

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246121

研究課題名(和文) VUV表面活性化接合

研究課題名(英文) VUV surface-activation bonding

研究代表者

杉村 博之 (SUGIMURA, HIROYUKI)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10293656

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,100,000円

研究成果の概要(和文)：VUV照射によってプラスチック表面を化学活性化し、活性化面同士を圧着するだけでプラスチック部品を接合するVUV表面活性化接合に関する研究を行った。オレフィン系高分子を中心に、VUV励起表面光化学反応過程について考察し、さらに、有機-無機接合へと展開した。無機材料表面にアルキル自己集積化単分子膜(オレフィン系高分子材料とほぼ同じ化学構造を有する)を被覆し、その表面をVUV活性化することで、無機ガラス-高分子、金属-高分子の接合に成功した。また、初期計画外の成果ではあるが、無電解めっき触媒吸着・酸化グラフェンの光還元という、VUV光を用いた新たな材料表面処理プロセスを開拓した。

研究成果の概要(英文)：In this project, we have studied fundamental aspects of photochemical reactions on polymer surfaces, particularly, proceeding when cyclo-olefine polymer (COP) surfaces were irradiated with vacuum ultra-violet (VUV) light in the presence of atmospheric oxygen. The process was successfully applied to the surface activation bonding of synthetic resin parts without using adhesive paste. Furthermore, this adhesive-less bonding based on the VUV surface-activation was extended organic-inorganic materials. By covering the inorganic surface with an alkyl self-assembled monolayer prior to VUV surface-activation, we succeeded in bonding Cu/COP and glass/COP. In addition, new VUV-surface processes has been developed. Through the VUV modification process, an ability to reduce palladium ions to its metallic nanoparticles working as catalyst for electroless plating was provided to COP surface. The VUV-reduction of graphene oxide conductable at room temperature was also explored.

研究分野：表面工学

キーワード：表面処理 接合・接着 異種接合 高分子材料 自己集積化単分子膜 真空紫外光 光化学反応 マイクロ流路

1. 研究開始当初の背景

真空紫外 (Vacuum Ultra-Violet, VUV) 光照射によってプラスチック表面を改質すると、接着剤を使わずにプラスチック基板を接合できる (Appl. Surf. Sci. 255 (2009) 3684, 特開 2008-19348, 特開 2009-173894)。基本的には、極性官能基間の親和的相互作用によって接合が担保されていると考えられるが、それだけでは説明できないことも明らかになりつつあった。外見上はガラス化学活性化接合と類似性があるが、その実像については不明確な点はまだ多く残されていた。接合メカニズムをより明解にすることが、求められていた。

VUV 表面活性化がプラスチック間の同種材料接合だけではなく、有機-無機異種材料接合へと展開できれば、その応用可能性は飛躍的に広がると期待された。それまでの研究で、シリコン樹脂と石英ガラスを密着させ VUV 光を石英基板側から照射すると、樹脂と石英ガラスが室温で接合されることを発見した (特許 3985043) が、同じことを COP と石英ガラスで行っても、接合機能は発現しなかった。汎用的異種接合の実現には、接合機能を発揮する表界面の創製が重要であると考えられた。

2. 研究の目的

有機分子材料の VUV 光化学反応に関する基礎的な知見の集積と体系化、接合メカニズムの解明を行うことを第一の目的とした。接合プラスチックの VUV 領域での光吸収特性とプラスチックを構成する有機高分子の VUV 励起反応過程、酸素増感効果の定量的評価、活性化表面の物理・化学状態を詳細に研究し、VUV 活性化プラスチック接合の高度化へと展開した。さらに、VUV 表面活性化に基づく、異種材料間の接合 (ガラスとプラスチック、金属とプラスチックの接合) 技術を開発する。基礎解析によって得られる知見を元に、接合という目標に沿った最適な表面創成について検討した。

3. 研究の方法

本研究では、VUV 活性化接合にかかわる基礎学術データの集積と体系化、VUV 表面活性化によるプラスチック同士の接合、VUV 表面活性化による異種材料接合について研究を行った。表面改質用 VUV 光源には、波長 172 nm の Xe エキシマランプを用いた。

4. 研究成果

1) VUV 反応過程に関する研究

本項では、飽和炭化水素樹脂の一種であるシクロオレフィンポリマー (Cyclo-Olefin Polymer, COP) の表面反応過程について述べる。表面処理光源には、発光波長 172 nm のキセノンエキシマランプ [ウシオ電機, UER20-172, 光強度 10 mWcm⁻²] を使用した。図 1 に、VUV 照射した COP 表面の水滴接触角変化を示す。本研究では、高真空環境でも

VUV 照射が可能な環境制御型装置を試作し、無酸素環境での COP の VUV 照射を行い、酸素環境および無酸素環境での COP の VUV 照射挙動を初めて明らかにした。

真空中で VUV 照射した場合には、水滴接触角は一定のままで表面改質効果はほとんどない。図 1 に示すように、若干の VUV@172nm の吸収が COP にはあり、赤外吸収分光による精密計測により、真空中の VUV 照射でも全く化学変化が誘起されない訳ではなく、水素が部分的に脱離し C=C 結合を形成することが確認された。しかし、その量は極わずかで表面特性に影響を与えることはないこともわかった。一方、空気中で VUV 照射した試料は、時間とともに水滴接触角が減少し濡れ性が向上する。乾燥空気と湿潤空気では若干の違いはあるが、最終的にはどちらも 10 度以下まで水滴接触角が低下し、照射時間 20 分以上ではほぼ一定となる。赤外分光、X線光電子分光および化学ラベリング法によって、アルコール性ヒドロキシ基 -OH、アルデヒド基 -CHO、カルボキシ基 -COOH の存在を確認した。

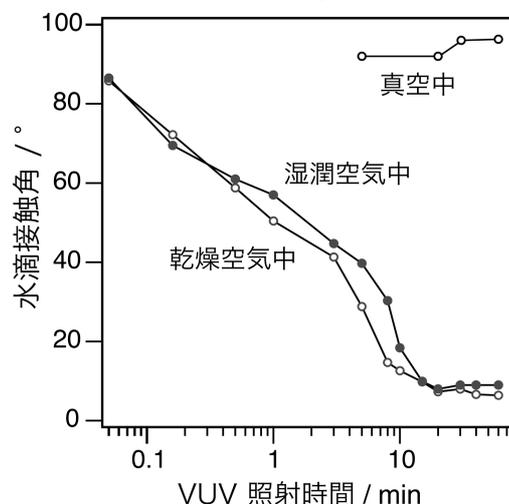


図1 COP への VUV 照射による濡れ性の変化: 真空中 (< 10⁻³ Pa, 試料表面での VUV 光強度), 乾燥空気 (1 気圧, 湿度 1% 以下), 湿潤空気 (1 気圧, 湿度 70%)。

COP 本体は VUV 光に対しほとんど反応しないため、反応の所期過程は COP と活性酸素の反応が主となる。図 2 に示すように、原子状酸素は飽和炭化水素の C-H 結合と反応し、C-H 結合からの水素引抜き-ラジカル化-を経由、あるいは C-H 間に直接酸素原子が挿入されることで、ヒドロキシ基 (第二級アルコール) が形成される。反応の第二ステップは、炭素ラジカルと酸素 (O, O₂, O₃) との反応、第二級アルコール部分の酸化反応である。これらの反応によってカルボニル基 (ケトン, アルデヒド, カルボン酸) が形成され、高分子主鎖が切断される。第二ステップ以降の反応により、表面酸化層では高分子が低分子化する。

QCM センサー表面に COP 薄膜をスピッコ

ートし、それを VUV 照射したときの質量変化を測定した結果では、COP 薄膜はいったん質量増加（初期 5 分間）したあと、質量減少に転じた。

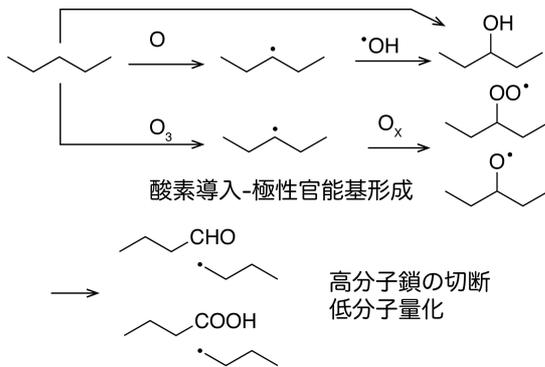


図 2 飽和炭化水素鎖と活性酸素との反応

実験データを元に COP 表面改質機構を以下のように考察した（図 3）。VUV 照射初期には、表面の極性官能基濃度・酸化層深さがともに増加しながら、表面酸化層が形成されていく（図 3 A）。酸素原子が表面層に挿入されるため、質量が増加する。COP の酸化が進むと、

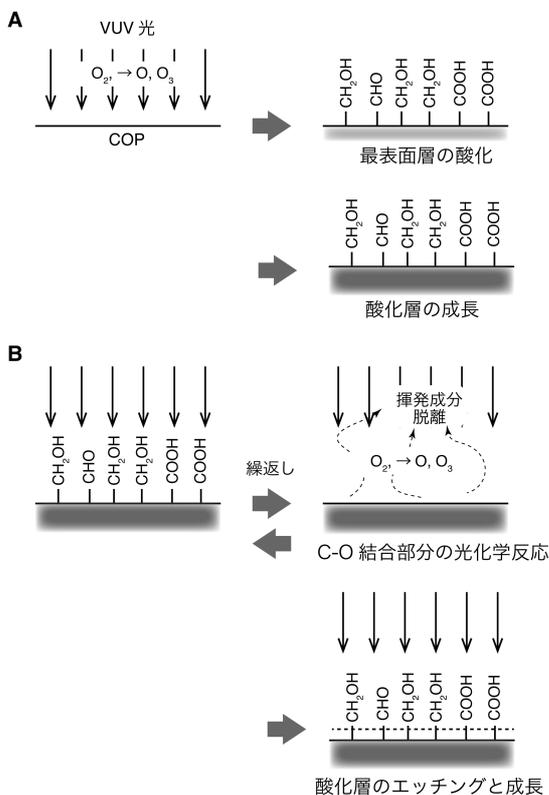


図 3 COP 基板の VUV 表面改質：
酸化層形成とエッチング

酸化層の光エッチングが顕著になる。COP 表面に形成された酸化層は VUV 光を吸収し（酸化の度合いが大きく層が厚いほど、より強く吸収する）、C-O 結合等の酸化部分の化学結合が切断される。切断された断片が低分子量的場合はそのまま揮発し、残された断片も活

性酸素と反応しさらに低分子量化する。結合切断と再酸化が繰り返されることで、エッチングが進行する。この段階では、表面酸化層の成長速度は次第に遅くなり、VUV 照射時間を延ばしても表面化学組成や濡れ性に大きな変化がなくなる状況まで到達する。この段階では、酸化による膜厚増加とエッチングによる膜厚減少が平衡し、酸化層の厚みはほぼ一定で推移するようになる。図 3 で、水滴接触角が 10 度以下ではほぼ一定になった状態に相当するが、このときの酸化層の最大厚みは高々 100 nm 程度であることを、断面 TEM 観察とスピコート COP 膜の膜厚を変えての赤外吸収分光より確認している。

2) 表面活性化接合とマイクロ流路への応用

COP は、軽量で吸湿性が無く、比較的耐熱性が高いうえ、可視光領域で透明で複屈折や蛍光が極めて少ない等の優れた性質を有し、光学部品や医薬品用包装材料として使われる。しかし、COP は疎水性であり、用途拡大のために濡れ性や接着性の改善が求められている。この COP 表面を酸素増感 VUV 処理すると、接合活性が付与されることがわかっている。COP 表面に形成される酸化改質層は、表面エネルギーが大きく接着性が高い。また、低分子量化しているため、本体のガラス転移点よりも低い温度で流動化する。この酸化改質層が粘着糊となって、接着剤フリーの低温接合が可能になる。 μm サイズの流路が変形・埋没しない加工精度の高い接合・封止技術として、民間企業との共同研究で実用化している。本研究では、COP に加え、ポリメチルメタクリレート (PMMA)、ポリカーボネート (PC) 製のマイクロ流路チップを、VUV 表面活性化による接合・封止技術で作製することに成功した。また、PC-PMMA、PMMA-COP、COP-PC 間の異種プラスチック間の接合も可能であること、マイクロ流路の作製は行っていないが、ポリエチレン (PE) とポリエチレン-フッ素樹脂共重合体 (ETFE) でも、VUV 表面活性化は接着性向上に効果があることも確認した。

3) 有機-無機活性化接合

母材同士は異種材料だが接合界面は同種材料という条件の成立による VUV 活性化接合の可能性を検証した。まず、COP-ガラス接合の実験を行った。VUV 処理した COP 表面は親水性にはなるがあくまでも有機物質でありガラス類似構造は形成されない。

そこで、ガラスの表面側に COP と類似の性質を持たせた。Octadecyltrimethoxysilane (ODS) を原料に、気相シランカップリング法によってガラス基板上に炭化水素単分子膜 (ODS-SAM) を形成し、その表面を VUV 処理し親水化する。COP 試料の方は、膜厚 10 μm の COP 薄膜をガラス基板上にスピコートし、表面を VUV 活性化した。活性化面同士を向き合わせ加熱プレスした後、両ガラス基

板を引っ張ると接合試料は分離し、VUV 処理 COP 薄膜は、スピコートしたガラス基板から剥離し、ODS-SAM 被覆したガラス基板側に残る。ODS をアルキルホスホン酸分子に変えることで、銅と COP の接合にも成功している。

4) 初期目標以外の研究成果

無電解めっき前処理: プラスチック表面の VUV 表面改質層は、接着性が高いだけでなく、さまざまな物質を吸着・吸収する機能を持つ。その機能を活用し、無電解めっきの前処理 (パラジウム触媒処理) に応用した。VUV 処理した COP 基板をパラジウム触媒液に浸漬すると、パラジウムナノ粒子が析出した。断面 TEM 表面観察から、直径 10 nm 以下のナノ粒子が、最表面から少し潜った位置に析出していることがわかった。XPS 分析から、このナノ粒子は金属 Pd である可能性が高いと判断している。低分子量化した COP 表面改質層へ Pd²⁺ イオンが浸透し、表面改質層内部に多量に存在するアルコール性ヒドロキシ基やアルデヒド基によって還元されたものと考えられる。酸化した表面が貴金属イオンを還元するという、興味深い結果が得られた。改質 COP 層内部に析出した Pd ナノ粒子は、無電解めっき触媒として機能し、COP 基板への無電解めっき膜被覆が実現した。

光を使うことで、表面活性化と微細加工を同時に行うプロセスが実現する。その結果、 μm レベルの微小領域を選択的にめっきし、ダイレクトに (エッチング加工抜きで) 金属マイクロパターンを形成することができる。フォトマスクを用いてマイクロパターン化した VUV 処理工程を COP 表面に施し、さらに Pd 触媒処理、Ni-P 無電解めっきと順次行った結果、VUV 照射領域だけに Pd 核発生が起こり、さらに、そこだけに無電解めっき膜が成長し、金属マイクロパターンを形成した。酸化グラフェンの VUV 還元: 二次元炭素材料であるグラフェンの酸化誘導体である酸化グラフェンは、グラフェン同様にその電子応用が期待されているが、グラフェンと比べて電気伝導度が著しく小さいため、還元処理による導電性の回復が、電子的応用には必要不可欠となる。われわれは、光真空中で VUV 光を照射するだけで、酸化グラフェンが還元されることを見出した。酸化グラフェンの導電性回復のために有用なだけでなく、還元処理という VUV 光の新しい用途開拓に繋がった。

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) 杉村博之, 真空紫外光による高分子材料の大気圧表面改質, 表面技術, 63, 12, 751-758, (2012).

2) 杉村博之; 中村彰宏; 長田英也; 金永鍾; 一井崇; 邑瀬邦明, シクロオレフィンポリマーの酸素増感 VUV 表面改質によるパラジウム吸着表面層の形成, 表面技術, 64, 12, 662-668, (2013).

3) 杉村博之, プラスチック表面の VUV 光活性化による低温接合, MATERIAL STAGE, 13, 8, 62-64, (2013).

4) 杉村博之, 表面光活性化接合: プラスチックの低温接合と有機/無機異種接合への展開, ケミカルエンジニアリング, 59, 6, 405-413, (2014).

5) Hiroyuki Sugimura; Naruhito Miki; Akihiro Nakamura; Takashi Ichii, Reductive Nucleation of Palladium Nanoparticles on a Cycloolefin Polymer Surface Oxidized with Active Oxygen Species Generated by Vacuum Ultraviolet Excitation, Chemistry Letters, 43, 10, 1557-1559, (2014).

6) Yudi Tu; Takashi Ichii; Om Prakash Khatri; Hiroyuki Sugimura, Reductive patterning of graphene oxide by vacuum-ultraviolet irradiation in high vacuum, Appl. Phys. Exp., 7, 075101, (2014).

7) 谷口義尚; 金永鍾; 萩生真知子; 田口好弘; 杉村博之, 光表面活性化によるシクロオレフィンポリマーの接合: 接合強度とマイクロ流路への応用, 表面技術, 65, 5, 234 - 239, (2014).

8) Yudi Tu, Takashi Ichii, Toru Utsunomiya, and Hiroyuki Sugimura, Vacuum-ultraviolet photoreduction of graphene oxide: Electrical conductivity of entirely reduced single sheets and reduced micro line patterns, Applied Physics Letters, 106, 133105 (2015).

9) Ahmed I. A. Soliman, Takashi Ichii, Toru Utsunomiya, and Hiroyuki Sugimura, Chemical Conversion of Self-Assembled Hexadecyl Monolayers with Active Oxygen Species Generated by Vacuum Ultraviolet Irradiation in an Atmospheric Environment, Soft Matter. in press

[学会発表](計37件)

1) 中村彰宏, 長田英也, 一井崇, 邑瀬邦明, 杉村博之, シクロオレフィンポリマー薄膜を用いた真空紫外光による表面酸化状態の解析, 第 61 回高分子学会年次大会, パシフィコ横浜, 2012/05/29-31

2) 長田英也, 田口好弘, 谷口義尚, 杉村博之, 光活性化接合によるシクロオレフィンポリマー製マイクロ流路の開発: 接合強度と耐久性の評価, 第 61 回高分子学会年次大会, パシフィコ横浜, 2012/05/29-31

3) 長田英也, 中村彰宏, 一井崇, 邑瀬邦明, 杉村博之, 光活性化接合によるシクロオレフィンポリマーと無機材料の接合, 第 61 回高分子学会年次大会, パシフィコ横浜, 2012/05/29-31

4) 中村彰宏, 長田英也, 一井崇, 邑瀬邦明,

杉村博之, シクロオレフィンポリマー表面の真空紫外光酸化と状態解析, 表面技術協会第 126 回講演大会, 室蘭工業大学, 2012 年 9 月 27 日(木)~2012 年 9 月 28 日(金)

5) Akihiro NAKAMURA, Naoya MUKADO, Takashi ICHII, Hiroyuki SUGIMURA, Oxygen-assisted vacuum ultra-violet surface modification of polymers as a pretreatment for electroless nickel plating, PRiME2012, Hawai'i Convention Center and Hilton Hawaiian Village, October 7-12, 2012

6) 中村彰宏, 六門直哉, 一井崇, 邑瀬邦明, 杉村博之, 真空紫外光照射シクロオレフィンポリマーの状態解析および無電解めっきへの応用, 第 14 回関西表面技術フォーラム, 京都大学 宇治おうばくプラザ, 2012 年 11 月 29 日(木)~11 月 30 日(金)

7) 中村彰宏, 六門直哉, 一井崇, 杉村博之, 真空紫外光表面修飾を用いた高分子上へのニッケル無電解めっき, 表面技術協会第 127 回講演大会, 日本工業大学宮代キャンパス, 20130318-19

8) 中村彰宏, 一井崇, 杉村博之, シクロオレフィンポリマーの真空紫外光表面改質 -無電解めっき前処理への応用-, 第 62 回高分子学会年次大会, 国立京都国際会館, 2013 年 5 月 29-31 日

9) 塚本泰介, 中村彰宏, 一井崇, 杉村博之, シクロオレフィンポリマーと銅の真空紫外光による光活性化接合, 表面技術協会第 127 回講演大会, 日本工業大学宮代キャンパス, 20130318-19

10) 塚本泰介, 中村彰宏, 一井崇, 杉村博之, シクロオレフィンポリマーと無機材料の接合のための界面制御, 第 62 回高分子学会年次大会, 国立京都国際会館, 2013 年 5 月 29-31 日

11) Taisuke Tsukamoto, Akihiro Nakamura, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Surface activation bonding of cyclo-olefin polymer to an inorganic substrate: Role of Interfacial Chemistry, 19th International Vacuum Congress/International Conference on Nanoscience and Technology, Paris, France, 2013/09/09-2013/09/13

12) 塚本泰介, 中村彰宏, 一井崇, 杉村博之, シクロオレフィンポリマーと銅の光活性化接合のための界面制御, 表面技術協会第 128 回講演大会, 福岡工業大学, 2013/09/24-2013/09/25

13) 大西恭平, 塚本泰介, 一井崇, 杉村博之, 表面活性化シクロオレフィンポリマー表面への有機シラン分子吸着と酸化シリコン被膜形成, 表面技術協会第 128 回講演大会, 福岡工業大学, 2013/09/24-2013/09/25

14) 塚本泰介, 中村彰宏, 一井崇, 杉村博之, 高分子材料と無機材料の表面活性化接合, 第 15 回関西表面技術フォーラム, 岡山大学, 2013/11/28-2013/11/29

15) 大西恭平, 塚本泰介, 一井崇, 杉村博之,

有機シラン分子吸着による表面活性化シクロオレフィンポリマー表面への酸化シリコン系被膜形成, 第 15 回関西表面技術フォーラム, 岡山大学, 2013/11/28-2013/11/29

16) 杉村博之, 真空紫外光照射による高分子材料表面処理, 第 91 回ニューフロンティア材料部会例会, KKR HOTEL OSAKA, 平成 25 年 11 月 13 日

17) 杉村博之, 真空紫外線照射によるポリマーの表面改質と表面機能化, 第 98 回 東海機能性材料研究会, クリエート浜松, 平成 25 年 11 月 20 日

18) 杉村博之, 有機分子材料・高分子材料の表面処理 -真空紫外光を用いた光化学プロセス-, 第 143 回ポパール会, 楽友会館, 平成 25 年 12 月 7 日

19) Yudi Tu, Takashi Ichii, Om Prakash Khatri, Hiroyuki Sugimura, Fabrication of Micro/Nano Graphene Patterns by Applying Vacuum Ultra-violet Lithography, 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, November 4 - 8, 2013

20) 屠宇迪, 一井崇, 杉村博之, Om Prakash Khatri, 真空紫外光によるマイクロ・ナノグラフィックパターン作製の作製, 表面技術協会第 129 回講演大会, 東京理科大学 野田キャンパス, 2014 年 3 月 13 日~14 日

21) 三木成人, 大西恭平, 塚本泰介, 一井崇, 杉村博之, 光活性化シクロオレフィンポリマー/Ni 無電解めっき界面の解析, 表面技術協会第 129 回講演大会, 東京理科大学 野田キャンパス, 2014 年 3 月 13 日~14 日

22) 屠宇迪, Om Prakash Khatri, 一井崇, 杉村博之, 真空紫外光による酸化グラフェンのマイクロ還元パターンニング, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学 相模原キャンパス, 2014 年 3 月 17 日~20 日

23) Hiroyuki Sugimura, Yudi Tu, Takashi Ichii, Om Prakash Khatri, VUV-induced reduction of graphene oxide in two-dimensional pattern arrays with sub- μm resolution, Graphene2014, Toulouse, France, 20140506-09

24) 塚本泰介, 一井崇, 杉村博之, シクロオレフィンポリマーと銅の表面活性化接合, 第 63 回 高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場, 20140528-30

25) 大西恭平, 塚本泰介, 一井崇, 杉村博之, 表面活性化シクロオレフィンポリマー表面への有機シラン分子吸着による酸化シリコン系被膜の形成と有機溶媒耐性評価, 第 63 回 高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場, 20140528-30

26) Yudi TU, Takashi ICHII, Om Prakash KHATRI, Hiroyuki SUGIMURA, Drawing sub- μm Reductive Patterns into one Graphene Oxide sheet by VUV Photo-reduction, 30th European Conference on Surface Science, Kervansaray Lara Convention Center, Antalya,

Turkey, 20140831-0905

27) 屠宇迪, Om Prakash Khatri, 一井崇, 宇都宮徹, 杉村博之, VUV/O エッチングによる酸化グラフェンのマイクロパターンング, 第 75 回応用物理学会秋季講演大会, 北海道大学, 20140917-20

28) 孔成棟, 一井崇, 宇都宮徹, 杉村博之, 有機単分子膜被覆アルミニウム基板の VUV 光処理, 表面技術協会第 130 回講演大会, 京都大学, 20140922~23

29) 大西恭平, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 真空紫外光照射による光活性化シクロオレフィンポリマー表面への疑似酸化シリコン被膜形成と有機溶剤耐性向上, 表面技術協会第 130 回講演大会, 京都大学, 20140922~23

30) Ahmed, I. A. Soliman, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Photochemical Modifications of Partially Oxidized Self-Assembled Monolayers through Vacuum Ultraviolet Irradiation under High Vacuum conditions, 表面技術協会第 130 回講演大会, 京都大学, 20140922~23

31) 大西恭平, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 光活性化シクロオレフィンポリマー表面への有機シラン被膜形成による有機溶剤耐性の向上, 第 63 回高分子討論会, 長崎大学, 20140924~26

32) 薬王寺重成, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, シクロオレフィンポリマーの真空紫外光酸化時における表面状態解析, 表面技術協会第 130 回講演大会, 京都大学, 20140922~23

33) Ahmed, I. A. Soliman, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Chemical Modifications of Alkyl Self-Assembled Monolayers Surface Based on Vacuum Ultraviolet Irradiations, 第 63 回高分子討論会, 長崎大学, 20140924~26

34) 中元宏, 屠宇迪, 柴満啓亮, Om Parkash Khatri, 一井崇, 宇都宮徹, 杉村博之, 真空紫外光照射により還元された酸化グラフェンの STM 観察, 第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学 湘南キャンパス, 2015/03/11-14

35) 大西恭平, 神澤大基, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 光活性化シクロオレフィンポリマー上への有機シラン分子吸着による有機溶剤耐性の向上, 表面技術協会第 131 回講演大会, 関東学院大学 横浜・金沢八景キャンパス, 2015/03/04-06

36) 屠宇迪, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 酸化グラフェンの VUV 光マイクロ還元とその電気特性評価, 第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学 湘南キャンパス, 2015/03/11-14

37) 薬王寺重成, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 真空紫外光照射により形成したポリマー表面官能基の解析, 表面技術協会第 131 回講演大会, 関東学院大学 横浜・金沢八景キャンパス, 2015/03/04-06

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 1 件)

名称: 耐溶剤性基材
発明者: 杉村 博之, 一井 崇, 宇都宮 徹
権利者: 国立大学法人京都大学
種類: 特許
番号: 特願 2015-30294
出願年月日: 平成 27 年 2 月 19 日
国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.nsa.mtl.kyoto-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
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

(2) 研究分担者
一井 崇 (ICHI TAKASHI)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 30447908

(3) 研究分担者
宇都宮 徹 (UTSUNOMIYA TORU)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 70734979