

# 論文審査の結果の要旨

氏名 今村 岳

本論文は7章からなる。

第1章ではグラフェンに関する基礎物理およびグラフェンの応用例について記述した後、ドーピングされたグラフェンおよび欠陥を含むグラフェンの性質および近年の研究例が述べられている。

第2章では本研究で用いられた実験手法の詳細が記載されている。まず初めに試料合成法として化学気相成長法（CVD法）の一般論およびCVD法の利点が述べられ、本研究におけるCVDグラフェンの作製手順と紫外線照射の手法・装置が記されている。次に試料の評価に必要な光電子分光法とその解析手法、ラマン分光法の原理およびグラフェンのラマンスペクトルの解釈について説明されている。

第3章では窒素ドーピングされたグラフェンに関する研究内容が述べられている。種々の窒素含有炭化水素分子を出発原料としたCVD合成を試した結果、ピリジンの縮重合で窒素ドーピンググラフェンが成長する条件を見出した。これは単一の原料から窒素ドーピングされたグラフェンを作製した最初の研究例である。また、窒素ドーピンググラフェン成長の温度依存性、さらに他の原料分子からの生成物との比較からグラフェン成長のメカニズムについて言及しており、ドーピングされたグラフェンの成長に関する基礎的な理解を示した点で先駆的な研究である。

第4章ではhexaphenylborazine (HPB)を原料として用いることによりホウ素と窒素が共ドーピングされたグラフェンの作製・評価の研究について述べられている。原料としてHPBを用い、基板温度を変えることによりドーピングされる化学種およびドーピング量の異なるグラフェンが得られることを示しており、単一の分子から生成物の構造を制御した独自性の高い研究である。さらにHPBに関して量子化学計算により電子状態を調べ、これまで熱力学的なデータしか調べられていなかったHPBの構造やエネルギー状態について新たな知見を得た。

第5章では窒素ドーピンググラフェンへの酸素吸着に関する研究について述べられている。ドーピングされた窒素がグラフェンの酸素吸着活性を向上させていることを明らかにし、吸着に伴う窒素ドーピンググラフェンの構造変化を明らかにした。窒素ドーピンググラフェンは燃料電池への応用が期待されていることから、その電極反応の初期段階である酸素吸着の情報を得たことは応用の面からも有用であり、炭素材料からなる燃料電池の開発において基礎的な知見をもたらすと考えられる。

第6章では紫外線照射によるグラフェンへの欠陥生成に関する研究について述べられている。金属基板上のグラフェンに対し様々な雰囲気下で紫外線照射をすることにより、欠陥生成の基板依存性および雰囲気依存性を明らかにしている。この研究から、グラフェンの層数が欠陥生成に影響をおよぼすことが示唆され、単層グラフェンの場合には金属との相互作用が欠陥生成の反応性に関与していることが示された。これまでグラフェンの欠陥に関する研究例として紫外線を用いたものはほとんどなく、グラフェンと光の相互作用に着目したこの研究は独自性の高い研究であるといえる。

第7章では第3-6章の総括を行い、主要な結果を要約している。

以上のように、本論文ではグラフェンへ異種原子をドーピングする方法の開発とその特性の測定（酸素吸着活性）、およびグラフェンへの欠陥生成について実験データに基づく詳細な解析がなされている。電子

デバイスや触媒など、産業への様々な応用が期待されているグラフェンについてこれらの基礎的な知見を得たことは大変重要であり、本研究をベースとした更なる研究の展開が期待される。

なお、本論文は Cha Wen Chang 氏（第 4 章）、難波江裕太氏（第 4 章）、柿本雅明氏（第 4 章）、宮田清藏氏（第 4 章）、齊木幸一郎氏（第 3-6 章）との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、解析、考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士（理学）の学位を授けるのに十分な資格を有すると認める。