

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25620015

研究課題名(和文)電気化学光電子分光によるイオン液体/電極界面近傍の反応拡散層のIn-situ解析

研究課題名(英文)A Novel diffusion mechanism of metal ions at Ionic Liquid/Electrode Interface Studied by In-situ Electrochemical XPS

研究代表者

今西 哲士(Imanishi, Akihito)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：60304036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)： Ag^+ 、 Cu^+ 、 Li^+ などを溶かしたイオン液体とカソード電位を印可した電極界面付近における金属イオンの拡散過程をIn-situ型の電気化学光電子分光法等を用いて調べたところ、欠乏層と名付けた金属イオン濃度の極めて低い領域が数百マイクロメートルに渡って観測された。詳しい解析の結果、この領域の中では、粘度とStokes-Einstein式から予想される拡散よりもはるかに速いホッピング様的高速拡散が起きていることが分かり、新たな拡散モデルを構築した。さらに、不活性イオンなどを加えてホール(ホッピングサイト)濃度を制御することにより、電極近傍における金属イオンの拡散速度を制御することに成功した。

研究成果の概要(英文)：The interface between ionic liquids containing metal ions (Ag^+ , Cu^+ , Li^+) and electrode surface (We especially focused on a diffusion mechanism of metal ions in a diffusion layer under cathodic applied potential.) was investigated using originally developed in-situ electrochemical X-ray photoelectron spectroscopy (EC-XPS). We observed that a wide depletion layer (a layer where a concentration of metal ions is extremely low) was formed close the electrode. By a detailed analysis, we revealed that a depletion layer was formed by the abnormally fast diffusion which is much faster than that expected from the viscosity of ionic liquid and conventional Stokes-Einstein equation. We proposed a novel diffusion model in which metal ions diffuse by a hopping mechanism. Based on this model, we firstly succeeded in controlling a diffusion velocity by adding an inactive ion to an ionic liquid by controlling a concentration of holes (hopping site).

研究分野：物理化学

キーワード：イオン液体 拡散 電極 XPS 高速拡散 ホッピング 金属イオン 界面

1. 研究開始当初の背景

近年、イオン液体はその難燃性や不揮発性といった性質から、蓄電池や燃料電池、電気化学トランジスタ等、様々なデバイスの新しい電解質として注目を集めている。しかし、その一方で電極付近における分子の反応挙動は未解明な点が非常に多い。近年はプローブ顕微鏡やX線回折などを用いた精力的な研究により、電極表面から数 nm 領域以内に形成される電気二重層構造について徐々に明らかになってきているが、それよりも沖合の（電極から数 nm～数百μm）、拡散層領域と呼ばれる領域（電極反応により溶質の濃度がバルクとは異なっている領域）での溶媒分子や溶質の振る舞いの分子論的な研究は、上記デバイスにおける電流挙動に大きな影響を与えるにもかかわらず、あまり手を付けられていない。こうした拡散、および拡散層内での分子挙動は、これまでインピーダンス測定やCV測定など伝統的な電気化学的手法によって解明が続けられてきたが、マクロスコピックな情報が多く、分子論的な検証を行うにはこれらとは異なる分光的手段が欠かせない。

一方、光電子分光法は、界面付近における物質構造や化学状態を知るのに非常に強力なツールであり、これまでも多くの表面・界面研究に使われてきた。イオン液体は一般的に不揮発性のものが多いため、液体でありながらそのまま真空中に入れることが出来る。申請者らはこの性質に着目し、3極系電気化学セル中の電極反応を光電子分光法を用いてその場観察出来るシステムを世界で初めて島津製作所と共同で開発、イオン液体電解液中の電極近傍における反応メカニズムの研究に着手した。

2. 研究の目的

本研究では、In-situ 型の電気化学X線光電子分光法(EC-XPS) (図1) を中心とした新しい手法を用い、分子論的観点から、電極近傍におけるイオン液体溶媒および溶質金属イオンの拡散挙動や拡散層の形成メカニズムを明らかにすることを目的とする。得に、研究代表者が始めて提案したホッピング様的高速拡散モデル (図2) について、詳しい検証、検討を行う。

3. 研究の方法

次の2本の研究を柱として遂行する。2つの項目は互いに密接にリンクしており、同時平行で進めていく。なお、本研究では、申請者の他に、大学院生1名に協力してもらい実験を遂行した。実験装置はすべて当研究グループ所有のもので行った。

(1) クロノアンペロメトリー（電位ステップに対する電流の過度応答解析）およびインピーダンス解析を用いて、負電位印可下（還元条件下）における電極界面イオン液体中の金

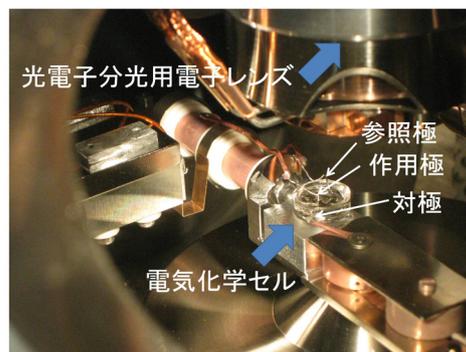


図1：In-situ 型の電気化学X線光電子分光装置 (EC-XPS) の内部。セルは、3極式に対応。セルの上方にX線源と光電子分光器を配置し、電極からの距離をパラメータとして、スペクトル分布を調べる。

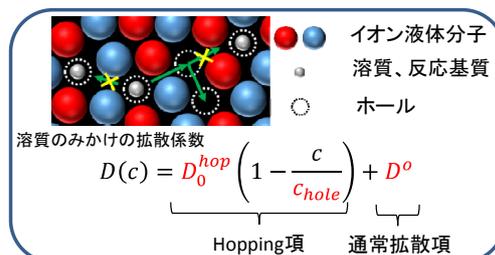


図2：溶質濃度依存する拡散係数と基となるホールモデルの概念図。溶質は、ある一定条件を満たすホールのみの間をホッピング様に渡り歩く。

属イオン拡散メカニズムについて研究を行った。クロノアンペロメトリーの実験結果に、申請者らがモデル化したみかけの拡散係数 $D(c)$ （ここで c は、拡散する溶質の濃度）を用いて得られた電流の時間変化の関数 $i(t)$ をパラメータフィッティングし（モデルは図2参照）、 $D(c)$ が含む3つの重要なパラメータ、 D_0^{hop} 、 c_{hole} （溶質分子が移動出来るのに十分な大きさをもつホールの濃度）および D^o を算出した。BMI カチオンを有するイオン液体（アニオンには、TFSA⁻、BF₄⁻、PF₆⁻等）を中心に用い、また、金属イオンは、Ag⁺、Li⁺、Cu⁺などを用いて、イオン半径の大きさや電荷の違いなどを検証した。

(2) In-situ XPS を用いた電極近傍における拡散層のその場観察と形成メカニズムの解明：

研究代表者が世界で初めて開発した In-situ 型X線光電子分光装置 (EC-XPS) を用い、拡散層領域における①溶質の濃度空間分布、②金属イオンまわりのイオン液体分子配位構造（緩和構造）③電場の影響などによるイオン液体分子の配向構造（分極構造）を調べる。これらの実験と先のクロノアンペロメトリーで得られた拡散係数を用いて、拡散層形成プロセスのシミュレーションを行い、実験結果（①の濃度依存性のプロファイル）と比較することにより、拡散層形成メカニズムを明らかにした。

4. 研究成果

(1) イオン液体BMI-TFSA中におけるAg⁺イオンの拡散挙動：

クロノアンペロメトリーおよび、In-situXPSを用いて、電極近傍（拡散層内）におけるAg⁺, Cu⁺, Li⁺等の金属イオンのBMI-TFSA内における拡散挙動を調べた。

① Ag⁺ vs. Li⁺

Ag⁺溶液においては、100 μm程度の欠乏層（Ag⁺濃度が非常に低い領域）が観測され、この中で高速拡散が観測された。解析の結果、得られたホッピング拡散係数 (D_{hop}) は、通常の拡散係数よりも一桁以上大きなものであり、電極付近において、非常に効率的な拡散が起きていることが分かる。一方で、Li⁺イオンを溶質とした場合においても、同様な高速拡散が観測された。得られたホッピング拡散係数 (D_{hop}) は、Ag⁺のその5倍程度もあるものであり、更に高速な拡散でLi⁺イオンが移動していることが分かった。さらに、ホッピングサイトであるホール濃度 (C_{hole}) に関しては、Li⁺の方がAg⁺よりも20~30%程度大きいことが分かった。これは、イオンサイズがLi⁺イオンの方が小さいために、実際に利用出来るホール濃度 (C_{hole} とは、このことを指す) が多くなったためであると考えられる。

② Ag⁺ vs. Cu⁺

Cu⁺についても、同様の実験を遂行し、比較を行った。その結果、Ag⁺と比べて2倍程度の欠乏層領域が観測された（Ag⁺の場合、200 μm程度であるが、Cu⁺の場合、400 μmもある。）。詳しい解析の結果、拡散係数に含まれる D_{hop} , C_{hole} などのパラメータがAg⁺のそれらとは大きく異なることが分かった。

これらの結果は、研究代表者が提案しているモデルの描像とも非常によく一致していると同時に、イオンサイズがホッピング様の高速拡散過程に大きく影響することを示している。

(2) 拡散挙動の温度依存性

ホッピング特有の温度依存性を調べるために、数種類のイオン液体と溶質金属イオン（主にAg⁺イオン）を用いて、イオン液体代々駅温度を変化させた時の、拡散係数ならびにそれに含まれる各物理パラメータについて調べた。

その結果、通常拡散挙動に対応するとしたパラメータ D は、たしかにStokes-Einstein式に載ることを確認し、また、ホッピング様の拡散係数 D_{hop} に関しては、ホール濃度との比の値 (D_{hop} / C_{hole}) の対数が、溶液温度の逆数 ($1/T$) に比例することが分かった。このことは、固体中で用いられる物質のホッピング拡散挙動と酷似していることを示している。また、さらに、この比例係数から、ホッピングエンタルピー（ホッピング拡散の際の障壁ポテンシャル）を調べたところ、通常の固体中における物質拡散のそれよりも、一桁近く小さな値をとることが分かった。このこ

とは、イオン液体中のホッピング拡散による拡散速度が非常に速いことを示している。

さらに、重要な物理パラメータである D_{hop} と C_{hole} の温度依存性についても明らかにした。その結果、 D_{hop} は、温度増加に対してリニアに増加していくことが分かった。このことは、温度増加によって、隣のサイトへ移る頻度（ホッピング頻度）が温度増加に伴い増加したためと考えられる。一方で、ホール濃度 (C_{hole}) については、温度増加に対して減少する傾向が観察された。このメカニズムについてはまだ未解明が部分が多々あるが、ホール寿命との関連性を念頭において現在も解明を進めているところである。

(3) 拡散プロセスの制御

これらの知見をもとに、拡散プロセス（拡散速度）の制御を試みた。上記、研究結果によりホール濃度を小さくすることによって、ホッピング様拡散による拡散プロセスが抑制され、通常拡散による拡散プロセスが支配的になってくる。通常拡散の拡散係数はホッピング拡散のそれよりも一桁近く小さいので、全体の速度は下がることになる。そこで、不活性イオンとしてLi⁺イオン（実験を行った電位下では、Li⁺は電極反応を起こさない）をAg⁺/BMI-TFSA水溶液に少量混入させ、その際の拡散層の厚みや、拡散係数を観察した。その結果、Li⁺を混入することによって、ホッピング拡散特有の欠乏層の厚みが大きく減少し、通常拡散係数が支配的な拡散プロセスが観測された。これは、加えたLi⁺イオンが、ホッピングサイトであるホールを埋めることによって、有効なホール濃度が減少したことによるものである。

これによって、電極付近における拡散速度の制御が可能になった。このことを、材料作りに応用すべく、Agの電析を行った。添加物がないAg⁺/BMI-TFSA溶液中とこれにLi⁺イオンを加えた溶液中でAg電析を行ったところ、電析物の形状に大きな違い見られた。このことは、電極付近における拡散速度を変えることによって、電析プロセス中の速度論支配と熱力学的支配のバランスを制御し、電析物の形状をコントロールしたことに他ならない。今後は、こうした制御法をさらに厳密化することによって、様々な物性を引き出し、新規デバイス等の応用分野へも展開していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計26件）

- 1) 今西哲士, “イオン液体特有の局所構造とその反応場を利用した量子線還元 Au 微粒子形成”, 日本化学会コロイドおよび界面化学部会, Colloid & Interface Communication, vol.40(2015)No.1, p.9-12., 査読有
- 2) Y. Yokota, S. Akiyama, Y. Kaneda, A. Imanishi, K. Inagaki, Y. Morikawa, and K. Fukui

- “Density Functional Theory Investigations of Ferrocene-Terminated Self-Assembled Monolayers: Electronic State Changes Induced by Electric Dipole Field of Coadsorbed Species”, *J. Phys. Chem. C*, in press., DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b00812, 査読有
- 3) Yasuyuki Yokota, Hisaya Hara, Yusuke Morino, Ken-ichi Bando, Sakurako Ono, Akihito Imanishi, Yugo Okada, Hiroyuki Matsui, Takafumi Uemura, Jun Takeya and Ken-ichi Fukui, "Gradual improvements of charge carrier mobility at ionic liquid/rubrene single crystal interfaces", *Appl. Phys. Lett.*, 108(2016)083113., DOI:10.1063/1.4942676, 査読有
- 4) Yasuyuki Yokota, Yoshitada Mino, Yuta Kanai, Toru Utsunomiya, Akihito Imanishi, Ken-ichi Fukui, “Electronic-State Changes of Ferrocene-Terminated Self-Assembled Monolayers Induced by Molecularly Thin Ionic Liquid Layers: A Combined Atomic Force Microscopy, X-ray Photoelectron Spectroscopy, and Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy Study”, *J. Phys. Chem. C*, 119(2015)18467-18480., DOI:10.1021/acs.jpcc.5b05682, 査読有
- 5) Tetsuya Tsuda, Yuichi Ikeda, Akihito Imanishi, Shohei Kusumoto, Susumu Kuwabata, Gery R. Stafford, Charles L. Hussey “Electrodeposition of Al-W-Mn Ternary Alloys from the Lewis Acidic Aluminum Chloride-1-Ethyl-3-methylimidazolium Chloride Ionic Liquid”, *J. Electrochem. Soc.* 162(2015)D1-D7., DOI:10.1149/2.0051509jes, 査読有
- 6) Yasuyuki Yokota, Hisaya Hara, Yusuke Morino, Ken-ichi Bando, Akihito Imanishi, Takafumi Uemura, Jun Takeya, Ken-ichi Fukui, "Molecularly Clean Ionic Liquid/Rubrene Single-Crystal Interfaces Revealed by Frequency Modulation Atomic Force Microscopy", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 17(2015)6794-6800., DOI:10.1039/C4CP06041E, 査読有
- 7) Hiro Minamimoto, Haruyasu Irie, Taro Uematsu, Tetsuya Tsuda, Akihito Imanishi, Shu Seki, Susumu Kuwabata, "Fine Patterning of Silver Metal by Electron Beam Irradiation onto Room-Temperature Ionic Liquid", *Chem. Lett.*, 44(2015)312-314., DOI:10.1246/cl.141037, 査読有
- 8) Hiro Minamimoto, Haruyasu Irie, Taro Uematsu, Tetsuya Tsuda, Akihito Imanishi, Shu Seki, Susumu Kuwabata, "Polymerization of Room-Temperature Ionic Liquid Monomers by Electron Beam Irradiation with the Aim of Fabricating Three-Dimensional Micropolymer/Nanopolymer Structures", *Langmuir*, 31(2015)4281-4289., DOI:10.1021/la503252p, 査読有
- 9) 今西哲士、福井賢一, “低エネルギー量子線照射還元を利用したイオン液体中での金属微粒子合成”, 触媒学会, 触媒, vol.56(2014),No.1, p.27-33., 査読有
- 10) 今西哲士, “酸化チタン表面での光生成ホールによる水の酸化分解反応機構とその競争的副反応”, 触媒学会, 触媒, vol.56(2014)No 2, p.95-101., 査読有
- 11) Yasuyuki Yokota, Hisaya Hara, Yusuke Morino, Ken-ichi Bando, Akihito Imanishi, Takafumi Uemura, Jun Takeya, Ken-ichi Fukui “Clean surface processing of rubrene single crystal immersed in ionic liquid by using frequency modulation atomic force microscopy”, *Applied Physics Letters*, 104(2014)263102., DOI:10.1063/1.4886154, 査読有
- 12) Ken-ichi Fukui, Yasuyuki Yokota, Akihito Imanishi, “Local Analyses of Ionic Liquid / Solid Interfaces by Frequency-Modulation Atomic Force Microscopy and Photoemission Spectroscopy”, *The Chemical Record*, 14(2014)964-973., DOI:10.1002/tcr.201402032, 査読有
- 13) Tetsuya Tsuda, Yuichi Ikeda, Takashi Arimura, Masaki Hirogaki, Akihito Imanishi, Susumu Kuwabata, Gery R. Stafford, Charles L. Hussey, “Electrodeposition of Al-W Alloys in the Lewis Acidic Aluminum Chloride-1-Ethyl-3-Methylimidazolium Chloride Ionic Liquid”, *J. Electrochem. Soc.* 161(2014)D405-D412., DOI:10.1149/2.016409jes, 査読有
- 14) Yasuyuki Yokota, Yoshitada Mino, Yuta Kanai, Toru Utsunomiya, Akihito Imanishi, Matthäus A. Wolak, Rudy Schlaf, Ken-ichi Fukui “Comparative Studies of Photoelectron Spectroscopy and Voltammetry of Ferrocene-Terminated Self-Assembled Monolayers Possessing Different Electron-Donating Abilities”, *J. Phys. Chem. C*, 118(2014)10936-10943., DOI:10.1021/jp5023899, 査読有
- 15) Tetsuya Tsuda, Masaki Yamagata, Shohei Kusumoto, Akihito Imanishi, Itsuki Kokubo, Susumu Kuwabata, “Electrochemical Energy Storage Device with a Lewis Acidic AlBr₃-1-Ethyl-3-methylimidazolium Bromide Room-Temperature Ionic Liquid”, *J. Electrochem. Soc.* 161(2014)A908-A914., DOI:10.1149/2.029406jes, 査読有
- 16) Akihito Imanishi, Ken-ichi Fukui, “Atomic-scale Surface Local Structure of TiO₂ and its Influence on the Water Photooxidation Process”, *J. Phys. Chem. Lett. (perspective)*, 5(2014)2108-2117., DOI:10.1021/jz5004704, 査読有
- 17) Etsushi Tsuji, Ken-ichi Fukui, Akihito Imanishi, “Influence of Surface Roughening of Rutile Single Crystalline TiO₂ on Photocatalytic Activity for Oxygen Photoevolution from Water in Acidic and Alkaline Solutions”, *J. Phys. Chem. C*, 118(2014)5406-5413.,

DOI:10.1021/jp4126073, 査読有

18) Yusuke Morino, Yuta Kanai, Akihito Imanishi, Yasuyuki Yokota, Ken-ichi Fukui, "Fabrication of Ionic Liquid Ultrathin Film by Sequential Deposition Method", Jpn. J. Appl. Phys., 53(2014)05FY01.

DOI:10.7567/JJAP.53.05FY01, 査読有

19) Tomohiro Harada, Yasuyuki Yokota, Akihito Imanishi, Ken-ichi Fukui, "Preferential Formation of Layered Structure of Ionic Liquid at Ionic Liquid Aqueous Solution / Graphite Electrode Interfaces Observed by Frequency-Modulation Atomic Force Microscopy", e-J. Surf. Sci. Nanotechnol., 12(2014)89-96. DOI:10.1380/ejssnt.2014.89, 査読有

20) Susumu Kuwabata, Hiro Minamimoto, Kosuke Inoue, Akihito Imanishi, Ken Hosoya, Hiroshi Uyama, Tsukasa Torimoto, Tetsuya Tsuda, and Shu Seki, "Three-dimensional micro/nano-scale structure fabricated by combination of non-volatile polymerizable RTIL and FIB irradiation", Scientific Reports, 4(2014)3722: DOI: 10.1038/srep03722., 査読有

21) 今西哲士, "TiO₂ 電極表面の原子レベル局所構造と光水分解反応過程に及ぼす影響", 電気化学会, Electrochemistry, vol.2(2013), 2月号, p.108-112., 査読有

22) 今西哲士, "半導体電極を用いた光電気化学測定"電気化学/インピーダンス測定のノウハウと正しいデータ解釈, 技術情報協会 2013年5月, p.25-33., 査読有

23) 今西哲士, "TiO₂ 電極表面上における光水分解反応メカニズム ~競争的副反応と原子レベル表面局所構造の影響~"光化学, 光化学協会, vol.44(2013), 8月号, p.81-85., 査読有

24) Yasuyuki Yokota, Hisaya Hara, Tomohiro Harada, Akihito Imanishi, Takafumi Uemura, Jun Takeya and Ken-ichi Fukui, "Structural investigation of ionic liquid / rubrene single crystal interfaces by using frequency-modulation atomic force microscopy", Chem. Commun, 49(2013)10596-10598. DOI:10.1039/c3cc45338c, 査読有

25) Tetsuya Tsuda, Koshiro Kondo, Masahiro Baba, Shotaro Suwa, Yuichi Ikeda, Taiki Sakamoto, Satoshi Seino, Hiroyuki Yoshida, Masanori Ozaki, Akihito Imanishi, Susumu Kuwabata, "Physicochemical properties of 1-alkyl-3-methylimidazolium chloride-urea melts", Electrochimica Acta, 100(2013)285-292. DOI:10.1016/j.electacta.2012.05.156, 査読有

26) Tetsuya Tsuda, Yuichi Ikeda, Takashi Arimura, Akihito Imanishi, Susumu Kuwabata, Charles L. Hussey and Gery R. Stafford, "Al-W Alloy Deposition from Lewis Acidic Room-Temperature Chloroaluminate Ionic Liquid", ECS Transactions 50(2013)239-250., DOI:10.1149/05011.0239ecst, 査読有

[学会発表] (計 19 件)

1) Akihito Imanishi, "A Novel diffusion mechanism of metal ions at Ionic Liquid / Electrode Interface Studied by In-situ Electrochemical XPS", 227th ECS (The Electrochemical Society) Meeting & Electrochemistry Energy Summit, Chicago, May, 27, 2015 (招待講演)

2) 今西 哲士, "In-situ 型電気化学光電子分光装置を用いた電極界面における分子挙動観察", 界面分析懇談会, 島津製作所秦野工場, 2015年6月18日 (招待講演)

3) 楠本将平, 廣垣匡紀, 津田哲哉, 桑畑進, 福井賢一, 今西哲士, "In-situ型電気化学光電子分光法を用いたイオン液体/電極界面における溶質金属イオンの拡散メカニズムの解明", 第6回イオン液体討論会, 京都, 2015年10月26-27日

4) Nao Miyaguchi, Koji Takagi, Ken-ichi Fukui and Akihito Imanishi, "Influence of Nano-structuring of Gold Electrode on the Capacitance in Ionic Liquid", 3rd Kansai Nanoscience and Nanotechnology and 11th Handai Nanoscience and nanotechnology International Symposium, Osaka, December 8, 2015

5) 楠本将平, 廣垣匡紀, 津田哲也, 桑畑進, 福井賢一, 今西哲士, "In situ 電気化学光電子分光法を用いたイオン液体/電極界面近傍での溶質金属イオン拡散メカニズムの解明", 第3回関西電気化学研究会, 京都, 2015年12月12日

6) 宮口奈穂, 高木康司, 福井賢一, 今西哲士, "電気化学インピーダンス法を用いたナノ構造化 Au 電極表面におけるイオン液体の状態解析", 第3回関西電気化学研究会, 京都, 2015年12月12日

7) 宮口奈穂, 高木康司, 福井賢一, 今西哲士, "Au 電極表面ナノスケール構造が界面イオン液体の電気二重層形成に及ぼす効果", 電気化学会第83回大会, 2016年3月29日

8) 楠本将平, 廣垣匡紀, 津田哲哉, 桑畑進, 福井賢一, 今西哲士, カソード電位印加下におけるイオン液体拡散層内での Ag⁺イオンの拡散機構と Li⁺イオン添加効果, 電気化学会第82回大会, 神奈川, 2015年3月16日

9) Shohei Kusumoto, Masaki Hirogaki, Tetsuya Tsuda, Susumu Kuwabata, Ken-ichi Fukui, and Akihito Imanishi, "Novel diffusion mechanism of Ag⁺ ions at Electrode/Ionic Liquid Interface ~ Additive effect of Li⁺ ions ~", 2nd KANSAI Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Osaka, December 10, 2014

10) 宮本 洋雄, 横田 泰之, 今西 哲士, 稲垣耕司, 森川 良忠, 福井 賢一, "古典分子動力学法を用いたイオン液体/基板界面におけるイオン液体の局所構造解析", 第34回表面科学学術講演会, 島根, 2014年11月7日

11) Akihito Imanishi, Masaki Hirogaki, Tetsuya Tsuda, Susumu Kuwabata, Ken-ichi Fukui, "Diffusion behavior of metal ions at Ionic Liquid/Electrode Interface during Electrodeposition Studied by In-situ Electrochemical XPS", The 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Shimane, November 3, 2014

12) 福井 賢一, 廣垣 匡紀, 楠本 将平, 津田 哲哉, 桑畑 進, 今西 哲士, "光電子分光による濃度分布解析に基づくイオン液体中での溶質の拡散機構", 第 114 回触媒討論会, 広島, 2014 年 9 月 26 日

13) 紀本千智, 有村孝, 津田哲哉, 桑畑進, 福井賢一, 今西哲士, "ナノ細孔内のイオン液体を反応場とした X 線還元金属微粒子形成の金属イオン依存性", 2014 年電気化学秋季大会, 北海道, 2014 年 9 月 27 日

14) Akihito Imanishi, "Formation of Metal Nanoparticles in Ionic Liquids By Low-Energy Quantum Beam Irradiation Technique", the 225th ECS Meeting, Orland, May 14, 2014 (招待講演)

15) Chisato Kimoto, Takashi Arimura, Tetsuya Tsuda, Susumu Kuwabata, Ken-ichi Fukui, and Akihito Imanishi, "X-ray-induced formation of metal particles in porous materials filled with ionic liquid ~Characterization of unique local structure of confined IL ~", 1st KANSAI Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Osaka, Feb.3, 2014

16) Masaki Hirogaki, Tetsuya Tsuda, Susumu Kuwabata, Ken-ichi Fukui, Akihito Imanishi, "Analysis of Diffusion Layer at Ionic Liquid/Electrode Interface formed during Electrodeposition by In-situ Electrochemical XPS", ACSIN-12, Tsukuba, Nov. 6, 2013

17) 廣垣 匡紀, 津田哲哉, 桑畑 進, 福井賢一, 今西 哲士, "In-situ 電気化学光電子分光法によるイオン液体電解液中での拡散層の解析", 第 2 回 JACI/GCS シンポジウム, 大阪, 2013 年 6 月 7 日

18) Akihito Imanishi, Toshinori Sakao, Etsushi Tsuji, Ken-ichi Fukui, "Influence of Atomic Level Surface Local Structure on Photo-induced Oxidation Reaction of Water at Single Crystal TiO₂ Surface", 223rd ECS Meeting, Toronto, Canada, May 12-16 2013.

19) Akihito Imanishi, Takashi Arimura, Taiki Sakamoto, Tetsuya Tsuda, Susumu Kuwabata, Ken-ichi Fukui, "Formation of Au particles in nanoconfined ionic liquids by low energy quantum beam irradiation", 5th Congress on Ionic Liquids, Algarve, Portugal, April 21-25 2013.

〔図書〕 (計 2 件)

1) Susumu Kuwabata, Tsukasa Torimoto, Akihito Imanishi and Tetsuya Tsuda

Chapter23 "Use of Ionic Liquid Under Vacuum Conditions", Ionic Liquids - New Aspects for the Future (edited by Jun-ichi Kadokawa), InTech (New York, USA)2013, pp.597-615.

2) 今西哲士

"固液界面と生体：ソフトナノテクノロジー" 問題と解説で学ぶ表面科学, 日本表面科学会編, 共立出版 2013 年 10 月, p.133.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 有機半導体膜の製造方法、製造装置および電気二重層トランジスタ

発明者: 竹谷純一、植村隆文、福井賢一、今西哲士、横田泰之、原援又、森野裕介、坂東賢一

権利者: 国立大学法人東京大学

種類: 特願

番号: 2015-031980

出願年月日: 2015 年 2 月

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/view?u=2749>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今西 哲士 (IMANISHI Akihito)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号: 60304036