

## 2 B - 8 酸化物超伝導体の熱電冷却への応用に関する研究

池部研究室 生井 正夫

### はじめに

熱電冷却とは、二つの異なる導体または半導体をつないで電流を流し、接続点において、ペルチエ効果を利用して吸熱を起こさせる現象である。この原理を応用したデバイスが熱電冷却素子である。

熱電冷却素子に用いられる熱電材料において、性能指数Zの値が大きいほど優れた冷却特性を得ることができる。

$$(性能指数) Z = \alpha^2 / (\rho \cdot \kappa)$$

$\alpha$ :ゼーベック係数  
 $\rho$ :電気抵抗率  
 $\kappa$ :熱伝導率

通常、N型半導体とP型半導体を組み合わせた $\pi$ 型素子として使用すると、キャリアの差異から大きな効果が得られる。

低温(約110~77K)領域では、BiSbまたはBiTe系の半導体が用いられるが、P型半導体はN型半導体に比べると性能指数はとて小くなる。そこで、キャリアが同じホールである高温酸化物超伝導体を、P型半導体の代わりにpassive thermoelement ( $\alpha$ が小さく、 $\rho$ と $\kappa$ の積も小さい物質)として用いるという考えがある。

すると、熱電素子としての性能指数Zは、

$$(性能指数) Z = \alpha_n^2 / (\rho_n (\kappa_n + \kappa_{sc} \cdot m_{sc})) \dots \textcircled{1}$$

$$m_{sc} = A_{sc} / A_n$$

$m_{sc}$ :断面積比

$A_{sc}$ :超伝導体の断面積

$A_n$ :N型半導体( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ )の断面積

となる。式①から、 $m_{sc}$ が小さいほど性能指数が大きくなることがわかる。そこで、断面積が非常に細くても線材としての強度を保つことのでき、臨界電流が大きく、 $T_c$ が高い、Bi系2223( $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ )超伝導銀シーステープを、passive thermoelementとして用いる事を検討した。

しかし、銀シーステープは熱伝導率が非常に大きいという問題があり、純銀の代わりに銀-金合金を用い、100K以下で熱伝導率を一桁以上下げを試みた。超伝導銀シーステープの熱伝導率 $\kappa_t$ は、

$$\kappa_t = \kappa_{sc} \cdot f_{sc} + \kappa_{Ag} (1 - f_{sc})$$

$\kappa_{sc}$ :超伝導率の熱伝導率

$\kappa_{Ag}$ :銀の熱伝導率

$f_{sc}$ :コア比(超伝導体の断面積がテープ全体に占める割合)

となる。超伝導銀シーステープのコア比が大きいほど性能指数が大きくなる。

Fig. 1にN型半導体( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ )とP型超伝導体(銀シーステープBi2223/Ag+Au15at% Alloy)を $\pi$ 型素子( $m_{sc}=0.067$ )としたとき、 $f_{sc}$ をパラメータとしたときの性能指数の計算値を示す。

### 実験と結果

N型半導体( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ )とP型超伝導体(銀シーステープBi2223/Ag+Au15at% Alloy)を $\pi$ 型素子( $f_{sc}=0.4, m_{sc}=0.06$ )として作製して、各設定温度において電流を流し冷却量 $\Delta T$ を測定し冷却特性を調べた。Fig. 2, Fig. 3に示す。

低温になるほど流せる電流値が減り冷却量 $\Delta T$ も減る、これは素子のゼーベック係数の減少が主な原因であると思われる。

Fig. 4に各設定温度における冷却量 $\Delta T_{max}$ のグラフを示す。冷却量 $\Delta T_{max}$ は、

設定温度が下がるにつれて減少したが、超伝導領域の性能指数Zの増加に伴う冷却量 $\Delta T_{max}$ の変化はみられなかった。

次に、超伝導体の熱電素子としての性能指数が、酸素量やドーピングレベルに敏感に変化する事を利用し、超伝導体と関連した酸化物をactive thermoelementとして開発する事を検討した。

・クエンチ温度の変化(酸素量の変化)による性能指数の変化

酸化物超伝導体( $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ )を600°C, 800°C, 900°Cでクエンチしたものを各々つくり、 $\alpha, \rho, \kappa$ を測定し性能指数Zを求めた。測定は能登研究室のヘリウム冷凍機を用いた。Fig.5に結果を示す。クエンチする事によって超伝導体(YBCO)から酸素が抜け超伝導にならないため、電気抵抗はとても大きかった。そのため性能指数は室温で約 $6.5 \times 10^{-5}$  (/k)程度だった。現状では熱電半導体の $Bi_2Te_3$ と比べると $10^{-2}$ 程度小さいが、添加元素を選定することで、さらにZの大きな材料を実現できると考えられる。

Fig.1  
(n-BiTe) - (Bi2223/Ag+Au15at% Alloy)

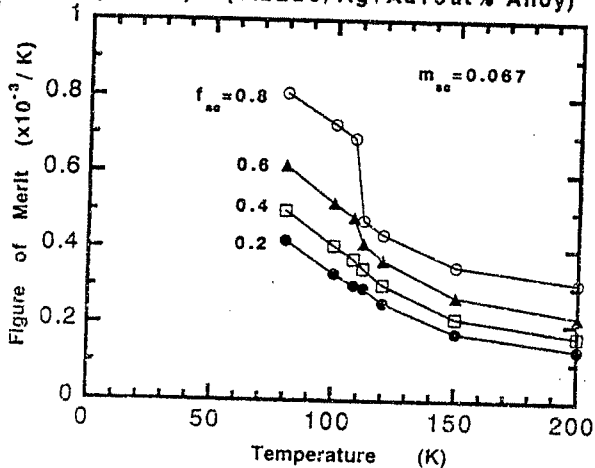


Fig.2  
(n-BiTe) - (Bi2223/Ag+Au15at% Alloy)

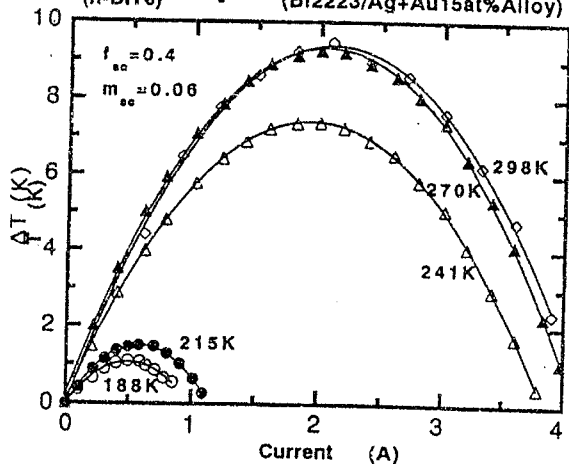


Fig.3  
(n-BiTe) - (Bi2223/Ag+Au15at% Alloy)

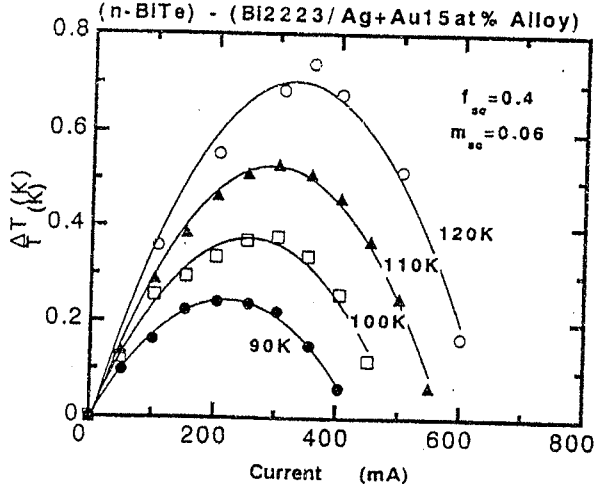


Fig.4

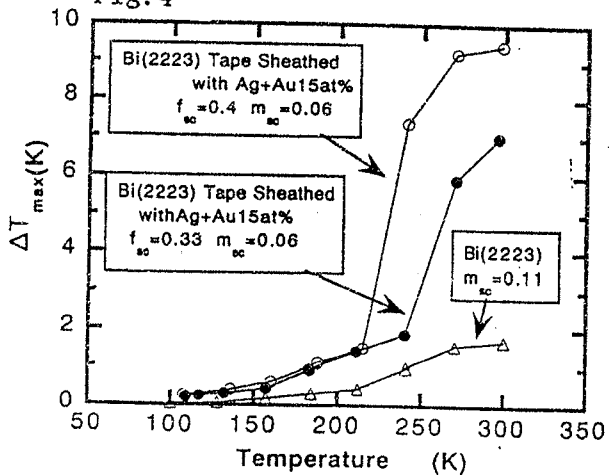


Fig.5  
YBCO Z

