

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24年 5月 30日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360369

研究課題名（和文） イオン液体を用いた中低温還元拡散による自然順応型銅族合金薄膜形成法の開拓と応用

研究課題名（英文） Sustainable Formation and Application of Thin Copper Alloy Layers by Reduction-Diffusion at Medium-Low Temperatures Using Ionic Liquid Baths

研究代表者

邑瀬 邦明（MURASE KUNIAKI）

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30283633

研究成果の概要（和文）：スズイオンを含む浴温 150 °C のイオン液体に浸した無電解 Cu めっき膜を陰極とし、電解を行う。するとスズイオンは銅素地表面でスズ原子に還元されると同時に素地内部へと拡散し、Cu 膜は Cu-Sn 金属間化合物となる。金属間化合物には Cu_6Sn_5 と Cu_3Sn の 2 種類があり、電解電位によりこれらを作り分けることができる。本研究ではこのようにして得た Cu_6Sn_5 金属間化合物単相のリチウム電池負極としての特性を調べ、充電深さがサイクル寿命に深くかかわっていることを実証した。また、同様の手法により、電位に依存して種々の色合いの Cu-Zn 金属間化合物相 (α -Cu(Zn), β -CuZn, γ - Cu_5Zn_8) が得られることも明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Layers of Cu-Sn intermetallic compounds were formed by cathodic electrochemical alloying of electroless Cu layers with Sn using an ionic liquid bath containing Sn^{2+} ions at 150 °C. The technique is called “reduction-diffusion (RD)” and the intermetallics formed (*i.e.* Cu_6Sn_5 and Cu_3Sn) were dependent on the alloying potential. In the present work, we investigated the performance of the Cu_6Sn_5 layer as an anode of Li-ion battery. The formation of brass (Cu-Zn alloy) layers was also examined and it was found that Cu-Zn phases, *i.e.* γ - Cu_5Zn_8 , β '-CuZn, and/or α -Cu(Zn), which define the color of the layers, were dependent on applied potential during the alloying.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2010年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2011年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：材料電気化学

科研費の分科・細目：材料工学・金属生産工学

キーワード：イオン液体、還元拡散、合金形成、リチウムイオン電池、負極材料、薄膜、黄銅、めっき

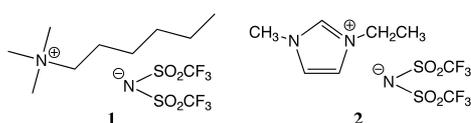
1. 研究開始当初の背景

イオン液体とは、イオン（陽イオンと陰イオン）のみを構成単位とし、室温付近でも液体状態を保つ物質の総称である。多くのイオ

ン液体がもつ特徴は、通常の有機溶媒と異なり事実上蒸気圧がなく（不揮発性）、比較的高い温度領域 100～250 °C（いわゆる中低温）でも分解・燃焼せず熱的に安定なこと（不燃

性)である。また、電気化学的安定性もイオン液体がもつ重要な特徴であり、これを応用した電気化学デバイス(電池など)の研究や、水溶液からは電析できない卑な金属の電析研究が進んでいる。

本研究の代表者(邑瀬)は、疎水性イオン液体の中でも特に、脂肪族4級アンモニウム陽イオンとアミド陰イオンの組み合わせからなる一連の液体が5V以上の非常に広い電位窓を有することにいち早く着目し、その一つであるTMHA-Tf₂N(1)を溶媒として用いた卑な金属の電析研究に着手した。その結果、Mg、Ni、Zn、Cuなど、各金属電析が可能なることを見出した(*Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.*, **29**, 55 (2004); *J. Appl. Electrochem.*, **31**, 1089 (2001))。



このように、イオン液体1は電析溶媒として有望であるが、その欠点として液体の粘性の高さがある。1の室温付近における粘性は水より2桁高く、このような高粘性は、イオンの移動を伴う電析プロセスでは好ましくない。しかし一方で我々は、100°C付近では、1の粘性が室温に比べ一桁以上低下し、その結果、イオン液体中のイオンの移動が改善される(速くなる)ことを見いだした(*J. Appl. Electrochem.*, **37**, 339 (2007))。

こういった背景を踏まえ、研究代表者は、イオン液体を用いる電析技術開発の方向性として「卑な金属の電析」も重要であるが、これとは別の方向性として「中低温における電析用途の開拓」も目指すべきと考えた。水溶液や揮発性の有機溶媒を、中低温で使用するには技術的困難を伴う。また、高い温度の溶媒として従来から研究されてきた「高温溶融塩」は一般に大気開放下で使用することはできない。これに対し、不揮発性で耐熱性に優れた疎水性イオン液体の多くは中低温域の大気中でも安定に使用でき、その際の作業環境もよい。そこで本研究の先行研究(基盤研究(B), No. 19360343)では、イオン液体を用いる中低温プロセスとして、還元拡散法による銅系合金の形成技術に着目した。

還元拡散法とは、金属素地上で別の金属イオンを電気化学的に還元し同時に素地内に拡散させ、1段階で合金形成を行う手法である。例えば、Cu-Sn合金薄膜を形成しようとする際にはまず、水溶液からの電気めっきや無電解めっき等の既存技術を使い、適当な基材表面にCu皮膜を形成する。得られた純Cu皮膜をSn²⁺イオンのみを含む浴に浸漬し、単体Snの析出電位より貴な電位でカソード電解する。その結果、Cu表面でのSn²⁺イオンの

還元拡散が起こりCu-Sn皮膜が形成される。低融点のSnやZnを含む合金系は固相拡散が比較的速く、Cu-SnおよびCu-Zn系では水溶液系での還元拡散による合金化も報告されている。先行研究ではこれを中低温化し、水溶液を使用する場合と比較して速い製膜速度を達成することを目標とした。

その結果、(a)イオン液体1に比べ、イオン液体EMI-Tf₂N(2)のほうが熱的安定性に優れること、(b)定電位法によるCu-Sn合金化において形成相が電位依存性を持ち、Cu₆Sn₅相とCu₃Sn相の「作りわけ」が可能なること、(c)Cu-Zn合金形成では建浴時の亜鉛塩にZnCl₂を用いることで電位が安定すること、などを明らかにした。

2. 研究の目的

本研究では以上を踏まえ、還元拡散法によるCu-SnおよびCu-Zn合金の形成プロセスの最適化、ならびに得られた皮膜の応用に焦点をあてた。Cu-Sn合金皮膜(40~60 wt.% Sn)は、アレルギー誘引性をもつニッケルめっき(金めっきやクロムめっきの下地めっき)の代替として重要である一方、近年はリチウム電池負極材料としても期待されている。そこで、得られたCu-Sn合金皮膜について電気化学的リチウム挿入/脱離試験(すなわち充放電試験)を行い、その特性を評価した。Cu-Zn合金皮膜形成に関しては、種々の定電位で合金化を行い、得られる相を同定し、その形成挙動を熱力学的に考察した。

3. 研究の方法

(1) イオン液体および金属塩

本研究では先行研究を踏まえ、熱的安定性に優れた市販のイミダゾリウム塩EMI-Tf₂N(1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonylethyl)phosphonium; 2)を使用した。スズ(II)のイミド塩Sn(Tf₂N)₂は、対応する酸化物にイミド酸bis[(trifluoromethylsulfonylethyl)amine]を反応させて調製した。塩化亜鉛ZnCl₂は市販のものを用いた。イオン液体中の残留水分の管理には、電量滴定方式カールフィッシャー水分計(備品として購入)を使用した。

(2) 銅素地

本研究では、プロセスの汎用化をめざし、高分子基板表面に無電解めっきで形成したCu薄膜(厚さ0.5 μm)の合金化を試みた。高分子基板には、耐熱性エポキシ基板(日立化成製高Tgエポキシ多層材料MCL-E-679の電解Cu箔層を溶解除去したもの)を用いた。また、無電解めっきには市販のもの(奥野製薬製ATS Addcopper IW)を使用した。

(3) 還元拡散による合金化

還元拡散による合金化では、合金化時のCu素地の電位制御が重要である。例えばCu-Zn

合金形成の場合、単体亜鉛（亜鉛活量 $a_{Zn} = 1$ ）ではなく合金化した亜鉛（ $a_{Zn} < 1$ の亜鉛）が選択的に得られるような一定の電極電位（定電位）に素地の電位を保持する必要がある。具体的には、合金化しようとする Cu 素地を作用電極、金属 Zn 板を対極として、 Zn^{2+} イオンを含むイオン液体に両者を浸漬し、ポテンシostatを使用する三電極法により、Zn 棒の参照電極に対してわずかに貴な電位に Cu 素地を保持した。Cu-Sn 合金形成の場合も同様である。なお、本研究では Cu-Zn 合金化はアルゴン雰囲気グローブボックス中、Cu-Sn 合金化は大気中で行った。グローブボックスは 2009 年度の備品として購入したものである。

(4) 皮膜の解析

得られた皮膜の同定には X 線回折 (XRD) を使用した。表面および断面の観察には走査型電子顕微鏡 SEM を、組成分析にはエネルギー分散型 X 線分析装置 EDX を用いた。

(5) 充放電試験

得られた Cu-Sn 合金皮膜（特に Cu_6Sn_5 皮膜）に関しては、リチウムイオン電池の負極としての特性を評価するため、(a) 電気化学的リチウム挿入/脱離時の構造変化ならびに (b) 定電流充放電試験（リチウム挿入/脱離の繰り返しによる充放電容量変化の調査）を行った。電気化学実験はすべてグローブボックス中で行い、作用極に Cu-Sn 合金皮膜、対極ならびに参照極に市販のリチウム箔をそれぞれ用いた。電解液には ethylene carbonate (EC) と dimethyl carbonate (DMC) を体積比 1:1 で混合した溶媒に $LiPF_6$ を濃度 1 mol dm^{-3} となるように溶解させたもの（市販）を用いた。

4. 研究成果

(1) 樹脂表面への Cu-Zn 合金皮膜形成

図 1 には、種々の合金化電位において時間 24 h の合金化で形成された皮膜の XRD および実体写真をまとめる。電位 +20~+50 mV vs. Zn では、灰色の $\gamma\text{-Cu}_5\text{Zn}_8$ 相の単相が得られた。これに対し、電位 +70~+130 mV では、黄色の皮膜が形成されたが、色合いは合金化電位に応じていくぶん異なり、電位が貴になるとともに金色に近い黄色から赤みをおびた黄色へと変化した。XRD からは、電位 +70~+80 mV で形成された皮膜がほぼ $\beta'\text{-CuZn}$ 相の単相であったのに対し、電位 +90 mV で得られた皮膜は $\beta'\text{-CuZn}$ 相と亜鉛が固溶した $\alpha\text{-Cu}$ 相の混合物、すなわち金に似た色合いをもついわゆる α,β' -黄銅であるとわかった。また、電位 +100~+130 mV の皮膜は亜鉛が固溶した $\alpha\text{-Cu}$ 相のみで、金属間化合物相は形成されていなかった。すなわち、合金化電位が貴になるとともに、形成される合金相は亜鉛活量 a_{Zn} の大きな $\gamma\text{-Cu}_5\text{Zn}_8$ 相から

$\beta'\text{-CuZn}$ 相を経て亜鉛が固溶した $\alpha\text{-Cu}$ 相へと変化しており、このことは熱力学データから予測した各電位での安定相（図 2）とも概ね一致した。

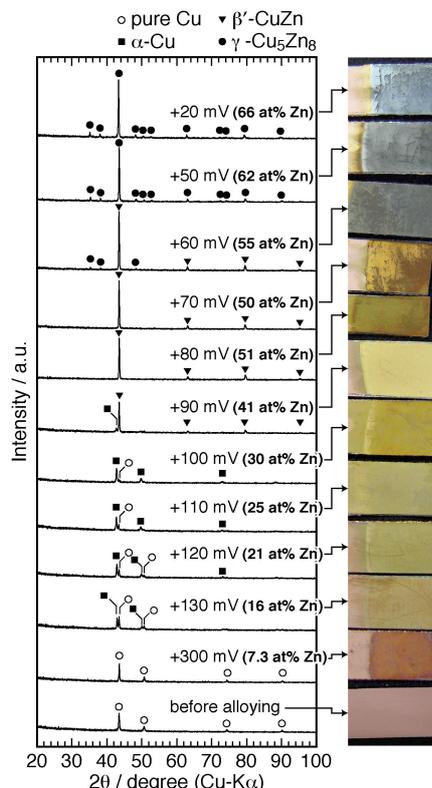


図 1 定電位の還元拡散によりエポキシ樹脂表面に得た Cu-Zn 合金皮膜の実体写真、XRD、ならびに EDX 組成分析結果

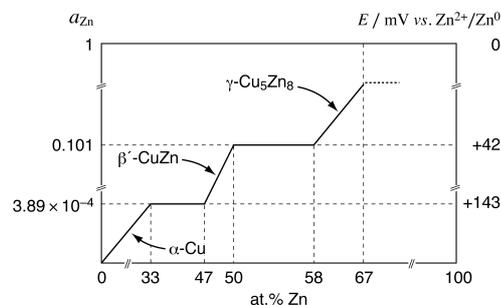


図 2 熱力学データをもとに計算した亜鉛活量 a_{Zn} および合金形成電位と亜鉛組成の関係

なお、電位 +100~+130 mV においても、未反応の Cu 素地由来の回折線（図 1 の○印）が観測され、その強度は電位の上昇（過電圧の低下）とともに増大した。このことは、固相中の原子の拡散速度に加え、合金化時のカソード過電圧も合金形成速度の支配因子であることを示している。

図 3 は、合金化時間を最大で 72 h まで延長した際に、各電位で得られた合金皮膜の組成である。電位 +20 mV および +70 mV での組成は最終的に $\gamma\text{-Cu}_5\text{Zn}_8$ 相および $\beta'\text{-CuZn}$ 相

の組成範囲に落ち着き、これらが各電位での熱力学的平衡相であることを確認した。また、電位 +60 mV では γ -Cu₅Zn₈ 相と β' -CuZn 相の混合相が得られ (図 1 参照)、この 2 相共存状態は合金化時間に依存しなかったことから、これが熱力学的平衡状態であると判断した。このときの組成はいずれも、 γ -Cu₅Zn₈ 相と β' -CuZn 相の 2 相共存領域に位置していた (図 3)。

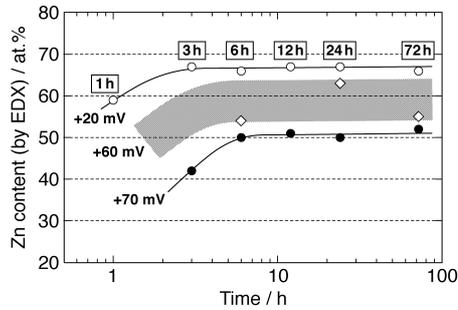


図 3 3つの電位における合金化で得られた Cu-Zn 皮膜の EDX による表面組成

以上に加え、Cu-Zn 合金化に関しては、亜鉛が固溶した α -Cu 相が生成する電位 +100 mV での合金形成挙動を、皮膜の断面観察や深さ方向の組成分析によって解析した。その結果、(a) 最初に形成する無電解銅めっき膜の厚さによって合金形成挙動が異なり、厚い薄膜のほうが拡散が進みにくいこと、(b) 無電解銅めっき膜のほうが電解銅箔に比べ拡散が進みにくく、その原因が結晶性の違いによると思われることを明らかにした。

なお、Cu-Zn 合金化実験は当初、大気雰囲気下で行っていた。しかしながら大気中では合金は得られるものの実験再現性に乏しかった。参照極の金属 Zn の電位がその表面酸化膜のため不安定であることや、成長途中の Cu-Zn 合金表面に酸化皮膜が生じて還元拡散が阻害されることがその原因と考えられた。

(2) Cu-Sn 金属間化合物の負極特性

Cu-Sn 合金 (Cu₆Sn₅ 相と Cu₃Sn 相) はリチウム電池の新しい負極材料として注目されている。この 2 つの相のうち Cu₆Sn₅ 相のみがリチウムの挿入脱離に対して活性であると考えられているが、物理蒸着や熔融法では Cu₆Sn₅ 相の単相が得られにくいため、より詳細な検討が難しい状況にあった。一方、Cu-Zn 合金化の例からも明らかのように、還元拡散法を用いれば合金化電位の制御によって Cu₆Sn₅ 相と Cu₃Sn 相を厳密に「作り分け」できることが先行研究 (基盤研究(B), No. 19360343) からわかっている。そこで本研究ではまず、還元拡散法でエポキシ樹脂表面に形成した Cu₆Sn₅ 相と Cu₃Sn 相の単相薄膜を用い、リチウムの挿入脱離挙動をサイクリックボルタメトリーにより調べた。その結果、Cu₃Sn 相においてもわずかにリチウム挿入ら

しきカソード電流の立ち上がりが見られるものの、Cu₆Sn₅ 相に比して Cu₃Sn 相はほぼ不活性とみてよいレベルであることを明らかにした (図 4)。

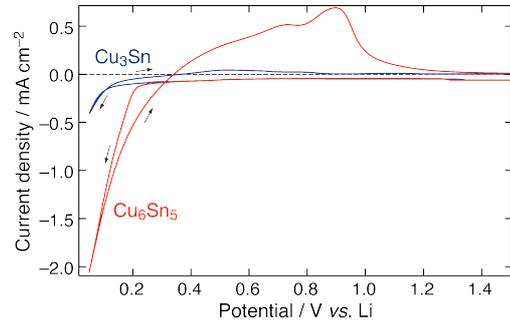


図 4 リチウムイオンを含む EC-DMC (1:1) 電解液中での単相 Cu₆Sn₅ 皮膜のサイクリックボルタモグラム

これを踏まえ、以後は単相 Cu₆Sn₅ 相に対するリチウム挿入/脱離を重点的に調査することにした。

図 5 は Cu₆Sn₅ 単相薄膜を用い、種々の電位 (+0.00 ~ +0.30 V vs. Li) で定電位リチウム挿入 (リチウム化) を行ったあとの薄膜の XRD である。この測定には大気を遮断できる自作のサンプルホルダーを用いた。この結果から、リチウム化が Cu₆Sn₅ → Li₂CuSn → Li_xSn + Cu の 2 段階で進行することを再確認するとともに、(a) 電位 +0.11 ~ +0.30 V における安定相が Li₂CuSn であること、(b) 電位 +0.10 V よりも卑な領域で Li_xSn と Cu への分相が進むことを明らかにした。すなわち、分相が起こる電位域を +0.10 ~ +0.11 V と特定した。

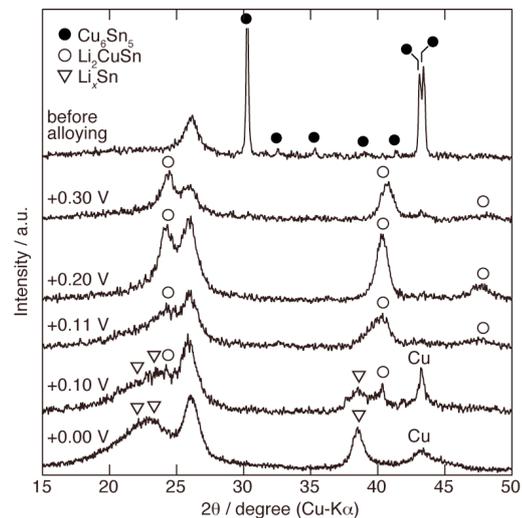


図 5 Cu₆Sn₅ 単相薄膜の定電位リチウム挿入後の XRD

電位 +0.10 V のリチウム挿入によって Li_xSn と Cu へ分相した試料に対し、電位 +1.0 V 以上でリチウム脱離 (脱リチウム化) を行えば、Li₂CuSn をへて Cu₆Sn₅ 相が再生することを確認したが、再生した Cu₆Sn₅ 相の結晶性

は元の Cu_6Sn_5 相に比べて低下した。このように、母相が分相するまで深く充電（リチウム化）を行った場合、電池のサイクル特性は低下することが懸念される。いかにすれば、充電深さを Li_2CuSn 相の生成までで止めれば、サイクル特性は良好になると期待される。

これを検証するため、単相 Cu_6Sn_5 薄膜を作用極として充放電サイクル試験を行った。電流値は $50 \mu\text{A cm}^{-2}$ とした。その結果、充電終了電位を $+0.00 \text{ V}$ に設定して Li_xSn と Cu へ分相するまでの充電を繰り返した場合の充放電容量は 6 ~ 7 サイクル目以降急速に低下したのに対し、充電終了電位を $+0.11 \text{ V}$ に設定して分相を回避した場合には少なくとも 20 サイクルまで理論容量 (Li_2CuSn が生成すると仮定して 275 mAh g^{-1}) が保持されることがわかった。この結果は、 Cu_6Sn_5 相のサイクル寿命を延ばすための指針となる。

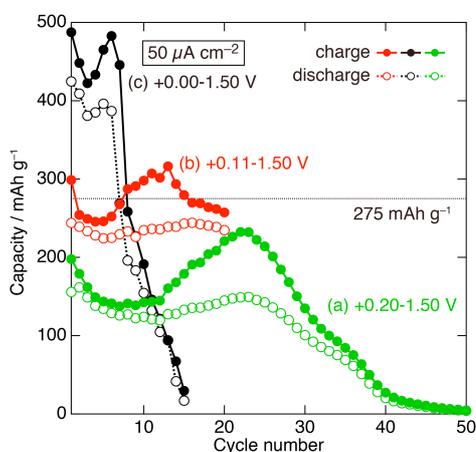


図6 Cu_6Sn_5 単相薄膜を用いた充放電サイクル試験

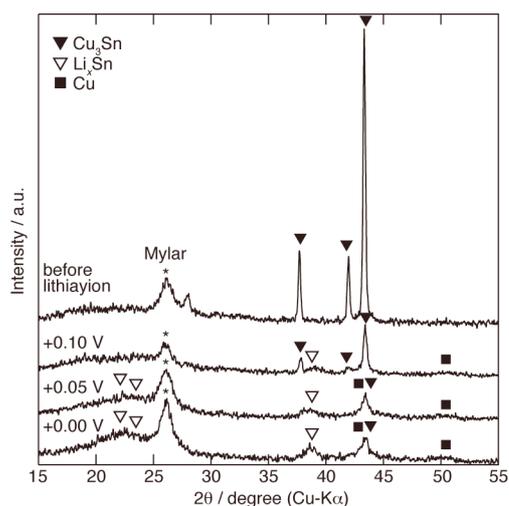


図7 Cu_6Sn_5 単相薄膜の定電位リチウム挿入後の XRD

なお、サイクリックボルタモグラム (図4) から活性がないと判断した単相 Cu_3Sn 薄膜についても比較のため、いくつかの電位にて

定電位リチウム挿入実験を行った。その結果、電位 $+0.10 \text{ V}$ よりも卑な電位でリチウム化すると Cu_3Sn 相はただちに Li_xSn と Cu に分相することがわかった (図7)。すなわち、 Cu_3Sn 相はリチウム化において Li_2CuSn のような中間相を形成しない。またこのとき生じた Li_xSn 相は脱リチウム化によって Cu_3Sn 相ではなく Cu_6Sn_5 に戻ることがわかった。 Cu_3Sn 相が若干の充放電活性を示すのはこのためであると理解された。

(3) 今後の展望

本研究ではイオン液体を溶媒とする新しい還元拡散法を研究し、高分子表面への Cu-Zn 合金形成など、いくつかの技術開発に成功した。リチウムイオン電池の負極材料として期待される Cu-Sn 合金に関しては、定電位の還元拡散によって、熱力学的に厳密に組成制御された Cu_6Sn_5 と Cu_3Sn の単相を作製し、それぞれの相に対するリチウム反応性を個別に評価し議論することに成功した。このようにして単相金属間化合物を得る手法は、銅合金のみならず Sn-Ag 系など相互拡散が速い系に広く適用可能と考えられ、今後の研究展開を予定している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

1. K. Murase, A. Ito, T. Ichii, and H. Sugimura, Preparation of Cu-Sn Layers on Polymer Substrate by Reduction-Diffusion Method Using Ionic Liquid Baths, *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 158, No. 6, pp. D335-D341, 2011, 査読有
DOI: 10.1149/1.3573984
2. K. Murase, K. Yanase, T. Ichii, and H. Sugimura, Potentiostatic Cu-Zn Alloying for Polymer Metallization Using Medium-Low Temperature Ionic Liquid Baths, *ECS Transactions*, Vol. 33, No. 7, pp. 515-521, 2010, 査読有
DOI: 10.1149/1.3484809
3. A. Ito, K. Murase, T. Ichii, and H. Sugimura, Cu-Sn Alloy Metallization of Polymer Substrate through Reduction-Diffusion Method Using Ionic Liquid Bath at Medium-Low Temperatures, *Electrochemistry*, Vol. 77, No. 8, pp. 677-679, 2009, 査読有
DOI: 10.5796/electrochemistry.77.677
4. K. Murase, A. Ito, Y. Nishizaki, T. Ichii, and H. Sugimura, Growth of Cu Alloy Layers through Reduction-Diffusion Method Using Ionic Liquid Bath at Medium-Low Temperatures, *Proceeding of the 3rd International Conference on Processing Materials for Properties (PMP-III)*, D. Mishra, *et al.* (eds.), TMS, Warrendale, pp. 1143-1148, 2009, 査読有, URL なし

[学会発表] (計 14 件)

1. K. Murase, Green Electrochemical Alloying for Polymer Metallization Using Ionic Liquid Electrolytes, 15th International Conference on Thin Films, Nov. 10, 2011, Kyoto, Japan (招待講演)
2. N. Fukuda, K. Murase, T. Ichii, and H. Sugimura, Electrochemical Lithiation and Delithiation of Stoichiometric Cu_6Sn_5 and Cu_3Sn Prepared Using Reduction-Diffusion Method, 220th Meeting of The Electrochemical Society, Oct. 12, 2011, Boston, MA, USA
3. 邑瀬邦明, 中低温イオン液体浴を用いる電気化学的合金化とその応用, 2011 年度電気化学会関西支部鳥取地区講演会, 2011 年 9 月 22 日, 鳥取大学工学部 (依頼講演)
4. N. Fukuda, K. Murase, T. Ichii, and H. Sugimura, Electrochemical Lithiation of Stoichiometric Cu_6Sn_5 and Cu_3Sn Layers Prepared by Potentiostatic Reduction-Diffusion Method, 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Sep. 12, 2011, Niigata, Japan
5. 福田直樹, 邑瀬邦明, 一井 崇, 杉村博之, 電気化学会第 78 回大会, 2011 年 3 月 29 日, 横浜国立大学 (震災のため学会中止、発表済み扱い)
6. K. Murase, K. Yanase, T. Ichii, and H. Sugimura, Potentiostatic Cu-Zn Alloying for Polymer Metallization Using Medium-Low Temperature Ionic Liquid Baths, 218th Meeting of The Electrochemical Society, Oct. 13, 2010, Las Vegas, NV, USA
7. K. Murase, K. Yanase, T. Ichii, and H. Sugimura, Cu-Zn Alloy Metallization of Polymer through Reduction-Diffusion Method Using Ionic Liquid Bath at Medium-Low Temperatures, 61th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Sep. 27, 2010, Nice, France
8. 邑瀬邦明, 築瀬功造, 一井 崇, 杉村博之, 中低温イオン液体浴を用いるエポキシ樹脂表面への黄銅皮膜形成, 第 42 回溶融塩化学討論会, 2010 年 9 月 10 日, ロワジュールホテル函館
9. 築瀬功造, 邑瀬邦明, 一井 崇, 杉村博之, 中低温イオン液体浴を用いる樹脂表面の Cu-Zn メタライジング, 表面技術協会第 121 回講演大会, 2010 年 3 月 15 日, 成蹊大学
10. 邑瀬邦明, イオン液体浴を用いた中低温還元拡散による合金皮膜形成, 平成 21 年度第 2 回表面物性研究会, 2009 年 10 月 22 日, 大阪鍍金会館 (依頼講演)
11. K. Murase, A. Ito, T. Ichii, and H. Sugimura, Material Properties of Cu-Sn Layers Prepared

by Reduction-Diffusion Method Using Medium-Low Temperature Ionic Liquid Baths, 216th Meeting of The Electrochemical Society, Oct. 8, 2009, Vienna, Austria

12. K. Yanase, K. Murase, T. Ichii, and H. Sugimura, Cu-Zn Alloy Metallization through Reduction-diffusion Method Using Ionic Liquid Bath at Medium-low Temperatures, 216th Meeting of The Electrochemical Society, Oct. 7, 2009, Vienna, Austria
13. 築瀬功造, 邑瀬邦明, 一井 崇, 杉村博之, 中低温イオン液体浴を用いた還元拡散法による Cu-Zn 合金形成, 日本金属学会 2009 年秋期大会 (第 145 回), 2009 年 9 月 16 日, 京都大学
14. 邑瀬邦明, 伊藤 輝, 一井 崇, 杉村博之, 中低温イオン液体浴を用いた還元拡散法による Cu-Sn 合金皮膜形成, 資源・素材 2009 (札幌), 2009 年 9 月 10 日, 北海道大学高等教育機能開発総合センター

[その他]

Web site :

www.mtl.kyoto-u.ac.jp/groups/murase-g/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

邑瀬 邦明 (MURASE KUNIAKI)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 30283633

(2) 研究分担者

杉村 博之 (SUGIMURA HIROYUKI)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 10293656
一井 崇 (ICHII TAKASHI)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号 : 30447908

(3) 連携研究者

坂口 裕樹 (SAKAGUCHI HIROKI)
鳥取大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 00202086

(4) 研究協力者

築瀬 功造 (YANASE KOZO)
京都大学・大学院工学研究科・修士課程学生 (現 トヨタ自動車株式会社)
福田 直樹 (FUKUDA NAOKI)
京都大学・大学院工学研究科・修士課程学生 (現 サンディスク株式会社)
首藤 俊也 (SHUTO TOSHIYA)
京都大学・工学部・学生 (現 大学院工学研究科 修士課程学生)