

放射光 X 線回折によるグラファイト上 単原子層ヘリウム薄膜の構造研究

～極低温で現れる不思議な量子相の観測を目指して～

理学研究科 物質科学専攻

くました あつき やまぐち あきら やまね ゆう すみやま あきひこ
◎D1 隈下敦貴, 准教授 山口 明, 助教 山根 悠, 教授 住山昭彦

キーワード

超低温、ヘリウム薄膜、放射光 X 線回折、新奇量子相



研究概要

絶対零度近傍の超低温下では、物質の量子力学的な性質が顕著に現れ、超伝導やヘリウム(He)の超流動などの不思議な物理現象が発現する。本研究対象であるグラファイト上に吸着した単原子層 He 薄膜では、超流動量子液晶や量子ドメインウォール相など 2 次元系特有の多彩な量子相の存在が報告されている。しかし、He が軽元素であること、吸着温度が 4 K 以下であることからこの系の表面構造を直接観測した例は、中性子線回折を除いて殆どない。

そこで、本研究では、大型放射光施設 SPring-8 において、単原子層 He 薄膜の構造解明を目指した研究・開発に取り組んだ。図 1 に装置の全体図を示す。4 K 以下の超低温を目標に、小型 GM 冷凍機に He 蒸発冷却ラインを取り付けた冷凍機を開発し、最低温度 1.37 K を実現可能とした。図 1 の配置で最低温度 1.37 K で He 単原子層の放射光実験を行った結果を図 2 に示す。黒四角が基板のみ、赤丸が基板に単原子層 He 薄膜を吸着したプロファイルを示している。吸着前後で逆格子単位 $L=1$ 付近に強度変化が見られた。黒と赤の実線はそれぞれのシミュレーションを示しており、測定データを良く再現していた。このことは、放射光 X 線により単原子層 He 薄膜の検出に成功したことを示している[1,2]。

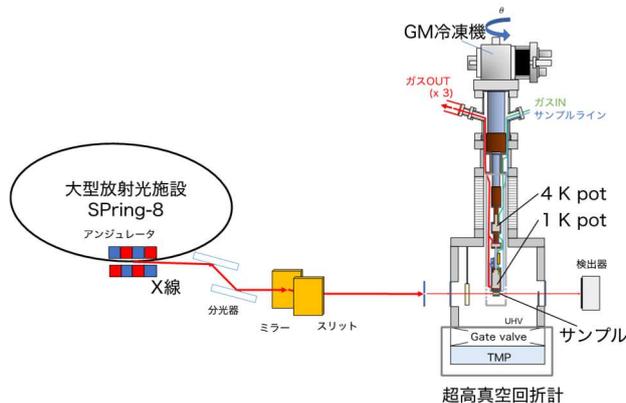


図 1 超低温放射光回折計

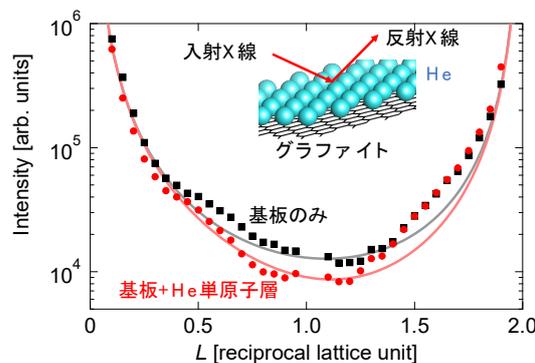


図 2 単原子層 He 薄膜の散乱プロファイル

アピールポイント

He は軽元素であるため X 線による構造解析が難しいとされてきた。本研究では、放射光での単原子層 He 薄膜の検出に成功した。この成果により、先行研究の中性子線回折では明らかにならなかった超流動量子液晶などの新奇量子相の知見を得られるだろう。

また、本研究により He 薄膜の構造研究が発展すれば、He 薄膜系のみならず超伝導薄膜や磁性薄膜材料などの低温構造観察への応用においても重要な役割を果たすことが期待される。

[1] A. Kumashita *et al.*, JPS conf. Proc. **38**, 011004 (2023).

[2] A. Yamaguchi, H. Tajiri, A. Kumashita *et al.*, J. Low Temp. Phys. **208**, 441 (2022).