

平成 28 年 11 月 4 日
国立大学法人 九州工業大学
国立大学法人 九州大学
公立大学法人 兵庫県立大学

～超伝導転移温度上昇への新たな道筋を開拓～ レニウム金属の超伝導転移温度が“せん断ひずみ” によって飛躍的に上昇するメカニズムを解明

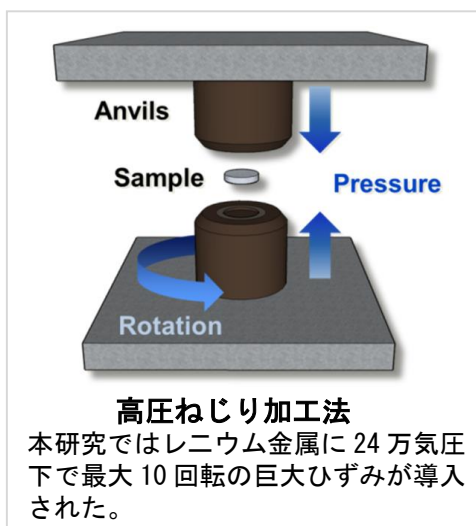
九州工業大学、九州大学、兵庫県立大学、産業技術総合研究所の研究者は、レニウム金属の超伝導転移温度が“せん断ひずみ”の導入によって本来の値の約 2 倍まで上昇することを物理的に解明しました。この現象は、“せん断ひずみ”によって単位胞の体積が増加し、電子状態の変化に伴って電子格子相互作用が増加したことによると説明できます。この成果は、超伝導という巨視的な量子現象が材料工学的な組織微細化技術で操作できることを示すものであり、超伝導転移温度上昇への新しい研究手法を開拓したことになります。このように、本来、材料の組織を破壊する“せん断ひずみ”が、巨視的な量子現象を安定化させることを実験的・理論的に明らかにしたことは、物性研究の常識を覆す成果と言えます。

本研究成果は 11 月 4 日(英国時間 10 時)、英国科学誌 Nature の姉妹紙「Scientific Reports」に掲載されます。

背景・目的

ゼロ電気抵抗や完全反磁性を示す超伝導体は、100 年を超える研究の歴史を有しています。超伝導転移温度上昇を目指した研究の一つに高圧力実験があります。超伝導体を柔らかい物体で覆った状態で応力を印加することで、等方的な応力（静水圧力）を作用させて構造を変形させ、電子状態の変化につなげる方法です。大気圧下で超伝導を示す 29 種の単一元素の内、高圧力下で超伝導転移温度が上昇するものは 11 種あり、上昇する元素の方が少ない状況です。一般に高圧力をかけると物体は“せん断ひずみ”のため結晶性が悪くなり、良質の圧力実験のためには、この“せん断ひずみ”をいかに小さくすることが大切になります。しかし、今回、レニウムにおいては、この“せん断ひずみ”が超伝導転移温度を劇的に上昇させることが明らかになりました。

材料加工技術の中に、数万気圧の圧力をかけた状態で横回転のひずみを加える“高圧ねじり加工”と言うものがあります。たとえば、20m 以上も積み上げた車を 1mm ほどの厚さにまで潰してひずみを導入できる方法です。高強度材料の作製や高性能機能材料（たとえば水素貯蔵材料など）を開発する方法として、大変注目されています。レニウム金属は、1968 年の段階で、残留ひずみが超伝導に影響することは知られていたのですが、それ以降、この現象が詳しく調べられることはありませんでした。この度、上記の高圧ねじり加工技術を利用



してレニウム金属に“せん断ひずみ”を効果的に導入させ、導入量を定量的に制御して、“せん断ひずみ”がレニウム金属の超伝導転移温度に及ぼす影響を系統的に調べることにしました。

成果

高圧ねじり加工法を通じて、レニウム金属に“せん断ひずみ”を系統的に与えた物性実験によって、超伝導転移温度を無ひずみ状態の約2倍の値まで上昇させることに成功しました。また、その時の超伝導特性と結晶構造を実験的に追跡し、さらに結晶構造データをもとに電子状態の計算をすることによって次のことを明らかにすることができました。“せん断ひずみ”が組織の微細化をもたらす際に、結晶の最小繰り返し単位である「単位胞」の体積が膨張し、それが電子状態の変化を引き起こし、電子格子相互作用が大きくなったため、超伝導転移温度が上昇したというものです。実は、24万気圧の高圧ねじり加工法での超伝導転移温度の最高値と、身の回りの紙やすりでひずみを導入した（いわゆる、やすりをかけた）ときの超伝導転移温度を比べると、後者の超伝導転移温度の方が高く、加圧の要素より“こする”という要素、つまりせん断ひずみがこの物質においては極めて有効であることが判明しました。

マクロレベルで電子の波動関数の位相が揃う超伝導現象が、構造組織を破壊する材料工学的手法で、それも、わずかな“せん断ひずみ”で、飛躍的に安定化することは、物質科学的な常識を覆すものであり、超伝導転移温度上昇への新しい研究手法を開拓したことになります。今後、“せん断ひずみ”がもたらす金属電子物性が大いに注目されます。

<用語の解説>

- 注 1 超伝導は電子の波動関数の位相がマクロレベルで揃うという量子現象であり、ゼロ電気抵抗や完全反磁性という物性を示し、低エネルギー社会実現のため既に広い分野で使用されています。しかし、大気圧下で、超伝導になる温度（超伝導転移温度）は約 130K（マイナス 140℃）に留まっています。
- 注 2 せん断ひずみとは、形状の対称性を変形させるひずみであり、例えば、正方形を菱形に変形させるタイプのひずみです。一方、静水圧力は正方形を維持したまま圧縮変形させます。
- 注 3 高圧ねじり加工 (HPT) とは、巨大ひずみ加工の一種であり、対象物に数万気圧以上の圧力を印加しながら回転でねじり変形を加える加工方法で、材料工学の分野では構造材料・機能性材料開拓の研究に利用されています。九大の堀田教授がこの分野の第一人者です。

発表論文の詳細 (<http://www.nature.com/articles/srep36337>)

雑誌名 : Scientific Reports

論文タイトル: Large enhancement of superconducting transition temperature in single-element superconducting rhenium by shear strain

著者 : Masaki Mito¹, Hideaki Matsui¹, Kazuki Tsuruta¹, Tomiko Yamaguchi¹, Kazuma Nakamura¹, Hiroyuki Deguchi¹, Naoki Shirakawa², Hiroki Adachi³, Tohru Yamasaki³, Hideaki Iwaoka⁴, Yoshifumi Ikoma⁴, and Zenji Horita^{4,5}

所属 : ¹ Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu, Japan;

² Flexible Electronics Research Center (FLEC), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, Japan; ³ Graduate School of Engineering, University of Hyogo, Himeji, Japan; ⁴ Department of Materials Science

and Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, Fukuoka, Japan; ⁵
International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (WPI-I2CNER), Kyushu
University, Fukuoka, Japan.

本研究は、九州工業大学戦略的研究ユニット化促進プロジェクト“高温超伝導体のさらなる転
移温度向上を目指した物質設計ユニット”、日本学術振興会 科学研究費補助金 新学術領域
“バルクナノメタル”、同基盤研究(B)、九州大学巨大ひずみマテリアル国際研究センターの
支援を受けて行われました。

問合わせ先

【研究内容について】

美藤正樹

九州工業大学 大学院工学研究院 基礎科学研究系 量子物理学部門 教授

Tel/FAX : 093-884-3286

E-mail : mitoh@mns.kyutech.ac.jp

戦略的研究ユニット HP : <http://kyutech-scunit.com/>

堀田善治

九州大学大学院工学研究院 材料工学部門 主幹教授

TEL : 092-802-2958 / FAX : 092-802-2992

E-mail : horita@zaiko.kyushu-u.ac.jp

研究室 HP : <http://zaiko6.zaiko.kyushu-u.ac.jp/>

巨大ひずみマテリアル国際研究センターHP : <http://irc-gsam.kyushu-u.ac.jp/>

足立大樹

兵庫県立大学 大学院工学研究科 材料・放射光工学専攻 准教授

Tel/FAX : 079-267-4117

E-mail : adachi@eng.u-hyogo.ac.jp

研究室 HP : http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/msc/msc14/mts_bc.html

【研究内容以外について】

九州工業大学 総務課 広報企画係

Tel/FAX : 093-884-3007/093-884-3015

E-mail : sou-kouhou@jimu.kyutech.ac.jp

九州大学 広報室

Tel/FAX : 092-802-2130/092-802-2139

E-mail : koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

兵庫県立大学 姫路工学キャンパス 総務課

TEL 079-266-1661, FAX 079-266-8868

E-mail toshie_inoue@ofc.u-hyogo.ac.jp