

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01763

研究課題名(和文) 3次元積層グラフェンの層間カップリング抑制による新規ナノ炭素構造体創成

研究課題名(英文) Synthesis of novel nanocarbon materials by reducing interlayer coupling in 3D-stacked graphene

研究代表者

小林 慶裕 (Kobayashi, Yoshihiro)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30393739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：層状物質である多層グラフェンの層間にはたらく相互作用を抑制し、単層グラフェンに匹敵する優れた2次元物性をもつナノ炭素構造体を形成する技術を開発し、その物性的な優位性を検証した。層間相互作用を抑制するためには、これまで進めてきたランダム積層構造の利用に加え、グラフェン層間への異種物質(スペーサ)挿入の両面からアプローチした。化学気相法によるランダム積層グラフェン成長を真空一貫という極めて清浄な条件で行うことによりデバイス化に必要な大面積成長を実現した。交互滴下法や転写法でスペーサを導入し、層間相互作用を抑制した結果、広帯域(紫外可視～IR)での均一な光吸収など2次元性を著しく向上させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られたナノ炭素構造体である層間相互作用を抑制した3次元積層グラフェン薄膜は、多層でありながら単層と同様の電子構造を持ち、単層グラフェンの優れた特性が維持される。本技術はグラフェンを実用材料として応用する場合の障害のひとつである多層化による電子物性の劣化という課題を解決するための基盤となる。今後、欠陥密度低減やドメインサイズ拡大、さらには3次元集積化を進めることにより、大面積フレキシブルエレクトロニクス材料や電極・放熱シート等の複合体材料など、多層グラフェンの大きな容量を活かした応用展開が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed a method to form nanocarbon structures with excellent two-dimensional physical properties comparable to those of single-layer graphene by suppressing the interactions between the layers of multilayer graphene, and verified the physical advantages of this method. In order to suppress the interlayer interaction, we approached from two aspects: (1) the use of random stacking structure, which we have been investigating recently, and (2) the insertion of hetero-materials (spacers) between the graphene layers. We have achieved the large-area growth required for device application by growing randomly stacked graphene by the chemical vapor deposition with sequential process under extremely clean conditions. The spacer insertion by the alternating-drop method and the transfer method increased the layer spacing compared to random stacking, resulting in significantly improved two-dimensionality, such as uniform optical absorption over wide wavelength from UV-Vis to IR.

研究分野：ナノ材料工学

キーワード：グラフェン 酸化グラフェン 化学気相成長法 ナノ炭素材料 結晶成長 ランダム積層 層間相互作用 超高温プロセス

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) これまでのグラフェン研究における課題

グラフェンは3次元層状物質であるグラファイトの1層を基本構造とした2次元ナノ材料である。その特異な直線状の電子構造に由来する高いキャリア移動度に加え、極めて高い電気・熱伝導性や光透過性、機械的強度、比表面積などの優れた物性を併せ持つ。この特性を活かして、超高速FETなどの電子デバイス応用だけでなく、素材としての次世代応用技術、すなわちITO代替透明導電膜、リチウムイオン電池・空気電池などの電極材料、樹脂・金属との複合素材、IoT社会において必須となるユビキタスセンサーや熱電変換素子を構成する材料として多方面への応用展開が期待される。しかし、この優れた特性は単層・低欠陥のグラフェンが環境からの外乱(環境効果)を受けない場合(いわゆる“ideal graphene”)に発揮される。例えば、極めて高い移動度の観測は、ほとんど欠陥のない単層グラフェンを基板に接していない架橋構造とした特殊な場合に限られる。これは、グラフェンの優れた特性は主に単層グラフェンの直線的な分散関係(電子構造)に起因するもので、多層化するとその特性は消失するためである(図1、S. Latil et al. PRB 2007による)。一方、現実的なグラフェン材料(“real graphene”)では、製造プロセスや取り扱いの容易さから多層グラフェンの自立厚膜や基板上に配置した薄膜が多く用いられる。多層構造ではグラファイト(バルク材料)化が進行し、2次元材料の特長は喪失される。デバイス作製のために基板上に配置すると、基板との相互作用による環境効果を強く受け、デバイス性能は著しく劣化する。すなわち、グラフェンを実用的な材料として社会導入するには「real graphene をいかにして ideal graphene に近づけるか?」、すなわち多層構造でありながら単層に匹敵する性能のグラフェン形成法の開発がキー技術となる。

### (2) 多層積層グラフェンにおける層間カップリング抑制による課題解決の可能性

この問題へのアプローチとして、これまでに乱層(ランダム)積層を利用することを検討してきた。乱層構造は層間に構造相関がない準安定状態であり、最安定なAB積層構造とは異なり、層間のカップリング(相互作用)が抑制される。実際に、乱層構造では直線状の分散関係が維持され、単層グラフェンの集合体のように振る舞うことが第一原理計算(図1)などにより示されてきた。さらにグラフェンテンプレート上でCVD成長した多層グラフェンや酸化グラフェン(graphene oxide, GO)を高温熱処理して得られる多層グラフェンが乱層構造であり、キャリア移動度もAB積層よりも向上することを報告してきた。しかし、乱層積層であっても層間が接している場合にはAB積層に類似した構造が必ず一部に生じてしまうため、得られる物性は単層グラフェンには及ばない。さらに性能を高めるには層間カップリングを制御した多層グラフェンを形成する手法が必要となる。

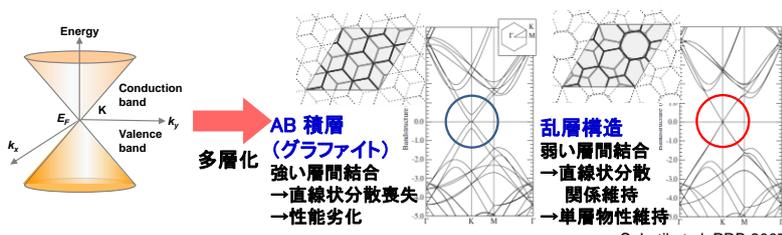


図1: 単層及び AB 積層・乱層構造多層グラフェンの電子構造

## 2. 研究の目的

上記の課題を克服するために、3次元積層グラフェンにおいて、層間カップリングを抑制し、しかも欠陥を低減することによって単層グラフェンに比肩する優れた物性をもつナノ炭素構造体を創成することが本研究の目的である。3次元積層グラフェン形成には、これまで開発を進めてきた独自のプロセスであるGOの超高温処理やテンプレートグラフェン上高温成長を活用するとともに、予め成長したグラフェンを転写で積層する手法も導入する。層間カップリング抑制には、これまで進めてきた超高温プロセスで得られる乱層(ランダム)積層構造に加え、抑制効果をさらに高めるためにGOやCVD成長グラフェン層間へのnmスケールのスペーサ材料の挿入による層間隔の拡大という新たなアプローチを導入する(図2)。ここで得られる3次元グラフェンでは、スクリーニング効果により基板からの環境効果が遮蔽され、超高温プロセスを用いた場合には欠陥も低減される。その結果、取り扱いが容易で応用に適した3次元グラフェンでは、層間カップリング・基板の環境効果・欠陥という従来の real graphene での性能劣化要因が除去され、ideal graphene の優れた物性に近づくと期待される。これにより、超高速トランジスタなどエレクトロニクス応用だけでなく、バルクスケール素材としての応用技術、すなわち、化学センサや空気電池、スーパーキャパシタなどの電極材料、樹脂・金属との複合素材、ウェアラブルデバイスなどIoTにおいて必須となる熱電変換素子等を構成するキー材料としての幅広い応用展開への道筋が拓かれる。

この目的を達成するための研究の流れを図3に示す。層間カップリングを抑制し3次元グラフェンから単層物性を得るための方法として、これまで検討してきた乱層積層に加え、グラフェン層間へのスペーサ材料挿入という新たな手法を導入し、抑制効果の増大を

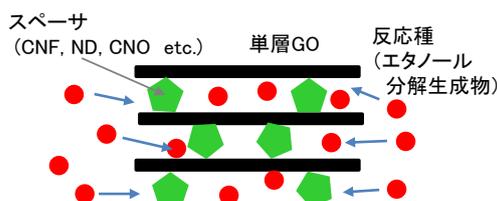


図2: グラフェン層間へのスペーサ材料挿入による層間カップリング制御

ねらう。3次元グラフェンの作製には凍結乾燥で作製したGOスポンジの超高温処理を活用するとともに、機械剥離・CVD成長で得たグラフェンを転写により積層する手法を取り入れる。物性解析に適した数原子層の基板上薄膜を作製し、スペーサ挿入による層間カップリングの抑制効果の検証や乱層グラフェンにおける単層性の向上を進める。

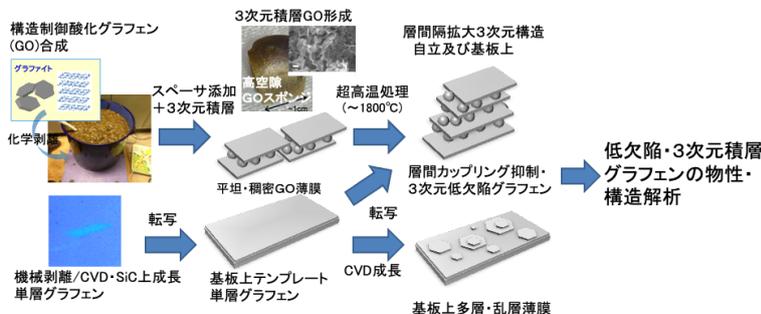


図3: 本研究における試料作製・物性解析の流れ

特に多層化した際の変化が顕著な光学特性に重点を置く。さらに応用展開に向けて、基板なしで自立可能な試料を作製し、バルクスケール物性での層間カップリング抑制効果の検証を平行して進める。得られた試料から優れた低次元物性を引き出し、自立ナノ炭素材料としての特長を活かした応用技術の開発に結びつける。具体的な研究項目は以下の通りである。

- (1) 構造制御酸化グラフェン薄膜のスケラブル合成: これまで培ってきたGO合成技術を発展させ、3次元構造のbuilding blockに適した単層GOを大量に合成可能な手法を開発する。
- (2) テンプレート上CVD成長による乱層積層グラフェン薄膜形成: これまでの研究で単層性の発現が検証されてきたテンプレート上無触媒CVD成長法による乱層積層グラフェン薄膜について、結晶性を向上と大面積化を両立させるためにSiC基板上に生成したグラフェンをテンプレートとする手法を検討する。
- (3) 層間カップリング抑制3次元積層グラフェン作製法の開発と構造評価: グラフェン層間にスペーサ材料を挿入した構造の多層グラフェンを形成する手法を開発し、層間カップリング抑制による物性優位性の効果を検証する。
- (4) 層間カップリング抑制3次元グラフェンにおける物性解析: 光デバイス材料応用に向けた基礎検討として、多層積層グラフェンでの層間カップリング抑制効果が顕著に表れることが期待される光学応答について、特に紫外可視～赤外領域に着目して重点的に解析を進める。

### 3. 研究の方法

(1) 構造制御酸化グラフェン薄膜のスケラブル合成: これまで培ってきた化学的な剥離プロセスを利用したGO作製技術を発展させ、3次元構造のbuilding blockに適したGOの合成手法を開発する。さらに、実用材料としての応用展開を踏まえ、グラフェン作製のスケラビリティや環境負荷低減・プロセスの安全性を高めるために、強い酸化剤を用いることなくGOの形成が可能な電気分解により酸化・剥離するプロセス開発の検討を進める。

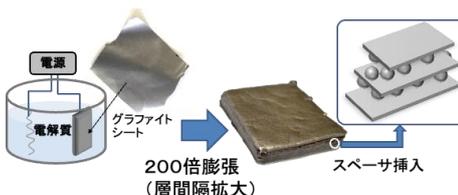


図4: 電気化学剥離法によるGO作製

(2) テンプレート上CVD成長による乱層積層グラフェン薄膜形成と構造解析: グラフェンの物性解析には絶縁物基板上の平坦な薄膜試料が必要となるが、SiO<sub>2</sub>など酸化物基板上では欠陥が十分に修復される超高温ではcarbothermal反応が進行してしまう。そこで、乱層構造形成法であるテンプレート上無触媒CVD成長法を酸化物ではなくSiC基板上で行うことにより、従来よりも広い温度範囲での成長過程を検討する。特に、結晶成長過程に著しく影響することが知られている表面清浄性の効果の検証に重点を置く。1500°C以上での熱プロセスによりSiC基板上テンプレートグラフェン(単層)を形成した後、大気に曝すことなくCVD成長をおこなう真空一貫プロセスの有効性を検討する。



図5: 真空一貫プロセスによるテンプレートおよびCVD成長グラフェン形成

(3) 層間カップリング抑制3次元積層グラフェン作製法の開発と構造評価: スペーサを挿入した多層グラフェンの物性を計測し、層間カップリング抑制による効果を検証するため、自立3次元グラフェン積層体および基板上グラフェン薄膜を作製する。前者はこれまで報告してきた凍結乾燥によるスポンジ状GOの熱処理で得られた3次元グラフェンの応用に向けて、歪みセンサ動作を検証する。後者は、交互滴下法や転写法(図6)によりグラフェン層間に確実にスペーサ物質を挿入しながら積層する。

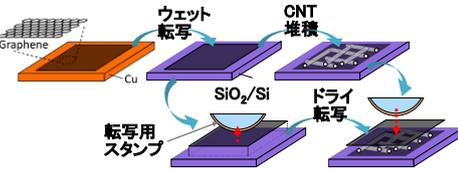


図6: 転写法によるスペーサ挿入グラフェン形成

(4) 層間カップリング抑制3次元グラフェンにおける物性解析: 層間カップリングを抑制した多層グラフェンで単層に類似した直線上の分散関係が得られれば、広いエネルギー範囲の吸収スペクトルにおいて吸光度が一定になる顕著な効果として観測される。ただし、基板や不純物の影響により、フェルミ準位がディラック点よりもシフトした場合には特に低エネルギー領域で一定値からずれることが予想される。ゲート電圧によってフェルミレベルを制御しながら紫外可視～赤外領域に着目して吸収スペクトルを測定しその効果を検証する。

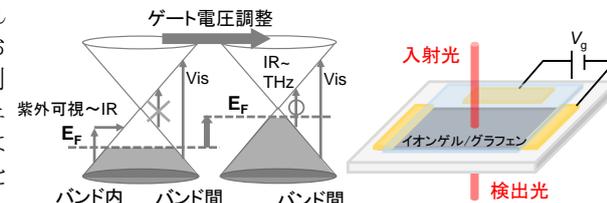


図7: グラフェンの吸収スペクトルにおけるフェルミレベル制御効果とゲート電圧印加吸収スペクトル測定配置

#### 4. 研究成果

##### (1) 構造制御酸化グラフェン薄膜のスケラブル合成

GOを実用化するための基盤技術として、グラファイトを電気化学的に剥離してより安全にスケールアップ可能とするプロセス開発を進めた。図4のように、金属塩を電解液中に含ませ、電極にグラファイトを用いて電流を流すと、金属塩がグラファイトの層間に侵入(インターカレート)して、グラファイトは剥離するが、硫酸のような一般的な電解質ではグラファイトが崩壊し、スケールアップが困難という課題があった。その解決のため、グラファイトシートを崩壊させずに、電気化学的に酸化することを目指し、新たな電解質 $\text{HBF}_4$ を開発した。硫酸の場合とは異なり、 $\text{HBF}_4$ を用いるとグラファイトの形状を保ったまま膨潤させることができる。この方法により、精製にかかるコストの低減、均一な酸化、および連続フロープロセスの実現(図8)を可能にした。

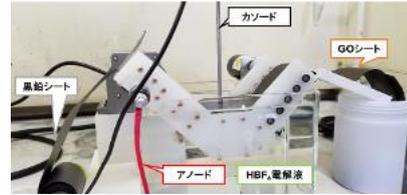


図8: 電気分解GO形成法の連続フロープロセス適用によるスケールアップ

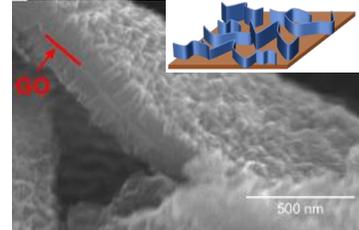


図9: 合成したポリイミド-GO複合体のSEM像と構造モデル

さらに層間相互作用制御に適したグラフェンとして、ポリイミドナノ構造体とGOの複合体(PINS-GO)の合成を検討した。PINS-GOの形態はGOの濃度に強く依存する。GO濃度を最適化した結果、図9に示すようにGO表面に均一に配列することができた。得られたGOを高温で熱処理することにより、炭素化することも確認した。得られたGOを用いることにより、スペーサ分子を挿入することなく層間相互作用を制御が可能になると期待される。

##### (2) テンプレート上CVD成長による乱層積層グラフェン薄膜形成と構造解析

これまでの研究により、グラフェンをテンプレートとしたCVD成長により、乱層積層・多層グラフェンの形成を明らかにしてきた。しかし得られたグラフェンを用いたキャリア輸送特性解析から、デバイス性能の向上には欠陥低減やドメインサイズ拡大の必要性が明らかとなった。そこで、本研究ではまずグラフェン成長挙動に及ぼす成長条件、特に分圧・温度依存性を系統的に解析した。その結果、結晶方位の異なるドメインからなる多結晶薄膜は、テンプレート上で高密度に生成したランダムな方位を持つグラフェン核が成長し、最終的に合体して薄膜化することによって形成されることを見出した。このように核生成密度が高いのは、成長駆動力が過剰であるよりも表面不純物が核形成を誘起する効果で支配されていることが成長条件依存性から示された。

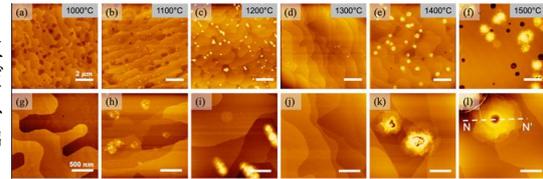


図10: 真空一貫テンプレート上成長の温度依存性

そこで、テンプレートグラフェンの表面清浄性が核生成密度の抑制や単結晶ドメインのサイズ拡大に及ぼす影響を検討するため、SiC基板上でのテンプレートグラフェンのエピタキシャル成長とそれに引き続く乱層グラフェンのCVD成長成長について、同一装置内で試料を大気に曝すことなく一貫して行う真空一貫プロセスを導入した。その結果、真空一貫成長では、従来の試料を大気中に取り出す場合(大気暴露成長)よりも著しくグラフェン核密度が減少することがAFM像による統計的な解析から判明した。その温度依存性を調べたところ、大気暴露成長とは異なる挙動が観測された(図10)。すなわち、温度上昇とともに核密度は減少し、1300°C付近でほとんど成長しなくなる。しかし、それ以上の温度では再び核形成が進行するようになり、極めて大きなサイズの3次元島が成長する。1300°C以下の成長挙動は熱力学的に予想される温度上昇による成長駆動力の低下に対応している。これは、不純物による核形成がない真空一貫プロセスは成長制御性が高く、核密度抑制に効果的であり、単一ドメイン薄膜形成に導く手法であることを示す。一方、1300°C

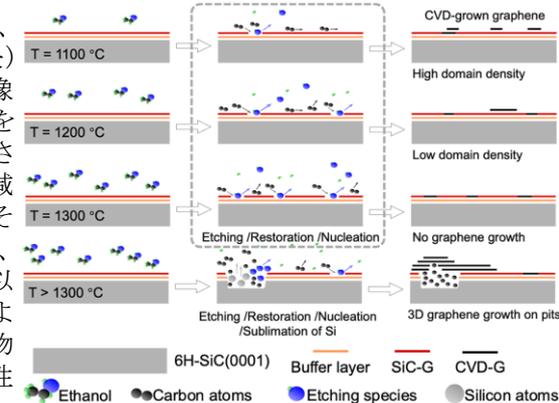


図11: 真空一貫成長での温度依存性のモデル図

以上の高温では、炭素源であるエタノールによるグラフェンのエッチング作用が顕著となる(図11)。その結果、ランダムに生成した欠陥を基点として核形成が進行し、成長挙動が不安定化するため、この条件は高結晶性グラフェンの成長には適当ではないことがわかった。

真空一貫プロセスで得られたグラフェン核のサイズを拡大するために成長駆動力に着目して単純に炭素源濃度を高めると、サイズ拡大よりも3次元島形成が進行してしまう。そこで、3次元化の基点となる不安定な前駆体を除去する目的でエッチング作用をもつ $\text{CO}_2$ をCVD成長中に添加した(図12)。その結果、最適な $\text{CO}_2$ 分圧では3次元島の成長前駆体が $\text{CO}_2$ により取り除かれ、グラフェンの層状成長のみが観測された。しかし一定の $\text{CO}_2$ /エタノールの混合比で分圧を増加させると層状成長ではなく3次元島のみが生成する。以上の結果からグラフェンの平坦な層状成長のための指針として、エッチング剤と炭素源の割合と分圧の最適化による駆動力制御の必要性が明らかとなった。今後、層状成長の大幅な面積を進め、得られた乱層グラフェンの輸送特性解析により、デバイス材料としての優位性を検証する。

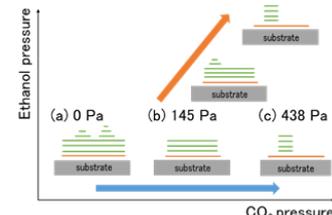


図12:  $\text{CO}_2$ 添加濃度と成長挙動

### (3) 層間カップリング抑制3次元積層グラフェン作製法の開発と構造評価

#### ①スパーサ添加スポンジ状GOの超高温処理3次元グラフェン形成と歪みセンサ動作検証

これまで進めてきたスポンジ状GOの超高温処理によるグラフェン形成法を活用し、GOにセルロースナノファイバー(CNF)やナノダイヤモンド(ND)などのスパーサ材料を添加する効果を検証した。ラマン分光法やX線回折法で構造を調べた結果、GOは分散液中で既に凝集しており、スポンジ化によって更に凝集が進行すること、スパーサ材料を挿入するとスポンジ化での凝集が抑制され、3次元グラフェンとしての性能向上が期待できることを明らかにした。得られたスポンジ状グラフェンを弾性変形した際の抵抗率変化を利用した歪みセンサ動作を検証した結果、低電圧駆動での広い測定範囲、高い線形性と感度という性能向上を実証し、機能性材料形成に向けた本手法の優位性を示すことができた。

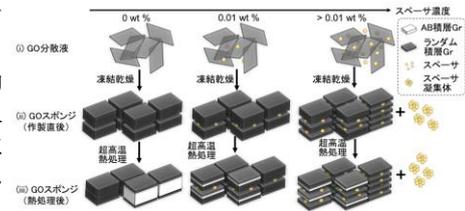


図13: 3次元グラフェン構造とスパーサ濃度

#### ②スパーサ材料挿入によるグラフェン薄膜における層間制御効果の検証

物性計測に必要な薄膜状グラフェン試料において、層間相互作用を乱層積層よりも更に低減するためのスパーサ挿入を層ごとに確実にこなすことを目的としてGO・スパーサ材料(ND,CNTなど)の交互滴下法で作製した薄膜の熱処理によるグラフェン化と、CVD成長で得られた単層グラフェンの転写・スパーサ材料塗布による多層膜形成の2つのアプローチで取り組んだ。

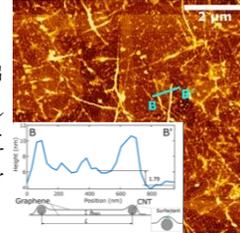


図14: 3次元グラフェン構造とスパーサ濃度

前者の滴下法について、上述の凝集したGOと取り除くために遠心分離を適用した結果、滴下回数によって得られる薄膜の層数制御が可能となった。さらに層数が10層程度まで増加しても層間相互作用は十分に抑制されていることをラマン分光法による構造解析で検証した。

これまでスパーサを層間に挿入しても、グラフェン間の相互作用が大きいと、想定のようにグラフェン層間が離れるのではなく、スパーサ周辺以外では密着する懸念があった。その検証のために転写法による試料(スパーサ材料はCNT)を解析したAFM像を図14に示す。このようにスパーサ間隔が数100 nmと比較的狭い場合にはグラフェン層間は想定通りに離れるが、間隔が500 nmを超えるとスパーサから離れるにつれてグラフェン同士で密着してしまうことがわかった。

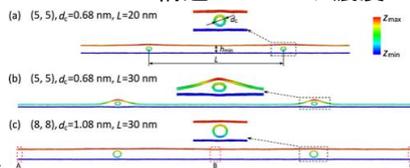


図15: MD法によるグラフェン構造のスパーサ間隔依存性解析

法を用いてこの現象を解析し、グラフェン構造のスパーササイズ・密度依存性を明らかにした(図15)。

#### (4) 層間カップリング抑制3次元グラフェンにおける物性解析

多層グラフェンで層間相互作用を十分に抑制できれば、理想的には広帯域で波長に依存しない高い光吸収を示す。しかし実際には、電荷不純物などによりフェルミ準位がディラック点からずれ、低エネルギー領域のバンド間遷移が抑制される(図7)ことや局所的なAB積層構造形成による線形分散性の消失により吸光度は波長に依存するようになる。そこで、電界効果トランジスタ構造によるフェルミ準位制御(図7)とスパーサー挿入による層間相互作用抑制が光学特性に与える効果を検証した。

##### ①フェルミ準位制御効果

GOを熔融石英基板上に塗布し、加熱処理で形成したグラフェン薄膜の吸収スペクトルをフーリエ変換赤外分光装置(0.25~0.85 eV, 1.5~5.0 μm)を用いて、イオンゲルを用いた電界効果トランジスタ構造でフェルミレベル制御を行ないながら測定した。図16に8層グラフェンの場合の測定結果を示す。吸収スペクトルはバンド間遷移とDrudeモデルによるバンド内遷移の式を用いてフィッティングした。ゲート電圧によりフェルミ準位がディラック点に近づくにつれてバンド内遷移による吸収の影響が抑えられ、バンド間遷移による一定の吸光度となることがわかる。得られた結果は層間相互作用を抑制した多層グラフェンでもフェルミ準位を制御することによって幅広いエネルギー範囲で吸光度を一定にできることを示している。ただし、今回のゲート電圧による制御では完全にはディラック点に一致させることはできず、今後、基板からの影響などの除去が必要である。

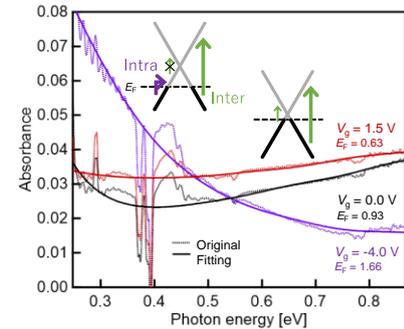


図16: 吸収スペクトルにおけるフェルミレベル制御効果

##### ②光吸収に対するスパーサ挿入効果

試料は3②に述べたGO/NDの交互滴下法により形成した。この手法でNDがグラフェン層間に挿入されていることはAFM像の断面図から確認した。図17に様々な光エネルギーにおける吸光度の層数依存性をND挿入の有無を対比して示す。ND挿入がない場合には層数増加に伴い吸光度のエネルギー依存性は増大する。一方、NDを挿入した試料では、層数が増加して比較的厚い膜となった場合でも吸光度のエネルギー依存性は小さく、ほぼ一定の吸光度を維持していることがわかる。これはスパーサー挿入により層間が拡大し、多層・乱層構造の課題であった一部のAB積層化を抑制したためであり、層間相互作用抑制におけるスパーサ挿入法の優位性を示している。

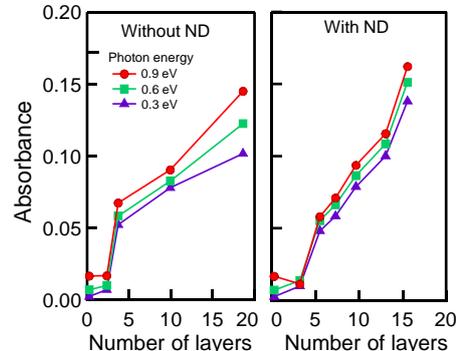


図17: 多層グラフェンからの吸光度の層数依存性

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ryota Negishi, Takuya Katagiri, Masashi Akabori, and Yoshihiro Kobayashi	4. 巻 775
2. 論文標題 Promotion of the structural repair of graphene oxide thin films by thermal annealing in water-ethanol vapo	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 139841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2023.139841	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 Yuanjia Liu, Taiki Inoue, Mengyue Wang, Michiharu Arifuku, Noriko Kiyoyanagi, Yoshihiro Kobayashi	4. 巻 214
2. 論文標題 Gas flow-directed growth of aligned carbon nanotubes from nonmetallic seeds	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 118309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2023.118309	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 Zizhao Xu, Yuna Himura, Chikako Ishiguro, Taiki Inoue, Yuta Nishina, Yoshihiro Kobayashi	4. 巻 63
2. 論文標題 Improved performance of strain sensors constructed by highly crystalline graphene with nanospacer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 15001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad0cdb	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 Mingda Ding, Taiki Inoue, John Isaac Enriquez, Harry Halim Handoko, Yui Ogawa, Yoshitaka Taniyasu, Yuji Hamamoto, Yoshitada Morikawa, Yoshihiro Kobayashi	4. 巻 127
2. 論文標題 Reduction of interlayer interaction in multilayer stacking graphene with carbon nanotube insertion: Insights from experiment and simulation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 23768-23777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c06132	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 Yao Yao, Taiki Inoue, Makoto Takamura, Yoshitaka Taniyasu and Yoshihiro Kobayashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Suppression of nucleation density in twisted graphene domains grown on graphene/SiC template by sequential thermal process	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 1682-1689
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.3c01331	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 Ortiz Anaya Israel, Nishina Yuta	4. 巻 88
2. 論文標題 Unveiling the Reduction Process of Graphene Oxide by Ascorbic Acid: Grafting and Reduction Sequences for High Surface Area Graphene Materials	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 e202300328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202300328	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 Xu Zizhao, Inoue Taiki, Nishina Yuta, Kobayashi Yoshihiro	4. 巻 132
2. 論文標題 Stacking order reduction in multilayer graphene by inserting nanospacers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 174305 ~ 174305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0103826	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 Wang Mengyue, Liu Yuanjia, Maekawa Manaka, Arifuku Michiharu, Kiyoyanagi Noriko, Inoue Taiki, Kobayashi Yoshihiro	4. 巻 130
2. 論文標題 Combination effect of growth enhancers and carbon sources on synthesis of single-walled carbon nanotubes from solid carbon growth seeds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 109516 ~ 109516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2022.109516	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 Wang Mengyue, Maekawa Manaka, Shen Man, Liu Yuanjia, Arifuku Michiharu, Kiyoyanagi Noriko, Inoue Taiki, Kobayashi Yoshihiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Thermal defect healing of single-walled carbon nanotubes assisted by supplying carbon-containing reactants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 015002 ~ 015002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/acaaec	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 Kato Masakiyo, Inoue Taiki, Chiew Yi Ling, Chou Yungkai, Nakatake Masashi, Takakura Shoichi, Watanabe Yoshio, Suenaga Kazu, Kobayashi Yoshihiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Coaxial heterostructure formation of highly crystalline graphene flakes on boron nitride nanotubes by high-temperature chemical vapor deposition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 035001 ~ 035001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/acbd0e	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 Takeuchi Yuki, Ohkura Kentaro, Nishina Yuta	4. 巻 96
2. 論文標題 Self-Assembly Strategies for Graphene Oxide/Silica Nanostructures: Synthesis and Structural Analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 113 ~ 119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220279	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 H.K.H. Le, L.T.V. Nguyen, T.B.N. Phung, . Quen K, Y. Nishina, K.P.H. Huynh, T.S. Nguyen, N.D.Q. Chau	4. 巻 97
2. 論文標題 Synthesis and Characterization of Graphene Oxide-Cellulose Based Aerogels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Transactions	6. 最初と最後の頁 319-324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3303/CET2297054	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 Komoda Masato, Nishina Yuta	4. 巻 430
2. 論文標題 Fabrication of binderless electrodes via non-destructive electrochemical oxidation/reduction of graphite sheets using BF4 salts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 141087 ~ 141087
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2022.141087	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 Negishi Ryota, Yamamoto Katsuma, Tanaka Hirofumi, Mojtahedzadeh Seyed Ali, Mori Nobuya, Kobayashi Yoshihiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Crossover point of the field effect transistor and interconnect applications in turbostratic multilayer graphene nanoribbon channel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-89709-z	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 Xu Zizhao, Nakamura Shingo, Inoue Taiki, Nishina Yuta, Kobayashi Yoshihiro	4. 巻 185
2. 論文標題 Bulk-scale synthesis of randomly stacked graphene with high crystallinity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 368 ~ 375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2021.09.034	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 Yao Yao, Negishi Ryota, Takajo Daisuke, Takamura Makoto, Taniyasu Yoshitaka, Kobayashi Yoshihiro	4. 巻 33
2. 論文標題 Scanning probe analysis of twisted graphene grown on a graphene/silicon carbide template	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 155603 ~ 155603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ac473a	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 Wang Mengyue, Nakamura Keisuke, Arifuku Michiharu, Kiyoyanagi Noriko, Inoue Taiki, Kobayashi Yoshihiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes from Solid Carbon Nanoparticle Seeds via Cap Formation Engineering with a Two-Step Growth Process and Water Vapor Supply	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 3639 ~ 3648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c06268	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 -

[学会発表] 計47件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 阪本 真侑、井ノ上 泰輝、小林 慶裕
2. 発表標題 水平配向カーボンナノチューブの金属型除去による化学センサ応答性向上
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度第1回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水野 琢央、井ノ上 泰輝、小林 慶
2. 発表標題 乱層グラフェンの可視域から中赤外域の吸収スペクトルにおけるフェルミ準位制御効果
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度第1回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水 一理、井ノ上 泰輝、小林 慶裕
2. 発表標題 架橋テンプレートの転写法による大面積ヘテロナノチューブ配向構造の形成
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2023年度第1回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Man Shen, Mengyue Wang, Yuanjia Liu, Taiki Inoue, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Thermal defect healing of carbon nanotubes using a combination of carbon feedstock and etchant
3. 学会等名 第65回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mingda Ding, Taiki Inoue, John Isaac Enriquez, Harry Handoko Halim, Yui Ogawa, Yoshitada Taniyasu, Yuji Hamamoto, Yoshitada Morikawa, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Experimental and computational research on the microstructure of multilayer graphene with nanospacer insertion
3. 学会等名 第65回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 池田 匠吾、戸田 和輝、井ノ上 泰輝、仁科 勇太、小林 慶裕
2. 発表標題 交互滴下法によるグラフェン/ナノダイヤモンド積層膜の形成と光吸収特性評価
3. 学会等名 2023年第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水野 琢央、池田 匠吾、菊堂 裕己、井ノ上 泰輝、仁科 勇太、小林 慶裕
2. 発表標題 乱層積層グラフェンの可視-中赤外域での光吸収に対するフェルミ準位制御の影響
3. 学会等名 2023年第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水 一理、井ノ上 泰輝、小林 慶裕
2. 発表標題 電子デバイス応用に向けた配向ヘテロナノチューブの大面积形成
3. 学会等名 2023年第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Man Shen, Yuanjia Liu, Taiki Inoue, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Multiple-step defect healing of single-walled carbon nanotubes in reactive environment
3. 学会等名 2024年 第71回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 水野 琢央, 池田 匠吾, 井ノ上 泰輝, 仁科 勇太, 小林 慶裕
2. 発表標題 乱層グラフェンのフェルミ準位制御による光吸収端シフトの検証
3. 学会等名 2024年 第71回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 亀井 翔太, 姚 瑶, 井ノ上 泰輝, 小林 慶裕
2. 発表標題 CO <sub>2</sub> 添加化学気相成長によるテンプレート上グラフェン層状成長
3. 学会等名 2024年 第71回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名	K. Rong, R. Noro, H. Nishigaki, M. Ding, Y. Yao, T. Inoue, R. Katayama, Y. Kobayashi, S. Mouri
2. 発表標題	DOPING EFFECT OF MOS2 USING PERIODICALLY POLARIZATION-INVERSED SUBSTRATE
3. 学会等名	The 23rd International Conference on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT'23) (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Y. Yao, T. Inoue, Y. Kobayashi, Y. Taniyasu, M. Takamura
2. 発表標題	Control of graphene island nucleation on graphene/SiC template by sequential thermal processes in vacuo without air exposure
3. 学会等名	The 23rd International Conference on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT'23) (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Yuta Nishina
2. 発表標題	Electrochemical Oxidation and Reduction of Graphite by Continuous Flow System
3. 学会等名	Chem2DMat 2023 (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Yuta Nishina
2. 発表標題	Graphene-Polymer Composite Materials: Synthesis and Applications
3. 学会等名	FAPS Polymer Congress 2023 (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名 戸田 和輝,比村 優奈,許 梓釗,井ノ上 泰輝,仁科 勇太,小林 慶裕
2. 発表標題 交互滴下法で堆積した酸化グラフェン・スペーサ材料薄膜の熱処理による3次元積層グラフェン形成
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuanjia Liu, Taiki Inoue, Michiharu Arifuku, Noriko Kiyoyanagi, Masamitsu Satake, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Microscopic analysis of aligned carbon nanotubes: evidence for the first observation of kite-growth from non-metallic seeds
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Yao, T. Inoue, M. Takamura, Y. Taniyasu and Y. Kobayashi
2. 発表標題 Clean environment effect on nucleation of twisted graphene islands grown on graphene/SiC template by serial thermal process without air exposure
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池田匠吾, 菊堂裕己, 水野琢央, V. C. Agulto, 中島誠, 井ノ上泰輝, 小林慶裕
2. 発表標題 多層グラフェンの広帯域吸収スペクトルにおける層間相互作用・フェルミレベル制御効果
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mingda Ding, Taiki Inoue, Yui Ogawa, Yoshitaka Taniyasu, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Suppression of interlayer coupling in graphene by inserting nanospacers via a transfer method
3. 学会等名 第63回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Manaka Maekawa, Mengyue Wang, Taiki Inoue, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 High-temperature stability of carbon nanotubes on SiO <sub>2</sub> substrate
3. 学会等名 第63回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 亀井 翔太, 姚 瑶, 井ノ上 泰輝, 小川 友以, 高村 真琴, 谷保 芳孝, 小林 慶裕
2. 発表標題 乱層・多層グラフェンの化学気相成長における成長テンプレートの影響
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前川 愛佳, Mengyue Wang, 井ノ上 泰輝, 小林 慶裕
2. 発表標題 不活性雰囲気における単層カーボンナノチューブの高温安定性
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Man Shen, Mengyue Wang, Yuanjia Liu, Manaka Maekawa, Taiki Inoue
2. 発表標題 Assistive effects of carbon feedstock and etchant on defect healing of carbon nanotubes by thermal process
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井ノ上 泰輝, 清水 一理, 小林 慶裕
2. 発表標題 同心ヘテロ構造のための外層カーボンナノチューブの高結晶性合成
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mingda Ding, Taiki Inoue, John Isaac Enriquez, Harry Handoko Halim, Yuji Hamamoto, Yoshitada Morikawa, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Comparative study on stacking structure of graphene/nanospacers by experimental and molecular dynamics approaches
3. 学会等名 第64回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Himura, C. Ishiguro, Z. Xu, T. Inoue, Y. Nishina, Y. Kobayashi
2. 発表標題 Stretchable strain sensors fabricated using a highly crystalline reduced graphene oxide/carbon nanotube composite
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yao Yao, Taiki Inoue, Makoto Takamura, Yoshitaka Taniyasu and Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Twisted graphene growth on graphene/SiC template using sequential thermal processes in vacuo without air exposure
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mengyue Wang, Yuanjia Liu, Manaka Maekawa, Michiharu Arifuku, Noriko Kiyoyanagi, Masamitsu Satake, Taiki Inoue, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Effect of CO <sub>2</sub> in high temperature SWCNT growth from solid carbon growth seeds
3. 学会等名 The 22nd Int. Conf. on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuanjia Liu, Michiharu Arifuku, Noriko Kiyoyanagi, Masamitsu Satake, Taiki Inoue, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Kite-growth of long, aligned carbon nanotubes from non-metallic growth seeds
3. 学会等名 The 22nd Int. Conf. on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 比村 優奈、石黒 稚可子、許 梓釗、井ノ上 泰輝、仁科 勇太、小林 慶裕
2. 発表標題 高空隙 CNT/グラフェン複合体を用いた歪みセンサの作製と CNT 添加効果の検証
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第1回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊堂裕己、中嶋誠、仁科勇太、井ノ上泰輝、小林慶裕
2. 発表標題 多層グラフェンの広帯域吸収スペクトルにおける乱層積層効果の検証
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第1回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yao Yao, Taiki Inoue, Royta Negishi, Makoto Takamura, Yoshitaka Taniyasu, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Lateral growth of twisted graphene on graphene/SiC template in a continuous vacuum environment
3. 学会等名 2021年 第61回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taiki Inoue, Masakiyo Kato, Yungkai Chou, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Chemical vapor deposition growth of carbon layers on boron nitride nanotubes
3. 学会等名 2021年 第61回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mengyue Wang, Michiharu Arifuku, Noriko Kiyoyanagi, Masamitsu Satake, Taiki Inoue, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Influence of carbon source pyrolysis on high-temperature CNT growth from solid carbon growth seed
3. 学会等名 2021年 第61回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 雅清、周 詠凱、井ノ上 泰輝、小林 慶裕
2. 発表標題 カーボンナノチューブ・窒化ホウ素ナノチューブ複合構造の合成
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊堂 裕己、Verdad C. Agulto、中嶋 誠、井ノ上 泰輝、小林 慶裕
2. 発表標題 多層グラフェンの広帯域吸収スペクトルにおける乱層積層効果
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 比村 優奈、石黒 稚可子、許 梓釗、井ノ上 泰輝、仁科 勇太、小林 慶裕
2. 発表標題 高空隙CNT/グラフェン複合体を用いた伸縮性歪みセンサの作製とCNT添加効果の検証
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuanjia Liu, Michiharu Arifuku, Noriko Kiyoyanagi, Masamitsu Satake, Taiki Inoue, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Synthesis of aligned carbon nanotube from nanodiamond seeds by kite-growth mechanism
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田和輝、堤一郎、井ノ上泰輝、仁科勇太、小林慶裕
2. 発表標題 CNT 添加した3次元積層グラフェン膜の創製
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前川愛佳、Mengyue Wang、周詠凱、井ノ上泰輝、根岸良太、小林慶裕
2. 発表標題 バイオセンサ応用に向けたカーボンナノチューブ電界効果トランジスタの動作安定性におけるグラフェン被覆効果
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2021年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuanjia Liu, Michiharu Arifuku, Noriko Kiyoyanagi, Masamitsu Satake, Taiki Inoue, Yoshihiro Kobayashi
2. 発表標題 Synthesis of aligned carbon nanotubes from nanodiamond seeds by kite-growth mechanism
3. 学会等名 第62回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 比村 優奈、石黒 稚可子、許 梓釗、井ノ上 泰輝、仁科 勇太、小林 慶裕
2. 発表標題 CNT/グラフェン複合体を用いた歪みセンサの構造最適化によるセンサ特性の向上
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸田 和輝、比村 優奈、許 梓釗、井ノ上 泰輝、仁科 勇太、小林 慶裕
2. 発表標題 滴下交互堆積法で形成した3次元積層グラフェン複合薄膜におけるカーボンナノチューブ添加効果
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 雅清、井ノ上 泰輝、周 詠凱、Chiew Yi Ling Yi Ling Chiew、末永 和知、仲武 昌史、高倉 将一、渡辺 義夫、小林 慶裕
2. 発表標題 カーボン層被覆した窒化ホウ素ナノチューブにおける化学結合状態の解
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仁科勇太
2. 発表標題 機能性炭素素材をベンチャービジネスに！酸化グラフェンの産業化
3. 学会等名 第11回 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西川泰司、仁科勇太
2. 発表標題 グラファイトシートの電気化学酸化
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Ryota Negishi, Yoshihiro Kobayashi	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 31
3. 書名 Synthesis and transport analysis of turbostratic multilayer graphene (Chapter 8 in "Quantum Hybrid Electronics and Materials" (Eds. Yoshiro Hirayama, Kazuhiko Hirakawa, and Hiroshi Yamaguchi)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>ナノマテリアル領域  <a href="https://www-ap.eng.osaka-u.ac.jp/nanomaterial/index.html">https://www-ap.eng.osaka-u.ac.jp/nanomaterial/index.html</a>          基板上のグラフェン特性を緻密にあやつる。電界の影響で半導体にも金属にも  <a href="https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210609_2">https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210609_2</a></p>
---

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	仁科 勇太  (Nishina Yuta)  (50585940)	岡山大学・異分野融合先端研究コア・研究教授    (15301)	

	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
研究協力者	井ノ上 泰輝  (Inoue Taiki)		

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
---------	---------