



Title	Study on Physical Properties and Its Application Relating to the Band Gap Generation in Bilayer Graphene with Ionic Liquid
Author(s)	山城, 祐介
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/34504
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (山城 祐介)	
論文題名	Study on Physical Properties and Its Application Relating to the Band Gap Generation in Bilayer Graphene with Ionic Liquid (イオン液体を用いた二層グラフェンのバンドギャップ形成に関する物性とその応用研究)
論文内容の要旨 イオン液体ゲート二層グラフェン構造を新たに考案し、バンドギャップの形成と物性評価を行った。二層グラフェンのバンドギャップの大きさは電界強度により変調可能であり、物性的にも応用的にも魅力的である。従来の構造は二層グラフェン上に絶縁膜とトップゲート電極を形成する必要があるため、光学測定を行うことが不可能であるが、本研究では二層グラフェンに直接イオン液体の塗布する新しいゲート構造を作製することで光学評価を可能にした。イオン液体ゲート構造は作製が簡単、且つ良質なゲート絶縁膜形成が得られる点で優れており、応用デバイスとしても優れた特性を持つ。 本論文では、イオン液体ゲート構造を用いて二層グラフェンのバンドギャップ形成を行い、その物性を伝導特性・光学特性から評価、さらに、超低電圧で動作するデバイスへの応用開発を行うことを目的として行った。 1章ではグラフェンの基本的な物性を説明し、2章では主にグラフェントランジスタの実験方法について述べた。 3章ではイオン液体を導入したグラフェンFETの電気特性結果について述べている。始めに、機械剥離法で二層グラフェンをSi/SiO₂基板上に作製した後、ソースドレイン電極を形成した。その後イオン液体で二層グラフェン全体を覆った。イオン液体と二層グラフェンの間に電位を与えることによって電界を印加しバンドギャップを形成、最大で 235 meV のバンドギャップが形成されていることを伝導度のアレニウスプロット測定から確認した。 4章ではバンドギャップ形成による二層グラフェンの物性への影響を調べるため、電界強度を変化させながらラマン分光測定を行った。結果、電界印加は Kohn anomaly を介して光学フォノンのエネルギーを増減させ、また、対称フォノンと反対称フォノンの混成の強さに影響を与えることが分かった。 5章では、イオン液体ゲート構造の応用開発の研究を行った。実験結果よりイオン液体ゲートはバックゲートの200倍の高効率で電界印加が可能であることが分かった。この電界効率の飛躍的な向上は、イオン液体に電圧を印加することによって生じる厚さ 3~5 nm の電気二重層によるものである。さらに、グラフェンを基板から浮かした構造を作製し、イオン液体ゲートで動作させることで、移動度・on/off比・動作電圧の改善を行った。結果、わずか 3 V のゲート電圧動作で20の高いon/off電流比を得るデバイスを作製することが出来た。 以上より、本研究結果はイオン液体を用いた二層グラフェントランジスタの物性と優れた特性を解明し、様々なデバイスへの応用への見通しを得た。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山城 祐介)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教 授	松本 和彦
	副 査	教 授	多田 博一
	副 査	教 授	吉田 博

論文審査の結果の要旨

本研究においてイオン液体を2層グラフェントランジスタのゲート電極に用いる事を初めて提案し、この手法を用いて3点のオリジナリティーのある研究展開を図ったことが本論文の重要なポイントである。

第一点として、酸化シリコン基板上の剥離グラフェンに通常のソース・ドレイン電極を形成し、これにイオン液体ゲートを形成することにより、有効的な絶縁膜厚さを $\sim 3\text{nm}$ 程度にする事に成功し、3Vの低電圧で235meVのバンドギャップを開く事に成功した。これは従来の1/100の低電圧を達成した事であり、オリジナリティーが高いと言える。

第二点として、イオンゲート電極が透明であるという特長を活かして、電圧を印加しながらバンドギャップを形成し、同時にラマン分光を測定する手法を開発した点が上げられる。これにより、バンドギャップの関係と、対称フォノンと半対称フォノンの混成の強さの影響を定性的に証明する事に初めて成功した点がオリジナリティーが高いと言える。

第三点として、従来から提案されている宙づりグラフェン構造による移動度向上効果と、さらにイオン液体ゲート構造による低電圧動作を両立させるデバイスを考案し、その困難なデバイス作成技術を克服して実証した点が特筆すべき成果である。宙づりグラフェンにより、 $20,000\text{cm}^2/\text{Vs}$ という高移動度を実証し、基板の不純物準位由来のホッピング伝導によるリーク電流を減少させドレイン電流のon/off比を10まで向上させた。さらにイオン液体ゲート構造を採用する事により動作電圧を従来の中空構造の場合から1桁低減する事に成功し、さらにドレイン電流のon/off比を20にまで向上させた。これらの一連の新規構造の提案によりグラフェントランジスタの特性を大きく改善する事に成功した点は高く評価できる。

以上、論文審査会においても質問にも的確に回答し、内容を十分把握している事が判明した。以上により、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。