



物理システム工学科3年次

物性工学概論

第火曜1限0031教室

第10回 光エレクトロニクスと材料[3]

光ディスクと材料

佐藤勝昭

第9回に学んだこと

- 光ファイバー通信と光エレクトロニクス
- 光ファイバー通信とは？
- 光ファイバー通信用要素技術
 - 送信機：半導体レーザーについて
 - 伝送路：光ファイバーについて
 - 受信機：フォトダイオード
 - 波長多重(WDM)
 - 光増幅器：EDFAについて
 - 光アイソレータについて

今回簡単に紹介します

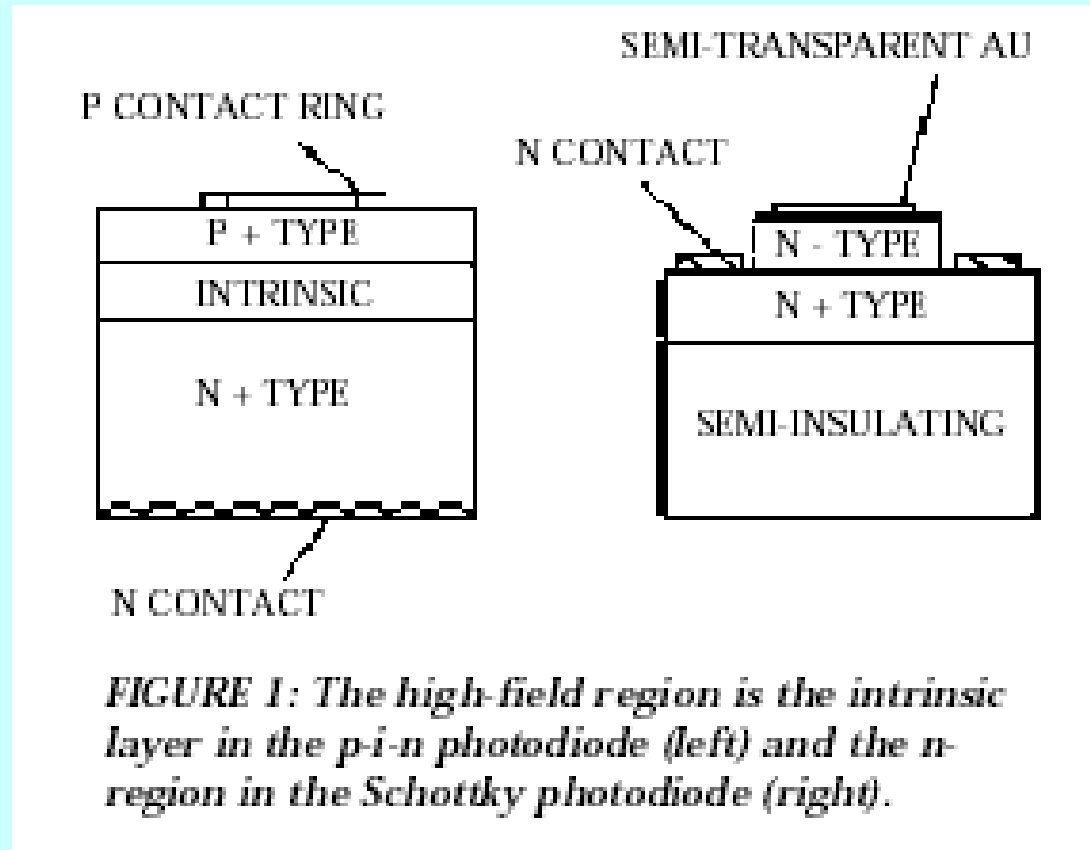
要素技術

光検出

- フォトダイオードを用いる
- 高速応答の光検出が必要
- pinフォトダイオードまたはショットキー接合フォトダイオードが使われる。(注:ショットキー接合:金属と半導体の接合)
- 通信用PDの材料としてはバンドギャップの小さなInGaAsなどが用いられる。

光検出器

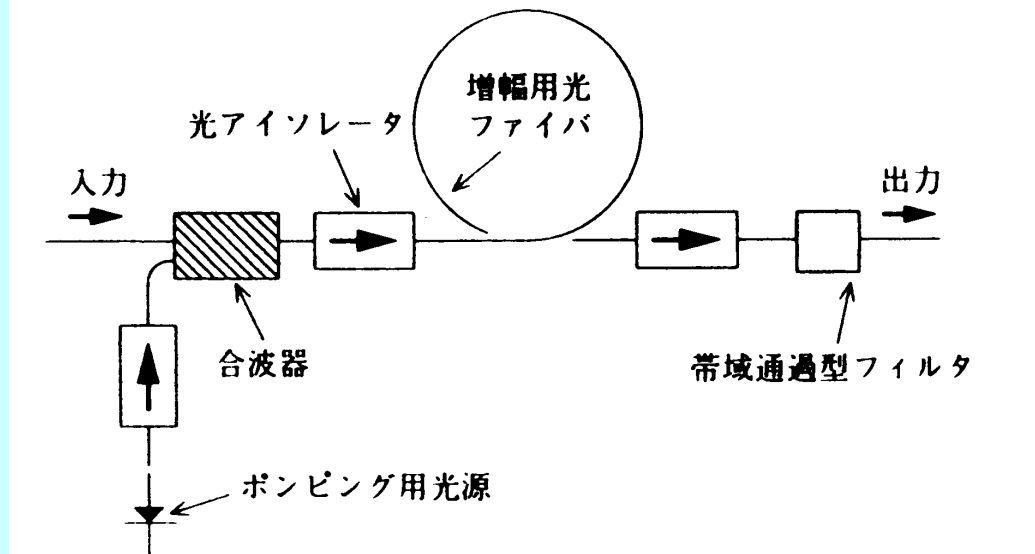
- Pin-PD
- Schottky PD
- 応答性は、空乏層をキャリアが走行する時間と静電容量で決まる。
- このため、空乏層を薄くするとともに、接合の面積を小さくしなければならない。



要素技術

光中継：ファイバーアンプ

- 光ファイバー中の光信号は100km程度の距離を伝送されると、20dB(百分の一に)減衰する。これをもとの強さに戻すために光ファイバーアンプと呼ばれる光増幅器が使われている。
- 光増幅器は、エルビウム(Er)イオンをドープした光ファイバー(EDF:Erbium Doped Fiber)と励起レーザーから構成されており、励起光といわれる強いレーザーと減衰した信号光を同時にEDF中に入れることによって、Erイオンの誘導増幅作用により励起光のエネルギーを利用して信号光を増幅することができる。



旭硝子の
HP<http://www.agc.co.jp/news/2000/0620.html>より

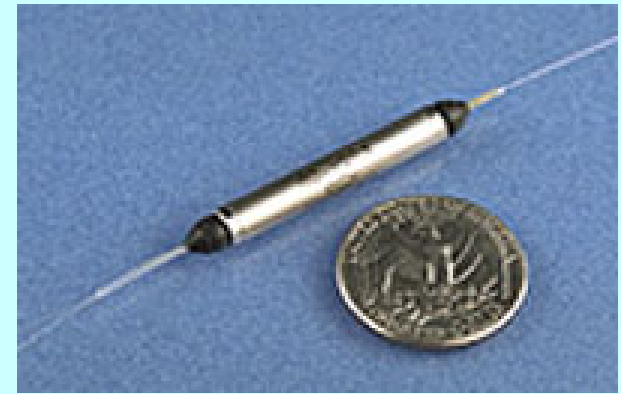
エルビウムの増幅作用

- エルビウム (Er) イオンをドープしたガラスは、980nmや1480nmの波長の光を吸収することによって1530nm付近で発光する。この発光による誘導放出現象を利用することによって光増幅が可能になる。
具体的には、EDFに増幅用のレーザー光を注入すると、Erイオンがレーザー光のエネルギーを吸収し、エネルギーの高い状態に一旦励起され、励起された状態から元のエネルギーの低い状態に戻るときに、信号光とほぼ同じの1530nm前後の光を放出する(誘導放出現象)。信号光は、この光のエネルギーをもらって増幅される。
- Erをドープするホストガラスの組成によって、この発光の強度やスペクトル幅(帯域)が変化する。発光が広帯域であれば、光増幅できる波長域も広帯域になる。

要素技術

光アイソレータ

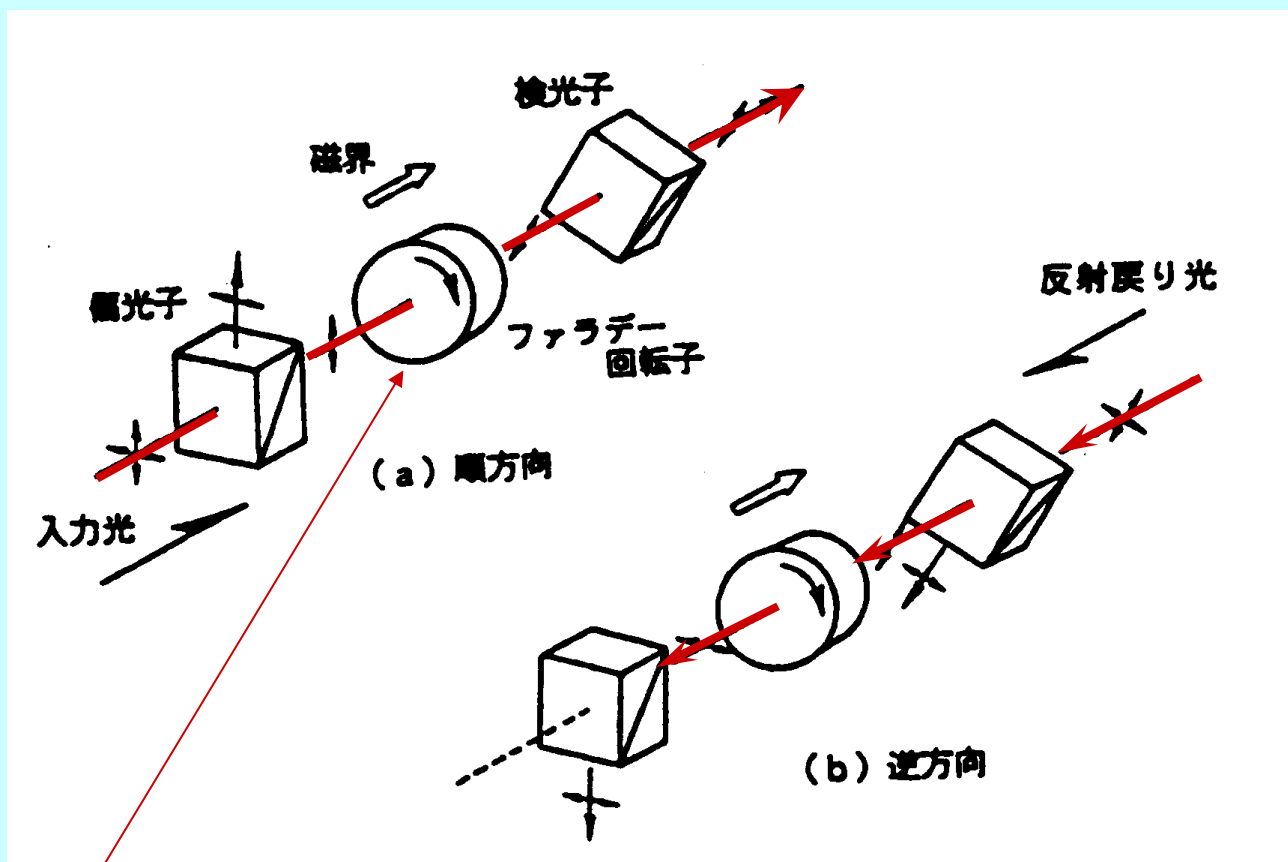
- 光アイソレータ: 光を一方向にだけ通す光デバイス。
- 光通信に用いられている半導体レーザ(LD)や光アンプは、光学部品からの戻り光により不安定な動作を起こす。
- 光アイソレータ: 出力変動・周波数変動・変調帯域抑制・LD破壊などの戻り光による悪影響を取り除き、LDや光アンプを安定化するために必要不可欠な光デバイス。



信光社

<http://www.shinkosha.com/products/optical/>

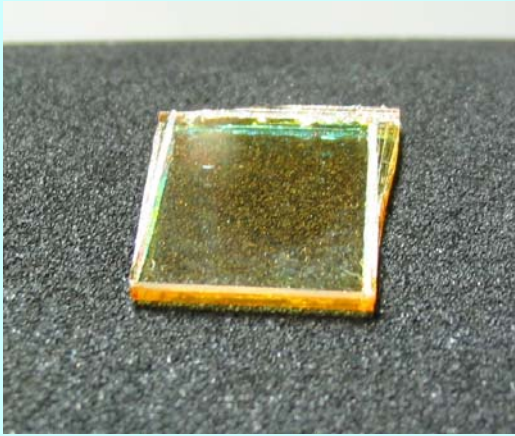
偏光依存アイソレータ



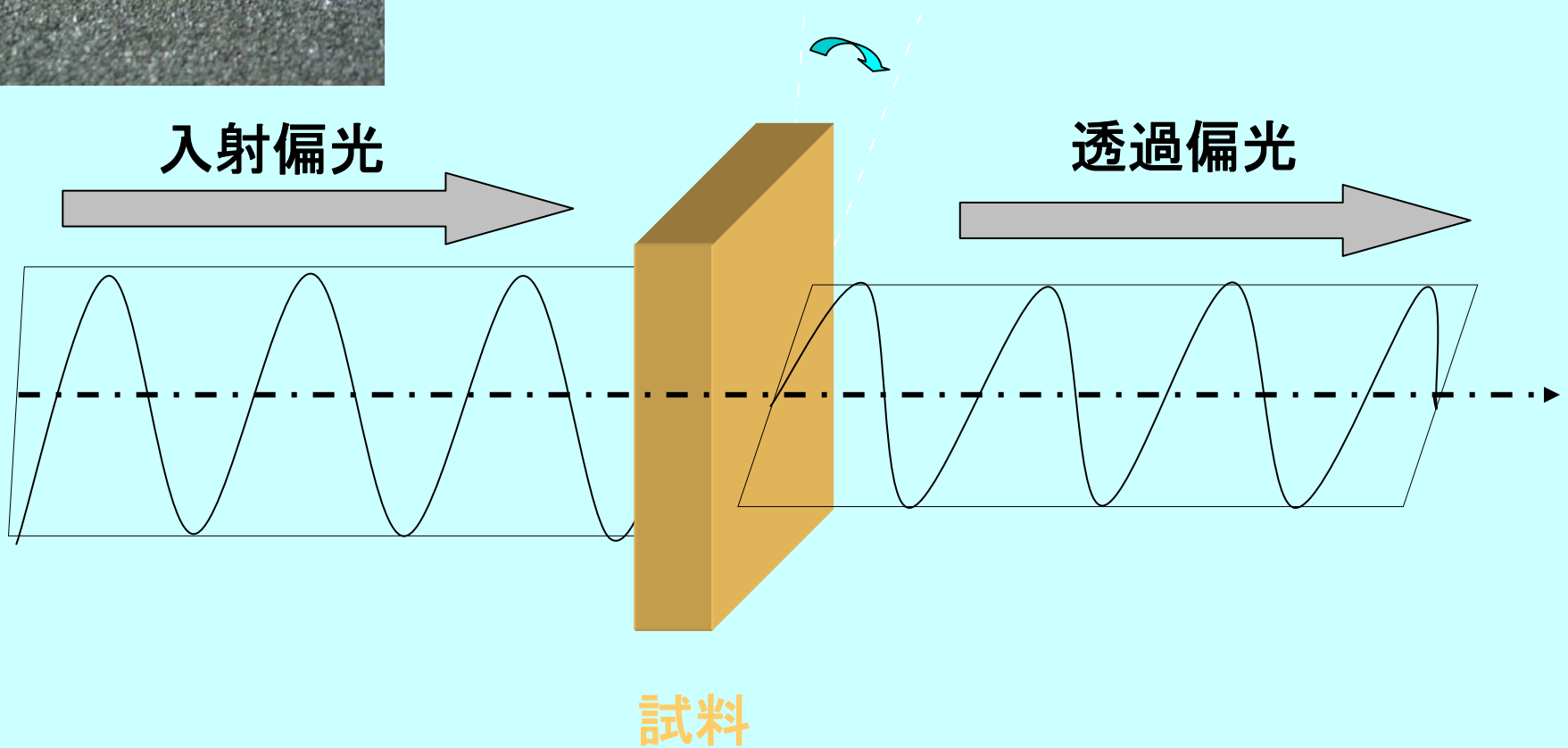
磁性ガーネット

直線偏光を磁界に関して右回り45度回転

ファラデー回転

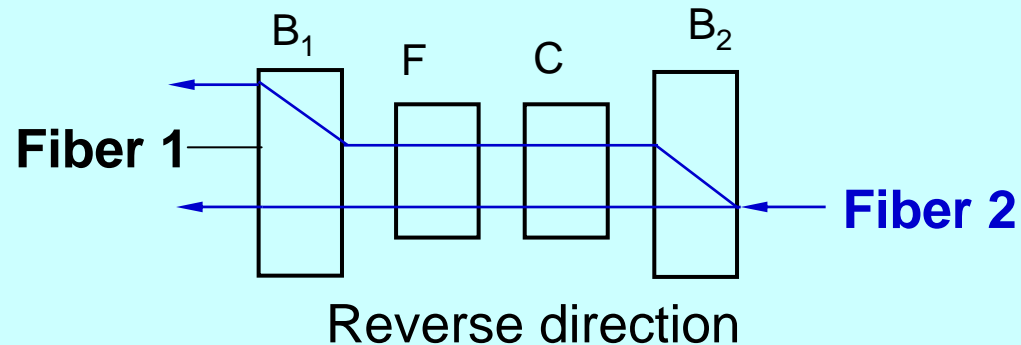
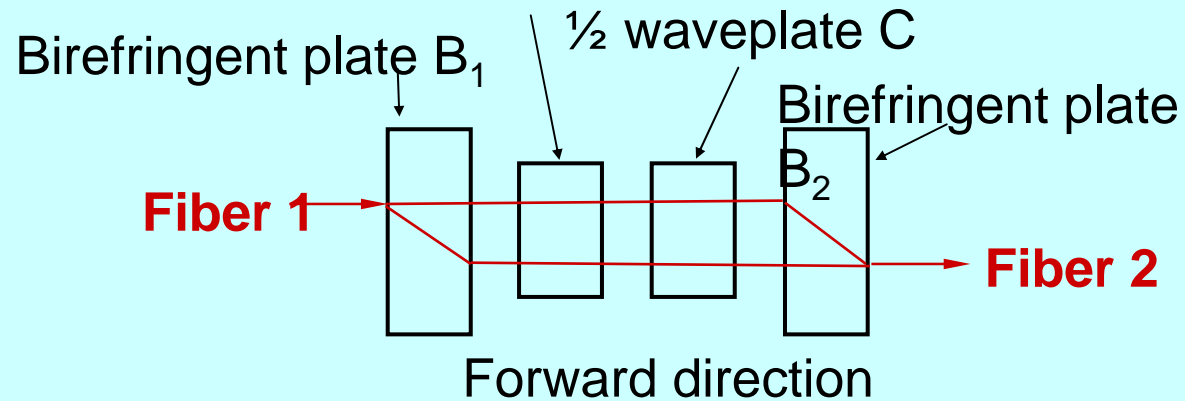


ファラデー回転角 θ



偏光無依存アイソレータ

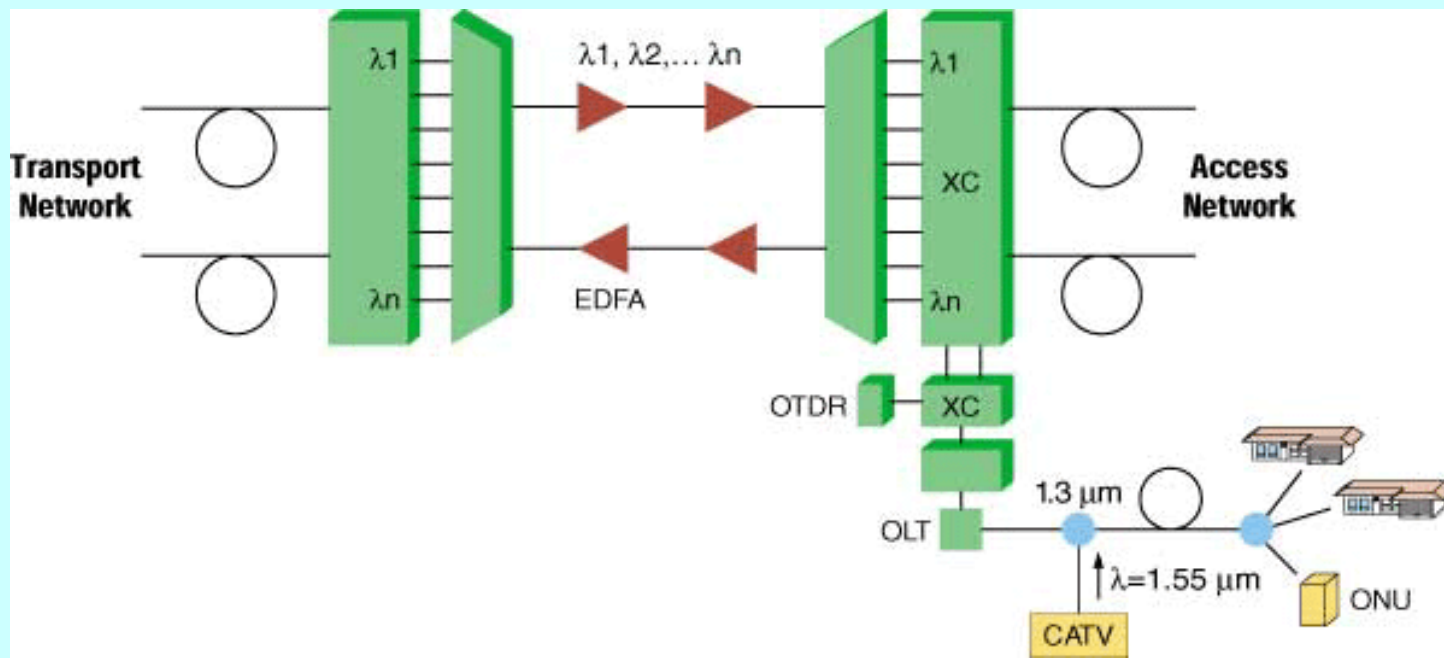
Faraday rotator F



要素技術

波長多重(WDM=wavelength division multiplexing)

- この方式は、波長の異なる光信号を同時にファイバー中を伝送させる方式であり、多重化されたチャンネルの数だけ伝送容量を増加させることができる。
- 通信用光ファイバーは、1450～1650nmの波長域の伝送損失が小さい(0.3dB/km以下)ため、原理的にはこの波長域全体を有効に使うことができる。



光ディスクの 物理学



光ディスクのポイント

- 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で制限されるため、波長が短いほど高密度に記録される。
- 光ストレージには、読み出し(再生)専用のもの、1度だけ書き込み(記録)できるもの、繰り返し記録・再生できるものの3種類がある。
- 記録には、さまざまな物理現象が使われている。

光ストレージの分類

- 光ディスク
 - 再生(読み出し)専用のもの
 - CD, CD-ROM, DVD-ROM
 - 記録(書き込み)可能なもの
 - 追記型(1回だけ記録できるもの)
 - CD-R, DVD-R
 - 書換型(繰り返し消去・記録できるもの)
 - 光相変化 CD-RW, DVD-RAM, DVD-RW, DVD+RW, BD, HD-DVD
 - 光磁気: MO, GIGAMO, MD, Hi-MD, AS-MO, iD-Photo
- ホログラフィックメモリ、ホールバーニングメモリ

記録密度を決めるもの 光スポットサイズ

- レンズの開口数

– $NA = n \sin \alpha$

- $d = 0.6 \lambda / NA$

現行CD-ROM: $NA = 0.6$

CD-ROM: $\lambda = 780\text{nm} \rightarrow d = 780\text{nm}$

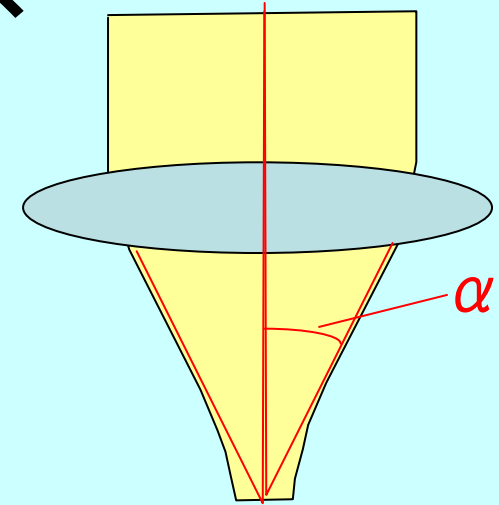
DVD: $\lambda = 650\text{nm} \rightarrow d = 650\text{nm}$

BD: $NA = 0.85$

$\lambda = 405\text{nm} \rightarrow d = 285\text{nm}$

HD-DVD: $NA = 0.6$

$\lambda = 405\text{nm} \rightarrow d = 405\text{nm}$



スポット径 d

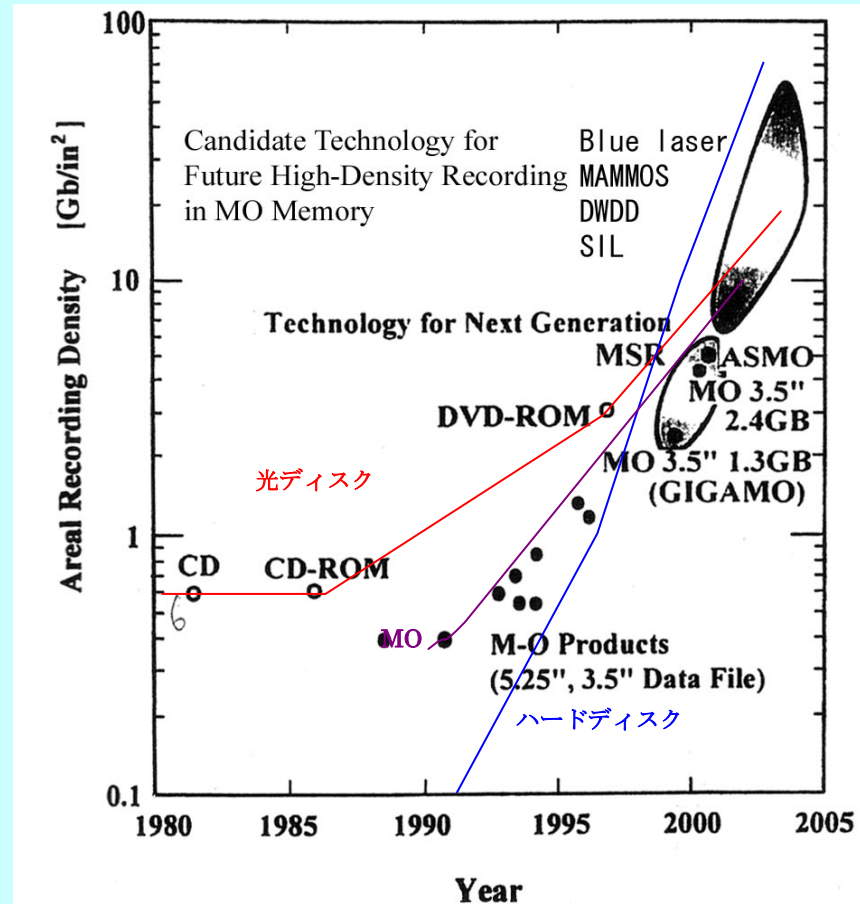
光記録に利用する物理現象

- CD-ROM, DVD-ROM:
 - ピット形成
- CD-R, DVD-R:
 - 有機色素の化学変化と基板の熱変形
- CD-RW, DVD-RAM, DVD-RW, DVD+RW, DVR:
 - アモルファスと結晶の相変化
- MO, MD, GIGAMO, AS-MO, iD-Photo:
 - 強磁性・常磁性相転移
- ホログラフィックメモリ: フォトリフラクティブ効果
- ホールバーニングメモリ: 不均一吸収帯

光ディスクの特徴

- リムーバブル
- 大容量・高密度
 - 現行10Gb/in²:ハードディスク(70Gbit/in²)に及ばない
 - 超解像、短波長、近接場を利用して100Gbit/in²をめざす
- ランダムアクセス
 - 磁気テープに比し圧倒的に有利;
カセットテープ→MD, VTR→DVD
 - ハードディスクに比べるとシーク時間が長い
- 高信頼性
 - ハードディスクに比し、ヘッドの浮上量が大きい

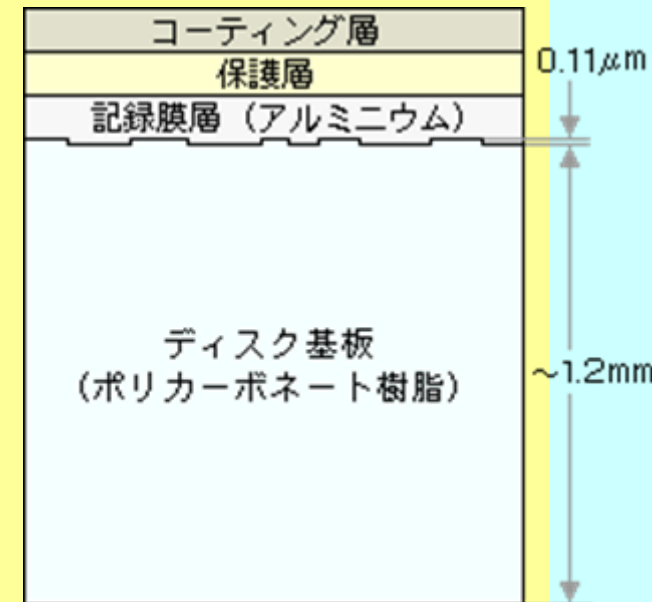
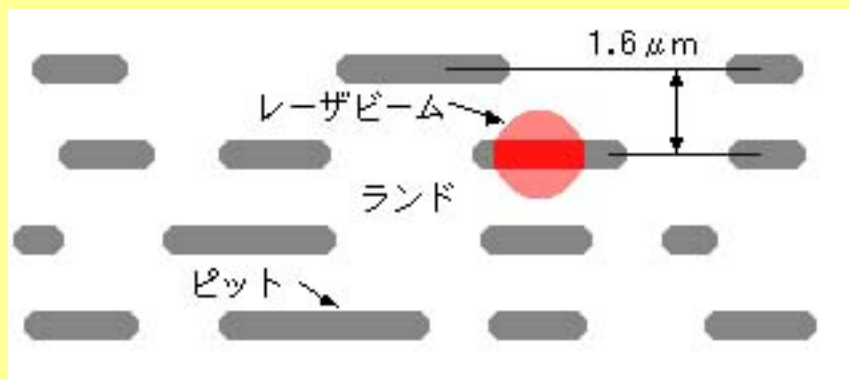
光ディスクの面記録密度の伸び



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

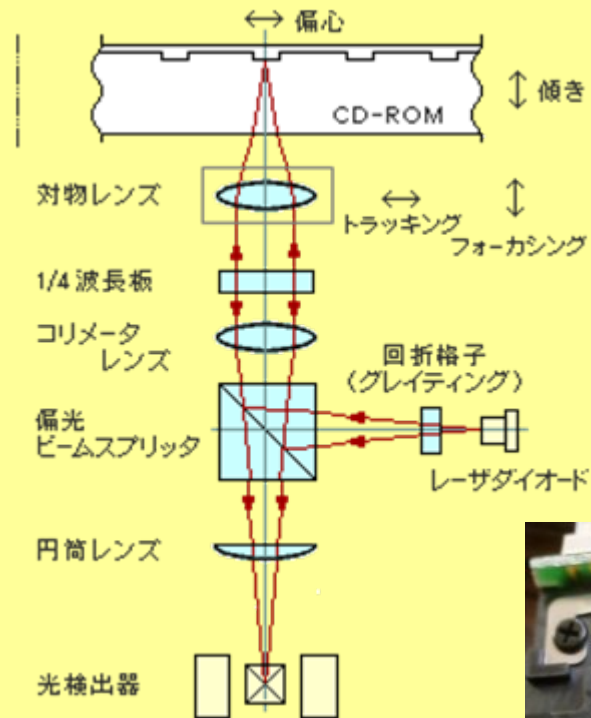
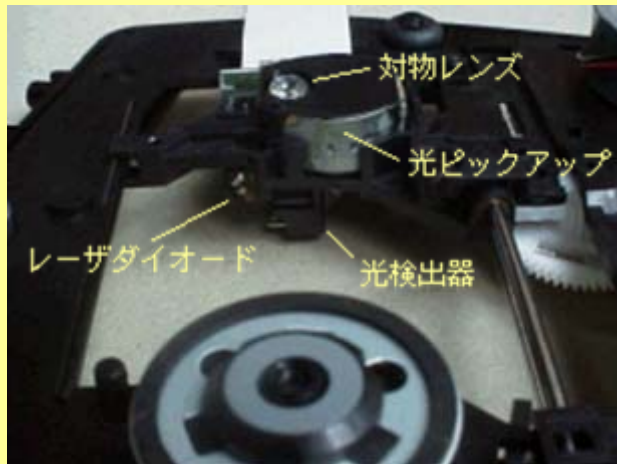
CD-ROM: 光の干渉を利用

- 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



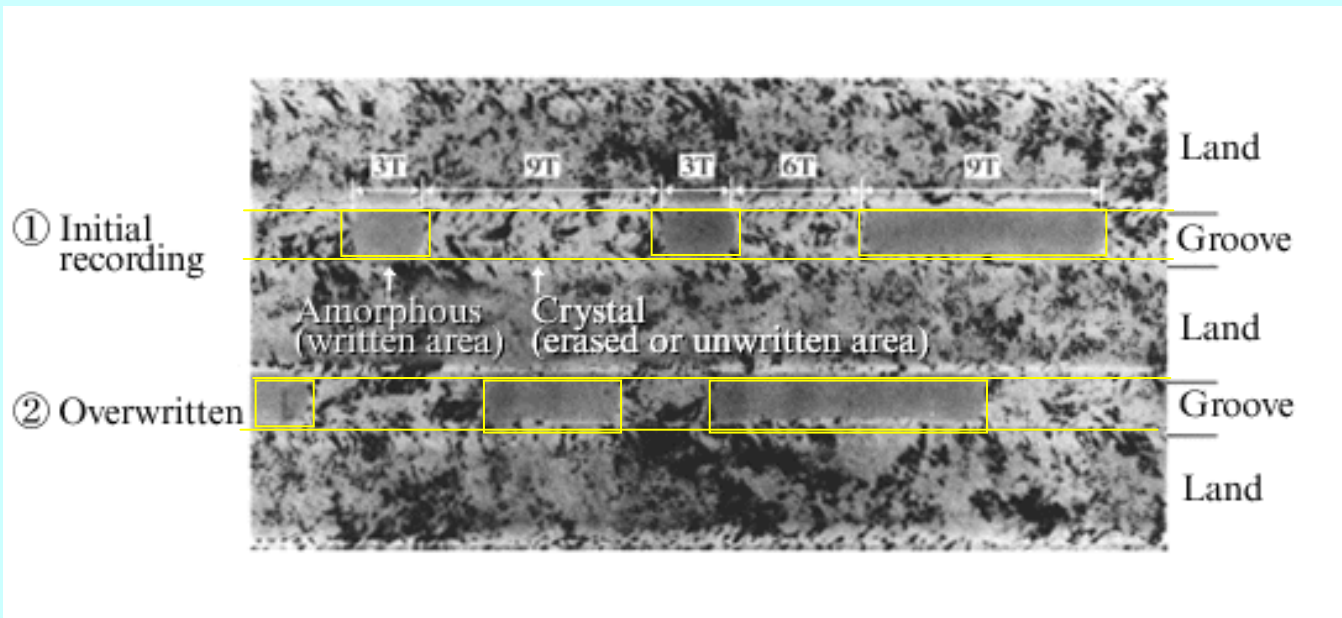
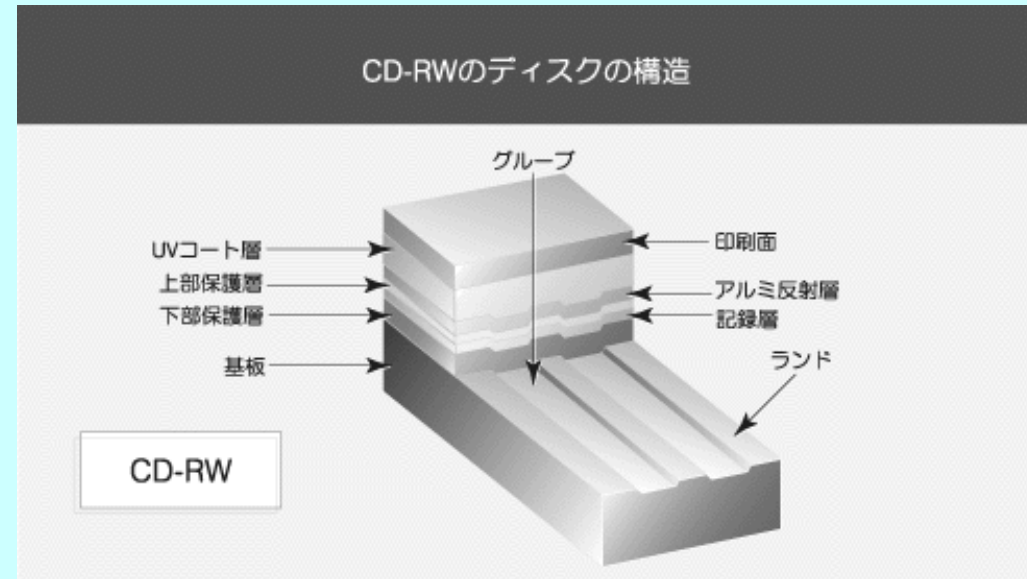
CD-ROMドライブ

- フォーカスサーボ
- トラッキングサーボ
- 光ピックアップ



CD-RW

- 光相変化ディスク
- 結晶とアモルファスの間の相変化を利用

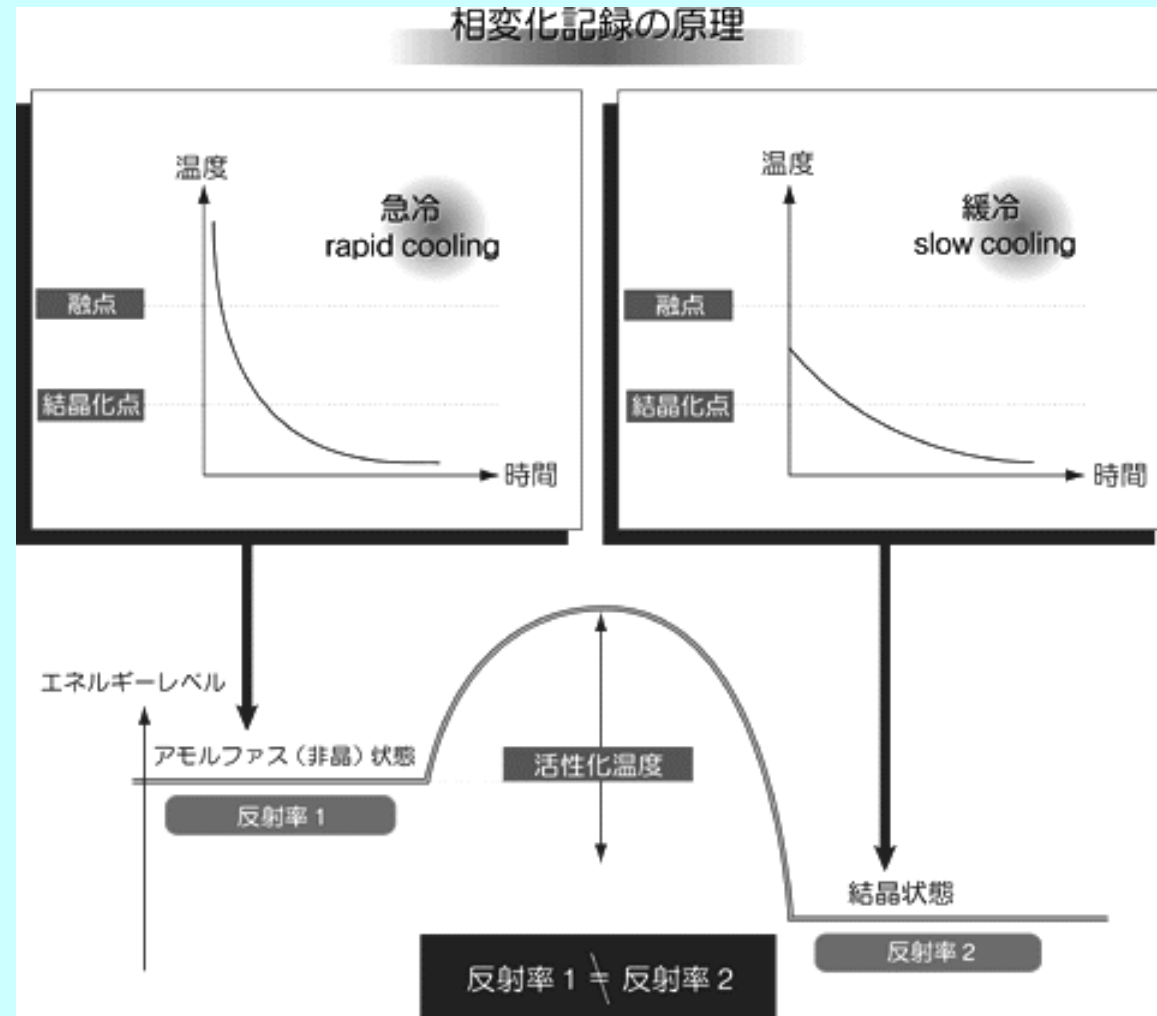


光相変化記録

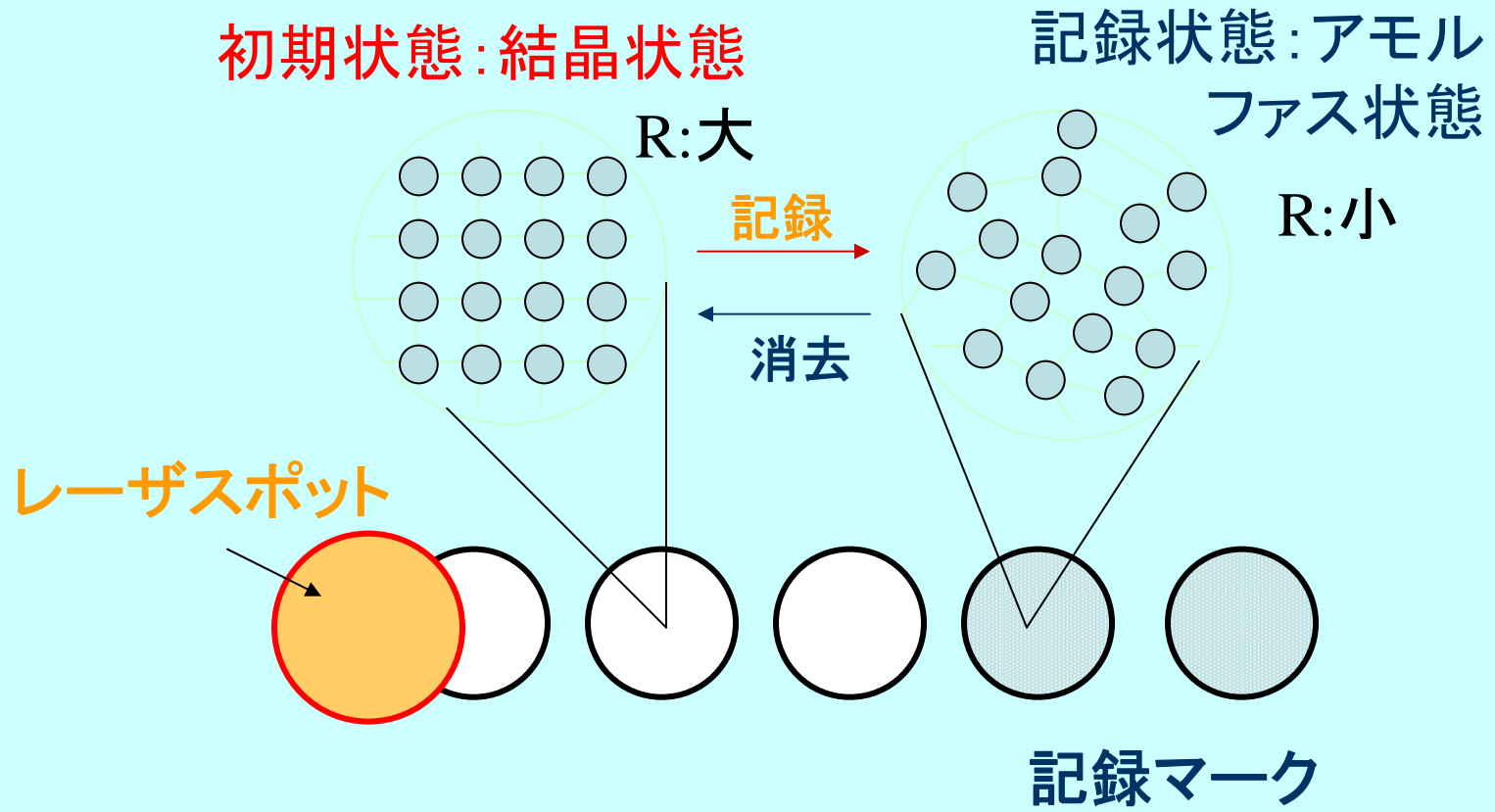
- アモルファス/結晶の相変化を利用
 - 書換可能型 成膜初期状態のアモルファスを熱処理により結晶状態に初期化しておきレーザー光照射により融点 T_m (600°C)以上に加熱後急冷させアモルファスとして記録。消去は結晶化温度 T_{cr} (400°C)以下の加熱緩冷して結晶化。
 - Highレベル: T_m 以上に加熱→急冷→アモルファス
 - Lowレベル: T_{cr} 以上に加熱→緩冷→結晶化
- DVD-RAM: GeSbTe系
- DVD±RW: Ag-InSbTe系

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



相変化と反射率



アモルファスとはなにか

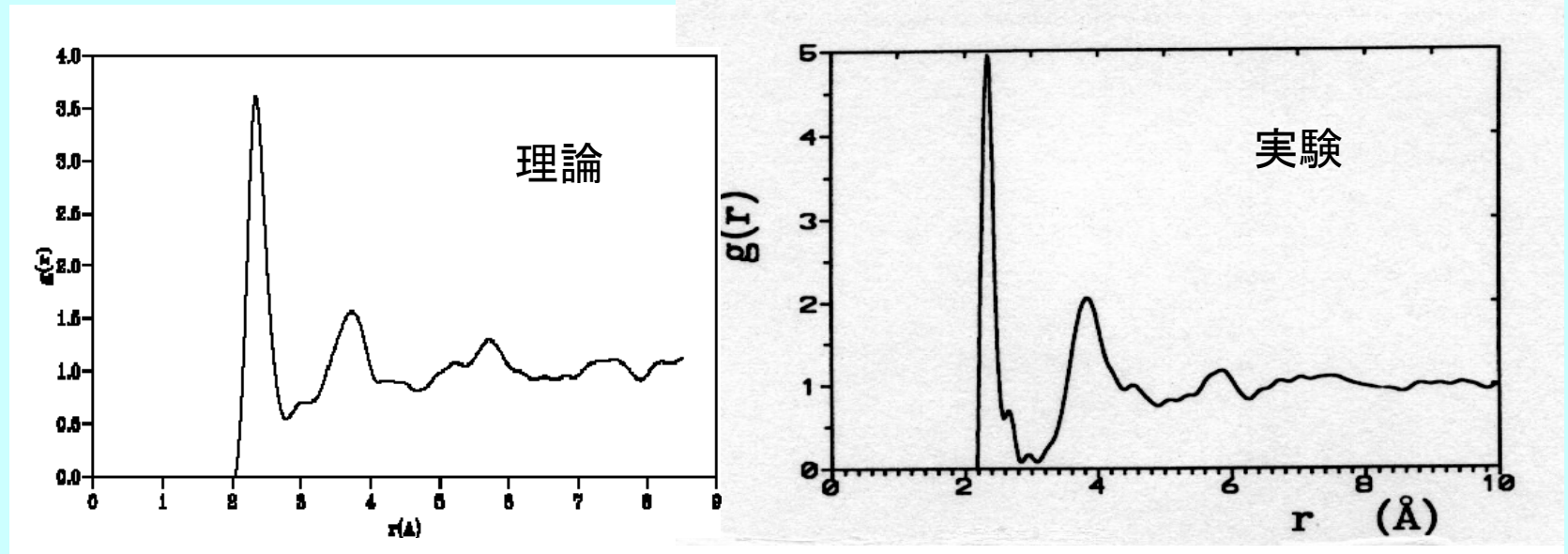
- Amorphous aは否定の接頭辞morphは形
 - 非晶質と訳される
 - 近距離秩序はあるが、結晶のような長距離秩序がない
 - 液体の原子配列が凍結した状態に近い
 - 液体の急冷により生じる準安定な状態
 - 金属合金系、カルコゲナイドガラス系、テトラヘドラル系、酸化物ガラス系などがある
 - 金属合金系の場合DRPHS (dense random packing of hard spheres)モデルで説明できる

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)

- $G(r)$: 1つの原子から r の位置に隣の原子を見いだす確率



CD-R: 有機色素の利用



- 有機色素を用いた光記録
- 光による熱で色素が分解
- 気体の圧力により加熱された基板が変形
- ピットとして働く

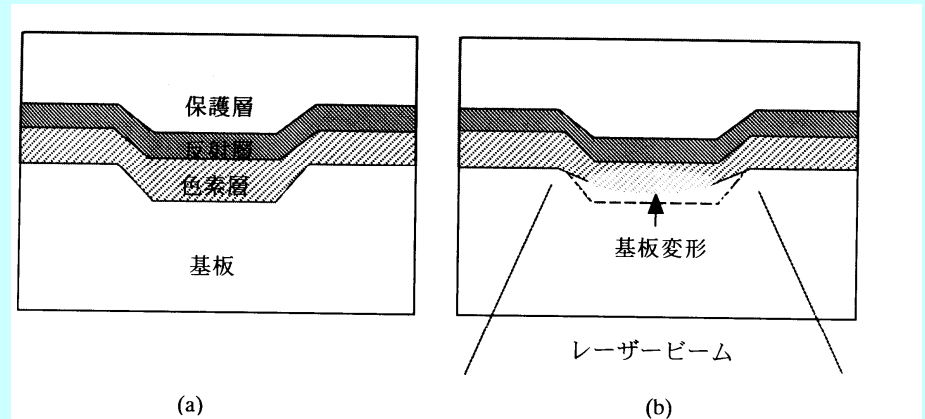
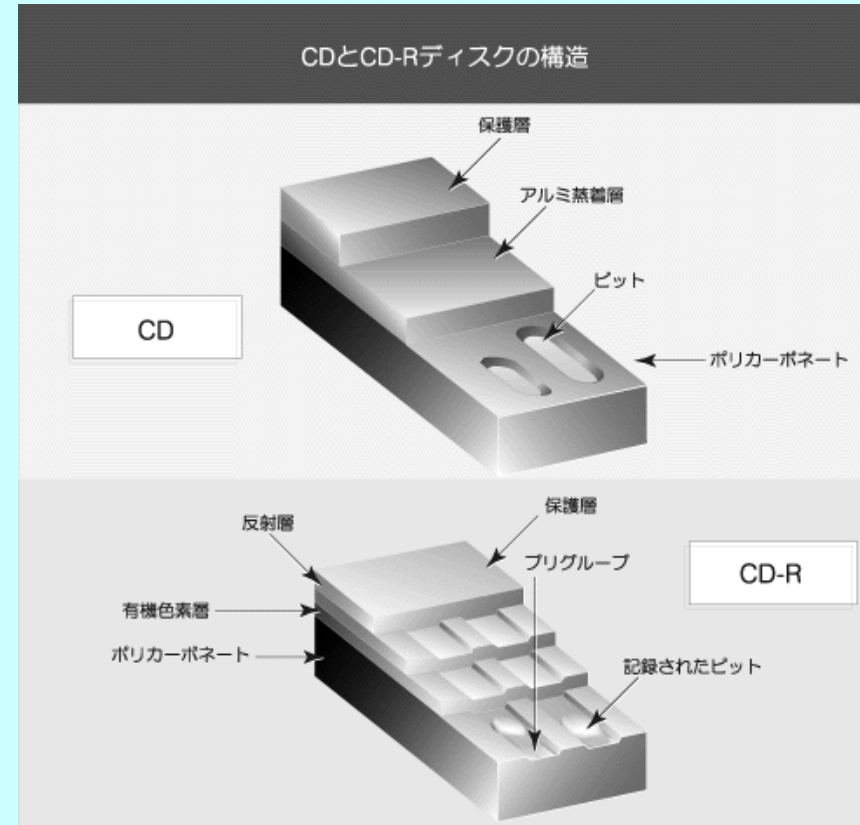


図1 未記録状態 (a)、記録状態 (b) を示す模式図

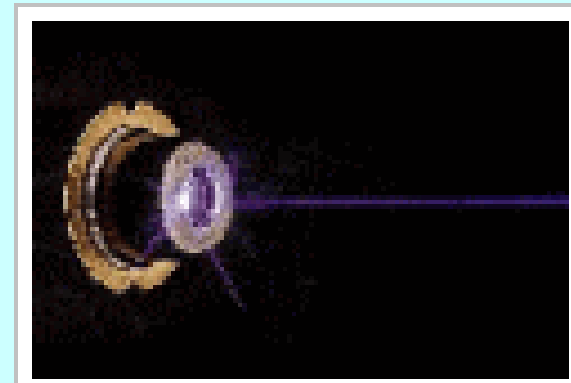
DVDファミリー

	DVD-ROM	DVD-R	DVD-RAM	DVD-RW	DVD+RW
容量(GB)	4.7 / 9.4 2層8.54	3.95 / 7.9	4.7 / 9.4	4.7/9.4	4.7/9.4
形状	disk	disk	cartridge	disk	disk
マーク形成 材 料	ピット形成 1層 R=45-85 2層 R=18-30	熱変形型 有機色素 R=45-85%	相変化型 GeSbTe系 R=18-30%	相変化型 AgInSbTe系 R=18-30%	相変化型 AgInSbTe系 R=18-30%
レーザ波長 レンズNA	650/635 0.6	650/635 0.6	650 0.6	638/650 0.6	650 0.65
最短マーク長	1層:0.4 2層:0.44	0.4	0.41-0.43	0.4	0.4
トラック幅	0.74	0.8 Wobbled Land pre-bit	0.74 Wobbled L/G	0.74 Wobbled Land pre-bit	0.74 HF Wobbled groove
書き換え可能 回数	—	—	10 ⁵	10 ³ -10 ⁴	10 ³ -10 ⁴

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。

日亜化学青紫LD



BDとHD-DVD

- どちらも青紫色レーザー(波長405nm)を使用
- BD=Blu-ray Disc
 - Sony-Panasonic-Philips陣営
 - NAの大きなレンズを使用(0.85)
 - 記録層が表面から0.1mmの深さにある。
- HD DVD=High Definition DVD
 - Toshiba-NEC-Sanyo陣営
 - レンズNAは従来のDVDと同じ(0.65)
 - 記録層の深さ:表面から0.6mm

BD vs HD DVD比較表

規格	BD	HD DVD
容量(片面1層)	23.3/25/27 GB	15/20 GB (ROM/ARW)
容量(片面2層)	46.6/50/54 GB	30/40GB
転送速度	36Mbps	36Mbps
ディスク厚み 記録層	1.2mm 保護層 0.1mm 記録層1.1 μ m	1.2mm(0.6mm \times 2層) 記録層0.6 μ m
レーザー波長	405nm	405nm
レンズ開口数	0.85	0.65
トラックピッチ	0.32 μ m	0.3-0.4 μ m
トラック構造	グループ	ランド/グループ
映像圧縮方式	MPEG-2 Video	Advanced MPEG2

BD (Blu-ray)

- 松下電器産業は、次世代記録メディアのBlu-ray ディスクに対応するPCデータ用ドライブ「LF-MB121JD」と、ノンカートリッジタイプのPCデータ用2倍速Blu-rayディスク「BD-RE」「BD-R」を発表した。ドライブの発売は6月10日で価格はオープン。

<http://journal.mycom.co.jp/news/2006/04/22/009.html>



HD-DVD

- 東芝は、次世代DVDのHD DVDに対応したHD DVD搭載HDDレコーダー「RD-A1」を7月14日から発売する。1テラバイト(TB)のHDDを搭載、HD DVDメディアへの録画も可能になっており、録画に対応したHD DVD対応製品が商品化されるのは世界で初めて。

<http://journal.mycom.co.jp/news/2006/06/22/420.html>



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

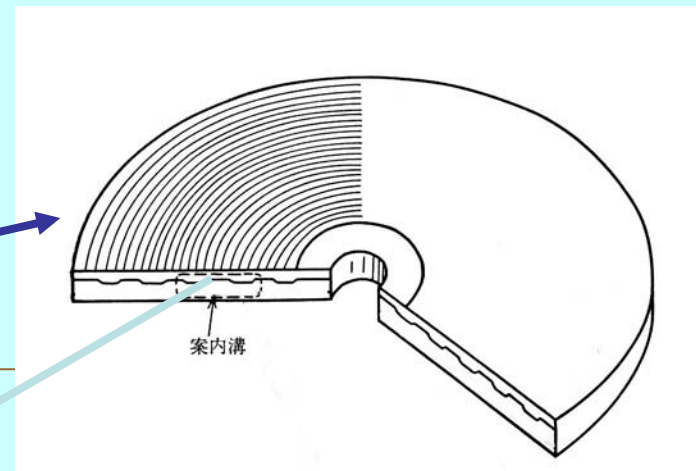
光磁気ディスク

- 記録: 熱磁気(キュリー温度)記録
- 再生: 磁気光学効果
- MO: 3.5" 128→230→650→1.3G→2.3G
- MD: 6cm audio 70 min
→Hi-MD audio 13 hr
- iD-Photo, Canon-Panasonic(5cm)

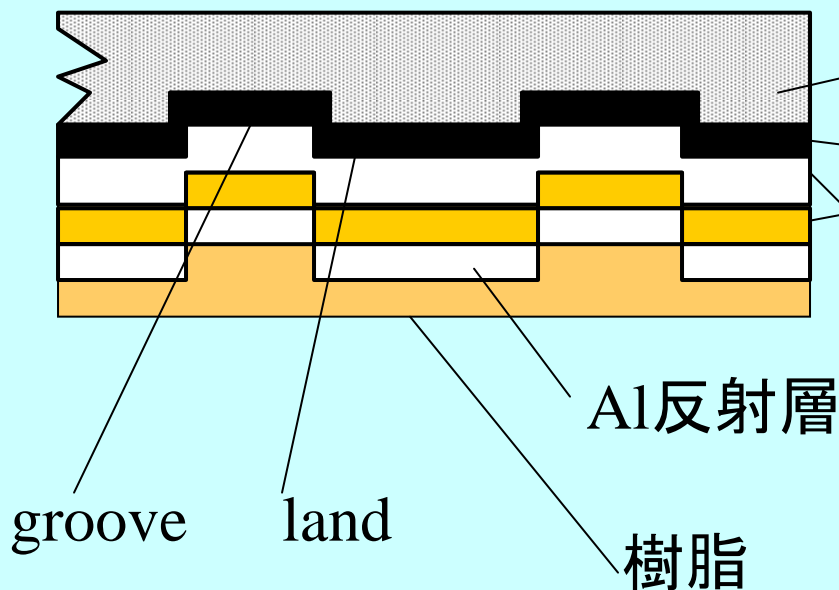
光磁気記録の歴史

- 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
- 1889 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

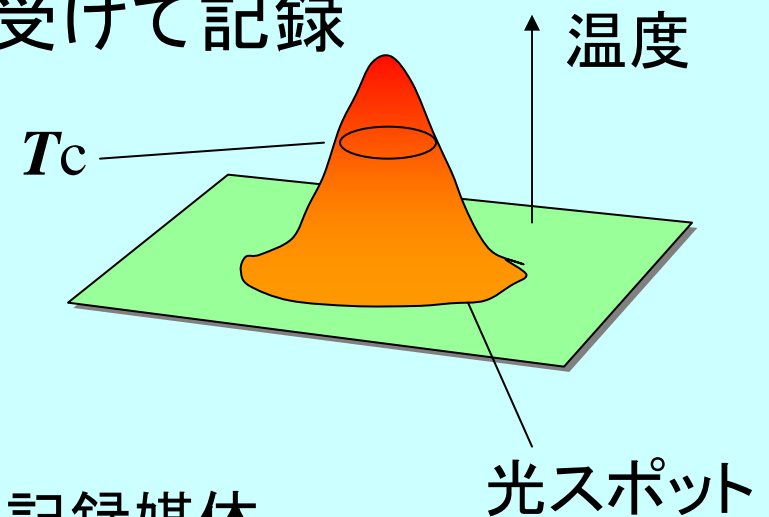
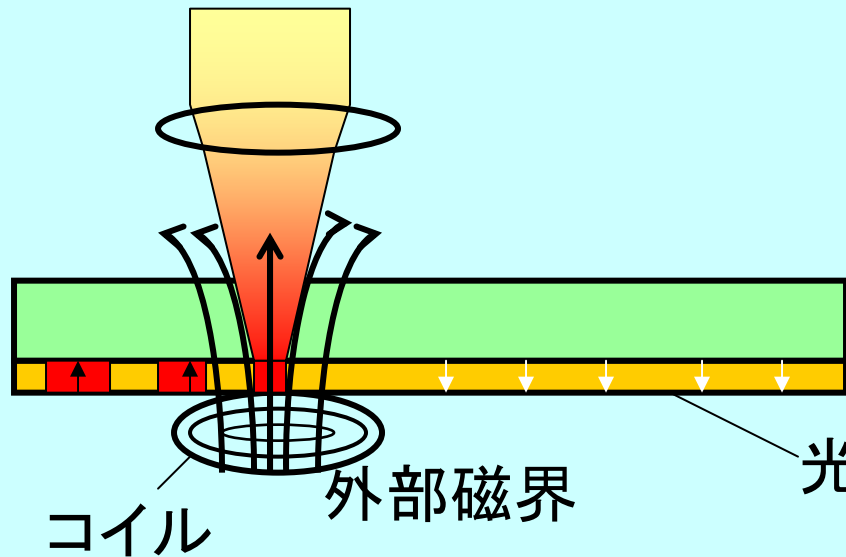
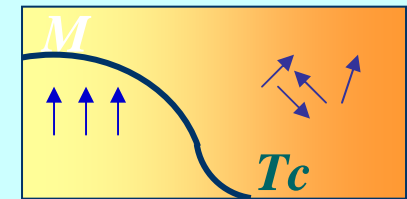
groove

land

樹脂

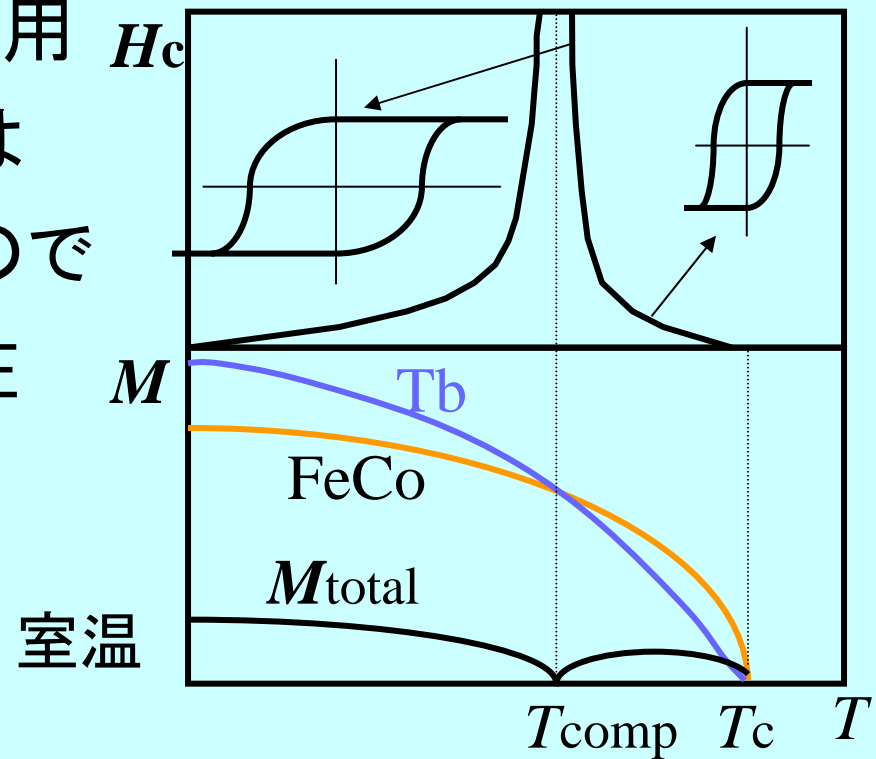
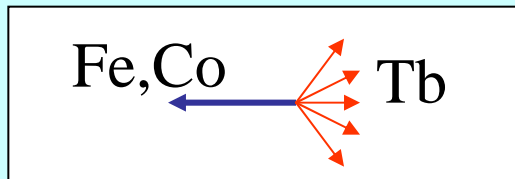
光磁気記録 情報の記録(1)

- 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

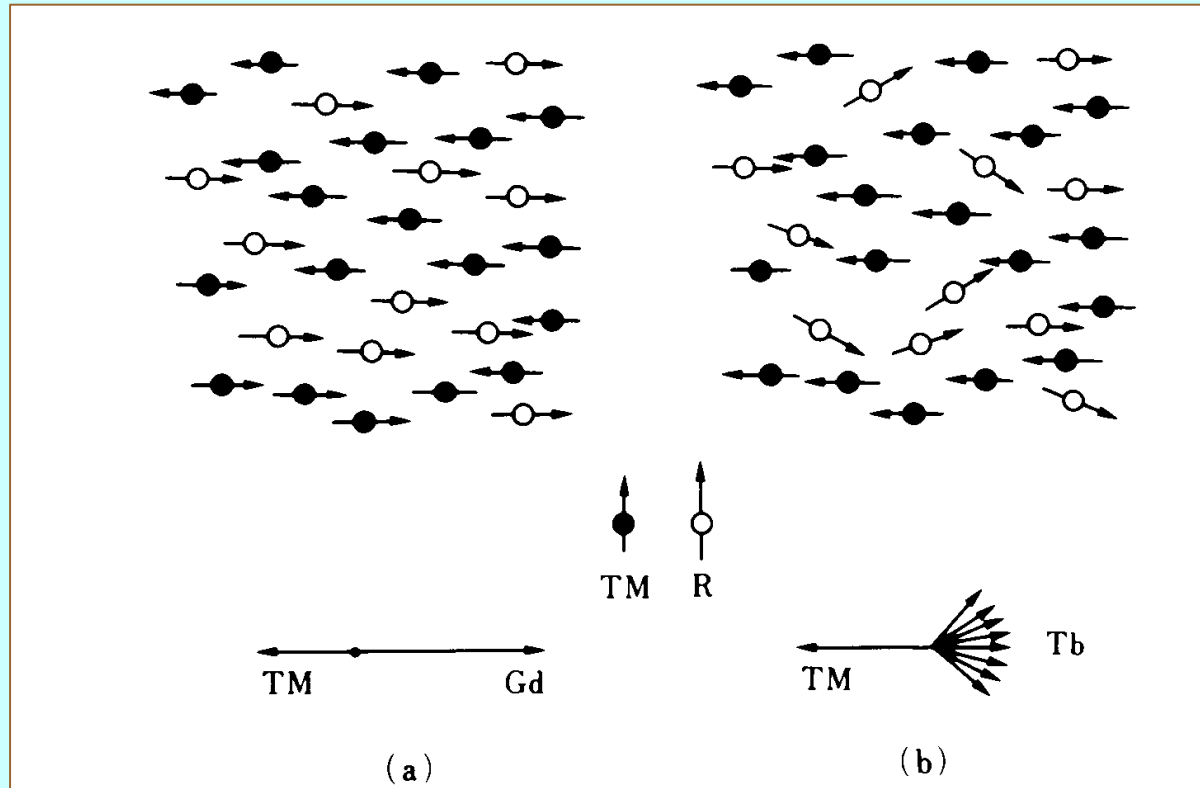


光磁気記録 情報の記録(2)

- 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

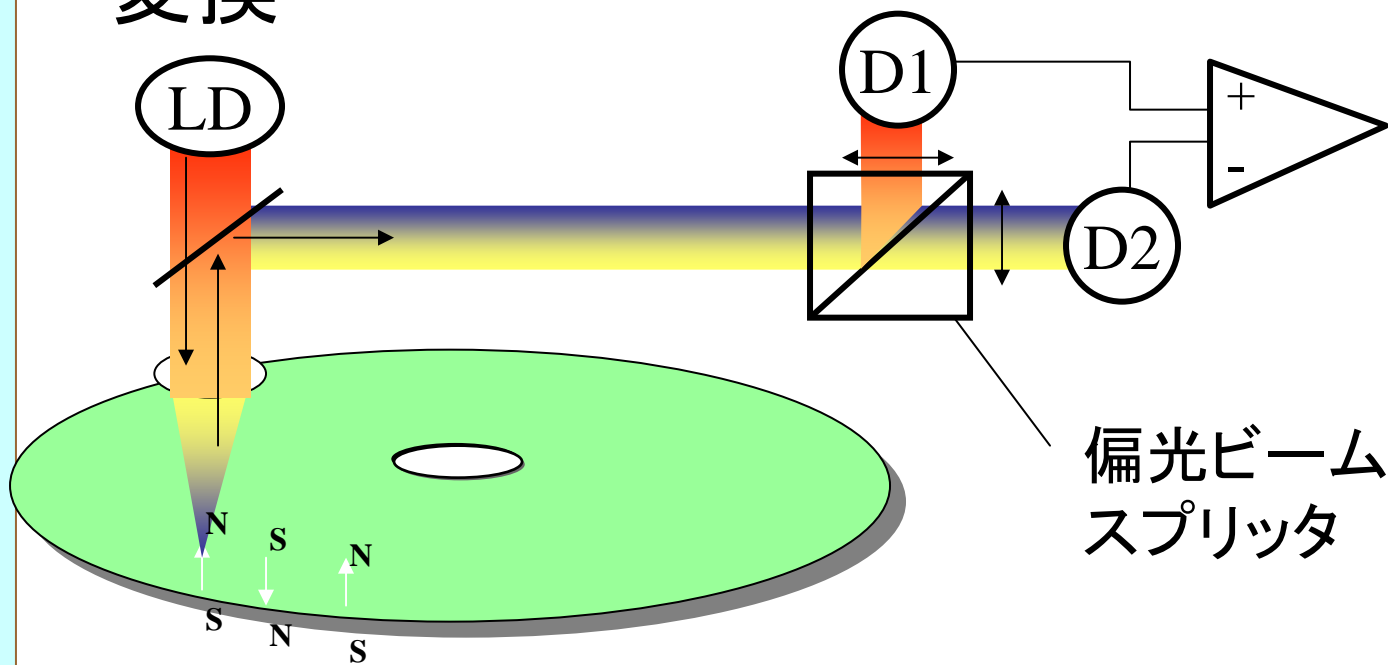


アモルファスR-TM合金



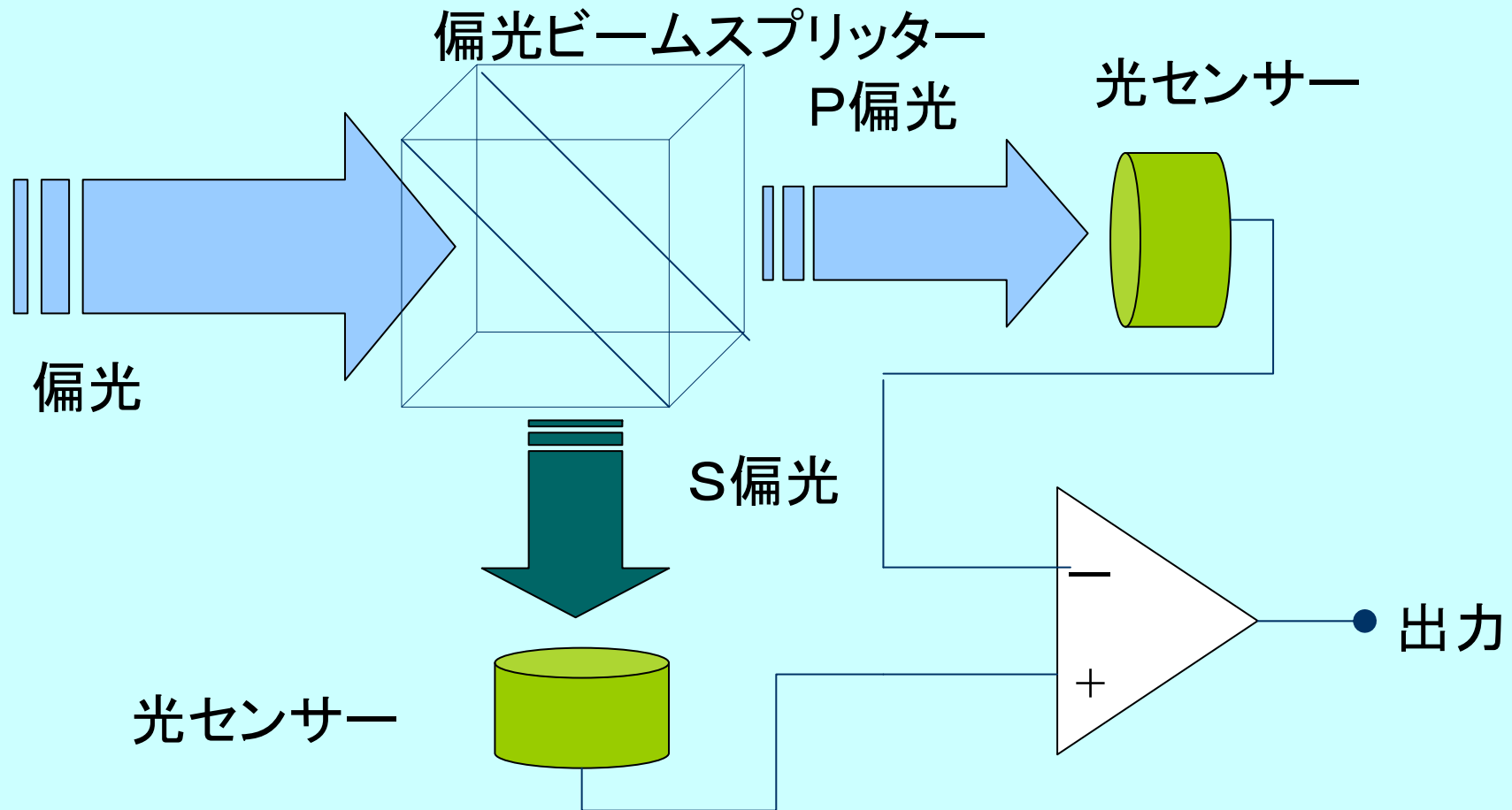
光磁気記録 情報の読み出し

- 磁化に応じた偏光の回転を検出し電気に変換

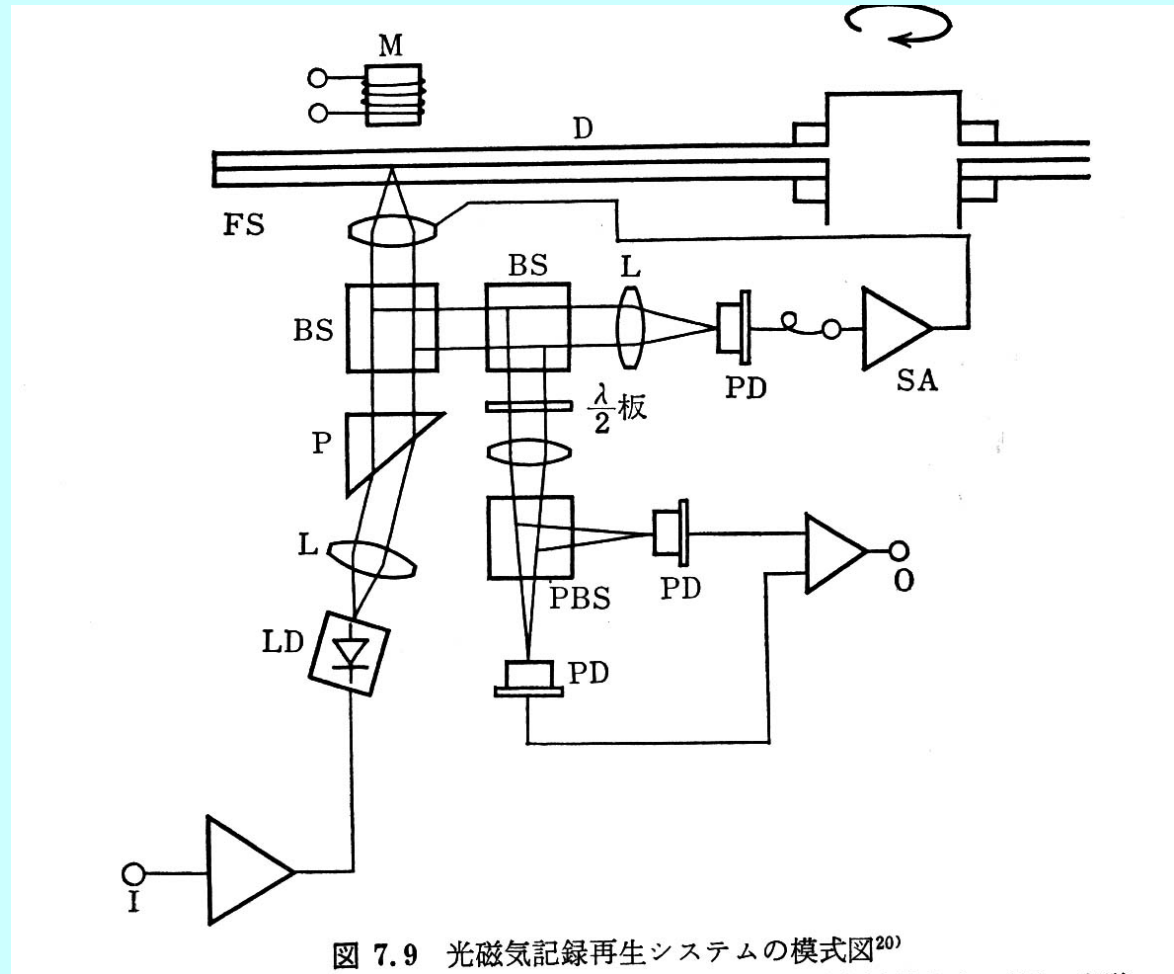


差動検出系

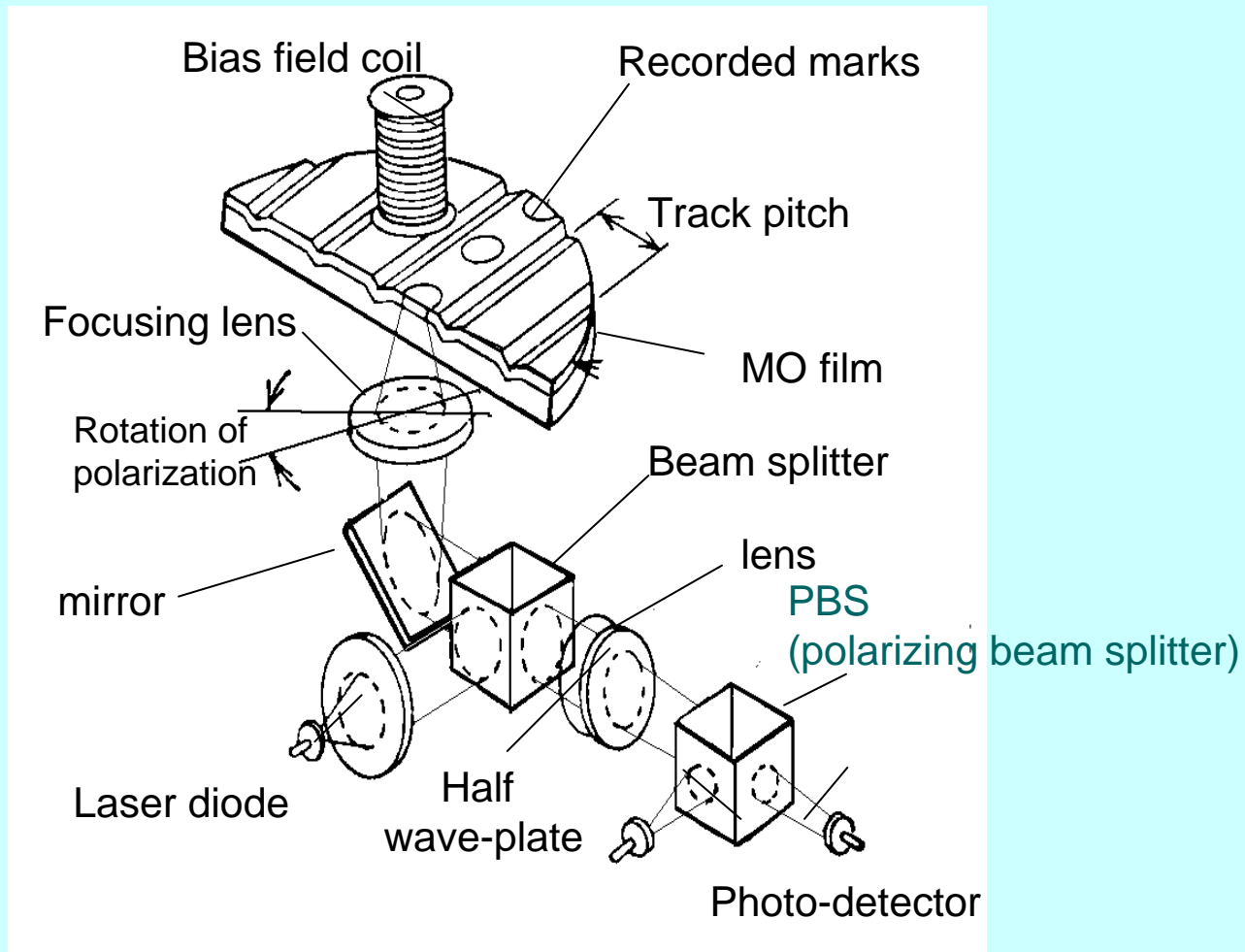
- 差動検出による高感度化



MOドライブ



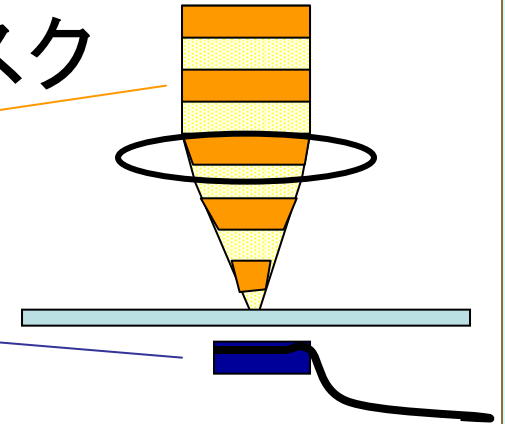
MOドライブの光ヘッド



2種類の記録方式

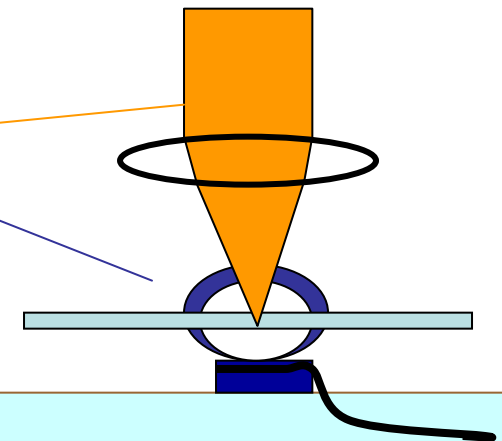
- **光強度変調(LIM):** 現行のMOディスク

- 電気信号で光を変調
- 磁界は一定
- ビット形状は長円形

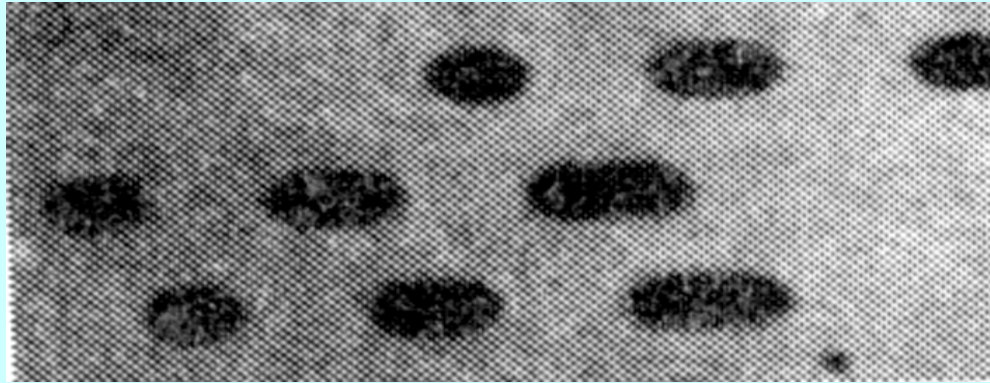


- **磁界変調(MFM):** 現行MD, iD-Photo

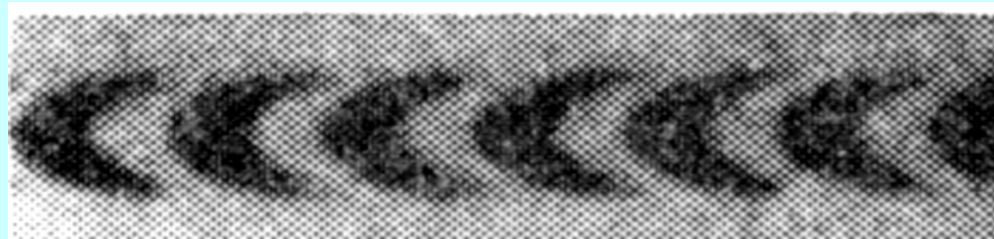
- 電気信号で磁界を変調
- 光強度は一定
- ビット形状は矢羽形



記録ビットの形状

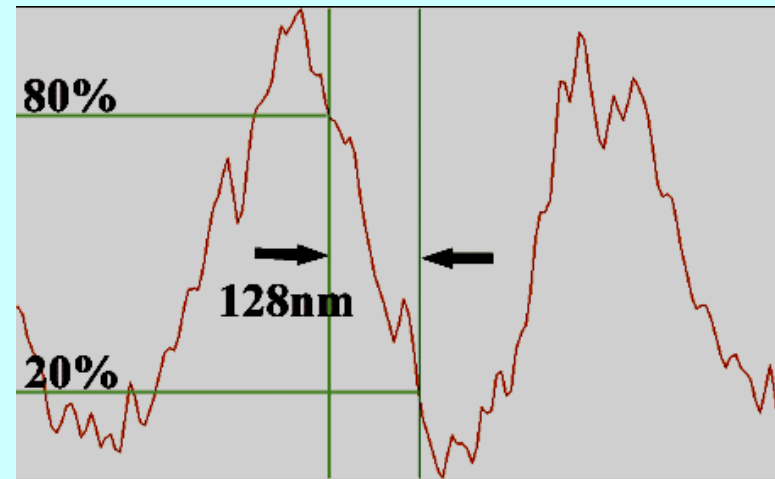
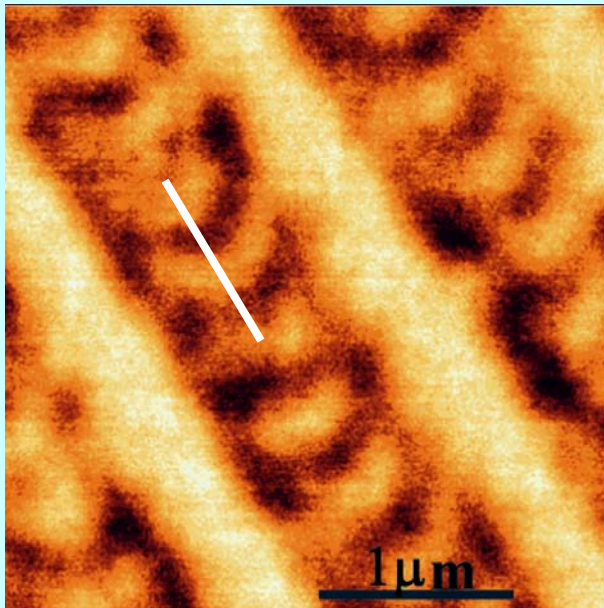


(a)



(b)

MO-SNOMで見た記録マーク

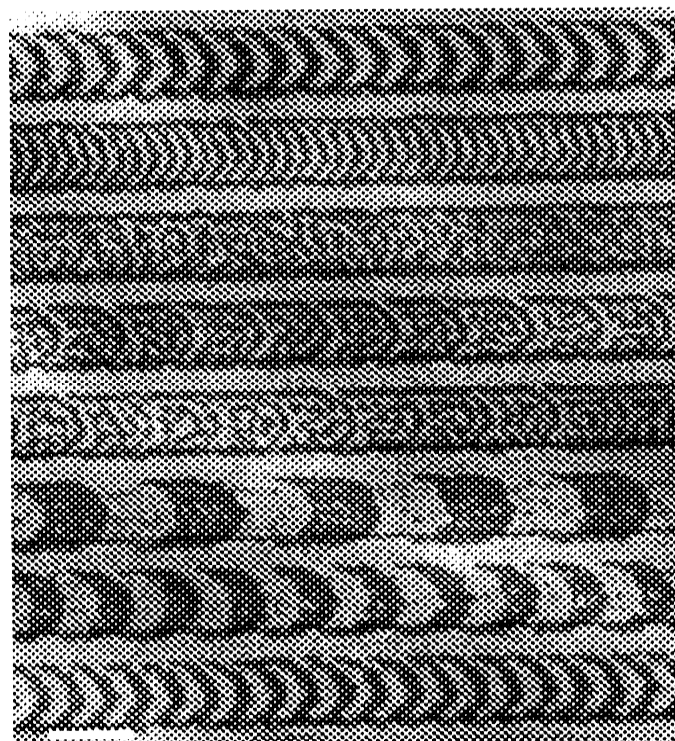


佐藤勝昭:応用物理69 [10] (2000) 1220-1221

SNOM:近接場顕微鏡

FeのL₃吸収端のXMCDを用いて 観測したMO媒体の磁区像

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



mark/space

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

1 μm

μm

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→BD, HD-DVD
 - 高NAレンズの採用: NA=0.85 (BD)
 - 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 (Hi-MDに採用)
 - 近接場を使う
 - SILの採用
 - Super-RENS
 - Bow-tie antenna

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

発展的学習

超高密度光ディスクへの展開最前線

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)

発展的学習

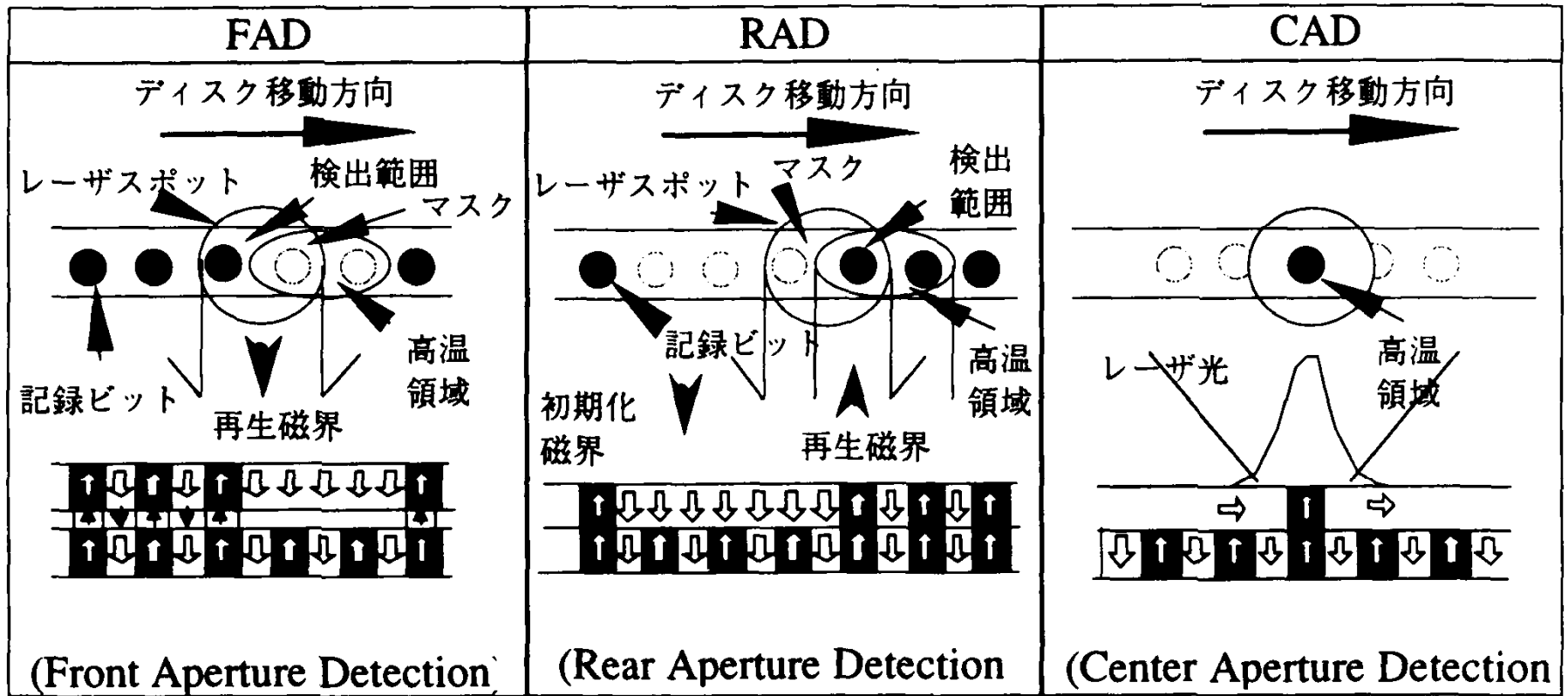
磁気誘起超解像技術(MSR)

- 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.*

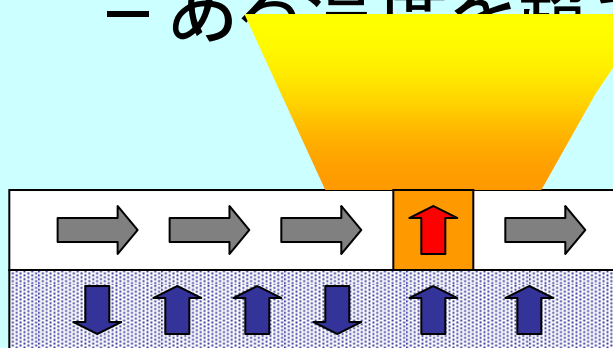
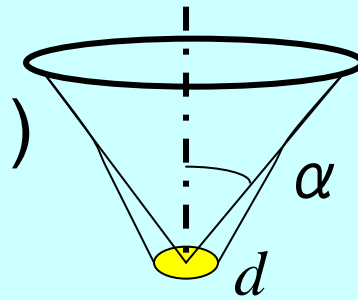
[2] S. Sumi, A. Takahashi and T. Watanabe: *J. Magn. Soc. Jpn. 23, Suppl. S1 (1999) 173*

発展的学習 MSR方式の図解



発展的学習 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



発展的学習

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。

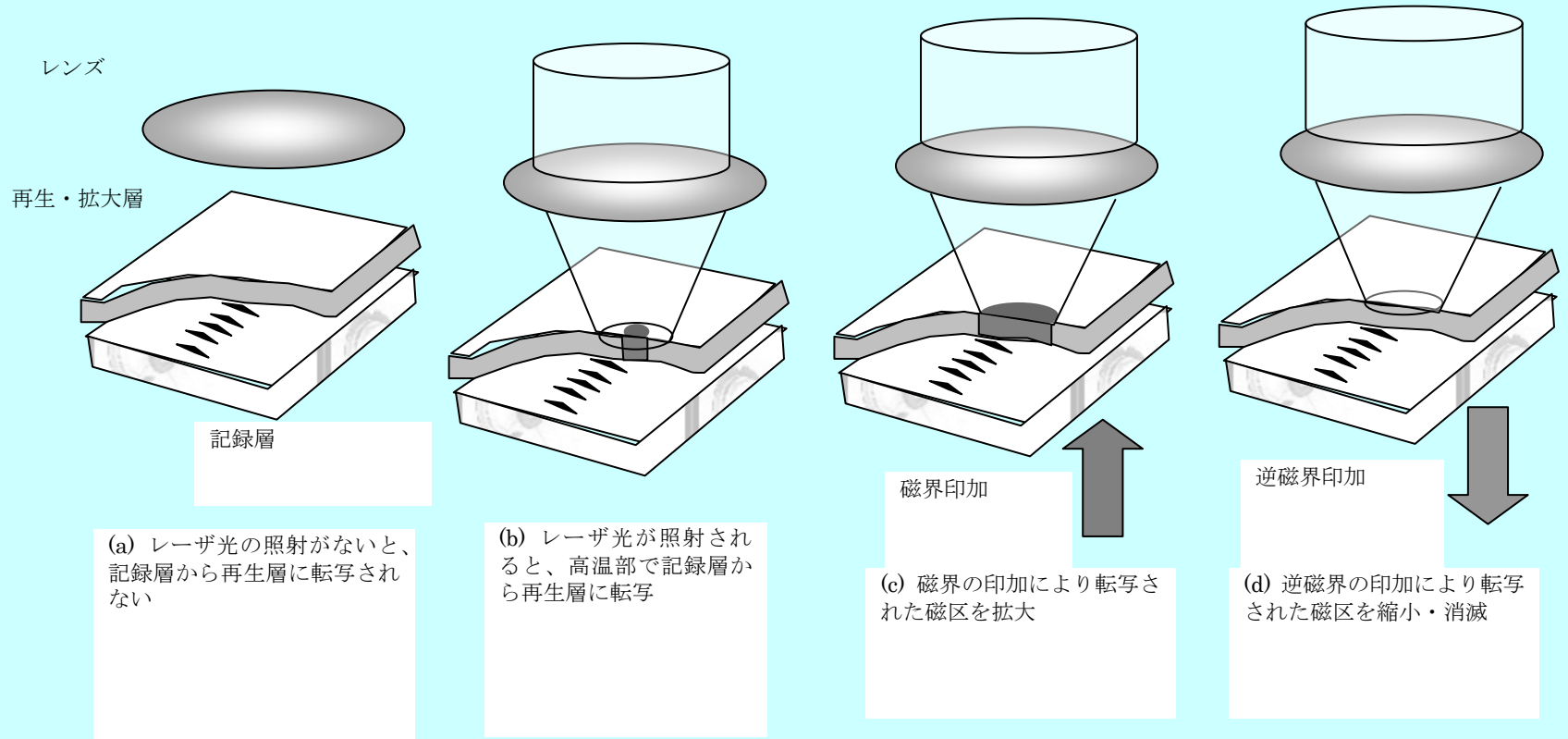
発展的学習 MAMMOS

- 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.

発展的学習 MAMMOS (磁区拡大 MO システム)



MAMMOS

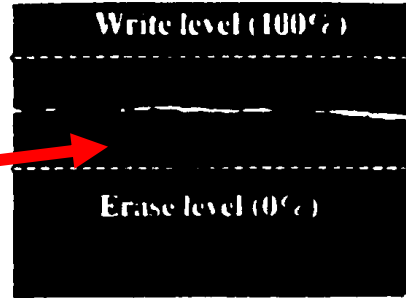
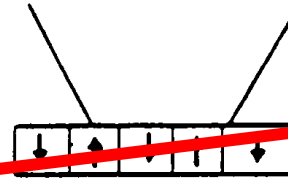
の効果

- 通常再生
 - 信号はほとんど0

680nm, NA0.55, 2.5m/s

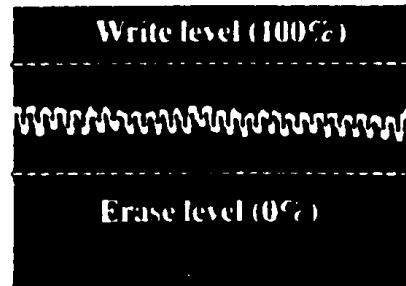
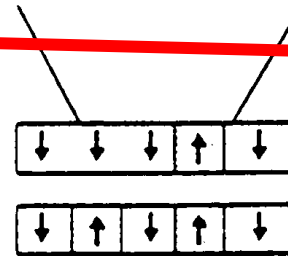


Conventional



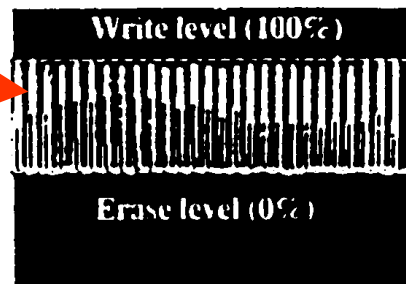
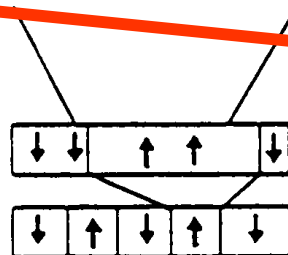
- MSR再生
 - 信号振幅小

MSR (RAD)



- MAMMOS再生
 - フル出力

MAMMOS



発展的学習 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

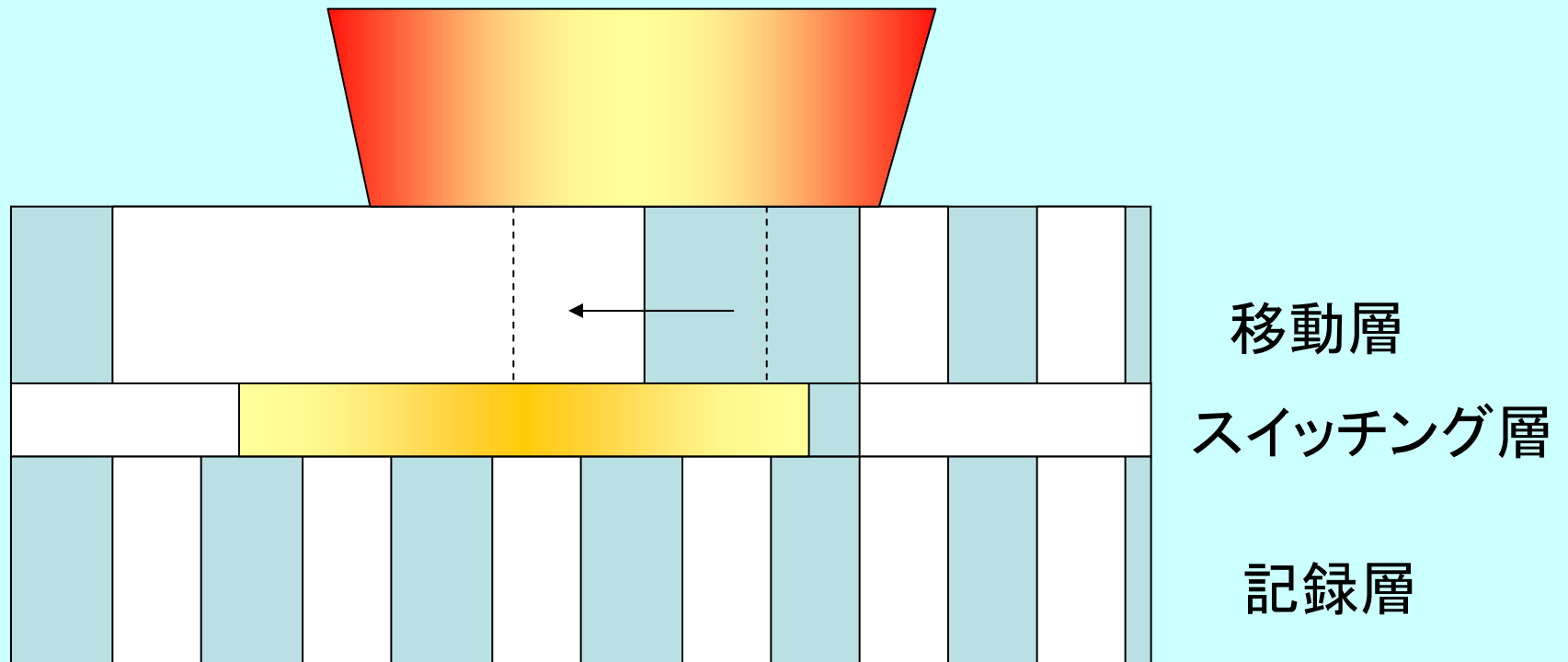
発展的学習

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。

発展的学習 DWDD概念図

原理的には再生上の分解能の限界がない。



発展的学習 DWDDディスク



発展的学習

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ー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.

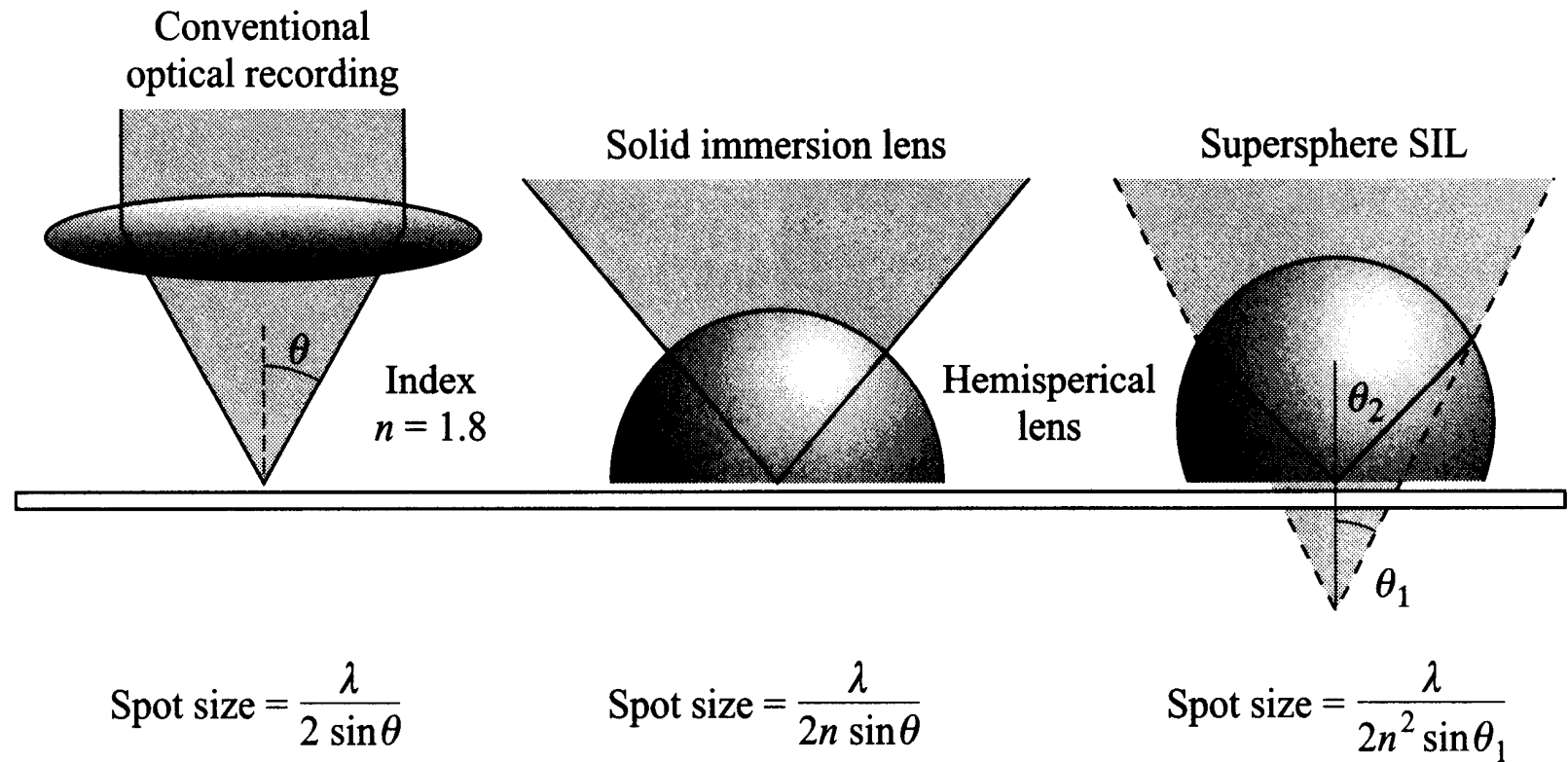
発展的学習

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. 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.

発展的学習

SIL (solid immersion lens)



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

発展的学習

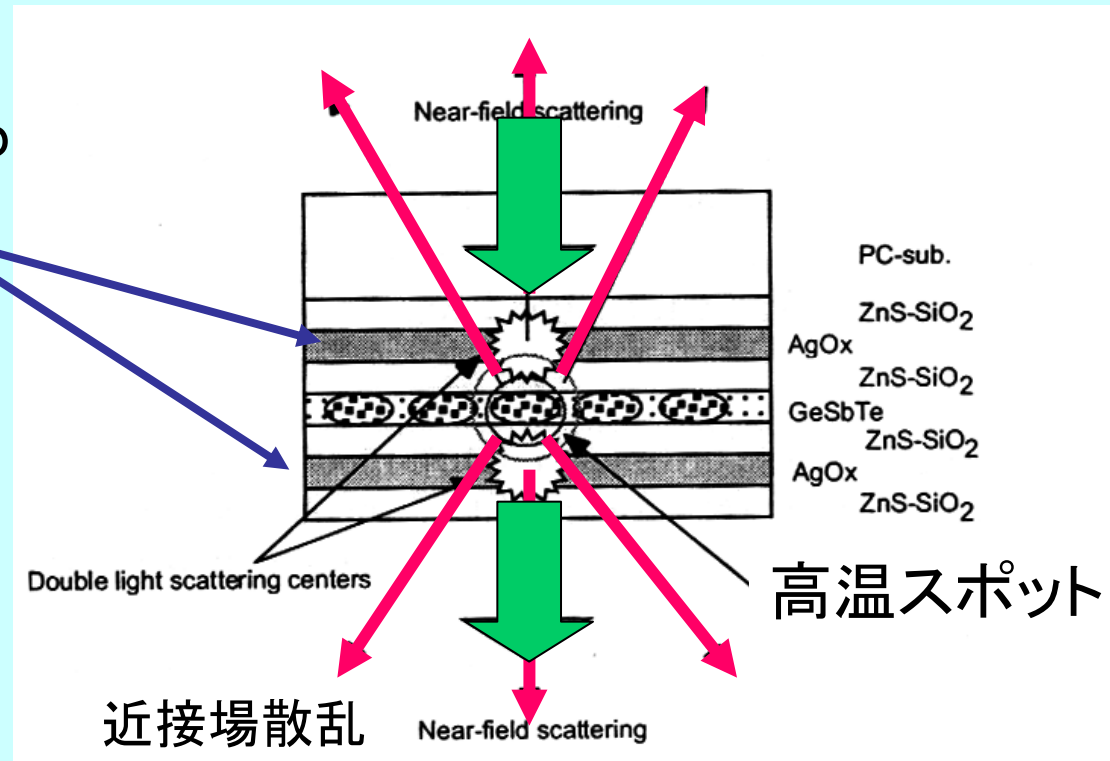
相変化ディスクにおける超解像技術

- 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]。

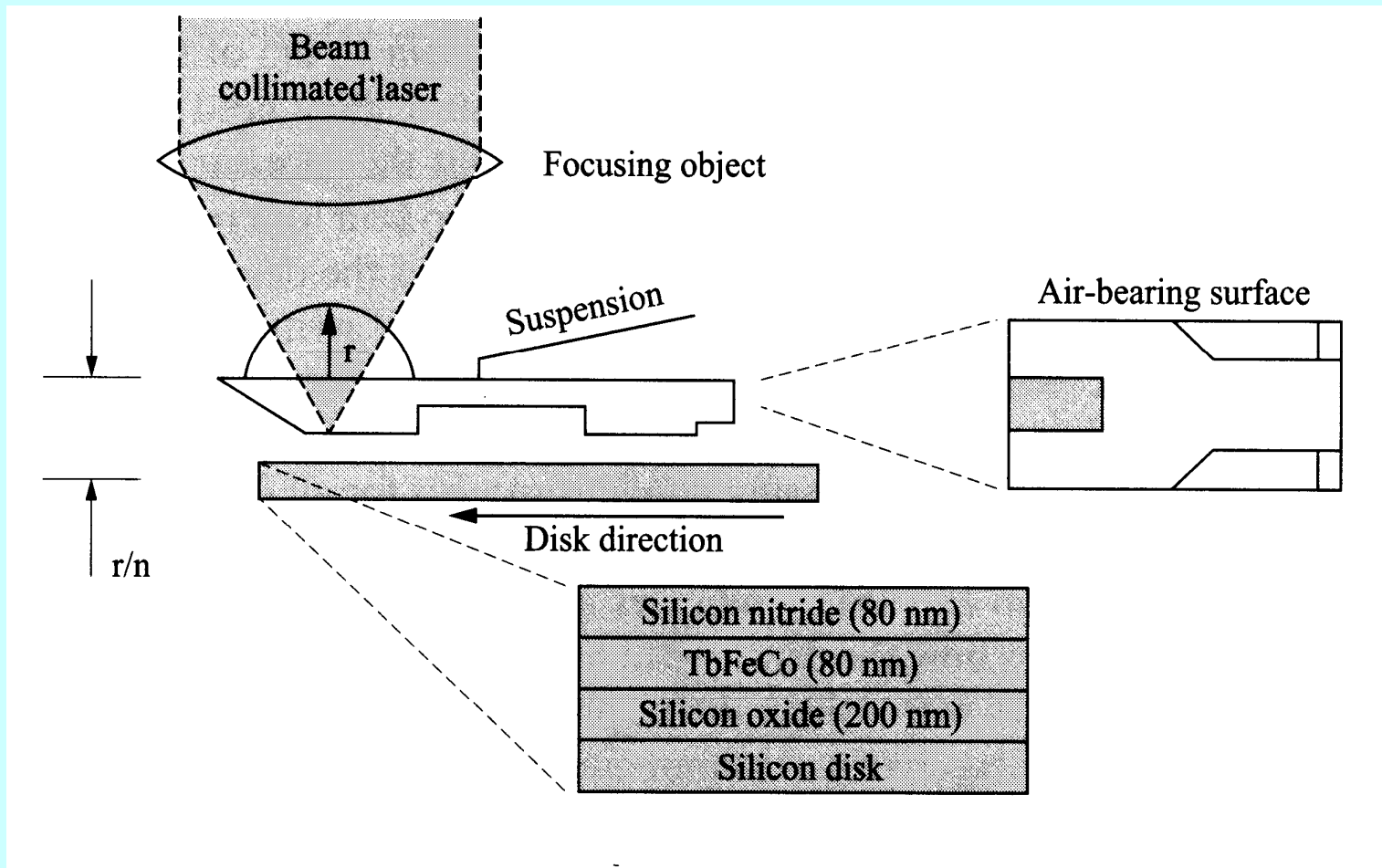
[1] J. Tominaga, H. Fuji, A. Sato, T. Nakano and N. Atoda:
Jpn. J. Appl. Phys. **39** (2000) 957.

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

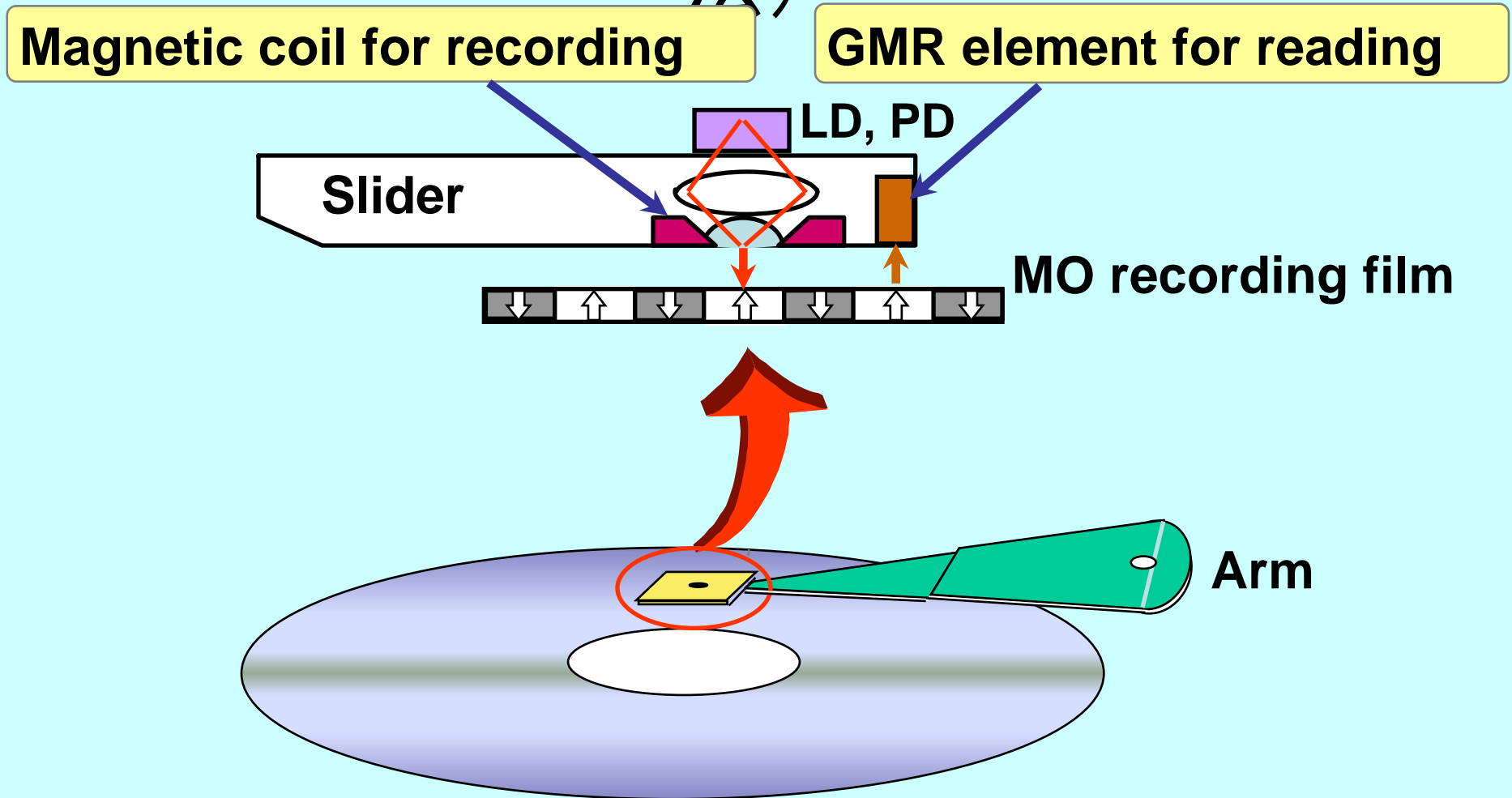


発展的学習 SILを用いた光記録



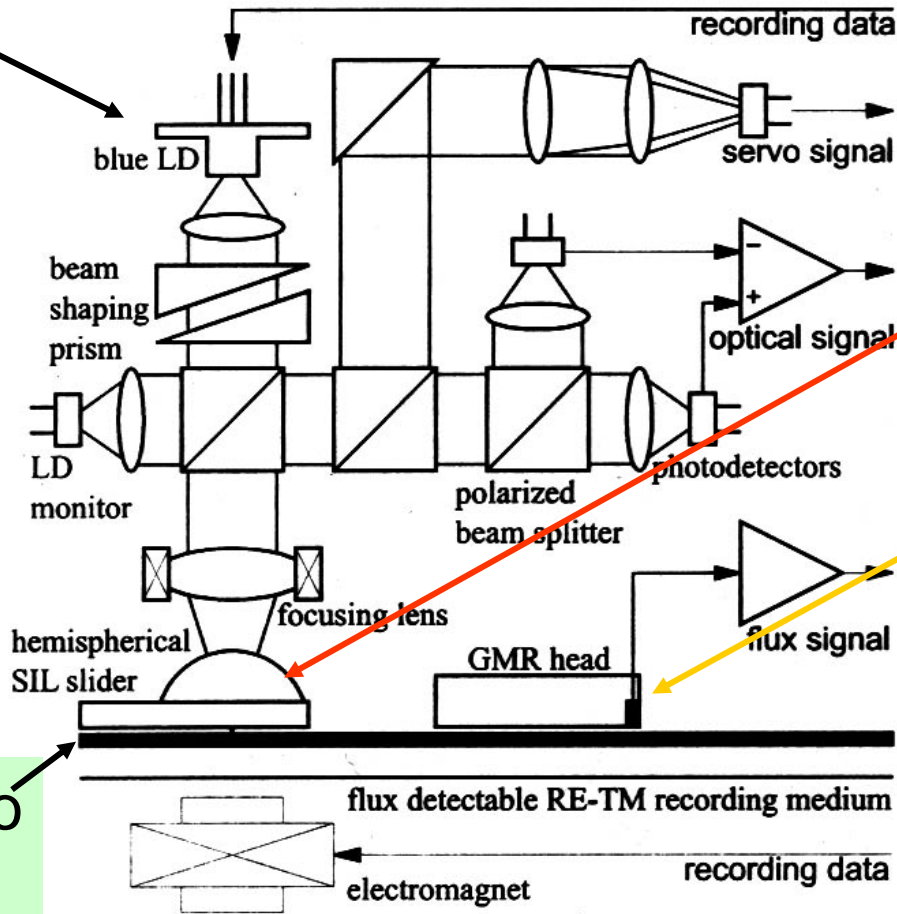
発展的学習

熱アシスト磁気記録(熱磁気記録/磁束検出法)



発展的学習 熱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

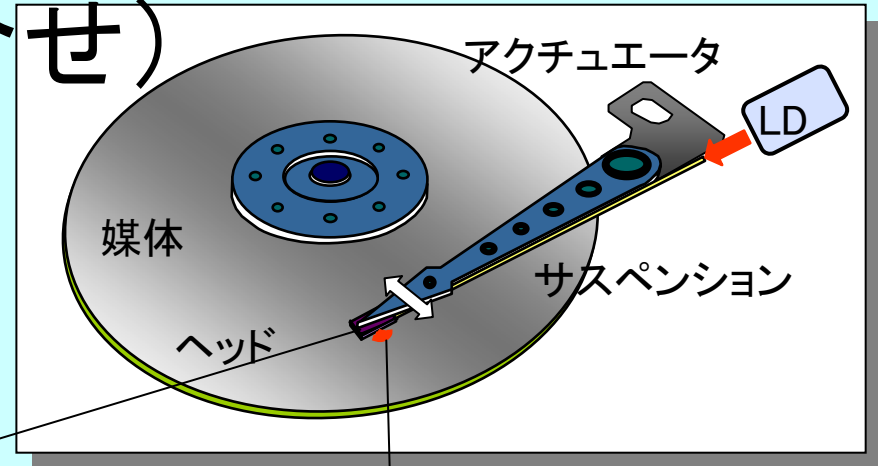
TbFeCo
disk

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

発展的学習

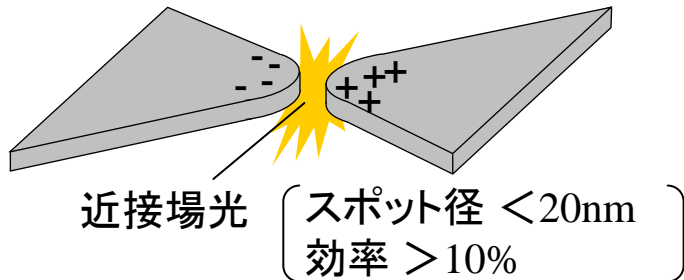
ハイブリッドヘッド（記録・再生の最適な組合せ）

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



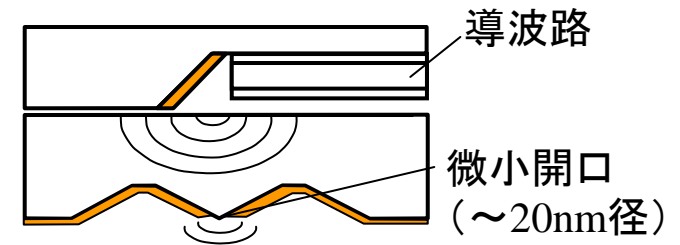
近接場光記録ヘッド + 近接場光再生ヘッド

プレーナ・プラズモンヘッド（記録）



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

発展的学習

ホログラフィ

- ホログラフィというのは、光の波面のもつ位相の情報を干渉によって強度に変換して媒体に記録する技術である。このアイディアはGaborが1948年に理論的に導いたが、光によるホログラフィが実現したのは、1960年代にコヒーレントなレーザが開発されてからである。



Dennis Gabor
b. June 5, 1900, Budapest, Hungary
d. February 8, 1979, London, England

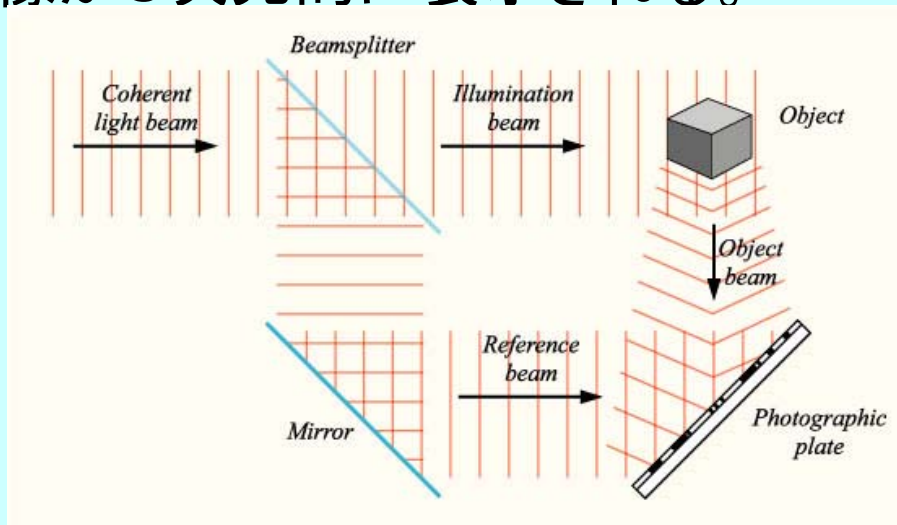


Dennis Gabor (left) receiving his Nobel prize in 1971

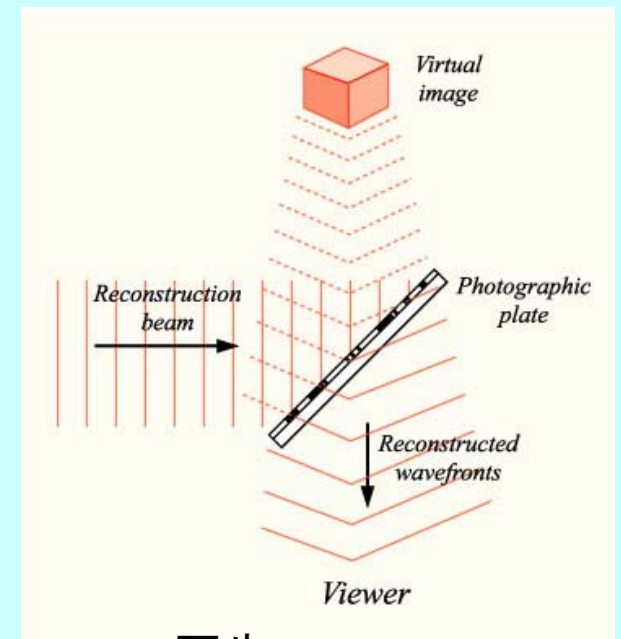
http://www.geocities.com/neveyaakov/electro_science/gabor.html

ホログラフィの原理

- 光の波面の位相情報を記録するために、物体からの光と参照光を重ね合わせてできる干渉縞を利用する。参照光は記録の対象となる物体を照らす光と同じ光源でなければならない。これは普通の写真フィルムに記録される。これらの干渉縞はフィルム上に回折格子を形成する。フィルム上の干渉縞に参照光を照らすと物体の虚像が3次元的に表示される。



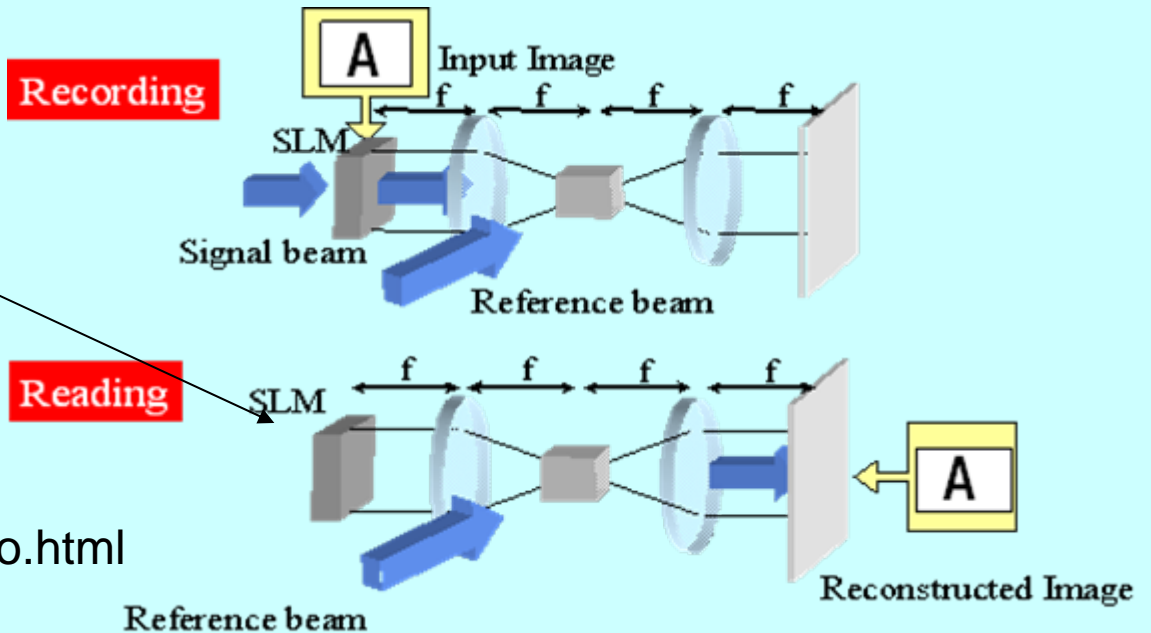
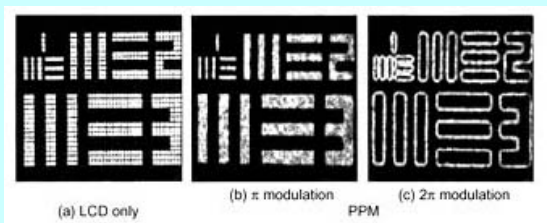
記録(ホログラムの作製)



再生

ホログラフィックメモリ

- ホログラフィを情報ストレージに用いるには、情報を空間的に表示するための「空間光変調器(SLM)」が必要である。
- SLMとしては、通常、液晶が使われるが、強誘電体の電気光学効果や磁性体の磁気光学効果を利用したSLMも開発されている。



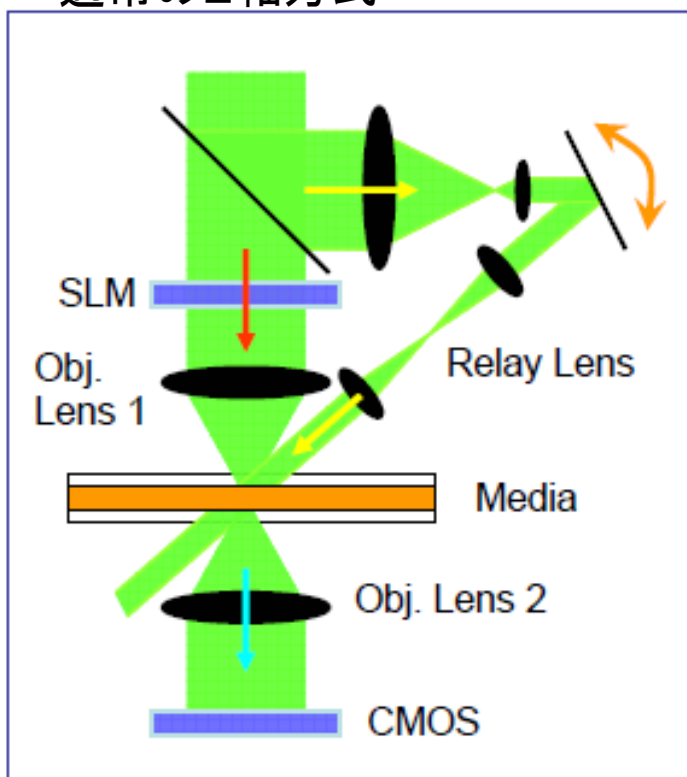
日経エレクトロニクス2005年1月17日号

ホログラフィック媒体 2006年に200Gバイトを実現

- ・ 「究極の光メモリ」といわれ、これまで何十年もの間、研究開発が進められてきたにもかかわらず、いまだに実用化されていないホログラフィック記録再生技術。しかし、ここに来てBlu-ray DiscやHD DVDなど次世代光ディスクの次を担う光ディスク技術として注目を集めている。火付け役の一社がオプトウエアである。
- ・ 同社の提案する「コリニア・ホログラフィ方式」は1つの対物レンズを使って記録再生が可能で、光軸の異なる従来の「二光束干渉法」よりも光学系を簡素化できる。記録位置を調整するサーボ技術もCDやDVDの技術を流用可能である。2006年前半にまず業務用途での製品化を狙う同社は、必要な各種のマージンの確保にメドを付けた。

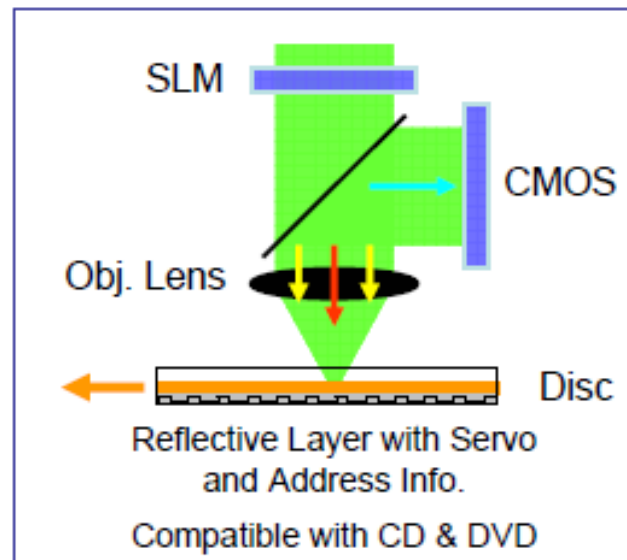
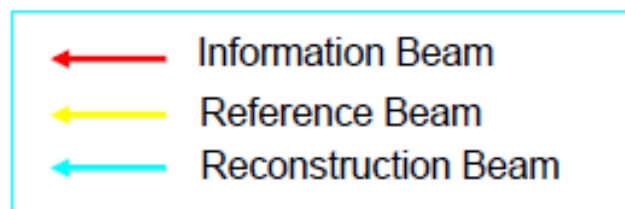
ホログラフィックメモリ

通常の2軸方式



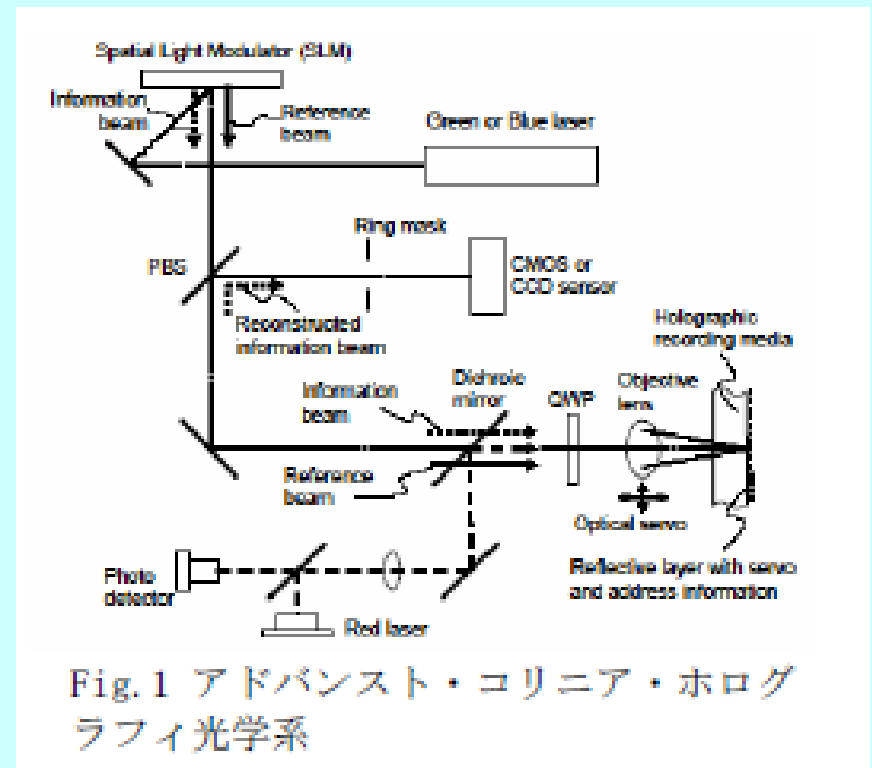
2-Axis Holography

コリニア方式



Collinear Holography

- “偏光コリニアホログラフィー方式”は、オプトウェア社が独自開発したもので、“参照光”と“信号光”を同軸上に配置し、1つの対物レンズでメディア上に照射する方式で、データを干渉縞による体積ホログラムとして記録する。



ホログラフィック・ディスクとカード

- HVD(ホログラフィ多用途ディスク)
- HVC(ホログラフィ多用途カード)
- オプトウェア社はコリニア方式によるHVD,HVCを開発しており、HVCは2006年度中に発売するという。

