

三方晶 PtBi_2 の輸送特性における化学置換効果

織田百合奈（磁気物性学教室）

遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)は、ファンデルワールス結合した層状化合物であり、バルク試料においては密度波秩序状態と超伝導との共存や非自明なトポロジーを持つ電子状態、バレー自由度の物理といった多様な物性を示すことが知られている。また、単層試料や自然超格子系においては局所的な空間反転対称性の破れにより、非従来型の超伝導が発現する事が明らかになっており、その物理の解明やデバイスへの応用が期待されている。しかし、後者については試料の単層化に伴う、試料の劣化や、空間反転対称性の破れがマクロな物性に反映され得る自然超格子系の例がまだ少ないといった材料の難点からの問題がある。

本研究で対象とする三方晶 PtBi_2 は、TMD がとる構造の一つである $1T$ 型と類似した構造をとる。極性が発現する様に歪んでおり、大域的な空間反転対称性が破れた構造となっている[1]。さらに、電子バンド計算からフェルミ準位近傍にワイル点や三重縮退点を有するトポロジカルに非自明な電子状態を持つことが知られているが、これらの非自明なトポロジーにより生じる物性については未解明である。 PtBi_2 薄片状デバイスでは二次元超伝導に特有な Berezinskii-Kosterlitz-Thouless 転移が観測されている事[2]、Rh 置換により超伝導転移温度が上昇する事[3]が明らかになっているが、その詳細な置換依存性や超伝導と非自明なトポロジーの相関については明らかになっていない。そこで、三方晶 PtBi_2 における超伝導特性の解明及び三重縮退点に起因する物性の解明を目的とし、化学置換効果によるキャリア制御した単結晶育成と、磁場下における熱力学量及び輸送係数の測定を行った。

本研究で育成した三方晶 PtBi_2 単結晶試料は磁化及び電気抵抗率に明瞭な量子振動を示すとともに、 $T \sim 1 \text{ K}$ 付近に超伝導転移のオンセットと考えられる電気抵抗率の減少が観測され、過去の報告と同様に高移動度の超伝導体であることが分かった。これに対し、ホールドープを狙い Pt サイトを Rh 及び Ir で置換した系においては、下図の $x = 0.15$ が示すように置換に伴い超伝導転移のオンセット及び $\rho(T) \sim 0$ となる超伝導転移温度の上昇が見られたが、同時に著しい移動度の低下も観測された。更に置換量を増やすと、構造の不連続な変化及びキャリアの符号変化を伴い、超伝導転移温度が上昇していくが、 $x = 0.3$ では相分離によるものと考ええ、 $T_{c1} \sim 3 \text{ K}$ と $T_{c2} \sim 1.6 \text{ K}$ の二段階の転移を示した。また、同じ仕込み量での電子輸送特性の比較から Ir 置換の方が Rh 置換よりも仕込み量に対する置換効果が大きいことも分かった。さらに、電子ドープを狙った $(\text{Pt,Au})\text{Bi}_2$ では Au 置換量に伴い量子振動及び輸送特性に系統的な変化が見られたがリフシツ遷移や非自明なトポロジーに起因する輸送特性の特徴は観測されなかった。

これらの結果から空間反転対称性の破れた三方晶 PtBi_2 において、その結晶構造及び電子構造を保ちながら化学置換によりキャリアの制御できる範囲は限定的であり、特にホールドープでは乱れの効果が顕著に表れてしまうことが明らかとなった。

参考文献

- [1] M. Kaiser et al., *Z. Anorg. Chem.* **640**, 2742 (2014)
- [2] A. Veyrat et al., *Nano Lett.* **23**, 1229 (2023)
- [3] G. Shipunov et al., *Phys. Rev. Mater.* **4**, 124202 (2020).

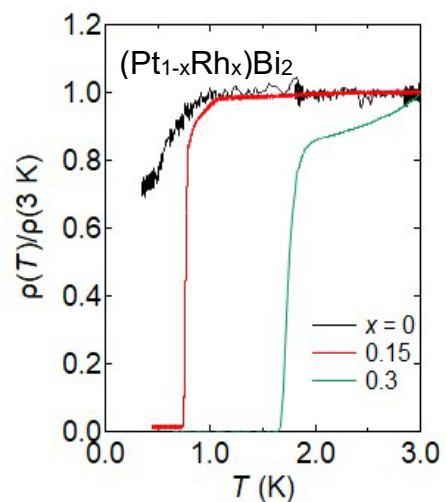


図 $\text{Pt}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Bi}_2$ における超伝導転移の Rh 依存性

正方格子を有する磁性トポロジカル半金属 $R\text{AgSb}_2$ ($R = \text{希土類}$) の輸送特性

日下部 颯也 (磁気物性学教室)

正方格子は結晶対称性に護られたバンドの交差を持ち得る典型的な格子の1つである。正方晶 HfCuSi_2 型構造を持つ $R\text{AgSb}_2$ ($R = \text{希土類}$) は、このような(副)格子を Sb が形成している。更に、本物質系は希土類サイトを有している事で、適切な元素選択により強磁性、反強磁性、磁化プラトー状態を含む磁場誘起相転移といった多彩な磁気秩序を示す事が知られており[1]、電子状態の非自明なトポロジーと磁性の相関を調べる上で理想的な系である。本研究では、金属フラックス法により $R\text{AgSb}_2$ ($R = \text{Nd, Gd, Dy, Ho}$) 単結晶の育成を行い、特に育成した DyAgSb_2 単結晶を用いた、磁化測定及び磁場下における輸送係数の測定を行った。

本研究で育成した DyAgSb_2 単結晶も、過去の報告[1]と同様に反強磁性転移温度 $T_N = 9.7 \text{ K}$ において磁化率におけるカスプと、電気抵抗率 ρ_{xx} の急峻な減少といった特徴を示した(図1)。また、磁場を(001)面内方向に印加すると、印加磁場の大きさに対して磁化が階段状に変化する磁化プラトー状態が観測されるとともに、磁化プラトー状態間の遷移において電気抵抗率とホール抵抗率の大きさが顕著に増大することが分かった(図2)。これらの振舞は伝導電子のスピンの希土類の局在磁気モーメントの間に強い相関があり、磁気秩序ドメインの自由度によって電子が散乱されることを示唆している。この描像をより定性的な観点から議論するため磁気秩序状態に依存したキャリアの散乱を緩和時間の磁場依存性として扱った修正2バンドドルーデモデルによる解析を行い、特に[100]方向に磁場を印加した場合には観測結果をよく説明できることが分かった。また、温度上昇に伴いスピン散乱及び磁気ドメイン自由度による散乱は大きくなり、これが2準位系におけるキャリアの非弾性散乱としてモデル化できることも分かった。

これらの結果は、磁化プラトー状態及びその転移過程で生じる非自明な磁気構造が電子系と相関して発現する輸送現象を解明したものであり、磁性化合物においてスピン・電荷自由度の結合によって生じる新しい物性の解明を進めていく上で重要となる成果であった。

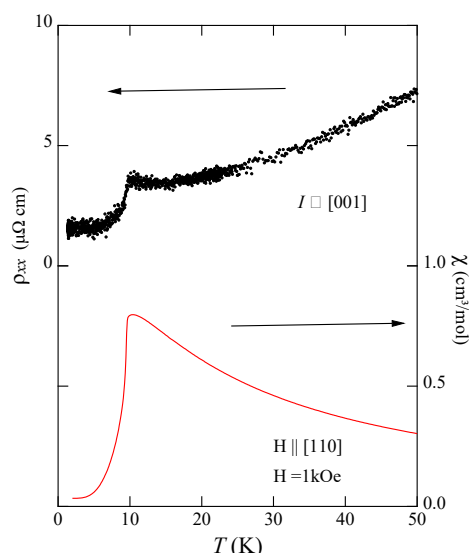


図1: DyAgSb_2 における
電気抵抗率 ρ_{xx} 温度依存性(左軸)磁
化率 χ 温度依存性(右軸)

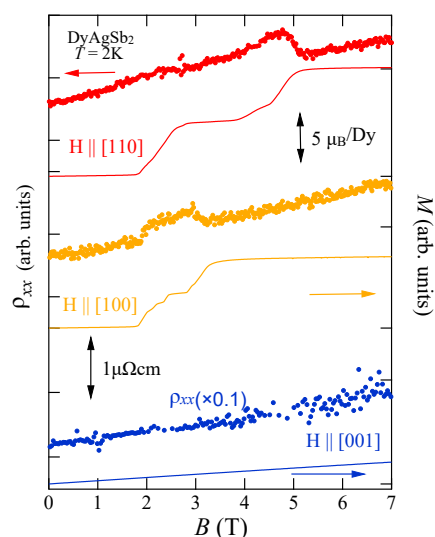


図2: DyAgSb_2 における
各印加磁場方向での
電気抵抗率 ρ_{xx} 磁場依存性(左軸)
磁化 M 磁場依存性(右軸)

[1] K.D. Myers., J. Magn. Magn. Mater. **205**,27 (1999)