

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2018～2022

課題番号：17KK0111

研究課題名（和文）DLC膜の耐熱性向上の為の加熱による局所・微細構造変化の解明

研究課題名（英文）Investigation of microstructural changes on DLC films by heating to improve heat resistance

研究代表者

赤坂 大樹（AKASAKA, HIROKI）

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：80500983

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,600,000円

渡航期間： 6ヶ月

研究成果の概要（和文）：ダイヤモンド状炭素(DLC)膜の熱による局所反応について、膜のどの構造から熱により損傷し、DLC膜のどの構造が高温に耐えるかを探索する為、局所的な熱による構造変化としてsp<sup>2</sup>/(sp<sup>2</sup>+sp<sup>3</sup>)結合炭素比の2次元分布の変化を放射光を用いたX線光電子顕微鏡観察により評価し、より実際に近い状況での熱によるDLC膜の構造変化を把握した。DLC膜は加熱によりsp<sup>2</sup>結合性炭素が増加し、局所的に構造の異なる領域がある場合も安定な結合状態に収束することが示された。更に急激な熱印加と冷却が行われた場合でもsp<sup>2</sup>炭素量が急激に上昇し、熱によるsp<sup>3</sup>からsp<sup>2</sup>結合性炭素への変化が印加熱量に依存する事が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機械部品摺動に固体潤滑膜として用いられるDLC膜の熱による炭素の結合状態の変化が示された。特に局所的に不均一な炭素結合状態があったとしてもその温度で安定な結合状態に収束していくことが示され、摺動部で発生する摩擦熱による劣化過程を考えるうえでの基礎となり、この結果を発展させることでDLC膜の長寿命化につながるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The local structural change of the diamond-like carbon (DLC) film by heating was investigated. To understand which structure in DLC films is damaged by heating, the change of the sp<sup>2</sup>/(sp<sup>2</sup>+sp<sup>3</sup>) carbon bonding ratio distribution due to heat was observed by X-ray photoelectron microscopy using synchrotron radiation. On DLC films with uniform structure, sp<sup>2</sup>-bonded carbon (sp<sup>2</sup>/(sp<sup>2</sup>+sp<sup>3</sup>)) increased in the DLC film by heating. And carbon-carbon bonding is reached to stable carbon bonding state even when there were regions with different structures locally, and it is uniform carbon bonding structure. Furthermore, the amount of sp<sup>2</sup> carbon increased partially rapid heating and cooling by the laser irradiation, it was indicated that the amount of change from sp<sup>3</sup> to sp<sup>2</sup>-bonded carbon due to heat depends on the amount of heat applied.

研究分野：材料工学

キーワード：DLC膜 耐熱性 局所構造 熱印加 sp<sup>2</sup>/sp<sup>3</sup>炭素結合比

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究は 2017~2019 年度に実施された基盤研究(B) 17H03142 “DLC 膜の熱分解反応の解明と同位体元素・多原子価イオン添加による耐熱性向上”を進展させる国際共同研究として実施した。

ダイヤモンド状炭素(Diamond-Like Carbon: DLC)膜は  $sp^3$  および  $sp^2$  結合性の炭素及び水素からなる図 1 の A の領域にあるアモルファス炭素膜の総称である。高硬さや低摩擦係数等の優れた特性から工具表面や摺動面で利用されている<sup>1)</sup>。一方で、DLC 膜は約 300~600°C で熱分解し、高温に上昇する摺動部やドライ条件で鉄用切削工具の刃先等に適用できない上<sup>2)</sup>、DLC 膜の熱分解について統一的知見は無く、炭素原子の  $sp^3$  と  $sp^2$  結合比および水素量の構造の何れに依存するか明らかでない。この“17H03142”は水素量や  $sp^2/sp^3$  結合炭素比と耐熱性の関係を明らかとし、DLC 膜の設計指針を得ることを目的として実施した。

この 17KK0111 “DLC 膜の耐熱性向上の為に加熱による局所・微細構造変化の解明”は前述の研究を進展させ局所的もしくは不均一系への熱の付加、即ち、均一な反応進行ではなく DLC 膜の熱による局所反応について、膜のどの構造の部分から熱により損傷し、DLC 膜のどの構造が高温に耐えるかを評価し、より実際に近い状況での熱による構造変化を把握し、従来の巨視的研究から微視的な領域に踏み込んだ知見を得、より高耐熱の DLC 膜の実現へと進展させる事を試みた。この局所的耐熱性評価には、局所的な変化を捉える必要があり、構造の 2 次元分析が必要となる。この炭素原子の  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合比を捉えるには 2 次元分析する高分解能 X 線吸収微細構造(NEXAFS)と光電子顕微鏡(PEEM)を組み合わせる評価装置が必要である。本研究では本装置を現有するタイ王国の国立放射光施設 Synchrotron Light Research Institute (SLRI)と共同で国際共同研究を実施することで、この施設のビームライン BL3.2U に設置された NEXAFS と X-PEEM を用いて熱を DLC に付加した際の  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合炭素比の分布を評価する事とした。

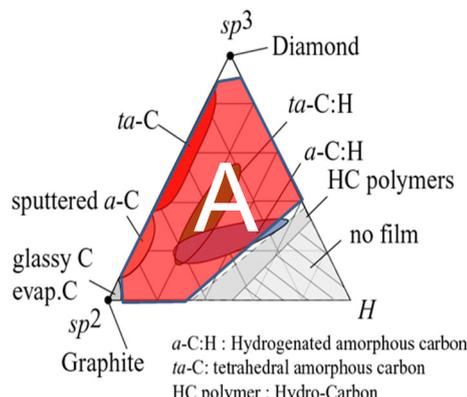


図 1  $sp^2$ ,  $sp^3$  炭素と水素からなる DLC 膜の 3 次元図<sup>1)</sup>

### 2. 研究の目的

$sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合炭素比の 2 次元分布を各温度もしくは熱印可による分布を把握し、DLC 膜の熱による炭素の結合状態の局所変化から、どの構造が、如何に熱損傷するかを明らかとする事を目的とした。

### 3. 研究の方法

DLC 膜はパルスプラズマ化学気相析出(CVD)法により、 $CH_4$  と  $C_2H_2$  から Si(100)基板上に厚さ約 1  $\mu m$  作製した<sup>3)</sup>。膜の構造は、グロー放電発光分光法(GD-OES)で、予め含有水素量が既知の 3 種類の DLC 膜を用いて、水素含有量と GD-OES の発光強度の関係から検量線を作成し、この検量線を基に各試料の水素含有量を評価した。 $sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合炭素比は SLRI のビームライン 3.2Ua & b で NEXAFS とそれに付随する X 線光電子顕微鏡(X-PEEM)を用いて  $sp^2$  及び  $sp^3$  結合炭素の分布を評価した。これら測定では 275~330 eV の  $C_{1s}$  吸収端近傍の X 線を用いた<sup>4,5)</sup>。 $sp^2/(sp^2+sp^3)$  炭素結合比の定量を試みたが、標準試料である高配向熱分解グラファイト(HOPG)の X-PEEM での測定が困難であった事から、通常の X 線吸収分光法で測定した NEXAFS スペクトルを基に相対的な  $sp^2$  含有量を推定した<sup>6,7)</sup>。X-PEEM 中でタングステンヒータによる 800°C までの加熱による  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  炭素結合比の分布の変化を観察した。この時、特に DLC 膜内の損傷部分等を観測することで不均一系への熱の付加による熱損傷の進展を観測した。この時、試料からの分解ガスの発生により、X 線照射により放出される光電子の検出が困難となった為、試料を目標温度まで加熱し、200°C未達まで冷却した後、X-PEEM 像を取得した。更に DLC 膜への局所的な熱の付加を行うため、DLC 膜の表面に大気圧下でパルスレーザを印可し、その構造変化をとらえた。波長 1064 nm の Yb ファイバーパルスレーザ(LP-S: Panasonic)をパルス幅 20  $\mu s$ , 5  $\mu J/shot$  で 200  $\mu m$  の照射間隔で照射し、この試料表面の X-PEEM 像を同じく観測した。

### 4. 研究成果

まず、作製した 2 つの DLC 膜の構造を評価した。 $sp^2/(sp^2+sp^3)$  炭素結合比は  $C_2H_2$  および  $CH_4$  から作製した DLC 膜について通常の X 線吸収分光器で測定した NEXAFS スペクトルと HOPG の同スペクトルを比較することで算出した所、それぞれ 0.46 および 0.47 であった。両膜の水素量は GD-OES 測定から分析された水素含有量は、 $C_2H_2$  と  $CH_4$  から作製した DLC 膜でそれぞれ 9.2 と 23.3 at.% であった。

各温度に XPEEM 装置内で加熱後、X-PEEM 観察を行った。図 2 に 500~800°C で加熱後の、 $CH_4$  から Si 基板上に作製した DLC 膜の X-PEEM 像を示す。284.6, 287.2, 289.8 eV の光子エネルギーの X 線照射時の像で、それぞれ  $\pi^*(C=C)$ ,  $\sigma^*(C-H)$ ,  $\sigma^*(C-C)$  の構造の分布を示している。これらの X-PEEM 像の明暗の各領域はこれらの結合の存在量を示している<sup>15,16)</sup>。全ての試料で比較的均一な像を示し、DLC 構造の均一性を示している。したがって、膜内の  $sp^2$  および  $sp^3$

構造分布が加熱前に均一であれば、局所的な  $sp^2$  および  $sp^3$  構造の熱による変化は均一に進む事を示している。X-PEEM 像は X 線の DLC 膜表面への照射時に DLC 膜表面から放出された光電子が X-PEEM 装置内で偏向されて、蛍光板に衝突し、この蛍光コントラストを像として観察されるため、入射する光子エネルギーと輝度の関係を通常の NEXAFS スペクトルとして使用はできないが、X-PEEM 像内の蛍光強度の相対的な変化は、加熱による膜の構造の変化を評価するために

使用できる。このことから、DLC 膜の  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  炭素結合比の分布を決定するために各光子エネルギーでの X-PEEM 像各部の輝度の変化をプロットしたスペクトルを作成した。図 3 に各温度で加熱後のスペクトルを示す。286.4, 287.2, 288.6, 289.8, 291.8, 及び 303.8 eV の他のピーク位置は、 $\pi^*(C-OH)$ ,  $\sigma^*(C-H)$ ,  $\pi^*(C=O)$ ,  $\sigma^*(C-C)$ ,  $\sigma^*(C=C)$  及び  $\sigma^*(C\equiv C)$  に帰属できる<sup>8)</sup>。HOPG スペクトルは、グラフェンのエッジが非常に鋭利で、アーク放電を引き起こし、X-PEEM で観察ができない事から、NEXAFS 測定によって得たスペクトルを参照し、実験式を用いて計算し、相対値として示す<sup>9)</sup>。加熱前及び 500, 600, 700 および 800°C で加熱後の  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合性の炭素の相対比はそれぞれ 0.65, 0.69, 0.76, 0.83 および 0.86 で、加熱により  $sp^2$  結合性炭素が増加した。

次に、欠陥のある領域を探し、CH<sub>4</sub> から堆積した DLC 膜の幾つかの領域の表面の局所欠陥近傍を X-PEEM 観察した。構造の分布が均一でない DLC 膜において、加熱により  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  炭素結合比の分布の構造がどのように変化するかこの領域の観察から評価した。図 4 はこの不均一領域を含んだ部分の加熱の前、400 及び 500°C で加熱後の 284.6, 287.2 及び 289.8 eV の光子エネルギーの X 線を照射した際の X-PEEM 像である。加熱前の試料において、A~C の各領域は 284.6 eV で強い輝度を示している。この高輝度領域は、 $sp^2$  結合性炭素が局所的に多い事を示す。一方、400 および 500°C で加熱後の X-PEEM 像はこれら局所領域のコントラストが消失している。特に 287.2 eV の X-PEEM 像は、加熱前は C-H 結合に、起因する局所的なコントラストが観察されたが、加熱後は局所的なコントラストが消失している。更に、287.2 eV の X-PEEM 像の領域 C は、400°C で加熱後も弱いコントラストが観察されたが、500°C で加熱後は消失していた。同じく、各光子エネルギーでの X-PEEM 像の A, B, C の輝度の変化をプロットしたスペクトルから同じく  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合性の炭素の相対比を求め、この加熱による変化を評価した所、A~C 各領域は、堆積直後のサンプルと比較して  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合性の炭素の相対比は、0.64 で僅かに小さい。これらを 400 及び 500°C で熱処理すると、A~C 領域を含め、何れの領域でも 0.8 を超えることが示された。更に X-PEEM 像は最終的には均一な像に変化し、蒸着後に  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  比が局所的に分布していても、最終的に  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合性炭素の均一構造に変化した。これは、耐熱性は加熱前の  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  炭素結合比の比に依存する事を示し、耐熱性を超える温度になると加熱に耐えられる  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  に変化することを示す。

更に DLC 膜への局所的な熱の付加を行うため、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> から Si(100)基板上に厚さ約 1  $\mu$ m 作製した DLC 膜の表面に大気圧下でパルスレーザーを印可した。この照射前後の形状を図 5 に示す。DLC 膜にガウシアン分布のレーザーを照射すると、局所的に温度や圧力が急激に上昇し、膜の一部が融解すると同時に内部に空洞が生じ、表面形状が凸型に変化した。この図 5 に示す断面プロファイルがガウシアン分布を呈したことから、レーザーの光子を吸収して形状が変化することが示唆された。次に本照射領域の X-PEEM 像を図 6 に示す。この X-PEEM 像の①~⑤の輝度の変化をプロットした図 7 の左に示す

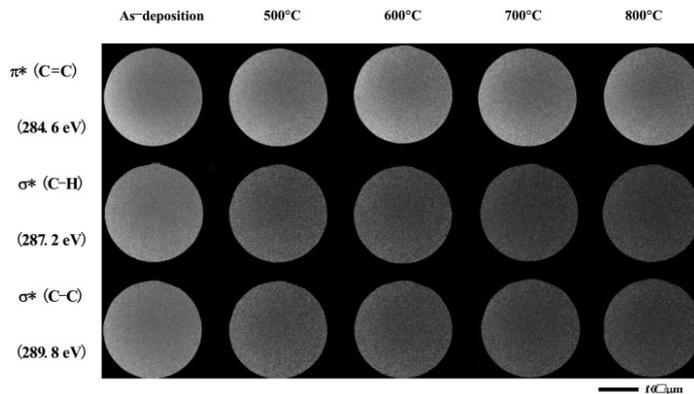


図 2 加熱後の、CH<sub>4</sub> から Si 基板上に作製した DLC 膜の X-PEEM 像。

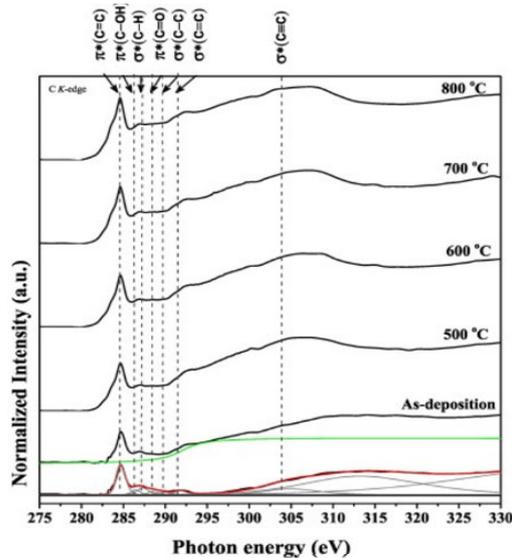


図 3 X-PEEM 像各部の輝度変化をプロットしたスペクトル。

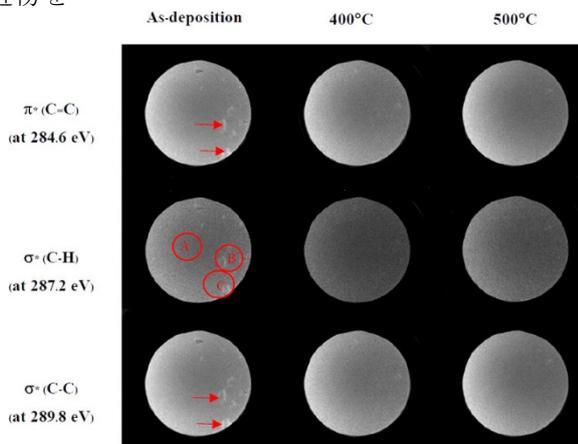


図 4 局所欠陥を含む領域の加熱前後の X-PEEM 像

スペクトルから同じく  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合性炭素の相対比を求め、この加熱による変化を求めた所、図 7 右の様にレーザー照射により、 $sp^2/(sp^2+sp^3)$  結合性炭素が照射領域の中心で急激に上昇したことが示された。照射領域中央では  $sp^2$  炭素量が急激に上昇し、熱による  $sp^3$  から  $sp^2$  への変化がその印加熱量(レーザーの場合には光子量)に依存する事が示唆された。更にこれら結果から、DLC 膜の表面へのレーザー照射においてはその表面部が熱により分解若しくは溶融している可能性が高い事も示された。

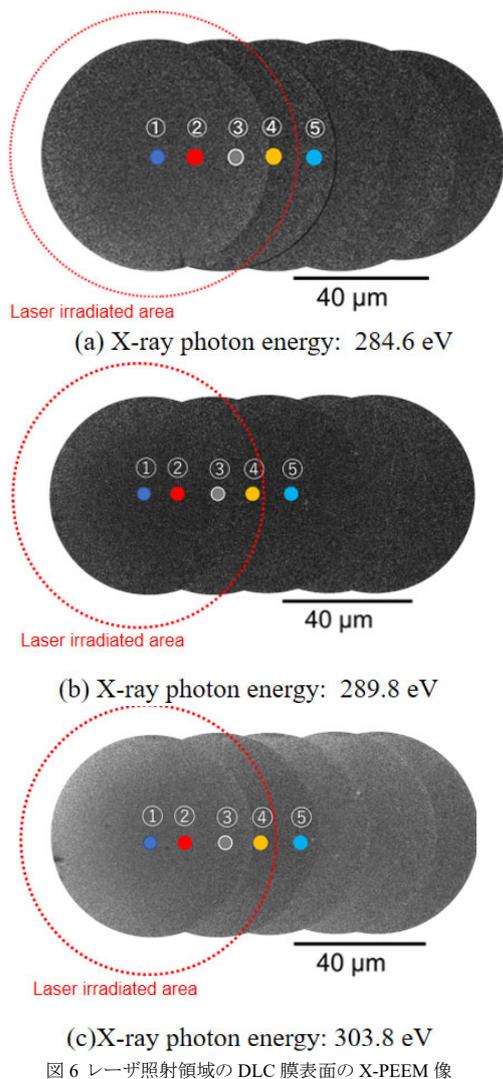


図 6 レーザ照射領域の DLC 膜表面の X-PEEM 像

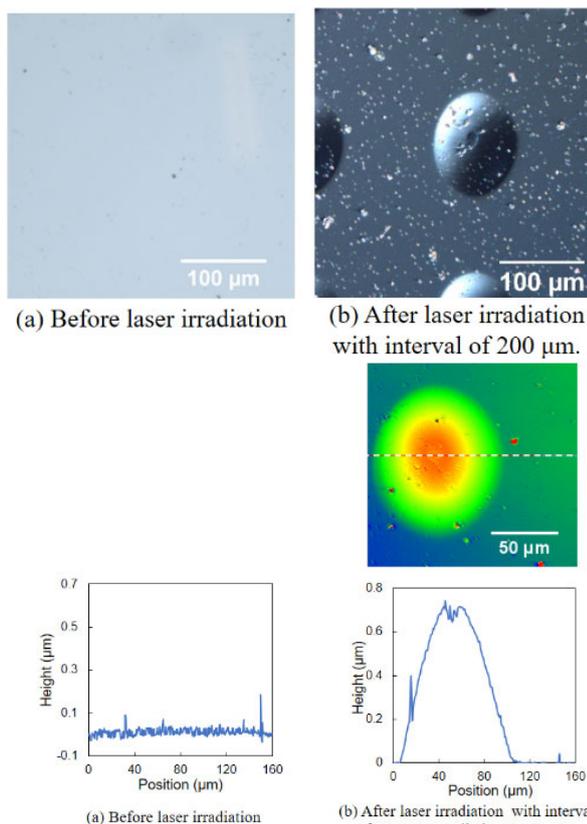


図 5 レーザ照射前後の形状の表面光学顕微鏡像(上)、レーザー顕微鏡像(中)、断面プロフィール

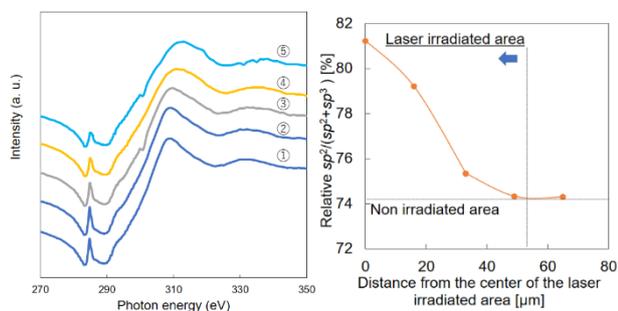


図 7 X-PEEM 像各部の輝度変化をプロットしたスペクトル(左)と各部の  $sp^2/(sp^2+sp^3)$  相対値(右)。

これらの研究から DLC 膜は熱により、各温度で炭素の結合状態の安定量があり、局所的にそれらが異なる場合でも最終的に加熱により均一な炭素の結合状態に移行する事、更に急激な局所熱印加においては、その局所的な発生熱量に依存して  $sp^2$  結合性炭素に変化することが示された。

#### 【参考文献】

- 1) J. Robertson: Mater. Sci. Eng. R: 37 (2002) 129.
- 2) H. Akasaka et.al., Sens. Mater., 29 (2017) 827.
- 3) S. Fujimoto et.al., Jpn. J. Appl. Phys., 49 (2010) 075501.
- 4) K. Kanda et.al., Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res.B, 206 (2003) 880.
- 5) A. Saikubo et.al., Diam. Relat. Mater., 17 (2008) 1743.
- 6) P.E. Batson, Phys. Rev. B, 48 (1993) 2608.
- 7) X. L. Zhou et.al., Appl. Phys. Lett., 110 (2017) 201902.
- 8) S. Tunmee, et.al., J. Appl. Phys., 120 (2016) 195303.
- 9) D.A. Outka et.al., J. Chem. Phys., 88 (1988) 3539.

## 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 5件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Masashi Tomidokoro, Sarayut Tunmee, Ukit Rittihong, Chanan Euaruksakul, Ratchadaporn Supruangnet, Hideki Nakajima, Yuki Hirata, Naoto Ohtake, Hiroki Akasaka	4. 巻 14
2. 論文標題 Electrical Conduction Properties of Hydrogenated Amorphous Carbon Films with Different Structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 2355-1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ma14092355	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 該当する
1. 著者名 Nana Okimura, Jongbeom Choi, Wataru Nakayama, Nobuhisa Ata, Yuki Hirata, Naoto Ohtake, Hiroki Akasaka	4. 巻 29
2. 論文標題 Metal Matrix Composites Using Diamond-like Carbon-Coated Particles Fabricated by Cold Spray Technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Spray Technology	6. 最初と最後の頁 1660-1668
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11666-020-01071-0	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 Ukit Rittihong, Hiroki Akasaka, Chanan Euaruksakul, Masashi Tomidokoro, Nuntaporn Kamonsuttipajit, Hideki Nakajima, Ratchadaporn Supruangnet, Catleya Rojviriya, Artit Chingsungnoen, Phitsanu Poolcharuansin, Naoto Ohtake, Sarayut Tunmee	4. 巻 173
2. 論文標題 Synchrotron-based spectroscopic analysis of diamond-like carbon films from different source	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 108944
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.radphyschem.2020.108944	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 該当する
1. 著者名 Hiroki Akasaka, Sarayut Tunmee, Ukit Rittihong, Masashi Tomidokoro, Chanan Euaruksakul, Souta Norizuki, Ratchadaporn Supruangnet, Hideki Nakajima, Yuki Hirata, Naoto Ohtake	4. 巻 101
2. 論文標題 Thermal decomposition and structural variation by heating on hydrogenated amorphous carbon films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 107609
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.diamond.2019.107609	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 該当する

1. 著者名 Sota Norizuki, Sarayut Tunmee, Chanan Euaruksakul, Ukit Rittihong, Keisuke Suzuki, Masashi Tomidokoro, Hideki Nakajima, Yuki Hirata, Naoto Ohtake, Hiroki Akasaka	4. 巻 132
2. 論文標題 X-ray photoemission electron microscopy observation of wear tracks on hydrogenated amorphous carbon films after ball-on-disk tests	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 109682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2023.109682	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 該当する

1. 著者名 Dai Harada, Sarayut Tunmee, Chanan Euaruksakul, Ukit Rittihong, Hideki Nakajima, Yuko Aono, Yuki Hirata, Naoto Ohtake, Hiroki Akasaka	4. 巻 131
2. 論文標題 Investigation of the structure and tribological properties of laser-irradiated hydrogenated amorphous carbon films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 109573
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2022.109573 Get rights and content	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 該当する

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 法月 奏太, Tunmee Sarayut, Euaruksakun Chanan, Rittihong Ukit, 鈴木 啓介, 富所 優志, 平田 祐樹, 大竹 尚登, 赤坂 大樹
2. 発表標題 摺動試験前後のダイヤモンド状炭素膜表面の構造評価,
3. 学会等名 応用物理学会第69回春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田 大, Tunmee Sarayut, 青野 祐子, Euaruksakun Chanan, Rittihong Ukit, 平田 祐樹, 大竹 尚登, 赤坂 大樹
2. 発表標題 アモルファス炭素膜へのレーザー照射による構造制御を用いた摺動性向上
3. 学会等名 応用物理学会第69回春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jongbeom Choi, Nana Okimura, Yuki Hirata, Naoto Ohtake, Hiroki Akasaka
2. 発表標題 Fabrication of metal-carbon composite coating using cold spray technique
3. 学会等名 The 5th International Conference on Smart Materials and Nanotechnology (SmartMat@2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Akasaka, K. Suzuki, S. Tunmee, C. Euaruksakul, U. Rittihong, R. Supruangnet, Y. Hirata, N. Ohtake
2. 発表標題 X-PEEM observation of sliding mark on the amorphous carbon film surface after ball on disk test
3. 学会等名 30th International Conference on Diamond & Carbon Materials 2019 (ICDM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Akasaka, Keisuke Suzuki, Norizuki Sota, Sarayut Tunmee, Chanan Euaruksakul, Ukit Rittihong, Ratchadaporn Supruangnet,
2. 発表標題 NEXAFS and X-PEEM observation of the damaged area on the amorphous carbon film surface
3. 学会等名 ASIAN Conference on X-ray Absorption Spectroscopy (ACXAS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤坂 大樹, Tunmee Sarayut, Rittihong Ukit, 富所 優志, Euaruksakul Chanan, Supruangnet Ratchadaporn, Nakajima Hideki, 法月奏太, 平田 祐樹, 大竹 尚登
2. 発表標題 X線光電子顕微鏡を用いたDLC膜の損傷解析
3. 学会等名 日本機械学会第27回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Akasaka, Sarayut Tunmee, Chanan Euaruksakun, Ukit Rittihong, Ratchadaporn Supruangnet, Yuki Hirata, Naoto Ohtake
2. 発表標題 Decomposition and their structural change by heating on amorphous carbon films
3. 学会等名 13th New Diamond and Nano Carbon Conference(NDNC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤坂大樹
2. 発表標題 炭素材料の更なる展開を目指して～機能性炭素材料コンポジット厚膜の合成とDLC膜への面分析の導入～
3. 学会等名 表面技術協会高機能トライボ表面プロセス部会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masashi Tomidokoro, Sarayut Tunmee, Hideki Nakajima, Ukit Rittihong, Ratchadaporn Supruangnet, Yuki Hirata, Naoto Ohtake, Hiroki Akasaka
2. 発表標題 Relationship between structure and electrical conduction
3. 学会等名 13th New Diamond and Nano Carbon Conference(NDNC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富所 優志, Sarayut Tunmee, Hideki Nakajima, Ukit Rittihong2, Ratchadaporn Supruangnet, 平田 祐樹, 大竹 尚登, 赤坂 大樹
2. 発表標題 水素化アモルファス炭素膜の構造と電気伝導特性の関係
3. 学会等名 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富所 優志, Sarayut Tunmee, Hideki Nakajima, Ukit Rittihong, Ratchadaporn Supruangnet, 平田 祐樹, 大竹 尚登, 赤坂 大樹
2. 発表標題 水素化アモルファス炭素膜の水素量と電気伝導特性の相関
3. 学会等名 第33回ダイヤモンドシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 法月 奏太, Sarayut Tunmee, Chanan Euaruksakun, Rittihong Ukit, 鈴木 啓介, 富所 優志, 平田 祐樹, 大竹 尚登, 赤坂 大樹
2. 発表標題 ボールオンディスク試験後のDLC表面の構造評価
3. 学会等名 第33回ダイヤモンドシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 法月 奏太, Sarayut Tunmee, Chanan Euaruksakun, Ukit Rittihong, 富所 優志, Ratchadaporn Supruangnet, 平田 祐樹, 大竹 尚登, 赤坂 大樹
2. 発表標題 X線光電子顕微鏡を用いたDLC 膜の摺動痕の観察
3. 学会等名 第67回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sarayut Tunmee
2. 発表標題 IN-SITU NEXAFS STUDY ON sp <sup>2</sup> /sp <sup>3</sup> RATIO IN DIAMOND-LIKE CARBON FILMS AT VARIOUS TEMPERATURES
3. 学会等名 The 5th Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤坂 大樹
2. 発表標題 アモルファス炭素膜の熱分解挙動と構造変化の均一性
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	(Tunmee Sarayut)	Synchrotron Light Research Institute・Organization Strategy Division・Chief	
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	(Euaruksakul Chanan)	Synchrotron Light Research Institute・Beam line 3.2・Beam line 3 manager	

6. 研究組織（つづき）

	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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	(Rittihong Ukit)	Synchrotron Light Research Institute・Beam line 3.2・Beam line Assistant	
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	(Nakajima Hideki)	Synchrotron Light Research Institute・Beam line 3.2・Beam line scientist	

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		
タイ	Synchrotron Light Research Institute		