酸化白金薄膜を用いた超解像光記録

藤 寛¹, 菊川 隆², 富永 淳二³

¹シャープ(株)デバイス技術研究所 (〒632-8567 奈良県天理市標本町2613-1)

²TDK(株)レコーディングメディア&ソリューションズビジネスグループ (〒385-0009 長野県佐久市小田井462-1)

³(独)産業技術総合研究所近接場光応用工学研究センター (〒305-8562 茨城県つくば市東1-1-1)

Super-Resolution Recording on an Optical Disk with a Platinum Oxide Layer

Hiroshi FUJII,¹ Takashi KIKUKAWA,² and Junji TOMINAGA³

¹Device Technology Research Laboratories, Sharp Corporation, 2613-1 Ichinomoto-cho, Tenri, Nara 632-8567

²Recording Media & Solutions Business Group, TDK Corporation, 462-1 Otai, Saku, Nagano 385-0009

³Center for Applied Near-Field Optics Research, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8562

(Received June 25, 2003)

Bit-by-bit detection is achieved at a recording density of 0.11 μm pits on a super-RENS disk with a platinum oxide layer. Pits and spaces are arranged as a recording pattern for pit position recording. After recording by laser pulses with pre- and post-heating, the pattern is correctly reproduced despite the size smaller than the resolution limit. Furthermore, the pattern is clearly binarized by a read channel circuit for bit-by-bit detection.

Key Words: Optical disk, Super-resolution, Platinum oxide, Bit-by-bit detection, Write strategy.

1. はじめに

光ディスクの高密度化のために、様々なディスク方式が研究されている。その一つに1998年に発表されたSuper-RENS (Super-Resolution Near-field Structure: 超解像近接場構造)がある¹⁾。Fig. 1に示すように、最初はアンチモン(Sb)薄膜を読み出し層(マスク層)として使用し、レーザーが集光された部分に近接場光を発生する開口を形成することによって、記録層のマークの超解像再生を行っていた。現在では、アンチモン薄膜の代わりに酸化銀や酸化白金の薄膜を用いた改良型の研究が主流となっている²⁻⁵⁾。この薄膜では、開口の代わりに散乱体が形成される。その後、記録マークの表面形状のAFM像や、マークの断面TEM像の観察により、実際には金属微粒子を含む空洞が形成され、これが記録ピットとなっている事が分かった。さらに、材料やディスク構造の改良によって、読み出し信号量は飛躍的に向上した。

しかしながら、これまでの記録再生の評価方法は、単一の周波数のピット/スペース対を記録した後に、CNR (Carrier-to-noise ratio)の評価を行うに留まっていた。実際のデータ記録再生では、単一の周波数ではなく、様々な

周波数成分を含んだデータ信号を的確に記録する必要がある⁶⁻⁹⁾。本稿では、酸化白金薄膜のディスクを用いて、ピットポジション記録における様々な周波数を含むパターンを記録する方法の検討と、その評価結果について述べる。

2. ディスク構造および記録再生原理

ディスク構造は、ポリカーボネート基板に第1誘電体層(ZnS-SiO₂)、酸化白金層(PtO_x)、第2誘電体層(ZnS-SiO₂)、相変化材料層(Ag-In-Sb-Te)、第3誘電体(ZnS-SiO₂)の順に積層されたものである(Fig. 2)。記録時には、この

Fig. 1 Brief review of super-RENS.

Fig. 2 Disk structure.

ディスクに強いレーザーパルス光を照射し、上記積層構造によってレーザー光を吸収し、発生した熱によって酸化白金層が酸素と白金に分解する。このときの膨張圧力によって第2誘電体層 (ZnS-SiO_2)、相変化材料層 (Ag-In-Sb-Te)、第3誘電体 (ZnS-SiO_2) が押し上げられ、塑性変形する。レーザー光の照射が終わると、おそらく変形部には分解した酸素と、析出した白金が残り、空洞の記録ピットが形成される。このように本ディスクは追記型の記録メディアである。記録されるピットのサイズは、酸化白金層が分解するためのしきい値温度を超えた領域で決定される。このしきい値温度を超えた領域は、ディスク上に集光されたレーザースポットの中心部分のみであるため、スポット径よりも小さなサイズの空洞が形成される。Super-RENSの開発当初は、上記の酸化白金に相当する層が読み出し層であり、相変化材料層が記録層であると予想された。しかし、現状では、次節のTEM像にも見られるとおり、主に酸化白金層が記録に関わることがわかっている。なお、他方の相変化材料層が記録時にどのような機能を果たしているのかは未だによく判っていない。

再生時は、弱いDCレーザー光を照射する。すると、高密度記録されたピットが回折限界を超えて読み出される。Super-RENSの開発当初には、この超解像の読み出し原理が開口あるいは散乱体を使った近接場光再生であると提案された。しかし、最近では大分異なる原理であることが次第に判ってきたが、詳細は未だに不明である。

3. 記録されたピットの断面写真

記録されたディスクの断面TEM像をFig. 3に示す。空洞ピットの長さは $0.2\ \mu\text{m}$ (周期 $0.4\ \mu\text{m}$)である。酸化白金の分解によって、見事に空洞が形成され、酸化白金の微細粒子が析出している。この写真は、複数の空洞ピットを連続して記録した例であるが、左端の空洞ピットは記録開始位置のピットである。この空洞ピットは後続する2番目 (中央) や3番目 (右端) の空洞ピットに比べて小さいのが分かる。つまり、先頭ピットの記録において十分な空洞が形成されていない。2番目や3番目のピット形成時は、直前のピット形成時の熱拡散によって熱が補われる。しかし、先頭のピットの直前は長いレーザー光の休止期間があり、熱が不足する。これは、従来の光磁気記録媒体や相変化媒体における光変調記録 (レーザーパルス変調記録) において、よく見られる現象である。通常は、レーザーパルス波形を工夫することによって熱の過不足をコントロールし、最適な記録を行っている。これを一般にライトストラテジと呼んでいる。

4. 実験評価用の記録パターン

上記の熱の不足が空洞ピット形成にどのような影響を与えるかを実験評価するために、Fig. 4に示す記録パターンを用いた。光記録におけるデジタル記録再生は、単位長Tの長さを持つチャンネルピットの整数倍によって全ての

Fig. 3 TEM image of bubble pits.

Fig. 4 Recording pattern.

記録ピットの間隔や、あるいはピットやスペースの長さを表す。この記録パターンは、ピットの長さが2T (2チャンネルピット分) であり、スペースは2Tと8T (8チャンネルピット分) の2種類である。左端の記録開始ピット2Tは、長いスペース8Tに挟まれている。したがって、このような孤立したピットの記録時は、直前のピットを記録するレーザーパルスからの熱拡散が到達せず、記録時の熱の補充が少ない。2番目と3番目のピットはスペース2Tを挟んで隣接し、ピット群を構成している。2番目のピットは直前に長いスペース8Tがあり、記録時の熱の補充が少ない。しかし、3番目のピットは2番目のピット形成時の熱拡散による熱の補充を受けて形成される。4番目～6番目はさらにピットが1つ増えたピット群を形成し、以降も1つずつピットが増える。6個のピットから成るピット群を形成した後は、再び長いスペース8Tに挟まれた2Tのピットを2回繰り返す。以上のパターンは、ピットの長さが一定であり、スペースの長さが複数である。このようなパターンを持つ変調方式は、ピットポジション記録方式と呼ばれる。

上記の記録パターンにおいて、左端のピットと、右端の2つのピットは、前後を長いスペースに挟まれて孤立しており、上記のように熱の不足が生じる。また、それ以外の5つのピット群 (ピット数2～6) においても先頭の左端のピットは、長い8Tスペースの直後であり、記録のための熱が不足しやすい。すると、ピットの大きさが十分に形成できず、読み出したときの信号強度が弱くなると予想される。したがって、このパターンを記録すると、読み出した信号から孤立ピットや、ピット群の先頭ピットにおける熱の過不足を確認できる。

5. 実験方法

ディスクの構造は、Fig. 2に示したようにポリカーボネート基板 ($0.6\ \text{mm}$) に ZnS-SiO_2 ($130\ \text{nm}$)、 PtO_x ($4\ \text{nm}$)、 ZnS-SiO_2 ($40\ \text{nm}$)、 Ag-In-Sb-Te 合金 ($60\ \text{nm}$)、 ZnS-SiO_2 ($100\ \text{nm}$) の順で積層したものである。レーザー光の波長 λ は $635\ \text{nm}$ 、対物レンズの開口数NAは 0.6 、ピットの解像限界をお

よそ $\lambda/4NA$ で定義すると $0.26\text{ }\mu\text{m}$ である．記録時の対物レンズ出射のレーザーパワー P_{write} は $8\sim 12\text{ mW}$ ，再生時 P_{read} は $3\sim 4\text{ mW}$ ，レーザースポットとディスクの相対線速度は 6 m/s である．記録パターンにおけるピット2Tの長さは $0.2\text{ }\mu\text{m}$ ，スペース2Tの長さは $0.2\text{ }\mu\text{m}$ ，長いスペース8Tの長さは $0.8\text{ }\mu\text{m}$ である．したがって，長さ2Tのピットおよびスペースは解像限界よりも短く，長さ8Tスペースは解像限界よりも十分に長い．

上記のパターンを繰り返しながらディスク1周のトラックに記録した後に，記録したトラックを読み出しながらオシロスコープ上で信号波形を確認する．これによって，ピットの形成状態や記録時の熱の過不足を評価する．

6. 結果および考察

Fig. 5は，上記パターンを $P_{\text{write}} = 10\text{ mW}$ にて記録した後， $P_{\text{read}} = 4\text{ mW}$ にて読み出した波形である．矢印で示した孤立ピットと，ピット群における先頭ピットの波形が小さく，十分にピットが形成されていないのがわかる．また，予想外であるが，ピット群の末尾ピットも同様に小さくなることが判った．これは，先頭ピットだけでなく末尾ピットの形成時も熱が不足していることを示している．つまり，ピット記録時の直前に長いスペースがある場合だけでなく，直後にも長いスペースがあると熱が不足すると考えられ，少なくとも直前あるいは直後のピットの記録レーザーパルスからの熱拡散が重要な役割を果たしていることが判った．

そこで，長いスペース8Tがピット2Tの直前あるいは直後にある場合に，不足する熱を以下の方法により補ってみた．Fig. 6は，このときの記録レーザーパルス波形を示す．孤立波形では，前後とも長いスペース8Tがあるため，記録のレーザーパルス P_{w1} の前後にプリヒートパルス P_{w2} およびポストヒートパルス P_{w3} を付加した． P_{w3} はバイアスレベルである．次に，ピット群においては先頭ピット形成用のレーザーパルス P_{w1} の直前にプリヒートパルス P_{w2} を，末尾ピット形成用レーザーパルス P_{w1} の直後にポス

Fig. 5 Readout signal of the pattern with smaller pits. 2T = $0.2\text{ }\mu\text{m}$, 8T = $0.8\text{ }\mu\text{m}$, $P_{\text{read}} = 4\text{ mW}$.

Fig. 6 Recording laser pulses with pre- and post-heating.

トヒートパルス P_{w2} を付加した．それ以外のピット群の間では熱を補わない．このように，記録時のレーザーパルス波形を予め調節することによって，読み出し波形を理想に近づける手法がライトストラテジである．

Fig. 7は，ライトストラテジによって記録されたパターンを，再生レーザーパワー P_{read} を増加させながら読み出した結果である． $P_{\text{read}} = 1\sim 3\text{ mW}$ においては，解像限界以下の2Tのピットとスペースが分離できていないが， $P_{\text{read}} = 4\text{ mW}$ においては分離して読み出されているのが判る．しかも，孤立ピットと，ピット群の先頭および末尾のピットの信号が増加しており，ライトストラテジによってピット形成時の熱を補充できたことがわかる．なお，Fig. 8に P_{read} に対するCNRの依存性を示す．これは，ピットおよびスペースの長さがどちらも $0.2\text{ }\mu\text{m}$ の単純な繰り返しパターンを記録した場合のキャリア信号とノイズの比である． $P_{\text{read}} = 1\sim 3\text{ mW}$ においては読み出されたキャリア信号が小さく， $P_{\text{read}} = 3\sim 4\text{ mW}$ において急激に増加しており，超解像効果を示している．この結果は，Fig. 7とよく一致している．なお，Super-RENSにおいては，上述の通り，記録のメカニズムは徐々に解明されているが，再生のメカニズムは未だに明確になっていない．ピットの空洞内の白金粒子がレーザー光によってトラップされ，レーザーピンセットのように位置を変えることにより，信号強度が大きくなるというシミュレーション結果も報告されているが⁸⁾，未だに実験によってメカニズムを確認した例は無

Fig. 7 Readout power dependence of signal figures.

Fig. 8 Readout power dependence of CNR.

い。

上記ライトストラテジは記録されたピットおよびスペースの読み出し耐久性にも効果があることが判った。Super-RENSでは、読み出し時のレーザーパワーが $P_{\text{read}} = 3 \sim 4 \text{ mW}$ と高く、繰り返して読み出す間に信号が次第に劣化するという問題があった。Fig. 9は、ライトストラテジを使用せずにパターンを記録した直後に読み出した波形と、5分間および10分間連続して読み出した後の波形を示す。5分間および10分間と読み出すと、次第に、孤立ピット前後の長い8Tスペース部分が劣化していくのが分かる。

これに比べて、プリヒートおよびポストヒートから成るライトストラテジを使用すると、Fig. 10に示すように劣化が発生せず、耐久性が向上した。記録直後から、5分および10分経ってもパターンの波形が劣化しないことが判る。しかし、劣化の原因と、ライトストラテジによる耐久性向上のメカニズムについても未だに解明されておらず、今後の研究に期待する。

Fig. 4に示したパターンは、ほんの一例にすぎない

Fig. 9 Readout time dependence of signal figures after recording without pre-and post-heating. $P_{\text{read}} = 4 \text{ mW}$.

Fig. 10 Readout time dependence of signal figures after recording with pre-and post-heating. $P_{\text{read}} = 4 \text{ mW}$.

め、その他のパターンの記録も示す。Fig. 11(a)は、長さ $0.2 \mu\text{m}$ のピットとスペースと、 $0.6 \mu\text{m}$ のピットとスペースを含むパターンを示した。Fig. 11(b)は、長さ $0.2 \mu\text{m}$ のピットと、 $0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$ のスペースのパターンを示した。このように他のパターンでも超解像記録が可能なが判る。

最後にFig. 4に示したパターンをデジタル信号の「0」と「1」に変換した例をFig. 12に示す。ピットの位置をデジタル信号に変換する記録方式(ピットポジション記録方式)における2値化の例である。ピットの長さ $2T$ を $0.2 \mu\text{m}$, $0.15 \mu\text{m}$, $0.12 \mu\text{m}$, $0.11 \mu\text{m}$ と次第に短くしていき、読み出し波形とデジタル信号波形を比較した。デジタル信号波形の位相が、読み出し波形に比べて若干遅れているのは、デジタル信号に変換する回路にて遅延が生じるためである。0.11 μm の場合は、ピットの長さが解像限界の半分以下にまで短くなっており、高密度記録における実用的なデータの記録再生が可能なが示している。

Fig. 13には、上記のピットの長さ $0.2 \mu\text{m}$, $0.15 \mu\text{m}$, $0.12 \mu\text{m}$, $0.11 \mu\text{m}$ に対応したCNRを示す。デジタル信号に変換可能な最小のピット長を $0.11 \mu\text{m}$ と仮定すると、CNRが40 dB以上であれば、ピットポジション記録におけるデータ記録再生が可能なが判る。

以上は、ピットポジション記録における記録再生評価を中心に述べたが、さらに高密度記録が可能ながピットエッジ記録においても、実用性を示すアイパターンが得られており、Super-RENSが高密度記録用の追記型メ

Fig. 11 Signal figures of other recording patterns.

Fig. 12 Pit length dependence of signal figure and bit-by-bit detection.

Fig. 13 Pit length dependence of CNR.

アとして実用性が高いことが判った。

7. まとめ

酸化白金薄膜を備えるSuper-RENSディスクを用いて、実用のデータ記録再生を想定した評価を行った。ピット形成時の熱の過不足を評価するために、ピットポジション記録用の特別なパターンを記録し、読み出した波形をオシロスコープで観測した。熱の不足を補うために記録レーザーパルスの前後にプリヒートとポストヒートパルスを付加した。これにより、孤立ピットや、ピット群の先頭や末尾ピットにおいて十分な記録特性が得られた。

また、連続読み出し耐久性が向上することも判った。さらに、読み出し波形からデジタル信号への変換を行い、ピット長 $0.11 \mu\text{m}$ の高密度記録が可能であることがわかった。しかし、上述の通り、記録時に相変化層がどのように機能しているのか、再生時に空洞や金属微粒子が超解像にどのように関わっているのか、あるいは近接場光の発生を利用しているのかなど、メカニズムで不明な点が多い。今後は、ピットエッジ記録方式への展開と、青色レーザーによる記録、および記録再生のメカニズムの解明が重要である。

参考文献

- 1) J. Tominaga, T. Nakan, and N. Atoda: Appl. Phys. Lett. **73** (1998) 2078.
- 2) H. Fuji, J. Tominaga, L. Men, T. Nakano, H. Katayama, and N. Atoda: Jpn. J. Appl. Phys. **39** (2000) 980.
- 3) J. Tominaga, H. Fuji, A. Sato, T. Nakano, and N. Atoda: Jpn. J. Appl. Phys. **39** (2000) 957.
- 4) H. Fuji, J. H. Kim, T. Shima, T. Nakano, D. Buechel, J. Tominaga, H. Katayama, and N. Atoda: J. Magn. Soc. Jpn. **25** (2001) 383.
- 5) T. Kikukawa, A. Tachibana, H. Fuji, and J. Tominaga: Tech. Dig. (ISOM/ODS2002 Postdeadline Papers) 45.
- 6) H. Fuji, T. Kikukawa, T. Shima, and J. Tominaga: Ext. Abstr. (63th Autumn Meet., 2002), The Japan Society of Applied Physics, **27a-YD-3**.
- 7) T. Kikukawa, H. Fuji, T. Shima, and J. Tominaga: Proc. (14th Symp. PCOS2002), 56.
- 8) T. Kikukawa, H. Nakano, T. Shima, and J. Tominaga: Appl. Phys. Lett. **81** (2002) 4697.
- 9) H. Fuji, T. Kikukawa, and J. Tominaga: Jpn. J. Appl. Phys. **42** (2003) L589.