

高温超伝導体 YBCO の作成と磁化率、抵抗率測定

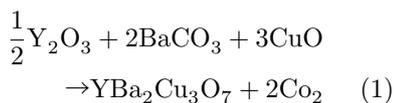
1 はじめに

高温超伝導体 YBCO を作成し、磁化率及び抵抗率の測定と試料の磁気浮上を見ることで超伝導が実現していることを確認した。

2 測定方法

2.1 試料の作成

本実験では高温超伝導体として $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ を使用した。反応式は、



である。この反応式に従って以下の手順で作成した。

1. 適量の $\text{Y}_2\text{O}_3, \text{BaCO}_3, \text{CuO}$ を乳鉢内で混合する。
2. 混合した試料を電気炉で長時間仮焼きする。
3. 仮焼きした試料を加圧して型取り、電気炉で本焼きする。

これにより YBCO を得る。

2.2 磁化率測定: SQUID 干渉計

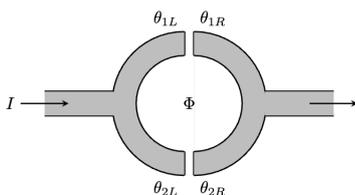


図 1: SQUID

*1 地磁気の大きさが数万 nT 程度

上のような超伝導体で作った回路を考える。ただし 2 つの超伝導体は絶縁体で仕切られており、回路の中央には磁束 Φ が垂直に貫いているとする。超伝導体に流れる電流は

$$I = I_c \sin(\Delta\theta_1) + I_c \sin(\Delta\theta_2) \\ = 2I_c \sin(\Delta\theta) \cos\left(\frac{\pi\Phi}{\Phi_0}\right) \quad (2)$$

ここで $\Phi_0 = h/2e$ は磁束量子と呼ばれる定数である。前の部分は係数であるから、電流の磁束依存性は

$$I_c \propto \cos\left(\frac{\pi\Phi}{\Phi_0}\right) \quad (3)$$

である。このことから電流を測定すれば磁束を Φ_0 の精度で測定することができる。この大きさは

$$\Phi_0 \sim 2 \times 10^{-15} \text{ Wb} \\ B \sim 10^{-10} \text{ T} \quad (S = 1 \text{ cm}^2) \quad (4)$$

の程度である*1。

2.3 抵抗率測定: 四端子法抵抗率測定

通常の二端子測定法では、超伝導体の抵抗率に対してケーブルの抵抗率が無視できない値になってしまう。四端子測定法では上記のような測定用の配線による抵抗率の誤差を回避することができる。以下に回路図を示す。

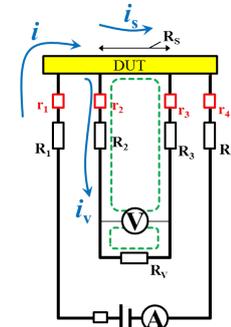


図 2: 四端子測定法の回路図。試料に 4 つの端子が接続されている。[1] より引用。

3 測定結果

3.1 磁化率の測定結果

磁化率の測定結果を図 3、4 に示した。ここで sample01 は YBCO を大気と同じ酸素濃度で焼いたもの、sample02 は大気より高濃度の酸素濃度で焼いたものである。また C → B は冷却した YBCO に磁場をかけたもの、B → C は磁場をかけた状態で冷却したものを指す。

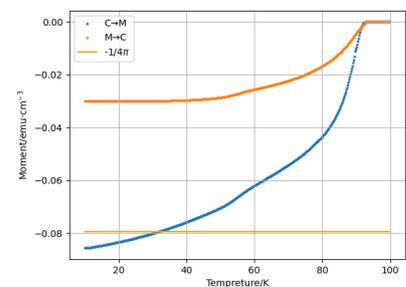


図 3: sample01 の磁化率の温度依存性

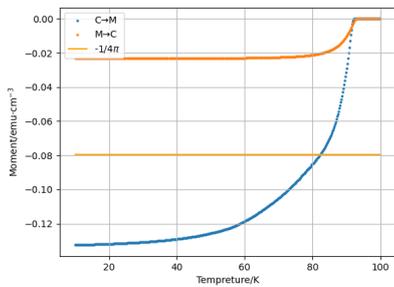


図 4: sample02 の磁化率の温度依存性

3.2 抵抗率の測定結果

sample01 の抵抗率を図 5 に示した。

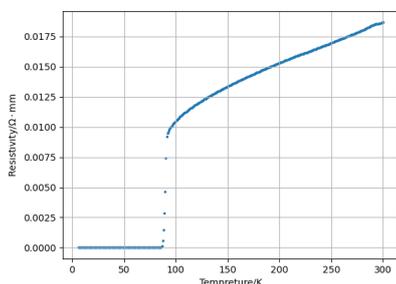


図 5: sample01 の抵抗率の温度依存性

4 考察

抵抗が 95 K 付近で 0 になり、それと同じ点で反磁性を示すようになっている。これは先行の研究と矛盾しない ([2])。超伝導体は転移点以下で完全反磁性となり、理想的には磁化率は

Gauss 単位系で $-1/4\pi$ となる。しかし超伝導の磁化率について図を見てみると $-1/4\pi$ を超えている場合があることがわかる。これは測定に問題があると思われる。

- 1 超伝導マグネットを使用している MPMS の低磁場の制御は再現性が低い
- 2 薄片に垂直に磁場を加えているので反磁場効果のため磁化の絶対値が大きくなりやすい

ことが考えられる。

sample01 は sample02 に比べて磁化率の絶対値が大きくなっていることがわかる。これは酸素ドーピング量によって YBCO の転移温度が変わることを考慮すると、sample01 は試料全体が超伝導になっておらず部分的にしか完全反磁性になっていないことが原因であると考えられる。

また低温で磁場をかけるのと磁場をかけてから低温にするのとで、磁化率が異なることがわかる。これは [3] によると、超伝導体に磁場をかけるのと、通常の導体に磁場をかけるのとでは磁束の入りやすさが異なることに起因する。超伝導体には「ピン止め」という磁束線を固定しようとする機構が働く。通常の導体には磁束が侵入しそれ

が超伝導体になると磁束が入ったまま固定される。磁束が侵入していない場所が完全反磁性になるので正味として固定された磁束は反磁性を打ち消す方向に寄与する。他方超伝導体に磁場をかけると超伝導体は磁場の侵入を防ぐので磁束がほとんど入らず、結果として強い反磁性を示すようになる。

5 謝辞

本実験は低温センターの藤井武則助教授、島野亮教授をはじめとする島野研究室の方々の全面的な協力によって遂行することができました。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Wikipedia contributors. 四端子測定法 — Wikipedia, 2023. [Online; accessed 12-May-2024].
- [2] Yun Zhang and Xiaojie Xu. Yttrium barium copper oxide superconducting transition temperature modeling through gaussian process regression. **Computational Materials Science**, 179:109583, 2020.
- [3] 谷天 健一. 重い電子系超伝導体の磁化過程.