

(解説)

高容量磁気ディスク用アルミニウム基盤の開発と将来展望

加藤良則・梅田秀俊・藤本日出男

アルミ・銅カンパニー・真岡製造所・アルミ板研究部

Past and Future Developments of Aluminum Substrates for High Density Magnetic Disks

Yoshinori Kato・Hidetoshi Umeda・Hideo Fujimoto

KOBELCO's aluminum substrate products, which currently command more than 50% market of the global market, are widely used in high-density, advanced magnetic disks. High-quality magnetic disks demand optimal alloys, the critical control of intermetallic compounds morphologies, and a highly sophisticated level of production technology. Though future alternative substrate development for advanced hard disk drives (HDD) is currently being researched worldwide, cost-effective aluminum substrates, which are widely available, will continue to dominate this fast-growing, important market.

まえがき = 磁気ディスク装置(ハードディスクドライブ、以下 HDD)は、1956 年に IBM 社から RAMAC350 Disk Storage が発売されて以来、コンピュータの記録装置として、現在ではほとんどすべてのパーソナルコンピュータ(PC)に搭載されている。その出荷台数は、2000 年には約 1 億 5 千万台を超え、PC の需要増加や TV 録画機、ゲーム機などへの搭載が進み、年率 20% 以上の増加が予測されている。

HDD 装置の開発では、その記憶密度の向上を最重点におこなわれてきた。第 1 図¹⁾に示すように、面記録密度は、1956 年の発売開始以来、1990 年頃までは年率約 30% 程度で増加し続けた。その後、ヘッドや磁性媒体が次々と高性能化し、1990 年以降は年率約 60% 増の高い向上率となり、最近では、年率約 100% の向上率となっている。この間、面記録密度は 1 千万倍にもなり、2000 年度には面記録密度 15Gbit/(inch²) の製品が実用化され、HDD 1 台に数十時間の動画が記録できるようになった。

HDD の重要構成部品の一つである基盤材料として

は、開発当初からアルミニウム合金が使用されてきた。現在でも、デスクトップパソコン用 HDD の大半にアルミニウム合金基盤が使用されており、全体でも約 80% 以上の HDD にアルミニウム合金基盤が使用されている。

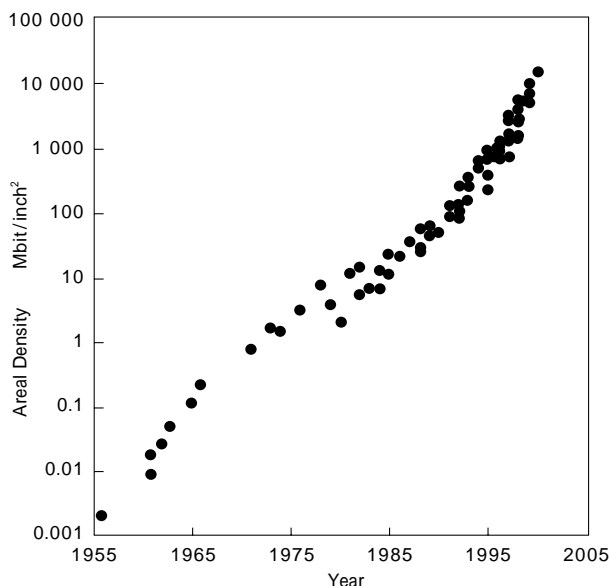
当社は、現在、真岡製造所において、アルミニウム板を打ち抜き加工したブランクとブランク表面を研削加工したグラインドサブストレートの製造をおこない、マレーシアの KPTEC 社にて主にグラインドサブストレートの製造をおこなっている。

HDD の高性能化にともない、アルミニウム基盤に対する要求特性も厳しくなっているが、当社は、HDD 基盤用アルミニウム合金やブランク製造技術の開発により、要求特性の高度化に対応し続け、HDD 用アルミニウムブランクでは約 50~60% の高い世界シェアを維持し続けている。

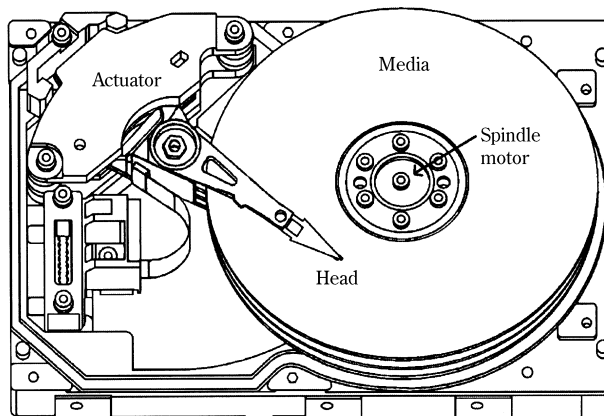
本稿では、HDD 装置の高性能化にともなうアルミニウム合金の変遷を中心にブランク製造技術についても述べる。

1. HDD 装置と基盤に求められる特性

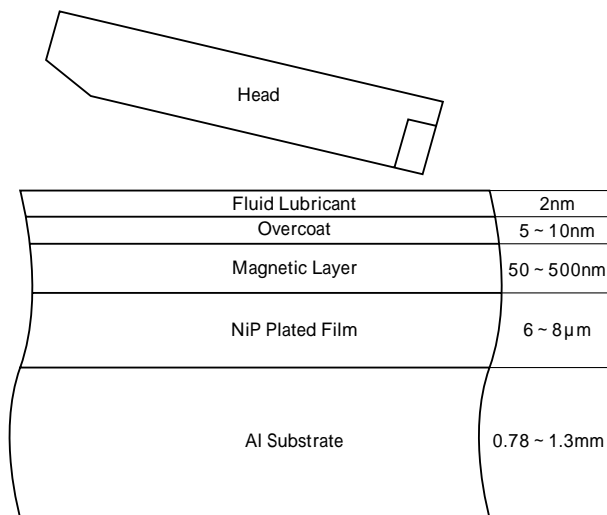
HDD 装置の模式図を第 2 図に示す²⁾。HDD は、主にメディア、磁気ヘッド、スピンドルモータ、アクチュエータなどから構成されている。作動時には、数千 rpm



第 1 図 記録密度の変化
Fig. 1 The annual change of areal density



第 2 図 ハードディスク装置の模式図
Fig. 2 Schematic drawing of a hard disk drive



第3図 メディアとヘッドの断面図
Fig. 3 Cross section of media and head

の高速で回転するメディア上をヘッドが移動し、データの読み書きをおこなっている。また、作動時には、ヘッドはメディアと接触せず浮上している。

第3図にメディアの断面図と浮上したヘッドの模式図を示す。メディアは表面を研削したアルミニウム合金基盤上に無電解NiP皮膜を設け、さらに研磨加工し表面を平滑にした後、その表面に磁性媒体、保護膜のスパッタや潤滑膜を表面に塗布され、作製される。

ヘッドの浮上高さであるフライングハイトは、低いほど大きな再生出力がえられ、微細な磁界で媒体に記録ができるようになる。このため、記録密度の増加とともにフライングハイトは低くなり、現在のHDDではフライングハイトが15~20nm程度まで低下している。

基盤表面にフライングハイトよりも高い突起が存在すると、ヘッドクラッシュにより、HDDが重大な損傷を被るため、基盤表面の平滑性は必須条件である。

第1表に磁気ディスク基盤素材に求められる特性を示す。前述のように表面の平滑性のほかに、安定したデータの読み書きをおこなうため、作動時にフライングハイトを一定に保っておくことも重要であり、基盤の平坦度やうねりなども厳しく求められる。

第1表 HDD用基盤に求められる特性
Table 1 Characteristics required for HDD substrate

No	Item	Characteristics
1	Magnetism	Nonmagnetism
2	Surface after Sputtering	No pit, No blister
3	Flatness, Waviness	Stability of Flying Height
4	Strength and Stiffness	Vibration Restraint on High Revolution
5	Specific Gravity	Light Weight for Spindle Motor
6	Heatresistance	Sputtering Temperature (~ 300)
7	Durability	Reliability of HDD
8	Productivity, Cost	Stable Supply, Low Cost

第2表 代表的なディスク用合金の化学成分
Table 2 Chemical composition of typical disk alloys

Alloy	Chemical Composition wt%								Remarks
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al	
AA5086	0.02	0.06	-	0.30	4.0	0.06	-	Rem.	Coated Oxide
KS5M86	0.003	0.003	-	-	4.5	-	-	Rem.	Coated Oxide
KS5C86	0.02	0.04	0.12	-	4.0	0.06	0.30	Rem.	Thin Film
KS5D86	0.01	0.02	0.06	-	4.0	0.06	0.15	Rem.	Thin Film

また、データ転送速度を向上させるために、基盤回転速度の高速化が進展している。現在では基盤回転速度が10000rpmを超えるHDD装置も実用化され、基盤剛性も要求される。

また、2000年からはHDD装置がPCの記憶装置だけでなく、ゲーム機やテレビ録画機などの新たな用途に適用され始めた。このような新用途への適用を拡大させるためには、基盤素材の低コスト化や安定供給性なども重要である。

2. 基盤用アルミニウム合金の開発

2.1 基盤用アルミニウム合金の変遷

これまで当社では、磁性膜の形成方法やその時代に要求される特性に応じて、数種類の合金を開発し、上市してきた。そのなかで代表的な合金の化学成分を第2表に示す。

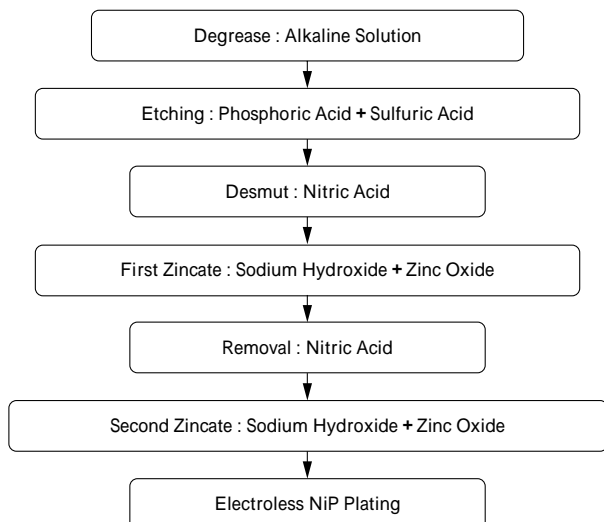
開発初期の基盤用アルミニウム合金としては強度、加工性に優れたAA5086が使用された。当時のメディアは磁性粉末含有塗料を塗布する塗布型メディアが主流であり、表面はダイヤモンドターニングと呼ばれるダイヤモンド単結晶をバイトに使用し超精密切削加工で仕上げられていた。

しかし、高密度化が進展するとアルミニウム合金の金属間化合物が表面欠陥の原因となるため、金属間化合物サイズの低減がはかられた。具体的には、金属間化合物となるMn, Crの添加量抑制や、Fe, Siの不純物の規制がおこなわれた。また、非金属介在物が原因の表面欠陥も問題となり精練や微細な孔を有する溶湯フィルタなどによる介在物除去技術を確認するとともに99.99%純度のアルミニウム地金を使用した合金も実用化された³⁾。

1980年代の中頃から、記憶密度をより高密度化するため、スパッタにより磁性膜を形成する薄膜ディスクが主流となった。また、アルミニウム合金への表面処理も検討され、NiPめっき基盤とアルマイト基盤の開発が進められた。アルマイト基盤は実用化されなかったが、金属間化合物や非金属介在物の影響を低減できるNiPめっき基盤が実用化され、現在に至っている。

めっき基盤が主流になってからは、めっき面の平滑性に優れたディスク用アルミニウム合金の開発が進められた^{4)~6)}。

めっき処理工程を第4図に示す。アルミニウム合金の無電解めっき処理工程には、酸、アルカリによるエッチングやジンケート処理工程が含まれている。Si, Feなどの不純物元素を多く含んだり、めっき性を向上させる元素を添加していない塗布型メディア用合金では、大きなノジュールやピットが発生し、平滑なめっき面をえ



第4図 アルミニウムサブストレートのめっき工程
Fig. 4 Plating process for Al substrate

ることができない⁷⁾。

このため、めっき用アルミニウム合金として不純物元素を規制し、Zn や Cu などのめっき性を向上させる元素を添加した KS5C86 合金が開発された。しかし、高容量化にともなうフライングハイトの低下により、めっき面のさらなる平滑性が要求されるようになった。

めっき面をポリッシュし表面を平滑にした後、スパッタ相当の加熱により発生した突起の光学顕微鏡写真を写真1に示す。また、その突起の形状測定結果を第5図に示す。幅約 50 μm 、高さ 50nm の非常になだらかな突起が観察されている。このような突起は、大きさが数ミクロン以上の Mg-Si 系の金属間化合物上に発生している。Mg-Si 系金属間化合物上には、直接めっき皮膜が成長せず、周囲から金属間化合物を覆うようにめっき皮膜が成長するため、めっき皮膜とアルミニウム合金表面に欠陥が残り、加熱後微小突起が発生すると考えられる⁸⁾。

このような現象を防止するため、不純物である Si の含有量は、高容量化にともないさらに厳しく規制しなくてはならず、当社ではとくに Si を前記第2表に示すように 0.01% に規制し、その他の元素も最適化した KS5D86 合金を開発した。

2.2 ディスクブランク製造技術

磁気ディスクに要求される平坦度は、アルミニウム板製造時の板厚制御技術、打ち抜き加工およびブランク焼鈍工程での歪み矯正技術でえられている。板製造技術では、熱間圧延工程におけるクラウン制御、冷間圧延工程における板厚制御が重要である。現在でも、要求特性の高度化に対応するため、圧延条件を最適化する努力がおこなわれている。

圧延後のディスク用アルミニウム合金コイルは、プレスで打ち抜き加工されブランクとなる。打ち抜き加工条件を制御しても、打ち抜き後の平坦度は 3.5 inch ブランクで数十 μm あるため、ブランクを積み付け矯正焼鈍をおこない平坦度が矯正される。

歪み矯正焼鈍の積み付け例を写真2に示す。ディスクブランクの歪み矯正は、基準となるスペーサの間にブ

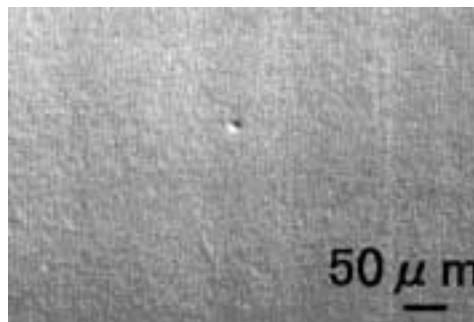
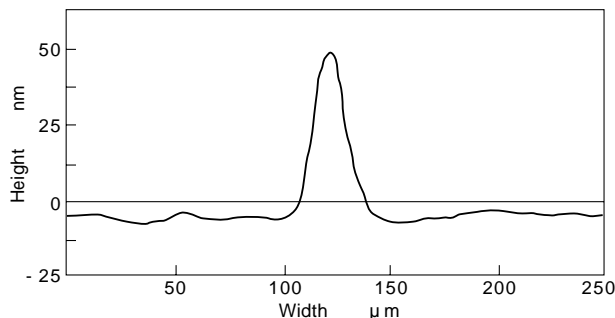


写真1 めっき面の微小突起
Photo 1 Microblister on the plated NiP film



第5図 微小突起の二次元形状
Fig. 5 Measured 2-D profile of a microblister



写真2 歪み矯正焼きなまし時のディスク
Photo 2 Stacked disks for stress-relief annealing to be flated

ランクを挟み、加圧焼鈍することによりおこなわれている。積み付けされたブランクは耐熱鋼製のスプリングで加圧され、弾性変形によりスペーサの平坦度まで矯正される。その後の加熱焼鈍により、クリープ変形が生じて形状が固定され、最終的には再結晶により残留応力が完全に除去され安定した平坦度のブランクがえられる。

平坦度が良好なブランクを安定して製造するためには、スペーサの平坦度維持や表面管理が重要であり、厳重な管理がおこなわれている。また、ブランクとスペーサの熱膨張の差は冷却過程でブランクに残留応力を残すため、スペーサにはブランクとほぼ同じ熱膨張係数を有するアルミニウム合金が使用されている。

第3表 HDD 基盤用素材の特性

Table 3 Characteristic of substrate for HDD

Item		Aluminum NiP/Al	Alumino-silicate Glass	Crystalized Glass
Density	g/cc	2.7	2.5	2.4
Modulus of Elasticity	GPa	72	85	92
Specific Modulus		26	34	38
Hardness	HV	450	600	700
Coeff. of Thermal Expansion	10 ⁻⁶ /	23	7	8
Heat Resistance		300	550	650

また、矯正焼鈍時の加熱時間や温度、荷重、積み付け枚数、積み付け後の取り扱いなどが平坦度に与える影響も非常に大きい。現在では、これらの条件も最適化が進められ、3.5 inch ブランクで平坦度 4 μm 以下が安定して作られているが、平坦度低減の要求は、年々厳しくなっており、今後もさらなる改善活動をおこなっていく。

2.3 高研削性ブランク材の開発

アルミニウム板を打ち抜き平坦度を矯正したブランク材は、当社やユーザにて端面加工後に表面を研削加工し、グランドサブストレートとなる。

グランド加工は、SiC を砥粒とするポリビニルアルコール系砥石を使用し両面研削盤によりおこなわれる。グランド加工における研削速度は、サブストレートの生産性を大きく左右するため、ブランクには良好な研削性が要求される。グランド加工時の研削性は、合金元素と表面酸化皮膜に大きく影響される。

合金成分では、Fe などの添加により、研磨速度は向上するが、高容量化が進めしめっき面の平滑性が極限まで求められる現在の基盤では、合金成分での対応はできない。そこで、研磨性に大きな影響を及ぼす、表面の酸化皮膜を化学的に除去したブランク材が開発された。このブランク材の開発により、研磨条件によっては 50% 程度の生産性の向上が可能となっている。

2.4 ガラス基盤および高速回転への対応

これまでに数多くのアルミニウム合金以外の素材が HDD 基盤用材料として検討されてきた。このなかで、コストや性能面の問題から大半の基盤が実用化には至らなかったが、耐衝撃性が必要な携帯用 PC の HDD 基盤としてガラス基盤が採用された。

ガラス基盤として実用化されたアルミノシリケートガラス、結晶化ガラスと比較して NiP / Al 基盤の特性値を第 3 表に示す。

これまでは、ガラス基盤のコストが NiP / アルミニウム合金基盤にくらべ、割高なこともあり耐衝撃性の必要な携帯用 PC に限定され採用されていた。しかし、近年、一部のデスクトップ PC 用 HDD でもガラス基盤が採用され、アルミニウム基盤と競合するようになった。

トラック密度の増加や基盤回転速度が高速化すると、基盤の振動が問題となり、剛性の高い基盤が要求されるようになった。

基盤の振動は、素材のヤング率と基盤径や板厚などに依存するため、高速回転にはアルミニウム基盤の小径化や厚肉化による対応が進められ、ガラス基盤と対抗している。

むすび = HDD の記憶容量は今後も増大が予想され、コンピュータ用の記録装置だけでなく、TV 録画機やゲーム機などへの普及が見込まれている。

磁気ディスク基盤用素材としては、これまでのアルミニウム合金にかわる新規素材として数多くの材料が検討され一部でガラス基盤が採用されているが、コスト競争力や大量生産性の面から、アルミニウム合金基盤が優位であり、今後も HDD 用基盤の中心的な位置を占め続けるものと考えられる。このため、当社はアルミニウム基盤のトップメーカーとして、今後も合金材料および製造技術の研究開発を押し進め、HDD の高密度化に対応していくとともに、アルミニウム合金基盤の安定供給と低価格化に努めていく。

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.315,日経 BP 社。
- 2) 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。
- 3) 碓井栄喜：R&D 神戸製鋼技報，Vol.39, No.4 (1989) p.16.
- 4) 三矢保栄：日本機械学会誌，Vol.87, No.791 (1984) p.1165.
- 5) 碓井栄喜：AI・ある，Vol.212, No.7 (1984) p.8.
- 6) 林 雄一ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.48, No.3(1998), p.5.
- 7) 藤本日出男：軽金属学会第 52 回シンポジウム予稿集(1997), p.19.
- 8) 加藤良則ほか：軽金属学会第 96 回春期大会予稿集(1999) p.203.