

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	液滴法による堆積グラフェンの形状評価および機械剥離法による層数不均一グラフェンの電気伝導測定
Title(English)	
著者(和文)	高木優香
Author(English)	Yuka Takagi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10831号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:平山 博之,中辻 寛,合田 義弘,北本 仁孝,東 康男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10831号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	高木 優香	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	平山 博之	教授	東 康男	准教授
	審査員	中辻 寛	准教授		
		合田 義弘	准教授		
		北本 仁孝	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「液滴法による堆積グラフェンの形状評価および機械剥離法による層数不均一グラフェンの電気伝導測定」と題した6章から構成される和文の論文である。

第1章「研究背景」では、はじめにグラフェンの原子構造や電子状態など物性の特徴について述べられている。この後、グラフェンを基板上に堆積させる方法として液滴法が紹介され、グラフェンが高移動度をもつ材料であることから電子デバイスとしての応用が期待されていること、またこれに向けた液滴法によるグラフェン膜形成の利点と問題点が述べられている。具体的に、液滴法によるグラフェン膜形成においては、基板上に堆積させたグラフェンのサイズ、形状、数密度の詳細が明らかになっていないため、これを実際に観察し評価すること、さらにその評価により見出された層数不均一構造をもつ数層グラフェンの電気伝導特性を測定することが重要であることを指摘し、これらが本研究の目的であることが述べられている。

第2章「液滴法によるグラフェンの堆積方法および観察手法」では、本博士論文研究で使用したグラフェン溶液の詳細、および液滴法により基板上に堆積させる際の実験条件について述べている。さらに、液滴法で基板上に堆積させたグラフェンのサイズと形状評価に使用した観察手法、およびそれぞれの手法の原理が述べられている。

第3章「グラフェン製電界効果トランジスタの作製および評価方法」では、グラフェンをチャンネルとした電界効果トランジスタを作製する際のデバイス作製プロセスに関して述べられている。具体的に、今回デバイス作製の対象としたグラフェンは、光学顕微鏡の干渉色により判定された層数の正当性をラマン分光により確認した上で、さらにそのサイズの分布を統計的に評価した上でプロセスを設計し、リソグラフィやレーザ描画条件等を行う際の工程や条件に関する詳細が述べられている。

第4章「液滴法により基板上に堆積したグラフェンのサイズおよび形状評価」では、液滴法により基板上に堆積させたグラフェンの形状評価の結果について述べられている。観測の結果、基板上のグラフェンの形状には、シート状の数層グラフェンと3次元的にグラフェン片が凝集したブロック状の構造をもつグラフェンの2種類があることを明らかにしている。特にシート状グラフェンは、予想に反して、平坦な構造よりも折り畳みや積層構造をもつものが多数存在することを報告している。さらに基板上における数密度を比較したところ、ブロック状の方がシート状のグラフェンに比べて50倍程度多く堆積していることを丹念な観察により明らかにしている。また、液滴法で堆積したグラフェン膜では、このブロック状のグラフェンが電気伝導の妨げになっていると推測し、ブロック状の数密度を

減少させ、シート状の数密度を増加させる試みとして、超音波および遠心分離処理を行った結果を報告している。

第5章「グラフェン製電界効果トランジスタの電気特性評価」では、4章の形状評価において折り畳みや積層構造をもつものが多数存在したことに注目し、実際に作製できるプロセスのデバイスサイズも考慮した上で、1つのシート内において層数が不均一である構造をもったグラフェンを機械剥離法で作製し、その電気伝導特性を測定した結果が述べられている。測定の結果、1つのシート内で層数が不均一なグラフェンをチャンネルとしたデバイスにおいても、単原子層グラフェンFETの特徴であるアンバイポーラリティが観測されること、ただしその電荷中性点はプロセス中に付着した残留不純物によってシフトすることが述べられている。また、本研究で作製したデバイスの電気伝導率は、過去に報告された単層や2層グラフェンデバイスよりも小さいことに関連して、今回のデバイスの伝導特性が広域ホッピングで支配されている可能性について議論している。ただし、今回作製したデバイスの電気伝導特性にはプロセスによる残留不純物の影響があるため、こうした電気伝導特性が真に層数不均一構造に起因するものかは、現時点では断定できないことが述べられている。

第6章「結論」では、本論文で得られた結果が総括されている。

以上を要するに、本論文は、液滴法で堆積したグラフェンの形状はシート状とブロック状の2種類あり、それらの形状や数密度に対する超音波や遠心分離処理の効果を明らかにしている。また、シート状の構造においては1つのシート内において層数不均一構造をもつものが多いことを明らかにした上で、こうした構造上の特徴を持った数層グラフェンを機械剥離法により作製し、その電気伝導特性を、アンバイポーラな伝導特性におけるプロセス残留不純物の効果や、広域ホッピング伝導の観点から解析を行っており、本論文は工学的に貢献があるという点により、博士（工学）の学位論文として認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。