

平成 29 年 2 月 21 日

報道機関 各位

東北大学金属材料研究所

～電子の対を自在に制御～ 磁場と相性の良い超伝導のメカニズムを解明

【発表のポイント】

- 強磁性^{*1}と超伝導^{*2}が共存するウラン化合物 UCoGe の非従来型超伝導のメカニズム、および特異な磁場応答は、これまで大きな謎だった。
- 磁場を加える方向によって超伝導を担う電子の対が強められたり弱められたりすることが、極限環境下の物性実験によって明らかとなった。
- 磁場に対して強い超伝導の発現機構が解明されたことで、新奇な非従来型超伝導の発見、新たな超伝導材料の開発につながる。

【概要】

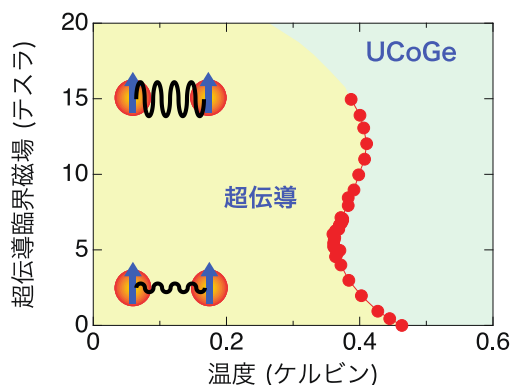
東北大学金属材料研究所の青木大教授は、CEA-Grenoble（フランス原子力庁）の研究者ジャンパスカル・ブリゾン（Jean-Pascal Brison）、博士学生ベイルン・ウ（Beilun Wu）らとともに、ウラン化合物強磁性体 UCoGe の超伝導発現機構を解明しました。

超伝導を担っている電子間の対の強さが、磁場とともに大きく変化し、磁場を加える方向によって強められたり弱められたりすることが分かりました。その結果、特定の方向では、磁場によって超伝導が強化されるという、これまでの常識をくつがえす現象が起きていることが分かりました。

本研究により新しいタイプの超伝導発現機構が明らかになったことで、今後さらに非従来型の超伝導体が見つかることが期待されます。また、磁場に強い超伝導材料が開発されることで、超伝導を利用した新たな製品開発につながることを期待されます。

本研究の成果は、2017 年 2 月 23 日（日本時間）付英科学誌「Nature Communications」に発表されます。

右図： 磁場によって安定化する強磁性超伝導体 UCoGe の相図。磁場を加えると超伝導電子対が強められる。



【詳細な説明】

背景

磁性と超伝導はこれまでお互いに相反する現象だと考えられてきました。とくに磁気モーメント^{*3}の向きがそろった強磁性状態は、超伝導に必要な2つの電子の対（超伝導電子対^{*4}）を破壊してしまうため、超伝導と強磁性は共存できません。本研究の対象物質であるウラン化合物強磁性体 UCoGe は、その中でも例外的な物質で、超伝導と強磁性が共存します。しかし、なぜ両者が共存するのか、なぜ磁場に対して特異な応答を示すのか、これまでよくわかっていませんでした。その超伝導発現機構を明らかにすることが、強く望まれていました。

成果

今回、UCoGe の超高純度の単結晶を育成し、その輸送現象（電気抵抗、熱伝導度）と磁化を極低温・強磁場という極限環境下で精密に測定しました。その結果、強磁性の磁気モーメントと平行に磁場を加えたときは超伝導電子対が弱められ、垂直に磁場を加えたときは逆に強められることが分かりました。このため、垂直に磁場を加えると、磁場に対して極端に強い超伝導が実現することが分かりました。通常、磁場を加えると超伝導は消えてしまいます。これに対して UCoGe は、磁場によって超伝導が安定化するという、通常とは全く異なる振る舞いを示します。この超伝導電子対の起源は、UCoGe が持つ強磁性ゆらぎであり、磁性と非常に相性の良い超伝導であることが分かりました。

展望および意義

磁場に対して強い超伝導体を見つけることは、実用上、重要な課題です。リニアモーターカーや医療現場で体の断層画像に使われる MRI など様々場面で超伝導磁石が使われています。この超伝導磁石は、自身が発生する強い磁場で超伝導を壊してしまう恐れがあるため、最大磁場には限界があります。今回、磁場に対して強い超伝導の発現メカニズムが解明されたことで、新奇な超伝導体の発見や磁場に強い新超伝導材料の開発に弾みがつきます。

共同研究機関および助成

本研究は、科研費・新学術領域研究「J-Physics:多極子伝導系の物理」および基盤研究(S)の補助を得て行われました。

発表論文

雑誌名： Nature Communications xxx, xxx(2017)

英文タイトル： Pairing mechanism in the ferromagnetic superconductor UCoGe

全著者： Beilun Wu, Gael Bastien, Mathieu Taupin, Carley Paulsen, Ludovic Howald, Dai Aoki, Jean-Pascal Brison

DOI: 10.1038/ncomms14480

専門用語解説

※1 強磁性

電子の持つスピンの向きがそろって、全体として自発的に磁気モーメントを持った状態です。例えば、鉄は代表的な強磁性体です

※2 超伝導

ある温度以下で電気抵抗がゼロになる現象です。超伝導は、BCS という理論によって良く理解されてきました。しかし、これまでとは異なる非従来型の超伝導が見つかって注目を集めています。強磁性超伝導もその一つです。

※3 磁気モーメント

磁力の大きさとその向きを表すベクトル量です。磁気モーメントは S 極から N 極の方向にむいています。単位体積あたりの磁気モーメントを磁化といいます。

※4 超伝導電子対

超伝導は、2つの電子が対を組むことによって実現します。従来型の超伝導は、電子のスピンの向きが上向きと下向きで対を組んでいます。一方、本研究の UCoGe は、電子のスピンの向きが同じ向き同士で対を組んでおり、非従来型の超伝導を示します。電子対が強いほど超伝導の安定化につながります。UCoGe の場合、電子対をつくる起源は強磁性のゆらぎであり、これが方向依存性を持つことで超伝導が強まったり弱まったりします。

本件に関するお問い合わせ先

◆研究内容に関して

東北大学金属材料研究所 附属量子エネルギー材料科学国際研究センター
教授 青木 大 (あおき だい)

茨城県東茨城郡大洗町成田町 2145-2

Tel: 029-267-3181 Fax: 029-267-4947

E-mail: aoki@imr.tohoku.ac.jp

◆報道に関して

東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班
横山 美沙 (よこやま みさ)

Tel: 022-215-2144 Fax: 022-215-2482

E-mail: pro-adm@imr.tohoku.ac.jp