

超高压下における元素の超伝導化の研究

Superconductivity in elements under very high pressure

清水 克哉 (SHIMIZU KATSUYA)

大阪大学・極限量子科学研究センター・教授



研究の概要

物質の基本となる元素において、超高压発生と測定技術の開発によって超伝導現象の発現とその可能性を系統的に理解することを目指す。ありふれた単体元素を舞台に起こる超伝導現象にこそ様々な発現機構が隠されているはずであり、元素の超伝導化の追求を通じて発現機構や将来の室温超伝導の実現につながる物質設計指針を得ることを目的とする。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：超高压、超伝導、単体元素、高温超伝導、高密度

1. 研究開始当初の背景

物性研究において高圧力がもたらす効果は枚挙にいとまがない。物質内の原子間距離を直接的に操作しうる圧力は、結晶構造を変化させるのみならず、これに伴って物質の性質を大きく変える。金属化や超伝導化といった劇的な変化がよい例である。常圧力の条件下では超伝導にならない元素も圧力下で超伝導が発現している例がいくつも報告されている。圧力が誘起する量子相転移や、新物質・新機能の創成を目指して高圧下の物性研究が行われてきていた。超高压力が誘起する超伝導はその極限環境がエキゾチックと思われるが、ありふれた元素を舞台に起こる超伝導現象にこそ「超伝導」理解の本質があると考え、本研究計画を立案した。

2. 研究の目的

高温超伝導の機構解明と室温超伝導の実現につながる物質設計の指針を得ることを目的として元素の超伝導化を追求する。未踏の超高压力下で室温超伝導が理論予測されている水素の金属化と超伝導化を究極の目標として、超高压力の発生と低温下での物性測定技術を開発して、元素における超伝導現象の普遍性や可能性を追求する。

3. 研究の方法

未検出の超伝導元素、軽元素、比較的高い超伝導転移を示す金属元素の3群を中心にして、①新超伝導元素探索を推進する。そのた

めに必要な、②高圧発生および測定技術開発、③超高压下の電子・結晶構造解析、および④理論計算による物性予測と物質機能設計を同時に推進する。

4. これまでの成果

①新超伝導元素探索

・ホウ素（アルファ型）の超伝導を世界で始めて発見した。160万気圧の超高压下で転移温度は約6ケルビンであり、これはベータ型と比較してやや高温である。ホウ素の正20面体クラスター構造の超高压下の安定性や超伝導の圧力効果の解明に結びつく成果である。（図1）

・反強磁性体のユーロピウムの圧力誘起超伝導を世界で始めて発見した。超伝導の転移温度の圧力依存性は正であることがわかった。（図1）

・カルシウムは160万気圧下で25ケルビンを超える超伝導転移温度を発生するが、その圧力域において新たな構造相転移を複数発見した。これらは理論グループの計算から予測した構造に一致した。

②高圧発生および測定技術開発

・集束イオンビーム（FIB）加工装置およびコンピュータを導入し、試料の整形と測定電極のダイヤモンドアンビル先端への直接描画、ガスケットの上の試料室の整形をマイクロサイズで行うことを可能にし、超高压発生のため必須である加工サイズの微細化を達成した。

