

論文審査の結果の要旨

氏名 新井 浩一

本研究「核磁気共鳴／核四重極共鳴によるベータ・パイロクロア型酸化物超伝導体の物性研究」は、最近発見された最大 10K の超伝導転移温度を示すオスミウム酸化物超伝導体 AOs_2O_6 (A は K、Rb、Cs などのアルカリ元素) の中で、 KOs_2O_6 と RbOs_2O_6 における電子状態や格子振動の特徴、また超伝導状態の特性などの物性を、核磁気共鳴・核四重極共鳴によって微視的に解明することを目指したものである。この物質群は当初、オスミウム原子がパイロクロア格子という強い磁氣的フラストレーションを持つ格子を形成するという点で興味を持たれていたが、その後、アルカリ原子が籠状の酸素原子に囲まれた広い空間内に孤立することから、ラットリングと呼ばれる極めて非調和性の強い格子振動が現れる可能性が注目されている。

本論文は 5 章よりなる。第 1 章で AOs_2O_6 に関するこれまでの研究を概観し本研究の目的が述べられ、第 2 章では核磁気共鳴・核四重極共鳴の原理と方法が説明されている。続く第 3 章、第 4 章が本論文の主要な部分で、第 5 章では単結晶を用いた研究結果の一部が紹介されている。最後の第 6 章では本研究の総括と意義および今後の課題が述べられている。

第 3 章では通常の大気圧下における実験結果と考察が述べられている。まず常伝道状態において、アルカリ元素、オスミウム、酸素の全ての原子核サイトにおける核磁気緩和率を測定・比較することにより、 RbOs_2O_6 と KOs_2O_6 の性質の著しい違いが明らかになった。 KOs_2O_6 においては、酸素サイトやオスミウム・サイトに比べて、カリウム・サイトの核磁気緩和率と温度の比が著しく増大しており、16K 付近にピークを伴う異常な温度依存性を示す。伝導電子の磁氣的な揺らぎはオスミウム原子核や酸素原子核と強く結合しているので、カリウム原子核の緩和率は電子系ではなく格子振動の振る舞いに起因していると結論できる。金属中の核磁気緩和率が殆んど格子振動に起因するという観測は、おそらくこれまで例がなく、 KOs_2O_6 におけるラットリング・フォノンの特異性を示している。 RbOs_2O_6 では、このような異常は観測されなかった。

次いで超伝導状態における測定結果が示された。 RbOs_2O_6 の ^{87}Rb 原子核においては伝導電子スピンによる磁氣的緩和が支配的であるが、緩和率が超伝導転移温度 (T_c) 直下で非常に小さなコヒーレンス・ピークを示し、低温で急激に減少することから、転移温度付近で大きな準粒子のダンピングがあり、超伝導ギャップにはライン・ノードのような強い異方性はないことが示された。一方、格子振動に起因する KOs_2O_6 における ^{39}K 原子核の緩和率は、 T_c 以下で急激に減少した。このことはラットリング・フォノンと電子系の間に何らかの結合があり、超伝導状態で電子系にエネルギー・ギャップが現れるとラットリング・フォノンのダンピングが抑制されることを示唆している。

続く第 4 章では、3Gpa までの高圧力下での測定結果が述べられている。 AOs_2O_6 の T_c

は顕著な圧力依存性を示す。低圧領域では T_c は圧力とともに増加するが、ピークを経てより高圧では減少に転じる。ピークを示す圧力はアルカリ元素の種類によって異なるが、圧力依存性は類似している。 $RbOs_2O_6$ の ^{87}Rb 原子核における核磁気緩和率は低温で圧力と共に単調に増加 (3GPa の圧力下で 30% 程度) し、反強磁性的なスピンの揺らぎが僅かに増大していることを示唆している。一方、 KOs_2O_6 においては ^{39}K 原子核の低温での緩和率が 3GPa の加圧により 2 桁近く増大し、格子のダイナミクスが著しく変化することが見出された。さらに、緩和率に幅広い分布が現れたり、NMR の共鳴線幅が増大するなど、加圧に伴い格子振動に何らかの不均一性が生じていることが示唆された。

以上のように本研究では、異なる原子核サイトにおける核磁気緩和率を比較することにより、物質の磁氣的性質のプローブとしてだけでなく、金属においてこれまで注目されなかった格子ダイナミクスのプローブとしての核磁気共鳴の有用性が示され、新規な超伝導体 AOs_2O_6 の特異な性質が明らかになった。まだ将来に残された課題は多いが、博士 (科学) の学位に相応しい業績であると判断できる。

なお、本論文第 3 章および第 4 章は、菊地淳、樹神克明、瀧川仁、米澤茂樹、村岡祐治、廣井善二との共同研究であるが、論文提出者が主体となって、実験および解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (科学) の学位を授与できると認める。