

# モバイル用途磁気ディスク用ガラス基板の加工

HOYA (株) MD 事業部 MD R&D

江田 伸二

## Glass disk substrate for mobile Hard Disk Drive

Key words : Hard Disk Drive, Chemical strength, Roughness, Microwaviness,

Shinji Eda

Substrate R&D, MD Division, HOYA Corporation

### 1. はじめに

近年、コンピューターだけでなく Consumer Electronics 製品へ HDD (Hard Disk Drive) が搭載されるケースが増えつつある。この背景は HDD の高記録密度化、大容量化の達成とこれに伴う HDD の小型化、高速転送が大きく寄与している。

1998 年から 2001 年ころまでは年率 100% 増というすさまじい勢いで伸びてきた。2003 年度以降については年率 30~40% 増の伸びを継続している。現在に至るまで HDD の面記録密度を高めるために新技術を次々に投入してきている。例えば磁気ヘッドであれば再生素子として TMR (Tunneling Magneto Resistive) をもちいたものや CPP (Current Perpendicular to Plane) 構造の GMR (Giant Magneto Resis-

tive) ヘッドなどが挙げられる。記録媒体としては 2005 年より従来の面内記録媒体に代わって垂直記録媒体が導入され、“右肩上がり”の記憶密度の向上を継続している。結果として、1956 年に最初に磁気ディスク装置が発表されて 50 余年が経過して、その記憶密度は 1 億倍を超えている。2.5 インチサイズ以下の小型磁気ディスク装置 (HDD) を持ち運びが可能ということでモバイル用途といい、最近では HDD で 1 T (テラ) バイトという大容量の記憶装置が市販されている。今後も記憶密度の向上を継続させるため技術開発から製品導入の

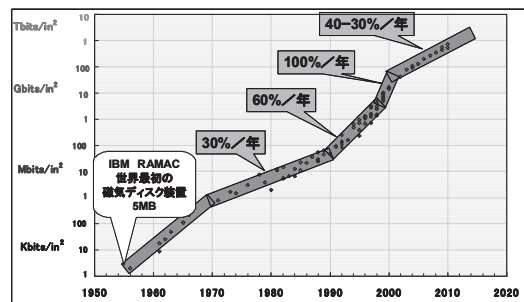


図1 大容量化へ進化を続ける HDD<sup>(1)</sup>

〒196-8510 東京都昭島市武蔵野 3-3-1 R&D センタービル  
 TEL 042-546-2721  
 FAX 042-546-2790  
 E-mail : Shinji\_Eda@sngw.rdc.hoya.co.jp

ハードルが高くなる傾向であり、より一層面記録密度向上を達成する磁気ディスク媒体の実現が要求される。さらに新しい磁気記録技術として熱アシスト記録、ビットパターン記録が鋭意研究されている。

ここではそれに用いられる基板に要求される諸特性を踏まえて一例を紹介する。

## 2. 高記録密度用磁気ディスク

30 GB/枚 (2.5 インチ) モデルまでは、ほぼ等方性媒体であり、記録密度を高めるために磁気ディスク媒体の保磁力 Hc を大きく、残留磁束密度、磁性層厚さ、Head 浮上量を小さくする方向で開発を進めてきた。特に、Head 浮上量は低ければ低いほど Head と磁性層間のスペーシング損失を低減できることにより記録密度を上げられ、その効果も大きいので重要である。しかし 40 GB/枚 (2.5 インチ) モデルにおいては磁気異方性を付与することで磁気特性の向上を達成させるため、ガラス基板表面への同心円状の Texture 加工を施した。従来困難とされたガラス基板を用いたディスク媒体でも磁気異方性を付加することができ、“GX (Glass Direct Texture)” 基板として開発・製品化した。その時点までが面内記録方式の磁性膜であり、その後はディスク媒体表面に垂直方向に磁気記録を行う垂直記録方式が登場し、記録されるビットの面積が小さくなることで記憶密度の向上を図っている。より具体的にはヘッド浮上量を安定して低くすること、磁性粒子サイズを小さく均一なものにすることが行われ、最近の例では 320 GB/枚 (2.5 インチ) の磁気ディスク媒体が市販されている。

## 3. ガラス基板に要求される特性

高記録密度用磁気ディスク媒体への要求を受けて、ガラス基板に要求される特性へ置き換えると、以下の点が必要となる。<sup>(2)</sup>

- ① 表面が平滑でヘッドクラッシュの原因となる突起状の欠陥がないこと

- ② 平坦で、ヘッドが磁気ディスク媒体表面にヒットするような急激なうねり (微小うねり含む) のないこと。
- ③ ピットやスクラッチなどの欠陥が無いこと。
- ④ S/N 比 (信号雑音比) を良好にするため、表面粗さが面全体にわたって低いこと。
- ⑤ 清浄であること、突起状の欠陥や、ピンホールの原因となるごみ、付着物がないこと。
- ⑥ モバイル用途を想定して耐衝撃性、強度・剛性が高く、信頼性が確保できること。
- ⑦ 低コストで大量に生産できること。

このような特性を得る加工ができる材料としてガラスは高いポテンシャルを持つ。

## 4. 各種磁気ディスク用ガラスディスク基板

現在の磁気ディスク用ガラス基板の材料特性を表 1 に示す。化学強化用ガラスではアルミノシリケート系とソーダライム系の化学強化ガラス 2 種類と、結晶化ガラスは SiO<sub>2</sub>-Li<sub>2</sub>O 系の結晶化ガラスの製品データをまとめた。これに参考としてアルミニウム基板の特性を併記した。<sup>(2)</sup> アルミニウム基板に比べ、表面硬度及びヤング率の点でガラスが優位な材料であることを示す。前項で述べた耐衝撃性を必要とするモバイル用途にはガラス材料が必要といえる。

表 1 基板材料の特性

	アルミノシリケート ガラス	ソーダライム ガラス	結晶化ガラス	Al基板
比重	2.52	2.50	2.40~2.62	2.68
ヤング率(kg・mm <sup>-2</sup> )	8510	~7500	8900~9600	7200
ポアソン比	0.23	0.22	0.23	0.33
引張強さ(kg・mm <sup>-2</sup> )	55	~50	20~45	26
圧み層深さ(μm)	100~150	~15	—	—
硬さ(kg・mm <sup>-2</sup> )	570~670	~550	600~710	70
熱膨張率(×10 <sup>-6</sup> ・°C <sup>-1</sup> )	91	85~90	90~118	242
比熱(J/kg・K)	840	753	860~930	963

## 5. ガラスディスク基板の加工工程

HDD に使用されるガラスディスク基板の一般的な仕様を表 2 にまとめた。

表 2 ガラスディスク基板のサイズ別仕様

	1.0インチ	1.8インチ	2.5インチ	3.0インチ
外径	27.4±0.05	48.0±0.05	85.0±0.05	84.0±0.05
内径	7.0 <sup>+0.005</sup> <sub>-0</sub>	12.0 <sup>+0.005</sup> <sub>-0</sub>	20.0 <sup>+0.005</sup> <sub>-0</sub>	25.0 <sup>+0.005</sup> <sub>-0</sub>
板厚	0.381±0.015	0.508±0.015	0.635±0.015	1.27±0.010 1.00±0.010
真円度	0.010以内	0.010以内	0.010以内	0.010以内
同心度	0.020以内	0.020以内	0.020以内	0.020以内
平面度	0.005	0.005	0.007	0.007

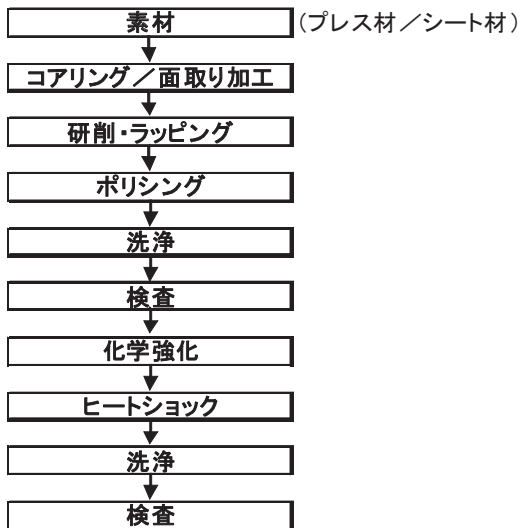


図2 ディスク基板加工工程

ヘッドの浮上保証領域や、基板の軸方向の回転振れは、平面度とともに顧客仕様による場合が多く、また、ディスク表面の粗さ、うねり、欠陥なども同様に顧客によりその仕様が個別に定められるケースが多い。一般的な化学強化用ガラスディスク基板の加工工程を図2に示す。

素材としては、化学強化用ガラスのプレス材またはシート材を使用する。素材工程としては、溶解・成形で生産される。

形状加工の工程では、表2に示す内径、外径を加工する。加工方法としては、円筒研削が一般的であり、この前にコアドリルで粗寸法で内外径を加工する。円筒研削では、ダイヤモンド砥石でトラバース研削し、内外径加工後、面取り加工を行う。もしくは総型砥石でプランジカット研削により内外径、面取り加工を施す。さらに、端面部からの発塵を押さえるために内外周の面取り面と側面を例えば研磨剤を掛けながらブラシを押し付けることによる端面研磨を行う。

研削・ラッピングの工程では、仕様の板厚に材料を加工するとともに、所定の平面度を得る。研削では固定砥粒のダイヤモンド砥石をセットした平面研削盤が使用され、ラッピングでは両面同時加工のラッピングマシンが用いら

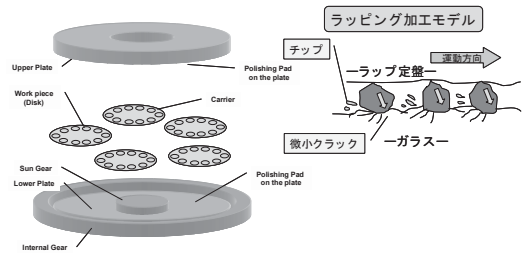


図3 Lapping 加工モデル

れ、微小破壊現象により加工が進行する<sup>3)4)</sup>。図3に両面式ラッピング加工装置を左に、ラッピング砥粒によりガラスが破碎されるモデルを右に示す。

次に、ポリシング (= 研磨) について説明する。ポリシングの研磨機構については種々の説が提唱されており、本報告ではガラスに最も適当と思われる化学作用説について説明する。<sup>3)4)</sup>

これは、ガラス、研磨液、研磨剤、ポリシャの化学反応が、ガラスの平滑化に大きな役割を持っているという考え方である。原田、泉谷<sup>5)</sup>らの報告によると各種光学ガラスについて実験した結果、微小除去説に対応したマイクロビッカース硬度、流動説に対応したガラスの軟化点との相関は少ない一方、研磨速度に影響を与える要因はガラスの化学的耐久性 (耐酸、耐水性) であると報告している。ガラスの研磨は、研磨液の化学的浸食によって、ガラス表面に生成する軟質の水和層を、ポリシャによって保持された砥粒が主として機械的に削り取るという機構で進行すると考えられる。<sup>5)</sup>

ガラスの研磨において副資材 (研磨剤、ポリシャ) の果たす役割は大きい。各々の役割としては、研磨における研磨剤はガラス表面を削り取る切刃として働く。ポリシャはその砥粒を保持する機能をもつと考えられる。図4ではガラスとポリシャ (図中研磨 Pad と表記) と砥粒の作用をモデルで示し、ガラス表層に形成された水和層をポリシャに保持された砥粒が小さく削り取るメカニズムを示す。

砥粒の機能として

- ①破壊しやすく (小さく破碎し切刃が増加),

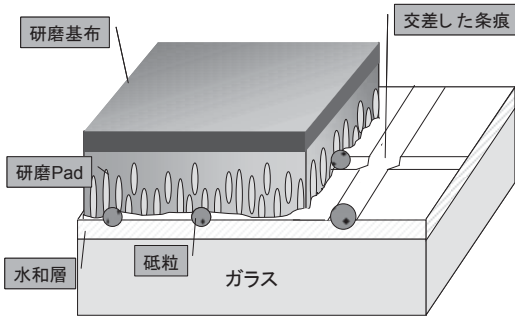


図4 ポリシング加工モデル(7)。(9)

ガラスの水和層より硬度がある。

②水などに対し分散性があり、作業時あるいは保管において化学的に安定。

が考えられ、研磨剤として酸化セリウムが一般的である。

また、ポリシャの機能としては、

①押しつけの機能：ポリシャ自身の中に砥粒を埋め込ませ、研磨機からの加工圧力を砥粒に伝えることより、砥粒をガラス面に押しつけ、引っかかせる機能。

②なじみの機能：研磨中にガラス表面にならなって変形し、研磨（平滑、形状精度の確保、効率など）を有効に行わせる機能。

が考えられ、ポリシャとしては、この2つの機能を併せて発揮させる性質のあるものが好ましい。ポリシャは粘弾性体が使われ、発泡性のポリウレタンが一般的である。このような考えを基本に加工されたガラスディスク基板の表面AFM観察の結果を図5に示す。縦軸が一目盛

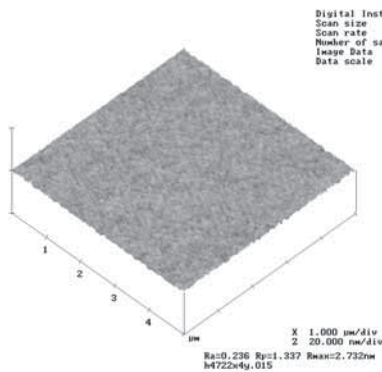


図5 ディスク表面 AFM イメージ

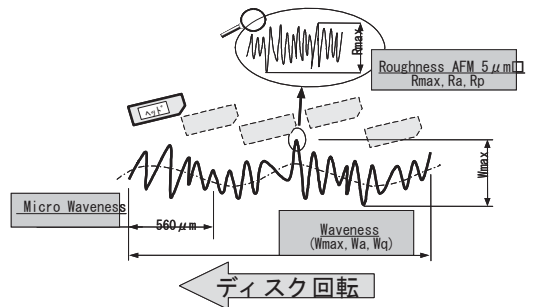


図6 ヘッド浮上の関連要素

20 nm, 5 μm 四角を見た場合 Ra=0.24 nm のスムーズな表面が得られている。これは前述したようにガラスの特性、研磨剤、ポリシャ、機械、加工条件などの組み合わせにより得られる。ガラス材料が将来も含め平滑に対して非常に加工しやすい材料であると言える。

図6はヘッドの浮上を決定づける基板の表面の Topology 要素を示している。基板全体のうねりである Waviness, 磁気ヘッドの長さに対応して測定波長を 100-500 μm で捉える微小うねり (Micro Waviness/Nano Waviness), そしてさらに微視的に見る AFM での表面粗さ (Roughness) が仕様として決定される。近年の高記録密度化に伴い、それぞれが厳しく小さく要求される。

図7は高記憶密度化に伴い、粗さ及び微小うねりが低く要求されてきていることを示す(2.5 インチ基板サイズ)。たとえば、10-20 GB/P (Pは1枚を示す)の時代は微小うねりを0.7

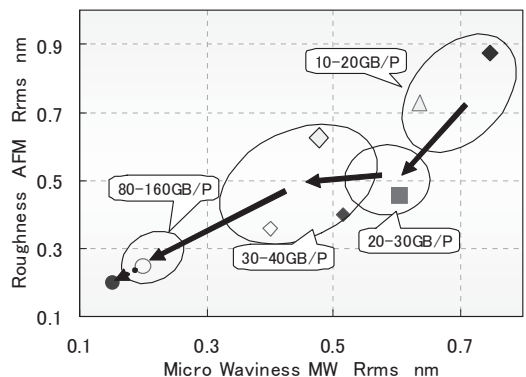


図7 高記憶密度に伴う粗さ・うねり低減

nm (Rq) で設計したものが、40 GB/P では微小うねりが 0.4 nm 台になり、表面粗さも同様に 0.9 nm (Rq) が 0.4 nm 周辺に低くなっている。これにより磁気ヘッドの浮上高さが低くなることにより、高記録密度を達成している。

洗浄工程では、ガラスディスク基板面に付着した研磨剤を除去し、清浄な表面を得るためにスクラブ洗浄機や超音波洗浄機などの自動精密洗浄機が適用される。洗浄工程の役割は、

- ① 研磨剤などの汚れを除去し、除去する際に被洗浄物にダメージを与えない。
- ② 除去した汚れを再付着させず、洗剤等をリンスして完全に除去する。
- ③ リンスした基板を清浄な状態で乾燥すること。

が上げられ、工程は大まかに洗浄・リンス・乾燥からなり、乾燥は有機溶媒のペーパーや温純水を使用する。また、研磨剤などの異物を除去するに機械的なスクラブ洗浄も取り入れられることもあり、被洗浄物表面の清浄度向上の一手法として採用される。

これまでの工程は、フォトマスク用ガラス基板の工程とほぼ同じで、特にラッピング、ポリシング、洗浄はシリコンウェーハやフォトマスク用ガラス基板加工の要素技術の応用ができる<sup>6)</sup>。具体的には両面ラッピング及び研磨加工、そして超音波洗浄がそれにあたる。

検査後に化学強化処理を行う。これは対衝撃性も含めガラスの割れに対する不安を解消し、かつ強度を上げるために行われる。化学強化は、ガラス中のアルカリイオンをより大きなイオン半径のアルカリイオンと表面でイオン交換させることにより、ガラス表面に圧縮応力層を形成する方法である。ガラスディスク基板をより大きなイオン半径を持った溶融塩中に浸漬し、所定の時間後溶融塩中から取り出す。(図 8) 処理後の強度と歪み層深さは、溶融塩の温度と浸漬時間で最適化できる。

強化工程は磁気ディスクが小型化になり、モバイル用途に設計される上で強度の信頼性を上

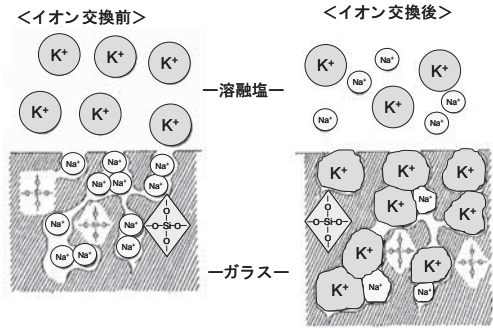


図 8 化学強化模式<sup>(10)</sup>

げる重要な技術要素となっている。

続いて面内記録では GX (Glass Direct Texture) 工程を行った。本工程は前述のように成膜後のガラスディスクにおいて磁気異方性を付与するために基板表面に同心円状の Texture 加工を行い磁気異方性比率 OR (Oriented Ratio) が向上し、記録密度向上が図られ、2.5 インチサイズディスク 1 枚で 30 GB~80 GB の記憶容量を達成した。

図 9 にヘッドとメディアのスペーシングのトレンドを示す。記憶密度が向上するに従い、ヘッドメディアスペーシングは狭くなっている。最近では、スライダの浮上量を下げないで (約 10 nm)、リード/ライト素子部分を内蔵したヒータで熱を発生させて浮上量を下げるといったダイナミックフライングハイト (DFH) ヘッドが導入され、実用化されている。それにより一段と浮上量の低下が可能となり、素子の実際の浮上高さは 1 nm に近づこうとしている。

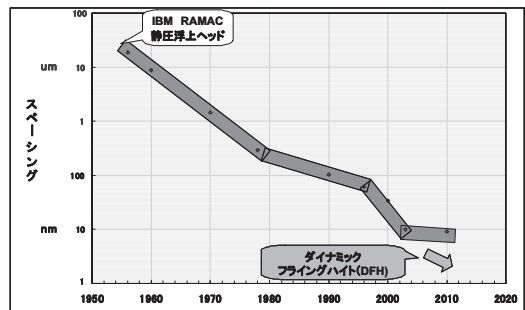


図 9 ヘッドメディアスペーシングトレンド<sup>(11)</sup>

面内記録に代わって垂直記録方式が登場して、ヘッドメディアのスペーシングは上述のように継続して狭くなっている。これを達成するための基板の要件として①表面粗さを小さくする、②低いヘッド浮上量を確保するため突起状の欠陥がない清浄な面にする、③ヘッド浮上に影響を与える微小うねりを小さくする、ことがますます強く要求されている。

これを達成するため化学強化処理のあとにコロイダルシリカの研磨剤と軟質発泡樹脂ポリシヤを用いてファイナル研磨を行う場合がある。一例としてAFMによる表面粗さをRa 0.12 nm以下を得た。また、その後に行う洗浄で用いる添加剤を最適化することで0.1~0.3 μmの固着した欠陥個数が24 cm<sup>2</sup>あたり1個以下という低欠陥基板を得た。この基板を用いた磁気記録媒体は低フライングハイトを確保でき、高記憶密度を信頼性高く達成でき、2.5インチサイズで250 GB以上の高容量の磁気記録媒体が得られている。

以上が磁気ディスク用ガラス基板の加工工程の概略である。

現在では、ガラス成形技術の進歩により研削レスなどの精度の良いガラス材料の成形も行われ始めている。また、一部固定砥粒化にすることで工程の省力化あるいは廃棄物の削減をめざす加工も行われている。

## 6. 結言

これまでHDDはパソコンが技術の牽引役となり、大容量化、高速化の道をひた走ってきた。大容量のデータを必要とするパソコンやサーバーの用途とカーナビゲーター、MP3等の音楽プレーヤーなどに代表されるCE (Consumer Electronics) 用途にもHDDが用いられるようになった。

今後はさらに音楽プレーヤーの高記憶容量化やカーナビゲーター、ゲーム、高画質映像の保

存などへの需要も拡大すると予測される。この分野ではモバイルを前提としたダウンサイジングが競争力となりガラス基板がより加速されてその適用拡大が予測される。それ故、HDDに搭載される磁気ディスク用ガラス基板も高精度化、高品位化、低コスト化などの要求が厳しくなる。磁気記録方式は以前の面内記録方式からさらに高記録密度を達成する垂直記録方式が登場し主流となった。ひとつの磁区サイズがさらに小さくなって低欠陥が基板側に益々要求され、次世代技術として高温にて磁性膜プロセスを行うことも提案されている。これら課題を達成するために、磁気ディスク用ガラス基板の要素技術の革新、生産技術の向上を図って、低粗さ・低微小うねり・低欠陥を達成していく必要がある。この材料として、ガラス素材のポテンシャルは高いと考える。

## 参考文献

- 1) IDEMA フォーラム\_ポスター 7月 (2010)
- 2) 鈴木 勲 ニューガラスハンドブック磁気ディスク用基板 P 385 (1991) 丸善
- 3) 河西 敏夫 鏡面加工技術の進歩超精密 研磨技術 P 127 (1992) 総合技術センター
- 4) 今中 治 機械の研究 19-9 (昭44 1253)
- 5) 原田, 泉谷 精密機械 33-11 (昭42) 721., 窯業協会誌 78-7 (昭45), 229
- 6) 流川 治 マスク基板の加工, 評価加工技術データファイル 10 巻 機械振興会館 (1986)
- 7) 高橋 浩二 電子機器に欠かせない高付加価値光学部品の加工・評価の最新技術 (第235回講習会資料) ガラスディスク基板の現状 (1997)
- 8) 高橋 浩二 ハードディスクの研磨の現状と今後の課題 (社団法人日本ファインセラミックス協会 第1回講演会資料1998 7月)
- 9) 宮本 武美 磁気ディスク用ガラス基板について (日本機械学会磁気メディアの製造技術に関する調査研究分科会 第4回分科会資料20002月)
- 10) 牧島 亮男 機能性ガラス入門 (1984 アグネ)
- 11) 江田 伸二 磁気ディスク用ガラス基板について (挑戦的砥粒加工技術専門委員会 第4回オープンシンポジウム 2005 3月)