

(a 金沢大院自然、b 金城大社会福祉、c ボゴリューボフ理論物理研究所)

○長尾 秀実^a、川辺 弘之^b、S. P. Kruchinin^c

MgB₂ 超伝導体の発見以来、物理や化学の分野で多重バンド超伝導の実験および理論的研究が盛んに行われてきた。2 バンド超伝導の概念は古くから示唆されていた。その概要は以下の通りである。フェルミ面が二つのバンドを横切るときに、各フェルミ面に超伝導ギャップを生成する可能性がある。電子-格子相互作用による超伝導発現の場合、バンド間電子トンネルがない場合は二つの異なる超伝導ギャップが存在し、バンド間トンネルがある場合は区別が付かなくなると予想される。また、フェルミ面が二つのバンドを横切る場合は、斥力電子間相互作用でも超伝導発現の可能性がある。さらに電子間相互作用の対称性によっては同一バンド内でも超伝導発現の可能性がある。現在までに二バンドモデルを用いた多重バンド超伝導の理論的研究を行ってきた[1]。多重バンド効果による超伝導状態の安定化と多重超伝導ギャップ関数の存在が示された[3-5]。最近ではハバードモデルを用いて磁性と超伝導性についての多重バンド効果および物性量とスピン帯磁率との関係を理論的に考察を行ってきた[6]。

また近年の微細加工技術および実験技術の進歩により、ナノサイズ固有の物性発現研究が行われている。1996 年に Black, Ralph, Tinkham (BRT) はナノスケール Al における超伝導性の実験報告を行った。ナノサイズではフェルミ面近傍のエネルギーは離散的になる。レベル間のエネルギー差と bulk 超伝導ギャップとの関連性が示され、bulk ギャップよりレベル間エネルギーが大きくなると超伝導性の消失が報告された。

本研究の目的は多重バンド超伝導で重要となるバンド間電子対散乱過程のハバードモデルを用いた理論的研究結果とナノサイズに対応する有限モデルにおける離散レベルと 2 バンド超伝導における考察を報告する。

図 1 に示す 2-サイト 2-副格子系を考える。各同一副格子間の transfer 積分を t_1 および t_2 とし、副格子間は t_{12} とする。また、電子間相互作用は各副格子に対して on-site クーロンポテンシャル U_1 および U_2 のみ (ハバードモデル) を考える。

はじめに tight-binding 近似内でグリーン関数を得る。グリーン関数法を用いるとサイト間のスピン帯磁率が計算できる。次に、乱雑位相近似 (RPA) の範囲内でこのスピン帯磁率と on-site クーロン項 U を無次元まで繰り込むと、on-site および最隣接サイト間有効電子間相互作用が計算できる。また、有効スピン帯磁率も計算できる[6]。さらに有効スピン帯磁率の結果を用いてはしご近似 (LA) を行い有

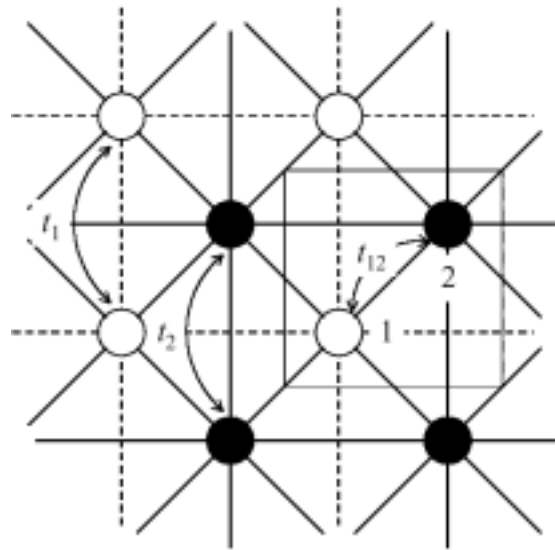


図1 2-サイト 2-副格子系

効電子間相互作用を見積もった[7]。

(1) 有効交換積分

これまでの研究では RPA の範囲内では最隣接サイト間有効電子間相互作用から Heisenberg モデルにおける有効交換積分 J が近似的に on-site クーロン斥力の二乗に有効スピン帯磁率を掛けたものに等しくなることが解析的に示すことができた[6]。LA を行って導かれた有効交換積分は RPA の範囲内での有効交換積分と比例関係になることが示された (図2)。

(2) 有効電子間相互作用

ハバードモデルにおいてLAを用いた場合、散乱過程 (t-matrix) は近似的にバンド幅に比例し、あるいは有効 on-site クーロンポテンシャルはバンド幅に比例することから、バンド幅が狭い程、磁氣的相互作用が大きくなることが示された。LA を用いて同様の取り扱いを行いバンド間有効電子対散乱過程を評価した (図3)。バンド間有効電子対散乱過程は超伝導状態を安定化させ、超伝導の多重バンド効果をもたらす。同時に有効交換積分は小さくする。2 バンド系において half-filling で反強磁性長距離秩序を持つ系にホール注入すると磁気秩序は弱くなり、2 バンド超伝導が安定になることが示される。

本発表では上記の磁性および超伝導に関する結果および最近得られた結果を報告する。また、ナノスケールでの超伝導発現に関する報告を行う。ペアリング-ハミルトニアンを用いてフェルミ系の電子状態と電子対、電子対とボーズ・アインシュタイン凝縮、電子対と超伝導状態の理論的解析を行い、フェルミ系からの超伝導転移に関する相転移を議論する。

References

- [1] H. Nagao et al., *Int. J. Quantum Chem.*, **75** (1999) 549.
- [2] H. Nagao et al., *J. Chem. Phys.*, **113** (2000) 11237.
- [3] H. Nagao et al., NATO Science Series, II Mathematics, Physics and Chemistry -Vol.67 "New Trends in Superconductivity", (Edited by J.F. Annett and S.P. Kruchinin) Kluwer Academic Publishers (2002), 155.
- [4] H. Nagao et al., *Int. J. Mod. Phys B.*, **16** (2002) 3419.
- [5] H. Nagao et al., *Mod. Phys. Lett. B*, **17** (2003) 423.
- [6] H. Nagao, *Int. J. Quantum Chem.*, **100** (2004) 867.
- [7] H. Nagao and H. Kawabe, *Int. J. Quantum Chem.*, in press (2005).

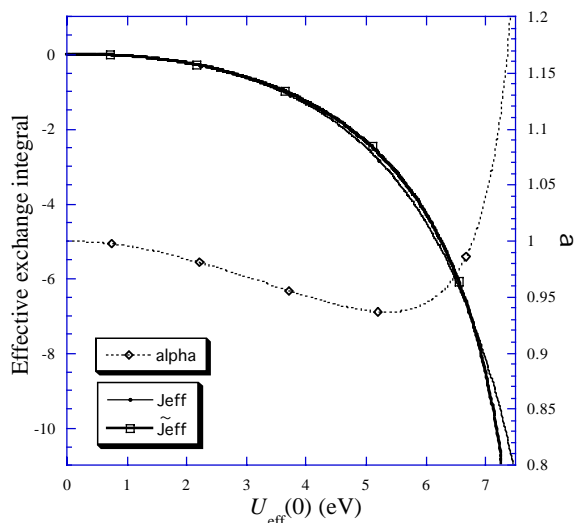


図2 2 バンド系の有効交換積分

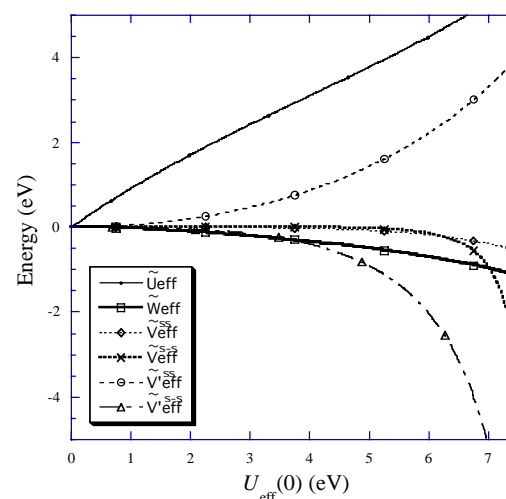


図3 2 バンド系の有効電子間相互作用