

# AgO<sub>x</sub> をマスク層とした super-RENS 光ディスクの オーバーライト特性

田村 直義\*・浮田 宏生\*\*

\* 立命館大学大学院理工学研究科 〒525-8577 草津市野路東 1-1-1

\*\* 立命館大学理工学部 〒525-8577 草津市野路東 1-1-1

## Overwrite Characteristics of a Super-RENS Optical Disk Using AgO<sub>x</sub> Mask Layer

Naoyoshi TAMURA\* and Hiroo UKITA\*\*

\* Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University, 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu 525-8577

\*\* Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University, 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu 525-8577

Based on the working mechanism for a silver oxide type super-resolution near-field structure (Ag super-RENS) disk, we realized overwrite performance by applying the reversible conditions of the mask layer. It was initialized as Ag cluster phase by continuous power of 4.0 mW both before writing ( $P_w=7.0$  mW) and before erasing ( $P_e=5.0$  mW, 5 s). Nevertheless, the CNR difference between writing (amorphous) and erasing (crystal) for successive overwrite decreases as the number of the overwriting increases, resulting in 4 times overwrite for the present medium.

**Key words:** super-RENS, overwrite, AgO<sub>x</sub>, GeSbTe, optical data storage

### 1. はじめに

光ディスクは時代のニーズとともに大容量化してきたが、さらなる大容量化には光の波長と対物レンズの開口数で決まる分解能（スポットサイズ）に限界がある。この検出限界を打破する方法のひとつに、波長や開口数に依存しない super resolution near-field structure (super-RENS) 方式がある。これまで、マスク層として Sb を用いた開口型<sup>1,2)</sup> から金属酸化物を用いた散乱型<sup>3-5)</sup> へと発展し CNR (carrier to noise ratio) を向上してきたが、情報の書き替えはできなかった。

本稿では、マスク層に酸化銀を用いた散乱型 super-RENS の記録再生メカニズム<sup>6)</sup> に基づき、オーバーライトの可能性を検討した。その結果、初期化を複数回行うことでマスク層の酸化銀が可逆変化することを見いだし、記録および消去前にマスク層だけを再度初期化することにより、オーバーライトが可能なることを見いだしたので報告する。

### 2. 光ディスクの構成と実験方法

super-RENS ディスクの実験には、市販の媒体評価装置 (DDU-1000: パルステック社) を使用した。Table 1 に AgO<sub>x</sub> 型 super-RENS ディスクの諸元を示す。ディスクはマスク層が AgO<sub>x</sub>、記録層が GeSbTe の相変化媒体で (いずれも原理的に可逆変化可能)、Table 1 のような六層構造になっている。表中の  $n$  は屈折率、 $k$  は吸収係数を表している。また、ディスクの基板厚は 0.6 mm なので厚み補正用のガラス板 0.6 mm を光ヘッドに取り付け、本対物レンズ (ディスク厚 1.2 mm 用) の球面収差を補正した。レーザー波長は  $\lambda=830$  nm、対物レンズ開口数は  $NA=0.5$  なので、本実験の検出限界 ( $\lambda/4NA$ ) は 415 nm になる。媒体速度は  $v=2.0$  m/s、通常再生パワーは  $P_r=1.0$  mW、光パルスのデューティー比は 50% である。なお、マーク長 1000 nm の場合の光パルス幅は 1000 ns になる。

\*\* E-mail: ukita@se.ritsumei.ac.jp

Table 1 Parameters of materials of super-RENS with  $\text{AgO}_x$  mask layer.

Layer	Material	Thickness [nm]	Phase	$n$	$k$
PC sub.	Polycarbonate	$0.6 \times 10^6$		1.56	
Protective	$\text{ZnSiO}_2$	170		2.25	0.01
Mask	$\text{AgO}_x$	15	$\text{AgO}_2$	2.8	0.08
			Ag particle	0.04	6.992
Protective	$\text{ZnSiO}_2$	40		2.25	0.01
Recording	$\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$	15	Crystal	4.29	2.09
			Amorphous	3.97	4.41
Protective	$\text{ZnSiO}_2$	20		2.25	0.01

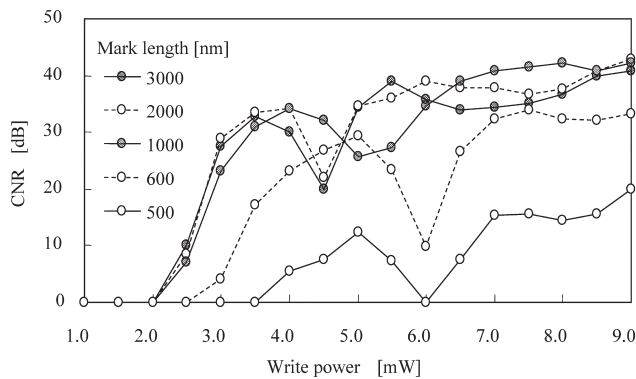


Fig. 1 Relationship between CNR and write power for read power of  $P_r=1.0$  mW with mark length as a parameter.

### 3. $\text{AgO}_x$ 型 super-RENS の記録再生メカニズム

散乱型 super-RENS はマスク層に金属酸化物を用いることで、ディスク内部に散乱体を形成し近接場光を発生させる方式であり、開口型 super-RENS より高い CNR が得られる。散乱型 super-RENS はレーザー吸収による熱分解を利用してマスク層を瞬時に金属微粒子と酸素ガスに分解し、金属微粒子を散乱体として用いる。レーザースポット周辺に集められた金属微粒子は金属プローブを形成し、表面プラズモンにより電場増強効果がある。 $\text{AgO}_x$  (酸化銀) を用いた散乱型 super-RENS では、レーザー照射によりマスク層の  $\text{AgO}_x$  薄膜が熱分解され、銀微粒子と酸素ガスに分離する。また、レーザービームの中心に銀微粒子が集まって光散乱体を形成、金属プローブとして作用し、プラズモン効果により微小マークを読み出す。このとき、熱分解時における酸素爆発の圧力により保護層が記録層に押し出されて熱変形するため、ライトワンス記録になることが報告されている<sup>5)</sup>。なお、レーザーパワーを高くすると、レーザースポットの中心に集まった銀微粒子は中央に空洞をもつリング構造<sup>4,5)</sup> となり、金属による微小開口として作用し、微小マークを読み出す。

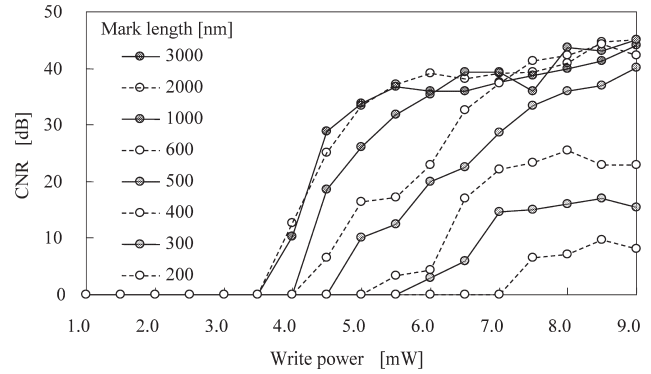


Fig. 2 Relationship between CNR and write power for super-RENS readout with mark length as a parameter.

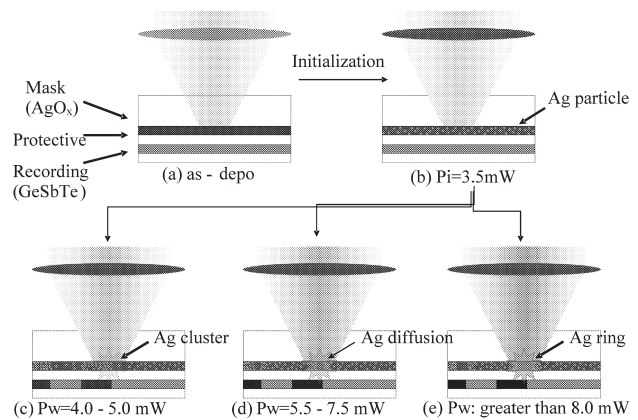


Fig. 3 Working mechanism of a super-RENS with  $\text{AgO}_x$  mask layer.<sup>6)</sup>

Fig. 1 は記録直後における通常再生パワー ( $P_r=1.0$  mW) での CNR の記録パワー依存性、Fig. 2 はマスク層の Ag 粒子をリング構造に変化し超解像検出を可能とする super-RENS 再生時 ( $P_{rs}=4.0$  mW) での CNR の記録パワー依存性である。Fig. 1 ではマスク層と記録層の効果が重畳されるので検出限界以下のマークを検知できないが、Fig. 2 では均一なマスク層中に形成されたリング状の微小開口により記録層の変化を検出できるため超解像検出が可能になっている。これらの CNR の記録パワー依存性と文献<sup>6)</sup> の信号振幅の記録パワー依存性から、Fig. 3 に示すような記録再生メカニズムが明らかになっている。

Fig. 3 で、記録パワー  $P_w$  が初期化パワー  $P_i=3.5$  mW より低い場合は記録層に変化はない。 $P_w=4.0\sim 5.0$  mW では記録層がアモルファス化しはじめて記録層の反射率が低下し、マスク層には初期化で分散されていた銀微粒子が引き寄せられて凝集体を形成し (c)、マスク層の反射率が増加するので、両層の効果が重畳して CNR が低下する。 $P_w=5.5\sim 7.5$  mW では記録層のアモルファス化がさらに

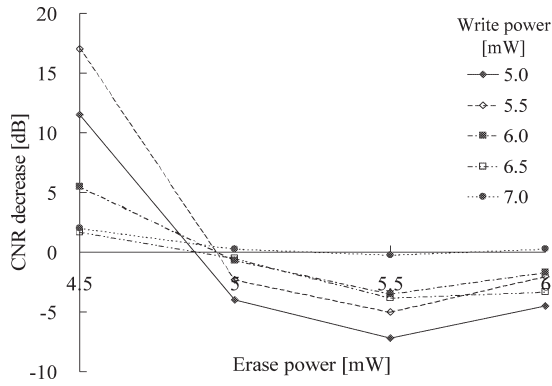


Fig. 4 Relationship between CNR decrease and erase power with write power as a parameter.

進み CNR は一定値へ収束するが、信号振幅とノイズが記録パワーとともに増加する。一方、マスク層では銀微粒子の凝集が解け（拡散）はじめる (d)。 $P_w=8.0$  mW 以上では銀微粒子がリング構造へ変化する (e)。したがって、反射率が低下し信号が小さくなる。なお、検出可能な最小マーク 200 nm における信号の最大値が得られた記録パワー  $P_w=8.5$  mW をここでの最適記録パワーと定義する。

AgO<sub>x</sub> 型 super-RENS では、書き替え型 DVD の記録層と同じ相変化媒体である GeSbTe を用いている。この相変化媒体の記録/消去状態は、アモルファス（記録）/結晶（消去）に対応している。相変化材料の温度を融点以上に上げることで記録（結晶→アモルファス）し、結晶化温度以上融点以下に保つことで消去（アモルファス→結晶）する<sup>7)</sup>。記録パワー 8.5 mW のマークは、super-RENS 再生 ( $P_{rs}=4.0$  mW) しても消去されないことから、消去パワーは 4.0~8.5 mW の間にあると予測できる。あるいは、記録パワー 8.5 mW で記録層が熱変形（非可逆）している可能性もある。また、super-RENS には DVD などにはないマスク層が存在するため、これまでと違った影響が記録層に表れる可能性がある。これらのことを考慮しつつオーバーライトの実験を進めた。

#### 4. 消去パワー、記録パワーの影響

まず、記録マークを消去できるかどうかを調べるため、記録パワー  $P_w=5.0\sim 7.0$  mW のマークに対し、消去パワーを super-RENS 再生パワー  $P_{rs}=4.0$  mW より高い  $P_e=4.5\sim 6.0$  mW とし、CNR の変化を測定した。消去はトラック 1 周分の 1 回照射、再生パワーは  $P_r=1.0$  mW である。Fig. 4 は、消去動作による CNR の低下量と消去パワーの関係である。消去パワー  $P_e=4.5$  mW で消去量が大きく、記録パワー  $P_w=5.5$  mW の場合に最大となっていることがわかる。このため、記録パワーを  $P_w=5.5$

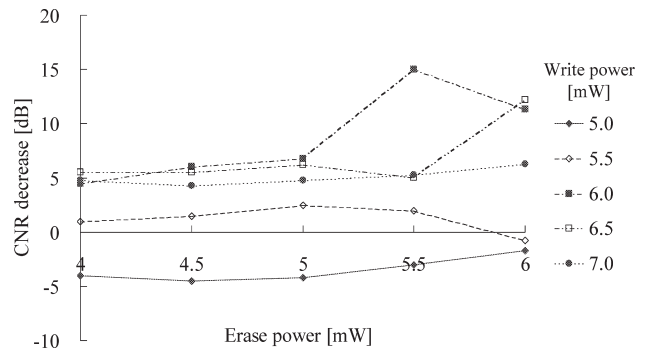


Fig. 5 Relationship between CNR decrease after super-RENS readout and erase power with write power as a parameter.

mW として記録、消去、再記録を試みたが、再記録による CNR の増加はほとんどなくオーバーライトを確認できなかった。なお、Fig. 4 の  $P_e=5.0$  mW 以上で CNR の低下量が負（CNR の増加）になるが、原因は不明である。この理由は、super-RENS には記録層のほかにマスク層があるため、記録を行えば両方の層の変化が重なって信号として検出されることになるためである。マスク層の状態だけが変わった場合にも CNR は変化するため、マスク層に依存しない状態で信号を読み取る必要がある。

次に、記録後、マスク層を初期化（super-RENS 再生、 $P_{rs}=4.0$  mW）してから消去実験を行った。Fig. 5 は、初期化（super-RENS 再生、 $P_{rs}=4.0$  mW）を追加したときの CNR 低下量と消去パワーの関係である。初期化を追加することによっても、消去パワーによる CNR の低下がほとんど現れないことがわかる。 $P_w=6.0$  mW &  $P_e=5.5$  mW と、 $P_w=6.5$  mW &  $P_e=6.0$  mW のときに CNR の低下量が大きいのは、消去は連続光照射、記録はパルス光照射なので、同じパワーでは連続光のほうが記録層への影響が大きいためである。つまり、消去動作で無記録の部分が結晶からアモルファスへ変化したためと考えられる。この場合も Fig. 4 の場合と同じように、再記録による CNR の増加はほとんどなかった。これらの実験から、以上の手順（1 回照射の初期化、1 回照射の消去）ではオーバーライトできないことがわかり、オーバーライトを実現するためには別の工夫が必要である。

#### 5. マスク層 (AgO<sub>x</sub>) の可逆変化条件

前章の実験解析では、マスク層と記録層の効果が重畳していたので、記録層の相状態を独立に制御できなかった。本章では、記録あるいは消去において、マスク層の状態を一定にする条件（可逆変化条件）を探し、記録層の相状態を制御してオーバーライトする方法を考察した。

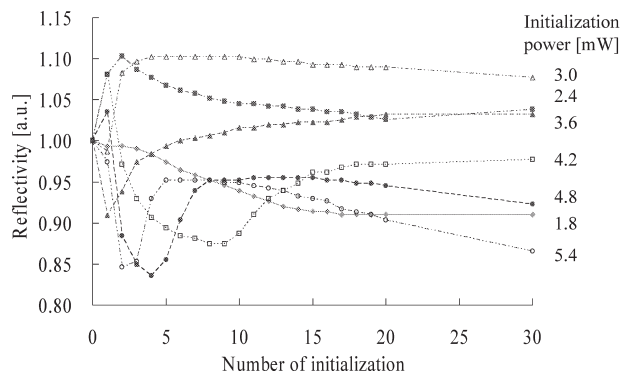


Fig. 6 Reflectivity variation by number of initializations with initialization power as a parameter.

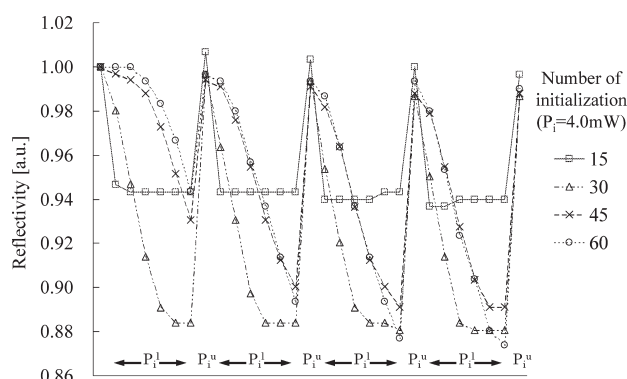


Fig. 7 Reversible characteristics of mask layer by  $P_1=2.5$  mW and  $P_1^u=3.5$  mW with initialization time as a parameter.

Fig. 6 は、初期化パワー  $P_1=1.8\sim 5.4$  mW で作製時のままの状態からの反射光の変化を 30 回目まで測定した結果である。初期化パワーにより変化が異なっているが、照射回数が増えると安定してくることがわかる。この変化は、 $P_1=1.8$  mW,  $P_1=2.4\sim 3.0$  mW,  $P_1=3.6\sim 5.4$  mW の 3 つに大別される。まず、 $P_1=1.8$  mW では、照射回数が増えるごとに反射光が低下し、 $P_1=2.4\sim 3.0$  mW では 1 回目に反射光が低下し、その後上昇している。 $P_1=3.6\sim 5.4$  mW では 1 回目に反射光が上昇し、その後低下、そして再び上昇する。4.8 mW や 5.4 mW では、照射回数を増やすと反射光は低下していく（記録層が徐々にアモルファス化する）ことがわかる。 $P_1=2.4\sim 3.0$  mW のような低パワーの場合に反射光が照射回数により振動する現象は、記録層の GeSbTe では考えられないため、マスク層の酸化銀の反応によるものと考えられる。また、マスク層の状態は 15 回程度レーザーを照射することで安定することがわかる。

次にパワーを変えて照射すると、どのような反応が表れるか測定した。その結果、4.0 mW で複数回照射して初期化した後、2.5 mW で照射すると反射光が低下し、3.5 mW

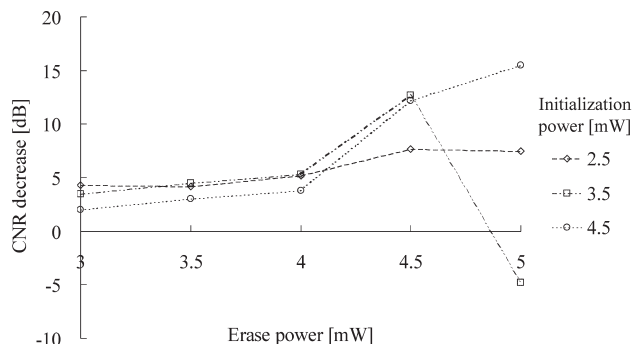


Fig. 8 CNR decrease dependence on erase power due to a 5 s erasing process with initialization power as a parameter, where write power is 7.0 mW.

で照射すると反射光が上昇してもとの値に戻ることがわかった。Fig. 7 は、 $P_1=4.0$  mW で初期化回数の異なるディスクに対し、 $P_1^u=2.5$  mW で 6 回、 $P_1^u=3.5$  mW で 1 回照射したときの反射率を初期化後の反射率で規格化したものである。2.5 mW 照射で反射率が低下、3.5 mW 照射で反射率が上昇と同じ変化を繰り返していることがわかる。照射を繰り返すことで、2.5 mW での反射光の低下する値が大きくなり、初期化 30 回以上の場合には反射率は 0.88 程度で安定していることがわかる。

ここで、記録層の特性について考えてみる。記録層の GeSbTe は、高パワー照射で結晶からアモルファスに変化するため反射率が低下し、低パワー照射でアモルファスから結晶に変化するため反射率が上昇する。しかし、実験結果は、2.5 mW の低パワー照射で反射率が低下し、3.5 mW の高パワー照射で反射率が上昇しており、記録層の変化とは逆である。よって、この変化はマスク層の変化であることがわかる。Ag より  $AgO_x$  の反射率が低いため、 $P_1=4.0$  mW で複数回照射してディスクを初期化した後、 $P_1^u=2.5$  mW の照射回数で「 $Ag+O_2\rightarrow AgO_x$ 」へ変化、 $P_1^u=3.5$  mW の照射 1 回で「 $AgO_x\rightarrow Ag+O_2$ 」へ変化するマスク層の可逆変化を実現できた。

初期化を複数回行うとマスク層の可逆変化が可能となったため、これまで 1 回照射で行っていた初期化を、複数回パルス照射と同じ効果を得られる 5 秒間連続照射（約 40 回パルス照射に相当）に変更して実験した。また、消去も 5 秒間連続照射とした。Fig. 8 は、 $P_w=7.0$  mW の記録マークに対し 5 秒間連続照射して消去した場合の CNR 低下量と消去パワーの関係である。これまでの 1 回照射では CNR の低下は 5 dB 程度であったが、複数回照射では最大 15 dB あることがわかる。以上の条件より、記録マークが消去されている可能性が高いため、最大の変化が得られた  $P_1=4.5$  mW の値を初期化パワーとし、オーバーラ

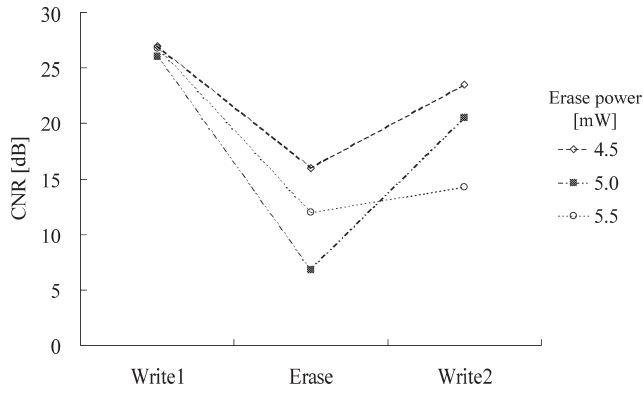


Fig. 9 Overwrite CNRs for different erase powers, where write power is 7.0 mW.

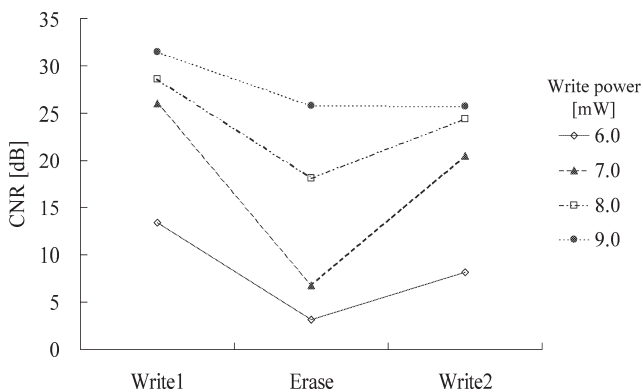


Fig. 10 Overwrite CNRs for different write powers, where erase power is 5.0 mW.

イトの実験を行った。

## 6. オーバーライト特性

ここでは、長さ 1000 nm のマークを記録し、消去した後、再度マーク長 1000 nm を記録するオーバーライトによる CNR の変化を測定した。Fig. 9 は、 $P_w=7.0$  mW で記録 (write 1) したマークに対し、super-RENS 再生パワー  $P_{rs}(=P_i)=4.0$  mW でマスク層を初期化した後、異なるパワーで 5 秒間連続消去 (erase) し、再び  $P_{rs}=4.0$  mW でマスク層を初期化した後、再度記録 (write 2) した場合の CNR 測定結果である。同図から write 2 の記録で CNR が大きく上昇し、再記録が可能になることがわかる。 $P_e=4.5$  mW, 5.5 mW での変化に対し、その間の  $P_e=5.0$  mW の変化が最も大きいため、この  $P_e=5.0$  mW をここでの最適消去パワーとした。次に、記録パワーを変化してオーバーライト実験を行った。Fig. 10 から、 $P_w=9.0$  mW では再記録しても変化が表れないため、記録パワーが高過ぎて記録層が熱変形し、不可逆状態になっていることがわかる。また、 $P_w=7.0$  mW の変化が一番大きいた

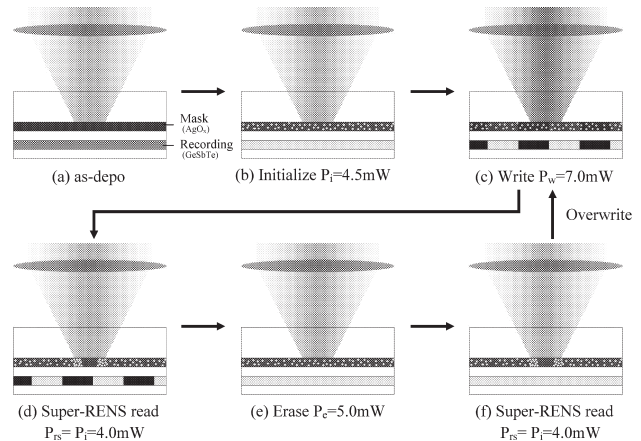


Fig. 11 Proposed overwrite mechanism of a super-RENS using  $AgO_x$  mask layer.

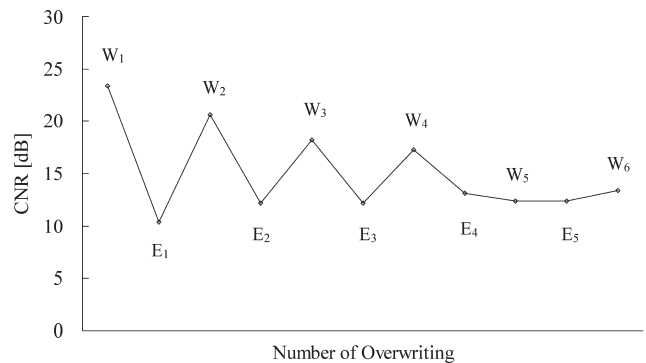


Fig. 12 CNR as a function of number of overwriting that consist of initialization of  $P_i=4.5$  mW, writing of  $P_w=7.0$  mW, initialization of  $P_{rs}=4.0$  mW, and erasing of  $P_e=5.0$  mW.

め、この値を最適記録パワーとする。この結果、オーバーライト信号として 15 dB を実現した。

以上の結果を要約すると、Fig. 11 の手順でオーバーライトが可能になる。まず、as-depo 状態 (a) に  $P_i=4.5$  mW で 5 秒間照射すると、マスク層が「 $AgO_x \rightarrow Ag + O_2$ 」へと変化し、マスク層には銀微粒子が凝集・分散され (b)、マスク層が初期化される。次に、 $P_w=7.0$  mW で記録する (c)。このパワーより高ければ、記録層が熱変形を起こし消去できず、低ければ不十分な記録 (アモルファス) 状態となる。このときは、記録層のほかにマスク層も記録され、両層の重畳効果が表れるので、消去する前にマスク層を均一にするため初期化 (super-RENS 再生) (d) を加える。次に、 $P_e=5.0$  mW で 5 秒間照射して消去し (e)、初期化 (super-RENS 再生) (f) を加えてマスク層を均一化し、 $P_w=7.0$  mW で再記録 (c) する。

最後に、繰り返しオーバーライトを行い、書き替え回数を測定した。Fig. 12 は、 $P_i=4.5$  mW で 5 秒間照射して初

期化した後、 $P_w=7.0$  mW で記録、 $P_{rs}=4.0$  mW で super-RENS 再生した後、 $P_e=5.0$  mW で 5 秒間照射して消去、 $P_{rs}=4.0$  mW で super-RENS 再生、 $P_w=7.0$  mW で再記録の過程を繰り返した場合の CNR である。現状の媒体では、オーバーライトを繰り返すと可逆範囲が狭まり、4 回目以降は CNR が一定になることがわかる。

## 7. ま と め

本研究では、熱変形を起こさない程度の小さいパワーで記録し、マスク層と記録層の相状態を考慮しながら初期化条件と消去条件を探索し、オーバーライト (CNR=15 dB) を実現した。まず、初期化条件では、 $P_i=4.0$  mW を複数回数あるいは連続照射することにより、マスク層が可逆変化可能な状態になることがわかった。このとき、 $P_i^1=2.5$  mW の複数照射により「 $Ag+O_2 \rightarrow AgO_x$ 」、 $P_i^u=3.5$  mW の 1 回照射により「 $AgO_x \rightarrow Ag+O_2$ 」へと変化していることがわかった。次に、このマスク層の可逆条件を参考に、記録と消去の前にマスク層を銀微粒子の凝集・分散状態に初期化する過程を導入することにより、次に示すオーバーライト方法を見いだした。

媒体速度  $v=2.0$  m/s, レーザー波長  $\lambda=830$  nm, 対物レンズ開口数  $NA=0.5$  の場合のオーバーライトの手順と最適パワーは、(1) 記録前初期化, パワー  $P_i=P_{rs}=4.0$  mW (super-RENS 再生), (2) 記録, パワー  $P_w=7.0$  mW (1 回), (3) 消去前初期化, パワー  $P_i=P_{rs}=4.0$  mW (super-RENS 再生), (4) 消去, パワー  $P_e=5.0$  mW (5 秒間) である。繰り返しオーバーライトを行うと、記録および消去

による CNR そのものが低下するだけでなく、差分 (記録および消去の相状態の変化の割合) も小さくなるため、現状の媒体ではオーバーライトは 4 回までしか認められなかった。なお、この CNR 低下の理由は現在不明である。

今後は、検出限界以下のマーク長で異周波数信号のオーバーライト特性を解析するとともに、繰り返し回数を増加する条件を考察する予定である。最後に super-RENS ディスクを提供していただいた (独)産業技術総合研究所 富永淳二博士、島隆之博士に感謝します。

## 文 献

- 1) J. Tominaga, T. Nakano and N. Atoda: "An approach for recording and readout beyond the diffraction limit with an Sb thin film," *Appl. Phys. Lett.*, **73** (1998) 2078-2080.
- 2) 田頭 剛, 浮田宏生: 開口型 Super-RENS の相変化メカニズム, *光学*, **31** (2002) 693-698.
- 3) H. Fuji, J. Tominaga, L. Men, T. Nakano, H. Katayama and N. Atoda: "A near-field recording and readout technology using metallic probe in an optical disk," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39** (2000) 980-981.
- 4) F. H. Ho, H. H. Chang, Y. H. Lin, B. M. Chen, S. Y. Wang and D. P. Tsai: "Functional structures of  $AgO_x$  thin film for near-field recording," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **42** (2003) 1-5.
- 5) T. Kikukawa, A. Tachibana, H. Fuji and J. Tominaga: "Recording and readout mechanisms of super-resolution near-field structure disc with silver-oxide layer," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **42** (2003) 1038-1039.
- 6) H. Ukita, Y. Ueda and M. Sasaki: "Read/write mechanism for a scattered type super-resolution near-field structure using an  $AgO_x$  mask layer and the smallest mark reproduced," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44** (2005) 197-201.
- 7) 菅谷寿鴻: "書き替えできる DVD", *応用物理*, **67** (1998) 3-12.