

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|--|
| 題目(和文) | エアロジェル中における4Heの核生成と結晶成長 |
| Title(English) | Nucleation and crystal growth of 4He in aerogel |
| 著者(和文) | 松田弘文 |
| Author(English) | Hirofumi Matsuda |
| 出典(和文) | 学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9710号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:奥田 雄一,大熊 哲,田中 秀数,笹本 智弘,山本 直紀 |
| Citation(English) | Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9710号, Conferred date:2015/3/26, 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 |

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 | 松田 弘文 | |
|-------------|-----|-------|---|---------|-------|-----|
| 論文審査 審査員 | | 氏名 | | 職名 | 氏名 | 職名 |
| | 主査 | 奥田雄一 | | 教授 | 笹本 智弘 | 准教授 |
| | 審査員 | 大熊 哲 | | 教授 | | |
| | | 田中 秀数 | | 教授 | | |
| | | 山本 直紀 | | 准教授 | | |

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、二酸化ケイ素鎖の絡み合いにより出来ている、空孔率が 96~98%というアエロジェルを取り上げ、この乱れた空間での固体ヘリウム 4 の結晶成長について、光学的手法で調べた研究成果をまとめたものである。極低温において、固体ヘリウム 4 は超流動ヘリウム 4 から 25 気圧以上の圧力をかけることで生成される。ここでの結晶化は超流動からの 1 次相転移であるため、とても高速で起こる。しかし、フラクタル次元が 1.8 といわれているランダムな構造をもつアエロジェル中では、結晶の仕方が驚くほど変わる。バルク状態では温度の低下とともに結晶成長速度は速くなっていくが、アエロジェル中では逆に遅くなって行き、ある温度以下では温度変化しなくなる。さらに結晶成長の様子が連続型から雪崩的な間欠型へと変化していく。本論文は、これらの不思議な現象をさらによく理解するために、新たに考案した手法で研究したもので、「Nucleation and crystal growth of 4He in aerogel」と題し、以下の 5 章から構成されている。

第 1 章「Theoretical background and purpose of the research」では、極低温における固体ヘリウム 4 の基本的性質や固体ヘリウム 4 の結晶成長のユニークな特徴を述べ、本研究の理論的基礎事項として整理している。また、本論文での研究の動機づけ、研究の目的を述べている。

第 2 章「Experimental details」では、アエロジェルについての基本的性質、製造の仕方、アエロジェル中で固体ヘリウム 4 を成長させるための特殊な加圧装置（ポメランチューク型サンプルセル）の詳細な説明、光学窓を持つ希釈冷凍機の説明、シャドウグラフによる固体ヘリウムの結晶を観測する光学系の説明を行っている。また、実験の進め方についても詳述されている。

第 3 章「Preceding experiments」では、本論文の研究に先立つ先行研究について詳しく述べている。25 気圧の外部圧力により固体ヘリウム 4 は生成されるが、アエロジェルの内部に入った超流動ヘリウムを固化させるためには、さらに空孔率に依存した過剰の圧力をかける必要がある。過剰に圧力を加えることで結晶化が開始するが、その結晶化の形態が、ある温度を境に高温では連続的に成長し、低温では雪崩のような間欠的な成長をする。このようにランダムな空間での結晶成長については理解が進んでいないことを、本研究の大きな動機としている。

第 4 章「Experimental results and discussion」では、本研究で得られた実験成果について報告しており、本論文の中心的な章となっている。研究成果として大きく二つ挙げられる。一つは核生成に関するものである。温度を固定して圧力を印加していき、アエロジェル中での結晶化が始

まる過加圧量を 50 回繰り返し測定することで、理論的に予測される確率的な性質をもつ核生成であることを示した。また、核生成の平均過加圧量の温度依存性の測定により、高温域の連続型結晶成長は熱活性型核生成であり、低温の雪崩的間欠型成長は量子トンネルによる核生成であることを突き止めた。また、バルク固体に囲まれたところでのアエロジェル内の超流動体が固化するための質量欠損分が、界面でのストレス誘起の融解により供給されることを明らかにしている。もう一つの成果は、アエロジェル中の液体をある程度以上の圧力にしておく、そのままの状態でも冷却するだけで、ある温度で雪崩的に結晶化が起り出すことを発見したことである。冷却や昇温を繰り返すことでその結晶化が起り出す温度が圧力だけで決まることを突き止めている。圧カスweepの実験同様に、結晶化が起るためには質量補給を行わねばならない。このように固体中の質量輸送がある温度以下で急激に起り出す現象を、固体ヘリウム4で話題となっている超固体との関連性を議論している。

第5章「Conclusion」では、実験結果のまとめと、その結果得られたアエロジェル中での固体ヘリウム4の結晶化の知見をまとめ、本論文の結論としている。

以上を要するに、アエロジェルという、超低密度・高空孔率でフラクタルな空間内において、超流動ヘリウムの固化の新しい物理を明らかにした。アエロジェルという物質に目をつけ、ポメラチューク型の特殊な加圧機構を導入し、かつ極低温という環境下での困難な実験を遂行し、興味深い物理を引き出している。これは申請者の研究能力の高さと学識の深さを表しており、本論文は博士（理学）の学位論文に十分値すると判断される。

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。