

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	Ivan Kostylev (イワン コスティレフ)
論文題目	Uniaxial-Strain Control of Nematic Superconductivity in $\text{Sr}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ (一軸ひずみによる $\text{Sr}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ のネマティック超伝導の制御)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、伝導電子が超伝導になることで回転対称性を破る「ネマティック超伝導状態」という新奇な超伝導状態に関して、その性質、特に超伝導ドメイン (分域) 状態を、一軸性のひずみで制御することに成功した研究成果をまとめたものである。</p> <p>Chapter 1では、ネマティック超伝導とは何かについて簡単に紹介するとともに、近年の一軸性圧力を用いた実験の発展についても紹介している。さらにそれらを踏まえて、本研究の動機と本論文の概要を述べている。</p> <p>Chapter 2では、ネマティック超伝導の詳細について、特にドーピングされたBi_2Se_3系に関して近年報告されている実験や理論がまとめられている。また、ネマティック超伝導に関する現時点での未解決問題にも触れている。</p> <p>Chapter 3では、本研究で製作したひずみ印可装置について詳細に記述している。一軸性ひずみを印可する装置として、ピエゾ素子を用いた装置が最近開発されて注目されているが、Kostylev氏はこれの改良版を自ら設計・製作し、計算シミュレーションを用いてその性能を評価した。この装置により、1.6%もの大きな一軸性ひずみを試料に印加できるようになった。それだけでなく、この装置ではサンプル内に生じるひずみ分布を非常に均質にできることが分かった。</p> <p>Chapter 4では、この新しいひずみ印可装置を用いた、ネマティック超伝導体$\text{Sr}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$へのひずみ印可実験の詳細を報告している。本研究では、この物質のa軸方向へのひずみを印加し、超伝導性の変化を測定した。より具体的には、電気抵抗測定を様々な磁場方向で行い、超伝導が壊れる磁場 (上部臨界磁場) の磁場方向に対する依存性を、様々なひずみの下で評価した。試料にひずみを印可する前は、上部臨界磁場に複雑な方向依存性が観測され、試料内にネマティック超伝導秩序のドメイン構造が存在していることがわかった。この複雑な方向依存性は、1%程度の圧縮ひずみの印加によって可逆的に消失した。この結果は、ネマティック超伝導ドメイン構造がひずみ印可によって大きく変化し、複数ドメインを持つ状態からほぼ単一ドメインの状態へと変化させることができたということを意味する。この結論は、電気抵抗のシミュレーションからも裏付けられた。さらに、Ginzburg-Landau理論を用いた解析から、ネマティック超伝導とひずみの結合定数の符号を実験的に決定できた。</p> <p>最後にChapter 5で、全体のまとめと、今後の展望が述べられている。</p> <p>Appendixでは用いられた温度計の較正について説明されている。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

近年、伝導電子が導電性を保ったままある特徴的な方向性を有するようになる、すなわち回転対称性を破る、という新奇な状態が固体物性分野で盛んに研究されている。このような状態は、液晶において棒状分子が流動性を保ったまま整列するネマティック状態になぞらえて、「電子ネマティック状態」と呼ばれている。最近、伝導電子が超伝導になることによって回転対称性を破る「ネマティック超伝導状態」がドーピングされた Bi_2Se_3 で発見され、全く新しい種類の超伝導状態として注目されている。液晶のネマティック相や通常の電子ネマティック相では、系の持つ秩序方向が外場によって容易に制御できるという特性を持つ。ネマティック超伝導も同様に制御性を持つと考えられるが、その制御はまだ実現されていない。このような制御が実現できればそれ自体が非常に興味深いだけでなく、ネマティック超伝導の発現機構の解明や、将来的な応用につながる重要な知見が得られると期待できる。

Kostylev氏は、ネマティック超伝導を制御するための外場として、一軸性ひずみを用いた。一軸性ひずみを印可する装置として、 piezo素子を用いた装置が最近開発されて注目されているが、Kostylev氏はこの装置の改良を自ら行った。特に、「試料をpiezo素子に対してなるべく対称な位置に置く」という新しい発想で設計を行い、ひずみの大きさや均質性を大きく向上させることに成功した。この実験技術面での大きな前進が本研究を成功させる大きな要因になった。この独自改良した装置は、今後、固体物性の一軸ひずみ制御の研究の進展に貢献すると期待できる。

この新しいひずみ印可装置を用いて、Kostylev氏はネマティック超伝導体 $\text{Sr}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ の超伝導性の a 軸方向へのひずみ印加による変化を測定した。実際の実験では、印加するひずみを変えながら、電気抵抗を様々な磁場強度・方向で測定した。装置が複雑で測定を準備するまでにかかなりの手間がかかり、さらに測定のパラメータが非常に多いということもあり、かなり忍耐のいる実験であった。しかし困難を克服し、最終的には、上部臨界磁場に明瞭なひずみ依存性が顕れることを見出した。これらは、試料内に存在していたネマティック超伝導ドメイン構造が圧縮ひずみの印加によって消失したことを示している。このように、Kostylev氏はネマティック超伝導ドメインの制御に初めて成功した。これらの結果からは、ネマティック超伝導とひずみの結合定数の符号を含む重要な基本情報が導かれ、今後のネマティック超伝導の研究に大きく貢献する成果である。また、このような超伝導ドメイン制御の明確な報告例はこれまでになく、超伝導の基礎研究全般において重要なステップであるといえる。

本論文は、上述のようにオリジナリティーの高い重要な成果を報告するものであり、博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和元年9月6日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降