

物理学特別講義 I  
2006.12.06

物理学特別講義 I  
磁気光学効果の基礎と応用(2)基礎編

客員教授  
佐藤勝昭

# 3. 磁気光学効果の応用

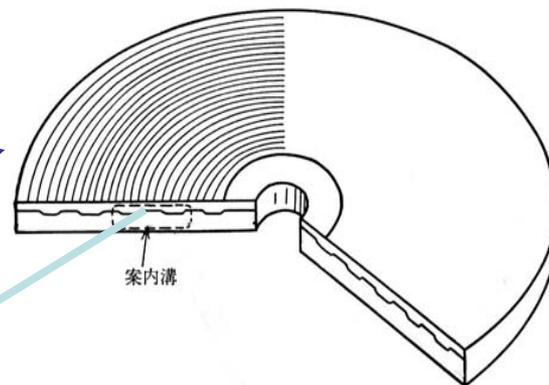
---

# 3.1 光磁気ディスク

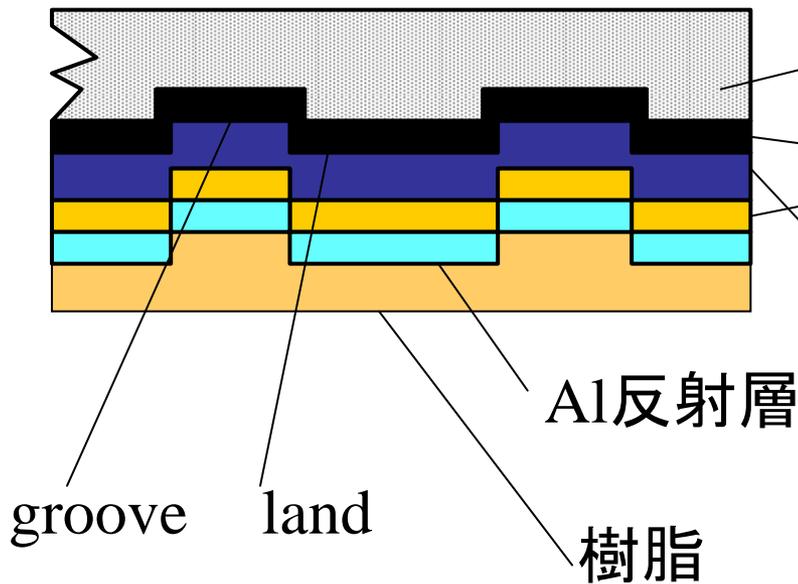
---

- 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



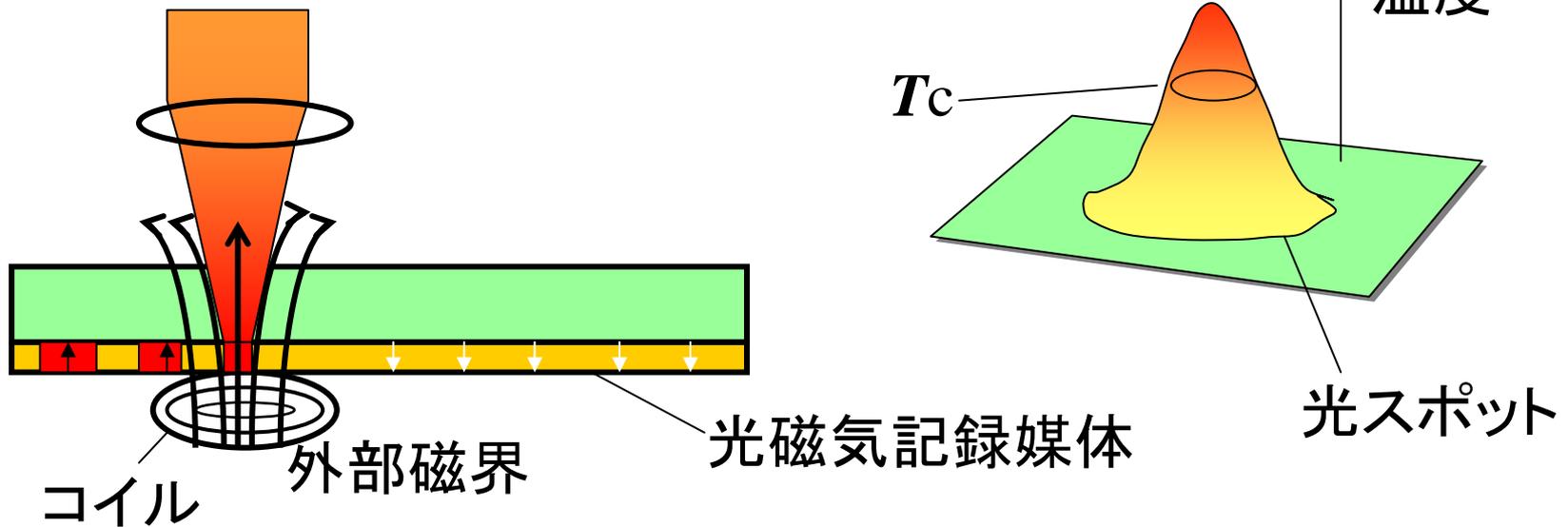
ポリカーボネート基板

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)

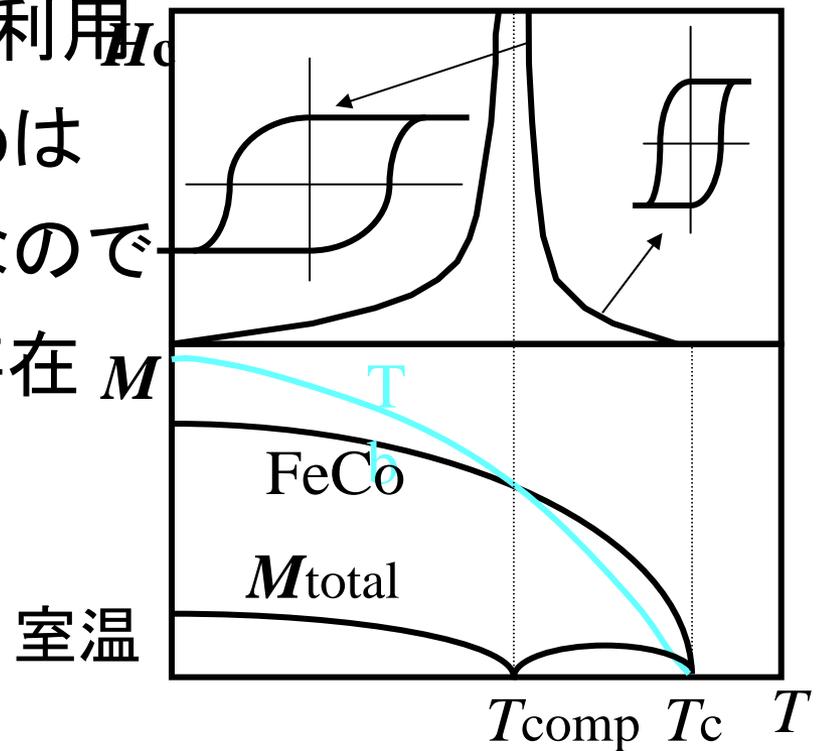
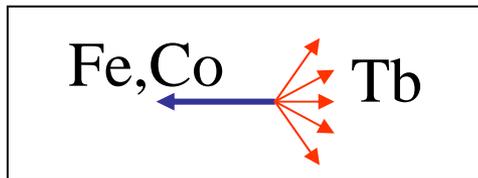
# 光磁気記録 情報の記録(1)

- 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

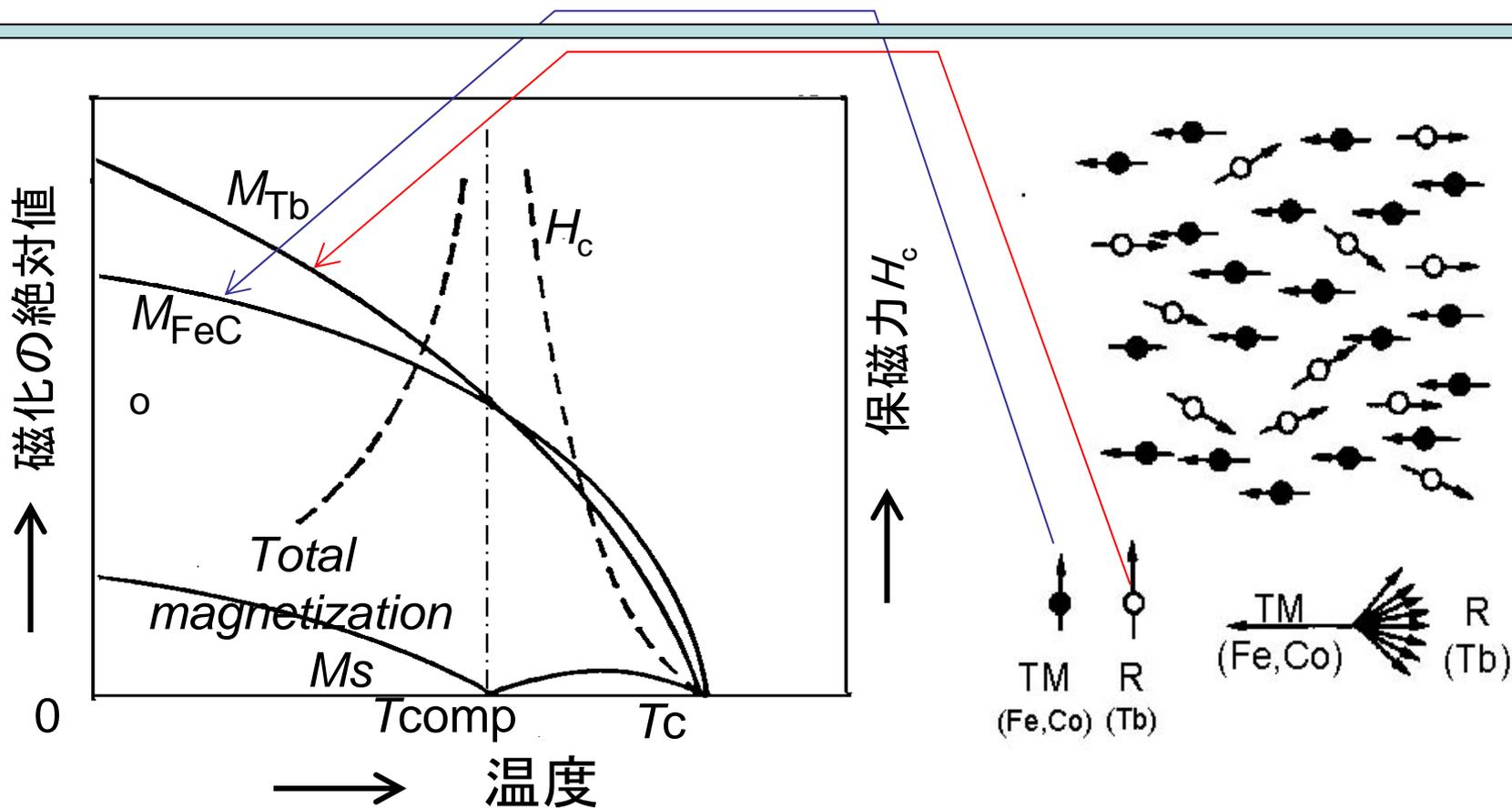


# 光磁気記録 情報の記録(2)

- 補償温度 ( $T_{\text{comp}}$ ) 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  $T_{\text{comp}}$  が存在
- $T_{\text{comp}}$  で  $H_c$  最大:
  - 記録磁区安定



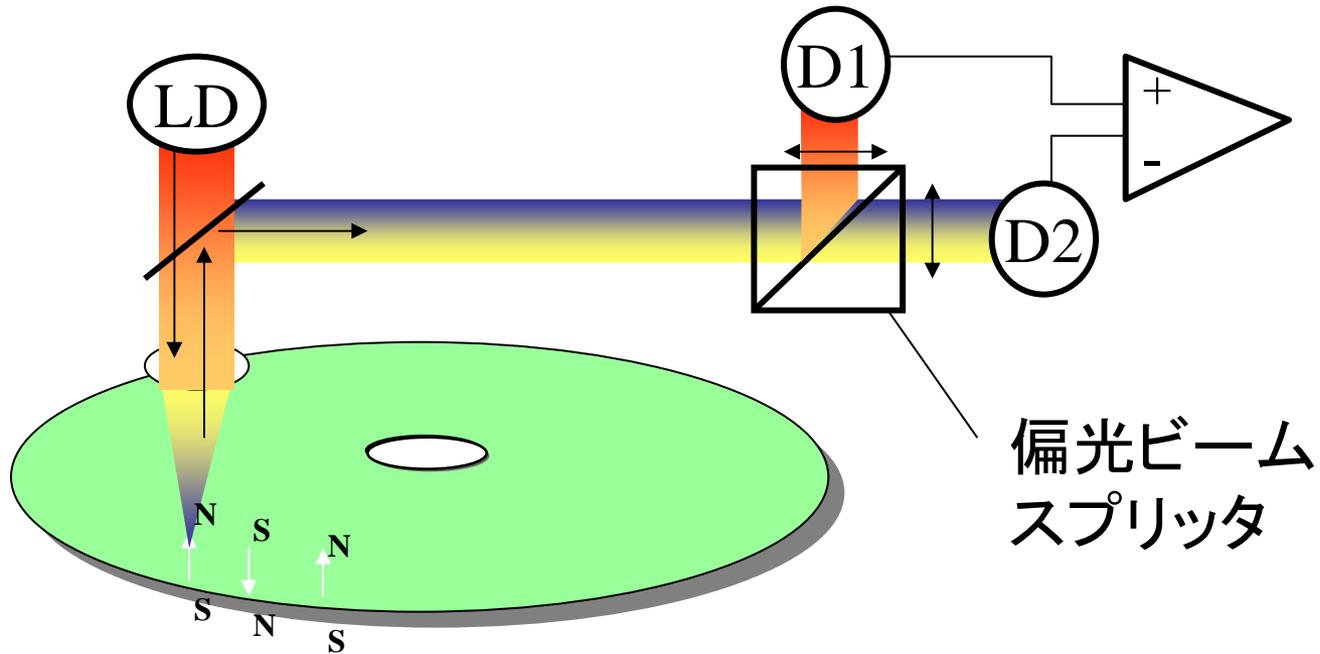
# $\alpha$ -TbFeCo MO媒体



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。

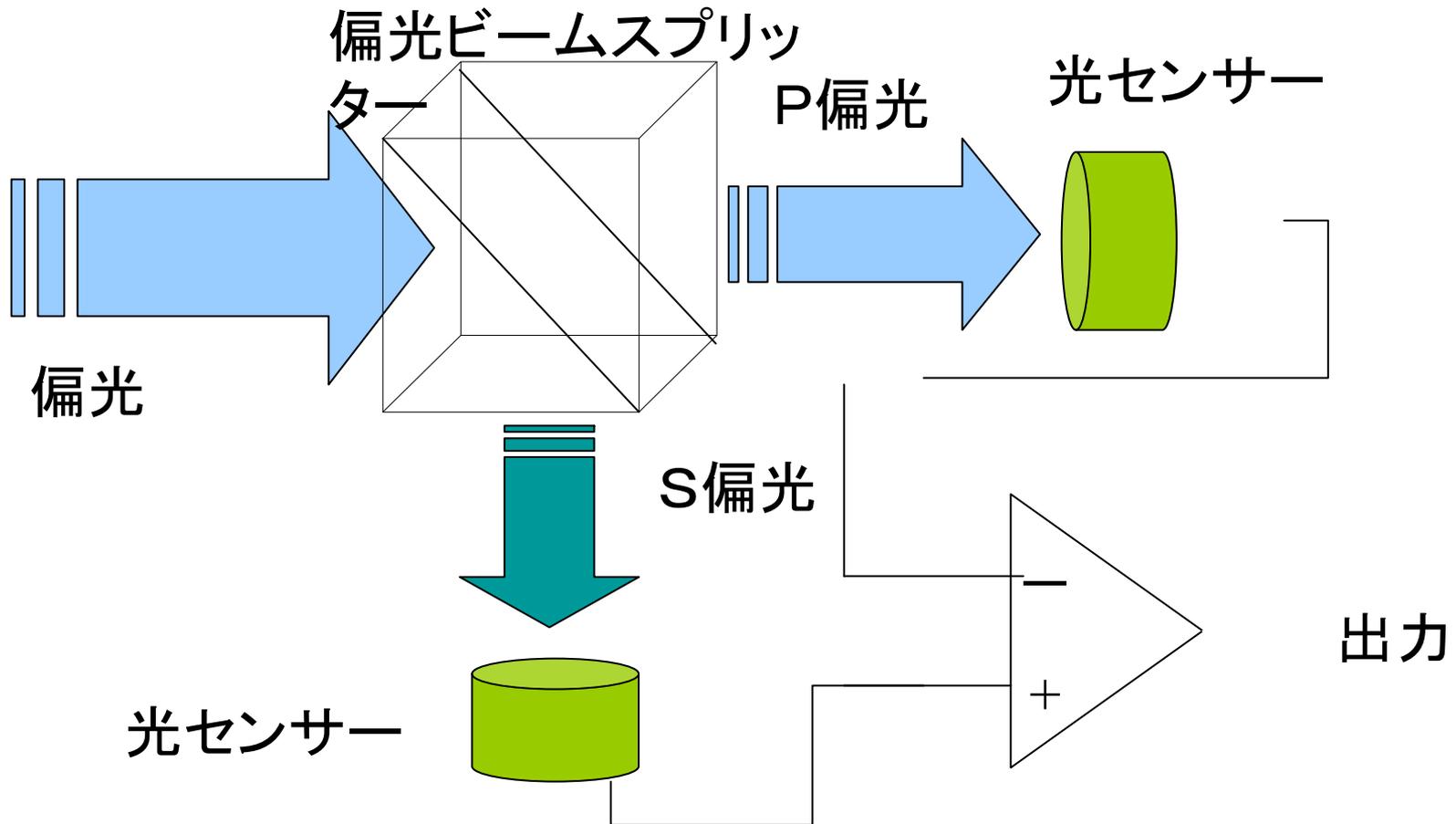
# 光磁気記録 情報の読み出し

- 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

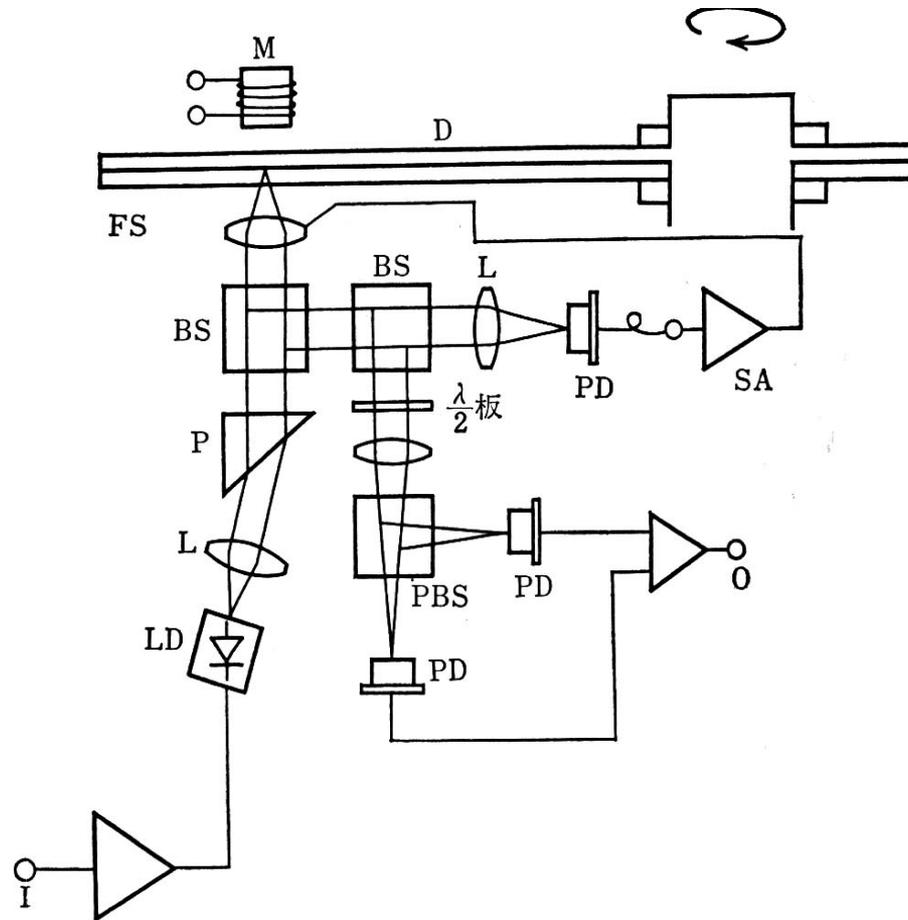
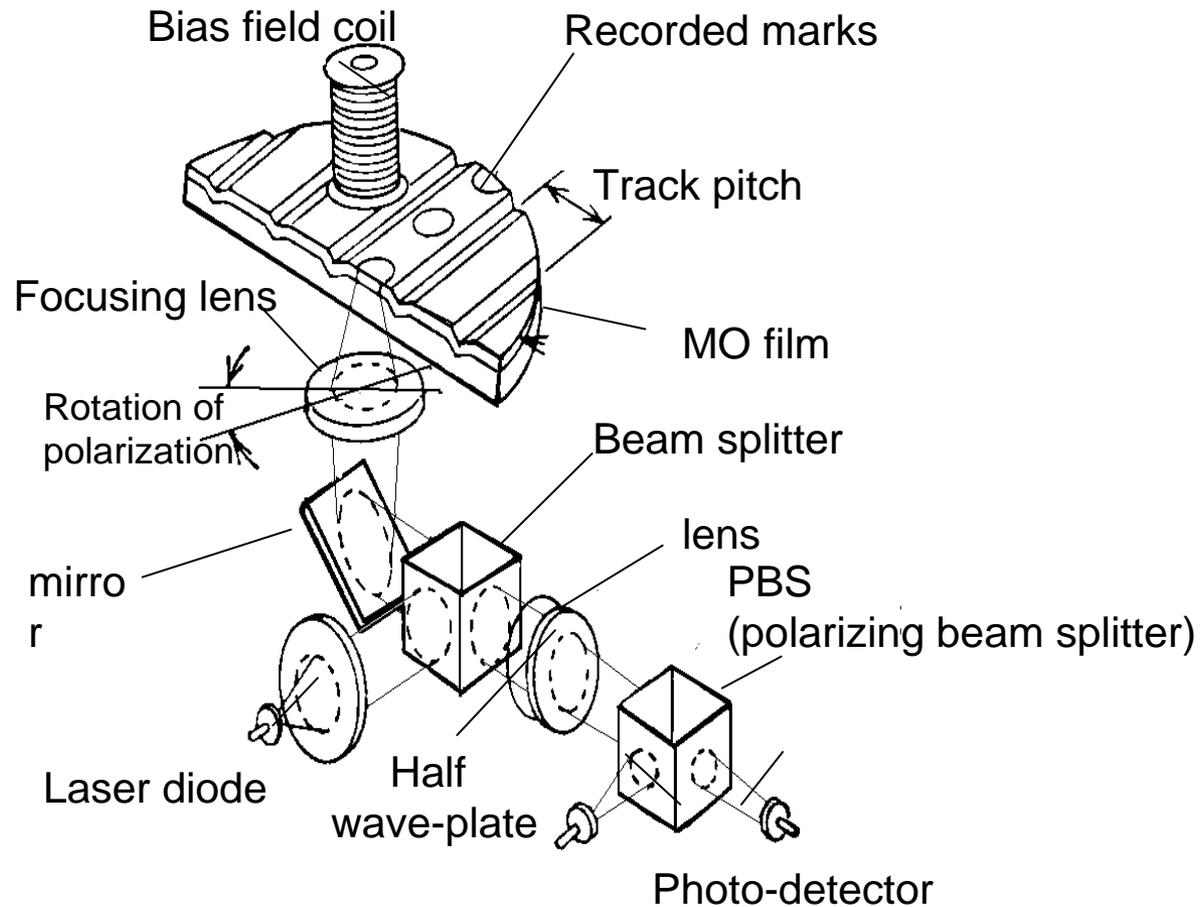


図 7.9 光磁気記録再生システムの模式図<sup>20)</sup>

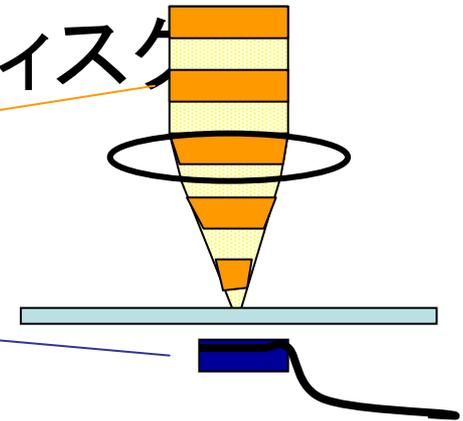
# MOドライブの光ヘッド



# 2種類の記録方式

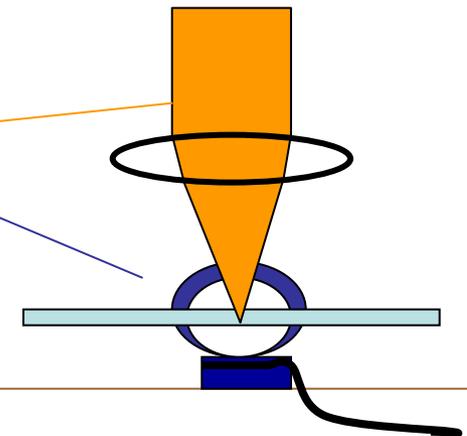
- **光強度変調(LIM)**: 現行のMOディスク

- 電気信号で光を変調
- 磁界は一定
- ビット形状は長円形



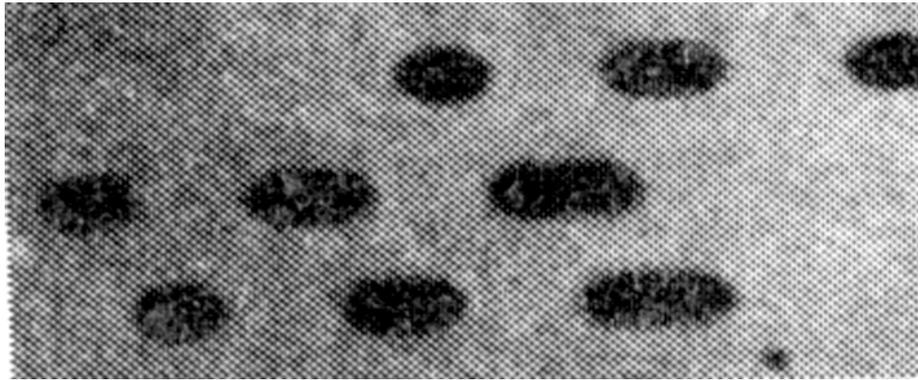
- **磁界変調(MFM)**: 現行MD, iD-Photo

- 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

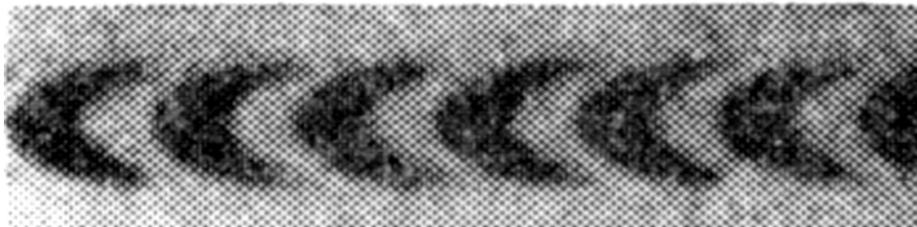


# 記録ビットの形状

---



(a)



(b)

# 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 $d=0.28$   $\mu\text{m}$ 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 $d=0.28$   $\mu\text{m}$ としビット長を $d/2=0.14$   $\mu\text{m}$ とすると16 Gb/in<sup>2</sup>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/in<sup>2</sup>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/in<sup>2</sup>程度である。

# 磁気誘起超解像技術(MSR)

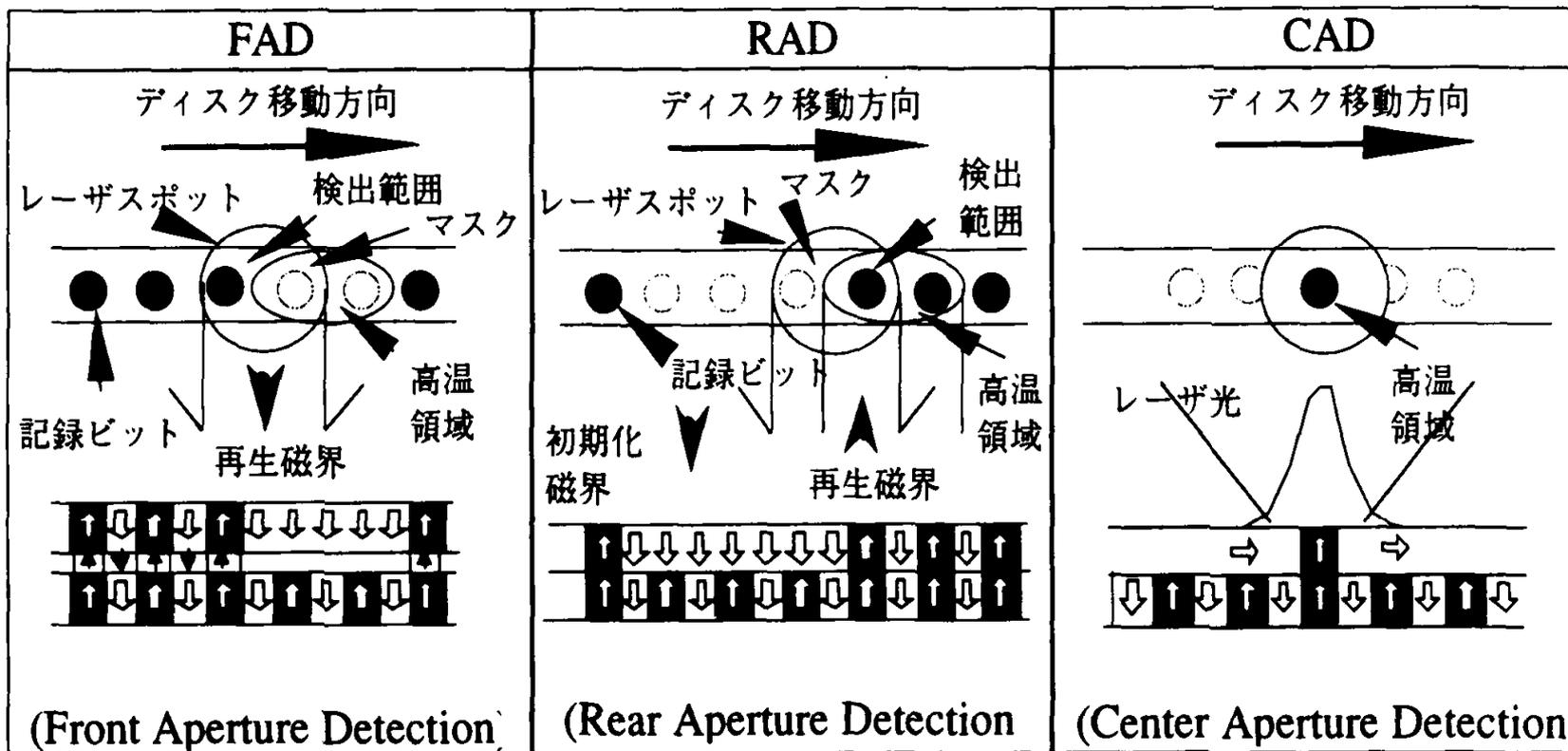
---

- 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 $0.3\mu\text{m}$ 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/in<sup>2</sup>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/in<sup>2</sup>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



# 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

---

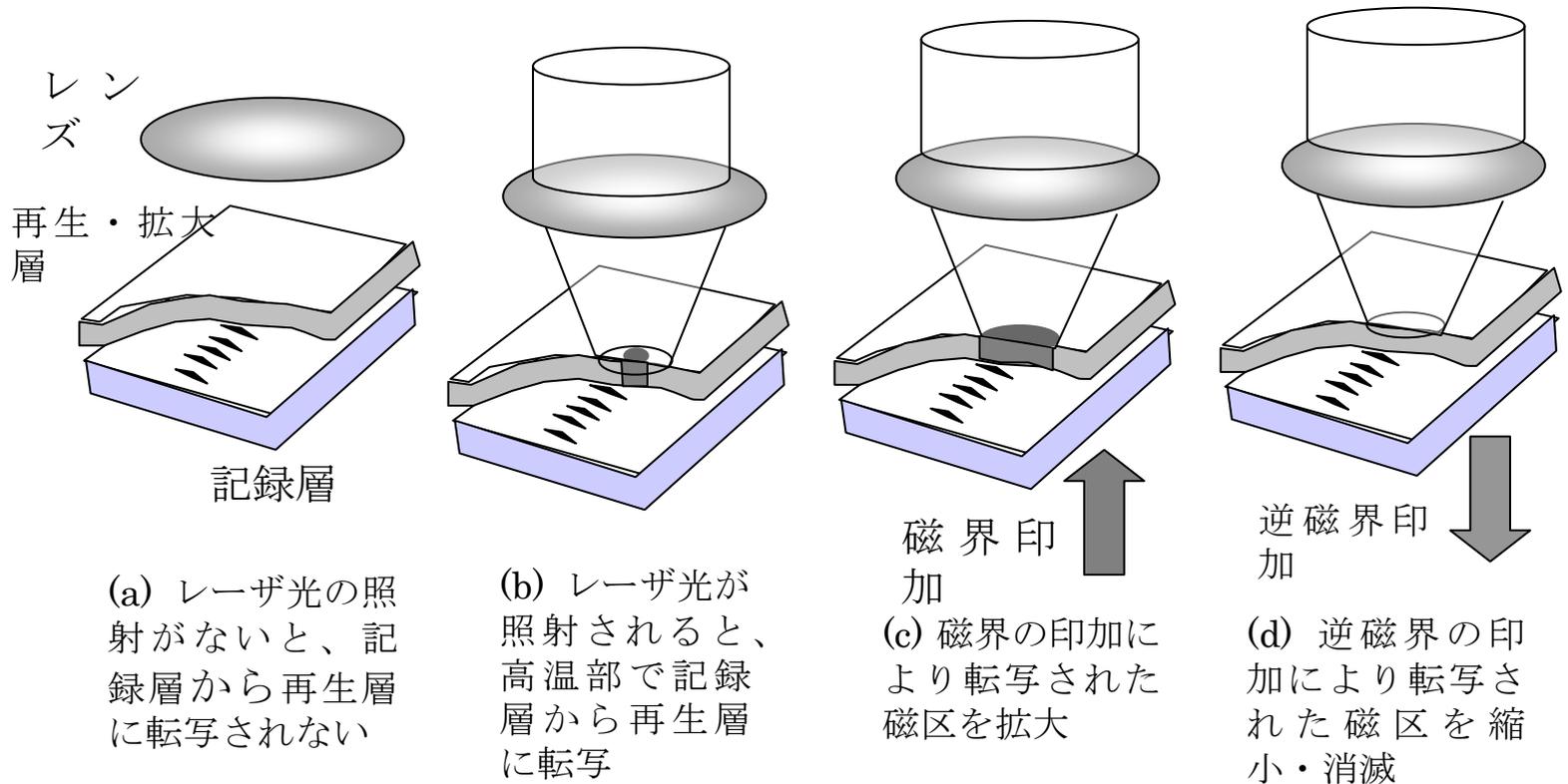
- MAMMOSでは記録層から読み出し層に転写する際に磁界によって磁区を拡大して、レーザー光の有効利用を図り信号強度を稼いでいる[1]。原理的にはこの技術を用いて100 Gb/in<sup>2</sup>の記録密度が達成できるはずで、実験室レベルで64 Gb/in<sup>2</sup>程度までは実証されているようである[2]。無磁界MAMMOSも開発されている。

[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)



# 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年に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)

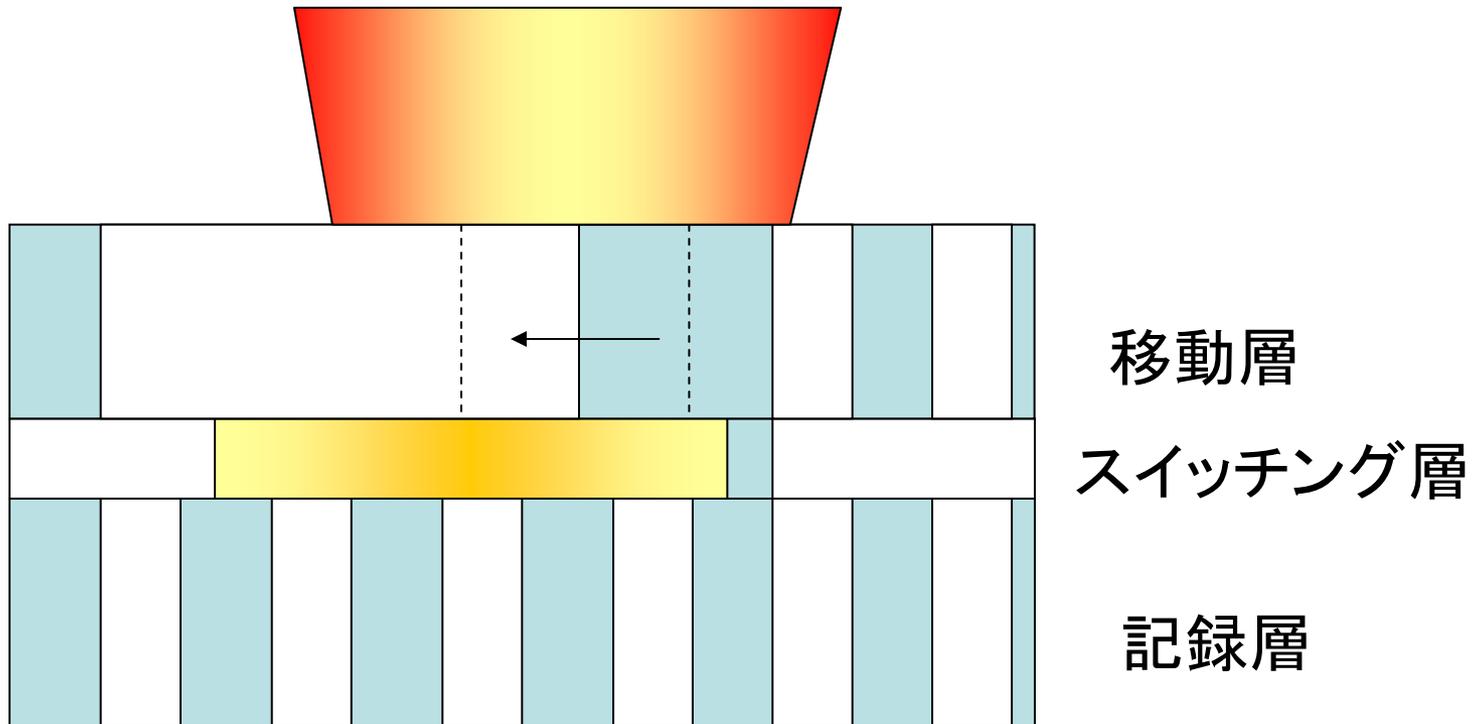
---

- 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. 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  $\mu\text{m}$ 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/in<sup>2</sup>、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/in<sup>2</sup>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.

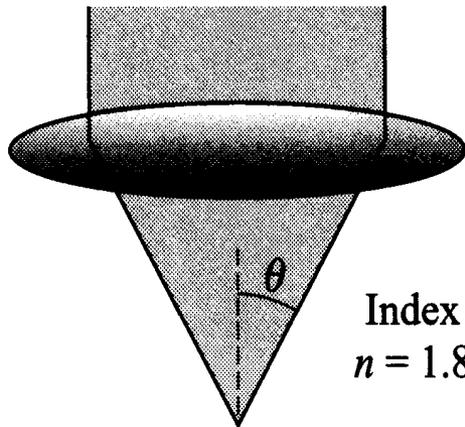
[2] B. D. Terris, H.J. Maminn and D. Ruger: Appl. Phys. Lett. **68** (1996) 141.

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

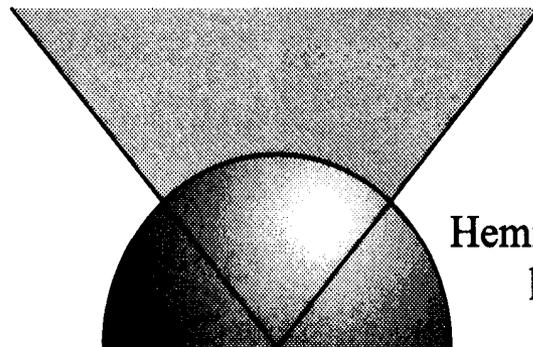
Conventional  
optical recording



Index  
 $n = 1.8$

$$\text{Spot size} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

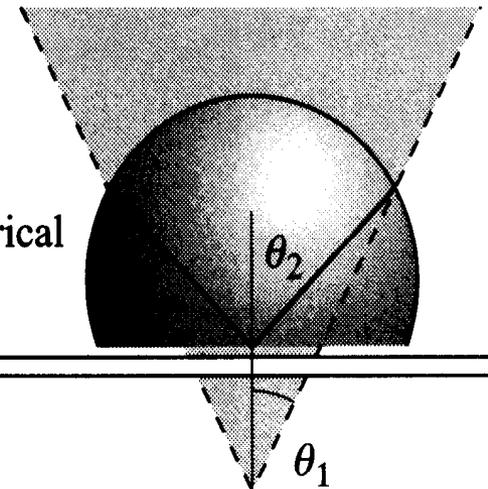
Solid immersion lens



Hemispherical  
lens

$$\text{Spot size} = \frac{\lambda}{2n \sin \theta}$$

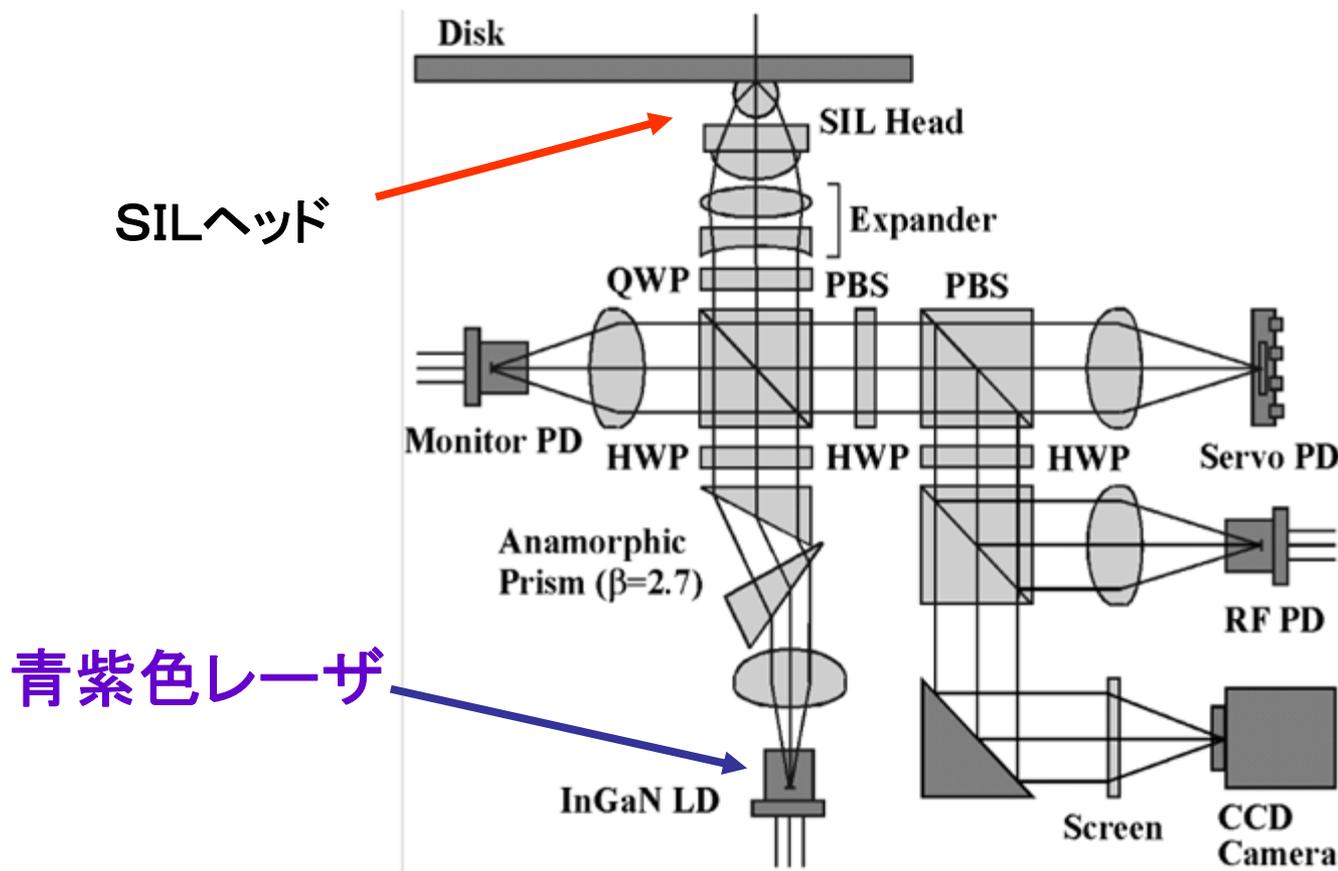
Supersphere SIL



$$\text{Spot size} = \frac{\lambda}{2n^2 \sin \theta_1}$$

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

# 青紫レーザーとSILによる記録再生

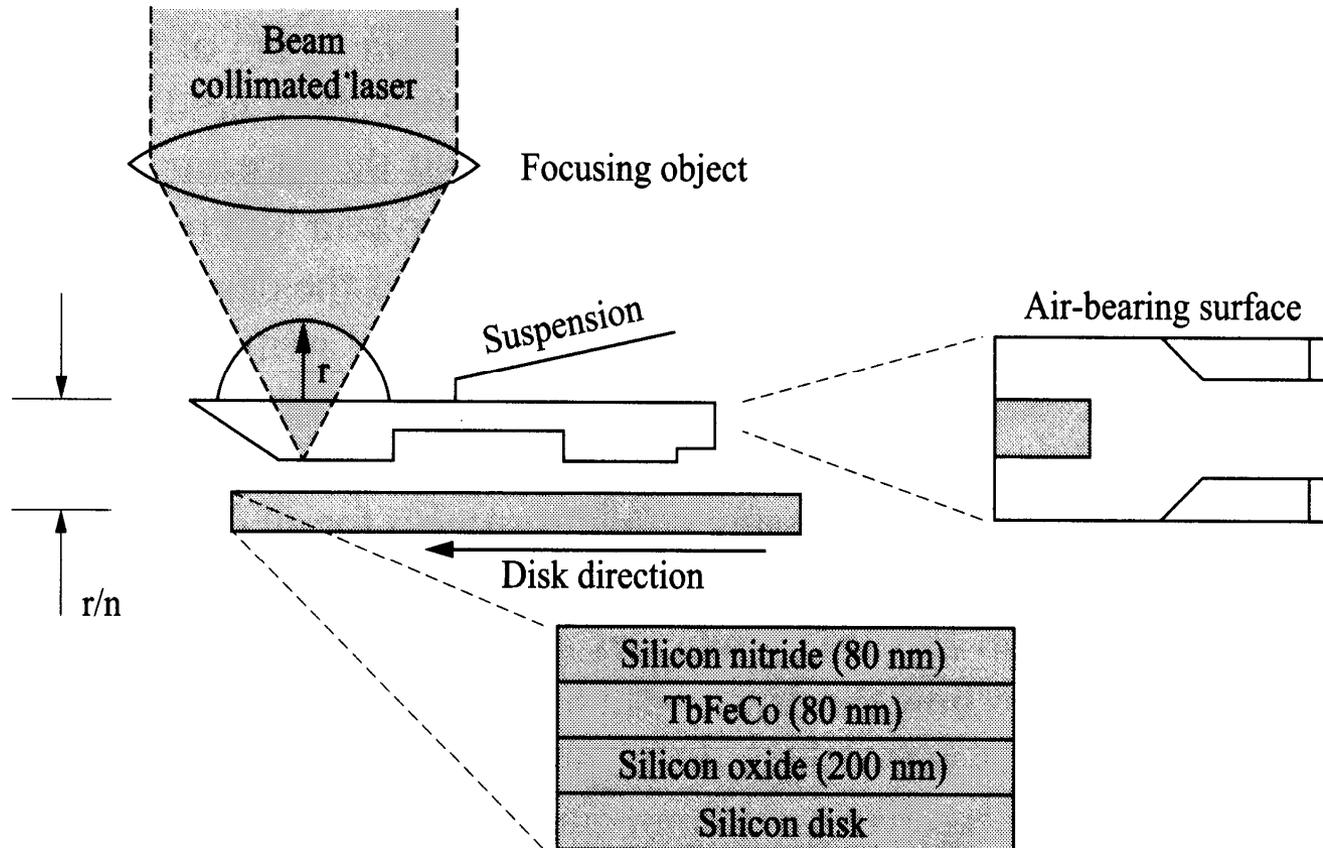


NA=1.5  
405nm  
80nm  
mark  
40GB

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

Fig. 1. Schematic diagram of the optical block.

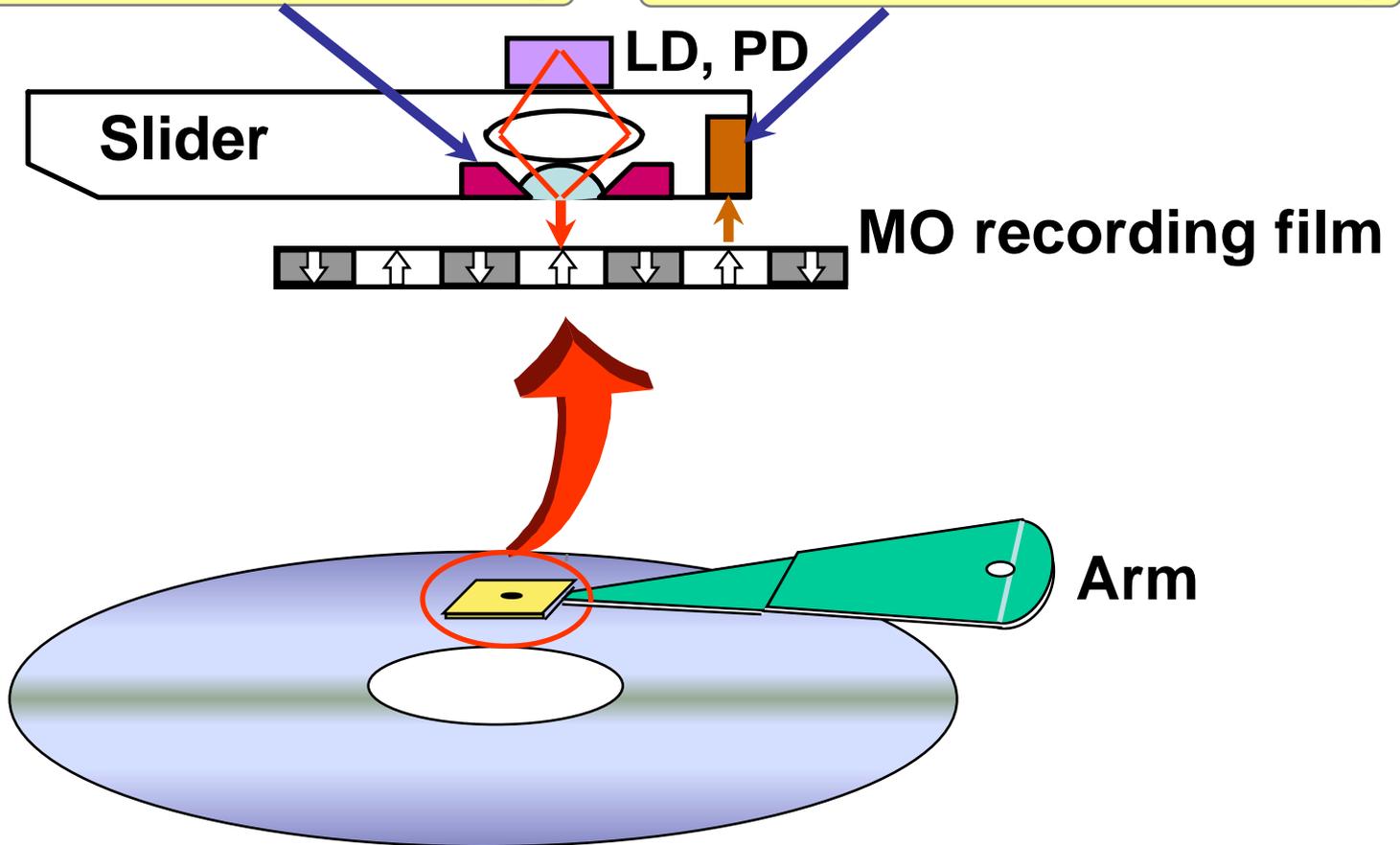
# SILを用いた光記録



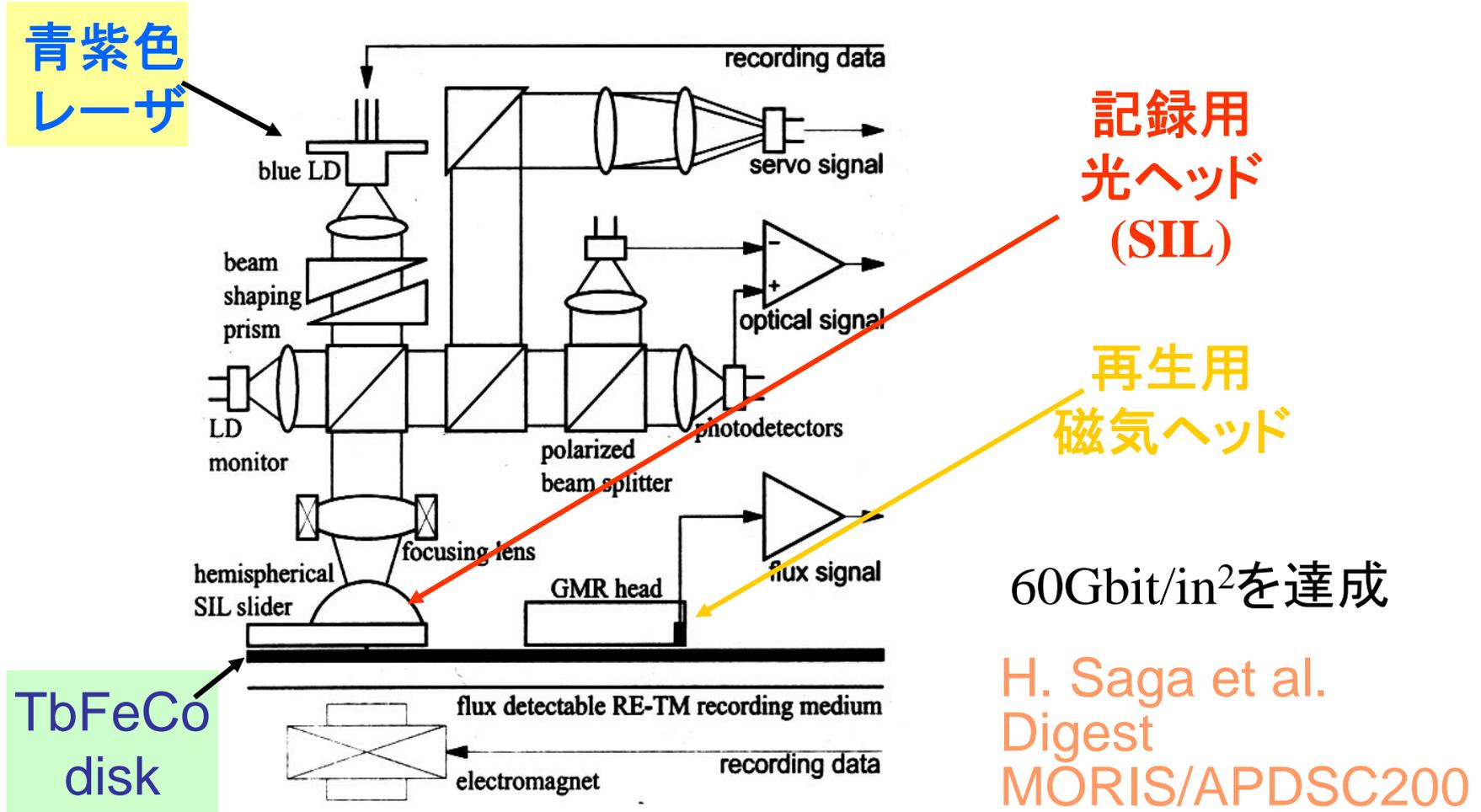
# 熱磁気記録/磁束検出法

Magnetic coil for recording

GMR element for reading

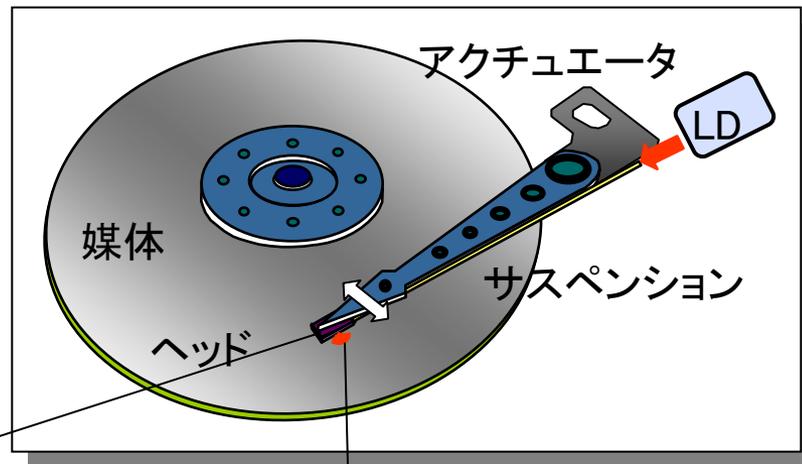


# 光アシストハードディスク



# 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

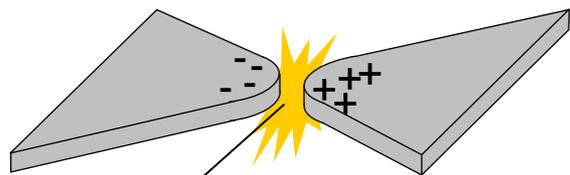


近接場光記録ヘッド

+

近接場光再生ヘッド

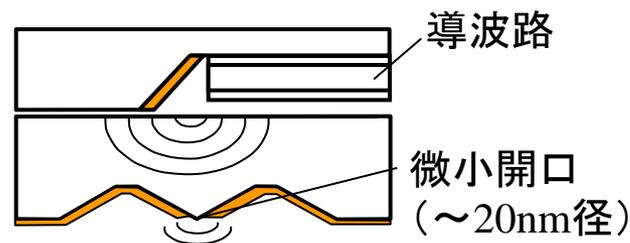
プレーナ・プラズモンヘッド(記録)



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

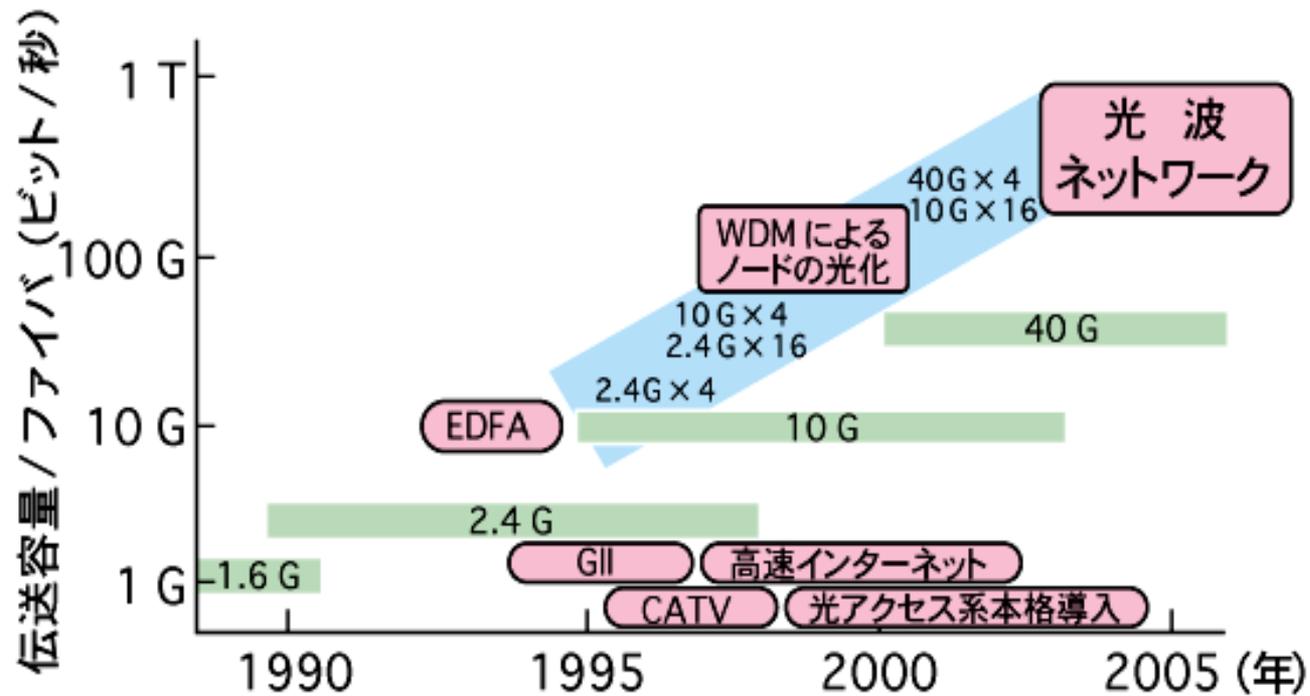
偏光制御ヘッドシステム(再生)



高C/N比 小型薄型化

# 3.2 光通信デバイスと磁気光学材料

図-1 光通信システムの展開



# 光通信における 磁気光学デバイスの位置づけ

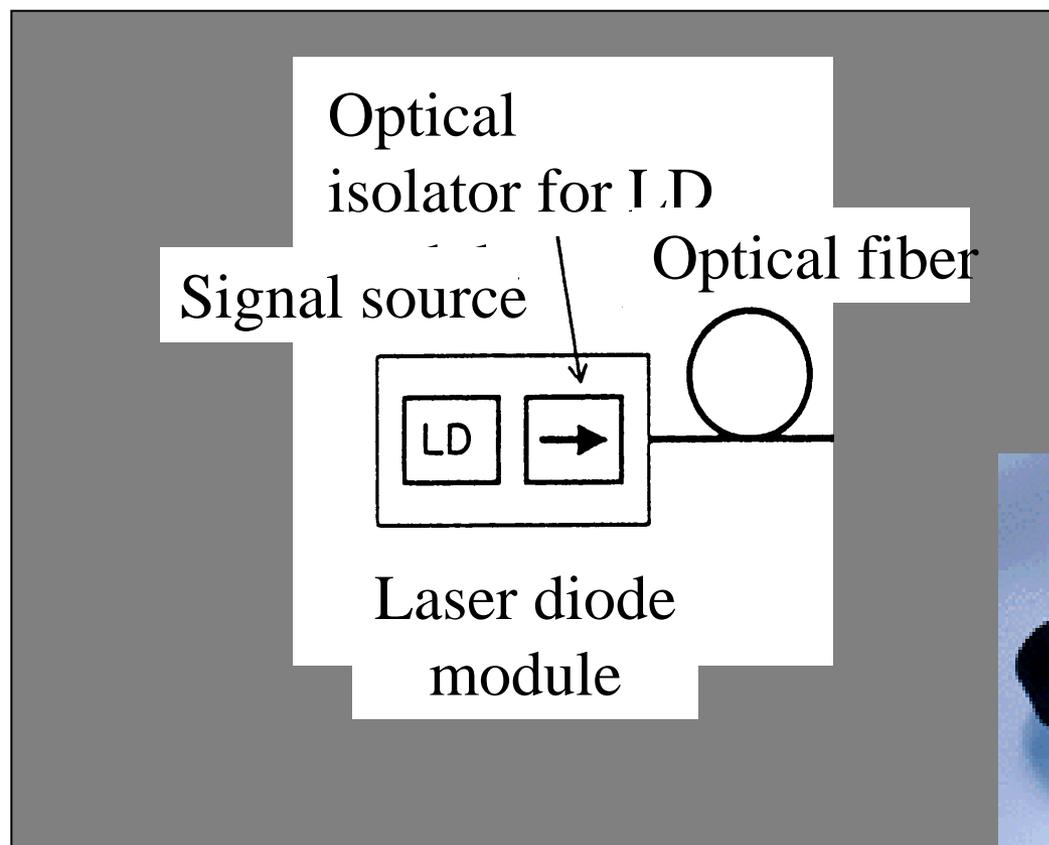
---

- ・ 戻り光は、LDの発振を不安定にしノイズ発生の原因になる→アイソレータで戻り光を阻止。
- ・ WDMの光アドドロップ多重(OADM)においてファイバグレーティングと光サーキュレータを用いて特定波長を選択
- ・ EDFAの前後にアイソレータを配置して動作を安定化。ポンプ用レーザについても戻り光を阻止
- ・ 光アッテネータ、光スイッチ

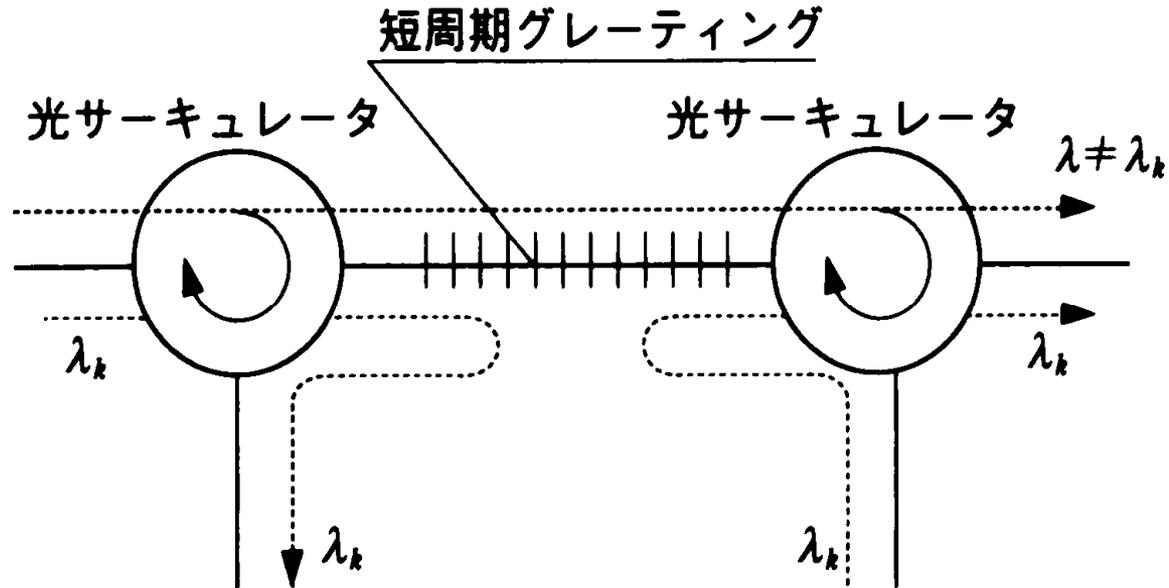
# 半導体レーザーモジュール用アイソレータ

## レータ

---

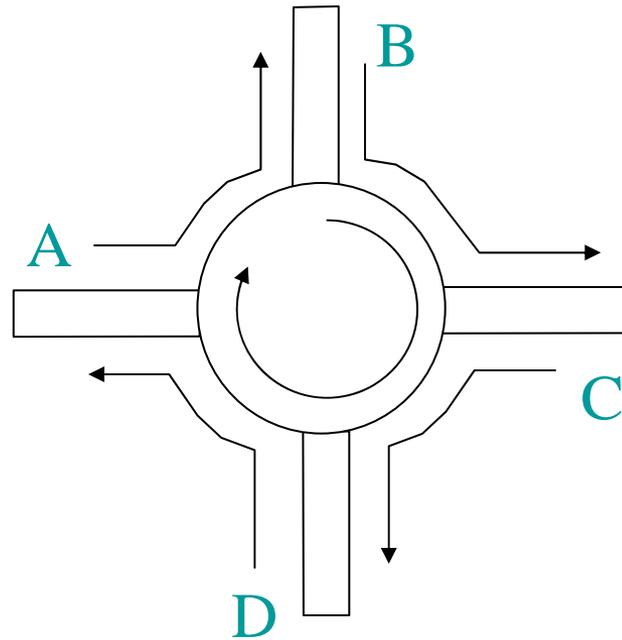


# 光アドドロップとサーキュレータ

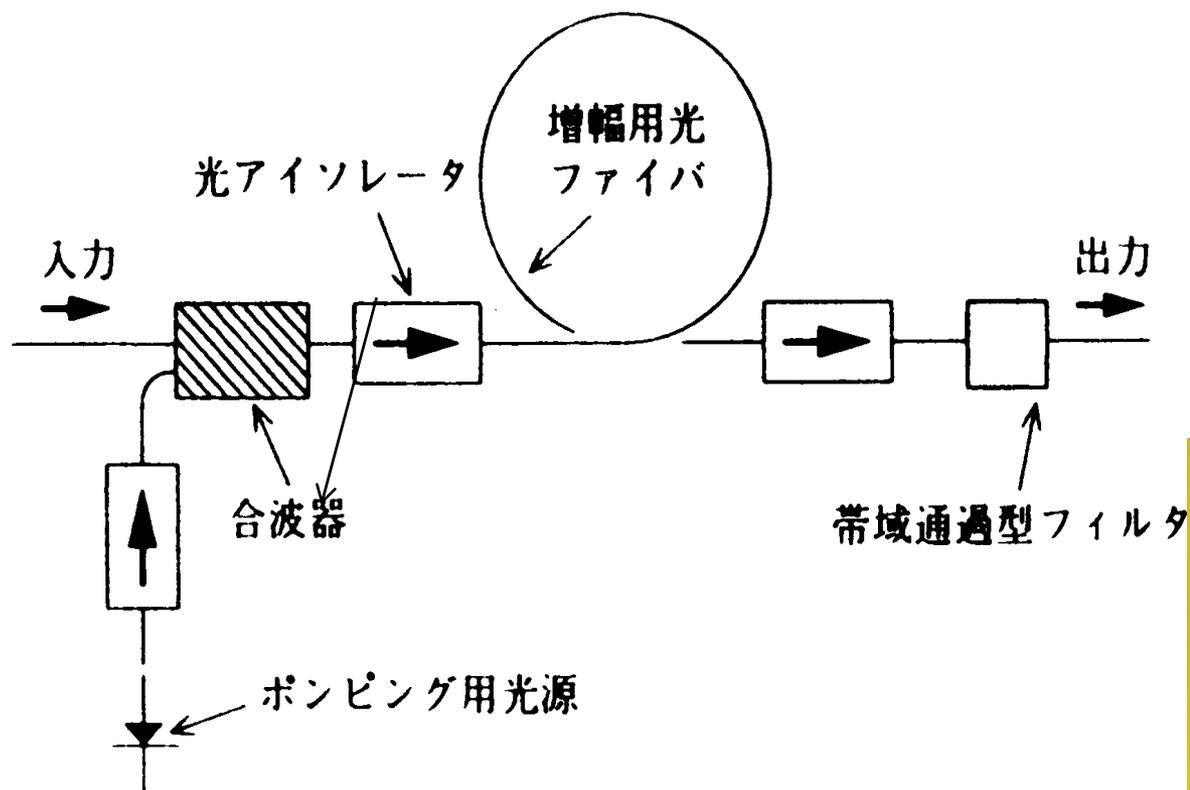


# 光サーキュレータ

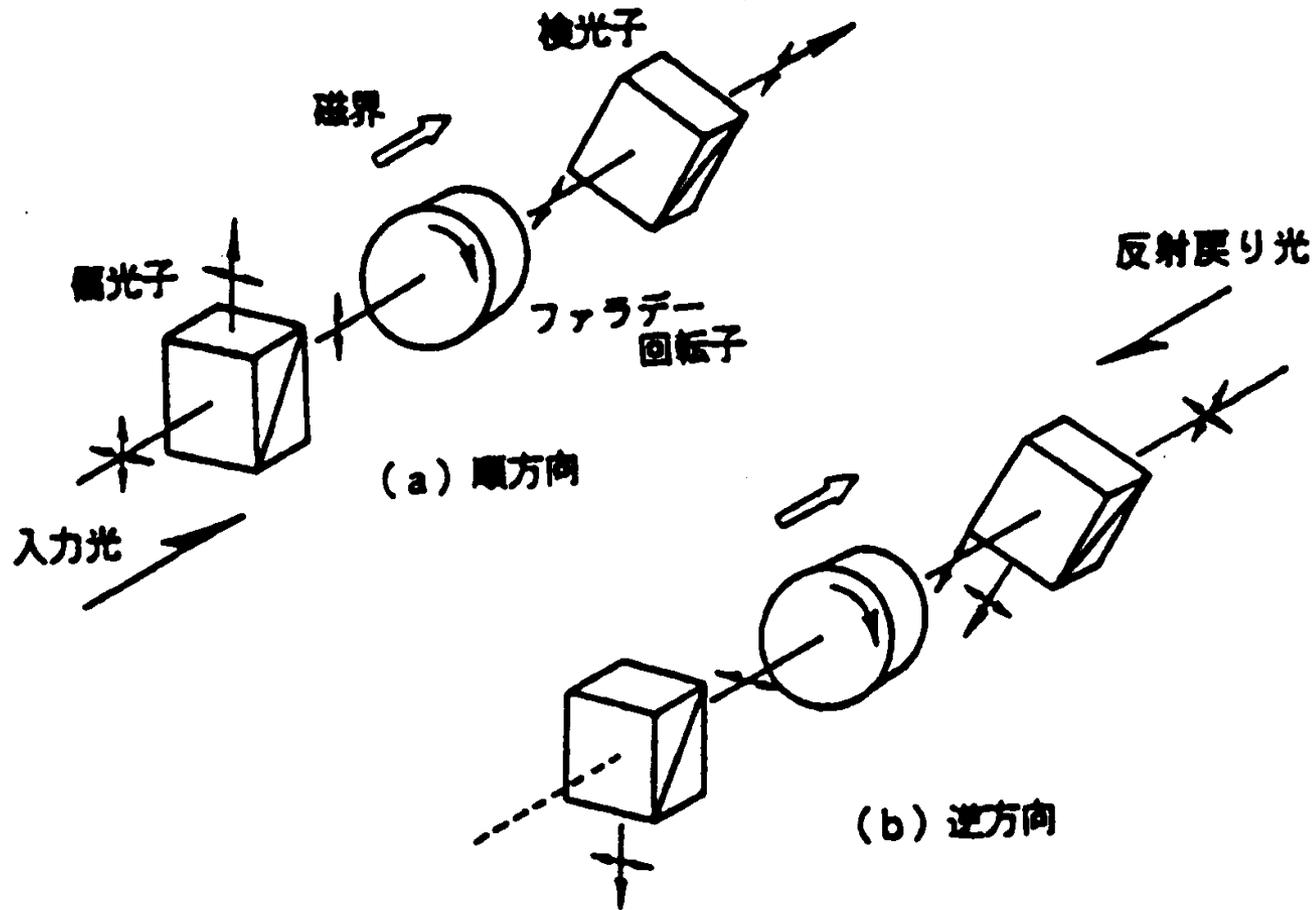
---



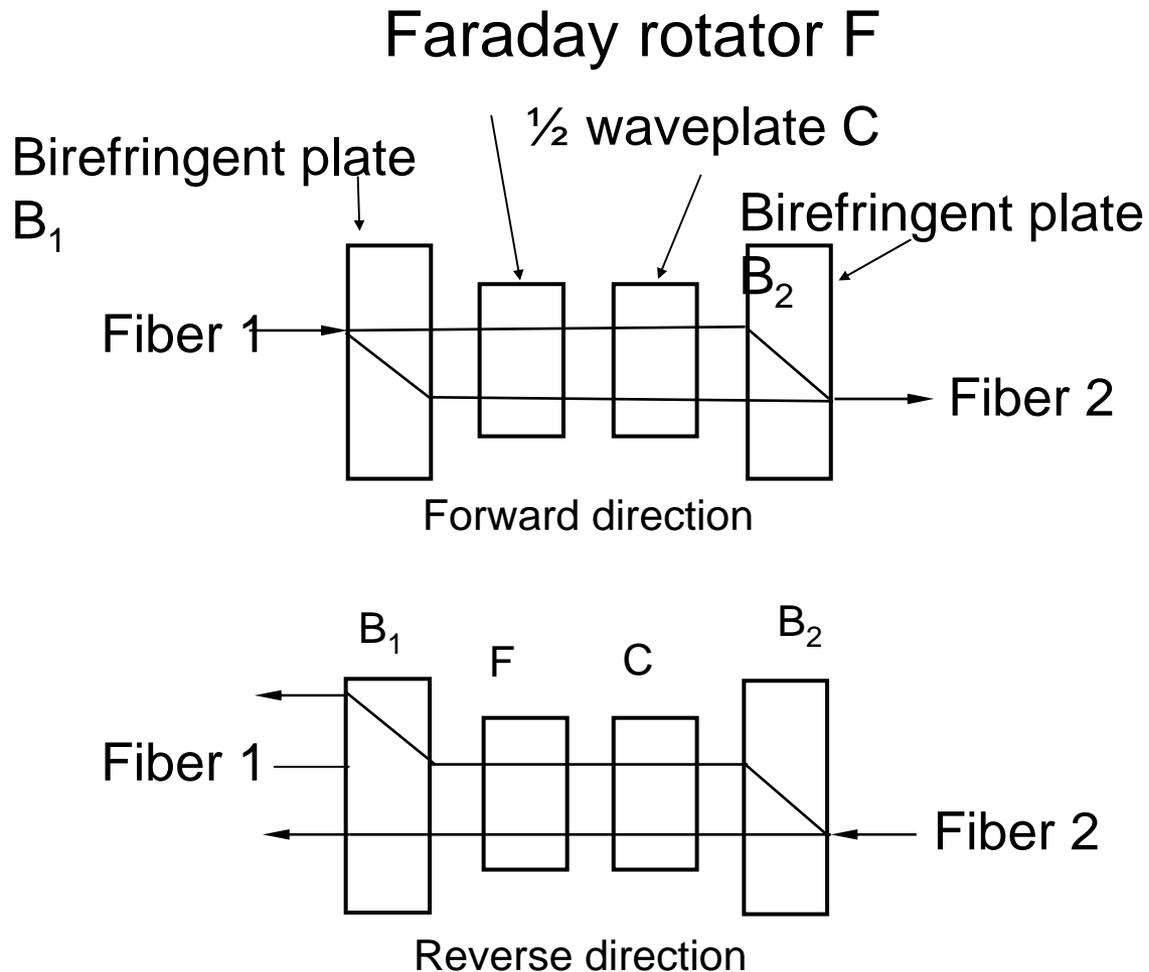
# 光ファイバ増幅器とアイソレータ



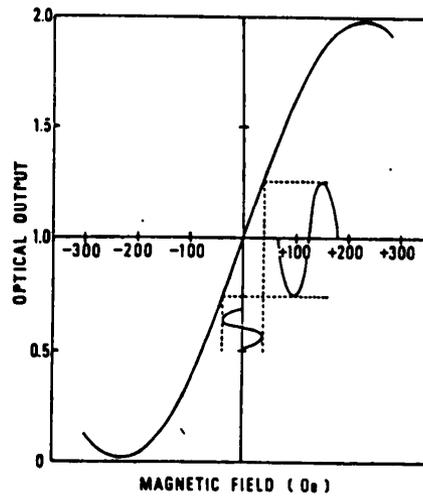
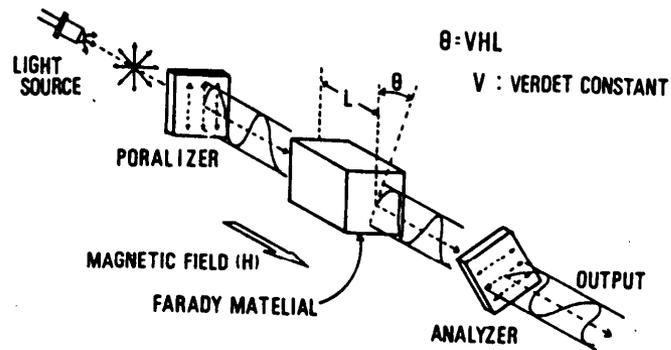
# 偏光依存アイソレータ



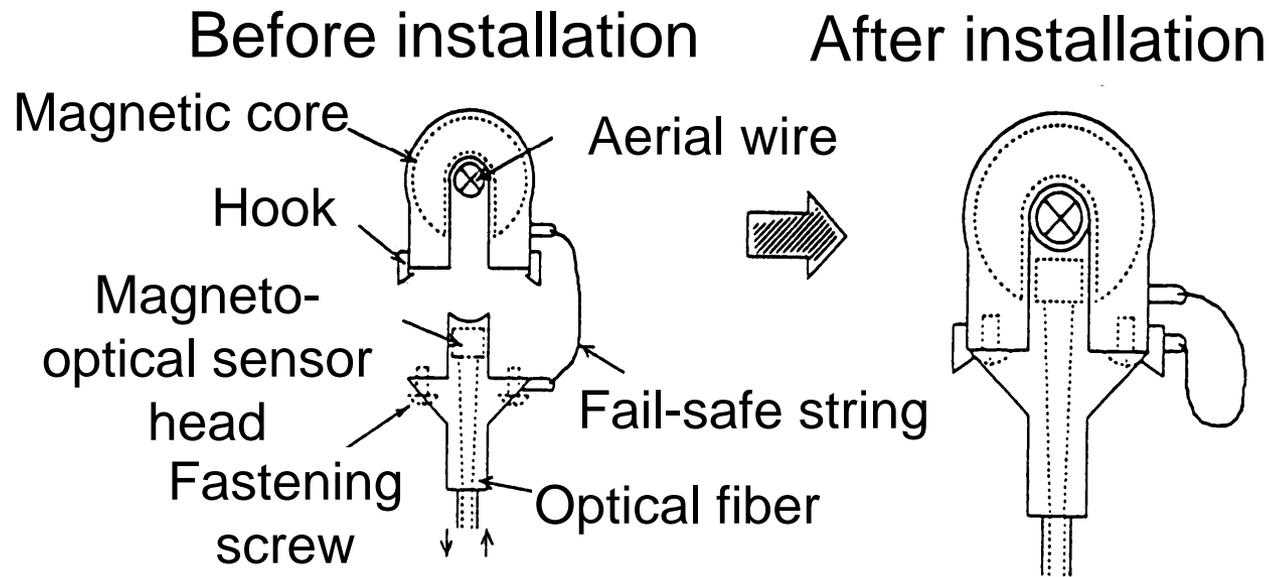
# 偏光無依存アイソレータ



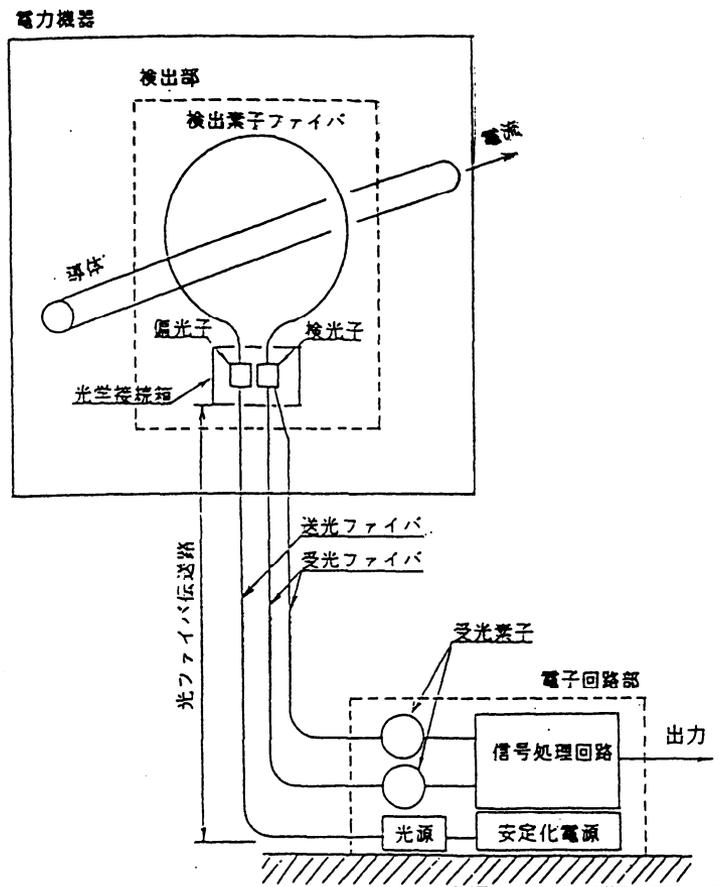
# 3.3 電流磁界センサ



# 電流センサ



# 光ファイバ磁界センサ



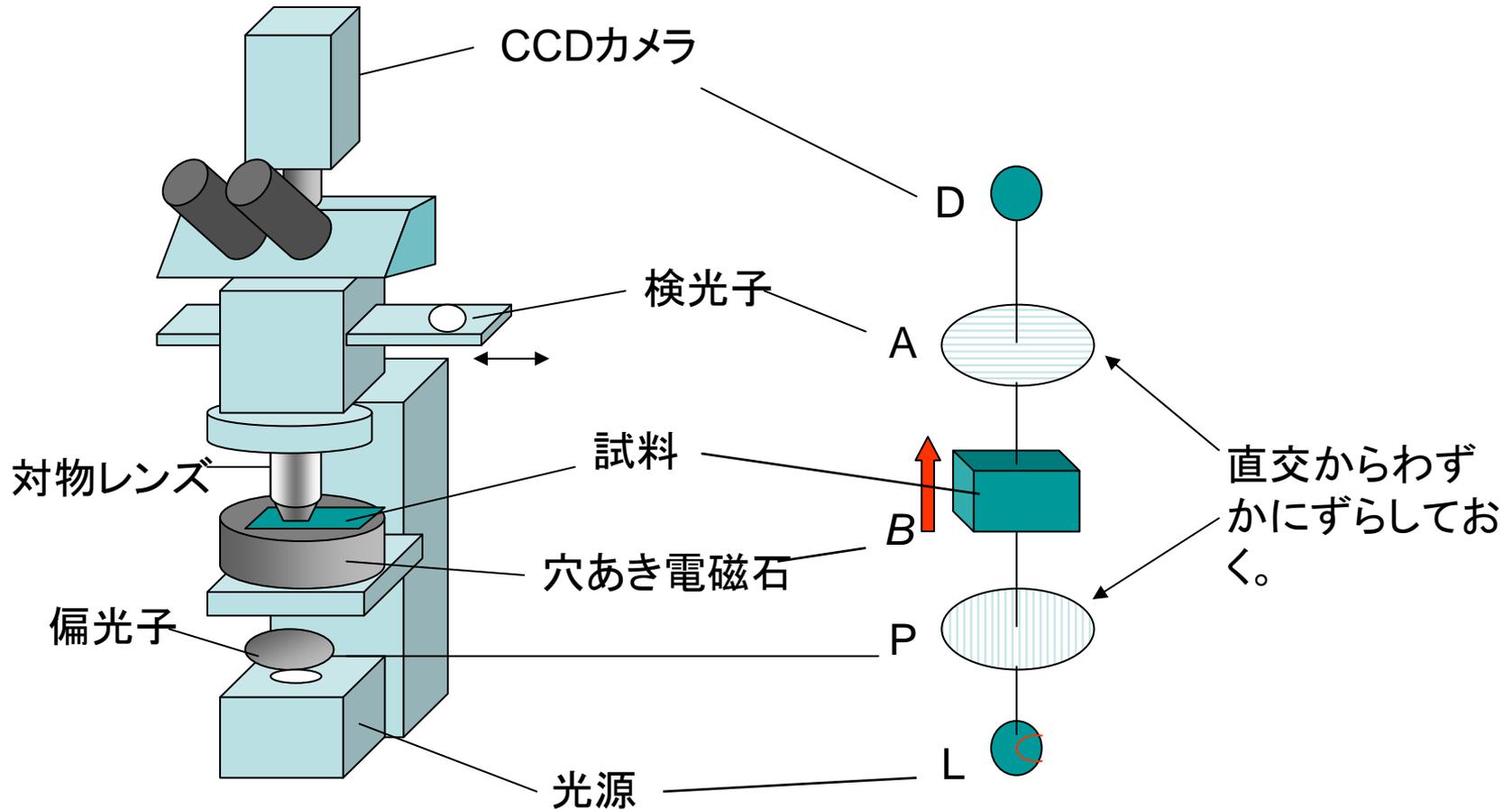
## 3.4 非接触磁気イメージング

---

3.4.1 磁気光学顕微鏡

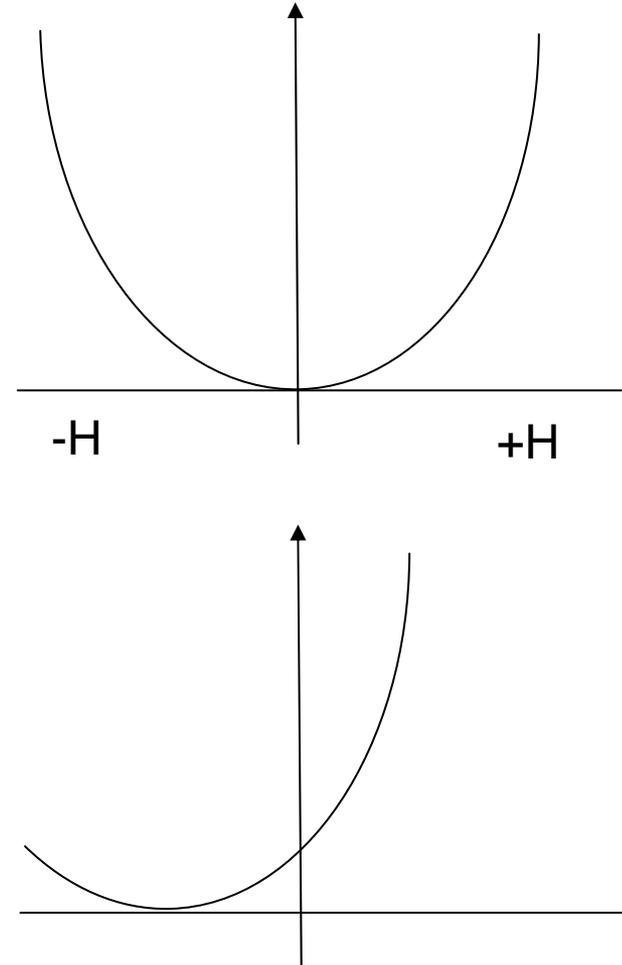
3.4.2 近接場磁気光学顕微鏡

# 3.4.1 磁気光学顕微鏡



# 磁気光学顕微鏡による磁区観察

- クロスニコル条件では、磁化の正負に対して対称になり、磁気コントラストがでないので、偏光子と検光子の角度を $90^\circ$ から $4^\circ$ 程度ずらしておくと、コントラストが得られる。



# ガーネットの磁区の磁気光学像

---

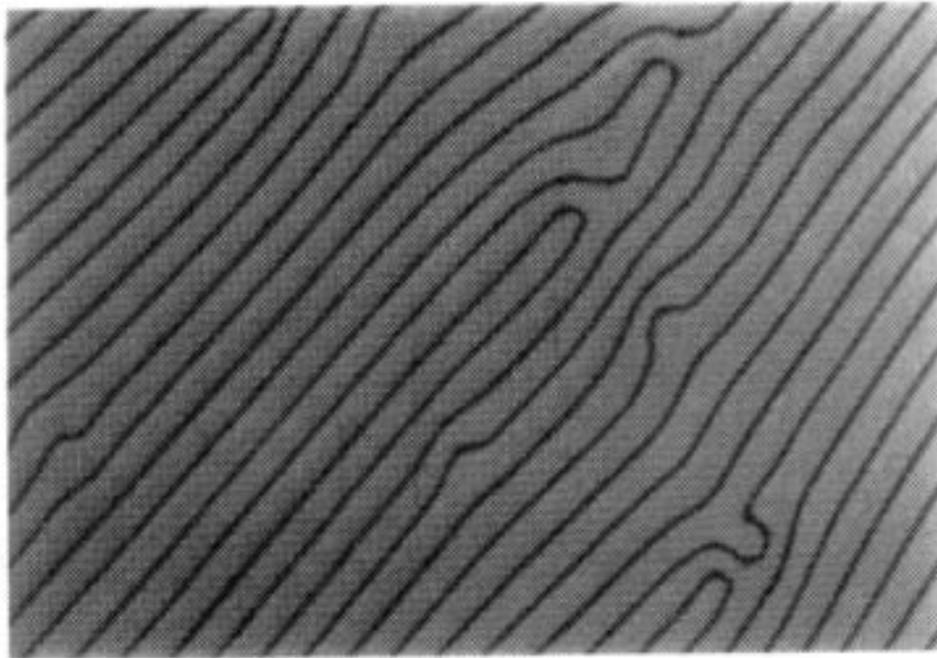
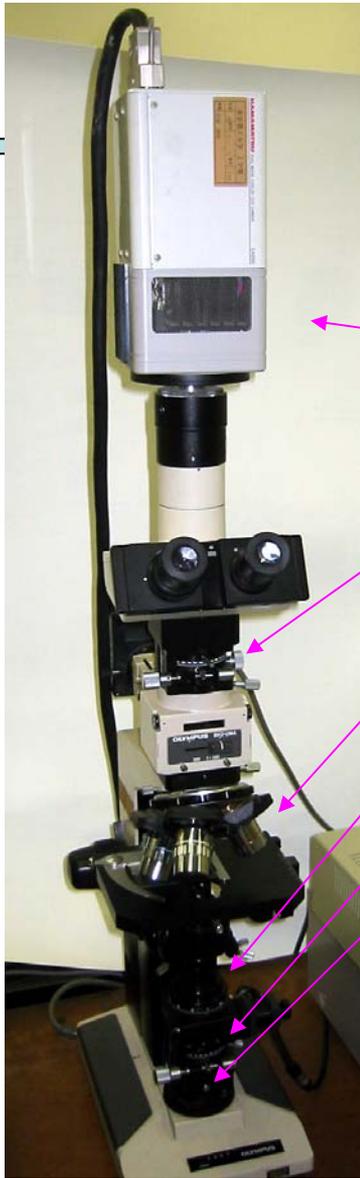


図 2.8 ビスマス (Bi) 添加ガドリニウム鉄ガーネット (GdIG) の磁区の顕微鏡写真 (玉城氏のご厚意による)

# 円偏光変調式 磁気光学顕微鏡



顕微鏡: オリンパス BH-UMA

● CCDカメラ: 浜松 C4880 (高感度冷却型)

● 検光子(半固定): グラントムソン (MG\*B10)

● 対物レンズ: NeoSPlanNIC  $\square \times 10 \times 50$

● 回転1/4波長板: ACP-400-700(波長無依存)

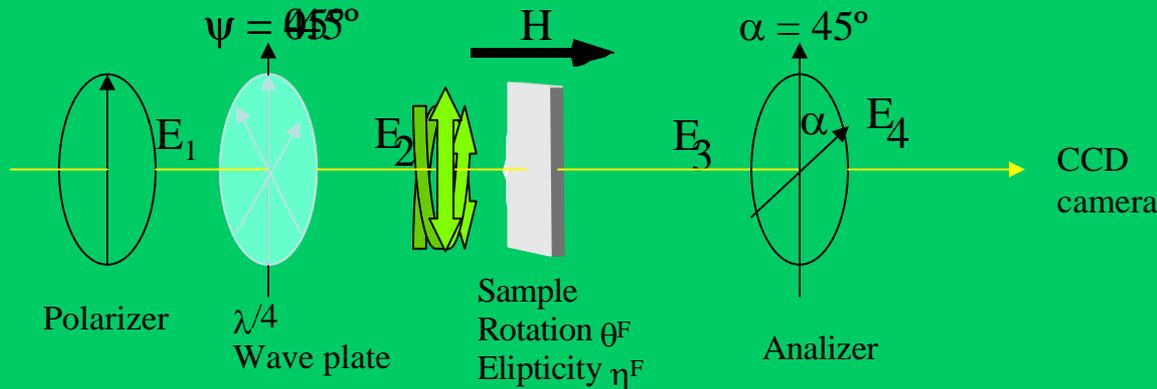
● 偏光子(半固定): グラントムソン (MG\*B10)

● 波長選択フィルタ: 干渉フィルタ

(450, 500, 550, 600, 650 nm)

● 光源: ハロゲン電球 20W

# 円偏光変調法の原理



$\psi = 0^\circ$  直線偏光  
 $45^\circ$  右円偏光  
 $-45^\circ$  左円偏光

$$\mathbf{E}_2 = \mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{Q}\mathbf{P}\mathbf{E}_1$$

$$= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta_F + i\eta_F \sin\theta_F & -\sin\theta_F + i\eta_F \cos\theta_F \\ \sin\theta_F - i\eta_F \cos\theta_F & \cos\theta_F + i\eta_F \sin\theta_F \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 + i\cos 2\varphi & i\sin 2\varphi \\ i\sin 2\varphi & 1 - i\cos 2\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \cos\theta_F + \sin\theta_F - \eta_F (\sin(2\varphi + \theta_F) - \cos(2\varphi + \theta_F)) + i\{\cos(2\varphi + \theta_F) + \sin(2\varphi + \theta_F) + \eta_F (\sin\theta_F - \cos\theta_F)\} \\ \cos\theta_F + \sin\theta_F - \eta_F (\sin(2\varphi + \theta_F) - \cos(2\varphi + \theta_F)) + i\{\cos(2\varphi + \theta_F) + \sin(2\varphi + \theta_F) + \eta_F (\sin\theta_F - \cos\theta_F)\} \end{pmatrix} E_x$$

$$I(\varphi) = \left( \cos\theta_F + \sin\theta_F - \eta_F (\sin(2\varphi + \theta_F) - \cos(2\varphi + \theta_F)) \right)^2 + \left( \cos(2\varphi + \theta_F) + \sin(2\varphi + \theta_F) + \eta_F (\sin\theta_F - \cos\theta_F) \right)^2 |E_x|^2 / 4$$

$$I(0^\circ)$$

$$I(45^\circ)$$

$$I(-45^\circ)$$

# ファラデー効果の評価法

ファラデー回転

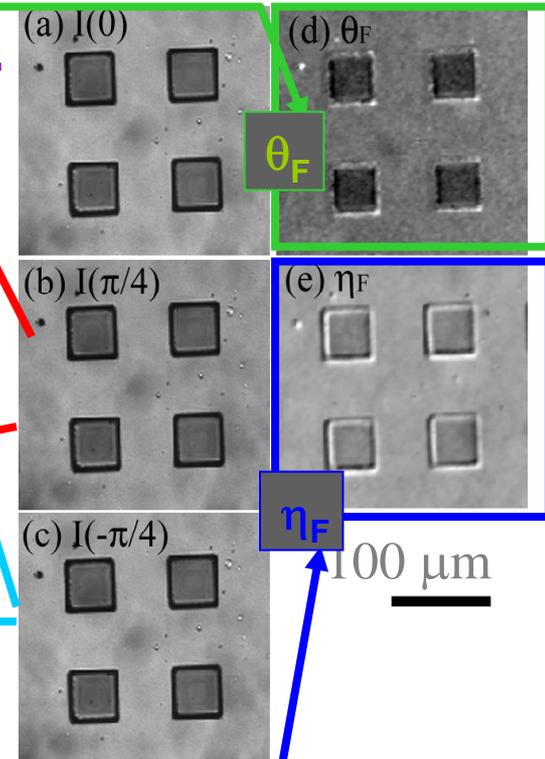
$$\theta_F = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left\{ \frac{2I(0) - [I(\pi/4) + I(-\pi/4)]}{(1 - \eta_F^2) |E_x|^2} \right\}$$

$$\theta_F \approx \frac{1}{2} \left\{ \frac{2I(0) - [I(\pi/4) + I(-\pi/4)]}{(1 - \eta_F^2) [I(\pi/4) + I(-\pi/4)]} \right\}$$

ファラデー楕円率

$$\eta_F = -\frac{1}{2} \{ I(\pi/4) - I(-\pi/4) \} / |E_x|^2$$

$$\eta_F \approx -\frac{1}{2} \left\{ \frac{I(\pi/4) - I(-\pi/4)}{I(\pi/4) + I(-\pi/4)} \right\}$$



CCD の画像, (a)  $I(0^\circ)$ , (b)  $I(45^\circ)$ , (c)  $I(-45^\circ)$ , 画像処理で得られた (d) 回転角画像と (e) 楕円率画像.

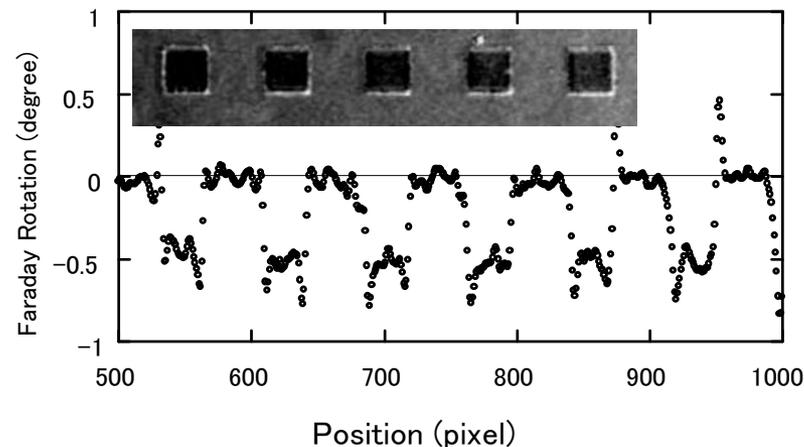
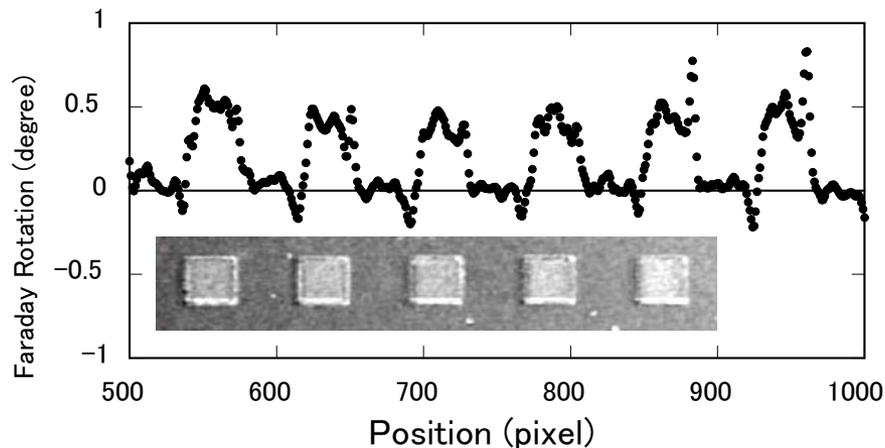
# この方法のメリット

---

- メリット

- 回転角と楕円率が1サイクルの測定で同時に得られる  
(従来は別測定必要)
- 回転角・楕円率が定量的に評価できる  
(標準試料不要)
- 透過にむらのある試料でもファラデー画像を明瞭に表示できる
- 一度磁場変化して測定しておけば、後で画像の任意の位置のヒステリシスを見られる。

# ファラデー回転角の定量測定

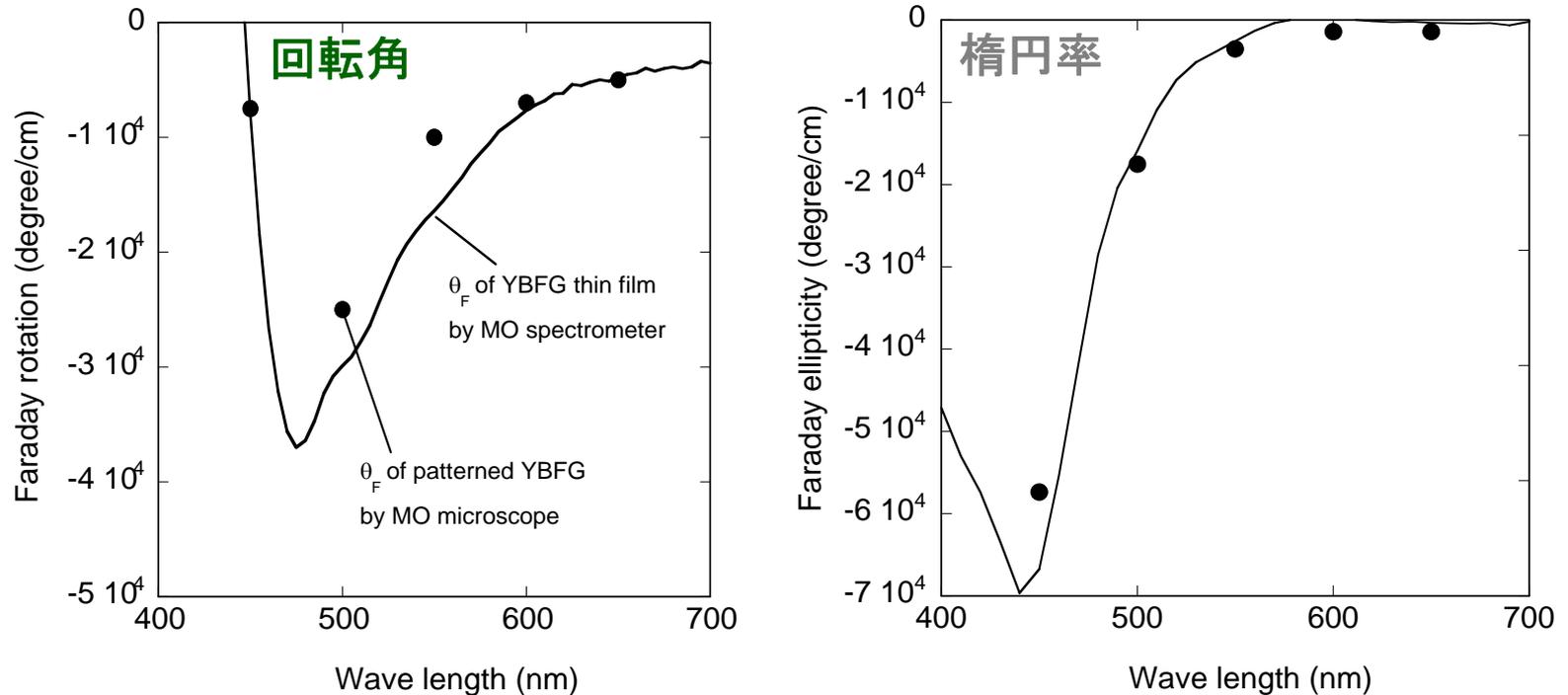


磁化反転

$\lambda=500$  nm

標準試料を使わずに回転角を決定  
回転角は約 0.5 deg.と決定

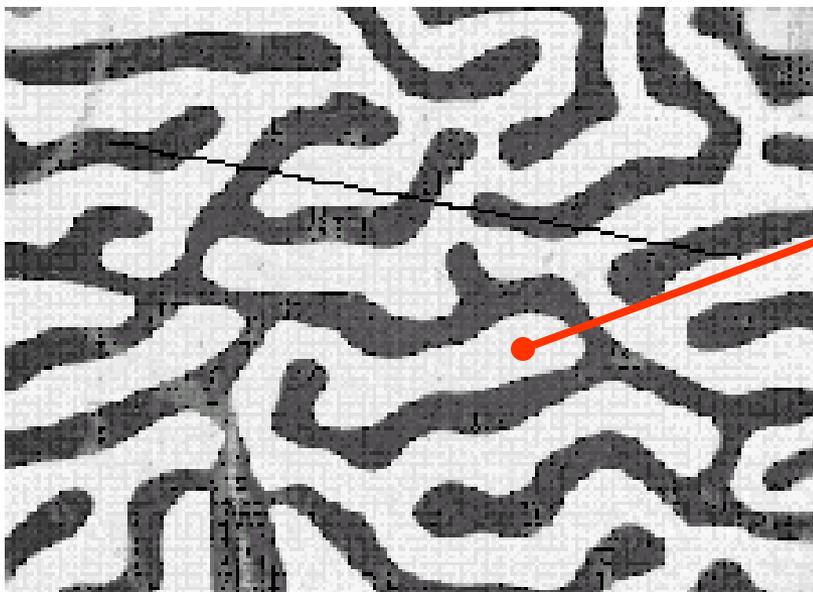
# ファラデー回転角・楕円率のスペクトル



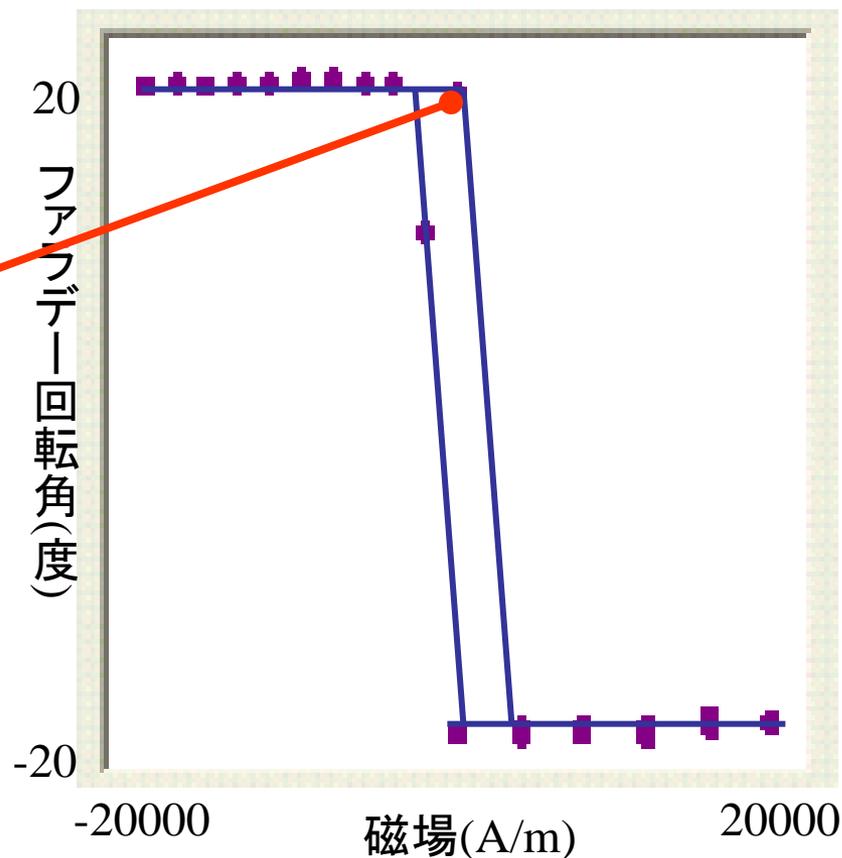
干渉フィルタの中心波長を変えてファラデー回転角・楕円率角を測定  
磁気光学分光装置によるデータと比較

# 画像上の各位置でのヒステリシス

画像上の任意の点でクリックして  
ヒステリシス曲線を表示

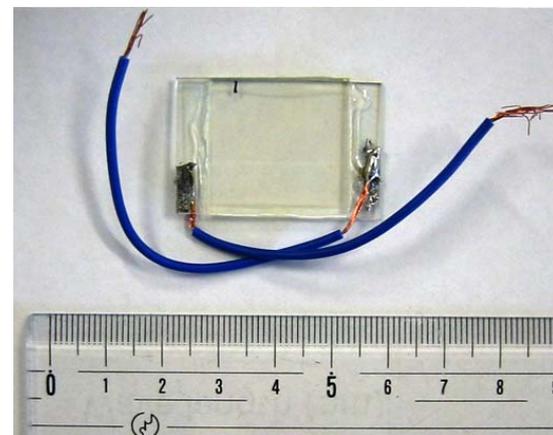
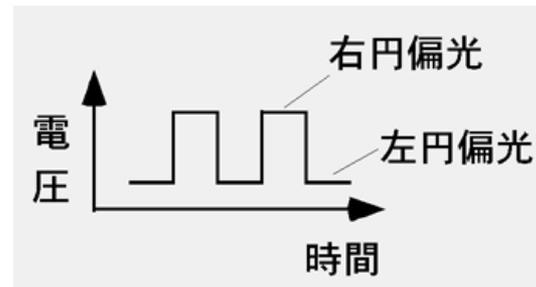


LPE成膜されたBi置換磁性  
ガーネットのゼロ磁界での  
ファラデー回転角像



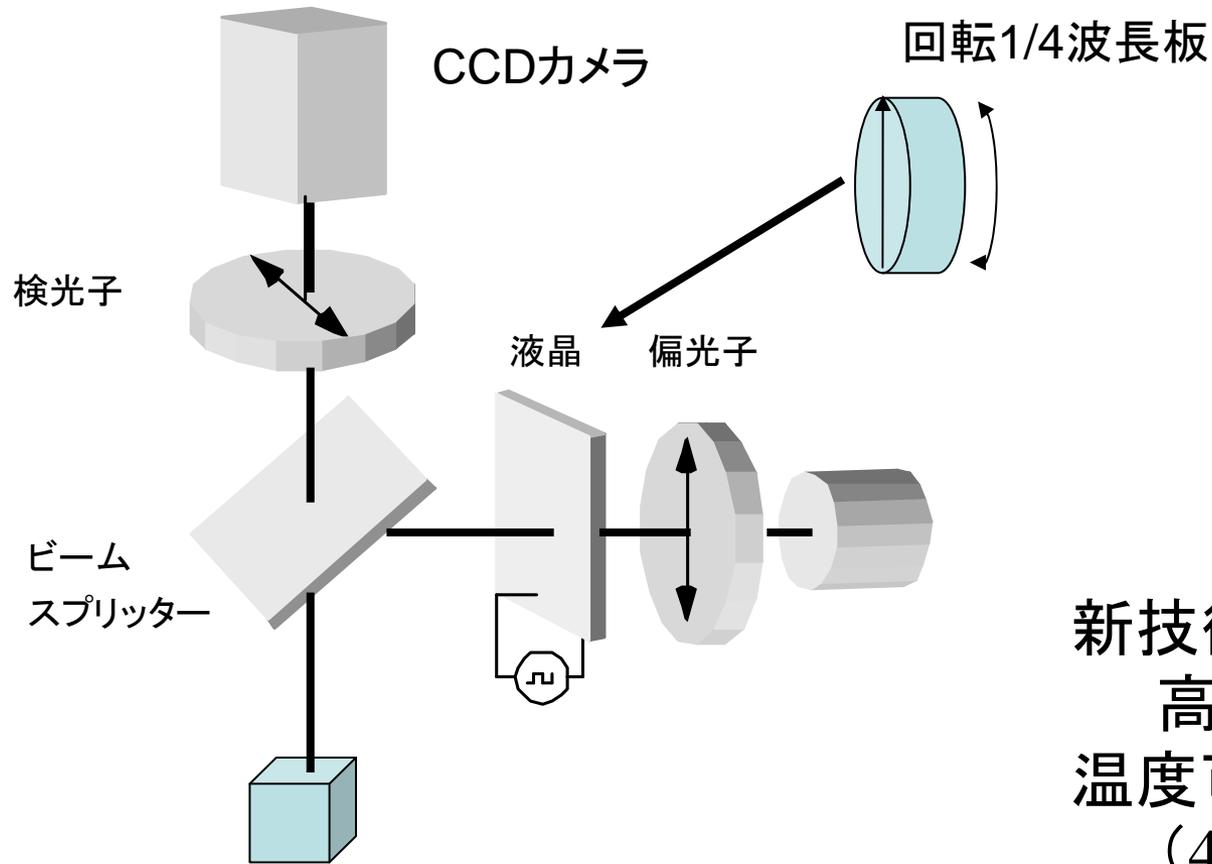
# 機能向上

- リアルタイム測定
  - 回転 $\frac{1}{4}$ 板に代えて液晶素子を用いて光学遅延を電圧で制御
- 磁界の印加
- 極低温測定
- 光源の高輝度化: LDの利用



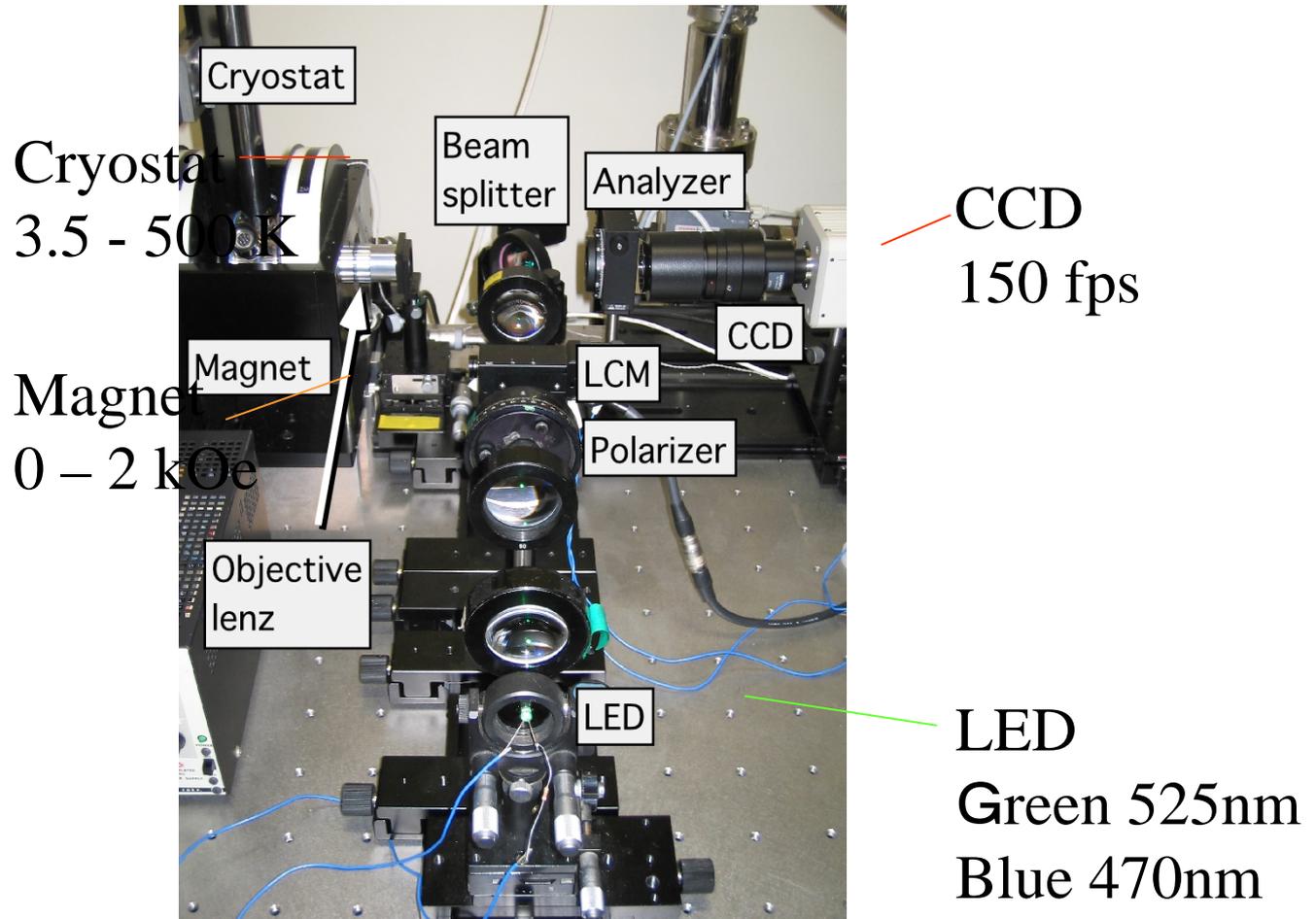
飯村研究室で作製された  
LCD変調素子

# 液晶方式高速磁気光学顕微鏡

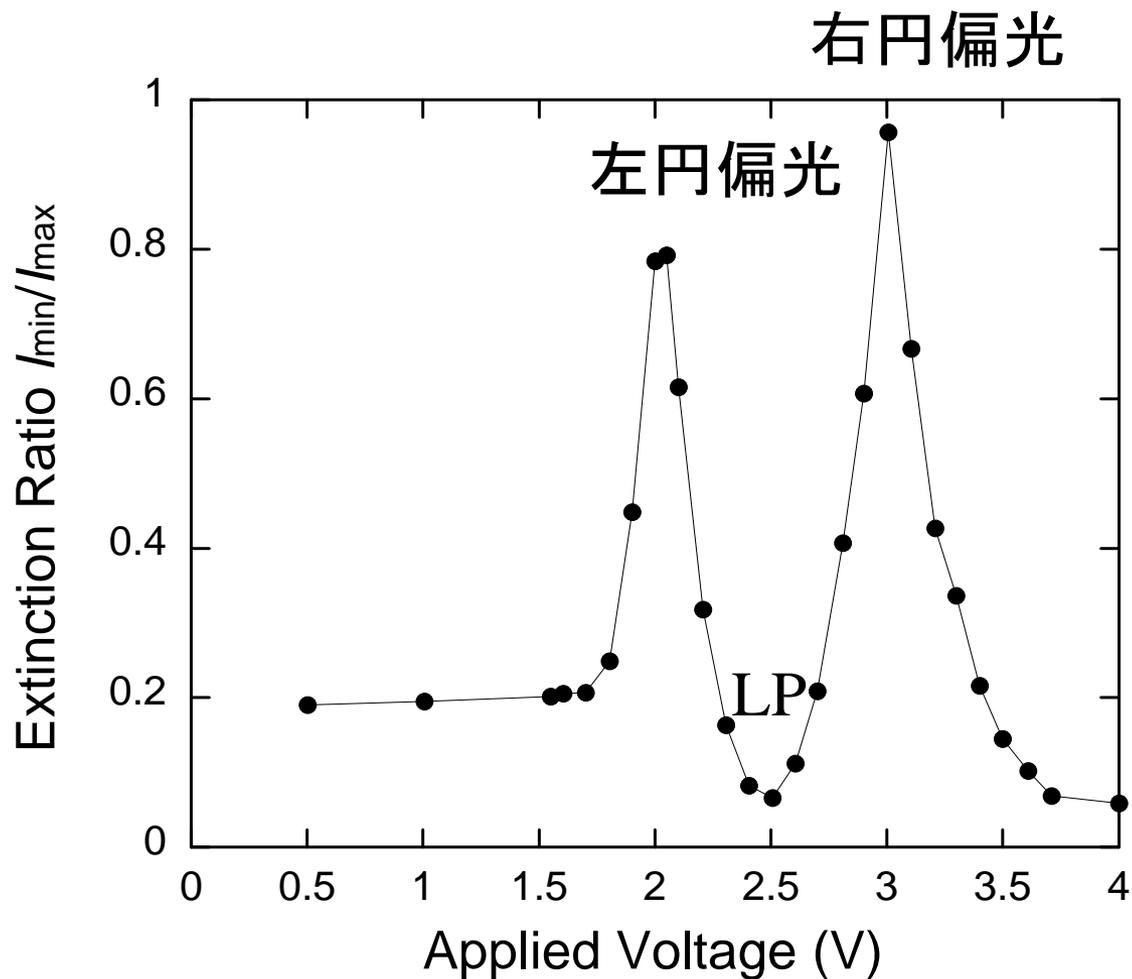


新技術による  
高速ビデオ撮影  
温度可変  
(4K～室温)

# 液晶變調方式磁氣光学顯微鏡

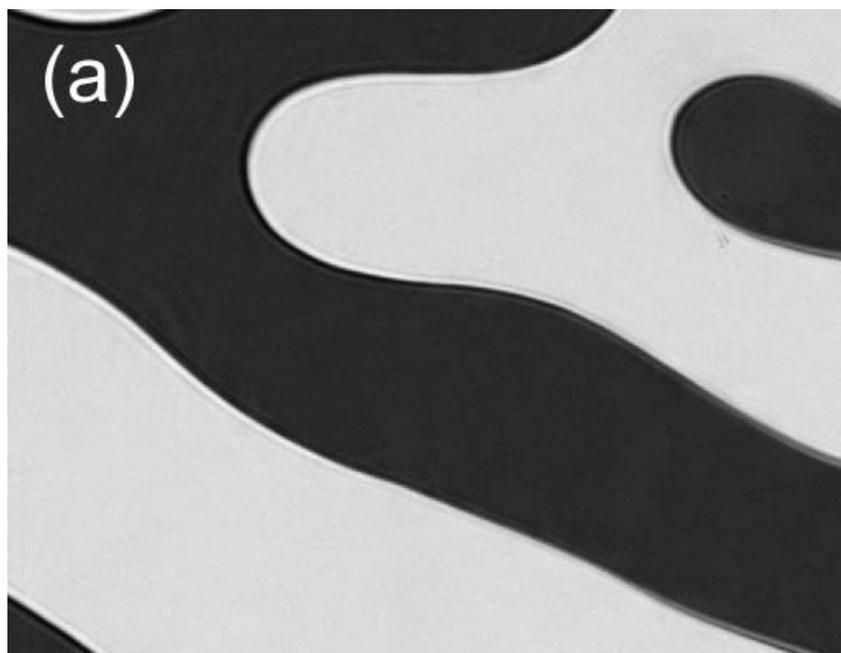


# 液晶では電界で偏光性を変調できる

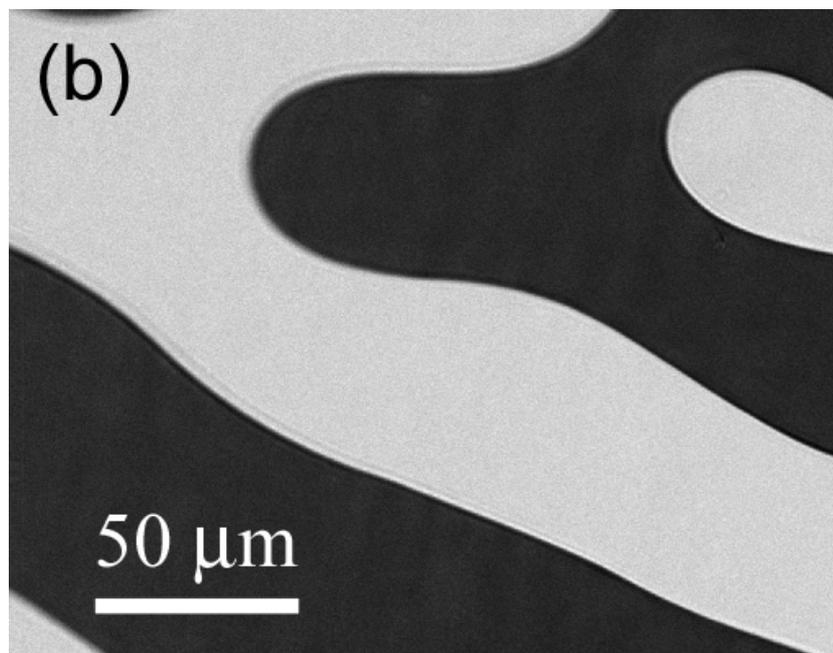


# 液晶方式磁気光学顕微鏡像

試料:LPEで作製された磁性ガーネット

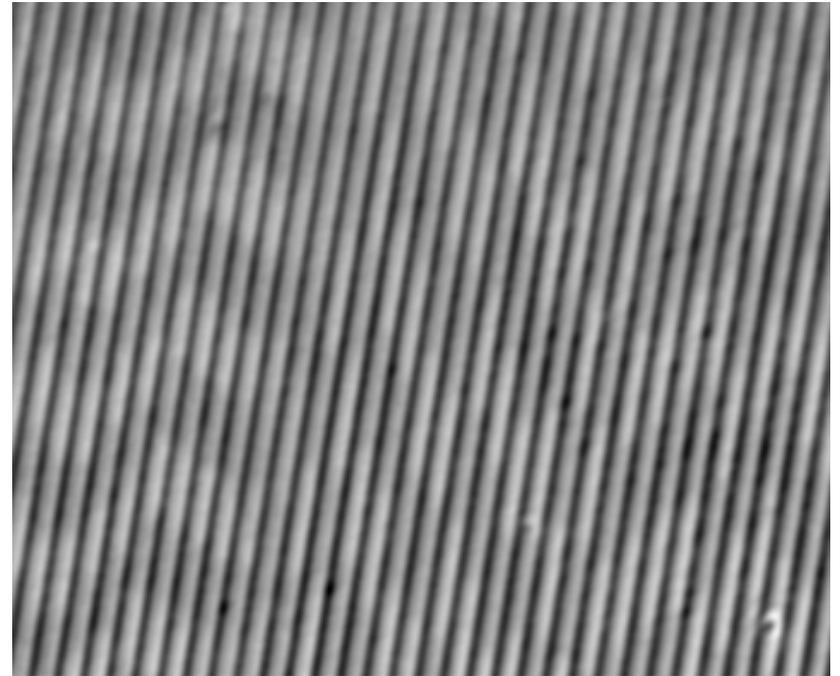
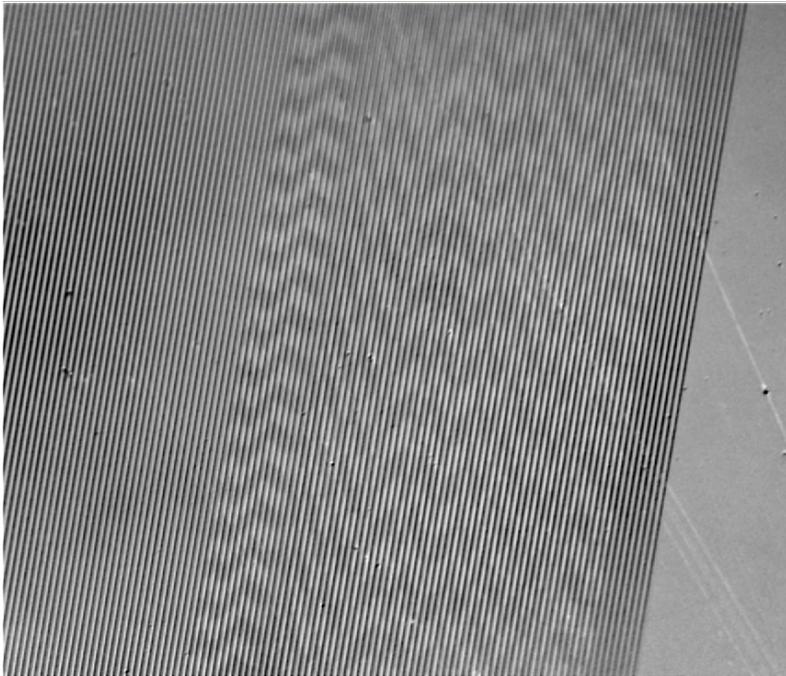


ファラデー回転角像



ファラデー楕円率像

# PtCo MO ディスクの記録磁区の磁気光学像

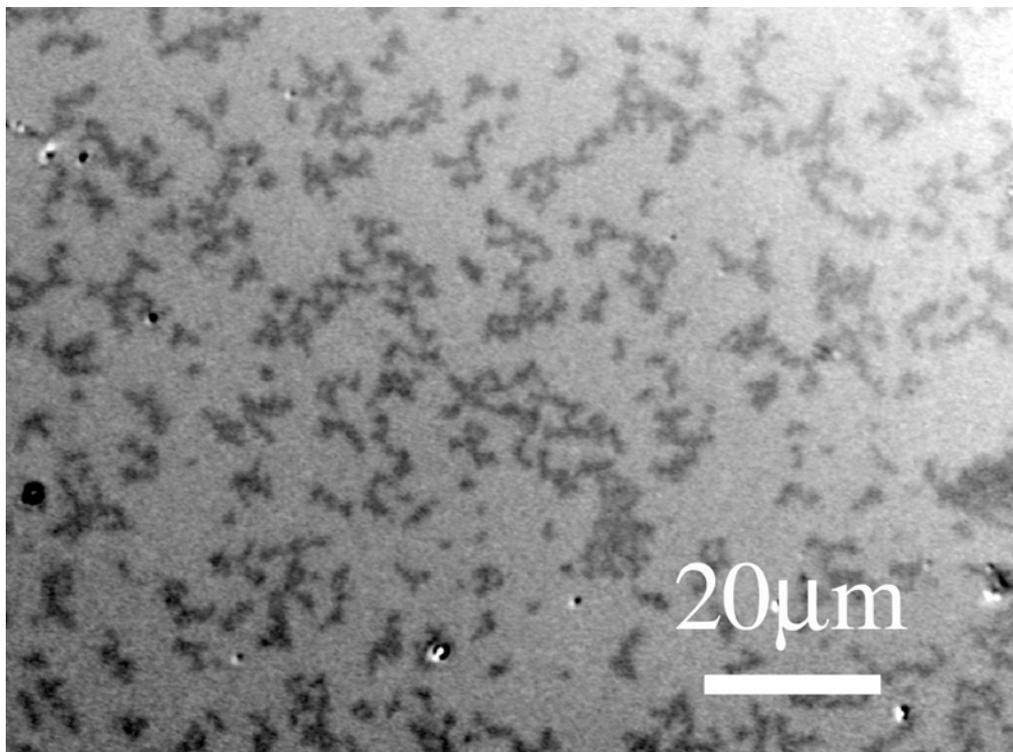


PtCo MO ディスクに書き込まれたビットの磁気光学像  
ビットの幅は1ミクロン

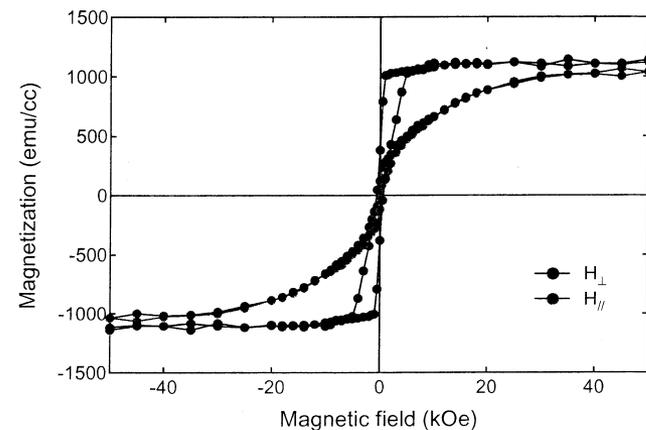
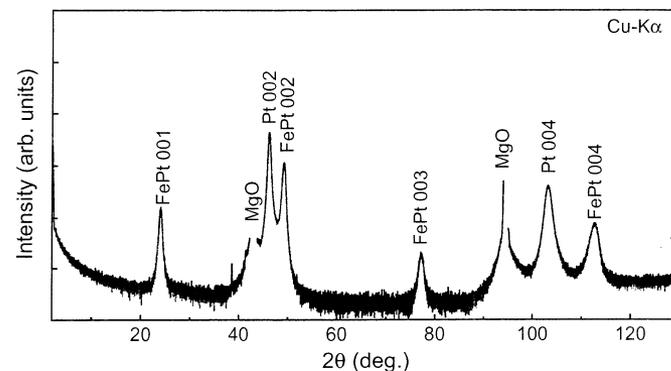
(試料: 日立製作所中央研究所の牛島順子氏のご厚意による)

# 低温成膜FePt薄膜のKerr回転画像

$\text{Fe}_{38}\text{Pt}_{62}$ (20nm)/Pt(40nm)/Fe(1nm)/MgO(001)

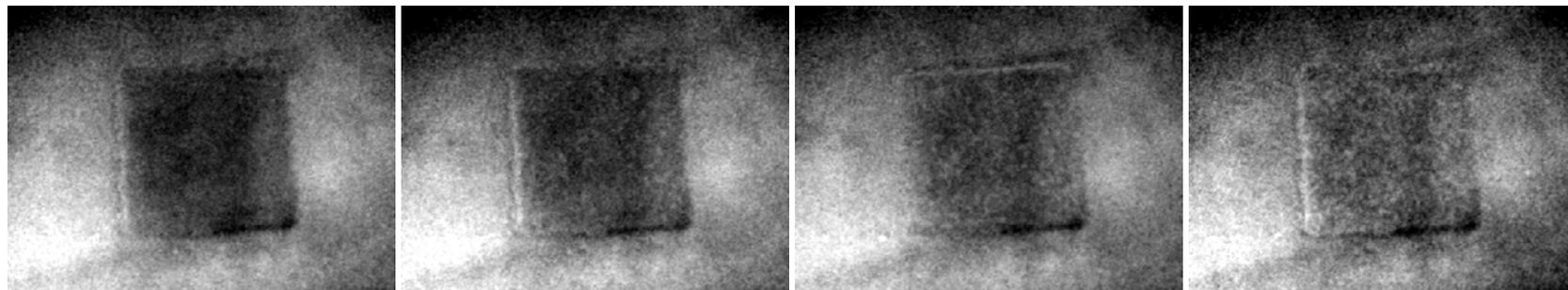


Kerr回転画像(残留磁化状態)



Sample  $\text{Y}_2\text{BiFe}_4\text{GaO}_{12}$

パターンサイズ  $50\mu\text{m}$ 角

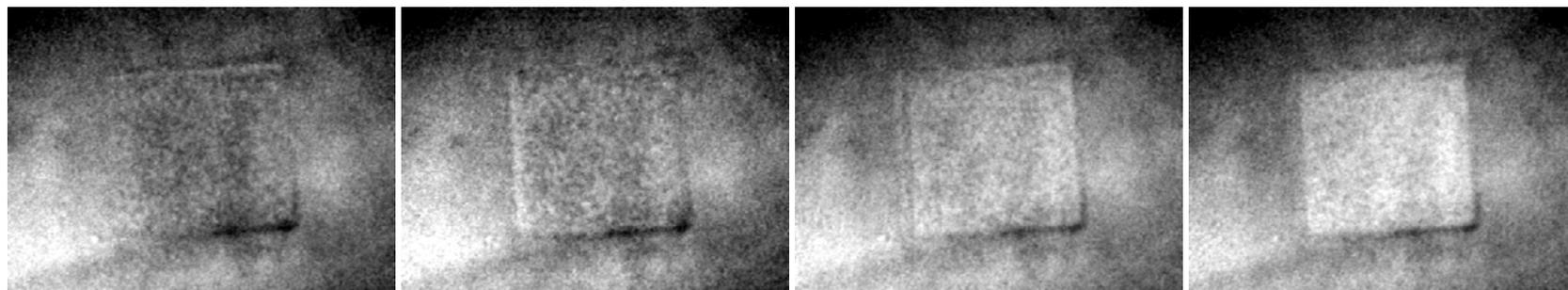


0s

1s

2s

3s

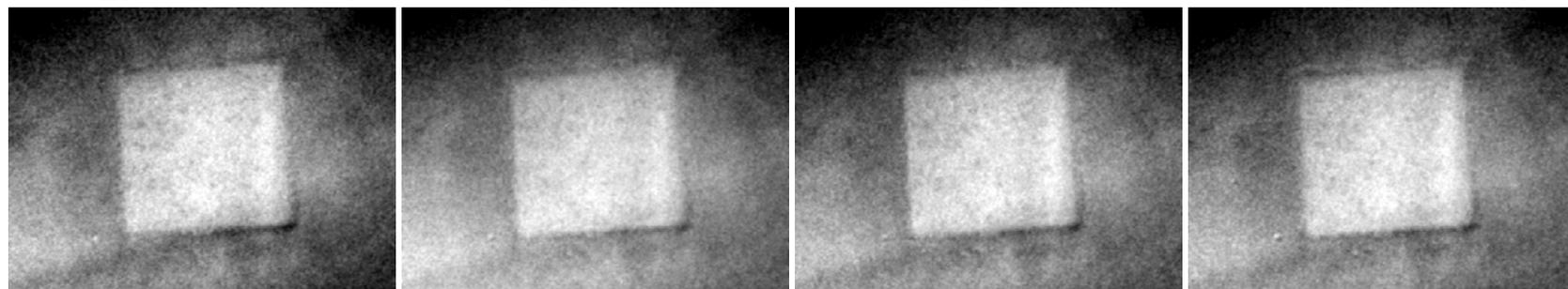


4s

5s

6s

7s



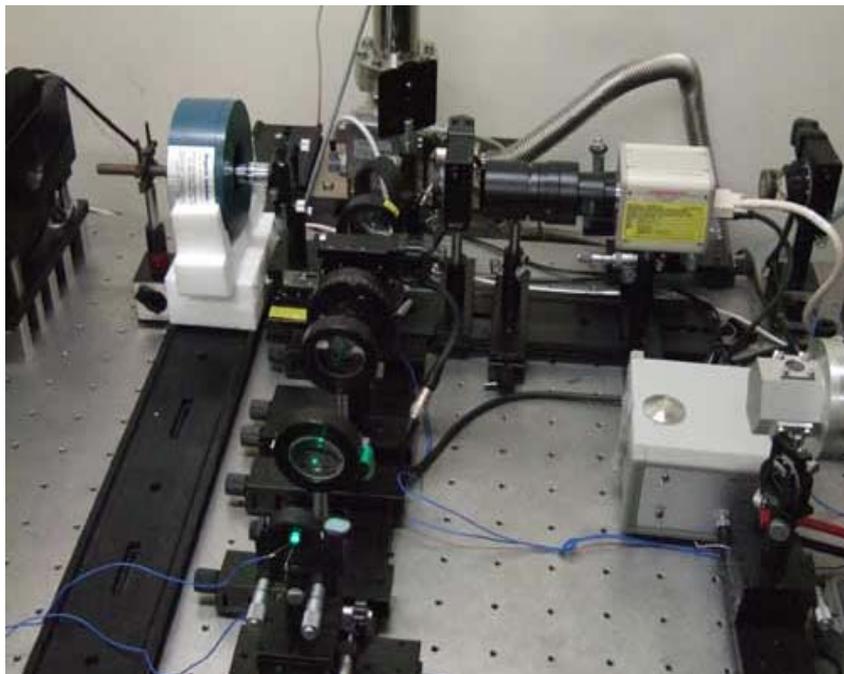
8s

9s

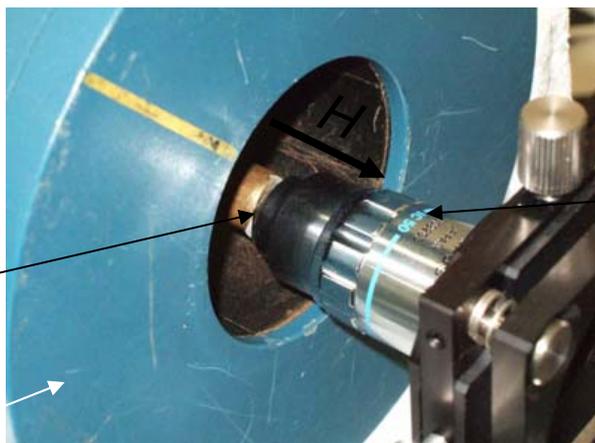
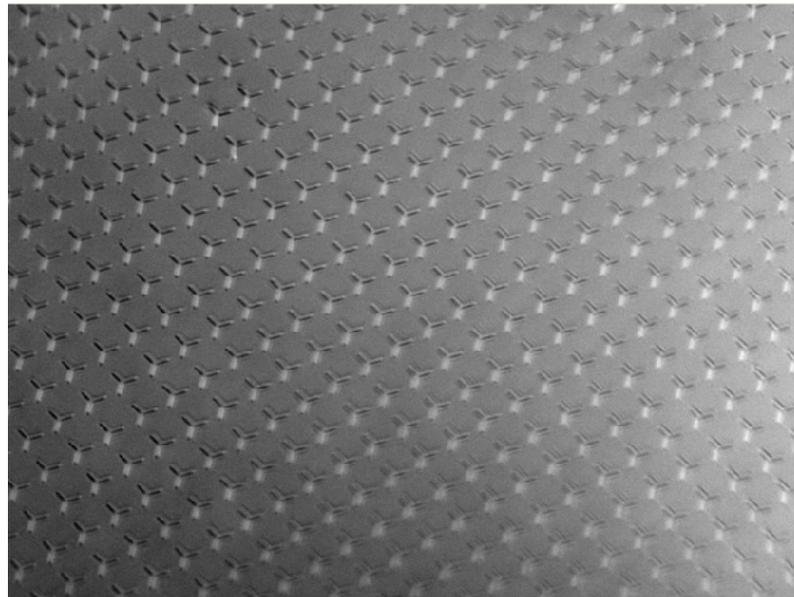
10s

11s

# MO microscope measurement



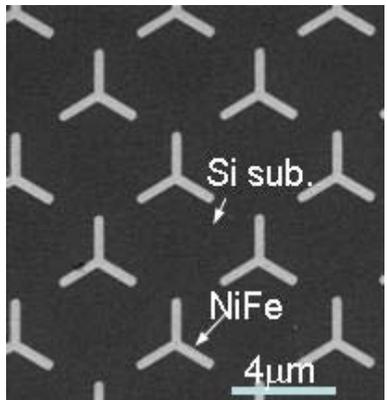
MO image



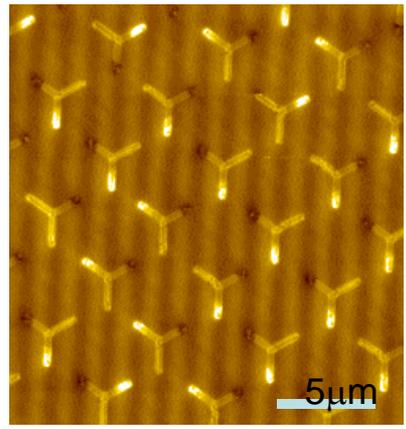
sample

objective lens  
( $\times 50$ ,  $NA=0.85$ )

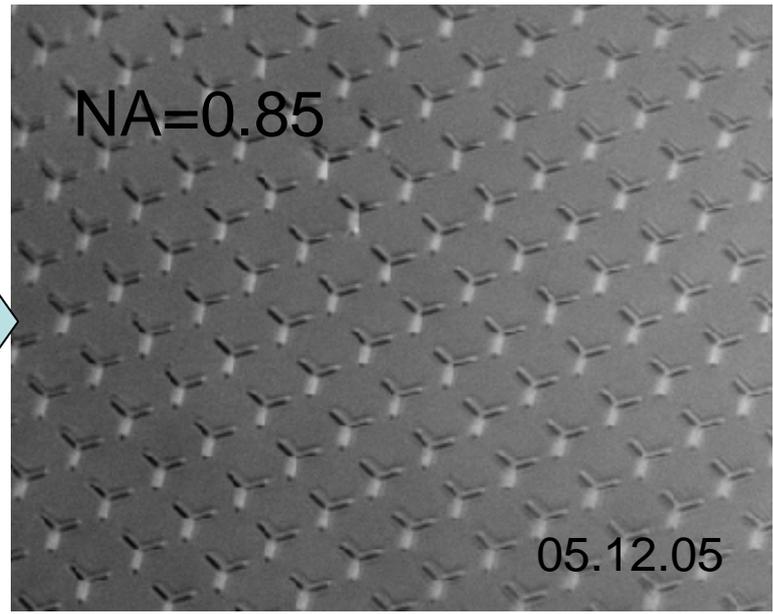
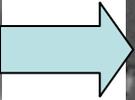
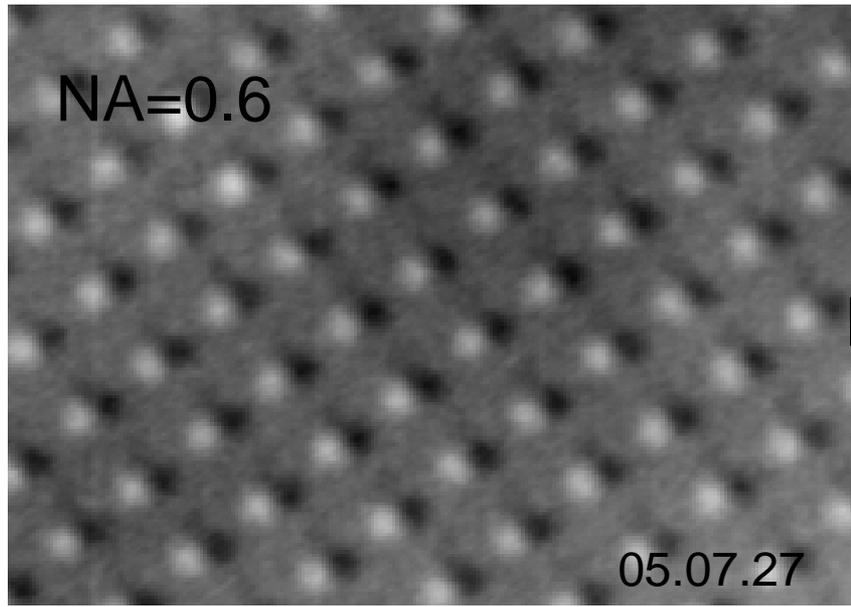
# レンズのNAをあげることによる解像度の向上



SEM像

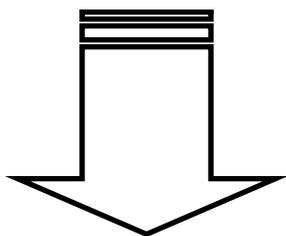


MFM像

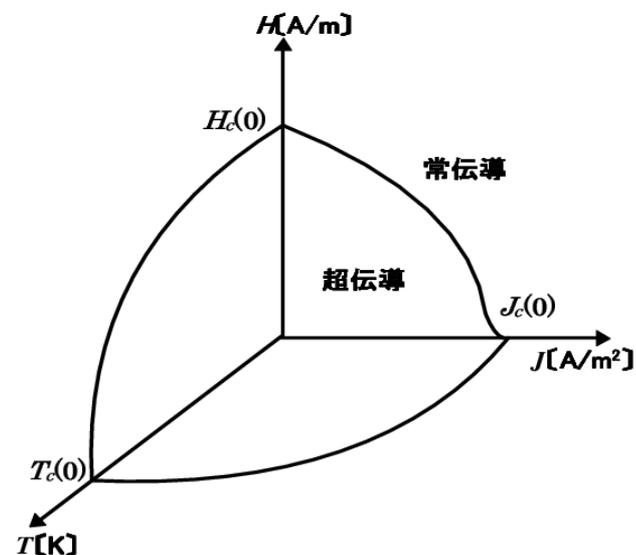
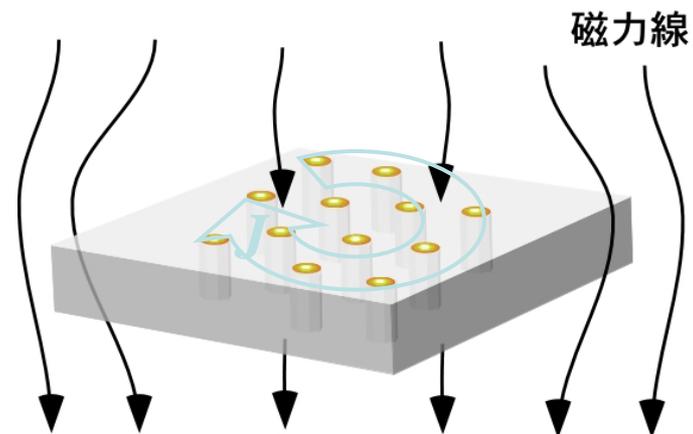


# 超伝導体内への磁束侵入の観察

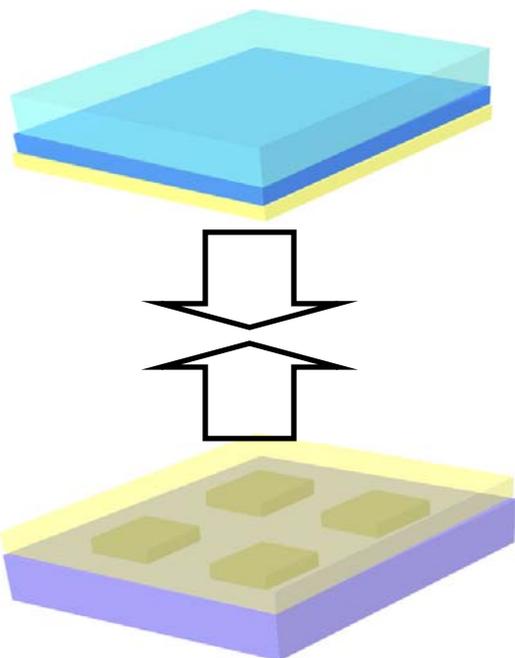
- 高温超伝導体内に量子化された磁束が侵入する
- 磁束の侵入した領域に超伝導電流が流れる



磁束の観察・評価をすることで超伝導電流や臨界磁場、臨界温度測定が可能

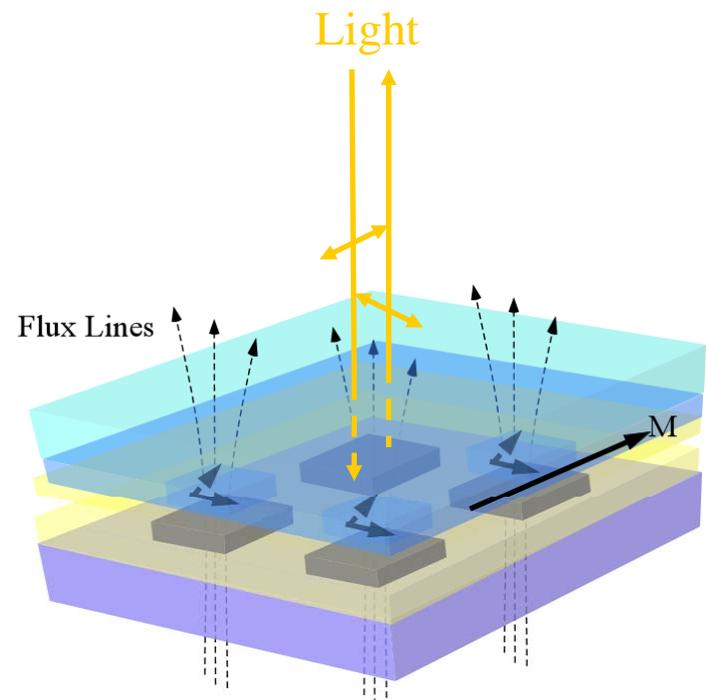


# サンプルの貼り合わせ



MO膜

Nbドットパターン



超伝導内に侵入した磁束をMO膜に転写させ  
転写した部分の面直成分を磁気光学で検出



回転角, 楕円率

# MO images of Nb anti-dots

10 $\mu\text{m}$  アンチドットパターン全体のMO像  
対物レンズ10倍。FC1500eの画像と磁場を  
はずした画像の差分画像。

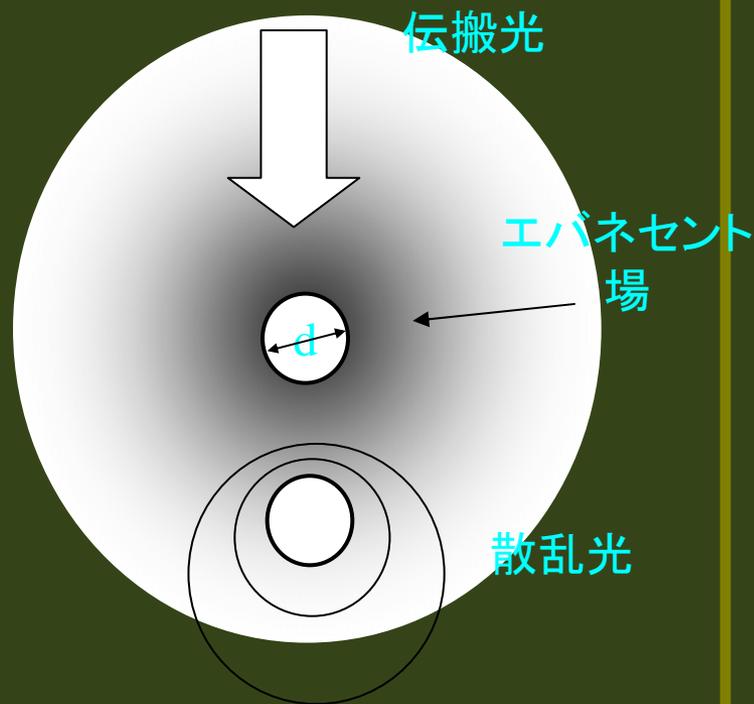
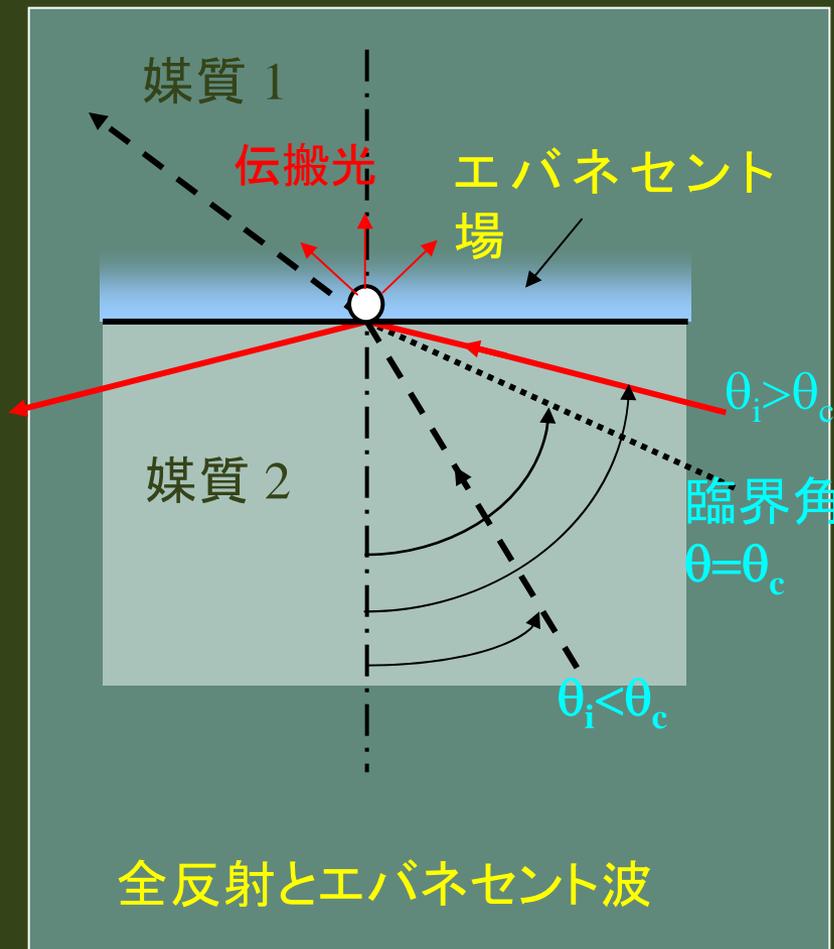
# 近接場顯微鏡

# 近接場磁気光学顕微鏡 (MO-SNOM)

- 近接場とは
- 近接場顕微鏡 (SNOM) の歴史
- 近接場磁気光学顕微鏡 (MOSNOM) の開発
- MOSNOMによる光磁気記録データの観察

SNOM=scanning near-field optical microscope(近接場光学顕微鏡)

# 近接場とは

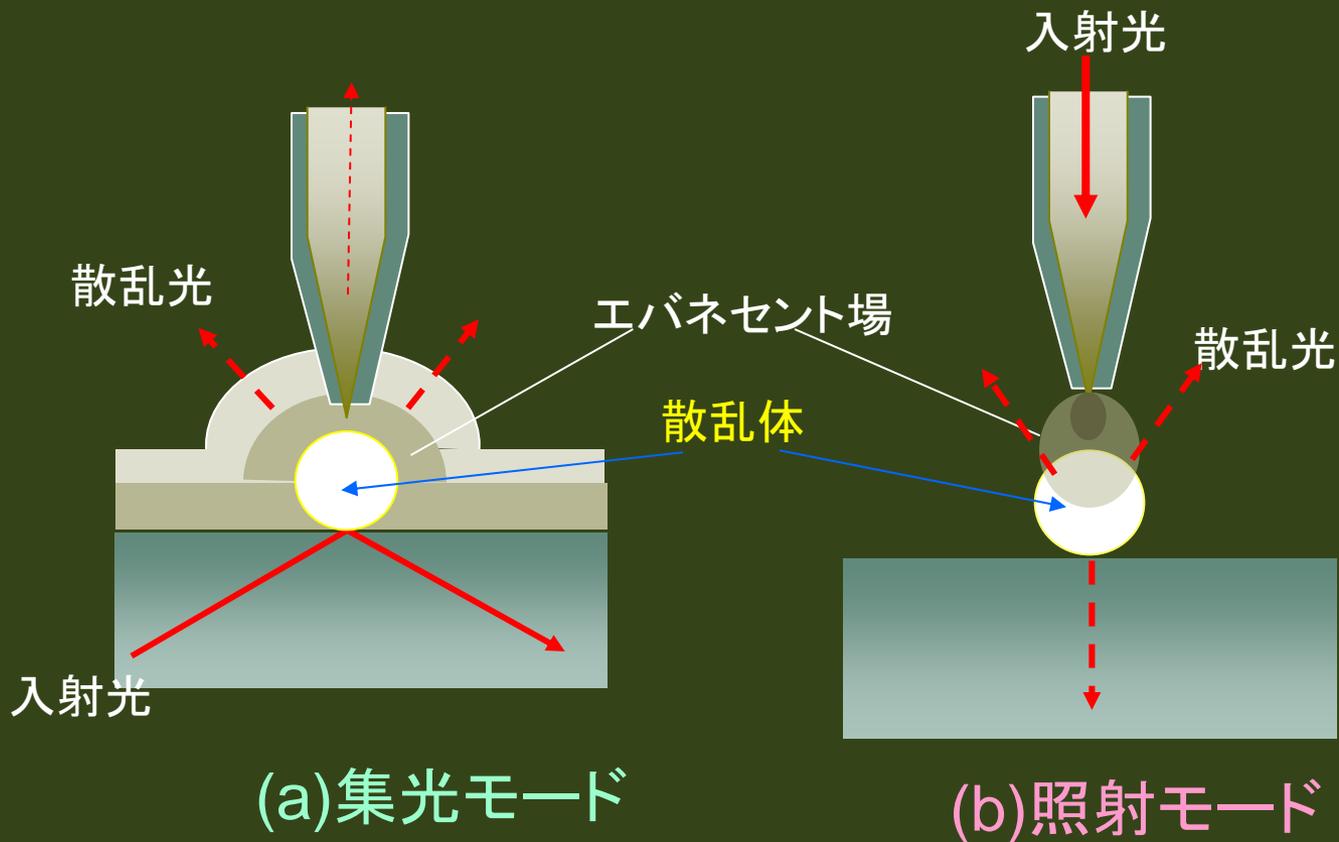


微小物体の周りのエバネセント場に置かれたもう1つの微小物体による散乱光

# SNOMの歴史

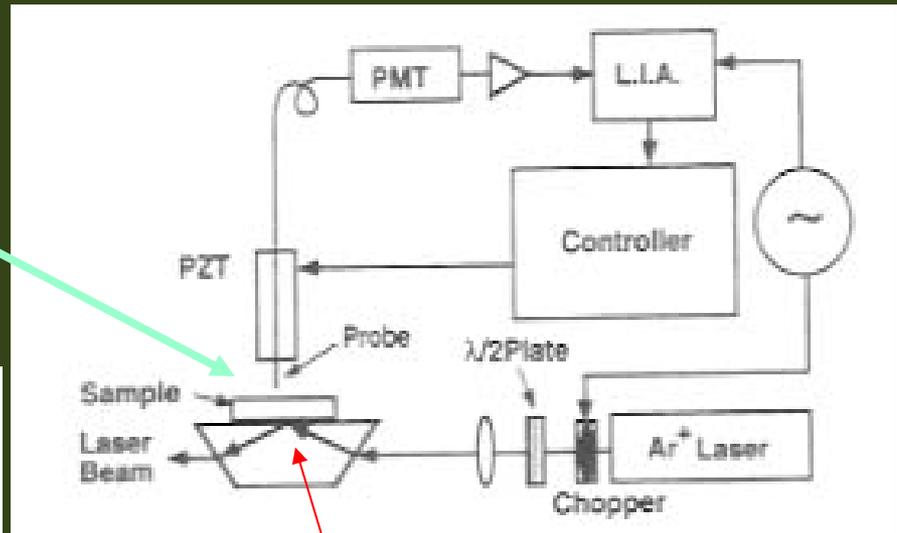
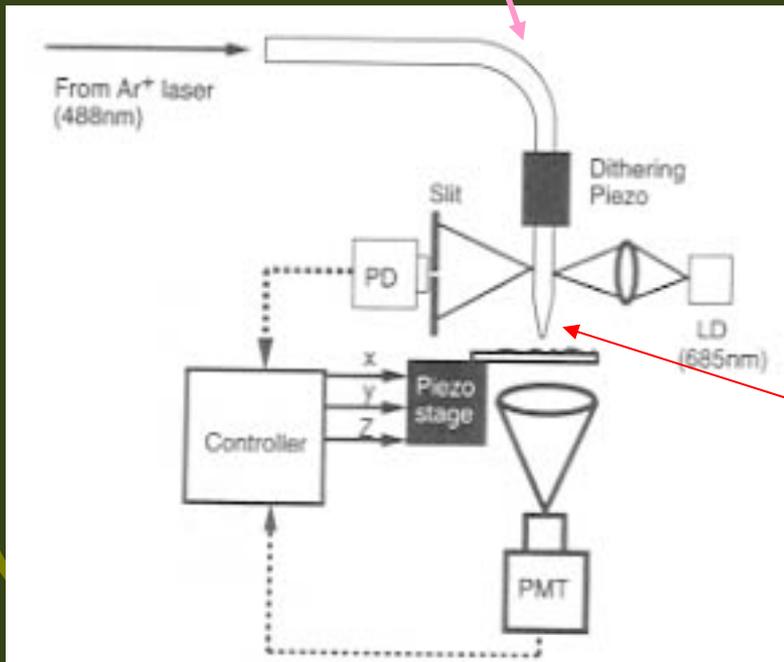
- 近接場の概念：電磁気学において古くから知られる
  - Hertz: Dipoleの近くの電場は $1/r$ ではなく $1/r^2$ :かなり強い
  - Sommerfeld: Dipole antenna近傍の近接場を導出
- 1928 Synge(英):近接場顕微鏡のアイデアを提案
- 1972 Ash:マイクロ波で波長の $1/60$ の解像度達成
- 1982 Pohl: SNOMの原形
- 1985 Pohl: 20nmの分解能達成
- 1991 Betzig:マイクロピペットを使って実用性の高いSNOMを開発;光磁気記録に成功

# 光ファイバプローブを用いた SNOM



# 集光モード、照射モードのSNOM

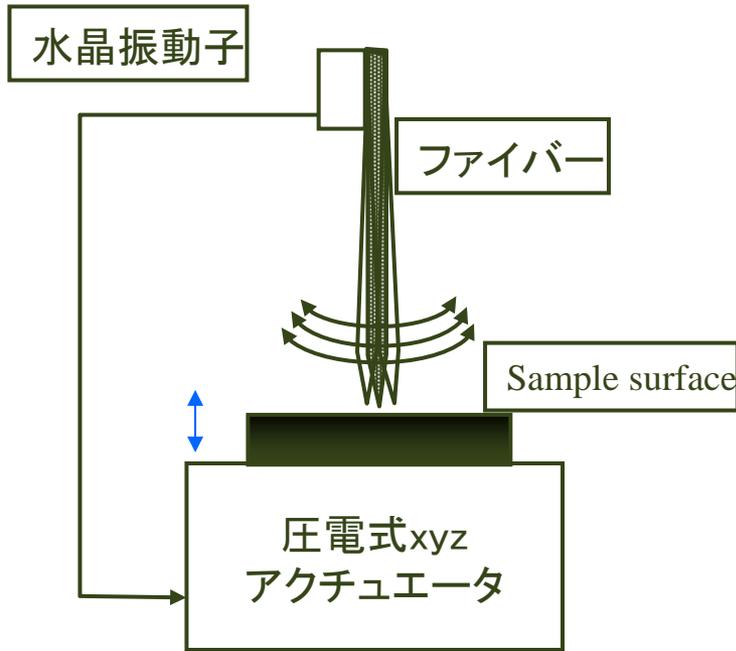
- 集光モード
- 照射モード



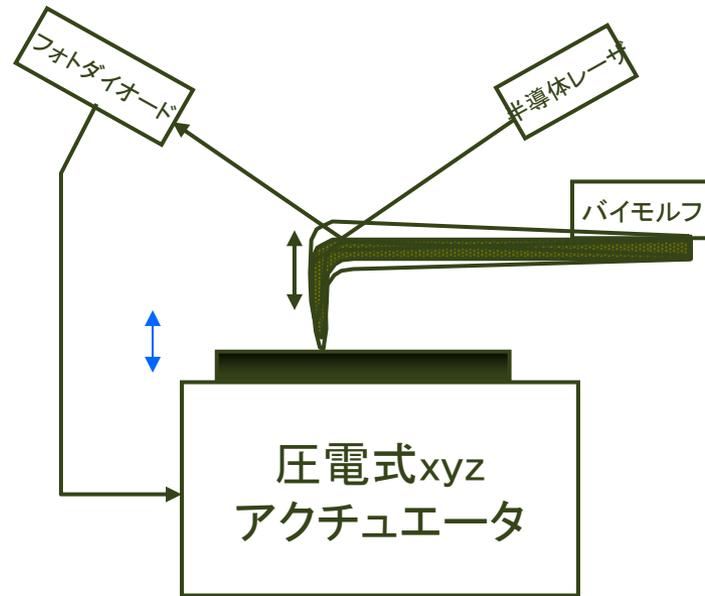
全反射光学系のエバネセント場に試料を置く。

先を細くした光ファイバープローブから近接場光を出射

# プローブの高さ制御



シアフォース(剪断力)方式



カンチレバー方式

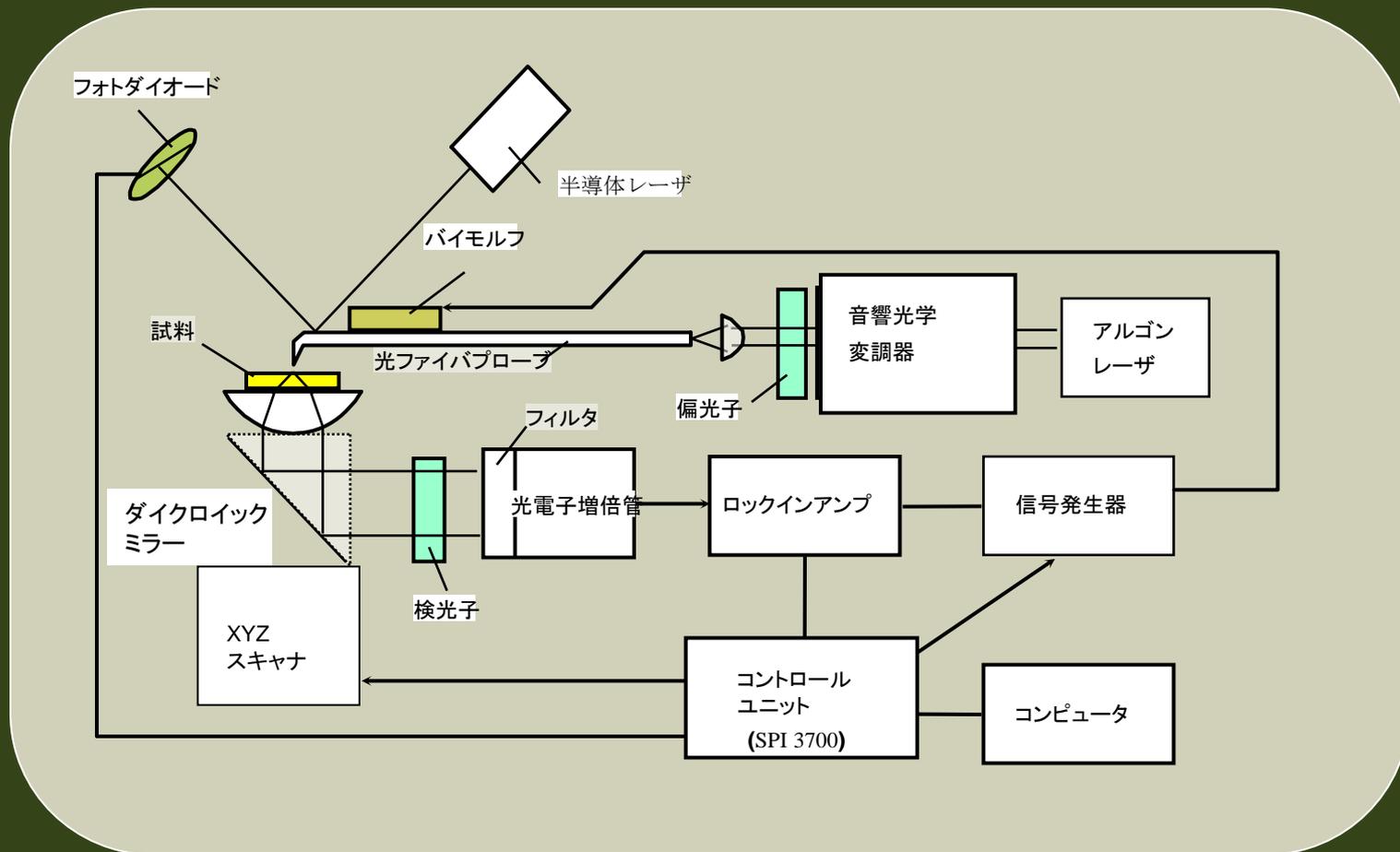
# SNOMによる磁気光学測定

- 1991 Betzig : 光ファイバーをテーパー状に細めたプローブ で光磁気記録・再生に成功
- 1992 Betzig: 超微細加工した金属細線リングの偏光像
- 多くの研究があるが、高解像度のMO-SNOM像は得られていない
- 偏光をファイバを通して伝えるのが困難

# 筆者らの方法

- ・SNOM-AFMモードを利用
- ・クロスニコル法→コントラスト比とれない
  - 解決法: PEMによる偏光変調
- ・ファイバー特性の測定→プローブの選別
- ・偏光伝達特性の補償
  - 約 $0.1 \mu\text{m}$ の解像度を達成

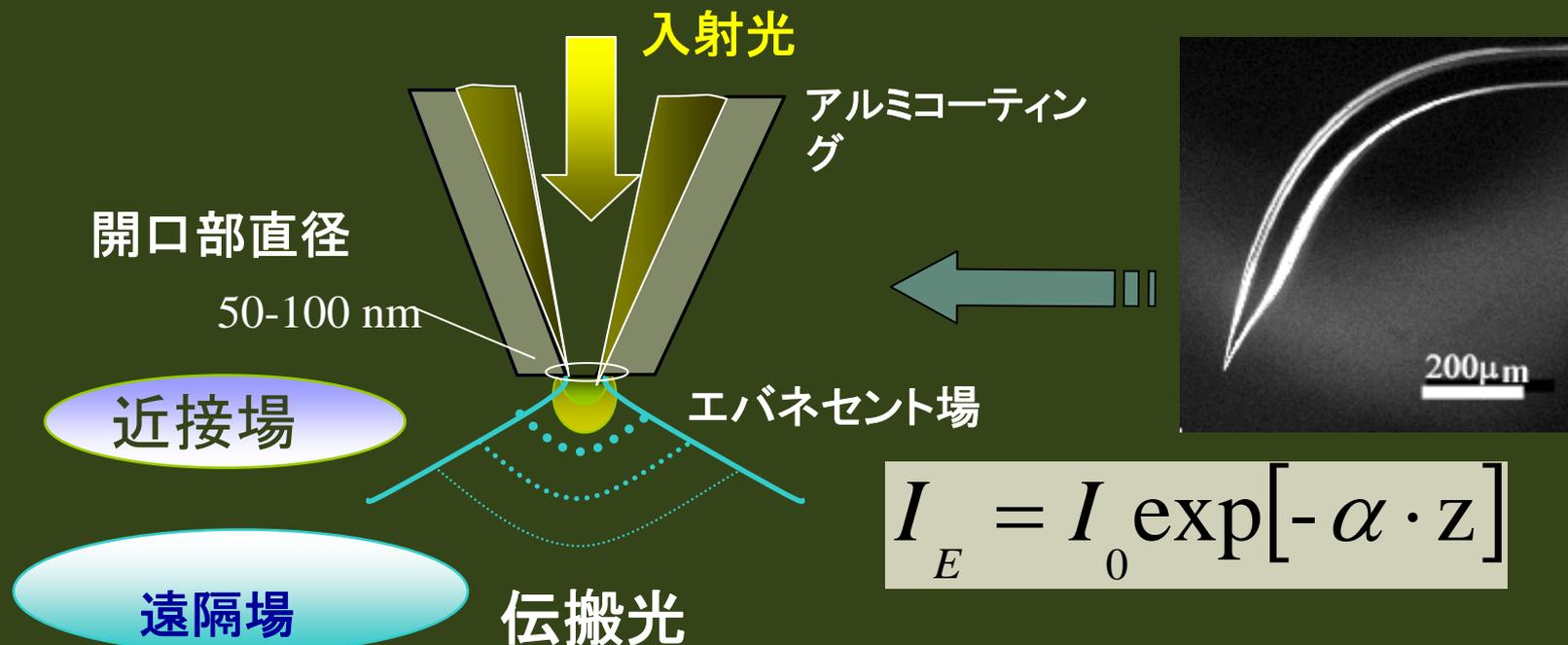
# SNOMのブロック図



# ベントファイバプローブ



# 光ファイバークプローブと近接場光学系



$$I_E = I_0 \exp[-\alpha \cdot z]$$

MO-SNOMへの応用



伝達特性

# ファイバホルダー

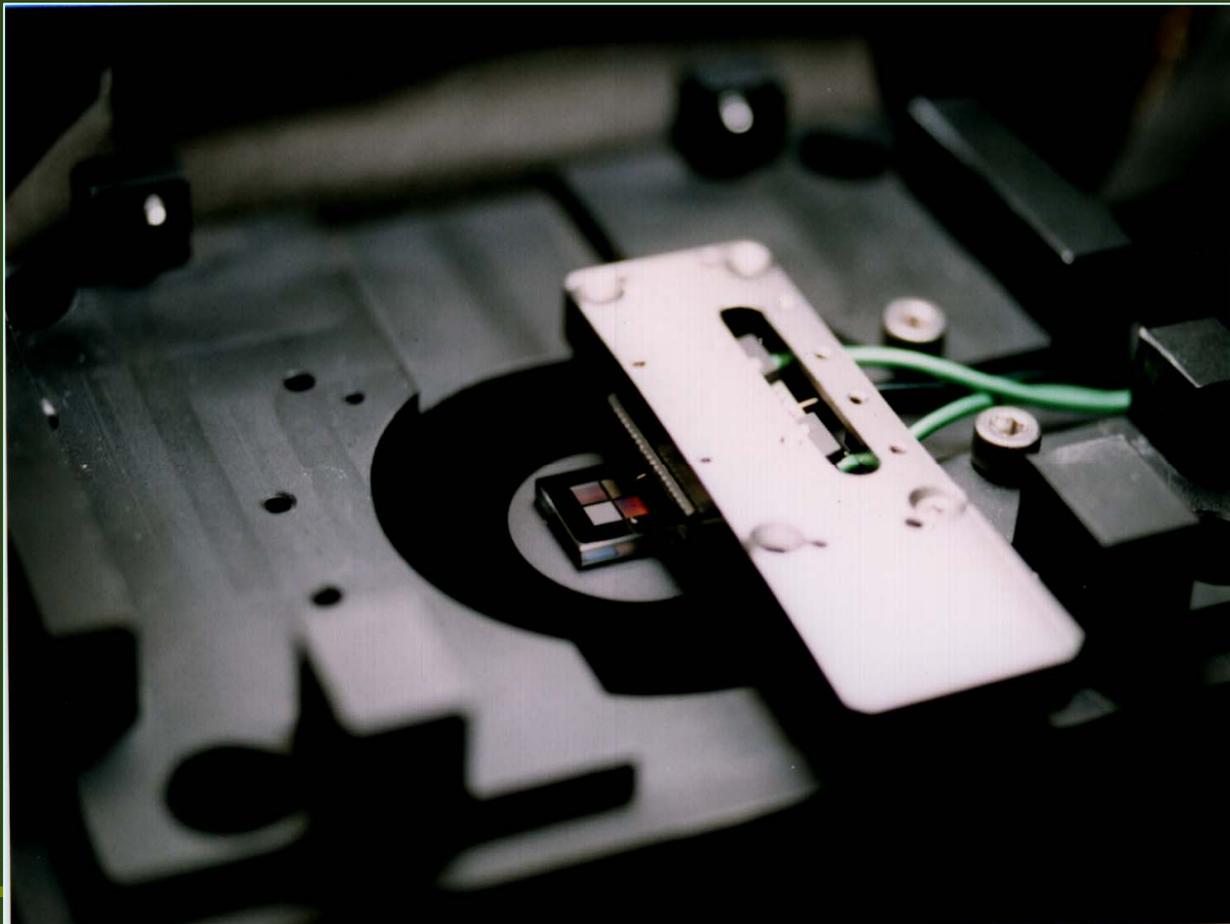


図3

# SNOMアセンブリ



アセンブリ

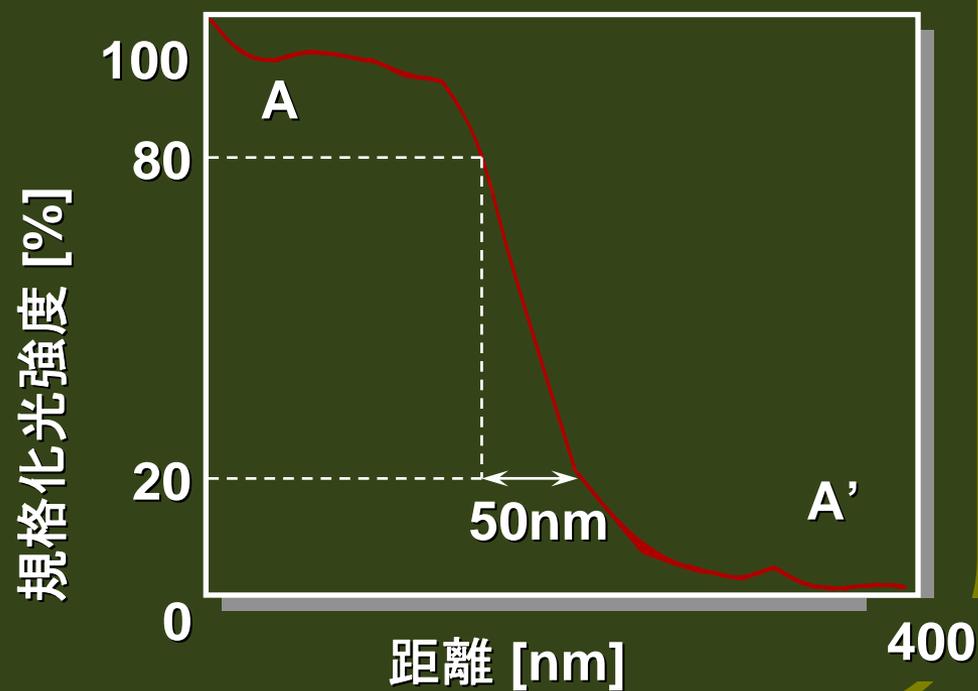
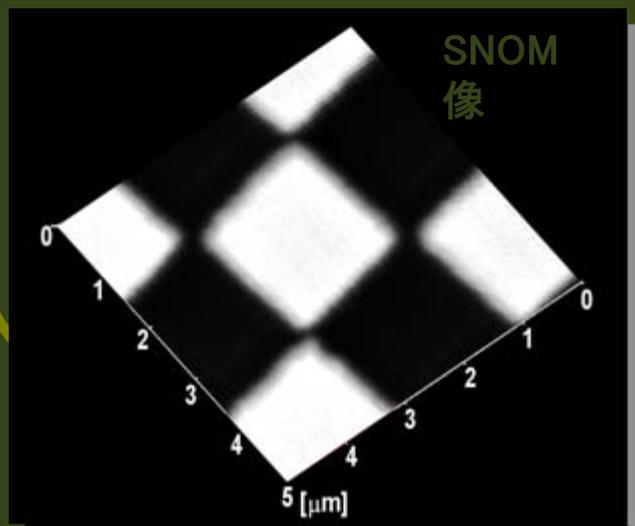
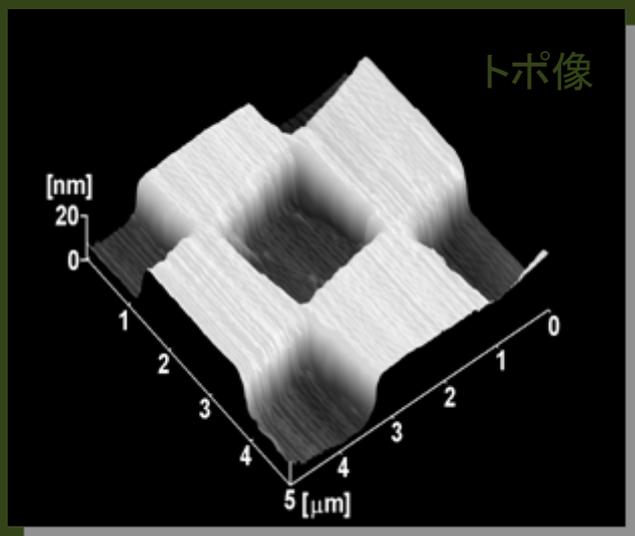
光電子増倍管

プリアンプ

AFM  
スキャナ

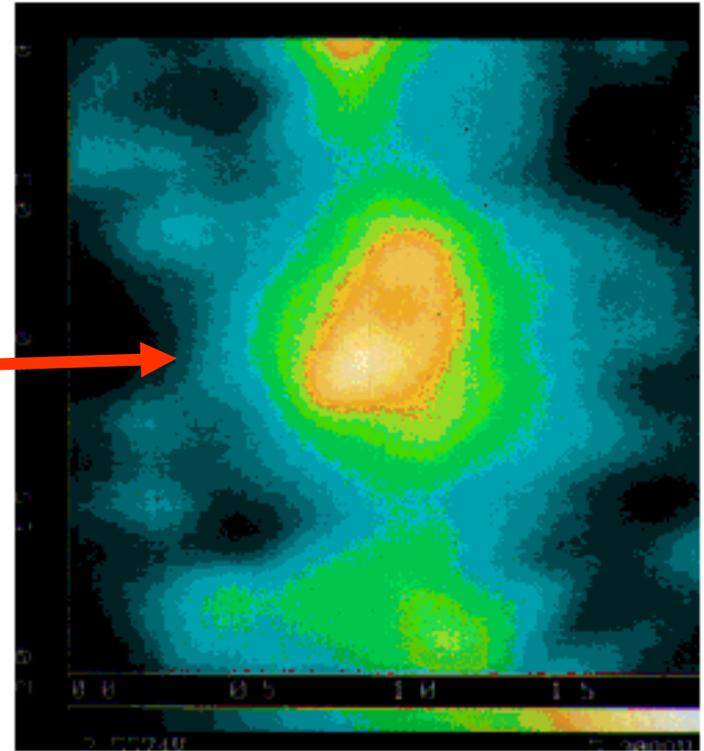
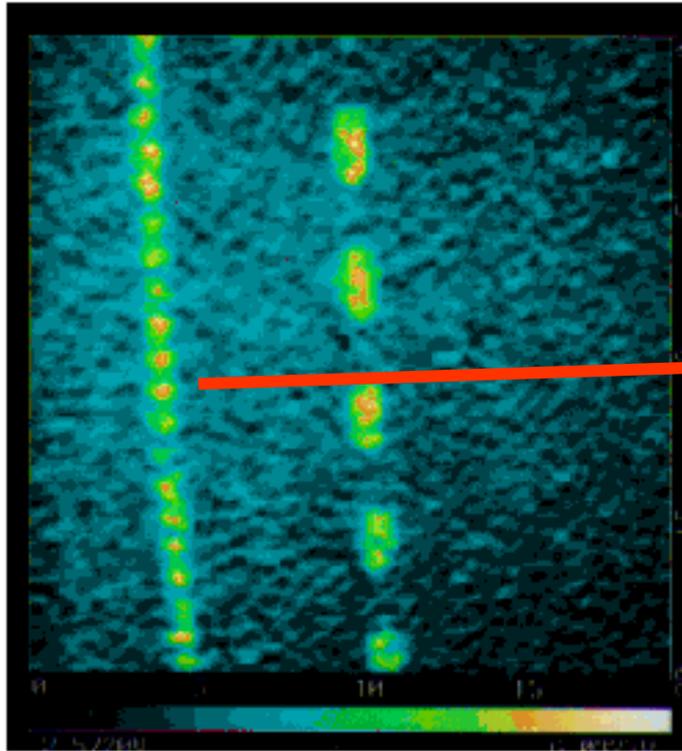
東京農工大学 工学部  
名称 記号 室号  
所属 室号 室号

# Cr市松模様の特ポ像とSNOM像



# DyIGに記録されたマークの像

クロスニコル法によるイメージング

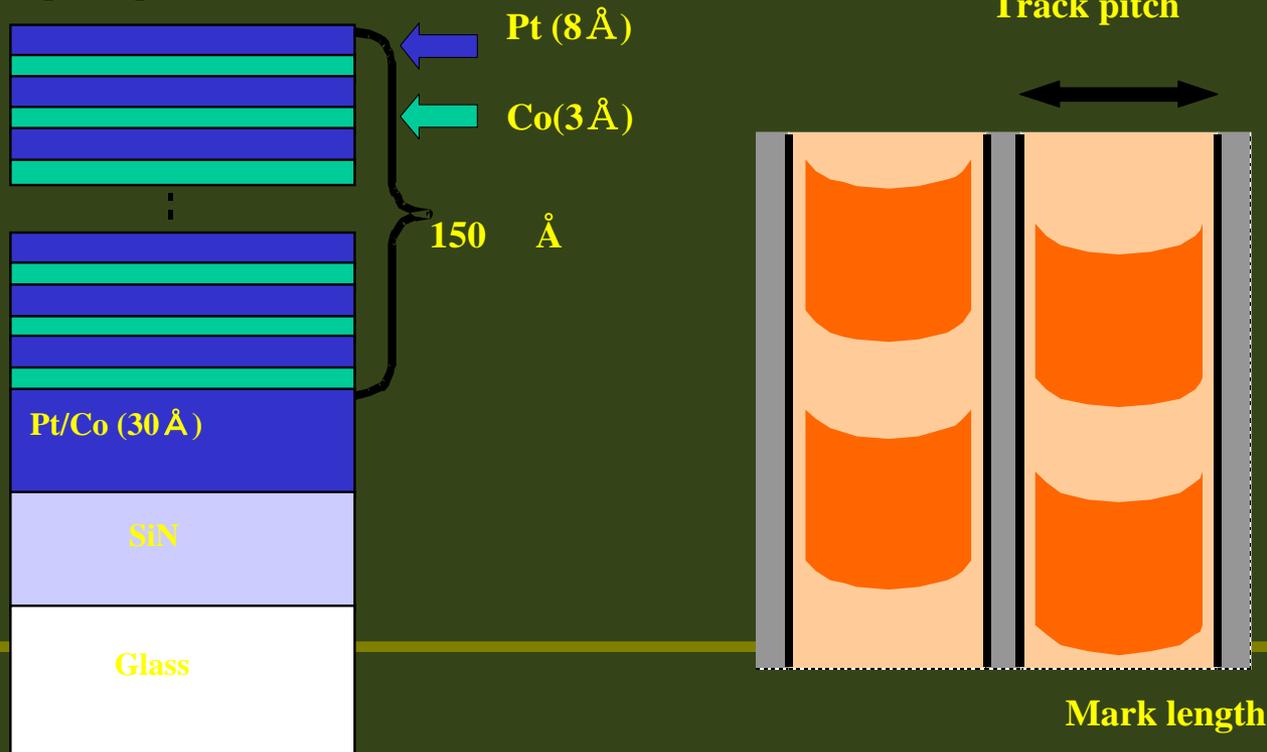


DyIG膜の記録マークの偏光像  
(波長488nm)

拡大図

# 試料: Pt/Co 多層膜ディスク

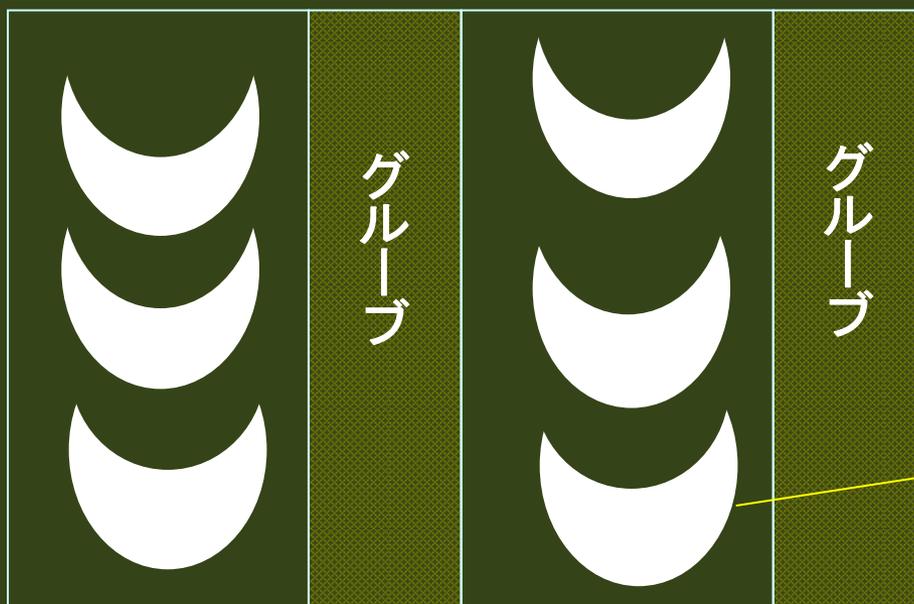
- Structure  $\text{SiN/Pt}(30\text{\AA})/[\text{Pt}(8\text{\AA})/\text{Co}(3\text{\AA})]_{13}$  on glass
- Film thickness  $150\text{\AA}$
- Recording System: Light pulse strobed MFM recording
- Track pitch :  $1.6\mu\text{m}$
- Mark Length:  $0.1 \sim 6\mu\text{m}$
- $\eta_F, \theta_F$ :  $0.47^\circ, 0.74^\circ$



# 測定したPt/Co MOディスクの構造



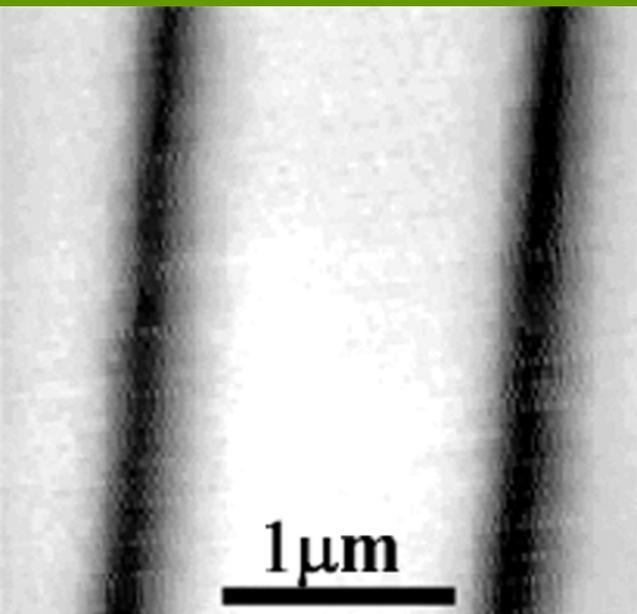
# 磁界変調記録の矢羽型記録マーク



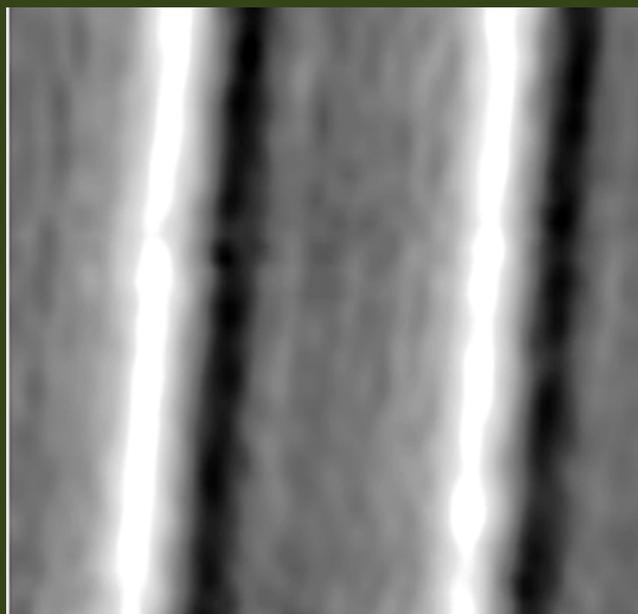
記録マーク

観測結果

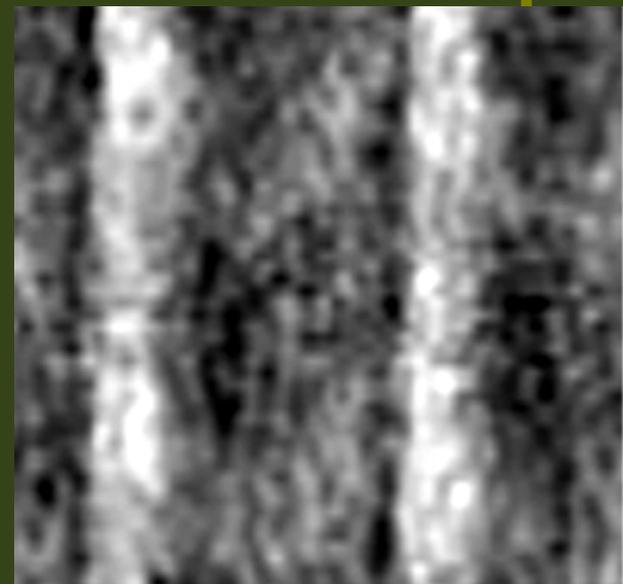
MO-SNOMによる記録マーク像  
(クロスニコル法)



AFMトポ像

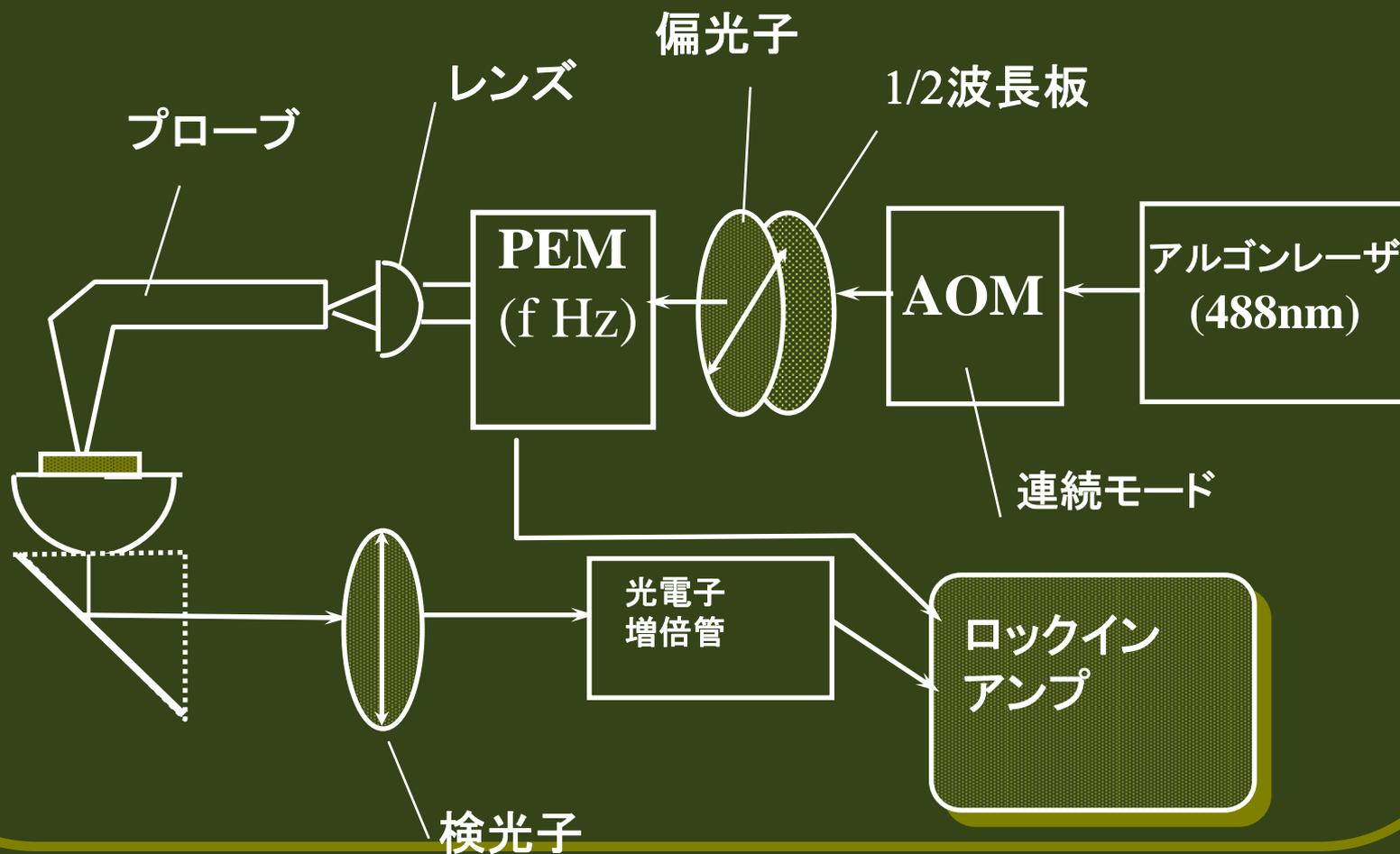


SNOM光学像

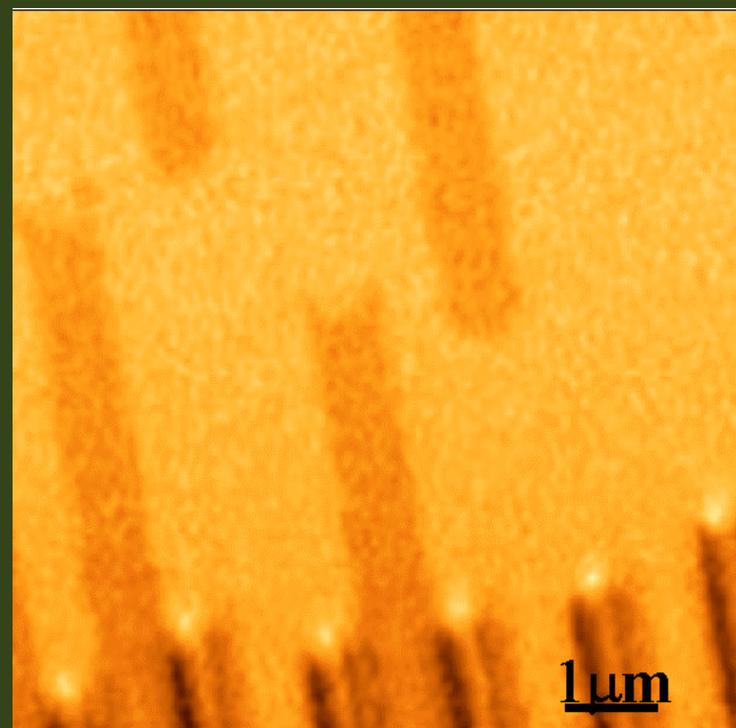
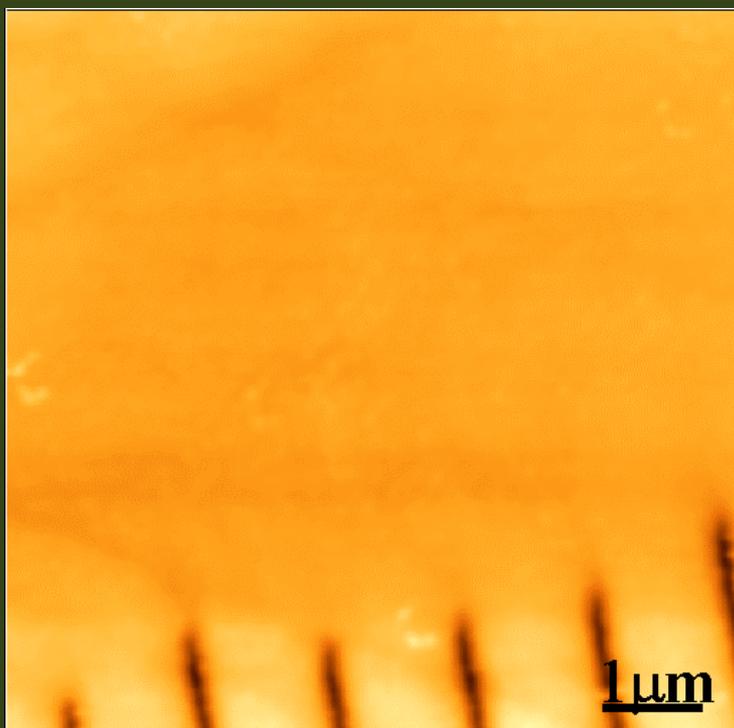


MO-SNOM像

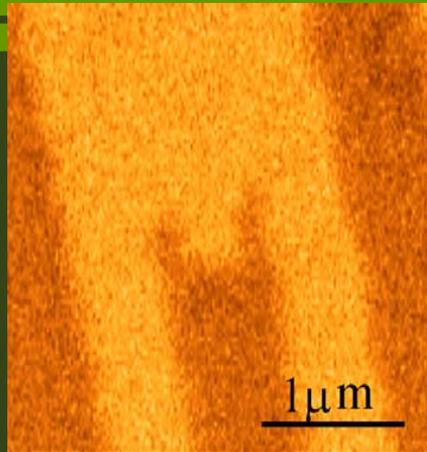
# PEMを使ったSNOMシステム



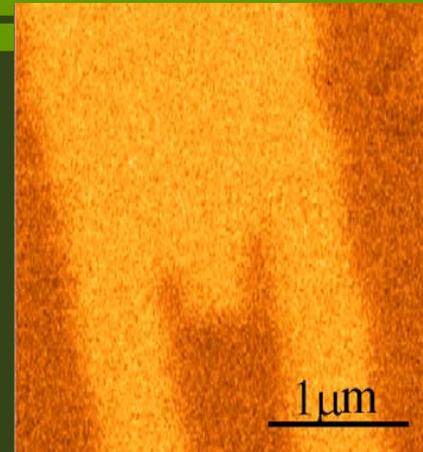
# Pt/Coディスクの記録マークの トポ像と磁気光学像



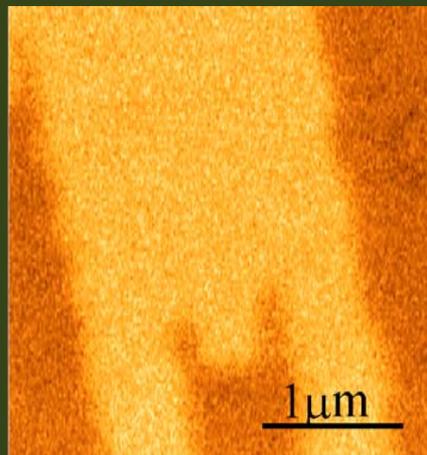
# 補償後の磁気光学像



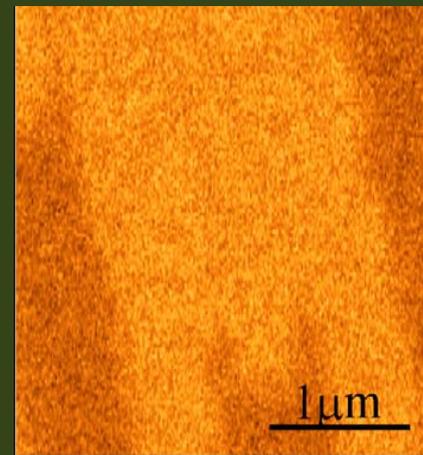
(a) 1f component ( $\Delta=0$ )



(b) 2f component ( $\Delta=0$ )

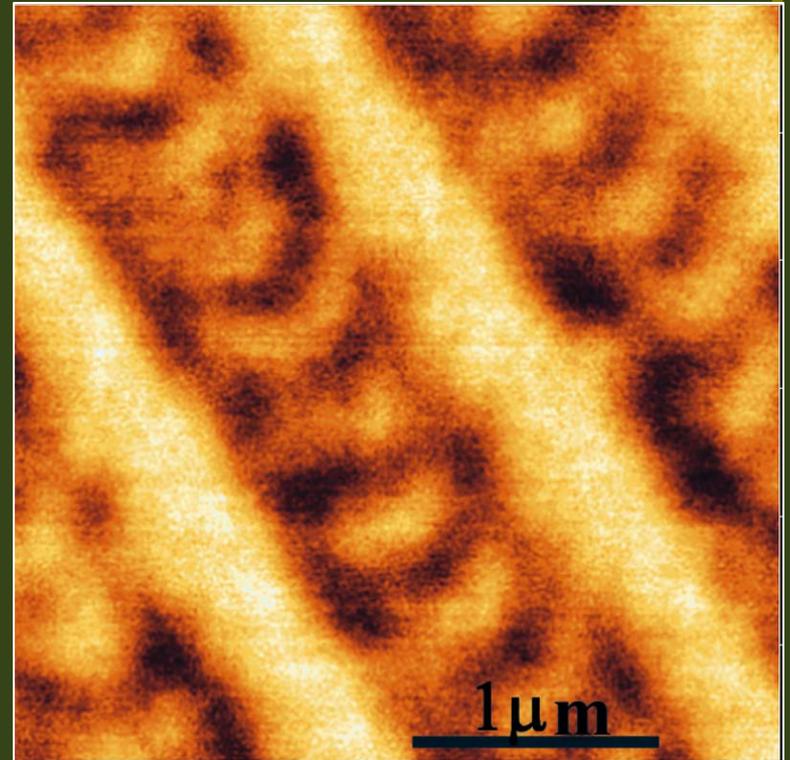
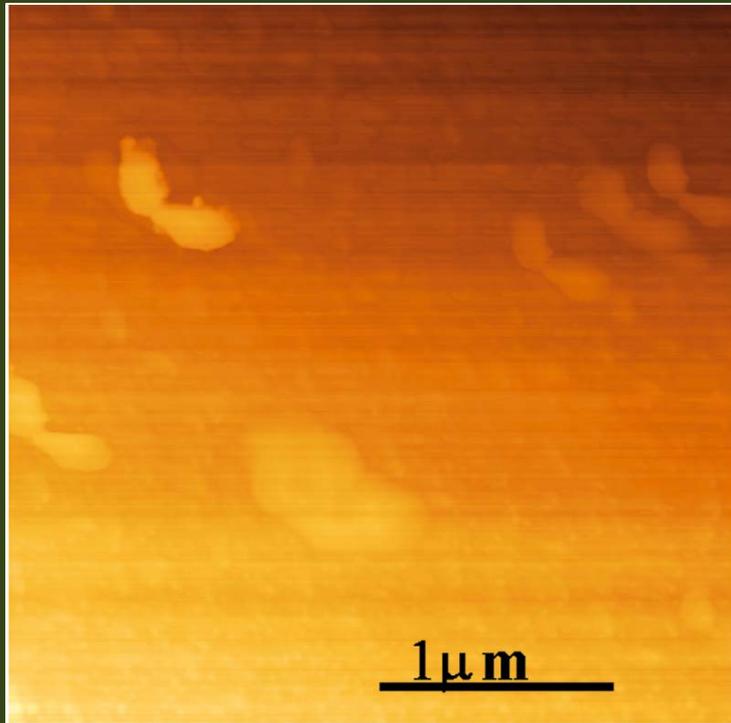


(c) 1f component ( $\Delta=\pi/2$ )



(d) 2f component ( $\Delta=\pi/2$ )

# 0.2 $\mu\text{m}$ の記録マークのトポ像とMO像



# 0.2 $\mu\text{m}$ の記録マークのSNOM像

