



東北大学



平成 25 年 6 月 14 日

報道機関 各位

東 北 大 学

公益財団法人高輝度光科学研究センター

グラフェンのナノパターン成長技術を確立  
～シリコンとグラフェンが融合した多機能集積回路へ道～

<概要>

東北大学電気通信研究所（宮城県仙台市、以下東北大通研）の吹留博一准教授らは、東北大学大学院工学研究科、及び（公財）高輝度光科学研究センター（兵庫県佐用郡佐用町、以下 JASRI）と共同で、次世代材料として有望視されているグラフェンとシリコン（Si）テクノロジーとの融合デバイスの実現に向けた、微細加工 Si 基板上へのグラフェンの位置選択的な結晶成長技術の確立に初めて成功しました。本研究成果は、立体的なグラフェンによる多機能集積回路の基盤技術になることが期待されます。

## <背景>

炭素の二次元物質であるグラフェン<sup>注1</sup>は、Si の 100 倍以上のキャリア移動度<sup>注2</sup>を有し、かつ、熱的・化学的にも安定な物質です。ゆえに、2020 年頃に終焉を迎える Si 集積回路に代替となる次世代デバイス材料の一つとして、全世界で開発競争が行われています。

東北大通研の研究グループでは、既存のシリコンデバイスとの融合を企図した、Si 基板上へのグラフェン (Graphene-on-Silicon、以下 GOS と略) の作製及びそのデバイス化の研究を行ってきました。GOS 技術は、Si 基板上に単結晶炭化ケイ素(SiC)薄膜を成長させ、この薄膜表面にグラフェンを形成するという技術です。この GOS 技術は成熟した Si 技術の利用が可能である為、グラフェンの実用化を可能にする重要な技術です。加えて、Si 基板の面方位を適切に選択することにより、グラフェンの物性の作り分けが可能であることが明らかにされています。この技術と Si 微細加工技術の融合により、グラフェンの物性をナノスケールで作分けすることが可能となることが期待されます。

このように、GOS 技術と Si 微細加工技術との融合は、グラフェンの集積回路応用にとって重要であるだけでなく、グラフェンの物性及び機能の多機能化をナノスケールで可能にする点で重要です。

## <成果の内容>

次に、図 1 に模式的に示すプロセスにより、Si 基板の微細加工を利用したグラフェンのナノ・パターンニングを試みました。この試料の表面の状態がどのようになっているかを調べる為に、NTT 物性科学基礎研究所<sup>注3</sup>に設置されている低速電子顕微鏡<sup>注4</sup>を用いた顕微低速電子回折、及び、光電子顕微鏡<sup>注5</sup> (SPring-8 <sup>注6</sup>設置)を用いた顕微 X 線吸収分光によりナノスケールで解析しました(図 2)。

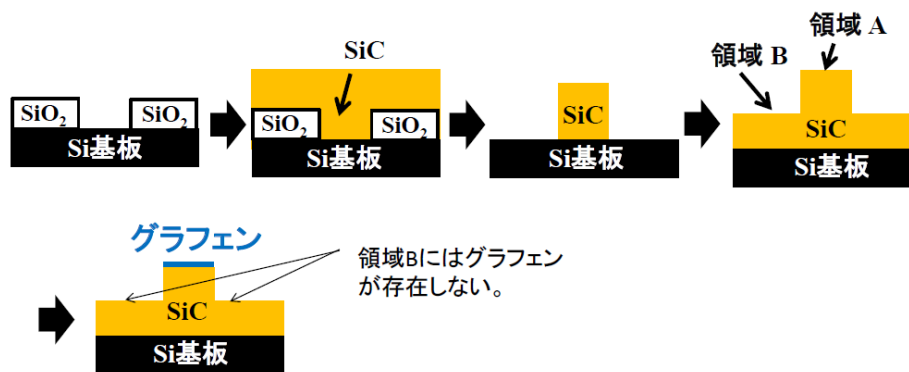


図 1 グラフェンのナノパターンプロセスの模式図

それらの解析の結果から、SiC 膜中の欠陥密度の小さい領域 A の表面にグラフェンが形成されるのに対して、SiC 膜中の欠陥密度の大きい領域 B の表面にはグラフェンが形成されることが明らかとなりました。このふるまいは、領域 B において Si/SiC 界面の荒れが大きいことに起因した SiC 薄膜の欠陥密度の増加によるものと考えられます。このように、今回の我々の結果は、欠陥密度の微視的な制御によって、狙った場所のみグラフェンを成長させること (ナノパターンニング) に成功した初めての研究例です。

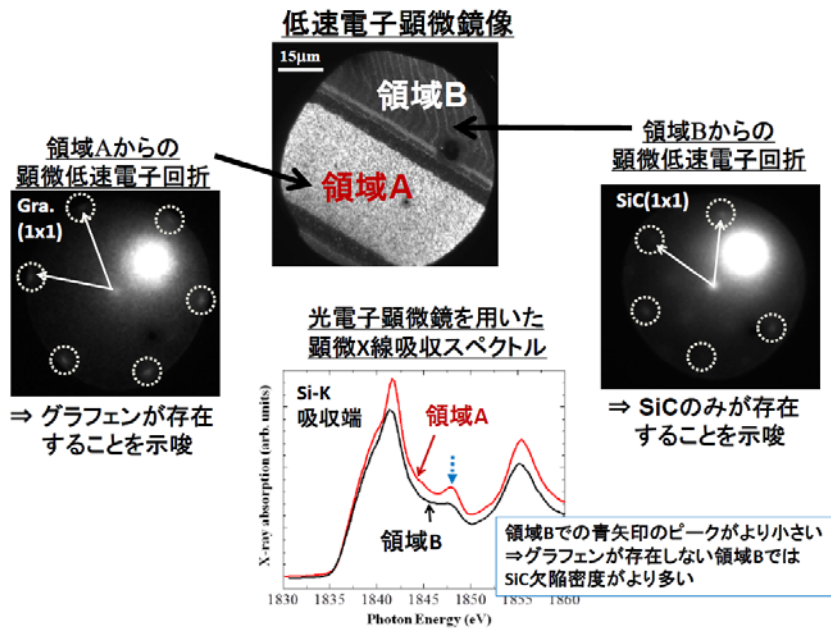


図2 低速電子顕微鏡及び光電子顕微鏡によるグラフェンのナノパターニングの検証結果  
SiCの欠陥密度が大きくなると、青点線矢印で示したピークが小さくなる。

#### <技術のポイント>

グラフェンを用いた集積回路を作製する際には、例えば、素子分離プロセス<sup>注7</sup>等において、必要な箇所だけにグラフェンをナノパターニングさせる必要があります。この技術は、将来的なグラフェン集積回路の基盤技術となることが期待されます。

#### <今後の展開>

今回の研究成果を発展させ、例えば、Si集積回路の主要技術であるイオン注入法で欠陥の導入を図るなど、よりスマートな方法によりSiC薄膜の欠陥密度を制御し、素子分離プロセスをナノスケールまで精密化することを検討しています。

更には、MEMS（微小電気機械デバイス）技術<sup>注8</sup>との融合によるグラフェン機能のナノスケール多機能化の技術を融合し、多機能集積デバイスの実現を目指して研究を進めています（図3）。

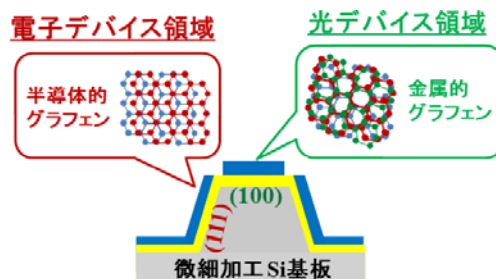


図3 MEMS技術の利用によるグラフェンのナノスケール多機能化の概念図

本研究の詳細は、米国電気電子学会(IEEE)の主機関紙である Proceedings of the IEEE に 6月15日(米国時間)に掲載予定の下記の論文において報告されます。

題目 : Site-Selective Epitaxy of Graphene on Si Wafers

著書 : H. Fukidome, Y. Kawai, H. Handa, H. Hibino, H. Miyashita, M. Kotsugi, T. Ohkouchi,  
M.-H. Jung, T. Suemitsu, T. Kinoshita, T. Otsuji, M. Suemitsu

本研究の一部は、戦略的創造研究推進事業チーム型研究 (CREST)、JSPS 科研費 (基盤研究 (C)23560003)、及び村田学術振興財団研究助成から助成を受けました。本研究におけるグラフェンの低速電子顕微鏡観察は、東北大通研と NTT 物性科学基礎研究所との共同研究の一環として行われました。また、本研究は、大型放射光施設 SPring-8 を用いた研究として、高輝度光科学研究センターと重点ナノテクノロジー支援課題 (課題番号 : 2009B1735/BL17SU,2010A1674/BL17SU, 2010B1712/BL17SU) として行った光電子顕微鏡を用いた共同研究の成果です。また、GOS の作製は、東北大通研の projected clean room (PCR)、デバイスの作製は、東北大通研ナノスピン実験施設のクリーンルーム、及び、基板の微細加工は東北大 MNC センターを用いて行いました。

(お問い合わせ先)

\* 東北大学電気通信研究所

(研究内容と報道に関すること)

担当 : 吹留博一

電話番号 : 022-217-5484

e-mail : fukidome@riec.tohoku.ac.jp

\* 高輝度光科学研究センター

(解析装置に関すること)

公益財団法人 高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門

担当 : 小嗣真人

電話番号 : 0791-58-0833

e-mail : kotsugi@spring8.or.jp

(SPring-8 に関すること)

公益財団法人 高輝度光科学研究センター 広報室

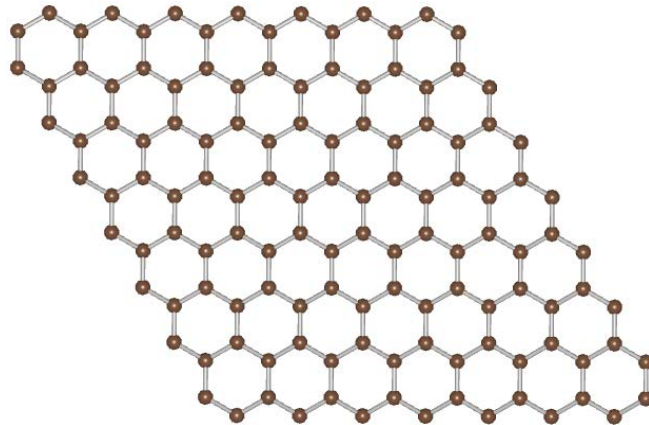
TEL: 0791-58-2785 / Fax:0791-58-2786

e-mail : kouhou@spring8.or.jp

<用語解説>

注1) グラフェン

グラファイト（黒鉛）結晶の単層分。炭素原子が蜂の巣状に六角形ネットワークを組んで2次元シートを形成している（下図参照）。半導体と金属の両要素をあわせ持つ物質で、ポストシリコン材料として期待されている。グラフェンを円筒状に巻くとカーボンナノチューブになる。



蜂の巣状に炭素原子が配列したグラフェン

注2) キャリア移動度

物質中での電子の移動のしやすさを示す特性。半導体デバイス的高速化を実現するためにはキャリア移動度の向上が必要不可欠である。

注3) NTT 物性科学基礎研究所

10～20年後を見据えた速度・容量・サイズ・エネルギーなどネットワーク技術の壁を越える新原理・新概念を創出し、未来のイノベーションにつながる基礎研究を行うNTT研究所の一つ。

注4) 低速電子顕微鏡

試料表面に低加速電圧（数～数十V）の電子線を照射し、後方に散乱した電子線をレンズによって拡大投影する顕微鏡。この低速電子顕微鏡をもちいることにより、ナノスケール領域から

の低速電子回折（顕微電子回折）が可能となり、表面原子配列の詳細が明らかとなる。また、NTT 物性科学基礎研究所の日比野博士が初めて開発したグラフェン層数のデジタル計測法は、グラフェン研究の基盤技術となっています。

#### 注5) 光電子顕微鏡

光電子分光法及び低速電子回折と顕微観察手法を融合させた空間分解能を有する分光手法。固体表面の電子の振る舞いを数十ナノメートルの分解能で可視化することができ、現在はナノデバイスから惑星科学まで幅広い分野で利用されている。

#### 注6) 大型放射光施設 SPring-8

兵庫県の播磨科学公園都市にある、世界最高の放射光を生み出す理化学研究所の施設。その運転管理と利用者支援を高輝度光科学研究センターが行っている。SPring-8 の名前は Super Photon ring-8GeV に由来。放射光とは、電子を光とほぼ等しい速度まで加速し、電磁石によって進行方向を曲げた時に発生する、細く強力な電磁波のこと。SPring-8 ではこの放射光を用いて、ナノテクノロジー、バイオテクノロジーや産業利用まで幅広い研究を行っている。

#### 注7) 素子分離プロセス

各素子間の不要な電氣的な干渉を防ぐ集積回路製造プロセスの一つ。

#### 注8) MEMS

MEMS(微小電気機械デバイス)とは、センサー、アクチュエータ、電子回路を一つの基板(例：シリコン)の上に集積化したデバイスのことを指す。