

卒業研究中間報告書: IrTe₂ における準安定な超伝導相の光誘起

東京大学工学部物理工学科 賀川研究室 平松信義

1 背景: IrTe₂ の準安定な超伝導相

1986 年に銅酸化物高温超伝導体が発見されて以来、強相関電子系と呼ばれる物質群は精力的な研究の対象となってきた。強相関電子系を特徴づける電子間の相対的に強い反発力は、超伝導を発現することがある一方で、電荷やスピンなどの秩序化も担う。これらの超伝導相と秩序相は起源を同じくするため、物質中で競合または共存^{1,2}しており、一方の理解は他方の理解にも繋がる。したがって新しい超伝導物質や超伝導状態の開拓のためには秩序相の理解が有益である。

遷移金属カルコゲナイド IrTe₂ は低温で構造相転移し電荷が一次元的に配列する電荷秩序状態 (電荷密度波) となるが、この物質にパラジウム (Pd) を添加すると臨界温度 3K で超伝導を示す³。近年、電荷秩序状態にある薄膜の IrTe₂ 試料に電流パルスを印加すると試料の急冷が起これ、秩序相が破壊されて競合する超伝導状態が (準安定) 現れることが実験により示された⁴。しかし電流パルス印加では試料の冷却速度に上限があり、急冷後に現れる超伝導相とその相転移のメカニズムに関していまだ理解されていないことが多い。

2 本研究の目的

本研究の目的は IrTe₂ の超伝導状態をレーザーパルス光を用いた急冷から誘起できることを示し、その超伝導状態が実現される過程の理解を深めることである。パルス光を用いると試料の高速な加熱・冷却が可能であり、より多くの物質に関して超伝導を発現できる期待がある。また光を用いるとパターンニングされた超伝導回路を、試料上に繰り返し書き込みすることが可能になり、幅広く応用の可能性を考えられる。

筆者はパルス光を試料に入射できる偏光顕微光学系を構築し、試料を観察しながら超伝導状態を光誘起することを目標とした。筆者はまず予備実験として、光学クライオスタット内の IrTe₂ 試料の抵抗を測定しながら温度を変化させ、偏光顕微鏡によって試料の秩序相を観察した。本報告書ではその予備実験によって得られた成果と今後の展望について報告する。

3 これまでに得られた結果

試料の相転移を観察するために、試料の温度を 300K から 50K までレート 1K/min で冷却したあと、同一のレートで 50K から 300K まで加熱した。図 1 に抵抗の温度に関するヒステリシス曲線を示す。冷却中は 270K 付近と 110K 付近で、不連続に抵抗が増加した。加熱中は 280K 付近で不連続に抵抗が減少した。また 240K 付近で特徴的な抵抗の増加が見られる。抵抗の不連続な変化に対応して、偏光顕微鏡写真は定性的に大きく変化した。

図 2a と図 2b に、温度 250K と 100K で撮影した偏光顕微鏡写真をそれぞれ示す。図 2a と図 2b は試料の対応する領域を、同一の実験条件で撮影したものである。

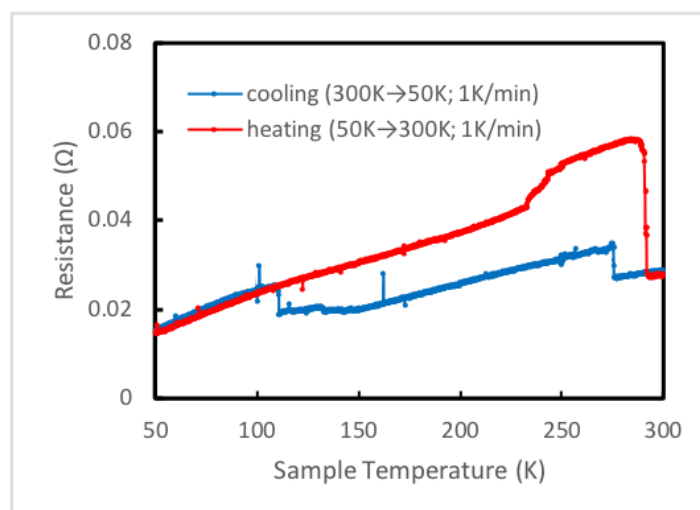


図 1: 抵抗の温度依存性

図 2a から反射光の強度が大きい (明るい) 領域と反射光の強度が小さい (暗い) 領域が明瞭に見て取れる。明るい領域は異方的な構造を持つことが分かる。明るい領域と暗い領域の境界は三方向に伸びており、それらの方向はお互いに概ね角 60 度をなしていた。さらに繰り返し実験を行うと相転移後の明暗のパターンは毎回異なり、再現しないことが分かった。以上で述べたような明暗のパターンは 300K の顕微鏡写真では見られなかった。

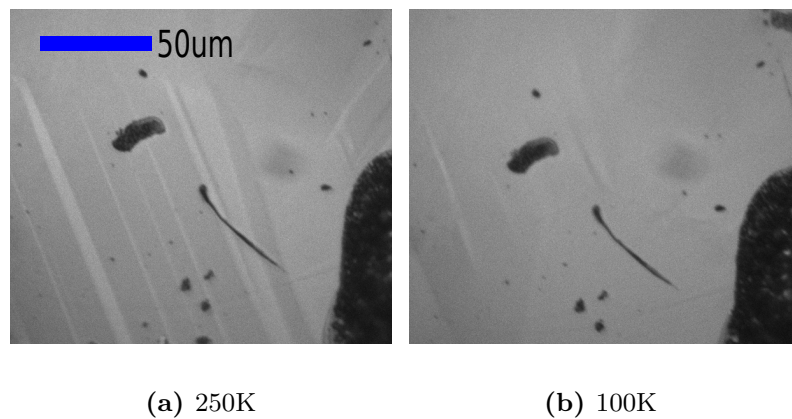


図 2: バルク IrTe₂ 試料の偏光顕微鏡像

図 2b(100K) を図 2a(250K) と比較すると、明暗のパターンが変化していることがわかる。また 100K ではコントラストが小さくなった。100K の顕微鏡写真に特徴的な明暗のパターンは、加熱しても元に戻らず 290K まで保たれた。

4 結果に関する考察

試料を 300K から冷却してゆくと 280K 付近で抵抗が不連続に変化し、顕微鏡像に明暗のパターンが現れた。この明暗のパターンは 300K の相 (高温相) では見られなかった。これらの結果は少なくとも一部の領域に秩序相が現れた証拠である。また実験からこの秩序相が異方的であることを確かめた。明るい領域と暗い領域の境界が三方向に伸びている結果は、高温相の結晶の三重回転対称性を反映したものである。さらに本実験から、秩序相への転移後の明暗のパターンが繰り返し再現しないことが分かった。この結果は相転移時に秩序相の核ができる位置が繰り返しごとに異なることを意味し、核生成が確率的な事象であることを示唆する。

試料を 250K から冷却してゆくと 110K 付近で、さらに抵抗が不連続に変化し、顕微鏡像の明暗のパターンが変化した。秩序相が異なる第二の秩序相にさらに相転移した証拠だと筆者は考える。冷却中に 110K 付近で現れた第二の秩序相の顕微鏡写真に特徴的な明暗のパターンは、加熱してゆくと遅くとも 250K でも保たれた。このような特徴的なヒステリシスの効果は先行研究^{5,6}でも確認されている。110K で現れた相が先行研究で示されたような第二の秩序相であるとの考えを裏付ける。

5 今後の展望

筆者はバルク IrTe₂ 試料を温度変化させながら偏光顕微鏡で観察した。300K から除冷してゆくと偏光顕微鏡写真から、280K 付近で異方性のある秩序相が現われ、さらに 110K 付近で異なった秩序相が現れることを確認した。バルク IrTe₂ 試料の秩序相とその相転移を観察できたこの成果は薄膜試料にも直ちに適用でき、薄膜を急冷した際に現れる超伝導相をよりよく理解するために極めて有益である。今後の実験では薄膜試料に光パルスを入射して超伝導相を誘起し、その超伝導相への転移のメカニズムを明らかにしたい。

参考文献

- ¹ D. Fausti et al., Science **331**, 189 (2011)
- ² Q. Li et al., Physical Review Letters **99**, 067001 (2007)
- ³ J. J. Yang et al., Physical Review Letters **108**, 116402 (2012)
- ⁴ H. Oike et al., Science Advances (accepted), (2018)
- ⁵ C. Chen et al., Physical Review B **95**, 094118 (2017)
- ⁶ P.-J. Hsu et al., Physical Review Letters **111**, 266401 (2013)