

2 ギャップ超伝導の検証:角度分解光電子分光

東京大学物性研究所 横谷尚睦、津田俊輔、辛 埴

MgB₂ は、その転移温度(T_c)がいわゆる“BCS 理論の壁”付近に位置することもあり、発見当初からその超伝導機構について活発な研究がなされてきた。スピンシングレットの形成[1]やクーパー対形成の媒介体がフォノンであること[2]は比較的早い段階で明らかになった。しかし、その超伝導ギャップがフォノンによる超伝導体において仮定されることの多い等方的 s-波超伝導ギャップ(図 1(a)参照)とは異なり“多重ギャップ”であることが示唆されると[3]、MgB₂ の電子状態の特徴である性格の異なる 2 種類のバンド(硼素 2p の σ と π 軌道に由来する二次元的および三次元的なバンド(またはフェルミ面)(図 2(a), (b)))と超伝導ギャップの大きさとの関係を知ることが、高い T_c 発現のメカニズムを理解するための鍵を握ると考えられるようになった。それまでの研究の多くは、運動量を積分した形の情報が得られる実験手段であったためこれらの関係を明らかにすることは難しかったが、今年に入り運動量に分解した電子状態を測定できる角度分解光電子分光を用いた MgB₂ 超伝導ギャップ研究が国内の二つのグループで独立に報告されることにより[4,5]、MgB₂ の多重ギャップの正体が超伝導ギャップのバンド(またはフェルミ面)依存性(図 1(b)参照)によることが確立され、その結果 MgB₂ の高い転移温度を生み出すメカニズム[6]がより明確になった。ここでは、MgB₂ が 2 ギャップ超伝導体であることに對し最も直接的な証拠を与える角度分解光電子分光測定の結果を我々の研究結果を中心に紹介する。

図 2(b)にブリルアンゾーン(BZ)(図 2(a))の $\Gamma(A)$ -M(L)- $\Gamma(A)$ に沿って測定した MgB₂ のバンド分散を示す。第 1BZ と第 2BZ に分散するバンドが 1 本ずつ観測され、バンド計算との比較から、それぞれ σ と π バンドであると同定される。 σ と π バンドのフェルミ準位(E_F)近傍のスペクトルの温度変化を図 3(a), (b)に示す。光電子分光で超伝導ギャップの開閉は、スペクトル端の E_F からのシフトと電子状態の発散に對するピークの出現として観測される。シフト量は超伝導ギャップの大きさに對する。特徴的な温度変化から σ , π 両バンドで超伝導ギャップが開いていることがわかる。また、スペクトル端のシフト量が σ バンドで大きいことは、 σ バンドでのギャップが π バンドにくらべ大きいことを意味する。解析により求めたギャップ値(Δ)は σ バンドで 5.5meV、 π バンドで 2.2meV となり、 σ バンドでは π バンドに比べ 3 倍程度大きなギャップが開いている。図 3 (c) に解析により求めた Δ の温度依存性を示す。両ギャップともバルク T_c で閉じることからこれらの超伝導ギャップがバルク電子状態を反映することがわかる。以上の結果は、MgB₂ が σ バンドと π バンドで異なる大きさのギャップを有する 2 ギャップ超伝導体であることを示している。 σ バンドで大きなギャップが開くのは二次元的 σ バンドと面内の高い振動数を持ったフォノンが選択的に結合することを示唆する。また、両ギャップとも T_c 付近で大きな温度依存性を示す実験結果は、MgB₂ の σ , π バンド間の相関が無視できないことを示唆している。MgB₂ では第

1BZ の $\Gamma(A)$ 点近傍に表面に由来するバンドが σ バンドと重なって存在していることが知られていたため[7]、我々は表面バンドをさけて第2BZで σ バンドの測定を行った。一方相馬らは、第1BZで σ 、 π 、表面それぞれのバンドで測定を行い、 T_c 前後の2温度での測定から σ バンドのギャップ値が π バンドに比べ大きいこと、表面バンドのギャップ値が σ バンドと同程度であることを報告している[4]。

フォノンによる超伝導では電子-フォノン相互作用の運動量依存性を無視する近似が多くの場合よい説明を与える。それに対し MgB_2 は、電子-格子相互作用の運動量依存性が高い T_c も含めた超伝導特性に重要な役割を果たしている珍しい超伝導体であることがわかってきた。 MgB_2 は、これまで研究されることの少なかった2ギャップ超伝導体の研究舞台を提供する。現在も活発に行われている物性研究が2ギャップ超伝導体の理解を深めるとともに、それに起因する新現象または新規超伝導物質の発見へとつながっていくことを期待する。

ここで紹介した光電子分光研究は、物材機構、高野義彦、松下明行、殷福星、産総研、鬼頭聖、伊藤順司、阪大産研、播磨尚朝各氏との共同研究である。

参考文献

- [1] H. Kotegawa et al., Phys. Rev. Lett. 87, 127001 (2001).
- [2] S.L.Bud'ko et al., Phys. Rev. Lett. 86, 1877 (2001).
- [3] C. Buzea and T. Yamashita, Supercond. Sci. Technol. 14, R115(2001).
- [4] S. Soma et al., Nature 423, 65 (2003).
- [5] S. Tsuda et al., Phys. Rev. Lett. (in press).
- [6] H.J. Choi et al., Phys. Rev. B 66, 020513 (2002); H. J. Choi et al., Nature 418, 758 (2002).
- [7] H. Uchiyama et al., Phys. Rev. Lett.88, 157002 (2002).

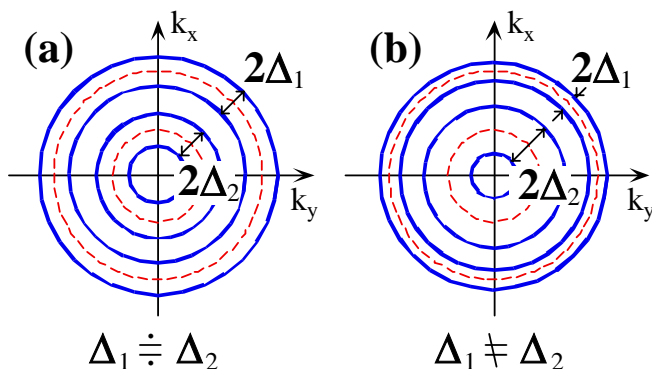


図1 等方的s-波超伝体(a)と2ギャップ超伝導体(b)の超伝導ギャップの概念図(点線がフェルミ面)

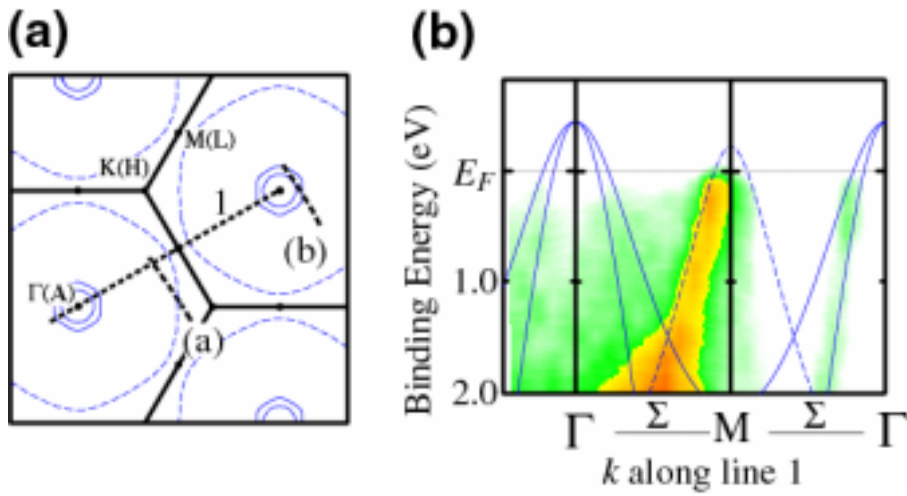


図2 (a), MgB_2 のフェルミ面形状(バンド計算). 実線、波線はそれぞれ σ 、 π バンドが形成するフェルミ面. (b), 角度分解光電子分光によるバンド分散とバンド計算(実線、波線は σ 、 π バンド)の比較.

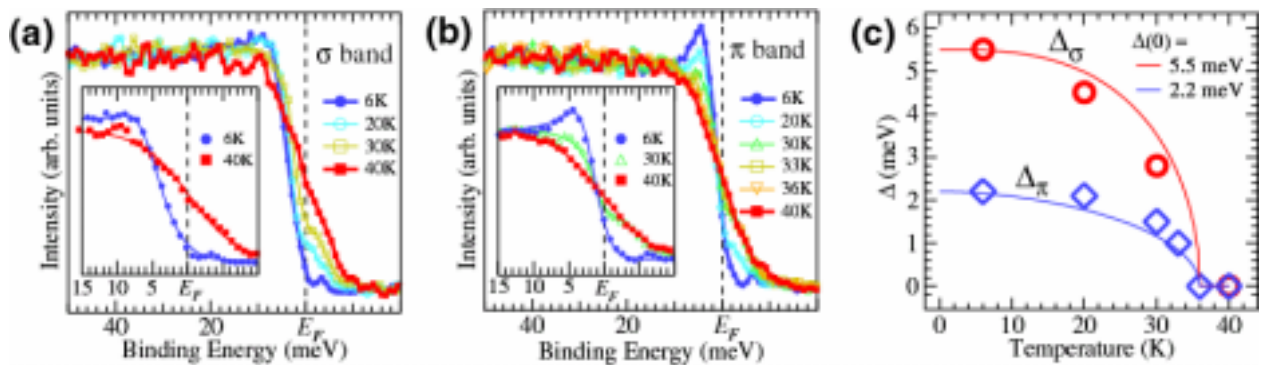


図3 フェルミ準位近傍の光電子スペクトルの温度変化(a), (b)と超伝導ギャップの温度依存性(c).