



Title	薄膜研究における低温実験
Author(s)	塩貝, 純一
Citation	大阪大学低温センターだより. 2022, 172, p. 13-14
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/87689
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

薄膜研究における低温実験

理学研究科 塩貝 純一

E-mail: junichi.shiogai.sci@osaka-u.ac.jp

2021年10月1日付けで本学理学研究科物理学専攻松野研究室の准教授に着任いたしました塩貝純一と申します。松野研究室では、真空プロセスを用いた新物質の薄膜合成と物性観測を中心に研究を進めています。薄膜研究では、異なる物質の接合界面を作ったり、単原子層まで薄くしたりすることで、バルク単結晶では現れない新奇な量子現象を観測できます。このような物理現象を観測し、理解するためには、低温や強磁場などの極限環境での測定が必要不可欠です。本稿では、私のこれまでの研究と低温実験の関わりについてご紹介させていただきます。

私は、東北大学大学院工学研究科で半導体スピントロニクス研究室に在籍し、2014年に学位を取得しました。そこでは、III-V族半導体GaAsに磁性元素Mnをドーピングすることで、半導体と磁石の両方の特性を持ち合わせた「強磁性半導体」を使って、スピントロニクス素子としての機能を探索する研究に従事しておりました。強磁性半導体(Ga,Mn)Asは、非磁性半導体であるGaAsと結晶の格子整合性が良いため、これらの接合界面を形成すると、(Ga,Mn)AsからGaAsへスピン偏極した電流（スピン流）を高効率に生成できます[1]。本接合におけるスピン注入現象を理解することは、スピン流をキャリアとしたスピントロニクス素子の構築という観点だけではなく、半導体中のスピン流輸送に関わる諸現象を観測する上でも非常に重要です。しかしながら、鉄やニッケルなどの一般的な強磁性金属とは異なり、(Ga,Mn)Asは低温でのみ強磁性を示すため、上述のような接合素子でスピン流を計測するためには、寒剤を使った低温測定装置が必要です。当時私が所属していた研究室では、液体ヘリウムのトランスファーが学生の日課となるほど、冷凍機が常時複数稼働しており、これらの装置を使ってスピン流の計測を行っていました。

2011年2月に博士前期課程の学位審査が終わり、さあ後期課程のための新しい実験をするぞ、とやる気になっていたところ、翌月東日本大震災に見舞われ、当面の間、研究室での実験活動を停止せざるを得ない事態に陥りました。しばらく自宅待機期間がありましたが、その後すぐに、当時共同研究をしていた京都大学の化学研究所やドイツ・レーゲンスブルク大学の先生方から被災学生受け入れ支援のありがたい申し出があり、博士後期課程1年次から研究室留学をすることになりました。留学先の研究機関でも低温装置と潤沢な液体ヘリウム供給があったため、上述の強磁性半導体を使った素子研究[2]を継続することができ、無事学位を取得するに至りました。

学位を取得後、一旦スピントロニクスを小憩し、東北大学金属材料研究所に前年度新設された研究室へ助教として着任しました。金研では、様々な量子物質の薄膜合成と物性研究を始めました。

着任直後に始めた研究は、鉄系超伝導体FeSeの薄膜研究でした。FeSeは、鉄系超伝導体のなかでももっとも単純な層状の結晶構造をもち、バルク単結晶では約8 Kの超伝導転移温度を示します。本物質の興味深い特徴のひとつは、酸化物単結晶基板上に単原子層だけ堆積すると、40 Kまで超伝導転移温度が上昇することでした[3]。2012年の初めての報告以来、特に分光学的手法を中心に、その高い転移温度の起源が広く議論されていました。当初は、どこのグループからも厚膜から単原子層までの抵抗測定の実験データが示されていなかったため、転移温度高温化の起源について決着がついていませんでした。このような中で、私は数十原子層の比較的厚いFeSe薄膜を合成し、電気化学的な手法で薄膜表面からエッチングすることで膜厚を制御し、その都度電気測定するという実験手法を開発しました。破壊的な手法ではあるものの、厚膜から単原子層までの系統的な電気抵抗測定を同一試料で、かつ試料を測定チャンバーから一度も取り出さずに行えるため、試料のばらつきや劣化の影響が排除できるという利点があります。このエッチング法を使った抵抗測定によって、極薄膜での40 Kの転移温度を再現し、さらに転移温度の膜厚と基板依存性の結果を元に、酸化物基板からFeSeへの電子ドーピングが単原子層高温超伝導の主要因であることを明らかにしました[4]。立ち上がったばかりの研究室であったため、本研究開始当初は、低温センターから液体ヘリウムの入った容器を借用し、その中で試料と抵抗測定用の配線を付けただけの棒を上下して温度依存性を測るという極めて原始的な手法（いわゆるディッピング法）で本研究の核となるデータを取得しました。その後、市販の低温装置を立ち上げて磁場依存性などの超伝導特性を調べることになるのですが、世界に先駆けて重要なデータを世に出せたのは、潤沢な液体ヘリウム供給があったおかげだったのと言うまでもありません。

2010年代前半からヘリウム不足と価格高騰が話題になって久しく、さらに冷凍機技術の普及も重なり、現在は液体ヘリウムを使わない無冷媒冷凍機の全盛期であるといえるかもしれません。しかしながら、従来の液化ガスを用いる冷凍機と比べて、各メーカーの無冷媒冷凍機はやはり高価であり、今のところ若手研究者が導入することが困難な状況です。世界の第一線で物性研究を進める上では、安定的な寒剤供給と優れた低温技術は今後も欠かせません。これまで本学の充実した低温実験の支援体制構築にご尽力されてきた教職員の皆様に感謝申し上げるとともに、今後のご支援とご協力を何卒よろしくお願いいたします。

参考文献

- [1] M. Kohda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **40**, L1274 (2001).
- [2] J. Shiogai *et al.*, Phys. Rev. B **89**, 081307(R) (2014).
- [3] Q. Y. Wang *et al.*, Chin. Phys. Lett. **29**, 037402 (2012).
- [4] J. Shiogai *et al.*, Nature Phys. **12**, 42 (2016).