JAIST Repository

https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	気相堆積法による平坦化酸化物表面を利用した L i イ オン電池固体電解質界面のナノ解析
Author(s)	笹原,亮
Citation	科学研究費助成事業研究成果報告書: 1-6
Issue Date	2013-05-31
Туре	Research Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11383
Rights	
Description	研究種目:挑戦的萌芽研究,研究期間:2011~2012, 課題番号:23656030,研究者番号:40321905,研究分 野:表面科学,科研費の分科・細目:応用物理学・工 学基礎、薄膜・表面界面物性



Japan Advanced Institute of Science and Technology



科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号:13302
研究種目:挑戦的萌芽研究
研究期間:2011~2012
課題番号:23656030
研究課題名(和文)気相堆積法による平坦化酸化物表面を利用したLiイオン電池固体電解質
界面のナノ解析
研究課題名(英文) Adsorption of Li atoms and propylene carbonate molecules on the oxide
surface
研究代表者
笹原 亮 (SASAHARA AKIRA)
北陸先端科学技術大学院大学・マテリアルサイエンス研究科・助教
研究者番号:40321905

研究成果の概要(和文):

酸化物電極表面における電解質分子と溶媒分子の反応サイトを特定することを目的とし、二酸 化チタン単結晶表面における Li 原子と炭酸プロピレン分子の吸着状態を解析した。Li 原子は 単原子ステップに濃縮され、炭酸プロピレン分子は0原子欠陥で安定化されることを明らかに した。得られた結果は、電極表面ナノ構造の制御が固体電解質界面の最適化の鍵になることを 示している。

研究成果の概要(英文):

Adsorption behaviors of Li atoms and propylene carbonate (PC) molecules were examined on a rutile titanium dioxide $(110)-(1\times1)$ surface. Lithium atoms were concentrated at the steps, while PC molecules were stabilized at the bridging O vacancies. The results indicated the controlling of the nanometer-sized structures on the oxide electrode surfaces is the key to optimize the surface-electrolyte interface composed of electrolyte and solvent molecules.

交付決定額

 (金額単位:円)

 直接経費
 間接経費
 合計

 交付決定額
 3,100,000
 930,000
 4,030,000

研究分野:表面科学

科研費の分科・細目:応用物理学・工学基礎、薄膜・表面界面物性 キーワード:固体電解質界面 リチウム 炭酸プロピレン 二酸化チタン 走査トンネル顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

リチウムイオン電池の性能向上には、陽極 表面に形成される固体電解質界面(SEI)の 制御が鍵になる。SEI は、電解質分子(六フ ッ化リン酸リチウム等)と溶媒分子(炭酸プ ロピレン等)の分解生成物で構成される、厚 さ数 nm の層である。SEI により、電極表面で の溶媒分子の分解は抑制され、また、電極表面で の溶媒分子の分解は抑制され、また、電極表面で の溶媒分子の分解は抑制され、また、電極表面で の溶媒分子の分解は抑制され、また、電極表面で の溶媒分子の分解は抑制され、また、電極表面で の溶媒分子の分解は抑制され、また、電極表面で の溶媒分子の分解は抑制され、また、電極表面で の溶媒分子の分解は抑制され、また、電極表面で の溶媒分子の分解は抑制され、また、電極表面で より、電極表面やの 接近が制限される。一方、SEI の形成に消費 された Li イオンは充電容量に寄与しないた め、過度の SEI の形成は電池容量の低下を招 く。正負の効果を持つ SEI の最適化が、リチ ウムイオン電池の長寿命化、高容量化を実現 する。SEI の濃度・厚さの最適化は、電極材 料や電解質のバルク物性の探索により試み られてきた。

電極に用いられるイオン性酸化物の表面 電荷分布は、原子の配置を敏感に反映する。 Liイオンや極性電解質分子の吸着は、電極表 面の電荷分布に依存する。従って、SEIの形 成サイトは電極表面のナノサイズの局所構 造と考えられる。SEIの形成サイトを特定し、 その密度や分布を制御して構築できれば、 SEIの最適化が実現するかもしれない。

2. 研究の目的

本研究は、イオン性酸化物表面のナノ構造 が SEI の形成に与える影響を解明することを 目的とした。構造がよくわかっている二酸化 チタン(TiO₂)(110)表面を用いて、Li 原子 及び炭酸プロピレン(PC)分子の吸着を解析 した。研究期間内に、Li 原子は表面の段状構 造(ステップ)に、PC分子は0原子欠陥に特 異的に吸着することを明らかにした。SEIの 材料分子の吸着が酸化物表面のナノ構造に 敏感であることは、SEIが電極表面のナノ構造に 敏感であることは、SEIが電極表面のナノ構造に 敏感であることは、SEIの最適化に繋がること を強く支持する。発展研究として気相堆積法 によるマンガン酸化物単結晶薄膜表面の作 製を試みたが成功していない。現在、結晶成 長に適した基板を探索中である。

3. 研究の方法

実験は超高真空型走査トンネル顕微鏡 (STM)装置(JSPM-4500S、日本電子)を用 いて実施した。本装置は、STM を備えた顕微 鏡室と試料を作製するための試料準備室の、 2つの真空槽から成る。各真空槽の圧力は2 ×10⁻⁸ Paである。試料準備室はイオンスパッ タ銃(EX03、Thermo)、低速電子線回折(LEED) 装置、四重極質量分析器(e-Vision+、MKS instruments)、Li 蒸着源(SAES Getters)、 炭酸プロピレン導入装置を備えている。STM 測定では、バイアス電圧を試料側を正とし、 電流一定モードで非占有状態像を取得した。 探針には、電解研磨で先鋭化したW線を用い た。

TiO₂(110) 表面は、Ar イオンスパッタと 1170 K での加熱を繰り返して(1×1)構造とし た。図1(a)は(1×1)表面のモデルである[1]。 (1×1)表面は原子レベルで平坦なテラスで 構成され、テラス間の段差(ステップ)の高 さは 0.32 nm である。テラスでは 2 つの Ti 原子に配位した0原子(ブリッジ0原子)が 突出し、[001]方向に列(0原子列)を形成し ている。ブリッジ 0 原子の数%は、加熱によ り欠損する(0原子欠陥)。一部の0原子欠陥 では真空槽内の残留 H₂0 が解離し、0H 基が形 成される[2]。0原子列間には5つの0原子に 配位した Ti 原子 (5 配位 Ti 原子) が露出し、 [001] 方向に並んでいる(Ti 原子列)。5 配位 Ti 原子に配位した面内の 4 つの 0 原子は in-plane 0 原子と呼ばれる。単位格子のサイ ズは 0.30 nm×0.65 nm である。

図1(b)は(1×1)表面のSTM像である。[001] 方向に延びた明るい列はTi原子列である。 非占有状態はTi原子の3d軌道から成り、Ti 原子の周囲に局在するため、5配位Ti原子上 でトンネル電流は大きくなる。探針は試料表 面から離れてトンネル電流を一定に保持す るため、Ti原子列が明るく観察される。Ti 原子列の間の点像は、OH基または0原子欠陥 である。探針の状態を調整すると、OH基を Ti原子列より明るく丸みを帯びた点像とし て、0原子欠陥をTi原子列とほぼ同じ高さの 線状の点像として、両者を識別できる。挿入 図中の矢印は0原子欠陥に帰属される点像で ある。本研究で作製した(1×1)表面における OH 基、0原子欠陥の密度はそれぞれ、0.3 nm⁻²、 0.03 nm⁻²である。円で囲んだ粒子は還元種 TiO_x(x<2)である。

Li 原子は市販の蒸着源を用いて蒸着した。 PC ガスはリークバルブを通して真空槽内に 導入した。PC 分子はカーボネート基 (-0-(C0)-0-)を含む、5 員環の環状炭酸エ ステル化合物である(図1(c))。



図1 (a) TiO₂(110)-(1×1)表面のモデル図。灰色の大円、 黒色の小円、白色の大円は、それぞれ0原子、Ti原子、 H原子を表す。(b) TiO₂(110)-(1×1)表面のSTM像(40× 40 nm²)。試料バイアス(V_s):+1.6V、トンネル電流(*I*_t): 0.2 nA。挿入図はテラスの狭域走査像(5×5 nm²)。V_s:+1.0 V、*I*_t: 1.0 nA。(c)炭酸プロピレン分子のモデル。

4. 研究成果

Li 原子の吸着状態の解析

図 2(a) は Li を蒸着した TiO₂(110)-(1×1) 表面の STM 像とそのモデルである。STM 像中 で矢印で示した点像が Li 原子であり、蒸着 時間と共に増加した。モデル中の円と[001] 方向に沿った実線は、それぞれ Li 原子と Ti 原子列を表す。STM 像中で水平方向に延びた 点像は探針走査中に移動した Li 原子であり、 モデル中では楕円で表されている。[110]方 向の点線は、5 配位 Ti 原子 (ブリッジ0 原子) の中心を通過する。STM 像中の矢頭は、Ti 原 子列中で解像された 5 配位 Ti 原子の一部を 示す。

STM 像から、吸着位置が異なる 3 つの Li 原 子を特定した。1 つは 5 配位 Ti 原子の真上に 吸着した Li 原子であり、これを原子 A とす る。他の 2 種は、Ti 原子列からわずかに[110] 方向に逸れた位置、2 つの Ti 原子列の中間位 置に吸着した Li 原子である。これらをそれ ぞれ原子 B、C とする。モデル中の白色、灰 色、黒色の円はそれぞれ原子 A、B、C を表す。 図 2(b) は、原子 A、B、C の吸着位置を表す。 原子Aは4つの in-plane 0 原子の hollow site に、B 原子は 2 つの in-plane 0 原子と1 つの ブリッジ 0 原子から成る hollow site に、C 原子は 0 原子欠陥に吸着している。図 2(c) の断面図に示すように、Li 原子 A、B、C の高 さはいずれも約 0.03 nm だった

図 2(d)は図 2(a)に連続して取得した像で ある。図2(a)中の原子Aの27%、原子Bの80%、 原子 C の 60%の位置が、図 2(d)で変化した。 図 2(d)中の45%のA原子、100%のB原子、67% の C 原子は、続いて取得した画像で異なる位 置に観察された。このように、Li 原子A、B、 C のいずれも室温で表面を移動することがわ かった。



図 2 (a)Li 蒸着表面の STM 像 (10×10 nm²) とそのモデ ル。(b)Li 原子の吸着モデル。(c)(a)のモデル中の破線 に沿った、STM 像の断面。三角形は Ti 原子列の位置を表 す。(d)(a)に続いて取得した STM 像。V_s:+1.0V、I_t:1.0 nA。

図3(a)は、Li 吸着表面(平均密度1.5 nm⁻²) のステップ付近のSTM像とそのモデルである。 モデル中の円と破線はLi 原子及びステップ を表す。図3(b)は、[001]方向に沿ったステ ップからの距離dに対するLi 原子の密度を 表す。密度は、ステップに平行な辺と[001] 方向の辺で構成した平行四辺形の領域について計算された。モデル中には、平行四辺形 の1つを示した。計算に用いたステップの総 長さは68 nm、Li 原子は382 個だった。上側 のテラスではステップから3 nm 以内の領域 で、下側のテラスではステップから1 nm 以 内の領域で、Li 原子の密度が1 nm⁻²に低下す ることがわかった。

ステップ近傍でのLi 原子の密度の低下は、 ステップ近傍での表面電子状態の変動を示 す。Li 原子は、吸着位置から1 nm 程度の領 域で、真空側への表面電子の広がりを緩やか にする[3]。これは、TiO₂への電子の供与を伴 う Li 原子の吸着を阻害する。低被覆率では Li 原子は表面を拡散し、ステップに濃縮され、 その結果として、ステップ近傍での Li 原子 の密度が低下すると考えられる。

0 0

°, °

00

് െ എ Չ

000 000 000

Ø

, °°°

o





図 3 (a)Li 蒸着表面の STM 像 (16×16 nm²) とそのモデ ル。V_s: +1.0 V、I_t: 1.0 nA。(b)ステップからの距離に 対するLi 原子の密度。

(2)炭酸プロピレン分子の吸着状態の解析
図 4(a)は、1 L(1 L = 10⁻⁶ Torr s)の PC
ガスに暴露した TiO₂(110)-(1×1)表面の STM
像である。像中には、直径 0.8 nm、高さ 0.15 nmの点像が観察された。挿入図は、実線で示した領域の拡大図である。矢印は点像を示し、矢頭はノイズ様の不完全な点像を示す。(1×1)表面を 2Lの PC ガスに暴露すると、図 4(b)に示すようにテラス内はノイズで覆われた。 点線で示した領域は、図 4(b)の取得前に+2.0
V の試料バイアスで走査された。この領域には周囲に比較して暗い部分が多く、PC 分子の密度が低下していることを示す。拡大図に示すように、分子サイズの点像が観察された。



図 4 (a)1 L 及び (b)2 L の PC ガスを導入した (1×1)表面 の STM 像 (30×30 nm²)。挿入図は実線で囲んだ領域の拡 大図 (5×5 nm²)。V_s: +1.0 V、*I*_t: 1.0 nA。

以上から、PC分子は低被覆率で点像として観察され、高被覆率では表面を移動するためノイズ様の像として観察されることがわかった。極性を持つPC分子間には反発力が働き、その力が運動を促進すると考えられる。

図 5(a)は、1170 K で加熱して作製した(1 ×1)表面の STM 像 (ステップ密度:0.16 nm⁻¹) と、PC ガスへの暴露に伴う表面の仕事関数の 変化を示す。この表面を低ステップ密度表面 とする。1 L の PC ガスに暴露すると仕事関数 は 0.50 eV 減少し、2 L の PC ガスに暴露する と減少量は 0.78 eV に達した。暴露量を 2 L 以上にしても仕事関数の減少量は 0.78 eV で 変化しなかった。図 5(b)は、加熱温度を 1020 K に下げて作製した高ステップ密度(1×1)表 面 (ステップ密度:0.29 nm⁻¹)の STM 像と、 PC ガスへの暴露に伴う仕事関数の変化であ る。仕事関数の減少量は、1 L の PC ガスに暴露 すると 0.54 eV、2 L 以上のガスに暴露す ると 0.81 eV だった。

仕事関数の減少は、PC 分子が負に帯電した カーボネート基で TiO₂表面に結合し、真空側 に向いた表面双極子を形成したことを示す。 大きさ μ の双極子モーメントを持つ PC 分子 の単分子層が平行平板コンデンサを形成す ると考えると、仕事関数の減少量 $\Delta \Phi$ は次式 で表される。

$$\mu\cos\theta = \frac{\varepsilon}{\sigma}\Delta\Phi \qquad (1)$$

 θ 、 σ 、 ε は、表面に対する μ の傾斜角、 μ の密度、分子膜の誘電率である。1 L の PC ガスに暴露した表面で、 $\Delta \Phi$ 、 θ 、 σ 、 ε をそれぞれ0.50 eV、0°0.4 nm⁻²、8.9×10⁻¹²m⁻³kg⁻¹s⁴A²(真空の誘電率)とすると、 μ は3.3 D と計算される。この値は、PC 分子の分子双極子3.3 D と一致する。



図 5 (1×1)表面の STM 像 (50×50 nm²) と PC ガスへの暴露に伴う表面の仕事関数の変化。(a) 1170 K で加熱した表面。(b) 1020 K で加熱した表面。V_s: +1.0 V、I_t: 1.0 nA。

図 5 の結果は、PC 分子がステップに吸着し ないことを示す。1 L の PC ガスに暴露すると、 高ステップ密度表面の $\Delta \Phi$ は低ステップ密度 表面の $\Delta \Phi$ より 0.04 eV 大きい。式(1)より、 μ =3.3 D のとき 0.04 eV の $\Delta \Phi$ は 0.03 nm⁻² の σ の増加に対応する。0.03 nm⁻² の σ の増加 は、図 5(a)の PC 分子の密度 0.4 nm⁻²の 10% 以下である。STM 像では、ステップにおける PC 分子の密度の増加は観察されなかった。

図 6 は、1 L の PC ガスに暴露した(1×1) 表面の STM 像とそのモデルである。STM 像に は、PC 分子、暗い点像、Ti 原子列が観察さ れた。モデル中の大円、小円、実線はそれぞ れ PC 分子、暗い点像、Ti 原子列を示す。白 色、灰色の大円は、それぞれ Ti 原子列上、 Ti 原子列の間に位置する PC 分子である。PC 分子の 90%は Ti 原子列上に位置した。灰色、 黒色の小円は、Ti 原子列間、Ti 原子列上の 暗い点像を示す。図 6(b) に示すように PC 分 子の高さは 0.1-0.2 nm だった。図 6(c)、(d) は図 6(a)に続いて取得した STM 像である。図 6(a)から図 6(c)、図 6(c)から図 6(d)で移動 した PC 分子を矢印で示した。移動した PC 分 子は Ti 原子列上に観察されたものであり、 Ti 原子列間の PC 分子は移動しなかった。

Ti 原子列上に観察された PC 分子は、0 原 子の sp2 非共有電子対の1 つで5 配位 Ti 原 子に配位すると考えられる。この結合は静電 的で弱く[4]、PC 分子は Ti 原子列上を移動す る。Ti 原子列間の PC 分子は 0 原子欠陥に吸 着していると考えられる。この PC 分子の密





0.11 nm

図 6 (a) PC 吸着表面の STM 像 (20 × 20 nm²) とそのモデル。 (b) (a) のモデル中の破線に沿った断面図。(c) 、(d) (a) に続いて連続して取得した STM 像 (20 × 20 nm²)。V_s: +1.0 V、I_t: 1.0 nA。

度 0.03 nm⁻²は 0 原子欠陥の密度に等しく、 全ての 0 原子欠陥が PC 分子で占められてい る。PC分子は、2つの非共有電子対で0原子 欠陥に露出した 2 つの Ti 原子に配位する。 従って PC 分子は 0 原子欠陥で安定化し、移 動しないと考えられる。

Ti 原子列の間の暗い点像は OH 基である。 Ti 原子列上の暗い点像は、PC の分解生成物 であるアセトンや酸化プロピレンと考えら れる。

PC分子が2つの非共有電子対で配位して安 定に吸着すると考えると、ステップに安定に 吸着しないことが理解できる。(1×1)表面に 高い頻度で現れるステップの1 つは<001>方 向のステップで、図1(a)に示したA、Bの2 つのタイプが考えられる[1]。ステップ A で は、5配位Ti原子がステップ面に露出される。 Ti 原子間の距離は 0.3 nm で、0 原子欠陥内 の Ti 原子間の距離と等しい。しかし、PC 分 子が2つの非共有電子対で配位するためには 五員環が下側のテラスに接近しなければな らず、立体的に不利である。ステップBでは、 3 配位の Ti 原子が 1.2 nm 間隔で露出する。 この Ti 原子から下側のテラスの最も近い 5 配位 Ti 原子までの距離は 0.46 nm であり、0 原子欠陥中の Ti 原子間距離より大きい。従 って、2つのTi原子への配位は難しい。

(1×1)表面で高い頻度で現れるもう1つの ステップは、<111>ステップである。Diebold らが提案したモデル[1]では、4配位および5 配位の Ti 原子が 0.36 nm の間隔で交互に露 出する。Ti 原子間の距離は、0 原子欠陥中の Ti 原子間距離より大きい。そのため、吸着す る PC 分子は 0 原子欠陥に吸着する PC 分子よ り不安定であろう。Martinez らが提案した<1 11>ステップの構造[5]では、Ti原子に6つの 0原子が配位しており、PC 分子の吸着は立体 的に不利である。

PC分子が0原子欠陥に安定に吸着すること を確認するため、0原子欠陥が多い TiO₂(110) 表面を作製して PC 分子の吸着状態を解析し た。図7(a)は500 eVの電子線に20分間暴露 した(1×1)表面のSTM像とそのモデルである。 点欠陥の密度は 1.0 nm⁻²に増加し、その高さ は断面図に示すように 0-0.1 nm の範囲で広 く分布した。0.01 nm 以下の高さの点欠陥が 0 原子欠陥と仮定すると、0 原子欠陥及び 0H 基の密度はそれぞれ 0.08 および 0.9 nm⁻²と 算出された。モデル中の黒丸、灰色丸は、0 原子欠陥、OH 基に割り当てられた点像を示す。 STM 像中で矢印で示した Ti0, 種も点欠陥と共 に増加した。図7(a)の結果は、電子線照射に より0原子欠陥が生成されたことを示す。画 像から推定した 0 原子欠陥及び OH 基の密度 は識別可能な点像を数えたものであり、実際 の密度はさらに高いと考えられる。隣接する 2つの OH 基は、1つの高い点像として観察さ

れる[2]。0原子欠陥についても同様の効果が 予想される。

図 7(c)は、2 L の PC ガスに暴露した電子 線照射表面の STM 像とそのモデルである。表 面は、分子サイズの点像により被覆された。 点像は、高い点像と低い点像の2種に分類さ れた。モデル中の白色および灰色の円はそれ ぞれ高い点像と低い点像を表す。両点像の密 度は 0.7 nm⁻²だった。図 7(d)に示すように、 高い点像は低い点像より 0.08-0.1 nm 高く、 低い点像は点像のない間隙より 0.08-0.09 nm 高かった。

高い点像、低い点像は、画像高さからそれ ぞれ PC 分子、OH 基に帰属される。間隙は PC 分子や OH 基が吸着していない(1×1)表面で ある。モデル中の点線は Ti 原子列を表し、 OH 基が 0.65 nm の間隔の線の中間に位置する ように定めた。PC 分子の 57%は Ti 原子列の 間で位置し、0 原子欠陥に安定に吸着してい ると考えられる。PC 分子の密度は 0.4 nm⁻² であり、図7(a)で0原子欠陥に割り当てられ た点像の密度 0.08 nm⁻²の 5 倍である。0 原子 欠陥と PC 分子の密度の不一致は、電子線照 射表面の 0 原子欠陥の数え違いに起因する。 0 原子欠陥の一部は、高さの増加により誤っ て OH 基に分類されたのだろう。隣接した 0



0.04 nm

(ii)

0.05 nm

(iii) 0.09 nm





図 7 (a) 電子線を放射した(1×1) 表面の STM 像(15×15 nm²)とそのモデル。(b)(a)のモデル中の破線に沿った断 面図。(c)2LのPCガスに暴露した電子線照射表面のSTM 像(15×15 nm²)。(d)(c)のモデル中の破線に沿った断面 ⊠ $_{\circ}$ V_s: +1.0 V, I_t: 1.0 nA_o

原子欠陥は、孤立した0原子欠陥より高い1 つの点像として観察されると考えられる。 0.3 nm⁻²の隣接0原子欠陥が、0.15 nm⁻²の高 い点像として画像化されたとする。孤立した 0原子欠陥、隣接した0原子欠陥の総密度は 0.38 nm⁻²となり、図7(c)のTi原のPC分子 の密度と等しくなる。0H 基の密度は、0.75 nm⁻²であると判明し、PC分子吸着表面の密度 と一致する。

(3)まとめ

Li 原子が TiO₂(110) 表面のステップに、PC 分子が 0 原子欠陥に特異的に吸着することを 明らかした。これは、電極表面のナノ構造の 制御により、Li 原子と PC 分子の反応で形成 される SEI の濃度・厚さを制御できる可能性 を示している。電極は酸化物の微粒子薄膜で ある。微粒子を構成するファセット面の面指 数の制御や酸化還元処理により、ステップや 0 原子欠陥の濃度は制御できる。本研究の成 果は、電極表面のナノ構造設計の端緒となる。

(4)参考文献

[1] U. Diebold Surf. Sci. Rep. 2003, 48, 53-229.
[2] S. Wendt et al. Surf. Sci. 2005, 598, 226-245.

[3] P. J. Feibelman et al. *Surf. Sci.* **1985**, *149*, 48-66

[4] J. Haubrich et al. *Chem. Eur. J.* **2011**, *17*, 4496–4506.

[5] U. Martinez et al. *Phys. Rev. B* 2011, *84*, (205434) 1–6.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

① H. Tatsumi, <u>A. Sasahara</u>, and M. Tomitori "Adsorption of Propylene Carbonate Molecules on a TiO₂(110) Surface" *J. Phys. Chem. C* 2013, *117*(25), 10410-10416. 査読有

E. Pavel, S. Jinga, E. Andronescu, B. S. Vasile, G. Kada, <u>A. Sasahara</u>, N. Tosa, A. Matei, M. Dinescu, A. Dinescu, O. R. Vasile "2 nm Quantum Optical Lithography" *Opt. Commun.* 2013, 291 (15), 259-263. 査読有

③ H. Tatsumi, <u>A. Sasahara</u>, and M. Tomitori "Lateral Distribution of Li Atoms at the Initial Stage of Adsorption on TiO₂(110) Surface" *J. Phys. Chem. C* **2012**, *116* (25), 13688-13692. 査読有

④ R. Kokawa, M. Ohta, <u>A. Sasahara</u>, and H. Onishi, "Kelvin Probe Force Microscopy Study of a Pt/TiO₂ Catalyst Model Placed in an Atmospheric Pressure of N₂ Environment" *Chemistry - An Asian Journal* **2012**, 7 (6), 1251-1255. 査読有

(5) Y. Jeong, M. Hirade, R. Kokawa, H. Yamada,

K. Kobayashi, N. Oyabu, T. Arai, <u>A. Sasahara</u>, and M. Tomitori、"Local interaction imaging by SiGe quantum dot probe" *Curr. Appl. Phys.* **2012**, *12*(2), 581-584. 査読有

〔学会発表〕(計5件)

 <u>笹原亮</u>「金属酸化物表面の表面電位測 定」 2013 年度顕微鏡学会 SPM 分科会オープ ン研究会 2013年1月23日、大阪 ② <u>笹原 亮</u>「金属酸化物表面の液中ナノスケ ール構造解析」 2012 年度日本地球化学会年 会 2012年9月12日、福岡 ③ 辰巳 仁美、<u>笹原 亮</u>、富取 正彦「TiO₂(110) 表面上のリチウム- 炭酸プロピレン共吸着 の走査型トンネル顕微鏡による研究」2012年 春季第 59 回応用物理学関係連合講演会 2012年3月15日、東京 ④ H. Tatsumi, <u>A. Sasahara</u>, and M. Tomitori "Initial adsorption of lithium and propylene carbonate on a metal oxide surface for lithium ion battery observed by scanning tunneling microscopy" 19th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM19) Dec. 19, 2011, Toyako-cho, Japan. ⑤ 辰巳 仁美、<u>笹原 亮</u>、富取 正彦「金属酸 化物表面上のリチウムイオン-炭酸プロピレ ン共吸着層の走査型トンネル顕微鏡による 研究」平成23年度応用物理学会北陸·信越 支部 学術講演会 2011年11月18日、金沢 〔図書〕(計1件) ① 笹原 亮、富取 正彦、株式会社エヌ・テ ィー・エス ポストシリコン半導体 -ナノ成 膜ダイナミクスと基板・界面効果- 第4編 評価:解析「半導体表面構造・電荷分布の原 子スケール解析を実現する走査プローブ顕 微鏡」 in press. 〔産業財産権〕 ○出願状況(計0件) ○取得状況(計0件) [その他] 6. 研究組織 (1)研究代表者 笹原 亮(SASAHARA AKIRA) 北陸先端科学技術大学院大学・マテリアル サイエンス研究科・助教 研究者番号:40321905 (2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし