

# 論文審査の結果の要旨

氏名 津田俊輔

本論文は4章からなり、第1章は序論、第2章は  $\text{MgB}_2$  単結晶の角度分解光電子分光研究、第3章は  $\text{Ca}(\text{Al}_{0.5}\text{Si}_{0.5})_2$  単結晶の角度分解光電子分光研究、第5章はまとめについて述べられている。

$\text{MgB}_2$  は超伝導転移温度が酸化物高温超伝導体以外では最も高く(約 40K)、BCS 理論から期待される転移温度の上限付近である。いくつもある  $\text{MgB}_2$  の特異性の内、マルチギャップは最も特異な性質の1つである。マルチギャップの起源はフェルミ面を構成している電子状態の対称性との関係が指摘されているが実験的には確認されておらず、それぞれのフェルミ面における超伝導ギャップの大きさを明らかにする必要がある。そこで本研究では角度分解光電子分光を用いてフェルミ面ごとに超伝導ギャップの大きさを調べた。また同じ結晶構造を持つ  $\text{Ca}(\text{Al}_{0.5}\text{Si}_{0.5})_2$  (以後  $\text{CaAlSi}$ ) の角度分解光電子分光研究も行った。 $\text{MgB}_2$  の結果と比較し、フェルミ面の対称性とマルチギャップの関係を明らかにすることを目的とした。

高温高压合成により得られた  $\text{MgB}_2$  単結晶( $T_c \sim 36\text{K}$ )を用いて角度分解分光測定を行った。フェルミ準位近傍の光電子強度分布を観測したところ、 $M(L)$ 点近傍に弧状の強度が観測された。また第2ブリルアンゾーンの $\Gamma(A)$ 点近傍で円状に強度が観測された。第一原理計算から得たフェルミ面形状を実験結果と比較すると、 $M(L)$ 点近傍は $\pi$ バンドからなるフェルミ面、 $\Gamma(A)$ 近傍は $\sigma$ バンドからなるフェルミ面であると考えられる。

$\Gamma(A)$ - $M(L)$ 方向に測定して得られた光電子強度分布を調べると、第一原理計算から得たバンド分散とよく一致した。また他の報告では“表面”準位と呼ばれるバンドは顕著には観測されず、これまで難しかった純粋な $\sigma$ バンドの観測に成功した。

$\sigma$ バンド・ $\pi$ バンドそれぞれのフェルミ面上で高分解能測定を行った。ともに超伝導状態ではスペクトル端のシフト( $\sigma$ バンドでは 3.6 meV、 $\pi$ バンドでは 0.9 meV)とピーク構造( $\sigma$ バンドでは 8 meV 付近、 $\pi$ バンドでは 4 meV 付近)が観測された。これらは $\sigma$ バンドで大きなギャップが、 $\pi$ バンドでは小さなギャップが開いている直接的な証拠である。

超伝導ギャップの大きさを定量的に評価するために、得られたスペクトルを数値解析した。Dynes 関数を用いた解析によって実験結果をよく再現することができた。測定最低温でのギャップの大きさは $\Delta_\sigma = 5.5 \text{ meV}$ 、 $\Delta_\pi = 2.2 \text{ meV}$ であった。これらの結果は電子格子相互作用の運動量依存性がマルチギャップひいては高  $T_c$  の起源であるというモデルと矛盾しない。

AlB<sub>2</sub> 構造を持つ系でフェルミ面の対称性とマルチギャップの関係を調べる目的で CaAlSi 単結晶 ( $T_c = 7.7$  K) を用いて角度分解光電子分光研究を行った。フェルミ準位近傍の光電子強度分布を調べると、 $\Gamma$ (A) 点近傍と M(L) 点近傍にそれぞれフェルミ面があることがわかった。これらのフェルミ面は第一原理計算の結果とよく対応し、これらのフェルミ面は、Ca、Al、Si それぞれの電子が強く混成して出来た 3 次元的なバンドであることが推察された。それぞれのフェルミ面上で高分解能測定を行った。超伝導状態においてはピーク構造が 4 meV 付近に観測され、スペクトル端のシフトも観測された。超伝導ギャップの大きさを定量的に評価するために数値解析を行った結果、 $\Gamma$  点では 1.1 meV、M 点では 1.2 meV のギャップが開いていることがわかった。この結果から CaAlSi においては異なるフェルミ面上で等しい大きさの超伝導ギャップが開いていることがわかった。

本研究では MgB<sub>2</sub> の角度分解光電子分光研究から異なる対称性を持つ  $\sigma$  バンドと  $\pi$  バンドに異なる大きさの超伝導ギャップが開いていることがわかった。また MgB<sub>2</sub> と同じ結晶構造を持つ CaAlSi では対称性の等しいフェルミ面が 2 つあり、それらは等しい大きさのギャップを持つことがわかった。これらの結果は電子格子相互作用の運動量依存性がマルチギャップについては高  $T_c$  の起源であるというモデルと矛盾しない。

なお、本論文題 2 章は、物質・材料研究機構の高野義彦博士、産業総合研究機構の鬼頭聖博士、伊藤順司博士、物質・材料研究機構の松下明行博士、殷福星博士、大阪大学の播磨尚朝教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、論文提出者が十分であると判断する。

また、本論文題 3 章は、物質・材料研究機構の今井基晴博士、産業総合研究機構の長谷泉博士との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、論文提出者が十分であると判断する。

従って、本論文の内容は、十分な価値があり、博士（科学）の学位を授与できると認める。