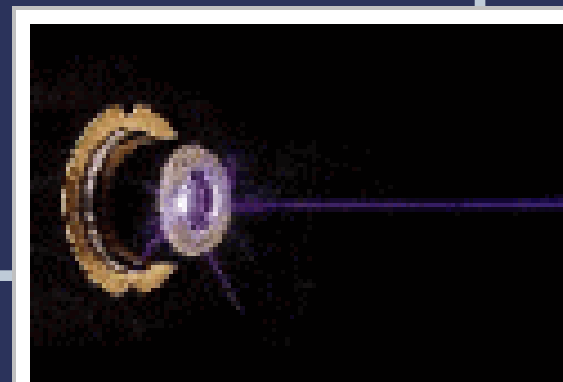
鈴木孝雄：第113回日本応用磁気学会研究会資料(2000.1) p.11に加筆

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
 - 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ました。
- 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ります。



光源の短波長化による高密度化

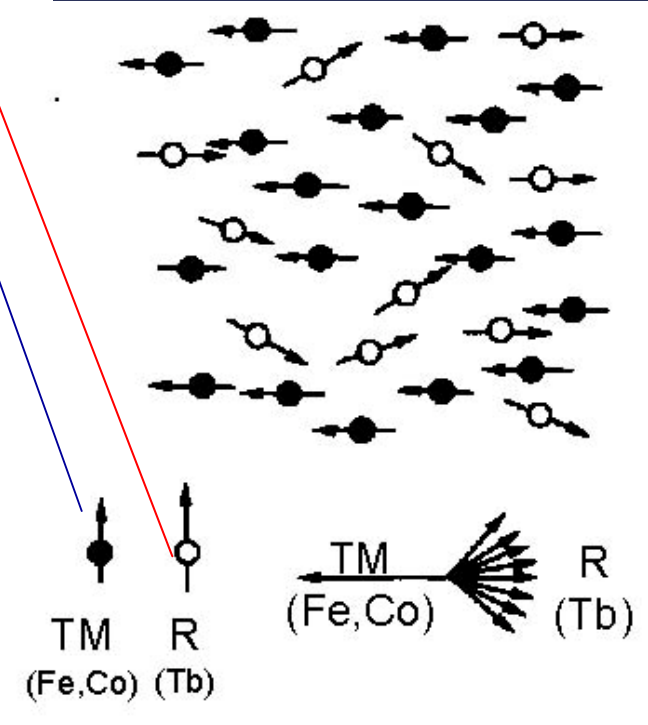
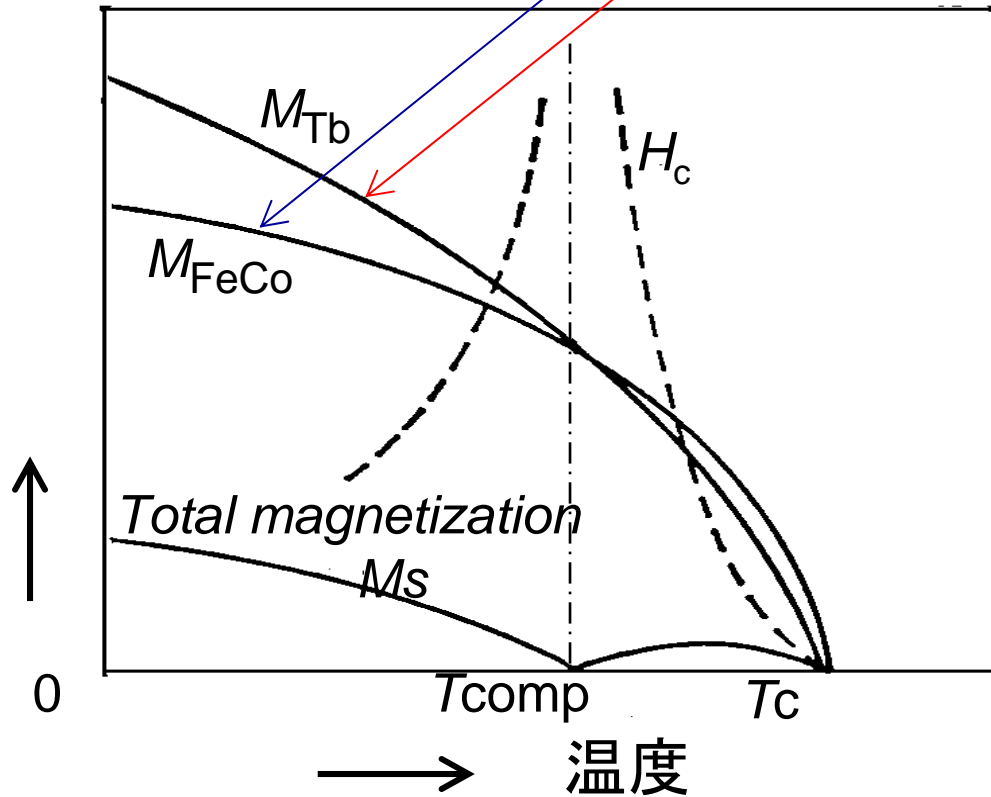
- $\lambda=405$ nmの青紫色レーザーを光源とし $NA=0.85$ の高NAレンズを用いると $d=0.28$ μm のスポットに絞り込みが可能
- ROMの場合は、ピットの内外からの反射光の干渉でデータを読みとるので、ピット径は d の半分以下にできる。従って、トラックピッチを $d=0.28$ μm としビット長を $d/2=0.14$ μm とすると 16 Gb/in²以上の面密度が得られる。
- 高NA(2.03)のSILを用い、トラックピッチを詰める(0.16)ことで 100 Gb/in²が達成可能
- RAMの場合は、マークの直径は光スポットと同程度なので、記録密度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

α -TbFeCo MO媒体



TbFeCo系の場合、補償温度が室温付近に来るよう膜組成が制御されているため、図に示すように、室温付近での M_s が小さく、従って、 H_c が大きいので、超常磁性効果に対して有効である。

超高密度光ディスクへの展開

1. 超解像

1. MSR/MAMMOS
2. Super-RENS (Sb)

2. 短波長化

3. 近接場

1. SIL
2. Super-RENS (AgO_x)

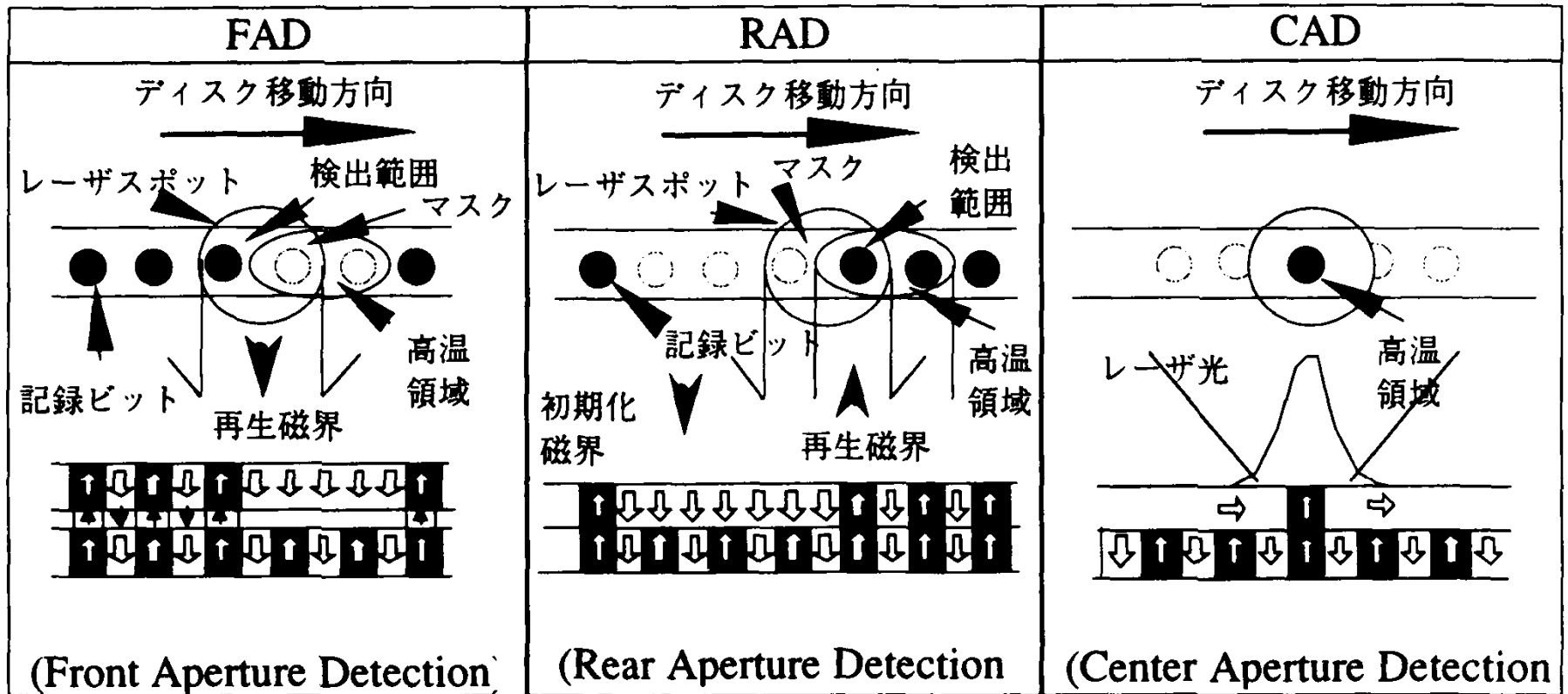
磁気誘起超解像技術(MSR)

- 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)を用いて回折限界を超える直径 $0.3\mu\text{m}$ のマークを読みとっている[1]。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 $0.235\mu\text{m}$ 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[2]。

[1] M. Moribe, M. Maeda, H. Nakayama, M. Yoshida, and K. Shono: *Digest ISOM'01, Th-I-01, Taipei, 2001.*

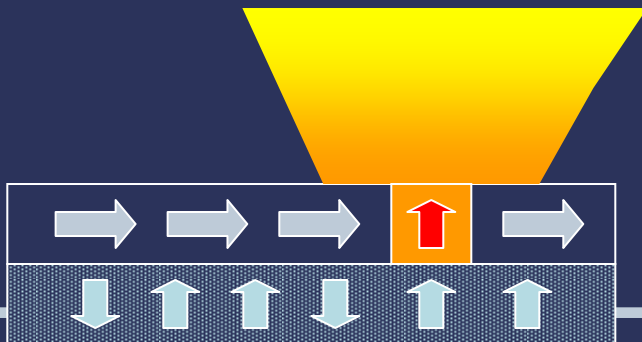
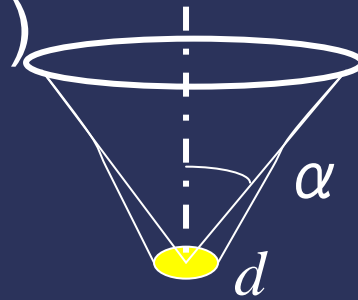
[2] S. Sumi, A. Takahashi and T. Watanabe: *J. Magn. Soc. Jpn. 23, Suppl. S1 (1999) 173*

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 $NA=n \sin \alpha$)
 - 波長以下のビットは分解しない
- 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.

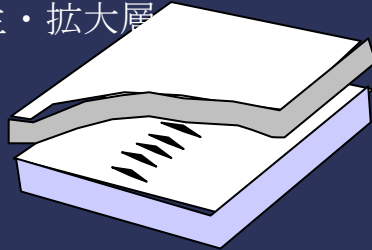
[2] A. Itoh, N. Ohta, T. Uchiyama, A. Takahashi, M. Mieda, N. Iketani, Y. Uchihara, M. Nakata, K. Tezuka, H. Awano, S. Imai, and K. Nakagawa: *Digest MORIS/APDSC2000, Oct. 30- Nov. 2, Nagoya*, p. 90.

MAMMOS

(磁区拡大 MO システム)

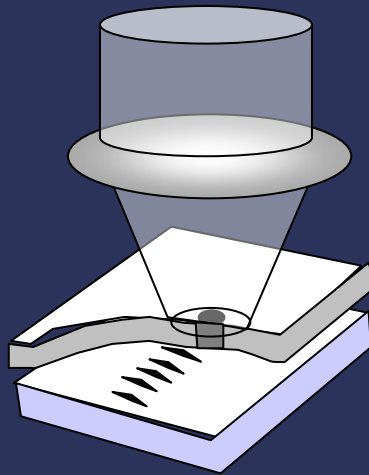
レンズ

再生・拡大層

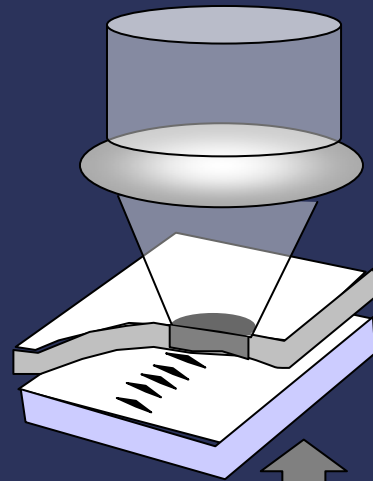


記録層

(a) レーザ光の照射がないと、記録層から再生層に転写されない

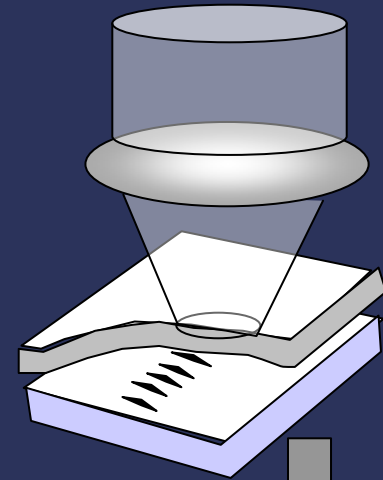


(b) レーザ光が照射されると、高温部で記録層から再生層に転写



磁界印加

(c) 磁界の印加により転写された磁区を拡大



逆磁界印加

(d) 逆磁界の印加により転写された磁区を縮小・消滅

MAMMOS の効果

- 通常再生
 - 信号はほとんど0

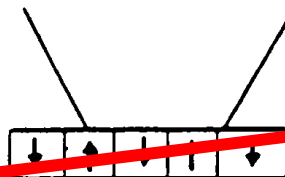
- MSR再生
 - 信号振幅小

- MAMMOS再生
 - フル出力

680nm, NA0.55, 2.5m/s



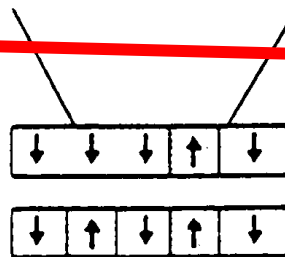
Conventional



Write level (100%)

Erase level (0%)

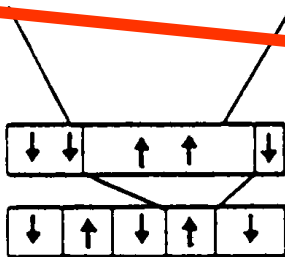
MSR (RAD)



Write level (100%)

Erase level (0%)

MAMMOS



Write level (100%)

Erase level (0%)

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)を発売した。[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

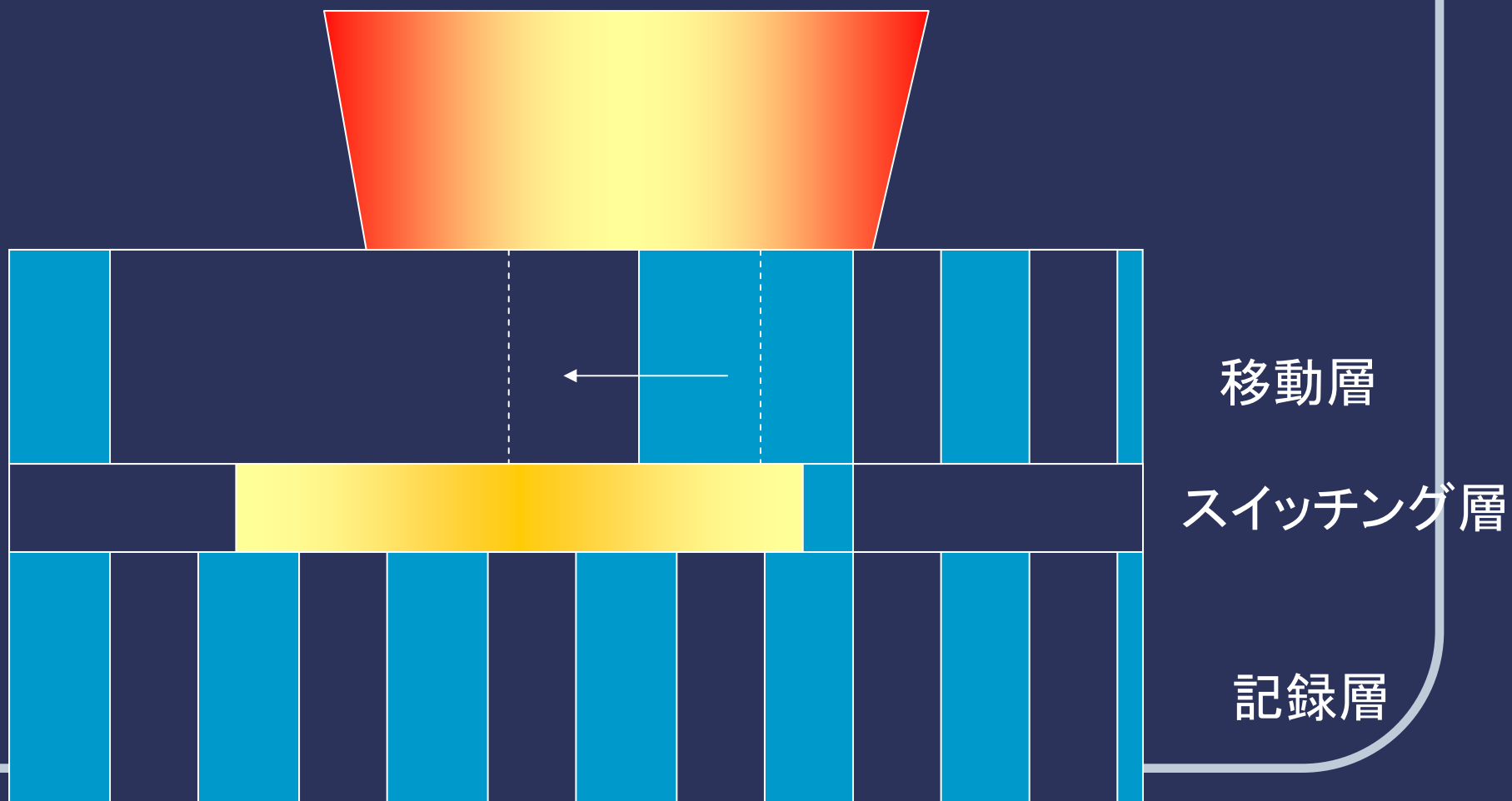
[3] M. Birukawa, Y. Hino, K. Nishikiori, K. Uchida, T. Shiratori, T. Hiroki, Y. Miyaoka and Y. Hozumi: *Proc. MORIS2002*, Trans. Magn. Soc. Jpn. **2** (2002) 273

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
- まるでゴムで引っばられるように、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

原理的には再生上の分解能の限界がない。



DWDDディスク



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. Hirotsume, 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]。

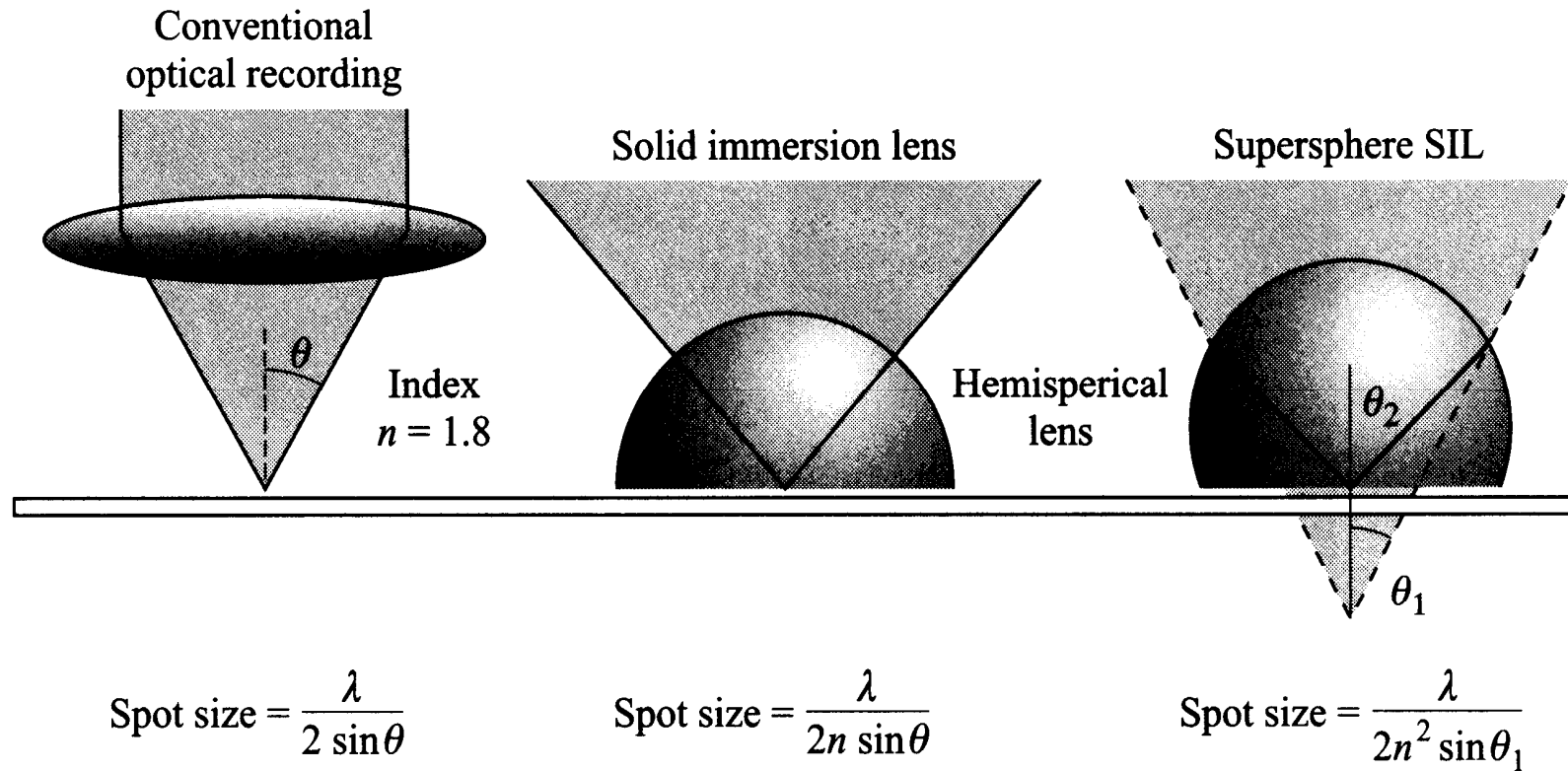
[1] S.M. Mansfield and G. Kino: Appl. Phys. Lett. **57** (1990) 2615.

[2] B. D. Terris, H.J. Mamin and D. Ruger: Appl. Phys. Lett. **68** (1996) 141.

[3] B.D.Terris, H.J. Mamin, D. Ruger, W.R. Studdenmund 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)



R. Gambino and T. Suzuki: Magneto-Optical Recording Materilas (IEEE Press, 1999)

相変化ディスクにおける超解像技術

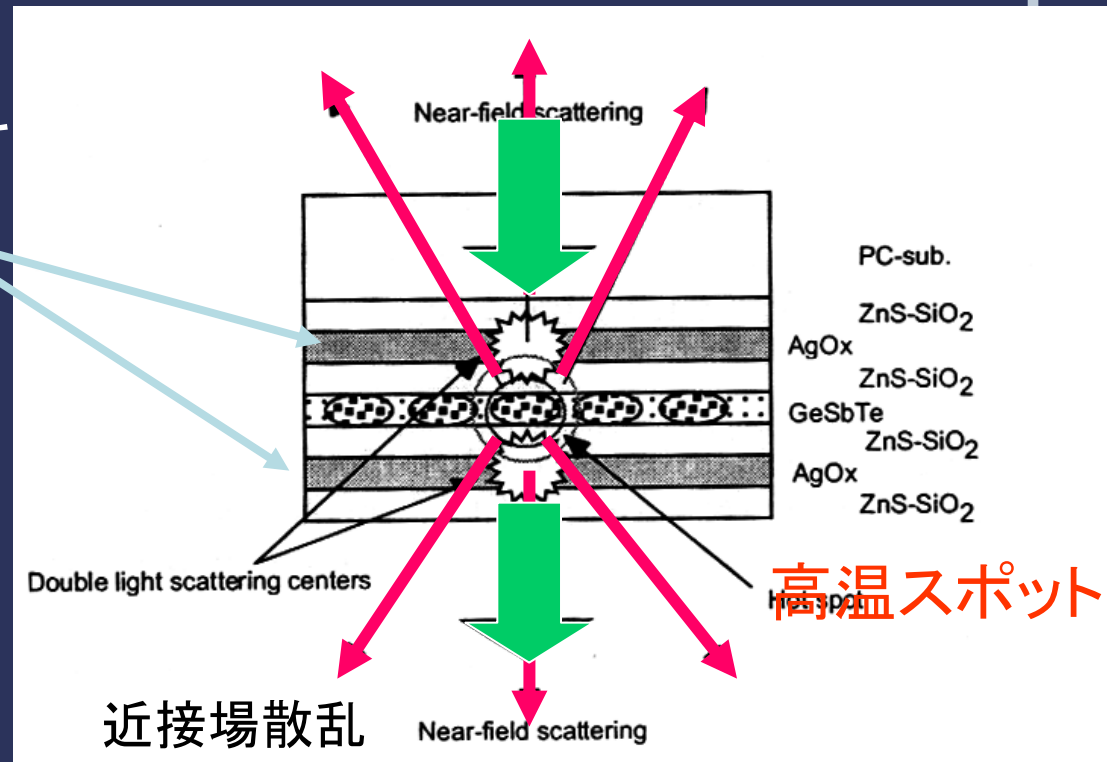
- 相変化ディスクの場合には、磁気的な転写ができないので超解像技術を適用するのが難しいが、産総研で開発されたSuper-RENS方式により、回折限界を超えて0.1 μm 経の微小マークの再生が可能になった[1]。

[1] J. Tominaga, H. Fuji, A. Sato, T. Nakano and N. Atoda:
Jpn. J. Appl. Phys. **39** (2000) 957.

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



短波長化

- DVD-ROM:405nmのレーザを用い、track pitch = $0.26\mu\text{m}$ 、mark length= $0.213\mu\text{m}$ のdisk(容量25GB)を NA=0.85のレンズを用いて再生することに成功 [i]。

[i] M. Katsumura, et al.: *Digest ISOM2000, Sept. 5-9, 2000, Chitose*, p. 18.

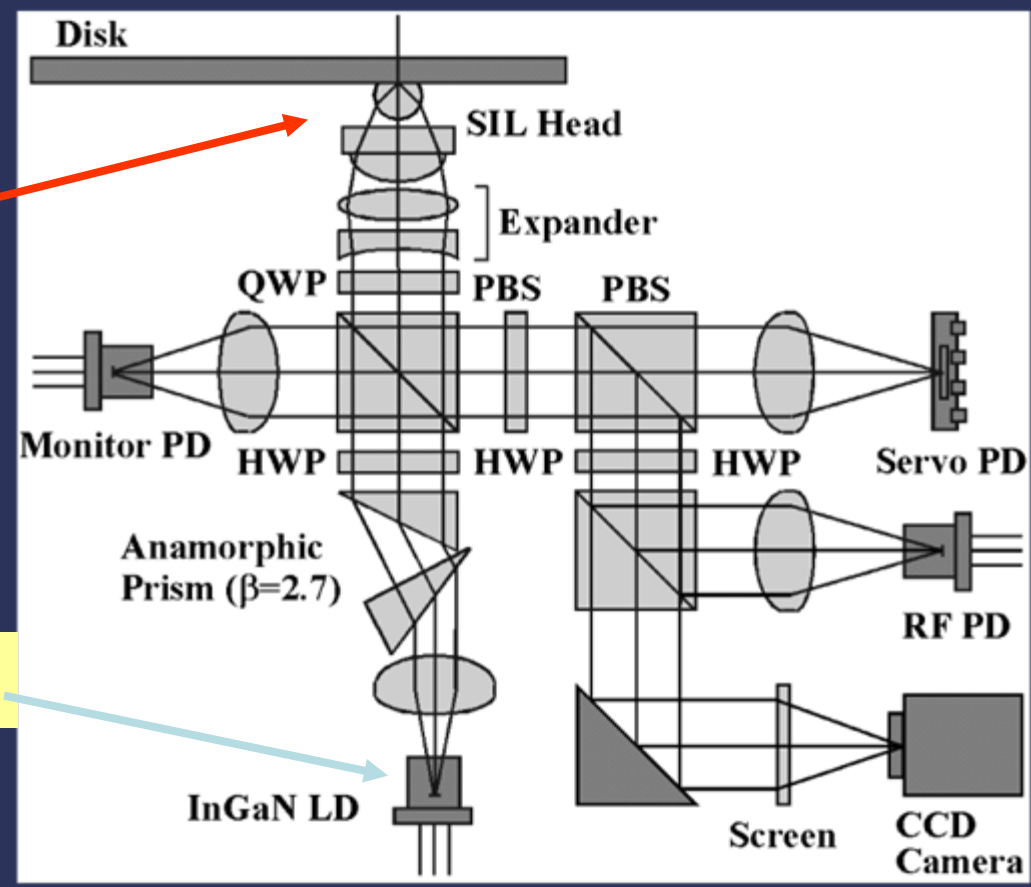
- DVD-RW:405nmのレーザを用い、track pitch= $0.34\mu\text{m}$ 、mark length= $0.29\mu\text{m}$ 、層間間隔 $35\mu\text{m}$ の2層ディスク(容量27GB)のNA=0.65のレンズで記録再生を行い、33Mbpsの転送レートを達成[ii]。

[ii] T. Akiyama, M. Uno, H. Kitaura, K. Narumi, K. Nishiuchi and N. Yamada: *Digest ISOM2000, Sept. 5-9, 2000, Chitose*, p. 116.

青紫レーザーとSILによる記録再生

SILヘッド

青紫色レーザー

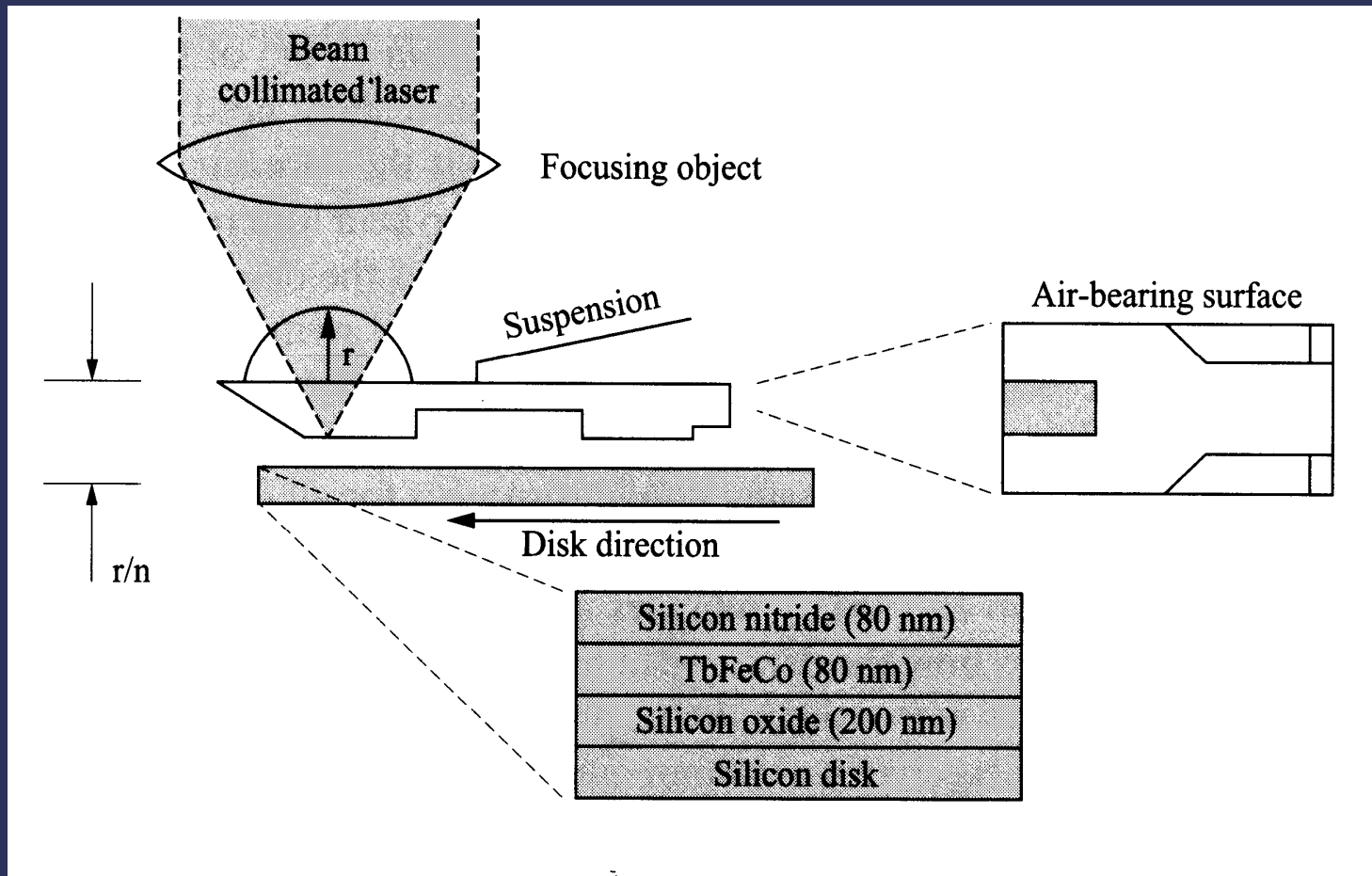


NA=1.5
405nm
80nm mark
40GB

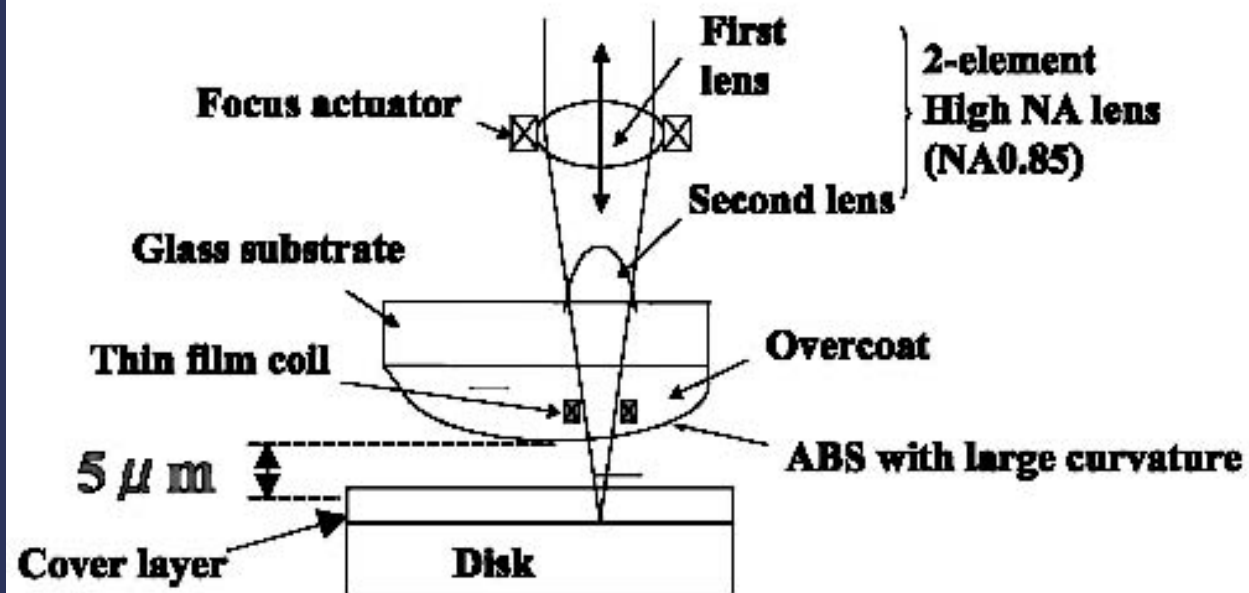
Fig. 1. Schematic diagram of the optical block.

I. Ichimura et. al.
(Sony),
ISOM2000
FrM01

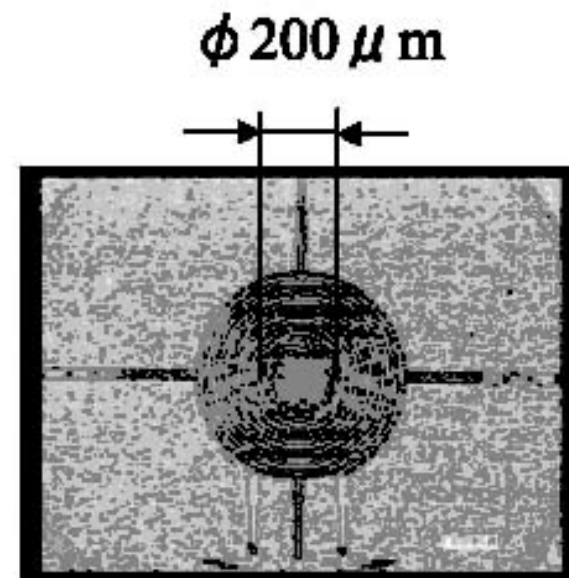
SILを用いた光記録



光学浮上ヘッド



Optical flying head (OFH)



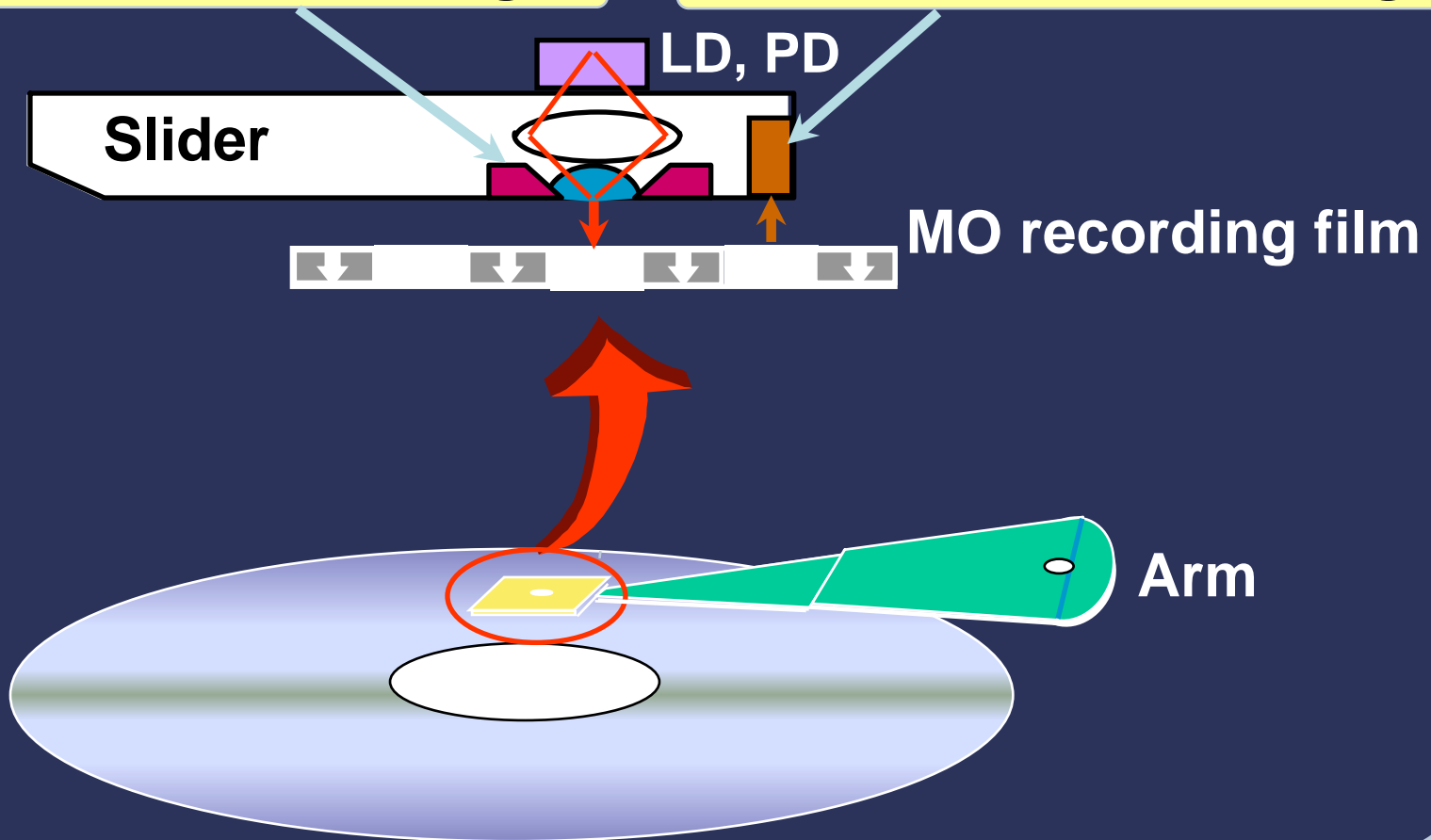
Thin film coil

田中(富士通)による

熱磁気記録/磁束検出法

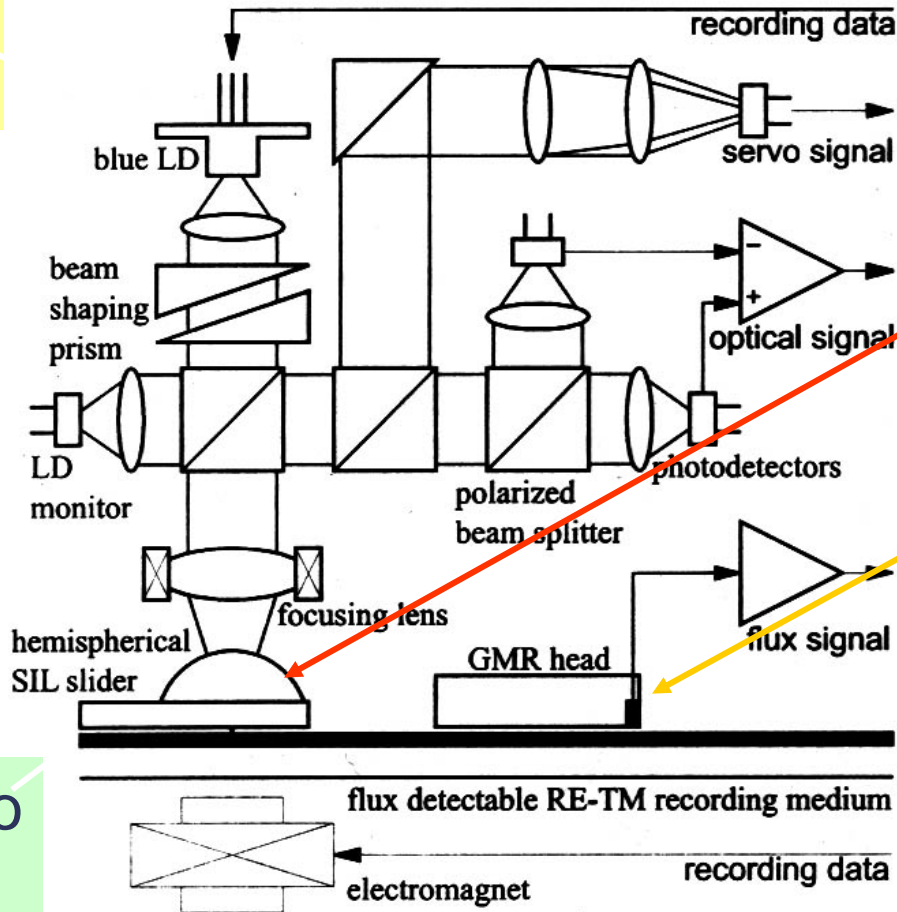
Magnetic coil for recording

GMR element for reading



光アシストハードディスク

青紫色
レーザ



記録用
光ヘッド
(SIL)

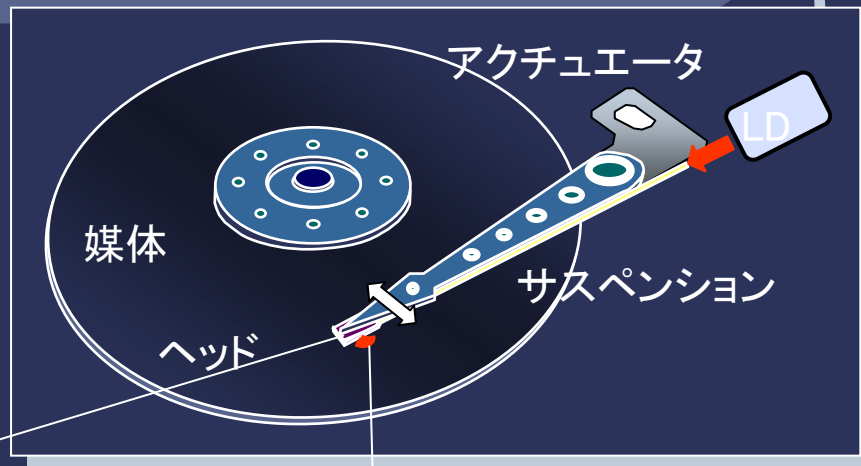
再生用
磁気ヘッド

TbFeCo
disk

H. Saga et al. Digest
MORIS/APDSC2000,
TuE-05, p.92.

ハイブリッドヘッド（記録・再生の最適な組合せ）

高効率記録 / 高S/N再生の各ブレークスルー技術の両立により、テラビット記録を実用化

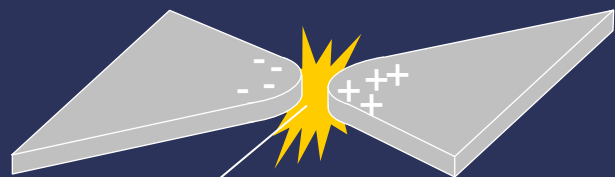


近接場光記録ヘッド

+

近接場光再生ヘッド

プレーナ・プラズモンヘッド(記録)



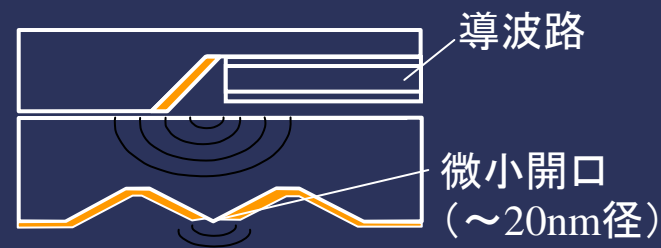
近接場光
〔スポット径 <math>< 20\text{nm}</math>
効率 > 10%〕

高効率

高分解能

高生産性

偏光制御ヘッドシステム(再生)



高C/N比

小型薄型化

第11回の課題

- 光相変化ディスク(CD-RWなど)と光磁気ディスク(MO, MD)の記録・再生原理の違いを述べてください。