



**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◆◆◆◆

## ステップエッジからのグラフェン面内成長のその場観察

Si や III-V 半導体などと比較して、グラフェンの成長方向を制御することは容易ではない。より制御されたグラフェンナノデバイスを実現するためには、種結晶と成長層の方位関係の同定や、成長における触媒原子の影響を明らかにする必要がある。このような成長メカニズムを原子レベルで理解するためには、グラフェンネットワークの成長の可視化が極めて有用である。

通常の CVD 成長では成長速度が高い（毎分マイクロメートルのオーダー）ため、成長メカニズムを原子レベルで解析することは極めて困難である。そこで、電子顕微鏡中で一般的に生じる炭化水素分子の集積現象を利用して、低い成長速度のグラフェン成

長を電子顕微鏡中に実現し、原子分解能によるその場観察を可能にした。すなわち、電子顕微鏡の真空システムでは試料周りの真空度はさほど高くないため、試料の周囲には炭化水素分子が浮遊している。この炭化水素分子は電子ビームの走査領域に凝集し、その結果グラフェンのエッジに炭素原子を供給することで、グラフェンの面内成長が進行する。その成長速度を1分間あたり数オングストローム程度に抑制することで、原子分解能でのその場観察が可能になった。

我々は収差補正走査透過型電子顕微鏡 (STEM) 像により、第一層グラフェンのテラス上で、第二層グラフェンのステップエッジから生じる面内成長と、成長中の単一 Si 原子の挙動を観察した。図1は500°Cで加熱されたグラフェンがステップエッジから面内成長する様子を示す環状暗視野 (ADF) シリーズ画像である。

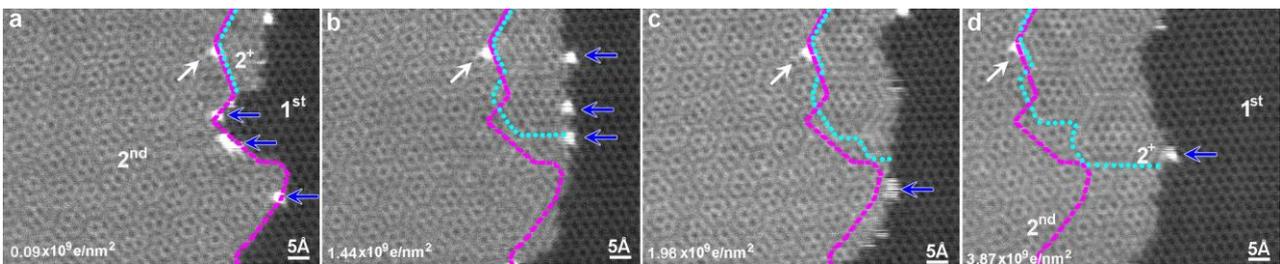


図1. 面内に成長するグラフェンの ADF-STEM 像. 成長開始段階のエッジはマゼンタ破線で示す. シアン点線で示されている新たに成長された 2<sup>nd</sup>領域には異なるモアレパターンが観察され、時間とともに増加する. 矢印で示しているのは Si 原子である.

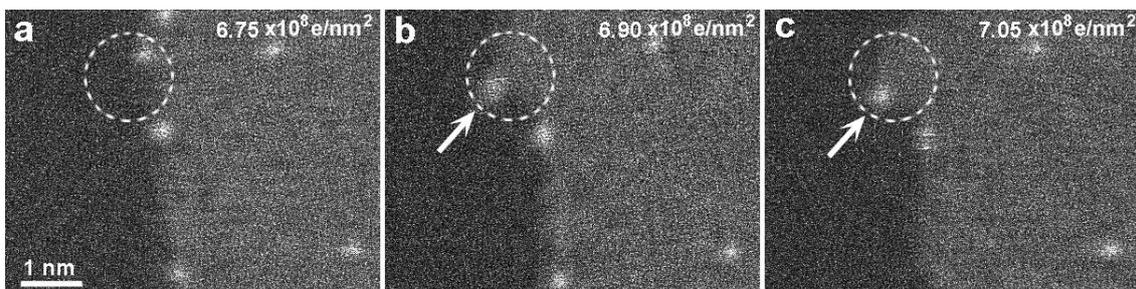


図2. グラフェン成長する際の Si 原子の触媒作用を示唆する ADF-STEM 像シリーズ. 矢印で示す明るい点は Si 原子である.

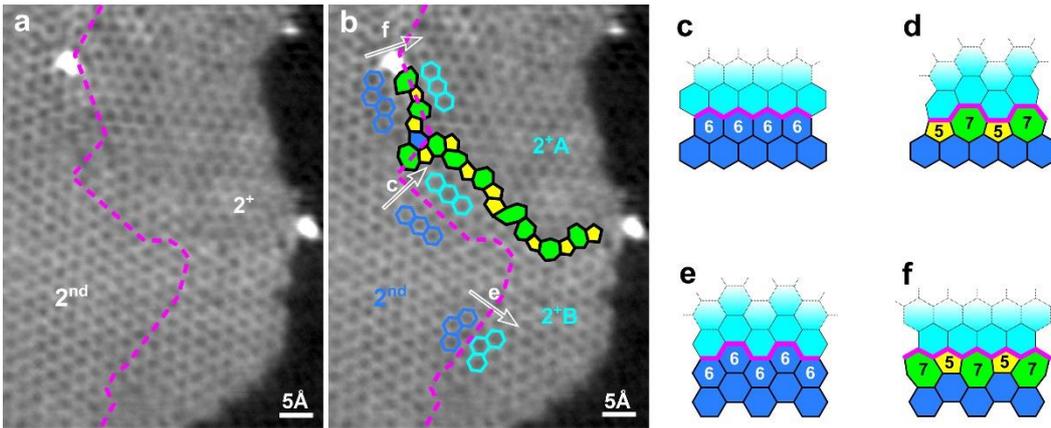


図 3. グラフェンの面内成長のメカニズム.

Si 原子は電子線照射によりグラフェンのエッジ上を移動する。図 2 に示すようにグラフェンはいつも Si 原子の存在する位置から成長が始まり、成長すると同時に Si 原子はエッジに押し出される。これは CNT 成長する際において、金属触媒粒子が常に CNT 先端に押し出されている先端成長メカニズムと同様と考えられる。

面内成長後の新たなグラフェンエリア (図 1 d の右側) では、元のエリア (図 1 d の左側) と異なるモアレパターンが観察される。詳しく調べたところ、再構成された 5-7 エッジから成長した領域では (図 3a-b)、母層に対して 30° 回転していることが分かった (その成長メカニズムを図 3c-f に示す)。このように、エッジの構造に依存してグラフェンの成長後の方位が変化することが、ADF-STEM 像その場観察によって明らかにすることができた。

(1) “In situ observation of step-edge in-plane growth of graphene in a STEM”, Zheng Liu, Yung-Chang Lin, Chun-Chieh Lu, Chao-Hui Yeh, Po-Wen Chiu, Sumio Iijima and Kazu Suenaga, *NATURE COMMUNICATIONS*, 5:4055 (2014). DOI: 10.1038



物性班 劉 嶢  
産業技術総合研究所 ナノチューブ  
応用研究センター主任研究員。  
1999 年 東北大学 材料物性専攻  
工学博士。2001-2003 東北大学  
多元研 助手。2004-現職。

◆◆ひとこと◆◆

ニュースレターNo2.「越野先生のひとこと」を拝読して、いくつかのキーワードから即座に時事事象を連想しました。先ごろ世間で話題の現象に関しまして、切ったり貼ったり (最近の言葉で略すと“こびペ”) は学術分野では、禁じ手として報道されております。しかしながら、最先端を目指す原子膜の研究では、将来的には全てを気相成長法で造りたいとしながらも、まずは天然や人工的に作り出した層状バルク材料から「切ったり張ったり」しながら新しいシステムを創り出すことが出来る。実際に天然鉱物のグラファイトやMoS2から、昨今の原子膜研究が拓けました。この原子スケールの膜から、多々の驚くべき現象が観測されました。

さらに驚いたことに、「張ったり」と漢字を当てられているところが更に斬新で、確かに原子膜を引っ張ったり歪めたりすると電子状態は容易に変わる。びっくりしました。本当に新しいことを目指すには、まずは手じかに始められるクラシカルな“切った貼った”から始めるべきであり、とにかく実験で試してみることで、新しい世界が誕生する可能性があるかと。

ひらがなで連ねると同じフレーズになってしま

言葉遊びかもしれませんが、原子膜の研究は新世界を覗き込むための“とても小さいが、大きなスタート点”かもしれません。まずは、簡単には想像し難い原子の膜を使って、顕微鏡で拡大しながらお手軽に切った貼ったを試して、何が起こるか楽しみましょう。



応用班 塚越 一仁  
独立行政法人物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクニクス研究拠点 所属。専門は、夢の原子膜を用いた電子素子応用展開を目指して、材料要素に必要な特性の解明と探求に関する実験研究。

## ○イベント報告

### ◆第3回原子層科学全体会議

日時: 2014年8月6日(水)7日(木)

場所: 東京大学 本郷キャンパス

プログラム URL:

[http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gensisou/archives/meeting/3rd/prog\\_3rd.pdf](http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gensisou/archives/meeting/3rd/prog_3rd.pdf)

第3回全体会議では、公募班のキックオフミーティングとして、総勢60名のメンバーが集まりました。最初に領域代表から領域の方針等

の説明がありました。各研究班から今年度前半の研究ハイライトに関する発表があり、フリーディスカッションでは、今後の研究展開及び共同研究の進展について議論しました。講習会等の企画によりメンバーの持つノウハウを全体で共有し、既に多くの共同研究が進行し、論文としての成果発表も多く報告され、新学術ならではの進展がみられています。2日目の班会議では、公募班のメンバーを中心に発表を行い、新しい方向への展開を議論しました。また、懇親会では、新加入のメンバーの紹介等、情報交換の場として活用いただきました。全体会議は、一般公開されていて、若干名ですが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。

### ◆応用班 カルコゲナイド結晶成長講習会

日時: 2014年8月7日(木)

場所: 東京大学 本郷キャンパス

最近、研究の進展が著しいカルコゲナイド系層状物質の結晶成長に関して、埼玉大の上野先生に講演頂きました蒸気圧の高い試料を石英アンプルに真空封入する方法等を動画を交えて説明頂きました。



写真 第3回全体会議。公募班を含め総勢60名の大所帯になりました。工学部6号館の屋上スペース。気温が37度ぐらいあり、非常に暑かったです。

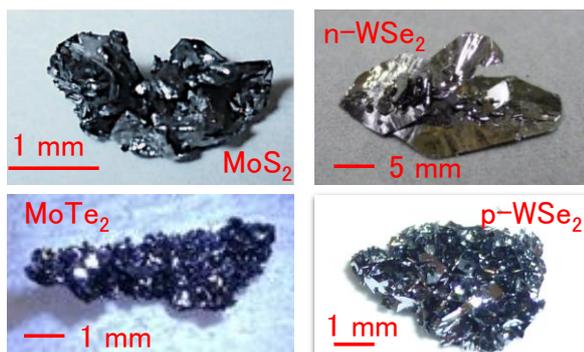


写真 気相輸送成長法により得られたバルク層状結晶(上野先生講演試料より)

### ○お知らせ・受賞等

◆野田優教授(A01 合成班)の研究協力者小坂 昌輝君(修士課程 2 年)が、化学工学会第 79 年会 本部大会 学生賞 金賞を受賞しました。

◆依光英樹准教授(A01 合成班)の研究協力者 村上慧特定助教(現名古屋大学)が日本化学会第 94 春季年会優秀講演賞を受賞しました。

◆町田友樹准教授(A02 物性班)の研究協力者 森川生(博士課程 1 年)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。

◆斉木幸一朗教授(A01 合成班)の研究協力者 寺澤知潮君(博士課程 3 年)が、第 36 回応用物理学会講演奨励賞を受賞しました。「黒体輻射を用いたグラフェン CVD 成長の光学顕微鏡観察」

◆坂本良太助教(A01 合成班)が第 3 回新化学技術研究奨励賞を受賞しました。「エレクトロニクス・スピントロニクスへ応用可能な「ボトムアップ型」金属錯体ナノシート」

◆坂本良太助教(A01 合成班)の研究協力者神戸徹也君(博士課程 3 年、現東京工業大学博士研究員)が日本化学会第 94 春季年会学生講演賞を受賞しました。「 $\pi$  共役金属錯体ナノシートの酸化還元特性と電子物性」

◆野田優教授(A01 合成班)の研究協力者小坂 昌輝君(修士課程 2 年)が、化学工学会第 79 年会 本部大会 学生賞 金賞を受賞しました。

◆齋藤理一郎教授(領域代表、A04 理論班)は研究協力者泉田渉、佐藤健太郎 とともに、第 19 回日本物理学会論文賞を授賞しました。

### ○今後の予定

◆第 4 回原子層科学全体会議  
日時:2015 年 1 月 27 日, 28 日  
場所:東京大学・柏キャンパス  
詳細は後日 HP に掲載します。

◆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)が下記の日程で開催されます。グラフェンに関するサテライト会議もあり、SATL によるサポートも行います。  
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](http://www.nt15.jp)

### ○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