論文審査の結果の要旨

氏名　寺澤 知潮

本論文は 5 章から成る．

第 1 章は序論であり，グラフェンの化学気相成長法による作製を実時間観察する意義が述べられている．グラフェンの性質について述べた後，グラフェンの様々な作製方法についての研究例を紹介し，化学気相成長法によるグラフェン作製の優位性について説明している．化学気相成長法によるグラフェン作製の原理と現状の問題点について記述し，特に銅基板上でのグラフェン成長の実時間観察が光学顕微鏡によって実現されることや，実時間観察によって解決すべき問題点について述べている．

第 2 章は本研究で用いられた実験装置についての詳細が記されている．光学顕微鏡によるグラフェン成長の実時間観察のための試料の準備についても記述されている．また，グラフェン成長と除去の繰り返しによって定量的な解析を行うための実験手順についても述べられている．さらに，本研究でグラフェンの構造評価に用いられたラマン分光法について説明されている．

第 3 章では本研究の主要課題である放射顕微鏡の開発について述べられている．高温の物質からの輻射光の強度が物質の放射率に依存することから，成長したグラフェンと基板である銅を光学顕微鏡によって識別できることを見出している．既存の手法との比較により，単層のグラフェンの成長を良好な分解能と広い視野で実時間観察できることを確認している．従来の電子顕微鏡によるグラフェン成長の観察では真空が必要とされるが，この方法では気体が存在する場合でも実時間観察することができ，本成果はグラフェンの成長の実時間制御につながることが期待される．

第 4 章では放射顕微鏡による実時間観察に基づいたグラフェン成長機構の解明について述べられている．グラフェンの飽和核密度，成長速度，収縮速度を良好な時間分解能で定量的に解析することに成功している．グラフェンの成長様式の温度，メタン供給量，酸素分圧などの成長条件に対する応答も分析している．グラフェン成長の温度依存性から成長の律速段階についての考察を行い，成長前駆体の取り込みが律速段階であることを示している．グラフェン成長においては原料となるメタンが前駆体を生成する一方で，酸素が前駆体を消費することを明らかにしている．酸素濃度の上昇に伴って，グラフェン成長の律速段階が前駆体の取り込みから前駆体の拡散に変化したことを確認している．また，実際にグラフェン成長中に成長条件を操作するとグラフェンの成長が応答することを実時間観察し，グ

ラフェン成長の実時間制御が可能であることを示している．これらの結果に基づいてグラフェン成長機構と成長条件の最適化について考察している．本研究の成果は高品質なグラフェンの安定した供給に向けた化学気相成長法の成長条件の最適化につながることが期待される．また、従来の電子顕微鏡が不得手とする高温かつ気体が存在する環境下での結晶成長の観察と解析を可能とする新たな手法を開発したと述べられている．

第 5 章では第 3, 4 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成長の実時間観察に適した放射顕微鏡という新たな観察手法を開発しており，グラフェン成長の観察及び機構の考察について実験データに基づいた解析が行われている．これらの成果は今後更なる応用が期待されるグラフェンの化学気相成長法の成長条件の最適化に大きく貢献することが期待される．また，従来の電子顕微鏡では困難だった条件での結晶成長の実時間観察の実現は学術的価値に富むものであると言える．

なお，本論文は斉木幸一朗氏（第 3, 4 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．