

# 鉄系超伝導体の超高速な結晶構造変化を実現

—光による新しい超伝導操作の可能性を示唆！—

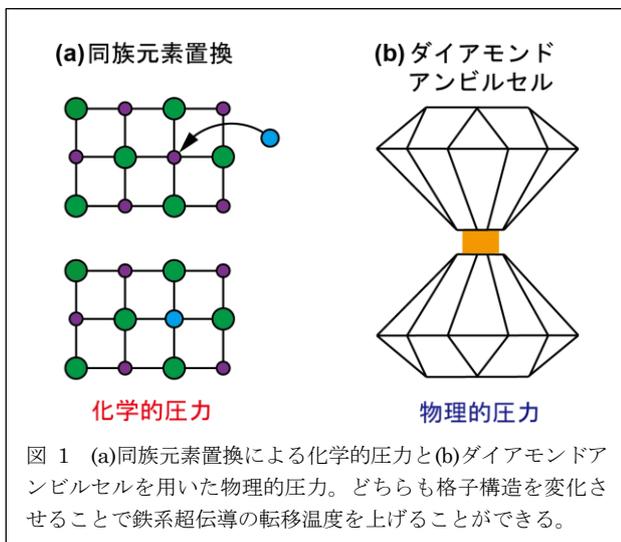
附属極限コヒーレント光科学センター

鈴木 剛、岡崎 浩三

## 1. はじめに

超伝導は、電気抵抗がゼロになることから損失のない電気エネルギーの輸送を可能にし、リニアモーターへの利用など、持続可能な開発目標を目指すこれからの生活に必要な不可欠な材料といえる。ここで超伝導状態にするには、通常絶対零度に近い極めて低い温度にする必要があり、そのために希少な天然資源である液体ヘリウムを大量に消費するなどの問題点がある。そこで、より高い温度で超伝導状態を実現することが1世紀以上の課題であった。最近、100 GPa以上に及ぶ超高压をかけることで超伝導状態が室温で実現する物質が報告されており、基礎学理及び応用の観点から大きな注目を集めている [1][2]。しかしながら、通常、圧力をかける方法としてダイヤモンドアンビルセルが用いられているが、これでは高压がかかる面積が極めて小さいため実用には難しいという状況であった。

一方、超伝導を発現させる物質に注目すると、銅酸化物超伝導体に次ぐ高い転移温度を示す鉄系超伝導は、2008年に東京工業大学の細野秀雄教授らにより発見されてから精力的に研究され、その特異な電子・磁気構造が報告されてきた。特に、図1(a),(b)に示すように、同族元素置換や圧力などによるわずかな結晶構造変化により超伝導転移温度が急激に上昇することから、より高い転移温度の実現や結晶作成の指針に向けて興味深く研究されてきた [3]。



## 2. 実験結果と議論

このような背景の中、我々は、数 GPa の圧力印加により転移温度が顕著に上昇する鉄系超伝導体  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  を対象として、「光」により結晶構造変化を実現させることを試みた [4]。光照射後の超高速な結晶構造変化を捉えるために、国内唯一の自由電子レーザー施設 SACLA を用いて X 線回折法の時間分解測定を実施した。図 2(a)に測定の概念図を示す。まず、パルス状の光を  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  に照射し、その後、SACLA による高輝度で短パルス化された X 線を用いて、X 線回折測定を行うことで、光照射後の結晶構造をスナップショットとして観測することができる。特にこの測定では、結晶からの X 線回折の角度変化を観測することで、光照射による結晶構造の伸縮について知見を得ることができる。さらに、図 2(b)に示すように、照射する光と X 線の時間差を変えながら測定していくことで、時事刻々変化する結晶構造のダイナミクスを捉えることが可能になる。

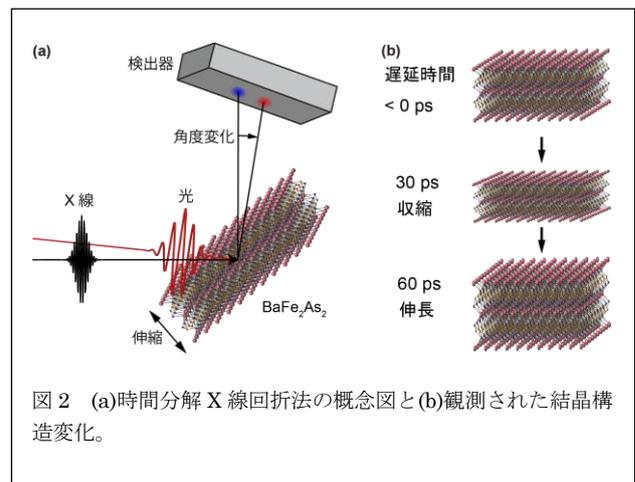


図 3(a)は、(008)ブラックピーク測定から決定した、光照射により引き起こされた結晶面間距離における時間変化を示している。光照射後約 30 ps 後に一旦結晶構造が収縮して、その後、約 60 ps 後に伸長する様子が見て取れる。単純な熱励起を考えると結晶の温度上昇が起こるはずなので、面間距離の伸長のみが予想されるため、最初の収縮は説明がつかない。したがって、観測された結晶面間距離の



励起直後に形成される深さ方向への急峻な電子温度勾配により生み出されることが明らかになった。これがまさに、実験結果の 30 ps で見られた収縮に相当する。その後 50-150 ps にかけて表面から歪みが伸長していく様子が見取れるが、これは格子温度の上昇に伴う熱膨張に起因し、これが 60 ps で見られる伸長に対応することが分かった。

### 3. まとめと将来展望

本研究成果では、鉄系超伝導体に「光」で収縮応力をかけることを世界で初めて実証した。その大きさは約 0.1 GPa 程度ながら、非接触かつ大面積に印加できることから、ダイヤモンドアンビルセルの使用では困難であった様々な測定が可能になることが期待される。さらに、この方法は超高速で行えることにより、圧電素子をはじめとする超高速電気光学デバイスや量子メモリーなどの量子情報処理における制御・操作方法の指針を与えることが期待される。

### 謝辞

本研究は、東京大学物性研究所(田久保耕、伊藤俊、山本航平、道前翔矢、松田巖、幸埴 各氏(所属は全て研究当時))、高輝度光科学研究センター(久保田雄也、富樫格、矢橋牧名 各氏(所属は全て研究当時))、兵庫県立大学(和達大樹氏)、理化学研究所(中村飛鳥、下志万貴博 各氏)、及び東京工業大学(佐藤光、平松秀典、細野秀雄 各氏(所属は全て研究当時))の共同研究により行われました。また、文部科学省科学研究費補助金 新学術領域(研究領域提案型)「量子液晶の物性科学」(JP19H05824, JP19H05826)、文部科学省「光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)」(JPMXS0118068681)、JSP 科研費(JP18K13498, JP19H00659, JP19H01818, JP19H00651)の助成のもとに行われました。ここに感謝します。

### 参考文献

- [1] M. Somayazulu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **122**, 027001 (2019).
- [2] E. Snider *et al.*, Nature (London) **586**, 373 (2020).
- [3] K. Matsuura *et al.*, Nat. Commun. **8**, 1143 (2017).
- [4] T. Suzuki *et al.*, Phys. Rev. Research **3**, 033222 (2021).

