

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

研究課題名	プラズマスプレーPVDをコアとする次世代Liイオン電池Si系ナノ複合負極開発
研究機関・ 部局・職名	国立大学法人 東京大学 工学系研究科・准教授
氏名	神原 淳

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	120,000,000	120,000,000	0	120,000,000	120,000,000	0	0
間接経費	36,000,000	36,000,000	0	36,000,000	36,000,000	0	0
合計	156,000,000	156,000,000	0	156,000,000	156,000,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	8,381,100	47,072,551	12,638,256	13,414,904	81,506,811
旅費	0	4,690,800	5,039,420	2,206,428	11,936,648
謝金・人件費等	0	3,939,180	6,968,412	9,672,149	20,579,741
その他	374,325	1,240,144	2,301,005	2,061,326	5,976,800
直接経費計	8,755,425	56,942,675	26,947,093	27,354,807	120,000,000
間接経費計	0	0	0	36,000,000	36,000,000
合計	8,755,425	56,942,675	26,947,093	63,354,807	156,000,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
充放電試験装置		1	3,360,000	3,360,000	2011/3/29	東京大学
ナノ粒子径分布測定装置		1	4,987,500	4,987,500	2011/3/29	東京大学
エネルギー分散型 X線分析装置(EDS)	EMAX EX- 270, X- Max 80・堀場製	1	14,999,250	14,999,250	2011/11/25	東京大学
高性能電気化学測定システム	12608W・ソー ラトロン製	1	9,878,400	9,878,400	2011/10/26	東京大学
卓上型X線回折装置	D2 Phaser・ ブルカー社	1	9,450,000	9,450,000	2011/9/1	東京大学
小型プレス機	SA-602-S(荷 重調整型)・ タクミ技	1	2,520,000	2,520,000	2011/8/15	東京大学
充放電試験装置(増設ボード)	アスカ電子 (株)	1	2,572,500	2,572,500	2012/6/4	東京大学
赤外顕微鏡システム	日本分光(株)	1	4,832,100	4,832,100	2012/5/31	東京大学
プラズマスプレー装置 1式	(株)太陽 イービーテック	1	3,500,000	3,500,000	2013/7/31	東京大学
ビジュアルマッチングユニット	(株)アドテック	1	3,685,500	3,685,500	2013/9/18	東京大学

5. 研究成果の概要

本課題では、安価な冶金級Si粉末を原料に、原理的に高い生産性を有するプラズマスプレーPVD法の急速凝縮によるナノ粒子形成の特徴を利用して、Liイオン電池の特性向上を可能とする負極材料とそのプロセス開発を目指した。基本的な特徴として、数10nmのSiナノ粒子を毎時360g以上の高処理量で製造可能であり、これを利用した電池のサイクル特性が明確に向上する事を示した。更に、第2元素添加時には、他手法では報告の無い、組成的・構造的にも高次複合化したナノ粒子を造り出し、電池特性の更なる改善も実証した。これら成果は、高容量Liイオン電池の普及に向けた産業レベルでの研究開発を加速させる形で、グリーン・イノベーション推進に大きく寄与すると期待される。

課題番号

GR020

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
研究成果報告書**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	プラズマスプレーPVD をコアとする次世代 Li イオン電池 Si 系ナノ複合負極 開発
	Development of nanocomposite Si negative electrodes for Li ion batteries based on plasma spray PVD
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東京大学・大学院工学系研究科・准教授
	University of Tokyo, Graduate School of Engineering, Associate Professor
氏名 (下段英語表記)	神原 淳
	Makoto Kambara

研究成果の概要

(和文):

原理的に高い生産性が期待されるプラズマスプレーPVD 法によって、冶金級 Si 或いは SiO 粉末を主原料に、複合構造を有する Si ナノ粒子を数 100g/h の高速処理量でかつ一貫連続プロセスで製造しうることを示し、これを Li イオン電池の負極材料として利用することで、高電池容量化と充放電サイクルの高効率化を両立しうる事を実証した。また、本プラズマスプレーPVD 法の鍵となる、高温合金蒸気の共凝縮に伴うナノ粒子成長と不均質核生成過程の理解深化を通じて、ナノ粒子の高速製造・複合構造化の基本的な制御指針を明らかにした。

(英文):

Nanosized composite Si powders have been produced by a single-step continuous process of plasma spray PVD using metallurgical grade Si / SiO powders as feedstock at a rate of several hundreds g/h. Lithium ion batteries using these nanocomposite Si powders as negative electrode have demonstrated an improvement in both the electric capacity and the cycle efficiency at longer cycles at the same time. Furthermore, through quantitative understanding of co-condensation of high temperature alloy vapors and the subsequent nanoparticle growth in the plasma flame, the engineering guideline for production of nanocomposite powders at high throughputs by plasma spray PVD has been identified.

様式21

1. 執行金額 156,000,000 円
(うち、直接経費 120,000,000 円、間接経費 36,000,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

リチウム(Li)イオン電池は次世代グリーン社会に向けたエネルギー戦略の中核技術として期待され、現行電池に対して更なる電池容量増加と充放電サイクル効率向上の特性両立が求められる。負極材料に注目すれば、シリコン(Si)は現行グラファイト(C)に対して 10 倍の理想容量を有し高電池密度化の有力な材料と目されるが、C 系材料の単なる置き換えでは解決できない技術課題が残る。即ち、充放電時の Li-Si 合金化の過程で高容量化と引き替えに 400%近い体積膨張が生じ、Si 粉末は粉砕して電気伝導パスを失うために、数サイクルで電池容量が著しく低下してしまう。この課題に対して、近年、ナノ複合構造が極めて有効であることが判明してきた。例えば、150 nm 以下のナノ粒子化により耐割れ強度が向上すること、多孔体構造は体積膨張を吸収する効果が有ること、Si ナノ粒子への C コーティングは導電性を高めつつ比較的良好な固体電解質相(SEI)形成に効果的とされ、Si/SiO₂ 等コアシェル構造は粒子補強の役割を果たすとされる。但し、共通して重要な点として、これまで検討されてきたナノ複合化技術の多くが、低圧 CVD や多段・低速プロセスであり、報告される高速値でも高々1g/hr 程度と、Li イオン電池の巨大市場の要請に応える低コスト・高スループット技術に止揚するには、技術の壁があると言わざるを得ない。

ここにプラズマスプレーPVD (PS-PVD) 法に着目すれば、原理的に安価な粉末を原料にナノ粒子を高速で製造することが可能であり、電池産業が求める技術要請に合致する。更に、最近、本技術は、超高温プラズマ反応場での原料粉末の加熱・蒸発と続く急速凝縮の制御によって、ナノ組織を有するコーティングを可能とする高速 PVD 技術として発展し始めた。即ち、複合構造を有するナノ粒子の高速製造技術としての可能性を秘めていると出来る。以上を要すれば、Li イオン電池に求められる社会的及び技術的要請とプラズマスプレーの技術的進捗が極めて整合しているとできる。そこで本研究では、PS-PVD を利用して、冶金級 Si 及び SiO を主要原料に利用しながら様々なナノ複合化粒子の高速製造し、Li イオン電池特性の向上を実証すると共に、急速共凝縮過程の理解深化を通じて産業移転可能な複合構造ナノ粒子製造の技術指針を打ち出すことで、グリーン・イノベーション推進に貢献することを目標とした。

4. 研究計画・方法

Li イオン電池の高密度化と高サイクル特性に効果的と報告される特徴的なナノ複合構造を当初目標にプラズマスプレーPVD 条件を設定した。但し、Si 或いは SiO 原料粉末、及び同時添加ガス或いは粉末によって熱プラズマ内の物理化学現象は異なり、得られる複合化ナノ粒子構造も若干異なると考えられる。そこで、始めに (1) プラズマスプレーPVD 基本設計として、ナノ粒子基本構造に対するプラズマ制御変数の影響とその制御範囲を把握して構造化の方向性を見出した。これを踏まえ、本手法の高度化に向けて (2) プラズマ反応場による複合構造変調の可能性と、(3) 第 2 元素粉末添加による多元系複合化を進める。この際、プラズマ熱流体解析を含む、共凝縮に伴う均質・不均質核生成と粒子成長機構の理解も平行して進めること

で、複合化に向けた指針を得た。何れのテーマにおいても、PS-PVD 法に適したハイブリッドプラズマプレーシステムを基本装置として利用し、蒸発・凝縮過程の制御に必要な装置改造を導入してナノ粒子製造過程の高度化を狙った。なお、各条件下で作製したナノ粒子に対する構造解析と、これらを負極材料に利用したコイン型電池を作製して電池特性評価を行い、プラズマ条件とナノ粒子構造及び電池特性との相関を明確化することをプロセス開発の基本とした。また、本手法におけるナノ粒子製造の前提となる原料粉末の蒸発・高温蒸気形成を可能とする材料処理能力の観点から、実験結果と数値解析を多用して（4）産業界への技術移転フィージビリティに関しても検討した。

5. 研究成果・波及効果

（1）プラズマプレー-PVD 基本設計

①Si-C 系：予備実験で確認した Si 原料粉末の蒸発が可能なプラズマ条件の下、粉末供給量を変化させナノ粒子作製を行い、TEM 観察による局所構造解析と粉末全体に対する XRD 及びリートベルト解析、BET 比表面測定、水銀圧入法等の分析を行った結果、20~40nm の Si ナノ粒子を 1 次粒子に、高次凝集した数 100nm の多孔複合体を基本構造としていることが判明した。また、C コートを意図し CH₄ を添加した場合、導入 C/Si モル比に依らず多孔体構造を維持しながら 1 次 Si 粒子自体がアモルファス C シェルを形成することが確認された。この結果、PS-PVD による電池特性の改善に加えて C コート化による更なる特性向上が確認された（図 1）。但し、C/Si 比の増加と共に、電池反応に寄与しない SiC が活物質 Si と共存し、増加する結果、負極材重量当たりの電池容量は減少した。また、本 Si-C 複合粒子を負極とした電池の充放電過程に対して微分容量解析と電池分解による構造解析結果、C/Si 比変化に対しても基本的な電池反応過程に大きな違いは無いこと、1 次粒子への C コート化は SEI 相の改善に効果的であるが、SiC 生成に伴う活物質 Si の体積比減少を抑制する C/Si 比（0.25 以下）に設定すべきであることが確認された。

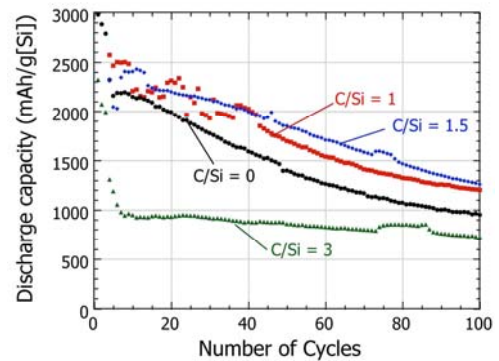


図1 金属 Si を原料とした PS-PVD 粉末の電池容量のサイクル依存性。活物質 Si 重量比容量への CH₄ 添加効果を示す。

②SiO—C 系： Si 源として SiO 粉末を利用し PS-PVD を行った結果、平均 15nm 程度のナノ結晶 Si を核に SiO_x(x<2)のシェルを有するコアシェル構造のナノ粒子の形成が確認された。更に、プラズマ高温部への CH₄ 同時添加によって SiO_xの還元が促進し(x<1)、コアシェル構造を維持しつつ Si 体積分率を増加させうる事が、STEM-EELS 解析並びに XRD リードベルト解析により確認された。これら構造解析と熱力学平衡化学種計算、並びに後述の核生成温度推算結果を錬成することで、SiO(g)の凝縮時には、始めに SiO(s)が均質核生成・成長し、その後不均化反応によりコアシェル構造を形成すること、また CH₄ 添加に伴う CO(g)形成によって SiO_x(g)の還元が促進され、不均化後の Si 体積分率が増加する、複合化の基本機構が判明した。本粉末を利用した電池では、サイクル効率 99.3%以上でサイクル 50 回でも 1000mAh/g を超える容量を示すと共に（図 2：C/Si=0.25）、CH₄ による還元促進の結果として初期不可逆容量の減少も確認された。一方、充放電時の AC インピーダンス解析から、充放電サイクルの初期段階に、複合粒子のシェル部が DC 抵抗を激減させる構造へと変化し、これが高容量化と高サ

イクル特性の両立に効果的である特徴が確認された。しかし、Si 原料と同様に $C/Si=0.25$ を超える CH_4 添加時には SiC 生成に伴う電池容量の低下が確認された事から、 CH_4 添加量及び導入位置(温度領域)の最適化が複合化に際して重要となる事が判明した。

(2) プラズマ反応場による複合構造変調

原料粉末の完全蒸発とナノ粒子化促進を意図して、高密度プラズマ条件と熱的非平衡度を高める装置改良を施した(条件 A~B)。またプラズマ発生部並びに粉末捕集器内部での熱流体解析を行い、捕集器内壁でナノ粒子形成する代表的な流線の冷却曲線として抽出することで、プラズマ反応場を定量化した(図 3)。その上で Lothe-Pond 核生成理論により、本条件下では凡そ 2200K 程度まで Si 蒸気が過冷し核生成が開始すること、また自由分子衝突成長モデルを適用して代表的冷却曲線に沿った Si 粒成長過程を計算することで、凡そ 30nm までナノ粒子が成長する事が予測された。実際、TEM 観察で確認される平均粒子径と極めて良い一致を示したことから、本 PS-PVD の基本的なナノ粒子形成機構が理解された。本モデルに基づけば、今回検討した高密度プラズマ反応場によって冷却曲線は変化するので、1 次粒子径への影響は限定的であると推算された(図 4)。実際、Si 粒子径の顕著な変化は確認されなかったが、急速冷却によって粒子凝集が抑制された構造へと変化する傾向が確認された。一方 SiO 原料の場合には、プラズマの高温度化に伴い SiO 還元が更に促進することで、安定的なサイクル効率を維持しながら Si 体積率増加による電池容量の向上が確認された。

(3) 第 2 元素粉末添加による多元系複合化

Si ナノ粒子と金属ナノ粒子の単純混合では金属-Si 粒子間は基本的に物理的接触でしかなく、また金属粒子の均質分散も期待できない。そこで高温混合蒸気の共凝縮時の金属粒子の Si ナノ粒子上への不均質核生成による直接担持複合化を検討した。添加元素に 1at%Cu を選択した場合、ナノ粒子の曲率効果を考慮した不均質核生成温度は 1500K と計算された(図 5)。従って Si が 2180K で均質核生成し 20nm 程度まで成長した 1500K 程度で Cu が Si 粒子上に不均質核生成する過程が可能であると示唆された。実際、20~30nm 程度の Si 粒子表面に直接 Cu を含む合金粒子が担持する構造が確認されたことから、本複合化機構が支持された。この複合粉末を利用した電池のサイクル特性は図 6 に示す通り、無添加時よりも高容量を維持することが確認されたことから、良好な導電パスが 1 次粒子レベルで均質分散配置された粒子の複合構造化の結果と考えられる。

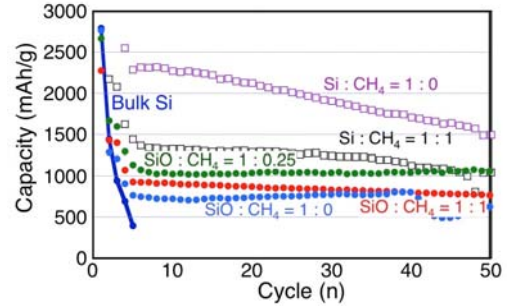


図 2 : Si 及び SiO を原料とした PS-PVD 粉末の電池容量サイクル特性比較。(プラズマ処理無し: Bulk Si)

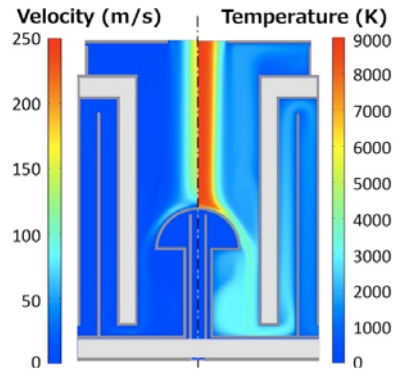


図 3 : 急速冷却粉末捕集器内部のプラズマ熱流体の速度(左)温度(右)分布計算例 [高密度プラズマ+高非平衡度条件 C]。

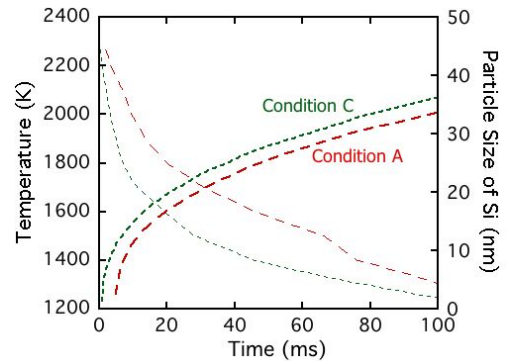


図 4 : プラズマ熱流体中の Si 核生成以降の冷却曲線とナノ粒子成長サイズの計算結果 [基本条件 A と高密度条件 C]。

同様に 1at%Ni 添加の場合にも、無添加 Si 粒子に比して高い電池容量とサイクル安定性を示すことが確認された。モデル計算より Cu と同様の均質核生成過程が期待されたが、Ni 合金相が Si ナノ粒子とエピタキシャル界面を介して直接担持する極めて興味深い複合構造が確認された(図7)。1%添加でも負極の直流抵抗の明確な減少が確認され良好な導電パスが配置された電気的效果と共に、Si の異方的体積膨張に対して担持 Ni 合金がエピタキシャル面で補強する機械的效果が、単純粉末混合では得られない特性発現に寄与したものと示唆された。

(4) 高次複合構造化と技術移転指針

PS-PVD 粒子には負極厚みを超える凝集体も存在する。そこで 5 μm 以下の粉体となるよう特殊分級を施し電池を組み上げ、電池特性を評価した。その結果、明確なサイクル特性の向上が確認されたことから、粗大凝集構造が充放電時の破壊の起点となる可能性が示唆され、過度な凝集体形成を抑制する条件設定が重要であると判明した。また PS-PVD 粒子に凝集粒子間の 30~60nm の空隙への C 含漬と SiC 生成を抑制した 1 次 Si 粒子への C コートを意図した低温アニールを試みた。その結果、サイクル効率が向上したことから、PS-PVD の低温部への CH₄ 導入による一貫高次複合化プロセスとしての可能性が示された。

他方、技術移転の指針として、凝縮に伴うナノ粒子形成の前提となる原料粉末の完全蒸発を達成しうる供給量について検討した。投入粉末のプラズマへの熱的負荷を考慮した加熱モデルによれば 15 μm の Si 粒子は供給量 360g/h であればトーチ内で完全蒸発すると推算され、実際、実験的にも本条件でナノ粒子形成を確認した。一方、SiO 原料の場合、その低温昇華特性より SiO 蒸気形成に必要な重量比エネルギーが Si の 51%程度である事から、同一プラズマ条件であれば供給量を倍増できる事が判明した。

(5) 波及効果

本研究の成果は、現行の C 系負極の次に実用材料として検討される SiO の「初期効率改善と高容量化」の課題解決の一助として有意であり、中長期的には「高容量化と高サイクル効率特性を両立」する Si 系材料の高速製造法として、高密度電池開発に貢献するものと期待される。また PS-PVD 法は、従来、重工業分野応用を中心に利用されてきた技術であるが、Si に限定すること無く様々な多元系複合構造ナノ粒子製造技術として利用できる可能性から、電子デバイスを始めとする、機能性と製造速度が同時に求められる分野へと適用範囲も拡大され、種々分野での新たな市場開拓に繋がるものと期待される。

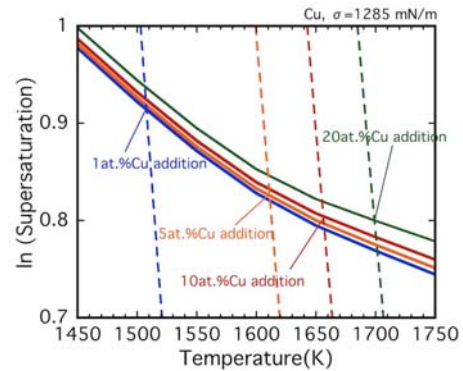


図5: Si+Cu 混合蒸気の Si ナノ粒子上への不均質核生成温度(実線と点線の交点)の添加量依存の計算結果。[条件C]

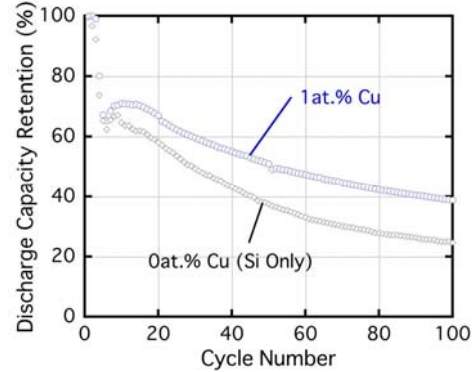


図6: Si+1%Cu の PS-PVD 粉末の電池容量維持特性比較[引用:エアロゾル研究]。

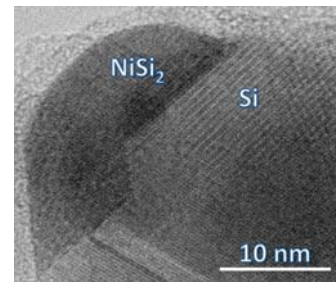


図7: Si+1%Ni の PS-PVD 粒子の TEM 格子像。エピタキシャル界面を介して Ni 合金が担持する様子が確認出来る。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 9 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 5 件</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) M. Kambara, A. Kitayama, K. Homma, T. Hideshima, M. Kaga, K.Y. Sheem, S. Ishida, T. Yoshida, Nanocomposite Si particle formation by plasma spraying for negative electrode of Li ion batteries, <i>J. Appl. Phys.</i> 115 (2014) 143302. (2) K. Homma, M. Kambara, T. Yoshida, High throughput production of nanocomposite SiO_x powders by plasma spray physical vapor deposition for negative electrode of lithium ion batteries, <i>Sci. Technol. Adv. Mater.</i> 15 (2014) 025006. (3) M. Kaga, T. Hideshima, M. Kambara, Plasma sprayed Si nano composite powders for negative electrode of lithium ion batteries, <i>JPS Conf. Proc.</i> 1 (2014) 015073. (4) Narengerile, M. Kaga, M. Kambara, Synthesis and characterization of the plasma sprayed Si-Ni composite powders as negative electrode of lithium ion batteries, <i>JPS Conf. Proc.</i> 1 (2014) 015057. (5) 神原淳, 秀島輔, 加賀真城, プラズマスプレー-PVD による次世代リチウムイオン電池用ナノ Si 負極開発, <i>エアロゾル研究</i> 29 (2014) 93-97. <p>(掲載済み一査読無し) 計 2 件</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Narengerile, M. Kambara, Synthesis of Si-Ni composites by plasma spray PVD for negative electrode of lithium ion batteries, <i>ISPC21 Proc.</i> (2014) 581. (2) M. Kambara and T. Yoshida, Production of Si nano composite powders for lithium ion batteries by plasma spray PVD, <i>Proc. SCSI-XI</i> (2012) 275-280. <p>(未掲載一査読有り) 計 2 件</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) M. Kambara, N. Oda, K. Homma, Enhanced cycle capacity retention for plasma sprayed SiO_x nano composite powders as negative electrode of lithium ion batteries, <i>Jpn. J. Appl. Phys.</i> (2014) In press. (2) T. Tashiro, M. Kaga, M. Kambara, Synthesis of SiO_x-Ti nanostructured composite powders by plasma spray PVD for negative electrode of lithium ion batteries, <i>Jpn. J. Appl. Phys.</i> (2014) In press.
<p>会議発表 計 33 件</p>	<p>専門家向け 計 27 件</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 加賀真城, 神原淳, “次世代 Li イオン電池用 PS-PVD Si 系ナノ複合負極材料特性の Cu 添加による変化”, 第 61 回応用物理学会春期学術講演会, 東京, 2014/3/17-20 (2) 【招待講演】 M. Kambara, N. Oda, K. Homma, “Enhanced capacity retention for plasma sprayed SiO_x nano composite powders as negative electrode of lithium ion batteries”, 8th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-8), Kyushu, Japan, 2014/2/5 (3) T. Tashiro, M. Kaga, M. Kambara, “Synthesis of SiO-Ti nanostructured composite powders by plasma spray PVD for negative electrode of lithium ion batteries”, 8th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-8), Kyushu, Japan, 2014/2/5 (4) 【招待講演】 神原淳, “Enhancement in the lithium ion battery performance with Si-M nanocomposite negative electrode produced by plasma spraying”, 23th Materials Research Society Japan (第 23 回 MRS-J), 横浜, 2013/12/10 (5) 【招待講演】 神原淳, “プラズマスプレーによる共凝縮を利用した高次複合ナノ粒子創製とそのリチウムイオン電池応用”, 仙台プラズマフォーラム, 仙台, 2013/11/1 (6) M. Kambara, T. Hideshima, M. Kaga, Narengelire, T. Yoshida, “Production of nanocomposite Si(+Ni) powders by plasma spraying for negative electrode of lithium ion batteries”, 224th Electrochemical Society (ECS) Fall meeting, San Francisco, USA, 2013/10/28 (7) M. Kambara, Narengerile, M. Kaga, T. Hideshima, “Production of nanocomposite Si-Ni powders by plasma spraying for next generation lithium ion batteries”, 66th Gaseous Electronic Conference (GEC), Princeton, USA, 2013/10/2 (8) Narengelire, M. Kambara, “Synthesis of Si-Ni nano-composites as negative electrode of lithium ion batteries by PS-PVD”, 61th JSAP Fall meeting, Kyoto, Japan, 2013/9/18 (9) 【招待講演】 神原淳, “プラズマスプレーによる次世代リチウムイオン電池用 Si ナノ複合粒子の開発”, 未踏科学技術協会 第 7 回公開講演会, 東京, 2013/9/12 (10) Narengelire, M. Kambara, “Synthesis of Si aggregates as negative electrode of lithium ion batteries by plasma spraying”, 9th Asia-Europe International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE2013), Korea, 2013/8/25-30 (11) Narengelire and M. Kambara, 21th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC21), “Synthesis of Si/Ni composites by plasma spray PVD for negative electrode of lithium-ion

	<p>batteries”, Cairns, Australia, 2013/8/4-9</p> <p>(12) 【招待講演】 神原淳, ”プラズマスプレーによるリチウムイオン電池負極向け Si ナノ複合粒子創製”, 第 65 回マテリアルズテラリング研究会, 軽井沢, 2013/8/1</p> <p>(13) 加賀真城, 神原淳, ”プラズマスプレーによるリチウムイオン電池用 Si-Cu ナノ複合粒子創製”, 第 65 回マテリアルズテラリング研究会, 軽井沢, 2013/8/1</p> <p>(14) Narengerile, M. Kaga, M. Kambara, “Synthesis and characterization of Si-Ni composites as negative electrode of lithium-ion batteries by plasma spraying”, 12th Asia Pacific Physics Conference (APPC 2013), Makuhari, Japan, 2013/7/14-19</p> <p>(15) M. Kaga, T. Hideshima, M. Kambara, ”Plasma sprayed Si nano composite powders for negative electrode of lithium ion batteries”, APPC 2013, Makuhari, Japan, 2013/7/14-19</p> <p>(16) M. Kambara, “Production of nano-structured silicon composite by plasma spraying with SiO for negative electrode of lithium ion batteries”, 2013 TMS Annual Meeting & Exhibition, San Antonio, USA, 2013/3/5-9</p> <p>(17) 【招待講演】 M. Kambara, “Si-O-Cx nano composite negative electrodes for next generation lithium ion batteries formed by plasma spray PVD”, 65th Gaseous Electronics Conference (GEC), Austin, USA, 2012/10/22-26</p> <p>(18) 神原淳, ”熱プラズマの将来ビジョン”, 2012 将来ビジョン研究会, 福岡, 2012/9/17</p> <p>(19) 【招待講演】 M. Kambara, “Plasma spray PVD for synthesis of nano composite Si powders as negative electrode of lithium ion batteries”, Gordon Research Conferences 2012, Boston, USA, 2012/7/22-27</p> <p>(20) M. Kambara and T. Yoshida, ”Production of Si nano composite powders for lithium ion batteries by plasma spray PVD, Silicon for the Chemical and Solar Industry XI, Bergen, Norway, 2012/6/25-29</p> <p>(21) M. Kambara, Y. Hideshima, K. Homma, T. Yoshida, “Si-based nano-composite powders for lithium ion batteries produced by plasma spray PVD”, 2012 Materials Research Society (MRS) Spring Meeting & Exhibit, CA, USA 2012/4/9-14</p> <p>(22) 神原淳, 秀島輔, 本間啓一郎, 吉田豊信, “プラズマスプレー-PVD によるリチウムイオン電池用ナノ複合 Si-C 系粉末の開発”, 金属学会, 横浜, 2012-3-28</p> <p>(23) 本間啓一郎, 秀島輔, 神原淳, 吉田豊信, ”Production of Si-O-C nano composites by plasma spraying for negative electrode of Li ion batteries”, 応用物理学会, 東京, 2012-3-17</p> <p>(24) 【基調講演】神原淳, ”プラズマスプレー-PVD を利用した次世代リチウムイオン電池用ナノ複合負極の開発”, MRS-J, 横浜, 2011-12-20</p> <p>(25) T. Hideshima, K. Homma, M. Kambara, T. Yoshida, “Structural analysis of nano Si-Cx composites produced by plasma spray evaporation for lithium ion batteries”, 2011 MRS Fall Meeting, Boston, 2011-12-3</p> <p>(26) K. Homma, T. Hideshima, M. Kambara, T. Yoshida, “Production of Si-O-C nano composites by plasma spray for negative electrode of Li-ion batteries”, 220th ECS, Boston, 2011-9-13</p> <p>(27) M. Kambara, A. Kitayama, K. Homma, T. Hideshima, H.J. Kim, K.Y. Sheem, S. Ishida, T. Yoshida, ”High throughputs production of nano-Si composites by plasma spray for negative electrode of LIB”, 219th ECS, Montreal, 2011-5-4</p> <p>一般向け 計 6 件</p> <p>(1) 神原淳, プラズマスプレー技術講演会, “プラズマスプレー技術の最新動向～高品質化と高速化の両立に向けて～”, テクノアークしまね, 島根県, 2014/3/4 (* 本技術講演会は発表者と島根県担当者が共同で企画)</p> <p>(2) 神原淳, 大学とのジョイントセミナー, ”プラズマ材料工学で拓く次世代エネルギー社会” 岐阜, 2013/11/13</p> <p>(3) 神原淳, 大学とのジョイントセミナー, ”プラズマ材料工学で拓く新しいエネルギー社会” 岐阜, 2012/11/14</p> <p>(4) 【招待講演 & パネリスト】 M. Kambara, 2012 ISPlasma, “High throughputs production of Si composites powders by PS-PVD for negative electrode of Li ion batteries”, Nagoya, 2012/3/8</p> <p>(5) 【招待講演】 神原淳, 特別講演会, “プラズマスプレー-PVD によるナノ複合 Si-O-Cx 系粉末の開発”, 2012/2/29, 若狭湾エネルギー研究センター, 福井県 (* H23 実績報告書への記載漏れのため, 追記した)</p> <p>(6) M. Kambara, 2012 KJ-Workshop, “Plasma spray PVD for nano composites devices”, Hakata, 2012/1/8</p>
--	---

<p>図書</p> <p>計0件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得 状況</p> <p>計2件</p>	<p>(取得済み) 計2件</p> <p>(1) 産業財産権名称:複合粒子, その製造方法, 及び複合粒子を用いたリチウムイオン2次電池用負極材料, 発明者:神原淳, ナレンゲルン, 加賀真城, 田代亘, 権利者:東京大学, 出願年月日:2014/1/14, 産業財産権の種類番号:特願 2014-004634(日本)</p> <p>(2) 産業財産権名称:多元系化合物の高速・高効率エピタキシャル堆積技術, 発明者:神原淳, 秋山卓也, 渥美翔太郎, 権利者:東京大学, 出願年月日:2013/7/8, 産業財産権の種類番号:61/843468(アメリカ合衆国)</p> <p>(出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>最先端・次世代研究開発支援プログラム:Plasma Spray for LIB @ UT-DME-PME (http://www.plasma.t.u-tokyo.ac.jp/jp/NGWLR/NGWLR-j.html)</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>(1) 「プラズマスプレー技術講演会」, “プラズマスプレー技術の最新動向～高品質化と高速化の両立に向けて～”, 講演会と質疑, 2014/3/4, テクノアークしまね, 島根県, (* 本技術講演会は島根県担当者と共同で企画した)</p> <p>(2) 「大学とのジョイントセミナー」, 高校生 400 名、講演「プラズマ材料工学で拓く次世代エネルギー社会」、2013/11/13、岐阜高校</p> <p>(3) 「ジョイントセミナー at 東大」, 岐阜高校、100 名、模擬講義並びに研究室見学、2013/8/1、東大工学部</p> <p>(4) 「東京大学五月祭」、高校生 3 名、東大生1名、研究展示説明と実験室説明、2013/5/17、東大工学部</p> <p>(5) 「文京シビックセンターにおけるポスター展示」, ”超高温プラズマで作る次世代電池は二兎を得るか? ”、2013/1/16-17、文京シビックセンター</p> <p>(6) 「東大の研究室をのぞいてみよう! 」, 山梨学院高校・浦和第一女子高校 14 名、模擬講義並びに研究室見学、2012/12/21、東大工学部</p> <p>(7) 「大学とのジョイントセミナー」, 400 名、講演「プラズマ材料工学で拓く新しいエネルギー社会」、2012/11/14、岐阜高校</p> <p>(8) 「第11回東京大学ホームカミングデイ」ポスター展示《未来からの招待状》, ”プラズマスプレーPVD をコアとする次世代 Li イオン電池 Si 系ナノ複合負極開発”、2012/10/20、東大安田講堂</p> <p>(9) 「国民との科学・技術対話ポスター展示《未来からの招待状 》」, ”プラズマスプレーPVD をコアとする次世代 Li イオン電池 Si 系ナノ複合負極開発”、2012/8/17-23、東大医学部附属病院</p> <p>(10) 「東京大学オープンキャンパス」, 高校生 4 名、研究室説明と実験室説明、2012/8/7、東大工学部</p> <p>(11) 「ジョイントセミナー at 東大」, 岐阜高生 100 名、模擬講義並びに研究室見学、2012/8/2、東大工学部</p> <p>(12) 「東京大学五月祭」、高校生 3 名、東大生1名、研究説明と研究室見学、2012/5/19、東大工学部</p> <p>(13) 「東大の研究室をのぞいてみよう! 」, 向陽高校・武生高校・仙台第二高校 8 名、模擬講義並びに研究室見学、2012/3/29、東大工学部</p> <p>(14) 「ISPlasma パネルディスカッション」, エネルギー環境応用に向けたプラズマ技術に関する公開討論, 100 名以上, 2012/3/7、中部大学</p> <p>(15) 「特別講演会」, 研究者含む一般の方、50 名以上, プラズマ PVD に関する一般向け講義, 2012/2/29, 若狭湾エネルギー研究センター、福井県</p> <p>(16) 「最先端・次世代公開シンポジウム(KJ-workshop 併設開催)」, 研究者含む一般の方 50 名以上, プラズマ PVD に関する講義と質疑, 2012/1/8, 九州大学</p> <p>(17) 「東大オープンキャンパス」, 八戸高校 3 名, プラズマに関する一般向け説明と実験施設見学, 2011/12/23, 東京大学</p> <p>(18) 「理数科セミナー」, 徳島高校 40 名, プラズマに関する一般向け講義と実験施設見学, 2011/8/3, 東京大学</p>

様式21

新聞・一般 雑誌等掲載 計0件	
その他	

7. その他特記事項

- (1) 受賞:加賀真城,「講演奨励賞」,第61回応用物理学会春期学術講演会,東京,2014/3/17-20
- (2) 受賞:加賀真城,「優秀ポスター賞」,第6回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール,2011/9/21
- (3) 論文(2)が学術誌 STAM により「注目論文」として選定された(2014/3/28):
http://e-materials.net/stam/pickuppaper/detail.html?pp_id=35