

強磁場・低温における多結晶ビスマスの負の縦磁気抵抗効果

Negative Longitudinal Magnetoresistance of Polycrystalline Bismuth at Low Temperature under Strong Magnetic Field

中部大・工 浜辺 誠, 那須 祐児, 山口 作太郎
東北大・金研 高橋 弘紀, 米永 一郎, 渡辺 和雄
M. Hamabe¹, Y. Nasu¹, S. Yamaguchi¹, K. Takahashi², I. Yonenaga², K. Watanabe²
¹ Faculty of Engineering, Chubu University
² Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

Heremans らは単結晶ビスマス(Bi)単体によるナノワイヤアレイの低温での縦磁気抵抗がある磁場で極大値を持ち、それ以上の強磁場では磁場に対して縦磁気抵抗が減少する負の縦磁気抵抗効果を示す実験結果を示し、それがナノワイヤ構造によりキャリアの運動が一事現に制限されるためであると説明した[1]。しかしながら Bi の単結晶バルク材でも同様に、低温での負の縦磁気抵抗効果が測定されており[2]、われわれはこれら Bi が低温で示す負の縦磁気抵抗効果について、磁場によりキャリアの運動が一次元に制限されることで生じるというモデルを立て、同様の効果は Bi の多結晶バルク材でも生じるはずであるとして実験を行ってきた[3][4]。その結果、4.2 K で Bi の多結晶バルク材でも負の縦磁気抵抗効果が測定され、サンプルの形状によっては単結晶の場合と同様に 1 T 程度の磁場で電気抵抗率が無磁場のときの 1/10 以下になることもあった[4]。

今回は、4.2 K における多結晶バルク材 Bi の縦磁気抵抗効果の再現性を確認するとともに、試料の形状が縦磁気抵抗効果に与える影響を考察するため、4.2 K での縦磁気抵抗効果を形状の異なる試料で測定、比較した。

2. 試料の作成

単結晶 Bi は異方性が大きい材料の一つである。したがって多結晶 Bi であっても、そこに含まれる結晶粒の結晶方向に偏りがあれば、試料ごとのばらつきや異方性を生じる可能性がある。そこで、今回は元の材料内の結晶方向のばらつきの影響を避けるため、1 枚の多結晶 Bi バルク材(フルウチ科学製、純度 99.999%)から切り出して試料を作成した。各試料の長さは約 10 mm とし、その両端に通電電極として銅電極をハンダ付けして電流の通電を行なった。このとき、通電電極の面積を試料の通電面より大きなものとするこにより、通電面から試料に流れ込む電流分布が一樣に、かつ面に垂直となるようにした。電圧測定用の端子は各サンプルの側面に銅線をハンダ付けによって取り付けた(Fig. 1)。Table 1 に各試料のサイズ(幅 w , 厚さ t , 測定端子間距離 d)を示す。ここでは試料の断面積(= wt)が小さいものから番号をつけた。さらに、Table 1 には 4.2 K・無磁場での電

気抵抗率 $\rho_{4.2}$, および RRR も示している。ただし、ここでは $\rho_{4.2}$ を残留抵抗とした。Uher らによると Bi の低温での電気抵抗率は、単結晶では残留抵抗比(RRR)が 245 ($\perp c$ 軸), 190 ($\parallel c$ 軸)であるのに対して、多結晶では 40 程度まで低下する[5][6]。今回の試料の RRR はそれよりもさらに小さいが、Bi 結晶粒のサイズが 1 μm 以下と小さい場合には RRR が 1.2 程度であるという報告もあり[7]、結晶粒のサイズの違いが RRR の差に現れているものと考えられる。

磁場の印加には低温測定用超電導マグネット 15T-SM を利用し、試料を液体ヘリウムで 4.2 K に浸漬冷却した状態で測定した。Bi の横磁気抵抗効果は磁場

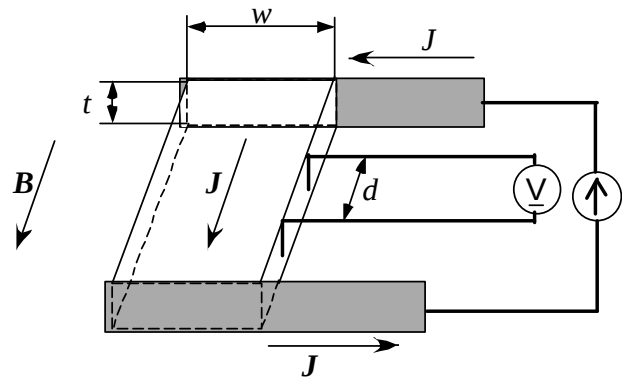


Fig. 1 Schematic diagram of sample preparation of polycrystalline bulk Bi.

Table 1 Parameters of bulk samples of polycrystalline Bi.

Sample	w [mm]	t [mm]	d [mm]	$\rho_{4.2}$ [$\mu\Omega\text{m}$]	RRR
Bi-#1	2.73	1.89	3.08	0.311	9.42
Bi-#2	2.81	1.89	3.79	0.275	9.16
Bi-#3	4.04	1.87	4.05	0.386	8.58
Bi-#4	5.71	1.84	3.33	0.286	7.27
Bi-#5	6.65	1.89	3.51	0.300	8.93
Bi-#6	6.64	1.91	3.58	0.295	9.02

に対して単調増加であり、単結晶でも数 T で $10^{-2} \Omega\text{m}$ オーダに達する[8]. そのため、試料の設置にはこの横磁気抵抗効果が重畳されないよう、磁場 $\mathbf{B}$ と通電電流 $\mathbf{J}$ の向きについて十分な平行度を確保した状態でサンプルホルダーに固定した。

3. 測定結果

無磁場での電気抵抗 R_0 で規格化した、4.2 K, 0 ~ 10 T での縦磁気抵抗 $R(B)/R_0$ の測定値を Fig. 2 に示す。ここで、完全に $\mathbf{J}/\mathbf{B}$ の場合には磁気抵抗効果は磁場に対して対称になるが、実際にはわずかな $\mathbf{J}$ と $\mathbf{B}$ との角度のズレによって Hall 電圧が重畳され対称性が失われる場合がある。そこで Fig. 2 では Hall 電圧を取り除くため、同じ絶対値で符合の異なる磁場でのデータの平均 $[R(B_i) = \{R(-B_i) + R(+B_i)\}/2]$ を取って磁場に対称な成分だけを取り出した。その結果、前年度の結果[4]のように無磁場のときよりも大幅に減少するような結果は得られなかったが、全ての場合で 2 T 前後で縦磁気抵抗が最大値を持ち、それより強い磁場中では磁気抵抗は減少する傾向、すなわち負の縦磁気抵抗効果が得られた。また、試料の形状による違いとしては、試料の断面積が大きくなるほど極大となる磁場が小さくなるという傾向が見られた。また、断面積の大きなものほど負の縦磁気抵抗の領域での減少率が小さくなる傾向も(#6 を除いて)見られた。

今回の結果の典型的なものとして Bi-#2 の試料の結果を、前年度の結果の一例(試料番号 1)[4] とを比較したものを Fig. 3 に示す。前年度の結果では縦磁気抵抗がいずれも最大となる磁場が 0.5 T 程度であったのに対して、今回は最大となる磁場が 2 T 前後、最も小さい Bi-#4 でも 1 T と前年度よりも大きくなっている。また、縦磁気抵抗効果が負になる領域での変化率も今回と前年度と比較して全て小さくなっている。ただし、前年度の試料では通電用の電極が試料の面よりも小さいという違いがあった。したがってこの大きな測定結果の違いが元の材料の違いによるものか、電極形状の違いによるものか、現在検討中である。

しかしながら、これまでの結果から、負の磁気抵抗効果がすべての多結晶 Bi の試料で得られている。このことから Bi の負の磁気抵抗効果はナノワイヤ構造を必ずしも要しないと考えられる。

4. 結論

単体 Bi の多結晶バルク材について 4.2 K における縦磁気抵抗効果を測定した。ここでは、低温における Bi の大きな横磁気抵抗効果の影響を考慮した構造に改良した試料で測定した。その結果、これまで Bi の単結晶ナノワイヤアレイで測定されたような負の縦磁気抵抗効果が、多結晶バルク材でも測定された。ただしその効

果は試料によっては大きく異なる場合もあることが得られている。しかしながら、これら結果から、単結晶 Bi ナノワイヤアレイで測定された負の縦磁気抵抗効果は、必ずしもナノワイヤ構造のみによるものではなく、Bi そのものの強磁場中の物性にも依存する効果である可能性を示すことができた。

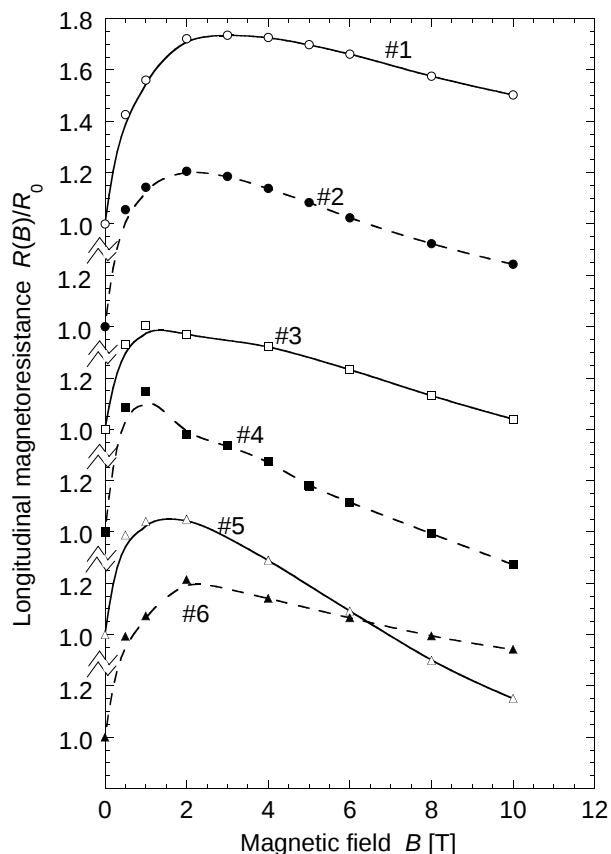


Fig.2 Longitudinal magnetoresistance of polycrystalline Bi bulk samples with various sizes at 4.2 K.

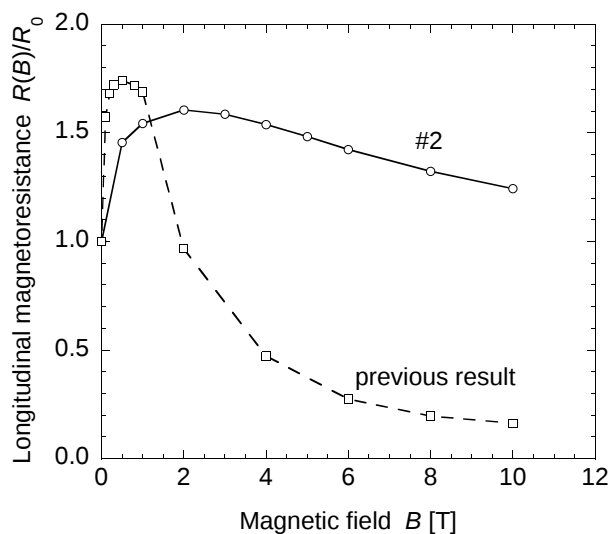


Fig. 3 Longitudinal magnetoresistance(#2) compared

with previous result in Ref[4].

参考文献

- [1] J. Heremans, et al.: Phys. Rev. **B61** (2000) 2921.
- [2] J. Babiskin: Phys. Rev. **107** (1957) 981.
- [3] 浜辺他: 東北大学金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センター平成 17 年度年次報告, p. 159.
- [4] 浜辺他: 東北大学金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センター平成 18 年度年次報告, p. 154.
- [5] C. Uher and W. P. Pratt, Jr.: Phys. Rev. Lett. **39** (1977) 491.
- [6] C. Uher and W. P. Pratt Jr.: J. Phys. **F8** (1978) 1979.
- [7] F. Brochin, et al.: J. Appl. Phys. **88** (2000) 3269.
- [8] J. H. Mangenz, et al.: Phys. Rev. **14** (1976) 4381.