

MERITインターンシップ報告書

理学系研究科物理学専攻
村川研究室 博士課程3年
MERIT7期生
宇佐美潤

概要

2021/6 ~ 2021/7

公益財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)・田尻寛男・主幹研究員

上記期間、JASRIの研究生として表面界面構造解析ビームラインBL13XUのビームライン主担当者である田尻寛男主幹研究員に受け入れていただき、放射光X線を用いて低温で表面の構造解析の研究やそのための装置開発を行った。

テーマ

X線回折による超低温でのグラファイト上単原子層ヘリウムの構造解析

研究概要

背景

極低温では超伝導、超流動など様々な相転移や量子現象が現れる。さらに2次元物質では低次元性が関わりトポロジカル絶縁体や表面超伝導など興味深い物理現象が起こる。しかし極低温で起こるためこれらの相転移に伴う構造変化を直接的に調べる測定手段は限られている。

吸着単原子層ヘリウムは理想的な2次元量子ボソン(^4He)・フェルミオン(^3He)系であり、様々な相転移が起こるため、量子物性研究の舞台として多くの研究が行われ、多様な興味深い量子相や現象が見つかった。しかしこれまでその実験手法としては熱容量、核スピン帯磁率やねじれ振動子の力学応答といったマクロな物理量の測定にほとんど限られてきた。一部の不整合固相形成を確認した中性子散乱実験を除き、原子配列、構造といった観点での実験研究は行われておらず、実験を説明する前提となる結晶構造が推測の域を出ないため、未解決の問題が多い。つまり多くの理論計算があるものの、結晶構造の実験的報告がないために理論計算で使用するパラメータに実測値を用いることができず、実験を完全に説明することが難しくなっている。そういった物質の構造を“見る”ことは、実験から提案される不思議な物理現象の解明、また相転移や量子物性研究の新しい分野を拓き、理論研究の発展をも助け、広く相転移、物性、量子物性の研究に貢献する。今回のインターンで参加させていただいた研究では私としては次のことを目標とした

“低温での放射光を用いた構造解析という新技術の創出によって、多くの未解明研究に着手できる土台を作る。”

測定準備

今回製作に関わらせていただいた低温装置は市販のGM冷凍機にヘリウム4の蒸発冷却を利用した自作の1 Kポット冷凍機を取り付け、1.5 K程度まで冷却できる装置である。1 Kポット部分に被測定物をセットする試料セルを取り付けた。今回のミッションとしては7月末のビームタイムにおいて、1 Kでグラファイト表面に吸着した単原子層ヘリウム膜を放射光X線回折で観測することである。そのために大きくは次の3つの課題があった。

1. 1 Kを安定的に維持する冷凍機システムの構築、改良
2. 回折実験に有効な（単結晶サイズが大きくモザイク角が小さい）グラファイト基板の選定、評価
3. 単原子層ヘリウム膜を作製するための関連装置の設計・製作

1. に関しては既に田尻氏、兵庫県立大学の山口先生らのグループがシステムの設計・製作を進めており、これまでの自身の研究の経験を活かした熱計算等での改良に貢献した。

2. ではHOPGの一種で、HOPG並みに単結晶サイズが大きいHAPG (Highly annealed pyrolytic graphite)を選定した。その評価は主に田尻氏が行ってくださった。室温での002反射におけるロッキングカーブから市販のHOPGを下回るモザイク角が得られた。実際の低温での測定に向けて、配向性など

試料の特性を維持したまま試料セルに取り付け、かつ冷却性能も維持する

という点では苦労した。銅板への転写などを試したが、結果として試料の劣化を最も抑えられるという理由で、HAPGを成長させたガラス基板ごと切断することにした。熱伝導の観点からHAPGの側面を覆うように銀ペーストを塗布した。

3. は主に私が担当した部分である。装置のサイズなどに合わせ、設計を行い、表面積用セル、低温圧力計、試料セルや室温のガスハンドリングシステムとのガス管の接続や、低温装置への固定具などを協力して製作、設置した。



低温散乱実験装置

測定

大型放射光施設SPring-8の共用ビームラインBL13XUにおいて、表面X線回折装置に当該低温装置を導入し、2次元検出器を用いてCTR (Crystal truncation rod) 散乱の計測を行った。低温装置や温度計などでトラブルに見舞われたものの、低温 $T = 1.5$ KでのHAPGからのCTR散乱、 $T = 4$ Kでの吸着単原子層ヘリウム膜による散乱強度の変化の観測という成果をあげることができた。詳しい解析は今後シミュレーションも交えて引き続き行く必要がある。今回、低温での放射光X線回折実験に成功し、ヘリウム膜の存在を示唆する結果が得られたという点で大きな進捗があった。今後の課題としてサイズの大きな試料の準備、低温装置の改良がある。



実験ハッチ内の様子

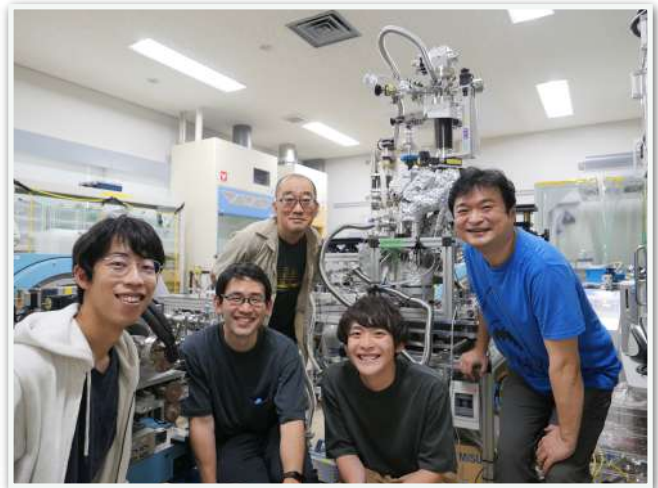
今後の課題としてサイズの大きな試料の準備、低温装置の改良がある。

私のインターン期間は終了したが、本研究は、まずは面直方向の単原子層の距離に関する情報を得る方向へと進んでおり、ゆくゆくは面内構造解析へと発展していくことが期待される。この新しい実験技術で、これまでわかっていなかった量子状態や現象に関する新しい物理やその理解が得られる可能性があり、重要な第一歩に関わらせて頂けたことに感動している。

謝辞

今回の素晴らしい機会をいただいた、JASRIの田尻寛男主幹研究員、兵庫県立大学の山口明准教授、元指導教員の福山寛名誉教授に感謝の意を表します。本インターンシップで受け入れ、ご指導下さった田尻様に感謝申し上げます。また、ご指導や共同研究を行ってくださった兵庫県立大学の山口先生、山根先生、隈下様、そして住山先生をはじめとする研究室メンバーに御礼申し上げます。難しい情勢の中、研究生としての受け入れを許可くださった、JASRI、JASRI回折・散乱推進室木村室長、理学系研究科、指導教員の村川先生、副指導教員の山田先生に御礼申し上げます。

開始前、また期間中も手続きでお世話になりました、JASRI研究調整課の鞆畑様、低温科学研究センター事務室の佐々木様、物理教務に感謝申し上げます。最後にこのような機会を頂きました、MERITプログラム、手続きをしてくださったMERIT事務局の浅野様に御礼申し上げます。



実験メンバーと