

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲	第 10800 号
------	-----	-----------

氏 名 RUAMMAITREE Akkawat

### 論 文 題 目

Growth of Epitaxial Graphene on 6H-SiC and Its Characterization  
by Surface Analysis Methods

(6H-SiC 上のエピタキシャルグラフェンの成長と表面分析法による  
その評価)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	齋藤 弥八
委員	名古屋大学	教授	楠 美智子
委員	名古屋大学	教授	曾田 一雄
委員	名古屋大学	講師	安坂 幸師

## 論文審査の結果の要旨

RUAMMAITREE Akkawat 君提出の論文「Growth of Epitaxial Graphene on 6H-SiC and Its Characterization by Surface Analysis Methods (6H-SiC 上のエピタキシャルグラフェンの成長と表面分析法によるその評価)」は、超高真空およびアルゴンガス雰囲気における SiC の熱分解により、6H-SiC のシリコン面と炭素面に形成されるグラフェンの構造、層数および形態を反射高速電子回折、表面 X 線回折法、角度分解光電子分光法、走査電子顕微鏡法、原子間力顕微鏡法などの表面分析法により解析し、グラフェン層数の新しい測定法の提案、テラスの上に成長する縞状およびリング状の形態をもつグラフェンの観察を述べている。さらに、これらのグラフェンの成長機構も明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、グラフェンの原子構造、電子構造、種々のグラフェン作製法、SiC の構造など本研究の背景を述べたあと、SiC をアルゴンガス雰囲気中で加熱することによるグラフェンの結晶性の向上についても記述し、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、SiC 表面上に成長したグラフェンの分析と評価に用いた原子間力顕微鏡、角度分解光電子分光、反射高速電子回折、X 線回折の測定法について簡潔に述べている。特に、グラフェンの層数の決定に用いた X 線回折法については、その原理と測定データの解釈について述べている。

第 3 章では、6H-SiC 基板の準備から、SiC の加熱処理に用いた超高真空試料準備室、反射高速電子回折装置、熱処理方法、グラフェンの分析評価までの実験手順の詳細を記述している。

第 4 章では、従来の層数測定法の長所短所を概説したあと、X 線回折法を用いた新しい層数測定法を説明している。グラフェンの層数に関する情報はその物性研究と応用にとって必須である。ここで提案された層数測定法は、X 線回折の実測プロファイルを層数分布のモデルから得られた計算プロファイルとのフィッティングにより見積もるというものである。回折強度の計算ではグラフェンの層数を単一にするのではなく、層数に分布が存在することを取り入れる点で新規性がある。この手法より得られた結果は超高真空走査型電子顕微鏡、角度分解光子放出分光およびラマン分光による測定結果とも一致することを示し、この手法の有効性を確認している。

第 5 章では、SiC の炭素面にグラフェンを成長させる場合、アルゴンガス中で SiC を急速加熱することにより、層数が 3 層の均一な厚みを持ったグラフェンが、表面ステップをまたいで広い領域に成長することを見出し、さらに、SiC 基板からグラフェンへの電子ドーピングが均一に起きていることを明らかにし、高品質のグラフェンの形成方法に有用な知見を与えている。

第 6 章では、SiC 表面のステップエッジにおいて、テラスの上に盛り上がって縞状に成長したグラフェンの観察とその成長機構を論じている。この凸状の成長形態は、従来知られているテラスより低い凹部に埋め込まれた形で形成されるという成長様式とは全く異なり、分解した炭素原子のテラス上での拡散がグラフェン成長に重要な役割を果たしていることを示す新しい知見を与えている。

第 7 章では、リングの形態を持つグラフェンの観察とその成長機構を論じている。リング状グラフェンは今回はじめて見出された形態であり、その成長は、雰囲気ガスの種類と圧力に依存し、アルゴンガス 0.05 気圧において最も高い頻度で成長することを明らかにした。グラフェンリングは、光学アンテナとして電磁波エネルギーの局在化に優れた性能を有するとの理論予測があるので、グラフェンリングの直径や層数の制御が可能となれば、フォトニクスへの研究の展開と応用が可能となる。

第 8 章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では、SiC 表面上に形成されるグラフェンの層数測定の新しい手法を提案し、縞状およびリング状の新規な形態をもつグラフェンの成長条件を明らかにしている。これらの評価方法ならびに得られた結果は、高品質グラフェンの半導体基板への直接成長とその光・電子デバイスへの応用を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である RUAMMAITREE Akkawat 君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。