

研究速報

超解像スポットによる記録媒体上温度分布の解析

山中 豊・窪田 恵一

日本電気(株)光エレクトロニクス研究所 〒216 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

(1992年1月8日受付, 1992年2月17日受理)

Temperature Distribution Analysis on Optical Disk by Superresolution Spot

Yutaka YAMANAKA and Keiichi KUBOTA

Opto-Electronics Research Laboratories, NEC Corporation,
4-1-1, Miyazaki, Miyamae-ku, Kawasaki 216

(Received January 8, 1992; Accepted February 17, 1992)

Temperature distribution on optical disk by superresolution spot, which is useful for high density recording, have been analyzed. By using a overlapped Gaussian beams, temperature distribution was easily calculated. The calculated results coincide with the experimental results.

1. ま え が き

光ディスクは大容量・高密度な記録媒体であるが、記録ディスクの小径化やデジタル画像の記録などのために、さらなる高密度化が求められている。記録密度は基本的に、光ヘッドによって形成される回折限界の集光スポット径によって決まる。したがって光源の短波長化が密度向上には有効であり、600 nm 帯の可視光レーザーの使用¹⁾や、さらに短波長の 500 nm 帯の SHG 光源の使用²⁾が検討されている。光学系では集光レンズの高 NA 化が考えられるが、焦点深度の減少や、レンズ傾き許容量の低下をとまなうため、実用的な装置においては NA 0.55 程度が限度である。

筆者らは、従来の限界を越える記録密度を実現するために、超解像光学系を用いた光ヘッドを検討し、その有効性を実証してきた^{3,4)}。超解像スポットでは、メインスポット径の縮小と同時にサイドローブが発生するため、記録動作時における記録ピット形状の変形が問題となる。従来は、サイドローブ強度をメインスポット強度の一定割合以下とすることでピット変形を抑制していた。

本研究では、超解像スポットによる記録媒体上の温度分布を、近似による簡便な数値解析により求め、サイド

ローブの影響の定量的な評価を行った。本論文では、まず超解像光学系の原理と特性について述べ、次に温度分布の解析手法について説明する。そして数値解析の結果について述べたのち、実測値との比較を行い本解析の妥当性を示す。

2. 超解像スポットの形成

Fig. 1 に超解像光学系の原理を示す。超解像スポットは、コリメート光中に透過光の振幅や位相を適当に変化させる光学素子を設置することによって、集光レンズの焦点位置に発生させることができる。最も簡単な方法としては、図に示すようにコリメート光の中心付近の強度を遮光帯により減衰することによって実現される。この場合は、遮光帯と直交する方向にのみ超解像となる。光ディスクへの応用では、トラック平行方向に超解像スポットを発生させ記録密度を向上している³⁾。

Fig. 2 にコリメートビーム径に対する遮光帯幅の増加に対して、メインスポット径とサイドローブ強度の変化を示す。超解像が形成されるとメインローブ径が減少すると同時にサイドローブ強度が増大する。20%の遮光帯幅に対し、約 20% のスポット径の減少と 30% のサイドローブ強度となる。

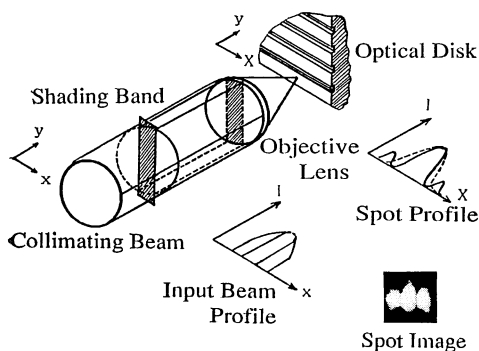


Fig. 1 Optical system for superresolution.

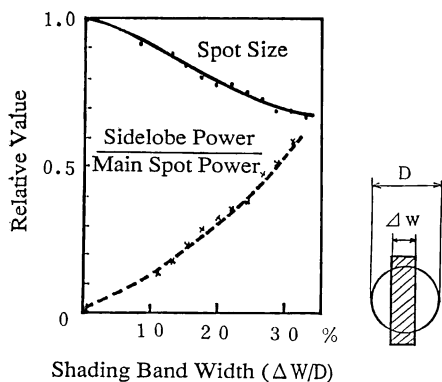


Fig. 2 Measured spot size and sidelobe power to main spot power ratio dependence on shading width.

3. 温度分布解析

記録媒体上の温度分布の厳密な解析は、大型コンピュータ上での有限要素の熱フローシミュレーションによって広く行われている。一方本研究は、超解像光学系の設計に対して、一定の指針を得ることが目的であるので、計算量の少ない解析手法⁵⁾を發展させて用いた。

解析手順としては、まず回転対称なガウスビームで記録媒体を照射したときの温度分布の時間変化を計算し、次にビーム照射位置に移動があるときの温度分布を求める。さらに、この結果を用いて超解像スポットにおける温度分布を近似する方法を示す。

Fig. 3 に基本的な計算モデルを示す。光ディスクは記録媒体と基板の2層構造とし、円柱座標の原点にガウスビーム入射を仮定する。熱フローに対する基本方程式は次のように表される。

$$C\rho \frac{dT}{dt} = \nabla \cdot J + Q \quad (1)$$

$$J = -K \cdot \nabla T \quad (2)$$

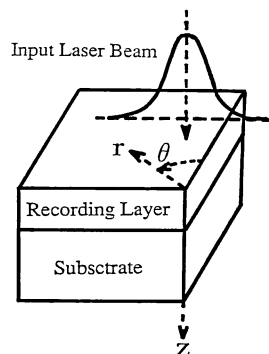


Fig. 3 Investigation model geometry and coordinate system.

T : 温度分布, Q : 熱源, J : 熱フローベクトルであり、いずれも場所と時間の関数である。 C : 熱容量, ρ : 密度, K : 熱抵抗であり材料の特性値である。ビーム入射位置の移動がないとすると、 θ 依存性はなくなるため (r, z) の温度分布だけ求めればよい。詳しい関係式の導出は文献に譲るとして⁵⁾、ある点の温度 T

$$T(r, z, t) = T[(j-1/2)\Delta r, (k-1/2)\Delta z, t] \quad (3)$$

j, k : 整数値

は、微小時間 Δt 前の周囲の温度と Δt の間にその点に発生した熱量 Q によって表すことができる。 Δt ごとに各点の温度分布を計算することにより、記録媒体全体における温度分布を求めることができる。

次に、熱フローが材料の線形な特性領域で発生していると仮定し、照射ビーム位置が移動したときの温度分布を求める。 Fig. 4 (a) に、時間幅 Δt のインパルス的な光照射を仮定したときの記録媒体表面における温度分布の時間変化を示す。光吸収によって発生したガウス形状の温度分布が時間と共に拡散していく。ビームが速度 v で移動したとすると、 Δt ごとに記録媒体上の照射位置を $v\Delta t$ 変えて求めた温度分布を Fig. 4 (b) に示すように重ね合わせることににより、ビーム移動時の温度分布を得ることができる。先に求めたガウスビームによる温度分布 $T(r, z, t)$ より、ビームが移動した時の移動軸上の温度分布 T_g は、

$$T_g(r, z, t) = \sum^n T(r+vn\Delta t, z, t-n\Delta t) \quad (4)$$

n : 整数値

と表現できる。

以上の結果を用いて、超解像による温度分布を求める。 Fig. 1 に示すような超解像スポットによる温度分布を厳密に求めるためには、非対称な温度分布を計算する必要がある。ここでは、厳密解を求めることにより設計

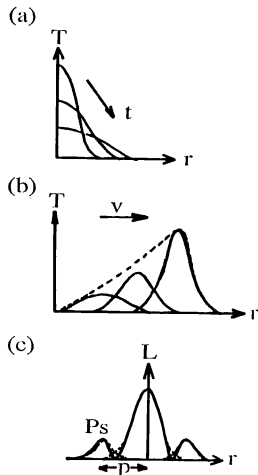


Fig. 4 Explanation for analysis procedures. (a) Heat flow for impulse input. (b) Temperature calculation for moving spot. (c) Input profile approximation by three Gaussian beams.

指針を得ることが目的であるため、ガウスビームによる近似を行う。Fig. 4 (c)に示すように、超解像スポットを、メインスポットと二つのサイドローブのピーク位置を中心として、それぞれのピーク強度・半値幅と同じ値を持つ三つのガウスビームの重ね合わせで記述する。実際の超解像スポットには、メインスポットとサイドローブの間に光強度がゼロになる点が存在するが、ガウスビーム近似では互いの裾が重なり合うため、実際より厳しい条件で温度分布を求めることになる。また、トラック平行と直交方向では 20~30% 程度のビーム径の差があるが、今回は解析モデルをできるだけ単純化するため等方的な分布を仮定した。三つのスポットが移動したときの温度分布を足し合わせることで、超解像による温度分布 T_s を近似することができる。

$$T_s(r, z, t) = P_s \cdot T_g(r-p, z, t) + T_g(r, z, t) + P_s \cdot T_g(r+p, z, t) \quad (5)$$

p : メインスポットとサイドローブの間隔, P_s : メインスポットに対するサイドローブの強度比である。

以上が、本研究で用いた解析手法のあらましである。この解析では Δr と Δz を適当に設定すれば、パソコンレベルのコンピュータで十分実施可能な計算量であり、各種パラメータの検討を行う設計ツールとして実用的なものとなっている。

4. 解析結果および実測値との対応

前章で述べた解析手法によって、光ビーム照射による

記録媒体上の最高到達温度分布を求めた。記録媒体に形成される記録ビット形状は、求めた到達温度分布が記録閾値温度を越える領域によってほぼ決まる。材料の特性値としては、基板はポリカーボネートの値 ($K=7 \times 10^{-4}$ cal/cm \cdot s \cdot deg, $\rho C=2.7$ cal/cm 3 \cdot deg) を、記録媒体は遷移金属材料の典型値 ($K=0.2$ cal/cm \cdot s \cdot deg, $\rho C=0.83$ cal/cm 3 \cdot deg) を用いた。

Fig. 5 に、ガウスビームにおける到達温度分布を示す。入射ビームが速度 10 m/s で 2.5 μ m 移動すると仮定している。図中に入射ビームの強度分布も合わせて示す。ビーム進行方向に到達温度が増加し、いわゆる涙形となるビット形状の特徴がよく現れている。Fig. 6 に異なるサイドローブ強度を有する超解像スポットによる温度分布を示す。入射ビームが速度 5 m/s で 1.5 μ m 移動すると仮定している。図中には、 $P_s=0.3$ のガウスビーム近似による入射強度分布も示す。サイドローブ強度が増加するにつれて、ビットと前部と後部における温度分布の拡がりが大きくなる。この温度分布の拡がり

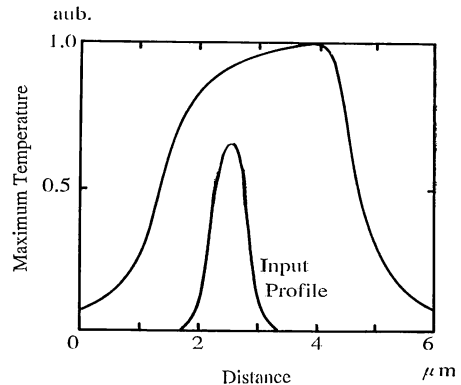


Fig. 5 Temperature distribution for Gaussian beam input.

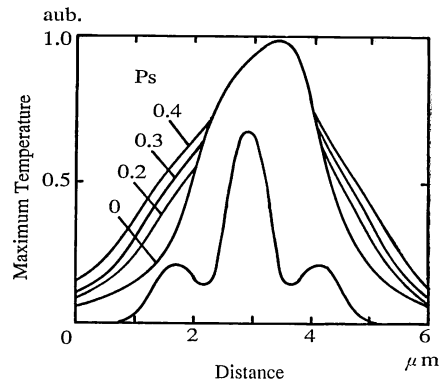


Fig. 6 Temperature distribution for super-resolution beam input.

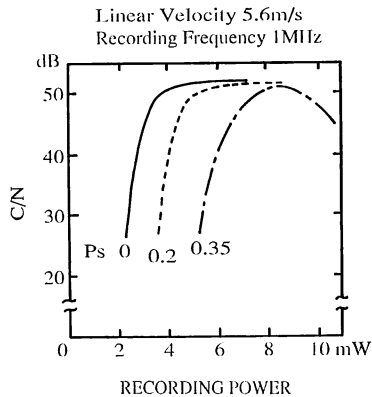


Fig. 7 Recording C/N characteristics for different shading band width (P_s). Normal spot used for read-out.

が、記録ピット形状の変形をもたらす。記録閾値温度がピーク温度の50~60%程度とすると、 $P_s < 0.3$ の条件ではサイドローブによる記録ピットの変形はあまり大きくないと考えられるが、実際には実験結果と合わせて検討する必要がある。

解析結果の妥当性を評価するために、Te系の追記型光ディスクを用いて記録再生特性の評価を行った。

Fig. 7に、超解像スポットを用いて記録したピットを通常スポットで再生したときの C/N の記録パワー依存性を示す。遮光幅の増加に伴って記録閾値パワーが増加するのは、サイドローブの増加によってメインスポットのパワーが減少するためであり、記録ピットの変形とは関係がない。通常スポットで再生を行ったのは、記録ピット形状の変化を同じ条件で確認するためである。 $P_s = 0.35$ では記録ピット形状の拡大によりキャリア成分の低下が生じるため、記録パワーの高い側で C/N の劣化が見られる。 $P_s = 0.2$ では顕著な変化はみられな

い。この測定結果より、サイドビームに影響を近似的に見積る本解析が、ヘッド設計の指針を得る上で有用であることが確認された。

5. ま と め

超解像スポットによる記録媒体上の温度分布を、適当な近似により簡便に求める方法について検討した。三つのガウスビームの重ね合わせで超解像スポットを表現することにより、少ない計算量で求める温度分布を得ることができた。実測結果との対比より、本解析結果の妥当性を確認することができた。このような簡便な解析手法は実用的な設計ツールとして有効と考えられる。

本研究を行うに当たりご指導いただいた、阪口支配人、西田主管研究員、小林所長、堀田部長、小野主管研究員を始めとする関係各位に深謝いたします。

文 献

- 1) Y. Yamanaka, K. Kubota, H. Fujii, K. Kobayashi, T. Suzuki and H. Gokan: "High density magneto-optical recording using 0.67 μm band high power laser diode," IEEE Trans. Magn., **MAG-24** (1988) 2300-2304.
- 2) 岡美智雄, 海老澤観, 高橋宏雄, 久保田重夫: "低ノイズグリーンレーザを用いた MUSE 光ディスクシステム", 光モリシンポジウム '90 論文集 (幕張メッセ, 1990) pp. 57-58.
- 3) Y. Yamanaka, Y. Hirose, H. Fujii and K. Kubota: "High density recording by superresolution in an optical disk memory system," Appl. Opt., **29** (1990) 3046-3051.
- 4) Y. Yamanaka, Y. Hirose and K. Kubota: "High density recording by superresolution," Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) 197-200.
- 5) S. Y. Suh and D. L. Anderson: "Latent heat effects of pulsed laser beam induced temperature profiles in optical recording thin films," Appl. Opt., **23** (1984) 3965-3971.