

電荷密度波磁性半導体における 異方的な巨大磁気抵抗効果の研究

Research for the Giant Anisotropic Magnetoresistance in the Charge-density-wave Semiconductors

M21助自112

代表研究者 村 川 寛 大阪大学 大学院理学研究科 物理学専攻 助教
Hiroshi Murakawa Assistant Professor, Graduate School of Science, Department of Physics, Osaka University

We have investigated for the giant anisotropic magnetoresistance at low magnetic fields in the layered magnetic semiconductors $\text{CeTe}_{2-x}\text{Sb}_x$ with low carrier density in the charge-density-wave state. In $\text{CeTe}_{1.83}\text{Sb}_{0.17}$, where the carrier density is in the dilute limit, we observed that the electrical resistivity drastically decreases nearly 4 orders of magnitude in a magnetic field along the c axis at 0.4 T at 2 K. In contrast, the electrical resistivity is quite insensitive to the magnetic field normal to the c axis. As a result, huge anisotropy ratio in the electrical resistivity exceeding 7500 was observed. By changing the magnetic-field direction, we found that the electrical resistivity was basically on the same curve as a function of the projection field to the c axis, indicating that the electrical resistivity is governed by the c-axis component of the magnetization. We found that the drastic reduction of electrical resistivity occurs accompanied by the transition from the antiferromagnetic to forced-ferromagnetic state and the electrical resistivity at various temperatures converges to the constant value as the magnetization saturates. Furthermore, we investigated for the carrier-density dependence of the magnetoresistance ratio by using the single crystalline samples with different composition ratio ($x = 0.07$ and $x = 0.17$) and found that the huge magnetoresistance ratio exceeding 2 digits is preserved in the very wide range of the electrical resistivity at least 6 digits. These results indicate that the giant magnetoresistance in this system is driven by the magnetic polaron mechanism. We are now preparing the single crystals composed of the other rare earth ions and trying to find out how the number of 4f electron for each rare earth ions, length of the magnetic moments, and magnetic structure affect the anisotropic giant magnetoresistance in this system.

研究目的

磁場中で電気抵抗率が劇的に変化する巨大磁気抵抗効果の研究は古くから行われているが、本研究では磁場の方向に依存して電気抵抗率が何桁も変化する物質を合成し、そこで発現する異方性巨大磁気抵抗効果について理

解を深めていくための実験に取り組む。最近の我々の研究により、電荷密度波状態で電子密度が希薄な層状磁性半導体 $\text{CeTe}_{1.83}\text{Sb}_{0.17}$ が低温領域において、わずか0.4テスラ以上の磁場の方向を変えることによりその電気抵抗率が4桁程度変化することが明らかとなった。このような規模の異方性磁気抵抗効果を示す物質は

ほとんど知られておらず、この現象について理解を深めていくことは物質の新たな機能を開拓していくためにも重要である。本研究では、層状希土類化合物半導体の電気伝導特性と、それを支配する磁気特性との関係を明らかにするために、様々な磁場方向下で電気抵抗率と磁化の測定を行った。また、元素置換により結晶構造を変えることなく電子密度を希薄な極限状態から何桁も変化させた試料の磁気抵抗比と比較した。これらの結果により、本物質の巨大磁気抵抗効果が金属絶縁体転移によるものか、伝導電子の移動度の変化によるものかを議論する。さらにCeの他にも入手可能な様々な希土類元素を用いて磁性半導体単結晶を合成して同様の測定を行うことにより、4f電子の数や局在磁気モーメントの大きさや磁気配列が巨大磁気抵抗効果とその異方性に担う役割について調べていく。

概 要

電気抵抗率が磁場中で変化する磁気抵抗効果は物質が示す最も基本的かつ興味深い現象の一つである。とりわけその変化が大きいものは巨大磁気抵抗効果と呼ばれ、この現象は様々な物質において発見されている。しかしながら、電気抵抗率が磁場の方向に対して敏感に大きく変化する物質はほとんど知られていない。我々は、層状磁性半導体 $\text{CeTe}_{2-x}\text{Sb}_x$ の電気抵抗率が低温の磁気秩序状態において磁場方向に依存して極めて大きく変化することを発見した。本物質はTe正方格子層の電荷密度波状態により伝導電子密度が 10^{18} cm^{-3} 程度以下の磁性半導体である。2 Kにおいて0.4テスラの磁場をc軸方向にかけると反強磁性状態から強制強磁性状態に変化する過程で電気抵抗率が4桁程度減少するのに対して、c軸と垂直方向の磁場中ではほぼ変化しないことから、電気抵抗

率が磁場方位に依存して最大で7500倍の異方性を示す。このような巨大な角度依存磁気抵抗効果を示す物質は、昨年報告されたEu化合物やMn化合物（ただし異なる機構の磁気抵抗効果）を除いて知られていない。また、永久磁石や電磁石で到達可能な程度の低い磁場で観測されたのははじめてである。本研究期間には、この現象の起源を解明するために以下のように実験を行った。まず、単結晶を用いて様々な磁場方向下で電気抵抗率と磁化の測定を行った結果、電気抵抗率はc軸方向の磁化成分によって支配されていることが明らかとなった。擬2次元的な電子系の電気伝導特性が、層間方向の磁気配列の詳細に強く依存している点はいったい興味深い。また、本物質の巨大磁気抵抗効果は反強磁性秩序温度(4 K)よりも高温側でも観測される。磁気抵抗効果が観測される10 K以下の温度領域において電気抵抗率とc軸方向の磁化との関係を調べたところ、磁化が飽和値に近づくと電気抵抗率は温度によらない一定の値に収束することが明らかとなった。次に、Teよりも電子が1つ少ないSbで元素置換を行うことにより結晶構造を変えずに電子密度を希薄な極限から何桁も変化させた試料を合成し、様々な温度で磁化と電気抵抗率の関係を比較することにより、この磁気抵抗効果が金属絶縁体転移（電子数の劇的な変化）によるものなのか、電子の移動度の変化によるものなのかを検証した。金属絶縁体転移である場合には、転移後の金属状態の電子数は膨大であるためにその電気抵抗率は試料ごとにあまり依存せず、磁気抵抗比は転移前の電子数（絶対値としては小さいため欠損等に敏感）に大きく依存すると予想される。一方で電子数が変化せずに個々のキャリアの移動度の変化が磁気抵抗比を決めている場合には、磁気抵抗比は高抵抗状態の電子密度には（ある閾値よりも

－以下割愛－

小さい範囲内では)あまり依存しないはずである。今回はキャリア密度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲で電気抵抗率が6桁異なる試料を合成して実験を行った結果、いずれの試料とも2桁超の磁気抵抗比を示すことを発見した。この結果は本物質の磁気抵抗比が、強制強磁性状態(磁化の飽和)へ至るまでの電子あたりの移動度の変化幅で決まることを示しており、巨大磁気効果の主要な起源が磁気ポーラロン機構であることを示唆するものである。この機構による巨大な磁気抵抗効果は、少数キャリア密度のEu化合物などでわずかに数例報告されているだけであり、Ce化合物でははじめての例である。この異方的な磁気抵抗効果の発現に希土類元素ごとの4f電子数や磁気モーメントの大きさや磁気構造がどのように関係しているのかを明らかにするために、Ceの他にも入手可能な希土類元素(La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)を用いて磁性半導体の単結晶合成に取り組んだ。このうち、La, Pr, Nd, Sm, Gdについては同じ構造の単結晶を得ることができたが、Ce化合物とは対照的に、数倍の範囲内でしか電気抵抗率の変化が観測されなかった。これらの他の希土類元素についても合成を進めており、単結晶を得られつつある。さらに、擬1次元的な構造を持つDy化合物半導体単結晶の合成にも成功しており、磁性と強く結合した異方的な巨大磁気抵抗効果を観測した。この物質では結晶軸方向に対する電気伝導特性の異方性に起因した新たな現象が発現する可能性がある。今後、これらの物質で詳細な測定を行うことで希薄電子密度の低次元構造磁性半導体で観測される異方性巨大磁気抵抗効果に対して局在4f電子の磁性が担う役割について明らかにしてこの現象についての理解を深めたいと考えている。