

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：特別推進研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20001004

研究課題名(和文) 多元環境下の新しい量子物質相の研究

研究課題名(英文) New Quantum Phases of Matter in Multidimensional Environments

研究代表者

北岡 良雄 (KITAOKA YOSHIO)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：70110707

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性

キーワード：強相関電子系物質、高温超伝導、磁気秩序、強誘電性、核磁気共鳴

1. 研究計画の概要

基礎工学研究科、理学研究科、産業技術総合研究所、青山学院大学理工学部、および理化学研究所(播磨研究所)に所属する研究グループがもっている各々の世界最先端の多重極限環境下の革新的な実験技術；(1)精密NMR測定技術，(2)レーザー超高分解能光電子分光技術，(3)SPring-8の高輝度放射光を用いたX線回折実験技術，および独創的な試料創製技術；(4)量子物質創製技術，(5)多層系高温超伝導物質創製技術，(6)異なるトポロジーを有する新銅酸化物高温超伝導体創製技術，物性現象の理論解析力，を結集して，多元的な電子構造や多様な格子構造をもつ新物質の創製，および多重極限の物理環境下で発現する新しい量子物質相の発見と現象の解明，これまでは独立の物理現象としてとらえられていた磁性，超伝導，強誘電性の協奏効果および競合効果によって出現する「多元環境下での新しい量子物質相」の発見と現象の解明を目的とする。「物質科学のフロンティア」をさらに押し広げつつ，共通する物理概念の深化を通じて，これまでに発見されている強相関系超伝導物質の超伝導転移温度をさらに超える「新規な超伝導物質」の創製に向けた研究展開も目指す。

2. 研究の進捗状況

(1)多層系銅酸化物高温超伝導物質において反強磁性秩序と超伝導相は同一 CuO_2 面内で一様に共存すること， CuO_2 層数の増大と共に，共存領域が拡大すること，基底状態の両秩序相のホール濃度相図は，ドーブされたモット絶縁体を記述する理論モデルによって定量的に説明できること，を明らかにした。これらの研究成果から，高温超伝導の起源は

「反強磁性秩序を生み出すものと同じのもの」，つまり反強磁性秩序を生み出す超交換相互作用(J)に起因することを明らかにした。本成果は，発見以来 25 年経過してもなお混沌としていた高温超伝導現象の解明に導くものである。(2)Fe系新高温超伝導体が超伝導状態は等方的なギャップを有するマルチギャップ符号反転 S_{\pm} 波モデルを用いてよく説明できることを示した。(3)加圧した $\text{YbIr}_2\text{Zn}_{20}$ が磁場ゼロで極めて重い質量の電子を持つ重い電子状態にあることを発見した。(4)六方晶フェライト $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ において室温弱磁場動作の磁気効果を実現した。(5)超高压合成法により，酸素欠損型新鉄系超伝導体 NdFeAsO_{1-y} を発見し，鉄系では最高レベルの臨界温度 $T_c=54\text{K}$ ，また， LnFeAsO_{1-y} (Ln:ランタノイド元素)が，Ln=Nd～Dyの範囲で $T_c > 50\text{K}$ の T_c を持つことを明らかにした。(6)結晶反転対称性のない正方晶の CeIrSi_3 が圧力 2.6GPa で量子相転移を起こし，超伝導の上部臨界磁場 H_{c2} が約 45T に達することを明らかにした。(7)価数転移の量子臨界点が磁場により誘起されることを理論的に示した。以上のように，さまざま系で新しい量子物質相の発見や現象を解明する成果を挙げることができ，研究は予想以上に進捗している。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。(理由)当初の研究目的であった「多元環境下での新しい量子物質相」の発見とその現象の解明については，期待以上の成果を挙げることができた。「物質科学のフロンティア」をさらに押し広げる目標を十分に達成できると考えている。

4. 今後の研究の推進方策

昨年度に、発見した反強磁性相と高温超伝導相の共存状態での両秩序相の相互結合状態に焦点を当て、電子構造、および構造物性等の多彩な観点から研究を深化させることを目的として、レーザー超高分解能光電子分光グループ、および SPring-8 の高輝度放射光を用いた X 線回折実験グループを加えて、以下のような研究を推進する。(1) 高温超伝導体の超低ドープ領域での反強磁性相と超伝導相図の確立、(2) 超伝導状態での磁場誘起磁気秩序相の探索、(3) 重い電子系の電荷ゆらぎに起因する超伝導現象の温度・圧力相図の確立、(4) 新規な磁気秩序と強誘電相とが共存する新物質相の探索、(5) マルチフェロイクスにおける電気磁気相関効果の探索、(6) 遷移金属化合物表面・界面における電界印加による電気磁気物性制御による新物質相の探索、(7) 超多層系銅酸化物高温超伝導物質および多層系銅酸化物単結晶の創製、(8) 新型 Fe 系高温超伝導体の創製、(9) 異なるトポロジを有する新銅酸化物高温超伝導体(クラスレート型酸化物 Ag_0MX , Cu_0MX) の創製、(10) スピン・軌道相互作用により分裂した Mott 絶縁体へのキャリアドーピングによる新規超伝導体の創製、(11) 共有結合性の強い系における新規高温超伝導の創製、(12) Ce や Yb を含む重い電子化合物の磁場誘起価数転移と磁気応答への価数ゆらぎの効果の研究、(13) 磁気秩序と異方的超伝導との共存の様相について理論的研究、等を推進する。

5. 代表的な研究成果

(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 187 件)

H. Mukuda, S. Shimizu, S. Tabata, K. Itohara, Y. Kitaoka, P.M. Shirage, A. Iyo, Superexchange interaction and magnetic moment in antiferromagnetic high- T_c cuprate superconductors, PHYSICA C-SUPER CONDUCTIVITY AND ITS APPLICATIONS, **470**, S7-S11 (2010) 査読有

S. Watanabe, K. Miyake, Quantum Valence Criticality as Origin of Unconventional Critical Phenomena, Phys. Rev. Lett. **105**, 186403-1~4 (2010) 査読有

Y. Kitagawa, Y. Hiraoka, T. Honda, T. Ishikura, H. Nakamura, T. Kimura, Low-field magneto electric effect at room temperature, Nature Materials, **9**, 797-802 (2010) 査読有

M. Yashima, H. Nishimura, H. Mukuda, Y. Kitaoka, K. Miyazawa, P.M. Shirage, K. Kihou, H. Kito, H. Eisaki, and A. Iyo, Strong-Coupling Spin-Singlet Superconductivity with Multiple Full Gaps in Hole-Doped $Ba_{0.6}K_{0.4}Fe_2As_2$ Probed by ^{57}Fe -NMR, J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 103702/1-4 (2009) 査読有

K. Miyazawa, K. Kihou, P.M. Shirage, C.-H. Lee, H. Kito, H. Eisaki, and A. Iyo, Superconductivity above 50K in $LnFeAsO_{1-y}$ ($Ln = Nd, Sm, Gd, Tb, \text{ and } Dy$) Synthesized by High-Pressure Technique, Journal of the Phys. Soc. Jpn. **78**, 034712-1~4 (2009) 査読有

〔学会発表〕(計 320 件)

T. Kimura (招待講演)、Current progress of research on spin-driven ferroelectrics, Inorganic Materials Conference 2010、2010年9月13日、Bellevue Centre (Biarritz, France)

Y. Kitaoka (招待講演)、Novel superconducting phases in Copper oxides and Iron-based compounds: NMR studies, Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2010)、2010年6月29日、The Santa Fe Convention Center, Santa Fe (USA)

K. Miyake (招待講演)、Roles of critical valence fluctuations in Ce- and Yb-based heavy fermion metals, (SCES 2010)、2010年6月29日、The Santa Fe Convention Center, Santa Fe (USA)

〔図書〕(計 1 件)

著者名: 北岡良雄、三宅和正、秋光純ほか共著
(福山秀敏、秋光純編)

出版社名: 朝倉書店

書名: 超伝導ハンドブック

発行年: 2009年、総ページ数: 312 (内 64)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 3 件)

名称: 電気磁気効果材料及びその製造方法

発明者: 木村剛ほか

権利者: 大阪大学

種類: 特許

番号: 特願 2010-138467

出願年月日: 平成 22 年 6 月 17 日

国内外の別: 国内

名称: 超電導材料、超電導薄膜及びその製造方法

発明者: 伊豫彰 等

権利者: 産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2009-220102

出願年月日: 2009 年 9 月 25 日

国内外の別: 国内

名称: 多バンド超伝導体及び該超伝導体を用いた超伝導デバイス並びに該超伝導体の作成方法

発明者: 田中康資、伊豫彰 等

権利者: 産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2009-189974

出願年月日: 2009 年 8 月 19 日

国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)