セラミックス表面の超伝導化

小 浦 延 幸*, 御 厨 裕 司*

Superconducting Oxides Coating on Ceramics

Nobuyuki KOURA* and Yuji MIKURIYA*

Electroless Ag plating was investigated as a method of coating of Al_2O_3 ceramics with YBCO superconducting oxides. The adhesion strength of the Ag plating increased greatly when the ceramics were pretreated by both mechanical and chemical etchings. From a study on the electrophoretic deposition of superconducting oxides particles from acetone baths, it was found that the amount of deposit increases with the I_2 and H_2O content of the bath, but excessive addition of I_2 or H_2O caused an increase in bath conductivity and electrolytic current, resulting in significant hydrogen evolution and a decrease in deposition.

After electrophoretic deposition of the superconducting oxides on the ceramics, the ceramics were heat-treated at 940°C for 6h and at 450°C for 4h. The oxide coating was found to be smooth, uniform, and adhesive, and the superconducting properties of the coating were fully verified by X-ray diffraction, diamagnetic measurement, and measurement of resistivity.

Moreover, coil of Ag wire ($\phi 0.7\text{mm}$) was completely coated with superconducting oxides just like as above. These facts confirmed that electrophoretic deposition is an effective method for the preparation of superconducting oxides on various substrates of various shapes.

Key Words: Electrophoretic Deposition, Al_2O_3 Ceramics, Superconducting Oxides

1. 緒 言

我々は、無電解めっき法の1つとして、銀鏡反応を改良した銀の無電解めっきの研究を行ってきた。一般に無電解銀めっき浴は非常に不安定であるが、各種添加剤、安定剤等を加えることにより、安定で長寿命な無電解銀めっき浴¹⁾を得ることに成功した。

一方、我々は各種形状の酸化物超伝導体の作製法を検討してきた。ごく一般的な酸化物超伝導体の作製法は、仮焼き後、プレス過程を経て、本焼きするため、各種形状の超伝導体を作製することは困難となる。我々は、基材表面に導電性さえあればあらゆる形状・寸法のものに精度良く強固な皮膜の作製が可能であり、かつ大量生産性の大きな電気化学的手法、すなわち酸化物粉の電着が可能な泳動電着法を応用することにより、板、線状の超伝導体を作製した²⁾。

そこで、アルミナセラミックスに前述の無電解銀めっきを施し、それに上記泳動電着法を応用するなら、セラミックス表面を超伝導化できることを着想した³⁾。そのためには、無電解銀めっきそのものが密着性よくセラミックス上にめっきされているとともに、さらにその上に電着される超伝導粉の密着性をも高めるものでなければならない。したがって、この手法の検討をまず行った。ついで、無電解銀めっきを施したアルミナセラミックス上

に超伝導粉を泳動電着させ、それを本焼きして、セラミックス表面を超伝導化させるべく検討を行った。基材上に酸化物超伝導体を原子単位で積み上げていく一般的手法と異なり、超伝導結晶となっている粉末を基材上に電着させていく我々の手法では、基材の種類は選ばないが、ここでは、一例としアルミナセラミックスを用いていることになる。

2. 実験方法

2.1 物理的エッチング、化学的エッチング

セラミックス基板として96%アルミナセラミックス(京セラ(株)製)を用いた。物理的エッチング処理では、各種研磨剤をエッチング液100mLに加え、出力600Wの超音波発生装置を用いて基板の表面粗化を行った。また、化学的エッチング処理では、基板を酸及びアルカリ溶液中で浸せき処理することにより、表面粗化した。表1(b)に基本的なエッチング条件を示す。

2.2 無電解銀めっき

無電解銀めっきを施し、その上に無電解銅めっきを施して(諸条件は表1-c)、その引張強度からめっきの密着性を評価した。基板の前処理としては、超音波洗浄(イオン交換水, 30分)→基板のエッチング→超音波洗浄→センシタイジング [1wt% SnCl_2 溶液 (HCl 0.1M 添加)]→水洗とした。めっきの密着性は、光溶解型のフォトレジスト(株)シブレイ・ファーマーイスト)を用い、 $2 \times 2\text{mm}$ にパターン形成しためっき面に直径0.3mmのスズめっき線を 300°C ではんだ付けし、引張試験機(株)

* 東京理科大学理工学部 (〒278 千葉県野田市山崎2641)
Fac. of Sci. and Eng., Tokyo Univ. of Science (2641,
Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278)

Table 1 Electroless plating conditions.

(a) Plating processes		
	Ultrasonic cleaning	
	Etching treatment	
	Ultrasonic cleaning	
	Sensitizing	
	Electroless Ag plating	
	Electroless Cu plating	
(b) Etching conditions for Al ₂ O ₃ ceramics		
Treating conditions	Mechanical etching	Chemical etching
Solution	Ion-exchange water	10wt%NaOH+10wt%NaCl
Abrasive	Particle diameter 2.3μm WC 1.0g/100mL	
Time	30min	15min
Temperature	25min	100℃
(c) Electroless plating conditions of Ag and Cu		
Ag plating		Cu plating
AgNO ₃	3.8×10 ⁻³ M	Copper(II) Sulfate :3.0×10 ⁻² M
Ethylenediamine	5.4×10 ⁻² M	Rochelle salt :7.4×10 ⁻² M
Rochelle salt	3.5×10 ⁻² M	Sodium hydroxide :3.0×10 ⁻³ M
3,5-Diiodo-L-tyrosine	4.0×10 ⁻³ M	Formaldehyde :1.0M
pH :10.0		Air stirring
Plating temperature : 35℃		Plating temperature:50℃
Plating Thickness : 0.3μm		Plating thickness :3μm

今田製作所PSM-10)を用い、10mm/minの引張速度で測定し、評価した。

2. 3 泳動電着

泳動電着の電解液は、仮焼粉1.0gを2回精製ヨウ素(0.05~6g/L)とともに、特級試薬のアセトン100mL中に加えたもので、超音波洗浄器で10分間懸濁させて用いた。陽極は渦巻状のPt線とし、陰極基材上に仮焼粉を泳動電着させたが、5分おきに電解を止めて1分間の超音波懸濁を行った。

2. 4 仮焼及び本焼

超伝導体の仮焼工程としては、Y₂O₃、Ba₂CO₃、CuOをY、Ba、Cuの元素比が1：2：3になるように混ぜ合わせたものを十分粉碎混合し、2時間で880℃まで上昇後10時間保持し、6時間で300℃まで下げて、その後3時間で常温まで下げ、十分に微粉砕したが、この工程を3回行い、最終的に400メッシュアンダーの仮焼粉とした。この仮焼粉を泳動電着し、それを本焼することで超伝導体を作製した。この時の本焼では、3時間で940℃まで上昇後6時間保持し、6時間で450℃まで下げて4時間保持、その後3時間で常温まで下げた。

2. 5 測定装置及び操作

超伝導特性の確認は、X線回折による結晶形態の測定、自己誘導インダクタンスによる反磁性の測定、四端子法による抵抗測定により行ったが、X線回折は理学電機ガイガーフレックスで、磁気の測定はLCRメーター（東京電子冶金㈱製TM-1805）で、抵抗測定は0.01μV感度のデジタルマルチメーター（アドバンテスト社製TR6871+TR68701）で行った。導電率及びゼータ電位の測定は25℃で行い、それぞれ電導度計（東亜電波工業㈱CM-60S）、Automated Electrokinetics Analyzer

(Penkem, Inc., SYSTEM 3000)を用いた。

3. 結果及び考察

3. 1 アルミナセラミックス表面への高密着めっき

3. 1. 1 各種エッチング処理の効果

安定な無電解銀めっき浴からの高密着めっきを行うため、銀めっき前の下地処理法の検討を行った。まず機械的エッチング処理時間変化に対する密着性の影響について検討した（図1-a）。120分までは、垂直引張強度及びL型引張強度の両者とも引張強度が向上しているが、それ以上には到らなかった。そこで、機械的エッチング処理時間は120分とした。次に化学的エッチング処理時間の検討を行った（図1-b）。密着性はかなり向上し、処理時間120分の場合に3.48kg/4mm²という高い値を示した。さらに、密着性の向上を図るために、10wt%NaOH+10wt%NaClの混合溶液を機械的エッチング処理液として用いた結果を図2に示す。処理時間120分において、3.93kg/4mm²の垂直引張強度、1.07kg/4mm²のL型引張強度とこれまでの最高の値が得られた。以上の結果より、密着性を最も高めるエッチング条件は表2に示すように求まった。以降基板の前処理としては、特に指定しない限り、表2に示す処理を行った。

3. 1. 2 基板の種類と密着性

基板の組成が密着性にどのような影響を与えるかについて検討した（図3）。アルミナセラミックスの純度が96%から99%、99.5%と上がるにつれて、垂直引張強度の最高値は、それぞれ3.93kg/4mm²から、2.58kg/4mm²、2.35kg/4mm²へと下がった。これは純度が上がるにつれて、機械的および化学的安定性が増大し、セラミックス表面の侵食があまり進行しなかったために、十分なアンカー効果が得られず、密着性が低下したものと考えられる。

3. 1. 3 機械的エッチングに及ぼす研磨剤の影響

次に、機械的エッチングに及ぼす研磨剤の影響について調べるため、種々の研磨剤の粒径を統一して検討を行った（表3）。粒径が大きくなるにつれて、3μm付近までは密着性は上昇するが、それ以上粒径を大きくすると、逆に密着性は低下した。その傾向が最も顕著に現れているWCの場合、粒径が0.6、1.2、2.3μmと大きくなるにつれて、引張強度は2.59、3.01、3.48kg/4mm²と向上するが、粒径を4~5μmまで大きくすると、引張強度は2.47kg/4mm²と低下している。また、5種類の研磨剤の中では、WCが全体に高い引張強度を示した。

そこで、どのような因子が基板の表面粗化に影響するか、理論的に考察した。これまでに用いた研磨剤がすべて球形で、基板に対して垂直に衝突すると仮定した時、衝突に際して生じる力Fの最大値F_{max}は(1)式で表される⁴⁾。

Fig. 1 Effect of mechanical and chemical etching times on the adhesion strength.
(a) Chemical etching: 15min, (b) Mechanical etching: 2h
○: Adhesion strength of perpendicular type,
●: Adhesion strength of L type
Chemical etching solution: 10wt%NaOH+10wt% NaCl, Mechanical etching solution: ion-exchange water

Table 2 Most suitable etching conditions.

Treating conditions	Mechanical etching	Chemical etching
Treating solution	10wt%NaOH+10wt%NaCl	10wt%NaOH+10wt%NaCl
Abrasive	WC 1.0g/100mL WC Particle dia. 2.3μm	
Treating time	120min	120min
Treating temperature	25°C	100°C

Fig. 2 Effect of mechanical etching in an alkaline solution on the adhesion strength.
○: Adhesion strength of perpendicular type,
●: Adhesion strength of L type
Mechanical etching solution: Same as the chemical etching solution
Chemical etching: 120min

$$F_{max} = (20/3\pi\rho_D)^{3/5} [1/6(k_1 + k_2)]^{2/5} V^{6/5} R^2 \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 ρ_D は粒子の密度、 k_1 は $(1-\nu_1^2)/E_1$ 、 E は縦弾性係数、 k_2 は $(1-\nu_2^2)/E_2$ 、 ν はポアソン比、添字1,2は各々粒子及び基板を表している。(1)式により、密度 ρ_D が大きく、粒子半径 R が大きいほど F_{max} は大きくなる事がわかる。(1)式と表3の結果とを考えると、衝突の際生じる力が大きいほど、密着性の高くなっていることが言える。これは、衝突の際生じる力が大きければ基板表面の粗化も激しくなり、めっきのアンカー

Fig. 3 Effect of base material on the adhesion strength.
(1) Adhesion strength of perpendicular type,
(2) Adhesion strength of L type
○, ●: 96.0% Al₂O₃ ceramics, △, ▲: 99.0% Al₂O₃ ceramics, □, ■: 99.5% Al₂O₃ ceramics

Table 3 Effect of abrasive material on the adhesion strength.

Abrasive Particle dia. (μm)		Adhesion strength of perpendicular type(kg 4mm ²)
TiN	0.8	2.38
TiC	0.9	2.29
SiC	0.6	1.87
WC	0.6	2.59
Al ₂ O ₃	0.1-0.3	2.03
TiN		2.42
TiC	1.0	2.34
SiC	1.0	2.16
WC	1.2	3.01
Al ₂ O ₃		
TiN		2.42
TiC	1.83	2.34
SiC	2.5	2.29
WC	2.3	3.48
Al ₂ O ₃	3.0	2.42
TiN		1.96
TiC		
SiC	5.0	1.92
WC	4.0-5.0	2.47
Al ₂ O ₃	5.0	1.73

Specific gravity: TiN: 5.43, TiC: 4.93, SiC: 3.17, Al₂O₃: 3.97, WC: 15.6

効果により密着性が向上したものと考えられる。しかし、粒径が3μm以上では、粒子の基板への衝突力が強すぎて、基板表面が研磨されすぎて逆に平坦化し、密着性が低下したものと考えられる。

3. 2 アルミナセラミックス表面の超伝導化

上記のようにして得られた無電解銀めっきを施したセラミックスを用いれば、泳動電着法を応用して、セラミック表面が超伝導化できるはずである。そこで、次にこの手法の開発を試みた。

3. 2. 1 超伝導仮焼粉の泳動電着

まず、浴電圧及び電着時間が仮焼粉の電着量にどのように影響するかについて検討した。ヨウ素添加量5mg(図4(a))の場合には、電着時間及び電圧の増加とともに電着量も増加している。ヨウ素添加量100mg(図4(b))の場合、電着時間30秒までは、電圧の高い方が電着量も高い。それ以後は、その関係が成り立たない。電圧300Vでは約7分で、150Vでは約18分で電着量が増えなくなった。

次に添加ヨウ素量の電着量への影響について検討した

Fig. 4 Relationship between the amount of deposit and the coating time.

(a) I_2 : 5mg/100mL acetone, (b) I_2 : 100mg/mL acetone

Voltage $\bullet$: 600V, $\square$: 300V, $\triangle$: 150V, $\circ$: 50V
W.E.: Al_2O_3 ceramics coated with Ag ($0.3\mu m$ thickness), C.E.: Pt wire

Fig. 5 Relationship between the amount of deposit and the I_2 content.

Voltage $\bullet$: 600V, $\square$: 300V, $\triangle$: 150V, $\circ$: 50V
W.E.: Al_2O_3 ceramics coated with Ag ($0.3\mu m$ thickness), C.E.: Pt wire, Coating time: 30s

Fig. 6 Relationship between the amounts of deposit and H_2O added to the bath.

I_2 : 20mg, Voltage: 200V, Coating time: 30s,
Specific conductivity of H_2O : $0.94\mu S/cm$

(図5)。各電圧において、添加ヨウ素量によってピークが現れている。ピークの高さは、50V, 150V, 300V, 600Vの順に高くなっているが、ピークの現れるヨウ素量は、それぞれ100mg, 30mg, 25mg, 20mgと小さくなっている。

次に浴への水添加量と電着量の関係について検討した(図6)。電着浴中に水を添加して行くに従って電着量も増加し、水添加量 5mL で $4.2 \times 10^{-2} g/cm^2$ のピークが得られた。さらに水を添加すると、逆に電着量は減少し、

Fig. 7 Relationship between ζ potential of the oxides particle and I_2 content in the bath.

Superconducting oxides: 0.04g, Acetone: 100mL

とくに水添加量10mL及び20mLの場合、電着面は無数のピンホールをともなった不均一なものとなったが、これも上の I_2 添加量の場合と同じく、後述の H_2 発生が主な要因となっているものと思われる。なお、浴に添加する仮焼粉量は、0.2~3.0g/100mLアセトンの範囲で電着量に影響を及ぼさなかった。

3. 2. 2 泳動電着機構の検討

浴に添加するヨウ素量あるいは水量によって、電着量は大きく変化した。岸ら⁵⁾はニッケルフェライト粒子の泳動電着において、アセトンにヨウ素を添加した場合、ヨウ素添加量の増加にともなう導電率の上昇からイオンの形成を、水素イオン濃度の上昇からそのイオンが H^+ であると推定した。その H^+ の生成反応及び電着機構については、浴中に微量に含まれる水とヨウ素の触媒作用によって、アセトンのケト・エノール平衡反応(2)が起り、

そのエノール型アセトンとヨウ素の反応(3)によって H^+ が生成し、その H^+ がフェライト粒子に吸着するために粒子は正の電荷を帯び、陰極に析出するとした。そこで、酸化物超伝導仮焼粉の泳動電着について、さらに検討を試みた。

1) 仮焼粉粒子の表面電位

まず、仮焼粉が陰極に電着されることについて考察するため、粒子のゼータ電位を調べた(図7)。粒子は明らかに正に帯電しており、 H^+ の吸着しているであろうことがわかる。なおこの際、ヨウ素添加量20mgにおいてゼータ電位は64.8mVのピークを示し、さらにヨウ素を加えていくとゼータ電位は逆に減少した。後述のように、ヨウ素添加量の増加に伴い浴中の H^+ 量は増大するが、このような H^+ 量の増大は、粒子のゼータ電位を上昇させる因子となる。しかし一方、ヨウ素添加量の増加は、浴中のイオン濃度を増加させ、これは逆に拡散二重

層の厚さの減少に伴うゼータ電位の減少につながる因子となる⁶⁾。これら因子の相乗効果により、ヨウ素添加量20mgでピークが得られたものと考えられる。

そこで、このゼータ電位から、仮焼粉に吸着されているのは H^+ としてその数を以下のように求めてみた。まずここでは、超伝導仮焼粉の粒径(約 $1\mu m$)と二重層の厚さより、粒子は平板粒子として取り扱うこととした。そこで、固体表面近くの電位分布、いわゆるGouy-Chapmannの電気二重層の電位分布を考える場合、粒子の表面電位は次式で与えられる²⁾。

$$\phi_s = 2kT/e \arcsin h \left[\sigma / (8n\epsilon_0\epsilon_r kT)^{1/2} \right] \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 k はBoltzmann定数、 T は絶対温度、 e は素電荷、 n はイオン密度、 ϵ_0 は真空の誘電率、 ϵ_r は溶液の誘電率、 σ は表面電荷密度である。イオン密度は、(3)式の反応において、浴中に添加したヨウ素のすべてがエノール型アセトンと反応し、かつ生成した H^+ がすべて超伝導仮焼粉に吸着すると仮定して求めた。非水溶液中では、粒子のゼータ電位を表面電位としても差し支えない³⁾ので、 ϕ_s に図7で示したゼータ電位の測定値を代入した。これらの値を代入して得られた表面電荷密度 σ は、例えば、ヨウ素添加量20mgの場合 $5.35 \times 10^{-3} C/m^2$ となり、超伝導粉粒子(平均粒径： $1\mu m$)1個に対し、約 1.1×10^5 個の H^+ が吸着していることになる。

2) 導電率

次に、各種条件下での電解液の導電率を測定した。まず仮焼粉を加えないで、100mLのアセトン(水0.3%含有)に5~600mgのヨウ素を加えたときの導電率の経時変化を調べた(図8-a)。アセトンにヨウ素を添加すると次第に導電率は上昇し、数分後に定常値に達した。また、ヨウ素添加量の増大にともない導電率の定常値も上昇することが分かった(これは図8-b-1にまとめた)。したがって、アセトンにヨウ素を添加すると、両者の反応によってイオンの形成されていることは明らかで、上記反応(3)を肯定している。そこでこの浴に超伝導

仮焼粉1.0gを加えた時のヨウ素添加量に対する導電率変化を調べた(図8-b-2)。(この場合の導電率は、10分間超音波懸濁を行った直後のものである)。仮焼粉無添加の場合に比し、導電率は約1/2と低い値となっており、浴中のイオン種の減少を示している。これらは、岸ら⁵⁾の結果と同様であり、ここでもアセトンにヨウ素を添加することによって生成した H^+ が仮焼粉に吸着し、導電率の低下をもたらしたものと考えた。なお、仮焼粉に吸着した H^+ は、導電性にはあまり寄与しないものと考えている。

そこでさらに、浴への水添加量に対する導電率変化について検討した(図8-c)。水添加量2mLまでは急激に導電率が上昇し、その後10mLまでは緩やかに上昇して $5.19 \times 10^{-5} S/cm$ のピークを示した後、徐々に減少して行った。 H_2O 、0.3% H_2O 含有アセトン100mLへの I_2 20mg添加浴、さらにこれへの仮焼粉1.0g添加浴のそれぞれの導電率は、 9.4×10^{-7} 、 7.4×10^{-5} 、 $3.4 \times 10^{-5} S/cm$ となっており、一旦生成した H^+ 、 I^- のうち H^+ が仮焼粉に吸着されたことをうらづけている。なお、水添加による導電率の上昇は、上記(2)の平衡反応における水の役割が触媒ということからすると不自然であるが、水はアセトンと強く溶媒和するため、一般によくいわれる触媒作用を起こすに十分な量のフリーな水が必要で、その最小量が2mLになっているのではないかと考えられる。

結局、ヨウ素及び水添加量変化に対する電着量の増減およびヨウ素及び水過剰添加時の電着面の不均一さは次のように考えられる。仮焼粉を泳動電着させるためには表面に H^+ を吸着させることが必要で、そのため必然的に浴の導電率の上昇をとまなう。すなわち、ある程度の導電率の上昇は電着量を増加させる。しかし、導電率が高くなりすぎると電解電流の増加をもたらす、浴中に含まれている水の電気分解及び H^+ の析出等による気泡の発生をとまない、これが仮焼粉電着の阻害要因となるの

Fig. 8 Changes of specific conductivity of the bath with (a)leaving time, (b) I_2 content, and (c) H_2O content. (a): (1)600, (2)300, (3)100, (4)50, (5)20, (6)5mg I_2 , H_2O 0.3mL, Acetone 100mL, (b)Without (1) and with (2) superconducting oxides powder (Particle size: 0.3 ~ $2\mu m$), (H_2O 0.3mL, Acetone 100mL) (c) I_2 20mg, Superconducting oxides powder 1.0g/100mL Acetone, Specific conductivity of H_2O : 0.94 $\mu S/cm$

Fig. 9 X-ray diffraction pattern of the coated superconducting material.

Fig. 10 Relationship between temperature and (a) inductance, and (b) resistivity of the coated superconducting film.

Fig. 11 Photographs of Al_2O_3 ceramics and Ag coil coated with the superconducting oxides.
(a): Al_2O_3 ceramics, (b): Superconducting oxides,
(c): Silver wire ($\phi 0.7\text{mm}$)

であろう。

3. 2. 3 本焼したセラミックス表面の超伝導特性

ヨウ素添加量20mg, 電圧150Vで10分間, 仮焼粉を前述の無電解銀めっきしたセラミックス上に泳動電着させた後, 所定条件で本焼し, はがし取ったサンプルのX線回折を行った(図9)。これは, 完全に超伝導を示す $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ($X=0.1\sim 0.2$)の回折パターンと一致しており, プレス過程に代えて泳動電着法を用いても, 熱処理したコーティング物は超伝導を示す結晶構造をとっ

ていることが示された。さらに同様のサンプルを用いて, 磁性の測定を行ったところ(図10-a) 93Kから急激に反磁性を示した。そこでさらに, 超伝導特性の最終確認として, 前述と同様の条件で作製したコーティング物を基材からはがし取り, 約 $2\times 3\text{mm}$ のサンプルに四端子をつけ, 1mAの定電流を流して電気抵抗変化を調べた(図10-b)。約93Kで急激に電気抵抗が減少しはじめ, 約87Kで完全に電気抵抗は0となった。したがって, 我々の作製したサンプルが, 完全に超伝導性を示すことが確認された。

3. 3 各種形状, 各種基材表面の超伝導化

最後に, 各種形状の代表として板, 線, コイルを, 基材の代表として銀, アルミナセラミックスを選ぶことにより, 各種形状, 各種基材表面を, 我々の手法で超伝導化できることを明らかにしようとした。96%アルミナセラミックス板表面ならびに $0.7\text{mm}\phi$ のコイル状銀線表面を超伝導化したものの実物写真を図11に示す。両者とも, 均一で密な表面をもつ超伝導体が密着性良くコーティングされており, いずれも完全にYBCOの超伝導特性を示していた。

4. まとめ

アルミナセラミックス表面を超伝導化させるための前処理として無電解銀めっきを施したが, 基板へ機械的処理と化学的処理を併用したエッチング処理を行った結果, 大幅な密着性の向上が認められた。

一方, 泳動電着法における電着挙動は, 電解電圧, 浴への水およびヨウ素添加量に大きく依存することが確認された。すなわち, ある程度までのヨウ素及び水添加量の増加は電着量の増加をもたらすが, それ以上の増加は導電率及び電解電流を増加させ, 電着量の減少を引き起こす。

また, 仮焼粉を泳動電着後本焼した膜は, 密着性良く基材にコーティングされて均一で密な表面をもっており, YBCOの超伝導特性を示していた。したがって, 各種形状の, 各種基材上への超伝導性の付与法として, 我々の用いた泳動電着法は非常に有効であることが確認された。
(1989-2-9 受理)

文 献

- 1) 久保田淳, 小浦延幸; 金属表面技術, 37, 131 (1986)
- 2) 小浦延幸; 電気化学, 56, 208 (1988)
- 3) 小浦延幸; 御厨裕司; 表面技術, 40, 72 (1989)
- 4) ㈱腐食防食協会; エロージョンとコロージョン, p.140 (1987)
- 5) 徳岡保導, 岸 富也, 永井 隆; 電気化学, 42, 80 (1974)
- 6) 宮川瑠美子, 中塚 哲, 岸 富也, 永井 隆; 電気化学, 41, 844 (1973)
- 7) 大島広行; 膜 (MEMBRANE), 11, 210 (1986)
- 8) 北原文雄, 渡辺 昌; 界面電気現象, p.126 (1986)