

新学術領域研究「原子層科学」 2016年前期報告

2016年9月28日作成

(無断転載を禁止)

領域代表: 齋藤理一郎(東北大学)
rsaito@flex.phys.tohoku.ac.jp

「原子層科学」の現状

- グラフェン、TMDなどの原子層物質の科学
- 2013年発足。今年は**4年目**。来年度終了。
- 昨年度**中間審査**。**結果はA**、総合所見
 - 共同研究、講習会、社会貢献、活動は高評価
 - 展開する新原子層物質に対し各論に走るな。
 - グラフェンの応用に向けたロードマップ作製。
- 2016年4月第2回公募研究の採択
 - **領域研究のゴール**を設定し、**共同研究推進**
- 今後、ポスト「原子層」新領域の模索。

原子層の今後の方針

- **最後の最後まで変わらない領域内活動**
 - 講習会、研究会、国際シンポジウムの開催
 - 社会貢献プログラムの推進
 - **共同研究**（国際共同研究を含む）の確立
 - **ゴール**の設定、ポスト原子層の構想。
- 公募研究の皆さんにお願いしたいこと。
 - 講習会、研究会の**企画提案・実施（若手！）**
 - **共同研究**の推進、国際共同研究の企画
 - 領域の**成果データを登録**、Facebookの利用

今年度計画（詳細は明日）



- **シンポジウム・研究会**
 - **A3, CNT25, 3D活性新領域、原子層物質**
- **講習会の開催、企画**
 - **複層化技術、原子層作製、新規格提案**
- **第8回全体会議（2017年1/24-25駒場）**
 - **ゴール設定に向けた成果発表**
- **後期中間報告書の作成（ゴール見極め）**
 - **PDF版（2017年2月完成）日本語・英語**
- **来年度活動計画、国際共同研究の実施**
- **次期新領域申請に向けたワークショップ**

A01:合成班の報告

計画研究代表者:楠美智子
(名古屋大学・未来研)



A1-計画-代表
楠 美智子
 (名大・未来研)

kusunoki@imass.nagoya-u.ac.jp

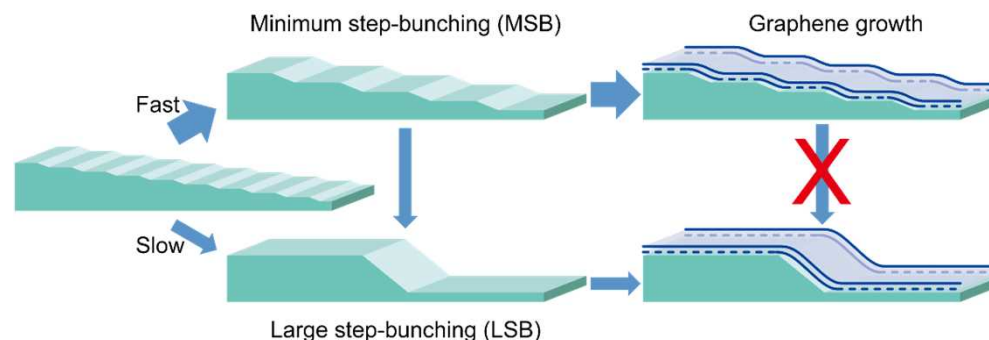
国際共同研究者 : Petr Vasek, Institute of Physics AV CR (チェコ共和国)
 包建峰 (モンゴル民族大学)

国内共同研究者 : 遠藤彰(東大 A2)
 長汐晃輔 (東大 A3)
 菅原克明(東北大 A2)
 小山 剛史(名大 A3)
 廣戸聡 (名大 A1)



1. SiCステップ基板上エピタキシャルグラフェンの成長機構
 ・Appl. Phys. Lett. 109 081602 (2016).
2. SiC上高密度カーボンナノチューブ膜の特性評価
 垂直配向CNTへのPtナノ粒子の侵入機構とそのTEM動的観察
 ・J. Appl. Phys., 120, 142111 (2016).
 高密度CNT配向膜の面内電気特性評価
 ・ J. Phys. Chem. C 120, 6232 (2016)
3. 「SiC上エピタキシャルグラフェンの合成」
 カーボンナノチューブ・グラフェンの応用研究最前線、
 (株)エヌ・ティー・エス、丸山茂夫監修, 第3節第1項, 59 (2016).

1.に対応
 SiC熱分解によるグラフェン成長と
 SiC基板のステップバンチング進行
 との関係を系統的に解明。





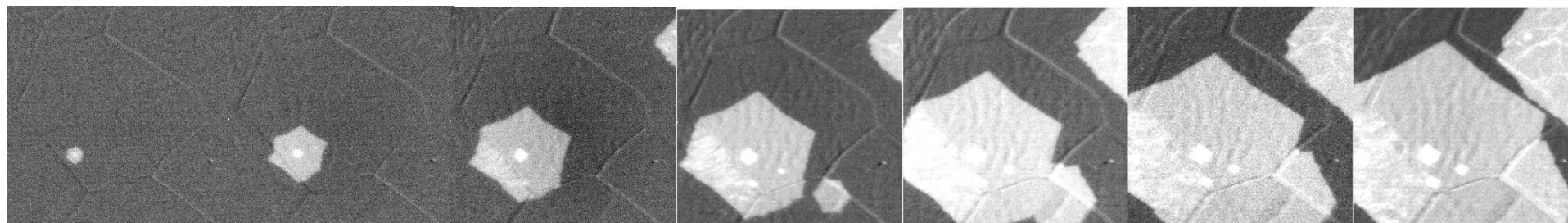
A1-計画-分担
 齊木 幸一郎
 (東大・新領域)

saiki@k.u-Tokyo.ac.jp

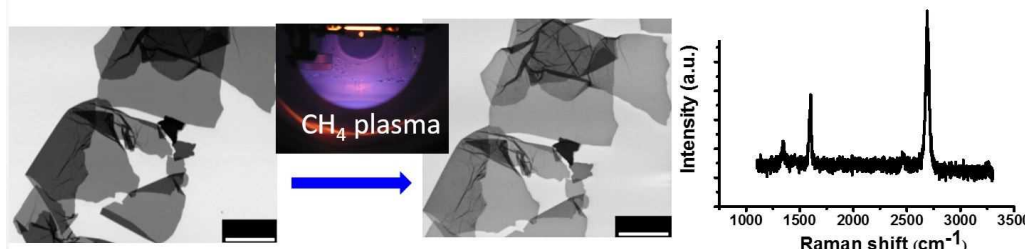
国内共同研究者：谷口貴章 (NIMS , A1 公募)
 TiO₂ ナノシートのプラズマ処理
 GO/TiO₂ FETの特性評価
 藤川安仁 (弘前大, A2 公募)
 GOの還元



1. 原料分子の形状が窒素ドーピンググラフェンの形成にあたる影響を解明
 RSC Adv. 6, 13392 (2016)
2. 有機単結晶の成長中に電界を印加して配向を制御した(一部グラフェン電極)
 Langmuir 32, 644 (2016)
3. 酸化グラフェンの還元法とグラフェン合成 に関する解説
 酸化グラフェンの機能と応用, 第2章第1, 4, 5, 6節 (シーエムシー出版, 2016)
4. 熱放射顕微法によるグラフェン成長のリアルタイム観察 に関する解説
 応用物理 85, 485 (2016)



核発生サイトの解明 ⇒ 1 mm 以上の単ドメイン成長法の確立



プラズマによる酸化グラフェンの高次還元 ⇒ 移動度 > 700 cm²/Vs

100 倍の向上



A1-計画-分担
野田 優
(早大・先進理工)
noda@waseda.jp

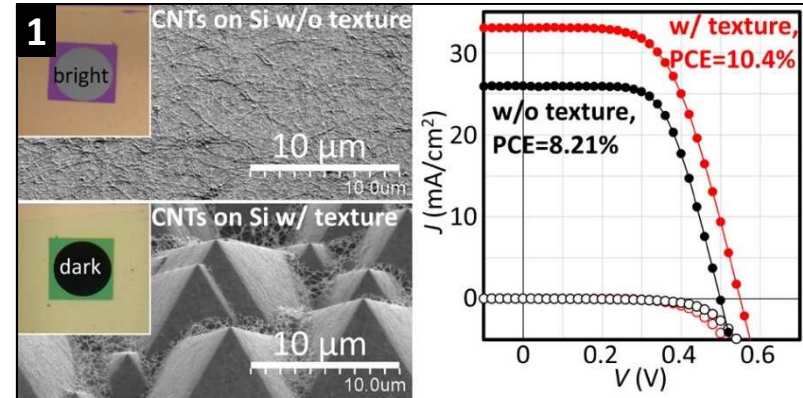
国際共同研究者:
Richard Laine (University of Michigan)
国内共同研究者:
仁科(岡山大, A1 公募), 松田(京大, A2 公募), 大野(名大, A3 公募)



1. CNT-Si太陽電池の実用的な作製プロセス開発

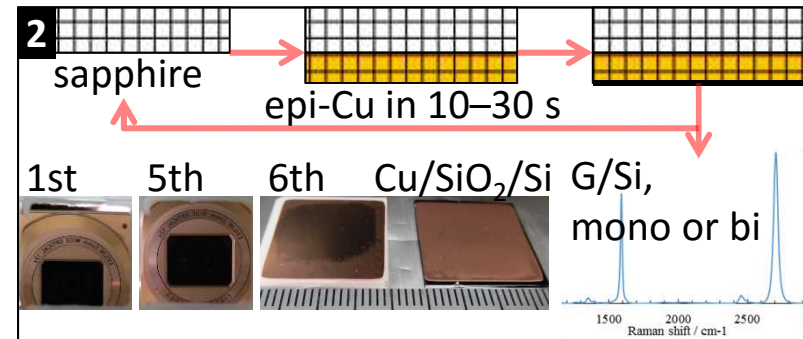
E. Muramoto, Y. Yamasaki, F. Wang, K. Hasegawa,
K. Matsuda, S. Noda*, RSC Adv., in press.

京大 松田 (A2,公募)との共同研究
市販CNTの溶液分散・塗布の簡易プロセスと、
Si表面テクスチャによる光吸収増大・高性能化



2. 実用的なエピタキシャルグラフェン合成法開発

1-3 μm Cu膜の10-30秒エピタキシー
サファイア基板の繰り返し利用



3. 火炎合成触媒を用いた単層CNTの短時間合成

H. Shirae, K. Hasegawa, H. Sugime, E. Yi,
R. Laine, S. Noda*, submitted.

University of Michiganとの国際共同研究
Co-Al-Oナノパウダーの~10 s火炎法合成
Co-Al-Oの~10 s還元と単層CNTの~10 s合成

4. 基板上に直接合成した多層グラフェンのデバイス応用

名大 大野 (A3,公募)との共同研究

5. 酸化グラフェンのCNTとの複合化による電池・キャパシタへの応用

岡山大 仁科 (A1,公募)との共同研究



A01-分担
丸山 茂夫
(東大・工)

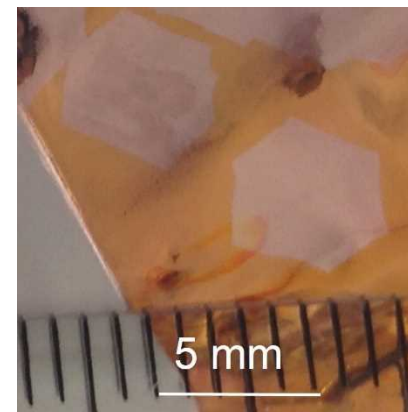
maruyama@photon.t.u-tokyo.ac.jp

国内共同研究者(サンプル提供):
米谷(東大, A03 公募)
片山(横浜国大, A02, 公募)
山下(東大, A03, 公募)
国内共同研究者(その他):
長汐(東大, A03)
大野(名大, A03, 公募)

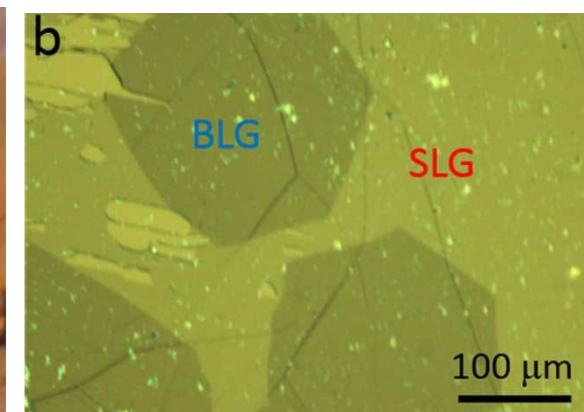


1. エタノールを原料として用いたAB積層二層グラフェンの合成法
Carbon **107**, 852–856 (2016).
(合成条件を制御し, エタノールCVDによるAB積層二層グラフェン合成を実現)
2. エタノールを原料として用いた5 mmサイズのグラフェン合成
Carbon. **94**, 810–815 (2015).
(核生成密度を抑制することにより大面積のグラフェン成長)
3. グラフェンおよび関連材料のCVD合成のレビュー (JPSJ, Special Topics)
J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 121013 (2015).
(R. Kitaura, Y. Miyata, R. Xiang, J. Hone, J. Kong, R. S Ruoff, S. Maruyama*)

共同研究学会発表(国内学会2件, 国際学会1件)
第63回応物学会 (東京工業大学, 東京), 口頭
(米谷先生との共同研究)
第76回応物学会 (名古屋国際会議場, 愛知),
口頭 (米谷先生との共同研究)
MNC 2015 (富山), 口頭 (米谷先生との共同研究)



5mm サイズの単結晶グラフェン



AB積層二層グラフェン



A1-計画-分担
北浦 良

(名大・理)

r.kitaura@nagoya-u.jp

国際共同研究者：A. Zettl (UC Berkeley)

国内共同研究者：菅原 (東北大, A2計画)、劉、末永 (AIST, A2計画、連携)、松田、宮内 (京大, A2 公募)、渡邊、谷口 (NIMS, A3、連携)、篠原 (名大、A1 連携)



1. 分子線エピタキシー法による単層NbSe₂の成長
Appl. Phys. Lett. 109, 133101(2016) (カバーピクチャー)
新規に設置したMBE装置を用いて単層NbSe₂の成長に成功
2. WS₂/hBNからのバイエキシトン発光
弱励起下でのWS₂/hBNからのバイエキシトン発光を観測
3. 黒リンのhBNによるパッシベーション
2D Materials 3 035010 (2016)
単層hBNによる黒リンの安定化を実証
4. NbS₂の成長と基礎物性
2D Materials 3 02507 (2016)
CVDによる単層NbS₂の実現と電気伝導度の測定
5. グラフェン液体セルによる液体のTEM観察
Chem. Phys. Chem. 650 197 (2016)
液体セル作製法の開発と液体観察(UC Berkeleyと共同研究)
6. 架橋GNRデバイスのTEMその場観察
ACS Nano 10 1475 (2016)
GNRの電気伝導度測定とTEMその場観察



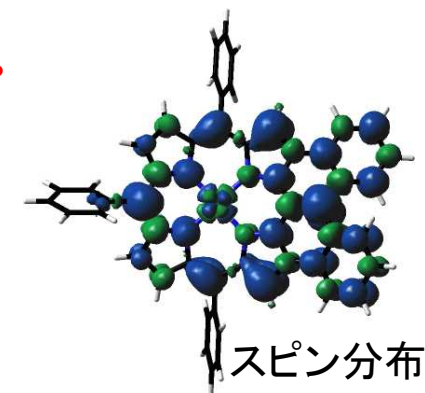
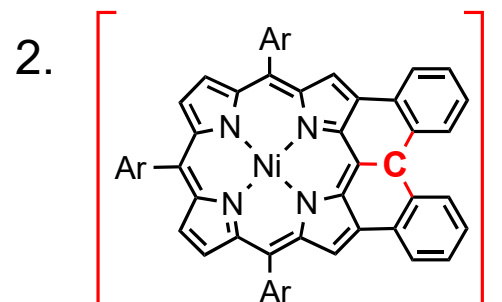
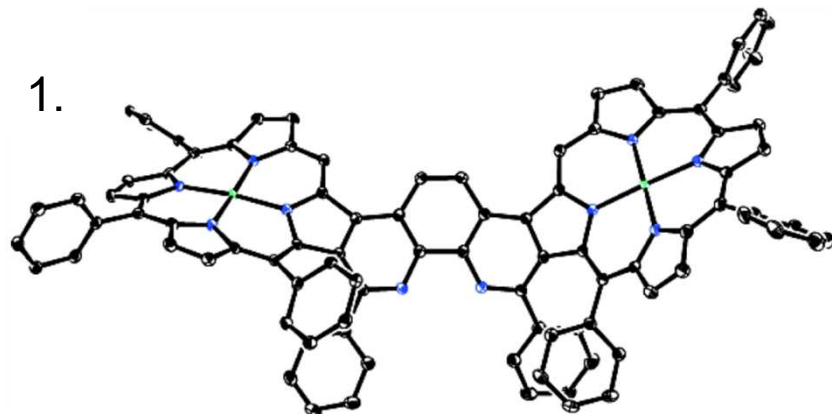
A1-計画-分担
 依光 英樹
 (京大・理)
 yori@kuchem.kyoto-u.ac.jp

国際共同研究者 : Dongho Kim (Yonsei U.)
 国内共同研究者 : 古川貢 (新潟大)
 大須賀篤弘 (京大)



1. 含窒素芳香環融着 π 拡張ポルフィリンの合成と物性
 Angew. Chem. Int. Ed. 55 in press (2016)
 Chem. Sci. 7 in press (2016)
 Chem. Sci. 7 4059 (2016)
 簡便な原子層拡張法の提案, 超安定ラジカルカチオンの発生
2. 極めて安定なポルフィリン π ラジカルの合成と物性
 Angew. Chem. Int. Ed. 55 8711 (2016)
3. ポルフィリンによって安定化された炭素カチオン/アニオンの合成と物性
 Chem. Eur. J. 22 7041 (2016)
4. ホウ素あるいはケイ素埋め込み型ポルフィリンの合成と物性
 Angew. Chem. Int. Ed. 55 3196 (2016)
 Chem. Asian J. 11 1738 (2016)

全て韓国Yonsei大学のDongho Kim教授 (専門: 光物理) との国際共同研究





A1-公募-代表
近藤剛弘
(筑波大・数理)

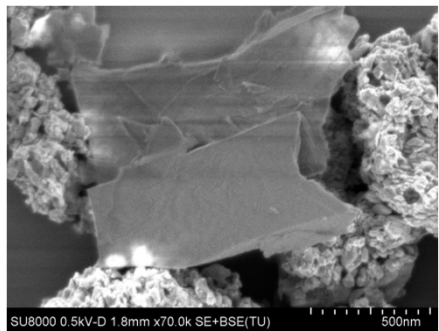
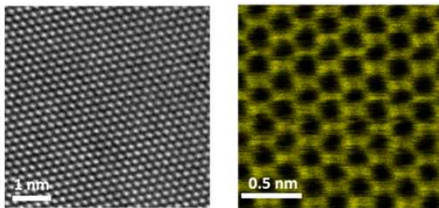
takahiro@ims.tsukuba.ac.jp

国内共同研究者：細野秀雄（東工大）、西堀英治（筑波大）、真島豊（東工大）、宮内雅浩（東工大）、山本明保（農工大）、梅澤直人（NIMS）、藤田武志（東北大 A03 公募）、岡田晋（筑波大 A04 公募）、中村潤児（A02 公募）（予定：谷口尚（A03 連携））

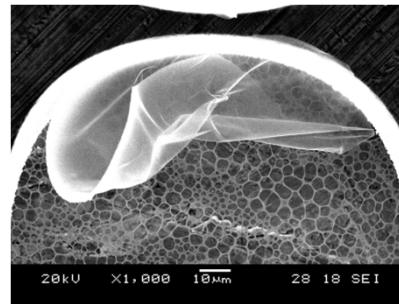


1. 単層ボロフェンの合成方法の確立
 東北大・藤田武志（A03 応用班 公募研究）
 筑波大・岡田晋（A04 理論班 公募研究）
 筑波大・中村潤児（A02 物性班 公募研究）との共同
 単層ボロフェンの合成方法確立を目指す。

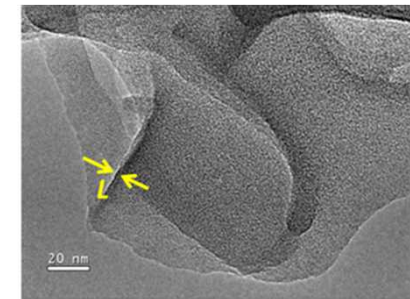
2. 単層ボロフェンの物性の解明
 東北大・藤田武志（A03 応用班 公募研究）
 筑波大・岡田晋（A04 理論班 公募研究）
 筑波大・中村潤児（A02 物性班 公募研究）
 （予定：NIMS・谷口尚（A03 応用班 連携）との共同
 単層ボロフェンの物性解明を目指す。



Bが支配的なBNシート
 生成量が少なく提供困難



MgとOH基を有するホウ素シート
 特願2015-067282 試料提供可能



水素化ホウ素シート
 特許出願予定
 論文投稿準備済
 試料提供体制を構築中



A01-公募-代表
坂本 良太
(東大・理)

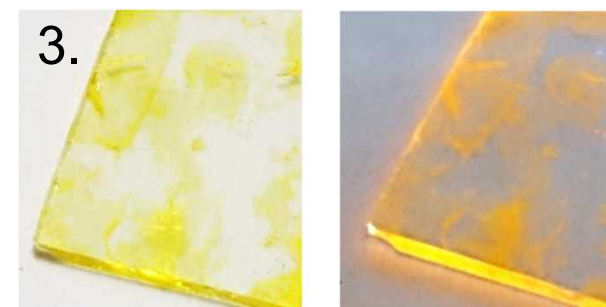
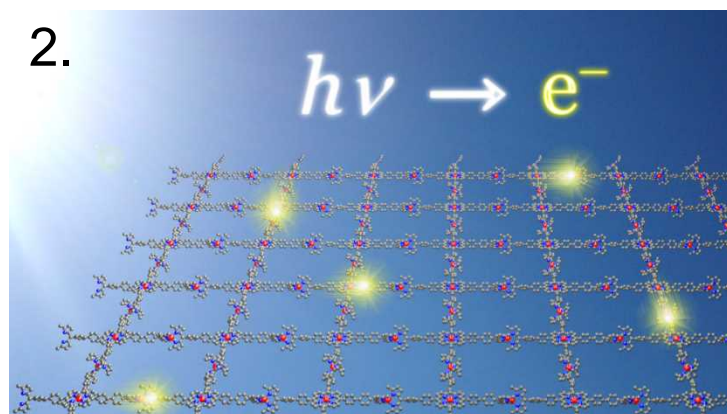
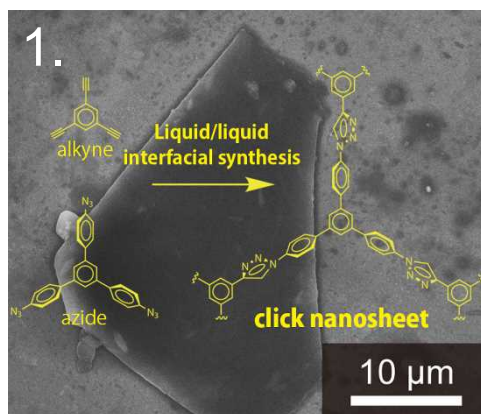
sakamoto@chem.s.u-tokyo.ac.jp

国際共同研究社 : Wai-Yeung Wong
(Hong Kong Baptist University)

国内共同研究者 : 長汐 (東大、A03、計画)
劉 (産総研、A02、計画)



1. クリックナノシートの合成
Chem. Sci. in revision.
2. ジピリン金属錯体ナノシートの光電変換能の向上
Angew. Chem. Int. Ed. in revision.
(Prof. Wongとの国際共同研究)
3. 発光性テルピリジン金属錯体ナノシートの合成
Manuscript in preparation.
4. カーボンナノシートの室温合成
Manuscript in preparation. (長汐・劉との共同研究)





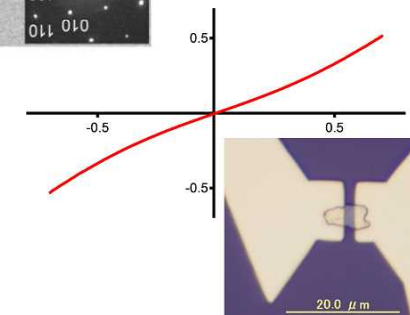
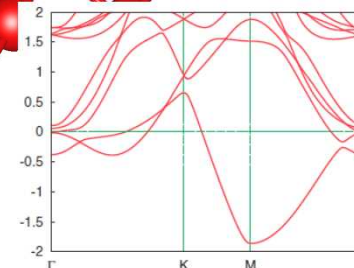
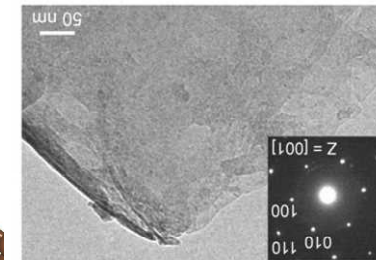
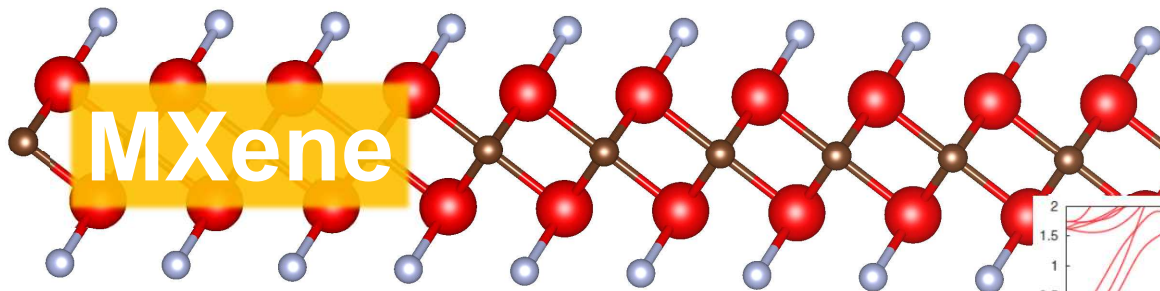
A01-公募-代表
大久保将史
(東大・工)

m-okubo@chemsys.t.u-Tokyo.ac.jp

国内共同研究者：長汐（東大、A03、計画）
安藤（康）（産総研、A04、公募）



1. MXeneの単層剥離、および電子物性の解明
東大・長汐（A03、計画）
産総研・安藤（康）（A04、公募）との共同研究
MXene単層の電子物性を解明することを目指す。
2. MXeneの表面状態制御、および電子物性への影響の解明
東大・長汐（A03、計画）
産総研・安藤（康）（A04、公募）との共同研究
MXeneの表面状態が電子物性に与える影響を解明する。



参考文献

1. X. Wang, **M. Okubo**, et al., *Nat. Commun.* **2015**, 6, 6544.
2. S. Kajiyama, **M. Okubo**, et al., *ACS Nano* **2016**, 10, 3334.



A1-合成-公募

伊藤 英人
(名大・教養&理)

Ito.hideto@g.mbox.nagoya-u.ac.jp

国内共同研究者：

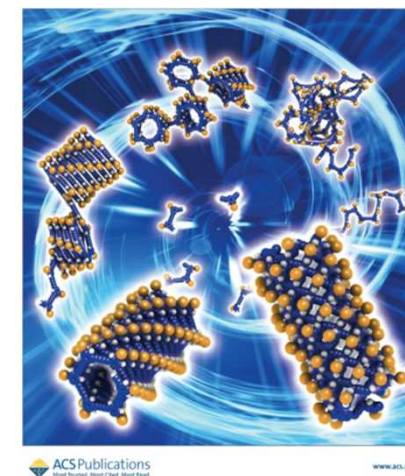
北浦 (名大、A1 合成班)
宮内 (京大、A2物性公募班)



August 31, 2016
Volume 138
Number 18
pubs.acs.org/JACS

JACS

JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY



1. 共有結合性有機ナノチューブの新合成法の開発

J. Am. Chem. Soc., 138, 11001 (2016)

名大北浦 (A1合成班)、京大宮内 (A2物性公募班)
との共同研究 (helix-to-tube法を開発)

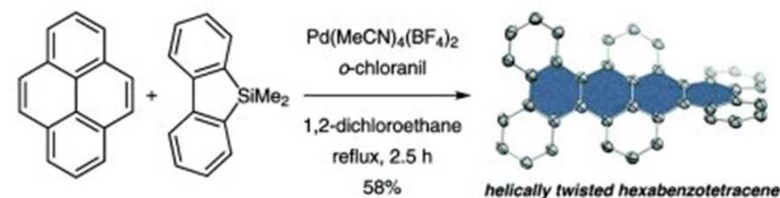
新聞掲載 (3社)、JACS spotlight research

Chem-Station、国内国際Webニュース (>30件)

2. APEX反応によるヘキサベンゾテトラセンの合成

Synlett, 27, 2081 (2016)

(短いグラフェンナリボンの合成と構造評価)

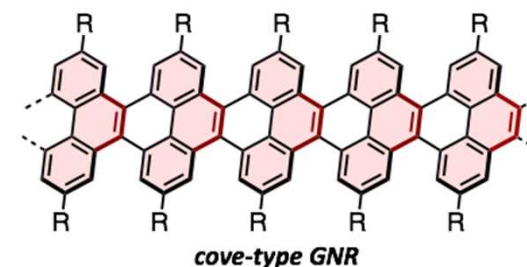


3. 特許: ポリマーおよびその製造法

国内特許出願中: 特願2016-014380

(APEX重合法によるグラフェンナリボンの合成)

京大宮内 (A2物性公募班) とPCT共同出願予定





taka@kuchem.kyoto-u.ac.jp

A1-公募
田中 隆行
(京大・理)

国際共同研究者 : Dongho Kim (Yonsei Univ.)

国内共同研究者 : 川井茂樹 (NIMS-MANA)

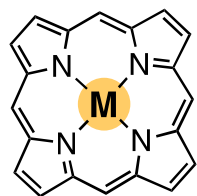


《SATLへの提案研究》

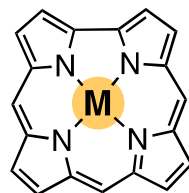
1. ポルフィリンナノリボンの合成検討
金属表面でのナノリボン合成を検討中(NIMS川井先生との共同研究)

《他の研究状況 要望があれば共同研究可能》

2. 直交型コロールダイマーの物性解明
Inorg. Chem. 55, 8920 (2016) , *Phys. Chem. Chem. Phys.* 18, 23374 (2016)
(台形分子の連結形式に依存した性質の変化を解明)
3. 共平面化コロールダイマーの合成と物性解明
Angew. Chem. Int. Ed. 55, 6535 (2016)
(新しい原子層分子のモチーフを開発)
4. 平面正方形分子テトラアザ[8]サーキュレンの周辺部修飾
manuscript in preparation
(新しい原子層分子の周辺部修飾法を精査)

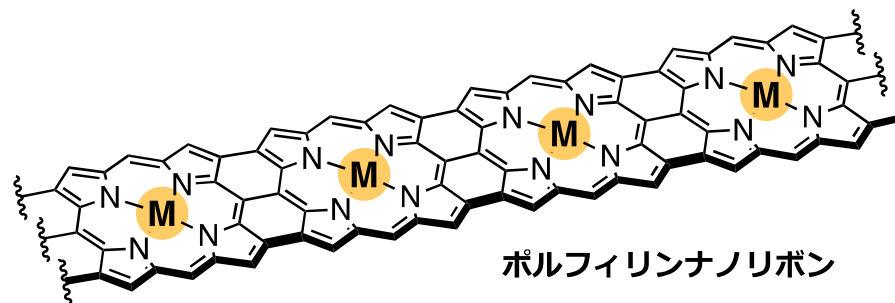


ポルフィリン



コロール

M 金属イオン
(Zn, Ni, Cu, etc)



ポルフィリンナノリボン



A01合成班-公募研究
吾郷 浩樹 (九大・産学連携センター)
h-ago@astec.kyushu-u.ac.jp

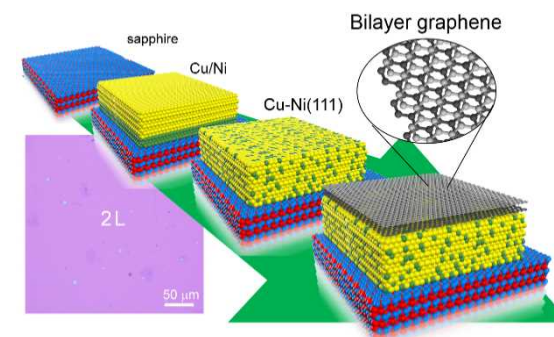


共同研究者：
A02物性班 小山 剛史 (名大・工)
A03応用班 長汐 晃輔 (東大・工)
A03応用班 竹延 大志 (名大・工)
A04理論班 岡田 晋 (筑波大・数理物質)

今年度 (新学術) の成果

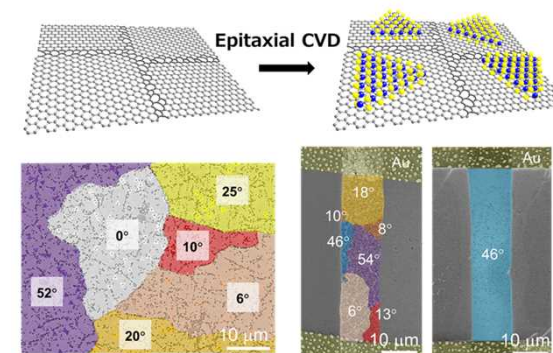
Y. Takesaki, K. Kawahara, H. Hibino, S. Okada, M. Tsuji, H. Ago*
"Highly uniform bilayer graphene on epitaxial Cu-Ni(111) alloy"
Chem. Mater., **28**, 4583-4592 (2016).
*Selected as ACS Editors' Choice (to ACS website)

T. Koyama,* K. Mizutani, H. Ago, H. Kishida
"Two-step excitation triggered by one-photon absorption on linear dispersion in monolayer graphene"
J. Phys. Chem. C, **120**, 11225-11229 (2016).



上記以外の2016年の代表的な成果

H. Ago,* S. Fukamachi, H. Endo, P. Solís Fernández, R. M. Yunus, Y. Uchida, V. Panchal, O. Kazakova, M. Tsuji
"Visualization of grain structure and boundaries of polycrystalline graphene and two-dimensional materials by epitaxial growth of transition metal dichalcogenides"
ACS Nano, **10**, 3233-3240 (2016).



P. Solís Fernández, S. Okada, T. Sato, M. Tsuji, H. Ago*
"Gate-tunable Dirac point of molecular doped graphene"
ACS Nano, **10**, 2930-2939 (2016).



A1-公募
仁科 勇太
(岡山大・RCIS)

nisina-y@cc.okayama-u.ac.jp

国際共同研究者：
Huixin He (Rutgers Univ. USA)
Stephane Campedelli (CEA, France)
国内共同研究者：
野田 優 (早稲田大, A1 計画)
廣戸 聡 (名古屋大, A1 公募)

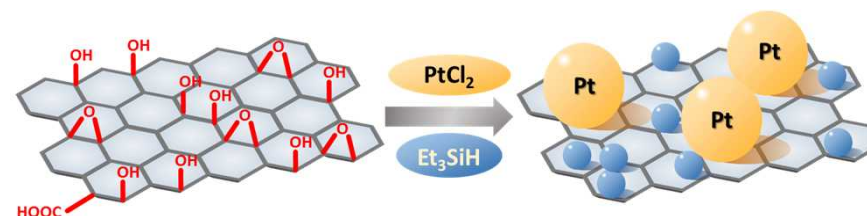
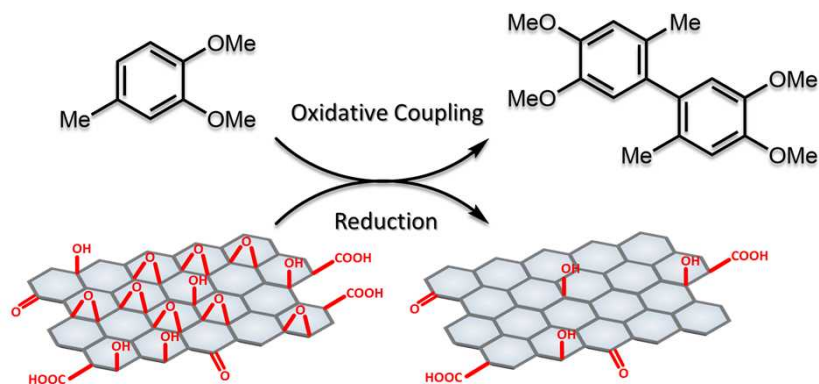
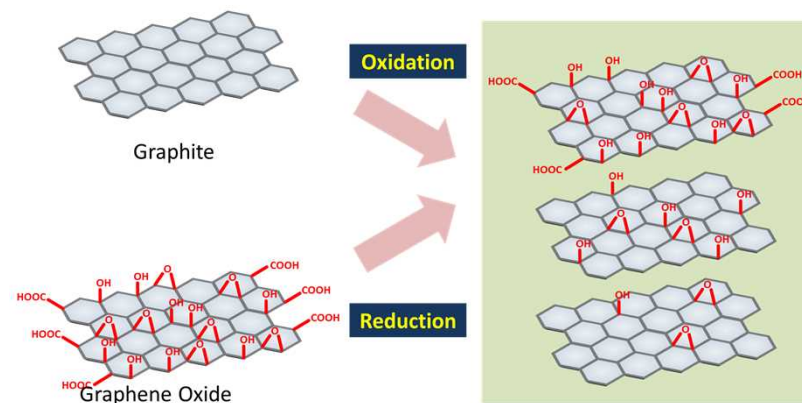


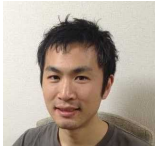
1. 酸化グラフェンの酸素含有量の精密制御
Sci. Rep. 6, 21715 (2016)

2. 酸化グラフェンの酸化剤としての利用
Sci. Rep. 6, 25824 (2016)

3. グラフェンと紙の複合電極
Green Chem. 18, 1117 (2016)

4. Ptナノ粒子-酸化グラフェン複合体の高耐久性触媒としての応用
Chem. Commun. 58, 5883 (2015)





A1-公募
宮田 耕充
(首都大・理工)

ymiyata@tmu.ac.jp

国内共同研究者：劉 (AIST, A2 分担)、
末永 (AIST, A2 連携)、宮内 (京大、A2, 公募)
渡邊、谷口 (NIMS, A3 連携)
重川、吉田 (筑波大)、柳 (首都大、A2, 公募)
山本、小鍋 (東京理科大)



1. MoS₂/WS₂面内ヘテロ構造の界面電子状態に関する研究

Sci. Rep. 6 31221-1-8 (2016)

筑波大、東京理科大、NIMS 渡邊, 谷口 (A3, 連携) との共同研究。
(界面での閉じ込めポテンシャルの形成を確認)

2. Nbをドーブした単層WS₂の合成と光学的性質に関する研究

Appl. Phys. Express 9 071201-1-4 (2016)

AIST 劉(A2, 分担)、末永(A2, 連携)、京大 宮内(A2, 公募)

との共同研究

(Nbドーブによる新しい発光ピークの性質を解析)

3. hBN/MoS₂ヘテロ構造の局所吸収スペクトルの測定

Jpn. J. Appl. Phys. 55 06GB01-1-3 (2016)

首都大 柳(A2, 公募分担) との共同研究。

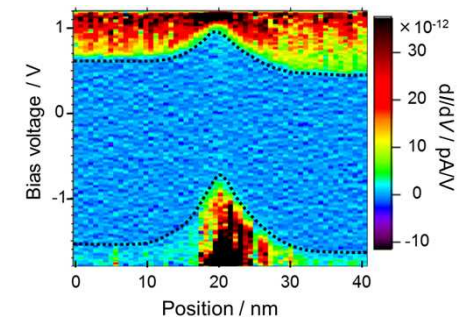
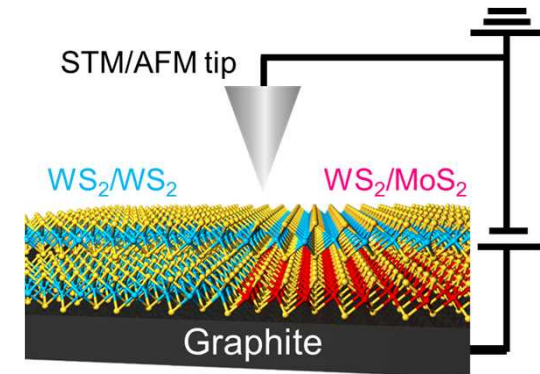
(SNOMを利用した分光測定に関する基礎研究)

4. 単層MoS₂の局所光吸収スペクトルの測定

Jpn. J. Appl. Phys., 55 038003-1-3 (2016)

首都大 柳(A2, 公募分担) との共同研究。

(SNOMを利用した分光測定に関する基礎研究)





A01-公募

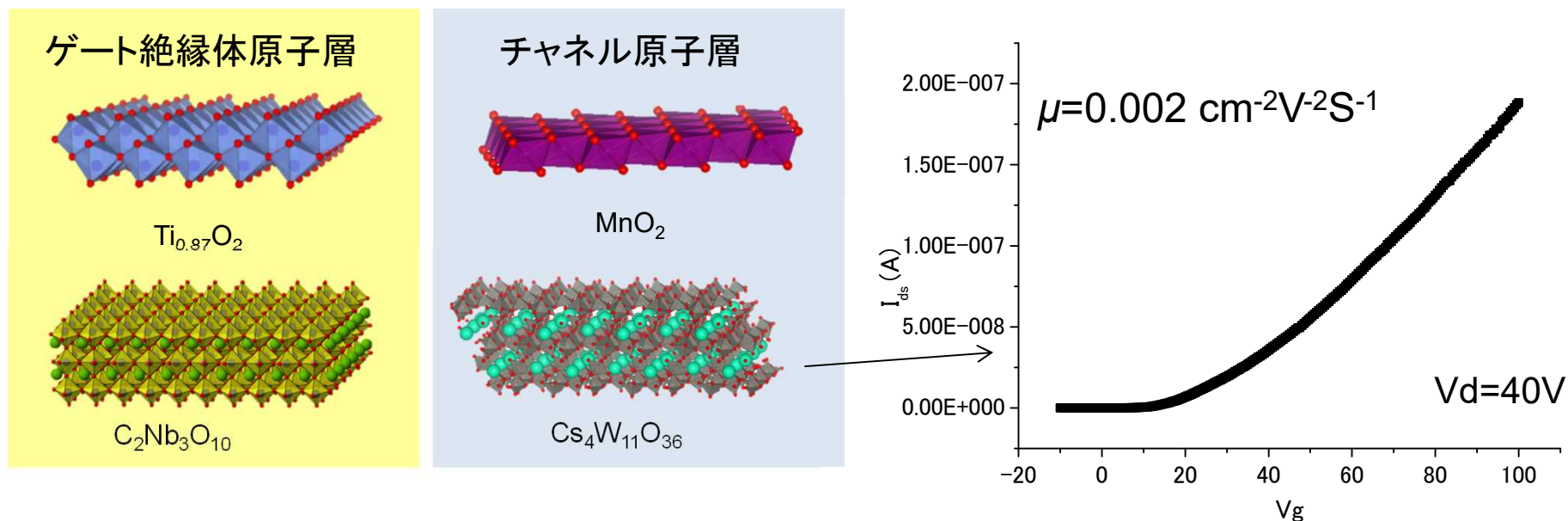
谷口貴章

(物材機構・国際ナノアーキテクニクス研究拠点)

taniguchi.takaaki@nims.go.jp



1. 酸化物ナノシートをチャンネル層としたP型、N型FETの作製
2. 酸化グラフェン/酸化チタンナノシート複合原子層FETの作製
(齊木G、塚越Gとの共同研究)
3. 酸化チタンナノシートのプラズマ還元(新規な導電性原子層の創出)
(齊木研との共同研究)



A02:物性班の報告

計画研究代表者:長田俊人
(東京大学・物性研)



A02-計画-代表

長田 俊人

東大・物性研

osada@issp.u-tokyo.ac.jp

国際共同研究者: W. Kang (Ewha Womans Univ.),

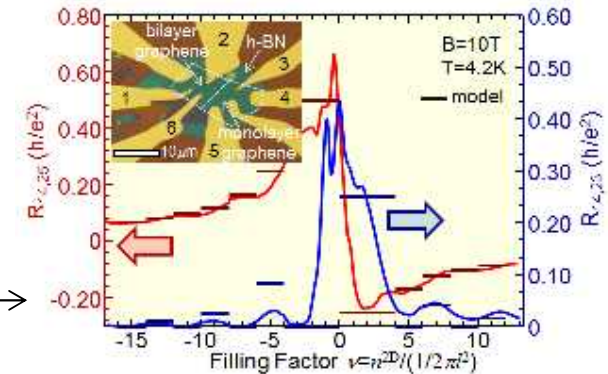
国内共同研究者: 谷口尚 (NIMS), 渡邊賢司 (NIMS),

中辻知 (物性研)



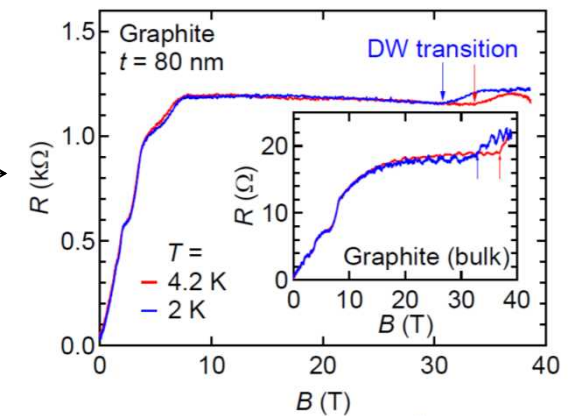
1. グラフェン単層2層接合における量子ホール界面伝導

※ H. Nakase et al., 22nd Int. Conf. on High Magnetic Fields in Semicon. Phys. (Sapporo, 2016),
トポロジカルに保護された界面エッジ状態のみが残り
伝導に寄与していることを観測 (NIMSとの共同研究)



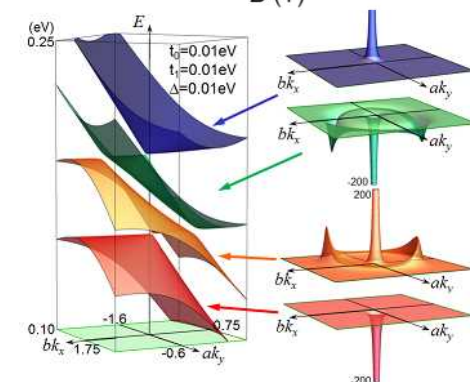
2. 超薄膜化によるグラファイトの磁場誘起電子相転移の機構解明

※ T. Taen et al., 22nd Int. Conf. on High Magnetic Fields in Semicon. Phys. (Sapporo, 2016),
積層方向のバンド離散化による2k_F不安定性の抑制を観測し
密度波転移機構を実証



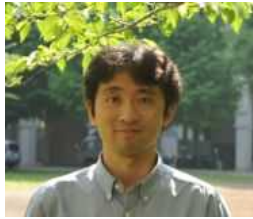
3. 界面有機ディラック電子系のベリー曲率効果

※ 長田俊人、日本物理学会2016秋(金沢)
a-(BEDT-TTF)₂I₃/PEN界面の2層ディラック電子系に
おける反転対称性破れに伴うベリー曲率効果発現の予測



4. モット絶縁体超薄膜の電場誘起キャリア

三角格子モット絶縁体NiGa₂S₄超薄膜FET素子における
電場誘起キャリアの確認 (物性研・中辻Gとの共同研究)



A2-計画-分担

町田 友樹

(東京大・生産研)

tmachida@iis.u-tokyo.ac.jp

国際共同研究者:

Malcolm R. Connoly, Ziwei Dou (Cambridge University)

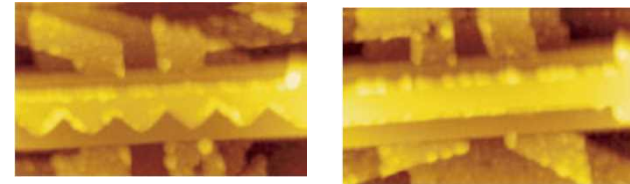
Bernard Plaçais, Quentin Wilmart (ENS)

国内共同研究者:

渡邊 賢司 (物材機構, A3 計画)

上野 啓司 (埼玉大, A3計画)

北浦 良 (名古屋大, A1計画)

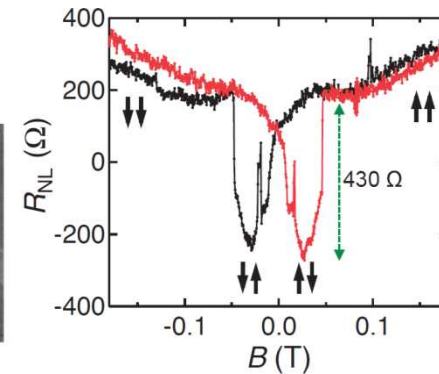
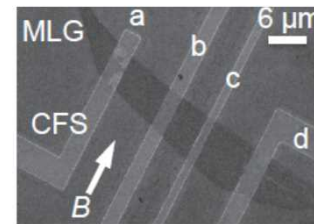


1. バリスティックグラフェンpnp接合における磁気抵抗効果の極性が界面の形状に依存することを実験的に示した。

Jpn. J. Appl. Phys. 55, 100305 (2016)

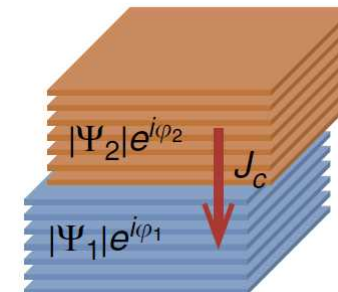
2. Co_2FeSi ホイスラー合金を用いたグラフェンへのスピン注入を実現。

Appl. Phys. Express 9, 063006 (2016)



3. NbSe_2 ファンデルワールス接合を用いたジョセフソン接合の作製に成功。

Nature Commun. 7, 10616 (2016)





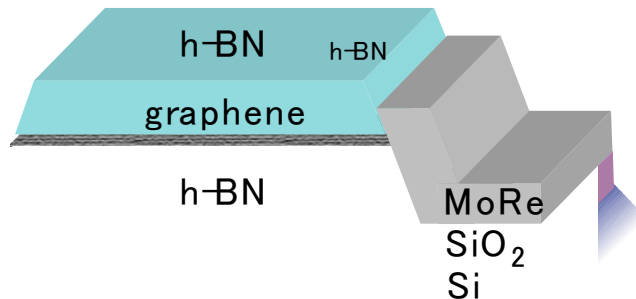
A2-計画-分担
山本 倫久
(東大・工)

yamamoto@ap.t.u-tokyo.ac.jp

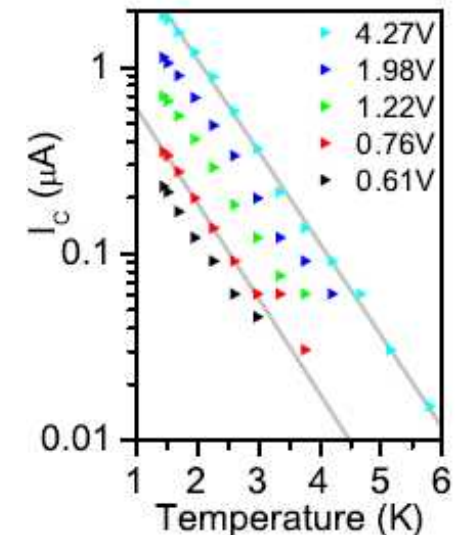
国際共同研究者：G. Finkelstein (Duke),
S. Russo (Exeter), M. F. Craciun (Exeter),
P. Kim (Harvard)
国内共同研究者：谷口尚 (NIMS), 渡邊賢司 (NIMS),
R. S. Deacon (理研)



1. グラフェンジョセフソン接合における臨界電流測定
拡散領域 (CVDグラフェン) : Nano Lett. 16 4788 (2016)
弾道領域 (剥離グラフェン) : arXiv:1604.07320
Duke大, Exeter大, NIMSとの共同研究,
臨界電流を決定するエネルギースケールを実験的に解明
2. グラフェン-超伝導接合におけるクーパー対分離実験
Scientific Reports 6 23051 (2016) Exeter大との共同研究
グラフェン-超伝導Y接合では世界最高効率のクーパー対分離を実現
3. グラフェンの量子ホール状態を介した超伝導流を初めて観測
Science 382 966 (2016) Duke大, NIMS, 理研との共同研究
クーパー対が両方の端チャンネルに分離して伝導する超伝導流を観測
4. ABA積層3層グラフェンの量子ホール状態の垂直電場依存性を解明
投稿準備中 NIMS, Harvard大との共同研究
鏡面对称の破れによるランダウ準位の混成を解明



弾道領域の長いジョセフソン
接合 ($\xi < L < l_m$) における
臨界電流の温度依存性
($L=650\text{nm}$, $W=4.5\mu\text{m}$)





A02-計画-分担
 八木 隆多
 (広島大・先端物質)

yagi@hiroshima-u.ac.jp

国内共同研究者
 渡邊(NIMS,A03計画,連携)
 谷口(NIMS, A03計画,連携)



2015年度までにhBNエンカプセル化によってグラフェンの高移動度化達成した。

多層グラフェンの電子構造

1. hBN上高移動度5層グラフェン電子構造

論文投稿済 6月下旬(現在リバトル中)

2. エンカプセル化した高移動度4層グラフェン電子構造

論文準備中

3. hBN上高移動度多層グラフェン電子構造

解析中

4. hBN上高移動度バイレイヤーグラフェンのモワレ超格子における

ブリルアンゾーンフォルディング 解析中+論文準備中

(理論班A04越野先生にたいへん多くの理論的なご教示をいただいております)

バリスティック伝導

1. 多層グラフェンのバリスティック伝導 (antidot lattices)

実験進行中

モルイヤーに関しては、

(理論班(A04公募)中西先生に理論的なご教示をいただいております)

(Ballistic Transport in Graphene Antidot Lattices R. Yagi et al. PRB, 92, 195406 (2015))



A2-計画-分担
劉 嶢 (産総研・無機機能材料)
liu-z@aist.go.jp

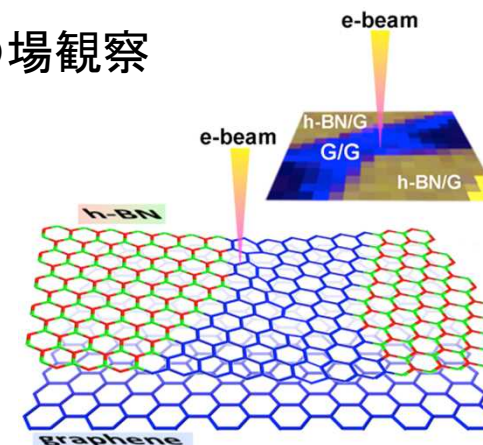
連携研究者
末永 和知 (産総研・ナノ材料)
suenaga-kazu@aist.go.jp



1. 電子顕微鏡中にH-BN/グラフェンヘテロ構造の成長その場観察

Small, 12, 252-259, (2016).

(電子顕微鏡の残留ガスを利用して、H-BNのエッジからグラフェンを成長させ、その界面構造を原子レベルで解析、また、h-BN/grapheneヘテロ構造の電子状態の変化を電子顕微鏡を用いて調べる)



2. Nbにドーピングされた単層WS₂の構造解析

Applied Physics Express 9, 071201, (2016).

(宮田 耕充 (A1,公募) との共同研究, ドープされたNb原子の特定)

3. カーボンナノホーンへのアジリジンの熱開環によって生成されたアゾメチンイリドの[3 + 2]付加環化反応

RSC Adv., 6, 44782-44787, (2016).

(NHRFとの国際共同研究, CNHがピロリジノに修飾されたことの確認)



A2-計画-分担
菅原 克明
(東北大WPI)

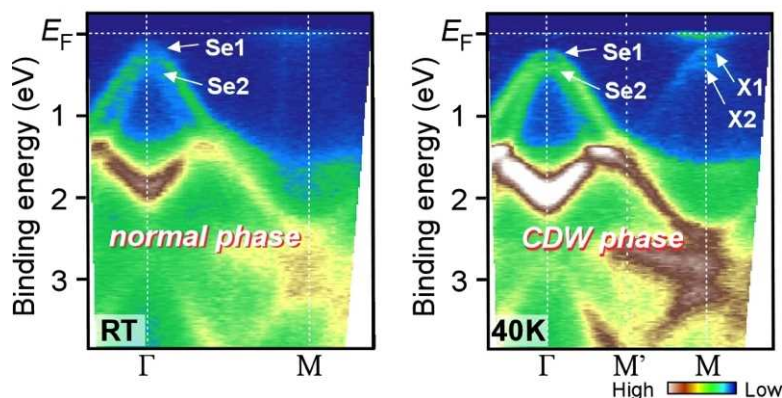
k.sugawara@arpes.phys.tohoku.ac.jp

p

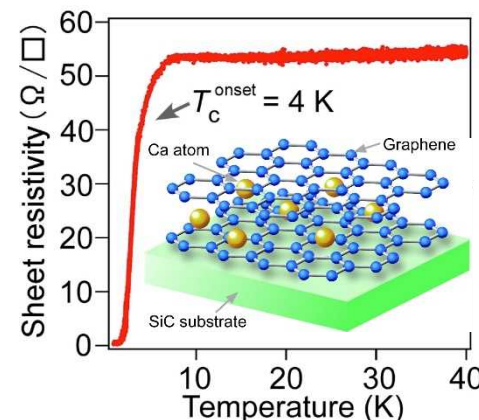
国内共同研究者：楠 (名古屋大, A1 計画)
北浦 (名古屋大, A1 計画)
上野 (埼玉大, A3 計画)



1. TiSe_2 原子層の励起子誘起CDW転移
ACS Nano, 10 1341 (2016)
TiSe₂原子層の励起子凝縮による半導体-金属相転移を示す
2. Ca-2層グラフェン層間化合物における2次元超伝導
ACS Nano, 10 2761 (2016)
Ca-2層グラフェン層間化合物が転移温度2Kの超伝導であることを示す
3. NbS₂超薄膜の電子状態
2D Materials, 3 025027 (2016)
名古屋大 北浦 (A1, 計画) との共同研究、NbS₂超薄膜の電子状態評価
4. In₄Se₃半導体の2次元電子ガスの観測
Phys. Rev. B, 93 205156 (2016)
In₄Se₃半導体表面に形成する2次元電子ガスの直接観測



TiSe₂原子層におけるCDW転移前後の電子状態



Ca-2層グラフェン層間化合物における電気伝導の温度変化



A2-計画-連携
遠藤 彰
(東大・物性研)

akrendo@iissp.u.tokyo.ac.jp

国内共同研究者：楠美智子 (名古屋大A1-計画-代表)
乗松航 (名古屋大)
包建峰 (名古屋大)
松田敬太 (名古屋大)
増森淳史 (名古屋大)

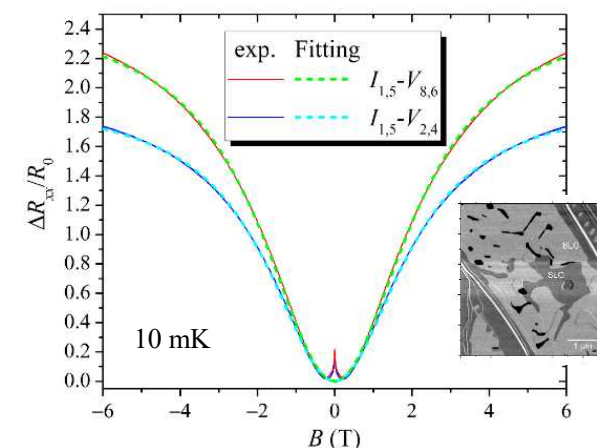


1. 単層・2層が共存するエピタクシャルグラフェンの磁気抵抗の
2キャリアモデルによる解析

遠藤彰 *et al.*, 日本物理学会年次大会 (仙台、2016)

名古屋大楠研究室 (A1-計画) との共同研究。

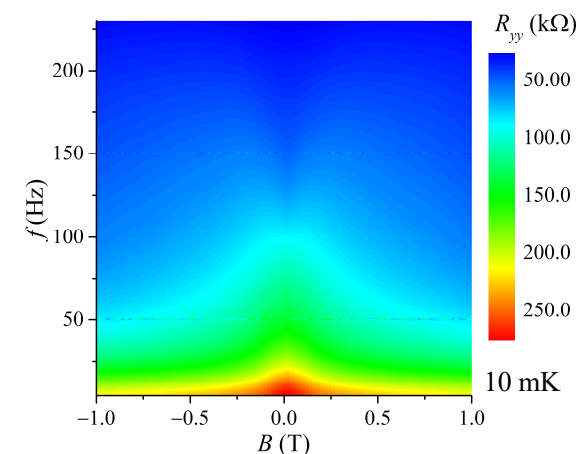
低温での磁気抵抗を測定、2キャリアモデルで解析し、
各領域の移動度、電子濃度、面積比を導出。
投稿論文準備中。



2. SiC上に密充填されたカーボンナノチューブ列膜の低温磁気抵抗
未発表

名古屋大楠研究室 (A1-計画) との共同研究。

カーボンナノチューブ列膜の極低温でのac抵抗に顕著な
周波数依存性を観測。ナノチューブ間の大きな静電結合
による伝導を示唆。



3. SiC上高濃度ホウ素ドーピンググラフェンの物性

乗松航 *et al.*, 応用物理学会秋季学術講演会 (新潟、2016)

名古屋大楠研究室 (A1-計画) との共同研究。

B₄Cの熱分解により高濃度のホウ素をドーピングしたグラフェンは
10 mK程度の極低温まで絶縁体的に振る舞うことを観測。



A2-物性-公募
大塚 洋一
(筑波大数理物質系)
ootuka@t.px.tsukuba.ac.jp



1. 折りたたみグラフェンを利用した階段型磁場中の二次元電子系の電気伝導

薄い絶縁膜をスペーサーとして、その端で折り返した「折り畳みグラフェン」に垂直強磁場を加え、軌道運動に対する有効磁場が極めて急峻に変化する状況での電気伝導を調べることを目的としている。CVDグラフェンの折り畳みグラフェンの作製について検討を進めている。

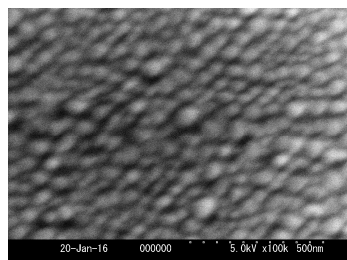
2. 金属修飾したCVD グラフェンの電気伝導

2-1 Ni-グラフェン系の磁気抵抗

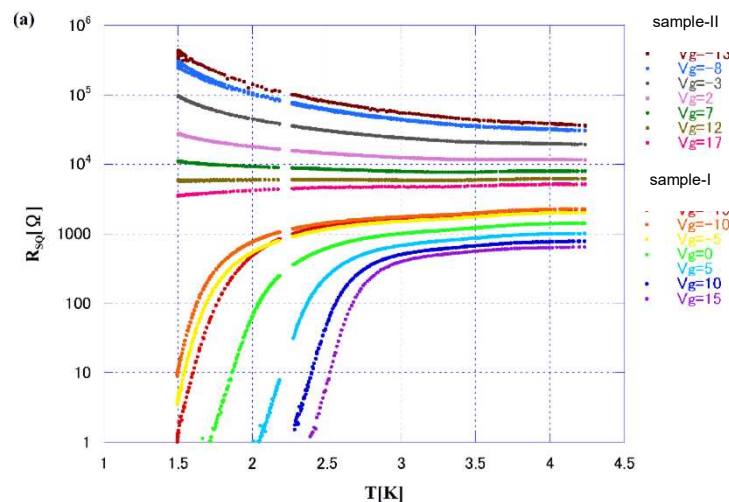
弱局在による磁気抵抗をプローブとして、伝導電子に対する散乱ポテンシャルの違いを議論することを目的として実験を進めている。

2-2 In-グラフェン系の超伝導転移

In島電極がグラフェンを介して結合し、ランダムな2次元超伝導ネットワークを形成する。電界効果とプラズマ処理によって結合を制御することによって、BKT転移温度の低下と超伝導・絶縁体転移を確認した。



Inを蒸着したCVD単層グラフェンのSEM写真(上)とその電気抵抗の温度変化(右)





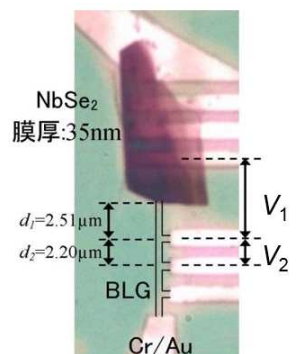
A02-公募
神田晶申
(筑波大・数理物質)
kanda@lt.px.tsukuba.ac.jp

国内共同研究者:
上野啓司(埼玉大, A03 分担)
渡邊 賢司(NIMS, A03 連携)
谷口 尚(NIMS, A03 連携)

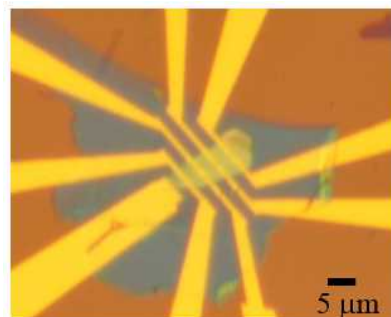


課題名: 原子膜積層化により形成した超伝導システムの物性探索

1. hBNで内包した2層グラフェン/NbSe₂直接接合の作製と電気伝導の評価
鎌水他、応用物理学会2016秋 15a-A33-6
(先行研究の解析では問題があることを指摘。鏡面アンドレーエフ反射を示唆する振る舞いを観測。)
2. NbSe₂の超伝導転移の試料作製プロセス依存性
矢部他、応用物理学会2016秋 13p-P5-59
(超伝導体をhBN等で内包することにより、反応性プラズマエッチングによるダメージを軽減)



BLG/NbSe₂直接接合



hBN/NbSe₂/MLG試料



A2-公募
 青木 伸之
 (千葉大・院融合)
 n-aoki@faculty.chiba-u.jp

国際共同研究者：D. K. Ferry (ASU),
 J. P. Bird (UB), G.-H. Kim (SKKU)
 国内共同研究者：落合・音・荘 (千葉大),
 谷口・渡邊 (NIMS)



1. 高移動度グラフェンにおける新たな量子伝導現象の観測

本提案研究課題，バッファロー大 (UB)，アリゾナ州立大 (ASU)，成均館大 (SKKU) との国際共同研究，高移動度2層グラフェンを電界閉じ込め構造を実現し，量子ポイントコンタクトや開放系量子ドットを形成

2. 低エネルギー電子線照射によるMoS₂のバンドギャップ変調の可能性

現在論文投稿 (審査) 中，UB，Rice大との国際共同研究，電子線リソグラフィプロセス中における電子線照射の影響について，走査プローブ顕微鏡とラマン散乱・PLマップを対比して考察

3. 高移動度MLGにおける量子伝導度ゆらぎの解析

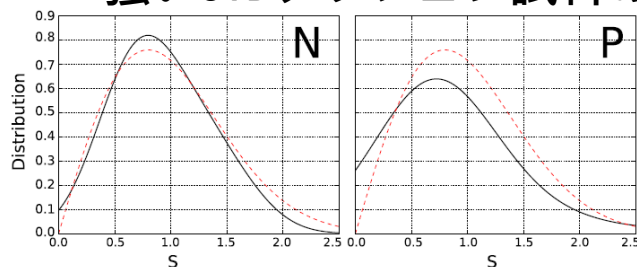
Scientific Reports 6 33118 (2016)

ASU，SKKUとの国際共同研究，h-BNで挟んだ高移動度グラフェンの伝導度ゆらぎを解析し，軌道がカオス的であることを示唆

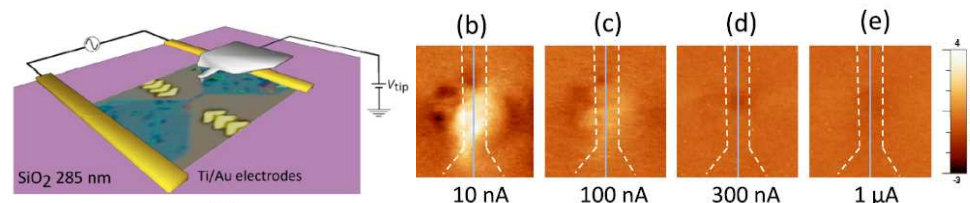
4. 走査ゲート顕微法(SGM)によるCVD成長単層グラフェンの観察

Appl. Phys. Lett. 108 123105 (2016)

国立台湾大学 (NTU) との国際共同研究、極低温SPMを用い、不規則性の強いCVDグラフェン試料の量子輸送現象を観測



成果3より，高移動度なMLGの軌道分布がカオス的であることを示唆



成果4より，CVD成長グラフェンにおける量子ゆらぎをSGM観察によって視覚化して解析



A02物性班-公募
 小山 剛史
 (名大・工)

koyama@nuap.nagoya-u.ac.jp

共同研究者:

A01合成班-計画
 楠 美智子

(名大・未来材料・システム研)

A01合成班-公募

吾郷 浩樹

(九大・産学連携センター)

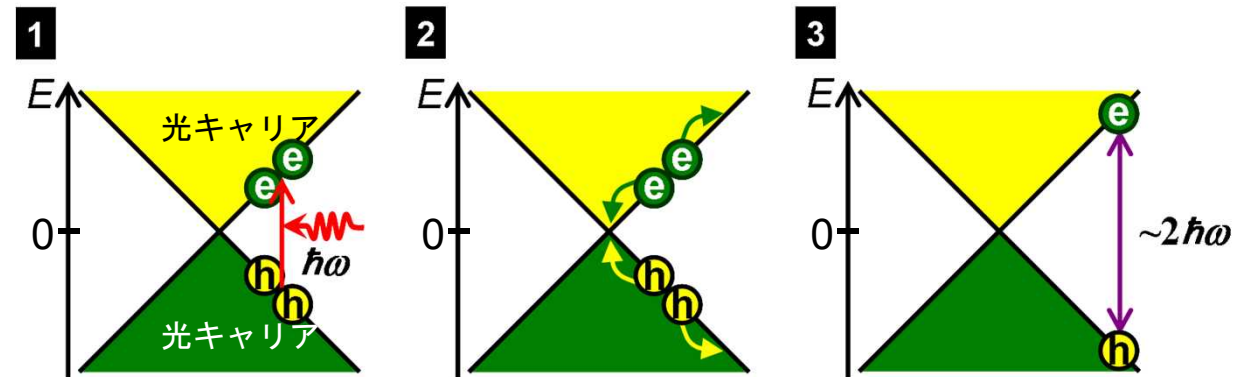


1. 単層グラフェンにおける二段階励起によるキャリア生成

J. Phys. Chem. C 120, 11225 (2016)

A01 吾郷 (九大) との共同研究

一光子吸収 ($\hbar\omega$) およびオージェ再結合過程によって、
 高エネルギー帯域 ($<\sim 2\hbar\omega$) までのキャリア生成を示す。



2. SiCおよびSiO₂基板の単層グラフェンの超高速発光減衰

現在, 結果の解析中

A01 楠 (名大), A01 吾郷 (九大) との共同研究

基板の違いによるキャリア緩和速度の違いを示す。

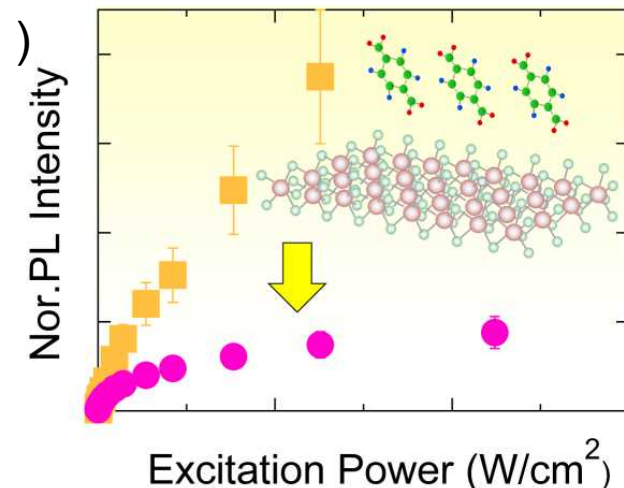


A2-公募-代表
松田 一成
(京大・工ネ研)
matsuda@iae.kyoto-u.ac.jp

国際共同研究者：G. Eda(シンガポール国立大)
国内共同研究者：北浦・篠原(名大, A1 計画)、
竹延(名大, A2 公募)、宮内(京大, A2 公募)
野田(早稲田, A3公募)



1. MoSe₂/WS₂ 原子層ヘテロ構造における光学特性
Nano Lett. 16, 4087 (2016)
(NUSとの国際共同研究、原子層ヘテロ構造間のエネルギー移動観測)
2. 単層MoTe₂の発光スペクトルとその温度依存性
Phys. Rev. B 93, 075411 (2016)
(励起子の位相緩和メカニズムを説明)
3. 原子層物質と金属ナノ構造のハイブリッド構造の光学的性質
Adv. Mat. 28, 2709 (2016)
(原子層物質中の励起子と金属粒子の局在プラズモンとの結合)
4. グラフェンナノリボンデバイスの作製とTEM観測
ACS Nano 10, 1475 (2016)
(名大北浦・篠原グループ (A1計画) との共同研究)
5. 化学ドーピングによる原子層物質の光学特性の変調
Appl. Phys. Exp. 9, 055202 (2016)
(化学ドーピングによる光学非線形性の制御)
6. イオンゲルを用いた単層原子層物質の光学特性変調
J. Jap. Appl. Phys. 55, 06GB02 (2016)
(名大竹延グループ (A3公募) との共同研究)





A2-物性-公募
宮内 雄平
(京大・エネ研)

miyauchi@iae.kyoto-u.ac.jp

国内共同研究者：宮田（首都大, A1 公募），松田（京大, A2 公募），北浦（名大, A1分担）
国際共同研究者：G. Eda（シンガポール国立大(NUS)）

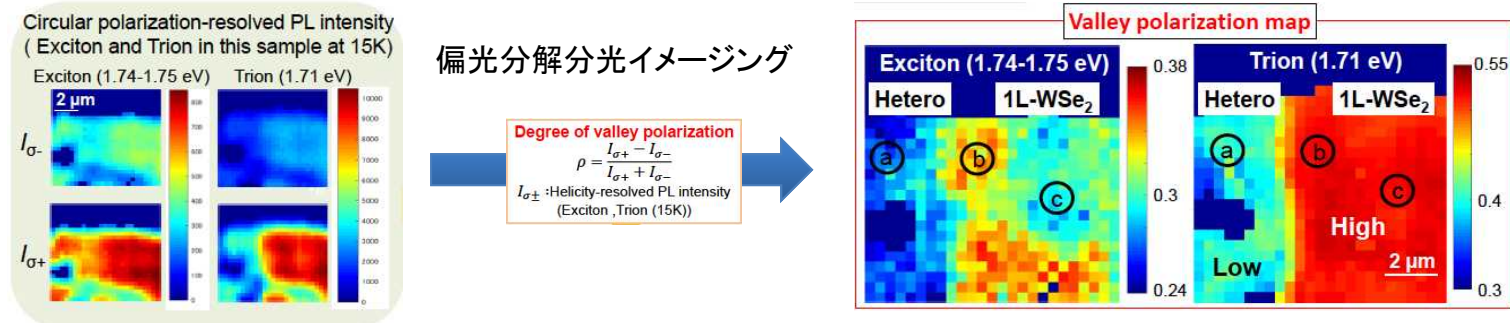


2016年4月(公募研究採択)以降の関連論文発表

1. 単層Nb-doped WS₂ の合成と光物性
Appl. Phys. Express 9, 071201 (2016)
首都大 宮田先生 (A1公募) との共同研究
2. MoSe₂/WS₂ Heterostructuresにおけるエネルギー移動
Nano Lett. 16, 4087 (2016)
NUS Eda先生, 京大 松田先生 (A2公募) との共同研究
3. 単層MoS₂の光学非線形性への化学ドーピングの効果
Appl. Phys. Express 9, 055202 (2016)
京大 松田先生 (A2公募) との共同研究

研究進展状況(2016.4-2016.9)

4. 遷移金属ダイカルコゲナイドの偏光分解分光イメージング装置の構築
The 51st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, 2P-30, Sept. 7-9, 2016, Hokkaido, Japan. 学会発表（論文未発表）





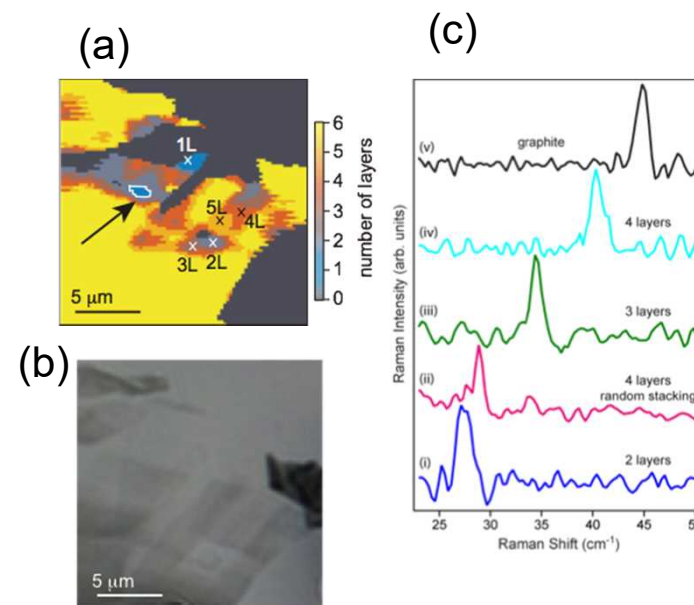
A2 物性班
齊藤結花
(学習院大学)
yuika.saito@gakushuin.ac.jp

1 低振動数ラマン分光と層間相互作用

ラマン分光において励起レーザー光に近接した低振動領域を測定すると、共有結合よりも弱い分子間相互作用に由来する固有振動が観測され、原子層間結合力に関する情報を得ることができる。(Chem. Phys. Lett. 557 114–117, 2013)

基板の影響

今後は、層状化合物試料を保持している基板の影響を、低振動数ラマンスペクトルの形状を観測ことで考察していく。



スコッチテープ剥離によるグラフェンの試料の評価 (a)AFM像(b)光学顕微鏡像 (c)低振動数ラマンスペクトル. ピンクのスペクトルにおいて、不規則な構造が見られる

2 ナノスケール吸収イメージング

ナノスケールの空間分解能をもつ近接場光学顕微鏡を用いて、近接場吸収測定を行う手法を開発した。これまでラマン分光等の振動分光にかわって、グラフェン等の吸収の大きな試料について、電子状態の情報をナノスケールの空間分解能で評価する新規手法として用いることができる。(submitted to Nanoscale 7 Sep)



A02-物性・公募
 田中慎一郎
 (阪大産研)
 stanaka@sanken.osaka-u.ac.jp

国内共同研究者：
 斎藤 (東北大, 総括・理論)
 楠 (名大、総括・合成)



分子研UVSOR (田中 (清)、出田)
 広大HiSOR (島田、E.Schwier, 有田)

1. グラフェンの間接遷移の角度分解光電子分光 (実験担当)

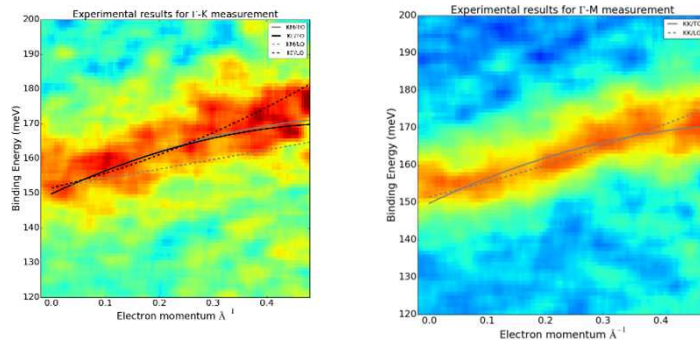
Phys. Rev. B. 94 075429 (2016)

東北大・斎藤 (A4, 総括) との共同研究, 間接遷移の起源を示す。

2. 単層グラフェンの電子格子散乱における分散関係の決定

LEES2016(Shiga, Japan), VUVSX2016(Zurich, Switzerland), AISAMP12(Changchun, China, Invited)

角度分解光電子分光による直接観察



3. 可変偏光角を用いた角度分解光電子分によるグラフェンのディラックコーンからの光電子の強度分布

東北大・斎藤 (A4、総括) との共同研究を含む

日本物理学会2016年秋 (金沢)

グラフェンのディラックコーンの波動関数における位相による光電子強度分布が偏光状態のみならず励起波長や束縛エネルギーによって異なることを示した。



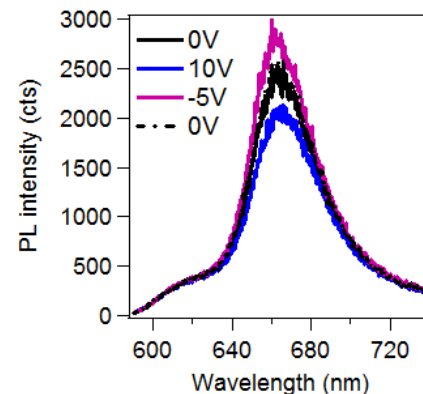
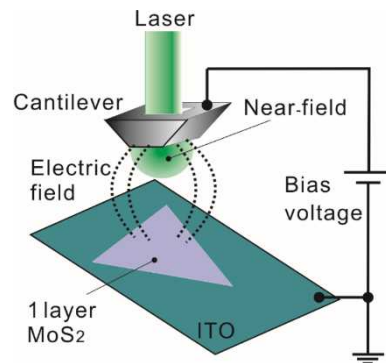
A2-公募-代表
柳 和宏
(首都大・理)

yanagi-kazuhiro@tmu.ac.jp

国内連携研究者：宮田耕充（首都大，A1公募）



1. 近接場分光を用いたMoS₂単層の局所光吸収構造の測定技術開発
Jpn. J. Appl. Phys. 55, 038003 (2016)
2. 近接場分光を用いたh-BN-MoS₂のヘテロ構造の局所光吸収構造の測定技術開発
Jpn. J. Appl. Phys. 109, 063103 (2016)
(A1 宮田先生、A3 渡邊先生、谷口先生との共同研究)
3. 新規無機ナノチューブ (WS₂ nanotube) ネットワークの両極性トランジスタ
動作に成功
Appl. Phys. Express. 9, 075001 (2016) (A4 岡田先生との共同研究)
4. 電界効果近接場分光測定技術の開発と局所発光変調と構造制御の実現
in preparation (2016)



- ・近接場分光と電場印加を同時に可能とする測定装置を開発
- ・局所的な電子ドーピングと発光変調に成功



A02-公募
清水直
(理研・CEMS)
sshimizu@riken.jp

国内共同研究者

- A02 : 柳和弘
- A03 : 竹延大志
- A04 : 是常隆

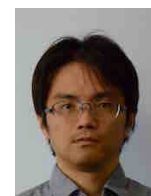
K. Yanagi



T. Takenobu



T. Koretsune

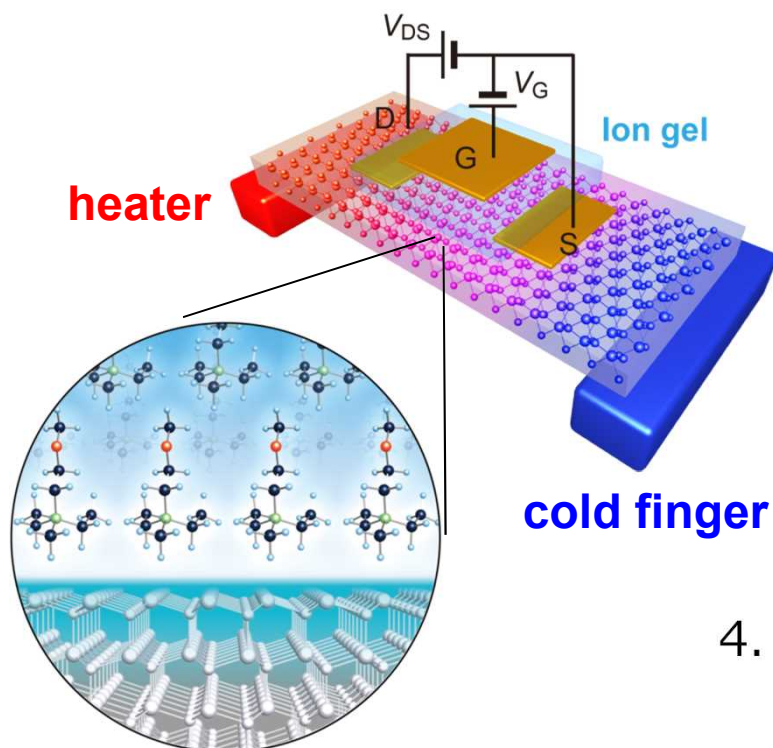


1. p型黒リンの熱電効果

Nano Lett. **16**, 4819 (2016).

* 本成果は是常 (A04、公募) との共同研究 *

電気二重層トランジスタを用いた
熱電効果の電界制御



2. ZnO表面の二次元電子系の熱電効果

PNAS **113**, 6438 (2016).

3. 半導体と金属カーボンナノチューブにおける、熱電能を用いたサブバンドの観測

Small **12**, 3388 (2016).

* 本成果は柳 (A02、公募)、
竹延 (A03、公募) との共同研究 *

4. WSe₂単結晶のパワーファクターの最適化

Nano Lett. **16**, 2061 (2016).

5. SrTiO₃単結晶のフォノンドラッグ効果

Phys. Rev. B **92**, 165304 (2015).



A2-公募(前期)
 永村 直佳
 (NIMS・東北大多元研)
 NAGAMURA.Naoka@nims.go.jp

国内共同研究者:
 野内(大阪府立大, A3 公募)
 吹留・末光(東北大通研)
 久富・堂免(東大化シス)



1. 紫外線照射酸化グラフェンの局所結合状態評価

- S. Konno *et al.* "Local chemical bonding states of UV-irradiated graphene observed by 3D nano-ESCA" MRS fall meeting (Nov 27-Dec 2, 2016, USA) 他
- 大阪府立大 野内(A2,公募)との共同研究
- GFET構造内で複数の酸化状態が存在することを示し、その空間分布を観測。

2. オペランド顕微分光法によるGaN-HEMT素子における電流コラプス現象の機構解明

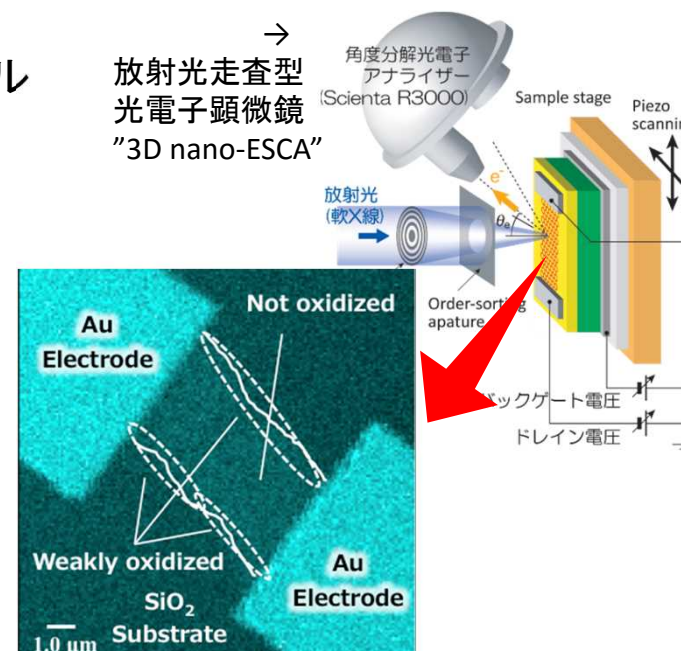
- 東北大学、住友電工との共同研究
- ストレス電圧印加中のゲート電極近傍の電子トラップが電流コラプス現象を引き起こすことを立証。

3. MoS₂トランジスタ構造における金属電極/MoS₂チャンネル界面近傍の電荷移動領域観測

- 東北大学との共同研究
- R. Suto *et al.* Mater. Res. Express 3, 075004 (2016)
- MoS₂FETにもGFETと同様の電極/チャンネル界面電荷移動領域の存在を確認

4. 光触媒ナノクラスタのピンポイント電子状態解析

- E. Sakai *et al.* Nanoscale submitted
- 東京大学との共同研究
- La₂Ti₅CuS₅O₇、La₂Ti₅AgS₅O₇ (LTA)へのGaドーピング効果を確認

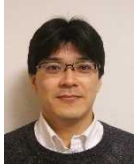


A03:応用班の報告

計画研究代表者：長汐晃輔
(東京大学・工学研究科)

応用班

計画班



長汐(東大)



塚越(NIMS)



上野(埼玉大)



長谷川(AIST)



渡邊(NIMS)



谷口(NIMS)

公募班



河野(東工大)



野内(大阪府立大)



小川(東北大)



山下(東大)



宮本(東工大)



秋田(大阪府立大)



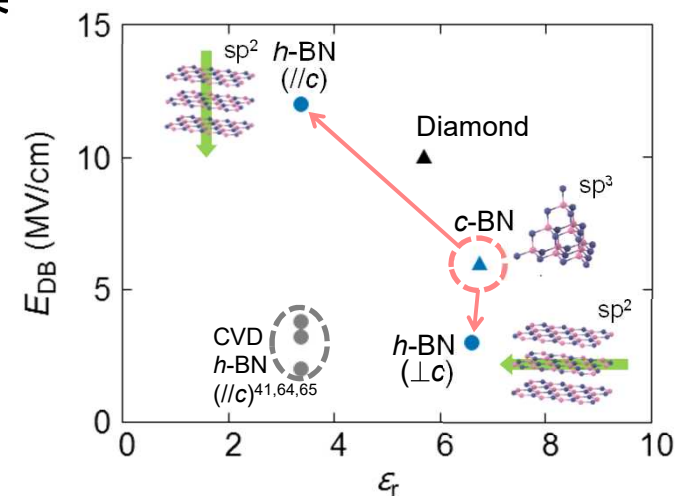
A3-計画-代表
長汐 晃輔
(東大・工)

nagashio@material.t.u-tokyo.ac.jp

国内共同研究者：渡邊・谷口 (NIMS, A3計画)
上野 (埼玉大, A3計画)
楠 (名大, A1計画)
坂本 (東大, A1計画)
大久保 (東大, A1公募)
宮本 (東工大, A3公募) 敬称略



1. *h*-BNの破壊電界強度の異方性の起源に関して
(新学術PD服部による結果, NIMS渡邊・谷口, 名大楠との共同研究)
2. 量子容量を用いた状態密度計測に関するreview.
J. Mater. Res. (2016) in press.
3. Graphene/metal contactのreview
2D materials for nanoelectronics, CRC Press, 2016, pp.53-78.
4. 複層化デバイス作製のためのDry processの提案
2D materials, 2015, 2, 041002.
(NIMS渡邊・谷口との共同研究)
5. 2層グラフェンのギャップ内準位計測
Sci. Rep., 2015, 5, 15789.



A3-計画-分担
塚越一仁
(NIMS,MANA)

TSUKAGOSHI.Kazuhito@nims.go.jp



国際共同研究
黎(南京大)
国内共同研究

上野(埼玉大、A3 計画)、若林(関学大、A4 計画)



1. 層状原子膜材料WSe₂におけるデジタル酸化技術の発見

Self-limiting surface oxidation of atomically thin WSe₂,

M.Yamamoto, S.Dutta, K. Wakabayashi, M. S. Fuhrer, K.Ueno, K.Tsukagoshi,
Nano Letters 15 (3) 2067–2073 (2015).

カルコゲナイド系層状材料にて、1層を精密に酸化出来ることを発見した。

埼玉大上野先生、関学大若林先生との共同研究

2. 1層を酸化した層状原子膜材料WSe₂の電気伝導

Surface Oxides on Single- and Few-layer WSe₂ as Controlled Dopants
and Low-Barrier Contacts

M.Yamamoto, S.Nakaharai, K.Ueno, K.Tsukagoshi,
Nano Letters 16 (4) 2720–2727 (2016).

層状原子膜材料WSe₂の1層だけを酸化した場合に生じる電荷移動効果を解明した。

埼玉大上野先生との共同研究

3. 原子膜半導体における精密電気伝導に関するレビュー

Electrical transport and mobility engineering in two-dimensional van der Waals semiconductors

S.-L.Li, K.Tsukagoshi, E.Orgiu, P.Samori,

Chemical Society Reviews 45 (1) 118–151 (2016).

カルコゲナイド系原子膜での電気伝導で生じる散乱現象に関して多角的にレビューした。

南京大黎 松林先生との共同研究

4. MoTe₂における電極金属からの電流注入過程の解明と注入電荷偏極の制御

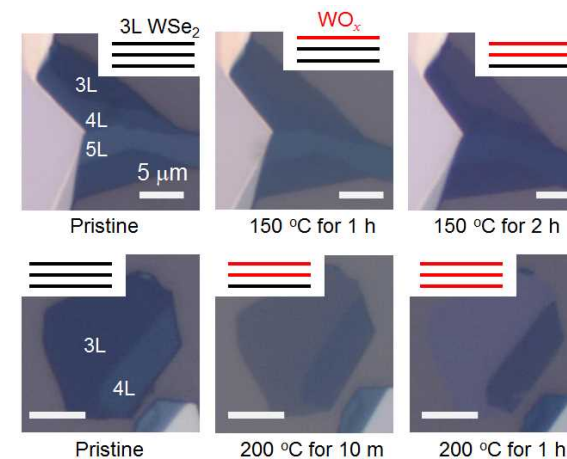
Carrier Polarity Control in α -MoTe₂ Schottky Junctions Due to Weak Fermi Level Pinning

S.Nakaharai, M.Yamamoto, K.Ueno, K.Tsukagoshi,

ACS Applied Materials & Interfaces 8 (23) 14732–14739 (2016).

層状原子膜材料MoTe₂への電流注入に関する実験評価と注入制御の試み

埼玉大上野先生との共同研究



WSe₂における1層毎に制御した酸化層形成

A3-計画-分担
上野啓司
(埼玉大院理工)

kei@chem.saitama-u.ac.jp



国際共同研究者: Lin Zhou, M. S. Dresselhaus (MIT)
国内共同研究者: 斉木(東大, A1計画), 町田(東大, A2計画),
菅原(東北大, A2計画), 神田(筑波大, A2公募), 長汐(東大,
A3計画), 塚越(NIMS, A3計画), 他領域内外に各種層状物質
単結晶試料提供中



1. 層状原子膜材料 WSe_2 におけるデジタル酸化技術の発見
2. 1層を酸化した層状原子膜材料 WSe_2 の電気伝導
3. $MoTe_2$ における電極金属からの電流注入過程の解明と注入電荷偏極の制御
以上, NIMS塚越先生との共同研究(発表論文は塚越先生の資料に記載)
4. 強磁性/超伝導層状物質の単結晶合成とファンデルワールスヘテロ接合への応用
 $FeTaS_2$, $NbSe_2$, NbS_2 などの単結晶合成・提供, 東大町田先生との共同研究
5. $NbSe_2$, TaS_2 薄膜の表面物性
比較用試料として $NbSe_2$, TaS_2 単結晶の合成・提供, 東北大菅原先生との共同研究(NPG Asia Materials誌掲載予定)
6. β - $MoTe_2$ 薄膜のCVT成長
比較用試料として β - $MoTe_2$ 単結晶の合成・提供, MITグループとの共同研究(Adv. Mater.誌掲載予定)

(以下, 上野研にて進行中の主な実験課題/装置開発)

7. トップゲート誘電体層形成/素子封止用ALD装置の製作
 Al_2O_3 薄膜成長は実施済, トップゲートFET素子(MoS_2 , $InSe$)動作確認済
現在 HfO_2 成長用 Hf 源供給系を増設中, 予算あれば Ti 源も予定
8. 層状硫化物原子膜ALD装置の製作
低温($400^\circ C$ 以下)での WS_2 原子膜成長の実現を目指して装置立ち上げ中
9. $\alpha(2H)$ - $MoTe_2$ を用いたFETのガスセンサ応用(右図)
両極動作 $MoTe_2$ -FETによる NO_2 ガス検出に成功
10. 4族TMDsの単結晶成長とFET動作特性の解析
 $HfSe_2$, HfS_2 の単結晶合成と剥離転写によるFET形成, 動作特性の解析
11. マスクレスフォトリソグラフィ装置の改良, 商品化
装置の改良, 顕微鏡販売会社の市販装置開発への協力, 同装置の自作希望研究者への協力

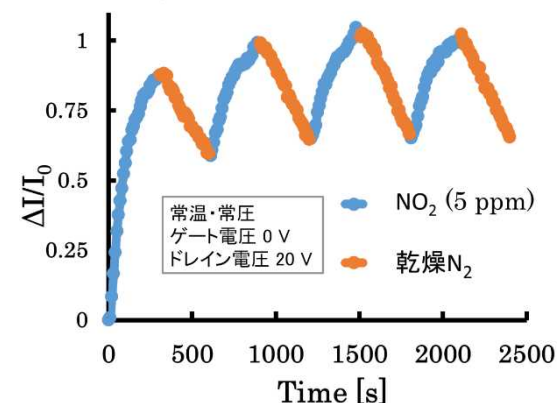


図 純粋な乾燥 N_2 と5 ppm NO_2 /乾燥 N_2 を
繰り返し供給した際のドレイン電流応答

A3-計画-連携研究者

渡邊賢司、谷口尚 (右写真順)

(物質・材料研究機構)

WATANABE.Kenji.AML@nims.go.jp

TANIGUCHI.Takashi@nims.go.jp



国際共同研究

Prof. Alex Zettl (UC Berkeley)

国内共同研究

北浦・篠原(名大、A01 計画)、宮田(首都大、A01 公募)、長田(東大、A02 計画)、町田(東大、A02 計画)、山本(東大、A02 計画)、八木(広大、A02 計画)、神田(筑大、A02 公募)、長汐(東大、A03 計画)、越野(東北大、A04計画)

1. 六方晶窒化ホウ素ホモエピタキシャル膜のラマン散乱評価

Raman spectroscopy study of homoepitaxially grown hexagonal boron nitride

渡邊賢司、谷口尚

第 35 回電子材料シンポジウム (35th Electronic Materials Symposium) (2016年7月6-8日, ラフォーレ琵琶湖, 滋賀県守山市)

第30回ダイヤモンドシンポジウム (2016年11月16-18日、東大駒場、東京)投稿済み
高圧法により育成した六方晶窒化ホウ素単結晶を成長基板に用いたホモエピタキシャル成長を行い共焦点ラマン散乱分光法によるラマンマッピングで結晶性が向上していることを確認した。

2. グラフェン-六方晶窒化ホウ素ヘテロ構造によるナノスケールドーピングパターンの制御

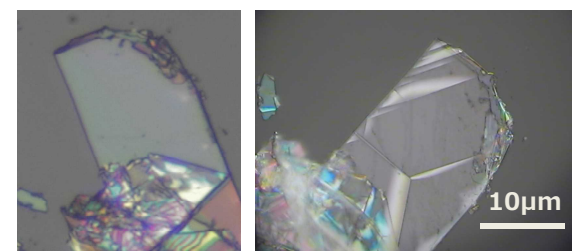
Nanoscale Control of Rewriteable Doping Patterns in Pristine Graphene/boron Nitride Heterostructures

J. Velasco, L. Ju, D. Wong, S. Kahn, J. Lee, H.-Z. Tsai, C. Germany, S. Wickenburg, J. Lu, T. Taniguchi, K. Watanabe, A. Zettl, F. Wang, and M. F. Crommie

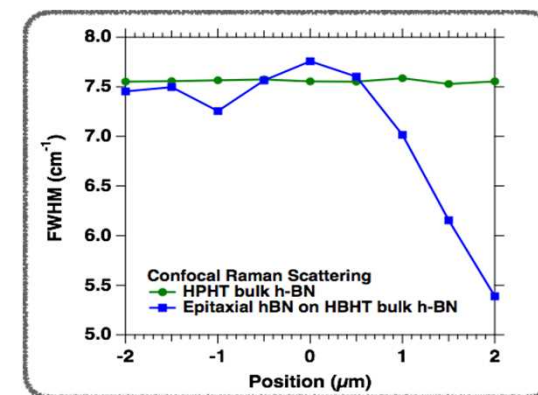
Nano Letters 16(3) 1620-1625 (2016).

グラフェン/h-BN積層構造でSTMチップによりドーピングパターンの書き込み、読み込み、消去技術を開発した。

Prof. Alex Zettl (UC Berkeley)との国際共同研究



Substrate Grown Crystal



Raman depth Mapping

A3-応用 (AIST)



長谷川雅考
(分担)

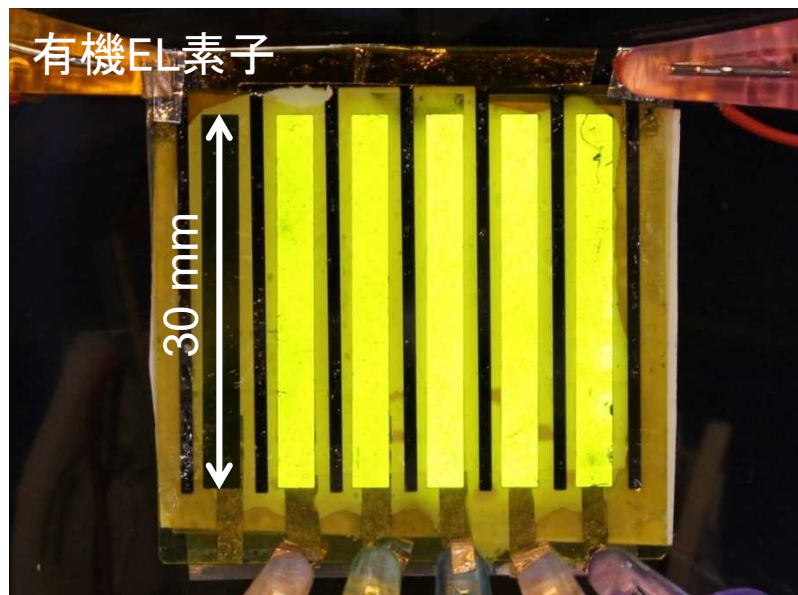
連携研究者
・山田貴壽

共同研究者
・水谷亘
・石原正統
・沖川侑揮



透明導電膜にGrを用いた
有機EL素子のサイズ拡大

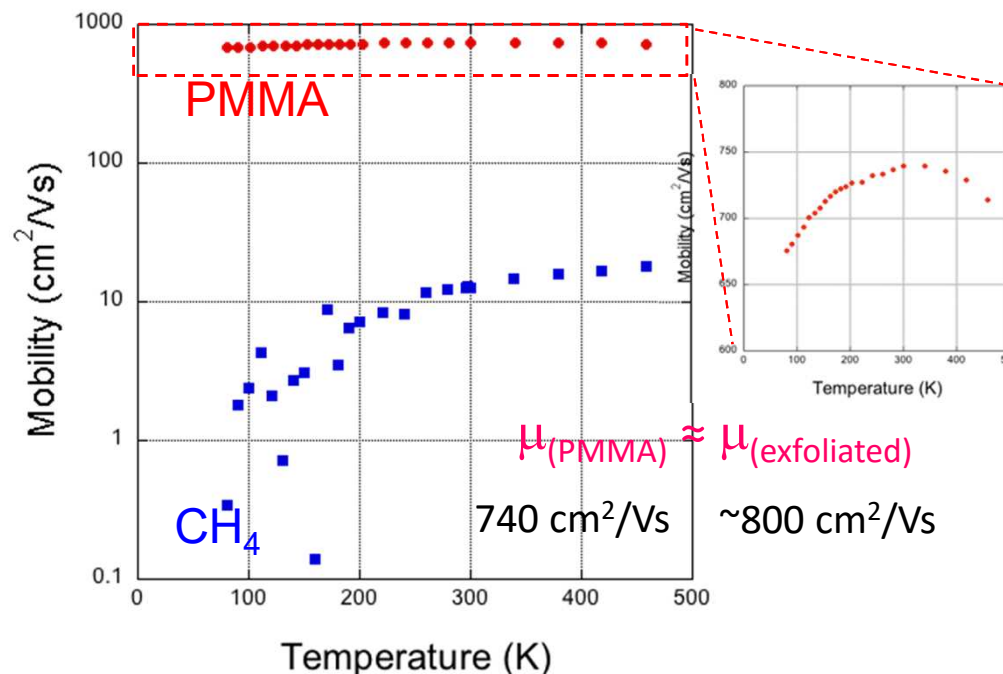
mmからcmへ



Nanotech 2016

PMMAを炭素源に用いた
超低温Gr合成(280°Cプラズマ処理)

低温Gr合成への指針



T. Yamada et al, E-MRS 2016



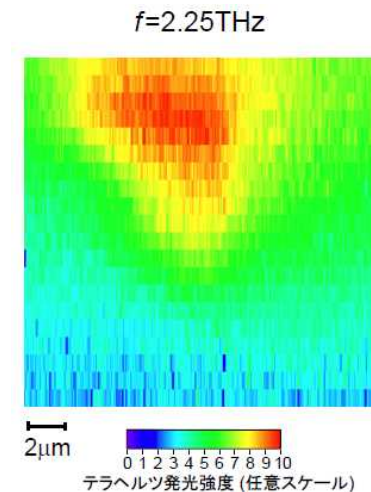
A3-公募-代表
河野 行雄
(東工大・未来研)

Kawano[at]pe.titech.ac.jp

国際共同研究者 : J. Kono (Rice), F. Léonard (Sandia National Lab.)
国内共同研究者 : 藤田、伊藤 (東北大, A3 公募 連携)



1. ナノポーラスグラフェンによるテラヘルツ検出
特願2016-172073
(ナノポーラスの効果を利用したテラヘルツ検出を示した。)
藤田、伊藤 (東北大, A3 公募) との共同研究
2. 近接場テラヘルツ分光イメージングと量子伝導研究への応用
IEEE Trans. THz Sci. Technol. 6, 356 (2016) (Invited paper)
特願2015-244218
(チップ型近接場イメージャーと量子伝導研究への応用を示した。)
3. テラヘルツプラズモニック素子
J. Model. Simul. Antennas and Propagation 2, 1 (2016)
特願2016-153599
(周波数選択可能なプラズモニック素子を提案した。)
4. カーボンナノチューブ素子によるテラヘルツ検出
ACS Nano 9, 11618 (2015)
Rice, Sandiaとの国際共同研究
(検出器としての性能を定量的に評価した。)



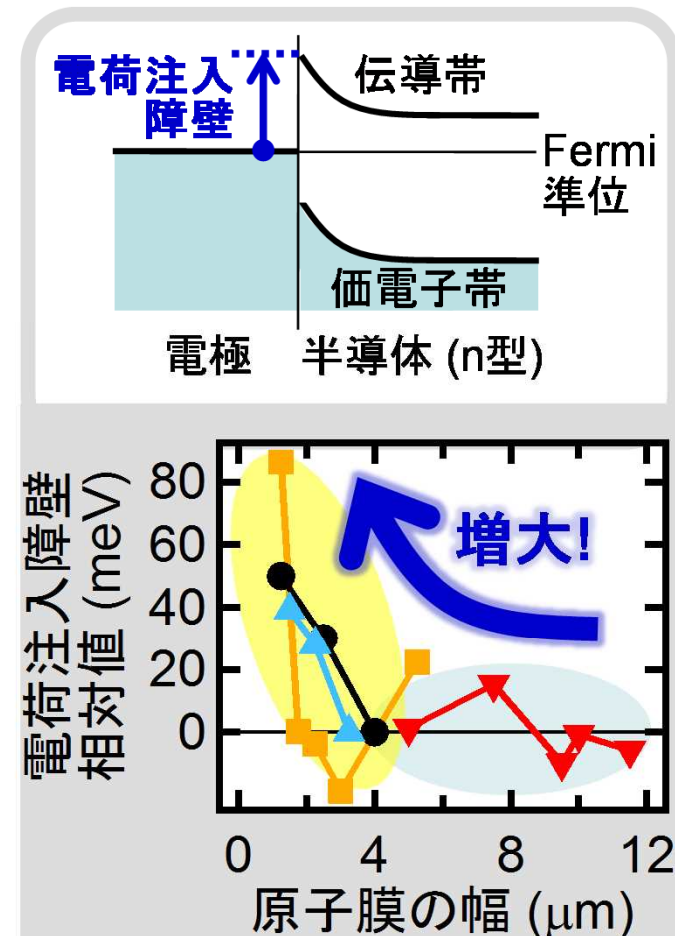
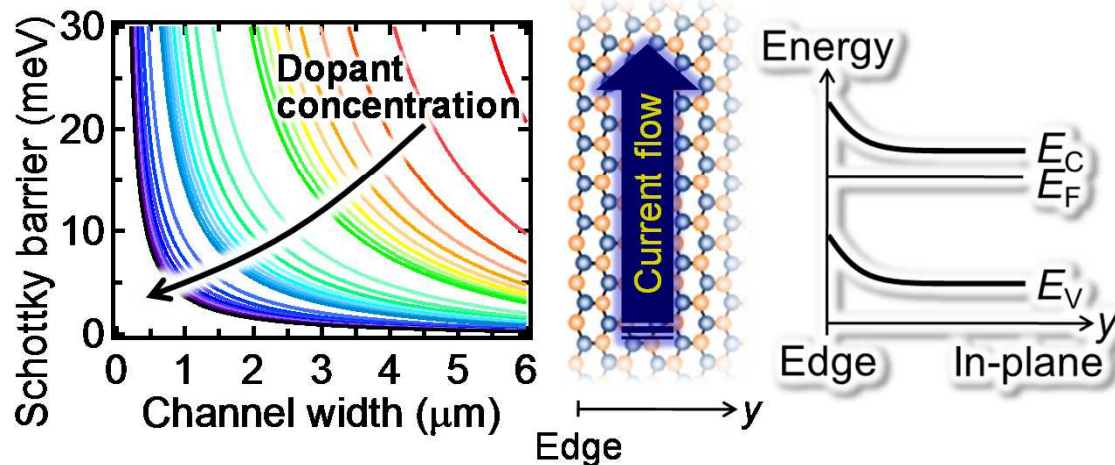


A3-公募
野内 亮
(大阪府立大・N2RC)
r-nouchi@21c.osakafu-u.ac.jp



遷移金属ダイカルコゲナイドへの電極接合に対するエッジ効果 J. Appl. Phys. 120, 064503 (2016).

- 高集積化にとって短チャネル化と共に重要な狭チャネル化の影響を調査
- 端起因の電荷注入障壁増大（デバイス性能の劣化）を実験的に初確認【右図】
- ドーパント濃度増大で劣化低減可能【下図】だが、それには限界有り
- 将来的にはエッジ状態終端化法の確立が必要





A3-公募-代表
秋田 成司
(大阪府立大・工)
akita@pe.osakafu-u.ac.jp

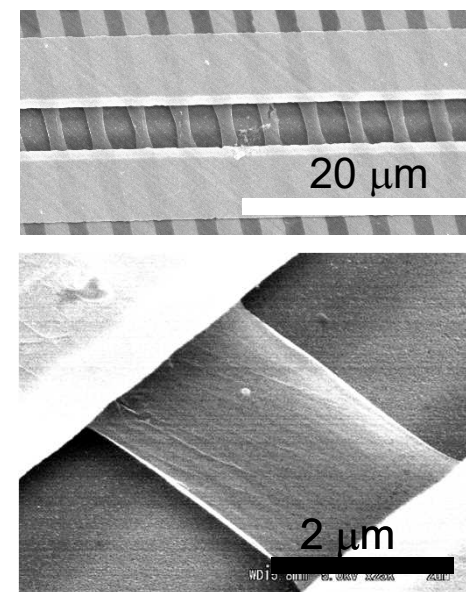


関連する論文

1. 宙吊りカーボンナノチューブ燃糸のガスとの熱交換
Appl. Phys. Express, 9, 085001 (2016).
(熱駆動型NEMSの基礎データとなる。)
2. 蓄積電荷に誘起された遅延効果によるカーボンナノチューブ振動制御
Sci. Rep., 6, 22600 (2016).
(機械的Q値および非線形振動制御に成功)

関連する学会発表

1. 静電駆動型カーボンナノチューブ片持ちはりの振動制御
NT16 (Vienna, Austria, University of Vienna, August 7-13)
(外部電界による新しい振動制御法の提案)
2. 光定在波を用いたグラフェン機械共振の非線形制御
FNTGシンポジウム (札幌市2016.9.7-9)
(波長により定在波分布を変化して非線形状態の制御)



宙吊りグラフェン機械共振器



A3-公募-山下
真司 (東大・
先端研)

syama@ee.t.u-tokyo.ac.jp

国際共同研究者: E. D. Obraztsova (Russian
Academy of Sciences)

国内共同研究者: セット ジ イオン (東大)
丸山 茂夫 (東大, A1計画)



1. 導波路型グラフェン変調器のシミュレーションと最適設計

Opt. Exp., vol.24, no.4, pp.3584-3591, 2016.

シリコン導波路の場合TMモードで導波路厚240nmが最適であることを示す。

2. 新しい導波路型グラフェン変調器の提案

IEICE Electron. Exp., vol.13, no.14, pp.1-11, 2016.

グラフェン2層構造と最適化導波路により光吸収量が2倍に

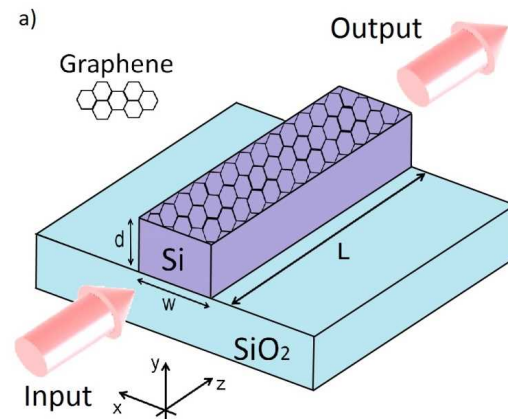
3. CNTモード同期Tmドープ光ファイバレーザ

Opt. Lett. 41, 3864-3867 (2016)

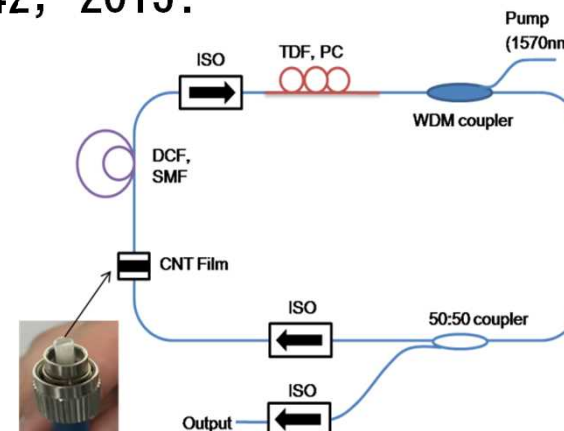
Russian Academy of Sciencesとの国際共同研究、共振器内の分散量を変化させることで種々のクラスのソリトンパルス発生

4. CNT・グラフェンを利用した光ファイバデバイスのReview

応用物理, vol.84, no.7, pp.638-642, 2015.



導波路型グラフェン変調器



CNTモード同期Tmドープ光ファイバレーザ



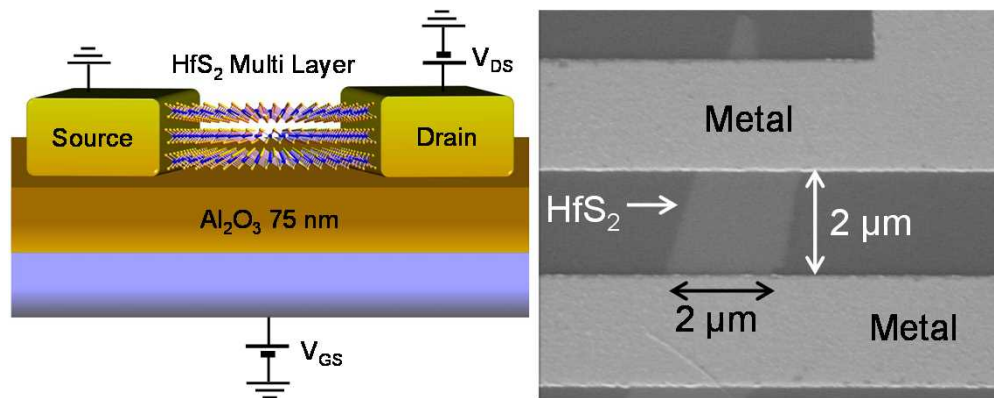
A3-公募
宮本 恭幸
(東工大・工)

miya@ee.e.titech.ac.jp

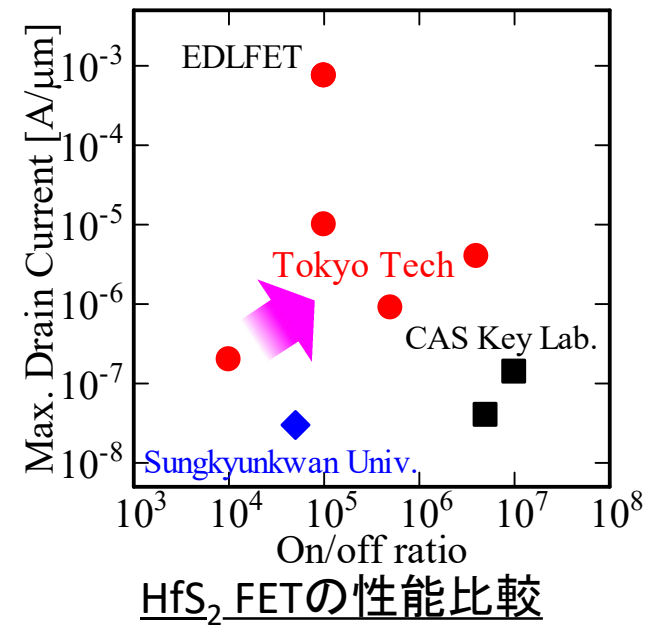
国内共同研究者:
長汐 晃輔 (東京大学/応用班代表)



1. 薄膜HfS₂トランジスタの開発
Scientific Reports, 6, 22277 (2016)./ 機能材料, 2016年9月号, p. 46
HfS₂を用いた初めてのトランジスタ動作を報告
2. 大気中劣化抑制のためのHfS₂ FETの真空アニールとパッシベーション
AWAD 2016, A5-7 (2016)./ IEEE Proc. NANO 2016, p. 865 (2016).
大気中におけるHfS₂の劣化現象とその抑制による性能向上を報告
3. トンネルトランジスタ(TFET)作製へ向けた要素技術開発
ソース用p-MoS₂とチャネル用HfS₂の各々について必要な性能を確認



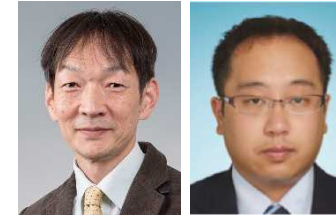
作製デバイス構造およびSEM観察像



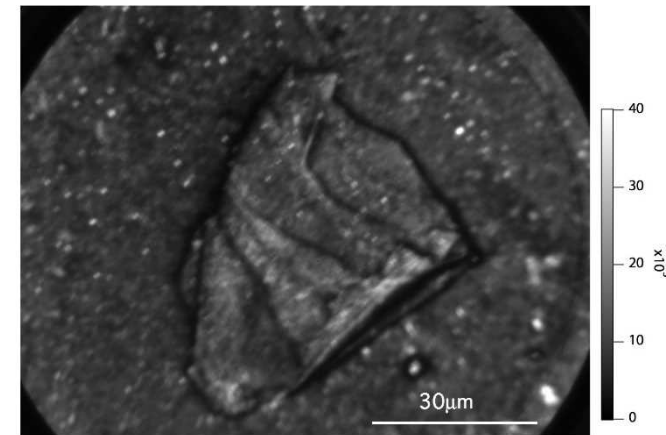
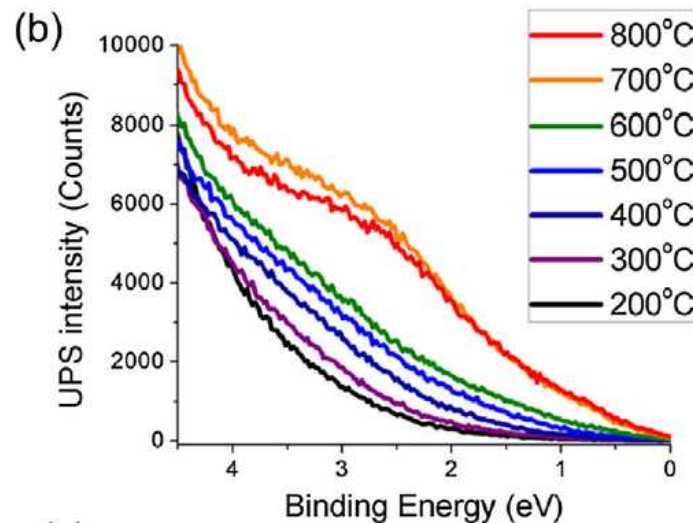


A3-公募
小川 修一
(東北大・多元
研)
ogasyu@tohoku.ac.jp

連携研究者
虻川匡司 (東北大・多元研)
山田貴壽 (産総研) A3連携研究者



1. 酸化グラフェン高温還元における価電子帯スペクトルの変化
Phys. Stat. Sol. 213 2380-2387 (2016)
産総研山田との共同研究、加熱によるフェルミ準位近傍の状態
密度増加を示した。
2. h-BN上グラフェンの光電子顕微鏡観察
h-BNの撮像に成功し、電子放出箇所 の面内分布について研究をす
すめている。



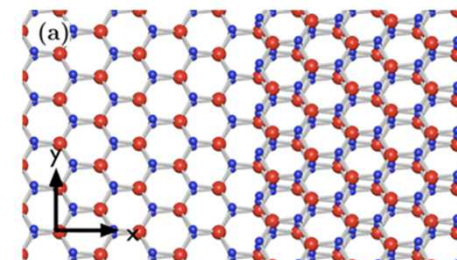
A04:理論班の報告

計画研究代表者：越野幹人
(阪大・理学研究科)



A4-計画-代表
 越野 幹人
 (阪大理)
 koshino@phys.sci.
 osaka-u.ac.jp

国際共同研究者 : P. Moon (NYU Shanghai),
 Y.-W. Son (KIAS),
 Cory Dean (Columbia)
 国内共同研究者 : 菅原 (東北大, A02計画),
 渡邊、谷口 (NIMS, A03連携)
 青木 (産総研, A04計画),
 羽部 (阪大, SATL PD)



1. 遷移金属カルコゲナイド 2次元系におけるスピン緩和の理論

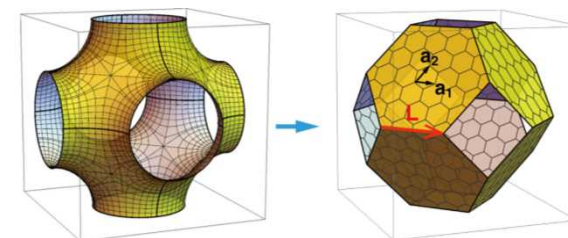
Phys. Rev. B 93, 075415 (2016)

共同研究 : 羽部 (SATL PD)

2. 3次元曲面グラフェンにおけるディラック電子

Phys. Rev. B 93, 041412(R) (2016)

共同研究 : 青木 (A04計画)



3. 3次元グラフェンの合成と物性評価

Advanced materials, in press (2016)

共同研究 : 菅原 (A02計画)、田邊洋一、伊藤良一 (東北大)

4. グラフェンにおけるフラクタル量子ホール効果の発見

Science 350, 1231 (2015)

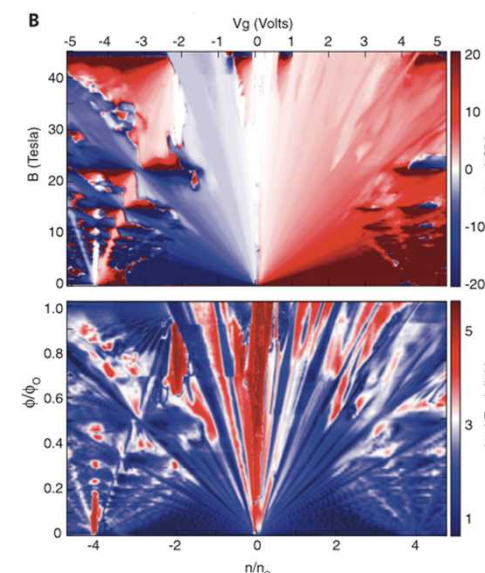
共同研究 : 渡邊、谷口 (A03連携), C. Dean (Columbia)

5. 原子層モアレ 2層系、2層カーボンナノチューブの理論研究

Phys. Rev. B 91, 035405 (2015),

J. Phys. Soc. Jpn. 84, 121001 (2015)

共同研究 : P. Moon (NYU Shanghai), Y.-W. Son (KIAS)





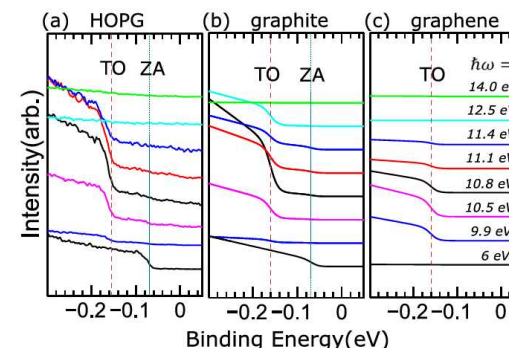
rsaito@flex.phys.tohoku.ac.jp

A4-計画-分担
齋藤 理一郎
(東北大・理)

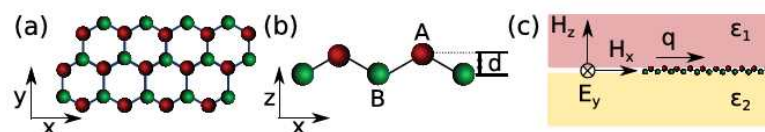
国際共同研究者: M. S. Dresselhaus (MIT)
H. Guo (遼寧石油大), T. Yang (IMR, China)
国内共同研究者: 田中 (阪大, A2 公募)



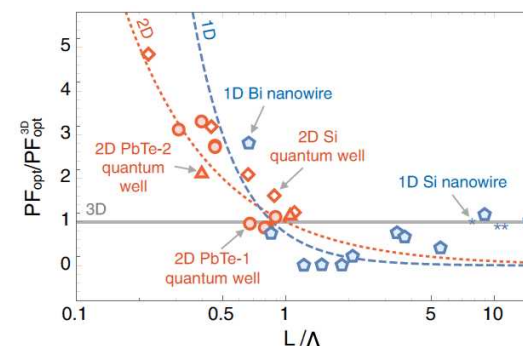
1. グラフェンの角度光電子分光における間接遷移の理論
Phys. Rev. B. 94 075429 (2016) ARPES間接遷移
を説明。阪大 田中 (A2,公募) との共同研究。



2. シリセンの表面プラズモンの理論
Appl. Phys. Lett. 109 063103 (2016)
(シリセンのTEモードが重要。)

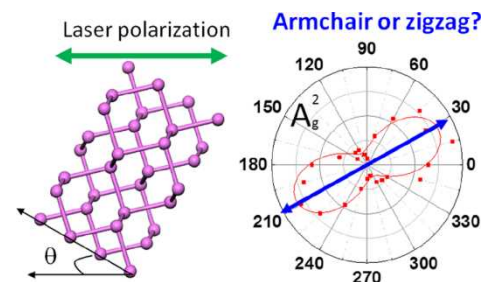


3. 低次元物質の熱電性能の理論
Phys. Rev. Lett. 117 036602 (2016)
(Confinement length $L < \lambda$ 熱的ドブロイ波長 λ
で熱電性能が向上)



4. 遷移金属カルコゲナイドのラマン分光のReview を発表
J. Phys. Cond. Matt. 28 353002 (2016) (図無し)

5. 黒リンの偏光ラマン分光の理論
Nano Lett. 16, 2260 (2016)
MITとの国際共同研究、偏光RamanがPの厚さに依存



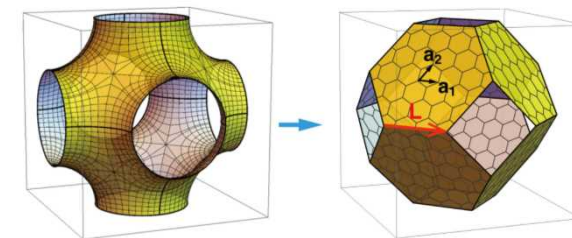


A4-計画-分担
 青木秀夫
 (産総研; 東大・理)
 aoki@phys.s.u-tokyo.ac.jp

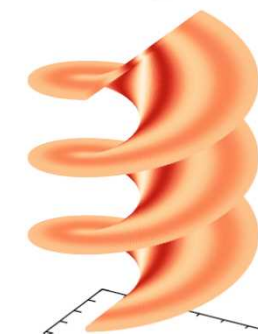
国際共同研究者: Mircea Dinca (MIT), P.A. Maksym (UK)
 国内共同研究者: 越野幹人 (阪大, A4 計画)、
 初貝安弘 (筑波大, A4 計画)、島 信幸 (兵庫)、
 田邊洋一 (東北大)



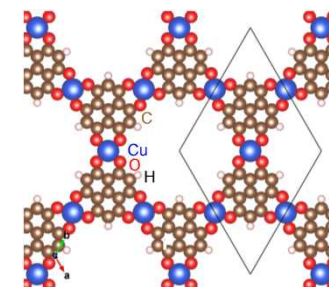
1. M. Koshino and H. Aoki:
 Dirac electrons on three-dimensional graphitic zeolites – a scalable mass gap, Phys. Rev. B 93, 041412(R) (2016).
 ゼオライト的な3次元グラフェンのギャップが制御できることを示した。

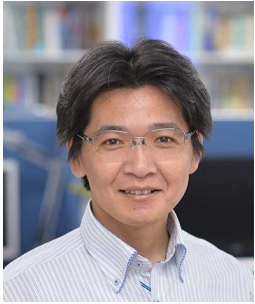


2. M. Watanabe, H. Komatsu, N. Tsuji and H. Aoki:
 Electronic structure of helicoidal graphene – massless Dirac particles on a curved surface with a screw symmetry, Phys. Rev. B 92, 205425 (2015).
 螺旋面状グラフェンの電子構造の理論。



3. M. Yamada, T. Soejima, N. Tsuji, D. Hirai, M. Dinca and H. Aoki: First-principles design of a half-filled flat band of the Kagome lattice in two-dimensional metal-organic frameworks, Phys. Rev. B 94, 081102(R)(2016).
 金属・有機複合構造における強磁性・トポロジカル系の設計、MIT化学科との国際共同研究。

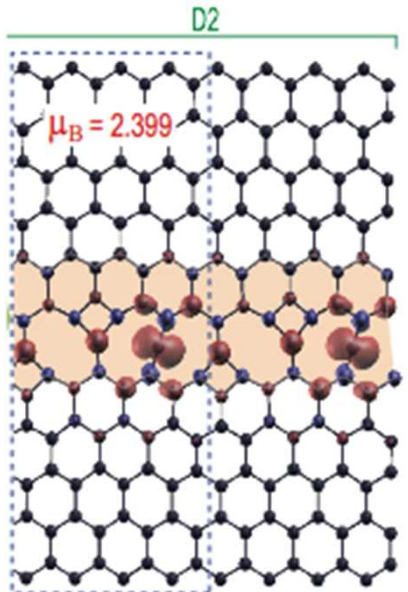
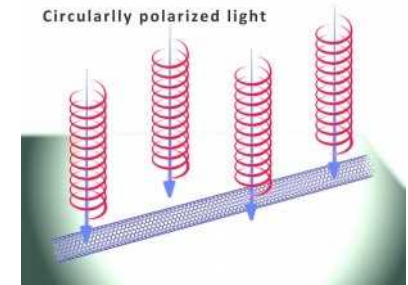
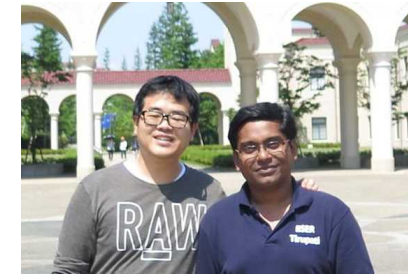




A4-計画-分担
 若林 克法
 (関西学院大・理工)

waka@kwansei.ac.jp

国際共同研究者 : S. Dutta (IISER Tirupati),
 H.-Y. Deng (Exceter Univ.)
 国内共同研究者 : 塚越 (NIMS, A3 計画),
 上野(埼玉大, A3計画),
 F. Liu (関学大, SATL PD)



1. 円偏光の光照射下におけるカーボンナノチューブのバレー分極
 Applied Physics Express 9, 085101 (2016)
 Liu (SATL PD, 関学大)との共同研究
2. 異種金属界面における表面プラズマ波の励起の理論
 EPL 114, 35002 (2016)
 Deng (Exceter)&Liu (SATL PD, 関学大)との共同研究
3. グラフェン等2次元物質におけるプラズマ波の遅延効果の理論
 Phys. Rev. B 92, 045434 (2015)
 Deng (Exceter)との共同研究
4. グラフェンドメイン境界における電子局在と磁気発現の理論
 Scientific Reports 5, 11744 (2015)
 Dutta (IISER) との共同研究
5. 層状原子膜材料WSe₂におけるデジタル酸化に関する理論計算
 Nano Lett. 15 (3), 2067-2073 (2015)
 NIMS塚越Gr. (A3計画), 埼玉大上野Gr.(A3計画)との共同研究



A4-計画-分担
斎藤 晋
(東工大・理)

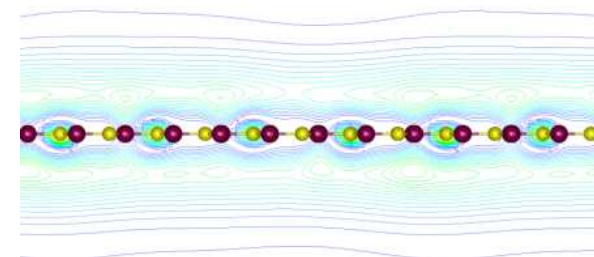
saito@stat.phys.titech.ac.jp

連携研究者： 安藤 恒也
研究協力者： 豊田 雅之、藤本 義隆
共同研究者： 鈴浦 秀勝 (北大)
是常 隆 (理研、公募)
櫻井 誠大 (テキサス大学)



1. 2次元巨大ラッシュバ系のホール効果および磁場応答
Phys. Rev. B. **94** 035302 (2016); *ibid.* **94**, 085303
(安藤先生による、鈴浦先生 (北大) との共同研究)
2. 2層系も含む h-BN 原子膜系の Strain Engineering
Y. Fujimoto and S. Saito, J. Ceram. Soc. Jpn. **124**, 584 (2016);
Phys. Rev. B **93**, 045402 (2016);
Phys. Rev. B, submitted

圧縮歪により伝導帯底に
現れる自由電子的状態



3. h-BNナノチューブにおける不純物準位
to be submitted
4. カーボンナノチューブ固体結晶への加圧による新sp³相とその光応答
to be submitted



A4-公募-代表

岡田 晋

(筑波大・数理)

sokada@comas.frsc.tsukuba.ac.jp



1. 欠陥を有する多層グラフェンの電子状態
Surf. Sci. 644, 18 (2016).
(欠陥と層間相互作用による多層グラフェン π 状態ギャップ形成)
2. グラフェン端の詳細なエネルギー論の解明
Carbon 96, 351 (2016)
(グラフェン端の端形状の安定性と電子構造の間の相関を解明)
3. グラフェン-BNヘテロシートによるスピン物性
J. Phys. Chem. C Phys. 120, 1293 (2016)
(BN中に埋め込まれたsp²炭素ネットワークの磁性状態)
4. h-BN端の詳細なエネルギー論の解明
Sci. Rep. 6, 30653 (2016)
(BN端形状の安定性と電子構造の間の相関を解明)
5. h-GaNシートの構造と電子状態
Appl. Phys. Express 9, 095201 (2016)
(h-GaNシートの安定構造と電子状態の理論的解明)

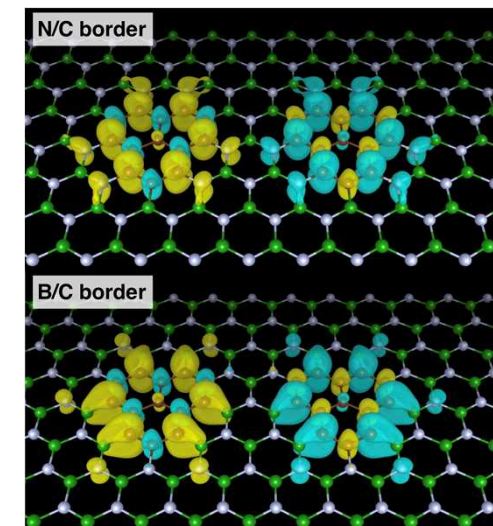


図: 成果3におけるスピン密度分布



A04-理論班公募研究

宮本良之

(産総研CD-Fmat)

Yoshi-miyamoto@aist.go.jp

国際共同研究者：

H. Zhang, X. Cheng (四川大学)

A. Rubio (Max. Planck, Str. Dyn. of Matters)

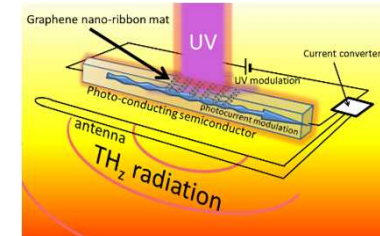
国内共同研究者：中西毅 (産総研, A04 公募, 連携研究者)



2015.9から2016.9の主な成果

1. グラフェンナノリボン(GNR)を用いたTH_z発振素子の理論

Nanoscale, 7, 19012–19017, (2015)、国際共同研究者との共著論文, GNRのUVのTHz変調特性を利用したTH_z発振素子の提案。
特許本年9月公開予定

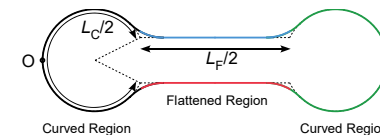


2. グラファイト状層状物質によるレーザー水分解反応の促進 論文投稿中

(metal-freeの材料graphene hNM gC3N4がレーザー光増大効果を持つので、水のレーザー分解反応を促進する)

3. 端が閉じた2層グラフェンの電子状態 論文投稿中

(2層のずれによる電子状態の大きな変化を、端での波動関数の接続の観点から網羅的に解明した。)





公募研究

「原子層炭素材料の化学吸着・脱離制御の理論」

代表: 草部浩一 (阪大, SATL)

G.K. Sunnardianto (阪大)

共同研究:

榎敏明 (東工大, SATL)

丸山勲 (福岡工大)

高井和之 (法大, SATL)

1. 縮退Zero modeをもつVANG分子の提案

N. Morishita, *et al.*, JPSJ 85, 084703 (2016).

2. $V \Rightarrow V_{11} \Rightarrow V_{211}$ を通じた V_{111} 合成経路の活性障壁推定

G.K. Sunnardianto, *et al.*, J. Adv. Sci. Eng. Med. 8, 421-426 (2016).

3. V_{111} 構造における水素分子解離吸着反応パス同定

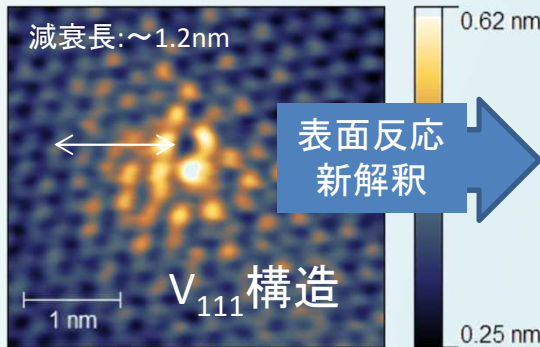
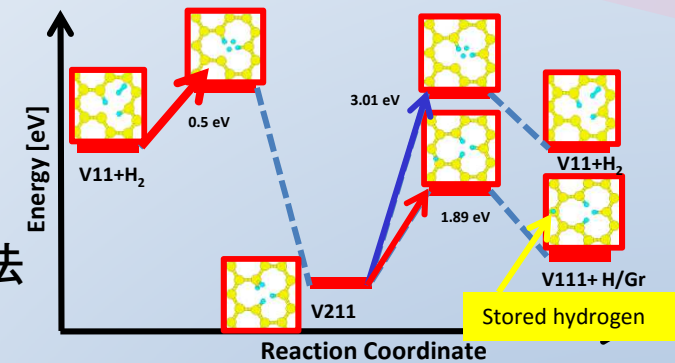
G.K. Sunnardianto, *et al.*, Int. J. Hydro. Energy to be sub.

4. V_{221} 構造からの水素原子の表面マイグレーション評価

5. グラフェン原子欠損の「自己触媒能」存在証明

6. 水素貯蔵材料用炭素材料への自己触媒能賦活化方法

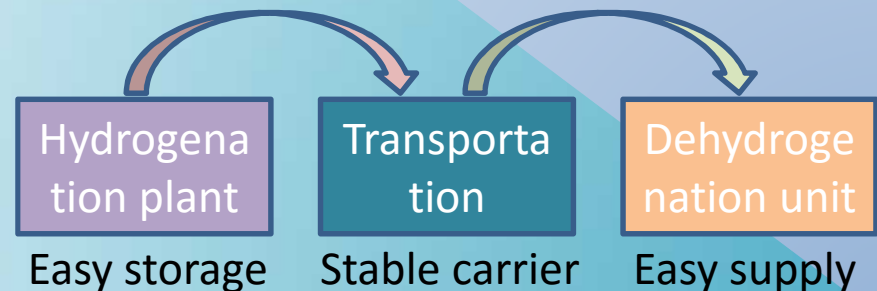
特願2016-169558, 草部, Sunnardianto, 榎, 丸山



STM image of "the pure single zero mode".
 V_{111} : Hydrogenated graphene vacancy.
By M. Ziatdinov *et al.* PRB 89, 155405 (2014)

V_{111} の能力!
原子状水素曝露
(graphone 形成)
↓
アニーリング
(表面水素脱離)
水素分子でも!

触媒機能を齎す水素化原子欠損の同定
⇒ 有機ハイドライドを凌駕する可能性有
水素貯蔵材料応用で特許出願済 (2016.8)
(大阪大学、福岡工業大学、承継.)





A4- 公募-代表
是常 隆

(理研CEMS)

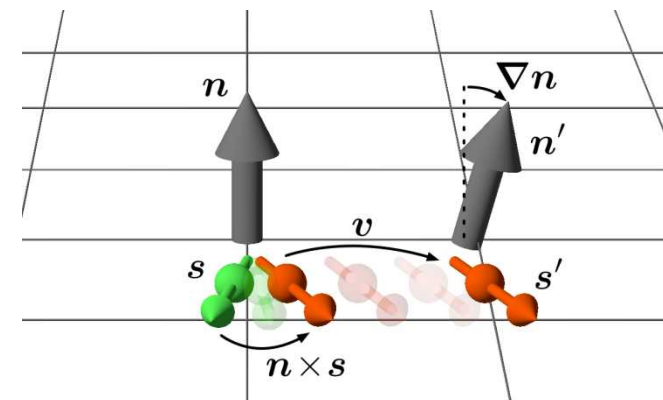
takashi.koretsune@riken.jp

国際共同研究者：wannier90 開発者

国内共同研究者：清水(A02公募), 北浦(A01計画)



1. 電子格子相互作用計算手法の開発
論文執筆中
2. 最局在ワニエ波動関数構築プログラムの改良
論文準備中
共同研究：wannier90開発者
3. スピン流を用いたジャロシンスキー守谷相互作用の評価手法開発
Phys. Rev. Lett.116 247201 (2016)
4. p型黒リンの熱電性能
Nano Letters 16 4819 (2016)
共同研究：清水(A02公募)
5. NbS₂ 原子層の研究
2D Materials 3 025027 (2016)
共同研究：北浦(A01計画)





A4-公募-代表

樋口 克彦

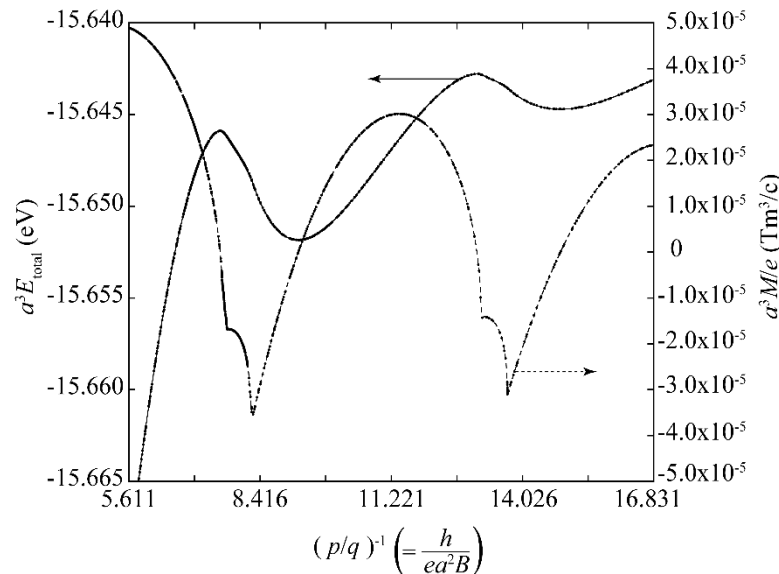
(広大・院先端)

khiguchi@hiroshima-u.ac.jp

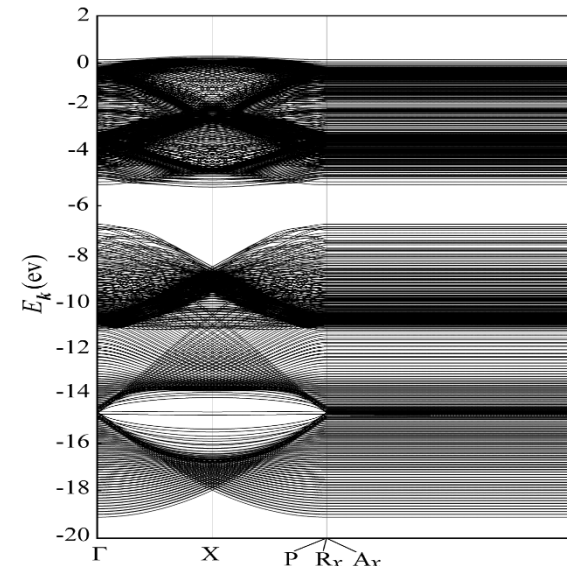
連携研究者: 樋口雅彦(信大・理)



1. 磁場を含んだ相対論的強束縛近似法によるdHvA振動の計算
Phys. Rev. B. **91**, 245101/1-9 (2015).
(磁場下固体のエネルギーバンド計算によるdHvA振動の再現)
2. 磁場を含んだ相対論的強束縛近似法による金属の磁化振動の計算
Submitted
(通常のdHvA振動に加え、付加的な振動が生じることを理論的に予測)
3. 磁場下結晶シリコンのエネルギーバンド構造
国際会議 (CC3DMR2016)にて発表(招待講演)
(磁場を含んだ相対論的強束縛近似法の紹介)



dHvA振動の計算結果(磁場下S.C.)



磁場下結晶シリコンのエネルギーバンド構造

製作：科学研究費補助金
新学術領域研究「原子層科学」総括班
領域番号 2506
設定期間平成25-29年度
領域代表 齋藤理一郎(東北大学)

Web: <http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gensisou/>

Facebook: 原子層科学(日本語) SATL(英語)

2016. 9. 28作成