



## (2) デジタル記録

図の例のように 0,1,0,1,1,0 というデジタル情報に対応して、1 であれば符号を反転し、0 ならば反転しないような電流をコイルに流す。これを NRZI (Non Return to Zero Invert) 方式という。記録電流の正負に応じて記録媒体の長手方向に交互に磁化の反転した領域が形成される。

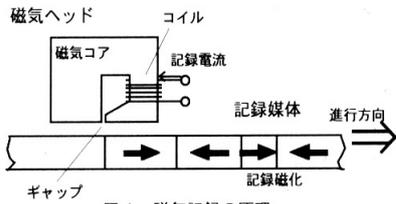
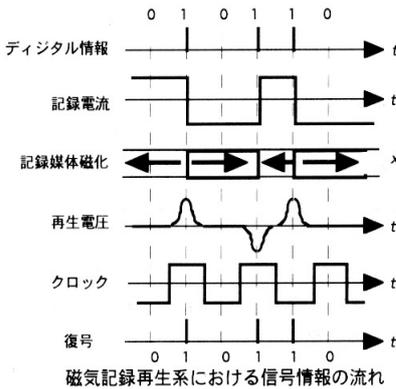


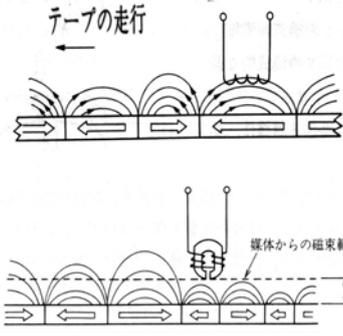
図4 磁気記録の原理



椎木一夫：第30回MSJサマースクールテキスト (2006.7) p.125 図5より

磁気記録の再生：誘導型ヘッド (MRヘッドは後で)

- 媒体からの漏れ磁束を電磁誘導現象で検出  
コイルを通る磁束  $\Phi$  が変化するとき、 $E = -\partial\Phi/\partial t$  に従って、磁束の時間微分に比例した電圧  $E$  がコイルに発生する。出力は微分波形となる。
- 再生電圧は、記録波長(媒体上の信号1周期に対応する長さ)と媒体・ヘッドの相対速度の積に比例する。
- 高密度になるとヘッドを媒体に近づけないと漏れ磁束を検出できない。これをスペーシングロスという。

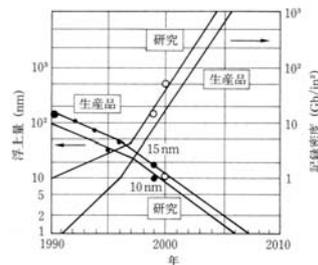


佐藤勝昭編著「応用物性」(オーム社, 1991) 図5.19

佐藤勝昭編著「応用物性」(オーム社, 1991) 図5.20

## HDにおけるヘッド媒体間距離

微小な記録磁区からの漏れ磁界を検出するため、ヘッドと媒体の距離は非常に減少している。実際の製品では 10 nm 程度の浮上量である。この浮上量は、スライダーの形状を工夫して空気力学的に確保している。



## さまざまな磁気ヘッド

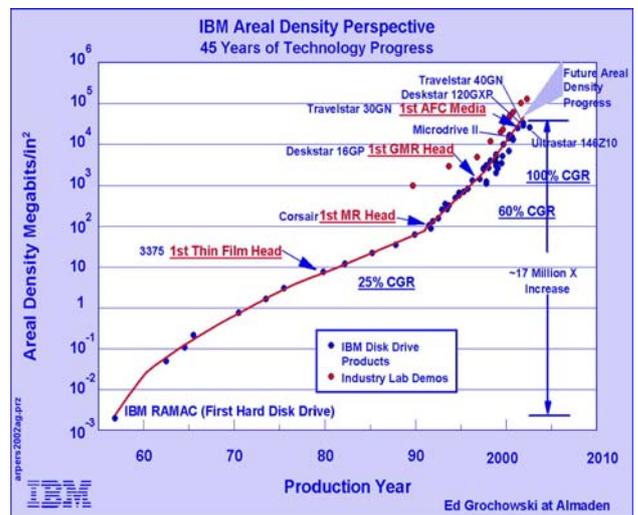
- オーディオカセット用
- ビデオカセット用
- ハードディスク用
- 磁気カード、紙幣用

## 磁気記録媒体

- 磁気テープ：プラスチックベースに磁性体を堆積
  - 塗布型：
    - 酸化鉄：Co 被着  $\gamma$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2 酸化クロム：CrO<sub>2</sub>
    - メタル：磁性金属(純鉄など)微粒子
  - 蒸着型：
    - コバルト蒸着; DLC(ダイヤモンド状カーボン)で保護
- ハードディスク
  - プラッター基板材料：アルミ円盤、ガラス
  - 磁気媒体材料：CoCr 系材料が使われる。最近の高密度媒体は、超常磁性減磁を防ぐため、Ru などをはさんだ SAF(人工反強磁性)という構造がとられる。
  - 表面保護層:DLC(ダイヤモンド状カーボン)を用いる
  - 潤滑剤：磁気ヘッドとの摩擦を防ぐためライナーという潤滑剤が塗布されている

## HDの記録密度の状況

- HDの記録密度は、1992年にMRヘッドの導入によりそれまでの年率 25%の増加率(10年で10倍)から年率 60%(10年で100倍)の増加率に転じ、1997年からは、GMRヘッドの登場によって年率 100%(10年で1000倍)の増加率となっている。現在、市販品での面記録密度はほぼ 100 Gbit/in<sup>2</sup>である。
- 超常磁性による減磁  
微粒子のサイズが小さくなっていくと、磁気ヘッドによって記録された直後は、記録磁区内のすべての粒子の磁化が記録磁界の方向に向いているが、時間とともに各粒の磁化がバラバラな方向に向いていき、記録された情報が保てないという現象が起きてくる。このため、研究室レベルでも高密度化が飽和してきている。
- 超常磁性限界は、40Gb/in<sup>2</sup>とされていたが、AFC(反強磁性結合)媒体の登場で、これをクリアし、実験室レベルの記録密度は 2003年時点ですでに 150 Gb/in<sup>2</sup>に達した。



1990年代の面記録密度の急激な改善は、磁気ヘッドとしてMRヘッドが使われるようになったことが原因である。

## 磁気記録の問題点

- (1) ノイズ：媒体・ヘッド・信号処理系の工夫
- (2) 自己減磁：反磁界により見かけの残留磁化が減少
- (3) 記録減磁：磁気ヘッドが遠ざかるまえに信号の正負が反転するとマイナーループとなり残留磁化が減少
- (4) 熱揺らぎによって磁化が反転する

## [ちょっと最先端に触れる]

### 超常磁性限界

- 現在使われているハードディスク媒体は CoCrPtB など CoCr 系の多結晶媒体である。強磁性の CoCr 合金の結晶粒が偏析した Cr 粒に囲まれ、互いに分離した膜構造になっている。
- 磁気ヘッドによって記録された直後は、磁化が記録磁界の方向に向いているが、微粒子のサイズが小さくその異方性磁気エネルギー  $KuV$  ( $Ku$  は単位体積あたりの磁気異方性エネルギー、 $V$  は粒子の体積) が小さくなると、磁化が熱揺らぎ  $kT$  によってランダムに配向しようとして減磁するという現象が起きる。これを **超常磁性限界**と呼んでいる。

### 熱揺らぎによる減磁現象

- 実際、20 Gb/in<sup>2</sup>の記録媒体では、その平均の粒径は 10 nm 程度となり、各結晶粒は磁氣的に独立に挙動し、記録された情報が保てない。

細江 謙：日本応用磁気学会サマースクール 27 テキスト p.97(2003)

### 熱減磁と活性化体積

- $\eta = KuV/kT > 60$  ないと熱減磁が心配

細江 謙：MSJ サマースクール 27 テキスト p.97(2003)

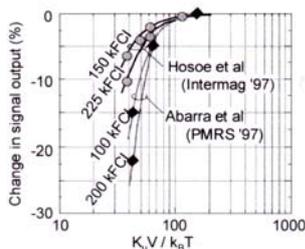


図 12 熱減磁の  $KuV/kT$  依存性

### 熱的安定条件

- ハードディスクの寿命の範囲でデータが安定であるための最低条件は、 $\eta = KuV/kT > 60$  とされている。
- 面記録密度  $D$  とすると、粒径  $d$  は  $D^{1/2}$  に比例するが、記録される粒子の体積  $V$  はほぼ  $d^3$  に比例するので  $V$  は  $D$  の増大とともに  $D^{3/2}$  に比例して減少する。
- この減少を補うだけ、磁気異方性  $Ku$  を増大できれば、超常磁性限界を伸ばすことができる。単磁区の微粒子を仮定し、磁化反転が磁化回転によるものとすると、保磁力  $Hc$  は  $Hc = 2Ku/Ms$  と書かれるから  $D^{3/2}$  以上の伸びで保磁力を増大すれば救済できるはずである [1]。
- しかし、 $Hc$  が大きすぎると、通常の磁気ヘッドでは記録できなくなってしまいます。これを救うのがハイブリッド記録である。

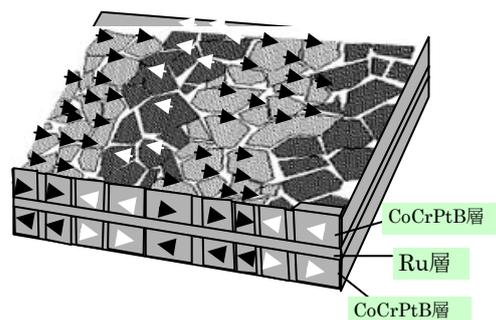
[1] T.W. McDaniel and W.A. Challener: *Proc. MORIS2002*, Trans Magn. Soc. Jpn. 2 (2002) 316.

### AFC(反強磁性結合)媒体

- AFC 媒体(antiferromagnetically coupled media)というのは、Ru の超薄膜を介して反強磁性的に結合させた媒体のことで、交換結合によって見掛けの  $V$  を増大させて、安定化を図るものである。

## [ちょっと最先端に触れる]

### 反強磁性結合(AFC)媒体の模式図



### 超常磁性の壁

- このような方法によって超常磁性限界の到来を多少遅らせることはできても、せいぜい 500 Gbits/in<sup>2</sup> 迄であろうと考えられている。
- 保磁力を大きくすれば安定性が向上することは確実であるが、磁気ヘッドで書き込めなくなってしまう。ヘッドの飽和磁束密度には限界があるし、ヘッドの寸法の縮小にも限界がある。現行の磁気ヘッドは理論限界の 1/2 程度のところにまで到達しており、改善の余地はほとんど残されていない。

### 超常磁性の克服

- 保磁力の大きな媒体にどのようにして記録するのかという課題への 1 つの回答が、パターンドメディアを用いた垂直磁気記録技術であるが、もう 1 つの回答が熱磁気記録である。

- パターンド・メディア

物理的に孤立した粒子が規則的に配列

- 熱アシスト記録 (光・磁気ハイブリッド記録)

記録時に温度を上昇させて  $Hc$  を下げ記録。室温では  $Hc$  が増大して熱的に安定になる。

### 垂直磁気記録

- 従来の磁気記録は記録された磁化が媒体の面内にあるので、面内磁気記録と呼ばれる。長手記録とも呼ばれる。高密度になると、1 つの磁区の磁化が隣り合う磁区の磁化を減磁するように働く。
- これに対し、垂直磁気記録では、隣り合う反平行の磁化は互いに強めあうので、記録が安定。

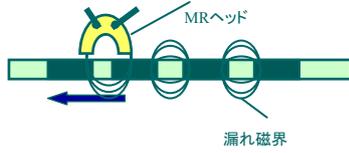
### 熱アシスト記録材料

- 熱磁気記録に用いられる媒体としては、従来から HDD に用いられてきた CoCr 系のグラニューラー媒体を利用する方法と、MO 媒体として使われてきた **アモルファス希土類遷移金属合金** 媒体を用いる方法が考えられる。また、短波長 MO 材料として検討された Pt/Co 多層膜媒体を用いることも検討されている。いずれにせよ、室温付近で大きな  $Hc$  を示し、温度上昇とともに通常の磁気ヘッドで記録できる程度に  $Hc$  が減少する媒体が望ましい。

**MR(磁気抵抗)ヘッドとは何か**

**磁気記録の MR(磁気抵抗)ヘッドによる読み出し**

- 誘導型磁気ヘッドでは感度向上に限界があった。このため、媒体から洩れ出す磁束により磁性体の電気抵抗が変化する現象(MR:磁気抵抗効果)を用いて電圧に変えて読み出す方式が利用されるようになった。
- 当初 AMR(異方性磁気抵抗効果)が用いられたが 90 年代半ばから GMR(巨大磁気抵抗効果)が用いられるようになった。



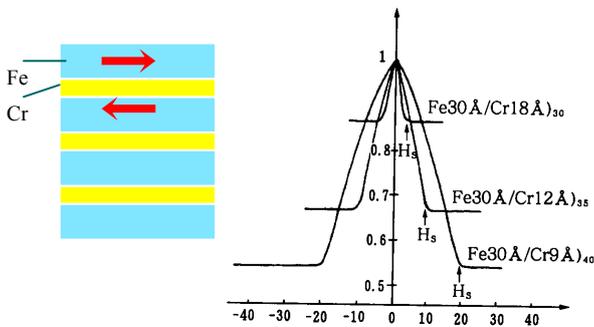
**異方性磁気抵抗効果**

○パーマロイ(Ni80Fe20)の薄膜に外部磁界を加えると、磁化がセンス電流に対してθだけ傾き、電気抵抗が  $\rho = \rho_0 + \Delta\rho \cos 2\theta$  のように変化する。この変化を電圧の変化として検出する。この効果の $\Delta\rho/\rho$ はせいぜい 2.5%程度の小さな値である。

**巨大磁気抵抗効果(GMR)**

○1988 年に Fert らのグループおよび Grunberg らのグループは独立に金属人工格子における巨大磁気抵抗効果(GMR)を発見した。Baibich らが報告する磁化と磁気抵抗効果の対応 [i]によれば、Cr の層厚を変化することによって磁気飽和の様子が変化するが、磁気飽和のしにくい試料において低温で 50%におよぶ大きな磁気抵抗比  $R(H)/R(H=0)$  が見られている。室温でもこの比は 16%におよぶ。この後、同様の GMR は、Co/Cu のほか多くの磁性/非磁性金属人工格子、グラニューラ薄膜などで発見された。

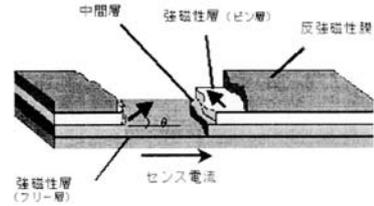
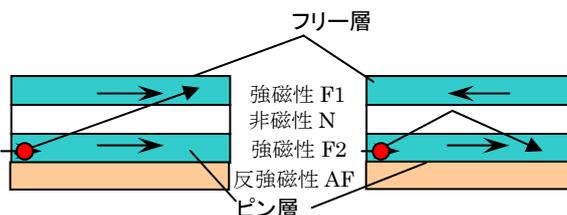
[i] M.N. Baibich, J.M. Broto, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuset, A. Friederich and J. Chazelas: Phys. Rev. 62 (1988) 2472.



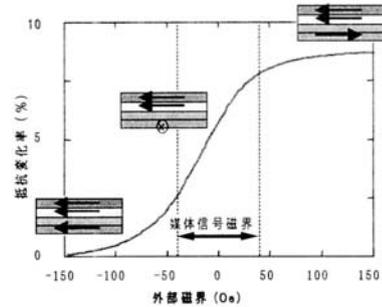
**スピバルブとは**

IBM の Parkin らは反強磁性体との交換結合によるピン止め効果を用いて、強磁性フリー層とピン止め層の磁化が平行か反平行かで電気抵抗が異なる現象を用いた高感度の磁気ヘッドを発見し、スピバルブと名付けた。

○強磁性体(F1)/非磁性金属(N)/強磁性(F2)多層膜  
 ○F1, F2 平行なら抵抗小。反平行なら抵抗大。

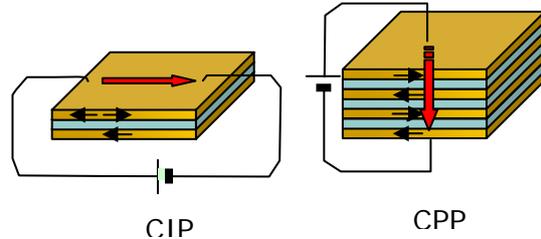


スピバルブヘッド



スピバルブの原理

**GMR の分類**



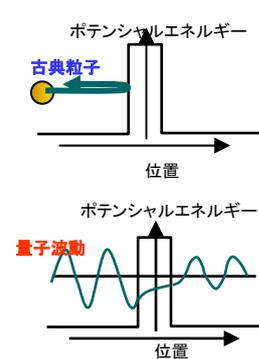
○ C I P (current in plane) 型

- 微細化が困難、抵抗が低すぎる。MR 比が小さい。

○ CPP (current perpendicular to plane) 型

- 微細加工により細い円柱状に加工可能
- 抵抗を適当な大きさに調整出来る。MR 比大きい。

**トンネル効果**

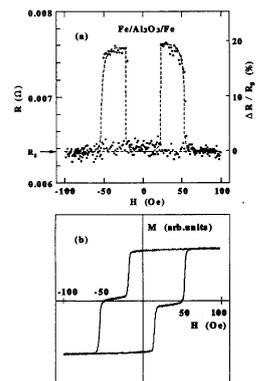


トンネル効果は、量子力学が成立する世界でのみ成立する現象である。量子の波動は、ポテンシャル障壁の中では、振動せず減衰し、境界面で振動する波動に接続する。この効果は、トンネルダイオード、STM (走査型トンネル顕微鏡) に利用される。MTJ ではスピンを考慮する。

**スピン依存トンネル効果**

○磁気トンネル接合(MTJ)[ 2つの強磁性電極で極めて薄い絶縁層をサンドイッチした接合] を流れるトンネル電流は、両電極のスピンの相対角に依存する。

- GMR に比べ接合の抵抗が高いため、小電流で動作することが可能。
- MRAM (後述)に適している。



### TMR デバイス

○絶縁体の作製技術が鍵を握っている。→最近大幅に改善  
絶縁層の工夫  
○湯浅（産総研）らは、磁性体/絶縁体/磁性体のトンネル接合構造において、絶縁体として MgO 結晶を用いることによってトンネルの際の波動関数の対称性が保たれることを実証し、200%に上る高い MR 比を得た。

### MgO 絶縁層を用いた MTJ

○産総研の湯浅らは、MTJ の絶縁層として非晶質 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に代えて MgO 結晶を用いることによって波動関数の接続性が改善され巨大 MR が得られるという Butler の理論予想に従い Fe/MgO/Fe 構造を作製した。

### Fe/MgO/FeMTJ に見られる GMR

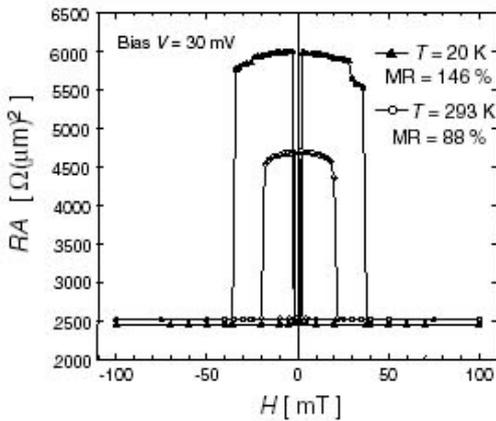
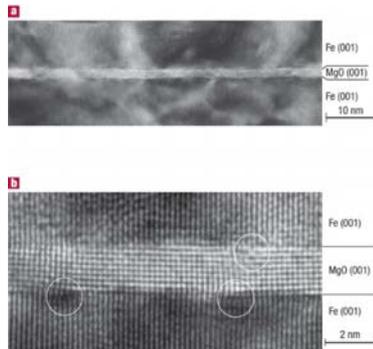


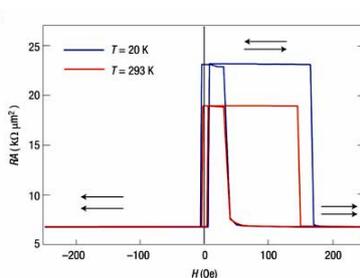
Fig. 3. Magnetoresistance curves for Fe(001)/MgO(001)(20 Å)/Fe(001) MTJ at T = 293 and 20 K. The MR ratios were 88% and 146%, respectively.

### Fe/MgO/Fe 構造の TEM 像

○Fe(001)/MgO(001)/Fe(001)がエピタキシャルに成長しており、トンネル層の乱れがほとんどない構造を得ている。また、界面での Fe 酸化層も見られていない。



### 室温で 180%もの MR 比

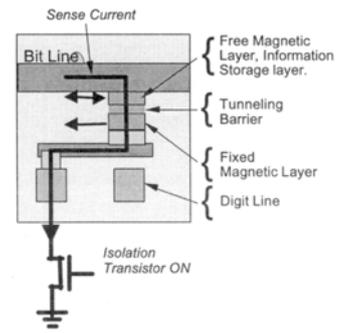


最近では、日立 GST 社において 800%に達する大きな TMR を得たという報告が ICM2006(京都 2006.8)であった。

### MRAM (磁気ランダムアクセスメモリ)

○記憶素子に磁性体を用いた不揮発性メモリ  
○MTJ と CMOS が組み合わされた構造  
○直交する 2 つの書き込み線に電流を流し、得られた磁界が反転磁界 H<sub>K</sub> を超えると、磁気状態を書き換えることができる。

OMRAMは、アドレスアクセスタイムが 10ns 台、サイクルタイムが 20ns 台と DRAM の 5 倍程度で SRAM 並み高速な読み書きが可能である。また、フラッシュメモリの 10 分の 1 程度の低消費電力、高集積性が可能などの長所がある。



○このため、FeRAM(強誘電体メモリ)、OUM(カルコゲナイド合金による相変化記録メモリ)とともに、SRAM(高速アクセス性)、DRAM(高集積性)、フラッシュメモリ(不揮発性)のすべての機能をカバーする「ユニバーサルメモリ」としての応用が期待されている。

### MRAM と他のメモリとの比較

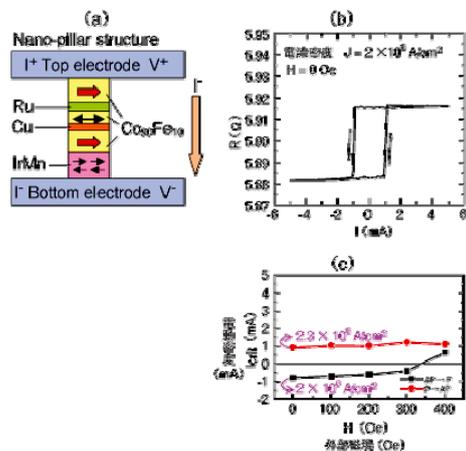
	SRAM	DRAM	Flash	FRAM	MRAM
読出速度	高速	中速	中速	中速	中高速
書込速度	高速	中速	低速	中速	中高速
不揮発性	なし	なし	あり	あり	あり
リフレッシュ	不要	要	不要	不要	不要
セルサイズ	大	小	小	中	小
低電圧化	可	限	不可	限	可

### 電流注入磁化反転

OMRAM では、bit 線と word 線に電流を流し、交点での磁界が磁性体の反転磁界を超えると、記録が行われるため超高密度化困難である。  
○スピンの偏極電流注入によるスピントルクの発生を用いることにより低電流密度での磁化反転が可能なのが判明。  
○今のところ注入電流密度は 10<sup>6</sup>A/cm<sup>2</sup> 必要なので、アドレス用のトランジスタ (MOS-FET) に流せる最大電流値 (0.1mA) を超えてしまうという大きな課題が残されている。

### スピン注入磁化反転

○猪俣ら (東北大) の研究グループは、IrMn/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>/Cu/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>/Ru/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>素子 (図a) を作成し、動作を確認した。この素子に直接電流を流したところ (スピン注入)、電流の方向によって中央の Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>合金層のスピンの向きが反転し、磁化が反転することが観測された (図b)。



## 第2部：光記録(Optical recording)

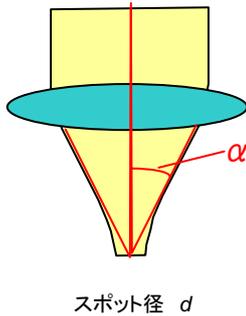
光ディスクは、光を使って情報の読み出しを行うメモリである。記録については、再生専用のものはプラスチックの成型で行われるが、記録可能な物については光の熱が用いられる。1980年代には磁気ディスクより高い面記録密度を誇っていたが、1990年代半ばで磁気ディスクに主役の座を譲った。ソフト配布用の媒体として広く用いられている。また、ビデオレコーディングについては、2000年に入って磁気テープからDVDに主役交代があった。

- 読み出しは、レーザ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。

### スポットサイズ

レンズの開口径数  $NA = n \sin \alpha$   
 $d = 0.6 \lambda / NA$

- 現行CD-ROM:  $NA = 0.6$   
 CD-ROM:  
 $\lambda = 780 \text{nm} \rightarrow d = 780 \text{nm}$ ,  
 DVD:  
 $\lambda = 650 \text{nm} \rightarrow d = 650 \text{nm}$ ,  
 BluRay:  $NA = 0.85$ ,  
 $\lambda = 405 \text{nm} \rightarrow d = 285 \text{nm}$   
 AOD:  $NA = 0.6$ ;  
 $\lambda = 405 \text{nm} \rightarrow d = 405 \text{nm}$



### 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, DVD-R, DVD+R, BD, HD-DVD

光磁気: MO, GIGAMO, MD, Hi-MD, iD-Photo

ホログラフィックメモリ、ホールバーニングメモリ

### 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

可搬性(リムーバブル)

大容量・高密度: 現行  $10 \text{Gb/in}^2$ : ハードディスク ( $100 \text{Gbit/in}^2$ ) に及ばない

超解像、短波長、近接場を利用して  $100 \text{Gbit/in}^2$  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  $\rightarrow$  MD, VTR  $\rightarrow$  DVD

高信頼性

ハードディスクに比し、ヘッドの浮上量が多い

## いろいろな光ディスク

### CD-ROM

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:  $110 \text{nm} \sim \lambda/4$  波長

反射光の位相差  $\pi$ : 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光照射により融点  $T_m$  ( $600^\circ\text{C}$ ) 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  $T_{cr}$  ( $400^\circ\text{C}$ ) 以下の加熱緩冷して結晶化。

— Highレベル:  $T_m$  以上に加熱  $\rightarrow$  急冷  $\rightarrow$  アモルファス

— Lowレベル:  $T_{cr}$  以上に加熱  $\rightarrow$  緩冷  $\rightarrow$  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

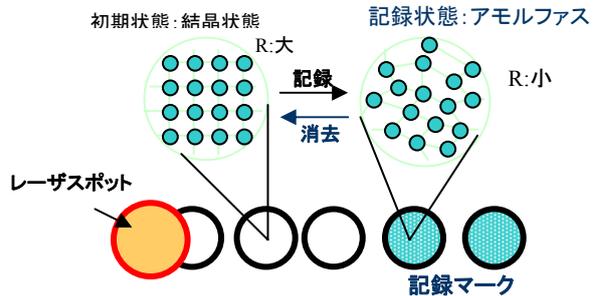
融点以上から急冷: アモルファス  $\rightarrow$  高反射率

融点以下、結晶化温度以上で徐冷: 結晶化

$\rightarrow$  低反射率

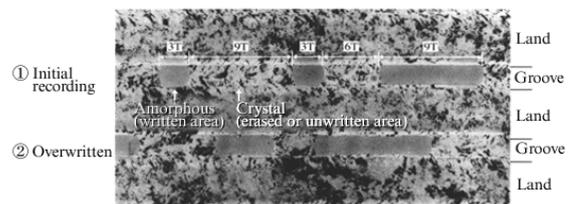
### アモルファスとはなにか

- 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

### CD-RW の SEM 像



**CD-R**

有機色素を用いた光記録光による熱で色素が分解  
加熱された基板が変形ピットとして働く

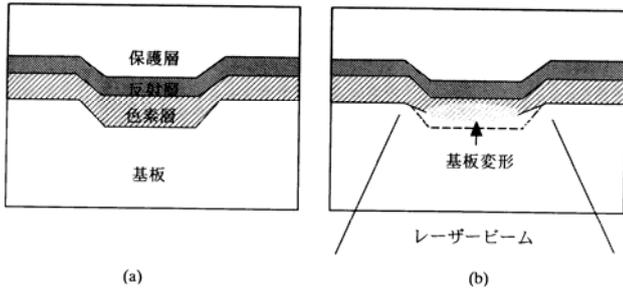


図1 未記録状態(a)、記録状態(b)を示す模式図

**DVD ファミリー**

	DVD-ROM	DVD-R	DVD-RAM	DVD-RW	DVD+RW
容量(GB)	4.7 / 9.4	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	ピット形成	熱変形型	相変化型	相変化型	相変化型
レーザー波長	650/635	650/635	650	638/650	650
最短マーク長	1層:0.4	0.4	0.41-0.43	0.4	0.4
トラック幅	0.74	0.8	0.74	0.74	0.74 HF
書き換え可能	-	-	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>

**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	1.2mm 保護層0.1mm	1.2mm(0.6mm×2層)
記録層	記録層1.1μm	記録層0.6μm
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	0.32μm	0.3-0.4μm
トラック構造	グルーブ	ランド/グルーブ
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>

**光磁気記録**

記録： 熱磁気(キュリー温度)

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

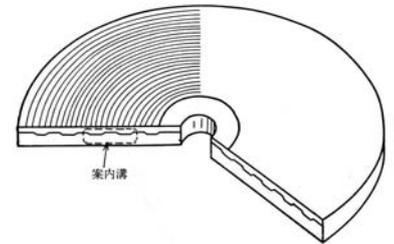
互換性が高い

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)

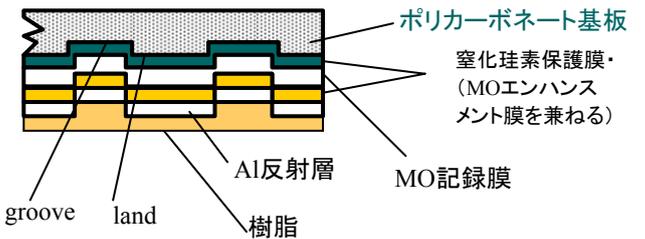
MSR, MAMMOSなど新現象の有効利用可能

**光磁気媒体の構造**



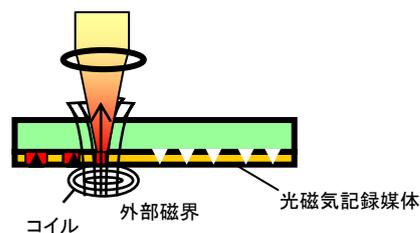
MOディスクの構造

造(ポリカーボネート/保護層/光磁気層/保護層/反射層)



**光磁気記録 情報の記録(1)**

レーザー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

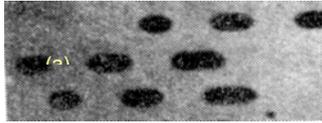
$T_{comp}$ で $H_c$ 最大:

記録磁区安定

## 2種類の記録方式

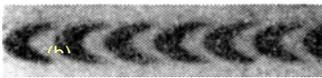
- 光強度変調(LIM): 現行MO

電気信号で光を変調;  
磁界は一定; ビット形状:長円形



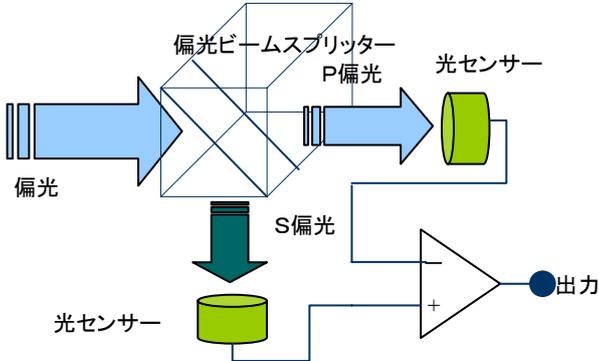
- 磁界変調(MFM): MD, ASMO

電気信号で磁界を変調;  
光強度一定; ビット形状:矢羽形



## 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



## 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

(詳細は、磁性の講義で)

MO: 3.5" 128→230→650→1.3G→2.3G

MD(6cm)

iD-Photo, Canon-Panasonic(5cm)

## 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

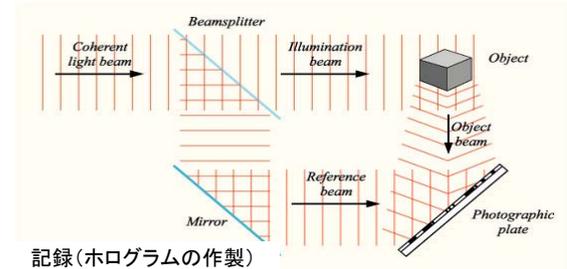
## 多層化による高密度化

- 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。

## 発展的学習

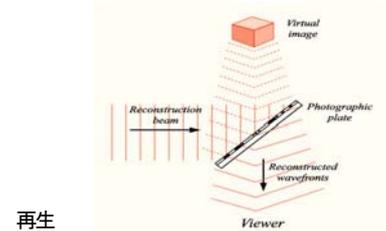
### ホログラフィ

- 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ーが開発されてからである。



### 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。

### 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。

### 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、ここにきて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。  
(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・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)

オプトウエ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。