

令和元年6月12日現在

機関番号：32704

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12653

研究課題名(和文) 不織布型CNTを基材とする廃SiからのLiイオン電池用Si系負極活物質の創製

研究課題名(英文) Creation of Si based negative electrode active material for Li ion battery from waste silicon based on non-woven fabric CNT

研究代表者

友野 和哲 (Tomono, Kazuaki)

関東学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：40516449

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：太陽光パネル製造時に50%のシリコン切屑が発生する。我々は臭化水素によるプロモ化反応を用いてプロモシランを得た。液体であるプロモシランは電気化学的手法のシリコン源として有効利用できる。リチウムイオン電池の負極材として、シリコンと不織布型CNTの複合電極材料を作製した。この方法は、Ni基板上へのCNTの泳動電着法(EPD法)と、それに続くプロモシランからのシリコン電析を含んでいる。薄膜の電気化学的利用を最大にするために、EPD時間とSi電析の条件を系統的に変更し、得られた薄膜の評価を行った。得られた電極は700mAh/gの電荷蓄積量を有した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の遂行により、電気泳動を促進させるマグネシウム等のイオン無しでのCNT膜厚制御とプロモシランのCNT基板に対するSi還元析出の知見が得られた。Liイオン電池用負極材としてSi/CNT基板は負極材として働くことがわかった。また、Siの膨張収縮による基板からの脱落は不織布状にCNTを電着させることで抑制しうることが示唆された。各種条件の最適化には至らなかったが、太陽電池製造時に発生する廃Siから得られるプロモシランを、蓄電材料であるSi系負極材へ利用できたことは、プロモシランの付加価値を高めたこと、常温・ウエットプロセスという低コスト手法による負極材作製法の可能性を提供できたと考えている。

研究成果の概要(英文)：Si ingot for solar cell is sliced by a multi-wire saw machine. It is generally accepted that more than 50% of high-purity Si has been wasted during the slicing process. We reported the bromination between the kerf loss Si and HBr. We are considering the effective utilization of the bromosilane solution obtained from a kerf loss silicon. One of the attractive methods is the starting materials as silicon source for an electrochemical method. We are fabricated composite electrode materials consisting of Si and nonwoven fabric-type CNT for anode material of Li ion batteries. The process involves electrophoretic deposition (EPD) of CNTs onto a Ni electrode, followed by cathode deposition of Si film from bromosilane. Electrochemical properties of the composite electrodes with various conditions of Si and CNTs are evaluated systematically with the aim of maximizing the electrochemical utilization of the film. The obtained electrodes have a charge storage of ~700 mAh/g.

研究分野：リサイクル工学, 電気化学

キーワード：再資源化 プロモシラン 電気化学的手法 カーボンナノチューブ リチウム蓄電池

様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化石燃料や原子力からのエネルギー転換が叫ばれる中、CO₂の排出を伴わない太陽光発電は次世代エネルギーの最有力候補といえる。WBGUが推奨したEnergy Vision2100によれば、太陽電池によるエネルギー供給の割合は2100年には50%に達すると提言されている。つまり、2015年には太陽電池モジュールの作製工程で80千t/年の廃Siの排出が予想される(Braga他, *Sol. Energy Mater. Sol. Cell.*, 2008)。廃Siのリサイクル技術(新菱(株), NEDO_H17~19年)が求められているが、不純物除去(砥粒)が不十分なため実用化には至らず、産廃処理されている。

近年、欧州を発端に、太陽電池モジュールのリサイクル(80%義務化)が活発である。環境省「使用済み再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル基礎調査」によれば、太陽電池モジュールの廃棄処理量が総産廃排出量の0.2%(2030年)を占めることが報告され、2014年にNEDO「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」が開始された。太陽光発電に関わるSiのリユース・リサイクルの確立が重要になりつつある。

我々は、Si生産性が低いクロロシラン(SiCl系)に代わり、ブロモシラン(SiBr系)による廃Siの再生法を検討した(友野他, *Sep. Purif. Technol.*, 2013)。SiBr₄の還元によるSi電析膜に関する研究成果から、ブロモシランは液体のため、シラン濃度や電析浴温度などの反応条件の自由度が高いことがわかった。電気化学手法によるSi薄膜の作製は、電解液として有機溶媒(Munisamy他, *Electrochimica Acta.*, 2010)、イオン液体(Borisenko他, *J. Phys. Chem. B.*, 2006)、熔融塩(Homma他, *Electrochimica Acta.*, 2015)が検討され、Si源は、主としてSiCl系が利用されている。SiHCl₃(b.p. 31°C)の場合、浴温度(35°C→150°C)とシラン濃度(0.1M→1.0M)の増加により、均一な膜が形成されることが報告されているが、浴中で気化しているはずのSiHCl₃に関する考察はなく、本質的な反応条件の精査は行われていないと考えられる(Agrawal他, *J. Electrochem. Soc.*, 1981)。一方、我々はSiBr系のウェット系電気化学実験から浴温度を変更することで、析出させるシリコンの形態を粒子状から薄膜状へと制御できることを明らかにした。ブロモシランの液体という特性を活かし、Liイオン電池の負極活物質として利用できるプロセスを提案できれば、廃Siから作製できるブロモシランの“付加価値”は高まり、より効率的な廃Siのリサイクルシステムを提唱できる。近年、Li電池高容量化を実現するために、炭素(C系)負極から10倍の理論容量を示すシリコン(Si系)負極材に関する研究が盛んに行われている(Si他, *JSPM 2010*; Liu他, *ACS Nano 2012*)。電池製造方法としては化学気相成長法による報告があるが、高真空・高エネルギーを必要とし汎用性に欠ける。一方、ウェットプロセスである電気化学手法は、大面積基盤に適用可能であり析出量(膜厚)も通過電気量・析出形態も電気化学的な条件を精査することで精密に制御できる。これらの成果を踏まえ、泳動電着時間を操作することで柔軟性・多孔性を制御できる不織布型CNTを基体として、Liイオン電池に好適なSi系負極材を創製できると着想した。

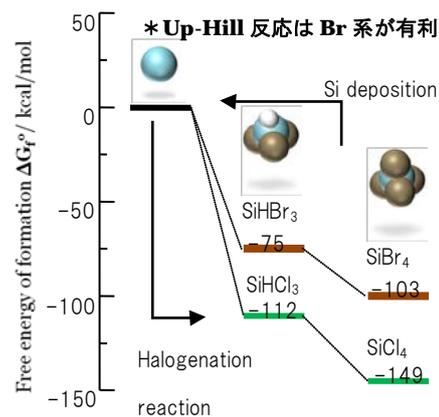


Fig. Energy diagrams

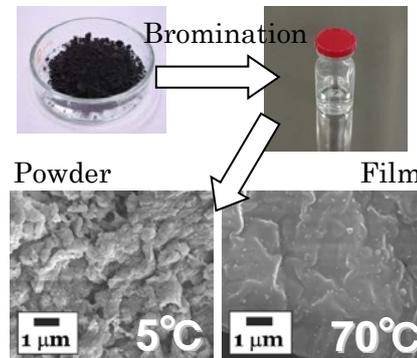


Fig. Electrodeposition of Silicon from kerf loss silicon

2. 研究の目的

太陽電池モジュールの製作過程で発生する廃棄物シリコン(廃Si)から得られるブロモシラン(SiH_{4-n}Br_n)から電気化学的手法によりシリコン薄膜を得る詳細な条件を見出した。熱力学的・速度論的にクロロシラン(SiH_{4-n}Cl_n)に比べて有利なブロモシランは、常温常圧で液体であり、ウェットプロセスである電気化学的手法のSi前駆体として最適といえる。ブロモシラン還元によるシリコン薄膜の作製は特許も含め学術的知見がほとんどない。本研究の目的は、泳動電着法により膜厚制御可能なCNTを基体として、電気化学的手法によりSi薄膜を作成し、Liイオン電池用負極材としての利用を試みる。太陽電池制作過程から発生する廃Siから、蓄電デバイスであるSi系負極材の創製法を確立できれば、ブロモシランの付加価値は高まり、常温・ウェットプロセスという低コストリサイクル法を提供できる。

3. 研究の方法

(1) 試薬および試料ガス

電気泳動に使用する試薬は、多層カーボンナノチューブ(CNT)(multi-wall, >98%, D×L. 100nm×20-200μm, Aldrich chemistry, USA), 硝酸(95%, 和光純薬工業)と硫酸(95%, 和光純薬工業), イソプロピルアルコール(97%, 関東化学), 硝酸マグネシウム・六水和物(98%, 和光

純薬工業)を用いた。シリコンの電気化学析出反応に使用する試薬は、テトラブロモシラン(SiBr_4 , Sigma-Aldrich, 99.995%), 炭酸プロピレン(PC, 和光純薬工業株, 98.0%)及び、テトラブチルアンモニウムブロミド(NBu_4Br , 和光純薬工業株, 99%)を使用した。電気化学測定に使用する試薬として、 LiPF_6 溶液 (1mol/L, 炭酸エチル(EC):炭酸ジエチル(DEC)(1:1v/v), キシダ化学), 炭酸ジエチル (99%, ナカライテスク), Li箔 (T×S. 0.200mm×10.00mm², 本荘ケミカル)をそのまま用いた。後処理の試薬として、クロロホルム(和光純薬工業株, 99.0%)を使用した。試料ガスとして、アルゴンガス(特殊ガス商会, 一般工業用)を用いた。各実験において、適当な作用極として、Ni板(1.0×1.0cm²), インジウムドープ酸化スズ透明導電膜ガラス基板($\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$, 1.0×5.0cm²; 以下, ITO極), フッ素ドープ酸化スズ透明導電膜ガラス基板($\text{F}_2\text{O-SnO}_2$, 1.0×5.0 cm²; 以下, FTO極)を用いた。

(2) 実験および分析装置

電気化学実験にはポテンションスタット(北斗電工, HZ-5000)を用いた。電析実験には、自作の3電極式セルを用いた。作用極としてNi板(1.0×1.0cm²), ITO極, FTO極を用いた。対極には、炭素板(ニラコ, 1.0cm×5.0cm²)及び、参照極としてPt線(ニラコ, 0.5mmφ)をらせん状に加工したものを用いた。走査電子顕微鏡(SEM)およびエネルギー分散型X線(EDS)はJEOLJSM-7600Fを用いて、得られた薄膜表面を観察し、元素分析を行った。膜厚の測定として、集束イオンビーム加工観察装置(FIB, JEOL JEM-9320FIB)を用いた。

(3) 泳動電着法(EPD)による不織布型CNT薄膜/Ni基板の作製

CNTを0.3g秤量し、硫酸と硝酸を混合した混酸(3:1)20mLを加え、120°Cで30分還流した。混合溶液が120°Cになると還流管内が茶色気体で満たされた。還流後、還流管内から茶色気体が消えるまで溶液を60分放置して、溶液温度を室温まで下げた。静置した溶液に蒸留水を120mL加え、その溶液を遠沈管に入れた後、遠心分離器(IEC61010-2-020, KUBOTA)に4000rpmで40分間遠心分離を行った。遠心分離後の溶液の上澄み液の3分の2ほどを捨て、蒸留水を先ほど捨てた上澄み液と同程度加え、遠心分離機で4000rpmの条件で、さらに40分間遠心分離を行った。この操作を遠心分離して溶液が中性(pH試験紙)になるまで行った。中性になった溶液を30分超音波分散した。分散溶液を遠心分離器に入れ3000rpmで15分遠心分離した。遠心分離した溶液の上澄み液を5分の4ほど回収した。回収した溶液を30分超音波分散した。分散溶液を用いて作用極にNi(表面積1.0×1.0cm²; ニコラ)と、対極にPt(表面積1.0×1.0cm²; ニコラ)を使用し、電気泳動(EPD)を行った。EPDは直流安定化電源(PMX350-0.2A, KIKUSUI)を用いて定電圧DC35VでEPD時間30~1200秒の条件検討を行った。両電極の間隔は1cmで固定した。Niは前処理としてエタノールで洗浄して乾燥させた。また、PtはEPDを数回すると黒く汚れてくるのでこまめに硝酸に浸漬させ超音波洗浄して、蒸留水で洗浄し、乾燥させた。得られた不織布型CNT基板をデシケーターの中で2時間真空乾燥した後、各測定を行った。

(4) 電気化学的手法によるシリコン/不織布型CNT基板の作製

EPD法により作製した不織布型CNT/Ni基板(以下, CNT基板)を用いて、ブロモシランからのシリコン電析を行った。CNT基板をAr雰囲気下で密閉セルにブロモシラン2mL, 炭酸プロピレン60mL, テトラブチルアンモニウムブロミド4gを混合した溶液を入れ、スターラーで完全溶解させた。その溶液にCNT基板(表面積1×1cm²)を浸漬させた。対極のカーボン(前処理として紙やすり(No. 150)で研磨して用いた。作用極にCNT基板, 対極にカーボン(表面積1×1cm²), 参照極にPt(コイル, 巻き数12回)を使い電気化学測定(サイクリックボルタンメトリおよびクロノアンペロメトリ)を行った。サイクリックボルタンメトリ(CV)では電解電位0V~-4.0Vで10サイクル行った。クロノアンペロメトリ(CA)では-0.5~-3.5Vで0.5Vずつ電解電位を変化させて電析を行った。以後、得られた基板をSi/CNT基板と称する。

(5) Li半電池の準備および測定

CNT基板にSiを析出させたSi/CNT基板を負極として用いてLi電池を作製した。Ar下で密閉セルに炭酸ジエチルを60mL入れ、Si電析反応直後のSi/CNT基板を洗浄した。続いて、Ar下で密閉セルに LiPF_6 溶液を60mL入れ、作用極に洗浄したSi/CNT基板, 対極にLi箔(表面積1×1cm²)を浸漬させ、各種条件で充放電測定(HJ1001SD8, 北斗電工)を行った。作製したLi電池は LiPF_6 が電極に浸透させるため5時間放置した。

4. 研究成果

(1) 泳動電着法(EPD)による不織布型CNT薄膜/Ni基板の作製

CNTのEPDは定電圧35V, EPD時間30~1200秒で行った。Fig.1はNi基板のEPD時間300秒と600秒の写真である。Ni基板とCNTが電着されたNi基板を比較すると表面に電着物を確認できる。また、EPD時間の差により、電着物の色が濃くなっていることがわかり、電着物の量が変化していることがわかる。Fig.2は電着物のSEM

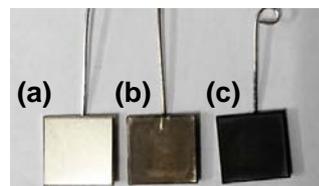


Fig 1. Photographs of the CNT film electrodes deposited on an Ni electrode by EPD for (a) 0 s (b) 300s (c) 600s.

画像と EDS 結果を示す。Ni 基板上に不織布状の電着物を観察した。また、EDS 分析から、この不織布状の電着物は CNT であることを確認した。また、SEM 画像より、遠心分離による分級操作により電着している CNT の直径は均一であることがわかった。また、本手法では泳動電着を補助するマグネシウムイオン(硝酸マグネシウム)を使用せずに電着できることを明らかにした。Li イオン電池用負極材として、マグネシウムの混入が極板性能に影響を及ぼす可能性を回避できた。

EPD 時間を変化させた基板に対して FIB を用いて膜厚測定を行った。Fig. 3 は EPD 時間に対する CNT 薄膜の膜厚である。膜厚の測定は全て FIB で行った。1 分から 10 分の間では EPD 時間に比例して膜厚が大きくなるが、EPD 時間 10 分ほどで 800nm 程度に達し、それ以上膜厚が大きくなることわかった。EPD 時間を 1~10 分の間で変更することで、CNT 膜厚に関する系統的結果が得られることが分かった。

(2) 電気化学的手法によるシリコン/不織布型 CNT 基板の作製
EPD 時間 1 分の不織布型 CNT 基板を使用して Si 電析を検討した。Fig. 4 に不織布型 CNT を作用極とした、テトラブロモシランのサイクリックボルタモグラム(CV)を示す。Fig. 4(a) はブロモシランを含まない炭酸プロピレンに不織布 CNT 基板を作用極として浸漬させた際の CV 曲線である。Fig. 4(b) はブロモシランを含む炭酸プロピレンに不織布 CNT 基板を作用極として浸漬させた際の CV 曲線である。Fig. 4(a) では -3.5V 付近から還元ピークが観察される。これは -3.5V 付近から炭酸プロピレンあるいは電解質であるテトラブチルアンモニウムブロミドが反応していることが分かる。また、テトラブロモシランが含まれる Fig. 4(b) では -0.5V 付近から新たな還元ピークが観察された。これはテトラブロモシランの還元ピークと考えられる。作用極である不織布型 CNT 基板上でブロモシランが還元反応 ($\text{SiBr}_4 + 4\text{e}^- \rightarrow \text{Si} + 4\text{Br}^-$) していることが分かる。この結果を踏まえて、Si の電解電位は -0.5 ~ -3.5V vs Pt quasi とした。Fig. 5 は、電解電位 -3.5V でシリコン電析を行った際に得られた Si/CNT 膜の EDS データである。EDS データでは CNT の炭素ピークに加えて、新たに Si のピークが観測された。EDS 結果からも、不織布状 CNT にシリコンが電析できたことが確認できた。また、臭素に由来するピークは電解質であるテトラブチルアンモニウムブロミド (NBu₄Br) に由来することが分かっている。

続いて、不織布型 CNT 基板に Si を電析できることがわかったので、電解電位を変更することによるシリコンのモルフォロジー変化を検討した。Fig. 6 では Si の電析時の電圧を変化させた際の SEM 画像である。Si の電解電位は -0.5V ~ -3.5V の間で、0.5V ずつ変化させて実施した。Si が -0.5V ~ -2.0V (Fig. 5a) の間では薄膜状に析出した。続いて -2.5V (Fig. 5b) では幾何学的な模様をもつ析出物を確認した。-3.0V および -3.5V (Fig. 5c) では、表面形状の凹凸が激しい膜の形成を確認した。Fig. 6d には電解電位を変化した時の析出過程の模式図を示す。電解電位が -0.5V ~ -2.0V の貴な電圧では Si 電析反応が緩やかに起こると考えられ、不織布型 CNT 基板に対してゆっくりと Si が析出したため薄膜状に析出物が形成されたと考えられる。電解電位 -2.5V では下地である不織布状の CNT 形状に依存して Si が析出するため、幾何学的な模様が形成されたと示唆された。さらに、電解電位が -3.0V 以上の卑な電圧では Si 析出が不織布状 CNT の様々な場所で起きるため、凹凸の激しい膜が形成されたと考えられる。本研究の目的は充放電時のシリコン体積変化を考慮している。不織布型 CNT に Si を薄膜状に析出させるという点では、最適な電解電位は -2.5V 以下であることがわかった。

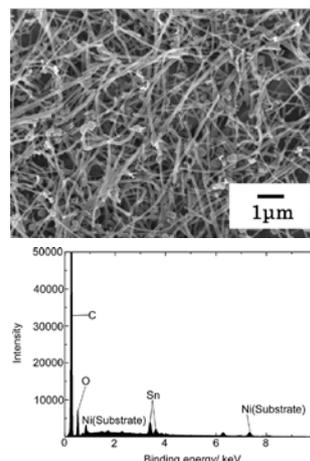


Fig 2. SEM image and EDS spectrum of the obtained film.

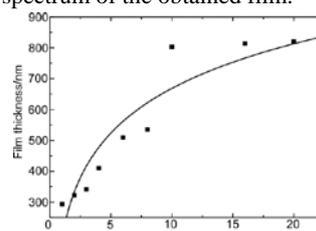


Fig 3. Plots of film thickness of deposited CNTs as a function of EPD time.

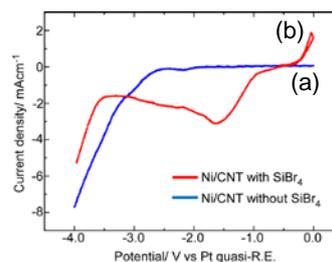


Fig 4. CV data.

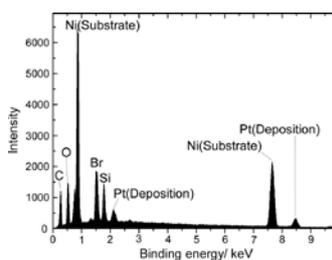


Fig 5. EDS spectrum of Si/CNT.

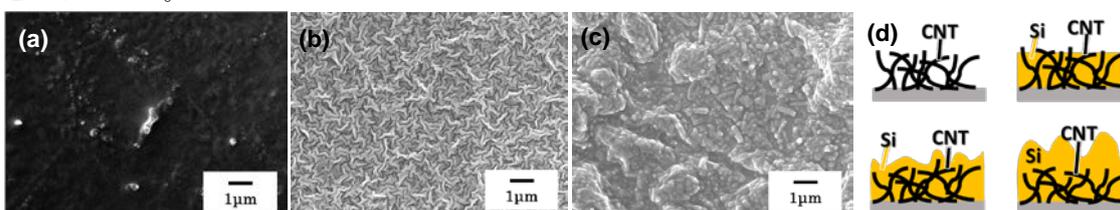


Fig 6. SEM images of the obtained Si/CNT films made by applying potentials of (a) -2.0V, (b) -2.5V and (c) -3.0V vs Pt. (d) Schematic diagram of Si electrodeposition on CNT electrode.

(3) Li 半電池の準備および充放電測定結果

まず初めに充放電測定に用いた Si/CNT 基板は、EPD 時間 1 分、Si 電析条件(電解電位; -2.0V, 電析時間 3 分)のサンプルを用いた。基板作製時のクロノアンペロメトリー(CA)から通過電荷量(199.3mC)を算出し、テトラブロモシランからのシリコン還元反応($\text{SiBr}_4 + 4\text{e}^- \rightarrow \text{Si} + 4\text{Br}^-$)にすべての電荷量が消費されたと仮定して、Si 電析量($1.45 \times 10^{-5}\text{g}$)を見積もった。以後、Si 電析条件を変更した際の Si 電析量はこの方法で見積もった値を用いた。上記条件で作製した Si/CNT 負極の充放電測定結果を Fig.7 に示す。Fig. 7 より充電容量が 1st サイクルでは 238.8mAh/g に達し、5th サイクルでは 144.9mAh/g となった。これより 5 サイクルで 40%ほど充電容量が減少することがわかった。充放電試験後のセルから、充放電時の体積膨張により Si/CNT からシリコンが基板から脱落していることが考えられる。

充放電前後の Si/CNT 基板の SEM 観察を行った(Fig. 8)。充放電前の Si/CNT 基板(Fig. 8a)では、表面にいくつかの CNT の露出と Si が薄膜状に CNT を覆っていることが観察されたが、充放電後の基板(Fig. 8b)では不織布状の CNT が確認できた。SEM 観察からも、電析させた Si が脱落していることがわかった。また、Ni 基板であるフラットな面も確認できることから、電着させた CNT も充放電前後で脱落していることが示唆される。

この結果を踏まえて、CNT の膜厚(EPD 時間)、Si のモルフォロジー(Si 電解電位)、Si 量(Si 電解時間)を系統的に変更して、充放電測定をおこなった。現時点での各種条件と充放電結果を表 1 に示す。CNT の膜厚については、最大膜厚である 800nm(EPD 時間 10 分)では、Si が電析する CNT 量がおおいことで初期容量は大きいサイクル特性が低いことがわかった。膜厚が約 500nm においては、卑にすることで SiBr_4 の反応量が多くなり、Si 堆積量が増加すると予想したが、堆積した Si が CNT 膜と一緒に脱離することがわかった。一方、CNT の堆積量に比例して Si の電析量及び初期充電容量は大きくなることがわかった。結果として、より貴である -2.0V の電解電位において電解電位 20 分が、CNT に対する Si 堆積量も多く、30 サイクル後においても 770mAh/g の容量を維持することがわかった。

充放電測定後の Si/CNT 基板の SEM 観察より、CNT 表面にシリコンが残留していることがわかった(Fig.9)。これは研究目的である CNT の柔軟性が Si の膨張収縮による脱落を抑制していることを支持する結果と考えられる。今後は、CNT 膜厚の最適化を行うことで、CNT に薄膜として残留するシリコン量も増加し、さらなる高容量化の可能性が考えられる。

表 1. 各種条件と充放電測定結果(充電量)

CNT EPD time	Si ED potential	Si ED time	Charge
(a) 1 min	-2.0 V	3 min	240 mAh/g (1 st) 140 mAh/g (5 th)
(b) 5 min	-2.0 V	10 min	1670 mAh/g (1 st) 40 mAh/g (20 th)
(c) 5 min	-2.0 V	20 min	3440 mAh/g (1 st) 770 mAh/g (30 th)
(d) 5 min	-2.5 V	20 min	135 mAh/g (1 st) 8 mAh/g (30 th)
(e) 5 min	-3.0 V	20 min	36 mAh/g (1 st) 24 mAh/g (30 th)
(f) 10 min	-2.0 V	10 min	3690 mAh/g (1 st) 117 mAh/g (30 th)
(g) 10 min	-3.0 V	10 min	880 mAh/g (1 st) 9 mAh/g (50 th)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

1. Kazuaki Tomono, Takeru Yamawaki, Takayoshi Ogoma, Syunta Kakihara, Yoshinori Tamaki, "Deposition and Morphology Change of Silicon from Bromosilane in Electrochemical Process", *Bulletin of Institute of Science and Technology, Kanto Gakuin University* 2018, 46, 27-32.(関東学院大学工学総合研究所所報 第 46 号; ISSN03872556, <https://kguopac.kanto-gakuin.ac.jp/webopac/NI30003182>)

[学会発表] (計 7 件)

1. Kazuaki Tomono, Taiga Kumamoto, Shyun Kikuchi, Takayoshi Ogoma, Yuki Kouyama, Yoshinori

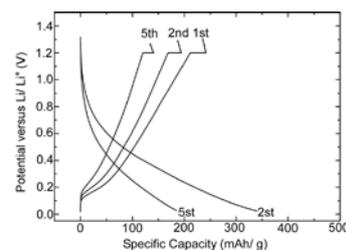


Fig 7. Voltage profile for the halfcell of Si/CNT electrode between 0.02-1.2V vs Li/Li⁺

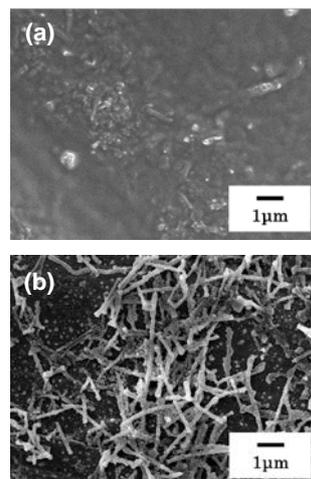


Fig 8. SEM images of Si/CNT electrode (a) before and (b) after charge/discharge measurement.

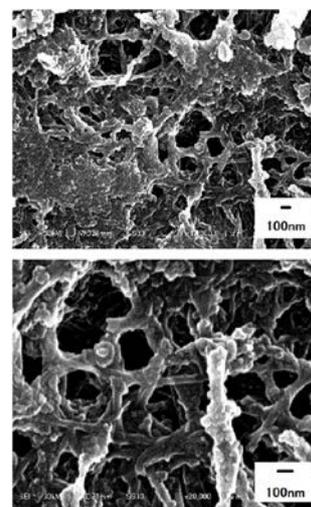


Fig 9. SEM images of Si/CNT electrode after charge/discharge measurement.

- Tamaki, 「Synthesis and electroanalysis of anode electrodes consisting of silicon oxide and carbon nanotube」, ポスター, 日本化学会第 99 春季年会, 甲南大学岡本キャンパス, 2019 年 3 月 16 日, 1PB-099.
2. 熊本大河, 小後摩貴由, 友野和哲, 「CNT を導電補助剤としたウェットプロセスによる Si 負極の作製とその性能評価」口頭, 第 21 回化学工学会学生発表会(東京大会), 東京理科大学葛飾キャンパス, 2019 年 3 月 2 日, E31. 【優秀賞受賞】
 3. 熊本大河, 小後摩貴由, 山脇嵩, 友野和哲, 「プロモシラン還元による CNT を基体とするシリコン薄膜の作製と電気化学的評価」, ポスター, 第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018, タワーホール船橋, 2018 年 10 月 23 日, P2-099.
 4. TOMONO, Kazuaki; OGOMA, Takayoshi; YAMAWAKI, Takeru; KOUYAMA, Yuki; KAKIHARA, Shunta; TAMAKI, Yoshinori, 「Silicon film fabricated by electrodeposition on nonwoven fabric type CNT and its electrochemical property」ポスター, 日本化学会第 98 春季年会, 日本大学船橋キャンパス, 2018 年 3 月 20 日, 1PB-165.
 5. 小後摩貴由, 友野和哲, 「不織布型 CNT を補助剤とする Si 負極の作製と性能評価」, 口頭, 関東学院大学 理工/建築・環境学会, 関東学院大学八景キャンパス, 2017 年 11 月 6 日, No.28.
 6. 孔山勇貴, 榎優衣, 大塚由佳, 藪野なつみ, 柿原俊太, 田巻義規, 友野和哲, 「CNT 上に電気化学的に析出させた Si の表面分析とその性能評価」, 口頭, 第 19 回化学工学会学生発表会, 大阪大学, 2017 年 3 月 5 日, Q07.
 7. 友野和哲, 孔山勇貴, 榎優衣, 柿原俊太, 田巻義規, 「CNT 電極上への Si 薄膜の電着とその電気化学挙動」, ポスター, 2016 日本化学会中国四国支部大会, 香川大学, 2016 年 11 月 5 日, 1P-28.

[その他]

ホームページ等

○友野研究室ホームページ

<http://tomonolab.web.fc2.com/>

○第 21 回化学工学会学生発表会(東京大会)にて本件内容が優秀賞を受賞

<http://univ.kanto-gakuin.ac.jp/index.php/ja/home/news/news/2336-2019-3-9-1.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：碓 智徳

ローマ字氏名：Ikari Tomonori

所属研究機関名：宇部工業高等専門学校

部局名：電気工学科

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：40419619

研究分担者氏名：島袋 勝弥

ローマ字氏名：Shimabukuro Katsuya

所属研究機関名：宇部工業高等専門学校

部局名：物質工学科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：70618446

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。