



東北大学



平成 26 年 6 月 2 日

報 道 機 関 各 位

東北大学電気通信研究所
東北大学大学院工学研究科
東北大学多元物質科学研究所
東京大学放射光連携研究機構

Si 基板上への三次元集積的な成長によるグラフェン物性の作り分けに初めて成功
～グラフェンと Si が融合した電子・光デバイス混載回路へ道～

<概要>

東北大学電気通信研究所の吹留博一准教授・末光真希教授らのグループは、川合祐輔助教（東北大学大学院工学研究科）・尾嶋正治特任研究員（東京大学放射光連携研究機構、名誉教授）・小嗣真人博士（高輝度光科学研究センター）・堀場弘司（東京大学放射光連携研究機構（現 KEK 物質構造科学研究所））・永村直佳助教（東北大学多元物質科学研究所）らのグループと共同で、有望な次世代デバイス材料であるグラフェンを、Si 基板上に三次元集積的に成長させることに初めて成功しました。さらに、この方法により、グラフェン物性の作り分け（金属性 vs. 半導体性）にも成功しました。

今回の成果は、将来的なグラフェンと Si が融合した電子・光デバイス混載回路への道を拓くものです。

<背景>

炭素の二次元物質であるグラフェン^{注1}は、Si の 100 倍以上のキャリア移動度^{注2}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 集積回路の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 (GOS) の作製及びそのデバイスの研究開発を行ってきました。GOS 技術は、Si 基板上に単結晶 SiC 薄膜を成長させ、この SiC 薄膜表面にグラフェンを形成するという技術です (図 1)。この GOS 技術は、成熟した Si 技術の利用が可能であるため、グラフェンの実用化に可能にする重要な技術になると期待されています。更には、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 (金属性 vs. 半導体性) が可能であることを明らかにしています (図 2)。

この技術と Si 微細加工技術による異なる面方位を露出させることにより、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と考えられます。

<成果の内容>

本研究では、微細加工により異なる面方位が露出した Si 基板を用いて、異なる物性を有するグラフェンの作製を狙いました。MEMS (技術)^{注3}を用いて、Si(100)基板上に Si(100)面に加え Si(111)微斜面を作り込みました。この基板上に SiC 薄膜を作製し、試料を 1250°C で加熱することにより最表面にグラフェンを作製しました (図 3)。

このグラフェンに関して、SPRING-8^{注4}の東京大学アウトステーション BL07LSU に設置されている三次元 ナノ ESCA^{注5}を用いて界面化学結合状態を、理研 BL17SU の光電子顕微鏡^{注6}を用いてグラフェンの積層構造を調べました。更に、顕微 Raman 分光法を用いて、グラフェンのバンド構造を評価しました。その結果、当初の狙い通りに、Si(111)微斜面上では半導体性グラフェンに、また Si(100)上では金属性グラフェンに作り分けることに初めて成功しました (図 4)。

ここで、半導体性グラフェンは電子デバイス応用に、金属性グラフェンは光デバイス応用に適しています。ゆえに、今回の成果は、同一 Si 基板上に異なる機能を有するデバイスをグラフェンを用いて作製することを可能としました。このことは、同一 Si 基板上にグラフェンを用いた電子デバイス・光デバイスを混載させた超高速回路の作製が可能となることを示唆しており、テラヘルツデバイス開発へ向けた大きな前進であると言えます。

<今後の展開>

今後は、作製したグラフェンの更なる高品質化を行い、グラフェンデバイスの高性能化を図ります。その上で、電子・光混載デバイスの必要な技術の一つ一つ確立し、将来的にはグラフェンの電子・光集積回路を目指しています。

本研究の詳細は、6月4日にオンライン出版される下記の論文において報告されます：

題目：Microscopically-Tuned Band Structure of Epitaxial Graphene through Interface and Stacking Variations Using Si Substrate Microfabrication

著書：H. Fukidome, T. Ide, Y. Kawai, T. Shinohara, N. Nagamura, K. Horiba, M. Kotsugi, T. Ohkochi, T. Kinoshita, H. Kumigashira, M. Oshima, M. Suemitsu

雑誌：Scientific Reports (Nature Publishing Group) 4 (2014) 5173.

本研究の一部は、戦略的創造研究推進事業：CREST 及び科学研究費補助金（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。また、本研究は、SPring-8 の東京大学アウトステーション BL07LSU 及び理研 BL17SU を用いた研究成果です（課題番号：2011B7418/BL07LSU, 2012A7425/BL07LSU, 2012B7435/BL07LSU, 2011A1646/BL17SU and 2011B187/BL17SU）として行った共同研究の成果です。また、基板・GOS の作製は、東北大通研ナノスピ実験施設のクリーンルーム、及び、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 総務係

電話番号：022-217-5420

(研究内容と報道に関すること)

東北大学電気通信研究所

担当：吹留博一 准教授

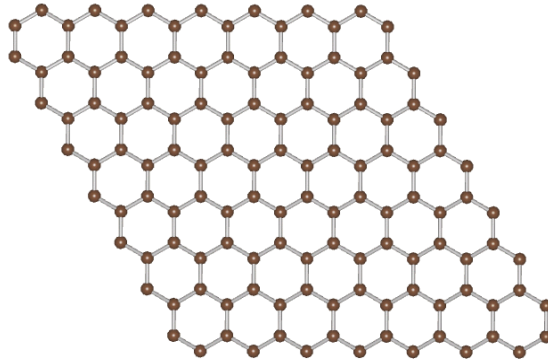
電話番号：022-217-5484

e-mail:fukidome@riec.tohoku.ac.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。



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。電子移動度とも言い、半導体デバイスの高速化を実現するためには移動度の向上が必要不可欠である。

注3) 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。

注4) 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。その管理運営は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5) 3D nano-ESCA

直径 70nm にまで絞った X 線を使用し光電効果により固体表面から叩き出された光電子を用いて固体表面の電子状態を三次元的に調べる顕微鏡。

注6) 光電子顕微鏡

光電子分光法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。

(光電子分光：固体に一定エネルギーの電磁波をあて、光電効果によって外に飛び出してきた電子（光電子とよばれる）のエネルギーを測定し、固体の電子状態を調べる方法)



図1 GOS (グラフェン・オン・シリコン) の作製プロセス

	グラフェン/ SiC(111)/Si(111)	グラフェン/ SiC(100)/Si(100)	グラフェン/ SiC(111)/Si(110)
界面構造			
積層	Bernal 積層	非 Bernal 積層	非 Bernal 積層
バンド構造	半導体	金属	金属

図2 グラフェンの物性の作り分け (多機能化)

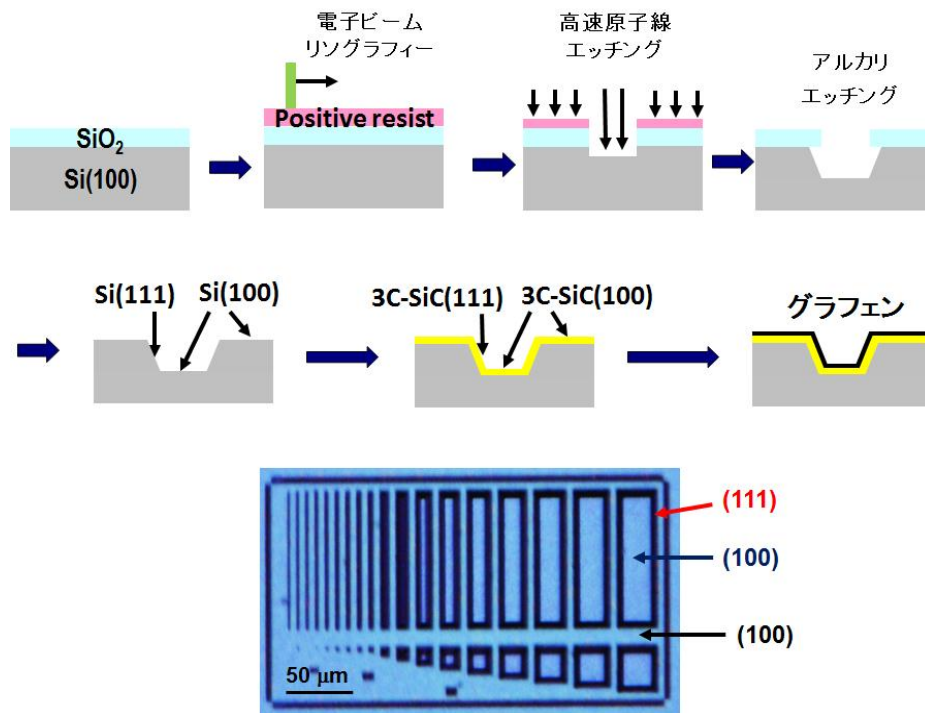


図3 微細加工 Si 基板上へのグラフェンの成長

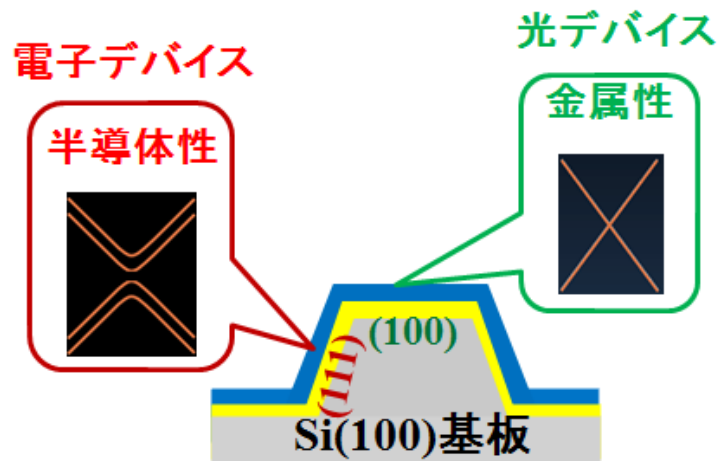


図4 微細加工 Si 基板上でのグラフェンの作り分け