

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19540373
 研究課題名（和文） 結晶構造に反転対称がない3系の超伝導体の純良試料作製と NMR
 研究課題名（英文） Sample Preparation and NMR Study in Three Systems of Superconductors with Non-Inversion Symmetry in the Crystal Structure
 研究代表者
 小原 孝夫（KOHARA TAKAO）
 兵庫県立大学・大学院物質理学研究科・教授
 研究者番号：70107986

研究成果の概要：本課題で対象にしている CePt₃Si については、(1) 熱処理により超伝導相に 2 相（高 T_c 相と低 T_c 相）が独立に存在する (2) 熱処理した試料でも NMR 測定用に粉砕化すると、溶解後急冷処理した相構造に近い試料に変質していることが、比熱測定で明らかとなった。しかしながら、はっきり内部磁場が出ている状態で測定した低 T_c 相試料の核磁気緩和率の回復曲線は、以前とは異なり単一の緩和時間で記述できることから微視的に独立 2 相の存在が確認できた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：核磁気共鳴、超伝導機構、強電子相関、非 BCS 機構、反転対称性

1. 研究開始当初の背景

(1) 重い電子系 f 電子超伝導化合物での超伝導発現機構については、非 BCS 機構のみが話題に中心であった。しかし、結晶中に反転対称をもたない超伝導体では、スピン・軌道相互作用により超伝導オーダーパラメタが、スピン三重項とスピン一重項の混合で記述可能という新しい理論的な提唱があり、多くの研究者の話題になった。

(2) いくつかの試料で結晶中に反転対称がない超伝導体が報告されていたが、いずれも試料作製が容易でなく、試料作製とその物質評価をして各種測定を始めなければ、詳しい議論が出来ないという困難な状況であった。

2. 研究の目的

(1) 超伝導発現機構の解明には NMR は有力なので、結晶中に反転対称をもたない試料群で、我々は NMR 測定が可能な、CePt₃Si、

CeCoSi₃, Li₂(Pd, Pt)₃B に試料を絞ってそれらの良質試料作製と NMR 測定を試みた。

(2) NMR 測定は、対象にしている超伝導試料について、超伝導状態・常伝導状態にわたって電子状態がくわしく分かるので、NMR スペクトラム、核磁気緩和率、ナイトシフト（スピン磁化率）の広範な温度変化を主に測定目標にした。

3. 研究の方法

(1) 試料作製は、アーク炉を用いた多結晶試料であったが良質試料のために熱処理の最適化と X 線による構造解析（不純物相の存否）を徹底的にすすめた。

(2) NMR 測定の前に磁化率と比熱の温度変化の測定をかならず試みて、試料の物質評価を徹底的にすすめた。

(3) Pt 核や Si 核等 NMR 可能な核種についてスペクトラム、核磁気緩和率、ナイトシフトの外部磁場の大きさおよび配向試料については角度変化、温度変化を詳細におこなった。

4. 研究成果

(1) 本課題で対象にしている CePt₃Si については、①熱処理により超伝導相に 2 相（高 T_c 相と低 T_c 相）が独立に存在する②熱処理した試料でも NMR 測定用に粉碎化すると、溶解後急冷処理した相構造に近い試料に変質していることが、比熱測定で明らかとなった。

(2) はっきり内部磁場が出ている状態で測定した低 T_c 相試料の核磁気緩和率の回復曲線は、以前とは異なり単一の緩和時間で記述できることから微視的に独立 2 相の存在が確認できた。

(3) CePt₃Si の反強磁性状態での中性子回折（零外部磁場下）と NMR 測定（外部磁場中）間で磁気モーメントの向きについての結果の相違は、両者間で矛盾のない説明が現段階ではつかなかった。

(4) CeCoSi₃ では、通常発現する超伝導は、不純物相として存在する CeCo₂ であると判明したが、組成上 CeCoSi₃ を負の圧力（膨張）下で実現するために、Si を Ge で置換した結果、50mK 以下で反磁性（超伝導）の振る舞いが交流磁化率で観測された。

(5) 結晶中に反転対称性がない 1-1-3 系の Ce(RhIr)Si₃、Ce(RhCo)Si₃、

Ce(CoIr)Si₃ である濃度での合金化により反強磁性を消失させることで超伝導を発現できた。その後、常圧下で核磁気緩和率の広範な温度変化を測定した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 11 件）

著者名：上田光一、本山 岳、小原孝夫、
論文標題：Two Superconducting Phases in CePt₃Si Confirmed by NMR、雑誌名：J. Phys.: Condens. Matter、査読：有、巻：不明、発行年：2009、ページ：印刷中。

著者名：田畑吉計、小山岳秀、小原孝夫、
渡邊功雄、中村裕之、論文標題：Structural Transition in Mo₃Sb₇ Probed by muon spin relaxation、雑誌名：Physica B 査読：有、巻：不明、発行年：2009、ページ：印刷中。

著者名：小山岳秀、山下裕貴、小原孝夫、
田畑吉計、中村裕之、論文標題：Structural Transition in the Normal State of the Superconductor Mo₃Sb₇、雑誌名：Material Research Bulletin、査読：有、巻：44、発行年：2009、ページ：1132-1135。

著者名：上田光一、本山 岳、小原孝夫、
論文標題：Microscopic Properties in Non-Centrosymmetric Superconductors、雑誌名：Magnetic Materials [American Inst. of Phys.]、査読：有、巻：AIP Proc-1003、発行年：2008、ページ：187-191。

著者名：小山岳秀、山下裕貴、高橋慶紀、
小原孝夫、渡邊功雄、田畑吉計、中村裕之、論文標題：Frustration -Induced Valence Bond Crystal and Its Melting in Mo₃Sb₇、雑誌名：Phys. Rev. Lett.、査読：有、巻：101、発行年：2008、ページ：126404-1-4。

著者名：小山岳秀、福井裕介、室 洋一、
永尾俊博、中村裕之、小原孝夫、論文標題：Nuclear quadrupole resonance study of the electronic properties of the narrow-gap semiconductor FeSb₂、雑誌名：Phys. Rev. B、査読：有、巻：76、発行年：2007、ページ：073203-1-4。

著者名：中村裕之、室 洋一、小原孝夫、

志賀正幸、論文標題:Effect of geometry in itinerant electron magnets、雑誌名:J. Phys.:Condens. Matter、査読:有、巻:19、発行年:2009、ページ:145285-1-6。

著者名:池野良亮、中村裕之、小原孝夫、論文標題:Cluster-spin dynamics in a GaMo₄S₈ type compound: 27Al nuclear magnetic resonance study of AlMo₄S₈、雑誌名:J. Phys.:Condens. Matter、査読:有、巻:19、発行年:2007、ページ:046206-1-7。

著者名:室 洋一、中村裕之、小原孝夫、論文標題:NMR study on the low-temperature state of LaMn₄Al₈、雑誌名:J. Mag. Mag. Mat.、査読:有、巻:310、発行年:2007、ページ:1038-1040。

著者名: 本山 岳、渡邊雅樹、前多雄大、小田祺景、上田光一、小原孝夫、論文標題:Specific Heat Measurements on CePt₃Si and Ce_{1+x}Pt_{3+y}Si_{1+z}、雑誌名:J. Mag. Mag. Mat.、査読:有、巻:310、発行年:2007、ページ:e126-e128。

著者名: 上田光一、小原孝夫、本山 岳、小田祺景、論文標題:NMR Study of Novel Heavy Fermion Superconductor CePt₃Si、雑誌名:J. Mag. Mag. Mat.、査読:有、巻:310、発行年:2007、ページ:608-610。

[学会発表] (計 24 件)

発表者: 小山岳秀、発表標題:超伝導体 Rh₁₇S₁₅ の 101Rh-NMRによる研究、学会等名:日本物理学会第 64 回年次大会、発表年月日:2009 年 3 月 30 日、発表場所:立教大学(東京・池袋)

発表者:水戸 毅、発表標題:重い電子系 YbCo₂Zn₂₀ の NMR/NQR、学会等名:日本物理学会第 64 回年次大会、発表年月日:2009 年 3 月 30 日、発表場所:立教大学(東京・池袋)

発表者: 小原孝夫、発表標題:圧力下 Se NMRによる (TMTSF)₂X の磁性-非磁性転移、学会等名:日本物理学会第 64 回年次大会、発表年月日:2009 年 3 月 28 日、発表場所:立教大学(東京・池袋)

発表者: 上田光一、発表標題:CePt₃Si の NMR スペクトルから見た相と磁気構造、学会等名:日本物理学会第 64 回

年次大会、発表年月日:2009 年 3 月 28 日、発表場所:立教大学(東京・池袋)

発表者:横山暢之、発表標題:URu₂Si₂ における圧力下電気抵抗及び熱膨張測定 II、学会等名:日本物理学会第 64 回年次大会、発表年月日:2009 年 3 月 27 日、発表場所:立教大学(東京・池袋)

発表者:青木義弘、発表標題:重い電子系超伝導体 CePt₃Si の圧力下におけるマイスナー効果、学会等名:日本物理学会第 64 回年次大会、発表年月日:2009 年 3 月 27 日、発表場所:立教大学(東京・池袋)

発表者:青木義弘、発表標題:重い電子系超伝導体 CePt₃Si の圧力下におけるマイスナー効果、学会等名:日本物理学会第 64 回年次大会、発表年月日:2009 年 3 月 27 日、発表場所:立教大学(東京・池袋)

発表者:青木義弘、発表標題:空間反転対称性のない CePt₃Si、LaPt₃Si の超伝導性の比較、学会等名:日本物理学会秋季大会、発表年月日:2008 年 9 月 21 日、発表場所:岩手大学(上田キャンパス)

発表者:青木義弘、発表標題:空間反転対称性のない CePt₃Si、LaPt₃Si の超伝導性の比較、学会等名:日本物理学会秋季大会、発表年月日:2008 年 9 月 21 日、発表場所:岩手大学(上田キャンパス)

発表者: 上田光一、発表標題:CeCoSi₃ の NMR、学会等名:日本物理学会秋季大会、発表年月日:2008 年 9 月 21 日、発表場所:岩手大学(上田キャンパス)

発表者:横山暢之、発表標題:URu₂Si₂ における圧力下電気抵抗及び熱膨張測定、学会等名:日本物理学会秋季大会、発表年月日:2008 年 9 月 20 日、発表場所:岩手大学(上田キャンパス)

発表者:田畑吉計、発表標題: μ SR による Mo₃Sb₇ の基底状態の研究、学会等名:日本物理学会秋季大会、発表年月日:2008 年 9 月 20 日、発表場所:岩手大学(上田キャンパス)

発表者: 小山岳秀、発表標題:超伝導体 Mo₃Sb₇ の構造相転移と物性、学会等名:日本物理学会秋季大会、発表年月日:2008 年 9 月 20 日、発表場所:岩手大学(上田キャンパス)

発表者：小原孝夫、発表標題：Two Superconducting Phases in CePt₃Si Confirmed by NMR、学会等名：第 25 回低温国際会議 (LT25)、発表年月日：2008 年 8 月 9 日、発表場所：アムステルダム (オランダ)

発表者：本山 岳、発表標題：Crystalline Electric Field Effect of Ce_{1-x}La_xPt₃Si of Single Crystal、学会等名：第 25 回低温国際会議 (LT25)、発表年月日：2008 年 8 月 9 日、発表場所：アムステルダム (オランダ)

発表者：小山岳秀、発表標題：121Sb-NQR による超伝導体 Mo₃Sb₇ の物性研究、学会等名：日本物理学会第 63 回年次大会、発表年月日：2008 年 3 月 26 日、発表場所：近畿大学 (本部キャンパス、東大阪市)

発表者：前田雄大、発表標題：CePt₃Si における磁性および超伝導の三元相図の研究、学会等名：日本物理学会第 63 回年次大会、発表年月日：2008 年 3 月 24 日、発表場所：近畿大学 (本部キャンパス、東大阪市)

発表者：横山暢之、発表標題：URu₂Si₂ における圧力下電気抵抗及びホール抵抗測定、学会等名：日本物理学会第 63 回年次大会、発表年月日：2008 年 3 月 23 日、発表場所：近畿大学 (本部キャンパス、東大阪市)

発表者：青木義弘、発表標題：空間対称性のない超伝導体 CePt₃Si、LaPt₃Si のジョセフソン効果、学会等名：日本物理学会第 63 回年次大会、発表年月日：2008 年 3 月 23 日、発表場所：近畿大学 (本部キャンパス、東大阪市)

発表者：小原孝夫、発表標題：Microscopic Properties in Non-centrosymmetric Superconductors、学会等名：International Conference on Magnetic Materials (ICMM-2007)、発表年月日：2007 年 12 月 14 日、発表場所：コルカタ (インド)

発表者：前田雄大、発表標題：Ce_{1+x}Pt_{3+y}Si_{1+z} の希釈冷凍機温度域までの測定 II、学会等名：日本物理学会第 62 回年次大会、発表年月日：2007 年 9 月 22 日、北海道大学 (札幌キャンパス、札幌市)

発表者：上田光一、発表標題：CeCoSi₃ の NQR、学会等名：日本物理学会第 62 回年次大会、発表年月日：2007 年 9 月 21 日、北海道大学 (札幌キャンパス、札幌市)

発表者：小山岳秀、発表標題：狭いギャップをもつ半導体 FeSb₂ の磁化過程、学会等名：日本物理学会第 62 回年次大会、発表年月日：2007 年 9 月 21 日、北海道大学 (札幌キャンパス、札幌市)

発表者：青木義弘、発表標題：CePt₃Si の圧力下超伝導特性、学会等名：日本物理学会第 62 回年次大会、発表年月日：2007 年 9 月 21 日、北海道大学 (札幌キャンパス、札幌市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小原 孝夫 (KOHARA TAKAO)

兵庫県立大学・大学院物質理学研究科・教授

研究者番号：70107986

(2) 研究分担者

上田 光一 (UEDA KOHICHI)

兵庫県立大学・大学院物質理学研究科・助教

研究者番号：20203440

小山 岳秀 (KOYAMA TAKEHIDE)

兵庫県立大学・大学院物質理学研究科・助教

研究者番号：30397666

本山 岳 (MOTOYAMA GAKU)

兵庫県立大学・大学院物質理学研究科・助教

研究者番号：20360050

(3) 連携研究者

なし

