



**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

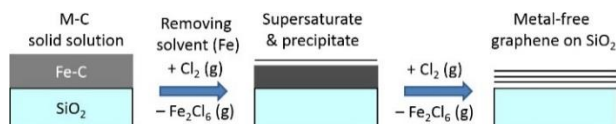
◆◆◆◆研究紹介◆◆◆◆

## エッチング析出法によるグラフェンの基板上直接合成

合成班 野田 優(早大先進理工)

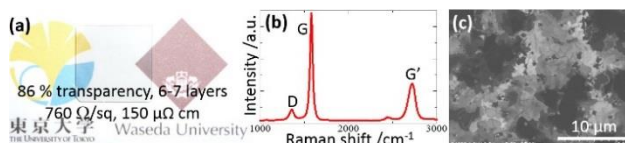
グラフェンの合成では、グラファイトからのブレイクダウンや原子・分子からのビルドアップなど、多様な方法が研究・開発されている。トランジスタ、集積回路配線、透明電極などの電子デバイス応用の多くでは、グラフェンは誘電体/絶縁体上で用いられ、良質なグラフェンを均一にこれら基板上に直接形成する技術が求められている。

我々は、グラフェンを誘電体/絶縁体上に直接形成する、独自のエッチング析出法(1)を開発した。即ち、基板上に形成した金属-炭素混合膜に加熱状態で Cl<sub>2</sub> を供給、金属をエッチング除去しグラフェンのみを基板上に析出させる方法(下図)である。本稿では、Fe-C系でのグラフェン形成(2)を簡単に紹介したい。



石英ガラスないし酸化膜付シリコン基板上に、DC マグネトロンスパッタ法で Fe-C 混合膜を 100 nm 製膜した。その後、石英ガラス反応管中にて、減圧下 H<sub>2</sub>/Ar を流通して所定の温度まで昇温し 10 min アニール後、Cl<sub>2</sub>/Ar に切り替え、10-40 min Fe をエッチングしてグラフェンを形成した。下図は 600 °C での結果である。透過率 86%、平均 6~7 層のグラフェンが形成された(a)。ラマンスペクトルにて、グラファイト由来の G バンドに対し欠陥由来の D バンドも低く(b)、走査型電子顕微鏡像から結晶粒径数 μm の多結晶膜と分かった(c)。シート抵抗から

体積抵抗率を求めると 150 μΩ cm と良好であった。最近になり Fe-C 膜の膜質向上により 70-90 μΩ cm と高配向性熱分解黒鉛に迫る低抵抗が得られ、Br<sub>2</sub> ドープで更に低下することが分かっている。



本方法は、半導体製造プロセスで一般的に用いられる装置・材料を使い、10 min オーダーの数回の操作で誘電体/絶縁体上にグラフェンを直接形成できるものであり、応用・物性研究に提供するとともに、半導体・電子デバイス用途に広く展開していきたい。

(1) 野田優, 高野宗一郎, 日本国特許第 5152945 号, 2012 年 12 月 14 日登録。

(2) M. Kosaka, S. Takano, and S. Noda, Fourteenth International conference on the science and application of nanotubes (NT13), P291, Espoo, Finland, Jun. 2013.

◆◆ひとこと◆◆

理論班代表 越野幹人 (東北大)

仙台は 70 年ぶりの大雪だそうで、昨日も住民総出で半日かけて掻いた雪が一夜明けると全部元通りになっていて、自然界の無常を感じました。さて、昨年からはまった原子層膜の新学術プロジェクトですが、理論的な観点からも原子層膜の分野はここ 10 年来急速に発展してきています。2 次元電子系という意味では、異種半導体間の接合界面(ヘテロ界面)に現れる 2 次元電子ガスが大昔から知られているのですが、原子層

膜がこれらと大きく異なる点の一つに「切ったり張ったり」できることです。具体的にはナノリボン、ナノ接合、異なる原子層膜のジャンクションなど、ありとあらゆる系が実際に作られるので、理論の方もありとあらゆるものが（怪しげなものも含めて）作られるというわけです。とはいえ「これは新しい！」と思ってやったことが 40 年前やられていたりして無常を感じることもあるのですが。

これまでの原子層膜研究は圧倒的にカーボン系が中心だったわけですが、MoS<sub>2</sub> 等のカルゴゲナイド系、トポロジカル絶縁体薄膜なども注目を集めており、徐々に裾野が広がっております。我々計画研究メンバー、さらに公募で加わる新しいポスドクとともにこういった新しい問題にも取り組んでいければと思います。

## ○イベント報告

### ◆物性班 原子層作製講習会

日時:平成 25 年 12 月 4 日(水)

場所:東京大学 生産技術研究所 町田研究室

参加者は 12 名でした。経験者コースと初心者コースに分けて講習を実施しました。劈開法の経験の全くない方は特に楽しんで頂けたと思います。理論家の斎藤晋先生も原子層作製を行い、グラフェン単原子層を作製することに成功しました。



写真 1 物性班 原子層作製講習会

### ◆第 7 回 物性科学領域横断研究会 (領域合同研究会)

日時:2013 年 12 月 1 日(日)・12 月 2 日(月)  
場所:東京大学武田先端知ビル

物性科学に関連した 6 つの新学術領域研究が合同で開催する研究会。各領域の研究内容を専門外の研究者や大学院学生に対し解説し、領域間のシナジー効果を高めると共に、物性科学のホットな話題を 2 日間で概観することを目的とした研究会です。本領域からは、長汐、山本、越野が発表致しました。

### ◆第 2 回原子層科学全体会議

日時:2014 年 2 月 18 日(火)19 日(水)

場所:名古屋大学 東山キャンパス 電子情報館

プログラム URL:

<http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gensisou/archives/meeting/2nd/2014.01.21.program.pdf>

総勢 30 名のメンバーが名古屋大に集まりました。最初に領域代表から領域の方針と今後の予定について説明がありました。各研究班から今年度の研究ハイライトに関する発表があり、今後の研究展開について議論しました。全体会議に加えて、パネルディスカッション、他班からの発表を含む班会議等を行いました。講習会等を企画することによりメンバーの持つノウハウを全体で共有し、既に研究の進展がみられています。また、領域内での共同研究として、合成班からの試料提供も始まっています。懇親会では、情報交換の場として活用いただきました。来年度は、公募班も加わり、益々研究を加速させていきたいと思っております。原子層領域の今後の進展にご期待ください！



写真 2 第 2 回全体会議

### ◆合成班 グラフェンミニ講習会・見学会

日時:2014 年 2 月 19 日(水)

場所:名古屋大学 東山キャンパス 電子情報館

プログラム URL:

[http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gensisou/archives/a01/20140219\\_gousei\\_ws.pdf](http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gensisou/archives/a01/20140219_gousei_ws.pdf)

グラフェンや他の層状物質系の各種合成と評価法を説明し、併せて、研究室の合成装置の見学会を行いました。本講演会・見学会は、科研費の社会貢献の一環として行い一般の方にも参加して頂きました。また、グラフェンコンソーシアム(代表:AIST 長谷川(応用班))を通して一般企業からも多数参加頂きました。



写真3 合成班 研究室見学

今回の公開会議・ミニ講演会等への参加者は以下の通りです。今後も出来る限り公開していきたいと思っておりますので、宜しくお願いします。

|       |                        |        |
|-------|------------------------|--------|
| 公開会議  | 領域 33 名、一般 19 名(企業 9)  | 計 52 名 |
| ミニ講演会 | 領域 26 名、一般 29 名(企業 11) | 計 55 名 |
| 見学会   | 領域 19 名、一般 22 名(企業 11) | 計 41 名 |

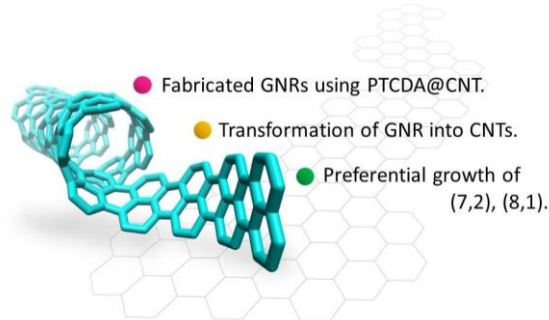
### ○お知らせ・プレスリリース

◆総括班評価委員(連携研究者)である榎敏明先生が、ロシア科学アカデミーIoffe 研究所より、名誉所員に選ばれました。ヨッフエ研究所は、半導体研究などで多くの成果を出している著名な研究所であります。メダルの授与と記念講演会が来年 10 月に St. Petersburg の同研究所で行われます。(2013 年 11 月 25 日 HP)

◆A02 班(物性班)の東京大学物性研究所長

田研究室助教の鴻池貴子博士が日本物理学会第8回若手奨励賞を受賞しました。各層がディラック電子系になっている層状有機結晶を利用して、単原子層のグラフェンでは困難な比熱測定を成功させ、また小さなランダウ準位間隔を反映した巨大ネルンスト効果を発見するなど、ディラック電子系の熱物性研究への貢献が認められたものです。授賞式と記念講演会は 2014 年春の日本物理学会年次大会においてが行われます。(2013 年 10 月 25 日 HP)

◆名古屋大学大学院理学研究科の研究グループ(Lim Hong En (大学院生)、宮田耕充助教、北浦良准教授、篠原久典教授)は、カーボンナノチューブをナノサイズのリアクターとして用いた多環芳香族分子(PAH)の熱融合反応によってカーボンナノチューブの構造選択的な合成に成功しました。また、これがグラフェンナノリボンのツイスト構造を介した特異な反応メカニズムで起きていることを明らかとしました。この研究の詳細は、英国の学術誌「Nature Communications」に 2013 年 10 月 4 日に掲載(DOI: 10.1038/ncomms3548)されました。問合せ先:名古屋大学大学院理学研究科 篠原久典 教授(2013 年 10 月 10 日 HP)



### ○今後の予定

◆理論班 第一原理電子構造計算講習会  
日時:2014 年 2 月 27-28 日  
場所:東京工業大学 大岡山キャンパス

◆第 3 回 SATL 公募班キックオフミーティング  
日時:2014 年 9 月頃  
場所:東京大学・本郷キャンパス  
詳細は後日 HP に掲載します。

## ○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)

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

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