

(解説)

高容量磁気ディスク用アルミニウム合金基板

Aluminum Alloy Substrate for High Density Magnetic Memory Disks



加藤良則*
Yoshinori Kato



梅田秀俊*
Hidetoshi Umeda



星野晃三*
Kozo Hoshino

Five hundred million aluminum alloy blanks were shipped for use in hard disk drive substrates in fiscal year 2004. Kobe Steel has 60% of the world market share for these blanks. Kobe Steel's developed aluminum alloys and process technologies meet the strict demands of high performance hard disk drives. The current aluminum alloy used for hard disk blanks, KS5D86, is characterized by a flat, smooth plated surface and a high grinding rate. In the future, the areal density of the hard disk drive must be continuously increased. Therefore, further research to improve the quality of aluminum alloy substrates is essential.

まえがき = 大型コンピュータの外部記録装置として約50年前に開発されたハードディスク装置(以下HDD)は、1990年以降パーソナルコンピュータの普及とともにその出荷台数を大幅に拡大してきた。HDDは図1¹⁾に示すように、高速回転する円板状の基板にデータを磁気ヘッドで磁化することにより、記録/再生する装置である。その構成は開発当初から変わらないが、記録密度とデータ転送速度の向上、小型化やコストダウンにより、現在では不可欠な記録装置となっている。また、将来においてはさらなる高性能化や用途の多様化などにより、その重要性はさらに高まると考えられる。

HDDの基幹部品のメディアと呼ばれるデータを記録するドーナツ形状の基板材料には、アルミニウム合金又はガラス基板が使用されており、アルミニウム合金基板を使用したHDDはパソコン、サーバやテレビ録画機など全体の約7割以上を占めている。

HDD基板用アルミニウム合金は通常アルミニウム合金板とほぼ同様の工程で作製され、打抜加工後、平坦度矯正焼鈍されて、アルミニウムブランクとなる²⁾。HDDの高性能化にともない、アルミニウムブランクの平坦度やめっき面の平滑性などの特性向上が求められてきた。このため、基板用アルミニウム合金の開発や製造加工技術の開発、改良が今なお続けられており、HDDの高性能化を支えている。

現在、当社では真岡製造所において、アルミニウム合金板材及びブランクの製造を行っている。また、マレーシアのKobe Precision Technology社(当社のグループ企業、以下KPT社)では、真岡製造所において製造したアルミニウム合金板材を使用したブランクの生産とブランクを端面加工し、両面研削機でグランド加工したアルミサブストレートの製造、販売を行っている。

真岡製造所とKPT社を合わせたHDD用アルミニウム

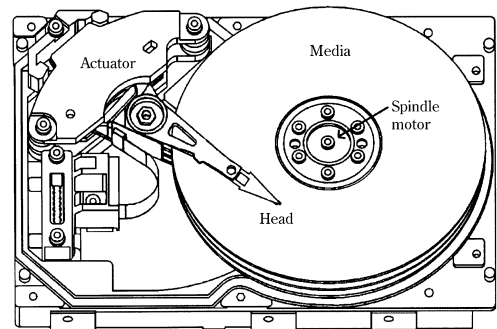


図1 ハードディスク装置の模式図¹⁾
Fig. 1 Schematic drawing of hard disk drive¹⁾

ブランク材のシェアは世界最大であり、約60%をしめている。また、KPT社におけるアルミサブストレートの生産量も世界最大である。

当社では、アルミニウム合金板材から、ブランク及びサブストレートまでの一貫生産体制により、高品質な磁気ディスク用基板材料の生産及び品質保証体制を構築し、高密度化に対応するための研究開発を推進している。

本稿では、これまでのアルミニウム合金基板の合金開発や生産技術の変遷と今後の対応について述べる。

1. HDDの需要と技術動向

1.1 需要動向

HDDの出荷台数の変化を図2に示す。1990年代から本格的にパーソナルコンピュータへの搭載が始まりHDDの出荷台数は大幅に増加し、1996年には出荷台数が1億台を超えた。しかし、2001年にはパソコン出荷台数の減少により、HDDの出荷台数も初めて前年比で減少したが、堅調なパソコン需要とコンピュータ以外の機器に搭載され始めたことにより、それ以降HDDの需要は順調に拡大している。2004年度にはHDD出荷台数は

*アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 アルミ板研究部

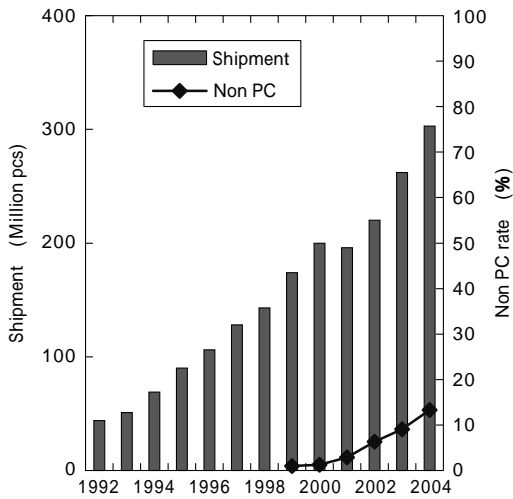


図2 HDDの出荷台数の推移
Fig. 2 Trend of HDD shipment

3億台を超え、今後も年率10%程度の増加が見込まれている。

表1にはHDDに使用されている基板材料とそれぞれの基板を搭載したHDDの特徴を示す。

アルミニウム合金基板は供給能力や製造コストの面で優れている。アルミ基板を搭載したHDDは主にサーバやデスクトップパソコンに搭載されているが、近年ではHDD & DVDレコーダやゲーム機などに用途が拡大している。

一方、ガラス基板はアルミニウム合金基板に比べ、表面硬度が高く³⁾、剛性も高いといった利点があり、耐衝撃性が必要な携帯パソコンやカーナビゲーションシステムなどに搭載されている。

また、ガラス基板を使用した1.8inch以下の小型モバイル用HDDは携帯音楽端末などへの搭載が始まり、その出荷台数を急激に増加させている。今後は、携帯電話に本格搭載される可能性もあり、アルミ合金基板を搭載したHDDに比べ大きな成長が予想されている。

1.2 技術動向

HDDが衝撃を受けた場合、ヘッドが高速回転する基板に衝突し記録データの破損や基板自体が変形し作動しなくなることがある。このため、表面硬度の高いガラス基板がモバイル用HDDに採用されてきた。アルミニウム合金基板でも、めっき皮膜の厚膜化により耐衝撃性の向上などの検討が行われたが⁴⁾、モバイル用途のHDDには使用されていない。しかし、ヘッドの小型化、ヘッド待避技術、衝撃吸収材やショックセンサの搭載など衝撃軽減技術が進歩しており⁵⁾、安価で安定供給可能なアルミニウム合金基板を小型モバイル用HDDへ適用するこ

とも検討されている。

HDD基板の記録密度は毎年着実に上昇している。現在の記録密度は、開発当初の媒体の5000万倍に達しており、3.5inchの基板両面で130Gバイトの記録容量が達成されている。

しかしながら、現行の水平磁気記録での記録密度の向上は限界に近づきつつあるとされており、ガラス基板で垂直記録方式の媒体を搭載したHDDが市販されている。アルミニウム合金基板でも、さらなる高記録密度化のため垂直記録方式の媒体の開発が続けられている。

記録密度の上昇により、基板の表面は限りない平滑性が求められ、表面粗度であるRaから長波長のうねり成分であるWaまでの粗さ成分を低下させる必要がある。また、基板回転数の高速化により、データ転送速度の向上も図られており、サーバなどデータ転送速度を重視するHDDは回転数が10000rpm以上になっている。基板の高速回転化は基板に共振による振動をもたらすため、安定したデータの読書きには基板の剛性を高める必要がある。アルミニウム合金では、素材のヤング率の大幅な向上や比重の低下などは不可能であり、基板の厚肉化と小径化による対応が採られている。

2. 磁気ディスク用アルミニウム合金基板

2.1 アルミニウム合金の変遷

表2に当社における磁気ディスク用アルミニウム合金及びその製造技術変遷をまとめた。また、表3に代表的な磁気ディスク基板用アルミニウム合金の化学成分を示す。

1980年までの磁気ディスク基板は、強度及び加工性などが考慮されてAA5086合金が選定されていた。当時の基板は、塗布型メディアと呼ばれており、表面をダイヤモンドターニング(以後DT)と呼ばれる超精密切削加工で仕上げた後、その表面上に磁性微粉を均一に分散させた有機樹脂塗料をスピコートすることで、磁性層が形成されていた。超精密加工したアルミニウム合金表面に直接磁性膜を形成させるため、記録密度の高密化によるヘッド浮上量の低下で金属間化合物や非金属介在物が問題となるようになった。このため、高純度地金使用によるAl-Fe系晶出物の微細化と均質化熱処理や、熱間圧延条件の制御によるMg-Si系金属間化合物抑制技術⁶⁾と非金属介在物除去技術が開発され適用された。

しかし、1980年代後半になると高密度化の進展により、磁性膜の形成にはスパッタ法が用いられるようになった。また、アルミニウム合金表面では微細な欠陥が抑制できなくなったため、アルミニウム表面への陽極酸化

表1 基板の材質とHDDの用途
Table 1 Substrate material and application of HDD

Substrate	NiP plated aluminum alloy	Alumino-silicate, Crystallized glass
Characteristics	Low cost, Supply capacity	Crash proof
Substrate size (inch)	3.5, 3, 2.5	2.5, 1.8, 1
Shipment (million)	230	65
Current application	Desktop PC, Server, TV recorder	Mobile PC, Car navigation, Music player
Future application	Home server	Automotive server, Mobile phone

表2 HDD用アルミニウム合金及び製造技術の変遷

Table 2 Transition of aluminum alloy and production technology for HDD

Year	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Aluminum alloy	Coated oxide	5086	CD-3(80)				
	Thin film-anodized substrate			AD-2(84)			
	Thin film-plated substrate			5C86(84)	5D86(89)		
Manufacturing technology of aluminum alloy	Prevention of liner defect(79) Casting technology of high purity alloy(84) Miniaturisation of intermetallic compound(80) Uniform of macro structure(99) Prevention of inclusion(87) Miniaturisation of Mg ₂ Si(87)						
Manufacturing technology of aluminum blank	Annealing of stacked disk(75) Improvement of blank flatness(95) Annealing of constant pressure(87) Removal of oxide film(97)						
Manufacturing technology of aluminum substrate	DT substrate(81) Improvement of roll-off(90) Ground substrate(85) Improvement of waviness(98)						
Equipment investment	Start of blank production(74) Establishment of Kobe Precision Inc.(USA 89) Continuous blanking line(81) Increased production of blank(87) Continuous blanking line for small size(84) Full automatic blanking line(97) Establishment of Kobe Precision Inc.(Malaysia 94)						
Blank market share	10%	30%	50%	50%	50%	60%	60%

表3 代表的なディスク用合金の化学成分

Table 3 Chemical compositions of typical disk alloys

Alloy	Chemical compositions (wt%)							Remarks
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al	
AA5086	0.02	0.06	-	0.3	4.0	-	bal.	Coated oxide
CD-3	0.03	0.04	-	0.02	4.5	-	bal.	Coated oxide
AD-2	0.003	0.003	-	-	4.5	-	bal.	Thin film
5C86	0.02	0.04	0.12	-	4.0	0.30	bal.	Thin film
5D86	0.015	0.02	0.04	-	4.0	0.15	bal.	Thin film

処理又は無電解NiPめっき処理が適用されるようになった。陽極酸化処理基板には高純度化された合金が用いられたが、金属間化合物起因の欠陥が解消できず、それ以降無電解NiPめっき基板がHDDの基板として使用されている。

2.2 NiPめっき用ディスク合金

現在の磁気ディスク基板は、アルミニウム合金板から打抜加工したブランクの表面を研磨加工し、めっき処理を行い、さらに研磨加工により仕上げた表面に磁性膜をスパッタして作製されている。このため、アルミニウム合金には、表面の研磨加工性、めっき面での欠陥の低減や平滑性が求められる。

めっき面の平滑性を得るためには、めっきの前処理であるジンケート処理での皮膜の均一析出が重要であり、CuとZnが添加された5C86が開発され実用化された。

また、さらなる高記録密度化に対応するために、CuとZn量が最適化されるとともに、金属間化合物の微細化のために高純度地金を使用し、不純物元素であるSiとFe量を低減させた5D86が開発された。

写真1にディスク用合金表面の金属間化合物をSEMにより観察した結果を示す。白く観察される粒子はAl-Fe系の金属間化合物であり、黒く観察される粒子はMg-Si系の金属間化合物である。現在使用されている5D86は、AA5086、5C86にくらべて大幅に金属間化合物が低減されている。

1989年に開発された5D86は、その後の高密度化に対応するため製造工程や成分などの見直しが行われた。

不純物元素であるSiとFe量は、金属間化合物を形成し、めっき面の欠陥の原因となる⁷⁾。このため、鑄造条件、均質化熱処理や熱間圧延条件の制御と最適化により

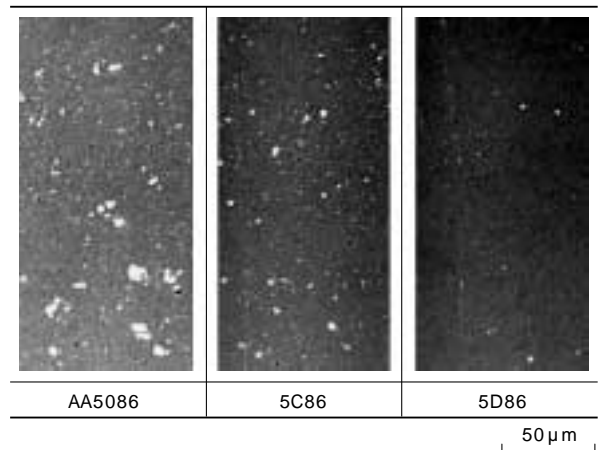


写真1 ディスク用アルミニウム合金の金属間化合物分布
Photo 1 Intermetallic compound of aluminum alloys for magnetic memory disk

金属間化合物サイズが厳密に制御され、金属間化合物分布を全ロットで検査する品質保証体制が確立されている。

めっき欠陥低減のためにSiとFe量を低減することは、高純度地金使用によるコストの上昇をもたらす。また、Fe量の減少は研磨加工速度を低減させ、生産性を大幅に低下させる。このため、現在ではめっき欠陥、コスト及び生産性を考慮した合金設計がなされている。

めっき前処理時のアルミニウム表面の反応性やジンケート処理皮膜の析出に影響を及ぼすCuやZn量についても検討が行われ⁸⁾⁹⁾、めっき前処理条件との組み合わせを考慮した成分を設定している。

一方、アルミニウム合金の組織もめっき処理表面のうねり成分の要因となるため、より均一な組織が必要とな

った。このため、熱間圧延条件の制御によるマクロ組織の最適化が行われ、適用されている。

今後の市場拡大と高密度化の進展に対応していくためには、品質の安定化とさらなるめっき面の平滑性をもつアルミニウム合金の研究開発が必要であると考えている。

2.3 ブランク生産技術

記録密度の向上にともない、ブランク材には平坦度の向上が求められてきた。

アルミ板を打抜いた後のブランクの平坦度は、3.5inch基板で数十 μm であるため、積付け焼鈍による平坦度矯正技術が適用されている。積付け焼鈍は、平坦度 $1\mu\text{m}$ 程度のスペースによりブランクを上下から加圧焼鈍することで平坦度を得る方法である。

スペース作製と管理、焼鈍温度と時間及び加圧条件などの検討改良が行われ、高平坦度化が実現されている。

また、アルミ板のごくわずかな板厚変差が平坦度に影響を及ぼすことから、冷間圧延による板厚制御技術も確立され、現在では $4\mu\text{m}$ 以下の平坦度が安定して得られている。

ブランクの打抜加工では、内外径の同心度及び形状の維持と端面のダレ低減が重要であり、打抜条件、潤滑条件及び金型設計などの技術が検討され適用されている。

ブランクの板厚はHDDのサイズや用途により 0.6 から 1.8mm までの範囲である。板厚による打抜条件の適正化や厚板打抜技術、打抜切粉の低減技術などの改善がなされている。

また、当社における2004年度のブランク生産枚数は約3億枚にのぼっており、生産の効率化や安定供給は非常に重要な課題である。

なお、1997年に打抜きから積付け焼鈍までを全自動化したブランキングラインが真岡製造所に完成し、アルミニウムブランク製造の最重要設備として現在フル稼働している。

また、真岡製造所のブランキングラインをマレーシアのKPT社に移設し、現在では2拠点でのブランク生産体制を構築し、品質及びコストの低減だけでなく安定供給にもつとめている。

2.4 アルミサブストレート加工技術

塗布型メディアでは表面をDT加工により仕上げていたが、NiPめっき基板では両面研削盤を用いてSiCを砥粒とするPVA砥石で研磨加工される技術が実用化されている。3.5inchブランクであれば50枚程度を同時に加工し、数分で表面が仕上げられていく。

当社のアルミサブストレートの生産は、1990年代では日本、米国及びマレーシアで実施していたが、現在ではユーザに近いマレーシアのKPT社で集中生産している。

研磨加工後の表面粗度、うねり成分やロールオフは、めっき後の表面にも直接影響を及ぼすため、アルミニウムサブストレートの特性も向上させていく必要がある。

これまでは、一段の研磨で表面を仕上げていたが、要求特性が厳しくなるにしたがい粗研磨後、仕上研磨を実施する2段研磨が増えてきている。

また、研磨後応力除去のために基板を熱処理することもあり、表面への異物の焼付抑制などクリーン度や静電気のコントロールも重要である。

NiPめっき基板は、めっき処理後にポリッシュにより表面を仕上げていくため、トータルのプロセスで高品質、低コストのめっきポリッシュ表面を得るための技術開発が今後も必要である。

むすび = HDD はこれまでと同様に高性能化が進展していくことは間違いない。垂直磁化による高容量化の進展、高速回転化など、HDDの高性能化に対応したアルミニウム合金基板への要求特性の変化を見極め、開発を推進していく必要がある。

近年、モバイル用の小型HDDの需要が携帯音楽プレーヤー用途などに急拡大している。この用途には耐衝撃性が必要なため、ガラス基板が使用されているが、衝撃緩和技術の開発により、アルミニウム合金基板が搭載される可能性もある。

当社はアルミニウム合金基板の高品質化に今後も努めていくとともに、低価格化にも努めてHDDの需要拡大及び用途拡大を支えていく。また、増加する需要に対して、アルミニウム合金板、ブランク及びアルミサブストレートを安定的に供給できる体制の構築に努めていく。

参考文献

- 1) 国際ディスクドライブ協会編：最新ストレージ用語辞典(2000) p.205, 日経BP社.
- 2) 加藤良則ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No.1(2004) p.20.
- 3) 加藤良則ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol.50, No.3(2000) p.53.
- 4) 佐藤元治ほか：日本応用磁気学会誌, Vol.21, No.4-2(1997) p.269.
- 5) 日経エレクトロニクス, 11.8(2004) p.61.
- 6) 碓井栄喜：Al・ある, Vol.212, No7(1984) p.8.
- 7) 加藤良則ほか：軽金属学会第96回春期大会講演概要(1999) p.203.
- 8) 梅田秀俊ほか：軽金属学会第103回春期大会講演概要(2002) p.193.
- 9) 加藤良則ほか：軽金属学会第105回秋期大会講演概要(2003) p.251.