

最近の技術から

小開口を用いた光ディスクの超解像

福本 敦

ソニー(株)総合研究所久保田研究室 〒141 東京都品川区北品川 6-7-35

1. ま え が き

光ディスクは、ディスク上に記録された情報を光の回折を利用して再生する。その再生光学系は部分的コヒーレントな系で、その伝達関数は検出される光電流の基本波に着目したとき、インコヒーレント系の OTF に近似される。インコヒーレント系の OTF は良く知られているように対物レンズの瞳関数の自己相関と与えられ、光源の波長 (λ) と対物レンズの開口数 (NA) を用いると、その遮断周波数は $2NA/\lambda$ である。したがって光ディスクの高密度化のアプローチは、光源の短波長化と対物レンズの高開口数化で光学遮断周波数を高くし、この空間周波数帯域内の信号をいかに効率的に使用するかということに主眼がおかれていた。ところで走査型レーザー顕微鏡では、物体をその直近におかれたスポット径より小さなピンホールを通して検出することにより、光源の波長と対物レンズの開口数を変えることなしに遮断周波数を向上させる超解像が提案されている¹⁾。我々は、この超解像原理を光磁気ディスクの再生に応用した MSR (magnetically induced super resolution) を報告してきた²⁻⁶⁾。ここではこの光磁気ディスクによる超解像の原理、および再生信号特性を紹介する。

2. 原 理

走査型レーザー顕微鏡は光スポットで物体の一部のみを照明して、その情報を集光レンズ (一般には照明系と同一の対物レンズである) を通して積分光量検出するため、光学的、電気的に種々の解像度を改善する方法が考えられる。その一つに物体の直近におかれたピンホールで光学系のインパルス応答 (光スポット) に制限を加えて検出する超解像がある¹⁾。ピンホールに課せられる必要条件は、1) 波長オーダーの大きさであること、2) 波長オーダーの距離まで物体に近づくこと、3) 走査スポットとの相対位置が不変であることである。スカラー回折理論によれば、このときのインパルス応答は実際のスポットとピンホールとの積で表される⁷⁾。そのフーリエ

変換は集光レンズ瞳上の振幅分布を与える。この振幅分布は照明系の瞳関数よりも拡張され、ピンホールが小さいほどその拡張効果が大きく、物体の持つより高い周波数成分を集光レンズに導くことができる。これは丁度、従来のシステムにおいて集光レンズを変えずに照明系のレンズの開口数を大きくすることに対応する。しかし実際には 1) の条件を満たすピンホールの作製は可能であるが、任意の物体に対して 2), 3) の条件を満たすようにピンホールを配置することは不可能であり、顕微鏡としての用途には不十分であった。

MSR は、光磁気ディスクの再生において従来の信号面 (記録層) 上を、このピンホールの機能を有する垂直磁化膜 (再生層) で覆うことにより、超解像を実現するものである⁴⁾。再生光スポットは、自ら与える熱により再生層に現れた信号のみを検出する。この信号の現れる領域を開口と呼ぶ。開口の形成には、両層の間に働く磁気交換結合力による記録層からの信号の転写を利用する。この転写機能は、光スポットにより形成されるディスク上の温度分布内で、交換結合力が再生層の保磁力より小さい低温領域、および再生層のキュリー温度以上の高温領域では働かない。したがって輪帯状の中間の温度領域が開口として動く。一定速度で回転するディスク上での開口は熱的遅延により光スポットの後方に、光スポットと重なるように形成される (図 1)。この開口によ

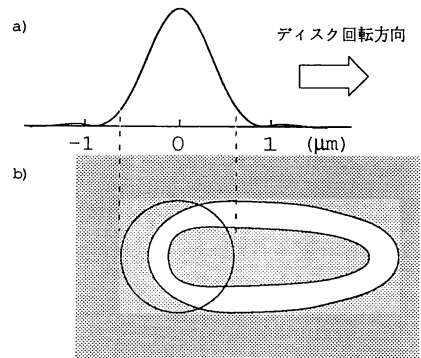


図 1 ディスク上の a) 光スポットの強度分布、b) 開口 (白抜き部分)

り制限を受けた実効的なスポットは本来の光スポットに比べて著しく小さいため、高い周波数解像度が得られる。またこの磁気による開口は、再生層の強い垂直磁気異方性により開口の内外で高い消光比をもつことが特徴で、走査型レーザー顕微鏡理論におけるピンホールの条件を満足するものである。

3. 信号特性

現行の光ピックアップ($\lambda=780\text{ nm}$, $\text{NA}=0.53$)を用いた MSR の再生信号特性を以下に示す。ディスクの線速 7.5 m/s 、レーザーパワー 3 mW のとき図1に示される開口が得られる。これらの条件の下で、各空間周波数に対する再生信号レベルを測定したところ従来の周波数応答をはるかに越える応答特性が得られた(図2)。 $2\text{ NA}/\lambda$ で決まる従来の遮断周波数において得られたキャリア、ノイズ比は 48 dB でデジタル信号再生に十分な値である⁶⁾。デジタル信号再生実験はいわゆる(1, 7) RLL 変調とエッジ検出法を併用し、ビット長 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ にて行

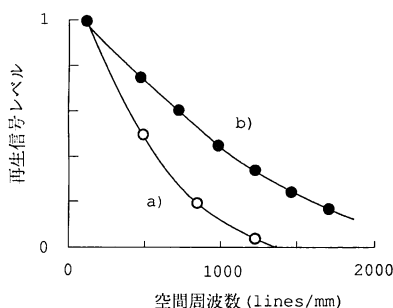


図2 空間周波数に対する再生信号レベル
a) 従来再生法, b) MSR 再生

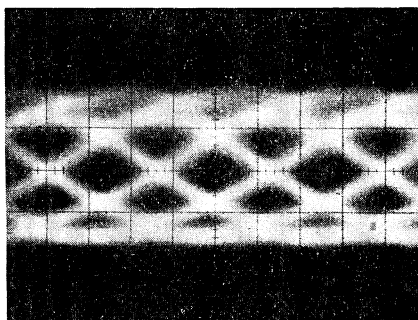


図3 アイパターン ($0.3\text{ }\mu\text{m/bit}$)

われた。これは現行の ISO 規格 130 mm MO ディスクの 3.3 倍の線密度に相当する。非対称な開口の形状は、再生信号にジッターの増加をもたらし、安定な信号検出の妨げとなる。この本質的なジッターは波形等価回路を用いて電氣的に補正することができる。補正後の再生信号(アイパターン)を図3に示す。結果として 10^{-4} 以下のバイト誤り率が得られた⁶⁾。これは実際のシステムに適用可能な値である。

4. むすび

一般に光ディスクの信号面を光スポット強度に対してその光学定数が非線形な応答をする薄膜で覆うことにより、 $2\text{ NA}/\lambda$ を越える空間周波数応答を得ることができ⁸⁾。その中でも走査型レーザー顕微鏡の超解像原理が教えるピンホールと同等な機能をもつ MSR の開口は光ディスクの信号再生において特に優れた超解像特性を示す。

文 献

- 1) T. Wilson and C. Sheppard: *Theory and Practice of Scanning Optical Microscopy* (Academic Press, London, 1984) pp. 140-156.
- 2) K. Aratani, A. Fukumoto, M. Ohta, M. Kaneko and K. Watanabe: "Magnetically induced super resolution in novel magneto-optical disk," Proc. SPIE, **1499** (1991) 209-215.
- 3) A. Fukumoto, K. Aratani, S. Yoshimura, T. Udagawa, M. Ohta and M. Kaneko: "Super resolution in a magneto-optical disk with an active mask," Proc. SPIE, **1499** (1991) 216-225.
- 4) M. Kaneko, K. Aratani and M. Ohta: "Multilayered magneto-optical disks for magnetically induced superresolution," Jpn. J. Appl. Phys., **31** (1992) 568-575.
- 5) A. Fukumoto and S. Kubota: "Superresolution of optical disks using a small aperture," Jpn. J. Appl. Phys., **31** (1992) 529-533.
- 6) S. Yoshimura, A. Fukumoto, M. Kaneko and H. Owa: "High-density magneto-optical disk system using magnetically induced super resolution," Jpn. J. Appl. Phys., **31** (1992) 576-579.
- 7) H. H. Hopkins: "Diffraction theory of laser read-out systems for optical video discs," J. Opt. Soc. Am., **69** (1979) 4-24.
- 8) G. Bouwhuis and J. H. M. Spruit: "Optical storage read-out of nonlinear disks," Appl. Opt., **29** (1990) 3766-3768.

(1992年4月6日受理)