

# 解説

## 光磁気ディスクのオーバーライト技術

金子正彦

ソニー(株)総合研究所 〒141 東京都品川区北品川 6-7-35

(1990年2月1日受理)

### Overwriting Technologies in Magneto-Optical Disks

Masahiko KANEKO

Sony Corporation Corporate Research Laboratories,  
6-7-35, Kitashinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo 141

#### 1. はじめに

光磁気ディスクは130mmφディスクの両面に650MBという大容量をもち、書換え可能な高密度メモリーとして、コンピューターの外部記憶装置などに実用化され始めている<sup>1)</sup>。しかしながら、今後光磁気ディスクの市場が飛躍的に広がるためには、ハードディスクに比べて劣るとされる欠点、すなわちアクセスが遅いこととオーバーライトができないこと、が克服される必要があるといわれている。本稿では、このうちオーバーライト技術についてどのような方式が提案され、現状はどの程度のレベルにあるのか紹介してみたい。またいくつかの方法を比較しながら将来の発展方向についても考えてみたい。

光磁気オーバーライト技術は消去、記録用の2光学ヘッドを用いた疑似オーバーライト、先行ビームで消去しつつもう一つのビームで記録する2ビームオーバーライト、1ビームかつ1光学ヘッドによるダイレクトオーバーライトに分類される。本稿では、最も重要な技術と思われるダイレクトオーバーライトに話題を絞って、そのなかにもいくつかある方式を紹介する。

#### 2. 光磁気ダイレクトオーバーライト技術

ダイレクトオーバーライト技術は以下のように分類されると思われる。

##### 磁界変調法

連続光照射方式……………2.1

パルス光照射方式……………2.2

##### 光強度変調法

2マグネット方式……………2.3

1マグネット方式……………2.4

単層膜方式……………2.5

その他……………2.6

従来の光変調光熱磁気記録でオーバーライトが不可能であったのは、光強度が記録レベルとゼロレベルとの間で変調されるので、光強度がゼロのときには古いデータを消去するという、オーバーライトにとって不可欠の働きが原理的に不可能であるためである。一方、磁気テープや磁気ディスクにおいてはオーバーライトは当り前のように実現されているが、これは磁気ヘッドが常に媒体に接して正または負の磁界を常に発生しているの、古いデータにかかわらず新しいデータを重ね書き＝オーバーライトすることが可能であるからである。したがって、光熱磁気記録においてダイレクトオーバーライトを実現するためには、古いデータを消去するための光が、連続光であれパルス光であれ、間断なく照射されることが必要条件になっている。このほかにいろいろな工夫がされてダイレクトオーバーライトが実現されているわけである。

以下、順に各方式について見ていこう。

##### 2.1 連続光照射方式磁界変調オーバーライト

連続レーザー光を照射しながら、磁気ヘッドから信号に応じた磁界を発生させ磁界の向きによって決定される磁区が記録される方式である<sup>2)</sup>。信号は磁気ヘッドが担っているので、記録原理としては磁気記録の概念に近く、光は記録する場所を限定して媒体の保磁力を下げるための補助手段と考えたほうが理解しやすい。キュリー温度

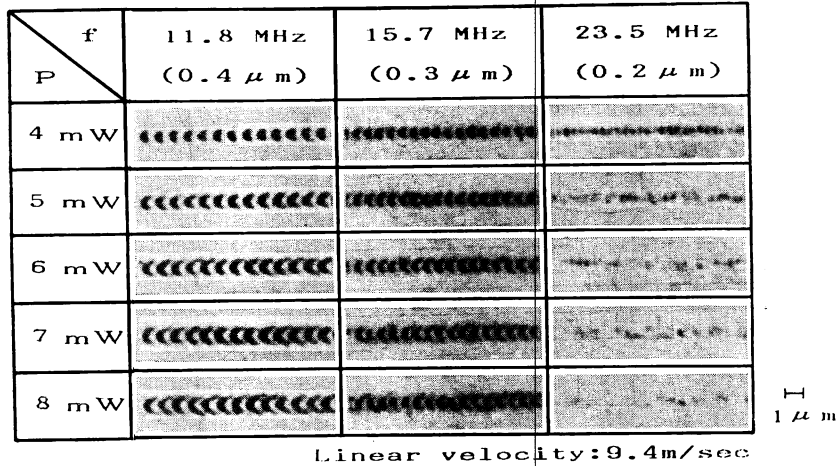


図 1 磁界変調法で記録されたビット磁区の偏光顕微鏡写真

まで上昇した媒体の温度が冷えてくるとき、ビームの後方から磁界の向きに応じた磁区が形成されるので、記録されるビットの形状は図 1 のように三日月型になる<sup>3)</sup>。記録されるビットの幅はビーム径および光強度によって決まるが、ビットの長さは磁界反転の周期、ディスク線速度によって決定されビーム径にはよらないので、図 1 に示されているようにビーム径より小さな 0.3 μm マーク長までの高密度記録が可能である。ただし、現状技術では再生はビーム径に制約されるので、短波長レーザーを用いない限り再生できるマーク長は 0.5 μm 程度が限界である。

磁界変調オーバーライト用記録媒体としては TbFeCo, GdTbFeCo 等の組成の単層膜が用いられている。～数 MHz の高い周波数で磁気ヘッドから発生できる磁界には実用的なアンプを考えると限度があるので、磁性膜としては記録に必要な磁界がなるべく小さいことが望ましい。図 2 で信号が立ち上がる磁界および飽和する磁界のうち絶対値の大きいほうから必要磁界が見積られ、図 2 から、振幅が 200 Oe 以上の高周波磁界を印加すればオーバーライト可能と考えられる<sup>2)</sup>。この必要磁界の大きさは、最適組成を選ぶこと、製膜方法の工夫等によりしだいに減少しており、最近では 80～150 Oe 程度の値が報告されている<sup>4-7)</sup>。磁気ヘッドとしては～1 MHz のデジタルオーディオ信号を記録するためにはバルク型ヘッド<sup>8)</sup>が、～数 MHz 以上のデータ記録用としてはフライングヘッド<sup>1)</sup>が用いられている。コイル先端部の大きさが 0.2 mm 角のフライングヘッドを用いて、15 MHz、マーク長 0.67 μm で C/N=45 dB が報告されている<sup>1)</sup>。

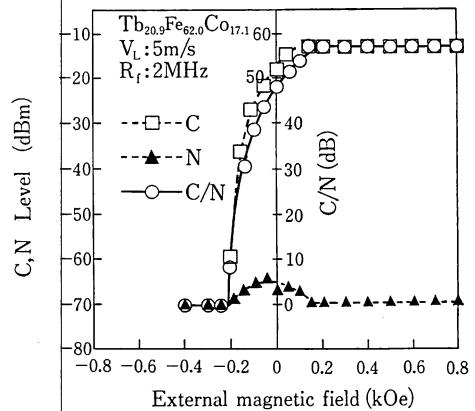


図 2 C/N の外部磁界依存性

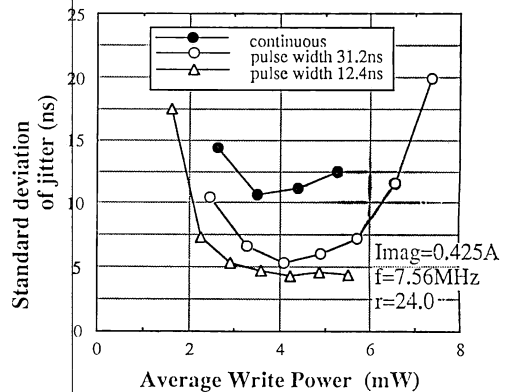


図 3 ジッターの記録パワー依存性

## 2.2 パルス光照射方式磁界変調オーバーライト

磁界の反転にタイミングを合わせてパルス光を照射する磁界変調法も提案されている<sup>9)</sup>。熱応答の遅れを考慮して磁界が最大値に到達する数 10 ns 前にタイミングを

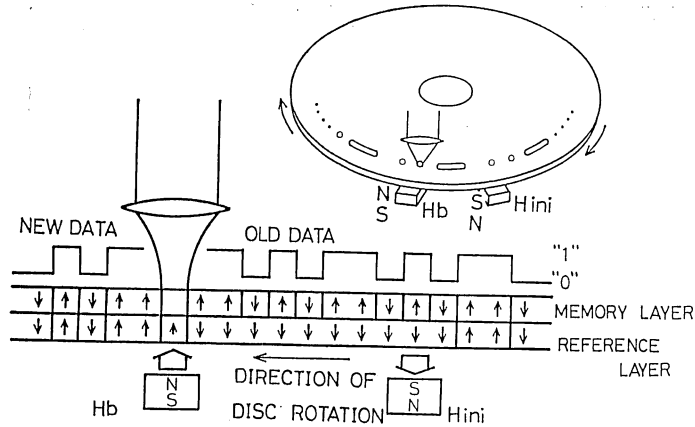


図4 2マグネット方式光強度変調法によるオーバーライトの原理図

合わせてパルス光を照射すると、磁界が不十分なときに生ずる未飽和磁区がないので記録されるピットのエッジがシャープになる。図3<sup>9)</sup>は連続光照射方式よりパルス光照射方式のほうが、またなるべく短いパルスで照射したほうがピットエッジのぼけに起因するジッターが少なくなることを示している。

2.3 2マグネット方式光強度変調オーバーライト

交換結合磁性2層膜を用いる光強度変調オーバーライトは図4に示した原理で行われる<sup>10)</sup>。光強度は高、低二つのレベル間で変調され、記録用マグネットのほかに第2層 (reference layer) の磁化を1方向に揃えるための初期化マグネットが必要である。初期化された後に低レベル光が照射されると、交換結合力により、第2層と同じ向きに第1層 (memory layer) の遷移金属スピンの揃えられ、古いデータは消去されて“0”が記録されたことに対応する。また高レベル光が照射されると、キュリー温度の高い第2層の磁化も記録マグネットによって反転するので、第1層のスピンも反転し“1”が記録される。第1層に TbFeCo、第2層に TbDyFeCo を用いて初期化磁界 4 kOe、マーク長 0.76 μm において C/N = 47 dB、低レベル光 P<sub>L</sub> のマージン ±20% が達成されている<sup>11)</sup>。

この方式は原理的には磁性2層膜でよいが、第1層と第2層の間に面内磁気異方性の中間膜を挿入した磁性3層膜によって特性を改善する方法が有力である<sup>12,13)</sup>。図4において初期化後の状態“1”は第1層と第2層のスピンが互いに逆であり、その界面には界面磁壁エネルギー  $\sigma_w$  が蓄えられている。状態“1”は状態“0”よりエネルギーが  $\sigma_w$  だけ高いので  $\sigma_w$  が小さいほうが初期化がしやすくなる。 $\sigma_w$  は小さすぎると交換結合力による消去ができなくなるので最適値がある。図5に示

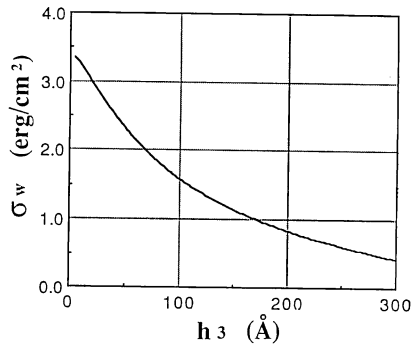


図5 界面磁壁エネルギー  $\sigma_w$  の中間膜厚依存性

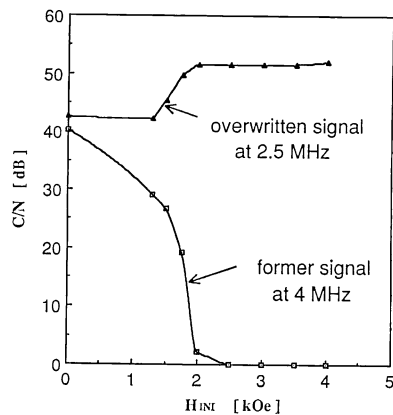


図6 C/N の初期化磁界  $H_{INI}$  依存性

した計算結果<sup>12)</sup>に従って  $\sigma_w$  は中間膜の厚みとともに小さくなるので、磁性3層膜では  $\sigma_w$  を最適値にコントロールすることが容易である。第1層、第2層、中間層として TbFeCo、GdTbFeCo、GdFeCo を用いて  $\sigma_w$  が下がったことにより、図6に示したように初期化磁界 2.5 kOe で消し残りのない完全なオーバーライトが可能とな

った<sup>12)</sup>。またマーク長  $0.75 \mu\text{m}$  における  $C/N=50 \text{ dB}$ 、低レベル光  $P_L$  のマージン  $\pm 27\%$ 、高レベル光のマージン  $\pm 24\%$  以上が得られている<sup>13)</sup>。

#### 2.4 1 マグネット光強度変調オーバーライト

2 マグネット方式では数  $\text{kOe}$  の初期化マグネットを必要とするのが欠点になっている。磁性 4 層膜を採用して初期化磁界を必要としない光強度変調オーバーライトが提案されている<sup>14)</sup>。その原理は図 7 に示したように、第 4 層からの交換結合力による有効磁界を初期化磁界として利用することである。図 7 において、光照射前には第 2、第 3 層の遷移金属スピンは交換結合力によって第 4 層と揃えられている。低レベル光が照射されたときは第 1 層のスピンのみが第 2 層に揃うので“0”が記録される。高レベル光が照射されると、第 3 層のキュリー温度は低いので第 4 層からの影響を受けずに第 2 層、ついで第 1 層の磁化が記録磁界によって反転し“1”が記録される。温度が第 3 層のキュリー温度以下に冷えるときに、交換結合力により第 4 層に揃って第 2 層のスピスが初期化される。ここで第 3 層は初期化が必要な低温においてのみ第 4 層からの有効磁界が働くようにするスイッチの役割をしている。マーク長  $0.76 \mu\text{m}$  の信号をオーバーライトしたときの  $C/N=47.3 \text{ dB}$ 、消し残りがなく、 $10^6$  回の連続記録に対しても  $C/N$  の変化のない特性を得ている。初期化マグネットを必要としないのは大きな利点であるが、4 層のキュリー温度はすべて異ならなければならないので、二つのキュリー温度を制御すればよい 2 マグネット方式に比べて製膜上のマージン、高低パワーマージンが狭くなるのが懸念される。実用上問題ないレベルでこれらを解決できるかどうかが課題と思われる。

1 マグネット光強度変調オーバーライトとして磁性 2 層膜を用いる方法も提案されている<sup>15)</sup>。が、低レベル光、高レベル光で昇温したときの膜厚方向のわずかな温度勾配の差を利用してオーバーライトするので条件はさらに厳しいと思われる。

#### 2.5 単層膜光強度変調オーバーライト

図 8、図 9 は、単層膜でも光の強度を切り替えるだけでオーバーライトできることを示したものである<sup>16)</sup>。一定磁界の下で、図 9 (b) のように光強度を変調したレーザービームで図 8 上段のストライプに続くドット磁区を記録した後、図 9 (a) のビームでオーバーライトすると図 8 下段のような磁区が記録される。図 8 の材料では一定磁界の下で光強度とパルス幅を変えて光パルスを照射すると、強度-パルス幅平面上で強度とパルス幅の大きな領域では磁区が記録され、それらの小さな領域では磁区が消去される。したがって、図 9 のように光強度を変調してオーバーライトすることもできるし、一定の光強度の下で短パルスで消去し長パルスで記録するオーバーライトも可能である。

このような単層膜によるオーバーライトのメカニズムを説明するモデルの一つとして、記録できる最小ビット径を見積るときに使われる磁気バブルの理論に基づき、光熱磁気ビット形成過程を追う考えがある<sup>17)</sup>。ビット径がある限界より小さくなると、磁壁エネルギーによるビットを消滅させる力が強くなり、光強度とパルス幅の小さなパルスで小さなビットを記録しようとしたとき、すでに記録されている周りのビットまで含めて消滅が起これると考えられる。その際、光照射で生じた磁壁エネルギーの勾配による、ビットを消滅させる力が重要とされている<sup>18)</sup>。光強度とパルス幅が大きくなるとは大きなビッ

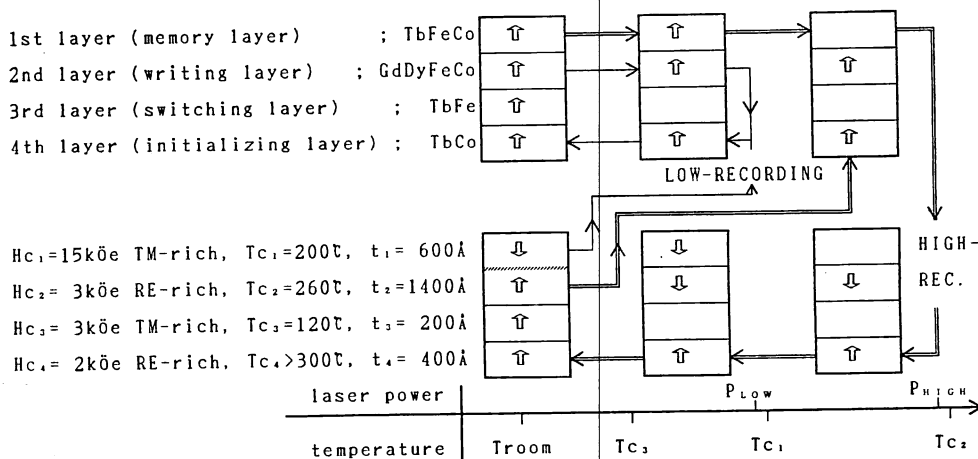


図 7 1 マグネット方式光強度変調法によるオーバーライトのメカニズム

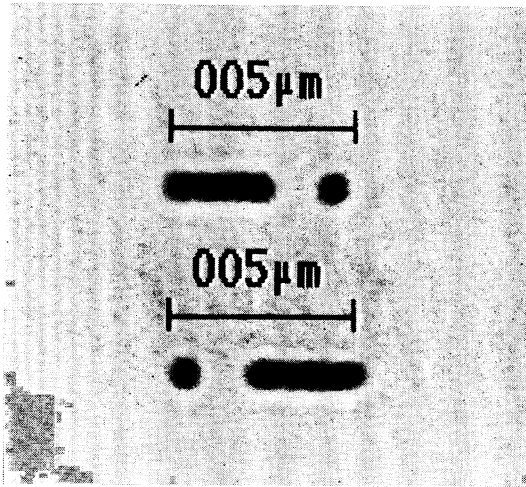


図8 単層膜方式光変調法によるオーバーライトを示す偏光顕微鏡写真

トが記録されるので消滅せずにオーバーライトされる。実際には補償温度が室温とキュリー温度の間にある膜組成を用いて記録，消去時の反磁界をもコントロールして利用するようにしている報告が多い<sup>19-21)</sup>。この方式によるオーバーライト特性の報告は少なく，今のところ C/N = 31 dB と十分な特性は得られていない<sup>20)</sup>。

また膜厚，膜組成を選ぶと，長いパルスで消去するオーバーライトも報告されている。図10は200nm膜厚のTeFeCo膜でのオーバーライト特性で，Aは記録領域，Bは短パルスの消去領域，Cは長パルスの消去領域を示している<sup>21)</sup>。CはAより領域が広いので，消去に時間はかかるが，記録方式を工夫すれば余裕のあるオーバーライトを実現できる可能性がある。

2.6 その他のオーバーライト方式

磁界変調方式に類似しているが，共振バイアスコイル法が報告されている<sup>22)</sup>。LC共振回路で信号よりずっと高い単一周波数の磁界を印加しながら，磁界の正負にタイミングを合わせて信号に応じた光パルスを照射してオーバーライトする。共振回路により大きな磁界が得られるのが利点であるが，熱拡散による分解能は磁界周波数に相当する距離が要求され，ピット長は原理的にこれよりずっと大きいのが欠点である。実験的にも磁界周波数4.5MHzに対して信号周波数は750kHz程度である。

ソフト磁性層の磁気シールド効果を照射したレーザー光でコントロールすることでオーバーライトするアイデアが提案されている<sup>23)</sup>。光磁気膜の上にソフト磁性膜，永久磁石膜を積層しておき，レーザー光を照射するとソフト膜の温度が上がって永久磁石膜から光磁気膜に

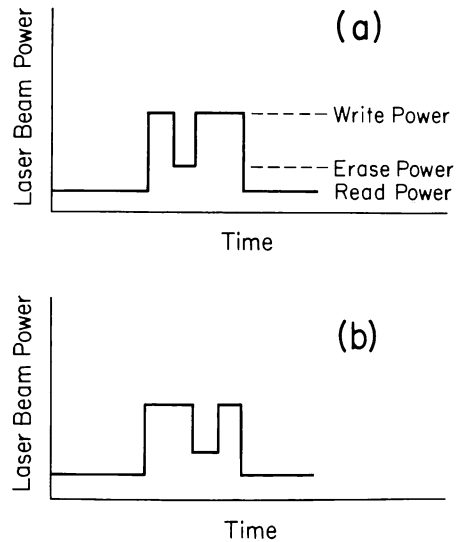


図9 図8のオーバーライトを行うためのレーザー光波形

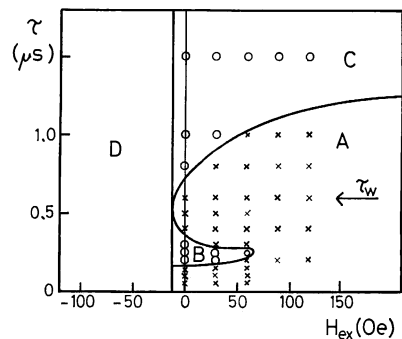


図10 単層膜方式光変調法オーバーライト特性

働く磁界が変化するのを利用してオーバーライトするのが原理である。まだ実験はされていないが，計算によって原理的にはオーバーライトが可能であることが示されている。

3. 各方式の比較

各オーバーライトの方式の特徴をいろいろな観点から比較してみよう。まず現在，実用化に最も近いレベルにあるのは磁界変調方式であろう<sup>24)</sup>。その理由は磁気ヘッドに工夫を要するとは言うものの，磁性膜に要求されることが必要磁界が小さいことだけで，従来の単層膜が使えることである。これはディスクの量産を考えると大きなメリットである。一方光変調方式は，多層膜または磁気特性に非常に敏感に影響される単層膜を用いるので，いままでとは違った製膜技術が要求される。

次に磁界変調方式に対する光変調方式の長所を考えてみると、磁界変調方式では磁気ヘッドと磁性膜との距離を約 100  $\mu\text{m}$  以下にしないてはならないので、片面ディスクしか使えない、磁気ヘッドとディスクが衝突する危険があるという欠点がある。また情報を担う磁界は広い範囲に印加されるので将来の高転送レートを実現するためのマルチビーム記録には適さない。光変調方式ではこれらは本質的に問題にならない点で有利である。

さらに今後の方向である高密度化、高転送レート化との相性を考えると、磁界変調方式では信号周波数が高くなると発生できる磁界がしだいに小さくなって苦しくなるのに対して、光変調方式では半導体レーザーの内部変調が可能な範囲で高速化の限界がない。しかしながら記録線密度の次元で考えると、磁界変調記録は記録密度がビーム径に制約されず、またピットエッジ記録に向いているといわれているので、光変調記録に対する優位性もっている。いずれの方式にしても極限の高密度、高転送を実現するにはディスク構造、光照射方法、変調フォーマットの最適化が必要であり、今後の研究が期待される。

今後どの方式のオーバーライトが生き残って使われるかは、光磁気ディスクが今後どの分野でどのような使われ方をするかにかかるところが大きいと思われる。すなわち、コスト、信頼性、ディスクサイズなど何にウエイトをおくかで要求されるものも変わってくるからである。最終的にどれがベストかは神のみぞ知ることであるが、21世紀になるまでには“歴史が判定する”ものと思われる。

## 文 献

- 尾島正啓, 角田義人: “光磁気記録技術”, 光学, **18** (1989) 598-603.
- F. Tanaka, S. Tanaka and N. Imamura: “Magneto-optical recording characteristics of TbFeCo media by magnetic field modulation method,” Jpn. J. Appl. Phys., **26** (1987) 231-235.
- 太田憲夫: “光磁気媒体の高密度化”, 日本応用磁気学会第63回研究会資料 (1990) pp. 45-51.
- 内藤一紀, 沼田健彦, 前田巳代三, 井上博史, 小川清也: “磁界変調用光磁気記録媒体の検討”, 第13回日本応用磁気学会学術講演概要集 (1989) p. 195.
- 淵上靖子, 牧野政巳, 山本 浩, 鷲見 聡, 虎沢研示: “GdDyFeCo 光磁気ディスクの磁界変調記録特性”, 第13回日本応用磁気学会学術講演概要集 (1989) p. 196.
- 工藤嘉彦, 村上元良, 尾留川正博, 川端秀次: “光磁気記録媒体の微細構造と記録消去特性”, 第13回日本応用磁気学会学術講演概要集 (1989) p. 197.
- 渡辺 哲, 藤田五郎, 川島哲司, 岸 隆, 齊藤喜治: “レーザーパルス磁界変調用 MO メディアの記録再生特性”, 第13回日本応用磁気学会学術講演概要集 (1989) p. 199.
- 安藤 亮, 藤家和彦, 吉田忠雄, 渡辺健次郎, 永木猛弘: “磁界 OVERWRITE 方式による高記録密度光磁気ディスク”, 電子情報通信学会磁気記録研究会, MR 87-37 (1987) pp. 13-20.
- G. Fujita, T. Kawashima, T. Watanabe and Y. Aoki: “A magneto-optical recording method of magnetic field modulation with pulsed laser irradiation,” Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) 329-333.
- J. Saito, M. Sato, H. Matsumoto and H. Akasaka: “Direct overwrite by light power modulation on magneto-optical multi-layered media,” Jpn. J. Appl. Phys., **26**, Suppl. 26-4 (1987) 155-159.
- H. Iida, H. Matsumoto, J. Saito, M. Sato and H. Akasaka: “Recording power characteristics of 130 mm overwriteable MO disk by laser power modulation method,” Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) pp. 367-370.
- M. Kaneko, K. Aratani, Y. Mutoh, A. Nakaoki, K. Watanabe and H. Makino: “The interface wall structure of magnetic triple-layer film for overwriting by light intensity modulation,” Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) pp. 27-31.
- K. Aratani, M. Kaneko, Y. Mutoh, K. Watanabe and H. Makino: “Overwriting on a magneto-optical disk with magnetic triple layers by means of the light intensity modulation method,” Proc. SPIE, **1078**, Optical Data Storage Topical Meeting (1989) 258-264.
- 中木義幸, 深見達也, 徳永隆志, 田口元久, 堤 和彦: “交換結合多層膜光変調記録媒体”, 第13回日本応用磁気学会学術講演概要集 (1989) p. 192.
- T. Fukami, Y. Nakaki, T. Tokunaga, M. Taguchi, K. Tsutsumi and H. Sugahara: “A new direct overwrite method by light intensity modulation with multi layered magneto-optical discs,” Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) 371-374.
- M. H. Kryder and M. D. Schultz: “Direct overwrite in magneto-optical recording technology,” Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) 3-9.
- B. G. Huth: “Calculation of stable domain radii produced by thermomagnetic writing,” IBM J. Res. Dev., **18** (1974) 100-109.
- D. Rugar, J. C. Suits and C.-J. Lin: “Thermomagnetic direct overwrite in TbFe using thermally induced domain wall energy gradient,” Appl. Phys. Lett., **52** (1988) 1537-1539.
- H. D. Shieh and M. H. Kryder: “Magneto-optic recording materials with direct overwrite capability,” Appl. Phys. Lett., **49** (1986) 473-474.
- 中島一雄, 橋本康宣, 前田巳代三, 井上博史, 小川清也: “パルス変調方式によるオーバーライトの検討”, 第13回日本応用磁気学会学術講演概要集 (1989) p. 190.
- Y. Suzuki and N. Ohta: “A new method of direct overwrite on a TbFeCo film with fixed bias magnetic field,” Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) 33-36.
- D. Rugar: “Magneto-optic direct overwrite using a resonant bias coil,” IEEE Trans. Magn., **Mag-24** (1988) 666-669.
- H. A. M. Van Den Berg: “Direct overwrite system for magneto-optic memories with laser-controlled magnetic-field shielding,” IEEE Trans. Magn., **Mag-25** (1989) 4343-4345.
- H. Sakeda, T. Kaku, T. Niihara, T. Nakao, M. Kasai, H. Miyamoto, K. Akagi, Y. Miyamura, N. Ohta, M. Ojima, F. Tanaka, S. Tanaka, Y. Sasano, K. Ono and S. Suzuki: “Advanced magneto-optical disk drive,” Int. Symp. Opt. Memory, Post-deadline papers digest (1989) pp. 20-21.