

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17073016

研究課題名（和文） イオン液体を用いた新しい表面処理技術

研究課題名（英文） Development of New Surface Finishing Technology Using Ionic Liquids

研究代表者

片山 靖 (KATAYAMA YASUSHI)

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：50286639

研究成果の概要（和文）:

イオンのみからなる液体であるイオン液体から工業的に有用な金属を析出させる新しい技術を開発することを目的として、イオン液体に溶けた金属イオンの反応について研究した。イオン液体中の金属イオンの移動速度はイオン液体の高い粘性を反映して遅く、金属イオンの反応の速度も水溶液などと比較して遅いことが明らかになった。イオン液体から銀、コバルト、スズ、ニッケル、パラジウムなどの金属を析出させることに成功した。

研究成果の概要（英文）:

Electrochemical reactions of some metal ions have been investigated in ionic liquids, in order to develop a new technology for depositing metals, which are valuable in industry. Mobility of metal ions was found to be slow reflecting the high viscosity of ionic liquids. Reaction rates of metal ions were also slow due to slow dynamics of ionic liquids. Silver, tin, nickel, and palladium were successfully deposited from the ionic liquids.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	8,100,000	0	8,100,000
2006 年度	8,100,000	0	8,100,000
2007 年度	8,100,000	0	8,100,000
2008 年度	8,100,000	0	8,100,000
2009 年度	6,200,000	0	6,200,000
総計	38,600,000	0	38,600,000

研究分野：電気化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：イオン液体，電気化学，めっきプロセス，ナノ粒子

1. 研究開始当初の背景

エレクトロニクスやエネルギー分野の飛躍的な進歩に伴い、新しい表面処理技術に対する期待が高まっている。めっきは代表的な湿式成膜技術であり、既に工業的に広く用いられているが、通常は水溶液を用いるため電

析可能な金属の種類は水の電気化学的電位窓および pH の制約を受ける。一方、真空中において物理的または化学的に薄膜を形成する乾式成膜法では幅広い元素の薄膜を形成させることが可能であり、半導体産業などではすでに不可欠な技術の一つとなってい

る。しかし、湿式法は乾式法に比べ複雑な形状を持つ材料の表面被覆処理が容易であり、また大面積の材料にも対応できることから大量生産に適している。このような背景から水よりも電気化学的電位窓が広い非水溶液系におけるめっき技術の開発が進められてきた。非水溶液系の中でも、イオン液体は室温で低粘度、不揮発性の液体であり、条件によっては4V以上の広い電気化学的電位窓を持つなど優れた性質を示す。イオン液体の中でもアニオンにビス(トリフルオロメチルスルフォニル)アミド(TFSA-)を用いた系は加水分解しないだけでなく、非極性溶媒のように水と混ざり合わず相分離する。この特徴を利用すれば、通常環境においても水溶液などでは析出させることができない卑金属などの電析が可能になることが期待できる。しかしながら、これらのイオン液体における金属の酸化還元挙動や電析に関する報告例は少なく、イオン液体をめっきに応用するためには基礎的な電気化学的データの収集が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では疎水性イオン液体としてアルキルイミダゾリウム、アルキルアンモニウムおよびアルキルピロリジニウムなどのカチオンとTFSA-からなる系に着目し、これらのイオン液体中における様々な金属元素の酸化還元挙動、特に電析挙動を明らかにし、イオン液体を用いた新たなめっき技術の基礎を確立することを目的とする。本研究ではエレクトロニクスおよびエネルギー分野などで有用性の高い遷移金属を研究対象とする。

3. 研究の方法

(1) イオン液体中での金属イオンの酸化還元反応

イオン液体中での電気化学反応を解明するために、イオン液体中においてサイクリックボルタンメトリ、クロノアンペロメトリ、電気化学インピーダンス測定などの手法を用いて、金属イオンの拡散係数や電極反応速度を明らかにし、それらを左右する因子について詳細に検討を行う。

(2) 種々の金属の電析反応の検討

種々の金属元素について、析出反応の過電圧を左右する要因について検討を行う。また、イオン液体中における電析反応を解明するために、水溶液系などで詳細に検討が行われている銀に着目し、イオン液体中での銀の析出および溶解反応について詳細に検討する。さらに、電析反応に対する温度や添加剤の効果についても検討する。

(3) 電極・イオン液体界面の構造と電析反応への影響の評価

電極表面に対するイオン液体構成イオン

の吸着がイオン液体中での電極反応の速度や結晶成長に影響を及ぼしている可能性があるため、A01班の大内准教授との共同して電極・イオン液体界面の構造を調べ、電極反応速度への影響について検討を行う。

(4) 電析物の表面形態の評価

イオン液体中で析出が可能な金属については、温度や電流密度などが析出形態に及ぼす影響について系統的に検討する。また、イオン液体の特性を損なわない添加剤の探索を行い、析出物の表面形態の制御を目指す。

(5) 電気化学的な金属ナノ粒子の形成

イオン液体中では種々のナノ粒子が均一に分散することが知られている。電気化学的手法によってイオン液体中で金属ナノ粒子の形成が可能かどうかについて検討を行う。

4. 研究成果

(1) 主な成果

イオン液体中における鉄錯体の電気化学的挙動

1-ブチル1-メチルピロリジニウムビス(トリフルオロメチルスルフォニル)アミド(BMPTFSA)イオン液体中におけるいくつかの鉄錯体の酸化還元電位や拡散について検討を行った。鉄イオンにTFSA⁻が配位していると考えられるFe(III)/Fe(II)の酸化還元電位が最も高く、 $[\text{FeBr}_4]^-/[\text{FeBr}_4]^{2-}$ 、 $[\text{Fe}(\text{Cp})_2]^+/[\text{Fe}(\text{Cp})_2]$ (Cp = cyclopentadienyl)、 $[\text{FeCl}_4]^-/[\text{FeCl}_4]^{2-}$ 、 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ の順に低くなった。この電位の順は配位子の配位能の強さの順を反映していると考えられ、イオン液体のアニオンであるTFSA⁻の鉄イオンに対する配位能は他の配位子に比べて弱いことがわかった。また、イオン液体中の金属イオン種の拡散はおおむねストークス・アインシュタインの式に従い、イオン液体の粘性率と拡散する鉄錯体の大きさに依存することを明らかにした。

イオン液体中における鉄錯体の電極反応速度

TFSA⁻をアニオンとするいくつかの疎水性イオン液体中において、いくつかの鉄錯体の酸化還元反応の拡散係数および電荷移動速度を調べた。イオン液体中における鉄錯体の拡散は、錯体の大きさと錯体の電荷密度に依存し、大きさがほぼ等しい錯体では電荷密度が高いものほど拡散が遅くなることを見いだした。また、イオン液体中の錯体の電荷移動速度は水溶液や有機電解液中に比べて遅く、イオン液体の粘性が高くなるほど電荷移動速度は遅くなる傾向が認められた。以上より、イオン液体中における金属錯体の拡散および電荷移動速度は、イオン液体の粘性とイオン液体と金属錯体との静電的相互作用の影響を強く受けることを明らかにした。

イオン液体中における金属錯体の熱起電

力

BMPTFSA イオン液体中における遷移金属錯体の酸化還元電位の温度依存性を調べ、熱起電力および反応エントロピーについて検討を行った。いくつかの金属錯体の酸化還元対の熱起電力を非等温セルを用いて測定し、反応エントロピーを求めた。イオン液体中における反応エントロピーは酸化体および還元体の大きさと電荷に依存し、金属錯体とイオン液体構成イオン種の静電的相互作用は極性溶媒中におけるイオンの溶媒和現象に類似していることを明らかにした。

イオン液体中における金属析出の電気化学水晶振動子マイクロバランス (EQCM) 測定

BMPTFSA イオン液体中における銀析出の EQCM 測定について検討を行った。インピーダンス法に基づく EQCM を用いることで、銀の析出・溶解に伴う電極の質量変化を定量的に測定することに成功した。また、イオン液体中における金属の析出溶解過程では、イオン液体中の金属塩濃度の変化に伴って電極近傍のイオン液体の粘性率や密度などの物性が変化することを EQCM のその場測定から明らかにした。

イオン液体中からのコバルト電析

BMPTFSA イオン液体中において、コバルトイオンの電気化学的挙動およびコバルトの析出について検討を行った。BMPTFSA 中ではコバルトイオンが TFSA-によって正八面体型に六配位されたイオン種が生じることが示唆された。コバルトの析出反応に対する過電圧は大きく、室温で得られた電析物の結晶粒は非常に小さいことがわかった。コバルトイオンにアセトン分子を配位させることで、析出の過電圧が減少したことから、金属の溶存状態を変化させることで析出反応の過電圧が大幅に変化することを見いだした。さらに、液温を高くすることによっても析出の過電圧は減少した。これらの結果から、イオン液体からのコバルト析出反応は、コバルトイオンの溶存状態と液温が大きな影響を与えることがわかった。

イオン液体中からのスズ電析

BMPTFSA イオン液体中において、スズイオンの電気化学的挙動およびスズの析出について検討を行った。Sn(II)と Sn の電極反応は比較的速く、その平衡電位はネルンストの式に従った。また、Sn(II)の拡散係数は Co(II)と同程度であったことから、これらの二価の金属イオン種の溶存状態は類似しているといえる。定電流陰極還元によって室温で得られた析出物は粒状の緻密なスズ金属であることがわかった。さらに、EQCM を用いたその場測定でも、スズの析出・溶解に伴う質量の増減およびイオン液体の粘性率と密度の積の変化が観察された。これらの結果から、イオン液体からのスズの析出が可能であ

ること、Sn(II)/Sn の電極反応は可逆的であることなどを見だし、Sn(II)/Sn の酸化還元対はこのイオン液体における参照電極の反応としても利用可能であることが明らかにした。

イオン液体中からのニッケル電析

BMPTFSA イオン液体中において、ニッケルイオンの電気化学的挙動およびニッケルの析出について検討を行った。ニッケルイオンが TFSA-によって正八面体型の六配位されたイオン種として溶存していることが示唆された。室温ではニッケルの析出反応に対する過電圧が大きいことがわかった。また、液温を高くするに従って、析出の過電圧は小さくなることがわかった。室温における定電流による電析では結晶粒が非常に小さく、密着性の低い黒色・無光沢の析出物が得られたが、液温を 70 以上すると、光沢のある平滑で密着性の良い析出物が得られた。Ni(II)の拡散係数は Fe(II)、Co(II)および Sn(II)などの他の二価の金属イオンの拡散係数と近く、これらのイオン種の溶存状態は類似していることがわかった。また、金属析出の初期における核形成過程は拡散律速の三次元即時核形成機構であることを明らかにした。

イオン液体中からのパラジウム電析

BMPTFSA イオン液体中において、パラジウムイオンの電気化学的挙動およびパラジウムの析出について検討を行った。BMPTFSA には $[\text{PdX}_4]^{2-}$ ($X = \text{Cl}$ または Br) の錯体としてイオン液体に導入した。 $[\text{PdBr}_4]^{2-}$ と $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ の析出電位の比較から、Br-の錯体の方が熱力学的安定性は低く、より高い電位で還元できることがわかった。60 以上の液温で結晶質のパラジウム金属を析出させることがわかり、その粒子径は 5~35 nm と小さいことが明らかになった。また、イオン液体中の $[\text{PdBr}_4]^{2-}$ を大きな過電圧を印加して全て還元したところ、イオン液体は不透明な黒色に変化した。このイオン液体を透過型電子顕微鏡を使って観察した結果、イオン液体中には直径 2~3 nm のパラジウム金属のナノ粒子が生成していることが明らかになった。これらの結果から、イオン液体中における $[\text{PdX}_4]^{2-}$ のカソード還元によってパラジウム金属のナノ粒子を作製できることが明らかになった。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけ

イオン液体中における様々な金属化学種の酸化還元反応に関する研究は本研究以外にも複数の研究グループによって精力的に進められている。しかし、金属イオン種の拡散係数や反応速度定数を詳細に検討している例は少ない。また、金属の析出に関する研究も盛んに進められているが、電位が不確かな参照電極が用いられる場合が多く、金属イ

オン種の酸化還元反応に関する熱力学的な考察は困難である場合が多い。

本研究では電気化学測定に全て電位が明確に規定された参照電極を用いており、金属イオン種の酸化還元電位を異なるイオン液体や分子性溶媒中での結果と比較することができ、イオン液体と金属イオンとの相互作用について半定量的な議論を行うことを可能にしている。また、イオン液体中における物質移動現象や外圏型電子移動反応を調べることによって、イオン液体と金属イオン種との静電相互作用がそれらの速度に大きな影響を及ぼしていることを明らかにしている。さらに、これらの知見に基づいて、いくつかの金属の析出現象を調べ、金属イオンの溶存状態や液温、さらに電極界面の電気二重層構造が金属析出の過電圧や金属の析出形態に影響を及ぼす可能性を見いだしている。本研究を通じて、水溶液や有機電解液では見られなかったイオン液体に特有の現象が見つかっており、これらを踏まえた新しい電気化学および溶液化学を構築する必要があることを示したといえ、その意義は大きい。

(3) 今後の展望

イオン液体における電気化学反応に関する研究はまだ始まったばかりであり、本研究で解明できたのはその一部でしかない。イオン液体を実用的な電気化学的プロセスに利用するためには、引き続き基礎的データの収集が必要である。また、イオン液体中での電極反応を考える上で、反応に関与するイオン種の溶存状態、特にイオン液体構成イオンとの相互作用が極めて重要であることがわかった。従って、分光学的手法や分子動力学・分子軌道法などの計算などを組合わせて検討を進める必要がある。

電極反応は電極と電解液界面で起こるため、その界面に形成される電気二重層の構造が電極反応に様々な影響を及ぼす。特に、本研究で注目した金属の析出反応は、電極表面に対する化学種の吸脱着が析出機構や成長機構に影響を及ぼす。イオンのみからなるイオン液体では電極は常にイオンと接しているため、水溶液や有機電解液で考えられてきた界面の構造とは大きく異なっていると考えられる。イオン液体中における電極反応、特に表面反応を伴う電極反応を検討する上で、電極・電解液界面の構造を明らかにすることは極めて重要であるといえる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 14 件)

1. Y.-L. Zhu, Y. Katayama, T. Miura, Electrochemical Behavior of Ni(II)/Ni in a Hydrophobic Amide-type Room-temperature Ionic Liquid, *Electrochim. Acta*, 査読有, 54, 7502-7506, 2009.
2. N. Serizawa, Y. Katayama, T. Miura, EQCM Measurement of Ag(I)/Ag Reaction in an Amide-Type Room-Temperature Ionic Liquid, *J. Electrochem. Soc.*, 査読有, 156, D503-D507, 2009.
3. N. Tachikawa, Y. Katayama, T. Miura, Electrochem. Electrode Kinetics of Ferrocenium/Ferrocene in Some Amide-Based Room-Temperature Ionic Liquids, *Solid-State Lett.*, 査読有, 12, F39-F41, 2009.
4. Y. Kunihiro, Y. Katayama, T. Miura, Anodic oxidation of methanol at a Pt electrode in a hydrophobic room temperature ionic liquid, *Electrochemistry*, 査読有, 77, 647-648, 2009.
5. N. Tachikawa, Y. Katayama, T. Miura, Electrochemical and Spectroscopic Studies of Europium(II/III) Species in a Hydrophobic Room-Temperature Ionic Liquid, *Electrochemistry*, 査読有, 77, 642-644, 2009.
6. T. Migita, N. Tachikawa, Y. Katayama, T. Miura, Thermo-electromotive Force of Some Redox Couples in an Amide-type Room-temperature Ionic Liquid, *Electrochemistry*, 査読有, 77, 639-641, 2009.
7. N. Serizawa, N. Tachikawa, Y. Katayama, T. Miura, EQCM measurement of Sn(II) / Sn reaction in 1-butyl-1-methylpyrrolidinium bis(trifluoromethylsulfonyl) amide room-temperature ionic liquid, *Electrochemistry*, 査読有, 77, 630-632, 2009.
8. S. Koshizawa, Y. Katayama, T. Miura, Photoelectrochemical Behavior of a Single Crystal n-TiO₂ Electrode in an Ionic Liquid, *Electrochemistry*, 査読有, 77, 627-629, 2009.
9. Y. Katayama, Y. Bando, T. Miura, Electrodeposition of nanoscaled palladium from hydrophobic ionic liquid, *Trans. Inst. Metal Finish.*, 査読有, 86, 205-210, 2008.
10. N. Tachikawa, N. Serizawa, Y. Katayama, T. Miura, Electrochemistry of Sn(II)/Sn in a hydrophobic room-temperature ionic liquid,

- Electrochim. Acta, 査読有, 53, 6530-6534, 2008.
11. N. Tachikawa, Y. Katayama, T. Miura, Electrode Kinetics of Some Iron Complexes in an Imide-Type Room-Temperature Ionic Liquid, J. Electrochem. Soc., 査読有, 154, F211-F216, 2007.
 12. Y. Bando, Y. Katayama, T. Miura, Electrodeposition of palladium in a hydrophobic 1-n-butyl-1-methylpyrrolidinium bis(trifluoromethylsulfonyl) imide room-temperature ionic liquid, Electrochim. Acta, 査読有, 53, 87-91, 2007.
 13. Y. Katayama, R. Fukui, T. Miura, Electrodeposition of cobalt from an imide-type room-temperature ionic liquid, J. Electrochem. Soc., 査読有, 154, D534-D537, 2007.
 14. M. Yamagata, N. Tachikawa, Y. Katayama, T. Miura, Electrochemical Behavior of Several Iron Complexes in Hydrophobic Room-temperature Ionic Liquids, Electrochim. Acta, 査読有, 52, 3317-3322, 2007.
- [学会発表](計 56 件)
1. Y. Katayama, N. Tachikawa, T. Migita, and T. Miura, Electrode Kinetics of Some Redox Couples in Amide-type Ionic Liquids, 216th ECS Meeting, Oct. 7, (2009), Vienna, Austria.
 2. N. Ichihashi, Y. Katayama, T. Miura, Electrochemical Synthesis of Palladium Nano-particles in Room-temperature Ionic Liquid, 3rd Congress on Ionic Liquids, June 1, 2009, Cairns, Australia.
 3. Y.-L. Zhu, Y. Kozuma, Y. Katayama, and T. Miura, Electrochemical Behavior of Ni(II)/Ni in 1-Butyl-1-methylpyrrolidinium Bis(trifluoromethylsulfonyl)amide Room-Temperature Ionic liquid, 3rd Congress on Ionic Liquids, June 1, 2009, Cairns, Australia.
 4. Y. Yamazaki, Y. Katayama, and T. Miura, Limiting Molar Conductivities of Ions Composing Ionic Liquids in Aqueous Solutions, 3rd Congress on Ionic Liquids, June 2, 2009, Cairns, Australia.
 5. S. Koshizawa, Y. Katayama, and T. Miura, Photoelectrochemical behavior of an n-type semiconductor electrode in a room- temperature ionic liquid containing lanthanide ions, 3rd Congress on Ionic Liquids, June 2, (2009), Cairns, Australia.
 6. Y. Katayama, N. Tachikawa, and T. Miura, Electrochemical Behavior of Some Divalent Metal Species in 1-Butyl-1-methylpyrrolidinium Bis(trifluoromethylsulfonyl)amide Ionic Liquid, 3rd Congress on Ionic Liquids, June 2, 2009, Cairns, Australia.
 7. Y. Katayama, Electrochemistry of some metal species in hydrophobic ionic liquids, Bunsen International Discussion Meeting, Nov. 24, 2008, Clausthal-Zellerfeld, Germany.
 8. N. Tachikawa, Y. Katayama, and T. Miura, Electrochemistry of Iron Complexes with 2,2'-bipyridine in an Ionic Liquid for a Redox Battery, 3rd Asian Conference on Electrochemical Power Sources, Nov. 11, 2008, Soul, Korea.
 9. N. Serizawa, N. Tachikawa, Y. Katayama, and T. Miura, EQCM measurement of Sn(II)/Sn reaction in imide-type room-temperature ionic liquid, 2008 Joint Symposium on Molten Salts, Oct. 20, 2008, Kobe, Japan.
 10. S. Koshizawa, Y. Katayama, and T. Miura, Photoelectrochemical Behavior of a Single Crystal n-TiO₂ Electrode in Ionic Liquids, 2008 Joint Symposium on Molten Salts, Oct. 20, 2008, Kobe, Japan.
 11. N. Tachikawa, Y. Katayama, and T. Miura, Electrochemical and Spectroscopic Studies of Europium(II/III) Species in a Hydrophobic Room-temperature Ionic Liquid, 2008 Joint Symposium on Molten Salts, Oct. 20, 2008, Kobe, Japan.
 12. Y. Kunihiro, Y. Katayama, and T. Miura, Anodic oxidation of methanol at a Pt electrode in a hydrophobic room temperature ionic liquid, 2008 Joint Symposium on Molten Salts, Oct. 20, 2008, Kobe, Japan.
 13. T. Migita, N. Tachikawa, Y. Katayama, and T. Miura, Thermoemotive force of some redox couples in an imide-type room-temperature ionic liquid, 2008 Joint Symposium on Molten Salts, Oct. 20, 2008, Kobe,

- Japan.
14. N. Serizawa, Y. Katayama, and T. Miura, EQCM measurement of Ag deposition in an imide-type room-temperature ionic liquid, 214th ECS meeting, Oct. 15, 2008, Honolulu, Hawaii, USA.
 15. N. Tachikawa, Y. Katayama, and T. Miura, Electrode Kinetics of Ferrocenium/ferrocene in Room-temperature Ionic Liquids, 214th ECS meeting, Oct. 15, 2008, Honolulu, Hawaii, USA.
 16. Y. Katayama, S. Koshizawa, and T. Miura, Photoelectrochemical reaction of n-type titanium dioxide in a hydrophobic ionic liquid, 214th ECS meeting, Oct. 15, 2008, Honolulu, Hawaii, USA.
 17. A. Goto, Y. Katayama, and T. Miura, Electrochemical Behavior of Carbon Monoxide and Water in a Hydrophobic Room-temperature Ionic Liquid, The 2nd International Congress on Ionic Liquids, Aug. 9, 2007, Yokohama, Japan.
 18. N. Serizawa, Y. Katayama, and T. Miura, Electrochemical Impedance Measurement for Ag(I)/Ag System in an Imide-type Room-temperature Ionic Liquid, The 2nd International Congress on Ionic Liquids, Aug. 7, 2007, Yokohama, Japan.
 19. N. Tachikawa, Y. Katayama, and T. Miura, Heterogeneous Rate Constants for Redox Reactions of Some Transition Metal Complexes in Imide-type Room-temperature Ionic Liquids, The 2nd International Congress on Ionic Liquids, Aug. 7, 2007, Yokohama, Japan.
 20. Y. Katayama, R. Fukuta, and T. Miura, Electrochemical Behavior of Hydrogen in Imide-type Ionic Liquids, The 2nd International Congress on Ionic Liquids, Aug. 7, 2007, Yokohama, Japan.
 21. R. Fukuta, Y. Katayama, and T. Miura, Hydrogen Electrode Reaction in Some Imide-type Room-temperature Ionic Liquids, 210th ECS meeting, Oct. 31, 2006, Cancun, Mexico.
 22. N. Tachikawa, Y. Katayama and T. Miura, Electrode Kinetics of Some Iron Complexes in an Imide-type Room-temperature Ionic Liquid, 210th ECS meeting, Oct. 31, 2006, Cancun,

Mexico.

23. Y. Katayama, R. Fukui, and T. Miura, Electrodeposition of Cobalt from an Imide-type Room-temperature Ionic Liquid, 210th ECS meeting, Nov. 2, 2006, Cancun, Mexico.
24. Y. Bando, Y. Katayama, and T. Miura, Electrodeposition of palladium in a hydrophobic room-temperature ionic liquid, International Symposium on Electrochemical Processing of Tailored Materials, PS-014, Oct. 3, 2005, Kyoto, Japan.

〔図書〕(計2件)

1. 片山 靖, 第10章: イオン液体からの金属電析とナノ粒子の生成, 84-93, in イオン液体 III -ナノ・バイオサイエンスへの挑戦, 大野弘幸監修, シーエムシー出版, 2010.
2. Y. Katayama, Chap. 3: General Techniques, 27-34, Chap. 9: Electrodeposition of Metals in Ionic Liquids, 111-131, in Electrochemical Aspects of Ionic Liquids, H. Ohno, ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2005.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片山 靖 (KATAYAMA YASUSHI)
慶應義塾大学・理工学部・准教授
研究者番号: 50286639

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし