

(論文)

磁気ディスク基板用アルミニウム合金のめっき面平滑性 におよぼす合金元素の影響

Influence of Alloying Elements on Plating Surface of Aluminum Alloy Substrate for Magnetic Memory Disk



加藤良則*
Yoshinori KATO



梅田秀俊*(工博)
Dr. Hidetoshi UMEDA

Smooth polished surfaces are essential for hard disk substrates to achieve high-recording densities in hard disk drives. The smoothness of a plated surface is an important factor in reducing the polishing time. Thus, the current aluminum alloy for magnetic memory disks is so designed as to decrease pits & nodules and to improve waviness of the plated surfaces. This report describes the influences of alloying elements on the surface defects and waviness of the plated surfaces.

まえがき = ハードディスク装置(以下, HDD という)の基板材料にはアルミニウム合金が使用されている。当社では, 磁気ディスク基板用アルミニウム合金板材およびブランク材の製造を行い, また, マレーシアの Kobe Precision Technology 社(当社のグループ会社)では, ブランク材の生産と同材を両面研削機で表面研削したアルミニウム合金サブストレートの製造, 販売を行っている。当社のブランク材は世界市場の約 60% を占め, トップシェアを誇る。

磁気ディスク基板の記録密度は年々増加しており, 2008 年には 300Gb/inch² を超える記録密度の基板が量産されている。HDD は, 高速回転する基板の上を数 nm の高さでヘッドが浮上してデータの読み書きを行うため, 基板の表面には微少突起やピット(pit: くぼみ)の皆無化が求められる。また, ヘッドの浮上安定性を確保するため, 短波長の表面粗度だけでなく, 中長波長のうねりも低減する必要がある。現在使用されている基板は, SiC を砥粒とする弾性砥石によりブランク表面を両面研削した後, 無電解 Ni-P めっき処理し, さらに表面研磨して仕上げる。このめっきポリッシュ後の基板に磁性膜をスパッタすることによりメディアが製造されている¹⁾。必要とされる表面の平滑性はめっき後のポリッシュにより確保されているが, めっき後の表面にはピットやノジュール(nodule: 突起)が存在し, また, 粗さやうねりも大きい。ポリッシュ工程での表面仕上げの負荷を軽減するためには, めっき後の表面も平滑である必要があり, 合金やめっき処理の両面から表面平滑性向上技術の開発が行われている²⁾。

HDD の基板として使用されるアルミニウム合金はメディアの製造方法の変化や高密度化にともない, 数種類

表 1 HDD 用アルミニウム合金の化学成分
Table 1 Chemical composition of aluminum alloy for HDD

Alloy	Chemical composition (wt%)							Al
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	
KS5D86	<0.02	<0.02	0.04	-	4.0	0.15	0.06	Rem.

の合金が開発されている³⁾。現在のような無電解 Ni-P めっき処理される基板となつてからは, めっき面の表面ピット, ノジュール, 粗さやうねり低減およびめっき密着性を考慮した合金が開発され使用されている⁴⁾。表 1 に現在使用されているアルミニウム合金の組成を示す。Si や Fe は地金に含まれる不純物元素であるが, めっき面のピットやノジュールの原因となるため厳しくその含有量が規制されている。また, Si 含有量の増加は磁性膜のスパッタ工程の加熱によりマイクロプリスタ発生の原因ともなることがわかって⁵⁾。Cu や Zn 含有量はめっきの粗度やうねりに影響をおよぼすため, めっき処理条件との最適化が図られている。

これまでめっき面のピット, ノジュールやうねり低減に対する Si, Fe, Cu および Zn の影響が詳しく調べられて^{6)~9)}、本報ではそれらの欠陥やうねりにおよぼす影響について述べる。

1. めっき面のピットにおよぼす Si, Fe の影響

HDD に使用されるアルミニウム合金基板は表面を研削後無電解 Ni-P めっき処理される。めっき後の表面には幅数 μm 、深さ $1\mu\text{m}$ 程度のピットと、幅 $10\mu\text{m}$ 、高さ $1\mu\text{m}$ 程度の半球状のノジュールが多数存在している。このため、その表面を約 $2\mu\text{m}$ 程度研磨することでピットとノジュールを除去して、表面を平滑に仕上げることができる。めっき面に深いピットがある場合には

*アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 アルミ板研究部

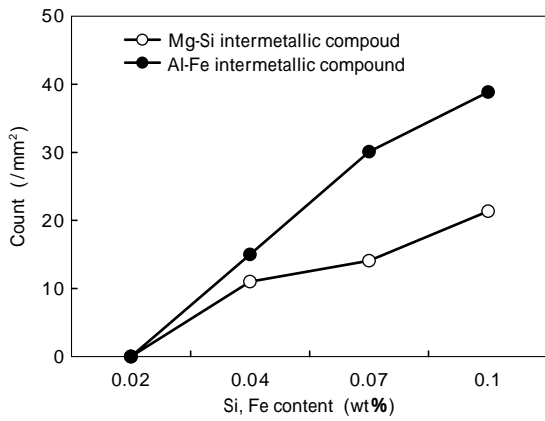


図1 6 μm以上の金属間化合物数

Fig. 1 The number of intermetallic compounds with more than 6 μm in length

リッシュ後にも残存するため、ピット深さの抑制が課題となる。

ディスク用のアルミニウム合金に含まれる1 μm以上の大きさの金属間化合物としてはMg₂Siを主とするMg-Si系とAl₃Feを主とするAl-Fe系金属間化合物があり、それぞれめっき面のピットの原因となる。図1に研削後のアルミニウム合金表面に存在している6 μm以上の金属間化合物の単位面積あたりの数とSi, Fe含有量の関係を示す。Si, Fe含有量が増加すると6 μm以上の金属間化合物数も増加する。

図2にめっきの前処理工程を示す。脱脂工程および酸エッチング工程は表面の汚れや酸化皮膜除去が目的であり、硝酸浸せきにより酸エッチングで形成された不溶性のエッチング残さが除去される¹⁰⁾。ジンケート(Zincate: 亜鉛置換)処理は、めっき皮膜との密着性を向上させるために実施され、通常、1回目のジンケート処理を行い、硝酸で置換亜鉛層を除去し、再度ジンケート処理するダブルジンケートと呼ばれる処理を行う^{11),12)}。

アルミニウム合金表面の金属間化合物はめっき前処理での脱脂、酸エッチング、硝酸浸せき、ジンケート処理などにより化学的に溶解、または物理的に脱落する。このため、めっき直前のアルミニウム合金の表面には多数のピットが形成され、めっき後の表面にもピットが存在する。このようなめっき面のピット形成には、金属間化合物のサイズや数だけでなく、めっき前処理時の溶解挙動やジンケート処理により析出した亜鉛粒子の形態も影響をおよぼす。

図3にめっき処理工程におけるMg-SiおよびAl-Fe系金属間化合物のSEM像を示す。Al-Fe系の金属間化合物はめっき前処理の酸エッチングおよび硝酸浸せき中にほとんど溶解する。溶解後のピット内部にはジンケート粒子が析出するため、Ni-Pめっき粒子も析出する。一方、Mg-Si系の金属間化合物ではMgが選択的に溶解してSiは溶解しないため、物理的に脱落しなかったSiはアルミニウム合金表面のピット内部に残存する。酸エッチング後もピット内部に残存しているSi上にはジンケート皮膜が析出しないため、Ni-Pめっき粒子も直接Si上には析出しない。

SiとFe含有量をそれぞれ変化させた合金のめっき面

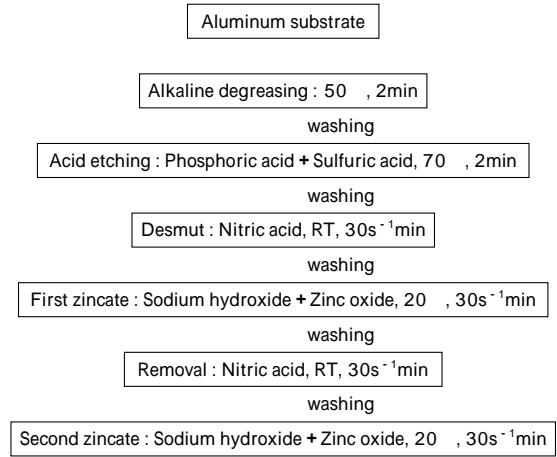


図2 めっきの前処理工程およびその条件

Fig. 2 Manufacturing process and its condition of pre-treatment before plating

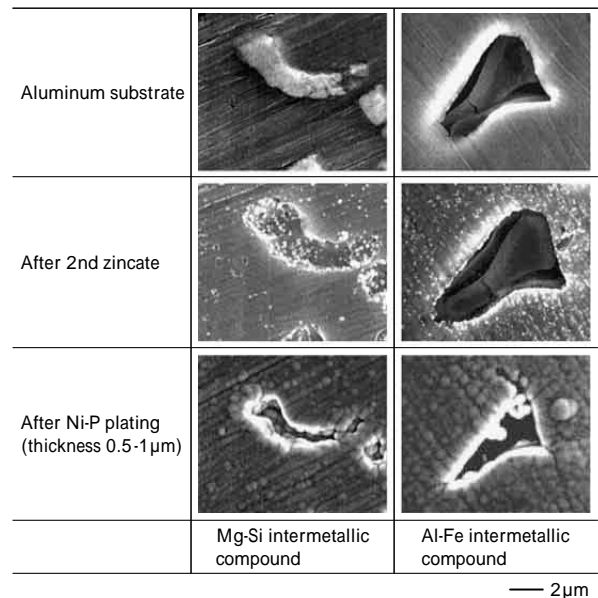


図3 めっきの前処理および無電解Ni-Pめっき処理工程における金属間化合物のSEM像

Fig. 3 SEM images of intermetallic compounds in pre-treatment and electroless Ni-P plating

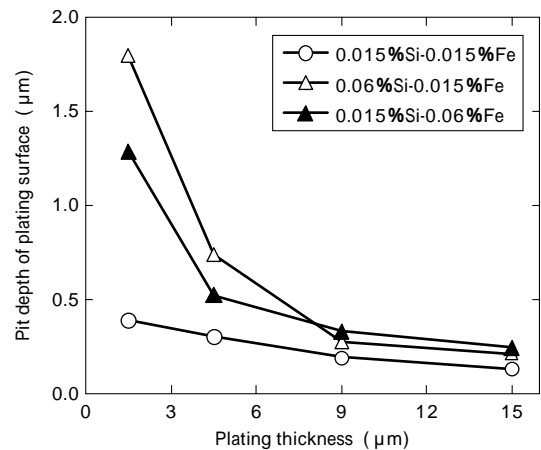


図4 めっき面のピット深さとめっき膜厚の関係

Fig. 4 Relationship between pit depth of plated surface and plating thickness

のピット深さとめっき膜厚の関係を図4に示す。めっき面のピット深さは、めっき膜厚が厚くなるほど浅くなるが、同じめっき膜厚で比較すると、大きな金属間化合物

をもつ高Si, Fe含有合金のめっき表面のピットが深くなる。一方, 大きなMg-Si金属間化合物をもつ高Si合金のほうが同等サイズのAl-Fe金属間化合物をもつ高Fe合金よりもめっき面のピットが深くなる傾向がある。これは, アルミニウム合金表面に形成されたピットサイズとそのピットへのめっき皮膜の析出, 成長挙動が大きく影響している。前述したように, Mg-Si系の金属間化合物では残存したSi上にめっき皮膜が直接析出しないため, ピット周辺から残存Siを覆うようにめっき皮膜が成長する。一方, Al-Fe系の金属間化合物ではピット底部からもめっき皮膜が成長するため, めっき面のピット深さに差異ができると考えられる。

2. めっき面のノジュールにおよぼすSi, Feの影響

めっき面のノジュールは通常ポリッシュにより取除かれるが, 大きなノジュールを取除くには研磨量を増やす必要があり, 研磨コストの増大や外周端面のだれの原因となる。また, めっき皮膜の成長速度が異なるノジュール近傍は耐食性が劣り, ポリッシュ液によってはノジュールがピットの原因になるともいわれている。ノジュールの形成要因にはめっき前のアルミニウム合金表面やめっき液のコンタミなどもあるが, ピット欠陥同様, 金属間化合物も一つの要因だとされている¹³⁾。

図3のジンケート処理後のSEM像では, ピットのエッジ部分に白い大きなジンケート粒子の析出が認められ, ピット内部にもジンケート粒子が析出していることが観察できる。このような比較的大きいジンケート粒子はめっき初期においてNi-P粒子の析出サイトとなるため, ノジュール形成の一つの要因となっている。図5にめっき表面を非接触表面形状測定装置(WYKO)で測定した表面形状を示す。低Si, 低Fe合金に比べて, Al-Fe系の金属間化合物が大きく, 数も多い0.015%Si-0.1%Fe合金ではノジュール数が大幅に増加し, そのサイズも大きくなっている。この傾向はSi含有量が高い合金でも同様であり, 不純物元素であるSiおよびFe含有量の増加によ

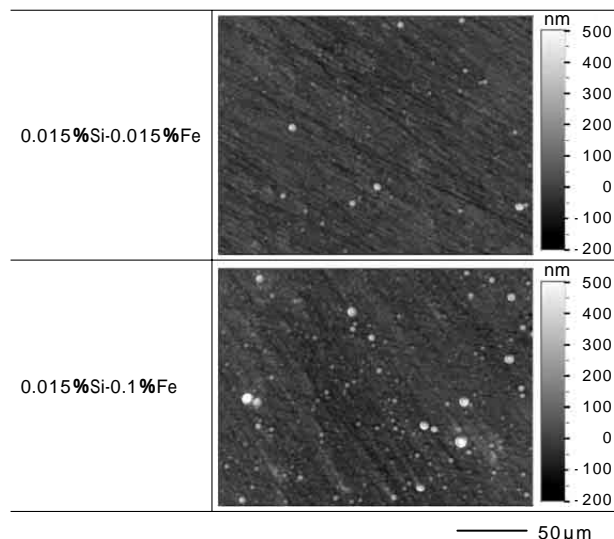


図5 Ni-P めっき後の表面形状
Fig. 5 Surface profiles after Ni-P plating

りノジュールの発生数も増加する。

ディスク用のアルミニウム合金にはめっき性を考慮してCuおよびZnが添加されており, それらの金属間化合物も存在する。CuおよびZn系の金属間化合物についてもめっき処理時の挙動やめっき面におよぼす影響を調査しており, ノジュールやピットの原因になることがわかっている。しかし, CuおよびZn系の金属間化合物は1 μm以下と小さいため, 実用上は大きな問題になっていない。

めっき面のピットやノジュールを低減させるためにはアルミニウム合金を高純度化してSi, Fe含有量を極力減らすことが望ましい。このため, ディスク用のアルミニウム合金には高純度アルミニウム地金を使用し, 製造工程での不純物混入を防止する生産技術が確立されている。しかし, Fe含有量の増加によりブランクの研削加工速度が向上することもわかっており¹⁾, また, 高純度化は原料コストの増大にもつなげるため, それらを考慮してSiおよびFe含有量が制御されている。

3. めっき面のうねりにおよぼすCu, Znの影響

記録密度の向上により, 表面粗度だけでなく短波長のうねりである μ Wa (μ Waviness: 波長50 ~ 400 μ) や中・長波長のうねりであるWa (Waviness: 波長0.4 ~ 2mm²⁾の低減がポリッシュ後の基板表面に強く求められている。現在のめっき後のポリッシュ工程における取り代は, 主として低うねりを達成するために決められているとされており, ポリッシュ負荷低減のためにもめっき後の表面で低いうねりをもつ基板が求められる。

図6にめっき前処理工程における基板表面のWa (OptiFLATで測定)の変化を示す。基板のWaはジンケート処理により悪化する。ジンケート処理後のめっき処理ではWaはほとんど変化しないため, めっき後のWa低減にはジンケート処理におけるWa悪化を抑制する必要がある。Waが悪化する原因はジンケート皮膜の不均一な形成であり, 基板全面に薄く均一なジンケート皮膜を形成させることが重要となり, 合金成分とジンケート処理条件との最適化が必要となる。

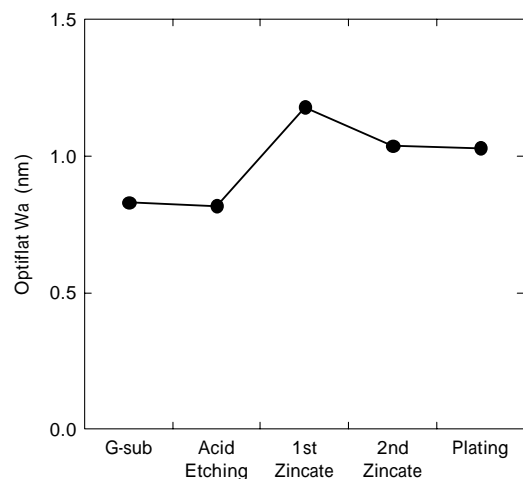


図6 めっき前処理工程におけるWaの変化
Fig. 6 Change of Wa value during pre-treatment process measured with optiFLAT

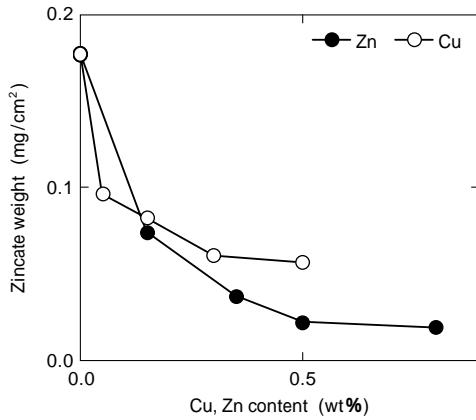


図7 ジンケート皮膜量におよぼす Cu, Zn 含有量の影響
Fig. 7 Effect of Cu and Zn content on Zincate weight

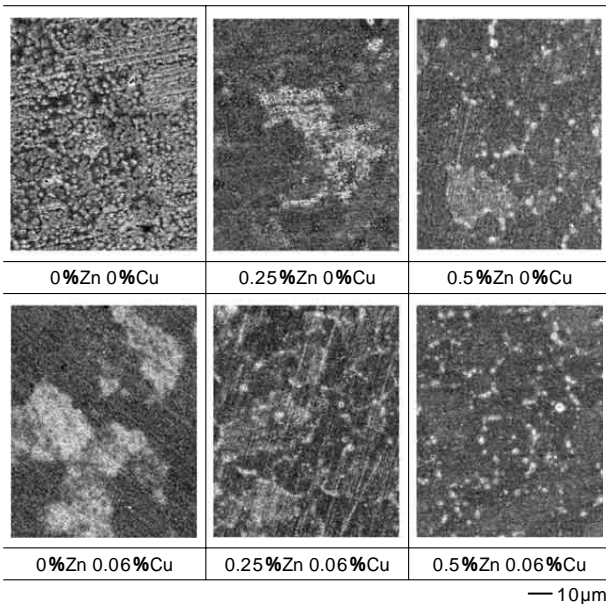


図8 Zn および Cu 含有量が異なる合金の 2nd ジンケート後の表面形態
Fig. 8 Surface morphology after 2nd zincate treatment on aluminum alloy with various Zn and Cu content

ジンケート処理液の基本浴組成は水酸化ナトリウム、酸化亜鉛、塩化鉄、キレート剤であり¹⁴⁾、それらの組成とその他添加剤を最適化することで薄く均一なジンケート皮膜が得られるようになる。一方、ジンケート皮膜の析出量や析出形態には合金元素の影響も大きく、析出量や析出形態を制御するために Cu と Zn がディスク用のアルミニウム合金には添加されている。図7には表1に示す合金ベースで Cu および Zn 含有量をそれぞれ変化させた場合のジンケート量を示し、図8にジンケート処理後の表面 SEM 像を示す。それぞれの合金元素を添加することによりジンケート皮膜量が抑制される。また、その析出形態もより均一になり、めっき表面の Wa を低下させることが可能となる。

4. めっき前処理後の表面形態におよぼす結晶方位の影響

図8のジンケート表面の SEM 像でも観察できるが、Zn や Cu を添加してジンケート皮膜の析出をより薄く、均一にするとアルミニウム合金の結晶粒の様子が目立つ

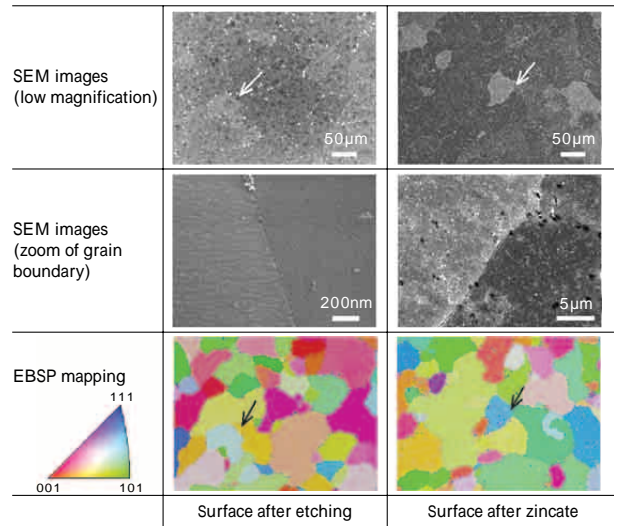


図9 エッチングおよびジンケート後表面の SEM 像と EBSD 測定結果
Fig. 9 SEM images and EBSD mapping of surface after acid etching and zincate treatment

図9 SEM images and EBSD mapping of surface after acid etching and zincate treatment

ようになる。このような結晶粒に起因する模様は、それぞれの合金の結晶方位によるエッチングおよびジンケート処理性の差異により発生している。ジンケート処理だけでなく、酸エッチング処理においても結晶方位の違いによりエッチング後の表面が粗くなることわかっている¹⁵⁾。

一般に、原子密度の大きい結晶面ほど溶解に対して不活性であるとされており、アルミニウム合金でも腐食挙動¹⁶⁾やジンケート処理性¹⁷⁾などが明らかにされている。

結晶方位によるエッチング性およびジンケート処理性を調べるため、エッチングおよびジンケート後の表面 SEM 像を観察し、同一部位の EBSD 測定により結晶方位を特定した結果を図9に示す。エッチング後、ジンケート後のいずれの表面も結晶方位ごとに微細な形態やジンケート皮膜量が異なっている。エッチング量、ジンケート量やその形態には Cu および Zn 含有量も影響するが、エッチングによる表面は(111)>(101)>(100)の順で平滑性が増し、ジンケート表面でも同様に(111)>(101)>(100)の順で微細な粒子が多くなり、皮膜量も低下して均一な表面になることがわかっている。

これらの結果から、結晶方位を制御することでより低粗度、低うねりの基板が得られると考えられる。

むすび = HDD の記録密度は今後もさらに向上し、次世代基板としてディスクリット・トラックメディアやパターンメディアが登場するといわれている。次世代基板においても記録密度の向上を達成するためにより平滑な表面が求められるため、アルミニウム合金が基板表面におよぼす影響を把握しておくことは重要である。

一方、HDD の用途が多様化して広く使用されはじめた今日では、低価格化に対する要求も非常に大きい。ディスク基板用のアルミニウム合金は、めっき欠陥を減らすために不純物の少ない高純度地金が使用されておりコストが高い。今後の基板コスト低減のためには、アルミ地金からスパッタまでの一貫した工程でトータルコスト

ダウンになるような開発を推進していく必要がある。

また、HDD用の基板にはアルミニウム合金以外にもガラス基板が実用化されている¹⁸⁾。ガラス基板は耐衝撃性を必要とするモバイル機器用途に使用される2.5inchのHDDに搭載されているが、ヘッドの小型化や待避技術の進展などによりアルミニウム基板でもモバイル機器への搭載が可能になっている。現在では、アルミニウム基板を搭載した2.5inchHDDの量産が開始されており、品質やコストでガラス基板と競合している。

当社は今後もアルミニウム合金基板の高品質化と低コスト化に向けた開発を推進し、HDDの需要拡大および用途拡大を支えていくため、安定的な供給体制を構築していく。

参考文献

- 1) 加藤良則ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No1 (2004) p.19.
- 2) Y.Hosomi et al.: Sumitomo light Metal Technical Reports, Vol.41, No1 (2000) p.147.
- 3) 加藤良則ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.55, No2 (2005) p.81.

- 4) (社)軽金属学会: アルミニウムの製品と製造技術, (2001) p.149.
- 5) 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.
- 6) 梅田秀俊ほか: 軽金属学会第103回秋期大会講演概要(2002) p.193.
- 7) 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.
- 8) 加藤良則ほか: 軽金属学会第108回春期大会講演概要(2005) p.267.
- 9) 加藤良則ほか: 軽金属学会第111回秋期大会講演概要(2006) p.333.
- 10) 森川 務ほか: 表面技術, Vol.59, No4 (2008) p.257.
- 11) 安住和久ほか: 表面技術, Vol.47, No6 (1996) p.529.
- 12) 田代雄彦ほか: 表面技術, Vol.45, No7 (1994) p.720.
- 13) 中山郁雄ほか: 上村工業㈱テクニカルレポート, No33&34 (1995) p.25.
- 14) 電気めっき研究会: めっき教本, (1986) p.270.
- 15) 林 雄一ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.48, No3 (1998) p.5.
- 16) M. Yasuda et al.: Electrochemical Society, Vol.137, No.12 (1990) p.3716.
- 17) 中田 毅ほか: 表面技術, Vol.48, No8 (1997) p.70.
- 18) 江田伸二: 砥粒加工学会誌, Vol.50, No1 (2006) p.15.