

報 文

工科系短大における物理教材開発 としての超電導体の試作

岐阜職業訓練短期大学校 小林 俊 郎

Trial Manufacture of Superconductor to Develop Physic's
Teaching Material in Technical Junior College.

Shunrou Kobayashi

要 約 工科系短大での物理実験の教材開発として超電導体の試作及び予備実験を行なった。BaCO₃-Y₂O₃-CuOを種々のモル比で反応させた結果、Yのモル比が全体の20%以下になると、試料の抵抗が小さくなり、それ以外は不導体であった。

さらにYを同族のYbに変えた、BaCO₃-Yb₂O₃-CuOを種々のモル比で反応させた結果、Ybのモル比が全体の20%以下で且つ、CuOのモル比が30%から60%以内になると、試料の抵抗が小さくなり、それ以外は不導体であった。

これらより、物理実験として以下のような教材を組立てた。

BaCO₃-Y₂O₃-CuOをモル比(2:1:3)とさらに(1:2:3)に変化させた物を各々反応させ、前者は超電導性を示すのに、成分は同じでもモル比が異なる後者は、超電導性を示さぬことを示す。

さらにBaCO₃-Yb₂O₃-CuO(2:1:3)を反応させ、Yを同族のYbに変えた系でも同様に超電導体になることを示す。以上の実験は、2コマ(1コマ=100分/週)で可能である。

I 緒 言

当短大では、1年次に2単位の物理を開講しているが、学生にとって「物理は高校で修得済み」とか、「物理は教養科目」ととらえがちで、ややもすると、それほど物理に興味を示さない者が、いる。そこで物理の授業に講義ばかりでなく時折、短時間でできる実験を徐々に導入してきた。

時間の制約も有って、簡単な真空での重力実験や、振り子の実験をさせているが、あまりにも基本的故に、現代の学生にとって、あまり魅力を感じさせない面も有るようだ。そこで大橋⁽¹⁾が、大学初級の物理実験のテーマの改善に取組んだように、もっと学生の興味を引起こすために、物理実験のテーマの中に時代のトピックスを取入れる必要を感じていた。

さてBednorzとMüller⁽²⁾により<Ba-La-Cu-O>系酸化物が、30°Kに於て超電導性を示すだろうということが予測され、Tanaka⁽³⁾が、それを追試した。液体窒素

の沸点以上に於て超電導現象を示す物質の発見は、リアモーターカーの実現の促進化など社会に大きな変革をもたらすものと、期待されている。

当短大に於ても、超電導体に対する学生の興味、関心は極めて高く、超電導に関する記事の切り抜きを見せに来る学生もいるほどである。従って物理の教材として取上げたら、物理の中で扱う「電磁誘導」と結びつけて教えることができ、学生への教育効果は大きいと期待される。

そこで工科系短大における物理演習の教材としての開発を試みた。すでに進上⁽⁴⁾が、Ba-Y-Cu(モル比2:1:3)系酸化物が超電導を示すことの追試、及びそれが高校の物理教材として利用できることを提示した。

ここでは、単に学生にBa-Y-Cu(モル比2:1:3)系を合成させるのではなく、「成分比を種々変えた場合、超電導性に果してなるのか。そしてYを同族のYbに変えたBa-Yb-Cu系では、どうなるのか。そこに何か法則性は、ないのか。」などを学生に問題提起する、「超電導を電磁誘導と物性の両側から捕らえた」教材を作ろうと考えた。

そこで最初に、Ba-Y-Cu系の成分比を(モル比2:

1 : 3)のみではなく、種々変えて超電導性との関連を調べた。さらにYを同族のYbに変えた、Ba-Yb-Cu系に於ても同様に研究し、種々の緒言が得られた。それらの結果に基づいて実質2時間という短時間でできる物理実験を組立てたので報告する。

II 実験

1 試薬

BaCO₃、Y₂O₃、CuO、Yb₂O₃は、いずれも特級を用いた。

2 試料の合成

BaCO₃を229mg、Y₂O₃を132mg、CuCO₃を140mg(モル比 2 : 1 : 3)を秤量し、メノウ鉢でよく混合する。これをルツボに入れ、マッフル炉で850±1℃で5時間加熱すると黒紫色になる。自然冷却後、再度メノウ鉢で、よく混合後、円盤状(直径10mm、厚さ1mm)に加圧成型する。さらに850±1℃で10時間、加熱すると黒色の試料(A)となる。

3 電気特性の測定

常法の4端子法を用いて試料(A)の電流端子に一定電圧(5.15V)を加え、その電圧端子間の電圧降下を温度を変化させながら測定した。電圧降下は、マルチメータ(最小目盛10⁻³mV)で測定した。

III 結果

1 予備実験

(1) Ba-Y-Cu系

BaCO₃とY₂O₃とCuOをモル比(2 : 1 : 3)で反応させた試料(A)を常法の4端子法を用いて、その超電導性を調べた。まで、回路図を図1に示す。V₁は加えた電

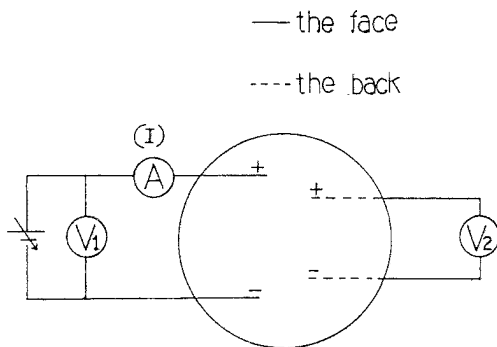


Fig. 1 Circuit

圧、Iは流れた電流、V₂は降下した電圧を示す。次に超電導性を示した時、発生した電圧(V₂)と温度との関係図を図2に示す。-196℃で電圧(V₂)が0mVになり、超電導性を示した。

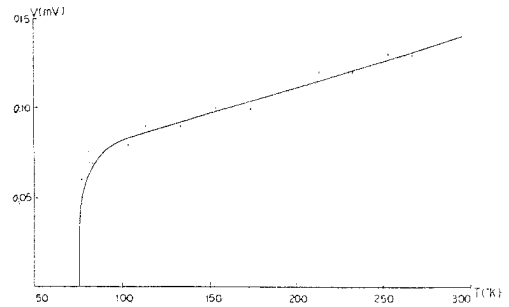


Fig. 2 Temperature dependence as a Sur measured voltage of Ba-Y-Cu (2 : 1 : 3) (A).

次にBaCO₃、Y₂O₃とCuOのモル比を種々変えて反応させ、同様に試料の超電導性を調べた。即ち4端子法を用いて試料に一定電圧(5.15V)(V₁)を加えたところ、A、E、I、A₀以外の試料では電流(I)は0mAになり、抵抗が無限大だということを示した。それらの抵抗と成分比との関係を図3に示す。これよりYのモル比が全

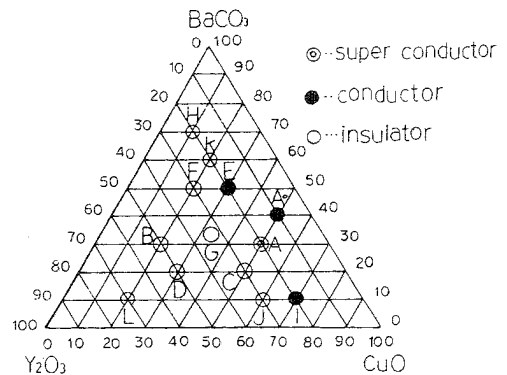


Fig. 3 Relation between resistance and component's mole ratio in Ba-Y-Cu oxides.

体の20%以下になると、抵抗率が無限大から642mΩ・mに減少することがわかる。さらに超電導性を示す試料は、Aのみであった。

Yのモル比が全体の20%以下になると、抵抗率が無限大から642mΩ・mに減少することから、CuとBaの合計のモル比が増大すると、電気伝導度は高くなることがわかる。

(2) Ba-Yb-Cu系

Yと同族のYbの酸化物である Yb_2O_3 と $BaCO_3$ 、 CuO をモル比(2:1:3)と同様に反応させた試料($\beta-A$)の超電導性を調べた。同条件で6回、合成したところ、その内の2回のみ、 $-196^{\circ}C$ で電圧(V_2)が0mVになり超電導性を示した。それ以外の4回は、 $-196^{\circ}C$ で発生電圧の極性の変化が見られた。

次に $BaCO_3$ 、 Yb_2O_3 、 CuO のモル比を(1)と同様に種々変えて反応させ、各々の試料の抵抗と超電導性を調べた。 $\beta-A$ 、 $\beta-B$ 、 $\beta-A_0$ 以外の試料の抵抗は、無限大であった。

又、これらの抵抗と成分比との関係を図4に示す。これより、Ybのモル比が全体の20%以下で且つCuOのモル比

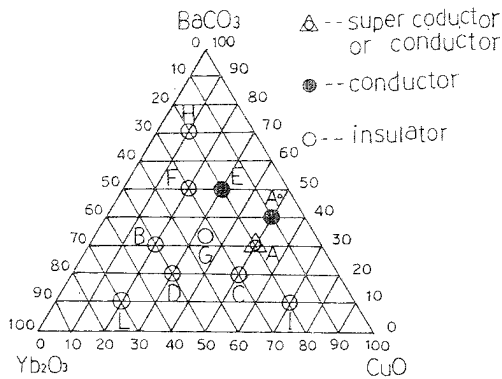


Fig. 4 Relation between resistance and component's mole ratio in Ba - Yb - Cu oxides.

が30%から60%の間で、抵抗率が無限大から $695m\Omega \cdot m$ に減少することがわかる。さらに超電導性を示す試料は、 $\beta-A$ のみであった。又 $\beta-A_0$ では、 $\beta-A$ (合成した6回の中の4回)と同様に、 $-196^{\circ}C$ で発生電圧の極性の変化が見られた。

今回の実験では、Ybのモル比が全体の20%以下になると、抵抗率が無限大から $695m\Omega \cdot m$ に減少することから、CuとBaの合計のモル比が増大すると、電気伝導度は高くなることわかる。

さらにYbとYとは、原子価は同じ3価であり、図3と図4に於て導体の分布が各々YbとYのモル比に対して同じ様になることから、超電導体形成の際に同じ様な働きをしていることがわかる。

2 教材の作成

現在、当短大では、1年次生に2単位(1単位=100分×15週)の物理を開講している。1クラス25人である。次年度は、この内の1単位を、実験を大幅に取り入れた内容にしようと、教材作りに鋭意、模作中である。この授業の1

項目に超電導を電磁誘導と物性の両側から捕らえた教材として、「超電導体の合成」を加えるために、今回の研究を行なった。

授業としては、学生に $BaCO_3 - Y_2O_3 - CuO$ (モル比2:1:3)(A)の合成をさせる。液体窒素を入れたシャーレに試料Aを置き、その上にネオジウム磁石を乗せると磁石が浮くマイスナー現象を個々に体験させ、講義済みの電磁誘導理論の体系化に結びつける。

次にモル比を変えた $BaCO_3 - Y_2O_3 - CuO$ (モル比2:1:3)(C)を反応させ、成分は同じでもモル比が異なると超電導を示さず不導体になることを示す。そして学生に予め教官側が用意した図3を見せ、 $BaCO_3 - Y_2O_3 - CuO$ のモル比が変化することにより、超電導体から、導体、不導体に変化することを示し、成分と物性との間には、大きな関係が有ることを理解させる。即ち、CuとBaの合計のモル比が増大すると、電気伝導度が高くなることを示す。

さらに $BaCO_3 - Yb_2O_3 - CuO$ (モル比 2:1:3)($\beta-A$)を反応させ、Yを同族のYbに変えた系でもモル比が(2:1:3)ならば、同様に超電導体になることを示す。そして学生に、予め教官の方で用意した図4を見せ、Yを同族のYbに変えた系でも図3と同様に $BaCO_3 - Yb_2O_3 - CuO$ のモル比が変化することにより、超電導体から、導体、不導体に変化することを示す。即ちCuとBaの合計のモル比が増大すると、Ba-Yb-Cu系に於ても電気伝導性が良くなることを示す。

さらに図3、図4のどちらも、Y及びYbのモル比が少ない方が不導体から導体に変化することから、YとYbは、この超電導体形成に於て、同じ様な働きをしていることを理解させる。

反応時間は、計15時間と長い、加熱は授業時間外に教官側が担当すれば、実験時間は成型、反応後の電気測定のための2時間となり、2コマ(1コマ=100分/週)で実験が可能になる。この実験操作は、成型、測定のみで初歩的な学生にも十分容易にやれる内容である。

IV まとめ

工科系短大での物理実験の教材を開発するために超電導体の試作及び、予備実験を行なった。この結果は以下のようにまとめられる。

- (1) $BaCO_3 - Y_2O_3 - CuO$ を種々のモル比で反応させた結果、Yのモル比が全体の20%以下になると、試料が、やや導体になり、それ以外は不導体であった。
- (2) $BaCO_3 - Yb_2O_3 - CuO$ を種々のモル比で反応さ

せた結果、Ybのモル比が全体の20%以下で且つ、CuOのモル比が30%から60%の間で試料の電気伝導度は、やや高くなり、それ以外は不導体であった。又、 $\text{BaCO}_3 - \text{Yb}_2\text{O}_3 - \text{CuO}$ (モル比 2 : 1 : 3) は、 $\text{BaCO}_3 - \text{Y}_2\text{O}_3 - \text{CuO}$ (2 : 1 : 3) と同様に超電導性を示した。

以上の子備実験を利用して以下のような教材を組立てた。

$\text{BaCO}_3 - \text{Y}_2\text{O}_3 - \text{CuO}$ をモル比(2 : 1 : 3)とさらにモル比(1 : 2 : 3)に変化させた物を各々反応させ、前者は超電導性を示すが、成分は同じでもモル比が異なる後者は、超電導性を示さず、不導体になることを学生に示す。即ち、CuとBaのモル比の合計が増大すると電気伝導度が高くなることを示す。

さらに $\text{BaCO}_3 - \text{Yb}_2\text{O}_3 - \text{CuO}$ モル比(2 : 1 : 3)を反応させ、Yを同族のYbに変えた系でも同様に超電導体になることを学生に示す。これらによってYと同族のYbは、超電体形成に於て同じような働きをしていることを理解させる。

最後に電子情報系の竹下伸彦教官には貴重な助言を、又、卒業生の寺島稔君には、全面的に協力頂いたことに感謝します。

引用文献

- (1) 大橋：物理教育，24-1 (1976) 35.
- (2) J. G. Bednorz, K. A. Müller: Z. Phys, B64 (1986) 189.
- (3) S. Tanaka: Jpn. J. Appl. phys, 26 (1987) L123.
- (4) 進上：物理教育，36-1 (1988) 34.