

研究概要					
(1) 研究目的等 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 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>Si デバイスにおいて短チャネル効果低減のため極薄化が進行し、原子レベルでの膜厚制御の困難さ故、量子閉じ込めに起因したエネルギーギャップの空間的ばらつき等の問題が顕在化している現状を踏まえ、エネルギーギャップ等の物性を層数でリジッドに制御できる原子層膜を応用展開することを目標とする。特に、原子層膜であるが故、環境に敏感であり理論的に予測される潜在的に高い性能を最大限引き出すためには、面内結合が強く面外には分子間力のみ作用する原子層膜の積層化が応用展開の鍵となる。</p> <p>(1)パッシブデバイスとしての透明導電膜応用 (2)アクティブデバイスとしての電界効果トランジスタ、太陽電池応用</p> <p>上記2テーマに焦点を当てるが、物性と応用をつなぐ“応用物性”として、グラフェンを中心とした原子層を複層化した場合の界面特性の理解と制御を最重要課題として研究を進める。</p> <p>研究メンバーは独自技術・独自装置を駆使し個々の原子層膜(グラフェン、h-BN、MoS₂等)の物性評価を行ってきた気鋭のメンバーであり、本プログラムにおいて技術を持ち寄り複層化を目指し横断的に研究を進めていくことが可能である。</p>					
(2) 研究計画・方法 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 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>平成 25 年度：原子層膜の複層化技術の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドライ環境における機械的剥離法による複層化 ・CVD 合成における複層化 ・ウェット環境での塗布法による複層化 <p>平成 26, 27 年度：複層原子層膜の特性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子層膜間の相互作用の理解による面内伝導特性の解明 ・原子層膜と金属との相互作用 <p>平成 28, 29 年度：複層原子層膜の応用展開</p> <ul style="list-style-type: none"> ・透明導電膜、トランジスタ、太陽電池 <p>研究計画において最も重視しているのが、初年度に応用班内の全研究グループで原子層膜の複層化に取り組み、研究結果を共有する点である。理論班による物質設計を考慮した複層化原子層膜に対して、各研究グループが「伝導特性評価」、「金属との相互作用」、「化学的安定性評価」を進める。作製した試料は物性班に提供する。</p>					
領域略称名	原子層	研究機関名	東京大学	研究代表者氏名	長汐晃輔

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

①研究の学術的背景：“なぜ原子層膜の複層化か？”

層状グラファイトから単層を取り出したグラフェンは、直線の分散関係に起因し既存の半導体において室温で最も高いキャリア移動度を有するため注目を集めている。しかしながら、図1に示すように、キャリア移動度は $200,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ まで向上が報告されているが、基板の SiO_2 を取り除いて真空保持状態にした場合であり、 SiO_2 基板上に限ると2004年の最初のグラフェン報告以来、再現性良く $10,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える値は得られていない。最近、本プログラム参画の渡邊らの作製した絶縁

性の h-BN 単結晶上のグラフェンで $60,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度のキャリア移動度が報告され、グラフェンの潜在的に高いポテンシャルを引き出すには、周環境との相互作用を低減させることが重要であるという認識に至っている。つまり、 SiO_2 のように表面にダングリングボンドが存在し、電荷を持った欠陥等が存在する場合、グラフェンに対するクーロン散乱源となる。一方、h-BN では、グラフェン同様面内で共有結合し、面外にはダングリングボンドが存在しないことから散乱源が圧倒的に少ない。つまり原子層膜グラフェンのエレクトロニクス応用に対しては、層間の相互作用の低減という観点で絶縁性原子層膜との複層化が最適である。

図2に多様な原子層膜の種類を示す。直線の分散関係を示しエネルギーギャップの無いグラフェンから半導体としての MoS_2 、絶縁体としての h-BN まで非常に多様である。つまりこれらの原子層膜の複層化により幅広い新たな展開をきり開くことが可能である。特に、絶縁性原子層膜は層数を変えることによりトンネル電流を積極的に利用したデバイス構造も可能である。このような複層化はカーボンナノチューブ研究においては議論されておらず、グラフェンの2次元形状に端を発した新しい概念である。本申請では、原子層膜を複層化した際の相互作用を理解し、透明導電膜、太陽電池やトランジスタ応用に展開していくことを目的としている。

②何をどこまで明らかにするか？

複層化原子層膜を電子デバイス応用へ展開するためには、デバイス構成要素の理解と解明が重要である。そこで以下の点に着目して研究を進める。

グラフェン/基板相互作用の理解が重要

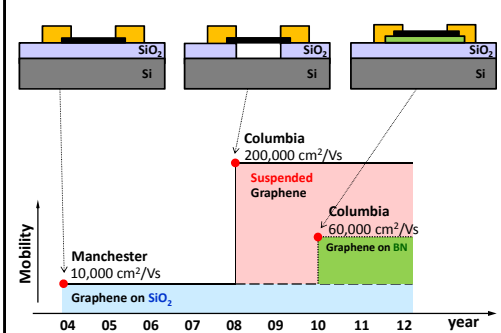


図1 グラフェンのキャリア移動度の推移。

組み合わせにより幅広い展開へ

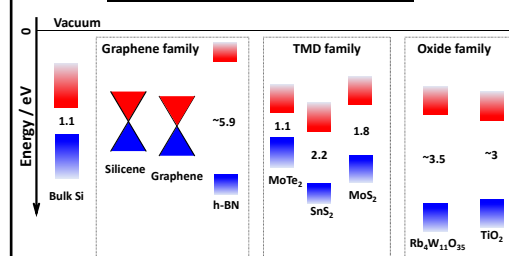


図2 原子層膜の種類とバンド構造。

研究目的（つづき）

(i) 原子層膜の複層化技術の確立

ドライ環境における機械的複層化、CVDによる合成時での複層化、塗布による複層化等様々な手法を検討する。

(ii) 原子層膜間の相互作用の理解による面内伝導特性の解明

原子層を複層化した場合、非常に高いキャリア移動度が得られることは知られているが、複層化する際の原子レベルでの格子マッチングと伝導特性の関係は未だ明確ではない。また上記複層化手法の違いにおける伝導特性の違い等、殆ど未知の研究分野であり、散乱過程の詳細な検討を行い、原子層膜の潜在的に高い特性を引き出す。

(iii) 原子層膜と金属との相互作用

電子デバイス応用には必ず金属電極とのオーミック接合が必須となるが、ダングリングボンドの無い原子層膜と金属の結合機構を解明し、低抵抗コンタクトを達成する。

③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:

図3に応用班における研究方針を示す。これまで、様々な種類の原子層膜(グラフェン、h-BN、MoS₂等)を個々の独自技術・独自装置を駆使し研究していたが、本プログラムにより技術を持ち寄り複層化し新たな展開を創造していく。他班との連携も強くして、困難を極めている次世代ナノエレクトロニクス開発のためのナノマテリアル材料開拓のフロンティアとしての研究を進めたい。

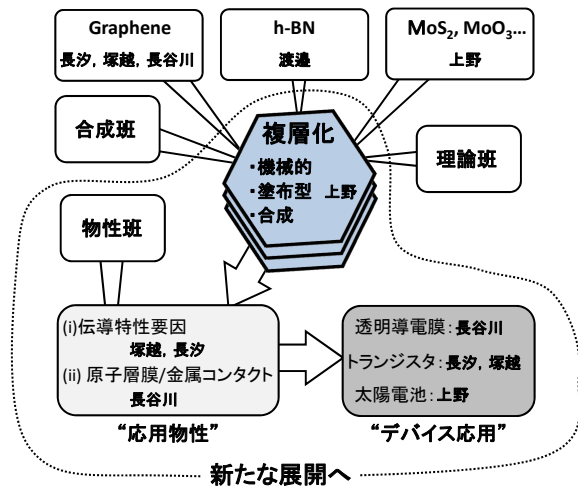


図3 応用班における研究方針。

④学術的な特色・独創的な点と意義:

図4は、次世代トランジスタとして極薄膜III-V半導体をSi基板に転写する手法により基板を選ばずCMOS動作させる試みである。しかしながら、3次元結晶の原子レベルでの膜厚制御は非常に困難であり、量子閉じ込めによるエネルギーギャップの値が空間的に揺らいでしまう欠点がある。本プログラムでは、原子層膜であるが故、層数の選択によりリジッドにギャップを制御可能である。以上のように原子層膜の複層化による電子デバイス応用は非常に独創的である。

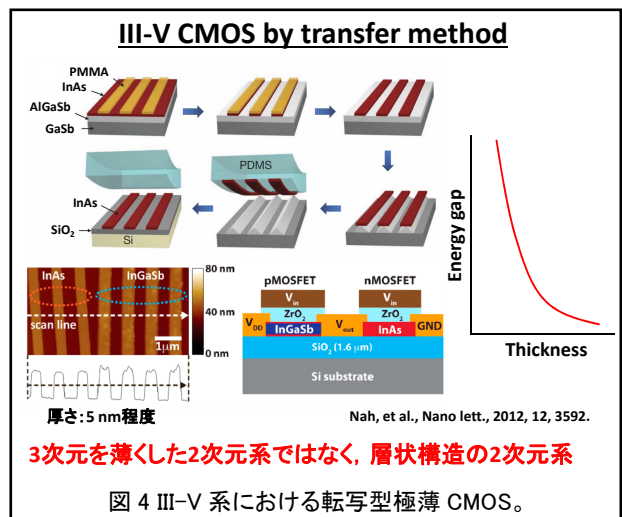


図4 III-V系における転写型極薄CMOS。

⑤平成25年度の研究費:

研究代表者は、若手研究(A)、挑戦的萌芽研究、半導体理工学研究センター(STARC)からの研究助成を受けている。グラフェンのコンタクト抵抗低減への指針を得るものやCVD成長に関する研究であり、本領域研究での原子層の複層化とは異なる。

領域略称名	原子層	研究機関名	東京大学	研究代表者氏名	長汐晃輔
-------	-----	-------	------	---------	------

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。

(i) 年次計画

初年度に応用班内の全研究グループで原子層膜の複層化に取り組み、研究結果を共有する。ここで得た複層化原子層膜に対して、各研究グループが個別に「伝導特性評価」、「金属との相互作用」、「化学的安定性評価」を進める。グラフェンを中心とした原子層膜の複層化を全研究グループで共通認識のもと進めることで、1つの研究グループが行う複層化の方法が困難であることが判明した場合でも、別のグループの複層化の方法で次の研究段階に進めることから、当初の計画通りに進まない場合でも柔軟に対応できる。ただし、原子層膜の複層化だけでなく、原子層堆積装置を用いた絶縁膜堆積技術の確立も別途進め、デバイス構造の自由度を上げる。以下に各グループの具体的研究計画を下記に示す。また線表を表1に示す。

平成25年度：複層化技術の確立

原子層膜の複層化を(i)ドライ環境における機械的剥離法による複層化、(ii)CVD合成における複層化、(iii)ウエット環境での塗布法による複層化に分けて検討を行う。

平成26年度、以降27年度まで：複層原子層膜の特性評価

- ・東大 長汐：原子層膜は環境に敏感であるが、複層化した際に、電子状態が変化してしまうかどうかを、量子容量測定による状態密度解析で検討を行う。また、原子層上の絶縁膜堆積技術の確立を目指す。
- ・NIMS 塚越,渡邊：グラフェンを中心に原子層膜を伝導体とした素子開発をめざし、グラフェンの電界効果半導体特性や表面改変による半導体化を行う。さらに、他の原子膜半導体との特性比較や、原子平坦基板の開発と組み合わせ、伝導における散乱特性の解明と素子化の可能性を追求する。
- ・AIST 長谷川：グラフェンの透明導電膜応用において金属とのコンタクト抵抗は最終的なデバイス性能を律速する可能性が高い。原子層膜/金属の相互作用のメカニズムを解明しコンタクト抵抗の低下を図る。

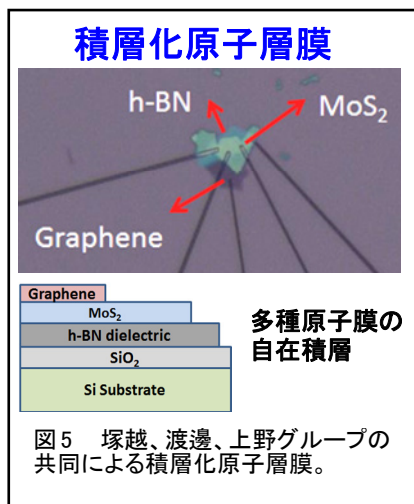


表1 応用班の線表

年度	25	26	27	28~29
長汐 塚越 渡邊	複層化技術の確立	ドライ環境・機械的	複層原子層膜の特性評価	トランジスタ
長谷川 山田		CVD合成		
上野	ウエット環境・塗布	伝導特性評価 ・散乱機構の解明 ・状態密度解析 ・ギャップの評価	金属との相互作用 ・コンタクト抵抗評価 ・金属種の違い	透明導電膜
			化学的安定性評価	太陽電池

研究計画・方法（つづき）

・埼玉大 上野：グラフェン、MoS₂、MoO₃等の原子層物質の超薄膜を溶液塗布法により形成し、大面積かつフレキシブルな光・電子素子への応用を試みるために、新規な可溶化、塗布成膜手法の開発を行う。

平成 27 年度以降の研究計画：

トランジスタ、透明導電膜、太陽電池応用を目指し研究を進める。特に、グループ内の材料や技術提供を通じた協力を強め、素子開発のための課題を 1 つずつ解決したい。特に、本グループでは既に多くの研究蓄積を有しており、世界で問題となっている課題を把握している。効率的な研究推進を、他班とも協力して進めていく。

(ii) 応用班研究体制

長汐晃輔（東京大学大学院工学系研究科・准教授）総括/界面制御
 塚越一仁（物質・材料研究機構・主任研究者）輸送特性評価
 長谷川雅考（産総技術総合研究所・研究チーム長）透明導電膜
 上野啓司（埼玉大学大学院理工学研究科・准教授）MoS₂原子層
 連携研究者：渡邊賢司（物質・材料研究機構・主幹研究員）h-BN 原子層
 連携研究者：山田貴壽（産総技術総合研究所・研究員）透明導電膜

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、個人情報に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。

該当なし。

領域略称名	原子層	研究機関名	東京大学	研究代表者名	長汐晃輔
-------	-----	-------	------	--------	------

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

①現在の研究環境の状況：

応用班では、既に多くの研究を蓄積しており、本計画研究をスムーズに進めることが可能である。本研究の核となる新装置を加えて研究を推進する予定である。各々のグループにて現在所有する装置は以下のとおりである。

・成膜装置系

プラズマ CVD 装置、熱 CVD 装置、霧化成膜装置、窒化ホウ素用成長装置（超高压成長、常圧成長、気相成長）。

・アニール装置系

急速加熱アニール装置、管状炉、電気炉。

・微細加工素子作製装置系

電子ビーム描画装置、紫外線露光機。

・金属及び絶縁膜堆積装置系

電子ビーム蒸着機、抵抗加熱蒸着機、RF スパッタ堆積装置、パルスレーザー堆積装置。

・電気測定系

電気伝導計測システム(IV, CV)、温度変調プローバー、低温電気伝導計測用冷凍機、ホール効果測定装置。

・光学及び物理評価系

X 線反射率測定装置、分光エリプソメトリー装置、温度可変赤外吸収装置、顕微ラマン分光装置、原子間力顕微鏡、分光感度測定装置、ソーラーシミュレータ、遠紫外発光分光装置、カソードルミネッセンス装置。

②研究分担者の連絡調整の状況：

本計画研究内の研究者間の連絡は、領域立ち上げ時より、主に電子メール・電話により行い、さらに学会・研究会を通して議論を重ねてきた。応用班は既に研究実績を有しているグループが多く、互いに旧知であり、個々に共同研究も既に複数が行われている。このため特段の新規仕組みが無くても議論や相互協力が円滑に行えている。

③本研究成果を社会・国民に発信する方法：

学会発表、論文発表等の他の研究者へ向けた情報発信だけでなく、領域 Web ページを通じた解説・報告を行う。一般向けシンポジウム等を領域全体で進める。また、研究成果をプレス発表(新聞)等を通してわかりやすく発表する。デバイス応用を目指すことから、研究成果における知的財産(特許)に関して、特に積極的に取得する。また、企業への技術供与も考慮し研究を進める予定である。

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○番号と記入)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>長汐晃輔</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estimation of residual carrier density near the Dirac point in graphene through quantum capacitance measurement, *<u>K. Nagashio</u>, T. Nishimura, A. Toriumi, Appl. Phys. Lett. (2013). (in press) (査読有) 2. Intrinsic graphene/metal contact, *<u>K. Nagashio</u>, R. Ifuku, T. Moriyama, T. Nishimura, A. Toriumi, IEEE International Electron Device Meeting (IEDM) Tech. Dig., 68-71 (2012). (査読無) 3. SiO₂上グラフェンの輸送特性の現状と理論予測限界, *長汐晃輔, 鳥海明, グラフェンの最先端技術と広がる応用, シーエムシー出版, 東京, 185-195 (2012). (査読無)
<p>塚越一仁</p>	<ol style="list-style-type: none"> 4. Observation of tunneling current in semiconducting graphene p-n junctions, H. Miyazaki, S. -L. Li, H. Hiura, *<u>K. Tsukagoshi</u>, A.Kanda, J. Phys. Soc. Jpn. 81, 014708-1-7 (2012). (査読有) 5. A concept of graphene p-i-n Junction dual-gate transistor for excellent cut-off property, *S. Nakaharai, T. Iijima, S. Ogawa, H. Miyazaki, S. -L. Li, <u>K. Tsukagoshi</u>, S. Sato, N. Yokoyama, Appl. Phys. Express 5, 015101-1-3 (2012). (査読有) 6. Unipolar transport in bilayer graphene controlled by multiple p-n interfaces, H.Miyazaki, S. -L. Li, S. Nakaharai, *<u>K. Tsukagoshi</u>, Appl. Phys. Lett. 100, 163115-1-4 (2012). (査読有) 7. Quantitative raman spectrum and reliable thickness identification for atomic layers on insulating substrates, S. -L. Li, H. Miyazaki, H. Song, H. Kuramochi, S. Nakaharai, *<u>K. Tsukagoshi</u>, ACS nano 6, 7381-7388 (2012). (査読有) 8. Origin of the relatively low transport mobility of graphene grown through chemical vapor deposition, H. S. Song, S. -L. Li, H. Miyazaki, S. Sato, K. Hayashi, A. Yamada, N. Yokoyama, *<u>K. Tsukagoshi</u>, Scientific Reports 2, 00337-1-6 (2012). (査読有) 9. Concerted chemical-mechanical reaction in catalyzed growth of confined graphene layers into hexagonal disks, M. V. Lee, H. Hiura, H. Kuramochi, *<u>K. Tsukagoshi</u>, J. Phys. Chem. 116, 9106-9113 (2012). (査読有) 10. Role for atomic terraces and steps of epitaxial graphene in electron transport properties, H. Kuramochi, S. Odaka, K. Morita, S. Tanaka, H. Miyazaki, M. V. Lee, H. Hiura, *<u>K. Tsukagoshi</u>, AIP advances 2, 012115-1-10 (2012). (査読有) 11. Enhanced current-rectification in bilayer graphene with an electrically tuned sloped band gap, A. A. Ferreira, H. Miyazaki, S. -L. Li, K. Komatsu, S. Nakaharai, *<u>K. Tsukagoshi</u>, Nanoscale 4, 7842-7846 (2012). (査読有)
<p>長谷川雅考</p>	<ol style="list-style-type: none"> 12. Low-temperature graphene synthesis using microwave plasma CVD, *<u>T. Yamada</u>, J. Kim, M. Ishihara, *<u>M. Hasegawa</u>, J. Phys. D 46, 063001-1-8 (2013). (査読有) 13. A roll-to-roll microwave plasma chemical vapor deposition process for the production of 294mm width graphene films at low temperature, *<u>T. Yamada</u>, J. Kim, M. Ishihara, <u>M. Hasegawa</u>, S. Iijima, Carbon 50, 2615-2619 (2012). (査読有) 14. Vacuum annealing formation of graphene on diamond C(111) surfaces studied by real-time photoelectron spectroscopy, *S. Ogawa, <u>T. Yamada</u>, S. Ishizuka, A. Yoshigoe, <u>M. Hasegawa</u>, Y. Teraoka, Y. Takakuwa, Jpn. J. Appl. Phys. 51, 11PF02-1-7 (2012). (査読有)
<p>上野啓司</p>	<ol style="list-style-type: none"> 15. Efficient organic photovoltaic cells using MoO₃ hole-transporting layers

	<p>prepared by simple spin-cast of its dispersion solution in methanol, M. Kishi, Y. Kubo, R. Ishikawa, H. Shirai, *<u>K. Ueno</u>, Jpn. J. Appl. Phys. 52, 020202-1-3 (2013). (査読有)</p> <p>16. Top-contacted organic field-effect transistors with graphene electrodes prepared by laminate transfer method, K. Suganuma, T. Gotou, *<u>K. Ueno</u>, Appl. Phys. Express, 5, 125104-1-3 (2012). (査読有)</p> <p>17. Efficient crystalline Si/Poly(ethylene dioxythiophene): Poly(styrene sulfonate): graphene oxide composite heterojunction solar cells, M. Ono, Z. Tang, R. Ishikawa, T. Gotou, <u>K. Ueno</u>, *H. Shirai, Appl. Phys. Express 5, 032301-1-3 (2012). (査読有)</p>
<p>2011 長汐晃輔</p> <p>塚越一仁</p> <p>長谷川雅考</p> <p>上野啓司</p>	<p>18. Electrical transport properties of graphene on SiO₂ with specific surface structures, *<u>K. Nagashio</u>, T. Yamashita, T. Nishimura, K. Kita, A. Toriumi, J. Appl. Phys. 110, 024513-1-6 (2011). (査読有)</p> <p>19. Density of states limited contact resistance in graphene FETs, *<u>K. Nagashio</u>, A. Toriumi, Jpn. J. Appl. Phys. 50, 070108-1-6 (2011).</p> <p>20. Complementary-like semiconducting graphene logic gates controlled by electrostatic doping, S. -L. Li, H. Miyazaki, M. V. Lee, C. Liu, A. Kanda, *<u>K. Tsukagoshi</u>, Small 7, 1552-1556 (2011). (査読有)</p> <p>21. Enhanced logic performance with semiconducting bilayer graphene channels, S. -L. Li, H. Miyazaki, H. Hiura, C. Liu, *<u>K. Tsukagoshi</u>, ACS nano 5, 500-506 (2011). (査読有)</p> <p>22. Low-temperature synthesis of large-area graphene-based transparent conductive films using surface wave plasma chemical vapor deposition, J. Kim, M. Ishihara, Y. Koga, K. Tsugawa, *<u>M. Hasegawa</u>, S. Iijima, Appl. Phys. Lett. 98, 091502-1-3 (2011). (査読有)</p> <p>23. Direct evidence of advantage of Cu(111) for graphene synthesis by using Raman mapping and electron backscatter diffraction, M. Ishihara, Y. Koga, J. Kim, K. Tsugawa, *<u>M. Hasegawa</u>, Materials Letters 65, 2864-2867 (2011). (査読有)</p> <p>24. Efficient organic photovoltaic cells using hole-transporting MoO₃ buffer layers converted from solution-processed MoS₂ films, S. Kato, R. Ishikawa, Y. Kubo, H. Shirai, *<u>K. Ueno</u>, Jpn. J. Appl. Phys. 50, 071604-1-5 (2011). (査読有)</p> <p>25. Fabrication of transparent and flexible organic field-effect transistors with solution-processed graphene source-drain and gate electrodes, K. Suganuma, S. Watanabe, T. Gotou, *<u>K. Ueno</u>, Appl. Phys. Express 4, 021603-1-3 (2011). (査読有)</p>
<p>2010 長汐晃輔</p> <p>塚越一仁</p> <p>長谷川雅考</p> <p>上野啓司</p>	<p>26. Contact resistivity and current flow path at metal/graphene contact, *<u>K. Nagashio</u>, T. Nishimura, K. Kita, A. Toriumi, Applied Physics Letters 97, 143514-1-3 (2010). (査読有)</p> <p>27. Systematic investigation of intrinsic channel properties and contact resistance on mono- and multilayered graphene FET, *<u>K. Nagashio</u>, T. Nishimura, K. Kita, A. Toriumi, Jpn. J. Appl. Phys. 49, 051304-1-6 (2010). (査読有)</p> <p>28. Influence of disorder on conductance in bilayer graphene under perpendicular electric field, H. Miyazaki, *<u>K. Tsukagoshi</u>, A. Kanda, M. Otani, S. Okada, Nano Letters 10, 3888-3892 (2010). (査読有)</p> <p>29. Low operating bias and matched input-output characteristics in graphene inverters, S. -L. Li, H. Miyazaki, A. Kumatani, A. Kanda, *<u>K. Tsukagoshi</u>, Nano Letters 10, 2357-2362 (2010). (査読有)</p> <p>30. Anisotropic transport in epitaxial graphene on SiC substrate with periodic nanofacets, S. Odaka, H. Miyazaki, S. -L. Li, A. Kanda, K. Morita, S. Tanaka, Y. Miyata, H. Kataura, *<u>K. Tsukagoshi</u>, Y. Aoyagi, Applied Physics Letters 96, 062111/1-3 (2010). (査読有)</p> <p>31. Resistance modulation of graphite/graphene film controlled by gate electric field, H. Miyazaki, S. Li, A. Kanda, *<u>K. Tsukagoshi</u>, Semiconductor Science and Technology 25, 034008/1-8 (2010). (査読有)</p> <p>32. Nanocrystalline diamond film growth on plastic substrates at temperatures below 100 °C from low-temperature plasma, K. Tsugawa, M. Ishihara, J. Kim, Y. Koga, *<u>M. Hasegawa</u>, Phys. Rev. B 82, 125460-1-8 (2010). (査読有)</p> <p>33. Nucleation enhancement of nanocrystalline diamond growth at low substrate temperatures by adamantane seeding, K. Tsugawa, M. Ishihara, J. Kim, Y. Koga, *<u>M. Hasegawa</u>, J. Phys. Chem. C 114, 3822 (2010). (査読有)</p> <p>34. グラフェンの化学的手法による作製と有機半導体素子への応用, *<u>上野啓司</u>, J. Vac. Soc. Jpn. 53, 73-79 (2010). (査読有)</p> <p>35. 透明導電膜・フィルムの高透明・低抵抗化と耐久性向上」第2章第4節 [2]「グラフェンの可溶化技術と透明導電膜への応用」, *<u>上野啓司</u>, 技術情報協会, 2010, 313～327頁. (査読無)</p>

<p>2009 長谷川雅輔</p> <p>塚越一仁</p> <p>長谷川雅考</p> <p>上野啓司</p>	<p>36. Mobility variations in mono- and multi-layer graphene films, *<u>K. Nagashio</u>, T. Nishimura, K. Kita, A. Toriumi, Appl. Phys. Express, 2, 025003-1-3 (2009). (査読有)</p> <p>37. Metal/graphene contact as a performance killer of ultra-high mobility graphene -analysis of intrinsic mobility and contact resistance-, *<u>K. Nagashio</u>, T. Nishimura, K. Kita A. Toriumi, IEEE International Electron Device Meeting (IEDM) Tech. Dig., 565-568 (2009). (査読無)</p> <p>38. 簡単な？グラフェンの作り方, *日浦英文, 宮崎久生, 神田晶申, 塚越一仁, 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会 News Letter No. 136, 19-24 (2009). (査読無)</p> <p>39. 劈開法で得た単層・多層グラフェンの電子・スピン・クーパー対伝導, *神田晶申、後藤秀徳、塚越一仁, 応用物理学会応用電子物性分科会誌, 15, 114-119 (2009). (査読無)</p> <p>40. Large-area surface wave plasmas using microwave multi-slot antennas for nanocrystalline diamond film deposition, *J. Kim, K. Tsugawa, M. Ishihara, Y. Koga, <u>M. Hasegawa</u>, Plasma Sources Science and Technology 19, 015003, (2010). (査読有)</p> <p>41. 薄膜ナノ結晶ダイヤモンドの結晶成長と応用, 津川和夫, 石原正統, 金載浩, *<u>長谷川雅考</u>, 古賀義紀, 表面科学 30, 267-272 (2009). (査読無)</p> <p>42. グラフェンの機能と応用展望 第13章「グラフェンの化学的作製法と有機半導体素子電極への応用」, <u>上野啓司</u> (齊木幸一朗, 徳本洋志 監修), シーエムシー出版, 2009, 169-181. (査読無)</p> <p>43. Origin of the ambipolar operation of a pentacene field-effect transistor fabricated on a poly(vinyl alcohol)-coated Ta₂O₅ gate dielectric with Au source/drain electrodes, S. Takebayashi, S. Abe, K. Saiki, *<u>K. Ueno</u>, Appl. Phys. Lett. 94, 083305-1-3 (2009). (査読有)</p>
<p>2008 以前 長谷川雅輔</p> <p>塚越一仁</p> <p>長谷川雅考</p> <p>上野啓司</p>	<p>44. Grain size increase and field-effect mobility enhancement of pentacene thin films prepared in a low-pressure H₂ ambient, *T. Yokoyama, C. B. Park, <u>K. Nagashio</u>, K. Kita, A. Toriumi, Appl. Phys. Express, 1, 041801-1-3 (2008). (査読有)</p> <p>45. Coulomb blockade oscillations in narrow corrugated graphite ribbons, H.Miyazaki, *<u>K. Tsukagoshi</u>, S. Odaka, Y. Aoyagi, T. Moriki, T. Sato, A. Kanda, Y. Ootuka, Appl. Phys. Express 1, 024001-1-3 (2008). (査読有)</p> <p>46. Inter-layer screening length to electric field in thin graphite film, H. Miyazaki, *<u>K. Tsukagoshi</u>, S. Odaka, Y. Aoyagi, T. Sato, S. Tanaka, H. Goto, A. Kanda, Y. Ootuka, Appl. Phys. Express 1, 034007-1-3 (2008). (査読有)</p> <p>47. Gate control of spin transport in multilayer graphene, *H. Goto, A. Kanda, T. Sato, S. Tanaka, Y. Ootuka, S. Odaka, H. Miyazaki, <u>K. Tsukagoshi</u>, Y. Aoyagi, Appl. Phys. Lett. 92, 212110-1-3 (2008). (査読有)</p> <p>48. Photochemical modification of single-walled carbon nanotubes with amino functionalities and their metal nanoparticles attachment, *T. Nakamura, T. Ohana, M. Ishihara, <u>M. Hasegawa</u>, Y. Koga, Diamond and Related Materials, 17-4-5, 559-562 (2008) (査読有)</p> <p>49. Thermal conductivity of nano-diamond films grown by microwave plasma chemical vapor deposition, *M. Ishihara, K. Tsugawa, J. Kim, <u>M. Hasegawa</u>, Y. Koga, M. Akoshima, F. Hossain, K. Ishikawa, T. Baba, Proc. The 1st Inter. Symp. Thermal Design and Thermophysical Property for Electronics, 66-67, (2008). (査読有)</p> <p>50. Nano-transfer of the polythiophene molecular alignment onto the step-bunched vicinal Si(111) substrate, R. Onoki, G. Yoshikawa, Y. Tsuruma, S. Ikeda, K. Saiki, *<u>K. Ueno</u>, Langmuir 24, 11605-11610 (2008). (査読有)</p>
<p>渡邊賢司</p>	<p>51. Strong Coulomb drag and broken symmetry in double-layer graphene, R. V. Gorbachev, A. K. Geim, M. I. Katsnelson, K. S. Novoselov, T. Tudorovskiy, I. V. Grigorieva, A. H. MacDonald, S. V. Morozov, <u>K. Watanabe</u>, T. Taniguchi, *L. A. Ponomarenko, Nature Phys. 8 896-901 (2012). (査読有)</p> <p>52. Boron nitride substrates for high-quality graphene electronics, *C. R. Dean, A. F. Young, I. Meric, C. Lee, L. Wang, S. Sorgenfrei, <u>K. Watanabe</u>, T. Taniguchi, P. Kim, K. L. Shepard, J. Hone, Nature Nanotech. 5, 722-726 (2010). (査読有)</p> <p>53. Far-ultraviolet plane-emission handheld device based on hexagonal boron nitride, *<u>K. Watanabe</u>, T. Taniguchi, T. Niiyama, K. Miya, M. Taniguchi, Nature Photonics 3, 591-594 (2009). (査読有)</p>