

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740248

研究課題名（和文） ネルンスト効果を用いた電荷秩序の観測

研究課題名（英文） Relation between charge order and Nernst effect.

研究代表者

藤井 武則 (FUJII TAKENORI)

東京大学・低温センター・助教

研究者番号：80361666

研究成果の概要（和文）：

高温超伝導体に見られる異常なネルンスト効果の起源を調べるために、La 系高温超伝導体のストライプ秩序の強さを様々に制御し、ネルンスト効果を測定した。その結果、ストライプ転移温度 T_{ch} ～75K において明らかにネルンスト効果が増大することを見出した。また、ストライプを強くしていくと超伝導が抑制されるために、超伝導揺らぎが起きる温度 T_{fl} ～50K 以下でネルンスト効果が大きく減少することを見出した。これらの結果より、競合する秩序が交わる点(Quantum Critical Point)の近傍で超伝導が起こっていることが示された。

研究成果の概要（英文）：

We have precisely measured the Nernst effect in Nd-doped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ single crystals with controlling the strength of the stripe order. We found that the onset temperature T_{onset} , where the Nernst signal starts increasing, does not change conspicuously in spite of Nd-doping. At low temperatures, on the other hand, the absolute value of the Nernst signal is strongly suppressed in accordance with the strength of the stripe order. These results imply that the fluctuation of (charge) stripe order enhances the Nernst signal below T_{onset} at high temperatures, and then the stripe order enhanced by Nd-doping suppresses the superconducting fluctuation to reduce the Nernst signal at low temperatures. We also observed an increase of the Nernst signal below the charge order temperature T_{ch} which is observed in diffraction measurement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：高温超伝導

1. 研究開始当初の背景

高温超伝導体の不足ドープ領域において、

様々なプローブによって擬ギャップが観測されている。この擬ギャップの起源について

は、超伝導由来の電子対形成であると考えられるものと、超伝導と競合する何らかの電荷秩序によるものであると考える2つの立場がある。それぞれの立場によって、超伝導の発現機構の解釈が異なり、前者では、擬ギャップ温度 T^* 以下では、超伝導ギャップは開いているが、超伝導波動関数の位相が揃っていないために超伝導にならないというシナリオが考えられている。一方、後者では、競合する秩序が交わる点(Quantum Critical Point)の近傍で超伝導が起こるといったシナリオが考えられる。そこで、この擬ギャップの正体を突き止める事は、超伝導発現機構の解明にきわめて重要である。

一方、電子状態の空間分布を直接見るのできる STM では電荷の不均一が観測され、さらに T_c 以下の超伝導状態におけるスペクトルには低バイアス側の超伝導ギャップと高バイアス側の擬ギャップが観測される。また、低ドーピング領域の角度分解光電子分光の実験では、2つのギャップが観測され、ノード付近(フェルミアーク端)のギャップは、低ドーピング領域においてドーピング量を減らすと小さくなり、アンチノード方向のギャップとは違った振舞いをする。これらは即ち超伝導状態と擬ギャップが共存することを意味しており、超伝導状態においても電荷秩序が存在することを示している。

このように、電荷秩序と高温超伝導の関係を理解することは、超伝導機構の解明にとって重要である。そこで、トランスポートなどのマクロなプローブでの電荷秩序に対する理解を深め、電荷秩序を観測できる新しいプローブを確立することは非常に重要である。

2. 研究の目的

銅酸化物高温超伝導体においては超伝導転移温度 T_c よりはるかに高温からネルンスト効果が増大することが報告されている。これは $vortex$ が流れることによって起きると解釈されており、すなわち T_c 以上において超伝導由来の電子対が形成されることを意味する。一方、電荷秩序(CDW)によっても大きなネルンスト効果が発現するという報告もあり、その場合、競合する秩序状態が交わる量子臨界点付近で超伝導が起きているというシナリオも考えられる。本研究では、電荷密度波(CDW)や電荷の自己組織化などの電荷秩序を、ネルンスト効果を用いて観測する方法を確立し、高温超伝導体のネルンスト効果の起源を明らかにするとともに、超伝導の発現機構の解明を目的とする。

3. 研究の方法

La系高温超伝導体は、超伝導とストライプ秩序が共に観測される系として知られているが、Ndをドーピングすることによって、ストラ

イブ秩序が安定化し T_c が減少することが報告されている。一方、Ndをドーピングしたサンプルに静水圧をかけると逆にストライプ秩序が壊されるという報告がある。

当初、我々は、 $La_{2-x-y}Nd_ySr_xCuO_4$ の y を様々に変化させることによって、電荷秩序の強さを変化させたサンプルのネルンスト効果を測定した。しかし、キャリア濃度を一定にしたまま、Ndのドーピング量を変化させたサンプルを作ることは難しい。そこで、圧力下におけるネルンスト効果測定装置を開発し、同一サンプルで電荷秩序の強さを変化させた一連の測定を行った。

ネルンスト効果とは、熱流と磁場に垂直な方向の電圧のことである。図1の様に、2つの銅板の間にサンプルを張り付け、片方の銅板をヒーターで温め、サンプルに温度勾配をつける。磁場を紙面垂直方向にかけ、熱流に垂直な方向の電圧を測定する。その時の温度差は、両方の銅板に取り付けたCernox温度計で読み取る。この電圧を温度差で割ったものがネルンストシグナルになる ($N=V/\cdot T$)。

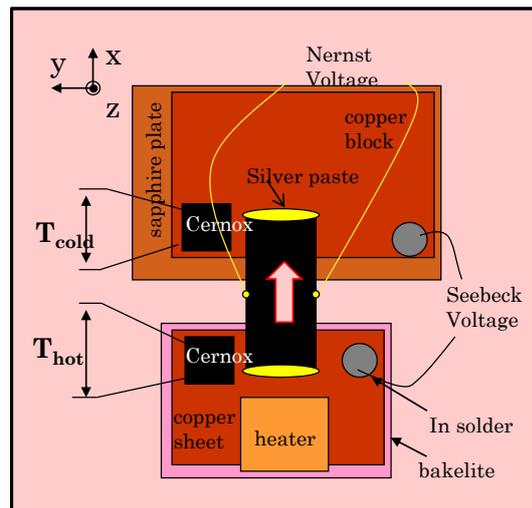


図1. 測定装置の模式図

圧力下におけるネルンスト効果の測定には、Physical Property Measurement System (PPMS・カンタムデザイン社)に装着が可能なピストンシリンダー型の圧力セルを用い、圧力媒体にはダフニー7373を用いた。図2に、今回作成した直径 ϕ 4mmの圧力セルに入るようセットアップしたネルンスト効果測定装置の写真を示す。図の様に、2つの銅板の間にサンプルを張り付け、片方の銅板をヒーターで温め、サンプルに温度勾配をつける。磁場を紙面垂直方向にかけ、熱流に垂直な方向の電圧を測定する。その時の温度差は、両方の銅板に取り付けたCernox温度計で読み取る。サンプルにかかる圧力の値は、サンプルの近くに取り付けたPbもしくはSnの抵抗を測定し、超伝導転移温度の変化から決定した。

また、圧力によってCernox 温度計の抵抗値も変化するが、それらは、各圧力下でネルンスト効果の測定前に校正している。

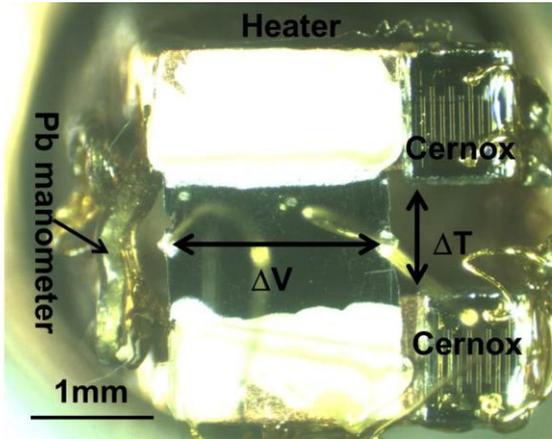


図2. 圧力セル中のネルンスト効果測定用セットアップ

4. 研究成果

我々は当初、Nd をドーピングするとストライプ秩序が安定化するため、ネルンストシグナルが増大し始める温度 T_{onset} が高くなるであろうという予測のもとでネルンスト効果の測定を行った。

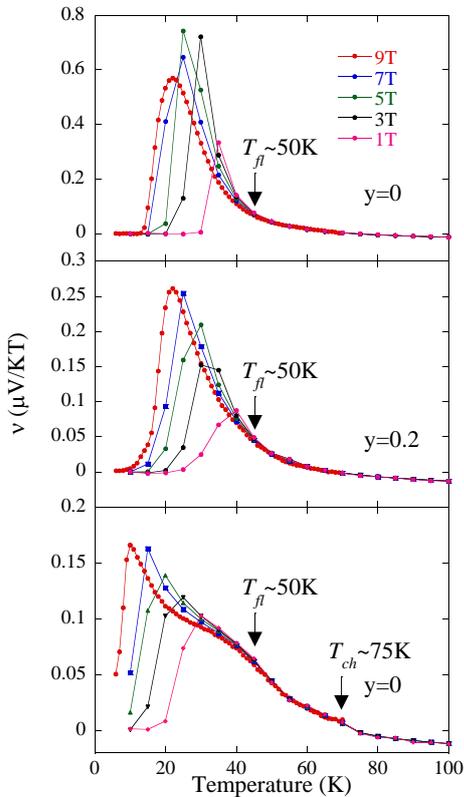


図3. $\text{La}_{2-x-y}\text{Nd}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ のネルンストシグナル

図3に $\text{La}_{2-x-y}\text{Nd}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ においてNdの量を

様々に変化させた時のネルンスト電圧を示す。ネルンスト電圧が磁場依存性を示す温度 $T_{fl} \sim 50\text{K}$ は超伝導揺らぎの起きる温度と考えられ、Ndドーピングによってほとんど変化しない。また、 $y=0.4$ の $T_{ch} \sim 75\text{K}$ 付近ではネルンスト係数が増大しており、ストライプ秩序によってネルンストシグナルが増大することが明らかになった。

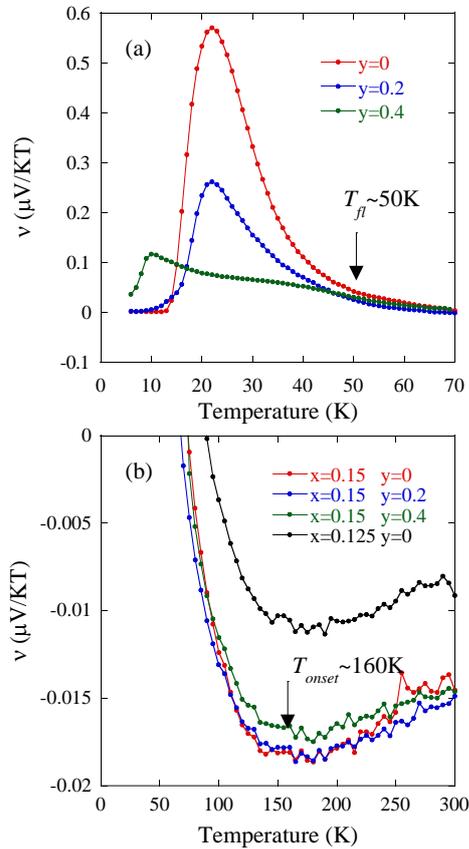


図4. 9Tにおけるネルンストシグナルの比較

図4(a)に9Tにおけるネルンスト電圧のNdドーピング依存性を示す。超伝導揺らぎの起きる温度 T_{fl} 以下においてNdをドーピングするとネルンスト電圧が劇的に減少している。これは、電荷秩序が超伝導を壊すためだと考えられる。また図4(b)に見られるように、当初の予想と異なり、ネルンスト係数が増加し始める温度 T_{onset} は、 T_c が大きく減少するにもかかわらず大きく変化しないことが分かった。

以上の結果から、超伝導揺らぎは $T_{fl} \sim 50\text{K}$ 付近から発達しており、 T_{onset} からみられるネルンストシグナルの増大は、ストライプ秩序の揺らぎ(動的なストライプ)によるものだと考えられる。

次に、上記の実験を確かめるために、圧力下においてネルンスト効果を測定した。Ndドーピングによるストライプ秩序の制御の場合、キ

キャリア濃度を一定に保ったまま、Ndの量を変化させた単結晶を作成することが大切であるが、完全にキャリア濃度が同じ試料を作成することは難しい。静水圧をかけることによって、同一のサンプルでキャリア濃度や不純物の量を変化させることなくストライプ秩序の強さを制御することができる。

図5に $\text{La}_{2-x-y}\text{Nd}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ((a) $x=0.125, y=0.4$, (b) $0.15, y=0.4$) の9 Tにおけるネルンストシグナルの圧力依存性を示す。

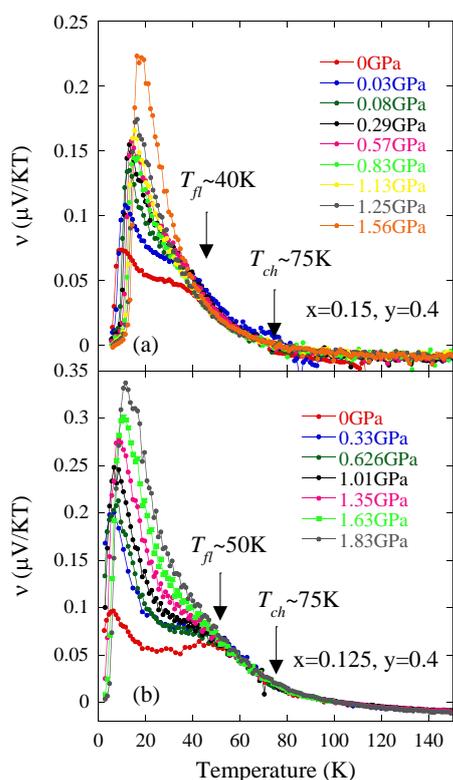


図5. ネルンストシグナルの圧力依存性

圧力を増加させると T_{FI} 以下でネルンストシグナルが増加する。このことは圧力によってストライプ秩序が抑えられ、超伝導揺らぎが大きくなっているためだと考えられる。一方、 T_{FI} 以上ではネルンストシグナルは圧力依存性がなく、 T_{onset} も圧力によって変化しない。

以上の結果から、超伝導揺らぎは T_{FI} 以下で発達し、 T_{onset} はストライプ秩序の揺らぎが発達し始める温度と考えられる。 T_{onset} が Ndドーピングや圧力によって変化しないのは、構造相転移によってストライプ秩序が安定化する温度 T_{ch} は変化しても、動的なストライプの揺らぎが発生する温度は、本質的にキャリア濃度のみによって決まるためだと考えられる。超伝導相図に関しては、「電荷(ストライプ)秩序の相境界付近において超伝導が起きているような相図が示唆される。

今回の研究課題においては、研究計画に掲げた目的は達成できたと思われる。まず、高

温超伝導体のネルンスト効果の起原が、電荷(ストライプ)秩序の揺らぎによるものであることが明らかになり、そのことから、高温超伝導が、この電荷秩序の相境界近傍において発現していることが分かった。

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 1 件)

- ① 藤井武則、松嶋友則、丸岡敏秀、朝光敦、Effect of stripe order strength for the Nernst effect in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ single crystals, Physica C, 査読有、207、2010、S21

〔学会発表〕(計 7 件)

- ① 藤井武則、松嶋友則、丸岡敏秀、朝光敦、銅酸化物高温超伝導体のネルンスト効果、日本物理学会、平成 21 年 9 月 27 日、熊本大学
- ② 藤井武則、朝光敦、銅酸化物高温超伝導体のオーバードープ領域におけるネルンスト効果、日本物理学会、平成 22 年 3 月 20 日、岡山大学
- ③ 藤井武則、朝光敦、The effect of disorder for the Nernst effect in High- T_c cuprates、9th International Conference Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors、平成 21 年 9 月 8 日、東京
- ④ 藤井武則、朝光敦、ネルンスト効果に対するストライプ秩序の影響(圧力効果)、日本物理学会、平成 23 年 3 月 26 日、新潟大学
- ⑤ 藤井武則、朝光敦、Effect of the Stripe Order on Nernst Effect、International Conference on Novel Superconductivity、平成 23 年 8 月 6 日、Tainan, Taiwan
- ⑥ 藤井武則、朝光敦、Pressure Dependence of Nernst Effect for $\text{La}_{2-x-y}\text{Nd}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 、The 26th International Conference on Low Temperature Physics、平成 23 年 8 月 12 日、Begin, China
- ⑦ 藤井武則、朝光敦、 $\text{La}_{1.85-y}\text{Sr}_{0.15}\text{Nd}_y\text{CuO}_4$ における Nernst 効果の圧力依存性、日本物理学会、平成 23 年 9 月 22 日、富山大学

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 武則 (FUJII TAKENORI)

東京大学・低温センター・助教

研究者番号：80361666