

<b>研究概要</b>					
(1) 研究目的等					
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;">                     新学術 (計画・新規) - 2、3 (研究目的)、6 (今回の研究計画を実施するに当たっての準備状況及び研究成果を社会・国民に発信する方法)、7 (これまでに受けた研究費とその成果等) の内容を簡潔にまとめて記述してください。                 </div>					
<p><b>研究目標：高品質グラフェンの新しい合成手法を確立することを主要な目標とする。</b>                      期間前半は各研究分担者の独自の合成法の開発を押し進める。(1)化学気相蒸着 (CVD) 法による大面積化 (10cm 直径)、(2)SiC 熱分解法によるウェーハサイズの大面積化、(3)化学剥離法による低欠陥の良質試料作製と基板上での、「その場合合成」、(4)ナノチューブ空間利用または(5)有機合成法によるグラフェンリボンの化学合成法を確立する。各グループで得られた試料は物性班、応用班に提供し、グラフェンのより優れた特性の評価とデバイス化に協力し、また、<u>その結果をフィードバックすることにより、国際的に充分競争力を有する高品質グラフェン及び新規原子層構造の合成を実現する。</u></p> <p><b>準備状況：</b>研究代表者・研究分担者はこれまでカーボンナノチューブ研究で大きな成果を上げてきたメンバーで主に構成されており、基本的な研究基盤は整っている。グラフェン研究においても精力的な研究を開始しており、本研究課題での横断的共同研究にてよって、グラフェン研究を加速させる。</p> <p><b>発信方法：</b>これまでの研究成果は、論文、国際会議、また学会のシンポジウム・研究会を開催することで、社会に発信する。</p> <p><b>これまでにうけた研究費と成果：</b>研究代表者は、JST の CREST の研究費、NEDO 委託研究費を受けた。SiC 表面分解法による高配向カーボンナノチューブ、グラフェンの構造制御との成長メカニズムにおいて成果を上げている。(発表論文 79 報、特許 40 件)</p>					
(2) 研究計画・方法					
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;">                     新学術 (計画・新規) - 4、5 (研究計画・方法) の内容を簡潔にまとめて記述してください。                 </div>					
<p><b>平成 25 年度：</b>領域全体の研究を効率的に進めるため、本研究に用いる試料を合成する装置は初年度を中心に導入し、合成の基盤拡充を行う。合成班として以下のことを行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) SiC を熱処理する方法。</li> <li>(2) 酸化グラフェンの新しい還元法による無転写グラフェン成長と窒素ドーピング。</li> <li>(3) CVD 法、エッチング析出法による誘電体上グラフェン直接形成。</li> <li>(4) アルコールを炭素元とする低圧 CVD 法。</li> <li>(5) ナノチューブの内側の空間で有機分子を重合する方法。</li> <li>(6) 有機合成的にビルドアップ合成する方法によってグラフェン (リボン) を作製。</li> </ol> <p>合成班を構成するメンバーはそれぞれ独自の合成方法を有し、高い技術と解析能力を持つ。理論班を交えた領域内会議を通し、情報交換を密に行うことにより、短期間での合成法確立を目指し、物性班、応用班に試料の提供を行う。</p> <p><b>平成 26 年度以降：</b>それぞれの研究分担目標を遂行すべく、合成技術の精度を上げることに注力する。また、グラフェンの結果をもとに、h-BN、MoS<sub>2</sub> などカーボン以外の原子層構造を有する物質の探索と大面積化に着手し、新たな原子層の可能性を模索する。</p>					
領域略称名	原子層	研究機関名	名古屋大学	研究代表者氏名	楠 美智子

## 研究目的

本欄には、研究の全体構想及びその中で本研究の具体的な目的について、適宜文献を引用しつつ記述し、特に次の点については、焦点を絞り、具体的かつ明確に記述してください（記述に当たっては「科学研究費補助金（新学術領域研究）の審査要綱」を参考にしてください）。

- ①研究の学術的背景（本研究に関連する国内・国外の研究動向及び位置づけ、応募者のこれまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯、これまでの研究成果を進展させる場合にはその内容等）
- ②研究期間内に、何をどこまで明らかにしようとするのか
- ③領域内での研究の有機的な結合により、新たな研究の創造が期待できる点
- ④当該分野におけるこの研究(計画)の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義
- ⑤平成25年度において継続して科研費又は科研費以外の研究費(府省・地方公共団体・研究助成法人・民間企業等からの研究費)の助成を受ける予定がある場合は、当該継続研究課題と本研究課題との相違点

**研究の学術的背景：**フラーレン・ナノチューブの長期に渡るハイポテンシャルな研究を受けて、2004年にNovoselovらによるグラフェンの研究は世界的に広がった。グラフェンの示す電氣的・熱的・機械的特性は他の材料を凌駕するものであり、目前の限界に直面するSi半導体産業とそのまま入れ替えることが可能な潜在性を秘めている。研究当初はグラファイト結晶からの剥離法による試料を用いて始まったが、近年では、SiC上グラフェンによる電界効果トランジスタの高周波特性が注目され、遮断周波数が210GHzに達すると報告されており、集積回路の作製とその動作にも成功している。今後、工業化に繋げるためにはグラフェンの大面積・高品質化を実現する合成技術の確立がグラフェンの重要な課題である。さらに、エネルギーギャップの発現に向けた、ナノリボン化、端の構造制御、ヘテロ原子のドーピングによる電子変調、等の高機能化の実現が不可欠となる。既に、良質グラフェンの合成技術に関しても世界的に熾烈な競争が繰り広げられており、国内においても、これまでに培われた様々な合成技術を結集して、互いに共同し、また刺激し合うことで、革新的・高品質グラフェン合成を実現する必要に迫られている。

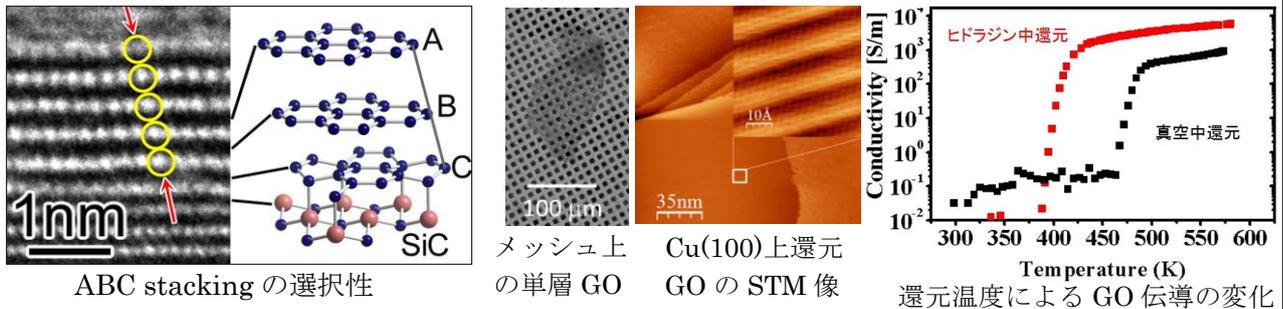
**何をどこまで明らかにするか？：**合成班として、研究代表者と5名の研究分担者がそれぞれの独自の研究技術・合成技術を持ち寄って、綿密に情報交換して行く中で、国際的にも価値のある高品質・高機能グラフェンの合成技術を確立し、その評価も積極的に進める。得られた成果は、論文投稿、学会・国際会議に果敢に発表しつつ、プロジェクト前半までに、理論班の助けを借りながら合成技術に目途をつける。その後、物性班、応用班にサンプル提供することにより、本学術領域研究の統合的研究に貢献する。

**研究の有機的な結合により新たな研究の創造が期待できる点：**グラフェンの合成技術はこれまで剥離法（物理的、化学的）、SiC熱分解法、化学気相蒸着（CVD）法、有機合成法と様々な合成法が報告され、それぞれがその特徴を生かした手法の開発に凌ぎを削っている。それぞれの合成プロセスは全く異なるものであるが、例えばSiC熱分解におけるグラフェン/SiC界面構造とCVD法における触媒金属とグラフェンの界面構造は原子レベルにおいて本質的に共通する要素を含む。しかしながら、これまでは単一の研究室の得意な手法に拘る余り、断片的な知識の積み重ねに陥りやすかった。大面積かつ良質・高機能グラフェンの合成を達成すると言う共通の目標に向け、独自の手法を維持しつつ、全く異なる手法の発想を共有することにより研究者同士が有機的関係を築くことは、国際競争力のある成果に繋げる効果を期待できる。

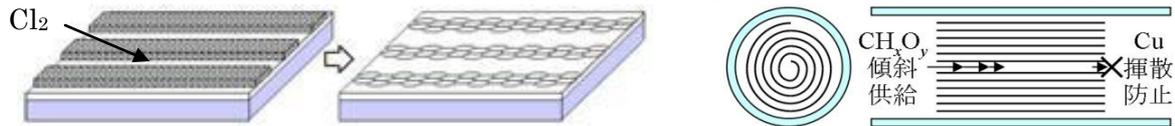
**学術的な特色：**研究代表者と5名の研究分担者及び2名の連携研究者から構成される合成班は、すでに独自のグラフェン合成技術の基盤を確立しつつあり、本プロジェクトにおいてそれぞれの技術・情報を有機的に結集する。各々の技術は全く異なる手法を取るが、得られる物質は実にシンプルな構造を有する原子層であるところが、グラフェン合成研究の妙である。以下にそれぞれの研究分担者の研究内容の特色を述べる。

研究目的（つづき）

- (1) 研究代表者・楠は、平滑 SiC(0001)面基板上に ABC 積層グラフェンが均一・選択的に形成されることを HR-TEM 観察により発見した。大面積化によりゲート電圧誘起によるバンドギャップ制御・新規磁性発現が期待される。
- (2) 研究分担者・斉木は大きさ約 200  $\mu\text{m}$  以上の単層酸化グラフェン(GO)の還元反応による大量合成法を実現し、新たな還元法の開発、還元過程におけるヘテロ原子ドーピングを追究している。位置を制御した窒素ドーピンググラフェンは新規触媒活性が期待される。

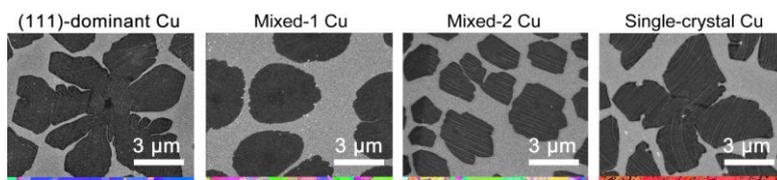


- (3) 研究分担者・野田は、CVD 法によるグラフェン合成の実用技術を開発する。誘電体/絶縁体基板上に炭素・金属混合膜を形成し、加熱状態で  $\text{Cl}_2$  を流すと金属が除去され、グラフェンのみが基板に残る(a)。CVD 法にて基板を対向配置すると、Cu 触媒の揮散を抑えグラフェンの膜質を向上し、多数枚同時処理もできる。これらの独自技術を仕上げる。

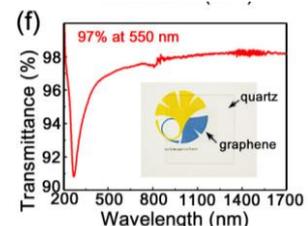


(a) エッチング析出法：誘電体上グラフェン形成 (b) 対向配置 CVD 法：大面積化と質向上の両立

- (4) 研究分担者・丸山はアルコールを炭素源とする低圧 CVD 法によって、銅や Ni 箔膜上に単結晶サイズが大きく、かつ大面積の単層・2層グラフェンの合成を進める。

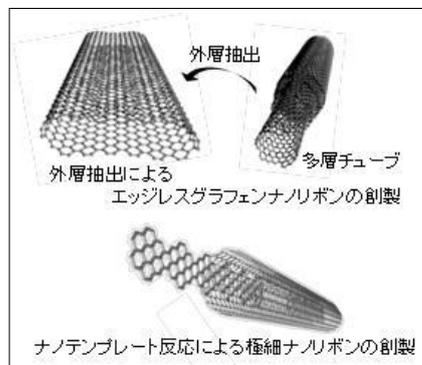


銅箔上の単結晶グラフェン合成過程

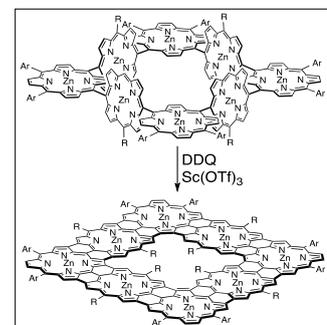


センチメートルサイズの単層グラフェン合成

- (5) 研究分担者・北浦は、多成分 CVD 法およびカーボンナノチューブの内部空間を巧みに利用した合成法という点に特色を持ち、新奇原子層物質の探索を行う。



ナノテンプレート反応による極細ナリボンの創製



巨大原子層分子を合成

- (6) 研究分担者・依光は研究グループで唯一の有機合成化学者であり、大型  $\pi$  共役系分子を化学結合で縦横に配置し、これを共平面化することで、巨大原子層分子を精密合成する。

領域略称名	原子層	研究機関名	名古屋大学	研究代表者氏名	楠 美智子
-------	-----	-------	-------	---------	-------

## 研究計画・方法

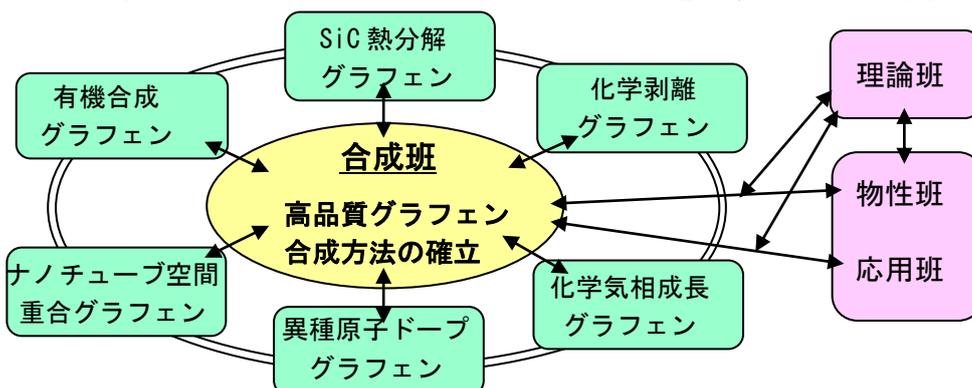
本欄には、研究目的を達成するための具体的な研究計画・方法について、平成25年度の計画と平成26年度以降の計画に分けて、適宜文献を引用しつつ焦点を絞り、具体的かつ明確に記述してください。ここでは、研究が当初計画どおりに進まない時の対応など、多方面からの検討状況について述べるとともに、研究計画を遂行するための研究体制について、研究分担者ともに行う研究計画である場合は、研究代表者、研究分担者の具体的な役割（図表を用いる等）、学術的観点からの研究組織の必要性・妥当性及び研究目的との関連性についても記述してください。

また、研究体制の全体像を明らかにするため、連携研究者及び研究協力者（海外共同研究者、科研費への応募資格を有しない企業の研究者、大学院生等（氏名、員数を記入することも可））の役割についても必要に応じて記述してください。

なお、研究期間の途中で研究環境が大きく変わる場合は、研究実施場所の確保や研究実施方法等についても記述してください。

**平成25年度の研究計画：**主な設備導入・立ち上げを行い、装置の試験運転、調整、最適化を各研究グループで進める。平成25年度作製試料はグラフェンを中心に行う。合成班の具体的研究計画を下記に示す。

- (1) SiC-Si、C 平滑面上への ABC 積層グラフェン、原子層がねじれて積層したグラフェン成長機構解明と、ウェーハサイズ膜作製。また均一グラフェンへの軽元素ドーピングによる新機能発現。精密合成したグラフェンを物性班、応用班に提供し、輸送・超伝導特性等の評価・デバイスの試作に協力する。(楠 美智子)
- (2) 酸化グラフェンを始めとする化学修飾グラフェンの合成法とその還元法の最適化。1mm 以上の大きさを持つグラフェンの大量合成法を開拓する。還元時のヘテロ原子ドーピング法を探索して、グラフェン電子状態の変調を目指す。還元度、ドーピング量で伝導特性を制御した化学剥離試料を物性班、応用班へ提供し、透明電極を用いた素子形成と評価に協力する。化学剥離法の他の層状構造物質への適用に取り組む。(斉木 幸一郎)
- (3) 独自のエッチング・析出法では、SiO<sub>2</sub> 上に 1 cm スケールで 6~7 層グラフェンの均一形成を実現しているが、大面積化とグラフェンパターン形成に取り組む。独自の基板対向 CVD 法では、Cu 触媒の揮散抑制と基板端からのグラフェン横方向成長に成功しているが、基板スケールでの合成と多数枚同時処理に取り組む。これらグラフェンの合成・基礎特性評価を行うとともに、物性班・応用班への試料提供を行う。(野田 優)
- (4) 高品質・単結晶グラフェンの CVD 合成では、低圧のアルコール蒸気を用いた CVD によって、単結晶グラフェンの成長プロセスを解明し、グレインサイズが大きく、かつ 1cm スケールの単層グラフェン膜を合成する。また、ラマン分光をはじめとした光学評価に取り組み、物性・応用班との共同研究を進める。(丸山 茂夫)
- (5) リボン幅、エッジ構造、異原子ドーピングを自在に制御したグラフェンナノリボン、及びグラフェンと六方晶窒化ホウ素シートとのナノ接合体などの先端的原子層関連物質の高品質・高効率合成法を確立する。新規手法によって合成した高品質試料を他の計画班へ提供し、電子、光物性の解明と電子デバイス応用の可能性を探る。(北浦 良)
- (6) ポルフィリンやアントラセンなどの多環芳香族分子の集積した前駆体を設計・合成し、これを縮環共平面化することでグラフェンならびにヘテロ原子含有グラフェンを効率よく精密合成する。精密合成したグラフェン類は物性・応用班へ供給する。(依光 英樹)



研究計画・方法（つづき）

**平成26年度以降の研究計画：**

初年度の結果を踏まえ、それぞれの研究分担目標を遂行すべく、合成技術の精度を上げることに注力する。また、グラフェン合成法の確立を通して獲得した種々の CVD 法を始めとする要素技術を、種々の原子層物質へ積極的に適用する。まずは代表的な絶縁体原子層物質である h-BN、半導体原子層物質である MoS<sub>2</sub> を対象とし、これらの大面積、高結晶性化を行う。同時に2年目において得られてきた成果を元に合成メンバー間で活発に情報交換を行い、さらに理論班と共同して、新規機能の発掘を探求する。

また、平成26年以降は物性班、応用班への試料提供を積極的に推し進め、特性の向上、デバイス試作のための共同作業を計画的に進める。以下に各研究者の分野と主な役割を示す。

楠 美智子	材料科学	研究代表者	研究総括と大面積グラフェン合成
斉木幸一朗	表面科学	研究分担者	化学剥離原子層、ヘテロ原子ドープ
野田 優	化学工学	研究分担者	エッチング析出法、基板対向 CVD 法
丸山 茂夫	機械工学	研究分担者	アルコール CVD 法開発
北浦 良	物質科学	研究分担者	多成分 CVD 法、分子接合体合成
依光 英樹	有機化学	研究分担者	原子層分子有機合成
篠原 久典	物理化学	連携研究者	ナノリボン制御法
大野 雄高	電子工学	連携研究者	試料特性評価

**人権の保護及び法令等の遵守への対応**（公募要領4頁参照）

本欄には、研究計画を遂行するに当たって、相手方の同意・協力を必要とする研究、個人情報の取り扱いの配慮を必要とする研究、生命倫理・安全対策に対する取組を必要とする研究など法令等に基づく手続きが必要な研究が含まれている場合に、どのような対策と措置を講じるのか記述してください。

例えば、個人情報を伴うアンケート調査・インタビュー調査、提供を受けた試料の使用、ヒト遺伝子解析研究、組換えDNA実験、動物実験など、研究機関内外の倫理委員会等における承認手続きが必要となる調査・研究・実験などが対象となります。

なお、該当しない場合には、その旨記述してください。

該当する項目はない。

領域略称名	原子層	研究機関名	名古屋大学	研究代表者氏名	楠 美智子
-------	-----	-------	-------	---------	-------

## 今回の研究計画を実施するに当たっての準備状況及び研究成果を社会・国民に発信する方法

- 本欄には、次の点について、焦点を絞り、具体的かつ明確に記述してください。
- ①本研究を実施するために使用する研究施設・設備・研究資料等、現在の研究環境の状況
  - ②研究分担者がいる場合には、その者との連絡調整の状況など、研究着手に向けての状況（連携研究者及び研究協力者がいる場合についても必要に応じて記述してください。）
  - ③本研究の研究成果を社会・国民に発信する方法等

### 現在の研究環境の状況：

研究代表者・楠は、特に SiC 基板上良質グラフェンの合成にいち早く着手し、高分解能電子顕微鏡により、その結晶構造解析・生成メカニズムの解析を遂行する基本的な環境と技術を整えている。本プロジェクトでは、ウェーハサイズのグラフェン合成実現のための、超高真空高温加熱炉の新規導入が不可欠である。

各研究分担者は既にグラフェン研究で高い成果を挙げているメンバーで構成されている。従って、各研究分担者は既に保有する装置を有効に使うとともに、大面積化・均一化・高機能化を進めるための新規装置の導入を進める必要がある。

齊木は、試料評価のための顕微ラマン分光装置、プラズマ CVD 装置を保有するが、H25 年に結晶方位解析装置を既存の SEM に取り付けて、酸化グラフェン還元効果の基板金属面方位依存性を評価し、より伝導度の高い化学剥離グラフェン合成法を確立する。

野田は、スパッタ装置、エッチング析出法装置、CVD 装置、顕微レーザーラマン分光装置、走査プローブ顕微鏡、電子顕微鏡ナノプローブシステムをすでに保有するので、現有装置とその改造によりグラフェン合成の改良を進め、試料を 3 cm サイズで提供する。

丸山は、CVD 装置、スパッタ装置、顕微ラマン分光装置、紫外可視分光光度計、SEM、AFM を保有しており、CVD 装置の改造とラマン分光装置の改良をおこなって、さらに大面積かつグレインサイズの大きなグラフェンの合成を進める。

北浦は、TEM、UHV-STM、AFM、STM、各種 CVD 装置、顕微ラマン分光計を保有しており、現有の CVD 装置の増設と改良を行うことで、原子層物質ナノ接合体、グラフェンナノメッシュ・ナノリボンを対象に合成の効率的な最適化を行うことができる。

依光は、NMR、紫外可視分光光度計、蛍光分光光度計、赤外分光光度計、X 線結晶構造解析装置、分子軌道計算用計算機、GPC-HPLC と設備関係は充足しているため、プロジェクト内の横断的共同研究に参加することで、新たな成果を得る。

**研究分担者の連絡調整の状況：**研究分担者、連携研究者とは、普段から学会・研究会等を通じて親しく議論の場を共有している。電子メールを通じて研究の計画、および合成班の運営と役割分担に関して、詳細に検討がなされている。各計画研究内の連絡および、研究の着手における諸問題に関しても検討がされており、領域計画を作る際、スムーズな協力体制が構築されており、事前の連絡調整は非常に緊密に行われている。それぞれ、これまでにプロジェクトの運営を経験してきており、共同研究による相乗効果の意義を十分理解している。

### 本研究成果を社会・国民に発信する方法：

情報発信は、論文、学会、国際会議における科学的成果の積極的発信を中心に行うとともに、広く社会・国民に理解を求めるための新聞・報道を活用した情報発信に努める。ニュース性の高い発見、新技術の展開については適時にニュースリリースを行い、かつ領域 Web 頁を活用する。研究会やシンポジウムは公開とし、科研費の活動を理解できる機会を提供する。

# 研究業績

本欄には、研究代表者及び研究分担者がこれまでに発表した論文、著書、産業財産権等、招待講演のうち、本研究に関連する重要なものを選定し、現在から順に発表年次を過去にさかのぼり、発表年（暦年）毎に線を引いて区別（線は移動可）し、通し番号を付して記入してください。なお、学術誌へ投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限りです。

また、必要に応じて、連携研究者の研究業績についても記入することができます。記入する場合には、二重線を引いて区別（二重線は移動可）し、研究者毎に、現在から順に発表年次を過去にさかのぼり記入してください（発表年毎に線を引く必要はありません。）。

なお、研究業績については、主に2008年以降の業績を中心に記入してください。それ以前の業績でも本研究に深く関わるものについては記入しても構いませんが、3頁以内で記入してください。

<p>発表年</p> <p>研究代表者・分担者氏名</p>	<p>発 表 論 文 名 ・ 著 書 名 等</p> <p>(例えば発表論文の場合、論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください。)</p> <p>(以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。著者名が多数にわたる場合は、主な著者を数名記入し以下を省略(省略する場合、その員数と、掲載されている順番を○番目と記入)しても可。なお、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付してください。また、corresponding author には左に*印を付してください。)</p>
<p>2012 以降</p> <p>楠 美智子</p> <p>斉木 幸一朗</p> <p>野田 優</p> <p>丸山 茂夫</p> <p>北浦 良</p> <p>依光 英樹</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. High-quality graphene on SiC(000-1) formed through an epitaxial TiC layer, K. Kimura, K. Shoji, Y. Yamamoto, W. Norimatsu, and *<u>M. Kusunoki</u>, Phys. Rev. B, 87, 075431 (2013). (査読有)</li> <li>2. Epitaxial growth of boron-doped graphene by thermal decomposition of B<sub>4</sub>C, *W. Norimatsu, K. Hirata, Y. Yamamoto, S. Arai, and <u>M. Kusunoki</u>, J. Phys.: Condens. Matter, 24, 314207 (2012). (査読有)</li> <li>3. Electrical and Spectroscopic Investigations on the Reduction Mechanism of Graphene Oxide, S. Obata, H. Tanaka, and *<u>K. Saiki</u>, Carbon, 55, 126-133 (2013). (査読有)</li> <li>4. Electronic Structure and Graphenization of Hexaphenylborazine, G. Imamura, C. Chang, Y. Nabae, M. Kakimoto, S. Miyata, and *<u>K. Saiki</u>, J. Phys. Chem. C, 116, 16305-16310 (2012). (査読有)</li> <li>5. Cold-gas chemical vapor deposition to identify the key precursor for rapidly growing vertically-aligned single-wall and few-wall carbon nanotubes from pyrolyzed ethanol, H. Sugime, and *<u>S. Noda</u>, Carbon, 50, 2953-2960 (2012). (査読有)</li> <li>6. One second growth of carbon nanotube arrays on a glass substrate by pulsed-current heating, K. Sekiguchi, K. Furuichi, Y. Shiratori, and *<u>S. Noda</u>, Carbon, 50, 2110-2118 (2012). (査読有)</li> <li>7. Reversible diameter modulation of single-walled carbon nanotubes by acetonitrile-containing feedstock, T. Thurakitseree, C. Kramberger, A. Kumamoto, S. Chiashi, E. Einarsson, and *<u>S. Maruyama</u>, ACS Nano, in press, (2013).</li> <li>8. Diameter Modulation of Vertically Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes, R. Xiang, E. Einarsson, Y. Murakami, J. Shiomi, S. Chiashi, Z.-K. Tang, and *<u>S. Maruyama</u>, ACS Nano, 6, 7472-7479 (2012). (査読有)</li> <li>9. Thin single-wall BN-nanotubes formed inside carbon nanotubes, R. Nakanishi, *<u>R. Kitaura</u>, J. Warner, Y. Yamamoto, S. Arai, Y. Miyata, and *<u>H. Shinohara</u>, Scientific Reports, 3, 1385-1-6 (2013). (査読有)</li> <li>10. Preparation and Observation of an Atomic Layer of Gold Formed on the Surface of Graphene, Y. Sasaki, *<u>R. Kitaura</u>, Y. Yamamoto, S. Arai, S. Suzuki, Y. Miyata, and *<u>H. Shinohara</u>, Appl. Phys. Exp., 5, 065103-1-3 (2012). (査読有)</li> <li>11. Preferential Formation of Cyclic Trimers by Palladium-Catalyzed Oxidative Coupling of 2,18-Diethynylporphyrins, S. Tokuji, *<u>H. Yorimitsu</u>, *A. Osuka, Angew. Chem. Int. Ed. 51, 12357-12361 (2012). (査読有)</li> <li>12. Synthesis of a Library of Fluorescent 2-Aryl-3-trifluoromethylnaphthofurans from Naphthols by Using a Sequential Pummerer Annulation/Cross-coupling Strategy and Their Photophysical Properties, Y. Ookubo, A. Wakamiya, *<u>H. Yorimitsu</u>, and A. Osuka, Chem. Eur. J., 17, 12690-12697 (2012). (査読有)</li> </ol>
<p>2011</p> <p>楠 美智子</p> <p>斉木 幸一朗</p> <p>野田 優</p> <p>丸山茂夫</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>13. Formation mechanism of graphene layers on SiC (000-1) in a high-pressure argon atmosphere, *W. Norimatsu, J. Takada, and <u>M. Kusunoki</u>, Phys. Rev. B, 84, 035424-1-6 (2011). (査読有)</li> <li>14. Chemical state analysis of Si-doped CNT on SiC by hard x-ray photoelectron spectroscopy, *J. Y. Son, M. Machida, H. Oji, Y. Watanabe, T. Maruyama, W. Norimatsu, and <u>M. Kusunoki</u>, e-J. Surf. Sci. Nanotech., 9, 54-57 (2011). (査読有).</li> <li>15. Synthesis of Nitrogen-Doped Graphene on Pt(111) by Chemical Vapor Deposition, G. Imamura and *<u>K. Saiki</u>, J. Phys. Chem. C, 115, 10000-10005 (2011). (査読有)</li> <li>16. Conductive atomic force microscopy of chemically synthesized graphene oxide and interlayer conduction, Y. Kanamori, S. Obata, and *<u>K. Saiki</u>, Chem. Lett., 40, 255-257 (2011). (査読有)</li> <li>17. Moderating carbon supply and suppressing Ostwald ripening of catalyst particles to produce 4.5-mm-tall single-walled carbon nanotube forests, K. Hasegawa, and *<u>S. Noda</u>, Carbon, 49, 4497-4504 (2011). (査読有)</li> <li>18. Millimeter-tall single-walled carbon nanotubes rapidly grown with and without water, K. Hasegawa, and *<u>S. Noda</u>, ACS Nano, 5, 975-984 (2011). (査読有).</li> <li>19. Isotope-induced elastic scattering of optical phonons in individual suspended single-walled carbon nanotubes, P. Zhao, E. Einarsson, R. Xiang, Y. Murakami, S. Chiashi, J. Shiomi, and *<u>S. Maruyama</u>, Appl. Phys. Lett., 99, 093104-1-3 (2011). (査読有)</li> </ol>

<p>北浦 良</p> <p>依光 英樹</p>	<p>有)</p> <p>20. Facile fabrication of all-SWNT field-effect transistors, S. Aikawa, R. Xiang, E. Einarsson, S. Chiashi, J. Shiomi, E. Nishikawa, and *S. Maruyama, Nano Res., 4, 580-588 (2011). (査読有)</p> <p>21. Direct HRTEM Observation of Ultrathin Freestanding Ionic Liquid Film on Carbon Nanotube Grid, S. Chen, K. Kobayashi, R. Kitaura, Y. Miyata, H. Shinohara*, ACS Nano, 5, 4902-4908 (2011). (査読有)</p> <p>22. Templating rare-earth hybridization via ultrahigh vacuum annealing of ErCl<sub>3</sub> nanowires inside carbon nanotubes, P. Ayala, R. Kitaura, R. Nakanishi, H. Shiozawa, D. Ogawa, P. Hoffmann, *H. Shinohara, and T. Pichler, Phys Rev B, 83, 085407-1-6 (2011). (査読有)</p> <p>23. Rearrangements of a [36]Octaphyrin Triggered by Nickel(II) Metalation: Metamorphosis to a Directly meso-beta-Linked Diporphyrin, Y. Tanaka, H. Mori, T. Koide, H. Yorimitsu, N. Aratani, *A. Osuka, Angew. Chem. Int. Ed., 50, 11460-11464 (2011). (査読有)</p> <p>24. Palladium-Catalyzed beta-Selective Direct Arylation of Porphyrins, Y. Kawamata, S. Tokuji, *H. Yorimitsu, and *A. Osuka, Angew. Chem. Int. Ed., 50, 8867-8870 (2011). (査読有)</p>
<p>2010</p> <p>楠 美智子</p> <p>斉木 幸一朗</p> <p>野田 優</p> <p>丸山 茂夫</p> <p>北浦 良</p> <p>依光 英樹</p>	<p>25. Selective Formation of ABC-stacked graphene layers on SiC(0001), *W. Norimatsu and M. Kusunoki, Phys. Rev. B, 81,161410-1-4, (2010). (査読有)</p> <p>26. Formation process of graphene on SiC (0001), *W. Norimatsu and M. Kusunoki, Physica E 42, 691-694 (2010). (査読有)</p> <p>27. Modified bimodal growth mechanism of pentacene thin films at elevated substrate temperatures", D. Guo, S. Ikeda, and *K. Saiki, J. Phys.: Condens. Matter, 22, 262001 (2010). (査読有)</p> <p>28. Noble Metal Intercalated Fullerene Fabricated by Low-Temperature Co-deposition, *G. Yoshikawa, Y. Tsuruma, S. Ikeda, and K. Saiki, Adv. Mater. 22, 43-46 (2010). (査読有)</p> <p>29. Millimeter-tall single-walled carbon nanotube forests grown from ethanol, H. Sugime and *S. Noda, Carbon, 48, 2203-2211 (2010). (査読有).</p> <p>30. Combinatorial evaluation for field emission properties of carbon nanotubes part II – high growth rate system, *Y. Shiratori and S. Noda, J. Phys. Chem. C, 114, 12938-12947 (2010). (査読有).</p> <p>31. Growth mechanism of single-walled carbon nanotube from catalytic reaction inside carbon nanotube template, Y. Izu, *J. Shiomi, Y. Takagi, S. Okada, and *S. Maruyama, ACS Nano, 4, 4769-4775 (2010). (査読有)</p> <p>32. Electron-Hole Asymmetry in Single-Walled Carbon Nanotubes Probed by Direct Observation of Transverse Quasi-Dark Excitons, Y. Miyauchi, H. Ajiki, and *S. Maruyama, Phys. Rev. B (Rapid Comm.), 81, 121415-1-4 (2010). (査読有)</p> <p>33. A layered ionic crystal of polar Li@C<sub>60</sub> superatoms, *H. Sawa, S. Aoyagi, E. Nishibori, K. Sugimoto, M. Takata, Y. Miyata, R. Kitaura, H. Shinohara, H. Okada, T. Sakai, Y. Ono, K. Kawachi, K. Yokoo, S. Ono, K. Omote, Y. Kasama, S. Ishikawa, T. Komuro, and *H. Tobita, Nature Chem., 2, 678-683 (2010). (査読有)</p> <p>34. Scanning tunneling spectroscopy on the local electronic structure of Gd@C-82 peapods, K. Ohashi, N. Imazu, R. Kitaura, *H. Shinohara, Phys. Status. Solidi, B, 247, 3030-3032 (2010). (査読有)</p> <p>35. Synthesis of 3-Trifluoromethylbenzo[b]furans from Phenols via Direct Ortho Functionalization by Extended Pummerer Reaction, T. Kobatake, D. Fujino, S. Yoshida, *H. Yorimitsu, and *K. Oshima, J. Am. Chem. Soc., 132, 11838-11840 (2010). (査読有)</p> <p>36. Rhodium-Catalyzed Arylzincation of Terminal Allenes Providing Allylzinc Reagents and Its Application to Versatile Three-component Coupling Reaction, Y. Yoshida, K. Murakami, *H. Yorimitsu, and *K. Oshima, J. Am. Chem. Soc., 132, 8878-8879 (2010). (査読有)</p>
<p>2009</p> <p>楠 美智子</p> <p>斉木 幸一朗</p> <p>野田 優</p> <p>丸山 茂夫</p>	<p>37. Transitional structures of the interface between graphene and 6H-SiC(0001), *W. Norimatsu, and M. Kusunoki, Chem. Phys. Lett., 468, 52 -56 (2009). (査読有)</p> <p>38. Fluorine-substitution of hexa-peri-hexabenzocoronene: Change in growth mode and electronic structure, S. Entani, T. Kaji, S. Ikeda, T. Mori, Y. Kikuzawa, H. Takeuchi, and *K. Saiki, J. Phys. Chem. C, 113, 6202-6207 (2009). (査読有)</p> <p>39. Thermally induced structural characteristics of pentacene thin films, D. Guo, S. Ikeda, and *K. Saiki, J. Appl. Phys. 105, 113520 (2009). (査読有)</p> <p>40. Efficient field emission from triode-type 1D arrays of carbon nanotubes, *Y. Shiratori*, K. Furuichi, Y. Tsuji, H. Sugime, and *S. Noda, Nanotechnology, 20, 475707-1-7 (2009). (査読有)</p> <p>41. Two-dimensional combinatorial investigation of Raman and fluorescence enhancement in silver and gold sandwich substrates, *T.W.H. Oates, Y. Shiratori, S. Noda, J. Phys. Chem. C, 113, 9588-9594 (2009). (査読有)</p> <p>42. High-Precision Selective Deposition of Catalyst for Facile Localized Growth of Single Walled Carbon Nanotubes, R. Xiang, T. Wu, E. Einarsson, Y. Suzuki, Y. Murakami, J. Shiomi, and *S. Maruyama, J. Am. Chem. Soc., 131, 10344-10345 (2009). (査読有)</p> <p>43. Photoluminescence sidebands of carbon nanotubes below the bright singlet excitonic levels, *Y. Murakami, B. Lu, S. Kazaoui, N. Minami, T. Okubo, *S. Maruyama, Phys. Rev. B, 79, 195407-1-5 (2009). (査読有)</p> <p>44. Fabrication of single-wall carbon nanotubes within the channels of a mesoporous</p>

<p>北浦 良</p> <p>依光 英樹</p>	<p>material by catalyst-supported chemical vapor deposition, K. Kobayashi, <u>R. Kitaura</u>, Y. Kumai, Y. Goto, S. Inagaki, *H. Shinohara, Carbon, 47, 722-730 (2009). (査読有)</p> <p>45. High-Yield Synthesis of Ultrathin Metal Nanowires in Carbon Nanotubes, *<u>R. Kitaura</u>, R. Nakanishi, T. Saito, H. Yoshikawa, K. Awaga, and *H. Shinohara, Angew. Chem. Int. Ed., 48, 8298-8302 (2009). (査読有)</p> <p>46. Palladium-Catalysed Arylative Cyclisation of <i>N</i>-Allylacetamides with Aryl Halides Yielding Benzyl-Substituted Oxazolidines, D. Fujino, S. Hayashi, *<u>H. Yorimitsu</u>, and *K. Oshima, Chem. Commun., 5754-5756 (2009). (査読有)</p> <p>47. Synthesis of Aziridines by Palladium-Catalyzed Reactions of Allylamines with Aryl or Alkenyl Halides: Evidence of Intramolecular <i>syn</i>-Carboamination Pathway, S. Hayashi, *<u>H. Yorimitsu</u>, and *K. Oshima, Angew. Chem. Int. Ed., 48, 7224-7226 (2009). (査読有)</p>
<p>2008 以前</p> <p>楠 美智子</p> <p>斉木 幸一朗</p> <p>野田 優</p> <p>丸山 茂夫</p> <p>北浦 良</p> <p>依光 英樹</p>	<p>48. Strength at the interface of CNT films made by surface decomposition of SiC, *Y. Tsukiyama, N. Umehara, and <u>M. Kusunoki</u>, Tribology, 3, 352-355 (2008). (査読有)</p> <p>49. Origin of carrier types in intrinsic organic semiconductors, T. Kaji, S. Entani, S. Ikeda, and *<u>K. Saiki</u>, Adv. Mater., 20, 2084-2089 (2008). (査読有)</p> <p>50. Graphoepitaxy of sexithiophene and orientation control by surface treatment S. Ikeda, *<u>K. Saiki</u>, Y. Wada, K. Inaba, Y. Ito, H. Kikuchi, K. Terashima, and T. Shimada, J. Appl. Phys., 103, 084313 (2008). (査読有)</p> <p>51. Combinatorial evaluation for field emission properties of carbon nanotubes, Y. Shiratori, H. Sugime, and *<u>S. Noda</u>, J. Phys. Chem. C, 112, 17974-17982 (2008). (査読有)</p> <p>52. Growth window and possible mechanism of millimeter-thick single-walled carbon nanotube forests, K. Hasegawa, *<u>S. Noda</u>, H. Sugime, K. Kakehi, <u>S. Maruyama</u>, Y. Yamaguchi, J. Nanosci. Nanotechnol., 8, 6123-6128 (2008). (査読有)</p> <p>53. Linear plasmon dispersion in single wall carbon nanotubes and the collective excitation spectrum of graphene, C. Kramberger, R. Hambach, C. Giorgetti, M. H. Rummeli, M. Knupfer, J. Fink, B. Buchner, L. Reining, E. Einarsson, <u>S. Maruyama</u>, F. Sottile, K. Hannewald, V. Olevano, A. G. Marinopoulos, and T. Pichler, Phys. Rev. Lett., 100, 196803-1-4 (2008). (査読有)</p> <p>54. Growth Deceleration of Vertically Aligned Carbon Nanotube Arrays: Catalyst Deactivation or Feedstock Diffusion Controlled?, R. Xiang, Z. Yang, Q. Zhang, G. Luo, W. Qian, F. Wei, M. Kadowaki, E. Einarsson, and *<u>S. Maruyama</u>, J. Phys. Chem. C, 112, 4892-4896 (2008). (査読有)</p> <p>55. Fabrication of metal nanowires in carbon nanotubes via versatile nano-template reaction, <u>R. Kitaura</u>, N. Imazu, K. Kobayashi, and *<u>H. Shinohara</u>, Nano Lett., 8, 693-699 (2008). (査読有)</p> <p>56. High Yield Synthesis and Characterization of the Structural and Magnetic Properties of Crystalline ErCl<sub>3</sub> Nanowires in Single-Walled Carbon Nanotube Templates, <u>R. Kitaura</u>, D. Ogawa, K. Kobayashi, T. Saito, S. Ohshima, T. Nakamura, H. Yoshikawa, K. Awaga, and *H. Shinohara, Nano Research, 1, 152-157 (2008). (査読有)</p> <p>57. Cobalt-Catalyzed Regioselective Dehydrohalogenation of Alkyl Halides with Dimethylphenylsilylmethylmagnesium Chloride, T. Kobayashi, H. Ohmiya, *<u>H. Yorimitsu</u>, and *K. Oshima, J. Am. Chem. Soc., 130, 11276-11277 (2008). (査読有)</p> <p>58. Silver-Catalyzed Transmetalation between Chlorosilanes and Aryl and Alkenyl Grignard Reagents for Synthesis of Tetraorganosilanes, K. Murakami, K. Hirano, *<u>H. Yorimitsu</u>, and *K. Oshima, Angew. Chem. Int. Ed., 47, 5833-5835 (2008). (査読有)</p>
<p>篠原久典</p> <p>大野雄高</p>	<p>59. Closed network growth of fullerenes, P. W. Dunk, N. K.Kaiser, C. L. Hendrickson, J. P. Quinn, C. P. Ewels, Y. Nakanishi, Y. Sasaki, <u>H. Shinohara</u>, *A. G. Marshall, and *H. W. Kroto, Nature Commun., 3, 855-863 (2012). (査読有)</p> <p>60. Electronic Structure of Eu Atomic Wires Encapsulated inside Single-Wall Carbon Nanotubes, R. Nakanishi, <u>R. Kitaura</u>, P. Ayala, H. Shiozawa, K. de Blauwe, D. Choi, Y. Miyata, T. Pichler and *H. Shinohara, Phys. Rev. B, 86, 115445-1-5 (2012). (査読有)</p> <p>61. Low voltage electron diffractive imaging of atomic structure in single-wall carbon nanotubes, *O. Kamimura, Y. Maehara, T. Dobashi, K. Kobayashi, <u>R. Kitaura</u>, <u>H. Shinohara</u>, H. Shioya, and K. Gohara, Appl. Phys. Lett., 98, 17403-1-3 (2011). (査読有)</p> <p>62. Ultrafast Exciton Energy Transfer between Nanoscale Coaxial Cylinders: Intertube Transfer and Luminescence Quenching in Double-Walled Carbon Nanotubes, *T. Koyama, Y. Asada, N. Hikosaka, Y. Miyata, <u>H. Shinohara</u>, and A. Nakamura, ACS Nano, 5, 5881-5887 (2011). (査読有)</p> <p>63. Flexible high-performance carbon nanotube integrated circuits, D.-M. Sun, M. Y. Timmermans, Y. Tian, A. G. Nasibulin, E. I. Kauppinen, S. Kishimoto, T. Mizutani, and *<u>Y. Ohno</u>, Nature Nanotechnol., 6, 156-161 (2011). (査読有)</p> <p>64. Impact of fixed charges at interfaces on the operation of top-gate carbon nanotube field-effect transistors, *<u>Y. Ohno</u>, N. Moriyama, S. Kishimoto, and T. Mizutani, Phys. Stat. Sol (c) 8, 567-569 (2011). (査読有)</p> <p>65. Carbon Nanotubes for VLSI: Interconnect and Transistor Applications, [Invited paper], *Y. Awano, S. Sato, M. Nihei, T. Sakai, <u>Y. Ohno</u>, and T. Mizutani, Proc. IEEE, 98, 2015-2031 (2010). (査読有)</p> <p>66. High-Performance Top-Gate Carbon Nanotube Field-Effect Transistors and Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Inverters Realized by Controlling Interface Charges, N. Moriyama, *<u>Y. Ohno</u>, K. Suzuki, S. Kishimoto, and T. Mizutani, , Appl. Phys. Exp., 3, 105102-1-3 (2010). (査読有)</p>