

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 18 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21350115

研究課題名（和文）界面構造制御を核とした電極機能設計

研究課題名（英文）Development of electrode functions by controlling interface structure

研究代表者

今西 誠之（IMANISHI NOBUYUKI）

三重大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20223331

研究成果の概要（和文）：全固体リチウム電池における電極・電解質界面の抵抗と、界面を構成する電極中のイオン拡散形式について相関性を検討した。研究を行うにあたり正しく拡散速度が計測できる手法の確立を行った。結果として定電位ステップによる電流緩和の経時変化から算出する拡散定数が最も正確であることを見出した。固体電解質と種々の電極とを組み合わせると、電極中の拡散経路が一次元、二次元、三次元と変化するにつれて拡散速度が大きくなり、併せて界面抵抗が低減した。

研究成果の概要（英文）：Electrode/solid electrolyte interfaces were studied for development of all solid-state batteries. The resistance was discussed about its correlation to ion diffusion formula in some active materials. The appropriate technique was investigated to estimate lithium ion diffusion coefficient, and potential-step was the method to give the most reasonable result. As a result, the interfacial resistance decreased in the order of electrode with one, two, three dimensional diffusion pathways. It is concluded that three dimensional diffusion is most effective to reduce the interfacial resistance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2010年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2011年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：応用電気化学

科研費の分科・細目：材料化学・無機工業材料

キーワード：固体電解質、インターカレーション、界面、リチウム電池、全固体電池

1. 研究開始当初の背景

電池技術はエネルギー問題の解決手段として期待されている。中でもリチウムイオン電池は高エネルギー密度かつ高エネルギー効率の電池として多くの開発努力が注がれている。その中の課題の一つに電池の安全性確保がある。リチウム電池は可燃性の有機溶媒を電解液に用いているため、熱暴走が起こった場合に発火する可能性がある。特に、電

池の大型化を目指す場合にこの問題はより深刻な意味をもつ。安全性を確保するために考えられている対策のうち、不燃性で安定な酸化物固体電解質の適用が特に期待されている。しかし全てを固体で構成すると固体同士が接触する界面が多く発生するため、そのままでは液体電解質系に比べて出力が大幅に低下する。そこで個々の界面の抵抗を低減することが電池全体の抵抗を下げるために

必要な課題となる。

界面におけるイオン移動の現象は理想的には界面導電率の温度依存式における前指数項因子と活性化エネルギーに分解し議論できるが、実際に固体同士を接合する際に生成する界面相の影響や、界面空間電荷層の分布など、パラメータが多岐にわたる。電解液系と異なり、固体電極と固体電解質の組み合わせについては電極材料の種類や構造も考慮する必要があり、界面イオン移動の指導原理は明確ではない。

2. 研究の目的

上記の背景より高速で作動する全固体電池を実現するには、固体・固体界面におけるイオン移動の機構を明らかにする必要がある。しかし、固体電極と固体電解質が接する界面で起こる電気化学的反応の本質を理解し制御するためには、電極材料の結晶配向性に加えて結晶粒内・粒間も含めた固体同士の接触状態や界面に形成される反応層に関する知見が必要である。

まずこのような議論が可能な界面を作成するには界面構造の単純化が必要である。そこで、電極と固体電解質双方について複数種類の材料の組み合わせを薄膜作成技術を用いて系統的に行う。このような系に対して主に熱処理を行うことによって界面の反応性を制御し、界面の接合性・反応層に違いがある種々の界面を研究対象として作成する。

次に電極中を移動するリチウムイオンの速度を正しく評価する手法の確立を目指す。適用する電極材料における電極内イオン移動速度と、作成した固体電解質との界面におけるイオンの移動速度とを評価し、その相関性を議論することで、高いイオン流束を実現するイオンチャンネルの機能発現の指導原理を明らかにすることを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

(1) 材料の選択

実用的なイオン伝導速度をもち、結晶構造の影響を比較することが可能という考え方のもとに次の材料を選択した

正極: LiFePO_4 , LiCoO_2 , LiMn_2O_4 ,

$\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$, $\text{LiNi}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}\text{O}_2$

負極: $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, V_2O_5 , Nb_2O_5

電解質: $\text{Li}_{1.35}\text{Ti}_{1.75}\text{Al}_{0.25}\text{P}_{2.7}\text{Si}_{0.3}\text{O}_{12}$ (LTAP),

$\text{Li}_{0.375}\text{Sr}_{0.4375}\text{Ta}_{0.75}\text{Zr}_{0.25}\text{O}_3$ (LSTZ),

$\text{Li}_{14}\text{Zn}(\text{GeO}_4)_4$ (LLSICON),

$\text{La}_{2/3-x}\text{Li}_{3x}\text{TiO}_3$ (LLT)

(2) 材料合成

代表的なものについて記す。電解質として用いた LTAP は焼結性を高めるために Sol-gel 法により合成を行った。具体的には、出発物質に $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$ とクエン酸 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 水溶液を用

い 80°C で 1 時間攪拌した。蒸留水を加え 250°C で完全な溶液とし、 120°C で 1 時間 30 分攪拌した。 LiNO_3 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 及びクエン酸を蒸留水に溶かした水溶液を先ほどの溶液に加え 30 分攪拌し、さらに $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ とクエン酸を蒸留水に溶かした水溶液を加え、1 時間攪拌した。エチレングリコールを加え、1 時間 30 分攪拌してゾルとした後、 150°C で水分を蒸発させてゲルを得た。これをさらに乾燥させるために、電気炉を用いて 150°C の温度で 4 時間乾燥後、 500°C の熱分解処理を 4 時間行った。生成物を乳鉢で粉碎し、粉末状態で 750°C にて 4 時間焼成した。その後ペレット状に成型し、 950°C で 6 時間焼結させた。

電極作成に際して組成制御、配向秩序ともに制御でき、且つ実用電池実現の可能性も期待できる RF マグネトロンスパッタリング法を用いた。正極・負極のターゲット作成は既報によるが、これらのスパッタリングは、典型的な条件として Ar 雰囲気下、圧力 2.0 Pa、出力 50 W、1 時間で行い、結晶性を向上させるための熱処理温度は $300\sim 900^\circ\text{C}$ の範囲で行った。

電極の電気化学的特性およびリチウムイオン拡散定数を求めるために用いたセルの構成は、 $\text{Li}/\text{PEO}_{18}\text{Li}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}/\text{LATP}/\text{スパッタリング電極}/\text{Au}$ とした。リチウムと LATP の間にポリマー電解質を用いたのは、LATP が金属リチウムと直接接触すると還元されてしまうためである。場合によってはここにゲル電解質ないしは非水系電解液を用いた。定電流における充放電は $1\ \mu\text{Acm}^{-2}$ 程度の電流密度で行った。 LiFePO_4 であれば $3\sim 4\text{V}$ のカットオフ領域で試験を行った。

いくつかの正極材料に関しては比較のために、また正極材料のキャラクタリゼーションの一環としてビーカー型セルを用いた。セル構成は Li/LiPF_6 in EC-DEC/スパッタリング電極/Au で、リチウム金属を参照極に用いた。

(3) 計測・評価の方法

得られた酸化物材料の結晶学的評価を X 線回折、透過電子顕微鏡解析を中心に格子定数、相互拡散による界面層の形成について明らかにした。また組成を ICP 分光分析によって決定した。

材料内部および界面での電気化学的な諸特性：イオン拡散定数について未だ確立された測定手段がないために、①定電流ステップ (GITT) 法、②定電圧ステップ (PITT) 法、③交流インピーダンス (EIS) 法を中心にデータの信頼性について確認を行った。これらの内の一つである定電位法 (PITT) 法は 10 mV のポテンシャルステップを電極に印加し、緩和電流を時間の関数として記録するものである。図 1 は実際の系での電流緩和の過程を示し

たものである。電流の大きさは時間に対して誤差関数を用いることで表現できる。

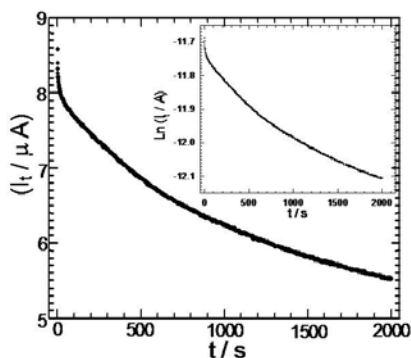


図1 PITT法による電流経時変化の典型的挙動。内部の図は電流値の対数の経時変化を示す。

上の曲線を次式に当てはめることで、拡散定数 D を求めることができる。ここで l は拡散距離でこの場合はスパッタリング電極の膜厚を当てはめる。

$$\tilde{D}_{Li} = -\frac{d \ln(I_t)}{dt} \frac{4l^2}{\pi^2}$$

インピーダンス法は 10mV の交流摂動をかけ、1MHz から 1mHz へ周波数を変化させることにより Warburg インピーダンスとして算出した。なお、電解液系での電気化学測定や拡散定数見積りは 20°C で行い、ポリマー電解質を用いた系の測定は 50 または 60°C で行った。

4. 研究成果

(1) 拡散定数の測定

拡散速度は重要なパラメータである一方、その正確な測定が困難なことが知られている。どのような測定においてもイオンが置かれる環境を常に同じ状態に維持しなければならないが、拡散現象は動的過程であり、これを達成するのは難しい。また Fick の拡散方程式を基本とする理想拡散が仮定されており、固体の中の拡散を表現するための数学的処理方法が十分に開発されていない点も課題である。

このような状況において、我々は代表的な計測手段のいくつかを実際に適用して拡散定数を求め、その中から最も妥当な値を導く方法が何であるか決定することにした。その手順であるが、電極材料のイオン導電率の実測値と、イオン拡散から換算される導電率の比較を行い、両者の一致の程度により拡散速度測定手法の妥当性と考えた。

実際に拡散定数を求めるセルとして以下のようなものを用いた。電解質として LTAP を適用し、LTAP の上に LiCoO_2 をスパッタリン

グで積層し反対側には対極としてポリマー電解質で被覆した金属リチウムを配した。 LiCoO_2 と LTAP の接合は熱により行うが、その接合温度によっては界面で不動態の生成反応が起こる可能性がある。そこで 700°C までのいくつかの温度で界面接合を行い、XRD 測定によって反応生成物の有無について確認を行った。その結果、図 2 に示すように Co_3O_4 が第 2 相として現れることが分かった。この相は 600°C 以上で顕著に現れた。一方でスパッタリング膜を結晶化させるためにはできるだけ高い温度で熱処理することが必要である。 LiCoO_2 の粉末は通常 003 の回折ピークが最大強度を有するが、このスパッタリング膜は 104 面の強度が最も大きい。この事実はエッジ面を LTAP 表面に垂直に向けた配向を有していることを示す。この 104 のピークの半値幅は熱処理温度の上昇に伴い小さくなる。500°C では 700°C に比べると少し半値幅が大きいものの、これ以上の温度では LTAP と反応してしまう。以上より、界面接合温度として 500°C を選択した。

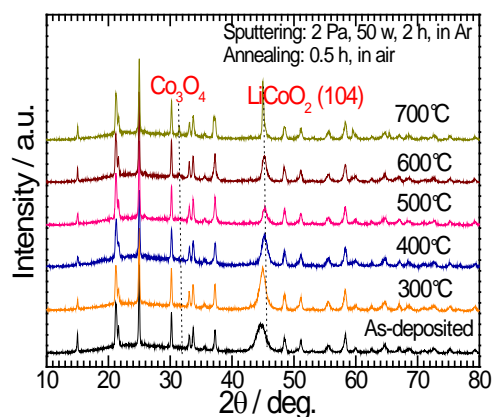


図2 スパッタリング後のポストアニール温度の効果。アニールは 0.5 時間空気中で行った。温度は図内表示。

LiCoO_2 /LTAP の全固体電極に対して上記の各種測定手法を適用して拡散定数を求めた。その一部の結果を表 1 に示す。 LiCoO_2 の LTAP 上の結晶配向性は合成条件を調節することによって 003 配向、003/104 の混合、104 配向と 3 種類合成することができる。ここではそれら全てについて拡散定数の測定を行った。ただし、粉末 LiCoO_2 に近いのは 003/104 の混合と考えられる。なお、ここで示した値は全て拡散定数を導電率に換算したものである。測定手法によって数値大きさが異なることが分かる。一番右の欄は直流分極測定から得られた過電圧を基に導電率を計算したものである。この数値は実際には物質移動以外の抵抗値の影響も含まれているので正確

に拡散のみを表すものではないが、ある程度の目安になる。これら数値の比較より PITT 法で得た拡散定数の換算値が直流充放電の挙動から得られる概算値と同じオーダーであることが分かり、最も妥当な値を与える方法と結論された。

表 1 イオン導電率の実測値と各種方法で換算した導電率の比較

		σ by GITT (S cm ⁻¹)	σ by PITT (S cm ⁻¹)	σ by EIS (S cm ⁻¹)	σ by DC polarization (S cm ⁻¹)
Li _{0.5} CoO ₂	003	1.1×10 ⁻⁸	1.0×10 ⁻⁹	7.6×10 ⁻⁷	3.2×10 ⁻⁸
	003/104	1.1×10 ⁻⁷	3.0×10 ⁻⁸	6.6×10 ⁻⁶	
	104	2.2×10 ⁻⁷	5.4×10 ⁻⁷	2.7×10 ⁻⁵	
Li _{0.6} CoO ₂	003	1.5×10 ⁻⁸	2.1×10 ⁻⁹	3.4×10 ⁻⁷	1.9×10 ⁻⁷
	003/104	8.7×10 ⁻⁸	1.0×10 ⁻⁷	4.8×10 ⁻⁶	
	104	3.2×10 ⁻⁷	1.9×10 ⁻⁷	3.8×10 ⁻⁵	
Li _{0.7} CoO ₂	003	1.6×10 ⁻⁸	7.2×10 ⁻⁹	2.4×10 ⁻⁶	3.0×10 ⁻⁷
	003/104	1.6×10 ⁻⁸	1.8×10 ⁻⁷	8.1×10 ⁻⁶	
	104	2.6×10 ⁻⁷	3.8×10 ⁻⁷	5.1×10 ⁻⁵	
Li _{0.8} CoO ₂	003	1.2×10 ⁻⁸	3.2×10 ⁻⁸	1.7×10 ⁻⁶	1.1×10 ⁻⁷
	003/104	6.2×10 ⁻⁸	2.3×10 ⁻⁷	2.5×10 ⁻⁶	
	104	3.2×10 ⁻⁷	4.7×10 ⁻⁷	3.0×10 ⁻⁵	

(2) 界面抵抗の測定

電極材料には LiCoO₂ のように層間の二次元空間が拡散経路であるものと、LiFePO₄ のように一次元のトンネル構造のもの、LiMn₂O₄ のように三次元のネットワークになっているものなどが存在する。これらの構造の違いが界面イオン移動に及ぼす影響について研究を行った。結果を表 2 にまとめた。各電極については事前に化学拡散定数の見積もりを PITT 法によって固体電解質の LTAP と電解液の 2 種に対して行った。両系は基本的に同じ値を示し、電解質の材料とは独立に拡散定数が決定されることが証明された。拡散定数の大きさは一次元の電極で最も小さく、次いで二次元構造のもの、そして三次元構造の電極は最も拡散速度が大きいことが分かった。拡散は濃度勾配を駆動力とする物質移動であるが、この結果は次元数の大きいものほどより早い均一なりチウムイオンの構造内拡散が実現できることを示している。

表 2 各電極の拡散定数と LTAP との界面の抵抗値のまとめ

電極	電極電位/ V vs. Li/Li ⁺	界面抵抗/ Ω cm ²	活性化エネルギー/ kJ mol ⁻¹	化学拡散定数 / vs. LTAP cm ² sec ⁻¹	化学拡散定数 vs. 電解液 cm ² sec ⁻¹
一次元 LiFePO ₄	3.44	43600		1.3x10 ⁻¹³	1.3x10 ⁻¹³
	3.7	78000		5x10 ⁻¹⁴	
二次元 LiCoO ₂	3.6	939	28.2	10 ⁻¹²	1.2x10 ⁻¹²
	4.0	2432	28	1.6x10 ⁻¹²	1x10 ⁻¹¹
三次元 LiMn ₂ O ₄	3.9				5x10 ⁻¹⁰
	4.1				3x10 ⁻¹⁰

次に、界面抵抗の値と電極材料構造について論ずる。LiFePO₄ と LiCoO₂ を比較すると抵抗値には大きな違いがみられる。一次元の電極材料の場合には大きな界面抵抗が、二次元の電極材料の場合には小さい界面抵抗が現れる。電極内のイオン拡散定数が 1 桁異なっている点を考えると、界面抵抗の違いは電極内の拡散速度の違いに由来していると考えることが妥当である。

界面抵抗を左右する主要なパラメータは 4 つあると考えられる。

- ・イオン移動反応の活性化エネルギー
- ・イオン移動反応の前指数項
- ・両相の接触面積 (活性反応面積)
- ・両相のイオン濃度

この中で、3 番目の幾何的因子である面積、反応速度の汎用要素である濃度を除いた、活性化エネルギーと前指数項は反応の種類に依存するパラメータである。これらはアレニウスの式の中に現れる。

$$\frac{1}{Rct} = A \exp\left(\frac{-Ea}{RT}\right)$$

この前指数項因子 A とリチウムイオンの拡散定数とは直接関連するのではないかと推察される。この因子は界面領域にある化学種が電荷移動反応に参加する頻度であるが、一個の粒子の運動性とも考えられる。拡散定数は一次元的構造よりも三次元的な構造の方が大きくなったが、三次元的運動の方が運動性が高いとみなすことができる。つまり拡散定数の大きなものほど前指数項因子 A は大きくなると考えられる。LiFePO₄ よりも LiMn₂O₄ の方が低い界面抵抗値を示したのは、このような理由によるものではないかと考えられる。この仮説の検証は今後の課題である。

以上より各電極と LTAP の界面の抵抗値は拡散経路の形状と関連している。

拡散定数 一次元 LiFePO₄ < 二次元 LiCoO₂ < 三次元 LiMn₂O₄

界面抵抗 一次元 LiFePO₄ > 二次元 LiCoO₂ > 三次元 LiMn₂O₄

三次元の拡散は結果として拡散速度を大きくするので全固体電池のみならず、液体電解質系のリチウムイオン電池においても界面抵抗は小さいと考えられる。固体/固体界面の寄与が非常に大きい全固体電池ではこの結果は界面の設計指針として重要である。

(3) 電荷移動の活性化エネルギー

活性化エネルギーについて議論する。LiCoO₂/LTAP 界面に対して測定された活性化エネルギーは約 30kJ/mol と非常に小さい。他の電解質と比較すると、液体電解質では約 50kJ/mol、ポリマー電解質では 80kJ/mol と見積もられる。活性化エネルギーは脱溶媒和のエネルギーに等しいと考えられている。そ

の意味ではポリマー電解質を脱出するのに最も大きなエネルギーを必要とし、固体電解質を脱するのに最も小さいエネルギーで済むということになる。ポリマー電解質のバルク内部をイオンが移動するときの活性化エネルギーは 30kJ/mol 程度であるから、電荷移動の活性化エネルギーよりずっと小さい。界面のイオン移動とバルクのイオン移動の機構が異なることが分かる。バルクのイオン移動についてはリチウムイオンがセグメント運動によって結合を一部のみ組み替えながら輸送される運動であるが、界面では完全な結合組み換えを行うグロッタス型の機構で大きなエネルギーが必要とされる。ただし同質の環境であれば完全な結合組み換えを経由せずに界面も移動しうると考えられる。今回の $\text{LiCoO}_2/\text{LTAP}$ 界面はそうした酸化物同士の界面であるから、活性化エネルギーが小さい値に留まった可能性がある。

活性化エネルギーに関する知見をまとめると、

・液体電解質から酸化物電極に移動する際は脱溶媒和が必要

・固体電解質から酸化物電極への移動は部分的な結合組み換えで済む可能性あり

(4)まとめ

① 化学拡散定数測定法を比較検討した。また各種リチウムイオン電池の正極材の拡散定数を正確に測定した。

② 拡散定数は、三次元構造、二次元構造、一次元構造の順に小さくなる。電極材としてイオン拡散が三次元的なものが有効である。

③ 固体電解質と電極界面の抵抗は、電極が一次元構造、二次元構造の順に小さくなる。

④ LiCoO_2 /固体電解質界面の電極界面抵抗の活性化エネルギーは溶液やポリマー電解質に比べ小さい。固体電解質を用いると、脱溶媒和を必要としないので、電極反応の活性化エネルギーは溶液系と比べて極めて小さい。高出力化に可能性をもつ。

⑤ $\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ /固体電解質界面は熱処理温度の影響を強く受ける。熱処理を行わない方が抵抗が小さく、充放電でも十分な容量を得ることができる。

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 9 件)

1. J. Xie, N. Imanishi, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, X.-B. Zhao, G.-S. Cao, Electrochemical kinetics of nanosized Ag and Ag_2O thin films prepared by radio frequency magnetron sputtering, J. Solid

State Electrochemistry, 査読有, 15, 2031-2039(2011)

2. J. Xie, N. Imanishi, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, X.B. Zhao, G.S. Cao, Determination of Li-ion diffusion coefficient in amorphous Zn and ZnO thin films prepared by radio frequency magnetron sputtering, Thin Solid Films, 査読有, 519, 3373-3377(2011)

3. J. Xie, N. Imanishi, Z. Zhang, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, X.B. Zhao, G.S. Cao, Electrochemical performance of all-solid-state Li batteries based $\text{LiMn}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{O}_2$ cathode and NASICON-type electrolyte, J. Power Sources, 査読有, 195, 8341-8346(2010)

4. J. Xie, N. Imanishi, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, X.B. Zhao, G.S. Cao, Li-ion diffusion behavior in Sn, SnO and SnO_2 thin films studied by galvanostatic intermittent titration technique, Solid State Ionics, 査読有, 181, 1611-1615(2010)

5. J. Xie, N. Imanishi, T. Zhang, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, An amorphous $\text{LiCo}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ thin film deposited on NASICON-type electrolyte for all-solid-state Li-ion batteries, J. Power Sources, 査読有, 195, 5780-5783(2010)

6. J. Xie, N. Imanishi, T. Zhang, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, G.S. Cao, X.B. Zhao, Amorphous LiCoO_2 thin films on $\text{Li}_{1+x+y}\text{Al}_x\text{Ti}_{2-x}\text{Si}_y\text{P}_{3-y}\text{O}_{12}$ prepared by radio frequency magnetron sputtering for all-solid-state Li-ion batteries, Electrochimica Acta, 査読有, 55, 5440-5445(2010)

7. J. Xie, N. Imanishi, T. Zhang, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, Li-ion diffusion in amorphous Si films prepared by RF magnetron sputtering: A comparison of using liquid and polymer electrolytes, Materials Chemistry and Physics, 査読有, 120, 421-425(2010)

8. J. Xie, N. Imanishi, T. Zhang, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, Li-ion diffusion kinetics in LiFePO_4 thin film prepared by radio frequency magnetron sputtering, Electrochimica Acta, 査読有, 54,

4631-4637(2009)

9. J. Xie, N. Imanishi, T. Zhang, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, Li-ion diffusion kinetics in LiCoPO_4 thin films deposited on NASICON-type glass ceramic electrolytes by magnetron sputtering, J. Power Sources, 査読有, 192, 689-692(2009)

[学会発表] (計 25 件)

1. 伊藤大介・今西誠之・平野 敦・武田保雄, スパッタリング電極層/無機固体電解質の熱処理と界面抵抗, 第 52 回電池討論会, H23.10.17-10.20, タワーホール船堀

2. M. Matsumoto, N. Imanishi, A. Hirano, Y. Takeda, The Effect of Heat-treatment on the Interfacial Properties of Perovskite-type Li-Ion Conductor and V_2O_5 Electrode, 18th International Conference on Solid State Ionics (SSI-18), H23.7.3-7.8, Warsaw Marriott Hotel (Warsaw, Poland)

3. D. Ito, N. Imanishi, A. Hirano, Y. Takeda, LiCoO_2 Deposited on $\text{Li}_{1.4}\text{Al}_{0.4}\text{Ti}_{1.6}(\text{PO}_4)_3$ Ceramic Electrolyte for All Solid Lithium Battery, 18th International Conference on Solid State Ionics (SSI-18), H23.7.3-7.8, Warsaw Marriott Hotel (Warsaw, Poland)

4. K. Hanai, M. Ueno, N. Imanishi, A. Hirano, O. Yamamoto, Y. Takeda, Interfacial properties of LiFePO_4 -PEO(LiTFSI) composite cathode for dry polymer Li-ion batteries, IMLB2010 (International Meeting on Lithium Batteries), H22.6.27-7.2, Fairmont the Queen Elizabeth (Montreal, Canada)

5. K. Hanai, M. Ueno, T. Kobayashi, N. Imanishi, A. Hirano, O. Yamamoto, Y. Takeda, Interfacial properties of LiFePO_4 -PEO(LiTFSI) composite cathode for dry polymer Li-ion batteries, 7th Asian Conference on Electrochemistry (7th ACEC) 第 7 回アジア電気化学会議, H22.5.18-5.22, KKR ホテル熊本

6. 草河孝一・花井一真・平野 敦・今西誠之・武田保雄, LiFePO_4 スパッタリング電極と PEO 固体電解質における界面抵抗の研究, 第 50 回電池討論会, H21.11.30-12.2, 国立京都国際会館

7. K. Hanai, K. Kusagawa, N. Imanishi, A.

Hirano, Y. Takeda and O. Yamamoto, Interfacial properties between LiFePO_4 and poly(ethylene oxide)- $\text{Li}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}$ polymer electrolyte, 216th Meeting of The Electrochemical Society (ECS), H21.10.4-10.9, Austria Center (Vienna, Austria)

8. K. Hanai, K. Kusagawa, M. Ueno, N. Imanishi, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, Interfacial Properties between LiFePO_4 and Poly(ethylene oxide)- $\text{Li}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}$ Polymer Electrolyte, PBFC2009 4th International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells, H21.8.2-6, Yokohama Symposia

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今西 誠之 (Imanishi Nobuyuki)
三重大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：20223331

(2) 研究分担者

平野 敦 (Hirano Atsushi)
三重大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：60324547