

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	㊶／乙第 号	氏 名	Koga, Aaron Mitsutoshi (コガ アーロン ミットシ)	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士	白濱 圭也
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士	齋藤 幸夫
		慶應義塾大学准教授	博士(理学)	渡邊 紳一
		慶應義塾大学准教授	博士(工学)	牧 英之
		電気通信大学大学院教授	理学博士	鈴木 勝
<p>(論文審査の要旨)</p> <p>Bachelor of Science and Arts、修士(理学) Koga Aaron Mitsutoshi 君提出の学位請求論文は、「Torsional Oscillator Study for Solid ⁴He Growth on Graphite and Graphene from the Superfluid」(グラファイトおよびグラフェン表面での超流動液体からのヘリウム4の結晶成長に対するねじれ振り子法による研究)と題し、全7章より構成されている。</p> <p>平坦な固体表面で結晶が1原子層ずつ成長する層状成長の理解は、半導体産業に不可欠だけでなく、物理学としても興味深い。超流動液体ヘリウム(⁴He)と接するグラファイトの表面では、ヘリウムの凝固圧(25気圧)よりもはるかに低い圧力で結晶の層状成長が起こる。これは、グラファイトの蜂の巣格子による周期ポテンシャルが有効圧力として作用するためと考えられてきた。過去の実験では、10nm程度のグラファイト小片の積層構造からなる「グラフォイル」(膨張黒鉛)の上に固体ヘリウムが層状成長することが示されたが、圧力変化の様子は理論が予言するシャープな相転移ではなく、ブロードであった。また、0.9K以下では1層の成長が2段階に起こることを示唆する実験結果が存在し、その真偽や解釈について興味を持たれていた。</p> <p>本研究で著者は、グラファイト上⁴He結晶の層状成長機構の解明を目的として、ヘリウム超流動特性の測定法であるねじれ振り子法を初めて結晶成長研究に応用した。ねじれ振り子の共振周波数がグラファイトに浸漬した⁴Heの密度変化に比例する性質を利用し、結晶成長過程を詳細に測定できると期待される。試料としてグラフォイルと、ここ数年で開発が進み入手可能となったグラフェン(単層ないしは数原子層の積層グラファイト)を用いた。</p> <p>第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。第2章は層状成長の理論と過去の実験について述べている。第3章は実験方法で、ねじれ振り子によるヘリウムの超流動特性と結晶成長測定の方法を詳述している。第4章で実験結果と解析、第5章と第6章でそれぞれグラフォイルとグラフェンでの実験結果について議論している。グラフォイルを用いた実験では、層状成長が1Kでは少なくとも8原子層まで、また1原子層内で2段階で成長が起こることが確かめられた。しかし低温になるにつれ多層成長は抑制され、0.1Kでは約4原子層までしか成長しないことがわかった。</p> <p>一方グラフェンを用いた実験では、1.1K以下で固体膜厚の不連続的な変化(ステップ)を5つの圧力で観測した。これらのステップはグラフォイルでは見られない新しい現象である。5つのステップを経た総膜厚変化は1原子層以下にとどまること、ステップの直前に結晶は一旦融解し、直後には過剰に凝固することがわかった。これらの結果は、不連続ステップが層状成長によるものではなく、1原子層内部の結晶構造相転移に起因することを強く示唆する。ステップの原因として、最上面2次元固体層の構造相転移、すなわち下地固体層の周期ポテンシャルに対し整合(Commensurate)な複数の結晶構造間の1次相転移を提案する。著者は5つの不連続ステップが、4種類の整合構造と、不整合(Incommensurate)相間の転移に対応することを、各整合構造の形成エネルギーの計算から示した。4種類もの整合相が実現される系はこれまで例がなく、2次元固体における新しい構造相転移の発見と言える。またグラフォイルとグラフェンでの結果の大きな違いの原因として、グラフェン試料の平坦表面が圧倒的に大きく端の効果が小さいことと、ヘリウム吸着ポテンシャルが両者で異なっている可能性を指摘している。最後に第7章で本研究をまとめている。</p> <p>以上まとめると、グラファイト表面上固体⁴Heの結晶成長を新しい手法で調べ、層状成長と新奇な構造相転移の様相を明らかにした。本研究は結晶成長と相転移の物理に重要な貢献をなし、その学術的意義は高い。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>				
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。			

※ ○○ ○○には審査担当者氏名、△△△△には、「上記審査会委員」等と記載する。