

氏名	侯野 和明
授与した学位	博士
専攻分野の名称	理学
学位授与番号	博甲第3877号
学位授与の日付	平成21年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 先端基礎科学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	NMR/NQR 法によるコバルト酸化物超伝導体及び鉄ヒ素系超伝導体の研究
論文審査委員	教授 鄭 国慶 教授 町田 一成 教授 横谷 尚睦

学位論文内容の要旨

銅酸化物高温超伝導体の発見から 20 年余りの間、その研究は着実に進んでおり多くの事が理解されてきた。しかし、なぜ銅酸化物だけが高い超伝導転移温度を示すのかといった基本的なことがわかっていない。比較対象として、銅と同じ 3d 遷移金属の化合物の超伝導体探索が行われてきたが、その過程でコバルト酸化物超伝導体 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ と鉄砒素系超伝導体が発見された。コバルト酸化物超伝導体は超伝導転移温度が $\sim 5\text{K}$ と低いが、結晶構造が 2 次元的でコバルト原子が銅とは違い 3 角格子を形成しているなど銅酸化物との比較の点で興味深い。また、この物質は水分子を挿入しないと超伝導が発現しないなど興味深い点が多い。鉄砒素超伝導体はその超伝導転移点が $\sim 56\text{K}$ と高温であり、結晶構造も 2 次元的である。また、鉄原子をコバルトに置換した系でも比較的高温で超伝導が発現しており、注目を集めている。

そこで、本研究では、これらの物質を統一的に理解するために NMR/NQR 法を用いてその超伝導及び常伝導状態を調べた。

NMR/NQR 法は物質のミクロな電子状態を測定できる数少ない手法であり、超伝導研究には欠かせない研究方法である。クーパー対のスピンの対称性は NMR 法のナイトシフト測定でしか決定できない。

測定の結果、コバルト酸化物ではクーパー対の対称性がスピン一重項であることがわかった。また、スピン格子緩和時間率 $1/T_1$ の測定より、ギャップにラインノードがあることがわかった。これらの結果およびナイトシフトの磁場依存性は d 波超伝導に一致するものであり、銅酸化物と同様の結果である。常伝導状態では銅酸化物と同じく反強磁性的な電子相関が存在するが、その相関は銅酸化物とは違い異方的であるということがわかった。

鉄砒素系ではナイトシフトの測定より、クーパー対が一重項であることがわかった。さらに、ナイトシフトと $1/T_1$ の温度依存性より、超伝導ギャップが複数存在していることがわかった。これは銅酸化物ともコバルト酸化物とも異なる性質である。

銅酸化物、コバルト酸化物及び鉄ヒ素系において、同じ 3d 遷移金属が主役を担いながらもその超伝導物性は三者三様である。それらの相違点を吟味することで、超伝導発現機構について考察した。

論文審査結果の要旨

本論文は、核磁気共鳴（NMR）及び核四重極共鳴（NQR）法を用いて水和コバルト酸化物超伝導体 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot 1.3\text{H}_2\text{O}$ および鉄砒素高温超伝導体 $\text{PrFeAsO}_{0.89}\text{F}_{0.11}$ を調べた結果をまとめたものである。

$\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot 1.3\text{H}_2\text{O}$ （転移温度 $T_c=5\text{K}$ ）の研究では超伝導を担う電子対（クーパー対）の対称性がd波であることを世界に先駆けて明らかにした。また、この系における電子相関が反強磁性的で、スピン空間では異方的であることを明らかにした。この系で水を含まないと超伝導にならないが、本研究では水分子の役割についても調べた。水分子挿入によって、系がより2次元的になり、そのため反強磁性的な電子相関が発達したことを明らかにした。

一方、鉄砒素高温超伝導体 $\text{ReFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ （Re:希土類元素）は2008年の春に発見されたもので、転移温度が最高で55Kに達しているため世界的に注目を集めている。本研究で $\text{PrFeAsO}_{0.89}\text{F}_{0.11}$ （ $T_c=45\text{K}$ ）を用いて調べた結果、クーパー対がスピン一重項を形成しており、多重超伝導ギャップを有することを明らかにした。クーパー対のスピン対称性を明らかにしたのは世界初であり、また、NMR結果を基に指摘した多重ギャップの存在はその後国内外で多くの実験によって確認され、関連する研究分野に与えたインパクトは大きい。

本論文は先駆的な研究成果を多く含んでおり、博士論文として価値があると認める。