

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02297

研究課題名(和文) VUV表面活性化による有機-無機接合

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

研究代表者

杉村 博之 (SUGIMURA, HIROYUKI)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：10293656

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円

研究成果の概要(和文)：改質した部材表面同士を圧着するだけで接着剤無しに低温で接合する、高分子材料と無機材料の表面接合技術を開発した。ポリマー表面を真空紫外(Vacuum Ultra-Violet, VUV)照射プロセスによって改質し、無機材料表面には有機単分子膜を被覆しポリマーと同様にVUV処理することで、ガラス転移点以下の低温接合を実現した。次に、表面平滑化が接合温度に与える影響を調べ、10nm程度の凹凸まで平滑化することで大幅な条件改善を得た。さらに、原子レベルの平滑面を有する平滑シリコン・酸化アルミニウム・チタン基板試料を作製し、これらの試料では室温接合が可能でかつ単分子膜被覆も不要であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Hetero-surface bonding technology between organic and inorganic surfaces has been developed based on VUV surface activation, self-assembled monolayer coating and surface flatning. Roughness of the inorganic surfaces had crucial effects on bonding temperature. In case of Al/COP(cyclo-olefin polymer, Tg = 140 C), bonding was successful only at temperatures higher than 100 C with the roughness of Rrms = 25 nm, which is a few tens of degree below Tg, while the roughness of Rrms = 10 nm lowered the bonding temperature down to below 70 C. When atomically flat inorganic surfaces were supplied, bonding at room temperature was enabled. This room temperature surface bonding has been successfully achieved on bonding Al, Si or Ti with VUV-modified COP.

研究分野：表面工学

キーワード：異種接合 表面接合 真空紫外光 高分子材料 無機材料 金属材料 光化学反応 自己集積化単分子膜

### 1. 研究開始当初の背景

プラスチック部材表面の濡れ性や接着性の改善に、しばしば、プラズマや光による表面処理プロセスが用いられる。一般的に、光プロセスでは波長が短く光子エネルギーの大きな紫外光を用いる。波長 200 nm 以下の紫外線は真空紫外 (Vacuum Ultra-Violet, VUV) 光と呼ばれ、光子エネルギーが通常の紫外光よりもさらに大きく、高分子材料の表面改質光源として期待されている。特に、波長 100~200 nm では酸素分子の吸収帯と重なり、酸素分子が VUV 光を吸収し原子状酸素やオゾン分子等の反応活性の高い酸素種を生じ、これらを積極的に表面改質反応に利用する、酸素増感型の VUV 表面改質、が可能になる

われわれは、酸素増感型の VUV 表面改質によって表面活性化したプラスチック基板同士を圧着すると、プラスチック基板が接合されること [Appl. Surf. Sci. 255 (2009) 3684; 特許 4919474] を見いだした。VUV 光は、波長 100~200 nm の紫外 (UV) 光であり、数 eV 以上の光子エネルギーを有し、通常の UV 光では誘起できない共有結合の切断を含む光化学反応を引き起こす。VUV 光照射によってプラスチック部材表面が接合活性化され、プレスするだけで接着剤を使わずに接合できる。接着剤による接合や熱融着ではしばしば問題となる、 $\mu\text{m}$  サイズの流路の変形・埋没の無い、加工精度の高い実用的なマイクロ流路-接合・封止技術 [表面技術 65 (2012) 234; 特許第 5570616] として実用化した。

さらに、この VUV 表面活性化を基盤に、無機材料と高分子材料を接合する可能性を見出した。具体的には、金属あるいはガラス基板表面にアルキル単分子膜を自己集積化の手法 [Surf. Interf. Anal. 34 (2002) 550] で被覆し、この表面を VUV 処理することで、VUV 表面活性化 COP との接合性を発現した。接合界面に注目すれば、VUV 処理された有機物質面同士を張り合わせることを意味する。

### 2. 研究の目的

本研究では、1) プラスチック素材の VUV 表面改質による接合活性化表面層の形成、2) 無機材料表面の接合活性化、この二つの技術要素を基盤とする有機-無機接合技術の確立を目的とする。具体的には、プラスチックおよび無機材料の改質表面/接合界面の解析・接合強度評価を通し、どのような活性化表面が接合にとって良好であるかを明らかにし、VUV 活性化有機無機接合の可能性と限界を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の項目について実験的検討を進めた。

- 1) VUV 光照射によって変化したプラスチック表面層構造の解明
- 2) 自己集積化単分子膜被覆による無機材料表面接合活性化

### 3) 接合強度評価

#### 4. 研究成果

表面状態が適切に制御された部材の表面同士を圧着するだけで、低温で接着剤を使わずに接合する研究を進めている。強度や接合寿命、耐環境性などの点で、機械部品のような高い接合強度を要求される用途には、現状ではまだまだ大きな壁があるが、接着剤を全く使わない表面接合は、接合にかかわる界面層厚みが極めて薄く、接合による形状・寸法変化がほとんど無い。 $\mu\text{m}$  から nm レベルでの接合精度を要求される精密接合技術として期待できる。

通常、接合部材表面には微細な凹凸がある。場合によっては、積極的に部材の表面粗さを増大させ、接合面積の増やし、さらに接合部材同士が絡まりあうことによる接合力の増強を図る。いわゆるアンカリング効果の利用である。一方、微視的な目で接合界面を見れば、アンカリング効果の有無にかかわらず、そこには、接合物質界面での親和的な化学相互作用が存在し、それによって接合強度が確保される。強固な接合面を得るには、接合界面に化学結合が形成されることが望ましい。アンカリング効果は、液相や気相での薄膜堆積/析出や軟化したプラスチックが固体基板に付着する場合には、顕著に発現する。接合界面に接着剤を挟まない固体基板同士の接合では、凹凸構造が接合面同士の有効な接触を阻害するため、かえって接合強度を弱める。固体表面同士の圧着による表面接合では、アンカリング効果は全く期待できず表面間の化学的相互作用によって接合が完全に支配される。この場合、表面凹凸は可能な限り小さくし、実効接触面積を大きくする方が有利である。

VUV 光照射によって接合活性化した COP は、親水処理をした石英ガラス等の無機材料表面とも親和性があり、双方を密着させることで有る程度の接合性を示したが、再現性や接合強度にムラがあり、接合の安定性に疑問が残った。試みに、VUV/O 洗浄 (酸素の存在下で無機試料表面を VUV 照射し、炭素系汚染物を除去し化学量論比に近い表面酸化膜を形成する) したアルミニウム箔と VUV 処理 COP を圧着したが、同様に接着性は良くなかった。そこで、アルミニウムの表面に COP と類似の性質を持たせるため、octadecylphosphonic acid (ODP) を原料に、炭化水素系自己集積化単分子膜 (ODP self-assembled monolayer, ODP-SAM) を被覆した。ホスホン酸分子は、塩基性酸化物である酸化アルミニウム (アルミニウム箔の表面酸化層) に化学吸着し、単分子膜を形成する。

接合実験の概略を述べる。膜厚 20~200 $\mu\text{m}$  の COP シートと ODP-SAM 被覆アルミニウム箔を、それぞれの条件で VUV 処理する。COP 表面には接着能のある酸化改質層を形成し、アルミニウム箔の方は ODP-SAM のアルキル鎖を部分的に酸化し有機親水性官能基を形成した。

ODP-SAM は膜厚が 2nm 強しかないので、大気中で VUV 照射する急速にエッチング除去されてしまう。VUV 光の強度を弱めて SAM 残膜量と親水性官能基生成量が最適となるように、照射条件を決定した。実際には、照射距離を 10mm まで離れた。10mm では、照射距離 5mm での VUV 光到達強度の約 30%まで減衰する。最後に、活性化面同士を向き合わせ加熱プレスし接合する。接合温度が高すぎると、プレスによるプラスチックのバルク形状の変形が無視できなくなるため、ガラス転移点以下の温度で実験を行った。

図 1 に、Al-COP 接合試料の写真を示す。このアルミニウム箔の表面には少なくない凹凸 (AFM 像から求めた表面粗さ  $R_{rms}=25\text{nm}$ ) があり、単に接合面を突き合わせても、凸部で COP フィルムと接触するだけである。実効的接合面積を確保し確実に接合するためには、接合温度を上げて COP フィルムの表面形状をアルミニウム箔の凹凸に倣うように変形させる必要があった。実際には、COP フィルムのガラス転移点  $136^\circ\text{C}$  より若干低い、プレス温度  $130^\circ\text{C}$  で接合している。室温とは  $100^\circ\text{C}$  以上の温度差があるため、接合後の冷却時に熱応力が発生するため、フィルム厚  $23\mu\text{m}$  の場合は室温に戻しても接合を維持できたが、これよりも厚いフィルムは剥離してしまった。図 1 の例では、アルミニウム箔と COP フィルム間の熱応力を緩和するために、まず  $23\mu\text{m}$  厚の COP フィルムと接合してから、その試料を裏打ちする形で  $188\mu\text{m}$  厚の COP フィルムを接合することで、トータルの COP フィルム厚をかさ上げしてある。

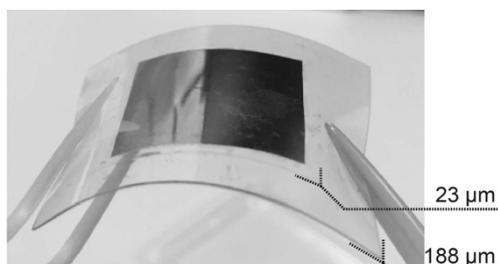


図1 COP-Al接合試料.

通常、接合部材表面には微細な凹凸がある。場合によっては、積極的に部材の表面粗さを増大させ、微細凹凸を利用して接合面積を増やし、さらには、接合素材同士が絡まりあうことによる接合力の増強、いわゆるアンカリング効果を利用することで、強固な接合界面を得る。しかし、アンカリング効果は、液相や気相からの薄膜堆積/析出や軟化したプラスチックが固体基板に付着する場合等では顕著に発現するが、接合界面に接着剤を挿入しない固体基板同士の表面接合では、凹凸構造が接合面同士の有効な接触を阻害し、かえって接合強度を弱める。固体表面同士の圧着による表面接合では、アンカリング効果は全く期待できず接合界面での化学的相互作用によって接合が完全に支配される。この場合、表面凹凸は可能な限り小さくし、実効接触面積を

大きくする方が有利である。そこで、表面粗さの異なる二種類のアルミニウム箔を用いて、表面粗さと接合条件の関係を調べた。図 2 に実験に使用したアルミニウム箔の表面 AFM 像である。A は通常の市販アルミ箔で、図 1 の接合試料と同じもので、AFM 像から求めた表面粗さは前述のように  $R_{rms} = 25\text{nm}$  である。図 2 B には、高平滑アルミ箔 (LUXAL®, 東洋アルミニウム) の AFM 像を示す。表面粗さは、 $R_{rms}=10\text{nm}$  と見積もられる。

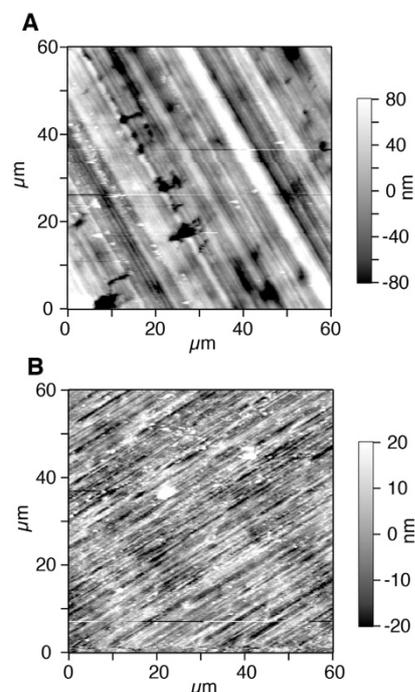


図2 アルミニウム箔の表面形状. A) 一般的アルミニウム箔の表面 AFM 像 ( $R_{rms}=25\text{ nm}$ ). B) 高平滑アルミニウム箔 (LUXAL®, 東洋アルミニウム) の表面 AFM 像 ( $R_{rms}=10\text{ nm}$ ).

図 3 に、アルミニウム箔 A, B と室温に戻す過程で剥離しなかった COP フィルム厚さとその時の接合温度を示す。アルミニウム箔 A では、フィルム厚  $23\mu\text{m}$  では  $100^\circ\text{C}$  以上の温度で接合することができたが、 $60\mu\text{m}$  厚 COP フィルムではさらに高い接合温度が必要となった。 $100\mu\text{m}$  厚以上の COP フィルムは、ガラス転移点以下の温度では接合できなかった。一方、高平滑アルミニウム箔 B を用いた場合には、接合温度を  $70^\circ\text{C}$  まで下げることができたばかりでなく、低温化によって熱応力が減少したこと、平滑化によって実効接合面積が増加したことにより、 $188\mu\text{m}$  厚の COP フィルムも直接接合できるようになった。

さらなる平滑性を求め、原子レベル平滑面での接合実験を試みた。アルミニウム箔ではこれ以上の表面平滑化が難しかったため、アルミニウム表面酸化膜とほぼ同じ化学組成を持つ、酸化アルミニウム単結晶 (サファイア) 基板を用いた。サファイアは熱処理によって原子平坦面が出るということが知られており、図 4 A の AFM 像に示すようにテラス状の原子平坦面

と sub-nm のステップから構成されるサファイア(0001)面を実験に供した. AFM 像から数値計算した表面粗さは  $R_{rms}=0.08$  nm である. 図 4 B に, 熱処理サファイアを VUV/O 洗浄により親水化-表面水酸基終端化し, VUV 処理 COP フィルム(188  $\mu\text{m}$ )と室温で接合した試料の写真を示す. この条件での接合試料は, サファイア基板を水平に保持し 90 度に曲げた COP フィルムの先端をつかんで引く 90 度剥離試験で, 接合強度 6.4 Ncm<sup>-1</sup> の値を示した. なお, 上述したように, サファイア基板には ODP-SAM を被覆していない. アルミニウム箔では ODP-SAM の被覆が接合の必要条件であったが, サファイアでは必ずしも必要でなかった. 有機単分子層には, 微細凹凸による接合強度への負の影響を緩和する.

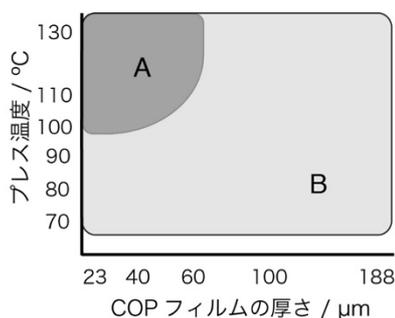


図 3 接合可能な COP フィルム厚さと接合温度の関係. A: 通常アルミニウム箔, B: 高平滑アルミニウム箔.

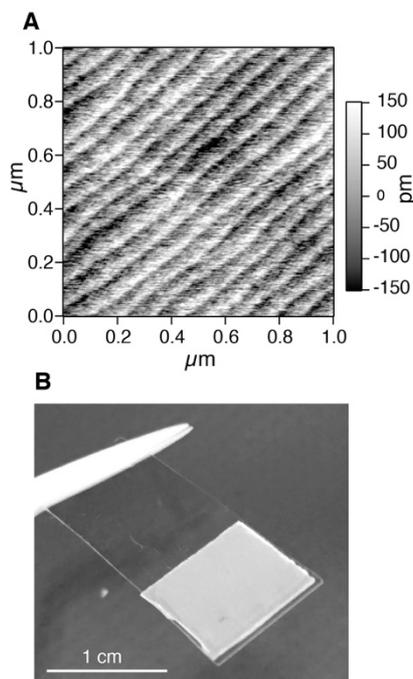


図 4 原子平滑基板と VUV 処理 COP の接合. A: サファイア(0001)面の AFM 像. プリベークしたサファイア基板を 1000°C で 2 時間保持し徐冷. B: COP フィルムは, 照射距離 5mm (大気中), 照射時間 2min で VUV 処理.

VUV 表面活性化接合プロセスを, 有機-無機異種接合へと展開するための技術基盤・今後の研究開発指針を確立した. 有機材料と無機材料では熱膨張率の差が大きく, 現時点で接合可能なのはシート状のプラスチックに限られているが, アルミニウム以外にも, ガラスやシリコン等の無機材料, 銅・チタン等の金属材料との接合を, 少なくとも剥離試験において接合した COP シートが破断する程度の強度で接合可能なレベルにある.

特筆すべきは, 表面粗さ 0.1nm クラスの原子レベルまで試料表面を平滑化すれば, VUV 活性化 COP を室温で接合できることである. この場合, 単分子膜被覆も要しない. しかし, 数 nm レベルの表面凹凸があるだけで, 室温接合は実現せず, 単分子膜被覆が必要となる. この極微凹凸に起因する接合障害を, 単分子膜被覆がなぜ緩和するのかについては, 今後の研究で明らかにしていく必要がある.

## 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 10 件)

- 1) Ahmed I. A. Soliman; Takashi Ichii; Toru Utsunomiya; Hiroyuki Sugimura; Chemical conversion of self-assembled hexadecyl monolayers with active oxygen species generated by vacuum ultraviolet irradiation in an atmospheric environment, *Soft Matter*, 11, 5678 - 5687, 2015
- 2) Shin Horiuchi; Hideki Hakukawa; Yong Jong Kim; Hideya Nagata; Hiroyuki Sugimura; Study of the adhesion and interface of the low-temperature bonding of vacuum ultraviolet-irradiated cycloolefin polymer using electron microscopy, *Polymer Journal*, 48, 473 - 479, 2016
- 3) Ahmed I. A. Soliman; Sho Kokufu; Toru Utsunomiya; Takashi Ichii; Hiroyuki Sugimura; Photochemical Preparation of Alkoxy Self-assembled Monolayers on Si from 1,2-Epoxyalkane Molecules, *Chem. Lett.*, 45, 561 - 563, 2016
- 4) Yudi Tu; Toru Utsunomiya; Takashi Ichii, and ; Hiroyuki Sugimura; Vacuum-Ultraviolet Promoted Oxidative Micro Photoetching of Graphene Oxide, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 8, 10627 - 10635, 2016
- 5) Yudi Tu; Hiroshi Nakamoto; Takashi Ichii; Toru Utsunomiya; Om Prakash Khatri; Hiroyuki Sugimura; Fabrication of reduced graphene oxide micro patterns by vacuum-ultraviolet irradiation: From chemical and structural evolution to improving patterning precision by light collimation, *Carbon*, 119, 82 - 90, 2017
- 6) Ahmed I. A. Soliman; Toru Utsunomiya; Takashi Ichii; Hiroyuki Sugimura; Vacuum

ultraviolet trimming of oxygenated functional groups from oxidized self-assembled hexadecyl monolayers in an evacuated environment, Applied Surface Science, 416, 971 - 979, 2017

7) Toru Utsunomiya; Taiki Kanzawa; Takashi Ichii; Hiroyuki Sugimura; Protective layer for cycloolefin polymer against an aromatic solvent prepared by chemical vapor deposition using cyclosiloxane as a raw molecule, Thin Solid Films, 638, 28 - 33, 2017

8) Ahmed I. A. Soliman; Yudi Tu; Toru Utsunomiya; Takashi Ichii; Hiroyuki Sugimura; Low Damage Reductive Patterning of Oxidized Alkyl Self-Assembled Monolayers through Vacuum Ultraviolet Light Irradiation in an Evacuated Environment, Langmuir, 33, 41, 10829 - 10837, 2017

9) Ahmed I. A. Soliman; Toru Utsunomiya; Takashi Ichii; Hiroyuki Sugimura; Vacuum Ultraviolet Treatment of Acid- and Ester-Terminated Self-Assembled Monolayers: Chemical Conversions and Friction Reduction, Langmuir, 34, 10, 3228 - 3236, 2018

10) 杉村博之, 真空紫外光表面処理による合成樹脂部材の活性化表面接合, 成形加工, 30, 3, 107 - 111, 2018

[学会発表] (計 22 件)

1) 孔成棟, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 高分子材料とアルミニウムの光活性化接合, 第 64 回高分子学会年次大会, 札幌コンベンションセンター, 2015/05/27-29

2) Ahmed. I. A. Soliman, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Quantitative Analysis of Surface Functional Groups of Alkyl Self-Assembled Monolayers Generated through Vacuum Ultraviolet Irradiation, 第 64 回高分子学会年次大会, 札幌コンベンションセンター, 2015/05/27-29

3) 孔成棟, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, アルミニウム箔と高分子材料の光活性化接合, 表面技術協会第 132 回講演大会, 信州大学, 2015/09/09-10

4) Ahmed I. A. Soliman, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Quantitative Analysis of Surface Functional Groups at Modified Self-Assembled Monolayers through Vacuum Ultraviolet Irradiation, 表面技術協会第 132 回講演大会

5) 藤原吉宏, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 異種材料の接合に与える表面処理の効果, 第 17 回関西表面技術フォーラム, 甲南大学ポートアイランドキャンパス, 2016/11/26-27

6) 神澤大基, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之,

光活性化高分子表面における環状シロキサン重合膜成長過程, 第 17 回関西表面技術フォーラム, 甲南大学, 2016/11/26-27

7) Ahmed. I. A. Soliman, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Chemical conversions of hexadecyl self-assembled monolayers based on vacuum ultraviolet irradiations in an atmospheric condition, Pacifichem 2015, Honolulu, 2015/12/16-22

8) Toru Utsunomiya, Taiki Kanzawa, Kyohei Onishi, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Organosilane molecular film formation on cyclo-olefin polymer surface for protective coating against organic solvents, Pacifichem 2015, Honolulu, 2015/12/16-22

9) Chengdong Kong, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Photo-activation bonding between polymer material and aluminum, Pacifichem 2015, Honolulu, 2015/12/16-22

10) 藤原吉宏, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 真空紫外光照射によるシリコンと高分子材料の常温接合, 表面技術協会第 133 回講演大会, 早稲田大学, 2016/03/22-23

11) 孔成棟, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, アルミニウムの表面粗さが高分子材料との光活性化接合に及ぼす影響, 第 65 回高分子学会年次大会, 神戸国際会議場, 2016/05/25-27

12) 藤原吉宏, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, シリコンと高分子材料の光活性化常温接合, 第 65 回高分子学会年次大会, 神戸国際会議場, 2016/05/25-27

13) Toru Utsunomiya, Ahmed I. A. Soliman, Sho Kokufu, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, 1,2-Epoxyalkane: Another precursor molecules for self-assembled monolayers on hydrogen terminated Si(111), ICOMF16, 2016/07/25-29

14) 藤原吉宏, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 平滑シリコンとポリマー材料の光活性化接合, 平成 28 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 岩手大学, 2016/09/13-15

15) 神澤大基, 米田真, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之, 有機シリカ系薄膜の被覆による非晶質ポリマーの有機溶剤耐性向上, 平成 28 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 岩手大学, 2016/09/13-15

16) 杉村博之, ポリオレフィンと有機単分子膜被覆金属の光活性化接合, 第 33 回 ARS 熱海コンファレンス, 伊豆山研修センター, 熱海, 2016/10/27-28

17) Ahmed. I. A. Soliman, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Selective Trimming of Surface Oxygenated Groups through Vacuum Ultraviolet Light Irradiation in an Evacuated Environment, The 63RD AVS International Symposium, Nashville, 2016/11/06-11

24) Taiki Kanzawa, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Improvement in Organic Solvents Resistance of Cyclo-Olefin Polymer by Coating with Silica-like Thin Film, The 63RD AVS International Symposium, Nashville, 2016/11/06-11

18) Masahiro Soga, Yudi Tu, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, VUV-photoassisted Chemical Doping on Graphene Oxide, The 63RD AVS International Symposium and Exhibition, Music City Center, Nashville, 2016/11/06-11

19) 藤原吉宏、宇都宮徹、一井崇、杉村博之、Si 基板と高分子材料の表面活性化接合、第 18 回関西表面技術フォーラム、甲南大学ポートアイランドキャンパス、2016/11/17-18

20) 羅紫馨、宇都宮徹、一井崇、杉村博之、有機単分子膜被覆アルミニウムと高分子材料の接合、第 18 回関西表面技術フォーラム、甲南大学ポートアイランドキャンパス、2016/11/17-18

21) Ahmed I. A. Soliman, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Vacuum Ultraviolet Photomodification for Bottom-Up Selective Assembling of Organosilanes, Symposium on Surface Science & Nanotechnology, Kyoto International Community House, 2017/01/24-25

22) 宇都宮徹、藤原吉宏、一井崇、杉村博之、平滑シリコン表面の官能基終端化によるポリマー材料との常温接合、第 66 回高分子討論会、愛媛大学、2017/09/20-22

23) 林立庭、宇都宮徹、一井崇、杉村博之、チタンと高分子材料の光活性化常温接合、第 66 回高分子討論会、愛媛大学、2017/09/20-22

24) 羅紫馨、宇都宮徹、一井崇、杉村博之、高平滑なアルミ箔と高分子材料の表面活性化接合、第 66 回高分子討論会、愛媛大学、2017/09/20-22

25) Toru Utsunomiya, Masahiro Soga, Makoto Yoneda, Yudi Tu, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Heteroatom-Doping to Graphene Oxide through the Photochemical Treatments using the Vacuum Ultraviolet Light, The 8th International Symposium on Surface Science, Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, 2017/10/22-26

26) Ahmed I. A. Soliman, Cheng-Tse Wu, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura, Room Temperature Lithographic Approach for Developing Polycrystalline Zinc Oxide Micropatterns through Vacuum Ultraviolet in an Atmospheric Environment, 第 19 回関西表面技術フォーラム、甲南大学、2017/11/16-17

27) 羅紫馨、宇都宮徹、一井崇、杉村博之、高平滑 Al 基板とポリマーの表面活性化接合、第 19 回関西表面技術フォーラム、甲南大学、

2017/11/16-17

28) 林立庭、宇都宮徹、一井崇、杉村博之、真空紫外光照射によるチタンと高分子材料の常温直接接合、第 19 回関西表面技術フォーラム、甲南大学、2017/11/16-17

29) 杉村博之、真空紫外光による材料表面処理、第 36 回 固体・表面光化学討論会、滋賀県立大学、2017/11/21-22

21) 吳承澤, Ahmed I. A. Soliman, 宇都宮徹、一井崇、杉村博之、室温下真空紫外光照射による酸化チタン薄膜とマイクロパターン作製、表面技術協会第 137 回講演大会、芝浦工業大学豊洲キャンパス、2018/03/12-13

22) 林立庭、宇都宮徹、一井崇、杉村博之、高平滑チタンとポリマー材料の光活性化室温接合、表面技術協会第 137 回講演大会、芝浦工業大学豊洲キャンパス、2018/03/12-13

[図書] (計 件)

1) 杉村博之、第 2 章第 6 節第 3 項 高分子と金属の光活性化接合技術、199 - 205, (自動車のマルチマテリアル戦略, エヌティーエス, 2017) ISBN : 978-4-86043-507-3

2) 杉村博之、第 5 章第 3 節 高分子と無機材料の光活性化異種接合、218-224, (異種材料の接着・接合技術とマルチマテリアル化, 技術情報協会, 2017) ISBN : 978-4-86104-682-7

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

<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 (ICHII 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