

令和 4 年 5 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K05810

研究課題名(和文) 高い超伝導転移温度を有するアルカリ土類金属単体元素の結晶構造の解明

研究課題名(英文) Crystal structure of alkaline earth metal with high superconducting transition temperature

研究代表者

中本 有紀 (NAKAMOATO, Yuki)

大阪大学・基礎工学研究科・特任准教授(常勤)

研究者番号：90379313

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：元素の中で高い超伝導転移温度を示すアルカリ土類金属について、超伝導転移温度(T_c)と結晶構造の関係を明らかにすることを目的とした。ストロンチウム(Sr)に着目し詳細な温度-圧力相図を作成した。これまでにSrで報告されていたものよりも高い T_c を示す新しい高圧相(Sr-VI)の存在を見出した。この高圧相は100 K以下の低温で加圧することのみ出現する。加えてSr-VI相の高圧相としてhcp構造をもつ新たな結晶相(Sr-VII)の存在と、安定領域について明らかにした。以上のことは元素で最も高い超伝導転移温度をもつカルシウムにおいても更に高い T_c をもつ低温高圧相の存在を示唆するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

元素の中でも超伝導転移温度が圧力によって上昇するものは稀であり、その中で最も高い超伝導転移温度を示すカルシウムと同族であるストロンチウム、バリウムについて精密に結晶構造を調べることで、アルカリ土類金属についてのシークエンスを得ることができる。

ストロンチウムについて高い超伝導転移温度を示す相の精密結晶構造解析を行い、結晶構造と超伝導性の関係を明らかにしたことは高温超伝導の発現機構の解明の一助となる。さらに理論的に超伝導性発現機構が解明されれば、超伝導転移温度の改善、さらには室温超伝導体など新規高温超伝導物質の材料設計につながる。

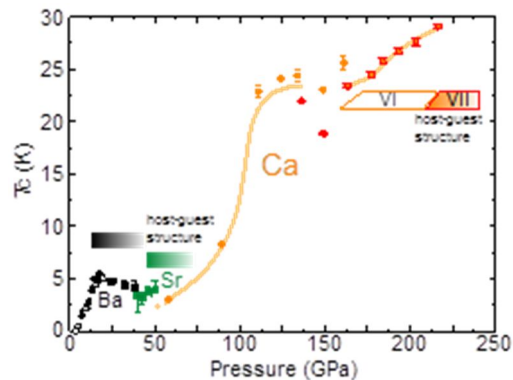
研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the relationship between the superconducting transition temperature (T_c) and the crystal structure of alkaline earth metals, which have a high superconducting transition temperature among the elements. A detailed temperature-pressure phase diagram was created focusing on strontium (Sr). The existence of a new high pressure phase (Sr-VI) having higher T_c than previously reported in Sr was found. This high pressure phase (Sr-VI) appears by applying pressure only at low temperature below 100K. In addition, the existence of a new crystalline phase (Sr-VII) with hcp structure as the higher pressure phase than that of the Sr-VI phase and the stable region were clarified. The above results suggest the existence of a low-temperature and high-pressure phase with a higher T_c for calcium, which has the highest superconducting transition temperature of the elements.

研究分野：固体物性

キーワード：高圧力 超伝導 構造相転移 アルカリ土類金

1. 研究開始当初の背景

元素の中でも超伝導転移温度が圧力によって上昇するものは稀であり、特にアルカリ土類金属は比較的高い超伝導転移温度(T_c)をもつため、実験・理論の立場から多くの興味もたれ研究が進められている。下図に示したようにカルシウム、ストロンチウム、バリウムは超伝導転移温度が圧力により上昇することが知られている。そのひとつであるカルシウムは216 GPaの超高压下29 Kという元素の中で最も高い T_c をもつことを我々は報告してきた。また室温・高圧力下で逐次構造相転移をし、ホスト-ゲスト構造をもつ高压相において最高の T_c を示すことを明らかにした。これは高压下での結晶構造が超伝導物性や様々な物性に密接に関係する例の一つである。しかし実際には最高の T_c となる低温で現れる超伝導相の構造については未だ明らかにされていない。アルカリ土類金属元素の中でも室温で比較的低い圧力に特徴的で複雑なホスト-ゲスト構造が現れるストロンチウムとバリウムに焦点を当て、実際の超伝導相について結晶構造と超伝導との関係について明らかにしたい。また低温領域においては室温とは異なる様々な構造相の存在も予想される。カルシウムと同族であるストロンチウム、バリウムについて精密に結晶構造を調べることで、アルカリ土類金属についてのシークエンスを得ることができる。また、高い超伝導転移温度を示す相の精密結晶構造解析を行うことで、結晶構造と超伝導性の関係、さらには発現機構につながる結果を得る可能性がある。



2. 研究の目的

室温下で、ストロンチウムの常圧の fcc 相から bcc 相(3.5 GPa) Sr-III 相(24 GPa) Sr-IV 相(35 GPa) Sr-V 相(46 GPa)への逐次構造相転移を確認しその格子定数の圧力変化を調べる。また各相が低温領域においてどのような相境界を示すのか、さらに新しい高压相が存在するのか、**250 GPa・4 K** までの温度圧力領域において X 線回折測定および電気抵抗測定を行うことによって明らかにする。新しい高压相については、結晶構造解析を行い構造を決定する。さらに、低温領域で現れる超伝導相の精密構造解析を行う。バリウムについても同様に調べる。元素の中で最も高い T_c をもつカルシウムとの比較を行い、アルカリ土類金属全体を通して高い T_c を発現させる機構を結晶構造の面から明らかにしたい。

3. 研究の方法

アルカリ土類金属の中でもストロンチウムに着目し測定を行う。ダイヤモンドアンビル高压セル(DAC)に封入する安定した方法を確立し、250 GPa、室温から 4 K までの粉末 X 線回折実験を、SPring-8 の高压ビームラインにおいて放射光とイメージングプレート(IP)検出器を用いて行い相転移を探索する。

1、ストロンチウムの多結晶化と圧力発生装置への封入の手法を確立する。アルゴンガス置換されたグローブボックス内でストロンチウムの乳鉢上でストロンチウムをすり潰すことで多結晶化し、高压発生装置であるダイヤモンドアンビルセル(DAC)の試料室に試料を充填し、SPring-8 で X 線回折測定をおこない、なめらかなデバイセラーリングであることを確かめた。これにより質の良い X 線回折パターンを得ることができる。

2、室温で報告のある高压下での構造相転移 fcc 相 bcc 相(3.5 GPa) Sr-III 相(24 GPa) Sr-I 相(35 GPa) Sr-V 相(46 GPa)の存在を確認する。SPring-8 にて、冷凍機を用いた低温・高压下での放射光を利用した X 線回折測定から、それぞれ異なる温度で一定に保ち圧力を加えることで、実験パスにより発現する結晶相の違いを見出す。

3、電気抵抗測定との同時測定により超伝導転移温度の圧力依存性を調べる。

4. 研究成果

ストロンチウムにおいて 100 K 以下の低温下で加圧することでのみ現れる高圧相の存在を明らかにした。これは室温付近で現れる高圧相（ホスト - ゲスト構造相）よりも高い超伝導転移温度を示す結晶相である。またさらなる高圧力領域で hcp 構造をもつ新しい高圧相を発見した。これら研究結果によりストロンチウムの圧力-温度相図を作成した。さらに T_c の圧力依存性についても明らかにした。これらを基にバリウムとカルシウムとの比較をとおしてアルカリ土類金属全般の結晶構造と超伝導性について、さらに高い T_c と結晶構造の関係についても議論できる。カルシウムは元素の中で最も高い超伝導転移温度が報告されているが、これを更新するような高圧相の存在が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伊藤匠、加良勇輔、中本有紀、坂田雅文、清水克哉、藤久裕、河口沙織、平尾直久、大石泰生
2. 発表標題 ストロンチウムの高圧力下における結晶構造と超伝導
3. 学会等名 第60回高圧討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤匠、加良勇輔、中本有紀、坂田雅文、清水克哉、藤久裕、河口沙織、平尾直久、大石泰生
2. 発表標題 アルカリ土類金属ストロンチウムの高圧下における超伝導と結晶構造
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤匠、中本有紀、坂田雅文、清水克哉、藤久裕、河口沙織、平尾直久、大石泰生
2. 発表標題 超高圧下におけるアルカリ土類金属ストロンチウムとバリウムの結晶構造と超伝導
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中本有紀、坂田雅文、伊藤匠、山内卓弥、松岡岳洋、藤久裕、清水克哉、大石泰生
2. 発表標題 アルカリ土類金属ストロンチウムとバリウムの結晶構造と超伝導の圧力依存性III
3. 学会等名 第58回高圧討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中 有希 ・ 伊藤 匠 ・ 中本 有紀 ・ 清水 克哉 ・ 坂田 雅文 ・ 藤久 裕司 ・ 河口 沙織 ・ 平尾 直久 ・ 大石 泰生
2. 発表標題 アルカリ土類金属ストロンチウムの低温 ・ 高圧下における結晶構造 と超伝導転移
3. 学会等名 第62回高圧討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------