

審査の結果の要旨

氏名 柳 光 鉉

本論文は「Direct Physical Exfoliation of Graphene from Graphite Using a PDMS Stamp (PDMS スタンプを用いたグラファイトからのグラフェンの直接物理的剥離)」と題し、5章から構成される。

単層ないし数層のグラフェン薄膜の機械的な性質や電気的な性質が、センサや MEMS デバイスやマイクロマシンに利用できないか興味を持たれている。グラフェンは、CVD で形成できるほか、粘着性のあるスタンプをつかってグラファイトから膜として剥離し、それを必要な場所に転写する方法もある。後者の方法は、結晶構造をもつグラファイトを出発点とするので、質の高いグラフェン薄膜を比較的容易に得られるという特徴がある。本論文では、PDMS (polydimethyl-siloxane)スタンプを用いてグラファイトからグラフェンを直接物理的に剥離し、転写する方法を確立することを目的としている。

Chapter 1. Introduction では、研究背景、従来研究とその課題、本研究の目的と意義について述べている。

Chapter 2. Preparation of graphite and a polydimethylsiloxane (PDMS) stamp では、転写の実験に用いるグラファイトと、スタンプとしての PDMS について述べている。グラファイトは CVD (Chemical Vapor Deposition) を利用してニッケル膜上に形成している。PDMS については、グラファイトの表面にならって接触が可能な柔らかさと、グラファイトから膜を剥離できる程度の粘着力を持つように、PDMS の硬化時間を標準的なものに比べて短時間とし、適切なスタンプの性質を持つように調整している。

Chapter 3. Direct physical exfoliation of grapheme (DIPEG)では、PDMS スタンプを使ったグラフェンの直接物理的な剥離について実験している。PDMS とグラフェンのエネルギーに対応する、単位長さあたりの粘着力を、PDMS の硬化時間をパラメータとして計測している。また、グラファイト/ニッケル構造の表面の粗さに対して PDMS がどの程度正確に転写できるか、光学顕微鏡やレーザー走査顕微鏡を用いて調べていて、硬化時間を短くすることで PDMS が標準より柔らかくなり、グラファイト/ニッケル構造によくなって接触している様子を示している。さらに、ラマンスペクトルを計測し、PDMS 上に剥離されたグラフェンが 1 層から数層であることを示している。

Chapter 4. Properties of exfoliated graphene では、剥離されたグラフェンの特性について述べている。まず、PDMS 上に剥離されたグラフェンの光透過率を波長 550nm の光を使って計測していて、1 層あたり 2.3%だけ透過率が減少するという従来の研究とよく一致していることを示している。また、シリコンとグラフェンを接触させてできるダイオードを試作し、光応答の実験を行い、従来に比べて性能がかなり劣るものの、本論文の転写法によって段差のある構造にグラフェンを転写して光応答するデバイスが作れることを示している。

Chapter 5. Conclusions では、本論文で得られた実験結果をもとに結論を述べている。

以上要するに、本論文では、PDMS の硬化時間を調整することで適切な柔らかさと粘着力をもつ PDMS スタンプを作り、グラファイトから単層ないし数層のグラフェンを PDMS 上に剥離し、そのグラフェンを段差のある構造にさらに転写して、グラフェンを含むマイクロ構造が作れることを示したものであって、CVD で単純に膜を形成できないような 3次元構造にもグラフェンを転写できることを示していて、グラフェンを含むデバイスやマイクロマシンを可能にするものである。この点から本論文は、知能機械情報学の発展に貢献したものであって、本論文は博士 (情報理工学) の学位請求論文として合格と認められる。