

低フライングハイト薄膜磁気ディスクの開発

満 俊 宏
黒 澤 聡
近 藤 昭 夫

Development of Low Flying Height Thin-Film Disks

Toshihiro MITSU
Satoshi KUROSAWA
Akio KONDO

The disks textured with alumina slurry have been found to show better glide performance than those textured with diamond slurry. Carbon protective layer sputtered under a low argon pressure also improves the tribological property of the disks, leading to their enhanced durability.

The disks textured with alumina slurry and sputtered with carbon protective layer under a low argon pressure have exhibited good performance both for the glide test at flying 2μ inches and for the CSS cycle test at flying 3μ inches. The disks fabricated in this study have shown the recording density of 45 KFCPI at resolution of 64.1% and flying 2μ inches, which is 1.5 times higher than the value of 30 KFCPI at flying 4μ inches.

1. 緒 言

近年のパソコン、OA機器の急速な進歩の中で、社会の高度情報化が進みつつある。このような状況の下で、外部記憶装置としてのハードディスクは、小型化、大容量化、高記録密度化が要求され続けている。

上述のような特性を満足するためには、

- (1) 高保持力、高残留磁化を兼ね備えた磁性層
- (2) ヘッド浮上量の低減化とそれに対応できる耐久性という両面からの開発が必要と考えられる¹⁾²⁾。特に近年の動向としては、ヘッド浮上量の低下によりスペーシング損失を小さくすることで³⁾出力の向上、高記録密度化を目指した開発が行われている。

当研究室においては、過去に、高記録密度対応の磁性層、および、高信頼性対応の潤滑剤の開発について研究を行い、その結果については先に報告した通りである⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

本研究においては、ヘッド浮上量の低減化を目的とし、特にテクスチャリング技術についての開発を行ってきた。その結果、 2μ inches の浮上量でヘッドを走行させたとき、ヒットが無く、十分な耐久性も兼ね備えた磁気ディスクを開発することができたので報告する。

2. 実験方法

(1) 基板及びテクスチャー方法

本研究の実験には、3.5インチサイズ、厚さ 1.27 mm

Table 1 Substrate materials and texture types

Substrate material	Texture type
Al alloy	Tape texture
Al alloy	Diamond slurry texture
Al alloy	Alumina slurry texture
Glass	Chemical texture
Glass	Mechanical texture

のディスク基板を用いた。基板材質とテクスチャー方法の組み合わせは、Table 1 に示す。

(1) アルミ基板

基板は、アルミ合金基板にニッケルリンがメッキ加工され、更に表面をポリッシング処理してあり、表面粗さは、中心線平均粗さ (Ra) で、20~25 Å に調整されている。

1) テープテクスチャー

Fig. 1 に示す装置を用い、アルミナ砥粒がバインダーによりテープに固着された研磨テープを、基板に加圧接触させる。そして、研磨テープを送ると共に、基板も回転させて、研削液を流しながらテクスチャー加工を行う。各テクスチャー条件は、Table 2 に示す。

2) スラリーテクスチャー

テープテクスチャーによって表面を一定の粗さに調整した基板を、Fig. 1 に示す装置を用いて二段目のスラリーテクスチャーを行う。このとき、研磨テープの代わりに職毛布からなるバフテープを用い、研削液の代わりに研削砥粒が研削液中に混合されたスラリー液を流しな

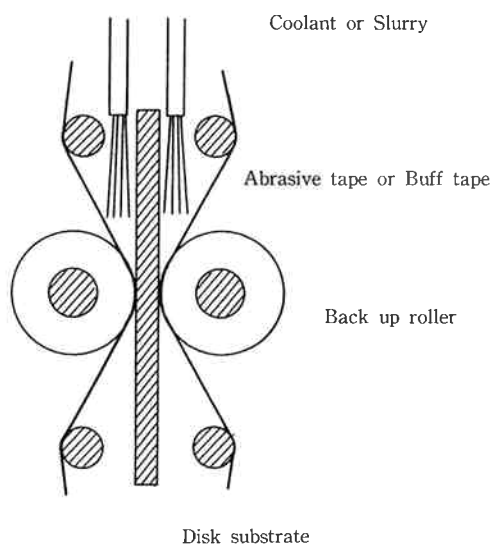


Fig. 1 Schematic diagram of the texturing equipment.

Table 2 Tape texturing conditions

Tape type	WA-#4000
Tape feed speed	10~40 cm/min.
Pressure of back up roller	In; 0.90~1.30 kg Out; 0.95~1.35 kg
Number of oscillation cycle	100~150 cycles/min.
Width of oscillation	±0.5~5.0 mm
Number of spindle rotation	100~300 rpm
Coolant content	1.0~10.0 vol. %

Table 3 Slurry texturing conditions

Tape type	Buff Tape
Tape feed speed	10~20 cm/min.
Pressure of back up roller	In; 0.9~1.30 kg Out; 0.95~1.35 kg
Number of oscillation cycle	100~150 cycles/min.
Width of oscillation	±0.5~5.0 mm
Number of spindle rotation	100~300 rpm
Abrasive grain material	Diamond Alumina
Grain size	0.25~1.0 μm 0.25~1.0 μm
Slurry content	0.2~3.0 g/l

Table 4 Disk structure employed for the present study

Material	Thickness
Lubricant layer (Purified AM2001)	18~21 Å
Protective layer (C)	200 Å
Magnetic layer (Co-12 Cr-2 Ta)	500 Å
Under layer (Cr)	2,000 Å

がら、テープテクスチャーと同様にスラリーテクスチャー加工を行う。

各テクスチャー条件は、Table 3 に示す。

(2) ガラス基板

ガラス基板は、市販されているテクスチャー加工後の基板を用いて実験を行った。

1) ケミカルテクスチャー

結晶化ガラスにウェットエッチング処理を施して、表面に凹凸が形成されている。

2) メカニカルテクスチャー

ダイヤモンド砥粒が固着された研磨テープにより、同心円状にテクスチャーが施されている。

(2) ディスク構造

今回用いた磁気ディスクは、テクスチャーが施された基板上に下地層、磁性層、保護層が形成され、更に、潤滑剤として、既に報告した Fomblin AM2001 の精製ルブリカント⁶⁾が塗布された構造になっている。Table 4 に、各層の組成と膜厚を示す。

成膜は、DC マグネトロンスパッタリング装置を用いて行い、スパッタガスはアルゴンを用いた。

(3) 評価方法

(1) 表面粗さ

小坂研究所製の触針式表面粗さ計を用いて、スタイラス半径 0.05 μm、移動速度 2.0 μm/sec. の条件で、基板中心から半径 21 mm の位置の半径方向の表面粗さを測定した。Table 5 に測定条件を示す。

Table 5 Conditions for measuring surface roughness (Ra)

Measuring equipment	KOSAKA ET-30HK
Scan length	0.25 mm
Scan speed	2.0 $\mu\text{m}/\text{sec}$.
Stylus	0.5 μm
Stylus force	6.0 mg
Cut off	25 μm
Location	R=21 mm

Table 6 Magnetic properties of the disk used in this study

Hc [Oe]	Mr * δ [nm · T]	S [%]	S* [%]
1,533	39.8	92	90

Table 7 Head conditions

Track width	10 μm
Gap length	0.35 μm
ABS	14 mil.
Number of coil turn	30 turns

(2) グライド試験

グライド特性の測定は、日立電子エンジニアリング社製磁気ディスクテスター、RX-2000 を用い、ピエゾ素子が装着されたグライドヘッドを、2 μinches の浮上高さで走行させた。そのときの、磁気ディスク基板の中心から半径 20~44 mm の範囲で片面の測定を行い、スライズレベルを 500 mV としたときのヒット個数を調べた。

(3) 連続摺動摩擦試験

連続摺動摩擦試験は磁気ディスク基板の中心から 21

mm の位置で、フェライトヘッドをディスク表面に接触させた状態で回転数 100 rpm で3時間連続摺動させた後に、歪みゲージにより、ディスク一周分の動摩擦係数を 1 rpm で測定した。

保護層の検討を行う試験においては、ルブリカントの塗布を行わずに、回転数 100 rpm で20分間連続摺動させた後に、歪みゲージにより、0.2 rpm で、ディスク一周分の最大摩擦係数を測定した。

(4) CSS 試験

CSS (Contact Start Stop) 試験は、磁気ディスク基板の中心から 21 mm の位置に磁気ヘッドを設定し、回転数 3,600 rpm で行った。

CSS サイクル5,000回毎に、歪みゲージによって、ディスク一周分の摩擦係数を 1 rpm で測定を行い、CSS サイクル30,000回まで試験を行った。

(5) 電磁変換特性

電磁変換特性は、日立電子エンジニアリング社製、RX-2000 磁気ディスクテスター装置により、薄膜ヘッドを用いて測定を行った。ヘッドの浮上量は、ディスク回転数を調整して 2~7 μinches の間で変化させた。

Table 6 に、測定に用いた磁気ディスクの磁気特性を、また、Table 7 にヘッドの測定条件を示す。

3. 結果 および 考察

(1) 基板材質 および テクスチャー方法

(1) 連続摺動摩擦特性

Fig. 2 に、各ディスクの Ra と摩擦係数の関係を、基板材質およびテクスチャー法の違いにより分類して示す。

同図の結果より、Ra の増加により、全体的に摩擦係

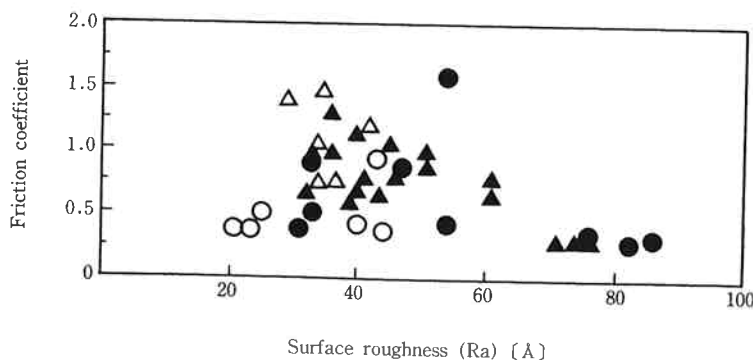


Fig. 2 Relationship between friction coefficient and surface roughness (Ra) for (●) Al substrate of tape texturing, (▲) Al substrate of diamond slurry texturing, (○) glass substrate of chemical texturing and (△) glass substrate of mechanical texturing under continuous wear test at 100 rpm.

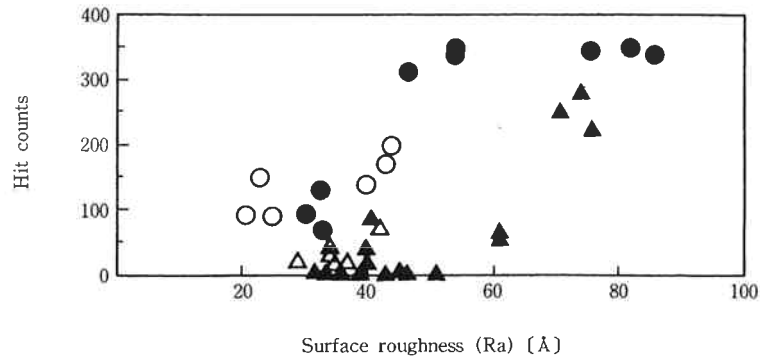


Fig. 3 Relationship between hit counts and surface roughness (Ra) for (●) Al substrate of tape texturing, (▲) Al substrate of diamond slurry texturing, (○) glass substrate of chemical texturing and (△) glass substrate of mechanical texturing under glide test at flying $2 \mu\text{inches}$.

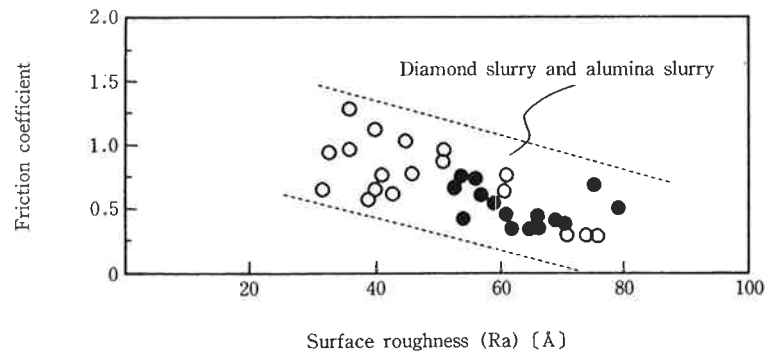


Fig. 4 Relationship between friction coefficient and surface roughness (Ra) for (○) Al substrate of diamond slurry texturing and (●) Al substrate of alumina slurry texturing under continuous wear test at 100 rpm.

数が減少し、耐久性が向上する傾向にあることがわかる。また、基板材質、あるいは、テクスチャー法が異なることによって、明確な違いは認められない。この結果より、摩擦特性は Ra の値に大きく依存すると考えられる。

(2) グライド特性

Fig. 3 に、ヘッド浮上量 $2 \mu\text{inches}$ での Ra とヒット個数の関係を、基板材質およびテクスチャー方法の違いによって分類して示す。

同図の結果では、連続摺動摩擦特性とは逆に、全体的に、Ra の増加と共にヒット個数が増加する傾向にあることがわかる。また、基板材質およびテクスチャー方法別に比較すると、アルミ基板でのテープテクスチャーのヒット個数が極端に多く、続いてガラス基板でのケミカルテクスチャー、メカニカルテクスチャーとなっている。また、アルミ基板でのスラリーテクスチャーでは、他のテクスチャー法と比べて、同じ Ra でもヒット個数が少なくなっている。このことより、スラリーテクスチャー

法は、グライド特性に関しては有効なテクスチャー手段であることが考えられる。

(2) スラリー用研削砥粒材質の違い

アルミ基板の一段目のテクスチャーを研磨テープ (WA-#4000) で行い、Ra を $90 \sim 100 \text{ \AA}$ に調整した後、二段目のテクスチャーをダイヤモンドスラリーおよびアルミナスラリーを用いて行った結果について比較した。

(1) 連続摺動摩擦特性

Fig. 4 に、Ra と摩擦係数の関係を、ダイヤモンドスラリー法、アルミナスラリー法に分類して示す。この結果では、両スラリー法共に Ra の増加により摩擦係数の低下が示される。また、Ra に対する摩擦係数の値も両スラリー法共に同程度であることから、スラリー用の研削砥粒材質の違いに関らず、摩擦係数は基盤表面の Ra に大きく依存していることがわかる。

(2) グライド特性

Fig. 5 に、ヘッド浮上量 $2 \mu\text{inches}$ での Ra とグラ

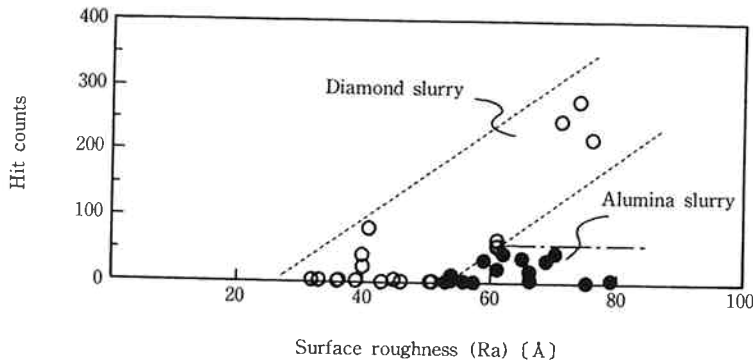


Fig. 5 Relationship between hit counts and surface roughness (Ra) for (○) Al substrate of diamond slurry texturing and (●) Al substrate of alumina slurry texturing under glide test at flying 2 μinches.

イドヒット個数の関係をダイアスラリー法、アルミナスラリー法に分類して示す。同図の結果より、ダイアスラリー法とアルミテスラリー法の、Ra に対するヒット個数の依存性は大きく異なっていることがわかる。すなわち、ダイアスラリー法の場合では、Ra の増加に伴って、ヒット個数が大きく増加している。これに対して、アルミナスラリー法では、Ra が増加してもヒット個数の顕著な増加は認められず、Ra が 50~70 Å の範囲において、ヒット個数は 0~50個の範囲でばらついた一定の値を示す特性があることがわかる。この結果は、スラリー用の研削砥粒材が異なることにより、Ra が同等でも、テクスチャーによって形成された表面形状が異なっている可能性が考えられる。この点についての考察は、後の章で詳しく述べる。

(3) 保護層と連続摺動摩擦特性

カーボン保護層が連続摺動摩擦特性に及ぼす影響について、ターゲット材の成形法の違い、および、スパッタガス圧について検討した。

この試験に用いたテクスチャー基板は、アルミナスラリー法を用いて作製され、Ra が 65~75 Å に調整されている。なお、この連続摺動試験に関しては、ルブリカントの塗布は行わず、摺動時間20分後のディスク一周の最大摩擦係数を比較した。

(1) ターゲット材成形方法

CVD 法と加圧焼結法によりそれぞれ成形されたターゲット材を用いて、カーボン保護層を成膜したディスクの最大摩擦係数を Table 8 に示す。この結果では、摩擦係数は、どちらのターゲット材を用いた場合でも、0.8~0.9程度である。従って、CVD 法、加圧焼結法と異なる成形法によるターゲット材を用いても、成膜後のカーボン保護層は、摩擦特性に対して大きく影響しない

Table 8 Comparison of the maximum friction coefficients of chemical vapor diposition target and hot press target under continuous wear test at 100 rpm

Fabrication method of carbon target	Maximum friction coefficient
Hot press	0.88
CVD	0.77

ものと思われる。

(2) スパッタガス圧

Fig. 6 に、カーボン保護層のスパッタガス圧と、最大摩擦係数の関係を示す。なお、このカーボン保護層の成膜に用いたターゲット材は、加圧焼結法によって成形されたものである。

同図の結果では、スパッタガス圧の増加に伴い、摩擦係数が増加してゆくことがわかる。一般にスパッタガス圧が低いと、緻密な膜が形成されることが知られている。この結果でも、同様に緻密な膜が形成され、カーボン保護層の硬度が高くなっていることが確認されている。従って、保護層の硬度が高いことにより、ヘッドとディスクの接触による保護層の磨耗量が少ないために、表面粗さが初期状態のまま保たれ、摩擦係数が低い値になるものと考えられる。

(4) CSS 試験

これまで述べてきた結果より、Table 9 に示す条件で作製したディスクを用いて、CSS 試験を行った。試験に用いたディスクは、ヘッドの浮上量が 2 μinches のときのグライドヒット数が0個である。

Fig. 7 に浮上量が 3 μinches のフェライトヘッドを用いたときの CSS 試験の結果を、ディスク一周分の平

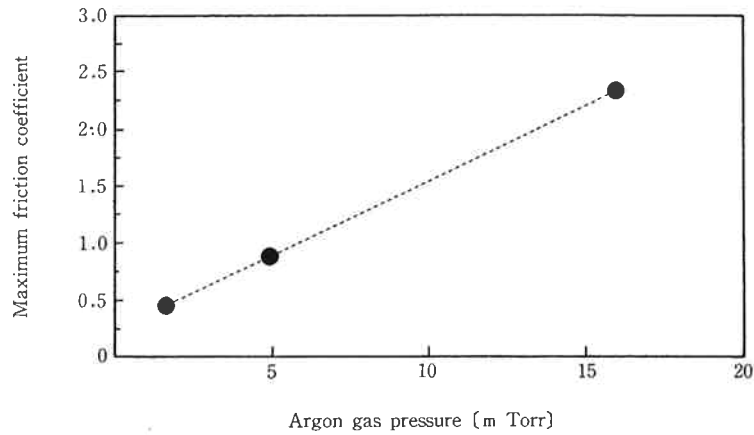


Fig. 6 Relationship between maximum friction coefficient and carbon sputtering gas pressure under continuous wear test at 100 rpm.

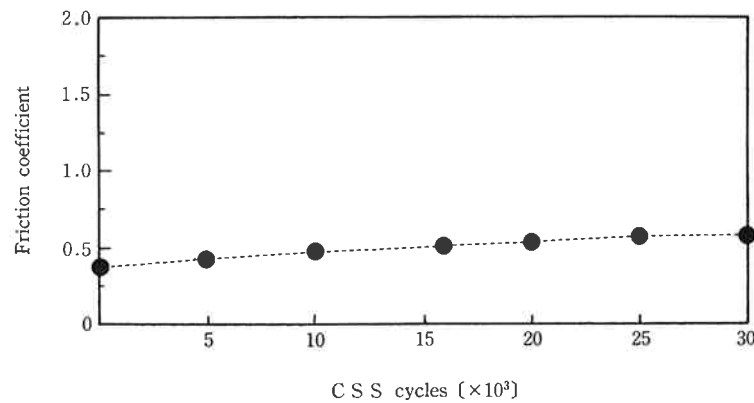


Fig. 7 Average coefficient friction of one revolution shown as a function of CSS cycles for ferrite head at flying 3 μ inches.

Table 9 Disk conditions for CSS test

Texture type	Sputtering gas pressure for carbon layer	Lubricant thickness	Surface roughness (Ra)
Alumina slurry texture	1.6 mTorr	18 Å	65~70 Å

均摩擦係数として示す。

同図の結果では、試験初期から CSS 30,000回後まで摩擦係数は多少の上昇はあるが、30,000回後の摩擦係数は0.59となっており、十分な耐久性を示している。この結果より、作成された磁気ディスクは、CSS 耐久性の面でも、良好な特性を持つことが確認された。

(5) 電磁変換特性

これまで述べてきた、磁気ヘッドの低浮上化を目的として開発を行ってきた磁気ディスクについて、電磁変換

特性の測定を行い、磁気ディスクの評価を、出力、分解能について行った。なお、出力については周速で規格化した。

線記録密度を 30 KFCPI としたときの、ヘッド浮上量と出力の関係を Fig. 8 に、また、ヘッド浮上量と分解能の関係を Fig. 9 に示す。これらの結果では、ヘッド浮上量の低下により、出力、分解能共に増加しており、ヘッド浮上量 2 μ inches、30 KFCPI で出力 42.8 μ V/m、また、30/7.2 KFCPI で、分解能64.1%の値が得られた。これは、ヘッド浮上量の低下に伴い、磁気ヘッドと磁気ディスクのスペースロスに起因する再生信号の振幅低下、及び、半値幅が押さえられることによるものと考えられる³⁾。これらの結果より、分解能を71.1%にしたときのヘッド浮上量と線記録密度の関係を Fig. 10 に示す。この結果では、ヘッド浮上量の低下に伴い記録密度が増加し、ヘッド浮上量 2 μ inches のときには、現行機種レベルであるヘッド浮上量 4 μ inches の約1.5倍の

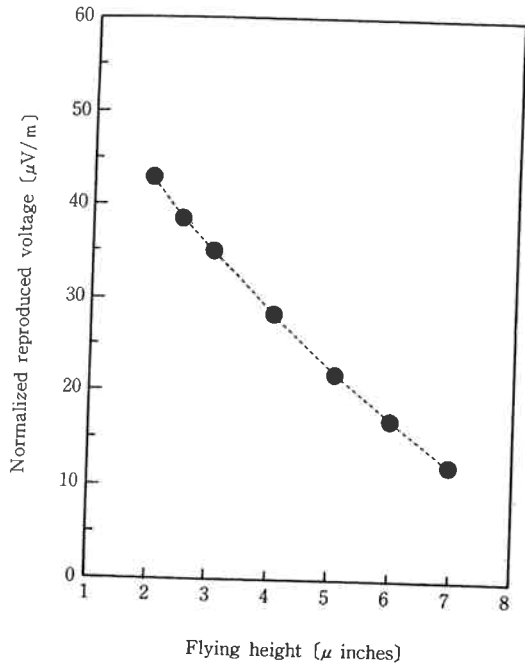


Fig. 8 Normalized reproduced voltage vs. flying height at recording density of 30 KFCPI.

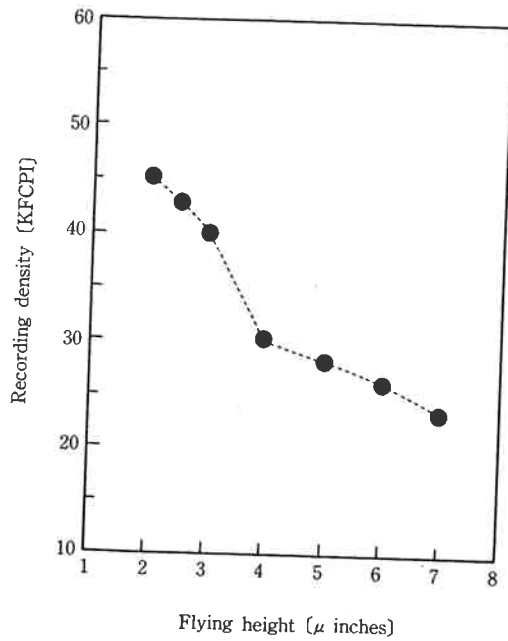


Fig. 10 Recording density vs. flying height at a resolution of 61.7%.

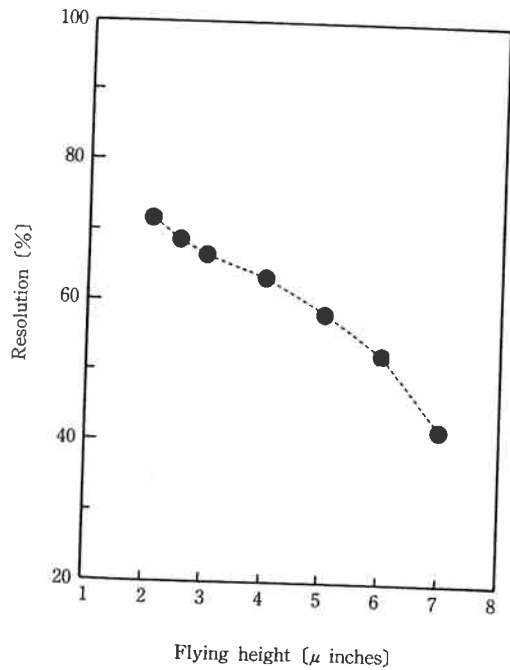


Fig. 9 Resolution vs. flying height at recording density of 30 KFCPI.

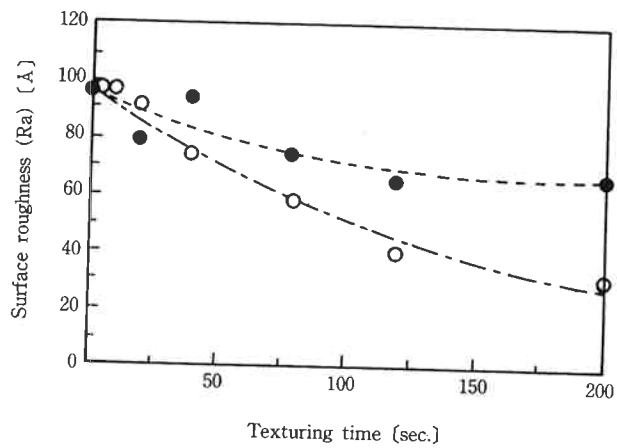


Fig. 11 Surface roughness (Ra) vs. texturing time for (O) diamond and (●) alumina slurry textures.

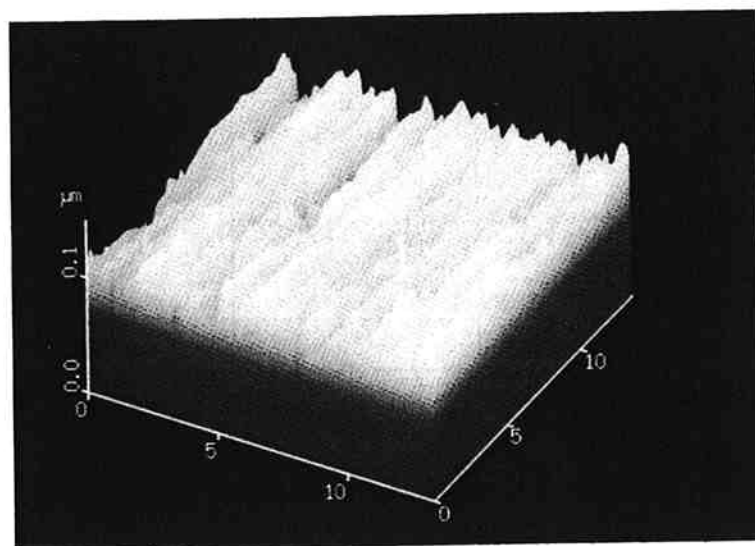
の点について、表面形状の観察から考察する。

テープテクスチャーにより Ra を 90~100 Å に調整した基板について、ダイヤスラリー法とアルミナスラリー法により、二段目のテクスチャーを施した。その結果を、研削時間とテクスチャー後の Ra の関係として、Fig. 11 に示す。同図では、ダイヤスラリー法は、研削時間の増加に伴って Ra が減少してゆき、200秒後には、30 Å 程度になっている。これに対して、アルミナスラリー法では、80~120秒後で Ra が 65~70 Å まで減少するが、それ以降は、200秒後でも、Ra は変化せず一定値を示し、研削のされ方に違いのあることが示され

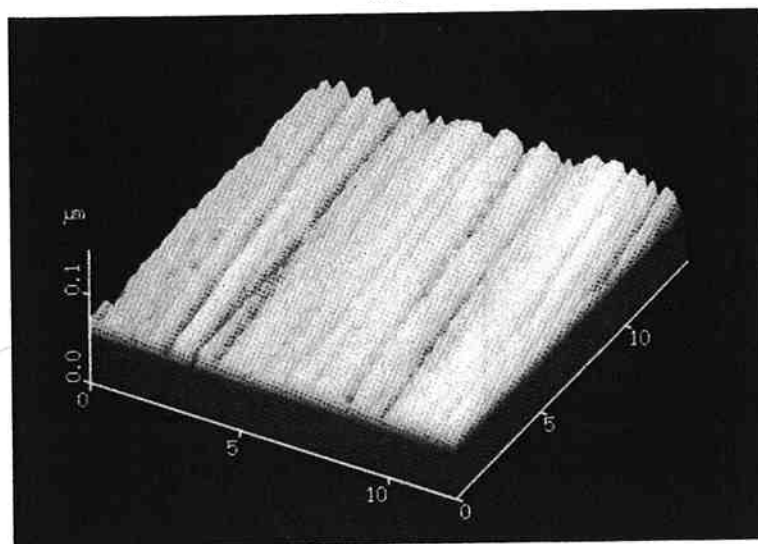
45 KFCPI の高記録密度を得られることが示された。

〔6〕 ディスク表面形状観察

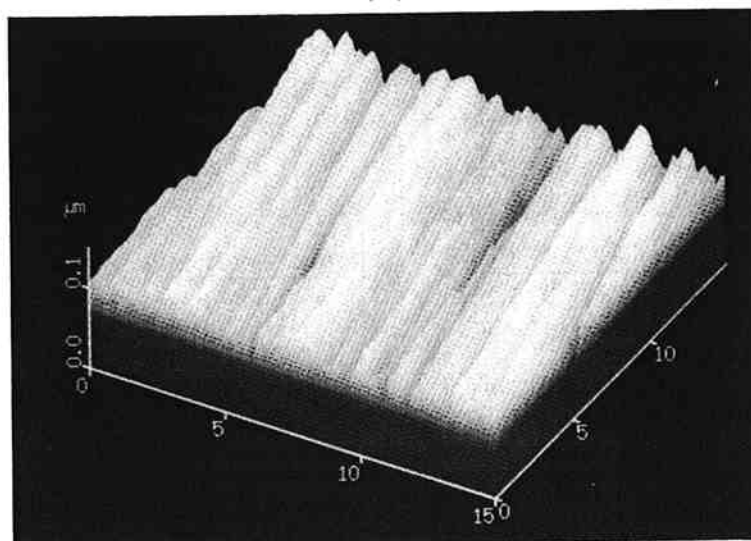
先に示したように、ダイヤスラリー法とアルミナスラリー法において、Ra と連続摺動摩擦係数の関係は同じ傾向であるが、グライド特性が大きく異なっている。こ



(a)



(b)



(c)

Fig. 12 AFM images for (a) disk textured with abrasive tape; $R_a=96$ Å (b) disk textured with alumina slurry; $R_a=69$ Å and (c) disk textured with diamond slurry; $R_a=74$ Å.

る。

そこで、テクスチャー法の違いについて検討を行うために、基板テクスチャー後の(a)テープテクスチャー、 $Ra=96 \text{ \AA}$ 、(b)アルミナスラリーテクスチャー、 $Ra=69 \text{ \AA}$ 、(c)ダイヤモンドスラリーテクスチャー、 $Ra=74 \text{ \AA}$ の3種類のディスクについて、AFM (Atomic Force Microscope) を用いて観察を行い、その結果について、Fig. 12 に示す。

同図より、(a)のディスクはテクスチャーラインに沿ったバリ、及び、突起が多数認められ、これにより、グライド特性が悪くなっているものと思われる。

一方(b)、(c)の結果を比較すると、(b)ではバリ、及び、突起が完全に除去され、全体的に凸部の高さが揃った構造になっている。これに対し(c)は、表面の凹凸が、(b)に比べると大きくなっており、この違いが、グライドヒット特性に大きく影響し、同じ Ra でも、全く異なる特性を示すと考えられる。

このように、異なった形状になる原因について、Fig. 13 のモデル図を用いて説明する。すなわち、ダイヤモンドはアルミナより硬度が高く、研削効率が優れているために⁷⁾、ディスク表面の突起以外の凸部を短時間で削り Ra を小さくするが、研削時間が短いために、突起等の除去が完全に行われぬ。これに対して、アルミナは凸

部を削る研削効果が小さいために、突起等の除去が長時間にわたって行われる。従って、アルミナスラリーを用いたテクスチャー法では、 Ra を保ったまま突起等の除去が行われ、グライド特性、摩擦特性を、ともに兼ね備えたディスクの表面形状制御が可能であると考えられる。

4. ま と め

大容量、高密度化に対応する、低フライングハイト磁気ディスクのテクスチャー技術について開発を行い、以下の結果を得ることができた。

(1) アルミ合金基板に、アルミナスラリーを用いてテクスチャーを施すことにより、 Ra が増加しても、ヒット数の増加の無いグライド特性を示す磁気ディスクを作製できることがわかった。

これは、スラリー中のアルミナ砥粒がダイヤモンド砥粒に比較して硬度が小さく、研削能力が劣ることに起因していると思われる。即ち、一段目のテクスチャーで形成された低摩擦特性を維持するために必要なディスク表面の凹凸を維持しながら、グライド特性を低下させるバリ、及び、突起のみの除去が可能であることによると考えられる。

(2) カーボン保護層のスputタリング時のガス圧を低下させ、保護層の硬度を高めることで、ヘッドとディスク間の摩擦特性を改善することができ、耐久性の向上が図れることを見出した。

(3) 以上の結果をもとに、アルミナスラリーを用いたテクスチャリングを施し、 1.6 mTorr のアルゴン圧でカーボン保護層をスputタリングした磁気ディスクは、ヘッド浮上量が $2 \mu\text{inches}$ のときのヒットが0個であった。また、CSS 試験でも、浮上量が $3 \mu\text{inches}$ のフェライトヘッドで、30,000回後の摩擦係数が0.59であり、十分な耐久性も兼ね備えることが示された。

(4) 作成した磁気ディスクの電磁変換特性は、分解能 61.7% 、FH $2 \mu\text{inches}$ の条件で、ヘッド浮上量が $2 \mu\text{inches}$ のときには、 $4 \mu\text{inches}$ のときの約1.5倍の45 KFCPI の記録密度を得ることができた。

文 献

- 1) 日本応用磁気学会誌、vol. 11, No. 1 (1987).
- 2) トライボロジスト、第36巻、第8号 (1991).
- 3) 横山克哉著；“磁気記録技術入門” (総合電子出版) (1988).
- 4) 稲生俊雄、加藤英二、府川信一、近藤昭夫；“東ソー

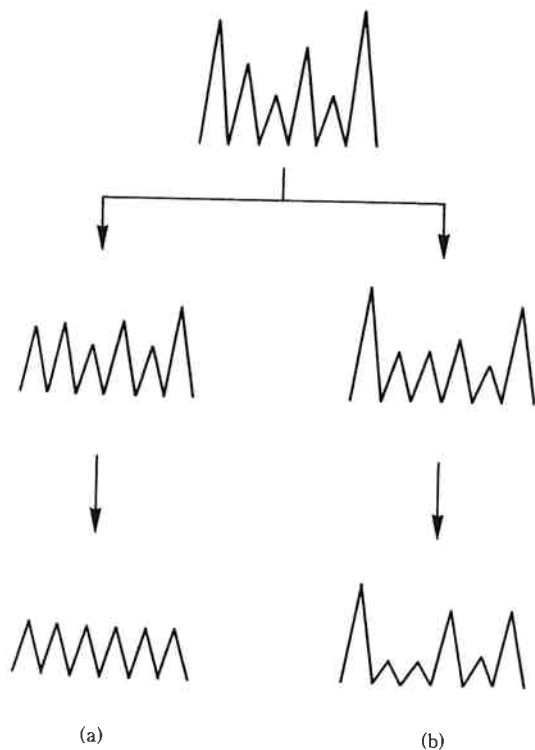


Fig. 13 Abrasive modelings for (a) alumina slurry texture and (b) diamond slurry texture.

- 研究報告” 34, 1, 53 (1990).
 5) 内海健太郎、稲生俊雄、近藤昭夫；“東ソー研究報告” 36, 2, 133 (1992).
 6) 黒澤 聡、大貫由紀夫、近藤昭夫；“東ソー研究報

- 告” 36, 1, 55 (1992).
 7) 川村末久著“研削加工と砥粒加工”(共立出版)
 (1984).



著 者
 氏名 満 俊 宏
 Toshihito MITSU
 入社 昭和62年4月1日
 所属 新材料研究所
 薄膜メディア研究室
 副主任研究員



著 者
 氏名 黒 澤 聡
 Satoshi KUROSAWA
 入社 昭和61年4月1日
 所属 新材料研究所
 薄膜メディア研究室
 副主任研究員



著 者
 氏名 近 藤 昭 夫
 Akio KONDO
 入社 昭和51年4月16日
 所属 薄膜メディア研究室
 室長