



SATL 原子層科学
Science of Atomic Layers

文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究(平成25-30年度)
領域名: 原子層科学 Science of Atomic layers (SATL)

SATL news letter

◆◆◆◆ 研究紹介 ◆◆◆◆

プラズマCVDグラフェン透明電極を利用した 高分子有機EL素子の開発[1]

応用班 沖川 侑揮(産総研・長谷川 G)

最高スペックの透明電極が要求される有機LED(OLED)へのグラフェンの適用を検討している。ITOの実績から考えると高品質CVDグラフェンの性能の指標であるシート抵抗 30Ω 可視光透過率 90%は OLED への適用が困難であることを示す。[2] それにもかかわらず、グラフェン透明電極で ITO 以上の発光効率が報告されている。[3] これには、ITO と比較してグラフェン透明電極の本質的な薄さが光学的な優位性として寄与していることがまず考えられる。しかし、グラフェンは他にも何か持っている気がする。相手は我々がかつて手にしたことのない原子層の膜であり、取り扱いに習熟することで予想もしなかった特長に出会えるように思う。これが本開発の最大の楽しみである。

図1は試作したグラフェン透明電極をアノードに用いた高分子 OLED である。プラズマ CVD で作製した A4 サイズの透明導電

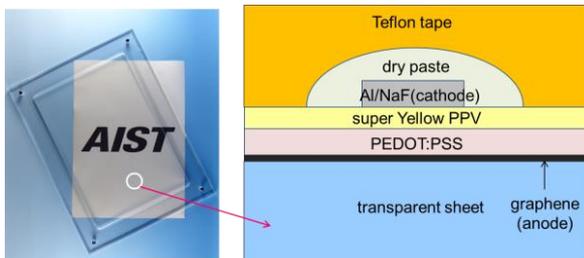


図1 OLED の構造

フィルムから切り出して利用した。2 層グラフェンでシート抵抗は $550\sim 800\Omega$ 、透明基材は

PET または PEN である。その上に導電性高分子(PEDOT:PSS)、有機発光体層(super yellow)をスピンコートで積層し、カソード電極を真空蒸着で作製する。最後にパッシベーション層(dry paste, Teflon tape)を設けて OLED デバイスの完成である。



図 2 グラフェン透明電極を利用した高分子 OLED が点灯する様子(PEN 基材)図 1 グラフェン

図 2 はグラフェン透明電極を利用した OLED が点灯する様子である。基材は PEN であり、素子の大きさは $2\text{mm}\times 6\text{mm}$ である。輝度は $8000\text{cd}/\text{m}^2$ 以上(@15V)あり、リーク電流もなく、グラフェン電極を利用した高分子 OLED での最高輝度を達成した。

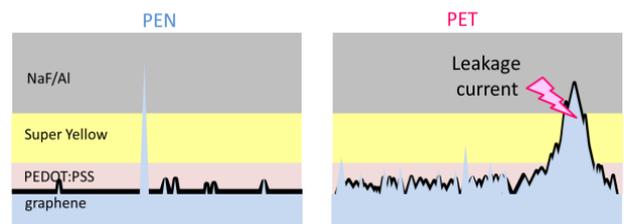


図 3 リーク電流発生機構の模式図(PENとPETの比較)

我々はこれまで透明基材として PET を用いて開発してきたが、リーク電流の発生による低輝度と発光ムラに悩まされてきた。今回の発

光品質向上の要因は PET と PEN の表面形状の違いにある(図 3 参照)。PET 表面の特徴は緩やかで大きな突起があることで、これによりグラフェン電極とカソードが短絡してリークが発生していた。一方 PEN 表面の大きな突起は非常に鋭いため、この突起を覆う際にグラフェンは引っ張り応力に耐え切れず破損していることが分かった。すなわちグラフェンは原子層の薄さゆえの自己犠牲効果により、アノード-カソード間の短絡を抑制できたと言える。

グラフェンの原子層の薄さは取り扱う際の難敵であり、CVD グラフェンの転写など研究者の悩みのタネである。同時に本例のように、原子層の薄さはアドバンテージである。原子層膜の取り扱いに習熟し、この薄さをうまく利用することが今後のグラフェン用途開発を行ううえで、最大のポイントとなるであろう。

[1] Y. Okigawa et al., JJAP in press.

[2] S. Bae, et al., Nat. Nanotechnol. 5 (2010) 574.

[3] T.-H. Han, et al., Nature Photonics 6 (2012) 105.



応用班 沖川 侑揮
産業技術総合研究所ナノ材料研究部門。専門は半導体デバイス。ナノ炭素材料の合成からデバイス作製、評価を一貫して行い、研究開発と事業化との間にある“死の谷”を乗り越えたい。

◆◆ひとこと◆◆

原子層科学のメンバーに加えていただきましてありがとうございます。グラフェンをやりはじめてから結構たちますが、細かいノウハウ、あるいは高品質な物質を持っているか否かという、「情報」と「モノ」は研究上で非常に大きな

ウェイトを占めると思います。電気伝導を用いた物性の研究ではサンプルの品質が決定的に重要です。品質の悪いサンプルでは、どんなに頑張ってもわけのわからないデータしか出ません。有名どころに情報チャンネルのない私のところでは、あちこちで小耳に挟んだことをたよりに、移動度向上の努力を続けてきました。甲斐あって移動度が徐々に向上してきたので、これまで見えなかったものがはっきりと見えるように、そしてその正体がわかるようになってきました。これは研究室の学生たちのガンバリのおかげでもあるのですが、それ以上に原子層科学プロジェクトの協力のおかげであります。特に、応用班の渡邊さんのグループに頂いた最高品質の BN 結晶は必要不可欠であります。また、理論班の斎藤先生、安藤先生、越野先生、若林先生、中西先生、物性班の長田先生には、グラフェン道場などを通じて、あるいは個別的に、理論をご教示願いただき、先生方の貴重なお時間を使って頂いております。総括班の家先生にも常々いろいろとお世話になっております。合成班の先生方に、名古屋大学や、東京大学での実験室の見学の際に、CVD 装置などを見せていただいたので、私どものところでも、ある程度薄い Bi_2Se_3 などを CVD 合成することができるようになりつつあります。この場を借りまして皆様にお礼申し上げます。グラフェン以外の物質にもマンパワーの許す限り手を出してみたいとおもっています。また、私が何かお役に立てることがございましたら何なりとお申し付けください。



物性班 八木隆多
広島大学大学院先端物質科学研究科 専門は低温物理 原子層の中の電子を操りたい。

◆◆ひとこと◆◆

こんにちは、物性班(公募研究)の小山剛史です。今回、「ひとこと」に寄稿する機会をいただき、筆を執っています。本日 7 月 31 日は第 5 回領域会議の直前ということもあり、領域会議についてひとことを書きます。

私は本領域の領域会議を毎回楽しみにしています。私は 2008 年にカーボンナノチューブの光学応答の研究を開始し、特に、超短パルスレーザーを用いた超高速分光に携わってきました。近年では、グラフェンの研究も始め、物理学分野にいる立場から原子層物質の研究動向を見てきました。本領域に加えていただいてから、多くの分野での研究動向を勉強する機会を得ました。多分野の総合により原子層科学という学術領域が形成され、そして成熟していくことが期待できる、そのような雰囲気領域会議にて感じます。加えて、様々な分野における最前線のホットな話題を知ることができ、知的好奇心を刺激されます。さらに、領域内で行われている研究を一挙に見聞きできる場なので、共同研究について考えるよい機会となります。実際、領域会議での講演を聞いたことがきっかけとなり、共同研究を開始することができました。このように、領域会議は私にとって大変有意義であり、8 月 3、4 日の領域会議も楽しみにしています。

さて、与えられた文字数にはまだ少し余裕

があるので、最近開催された国際会議 NT15 についてもひとこと。NT15 の参加者数は近年の NT では最も多く、700 名を超えていました。本領域がこの会議を共催していたこともあり、原子層関連の講演も多くありました。原子層科学の進展が加速していく、その勢いを感じました。私も分光屋の立場からこの進展に貢献していきたい、と思いを新たにしました会議でした。



物性班 小山 剛史
名古屋大学 工学系研究科 専門は放射光分光材料分析 様々な角度で原子層を“見ること”(イメージング)で未知の物性を明らかにしたい。

○イベント報告

◆第 5 回原子層科学全体会議

日時: 2015 年 8 月 3 日(月)4 日(火)

場所: 京都大学 理学部キャンパス

プログラム URL:

<http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gensisou/archives/meeting/5th/20150716.prog.pdf>

第 5 回全体会議では、総勢 60 名のメンバーが京大理学部キャンパスに集まりました。最初に領域代表から領域の方針や中間審査に向けての準備等の説明がありました。初日に行



新学術領域研究「原子層科学」第 5 回全体会議

2015年8月3日-4日 京都大学大学院理学研究科

われた班会議では、新しい結果を持ち寄ることで、全体会議では2年間の総括を行い、後半へ向けた研究の展開を議論しました。共同研究も活発におこなわれており、有機合成で作成した原子層を核として利用して大型結晶をCVDで育成する等、新学術が始まったからこそそのデータが数多く報告されました。夜の懇親会では、2年がたち非常にうちとけた雰囲気情報交換の場として活用いただきました。

2日目には、班会議があり、密な議論を行うとともに、各班から新たな講習会企画に関して検討しました。全体会議は、一般公開されていて、一般の方からご参加いただきました。お礼とともに、大学院生など若い人の参加をお待ちしています。

◆市民講座「原子層科学～ベンゼンからカーボンナノチューブ、グラフェンまで～」

8月3日 9:00～12:00

- 1.「ナノの世界で原子をつないで心をつなぐ有機化学」 依光英樹
- 2.「ナノカーボンの科学」 篠原久典
- 3.「カーボンナノチューブとグラフェンの世界へようこそ」 齋藤理一郎

グラフェンをはじめとする原子層に関するこ

うした研究成果を一般市民に広く還元し、原子層に関連する科学への関心を深めていただくことを目的として市民講座を行いました。定員100名で募集したところ、定員を超える150名の参加登録があり急遽開催場所を変更するほど盛況でした。物理・化学・その境界領域の第一線の研究者の講演に高校生を中心とした会場から多くの質問があり、非常に熱気のある市民講座でした。また、「氷をグラファイトで切る」デモ実験が参加者体験型で開催され、体験者からは驚きの声が上がっていました。市民講座としては稀に見る大盛況であり、ご協力いただいた原子層科学のメンバー各位や京都大学理学部社会交流室の常見俊直先生、高田美砂様にこの場を借りて御礼申し上げます。



大盛況でした！



氷をグラファイトで切るデモ実験！

市民講座 原子層科学
～ベンゼンから、カーボンナノチューブ、グラフェンまで～

日時：平成27年8月3日(月) 9:30～12:00
場所：京都大学 理学部セミナーハウス
受講料：無料
対象：高校生以上の一般
定員：100名(先着順)

LECTURE ナノの世界で原子をつないで心をつなぐ有機化学
京都大学理学部 准教授 依光英樹

LECTURE ナノカーボンの科学
名古屋大学理学部 教授 篠原久典

LECTURE カーボンナノチューブとグラフェンの世界へようこそ
東北大学理学部 教授 齋藤理一郎

TEL: 075-753-4010 FAX: 075-753-3970 E-mail: shirayoshi@kuchem.kyoto-u.ac.jp
URL: http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gematsu/public-ec.html

◆国際会議 NT15

NT15(ナノチューブ、グラフェン、関連するナノ物質の国際会議)が以下の日程で開催されました。37ヶ国 765名の参加があり、原子層科学のメンバーからちょうど100名の参加でした。

SATL も共催として、大きく貢献できたのではないかと思います。

日時: 2015 年 6 月 28 日-7 月 3 日

会場: 名古屋大学 豊田講堂

HP: www.nt15.jp

NT15 ポスター賞!

蒲江(応用班 竹延先生)

島崎佑也(物性班 山本先生)

千足昇平講師(合成班 丸山先生)

鈴木大地(応用班 河野先生)



全体写真



NT15 のTシャツを着ての 1 枚

◆理論講習会「グラフェン道場」

一般の参加を含め 62 名の参加がありました。日本語と英語の教室に分かれ、単に講義だけでなくその場計算をしてもらうという実践的な授業で活発な質問がありました。夜の懇親会では、1Min プレゼンテーションがあり盛り上がりました。

主催された越野先生、講師の若林先生、参加された皆さん、会の運営に多くの手助けしてくれた、齋藤 G、越野 G の皆さんに感謝します。

日時: 2015 年 2 月 18 日-2 月 19 日

会場: 東北大学青葉山キャンパス



講義の一コマ

○メディア・プレスリリース

◆2015 年 6 月 30 日

NHK サイエンス ZERO No. 509 「身近な元素で未来が変わる ナノ炭素素材」に、篠原久典教授(合成班)が出演しました。

<http://www.nhk.or.jp/zero/sp/contents/dsp509.htm>

◆2015 年 6 月 28 日

菅原克明助教(物性班)の光電子分光装置を用いたグラフェン関連の研究が、「未来の起源」に取り上げられました。地上波TBSにて6月28日(日)、BS-TBSにて7月5日(日)の 2 回放送がありました。

◆2015 年 6 月 30 日

注目物質“グラフェン”におけるパリティ効果を世界で初めて確立!

小林研介教授(大阪大学)と松尾貞茂助教(東京大学)は、小野輝男教授(京都大学)および塚越一仁主任研究者(応用班 NIMS)らの研究グループとの共同研究により、金属と半導体の両方の性質を持つグラフェン中に形成された pn 接合注2での量子ホール状態の輸送現象にパリティ効果があることを理論的に予測し、実験によって検証することに成功しました。Matsuo, et al., Scientific Reports, 2015, 5, 11723.

◆2015 年 6 月 2 日

原子層高温超伝導体を開発

菅原克明助教(物性班・東北大学)、高橋隆教授、および中山耕輔助教らの研究グループは、鉄とセレンからなる原子層超薄膜において高温超伝導を発現・制御することに成功しました。

Miyata, et al., Nature mater., 2015, 14, 775.

◆ 2015 年 4 月 10 日

グラフェンの電子状態を制御することに成功

東北大学の研究グループ(清水亮太助教、菅原克明助教(物性班)、高橋隆教授、一杉太郎准教授)は、二層グラフェンの間にカルシウム原子を挿入した二層グラフェン化合物について、電荷密度波が生じていることを明らかにしました。

Shimizu, et al., PRL, 2015, 114, 146103.

2015 年 4 月 3 日

グラフェンナノリボンからナノチューブの合成に成功

坂本良太助教(合成班、東大)らは有機分子・金属原子および金属イオンからボトムアップ的に合成される原子層物質「ボトムアップ型ナノシート」において、光機能性の創出に初めて成功しました。

Sakamoto, et al., Nature comm. 2015, 6, 6713.

◆2015 年 3 月

赤外線フォノン誘起による、層状物質の層間距離の縮小を第一原理計算で予測

宮本良之(理論班、AIST)らは、h-BN の層間距離を、赤外線レーザーによる光学フォノン励起により縮めることができることを理論的に予測しました。

Miyamoto et al., PRL. 2015, 114, 116102.



太陽電池用色素シート 東大が開発 効率10倍以上に

Nature Japan » Nature Communications » 注目の論文 » 「ボトムアップ型」光機能性ビス(ジピリナト)亜鉛(II)錯体ナノシート (2015年6月10日)

光電変換機能を確認 東大、界面合成法で作成

化学工業日報 2015年4月3日

合成班 東大 坂本助教

酸化グラフェン 生産効率5倍に 岡山大

合成班 岡山大学 仁科准教授 日経産業新聞 2015 年 7 月 15 日

東大・物材機構 有機FET内部の電子状態 動作中に観測

○お知らせ・受賞等

◆河野行雄准教授(応用班)の研究協力者 鈴木大地君(博士課程)が NT15 にて Poster Presentation Award を受賞しました。

◆丸山茂夫教授(合成班)の研究協力者 千足昇平講師が NT15)にて Poster Present ation Award を受賞しました。

◆山本倫久講師(物性班)の研究協力者 島崎佑也君(博士課程)が NT15)にて Poster Presentation Award を受賞しました。

◆河野行雄准教授(応用班)の研究協力者 井口崇君(修士課程)が Joint Symposium of 3rd International Symposium on Microwave/Terahertz Science and Applications (MTSA 2015) and 6th International Symposium on Terahertz Nanoscience (TeraNano 6)にて Best Poster Award を受賞しました。

◆依光英樹准教授(合成班)が、同専攻教授に昇任。

◆竹延大志教授(応用班)の研究協力者 蒲江君(博士課程)が第 48 回 FNTG 学会若手奨励賞を受賞しました。

◆竹延大志教授(応用班)の研究協力者 蒲江君(博士課程)が Journal of Materials Chemistry A 賞を受賞しました。

◆依光英樹准教授(合成班)が第4回新化学技術研究奨励賞を受賞しました。「高い被毒耐性を有する含硫黄芳香環高機能化用遷移金属錯体触媒の開発」

◆加藤俊顕講師(合成班)が第 14 回インテリジェント・コスモス奨励賞を受賞しました。「半導

体原子層物質の構造制御合成と光電子デバイス応用」

◆劉崢博士(物性班)のグループが日本顕微鏡学会第 71 回学術講演会優秀ポスター賞装置部門を受賞しました。「STEM-EELS による低次元材料の構造および電子状態の解析」

◆篠原久典教授、北浦良准教授、宮田耕充准教授(合成班)、劉崢(物性班)、岡田晋(理論班)の極細グラフェンナノリボンに関する論文が、NanotechWeb.org (IOP)に取り上げられました。

◆加藤俊顕講師(合成班)が平成 27 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞を受賞しました。「先進プラズマ活用ナノカーボン構造制御合成及び機能化の研究」

◆加藤俊顕講師(合成班)の研究協力者 鈴木弘朗君(博士課程 1 年)が第 62 回応用物理学会春季学術講演会にて 2015 Poster Award を受賞しました。

◆加藤俊顕講師(合成班)の研究協力者 Xu Bin 君(博士課程 1 年)が日本学術振興会特別研究員(DC1)に採用されました。

◆依光英樹准教授(合成班)の研究協力者 藤本圭佑君(博士課程 1 年)が日本学術振興会特別研究員(DC1)に採用されました。

◆依光英樹准教授(合成班)の研究協力者 福井識人君(博士課程 1 年)が日本学術振興会特別研究員(DC1)に採用されました。

◆依光英樹准教授(合成班)の研究協力者 山元裕太郎君(博士課程 1 年)が日本学術振興

会特別研究員(DC1)に採用されました。

◆依光英樹准教授(合成班)の研究協力者 Alexandre Baralle 博士が日本学術振興会外国人特別研究員に採用されました。

◆永村直佳助教(物性班)が物質・材料研究機構研究員に着任しました。

◆依光英樹准教授(合成班)の研究協力者 米田友貴博士が千葉大学大学院薬学研究院助教に着任しました。

◆若林克法独立研究者(理論班)の研究協力者 Hai-Yao Deng 博士が、日本学術振興会(JSPS)外国人特別研究員(受入機関:関西学院大学)に採用されました。

◆若林克法独立研究者(理論班)が、関西学院大学理工学部 先進エネルギーナノ工学科教授に就任しました。

◆廣戸聡助教(合成班)が第 95 日本化学会春季年会若い世代の特別講演に選ばれました。「アニリンやフェノールの酸化反応をベースとした高歪 π 共役分子の合成」

◆加藤俊顕講師(合成班)の研究協力者 Xu Bin 君(修士課程 2 年)が東北大学平成 26 年度電気・情報系優秀賞を受賞しました。「カーボンナノチューブのカイラリティ制御プラズマ合成」

◆初貝安弘教授(理論班)の論文が日本物理学会第 20 回論文賞に選ばれました。「Chern Numbers in Discretized Brillouin Zone: Efficient Method of Computing (Spin) Hall Conductances」

◆菅原克明助教(物性班)が第 9 回日本物理学会若手奨励賞(領域 7)を受賞しました。「高分解能 ARPES によるグラフェン関連物質の電子構造研究」

◆野田優教授(合成班)の研究協力者 許乃傲君(学部 4 年)が、化学工学会第 80 年会にて本部大会学生賞特別賞を受賞しました。「電気化学キャパシタのための酸化グラフェンとカーボンナノチューブの複合電極の作製」

◆松田一成教授(物性班)の研究協力者 壺井佑夏君(博士課程)が第 75 回応用物理学会講演奨励賞を受賞しました。「CVD 成長による MoS₂ 薄膜の合成と光電変換デバイスへ応用」

◆町田友樹准教授(物性班)の研究協力者 森川生君(修士課程)が、第 46 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム 若手奨励賞を受賞しました。

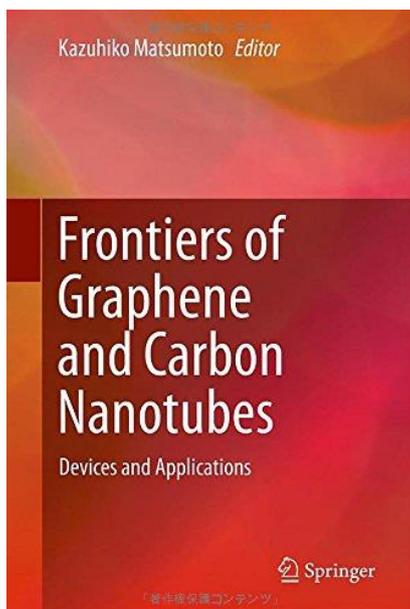
◆依光英樹准教授(合成班)の研究協力者 田中隆行助教が第 31 回井上研究奨励賞を受賞しました。

○書籍紹介

『Frontiers of Graphene and Carbon Nanotubes –Devices and Applications』

Edited by K. Matsumoto (2015) Springer
ISBN978-4-431-55371-7

新学術のメンバーから長汐・大野(応用班)、加藤(合成班)が寄稿。グラフェンや CNT の成長から電子デバイス応用まで幅広く扱っていますので、是非一読ください。



の作り方も実演しますので、是非ご参加ください。

日時: 2015 年 10 月 2 日

場所: 東京大学 長汐研究室

詳細は後日 HP に掲載します。

○編集後記

新学術「原子層科学」がスタートして 2 年が経ち中間審査を迎える状況になりました。研究成果が沢山出てきており、受賞等も数多く頂いております。Vol4 に引き続き、写真を多く掲載し、領域メンバーの個性が伝わる「ひとこと」を増やしております。是非、研究の合間に目を通して頂ければと思っております。

ニュースレターの充実のため皆様からのご意見をお聞かせください。

長汐: nagashio@material.t.u-tokyo.ac.jp

○今後の予定

◆第 6 回原子層科学全体会議

日時: 2016 年 2 月 17 日、18 日

場所: 東北大学青葉山キャンパス

詳細は後日 HP に掲載します。

◆原子層複層化技術講習会

日時: 2015 年 10 月 2 日

複層化デバイスを作製してみたい方を対象に DRY な転写プロセスの実演予定です。PDMS

○事務局

編集メンバー: 長汐晃輔(応用班・東大)、北浦良(合成班・名大)、依光英樹(合成班・京大)、越野幹人(理論班・東北大)、山本倫久(物性班・東大)、劉崢(物性班・AIST)、塚越一仁(応用班・NIMS)

発行・企画編集: 文科省 科研費 新学術領域「原子層科学」総括班・事務局

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

Facebook: <https://www.facebook.com/gensisou>

連絡先: 編集責任者 長汐晃輔(東京大学) nagashio@material.t.u-tokyo.ac.jp