

ウラン化合物の新奇エキゾチック超伝導

[1] 要旨：

東北大学金属材料研究所と CEA-Grenoble の研究チームは、ウラン化合物 UTe_2 の新奇な超伝導状態を明らかにした。この物質ではスピン三重項という特殊な超伝導状態であり、このため磁場を加えても壊れにくい超伝導が実現している。また、ウランの 5f 電子がゆっくりと結晶中を動きながら伝導に寄与しており、「重い電子状態」が実現している。一方、伝導を担うキャリア数が小さな半金属でもあるため、今後、新奇な電子状態が次々に明らかになることが期待される。

[2] 本文

核燃料として利用されるウランは、基礎研究という面からも大変興味深い性質を持っている。特にウラン化合物を低温に冷やした時に現れる超伝導の多くは、通常とは異なる非従来型超伝導であるだけでなく、カイラル超伝導・トポロジカル超伝導・磁場誘起超伝導など、現代物理の最前線としての格好の舞台を提供している。

東北大学金属材料研究所と CEA-Grenoble（フランス原子力庁）の国際共同研究チームは、最近 UTe_2 （ウラン テルル 2）というウラン化合物の単結晶育成に成功し、エキゾチックな性質を持つ超伝導であることを明らかにした。この物質は通常の超伝導体と比べて、磁場を加えても超伝導がなかなか壊れないという特徴的な性質を示す。これは、 UTe_2 が強磁性秩序を示す状況寸前にある物質であること、ウランの 5f 電子が結晶中をゆっくり動きながら重い電子状態を形成していること、そしてスピン三重項超伝導という新奇な超伝導状態が実現していることを示している。また、 UTe_2 の電子状態の理論的な計算によって、電気伝導を担うキャリア数が極端に小さな半金属でありながら重い電子状態になっていることが示されている。これは、磁場、圧力などで UTe_2 の性質を自在に制御できることを示唆しているこの成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2019 年 4 月号に掲載された。

凝縮系物理の分野において、電子間の相関が強く磁性と密接に関連した超伝導は、研究者の注目を集めている。特にウラン化合物では、強磁性超伝導という相反する二つの状態が共存する物質が知られており、従来とは異なる超伝導メカニズムが実現している。今回、発見された新奇超伝導体 UTe_2 は常磁性体にもかかわらず、強磁性超伝導によく似た性質を持っている。それは、磁場に対して壊れにくい超伝導であるという点である。低温で磁場を加えるとある臨界磁場で超伝導が破壊される。臨界磁場は通常、超伝導転移温度によって決まっている。ところが UTe_2 の臨界磁場は、図に示すように、期待される臨界磁場に比べて 5 倍以上も大きいことがわかった。一般に、超伝導は二つの電子が対（超伝導電子対）を形成することで実現する。通常の超伝導体の場合、超伝導電子対は二つの電子のスピン向きが反対のスピン一重項を形成する。ところが UTe_2 の場合は、スピンが同じ向きのスピン三重項状態を形成している。スピン三重項の場合、磁場を加えても超伝導電子対はなかなか破壊されない。つまり UTe_2 の超伝導電子対はスピン三重項を形成しているため、高い超伝導臨界磁場を持つのである。これは、すでに知られている URhGe 、 UCoGe などの強磁性超伝導体とよく似た超伝導状態である。 UTe_2 は磁気秩序を持たない常磁性体であるが、何らかの理由で強磁性が隠された状態になっていると推察される。 UTe_2 のもう一つの特徴は、上で述べたように、電気伝導を担うキャリア数が少ない半金属でありながら重い電子状態を形成しているという点

である。そのため、磁場、圧力、歪み、化学置換などによって容易に電子状態を制御できることが期待される。今後、磁場誘起超伝導などウラン化合物特有の驚くべき新奇量子相が明らかになる可能性を秘めている。トポロジカル超伝導としての研究の発展や新たな超伝導体、超伝導材料の開発などが期待される。

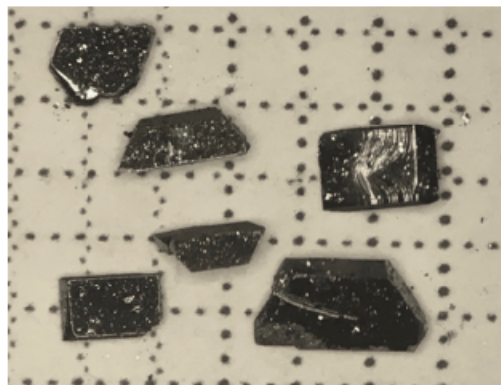
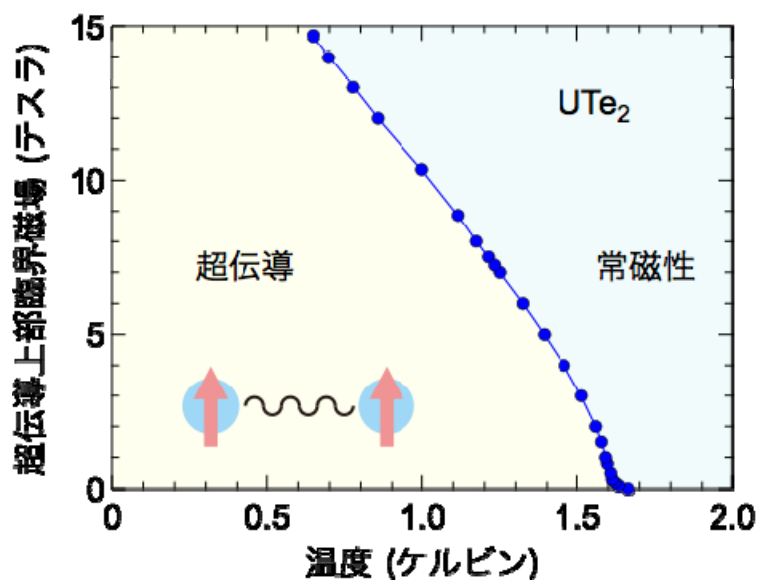


図 1. UTe_2 の超伝導相図と単結晶の写真

原論文

Unconventional Superconductivity in Heavy Fermion UTe_2

D. Aoki, A. Nakamura, F. Honda, D. X. Li, Y. Homma, Y. Shimizu, Y.J. Sato, G. Knebel, J.-P. Brison, A. Pourret, D. Braithwaite, G. Lapertot, Q. Niu, M. Vališka, H. Harima and J. Flouquet: J. Phys. Soc. Jpn. **88**, 043702 (2019).

<情報提供：青木 大（東北大学金属材料研究所、教授）>

News and Comments

UTe_2 : A New Spin-Triplet Pairing Superconductor

A. de Visser, JPSJ News Comments **16**, 08 (2019).