磁気ディスク基板の端面ダレ無しポリシング法の研究

(第1報)*

— ポリシングによる基板端面形状の変化 —

安井 平 司** 鈴木 幸 雄*** 小林 高 之†

Studies on Roll-off-less Polishing of Magnetic Disk Substrate (1st Report)
— Change of Substrate Edge Shape in Polishing Process —

Heiji YASUI, Yukio SUZUKI and Takayuki KOBAYASHI

This report deals with the enlarging method of the recording area per a magnetic disk substrate by means of repressing the edge roll-off formed by polishing. The change of the edge shape in polishing process is experimentally examined in detail by measuring the edge shape in the accuracy of nanometer order with WYKO. To clear the formation mechanism of edge shape by polishing, the influence of the revolution of the polisher and the substrate on the edge shape formation is separately investigated and discussed. The edge shape of the substrate after non-electrolytic plating is found to be classified into the roll-up type and the roll-down type. The change of the edge shape in polishing process is divided into the edge roll-up formation type (RUF type) and the edge roll-down enlargement type (RDE type). In case of polishing under only the substrate revolution without polisher revolution and only the polisher revolution without the substrate revolution, the change of the edge shape becomes the RUF type and the RDE type, respectively. The low and high velocity polisher revolution under the normal polishing operation tends to be connected with the RUF type and the RDE type, respectively. The polishing of the RUF type can decrease the roll-down radius width, ΔR_x , of the substrate having the large roll-down, from $\Delta R_x \approx 1.5\text{mm}$ to about $500\mu\text{m}$, for example.

Key words: polishing, magnetic disk substrate, edge shape, roll-off, roll-up formation, roll-down enlargement, polishing mechanism, alumina abrasives

1. はじめに

近年、磁気ディスク装置には、小型軽量化とともに、大容量化の要求がますます強くなっている。こうした要求を満足させるために、磁気ディスク基板についても、磁気記録密度の向上や、加工による基板端面ダレの抑制による1基板当たりの磁気記録可能面積の増大が必要となっている。前者の磁気記録密度の向上には、磁気ヘッドスライダの極低浮上化が必要で、そのために、磁気ディスク基板表面の高平滑化が求められている。筆者らの一人は、先に、ニッケルりん無電解めっき型アルミニウム磁気ディスク基板のアルミナ砥粒やコロイダルシリカ砥粒による高平滑ポリシングについて検討を行い、除去機構を示すとともに、ポリシング条件と除去速度および平滑度との関係を明らかにした^{1)~3)}。また、超平滑基板では、スライダの最小浮上高さが10nm程度までになることを示した⁴⁾。一方、後者の端面ダレの抑制についても基板の小径化傾向によってますます重要な問題になりつつあるが、これまで、ポリシングによる端面ダレに関する報告はほとんどなく、また、筆者らも検討し得ていなかった。

本研究では、基板に端面ダレが極力生じない高平滑ポリシング法の確立を目指している。本報告では、ポリシングによる基板端面形状の変化をナノメータ精度で実験的に調べるとともに、その形成機構を検討してみたので、以下に報告する。

2. 実験方法および条件

本実験で用いた実験装置の概略図を図1に示す。市販のラッピング盤の回転定盤に貼り付けたポリシャに、基板ホルダにセットした磁気ディスク基板を定圧で押し付け、ポリシャとホルダの相対回転運動によりポリシングする方式である。実験装置周辺

Fig. 1 Schematic view of the polishing machine

Table 1 Experimental conditions

Workpiece	NiP plated magnetic disk substrate (3.5inch type : $\phi 95\text{mm} \times \phi 25\text{mm} \times 1.27\text{mm}$)	
Polymer	Non-woven urethanfoam (Type : C, Hardness : 65°)	
Carrier	Thickness Ct : 1.199mm	
Polishing fluid	Hydrogen exponent : (pH = 3.6) Abrasives : Al_2O_3 ($\phi 0.5\mu\text{m}$) Content of abrasives Cg : 5.3wt % Supply flux Sg : 6.0g/min	
Polishing condition	Pressure P : 11.1kPa	
	Revolution	
	Polymer N : 0, 15, 148rpm	
	Substrate n : 0, 40rpm	
	Time t : 1-150min	

の環境は、クラス300に対応する¹⁾。表1に実験条件を示すが、端面形状変化に及ぼすポリシング相対速度の影響を主として検討した。使用した磁気ディスク基板は、3.5inchタイプで、ポリシャはいわゆる軟質の発泡ポリウレタン製のものである。基板端面形状の測定には、WYKO (TOPO-3D) を使用した。除去厚さ T_p は、ポリシング前後の基板の重量を電子天びんで測定し、ニッケルりん (NiP) の比重と基板の面積で除すことにより求めた¹⁾。

* 原稿受付 平成8年7月29日

** 正会員 熊本大学工学部 (熊本市黒髪2-39-1)

*** 学生会員 熊本大学大学院 (現、石川島播磨重工業(株); 田無市向台町3-5-1)

† 学生会員 熊本大学大学院

Fig. 2 Substrate edge shape and smoothness after non-electrolytic plating

Fig. 3 Dimensions of the substrate edge shape

3. ニッケルりん無電解めっき後の基板端面形状

図2に、ニッケルりん無電解めっき後の基板表面平滑度と基板端面形状の測定例を示す。図よりわかるように、基板端面が盛上がるもの（端面山型：Edge roll-up type）とダレ下がるもの（端面ダレ型：Edge roll-down type）がある。

図3に、この端面形状のポリッシングによる変化を検討するために用いた、端面形状の数量的表現法を示す。図に示すように基板端面部は、基板表面である平坦部とその平坦部に対してある角度をもつチャンファ部によって構成される。使用した基板

Fig. 4 Typical examples for the change of the substrate edge shape in polishing process

のチャンファ形状は、触針式粗さ計により測定した結果、平坦部となす角約 30° 、幅約 $300 \sim 350 \mu\text{m}$ であった。磁気記録に関係するのは平坦部である。基板端面形状は、外周付近から約4mm部分の2次元形状をWYKOで測定することにより調べた。測定した結果から、まず、平坦部の断面プロファイルのY座標の平均値を求めて基板基準表面（以下、基準面と記す）とする。そして、基準面からの測定可能な最大ダレ深さ、または、盛上がり最大高さ（以下、端面山高さと記す）を D_E あるいは D_M とした。 D_E 値は、端面ダレの場合を正とした。次に、基準面からのダレ下がり、または、盛上がり始めの位置を決め、そこから基板外周までの距離を端面ダレ半径幅 ΔR_x とした。なお、WYKOでは、 0.58° 以上の急激な傾斜部分の測定は不能であるので、WYKOでの測定最外周端には、平坦部と約 30° の角度をもつチャンファ部は含まれないことを考え、測定最外周端を基板外周端位置とした。この際、測定最外周端は、厳密には、設計上の幾何学的な基準面とチャンファ部との接点（図3のE点）よりも $\delta(\Delta R_x)$ だけ外側となる。しかし、本研究で問題とする D_E 値は、高々 $2 \mu\text{m}$ 程度であるので、これを考慮して計算すると、 $\delta(\Delta R_x)$ は $4 \mu\text{m}$ 以下になる。これに対して、実際の ΔR_x は少なくとも数十 μm を越えるので、 $\delta(\Delta R_x)$ に比較して非常に大きい。したがって、 ΔR_x を基板外周からのダレ半径量としても問題はないと言える。

4. 実験結果および考察

4.1 ポリッシング過程における基板端面形状の変化

図4に、ポリッシングによる基板端面形状変化の代表的例とその変化過程の模式図を示す。模式図は、ポリッシング前の基準面に各過程の除去厚さの変化を加えて描いている。なお、本実験は、基板の初期形状の影響を無くすために、予備ポリッシングで

Fig. 5 Substrate edge shape after polishing for 90min under only substrate revolution without polisher revolution
[Polisher: C, $P=11.1\text{kPa}$, $N=0\text{rpm}$, $n=40\text{rpm}$, $t=90\text{min}$]

図のポリッシング時間 $t=0$ に示すように基板形状をそろえてから行った。図より、ポリッシングの進行に伴う端面形状の変化には、(a)のように初期の端面ダレが増加していく場合（端面ダレ増加型と記す）と、逆に、(b)のように端面ダレ量が減少し、端面山が形成されるような場合（端面山形成型と記す）の2通りがあることがわかる。後者の(b)の端面山形成型変化はこれまで見いだされていなかった変化である。なお、このような結果は、市販の大型のポリッシング盤を用いても同様に得られたことを付言する。

4.2 基板回転のみのポリッシングによる端面ダレ変化

上述のようなポリッシングによる基板端面形成機構を検討するために、ポリシャと基板の回転運動によって基板がポリッシングされることを考え、基板端面形状変化に及ぼす基板の回転とポリシャの回転の影響を分離して検討してみた。

図5に、ポリシャの回転を停止し、基板のみを $n=40\text{rpm}$ で回転させポリッシングした後の基板端面形状を調べた結果の一例を示す。使用した基板は、図4と同様な形状に予備ポリッシングを施したものである。なお、この実験では、砥粒が遠心力により、基板下から基板外に排出されるので、基板下の砥粒の状態を一定にするために、数分ごとに基板を、一様に砥粒を散布したポリシャ上を移動させた。図よりわかるように、基板表面には基板回転方向である円周方向の切削条痕が見られる。また、ポリッシング前には比較的小さなダレ型端面（図4参照）であったのが、ポリッシング後には、基板最外周に階段状段差をもつ端面山型端面になっている。なお、この階段状段差は、ポリッシング中期のもので、最終的には傾斜状に近いものになっていることを付言する。

図6に、図5の実験から求めたポリッシング過程における除去厚さ T_p と基板端面形状の変化を示す。なお、 D_E , D_M , ΔR_x の値は、表裏両面を同条件でポリッシングした基板の5か所の端面の平均値である。図より、 T_p は時間とともに増加するが、その増加速度 dT_p/dt （以下、厚さ除去速度 I と記す）は後述する端面山が形成された付近から、減少する傾向であるのがわかる。これは、基板端面山が形成されると、端面山部でポリッシング荷重を支持する割合が増加し、基準面部に作用する圧力が小さくなるためと考えられる。次に、端面ダレ深さ D_E と端面山

Fig. 6 Change of the substrate edge shape and the removal depth with polishing time under only substrate revolution without polisher revolution

Fig. 7 Illustration of polishing mechanism under only substrate revolution without polisher revolution

高さ D_M をみると、その変化は3つの過程に分けられる。最初の過程では、 D_E がポリッシングにより徐々に減少する。第2の過程は、 D_E がある程度減少した後、端面山形成が始まり、端面山形成が比較的急速に行われる過程である。第3の過程は、 $D_M=1.4\mu\text{m}$ とかなり大きくまで増加した後の D_M の増加がほとんど無くなる過程である。なお、端面山の形成が始まった後の第2過程では、 $-D_E \approx D_M$ となった。最後に端面ダレ半径幅 ΔR_x をみると、 ΔR_x は端面山が形成される付近まで減少し、約 $500\mu\text{m}$ の極小値を示した後、再び増加するのがわかる。この再び増加するのは、端面山の裾野が、基板内周側へ進展するために生じるものである。

端面山がこのような形成されるのは、例えば、図6のポリッシング時間90分後の除去厚さ T_p が約 $1.8\mu\text{m}$ であり、一方、端面山高さ $D_M \approx 1.2\mu\text{m}$ であることを考えると、端面山形成部が基準面よりも厚さ除去速度が相当小さかったために生じたと考えられる。ポリッシングは、基板がポリシャ内に沈み込んだ状態で行われるので、通常考えられているように、ポリッシング前基板端面ダレにそって、ポリッシング圧力が作用し、端面ダレの増加も考えられるにもかかわらず、このように端面山が形成される。そこで、端面山形成機構を考えてみる。

基板端面形状がポリッシングにより変化するのは、端面近傍の基板半径位置により厚さ除去速度が変わるためと考えられる。ここで、基板除去機構を、別報¹⁾のような砥粒による切削機構と考え、基板の半径位置 r における個々の砥粒（四角すい形状）の単位時間当たりの除去量を m_r とすると、単位半径幅当たりの基板除去速度 M_r と厚さ除去速度 I_r は次のように表される（図7参照）。

Fig. 8 Estimated removal mechanism at the substrate edge for polishing under only substrate revolution without polisher revolution

Fig. 10 Estimated removal mechanism at the substrate edge for polishing under only polisher revolution without substrate revolution

Fig. 9 Substrate edge shape after polishing for 10min under only polisher revolution without substrate revolution
[Polar: C, P=11.1kPa, N=148rpm, n=0rpm, t=10min]

$$m_r = \frac{1}{2} \cdot h \cdot b \cdot V_r = h^2 \cdot V_r \cdot \tan \frac{\theta}{2} \quad (1)$$

$$= h^2 \cdot \pi d_r \cdot n \cdot \tan \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

$$M_r = \frac{m_r \cdot (n_g \cdot S_r)}{\delta r} \quad (3)$$

$$I_r = \frac{M_r \cdot \delta r}{S_r} = m_r \cdot n_g = \pi d_r \cdot n \cdot h^2 \cdot n_g \cdot \tan \frac{\theta}{2} \quad (4)$$

ここで、 h 、 b ：砥粒切込み深さと幅、 θ ：砥粒切れ刃頂角、 V_r ： r における基板の回転速度、 n ：基板回転数、 $d_r = 2r$ 、 n_g ：単位面積当たりの切削砥粒数、 $S_r = \pi d_r \cdot \delta r$

端面山が生じるには、端面山形成部の厚さ除去速度 I_M が基準面部の厚さ除去速度 I_F よりも小さくなる必要がある。これを式(4)から考えてみる。端面山形成部でも基準面でも n 、 θ は同じであり、また、 d_r は、基準面の方が端面山部よりも小さい。それゆえ、端面山形成部の方が基準面よりも厚さ除去速度が小さくなるためには、端面山形成部の h 、 n_g の少なくともいずれかが、基準面よりも小さくならねばならない。まず、 h についてであるが、この影響があるとすれば、砥粒に作用する力が基準面よりも端面山形成部の方が小さくなる必要がある。しかし、端面山が形成されると、端面山部は基準面よりもポリシャ内へ、より深く沈み込むことになる。このことを考えると、端面山が生じると端面山部では、砥粒に作用する力が大きくなり、 h が増加することになるので、端面山形成に h が影響している可能性は小さいと思われる。

次に、 n_g であるが、別報²⁾で考察しているようにポリシング圧力が高くなると、同じ砥粒濃度でもポリシャ表面層の気孔内に沈み込んでいた砥粒が表面上に顕出し、 n_g が増大することがある。上述のように、端面山形成部では、ポリシング接触圧力は基準面よりも大きくなると考えられるので、 n_g は増加することも考えられるが、これは、 I_M の増加につながる。このことから、端面山形成にポリシング圧力の影響による n_g の変化が関係しているとは考え難い。そこで、他の原因について考えてみる。基板下の砥粒を含むポリシング液は基本的には、遠心力により基板外周方向へ移動し、上述のように、基板端面下より排出される。この場合に、図8に示すように、基板がポリシャ内へ沈み込んでいる（静的実験結果から数十 μm 程度と推測）ので、基板端面ダレ開始点より外周側に、ポリシャによる基板を取り囲む壁が形成され、基板下より基板外へのポリシング液の排出がある程度阻止される。このような現象を考えると、ポリシング液が基板下に溜まるようになるとともに、基板端面にはポリシング液が供給され難くなるため、基板最外周部の n_g が減少し、端面山が生じることが考えられる。なお、基板端面－ポリシャ接触圧力分布にキャリアが関係して、端面山形成が生じたとも考えられたので、厚さの薄いキャリアを基板ホルダに固着し、ポリシャとは無接触にした実験も行ったが、端面山は生じたことを付言する。

4.3 ポリシャ回転のみによる端面形状変化

図9に、基板回転を停止し、ポリシャのみを $N = 148\text{rpm}$ で回転させて、10分間ポリシングを行った後の基板端面形状を示す。ポリシング前の基板端面形状は、図4と同様である。なお、ポリシャを回転させるポリシングでは、基板に作用するポリシャ回転方向の抵抗により基板に傾きが生じる。このため、図10に示すように、ポリシャの基板下への進入開始位置A（ポリシャ進入端と記す）の方が、その反対側の接触終了位置B（ポリシャ出口端と記す）よりも、除去速度は大きくなる。図9の端面形状測定位置は進入端側である。図よりわかるように、基板表面には砥粒によるポリシャ回転方向の切削条痕が形成されている。また、ポリシング前には比較的小さなダレ量の端面ダレ形状であった（図4参照）のが、ポリシング後には、ダレ量の非常に大きな端面（ D_E は約 $2.2\mu\text{m}$ ）になっている。このような端面ダレの増加機構は、図10に示すようであるとされる。すなわち、上述のように、基板はポリシャ内に端面ダレ深さ以上に沈み込んだ状態にあり、砥粒はその基板端面

Fig. 11 Change of the substrate edge shape and the removal depth with polishing time under only polisher revolution without substrate revolution

形状にそってポリシャとともに移動する。このため、基板端面ダレ深さが大きくなる一方、より基板内周側へもダレが進行していくようになるものと考えられる。

図 11 に、基板回転を停止し、ポリシャのみを回転数 $N = 148\text{rpm}$ と $N = 15\text{rpm}$ で回転する場合のポリシング過程における除去厚さと端面ダレの変化を、比較して示す。まず、除去厚さをみると、ポリシング時間に比例して増加する。そして、その厚さ除去速度は、ポリシャ回転数が速い $N = 148\text{rpm}$ の方が $N = 15\text{rpm}$ の場合よりも、その回転数比である約 10 倍程度大きくなっている。次に、端面ダレ深さ D_E をみると、 $N = 148\text{rpm}$ と $N = 15\text{rpm}$ の両方の場合とも、図 10 での考察のように、ポリシングが進むとともに大きくなり、特に、除去速度の大きい $N = 148\text{rpm}$ の場合に急速に大きくなるのがわかる。このような D_E の変化に対して、 ΔR_x は、 $N = 148\text{rpm}$ の場合に、初期の値 $(\Delta R_x)_i = 1.7\text{mm}$ からほとんど変化せず、 $N = 15\text{rpm}$ の場合も $(\Delta R_x)_i = 0.6\text{mm}$ から徐々に増加する傾向で、その変化は緩やかである。 ΔR_x の変化が緩やかなのは、初期の基板端面ダレ始め位置よりも内側近傍における厚さ除去速度 I の基板半径位置による差が小さいためと考えられる。なお、 $(\Delta R_x)_i$ が小さいと、 $N = 148\text{rpm}$ の場合でも、ポリシングにより ΔR_x が増加する結果を得ているが、この点は別報で報告する予定である。このように、ポリシャのみを回転するポリシングの基板端面変形状態はポリシング相対速度や $(\Delta R_x)_i$ により量的には変わるが、いずれにしても、端面ダレが増加する変化と言えよう。

4.4 基板とポリシャの両方を回転する場合の端面形状変化

図 12 に、基板とポリシャの両方を回転させる通常のポリシング作業でのポリシング過程における除去厚さと端面ダレの変化を示す。ポリシング相対速度 V_a は 1.5m/s ($N = 148\text{rpm}$, $n = 40\text{rpm}$) と 0.15m/s ($N = 15\text{rpm}$, $n = 40\text{rpm}$) の 2 種類を用いている。図中には、参考のため、図 11 のポリシャのみを回転した場合の除去厚さの変化も示している。なお、 D_E , D_M , ΔR_x の値は、表裏両面を同条件でポリシングした基板の 5 か所の端面の平均値より求めた。まず、除去厚さをみると、 1.5m/s と 0.15m/s の両速度の場合とも、ポリシング時間にほぼ比例して増加する。

Fig. 12 Change of the substrate edge shape and the removal depth with polishing time under the normal polishing

そして、 $V_a = 1.5\text{m/s}$ の厚さ除去速度 I は、 $V_a = 0.15\text{m/s}$ の場合に比較して、その速度比である約 10 倍程度大きくなる。また、両速度の I と、ポリシャの回転のみによる I とはほぼ同程度の値である。これは別報²⁾に示したように、 I が V_a にほぼ比例して増加し、 V_a の平均値がポリシャの回転数によって決まるためと考えられる。次に、端面形状の変化をみると、 $V_a = 1.5\text{m/s}$ では、端面ダレ深さ D_E が急激に増加し、 $1.6\mu\text{m}$ 程度に達すると、その後ほぼ一定のダレ深さで推移する。また、端面ダレ半径幅 ΔR_x は、初期値の 1.4mm 程度から緩やかに増加する。このような変化は、ポリシャのみを回転させた場合とはほぼ同様であり、 $V_a = 1.5\text{m/s}$ の場合には、ポリシャの回転が端面ダレ形成機構に大きく関係していると考えられる。一方、 $V_a = 0.15\text{m/s}$ では、ポリシング初期では、 D_E はごく緩やかに減少する。そして、 $D_E = 100\text{nm}$ 程度になった後、端面山が形成され始める。形成されてからは、極く徐々に端面山が増加する。このような変化に伴って、 ΔR_x は、端面山が形成し始める付近まで、初期値の 1.5mm 程度から約 $500\mu\text{m}$ の極小値まで減少する。しかし、その後、端面山の形成とともに端面山の裾野が基板内周側へ進展するため、急激に増加した後、 $\Delta R_x = 1.4\text{mm}$ 程度になってからは徐々に増加する。このような変化は基板のみを回転した場合の変化とほぼ同様であり、 $V_a = 0.15\text{m/s}$ では、基板の回転による端面形状形成が基板端面形状に関係することが考えられる。ところで、 V_a が遅い場合に ΔR_x が極小値を持つ上述の結果は、端面ダレ型基板の ΔR_x を減少し得ることを意味し、基板の有効記録面積の増大のための有用な条件と考えられる。

これらの結果を考えると、基板とポリシャの両方を回転する通常のポリシング作業における端面形成は、基板とポリシャの各回転による端面形成機構が複合して関係しているように思われる。すなわち、 V_a が速く、端面形成機構に及ぼすポリシャの回転の影響が基板の回転の影響よりも大きい場合には、端面ダレ増加型になる。一方、ポリシャ速度が遅く、基板回転によ

る端面形成機構が基板端面形成に大きく関係する場合には，端面山形成型になることが考えられる。

以上，端面ダレ型基板の場合について示した．端面山型基板についても同様なことが言えるが，その詳細と，ポリシャの種類，砥粒（ポリシング液），ポリシング圧力，キャリア等の端面形成形態への影響についての報告は，次報以降で行う。

5. ま と め

ニッケルりん無電解めっき型アルミニウム磁気ディスク基板をポリシング相対速度を変えてポリシングし，端面形状の変化を実験的に調べ，その形成機構を検討した．本研究の範囲内で得た主な結果をまとめると次のようになる。

- (1) ニッケルりん無電解めっき後の基板端面は，盛上がったもの（端面山型）とダレ下がったもの（端面ダレ型）がある。
- (2) ポリシャ回転を止め，基板のみを回転してポリシングすると，端面山形成が生じる．一方，基板回転を止め，ポリシャのみを回転してポリシングすると，端面ダレが増加する。
- (3) 基板とポリシャが同時に回転する通常のポリシング作業では，ポリシャの回転が遅い場合には，端面山が，また，

回転が速い場合には，端面ダレが生じる。

- (4) 端面山形成型ポリシングでは，大きなダレ量を持つ端面ダレ型基板の端面ダレ半径幅 ΔR_x を減少することができる．例えば，1.5mm程度の ΔR_x を約500 μm にすることができ，基板有効面積を4%以上増加することができた。

なお，本研究の一部は，平成7年度科学研究費補助金（課題番号：07650147）によって行われたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 安井平司，佐藤 郁，松永竜二，小林 深：アルミナ砥粒による磁気ディスク基板の高平滑ポリシングに関する研究（第1報），精密工学会誌，**60**，1(1994)128.
- 2) 安井平司，佐藤 郁，松永竜二，鈴木幸雄：アルミナ砥粒による磁気ディスク基板の高平滑ポリシングに関する研究（第2報），精密工学会誌，**60**，11(1994)1631.
- 3) H. Yasui, K. Sato and F. Kobayashi: A Few Nanometers' Polishing of NiP Plated Magnetic Disk Substrate with Al_2O_3 Abrasives, Proc. 7th Int. Prec. Eng. Seminar, Butterworth Heinemann, in stoneham, M. A., (1993) 688.
- 4) 佐藤 郁，安井平司，鈴木幸雄，小林 深：磁気ヘッドスライダの極低浮上化に及ぼす基板の超平滑ポリシングの効果，精密工学会誌，**60**，9(1994)1268.