

磁性半導体における伝導電子と局在スピンとの間の交換相互作用

神奈川工科大学

高橋正雄

Eu-カルコゲナイドに代表される磁性半導体は、局在スピン（以下、 f スピン）を各格子点にもつ半導体である。この半導体中に何らかの方法で、伝導電子（以下、 s 電子）を導入すると、伝導電子は s - f 交換相互作用を通して、 f スピン系秩序の影響を強く受ける。それを記述するために考え出されたのが s - f モデルで、通常次のハミルトニアン $H_t = H + H_f$ で表される：

$$H = \sum_{k\mu} \varepsilon_k a_{k\mu}^\dagger a_{k\mu} - I \sum_{m\mu\nu} a_{m\mu}^\dagger \sigma \cdot S_m a_{m\nu},$$

$$H_f = \sum_{mn} J_{mn} S_m \cdot S_n.$$

ここで、 H は s - f 交換作用を受けて結晶中を運動する s 電子の運動、 H_f は f スピン間の交換相互作用を表す。私たちはまず、 s 電子がスピンに依存する有効媒質（ $\Sigma_\uparrow$ と $\Sigma_\downarrow$ ）中を運動するものとして、その媒質中に置かれた1つの f スピンに対する t 行列を求めた。さらにこれを使って単サイト近似によって、状態密度を計算した [1]。この方法は、強磁性半導体の電子スピン偏極だけでなく [2]、反強磁性をも含めた磁性半導体の光吸収のバンド端の温度依存性をもよく説明する。

Ref. [1] M. Takahashi and K. Mitui, Phys. Rev. B54, 11298 (1996).

[2] M. Takahashi, Phys. Rev. B56, no.11, (1997) (in press).

[3] M. Takahashi, Phys. Rev. B55, 6950 (1997).

重い電子系化合物 CeRu₂Si₂ のメタ磁性転移の理論

佐藤 寛之, 大川 房義 (北海道大学理学部)

CeRu₂Si₂ は電子比熱係数が 350 mJ/mol·K² である重い電子系化合物であり、結晶構造は ThCr₂Si₂ 型の体心正方晶である。この物質の特徴は、 c 軸方向に磁場をかけたとき $H \simeq 7.7$ T で磁化が急激に増大することである。この異常はクロスオーバーであると考えられているが、便宜的にメタ磁性転移と呼ばれている。この磁化過程の異常に関連して他の性質にも異常が見られる。特に磁歪が急激に増大し大きな値に達する。近藤温度 T_K のグリュナイゼン定数が、 $\Gamma = -\partial \log T_K / \partial \log V \simeq 190$ と大きく、 T_K が系の体積 V に敏感であることから、この格子の膨張の効果は重要であると考えられる。

このメタ磁性転移の機構について、ハバードモデルを用い、 $1/d$ 展開法によって調べた。 d は空間の次元数であり、この手法では局所量子スピン揺動の効果がアンダーソンモデルへのマッピングにより良く取り込まれる。 T_K の体積依存性を $T_K(x) = T_K(0)e^{-x}$ と表し、磁歪の効果考慮に入れた。 x は V_0 を磁場がないときの体積として、 $x = \Gamma(V - V_0)/V_0$ である。また、準粒子の状態密度のフェルミ面付近における擬ギャップ構造を現象論的に取り入れた。

メタ磁性転移の主要な機構は磁場に依存する交換相互作用と、磁歪の効果である。この交換相互作用は準粒子バンド内のスピン励起の仮想交換によるものであり、磁化の出現に伴いその符号と大きさが変化する。ゼロ磁場では反強磁性的であるが、転移点付近では強磁性的になっている。状態密度の擬ギャップ構造が、この符号の変化に対して本質的な役割を果たす。この交換相互作用は準粒子のバンド幅でスケールされるので、磁化過程と磁歪過程において、single-parameter scaling が満足される。図1、図2の実線はそれぞれ計算された磁化曲線と磁歪曲線であり、点で示された実験結果と良く一致している。 c_1 は状態密度の擬ギャップの深さに関するパラメーターであり、 m_{sat} は飽和磁化である。

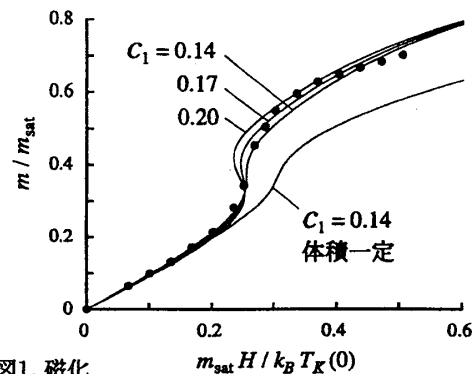


図1. 磁化

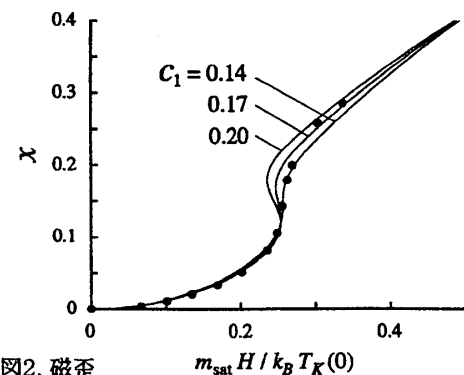


図2. 磁歪