

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02490

研究課題名(和文) グライム系室温アルミニウム電析：錯体構造制御による高度化

研究課題名(英文) Glyme-based room-temperature aluminum electrodeposition: sophistication by controlling complex structure

研究代表者

北田 敦 (Kitada, Atsushi)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：30636254

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：当初の計画どおり、グライム系室温アルミニウム電析についての安全性向上、合金電析の検討、平滑電析について一定の成果を得た。当初計画以上の進展として、難めっき材であるマグネシウム合金への室温アルミニウムめっきの検討や、他の金属電析浴(濃厚水溶液から金属電析：結晶性の高い硬質3価クロムめっきや、鉛電析の実現。4種添加剤の協働効果によるグライム系平滑リチウム電析。)あるいは新規電解液の輸送特性解明((A)ヒドロニウムイオンやアンモニウムイオンを用いるプロトン性溶媒和イオン液体の異常プロトン伝導。(B)リチウム塩が等モル組成以上のグライム系電解液における輸率改善。)へと展開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属アルミニウムは通常ホール・エルー法と呼ばれるプロセスで、1000℃の高温で生産されるが、本研究は金属アルミニウム生産プロセスを室温で行おうというものである。またアルミニウムを電析できる電解質は極めて限られており、その理由として錯体構造が重要であることがわかった。グライム類を用いる電析手法を難めっき材に適用しただけでなく、平滑電析の機構についても一定の理解を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：As originally planned, certain results were obtained in improving the safety of glyme-based room-temperature aluminum electrodeposition, examining alloy electrodeposition, and flat electrodeposition. After finishing the initial plan, we have also studied room-temperature aluminum plating on magnesium alloy, which is a difficult plating material, and have made progress in other metal electrodeposition baths ((1) Metal electrodeposition from concentrated aqueous solutions: realization of hard trivalent chromium (Cr) plating with high crystallinity and lead (Pb) electrodeposition, and (2) Smooth lithium deposition in the glyme system by the cooperative effect of four additives.) Additionally, we elucidated transport properties of new electrolytes ((A) Anomalous proton conduction in protic solvate ionic liquids containing hydronium(H₃O⁺) and ammonium (NH₄⁺) ions. (B) Improvement of transport rate in glyme-based electrolytes with more than equimolar composition of lithium salts.).

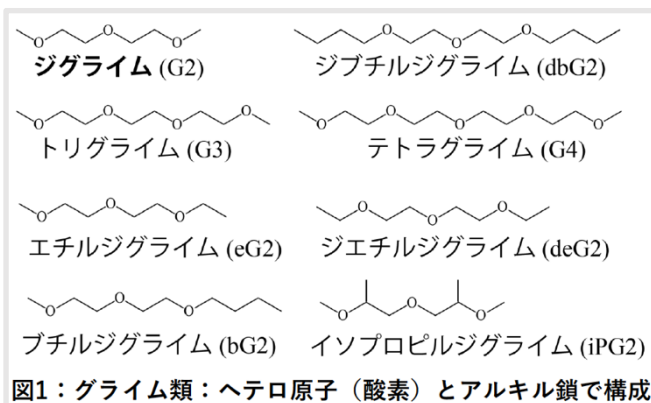
研究分野：無機材料科学

キーワード：室温金属電析

1. 研究開始当初の背景

電析技術は、金属生産や材料加工、あるいは化学電池にも応用しうる材料工学の要素技術である。アルミニウム

(Al) 電析の研究例は数多いが、実プロセスに求められる「安価・安全・室温」の3つを同時にクリアする電解液がなかった。最近申請者は、低コストと低揮発性をあわせもつ**グライム類**(**図1**)を電析溶媒とする室温 Al 電析を、世界で初めて報告した【*Electrochemistry*, 82, 946-948 (2014). ; *Electrochim. Acta*, 211, 561-567 (2016). ; *J. Surf. Finish. Soc. Jpn. (表面技術)*, 69, 310-311 (2018).】。



一方で、用いるグライム類の分子構造に応じて、電析が起こる場合と起こらない場合があることもわかった。

2. 研究の目的

本研究課題では、生じるグライム-Al³⁺錯体構造と電析挙動との相関解明を目的とした。さらに、構造と電析挙動の相関に添加化学種が及ぼす影響を調べるため、研究対象を電析形態制御のための光沢剤添加浴や、皮膜の高機能化を視野に入れた Al 合金電析浴に広げることも目的とした。

3. 研究の方法

高純度のグライム試薬を日本乳化剤から、高純度の無水塩化アルミニウムを日本軽金属から入手し、実験に供試した。電解液の調製及び電気化学実験はすべてアルゴン雰囲気グローブボックス内で行なった。電解液物性すなわち粘度、導電率、密度の測定は密閉セルを用いて各種専用装置を用いて行なった。電析物の同定には粉末 X 線回折、光電子分光、走査型電子顕微鏡付属のエネルギー分散型 X 線分析等を利用した。電析皮膜特性としてピッカース硬度およびナノインデンテーション硬度を各種装置により測定した。装置は所属研究室装置 (邑瀬教授、深見准教授: ともに研究分担者) および専攻内共通装置である。溶媒の活量からグライムと Al³⁺イオンとの相互作用を見積もるために、蒸気圧測定装置の購入を検討したが、純溶媒のグライムの室温蒸気圧が検出限界であったことや、塩化アルミニウムによる測定装置の腐食可能性などを考慮して、見送った。

4. 研究成果

A. グライム浴からの金属めっき

A-1. グライム浴からの Al-カーボンナノチューブ(CNT)複合めっき

グライム浴からの Al-MWCNTs 複合めっきでは、MWCNTs の親水化によるグライム浴への分散性向上と、Al めっき物中での MWCNTs の分散、および複合化による電析物の硬度向上に成功した。

G2 (関東化学) と AlCl₃ (日本軽金属) を AlCl₃:G2 = 1:5 (by mole) で混合して得られたグライム浴に、多層カーボンナノチューブ (multi-walled carbon nanotubes; MWCNTs) を加えたものを複合めっき浴とした。neat の MWCNTs はグライム浴に懸濁しなかったため、あらかじめ酸による親水化処理 (濃硫酸: 濃硝酸=3:1 v/v、超音波振動 6 h) を行った MWCNTs を 0.4 g dm⁻³ となるようにグライム浴に加え、これに 3 h の超音波振動を与えることで懸濁液 (複合めっき浴) が得られた。このように、グライムは親水性である。酸処理した MWCNTs にカルボキシ基が導入されていることを X 線光電子分光により確認した。このカルボキシ基とグライムの分子内酸素とが水素結合することで、分散性が得られたと考えられる。

この複合めっき浴を用いる電析 (約 10 mA cm⁻²) により得られた Al 電析物の破断面の走査型電子顕微鏡 (SEM) 像を **図 2** に示す。電析物中に MWCNTs が巻き込まれていることがわかる。また、電析物中では MWCNTs 同士は凝集しておらず、

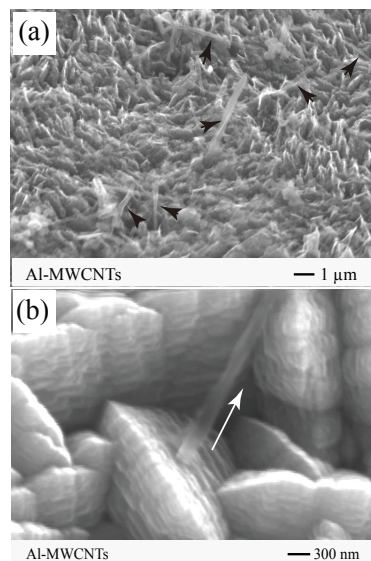


図 2 Al-MWCNTs 複合めっき物の SEM 像

分散性も良い。Al-MWCNTs 複合めっき物のビッカース硬度は 205 ± 14 HV であり、MWCNTs を懸濁していない通常のグライム浴から得られた Al 電析物のビッカース硬度 (165 ± 17 HV) と比較して、約 25%高い値を示した。

A-2. グライム浴からの平滑 Fe めっき

Fe めっきの用途として、電磁波シールド材料が注目されている。実用めっきは水溶液であるが、Fe は卑な金属であるため ($\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} = \text{Fe}$, -0.44 V vs. SHE)、水素発生が副反応として起こる。水素発生によるカソード近傍の pH 上昇や、pH 上昇による水酸化鉄の析出を防止するために pH 緩衝剤やキレート剤を加える必要があり、結果として浴管理が複雑となる。こうした点で、非水系の使用による水素発生回避に興味もたれる。非水系からの Fe 電析の事例は少なく、平滑 Fe 電析の報告も見られない。こうした背景のもとグライム浴からの Fe めっきに取り組んだ。

Fe 源として塩化第一鉄(FeCl_2)を選択した。 FeCl_2 は純 G2 溶媒にはほとんど溶解しなかったのに対して、 $\text{AlCl}_3:\text{G2} = 1:5$ (by mole) のグライム浴には可溶であり、室温での溶解度は 0.15 mol dm^{-3} であった。G2- FeCl_2 系では FeCl_2 の電離度が低いのに対し、G2- AlCl_3 - FeCl_2 系では FeCl_2 が Al^{3+} -Cl-G2 錯体と反応できるために溶解性が向上したと考えられる。

FeCl_2 濃度を $0.025 \text{ mol dm}^{-3}$ とした $\text{AlCl}_3:\text{G2} = 1:5$ (by mole) のグライム浴において、電位 -0.5 V vs. Fe 参照極での定電位電析によって得た試料の写真と SEM 像を図 3 に示す。図のように、光沢のある平滑電析物が得られ、X 線回折や電子線回折により bcc の α -Fe と同定された。クラックも見られず、膜厚 70 nm 程度の薄膜であったが直ちに大気中で酸化されるようなことはなかった。これに対して、 -0.5 V vs. Fe 参照極よりも卑な電位での電析によって得られた試料にはクラックが見られ、大気暴露によって容易に酸化された。また、理論上は金属 Al が電析可能な電位において長時間の電析を行ったが、塩濃度が一桁小さいにもかかわらず Fe 電析反応が支配的であり、Al-Fe 合金も得られなかった。

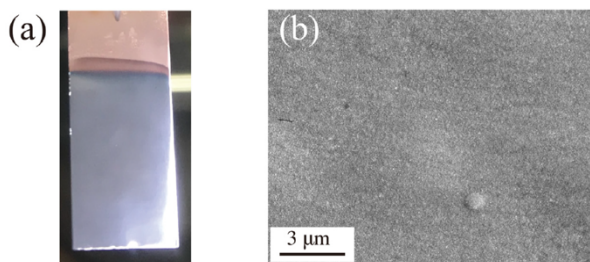


図 3 グライム浴から得られた平滑 Fe めっき物の (a) 外観写真と (b) SEM 像

グライム浴からの平滑 Fe めっきでは、 FeCl_2 の溶解性と電析挙動を調査した。本系はグライム系 Al 電析浴に鉄イオンが混入した場合であるとも捉えられる。すなわち、鉄イオンの混入により Al 電析が阻害されるという知見が得られた。Al よりも卑な金属との合金電析は検討に値する。

A-3. 濃厚グライム浴からの高硬度平滑 Al めっき

先行研究で明らかになったように、トリグライム(G3)またはテトラグライム(G4)系電解液は電気化学的に不活性であり、Al 電析が不可能であった(A. Kitada *et al.*, *Electrochim. Acta*, 211, 561-567 (2016).)。よって、電解液の安全性向上のアプローチとして、G2 よりも沸点が高い溶媒を用いるということができない。そこで、塩濃度を増加させることで溶媒活量を低下させる(イオンに未配位のフリーグライムを減少させる)というアプローチを選択した。これは濃厚水溶液において塩濃厚化により自由水の活量を下げることと同様であり⁸⁾、グライム系においても蒸気圧の低下や溶媒の分解耐性向上が期待できる。

以下では AlCl_3 の G2 に対するモル比を $x = \text{AlCl}_3/\text{G2}$ で表記する。先行研究でのモル比 $\text{AlCl}_3:\text{G2} = 1:5$ は $x = 0.2$ となる。室温では $x = 0.45$ 付近で飽和となったが、飽和電解液では長時間の電析の際に沈殿が生じるおそれがある。このため $x = 0.4$ を濃厚電解液として選択し、浴物性や電析挙動を $x = 0.1$ および 0.2 と比較した。

電解液の核磁気共鳴(NMR)測定により、 $x = 0.1, 0.2$ ではこれまで考えられていたイオン性の Al 化学種のほかに、中性の Al 化学種($\text{AlCl}_3 \cdot \text{G2}$)がモル比で 1 割程度存在することがわかった。対して飽和に近い $x = 0.4$ では中性化学種はほぼ見られなかった。粘性は濃度が高いほど増大したのに対し、導電率は $x = 0.2$ で最も高いものの $x = 0.4$ と $x = 0.1$ ではほぼ同等であり、イオン性化学種の濃度上昇による効果が見られた。電析物の結晶配向性は $x = 0.4$ では $\langle 100 \rangle$ 配向、 $x = 0.1, 0.2$ では $\langle 111 \rangle$ 配向と異なる。結晶配向性に中性化学種が関与している可能性がある。

図 4 (次ページ) に各電解液から得られた電析物の外観と SEM 像を示す。濃厚化によって、これまでよりも緻密で平滑性の高い電析物が得られた。図 4a, d のように黒色外観を示す $x = 0.1, 0.2$ の電析物では図 4b, e のように刃状の粒子からなる凹凸の激しい表面形態をとるのに対し、図 4h のように $x = 0.4$ の濃厚電解液から得られた電析物では球状の粒子からなる比較的凹凸の少ない表面形態となり、図 4g のように灰色外観を示した。このような外観と表面形態の対応は、先行研究 (A. Kitada *et al.*, *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.* (表面技術), 69, 310-311 (2018).) の $x = 0.2$ でのパルス電析においても見られており、カソード近傍の活性種濃度と拡散層厚さが重要であると考えられる。ゆえに、濃厚化によって電析物が平滑になった理由として、塩濃度(活性種濃度)の増加および粘性増大によって拡散層が薄くなった可能性が考えられる。加えて図 4c, f, i の断

面 SEM 像からは、 $x=0.1, 0.2$ では空隙が多く見られるのに対し、 $x=0.4$ では空隙が確認されず緻密であることがわかった。電析物が緻密で平滑になったことによる効果として、硬度と耐食性の向上が確認された。また、電析物は非常に小さい結晶子径 (15 nm) をもつバルクナノメタルであり、降伏応力は 715 MPa と見積もられた。

濃厚グライム浴からの高硬度平滑 Al めっきでは、電析物が緻密で平滑になったことによる効果として、硬度と耐食性の向上が確認された。今後の検討課題としては、電析物の焼鈍が機械特性におよぼす影響などが挙げられる。

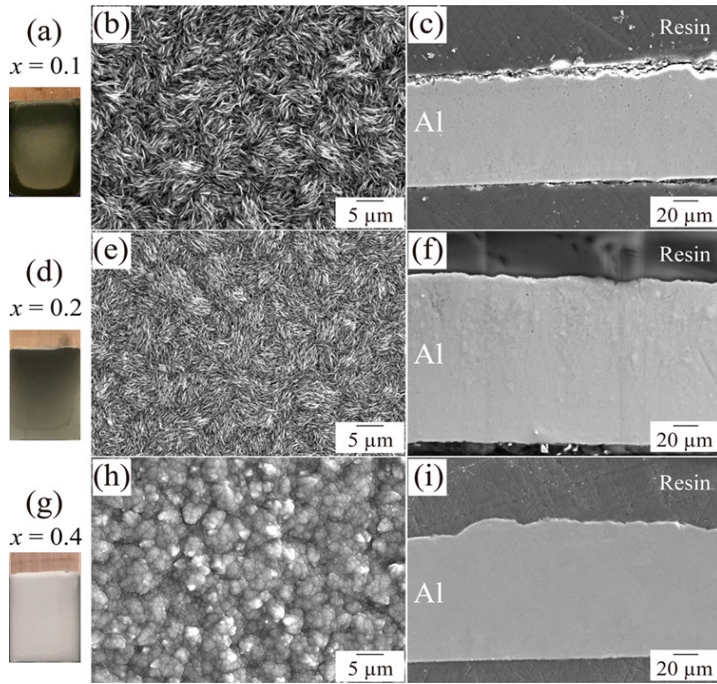


図4 $x=0.1$ (a-c), 0.2 (d-f), 0.4 (g-i) のグライム浴から得られた Al めっき物の外観写真 (a, d, g)、表面 SEM 像 (b, e, h)、および断面 SEM 像 (c, f, i)

B, C その他電解液・電析浴への展開

研究期間中の当初の計画以上の進展として、これまでに見出した電解液がいくつかある。そのイメージ図を図5にまとめた。

B. hydrate melt を用いる新しい電析技術の開拓 (図5b)

塩化カルシウム・6水和物は室温で溶融する hydrate melt (水和熔融塩) である。自由水がほとんど存在しないため、「普通の」水溶液 (図5a) よりも優れた溶解度や電気化学的安定性を有する。hydrate melt を用いる電析研究は、本研究課題における電析研究のキーワードである「安価・安全・室温」に合致するものである。新しい3価クロムめっき浴や鉛電析浴などを見出した。

C. グライムに類似したクラウンエーテルを用いる新規イオン液体 (図5c)

直鎖構造のグライムを環状にしたクラウンエーテルを用いて新しいイオン液体を合成し、その物性を調べた。これは従来のイオン液体 (図5d) とはカチオン構造が異なり、プロトン伝導性をもつ配位型カチオンを採用している。 H_3O^+ (ヒドロニウム) イオンをクラウンエーテルに配位させた「ヒドロニウム溶媒和イオン液体」では、プロトンが溶媒よりも速く動くという特異な高速伝導を見出した。 NH_4^+ (アンモニウム) イオンをクラウンエーテルに配位させた「アンモニウム溶媒和イオン液体」では、 10 mS cm^{-1} の高導電率を 150°C で達成した。グライムに類似した非水系電解液をあつかった経験は本研究を遂行する上で有利に働いた。

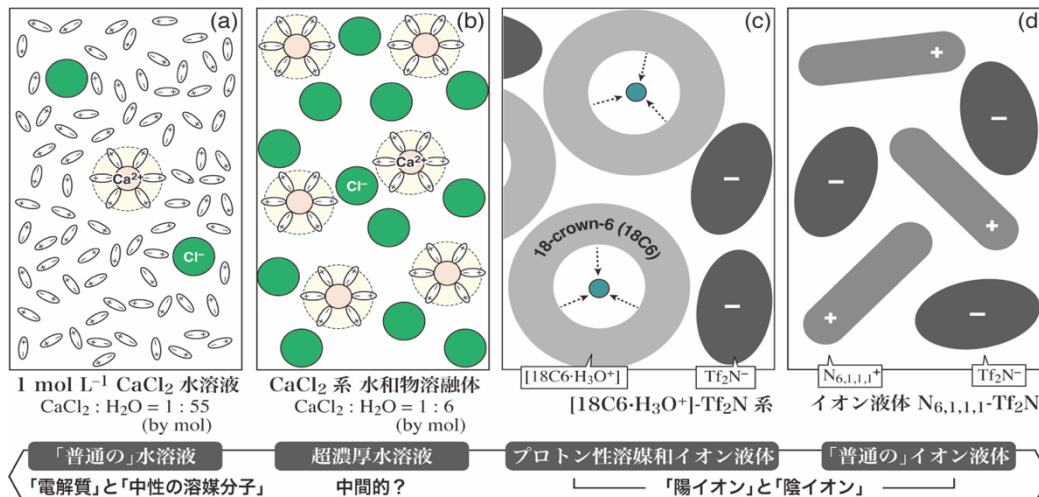


図5 各電解液のイメージ図 (実際の実体積をほぼ反映させて描画)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Fukami Kazuhiro, Sakurai Akihiro, Tsujimoto Takamitsu, Yamagami Masaki, Kitada Atsushi, Morimoto Kota, Nishioka Kiho, Nakanishi Shuji, Yoshikane Yusuke, Nagao Toshimitsu, Katayama Jun-ichi, Murase Kuniaki	4. 巻 136
2. 論文標題 Macroscopically uniform and flat lithium thin film formed by electrodeposition using multicomponent additives	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrochemistry Communications	6. 最初と最後の頁 107238 ~ 107238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elecom.2022.107238	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 MIYAMOTO Masayuki, KITADA Atsushi, ADACHI Ken, FUKAMI Kazuhiro, MURASE Kuniaki	4. 巻 137
2. 論文標題 Lead Electrodeposition from Highly Concentrated Calcium Chloride Aqueous Solutions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of MMIJ	6. 最初と最後の頁 103 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2473/journalofmmij.137.103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kitada Atsushi, Koujin Yoshiki, Shimizu Masahiro, Kawata Kio, Yoshinaka Chiaki, Saimura Masayuki, Nagata Takashi, Katahira Masato, Fukami Kazuhiro, Murase Kuniaki	4. 巻 168
2. 論文標題 Glyme-Lithium Bis(trifluoromethylsulfonyl)amide Super-concentrated Electrolytes: Salt Addition to Solvate Ionic Liquids Lowers Ionicity but Liberates Lithium Ions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 090521 ~ 090521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/ac239c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawata Kio, Kitada Atsushi, Fukami Kazuhiro, Saimura Masayuki, Nagata Takashi, Katahira Masato, Murase Kuniaki	4. 巻 168
2. 論文標題 An Ammonium Solvate Ionic Liquid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 026515 ~ 026515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/abe512	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kitada Atsushi, Kawata Kio, Shimizu Masahiro, Saimura Masayuki, Nagata Takashi, Katahira Masato, Fukami Kazuhiro, Murase Kuniaki	4. 巻 168
2. 論文標題 Ligand Exchange Conduction of Lithium Ion in a Pentaglyme-Lithium Bis(trifluoromethylsulfonyl)amide Super-Concentrated Electrolyte	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 016506 ~ 016506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/abda03	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawata Kio, Kitada Atsushi, Tsuchida Naoki, Saimura Masayuki, Nagata Takashi, Katahira Masato, Fukami Kazuhiro, Murase Kuniaki	4. 巻 23
2. 論文標題 Proton conduction in hydronium solvate ionic liquids affected by ligand shape	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 449 ~ 456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CP05025C	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoguchi Shota, Kitada Atsushi, Fukami Kazuhiro, Murase Kuniaki	4. 巻 167
2. 論文標題 Basal-Plane Orientation of Zn Electrodeposits Induced by Loss of Free Water in Concentrated Aqueous Solutions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 162511 ~ 162511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/abd2d8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Zelei, Kitada Atsushi, Gao Si, Fukami Kazuhiro, Tsuji Nobuhiro, Yao Zhengjun, Murase Kuniaki	4. 巻 12
2. 論文標題 A Concentrated AlCl ₃ -Diglyme Electrolyte for Hard and Corrosion-Resistant Aluminum Electrodeposits	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 43289 ~ 43298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaami.0c12602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhang Zelei, Kitada Atsushi, Fukami Kazuhiro, Yao Zhengjun, Murase Kuniaki	4. 巻 348
2. 論文標題 Electrodeposition of an iron thin film with compact and smooth morphology using an ethereal electrolyte	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 136289 ~ 136289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.136289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 KITADA Atsushi, KURIHARA Masato, TAKAI Ryota, FUKAMI Kazuhiro, MURASE Kuniaki	4. 巻 71
2. 論文標題 Black-colored Metallic Aluminum Obtained by Electrolytic Etching in a Highly Concentrated LiTf ₂ Aqueous Solution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Surface Finishing Society of Japan	6. 最初と最後の頁 376 ~ 378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4139/sfj.71.376	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawata Kio, Kitada Atsushi, Tsuchida Naoki, Saimura Masayuki, Nagata Takashi, Katahira Masato, Fukami Kazuhiro, Murase Kuniaki	4. 巻 167
2. 論文標題 Suppression of Fast Proton Conduction by Dilution of a Hydronium Solvate Ionic Liquid: Localization of Ligand Exchange	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 046508 ~ 046508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/ab75fc	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Adachi Ken, Kitada Atsushi, Fukami Kazuhiro, Murase Kuniaki	4. 巻 338
2. 論文標題 Crystalline chromium electroplating with high current efficiency using chloride hydrate melt-based trivalent chromium baths	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 135873 ~ 135873
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.135873	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Zelei, Kitada Atsushi, Chen Tianyu, Fukami Kazuhiro, Shimizu Masahiro, Arai Susumu, Yao Zhengjun, Murase Kuniaki	4. 巻 816
2. 論文標題 Dispersion of multiwalled carbon nanotubes into a diglyme solution, electrodeposition of aluminum-based composite, and improvement of hardness	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 152585 ~ 152585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2019.152585	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawata Kio, Kitada Atsushi, Tsuchida Naoki, Saimura Masayuki, Nagata Takashi, Katahira Masato, Fukami Kazuhiro, Murase Kuniaki	4. 巻 167
2. 論文標題 Suppression of Fast Proton Conduction by Dilution of a Hydronium Solvate Ionic Liquid: Localization of Ligand Exchange	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 046508 ~ 046508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/ab75fc	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Adachi Ken, Kitada Atsushi, Fukami Kazuhiro, Murase Kuniaki	4. 巻 338
2. 論文標題 Crystalline chromium electroplating with high current efficiency using chloride hydrate melt-based trivalent chromium baths	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 135873 ~ 135873
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.135873	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Zelei, Kitada Atsushi, Chen Tianyu, Fukami Kazuhiro, Shimizu Masahiro, Arai Susumu, Yao Zhengjun, Murase Kuniaki	4. 巻 816
2. 論文標題 Dispersion of multiwalled carbon nanotubes into a diglyme solution, electrodeposition of aluminum-based composite, and improvement of hardness	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 152585 ~ 152585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2019.152585	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計25件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 北田 敦、川田稀士、深見一弘、邑瀬邦明
2. 発表標題 プロトン性溶媒和イオン液体のイオン伝導
3. 学会等名 第11回イオン液体討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北田 敦、張 澤磊
2. 発表標題 グライム浴からの金属めっき
3. 学会等名 表面技術協会第144回講演大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zelei Zhang, Atsushi Kitada, Kazuhiro Fukami, Kuniaki Murase
2. 発表標題 A concentrated AlCl ₃ - diglyme electrolyte for hard and corrosion-resistant aluminum electrodeposits
3. 学会等名 INTERFINISH2020（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北田 敦
2. 発表標題 新しい濃厚水溶液からの金属電析
3. 学会等名 表協北海道支部 2021北海道夏期セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉兼 祐介, 瀬戸 寛生, 片山 順一, 長尾 敏光, 大澤 燎平, 北田 敦, 邑瀬 邦明
2. 発表標題 2022 年度論文賞受賞記念講演会 濃厚塩化カルシウム水溶液からの硬質3価クロムめっき
3. 学会等名 表面技術協会第144回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北田 敦
2. 発表標題 ハロゲン化物系濃厚水溶液を用いる金属電析
3. 学会等名 表面技術協会 将来めっき技術検討部会 第40回例会 “表面技術の新しい展開” (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北田 敦
2. 発表標題 濃厚金属ハロゲン化物水溶液からの電析
3. 学会等名 京都府鍍金工業組合青年部「鍍秀会」2月例会 先端技術セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zelei Zhang, Atsushi Kitada, Kazuhiro Fukami, Kuniaki Murase
2. 発表標題 Electrodeposition of Void-free Nanostructured Aluminum from AlCl ₃ -diglyme Electrolyte
3. 学会等名 PRIME2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北田 敦
2. 発表標題 非水系と擬水系電析浴の探索
3. 学会等名 関西電気化学研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北田 敦
2. 発表標題 濃厚金属ハロゲン化物水溶液からの電析
3. 学会等名 表面技術協会 めっき部会 9月例会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北田 敦
2. 発表標題 ハロゲン化物系濃厚水溶液を用いる金属電析
3. 学会等名 表協エレクトロニクス部会 - 電化ナノ・マイクロファブリケーション研究会 合同研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北田 敦
2. 発表標題 多価金属二次電池用電解液の材料化学
3. 学会等名 山口大学新エネルギー研究会 令和元年度講演会 次世代電気化学蓄電デバイスの材料設計（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北田 敦
2. 発表標題 濃厚金属ハロゲン化物水溶液からの電析
3. 学会等名 京都府鍍金工業組合青年部「鍍秀会」2月例会 先端技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>京都大学 / 材質制御学研究室 http://www.echem.mtl.kyoto-u.ac.jp/index.html 濃厚水溶液で環境負荷の少ない金属めっきを実現！ - 京都大学桂図書館 研究シーズ・カタログ https://seeds.t.kyoto-u.ac.jp/seeds/kitada/ 京都大学 / 材質制御学研究室 / 北田敦 http://www.echem.mtl.kyoto-u.ac.jp/index_kitada.html researchmap 北田 敦 (Kitada Atsushi) https://researchmap.jp/kitada.atsushi1985</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	邑瀬 邦明 (Murase Kuniaki) (30283633)	京都大学・工学研究科・教授 (14301)	
研究分担者	深見 一弘 (Fukami Kazuhiro) (60452322)	京都大学・工学研究科・准教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	南京航空航天大学			