

## MERIT 長期海外派遣報告書

東京大学大学院 MERIT 6 期生  
理学系研究科物理学専攻博士課程 2 年  
高木北川研究室 根岸真通

私は、MERIT コースワーク“長期海外派遣”として、マックスプランク固体研究所(シュトゥットガルト、ドイツ、図 1)に 2019 年 3 月 11 日から 9 月 11 日まで滞在した。滞在期間中には、イリジウム酸化物の結晶・薄膜合成によって、ディラック電子と呼ばれる特殊な電子のエネルギー構造を有する物質の実現に取り組んだ。



図 1. マックスプランク固体研究所。

### 研究課題と背景

ディラック電子系とは、グラフェンに代表される、伝導キャリアが線形のエネルギー分散をもつような物質系群である。この物質系群は、通常では考えられないほどキャリアの移動度が高く学術・応用両方から関心を持たれていることに加え、トポロジカル物質の例としても近年注目を集めている。

ペロブスカイト型イリジウム酸化物  $A\text{IrO}_3$  ( $A = \text{Sr}, \text{Ca}$ ) は、ディラック電子系のうち線ノード半金属と呼ばれるものの候補である [1]。また、この物質は電子相関効果が比較的強く、次元性の低下などによって相関絶縁体へ転移することが知られている [2]。よって、ペロブスカイト型イリジウム酸化物は、ディラック電子と電子相関の協奏効果を探究できるユニークな物質であると考えられる。

しかし、ペロブスカイト型イリジウム酸化物は常圧で準安定な構造であるために良質な試料を得るのが難しいという問題があり、最近  $\text{CaIrO}_3$  単結晶において高移動度キャリアの存在が報告される [3] まで、ディラック電子特有の輸送特性は発見されていなかった。私は、以前から薄膜合成によってこの物質系を研究してきたのだが、この長期海外派遣においては、薄膜に加えてバルク高圧合成にも取り組み、高品質試料の実現を試みた。

### 研究の方法

ペロブスカイト型イリジウム酸化物  $\text{SrIrO}_3$  および  $\text{CaIrO}_3$  の試料合成に、高温高圧のバルク合成・パルスレーザー堆積法によるエピタキシャル薄膜成長という二つの方法を用いて取り組んだ。バルク合成においては、 $\text{SrIrO}_3$  および  $\text{CaIrO}_3$  において単結晶試料の育成に取り組んだ。薄膜合成では、結晶構造の歪みが小さく薄膜化に有利と考えられ

る SrIrO<sub>3</sub> について、基板や製膜条件を変えて比較を行った。

## 研究の結果

バルク合成においては、SrIrO<sub>3</sub> および CaIrO<sub>3</sub> 両方において単結晶試料を合成することに成功した。SrIrO<sub>3</sub> では 150 μm 程度の単結晶試料が得られた(図 2)。ペロブスカイト型 SrIrO<sub>3</sub> の単結晶育成は今まで報告がなく、本研究によって初めて実現された。ただし、小さい試料サイズのため電気伝導測定が難しいという問題があり、伝導特性の評価は今後の課題である。また、CaIrO<sub>3</sub> においては 300 μm 程度の結晶を得て電気伝導測定に成功したものの、先行研究と異なり低温でキャリアが弱局在する兆候を示すことが分かった。原因の究明が今後の課題である。

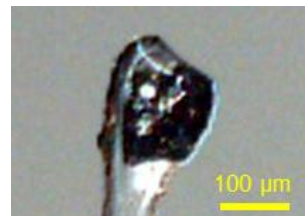


図 2. ペロブスカイト型 SrIrO<sub>3</sub> 単結晶。

SrIrO<sub>3</sub> の薄膜合成においては、基板・製膜条件の再探索を行い、移動度の向上を試みたものの、従来の試料に比べて大幅な向上は実現できなかった。高移動度が達成できなかった理由が、技術的な事情に起因するのか、あるいは SrIrO<sub>3</sub> 自体の特徴に起因するのかはまだ分かっておらず、今後検証を行いたい。

## 総括

本海外派遣は、MERIT の標準より長い 6 ヶ月間に渡るものだった。この滞在期間の長さを生かして、試料合成という長期間を要する研究活動に、複数の手法を用いて取り組めたことは、大変貴重な経験だった。研究においては、単結晶試料の合成という成果を挙げることができ、また、今後の研究においていくつかの課題が浮き彫りになった。したがって、本派遣は、研究経験を積むことと研究の進捗の両面において、大変有意義だったと評価できる。

## 謝辞

この研究滞在では多くの方々にお世話になりました。高木英典教授にはこのような貴重な機会を与えていただき、また、研究全般を指導していただいたことを、Sabine Paulsen には事務面でサポートいただいたことを感謝いたします。高圧合成は、Graham McNally、Frank Falkenberg の指導・協力のもと行いました。薄膜合成は、Gennady Logvenov、Georg Cristiani との共同研究で行いました。Minu Kim には、試料合成全般において議論をしていただきました。Yosuke Matsumoto、Mohammad Pakdaman には、合成した試料の低温物性評価について協力していただきました。

本海外派遣には、Max Planck – UBC – UTokyo 量子物質研究センターによる大学院生の交換交流事業、および日本学術振興会特別研究員奨励費(JP18J21922)から経済的に支援を受けました。この場を借りてお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] J. M. Carter, V. V. Shankar, M. A. Zeb, and H.-Y. Kee, *Phys. Rev. B* **85**, 115105 (2012).
- [2] J. Matsuno, K. Ihara, S. Yamamura, H. Wadati, K. Ishii, V. V. Shankar, H.-Y. Kee, and H. Takagi, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 247209 (2015).
- [3] J. Fujioka, R. Yamada, M. Kawamura, S. Sakai, M. Hirayama, R. Arita, T. Okawa, D. Hashizume, M. Hoshino, and Y. Tokura, *Nat. Comm.* **10**, 362 (2019).