

研究班番号【 39 】
YBCO超伝導体のAgによる不純物効果~室温超伝導を求めて~

物理班:太田 光輝、長本 波音

Abstract

In this study, impurity effects, such as the enhancement of the superconducting transition temperature by the substitution of Ag for Cu in the high-temperature superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO), were investigated in order to promote the widespread use of superconductors. In the experiments, samples were prepared using different substitution ratios and firing methods and cooled with liquid nitrogen to check for the Meissner effect. As a result, in Experiment 1, it was found that the preparation of samples in firing once was effective, while in Experiment 2, the Meissner effect tended to weaken at substitution percentages of 1% to 5%, with the exception of 4%. Therefore, it can be concluded that the impurity effect increased with increasing Ag substitution ratio in the present study, leading to a decrease in the superconducting properties.

要約

本研究では、超伝導体の普及を促進するために、高温超伝導体である $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO)におけるCuのAg置換による超伝導転移温度の向上といった不純物効果を調査した。実験では、異なる置換割合と焼成方法により試料を作成し、液体窒素で冷却してマイスナー効果の有無を確認した。結果として、実験1では一度焼きでの試料作成が効果的であることが分かり、実験2では4%を除いた1%から5%の置換割合ではマイスナー効果が弱まる傾向が見られた。したがって本研究ではAg置換割合の増加に伴い不純物効果が増加し、超伝導の特性が低下したことが結論づけられた。



図1 マイスナー効果

1. はじめに

超伝導がリニアモーターカーやMRIなどに使われていることを知り、更に普及させることができないかと興味を持った。そこで私達は、普及の妨げとなっている超伝導転移温度の低さを改善する方法を探るため、代表的な高温超伝導体である $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (以下YBCO)のCuをAgと置換することによる不純物効果を観察することで、転移温度が高い超伝導体への手がかりを見つけるために実験を行った。

今回の実験では、CuをAg置換して実験を行ったが、その理由としては、先輩方の過去の実験でCuを同周期で原子半径の近いMnに置換しており、より性質の近い同じ族であるものにしようと考えたからである。

マイスナー効果とは超伝導状態の物質に見られる現象であり、本研究ではマイスナー効果の有無により超伝導体になっているかどうか判断する。

2. 研究手法

材料として酸化イットリウム、炭酸バリウム、酸化銅、酸化銀を用意し、電子天秤で一定の割合で計り、乳鉢に入れて一時間半混ぜた後、プレス機でコイン型に成形し、電気炉を使用し焼成した。

《実験1》

- 1) Ag置換をしていない試料を用意し、一度焼き、乾燥させた後一度焼き、二度焼きの3つの方法で作成。後者2つの方法は一度焼きと比べ、焼く時間が長く、試料の水分を十分に飛ばす役割がある。しかし、一度焼きと比べると作成に時間がかかるという欠点がある。

- a) 一度焼き:焼成で9時間かけて900度にした後15時間維持、24時間かけて室温に戻す
 - b) 乾燥させた後一度焼き:成形前に一度、粉状の試料を900度で一時間熱した後、プレス機で固め、一度焼きと同じように焼成する

- c) 二度焼き:一度焼きの方法で焼成した試料を再び乳鉢で粉状にし、プレス機で固め、一度焼きと同じように焼成する
- 2) 焼成した試料を液体窒素で冷却しマイスナー効果が出るかどうか確認した。
 - 3) 2)の結果を参考にすることで『実験2』で使用する試料の作成方法を決定する。
- 『実験2』
- 1) YBCO超伝導体のCuの100%、5%、4%、3%、2%、1%をAgに置き換えて混ぜたものを『実験1』で決定した焼成方法で焼成。
 - 2) 焼成した試料を液体窒素で冷却し、マイスナー効果の有無、またAgの不純物効果について調べる。

3. 結果

『実験1』

すべての試料でマイスナー効果が見られた。

『実験2』

1%、2%、3%、5%の割合で置換した資料でマイスナー効果がみられた。しかし割合が大きくなるとともに0%に比べ、反発が小さくなっていた。これをマイスナー効果が弱いと表現する。また5%では、すこし反発が見られただけだった。4%、100%ではマイスナー効果は見られなかった。

表1 作成した試料の結果

割合	0%	1%	2%	3%
見た目	深黒	深黒	深黒	深黒
マイスナー効果の有無	あり	あり	あり	あり

割合	4%	5%	100%
見た目	深黒 ヒビあり	深黒	灰白色
マイスナー効果の有無	なし	わずかにあり	なし

4. 考察

『実験1』より、校内での超伝導体の作成は一度焼きで行うことができると考えられる。

『実験2』より、Cuを完全にAgに置換した試料は77Kではマイスナー効果が見られなかつたことから、Cuの代わりとしてAgは適していないと考えられる、また1%、2%、3%、5%の試料の結果から、Agの不純物効果によってマイスナー効果が弱くなつたと考えられる。

マイスナー効果が4%で見られなかつたが、5%で見られた原因は以下の2つのどちらかまたは両方になつていたからであると考えられる。

1:4%の試料にヒビが入つており、そのヒビによつて試料が超伝導体にならなかつた。

2:4%以上の置換割合では試料はできない、しかし5%の試料の混合の際、攪拌が十分でなく、一部のみでAgを含まないYBCO超伝導体ができていた。

5. 結論

YBCOにおけるCuのAg置換での不純物効果はマイスナー効果が弱まることがわかつた。今回の実験では4%でマイスナー効果が見られず、5%では見られた原因についてくわしく調べたい。それに加え、今回の実験は置換の割合を1%以上でのみ行つたが、CuはYBCOの中で電子を通すという重要な役割を担つてゐるため、今後はそれより小さい値で置き換えたもので実験を行いたい。また、今回は各割合一回ずつのみ実験を行つたが、今後回数を重ねることや、超伝導体の抵抗値と温度の測定

を行い、精度を高めていきたい。

6. 参考文献ならびに参考Webページ

「酸化物高温超伝導体研究の教材化」 2000 小川 雅史

https://www.jstage.jst.go.jp/article/pesj/48/2/48_KJ00005897423/_pdf(参照 2023-10-15)

「YBCO 超伝導体の超伝導転移温度の測定～Mn 置換による変化～」 2020 田村 有翔、辻 洋輝、小松 海斗、荒川 真和、服部 晃也

<https://kozu-osaka.jp/cms/wp-content/uploads/2020/11/106939cf8d59b223abe811d623cd8299.pdf>

「YBCO 超伝導体の不純物効果と抵抗測定方法の確立」 2019 鈴木杏

<https://kozu-osaka.jp/cms/wp-content/uploads/2020/03/cc7a775193b537c9f6d199efd1e72744.pdf>

「YBCO超伝導体の不純物効果」 2018 梶谷優斗、壺井萌乃香、中村圭伸、森島達弥

<https://kozu-osaka.jp/cms/wp-content/uploads/2019/02/bcced1923fed267eddc0d0ea422b0be5.pdf>