

3B-8 低温で動作する熱電冷却素子に関する研究

池部研究室 中島正晶

§ 1. 序論

ペルチェ効果とは異種の二つの物質を接合して閉回路を作り、電流を流すと一方の接合部で吸熱し、他方の接合部で発熱する現象である。この吸熱現象を利用した冷却方法が熱電冷却である。熱電冷却は小型、無振動、無雑音などの利点から局所冷却に非常に有効である。通常、熱電冷却素子はn型、およびp型半導体を対にして構成されており、金属電極を間に介したπ形素子が多く用いられている。

熱電冷却素子において特性を評価するために性能指数Zを用いる。

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

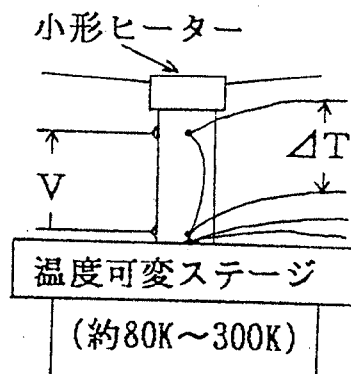
Zは α ：ゼーベック係数、 κ ：熱伝導率、 ρ ：電気抵抗率で表される。

現在、熱電冷却素子は室温で優れた特性を得る事が出来るが、低温ではその性能は大きく低下する。これは使用されている材料の問題であり、低温で高い性能指数を持つn型半導体Bi-Sb系合金が開発されているが、p型半導体においては未だに見いだされていない。もし低温で動作するペルチェ素子が出来れば、比較的安価な液体窒素を用いて液体窒素温度以下の低温を実現出来る。そこで、p型半導体の代わりに高温超伝導体を用いた冷却方法が考えられている。超伝導体はゼーベック係数 α が小さく、熱伝導率と電気抵抗率の積 $\kappa \cdot \rho$ も小さい。すなわち、これと性能指数の大きいn型半導体を対にすることでn型のみでの冷却が行われ、低温での冷却特性を向上出来ると考えられる。

本研究では約80K~290Kにおいて、n、及びp型 Bi_2Te_3 単結晶のゼーベック係数、電気抵抗率を測定し性能指数Zを計算した。そして1対のn、p型によるπ形素子を作製し、80K~290Kにおいて冷却特性を測定した。さらにp型 Bi_2Te_3 の代わりに、Bi(2223)超伝導体を用いたπ形素子を作製し、冷却特性を評価した。

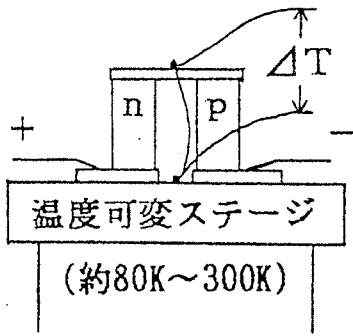
§ 2. 実験方法

(a)ゼーベック係数



試料はn型、及びp型とも Bi_2Te_3 単結晶を用いた。左図のように試料を銅ブロックの上にワニスで固定し、温度測定として銅-コンスタンタン熱電対を取り付けた。下部温度を液体窒素により一定に保つ。上部の小型ヒーターにより上部と下部に温度差 ΔT を与え、この ΔT によって発生する熱起電力を測定し、ゼーベック係数 $\alpha = V / \Delta T$ を求めた。

(b) π 形素子の冷却特性



素子の電極部分は銀板を用い、インジウム半田で接合した。素子を左図のように取り付けn型からp型の方向に電流を流すと、上部で冷却が行われ下部で発熱する。下部での発熱は液体窒素に吸い取られ、下部温度はほぼ一定に保たれる。80K~290Kにおいて、各温度で電流値を変えて冷却の最大値 (温度差 $dt(K)$) を求めた。

温度差 $dt(K) = \text{冷却}(K) - \text{発熱}(K)$

§ 3. 測定結果と考察

(a) ゼーベック係数測定

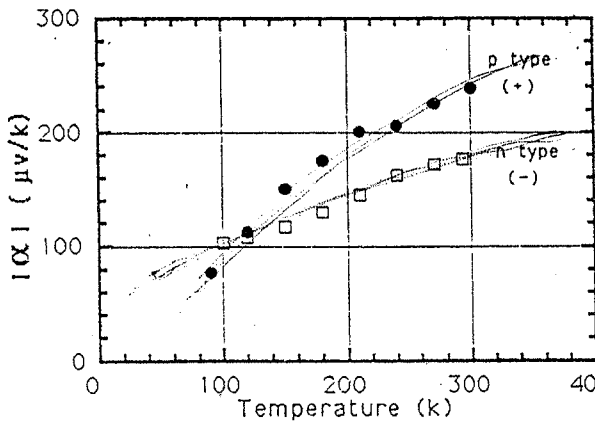


図1 Seebeck coefficient (Bi_2Te_3)

測定した Bi_2Te_3 単結晶は室温で大きい性能指数を持つ。図1よりn型、及びp型とも低温になるにつれ値は減少したが、n型に比べp型の減少は著しく、80Kでは室温のときの1/3程度になった。

(b) π 型素子の性能指数 Z

熱伝導率 κ 、電気抵抗率 ρ はn型とp型を比較して、温度による変化に大きな違いはなかった。ゼーベック係数は性能指数 Z において α^2 で表されるので、低温におけるp型半導体の Z の低下は大きい。よって π 型素子の Z の低下はp型半導体によるものが大きいということが分かった。

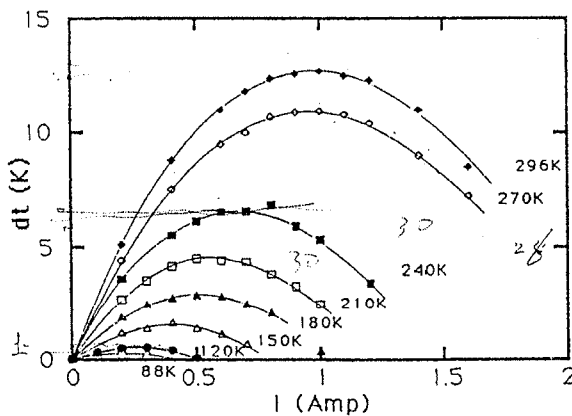


図2 π 形素子の冷却特性

(c) p、n型による π 形素子の冷却特性

図2に示すように、図1の α の温度依存性と比較して、ほぼ予想通りの冷却特性が得られた。極大値以後の減少カーブは、電流値が大きくなるにつれ発熱量が増加するためである。室温 (296K) では最大温度差12.7Kが得られたが、88Kでは0.2Kになった。すなわち、n型、及びp型で構成されている π 形素子は、この温度で殆ど動作しないと言える。

§ 4. 酸化物超伝導体を用いた π 形素子

p型 Bi_2Te_3 の代わりに、 $Bi(2223)$ 超伝導体を用いた π 形素子の低温(約85K)における冷却を試みた。しかし、銀電極と超伝導体の接触抵抗などさまざまな問題があり、現在これらを検討中である。

3

1

とこ当熟応

での法検

2

後才特晶は

3

こと

とオイし速

~ 240
240/9