

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K05200

研究課題名(和文)ヘテロナノ空間に束縛された水の構造と機能

研究課題名(英文)Structure and function of water confined in hetero-nano space

研究代表者

本間 芳和 (Homma, Yoshikazu)

東京理科大学・産学連携機構・教授

研究者番号：30385512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：親水性表面と疎水性表面の間に形成される構造水の構造と機能を明らかにすることを目的とし、疎水性物質としてグラフェンと大気、親水性物質としては非晶質シリカ及びその結晶である石英を用い、これらを組み合わせた界面に存在する水の研究を行った。共鳴レーザ蛍光分光法およびヘテロダイン周波数発生分光法による計測と、分子動力学シミュレーションを用い、基板の親水・疎水性がそれぞれの表面の吸着水の水素結合ネットワークに及ぼす影響を定量的に解明するとともに、これらがバルクの液相とは異なることを明らかにした。また、石英の吸着水は親水基(表面シラノール基)周りに集合してナノ液滴を形成するというモデルを提唱した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「ヘテロナノ界面」は、親水性と疎水性がせめぎ合うナノ空間であり、その中で水がどのような秩序構造を取り得るかは、学術的に大変興味深いトピックスであるだけでなく、ナノ細孔での濡れや流れの制御、摩擦特性の制御においても重要な基礎的知見を与えるものである。本研究により、基板の親水・疎水性がそれぞれの表面の吸着水の水素結合ネットワークに及ぼす影響を定量的に解明できた。これら吸着水は、従来考えられていたバルクの氷の構造とは異なるものである。また、実用的には、多成分が添加された実用ガラス表面の水構造がそれぞれの純物質上のその足し合わせで表現できないという点で、材料科学的にも重要な結果を得た。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify the structure and function of structural water formed between hydrophilic and hydrophobic surfaces. We investigated the water existing at the interface between hydrophobic graphene or air and hydrophilic silica or quartz surfaces. Using measurements by resonance laser fluorescence spectroscopy and heterodyne-detected vibrational sum-frequency generation spectroscopy and molecular dynamics simulations, we quantitatively elucidate the effects of substrate hydrophilicity and hydrophobicity on the hydrogen bonding networks of adsorbed water on each surface, and clarified that these are different from the bulk liquid phase. We also proposed a model in which adsorbed water on quartz gathers around hydrophilic groups (surface silanol groups) to form nanodroplets.

研究分野：ナノ構造物理学

キーワード：構造水 疎水性 親水性 グラフェン 石英 カーボンナノチューブ

1. 研究開始当初の背景

水は最も身近な純物質であるが、多様な相や多くの特異性を呈し、現在も新たな相やその物性の探求が進められている。また、バルク物性だけでなく界面や物質表面、触媒反応や生体反応等における分子・ナノスケールでの水の役割も注目され、その積極的な利用が望まれているが未だその多くが解明されていない。特にナノスケールにおける水の物性は非常に興味深く、その中でも単層カーボンナノチューブ(SWCNT)内に内包された1次元的水は、実験や計算手法によって盛んに研究されている。一方、グラフェンと基板との間に挟まれた2次元的水については、その厚みが2分子層まではステップ的に増加することから通常の六方晶氷(1h)[1]あるいは正方晶氷(1c)[2]が形成されているという報告がなされているものの、理論的にも実験的にも十分な検証がなされているとはいえない状況である。特に、2次元に閉じ込められた水の場合、その上下界面の親水性・疎水性によって、間に挟まれた水の構造が変化することが予想される。例えば、Pt(111)面上のグラフェンシート上に超高真空中において低温で水分子を供給すると、2分子層の水が形成されることが報告されている[3]。この2分子層の水の特徴は、水分子の水素結合が完全に2層で閉じており、それ以上の厚さにならないことである。この2層水の水素結合の長周期秩序が失われて無秩序化しながらも、厚み方向の2層構造を維持しているのが、大気中で単層CNTの周りや[4]グラフェン表面[5]に形成される水吸着層であると考えられる。大気中の場合、空気は超疎水性であるので、2層吸着層は疎水性固相に挟まれた構造といえる。では、上下とも親水性物質の場合、また一方が親水性、他方が疎水性の界面の場合、水はどのような構造を取るのだろうか。このように、界面の特性に応じてその間に挟まれる水の構造がどのようになるのか、また、その機能は何か、本研究課題の核心をなす問いである。

2. 研究の目的

本研究課題では、親水性表面と疎水性表面の間「ヘテロナノ界面」に形成される構造水の構造と機能を明らかにすることを目的とする(図1)。この目的を達成するためには、表面構造が高度に制御された試料と、界面水選択的な計測法が鍵となる。親水性表面としては単結晶である水晶表面や非晶質であるシリカ表面を用い、疎水性表面としてはグラフェンや高配向性熱分解グラファイト(HOPG)を用いる。

本研究課題が取り組む「ヘテロナノ界面」は、親水性と疎水性がせめぎ合うナノ空間であり、その中で水がどのような秩序構造を取り得るかは、学術的に大変興味深いトピックであるだけでなく、ナノ細孔での濡れや流れの制御、摩擦特性の制御においても重要な基礎的知見を与えるものである。

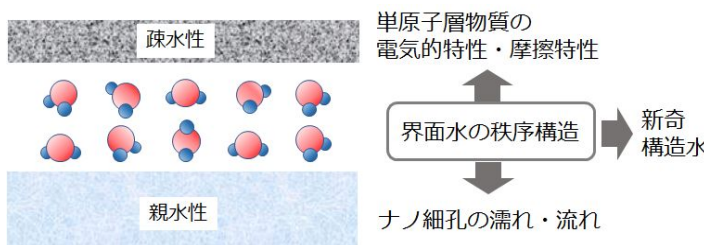


図1. ヘテロナノ界面の構造水の研究展開

3. 研究の方法

疎水性物質としてはグラフェンとともに大気を対象とし、親水性物質としては非晶質シリカ及びその結晶である石英、さらに任意濃度のAlを添加したシリカを用い、これらを組み合わせた界面に存在する水の研究を行った。

研究代表者の本間は、大気とグラフェンの間に形成される2分子層の水の素性を明らかにするため、高感度な共鳴レーザ蛍光分光が可能なSWCNTをモデル試料として用い、SWCNTからの蛍光発光の波長変化を測定することにより、2分子層の水の構造変化を解析した。また、グラフェンとシリカの界面にインターカレートされた水分子を対象に、分子レベルでの構造を解明するため、分子動力学計算(MD)を用いた。1nm間隔の2物質の間に2層の水分子を配置し、NVT条件でMDを行った。

分担研究者である由井と浦島は、ヘテロダイナミック検出振動和周波発生(Heterodyne-Detected Vibrational Sum-Frequency Generation Spectroscopy: HD-VSFG)分光法により、界面水の振動分光計測を行った。この手法では吸着水の振動スペクトル情報に加え、水分子の基板表面に対する絶対配向までも決定することができる。基板周囲の湿度を変えることで吸着量を制御しながら計測を行った。Al添加系ガラスではAl濃度と湿度の2軸に条件を変えた測定を行い、得られた結果を特異値分解によって整理して構造解析した。

4. 研究成果

(1) 大気/SWCNT界面の水

ヘテロナノ界面に形成される構造水としては、大気とSWCNTの間に形成される2分子層の水が代表的なものである。その物性を明らかにするため、SWCNTからの蛍光発光の波長変化を測定することにより、2分子層の水の構造及び物性の変化を解析した[5]。室温から温度を低下さ

せると、SWCNT からの蛍光のエネルギーは、図 2 に示すように、SWCNT の構造（カイラリティ）に依存して、発光エネルギーが増加する場合と減少する場合に分かれた。これは、2 分子層の水が熱収縮により高密度化し SWCNT に圧縮歪を及ぼすためである。この歪効果を差し引いた発光エネルギーの温度依存性 ($\Delta E_{\epsilon}^{n,m}(T)$) は 2 分子層水の誘電率変化を表す（図 3）。図 2, 3 いずれもこれら物性は温度に対して単調に変化するのみで、固液相転移に相当するような構造変化は生じていないことが分かった。この 2 分子層の水は、明確な凝集エネルギーを有し、近距離的には四面体配置をとるバルク水とは異なる構造を持つことから、2 分子層からなる水の新しい相と見なすことができる。

無極性物質である SWCNT の外表面には 2 分子層の吸着水が、内部には単分子層の内包水が形成される。前者は疎水性の大気と CNT の間のヘテロナノ界面に形成される構造水であり、後者は CNT の壁面ポテンシャルに束縛された構造水である。CNT 壁の役割は水分子の回転運動に制限を課すもので、1 層目の構造は両者共通と考えられる。しかし、内包水は圧力・温度に応じた相変化を示す[7]のに対し、吸着水には室温から 140 K まで液・固相転移に相当する変化は見られなかった。このことから、開放系である吸着水では、1 層目と 2 層目で水分子が入れ替わる効果がエントロピーを増大させ、相変化を阻害していると考えられる。内包水では外界との水分子の交換は CNT の端部だけで起こるため、準閉鎖系とみなせる。

(2) グラフェン・シリカ界面の水

グラフェンとシリカそれぞれを基板として、2 種の基板からなる界面にインターカレートされた水分子を対象に、MD シミュレーションを実施した。疎水界面であるグラフェン/グラフェン、親水界面であるシリカ/シリカ、ヘテロナノ界面としてグラフェン/シリカに着目した。図 4 に示すように、いずれの場合も界面水は層状構造を示した。(a) グラフェン/グラフェン界面では明確な二重層構造が現れた。これは、グラフェンとの間には水素結合が形成できないため、水分子の平面的水素結合ネットワークから面直に向く水素結合同士が、相補的に結合し安定構造を形成するためである。一方、(b) シリカ/シリカ界面では水分子はシリカ表面と結合を形成するため 2 層構造を取りながらも分布の幅が広がった。(c) グラフェン/シリカヘテロ界面では、水素結合の微視的な構造に、親水・疎水の特徴がそれぞれの基板側に現れる構造となった。また、各層において、平面的な水素結合ネットワークを解析したところ、(a) では四角形や五角形が支配的であるのに対し、(c) では 6 角形、7 角形の割合が増加するなど、基板の親水・疎水性が構造水の水素結合ネットワークに及ぼす影響を定量的に解明できた。

(3) HD-VSFG による空気 / 石英界面の計測

親水性媒質と疎水性媒質からなるヘテロナノ界面として、まずシリカと空気の界面に着目した。室温にて試料周囲の湿度を制御できる半開放のセルを開発し、これを HD-VSFG 分光計測シ

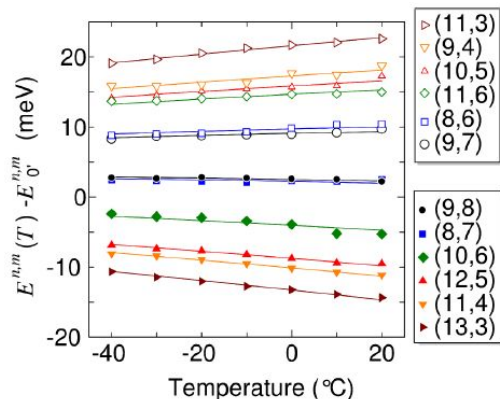


図 2. 水吸着 SWCNT からの蛍光発光エネルギーの温度変化。()内はカイラル指数

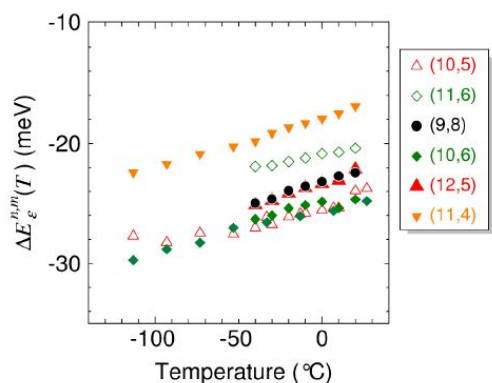


図 3. 水吸着 SWCNT からの蛍光発光エネルギーの温度変化における誘電率の寄与

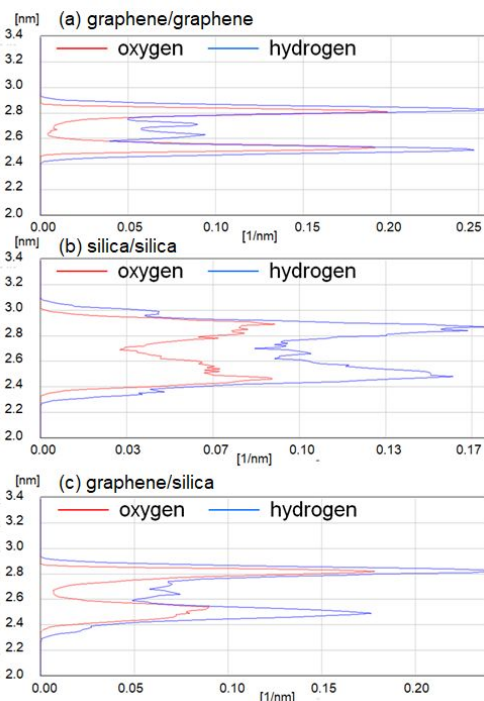


図 4. 各種界面における水分子の密度分布

図 4. 各種界面における水分子の密度分布

ステムと組み合わせた。

得られた振動スペクトルを図5に示す[8]。HD-VSFG スペクトルではピークが正にも負にも現れるが、この符号が水分子の配向性と直接対応している。得られたスペクトルには正にも負にもピークが現れていることから、空気/シリカ界面には少なくとも2種類の(配向の異なる)構造水が存在することがわかる。さらに、得られたスペクトルを先行研究の減衰全反射スペクトルと比較したところ、シリカ表面のHD-VSFG スペクトルには空気/吸着水界面と吸着水/シリカ界面の水のみが寄与しており、数ナノメートルの厚みのある吸着水全体が観測されているわけではないことが判明した。HD-VSFG 分光法における界面選択性の理論より、このことはシリカ表面が電氣的に中性であることを意味している。バルク水に触れたシリカは表面シラノール基の電離 ($\text{Si-OH} \rightleftharpoons \text{Si-O}^- + \text{H}^+$) によって負に帯電すること、その point of zero charge が pH 2 付近であることが知られているため、これは吸着水がシリカの電離を誘起しないという興味深い結果である。バルク水との違いが生じた理由として、吸着水は厚みが数ナノメートル程度しかないため、シラノールから H^+ が電離してもバルクのようにそれが水中に拡散してエントロピー利得を獲得することができないためであると考察された。

さらに、シリカ表面にバルク水を滴下した場合には液滴はすばやく濡れ広がって基板全体を覆うのに対し、吸着水はまず表面シラノール基を中心としてナノ液滴状に成長し、平均厚みが5分子層程度になるまで吸着水が増えて初めて液滴同士が結合して全体を覆うようになることが明らかになった(図6)。シリカ表面が親水性であるにもかかわらず吸着水がナノ液滴を形成してしまうのは、吸着水層が薄い場合に水分子がシリカを均一に覆ってしまうとほとんどの水分子がエネルギー的に不安定な空気/水界面にさらされてしまうため、水が自発的にこれを回避したものと解釈できる。これは親水性媒質と疎水性媒質に挟まれたヘテロナノ界面ならではの現象であるとともに、材料表面に吸着した水が表面に不均一性を与えるという点で材料科学的にも興味深い結果である。

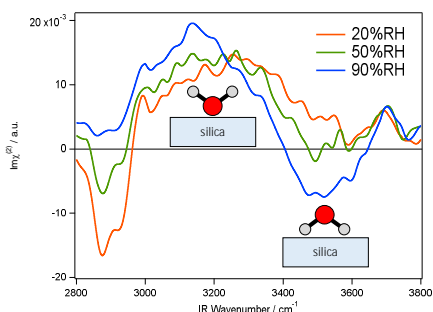


図5. 空気/シリカ界面のHD-VSFG スペクトル。

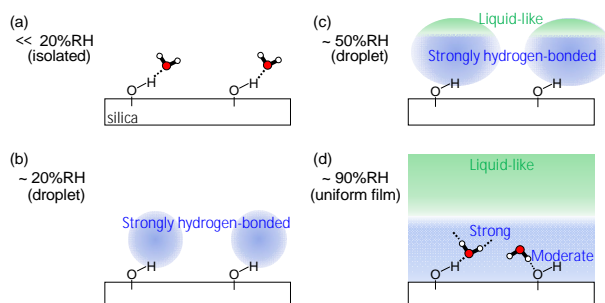


図6. 空気/シリカ界面における吸着水構造。

(4) HD-VSFG による空気/2成分ガラス界面の計測

(3)の成果により、大手ガラス材料メーカーとの共同研究が展開された。従来のほとんどの研究ではシリカ (SiO_2) やアルミナ (Al_2O_3) といった純物質のガラスを用いており、実用ガラスのような多成分からなるガラスについて基礎研究した例は極めて稀である [9,10]。例えば Al 添加 SiO_2 を考えた場合その表面吸着構造は SiO_2 のそれと Al_2O_3 のそのの足し合わせになっていると考えられるが、これを実証した例はない。これは、様々な種類の添加成分を含む場合には議論が複雑になりすぎてしまうが、ガラス状態を安定に保つことのできる組成範囲が限られているために、少ない成分数から順次研究を展開することも困難であるためである。我々はガラス材料メーカーとの共同研究により、任意組成のガラスをバルクではなく薄膜として得ることでこの問題を回避し、任意組成の Al ドープ SiO_2 を作製した。

この試料について HD-VSFG 分光計測を行った結果、予想に反して低濃度 (<13 atom%) の Al を添加した場合にのみ特異な吸着構造水が立ち現れることが明らかとなった。詳細なスペクトル解析の結果、この特異な構造水は Si と Al が作るナノドメインの境界領域に吸着した水が形作っているということが示唆された。つまり、低濃度の Al を添加した SiO_2 は、親水/疎水のヘテロナノ界面の中でも、さらに親水性媒質側にナノレベルの不均一性が導入された系であるといえる。この特異な水構造は、Si/Al ドメイン境界において、 SiO_2 のテトラヘドラル構造を保ったまま Si^{4+} から Al^{3+} への置換が起こるために局所的に負電荷が生じ、その負電荷を強い相互作用サイトとして水が結合しているものと解釈された。本成果は $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ /空気の三相界線が新しい水構造を生み出しているという点で理学的に興味深いだけでなく、多成分が添加された実用ガラス表面の水構造がそれぞれの純物質のそのの足し合わせで表現できないという点で材料科学的にも重要な成果であり、現在国際誌に投稿中である。

(5) 今後の展望

SWCNT 表面の吸着水は 140 K から室温の範囲では固液相転移を示さないことが明らかになった。この吸着水は SWCNT に歪を及ぼすことから、液相よりも固相に近い状態とも言えるが、そ

の水素結合ネットワーク構造の温度変化や熱力学的挙動は未解明である。今後は、MD シミュレーションを用い、SWCNT 表面の吸着水およびヘテロナノ界面に束縛された水の微視的構造の温度変化を調べ、その相挙動を明らかにし、SWCNT 内包水と合わせ、束縛水・構造水の熱力学的挙動の統一的理解を目指す。また、基板の親水性・疎水性が単原子層物質であるグラフェンによってどの程度遮蔽されるかも興味深いテーマである。本研究では、グラフェン/パラジウム基板上の銅粒子の形状変化から、グラフェンの層数が銅粒子と基板との相互作用に及ぼす影響を評価することを示した[11]。これは、基板上のグラフェンが水の濡れ性に及ぼす影響との比較において、新たな視点を与えるものである。

HD-VSFG 分光の側面からは、シリカに他の金属元素を添加することで表面に不均一性が誘起され、純物質では現れない吸着水構造が生まれることが明らかになった。本研究を通して得た成果はガラス材料メーカーとの共同研究の種になり、現在も継続中であるほか、分担者の浦島は本研究課題をさらに発展させ、より吸着水の機能に焦点を当てた基盤研究 C (表面選択的振動分光法による実用ガラス表面吸着水の分析：割れ促進メカニズムの解明) を展開した。今後はまず他の添加金属が表面吸着水構造に与える影響を同様に解析するとともに、各種条件で得られた吸着水構造を分類してそれぞれの多寡を整理する。これを濡れ性や摩擦係数といった表面特性の湿度依存性と比較することで、吸着水の「機能」を明らかにする。また、本研究課題で振動分光したヘテロナノ界面はどれも疎水性媒質に空気を利用していたが、今後は疎水性媒質の側も炭素材料や非極性有機溶媒などに変更する。これを空気の場合と比較することで、より水がヘテロナノ界面に束縛された場合にどうなるのか、疎水性媒質の化学的性質が水構造をどう変化させるのかを追跡し、ヘテロナノ界面に置かれた水の構造変化について化学と物理の両面から理解することを目指す。

文献

- 1) K. Xu, P. Cao, and J. R. Heath, *Science* 329, 1188-1191 (2010).
- 2) G. Algara-Siller, O. Lehtinen, F. C. Wang, R. R. Nair, U. Kaiser, H. A. Wu, A. K. Geim, and I. V. Grigorieva, *Nature* 519, 443-445 (2015).
- 3) G. A. Kimmel, J. Matthiesen, M. Baer, C. J. Mundy, N. G. Petrik, R. S. Smith, Z. Dohnálek, and B. D. Kay, *JACS*, 131, 12838-12844 (2009).
- 4) Y. Homma, S. Chiashi, T. Yamamoto, K. Kono, D. Matsumoto, J. Shitaba, and S. Sato, *Phys. Rev. Lett.* 110, 157402 (2013).
- 5) A. Akashi, T. Yonemaru, and J. Nakamura, *ACS Omega* 2, 2184-2190 (2017).
- 6) Y. Saito, Y. Tanaka, G. Yamaguchi, T. Kato, S. Konabe, S. Chiashi, and Y. Homma, *J. Appl. Phys.* 129, 014301 (2021).
- 7) S. Chiashi, Y. Saito, T. Kato, S. Konabe, S. Okada, T. Yamamoto, and Y. Homma, *ACS Nano* 13, 1177-1182 (2019).
- 8) S. Urashima, T. Uchida, and H. Yui, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 22, 27031-27036 (2020).
- 9) Y. T. Lin, N. J. Smith, J. Banerjee, G. Agnello, R. G. Manley, W. J. Walczak, S. H. Kim, *J. Am. Ceram. Soc.*, 104, 1568-1580 (2020).
- 10) N. Sheth, D. Ngo, J. Banerjee, Y. Zhou, C. G. Pantano, S. H. Kim, *J. Phys. Chem. C*, 122, 17792-17801 (2018).
- 11) J. Takahashi, K. Nakamura, Y. Kioka, H. Kato, T. Yamamoto, and Y. Homma, *Appl. Phys. Express* 16, 015503 (2023).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Junro Takahashi, Kengo Nakamura, Yusei Kioka, Hiroki Kato, Takahiro Yamamoto, Yoshikazu Homma	4. 巻 16
2. 論文標題 Correlation between copper particle morphology and number of graphene layers on a palladium substrate	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 015503_1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/aca750	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Masaru Irita, Takahiro Yamamoto, Yoshikazu Homma	4. 巻 11
2. 論文標題 Chirality Distributions for Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes Determined by Photoluminescence Spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 2309_1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nano11092309	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Inoue Emi, Shihomatsu Kota, Takahashi Junro, Kato Hiroki, Homma Yoshikazu	4. 巻 700
2. 論文標題 Characterization of Au intercalation at the interface of graphene/polycrystalline Ni substrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surface Science	6. 最初と最後の頁 121613 ~ 121613
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.susc.2020.121613	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Saito Yuta, Tanaka Yuichiro, Yamaguchi Genta, Kato Takashi, Konabe Satoru, Chiashi Shohei, Homma Yoshikazu	4. 巻 129
2. 論文標題 Temperature dependence of photoluminescence spectra from a suspended single-walled carbon nanotube with water adsorption layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 014301 ~ 014301
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0031611	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Urashima Shu-hei, Uchida Taku, Yui Hiroharu	4. 巻 22
2. 論文標題 A hydrogen-bonding structure in self-formed nanodroplets of water adsorbed on amorphous silica revealed via surface-selective vibrational spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 27031 ~ 27036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cp03207g	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Masahide Shima, Hiroki Kato, Kota Shihommatsu, Yoshikazu Homma	4. 巻 12
2. 論文標題 Determination of absolute number of graphene layers on nickel substrate with scanning Auger microprobe	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 055009_1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab5743	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計20件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 浦島周平
2. 発表標題 摩擦・腐食・印刷の制御を目指して～材料表面の吸着・濡れ・流れを計る新しい光計測技術～
3. 学会等名 表面技術協会表協エレクトロニクス部会/電気化学会ナノ・マイクロファブリケーション研究会 合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshikazu Homma, Kenji Sasaoka, Hiroharu Yui, Takahiro Yamamoto
2. 発表標題 Molecular dynamics simulation of water confined at hetero interfaces
3. 学会等名 14th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '22 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshikazu Homma, Shohei Chiashi
2. 発表標題 Phase of water confined at single-walled carbon nanotube
3. 学会等名 Pacifichem2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shu-hei Urashima, Taku Uchida, Suguru Uchino, Yoshikazu Homma, Hiroharu Yui
2. 発表標題 Heterogeneous hydrogen-bonding structure of water confined at hydrophilic/hydrophobic interface studied by surface-selective vibrational spectroscopy
3. 学会等名 Pacifichem2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaru Irita, Takahiro Yamamoto, Yoshikazu Homma
2. 発表標題 Chirality distributions of grown single-walled carbon nanotubes assigned by photoluminescence spectroscopy
3. 学会等名 JSAP-OJA Joint Symposia 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田琢、浦島周平、由井宏治
2. 発表標題 線形・非線形分光法によるグラフェン表面吸着水の構造解析
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浦島周平、内田琢、本間芳和、由井宏治
2. 発表標題 親水性材料表面への水吸着：「摩擦前」の化学的表面均一性
3. 学会等名 日本表面真空学会2021年学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshikazu Homma, Shohei Chiashi
2. 発表標題 Phase transition of water confined in carbon nanotube observed by photoluminescence spectroscopy
3. 学会等名 The Annual Meeting of the Spectroscopical Society of Japan 2020（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎菜奈未，本間芳和，山本貴博
2. 発表標題 紙基板に塗布したカーボンナノチューブの電気伝導度の湿度依存性
3. 学会等名 2020年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本間芳和
2. 発表標題 励起子分光によるカーボンナノチューブ内部の水の物性計測
3. 学会等名 MRM Forum 2020（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浦島周平
2. 発表標題 表面選択的振動分光法によるシリカ表面の化学的均一性の検証
3. 学会等名 分光学会年次講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshikazu Homma, Shohei Chiashi
2. 発表標題 Characterization of Phase of Water Confined in Nanospace
3. 学会等名 12th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '19 (ALC' 19)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間芳和, 千足昇平
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブナノ空間に形成される水ナノチューブの物性
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei Chiashi, Yoshikazu Homma
2. 発表標題 Water Adsorption and Desorption on Single and Suspended Single Walled Carbon Nanotubes by Spectroscopy
3. 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials, NT19（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Saito, Yuichirou Tanaka, Genta Yamaguchi, Shohei Chiashi, Yoshikazu Homma
2. 発表標題 Temperature Change of Water Adsorption Layer on Suspended Single-walled Carbon Nanotube
3. 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials, NT19 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田琢, 浦島周平, 由井宏治
2. 発表標題 材料表面に吸着した水の水和構造解明を目指した環境制御ヘテロダイン検出振動和周波発生分光装置の開発
3. 学会等名 日本表面真空学会2019年度関東支部学術講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浦島周平, 内田琢, 本間芳和, 由井宏治
2. 発表標題 大気圧下でシリカ表面に吸着した水和層の表面選択的振動分光法による「その場」計測
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田琢, 浦島周平, 由井宏治
2. 発表標題 シリカ/大気界面のヘテロダイン検出振動和周波発生分光計測:大気圧下でシリカ表面に吸着した水の水和構造とその湿度依存性
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taku Uchida, Shu-hei Urashima, Hiroharu Yui
2. 発表標題 Hydration structure of water molecules on the silica surface and its humidity dependence revealed by heterodyne-detected vibrational sum-frequency generation spectroscopy
3. 学会等名 12th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '19 (ALC' 19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shu-hei Urashima
2. 発表標題 Surface-selective vibrational spectroscopic measurements on solid materials under humidity-controlled atmosphere
3. 学会等名 12th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '19 (ALC' 19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	由井 宏治 (Yui Hiroharu) (20313017)	東京理科大学・理学部第一部化学科・教授 (32660)	
研究分担者	浦島 周平 (Urashima Shuhei) (30733224)	東京理科大学・理学部第一部化学科・助教 (32660)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------