

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

| | |
|----------------|---------------------------------------|
| 研究課題名 | グラフェンの成長制御と加工プロセスを通じたカーボンエレクトロニクスへの展開 |
| 研究機関・ 部局・職名 | 九州大学・先導物質化学研究所・准教授 |
| 氏名 | 吾郷 浩樹 |

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

| | 交付決定額 | 交付を受けた額 | 利息等収入額 | 収入額合計 | 執行額 | 未執行額 | 既返還額 |
|------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|------|------|
| 直接経費 | 127,000,000 | 127,000,000 | 0 | 127,000,000 | 127,000,000 | 0 | 0 |
| 間接経費 | 38,100,000 | 38,100,000 | 0 | 38,100,000 | 38,100,000 | 0 | 0 |
| 合計 | 165,100,000 | 165,100,000 | 0 | 165,100,000 | 165,100,000 | 0 | 0 |

3. 執行額内訳

(単位:円)

| 費目 | 平成22年度 | 平成23年度 | 平成24年度 | 平成25年度 | 合計 |
|---------|---------|------------|------------|------------|-------------|
| 物品費 | 681,450 | 40,606,024 | 14,658,479 | 20,267,677 | 76,213,630 |
| 旅費 | 0 | 1,312,375 | 1,273,655 | 1,142,645 | 3,728,675 |
| 謝金・人件費等 | 0 | 7,391,260 | 18,089,665 | 13,086,424 | 38,567,349 |
| その他 | 0 | 1,571,438 | 3,730,925 | 3,187,983 | 8,490,346 |
| 直接経費計 | 681,450 | 50,881,097 | 37,752,724 | 37,684,729 | 127,000,000 |
| 間接経費計 | 195,000 | 13,469,000 | 5,508,000 | 18,928,000 | 38,100,000 |
| 合計 | 876,450 | 64,350,097 | 43,260,724 | 56,612,729 | 165,100,000 |

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

| 物品名 | 仕様・型・性能等 | 数量 | 単価 (単位:円) | 金額 (単位:円) | 納入 年月日 | 設置研究機関名 | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------|--------------|--------------|------------|-----------|------|
| 低抵抗率計 | ロスタGP型 | MCP-T610型 | 1 | 656,775 | 656,775 | H23/ 4/25 | 九州大学 |
| マルチガス分析計 | VA-3111 | (株)堀場製作所製 | 1 | 3,591,000 | 3,591,000 | H23/ 5/25 | 九州大学 |
| 画像解析・計測ソフトウェア | WinROOF | | 1 | 614,250 | 614,250 | H23/ 7/19 | 九州大学 |
| 顕微鏡用デジタルカメラ | DS-Fi1-U3 | | 1 | 593,250 | 593,250 | H23/ 7/19 | 九州大学 |
| 水冷アルゴンレーザー用交換プラスマチューブ | 日本分光(株)製 | | 1 | 3,412,500 | 3,412,500 | H23/ 7/22 | 九州大学 |
| マグネトロンスパッタリング装置 | 芝浦メトロニクス(株)製 CFS-4EP-LL型!-Miller | | 1 | 25,830,000 | 25,830,000 | H24/ 3/26 | 九州大学 |
| マルチモード8システムアップグレードキット | 米国Bruker-Nano社製 | | 1 | 7,366,800 | 7,366,800 | H24/10/16 | 九州大学 |
| RHK SPM1000 upgrade hardware | | | 1 | 1,390,000 | 1,390,000 | H25/ 3/22 | 九州大学 |
| Nanofinder30用グリーンレーザー | レーザーヘッド (532nm,50mW) | | 1 | 1,018,500 | 1,018,500 | H25/ 7/ 1 | 九州大学 |
| QUANTAX Flat QUADシステム Xflash 5060FQ | ブルカー・エイエックスエス社製 | | 1 | 12,746,160 | 12,746,160 | H25/ 8/27 | 九州大学 |

5. 研究成果の概要

炭素からなる二次元原子膜であるグラフェンは、その軽量性、機械的柔軟性、高い光透過率、そして現存する物質中で最も高いキャリア移動度といった優れた特性を有することから、次世代のエレクトロニクス材料として大きな期待を集めている。このエレクトロニクスへの応用を目指し、合成法から物性、デバイス測定まで一貫した研究を行った。

本研究では、高い結晶性と制御された結晶面をもつヘテロエピタキシャル金属薄膜を触媒として用い、種々の成長条件を検討することによって、巨大な単結晶グラフェンのCVD成長を実現した。このグラフェンのキャリア移動度について、ドメインバンダリーやリンクルの影響などを実験的に明らかにし、ドメイン内部で剥離法のグラフェンをも超える非常に高いキャリア移動度を実証することに成功した。

また、グラフェンのバンドギャップを開く手法として期待されているグラフェンナノリボンについて、金属ナノ粒子のエッチングというユニークで新たな加工法の開発を行い、高密度に配向したナノリボンアレーを作製した。そしてグラフェン膜を上回る高いon/off比を示すトランジスタにつながった。同時に、ヘテロエピタキシャル金属薄膜を用い、ボトムアップ的にグラフェンナノリボンを合成するオリジナルな手法も開発することができた。さらに、フレキシブルデバイスに向けたシリコンゴム上でのグラフェンのユニークな歪み効果なども見出した。このような一連の研究を通じて、次世代の省エネルギーデバイスの構築に向け、グラフェン研究を大きく推進することができた。

課題番号

GR075

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

| | |
|----------------------------|--|
| 研究課題名 (下段英語表記) | グラフェンの成長制御と加工プロセスを通じたカーボンエレクトロニクスへの展開 |
| | Synthesis and Control of Graphene for Carbon Electronics |
| 研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記) | 九州大学・先導物質化学研究所・准教授 |
| | Kyushu University, Institute for Materials Chemistry and Engineering, Associate Professor |
| 氏名 (下段英語表記) | 吾郷 浩樹 |
| | Hiroki AGO |

研究成果の概要

(和文): グラフェンは、炭素原子 1 層分の厚みと二次元的な広がりをもつ究極的な原子膜であり、物質中で最高のキャリア移動度とともに、高い光透過率と熱伝導率、そして機械的フレキシビリティなど優れた特性を有することから、グリーン・イノベーションに資する次世代エレクトロニクス材料として大きな期待を集めている。本研究では、単結晶基板上に堆積したエピタキシャル銅薄膜を触媒に利用する独自の研究を推進し、グラフェンの六員環の方位を揃えた極めて高品質なグラフェンの結晶成長法を確立した。また、室温で $10,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える移動度の実現にも成功した。さらに、バンドギャップ制御に有効なグラフェンナノリボンを金属触媒上に直接成長する方法を見出すとともに、一枚のグラフェンシートから高密度のナノリボンを加工する方法の開発にも成功した。本研究の成果に基づき、高速かつ省電力で優れた機能をもったカーボンに基づく新たなエレクトロニクスへと発展することが期待される。

(英文): Graphene, an ideal two-dimensional atomic sheet with single-atom thickness, shows extremely high carrier mobility, high optical transparency, high thermal conductivity, and mechanical flexibility, thus attracting great interest for novel electronic applications which can lead to green innovation. We have developed a new method to synthesize very high quality

graphene with controlled hexagon orientation based on our original epitaxial method. This graphene realized the high carrier mobility exceeding 10,000 cm²/Vs at room temperature. We have also studied graphene nanoribbons, which are promising for band gap engineering of graphene, and established a novel route to directly grow nanoribbons on metal catalyst. Furthermore, we realized a new process that create dense arrays of graphene nanoribbons from a single sheet of graphene. Our achievements will facilitate novel carbon-based electronics which show high-speed, low power consumption, and new functionalities.

1. 執行金額 165,100,000 円
(うち、直接経費 127,000,000 円、間接経費 38,100,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

グラフェンは、2004年に黒鉛から初めて剥離されて以降、究極的な原子膜として基礎的に興味深い物性を示すことに加え、幅広い応用の可能性が期待されていることから、世界的に非常に大きな注目を集めている。グラフェンは、炭素からなる一層の原子膜であるため、機械的に柔軟で、光透過率、電気伝導度、そして熱伝導度が高いという利点がある。さらに、二次元に広く発達したπ共役により、極めて高い移動度を示すことも分かっている。グラフェンの移動度は、シリコンやゲルマニウムなどの一般的な半導体材料よりも高く、架橋したグラフェンでは物質中で最高の移動度が得られている。このような特長から、グラフェンはフレキシブルな論理回路、高周波トランジスタ、化学・バイオセンサー、透明電極、タッチパネルなど次世代のエレクトロニクスを担う材料として、活発に研究が行われている。本研究では、(1)グラフェンの成長法の研究、(2)新規加工法やナノリボン合成法の検討、(3)物性・デバイス特性の評価を主な目的として研究を行った。

(1)グラフェンの成長法の研究

グラフェンの応用を促進するためには、結晶性が高く、欠陥が少ない高品質なグラフェンの成長法の確立が不可欠である。グラフェンは機械的剥離法、SiC単結晶の熱分解法、酸化グラフェンの還元などいくつかの方法で得ることができるが、大面積にグラフェンを合成する方法として、化学蒸着法(CVD法)が近年大きな期待を集めている。特に、銅ホイルを触媒として用いることにより、単層グラフェンを大面積で合成することが可能となってきた。しかし、銅ホイル上に合成したグラフェンは、異なる向きをもつ微小なドメインからなる多結晶体であることが分かっている。そのため、ドメイン間に存在するバンダリー(結晶粒界)がキャリア移動度の低下やシート抵抗の増大などに結び付き、期待されるほどの物性がCVDグラフェンでは得られていなかった。そこで、本研究では、エピタキシャルに作製した結晶性の高い金属薄膜を触媒として利用することにより、六員環の方位が統一され、ドメインサイズが大きなグラフェンを成長させることを目指した。

(2)新規加工法やナリボン合成法の検討

優れたキャリア移動度を示すグラフェンにおいて、トランジスタなどの半導体材料としての応用は非常に興味深く、グリーン・イノベーションに向けた重要なテーマである。キャリア移動度の向上によりデバイスの動作速度が向上することに加え、デバイスの発熱とオフ電流を大きく抑制することで、消費電力効果が高い電子デバイスへと発展することが期待されるからである。また、通常のトランジスタなどに加え、化学修飾によってバイオセンサーなど新たな応用も期待できる。このような半導体応用において大きな課題として認識されているのが、グラフェンのバンドギャップ制御である。通常の単層グラフェンはバンドギャップをもたないことが、半導体としての応用を制限している。そこで、これを解決するために、グラフェンナリボンと呼ばれる細長い一次元構造を有するグラフェンの創製を進めることを第二の目的とした。このグラフェンナリボンの合成のため、金属触媒上での直接的なナリボンの CVD 成長、ならびに高品質グラフェンのナリボンへの加工法の検討を行い、グラフェンナリボンの新規作製法の開発を行った。

(3)物性・デバイス特性の評価

グラフェンの特性を最大限引き出すためには、その構造やキャリア輸送の特性の評価が重要となる。そこで、グラフェンの CVD 成長とともに、CVD グラフェンのドメイン構造に関して基礎的な理解を進めるとともに、電界効果型トランジスタの作製・評価を行い、構造と物性に関する研究を推進してカーボンエレクトロニクスの可能性を拓げていくことを第三の目的とした。

以上のように、グラフェンの成長を基軸として、合成・加工法の開発と様々なキャラクタリゼーションを通じて、カーボンに基づく新たなグリーン・イノベーションにつながる新機能の創出へと展開し、将来的な新産業に結びつけていくことを目標とした。

4. 研究計画・方法

本研究では、グラフェンの合成から加工、そして物性・デバイス評価まで幅広い観点から総合的な取り組みを行った。当該研究者のグループは特に優れた合成技術を有していることから、高品質なグラフェンの合成、そしてナリボンの直接成長等を積極的に進めた。そして国内外の研究グループとの積極的な共同研究を行うことで、より高いレベルの研究成果の創出に努めた。

具体的な目的とした上記の3点について、達成のための研究計画は以下の通りとした。

(1)グラフェンの成長法の研究:エピタキシャル金属薄膜の作製、CVD グラフェンの合成条件、さらには転写プロセスの最適化も含めて詳細に研究を行い、超高品質グラフェンの実現に向けた研究を行う。さらに、グラフェンの成長メカニズムに関する基礎的な研究も並行して行い、高品質化にフィードバックする。

(2)新規加工法やナリボン合成法の検討:グラフェンのナリボンへの加工は、金属ナノ粒子のガス化反応を利用し、高密度化に適した単結晶基板や金属ナノ粒子の種々の検討を行う。さらに、金属触媒上でのボトムアップ合成によるグラフェンナリボンの新規合成法についても、金属触媒の結晶面や原料を検討して、ナリボン成長の可能性を探索する。

(3)物性・デバイスの評価:CVD 法によって合成したグラフェンのドメイン構造を低エネルギー電

子顕微鏡 (LEEM) や走査型電子顕微鏡 (SEM) 等で解析するとともに、グラフェンおよびグラフェンナノリボンからなるバックゲート型電界効果トランジスタを作製してキャリア輸送特性を実験的に評価する。特に、グラフェンの微細構造と移動度やオン/オフ比の関係について着目して検討を行う。さらに、フレキシブルデバイスへの応用の観点から、シリコンゴムに転写して歪みを加えたグラフェンの物性や化学反応性についても調べる。

なお、本研究期間中に、3名の博士研究員 (Mark A. Bissett (途中から特任助教)、Pablo Solís Fernández, Wanyin Ge) を採用して、先進的な研究を進めるように努めた。加えて、2名のテクニカルスタッフも雇用し、高品質グラフェンのさらなる最適化やプロセス開発などを進めた。また、以下のような多くの研究者との共同研究にも積極的に取り組んだ。実験面では塚越一仁主任研究者 (NIMS)、日比野浩樹部長 (NTT 基礎研)、水野清義教授 (九大)、白石誠司教授 (京大)、中村新男教授 (名大)、松本和彦教授 (阪大)、理論面では斎藤理一郎教授 (東北大)、岡田晋准教授 (筑波大) らと共同研究を行い、グラフェンの構造やデバイス評価、そして理論計算に関して議論を進め、研究のレベルアップを図った。さらに、T. Seyller (ドイツ)、W. Chen, A. T. S. Wee (シンガポール)、J. I. Paredes (スペイン) らの海外の研究者とも共同研究を行った。

5. 研究成果・波及効果

【研究成果】

研究項目 (1)、(2)、(3) のいずれの課題においても当初の目的を十分に達成した。特に、グラフェンの成長技術に関しては着実に進展し、世界的にみてもトッププラスのクオリティの転写グラフェンが得られるようになった。実際、当グループのサンプルを複数の研究機関で評価してもらったところ、世界で販売されているどのグラフェン試料よりも高いキャリア移動度を示すと報告を受けている。また、3年2か月の研究期間に43件もの招待講演 (うち国際は14件) を行うなど、本研究のアクティビティも高く評価されてきた。以下にそれぞれの研究題目のより詳細な成果について列挙する。

(1) グラフェンの成長法の研究

本研究では大面積の高品質なグラフェンの成長法の確立を目指して、我々のオリジナルな手法であるエピタキシャル CVD 法を開発・確立した。図 1(a) が我々の提案した高結晶性の金属薄膜を用いた単層グラフェンの成長の模式図である。サファイア上に堆積した Cu(111) 等の大面積の結晶性触媒を用い、図 1(b) に示すように六員環の方位の揃ったグラフェンの成長に成功した。さらに Cu の結晶面に依存してグラフェンのドメイン構造が変化することも実験的に明らかにした (Carbon 2012, Carbon 2012, J. Phys. Chem. Lett. 2013)。図 1(c) はシリコン基板上に転写した後のグラフェンの写真である。我々のグラフェンのドメイン解析と高品質化に関する研究は高く評価され、J. Phys. Chem. Lett. で Perspective を依頼され、表紙に掲載されるとともに、日本から最初のビデオ投稿も行い、成果の発信も積極的に行った。

さらに研究を継続し、より高度なドメイン構造の制御を推し進めた (図 1(d,e))。大きさが約 100

μm で六角形の形状をもったグラフェンが方向を揃えて成長できることを見出した (Appl. Phys. Exp. 2013; 同誌の SPOT LIGHT に選ばれ、2013 年 8 月にはダウンロード数でトップとなった)。そして、サファイア基板の方位との対応から、この巨大グラフェンが図 1(f)に示すようにジグザグエッジを優先的にもつように成長することも分かった。そして、角度分解光電子分光 (ARPES) による測定において、グラフェン特有の直線的なバンド構造が明瞭に観測できることを、CVD グラフェンで初めて示すことができた。なお、最近ではさらに研究が進み、大きさが 3 mm 以上の巨大な単結晶グラフェンの合成にも成功している (未発表データ)。

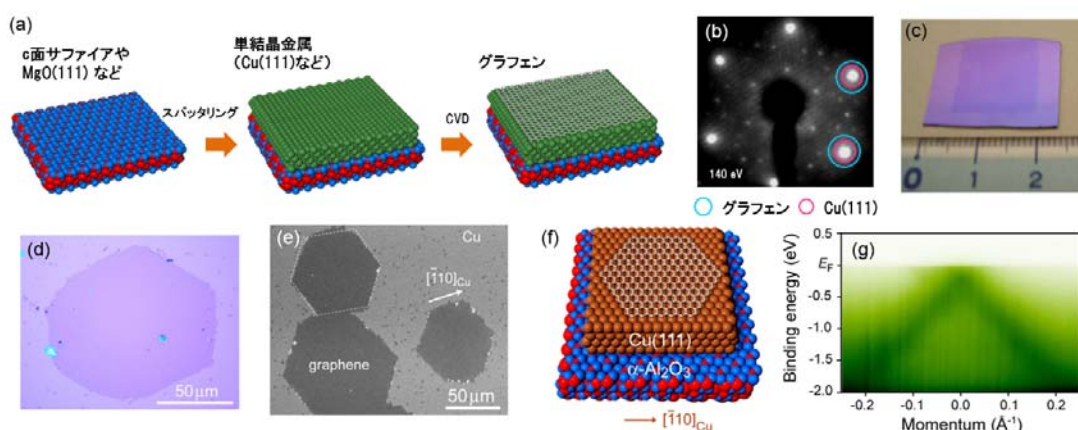


図1 (a)本研究で開発したエピタキシャル CVD 法。(b)グラフェン/Cu(111)の低エネルギー電子回折像。(c)シリコン基板上に転写したグラフェン。(d,e)六角形のグラフェンドメインの写真。(f)エピタキシャル Cu 触媒上に成長した六角形ドメインの模式図。(g)グラフェンの ARPES スペクトル。

(2) 新規加工法やナノリボン合成法の開発

グラフェン研究における重要な課題の一つに、バンドギャップの制御がある。これは、グラフェンはゼロバンドギャップの材料であるため、半導体として高いオン/オフ比を得るのが難しいためである。そこで、グラフェンのバンドギャップを開くため、様々な試みが報告されてきた。これらの試みの中で、グラフェンからなる細長い一次元構造であるグラフェンナノリボンを作製することが期待されている。本研究では、グラフェンの半導体応用を促進するため、トップダウン、及びボトムアップの 2 つの方向性からグラフェンナノリボンの新しい作製法の実現を目指した。

これまでの研究により高品質の CVD グラフェンが得られたことから、この単層グラフェンのシートを用いて、リソグラフィを用いずにナノリボンへと加工する手法の開発を行った。図 2(a)に示すように、金属ナノ粒子の触媒反応によってグラフェンを微細にエッチングすることを試みた。このナノ粒子によるエッチング反応は、黒鉛やグラフェンで既に知られた現象であったが、方向の制御ができていなかった。そこで、高い表面性異方性を有するサファイア r 面基板の上に CVD グラフェンを転写し、Ni ナノ粒子を堆積させ、条件を最適化してエッチングすることで、図 2(b-d)に示すような高密度のグラフェンナノリボンを得ることに成功した (Adv. Mater. 2013; Front cover に採用された)。このグラフェンナノリボンは非常に高密度で高配向であり、幅も平均で 20 nm より細いものができることが分かっている。なお、通常はリソグラフィと酸素プラズマのエッチングによりナノリボンが作られるが、酸化反応を伴うため非常に欠陥が多い。それに対し、本方法は酸素との反応を含まな

いため、低欠陥のグラフェンナリボンが得られるというメリットもある。

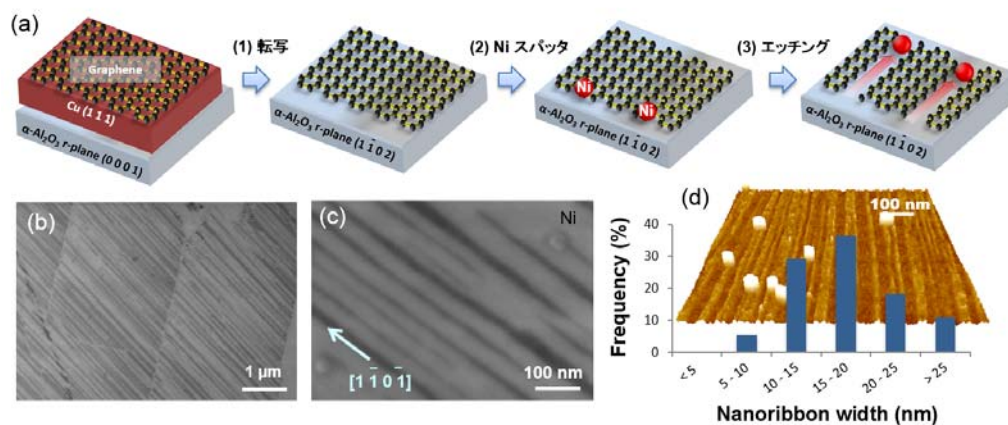


図2 (a)グラフェンシートから、金属ナノ粒子のエッチング反応を利用してグラフェンナリボンを作製するスキーム。(b,c)エッチング後のグラフェン SEM 像。(d)高密度のグラフェンナリボンの AFM 像とリボン幅の分布。

このようなグラフェンの加工によるナリボンの作製に加え、CVD と同様の触媒反応を用いたボトムアップによるグラフェンナリボンの合成法の探索も同時に進めた。図3がその結果の一例である(ACS Nano 2013)。これは fcc 金属の(100)面を巧妙に利用し、金属結晶の二方向だけにグラフェンナリボンを成長させたもので、図3に示すように Ni(100)面上に 30 nm の幅を有するナリボンの成長に成功している。極めて興味深いことに、LEEM 解析から、これらの方向を揃えて成長したナリボンは、ジグザグエッジを有していることが明らかとなった。このジグザグエッジは局在準位を与え、エレクトロニクスに加えて、スピントロニクス応用の観点からも興味深い対象である。さらに、最近では CVD 法によって、より大面積にナリボンを合成することも可能になっている(論文投稿中)。

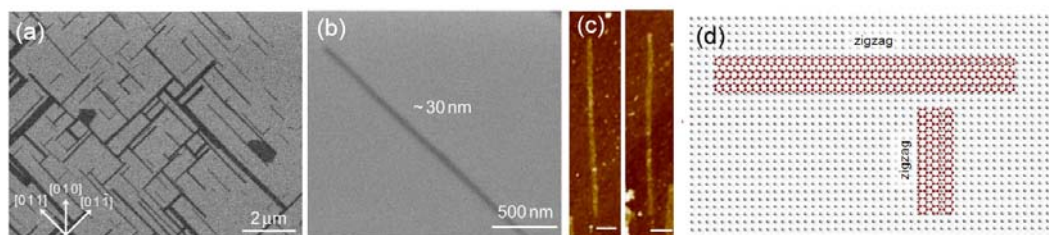


図3 (a,b) Ni 金属上に成長した単層グラフェンナリボンの SEM 像。二方向に選択的にナリボンが成長し、細いものでは 30 nm の幅をもつものが、リソグラフィやエッチングを用いることなく合成できる。(c)転写したナリボンの AFM 像(スケールバーは 100 nm)。(d)Ni(100)面上に成長したナリボンの原子モデル。ジグザグエッジをもつようにナリボンが方向を揃えて成長する。

(3) 物性・デバイスの評価

グラフェンのドメイン構造は、グラフェンの物性を大きく左右する因子である。このドメイン構造が、触媒である銅の結晶面に大きく依存して変化することを、エピタキシャル CVD 法で合成したグラフェンを LEEM で解析することで明らかにした。Cu(100)では二方向のドメインからなるのに対して、Cu(111)では一方向に制御できること、また合成温度にも強く依存することを見出した(J. Phys. Chem. Lett. 2012)。さらに、銅ホイルでは、ホイルそのものが多数のグレインからなり、その銅のグレイン内に複数のグラフェンドメインが生成することも明らかにした。そして、Cu(111)薄膜と銅ホイル上に成長した単層グラフェンをシリコン基板に転写し、電界効果型トランジスタを作製してキャリア輸送特性を調べた(図 4(a,b))。グラフェンのドメイン構造の違い、および銅触媒の表面平坦性による転写膜の連続性が異なることから、我々のエピタキシャル CVD 法で合成したグラフェンの方がはるかに高いキャリア移動度を示すことを確認した。さらに、電子線リソグラフィを用いて巨大ドメインに直接多数の電極を取り付け、ドメイン境界がキャリア輸送に与える影響を詳細に調べた(図 4(c,d))。その結果、ドメインの内部では移動度は 280 K で 20,000 cm^2/Vs という非常に高い値が得られることを実験的に示した(Nanoscale 2014)。この値は、結晶性が高いといわれる剥離グラフェンを超えるもので、グラフェンによる高速トランジスタなど将来のエレクトロニクス材料として大きなポテンシャルを有することを実験的に示した結果といえる。

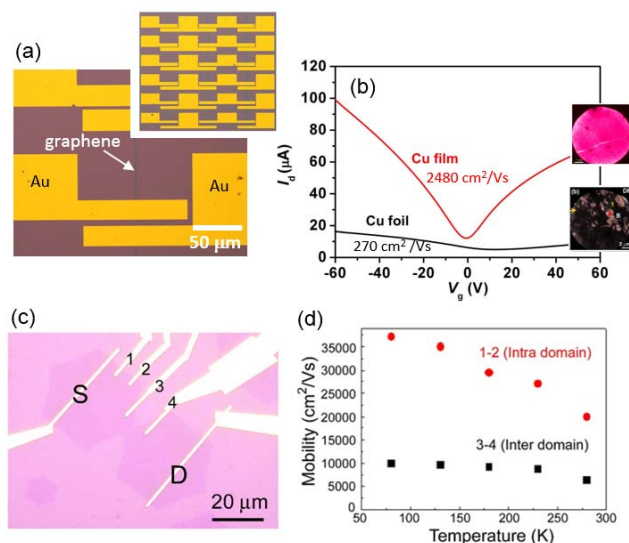


図4 (a)グラフェントランジスタの光学顕微鏡写真。(b)Cu(111)薄膜と銅ホイル上に成長したグラフェンの輸送特性と移動度の比較。(c,d)多数の電極を取り付けた大ドメインのグラフェンの光学顕微鏡写真とキャリア移動度の温度依存性。

グラフェンの発見を契機として、無機材料の二次元原子膜の物性や応用も大きな注目を集めつつある。本研究では、グラフェンと他の二次元原子膜との融合にも研究を拡張し、図 5(a,b)に示すように、金属カルコゲナイドのナノシートをグラフェン上に直接成長することに成功した(Nanoscale 2013; 裏表紙として採用)。また、他にも、単層グラフェンに対する歪みの影響についても検討を行い、歪みによって特異なラマン散乱を示すこと、さらにはグラフェンの化学反応性が促進されて、

反応速度が 2-10 倍向上することなどを見出した (ACS Nano 2010, 2013)。この結果は、従来から知られているような熱や光に加え、機械歪みによっても化学反応が誘起できることを示すものであり、化学における新たな方向性を与えるものである。

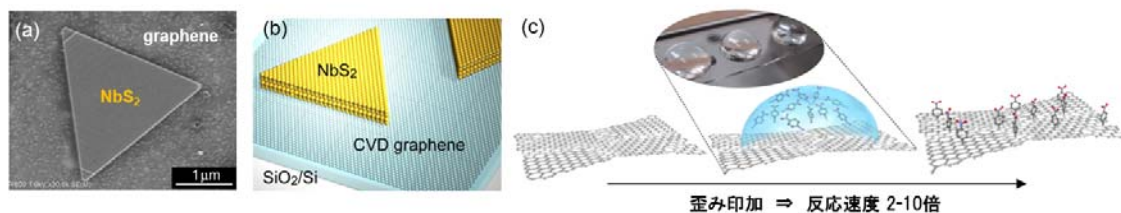


図5 (a,b)CVD グラフェン上に合成した二硫化ニオブ (NbS_2) の SEM 像とそのイメージ。(c)歪みによって化学反応性が向上する結果を表したイラスト。

【波及効果】

本研究では、グラフェンのオリジナルな合成法の開発、ナノスケールでの構造制御法の開拓、そしてデバイス特性等といったグラフェンの特性評価まで一貫した研究を精力的に行ってきた。超高品質化を指向したグラフェンの合成法の開発・確立をはじめ、種々の形状制御法の新たな提示、そして基礎的なドメイン構造の物理の理解など、本研究成果が与える学術的な波及効果は極めて大きい。特に、大きなポテンシャルを有するグラフェンを、超高品質に大面積で合成する技術を開発したことは、今後のグラフェンの実用化に大きな貢献をし、将来のグリーン・イノベーションに寄与するものと期待される。低消費電力のコンピューターやモバイル機器、そして高い機能とフレキシビリティ・透明性を有する革新的なエレクトロニクスの開発にとって、今回のグラフェン研究の成果は大きな貢献をして、長期的に日本の新産業の創出などに結びつくことが期待される。

6. 研究発表等

| | |
|----------------------|--|
| <p>雑誌論文 計28件</p> | <p>(掲載済み一査読有り) 計22件</p> <p>[1] Yui Ogawa, Katsuyoshi Komatsu, Kenji Kawahara, Masaharu Tsuji, Kazuhito Tsukagoshi, Hiroki Ago "Structure and transport properties of the interface between CVD-grown graphene domains" <i>Nanoscale</i> (2014) (DOI: 10.1039/C3NR06828E).</p> <p>[2] Hiroki Ago, Izumi Tanaka, Yui Ogawa, Rozan Mohamad Yunus, Masaharu Tsuji, Hiroki Hibino "Lattice-oriented catalytic growth of graphene nanoribbons on heteroepitaxial nickel films" <i>ACS Nano</i>, 7(12), 10825-10833 (2013).</p> <p>[3] Mark A. Bissett, Ssatoru Konabe, Susumu Okada, Masaharu Tsuji, Hiroki Ago "Enhanced chemical reactivity of graphene induced by mechanical strain" <i>ACS Nano</i>, 7(11), 10335-10343 (2013).</p> <p>[4] Mark A. Bissett, Masaharu Tsuji, Hiroki Ago "Strain engineering the properties of graphene and other two-dimensional crystals " <i>Physical Chemistry Chemical Physics</i>, 16(23), 11124-11138 (2014).</p> <p>[5] Takeshi Koyama, Yoshito Ito, Kazuma Yoshida, Masaharu Tsuji, Hiroki Ago, Hideo Kishida, Arao Nakamura "Near-infrared photoluminescence in the femtosecond time region in monolayer graphene" <i>ACS Nano</i>, 7(3), 2335-2443 (2013).</p> <p>[6] Yui Ogawa, Tianchao Niu, Swee L. Wong, Masaharu Tsuji, Andrew W. S. Wee, Wei Chen, Hiroki Ago "Self-assembly of polar phthalocyanine molecules on graphene grown by chemical vapor deposition" <i>Journal of Physical Chemistry C</i>, 117(42), 21849-21855 (2013). Selected as Front Cover</p> <p>[7] Hiroki Ago, Kenji Kawahara, Yui Ogawa, Shota Tanoue, Mark A. Bissett, Masaharu Tsuji, Hidetsugu Sakaguchi, Roland J. Koch, Felix Fromm, Thomas Seyller, Katsuyoshi Komatsu, Kazuhito Tsukagoshi "Epitaxial growth and electronic properties of large hexagonal graphene domains on Cu(111) thin film" <i>Applied Physics Express</i>, 6(7), 075101-1-4 (2013). Selected as SPOTLIGHT</p> <p>[8] Wanyin Ge, Kenji Kawahara, Masaharu Tsuji, Hiroki Ago "Large-scale synthesis of NbS₂ nanosheets with controlled orientation on graphene by ambient pressure CVD" <i>Nanoscale</i>, 5(13), 5773-5778 (2013). Selected as Back Cover</p> <p>[9] Xiaoyang Hu, Yingjiu Zhang, Hiroki Ago, Huihua Zhou, Xiao Li, Lili Fan, Bin Cai, Xinjian Li, Minlin Zhong, Kunlin Wang, Dehai Wu, Hongwei Zhu "Ultra-fast synthesis of graphene by melt spinning" <i>Carbon</i>, 61, 299-304 (2013).</p> |
|----------------------|--|

| | |
|--|---|
| | <p>[10] Pablo Solís Fernández, Kazuma Yoshida, Yui Ogawa, Masaharu Tsuji, <u>Hiroki Ago</u> "Dense arrays of highly aligned graphene nanoribbons produced by substrate-controlled metal-assisted etching of graphene" <i>Advanced Materials</i>, 25(45), 6562-6568 (2013). Selected as Front Cover</p> <p>[11] Mark A. Bissett, Masaharu Tsuji, <u>Hiroki Ago</u> "Mechanical strain of chemically functionalized chemical vapor deposition grown graphene" <i>Journal of Physical Chemistry C</i>, 117(6), 3152-3159 (2013).</p> <p>[12] Zhenyao Tang, Eiji Shikoh, <u>Hiroki Ago</u>, Kenji Kawahara, Yuichiro. Ando, Teruya Shinjo, Masashi Shiraishi "Dynamically-generated pure spin current in single-layer graphene" <i>Physical Review B</i> (Rapid Communication), 87(14), 140401-1-5 (2013).</p> <p>[13] Mark A. Bissett, Wataru Izumida, Riichiro Saito, Hiroki Ago "Effect of domain boundaries on the Raman spectra of mechanically strained graphene" <i>ACS Nano</i>, 6(11), 10229-10238 (2012).</p> <p>[14] <u>Hiroki Ago</u>, Yoshito Ito, Masaharu Tsuji, Ken-ichi Ikeda "Step-templated CVD growth of aligned graphene nanoribbons supported by single-layer graphene film" <i>Nanoscale</i>, 4(16), 5178-5182 (2012).</p> <p>[15] Carlo M. Orofeo, Hiroki Hibino, Kenji Kawahara, Yui Ogawa, Masaharu Tsuji, Ken-ichi Ikeda, Seigi Mizuno, <u>Hiroki Ago</u> "Influence of Cu metal on the domain structure and carrier mobility in single-layer graphene" <i>Carbon</i>, 50(6), 2189-2196 (2012).</p> <p>[16] Yui Ogawa, Baoshan Hu, Carlo M. Orofeo, Masaharu Tsuji, Ken-ichi Ikeda, Seigi Mizuno, Hiroki Hibino, <u>Hiroki Ago</u> "Domain structure and boundary in single-layer graphene grown on Cu (111) and Cu (100) films" <i>Journal of Physical Chemistry Letters</i>, 3(2), 219-226 (2012).</p> <p>[17] Baoshan Hu, <u>Hiroki Ago</u>, Carlo M. Orofeo, Yui Ogawa, Masaharu Tsuji "On the nucleation of graphene in chemical vapor deposition" <i>New Journal of Chemistry</i>, 36(1), 73-76 (2012).</p> <p>[18] Baoshan Hu, <u>Hiroki Ago</u>, Yoshito Ito, Kenji Kawahara, Masaharu Tsuji, Eisuke Magome, Kazushi Sumitani, Noriaki Mizuta, Ken-ichi Ikeda, Seigi Mizuno "Epitaxial growth of large-area single-layer graphene over Cu(111)/sapphire by atmospheric pressure CVD" <i>Carbon</i>, 50(1), 57-65 (2012).</p> <p>[19] <u>Hiroki Ago</u>, Yasumichi Kayo, Masaharu Tsuji "Growth of horizontally-aligned single-walled carbon nanotubes on sapphire surface by needle-scratching method" <i>Japanese Journal of Applied Physics.</i>, 51(4), 04DN02-1-4 (2012).</p> |
|--|---|

| | |
|--|--|
| | <p>[20] <u>Hiroki Ago</u>, Yui Ogawa, Masaharu Tsuji, Seigi Mizuno, Hiroki Hibino "Catalytic growth of graphene: towards large-area single-crystalline graphene" <i>Journal of Physical Chemistry Letters</i> (Perspective), 3(16), 2228-2236 (2012). Selected as Front Cover and Highlighted as Video Perspective</p> <p>[21] <u>Hiroki Ago</u>, Takafumi Ayagaki, Yui Ogawa, Masaharu Tsuji "Ultra-high vacuum-assisted control of metal nanoparticles for horizontally-aligned single-walled carbon nanotubes with extraordinary uniform diameters" <i>Journal of Physical Chemistry C</i>, 115(27), 13247-13253 (2011).</p> <p>[22] Carlo M. Orofeo, <u>Hiroki Ago</u>, Baoshan Hu, Masaharu Tsuji "Synthesis of large-area, homogeneous, single layer graphene by annealing amorphous carbon on Co and Ni" <i>Nano Research</i>, 4(6), 531-540 (2011).</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計6件</p> <p>[1] 吾郷浩樹, 河原憲治 「熱 CVD 法による単結晶グラフェンへの挑戦」 化学工業(化学工業社), 65(2), 128-133 (2014)</p> <p>[2] 吾郷浩樹 「グラフェンの CVD 成長」 応用物理(応用物理学会誌), 82(12), 1030-1036 (2013)</p> <p>[3] 吾郷浩樹 「グラフェンの合成と応用」 機械の研究(養賢堂), 65(4), 280-286 (2013).</p> <p>[4] 吾郷浩樹 「CVD 法によるグラフェンの成長」 触媒(触媒学会誌), 54(6), 382-385(2012).</p> <p>[5] 吾郷浩樹 「グラフェン」 高分子(高分子学会誌), 61(3), 136-137 (2012)</p> <p>[6] 小川友以, 吾郷浩樹 「高品質グラフェンの合成法の開発」 化学工業(化学工業社), 63(2), 130- 134 (2012)</p> <p>(未掲載) 計0件</p> |
|--|--|

| | |
|-------|--|
| 会議発表 | 専門家向け 計123件 (うち招待・依頼講演 43件) |
| 計128件 | <p>招待・依頼講演(43件):</p> <p>[1] 吾郷浩樹、“エレクトロニクス応用を目指した高品質グラフェンの触媒成長”、日本化学会春季年会 中長期テーマシンポジウム「エレクトロニクスの新パラダイム—二次元機能性薄膜を基軸とする超低消費電力デバイスの開発—」、2014/3/27、名古屋</p> <p>[2] 吾郷浩樹、“グラフェンの CVD 成長とその展開”、「グラフェンを「作る・測る・使う」技術開発の将来」研究会、2014/3/14、岡山</p> <p>[3] H. Ago、“Graphene and Its Nanostructures: Epitaxial Growth, Characterization, and Challenges”、第3回統合物質国際シンポジウム、2014/1/11、Fukuoka</p> <p>[4] 吾郷浩樹、“ナノカーボン(グラフェン、カーボンナノチューブ)の成長機構とその制御”、第42回薄膜・表面物理基礎講座「薄膜の成長過程の解明と制御:薄膜のナノ構造を自由に制御するために」、2013/11/25、東京</p> <p>[5] H. Ago、“CVDによる高品質グラフェンの成長とその展開”、応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会新領域研究会「高気圧・中気圧プラズマを用いたダイヤモンド・グラフェン関連物質のプロセッシング」、2013/11/22、名古屋</p> <p>[6] H. Ago、“Top-down and bottom-up production of graphene nanoribbons”、2013 A3 Symposium of Emerging Materials: Nanomaterials for Energy and Environments、2013/11/13、Korea</p> <p>[7] 吾郷浩樹、“グラフェンと関連物質の CVD 成長とその展開”、名古屋大学応用物理学教室「物性談話会」、2013/11/1、名古屋</p> <p>[8] 吾郷浩樹、“グラフェンのエピタキシャル CVD 成長とドメイン構造”、日本物理学会年次大会領域9シンポジウム「二次元物質の成長過程」、2013/9/25、徳島</p> <p>[9] H. Ago、“Graphene and nanoribbons: epitaxial CVD growth, processing, and applications”、2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Session C: Advanced Nano Carbon Devices and Materials、2013/9/18、Kyoto</p> <p>[10] 吾郷浩樹、“グラフェンの CVD 成長とさらなる展開へ”、第3回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン若手研究会、2013/8/4、大阪</p> <p>[11] 吾郷浩樹、“ナノカーボンの CVD 成長:CVD 成長の基礎から最先端まで”、筑波大学 数理物質科学研究科 セミナー、2013/7/23、つくば</p> <p>[12] H. Ago、“Epitaxial CVD growth of graphene: growth mechanism, nanofabrication, and properties”、20th International Workshop on Active-Matrix Flat Displays and Devices (20th AM-FPD-13)、2013/7/4、Kyoto</p> <p>[13] H. Ago、“Graphene: epitaxial CVD growth, nanofabrication, and properties”、国際共同研究拠点プログラム キックオフシンポジウム、2013/6/17、Belgium</p> <p>[14] 吾郷浩樹、“グラフェンのエピタキシャル CVD 成長とその展開”、カーボンナノ材料研究会(大阪科学技術センター)、2013/6/5、大阪</p> <p>[15] 吾郷浩樹、“グラフェンのエピタキシャル CVD 成長とその展開”、CVD 反応分科会 第19回シンポジウム「薄膜成長における構造の形成と制御」、2013/5/29、東京</p> <p>[16] 吾郷浩樹、“グラフェンの触媒成長におけるドメイン構造の観察と高次制御”、ナノテク産業化基盤技術の有効利用および高度化と融合を目指した研究会、2013/3/8、福岡</p> <p>[17] 吾郷浩樹、“グラフェンのマテリアルサイエンスと将来展望”、第7回フォトリソグラフィ研究会講座、2013/3/7、横浜</p> <p>[18] 吾郷浩樹、“ナノカーボンが拓く新たなエレクトロニクスの可能性”、長崎総合科学大学大学院新技術創製研究所 第10回公開講演会「21世紀の科学技術～先端デバイスから医・食工学に向けて」、2013/2/5、長崎</p> <p>[19] マーク・ピセット、吾郷浩樹、“Raman spectroscopy of mechanically strained and chemically functionalised graphene”、第5回九大グラフェン研究会、2013/01/18、福岡</p> <p>[20] 吾郷浩樹、“グラフェンのエピタキシャル CVD 成長とその展開”、平成24年度 物質機能化学領域部会 第1回研究集会「ケイ素科学と炭素科学の融合・σ 共役と π 共役が作り出す未来材料の可能性」、2012/11/29、福岡</p> <p>[21] H. Ago、“Epitaxial CVD growth of graphene”、The 6th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology (IWAMSN 2012)、2012/11/1、Vietnam</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>[22] 吾郷浩樹、“グラフェンの単結晶シートの CVD 成長に向けて”、KRI クライアントコンファレンス & ワークショップ '12 技術のコモディティー化を超えて「来るべき有機エレクトロニクスの展望ー新たな市場を切り開くフレキシブル・エレクトロニクスー」、2012/10/26、大阪</p> <p>[23] H. Ago, “Towards single-crystalline graphene by catalytic CVD”, IUMRS-ICEM 2012, 2012/9/25, Yokohama</p> <p>[24] 吾郷浩樹、“グラフェンのエピタキシャル CVD 成長”、第 43 回 フラールン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、2012/9/7、仙台</p> <p>[25] 吾郷浩樹、“エレクトロニクス応用に向けたグラフェンとナノチューブの創製”、2012 年日本液晶学会講演会、2012/09/04、千葉</p> <p>[26] 吾郷浩樹、“エレクトロニクス応用に向けたナノカーボンの CVD 成長”、第 55 回 CVD 研究会 第 23 回夏季セミナー、2012/8/30、兵庫</p> <p>[27] H. Ago, “Epitaxial CVD growth of graphene”, KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics 2012, 2012/9/1, Sendai</p> <p>[28] 吾郷浩樹、“グラフェンの CVD 成長ー成長メカニズムと単結晶化に向けてー”、つくばグリーンイノベーションフォーラム講演会「グラフェンの材料開発に向けた基礎と応用」、2012/8/7、つくば</p> <p>[29] H. Ago, “Single- and double-layer graphene on heteroepitaxial metal films”, International Conference on Solid Films and Surfaces (icsfs 16), 2012/7/2, Italy</p> <p>[30] H. Ago, “Growth mechanism and structure control of graphene for future carbon electronics”, 阪大産研・imec 国際シンポジウム、2012/6/4, Osaka</p> <p>[31] 吾郷浩樹、“グラフェンのマテリアルサイエンスと将来展望”、ワークショップ「機能性原子薄膜」、2012/2/2 東京、JST 研究開発センター</p> <p>[32] 吾郷浩樹、“ヘテロエピタキシャル Cu 膜上に成長した単層グラフェンのドメイン構造と物性”、「九大グラフェン研究会」、2012/1/27 福岡、九大応力研</p> <p>[33] 吾郷浩樹、“エレクトロニクス応用に向けたナノカーボンの創製”、東レナノテクシンポジウム、2011/12/22 滋賀、東レ</p> <p>[34] 吾郷浩樹、“高品質・大面積化を目指したグラフェンの CVD 成長”、炭素材料セミナー「一日で分かるグラフェン」、2011/10/14 東京、炭素材料学会</p> <p>[35] H. Ago, “CVD growth for extremely high-quality graphene: epitaxial growth, domain structure, and transport property”, International Workshop on Quantum Nanostructures and Nanoelectronics (QNN 2011), 2011/10/3-4 Tokyo</p> <p>[36] H. Ago, “Recent advances in growth and characterization of graphene and nanotubes”, SSDM2011(International Conference on Solid State Devices and Materials), Short Course “Fundamental and applications of carbon nanotube and graphene”, 2011/9/27-30 Nagoya</p> <p>[37] H. Ago, C. M. Orofeo, Y. Ogawa, B. Hu, Y. Ito, K. Kawahara, M. Tsuji, K. Ikeda, S. Mizuno, H. Hibino, “Epitaxial CVD growth of graphene and influence of domain structure on transport property”, SSDM2011(International Conference on Solid State Devices and Materials), 2011/9/27-30 Nagoya</p> <p>[38] 吾郷浩樹、“エレクトロニクス応用に向けたナノカーボンの創製”、第 2 回 有機分子・バイオエレクトロニクスの未来を拓く若手研究者討論会、2011/9/5-7 福岡、M&BE 分科会</p> <p>[39] 吾郷浩樹、“ヘテロエピタキシャル触媒上での単層グラフェンの大気圧 CVD 成長”、2011 年秋季 第 72 回 応用物理学会学術講演会 シンポジウム「グラフェンエピタキシーの現状と将来展望」、2011/8/29-9/2 山形、応用物理学会</p> <p>[40] H. Ago, “CVD-grown graphene: epitaxial growth, domain structure, and transport property”, Carbon Materials for Energy Devices and Environmental Protections (CSE2011), 2011/8/24-27 Korea</p> <p>[41] 吾郷浩樹、“グラフェンとナノチューブの エピタキシャル CVD 成長とその展開”、ニューカーボンフォーラム/炭素資源教育研究センター「産学交流会」、2011/7/8 福岡</p> <p>[42] 吾郷浩樹、“単層グラフェンのエピタキシャル CVD 成長”、SEMI Forum Japan 2011 応用物理学会関西支部主催セミナー「ーグラフェン研究の最前線ー」、2011/6/1 大</p> |
|--|---|

| | |
|--|--|
| | <p>阪、応用物理学会</p> <p>[43] 吾郷浩樹、“グラフェンの合成と電気・電子素子への応用”、日本学術振興会 第153委員会 第101回定例研究会、2011/5/23 東京</p> <p>学会発表等(80件):</p> <p>[1] 菅原健太, 江藤隆紀, 川崎鉄哉, M. B. Fussin, 若生洋由希, 末光哲也, 尾辻泰一, 吾郷浩樹, 河原憲治, 深田陽一, 可児淳一, 寺田純, 吉本直人、“グラフェンチャネル FET を用いたミリ波帯フォトミキシング”、第61回応用物理学会春季学術講演会、2014/3/17、神奈川</p> <p>[2] 若生洋由希, 菅原健太, 栗田祐記, 川崎鉄哉, 渡辺隆之, 佐藤昭, V. Ryzhii, 河原憲治, 吾郷浩樹, 尾辻泰一、“光励起グラフェンにおけるテラヘルツ帯増幅自然放出の観測”、第61回応用物理学会春季学術講演会、2014/3/17、神奈川</p> <p>[3] R. B. M. Yunus, M. Miyashita, M. Tsuji, H. Hibino, H. Ago、“CVD growth of graphene nanoribbons on Cu (100) film”、第46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、2014/3/5、東京</p> <p>[4] P. S. Fernandez, M. A. Bissett, M. Tsuji, H. Ago、“Controlled doping in densely aligned graphene nanoribbons by covalent functionalization”、第46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、2014/3/4、東京</p> <p>[5] 河原憲治, 祝迫佑, 辻正治, 吾郷浩樹、“ヘテロエピタキシャル Cu 上での mm サイズのグラフェン成長の CVD 成長”、第46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、2014/3/3、東京</p> <p>[6] S. Tanoue, K. Kawahara, M. Tsuji, H. Ago、“CVD Growth of bilayer graphene on heteroepitaxial Cu(111) film”、CSS-EEST15 (Cross Straits Symposium on Energy and Environmental Science and Technology)、2013/11/25、China</p> <p>[7] M. Z. Nursakinah, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Kawahara, H. Ago, K. Matsumoto、“CVD-synthesized graphene-FET array for biomolecule detection”、MNC 2013 (26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference)、2013/11/7、Hokkaido</p> <p>[8] 吾郷浩樹、“グラフェンの CVD 成長とその展開”、九州大学 最先端有機光エレクトロニクス研究センター セミナー、2013/11/10、福岡</p> <p>[9] Y. Ogawa, K. Kawahara, M. Miyashita, M. Tsuji, K. Komatsu, K. Tsukagoshi, H. Ago、“Transport properties and defects at the intersection of CVD graphene domains”、SSDM2013 (International Conference on Solid State Devices and Materials)、2013/9/26、Fukuoka、Young Researcher Award 受賞</p> <p>[10] H. Ago, K. Kawahara, Y. Ogawa, S. Tanoue, M.A. Bissett, M. Tsuji, H. Sakaguchi, R.J. Koch, F. Fromm, T. Seyller, K. Komatsu, K. Tsukagoshi、“Epitaxial growth and electronic properties of large hexagonal graphene domains on Cu(111) thin film”、SSDM2013 (International Conference on Solid State Devices and Materials)、2013/9/26、Fukuoka</p> <p>[11] M. A. Bissett, S. Okada, M. Tsuji, H. Ago、“Strain enhanced chemical reactivity of graphene”、2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Session C: Advanced Nano Carbon Devices and Materials、2013/9/20、Kyoto</p> <p>[12] Y. Ogawa, T. Niu, S. L. Wong, M. Tsuji, C. Wei, H. Ago、“Self-assembly of phthalocyanine molecules on CVD graphene”、2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Session C: Advanced Nano Carbon Devices and Materials、2013/9/19、Kyoto</p> <p>[13] R. B. M. Yunus, M. Miyashita, M. Tsuji, H. Hibino, H. Ago、“CVD growth of graphene nanoribbons on heteroepitaxial metal films”、2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Session C: Advanced Nano Carbon Devices and Materials、2013/9/18、Kyoto</p> <p>[14] S. Tanoue, K. Kawahara, M. Tsuji, H. Ago、“CVD Growth of bernal stacked bilayer graphene on heteroepitaxial Cu(111) film”、2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Session C: Advanced Nano Carbon Devices and Materials、2013/9/18、Kyoto</p> <p>[15] 竹崎悠一郎, 辻正治, 吾郷浩樹、“二成分金属触媒を用いたグラフェンの層数制御”、2013年秋季 第74回 応用物理学会学術講演会、2013/9/17、京都</p> <p>[16] M. A. Bissett, 小鍋哲, 岡田晋, 辻正治, 吾郷浩樹、“Effect of strain on chemical reactions on flexible graphene substrates”、2013年秋季 第74回 応用物理学会学術講演会、2013/9/16、京都、奨励賞受賞講演</p> |
|--|--|

| | |
|--|---|
| | <p>[17] Y. Ogawa, T. Niu, S. L. Wong, M. Tsuji, C. Wei, H. Ago, "Self-assembly of polar phthalocyanine molecules on CVD graphene", Recent Progress on Graphene Research (PGR2013), 2013/9/12, Tokyo</p> <p>[18] P. S. Fernandez, K. Yoshida, Y. Ogawa, M. Tsuji, H. Ago, "Densely packed and highly aligned graphene nanoribbons produced by substrate-controlled metal-assisted etching of graphene", Recent Progress on Graphene Research (PGR2013), 2013/9/12, Tokyo</p> <p>[19] H. Sugiyama, T. Watanabe, Y. Kurita, A. Satou, K. Kawahara, H. Ago, V. Ryzhii, T. Otsuji, "Observation of spontaneous terahertz emission from optically pumped graphene", Recent Progress on Graphene Research (PGR2013), 2013/9/12, Tokyo</p> <p>[20] M. A. Bissett, S. Konabe, S. Okada, M. Tsuji, H. Ago, "Modifying of chemical reactivity of graphene by mechanical strain", Recent Progress on Graphene Research (PGR2013), 2013/9/13, Tokyo</p> <p>[21] M. A. Bissett, S. Konabe, S. Okada, M. Tsuji, H. Ago, "Tuning the chemical reactivity of graphene by mechanical strain", 第 45 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、2013/8/7、大阪</p> <p>[22] 竹崎悠一郎, 辻正治, 吾郷浩樹, "二成分金属触媒によるグラフェンの層数制御", 第 45 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、2013/8/6、大阪</p> <p>[23] Y. Ogawa, K. Kawahara, M. Miyashita, M. Tsuji, K. Komatsu, K. Tsukagoshi, H. Ago, "Study on Domain Boundaries of Merged Hexagonal Domains in CVD Graphene", International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2013), 2013/7/3, Singapore</p> <p>[24] P. S. Fernandez, Y. Kayo, K. Yoshida, M. Tsuji, H. Ago, "Synthesis of densely aligned graphene nanoribbons produced by metal-assisted etching", International Symposium on Compound Semiconductors 2013 (ISCS2013), 2013/5/21, Kobe</p> <p>[25] H. Ago, K. Kawahara, Y. Ogawa, M. Tsuji, K. Komatsu, K. Tsukagoshi, "Epitaxial growth and transport study of large hexagonal graphene domains grown on heteroepitaxial Cu films", International Symposium on Compound Semiconductors 2013 (ISCS2013), 2013/5/20, Kobe</p> <p>[26] P. S. Fernandez, Y. Kayo, K. Yoshida, M. Tsuji, H. Ago, "Large-area synthesis of densely aligned graphene nanoribbons by metal-assisted etching", 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013/3/27、神奈川</p> <p>[27] M. A. Bissett, W. Izumida, R. Saito, M. Tsuji, H. Ago, "Investigation of mechanical strain of graphene by Raman spectroscopy", 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013/3/27、神奈川 *Poster Award、ならびに講演奨励賞を受賞</p> <p>[28] M. Z. Nursakinah, 大野恭秀, 岡本翔伍, 前橋兼三, 河原憲治, 吾郷浩樹, 松本和彦, "CVD 合成グラフェンを用いたセンサーアレー", 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013/3/27、神奈川</p> <p>[29] Zhenyao Tang, 吾郷浩樹, 河原憲治, 仕幸英治, 安藤裕一郎, 新庄輝也, 白石誠司, "Investigation of spin transport in single-layer graphene by using a dynamical method", 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013/3/27、神奈川</p> <p>[30] 小川友以, 河原憲治, 宮下雅大, 辻正治, 小松克伊, 塚越一仁, 吾郷浩樹, "エピタキシャル CVD グラフェンにおけるドメイン境界の特性評価", 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013/3/28、横浜</p> <p>[31] 吾郷浩樹, 宮下雅大, 田中伊豆美, 小川友以, 辻正治, "ヘテロエピタキシャル金属を用いた単層グラフェンナノリボンの触媒成長", "ヘテロエピタキシャル金属を用いた単層グラフェンナノリボンの触媒成長", 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013/3/30、神奈川</p> <p>[32] 日比野浩樹, 影島博之, 河原憲治, 吾郷浩樹, "SiC グラフェン上に CVD グラフェンを転写して作製した 2 層グラフェンの構造解析", 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、2013/3/30、神奈川</p> <p>[33] 田上翔太, 河原憲治, 辻正治, 吾郷浩樹, "ヘテロエピタキシャル Cu(111)上での Bernal 積層した二層グラフェンの CVD 成長", 第 44 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、2013/3/11、東京</p> <p>[34] Wanyin Ge, 河原憲治, 辻正治, 吾郷浩樹, "CVD グラフェン上での方向制御された NbS₂ ナノシートの合成", 第 44 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、2013/3/11、東京</p> |
|--|---|

| | |
|--|---|
| | <p>[35] M. A. Bissett, M. Tsuji, H. Ago, "Raman spectroscopy of mechanically strained chemically functionalized graphene", 第 44 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、2013/3/11、東京</p> <p>[36] 嘉陽安理, ソリス フェルナンデス パブロ, 吉田和真, 辻正治, 吾郷浩樹, "触媒カッティングを用いた高密度グラフェンナノリボンの作製", 第 44 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、2013/3/11、東京</p> <p>[37] 小川友以, 河原憲治, 宮下雅大, 辻正治, 小松克伊, 塚越一仁, 吾郷浩樹, "CVD グラフェンにおけるドメイン間のキャリア輸送特性", 第 44 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、2013/3/11、東京</p> <p>[38] 増田竜也, 河原憲治, 吾郷浩樹, 野田優, "基板対向 CVD 法による Cu 上でのグラフェンの指向性成長", 第 44 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、2013/3/11、東京</p> <p>[39] Y. Ogawa, K. Kawahara, M. Miyashita, M. Tsuji, K. Komatsu, K. Tsukagoshi, H. Ago, "Transport property of interface between domains in epitaxial CVD graphene", MANA International Symposium 2013, Tsukuba</p> <p>[40] Y. Ogawa, K. Kawahara, M. Miyashita, M. Tsuji, H. Ago, "Study on Interface between Graphene Domains Grown by Ambient-pressure CVD", MRS 2012 Fall Meeting, 2012/11/28, Boston</p> <p>[41] M. A. Bissett, W. Izumida, R. Saito, H. Ago, "Anomalous Raman behavior of CVD grown graphene under strain", MRS 2012 Fall Meeting, 2012/11/28, Boston</p> <p>[42] 吾郷浩樹, "高品質・大面積のグラフェン薄膜の製造方法", 九州大学 新技術説明会、2012/11/20、東京</p> <p>[43] M. A. Bissett, W. Izumida, R. Saito, H. Ago, "Investigation of biaxial strain on chemically functionalized graphene", IUMRS-ICEM 2012, 2012/9/24, Yokohama *Symposium Award (Award for Encouragement of Research in Materials Science)を受賞</p> <p>[44] Z. Y. Tang, H. Ago, E. Shikoh, Y. Ando, T. Shinjo, M. Shiraishi, "Spin-pumping-induced spin injection and spin transport in single layer graphene at room temperature", IUMRS-ICEM 2012, 2012/9/24, Yokohama</p> <p>[45] 赤瀬善太郎, 進藤大輔, 小川友以, 吾郷浩樹, "グラフェン転写膜の電子線ホログラフィー観察", 金属学会 2012 年秋期(第 151 回)大会、2012/9/17、愛媛</p> <p>[46] Zhenyao Tang, 吾郷浩樹, 河原憲治, 仕幸英治, 安藤裕一郎, 新庄輝也, 白石誠司, "Spin-pumping-induced spin transport in single layer graphene", 2012 年秋季 第 73 回 応用物理学会学術講演会、2012/9/11、愛媛</p> <p>[47] M. A. Bissett, 泉田渉, 齋藤理一郎, 吾郷浩樹, "Effect of mechanical strain on polycrystalline graphene", 第 43 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、2012/9/6、仙台</p> <p>[48] 小川友以, 河原憲治, 宮下雅大, 辻正治, 吾郷浩樹, "Cu 上の六角形グラフェンのドメイン境界の評価", 第 43 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、2012/9/7、仙台</p> <p>[49] 小川友以, 辻正治, 吾郷浩樹, "電子線レジストによる CVD グラフェンへのホールドーピング", 第 43 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、2012/9/7、仙台</p> <p>[50] T. Koyama, Y. Ito, K. Yoshida, H. Ago, A. Nakamura, "Dynamics of photoexcited carriers in monolayer epitaxial graphene probed by photoluminescence in the near-infrared region", 31st International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2012), 2012/8/2, Switzerland</p> <p>[51] 宮下雅大, 小川友以, 河原憲治, 辻正治, 吾郷浩樹, "CVD によるグラフェンリボンの直接成長", 第 49 回化学関連支部合同九州大会、2012/6/30、福岡</p> <p>[52] H. Ago, Y. Ogawa, M. Tsuji, "Research collaboration report: surface science in CVD graphene", 1st NUS-IMCE International Workshop, 2012/6/18, Fukuoka</p> <p>[53] 吾郷浩樹, "高品質グラフェンのエピタキシャル成長", 附置研究所間アライアンス ナノとマイクロをつなぐ物質・デバイス・システム創製戦略プロジェクト平成 23 年度成果報告会、2012/4/24、東京</p> <p>[54] 小山剛史, 伊藤由人, 吉田和真, 吾郷浩樹, 中村新男, "グラフェンのフェムト秒発光ダイナミクス", 物理学会 2012 年 年次大会、2012/3/24-27 大阪</p> <p>[55] 小川友以, 胡宝山, C. M. Orofeo, 辻正治, 池田賢一, 水野清義, 日比野浩樹, 吾郷浩樹, "ドメイン構造の異なる CVD グラフェンの成長とその特性", 2012 年春季 第 59 回応用物理学関係連合講演会、2012/3/15-18 東京</p> |
|--|---|

| | |
|--|---|
| | <p>[56] 河原憲治, 田上翔太, 小川友以, 辻正治, 吾郷浩樹, "ヘテロエピタキシャル銅薄膜上での単層グラフェンの成長—大ドメイン化と成長メカニズム—", 2012 年春季 第 59 回応用物理学関係連合講演会、2012/3/15-18 東京</p> <p>[57] 吉田和真, 辻正治, 吾郷浩樹, "高温下でのグラフェンと金属ナノ粒子の反応: 異方性エッチングとカーボンナノファイバー成長", 第 42 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、2012/3/6-8 東京</p> <p>[58] H. Ago, "Controlled growth of graphene and nanotubes for future carbon electronics", National University of Singapore, Department of Chemistry, Seminar, 2012/01/16 Singapore</p> <p>[59] Y. Ogawa, H. Ago, B. Hu, M. Tsuji, K. Ikeda, S. Mizuno, H. Hibino, "Crystalline plane-dependent domain structure of graphene over hetero-epitaxial Cu films", MRS 2011 Fall Meeting, 2011/11/28-12/2 Boston, USA</p> <p>[60] 近藤一彩, Carlo M. Orofeo, 吾郷浩樹, 水野清義, "大気圧 CVD により Cu 薄膜上に合成したグラフェンの低速電子回折による構造解析", 平成 23 年度応用物理学会九州支部学術講演会、2011/11/26-27 鹿児島</p> <p>[61] Y. Ogawa, B. Hu, C. M. Orofeo, M. Tsuji, K. Ikeda, S. Mizuno, H. Hibino, H. Ago, "Crystalline plane-dependent domain structure of graphene over hetero-epitaxial Cu films", CSS13 (The 13th Cross Straits Symposium on Materials, Energy, and Environmental Sciences), 2011/11/23-24 Fukuoka</p> <p>[62] K. Yoshida, M. Tsuji, H. Ago, "Metal-catalyzed anisotropic etching of CVD-grown graphene", CSS13 (The 13th Cross Straits Symposium on Materials, Energy, and Environmental Sciences), 2011/11/23-24 Fukuoka</p> <p>[63] K. Yoshida, H. Ago, M. Tsuji, "Metal-catalyzed anisotropic etching of CVD-grown graphene", International Workshop on Quantum Nanostructures and Nanoelectronics (QNN 2011), 2011/10/3-4 Tokyo</p> <p>[64] H. Ago, T. Ayagaki, Y. Ogawa, M. Tsuji, "Ultra-high vacuum-assisted control of metal nanoparticles for horizontally-aligned carbon nanotubes with uniform diameter", International Workshop on Quantum Nanostructures and Nanoelectronics (QNN 2011), 2011/10/3-4 Tokyo</p> <p>[65] K. Yoshida, H. Ago, M. Tsuji, "Metal-catalyzed anisotropic etching of CVD-grown graphene", The 3rd Asian Symposium on Advanced Materials (ASAM-3), 2011/9/19-22 Fukuoka</p> <p>[66] 小川友以, 吾郷浩樹, 胡宝山, 辻正治, 池田賢一, 水野清義, 日比野浩樹, "ヘテロエピタキシャル Cu 膜上に成長させた CVD グラフェンのドメイン構造", 第 42 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、2011/9/5-7 東京</p> <p>[67] 嘉陽安理, 吾郷浩樹, 辻正治, "スクラッチ法による高密度配向 SWNT 成長とメタン濃度依存性", 第 42 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、2011/9/5-7 東京</p> <p>[68] 吾郷浩樹, 綾垣喬史, 小川友以, 辻正治, "均一な直径を有する水平配向単層カーボンナノチューブの成長", 2011 年秋季 第 72 回 応用物理学会学術講演会、2011/8/29-9/2 山形</p> <p>[69] C. M. Orofeo, 吾郷浩樹, B. Hu, 伊藤由人, 辻正治, "アモルファス炭素からの大面積で均一な単層グラフェンの合成", 2011 年秋季 第 72 回 応用物理学会学術講演会、2011/8/29-9/2 山形</p> <p>[70] 小川友以, 吾郷浩樹, 胡宝山, 辻正治, 池田賢一, 水野清義, 日比野浩樹, "Cu の結晶面に依存した CVD グラフェンのドメイン構造", 2011 年秋季 第 72 回 応用物理学会学術講演会、2011/8/29-9/2 山形</p> <p>[71] H. Ago, Y. Ito, B. Hu, Y. Ogawa, C. M. Orofeo, K. Kawahara, M. Tsuji, K. Ikeda, S. Mizuno, H. Hibino, "Epitaxial CVD growth of single-layer graphene over metal films crystallized on sapphire and MgO", International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT11), 2011/7/11-16 Cambridge, UK</p> <p>[72] H. Ago, T. Ayagaki, Y. Ogawa, M. Tsuji, "Ultra-high vacuum-assisted control of</p> |
|--|---|

| | |
|-------------------|--|
| | <p>metal nanoparticles for horizontally-aligned single-walled carbon nanotubes with uniform diameter ", International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT11), 2011/7/11-16 Cambridge, UK</p> <p>[73] Y. Ogawa, H. Ago, B. Hu, M. Tsuji, K. Ikeda, S. Mizuno, H. Hibino, "Crystalline plane-dependent growth of single layer graphene over Cu films", 7th International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences-Green Materials for Sustainable Society -, 2011/6/23-24 Seoul, Korea</p> <p>[74] 林浩之, 河野正道, 吾郷浩樹, 生田竜也, 西山貴史, 高橋厚史, "顕微ラマン分光解析を組み合わせた SWNT 一本の伝導率の測定法", 日本伝熱学会創立 50 周年記念 第 48 回日本伝熱シンポジウム, 2011/6/1-3 岡山</p> <p>[75] C. M. Orofeo, H. Ago, Y. Ito, M. Tsuji, "Facile synthesis of large-area homogenous graphene films on cobalt and nickel", MRS 2011 Spring Meeting, 2011/4/25-29 San Francisco, USA</p> <p>[76] 吾郷浩樹 単層グラフェンのエピタキシャル CVD 成長 2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会 シンポジウム「グラフェンエピタキシーの現状と将来展望」、2011/03/24、神奈川</p> <p>[77] 吾郷浩樹 ナノエレクトロニクスを目指したグラフェンと単層ナノチューブの成長制御 九州シンクロトロン光研究センター SAGA-LS セミナー, 2011/03/23 、佐賀</p> <p>[78] 綾垣喬史, 吾郷浩樹, 辻正治 炭素源および成長温度が水平配向単層カーボンナノチューブの直径に与える影響 第 40 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 2011/3/8-10、名古屋</p> <p>[79] 小川友以, 吾郷浩樹, 辻正治 結晶性 Co ナノ粒子のエピタキシャル成長とナノチューブ触媒への応用 第 40 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 2011/3/8-10、名古屋</p> <p>[80] 吾郷浩樹, 伊藤由人, 胡宝山, C. M. Orofeo, 辻正治, 水田典章, 池田賢一, 水野清義 サファイア上で結晶化した金属触媒上での単層グラフェンのエピタキシャル CVD 成長 第 40 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 2011/3/8-10、名古屋</p> <p>一般向け 計5件</p> <p>[1] 吾郷浩樹, "グラフェンのマテリアルサイエンスと将来展望", 島根県産業技術センター 第 27 回先端科学技術講演会, 2014/1/24、島根</p> <p>[2] 吾郷浩樹, "グラフェンのマテリアルサイエンスと将来展望", 「グリーン/センシングテクノロジーの現状と将来展望」、2013/12/17、東京</p> <p>[3] 吾郷浩樹, "グラフェンの成長制御と加工プロセスを通じたカーボンエレクトロニクスへの展開", 九州大学高等研究院 若手研究者交流ワークショップ, 2013/01/21、福岡</p> <p>[4] 吾郷浩樹, "新たな炭素の世界(カーボンナノチューブとグラフェン)~透明・柔軟で高性能なエレクトロニクスに向けて~", 九州大学大学院総合理工学府 公開講座, 2012/8/25、福岡</p> <p>[5] 吾郷浩樹, "炭素が拓く新たな世界", 東進ハイスクール 大学学部研究会, 2012/8/22、東京</p> |
| <p>図書 計4件</p> | <p>[1] 吾郷浩樹 "エレクトロニクス応用を目指した CVD 成長-ヘテロエピタキシャル触媒によるグラフェンの高品質化-" 「グラフェンの最先端技術と拡がる応用展望」, (株)フロンティア出版, 2012, 242 頁(分担 12 頁)</p> <p>[2] 小川友以, 吾郷浩樹 "CVD 法によるグラフェンの合成技術" 「2013 ナノカーボン技術大全」, (株)電子ジャーナル, 80-83, 2012, 250 頁(分担 4 頁)</p> <p>[3] 吾郷浩樹 "水平配向 SWNT"</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>「カーボンナノチューブ・グラフェンハンドブック」, コロナ社, 2011.8</p> <p>[4] 吾郷浩樹 “基礎編 大環状芳香族分子” 「炭素学」, 化学同人, 2011.6</p> |
| <p>産業財産権 出願・取得 状況</p> <p>計2件</p> | <p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計2件</p> <p>[1] METHOD FOR PRODUCING GRAPHENE NANORIBBON AND GRAPHENE NANORIBBON 出願番号: US 61/774846, 出願日: 2013.3.8, 発明者: 吾郷浩樹、宮下雅大、田中伊豆美、小川友以、辻正治、出願人: 国立大学法人九州大学、権利者: 九州大学</p> <p>[2] グラフェン薄膜の製造方法およびグラフェン薄膜、(発明人) 吾郷浩樹、田上翔太、河原憲治、辻正治、(出願人) 九州大学、特願2012-042115、2012/2/28、国内</p> |
| <p>Webページ (URL)</p> | <p>研究グループ HP http://ago.cm.kyushu-u.ac.jp/</p> <p>最先端・次世代 HP http://nano.cm.kyushu-u.ac.jp/ago/index-next.html</p> |
| <p>国民との科 学・技術対 話の実施状 況</p> | <p>[1] 九州大学筑紫地区オープンキャンパスにおいて、「ノーベル賞の新材料！グラフェン作りに挑戦」という題目でグラフェンの剥離の実験を体験する催し物を行い、グラフェン研究に関して理解を広げた(2013/5/11、九州大学筑紫キャンパス)。</p> <p>[2] 大学のホームページで本プログラムの内容を公開し、研究目的・内容の情報発信を行った。</p> <p>[3] 東進ハイスクール主催の大学学部研究会において、「炭素が拓く新たな世界」と題して、ナノカーボンの新たな可能性や魅力、および大学における研究や勉強について講演を行った(2012/8/22、東京国際フォーラム、主に高校生、90名)</p> <p>[4] 九州大学大学院総合理工学府 公開講座において、「新たな炭素の世界(カーボンナノチューブとグラフェン)～透明・柔軟で高性能なエレクトロニクスに向けて～」と題して、ナノカーボンの新たな可能性や魅力について講演を行った(2012/8/25、九州大学筑紫キャンパス、一般参加者、43名)。</p> <p>[5] 九州大学高等研究院若手研究者交流セミナーにおいて、「グラフェンの成長制御と加工プロセスを通じたカーボンエレクトロニクスへの展開」と題して、最先端・次世代研究開発支援プログラムでの研究内容やその目的や成果について講演を行った(2013/1/21、九州大学筑紫キャンパス、研究者および一般参加者、約25名)。</p> <p>[6] 九州大学筑紫地区オープンキャンパスにおいて、「ノーベル賞の新材料！グラフェン作りに挑戦」という題目でグラフェンの剥離の実験を体験する催し物を行い、グラフェン研究に関して理解を広げた(2012/5/26、九州大学筑紫キャンパス)。</p> <p>[7] 九州大学百年祭において、本プログラムの研究内容を紹介するパネルを展示し、研究目的・内容の情報発信を行った(2012/5/13、九州大学伊都キャンパス)。</p> <p>[8] 九州大学の最先端・次世代研究開発支援プログラム研究発表会にてポスター発表を行った平成24年2月28日、一般対象、参加者数約100名</p> <p>[9] 九州大学のWEBサイトの中に、特色ある研究の取り組みとして、本プログラムの内容を公開し、研究目的・研究内容の情報発信を行った。</p> |
| <p>新聞・一般 雑誌等掲載 計1件</p> | <p>日経エレクトロニクス(2014年2月号)の特集記事(炭素から新産業)において、当グループがインタビューを受け、グラフェンに関する研究内容が同雑誌で紹介された。</p> |
| <p>その他</p> | |

様式21

7. その他特記事項