

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	松尾 貞茂
論文題目	Bi ₂ Se ₃ 薄膜における量子干渉効果の研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本研究はBi₂Se₃で測定される磁気伝導度のゆらぎに関するものである。Bi₂Se₃は近年トポロジカル絶縁体であることがわかった物質である。トポロジカル絶縁体はバルクが絶縁体であるが表面に電流を流す状態が存在しており、表面の電子はスピンの方向が運動量方向に依存するディラック電子である。このため、新奇な量子輸送現象や電磁気応答が理論的に予言され、研究が活発に行われている。Bi₂Se₃では2009年に磁気伝導度のゆらぎが報告され、起源は未解明であった。しかし、この報告されたゆらぎの特性は、メゾスコピック系の輸送現象である普遍的伝導度ゆらぎ (UCF) と酷似している。そこで、本研究ではBi₂Se₃の磁気伝導度ゆらぎの起源がUCFであることを明らかにすることを目的として実験を行った。</p> <p>まず、本研究では、Bi₂Se₃薄膜を微細加工して作製した260 nmの細線幅を持つホールバー型の形状を持つ試料の実験を行った。この実験では低温における電気伝導度の磁場依存性および温度依存性の測定を行った。本研究ではゆらぎの起源がUCFであると仮定して解析を行った。伝導度ゆらぎをUCFの理論を用いて解析してコヒーレンス長を導出し、弱反局在効果から導出したコヒーレンス長と比較した。その結果、コヒーレンス長は導出方法によらずほぼ一致することがわかった。同一試料での信頼性の高い弱反局在効果からの情報と比較することで伝導度ゆらぎの起源に迫る結果を導いているため、この結果は信頼性の高いものであり、非常に意義深い。さらに、本研究では、コヒーレンス長の温度依存性を調査した。その結果、コヒーレンス長は温度の上昇に対して温度のべき関数で短くなり、そのべき指数はほぼ-1/3となることがわかった。ここから、電子のコヒーレンスが壊れる機構が電子間相互作用によるものであることがわかった。最後にBi₂Se₃の伝導度ゆらぎの温度依存性が、UCFの理論で説明可能であることを明らかになった。この研究から、Bi₂Se₃の伝導度ゆらぎの起源はUCFであることが初めてわかった。</p> <p>次に、本研究では、定量的な伝導度ゆらぎの評価のために、伝導度揺らぎのスケールリング解析を100 nmという非常に細い幅を持つBi₂Se₃細線を用いて行った。この系は擬一次元系とみなせるものであり、弱反局在効果、およびUCFの解析は擬一次元系のモデルを用いた。実験として、2-15 μmの様々な細線長さをもつ各細線試料の伝導度の磁場依存性・温度依存性の測定を行った。この測定結果からゆらぎの成分を抽出し、細線長さ、コヒーレンス長、熱拡散長に対するゆらぎの大きさの依存性を調査した。その結果、Bi₂Se₃の伝導度ゆらぎの大きさは細線長さ・コヒーレンス長・熱拡散長を変数として持つUCFのスケールリング関数で説明できることがわかった。また、実験結果から決めた伝導度ゆらぎのスケールリング関数の係数はUCFの理論で予想されるものとほぼ一致していることがわかった。UCFのスケールリング関係の係数が試料の対称性 (時間反転対称性が破れており、スピン縮重がなくなっている系) を反映した理論値とほぼ一致していることを実験的に示したのはこの研究がはじめてである。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、「細線状の Bi_2Se_3 の伝導度ゆらぎの温度依存性とコヒーレンス長に関する研究」、「細線状の Bi_2Se_3 の伝導度ゆらぎのスケーリング関係」の二つの内容で構成されている。

まず、「細線状の Bi_2Se_3 の伝導度ゆらぎの温度依存性とコヒーレンス長に関する研究」では、微細加工技術を用いて幅260 nmの細線状に加工した Bi_2Se_3 試料の電気抵抗の低温での磁場依存性を調べている。その結果、磁気抵抗の磁場依存性にランダムなゆらぎが測定された。このゆらぎを普遍的伝導度ゆらぎ(UCF)として解析した結果、ゆらぎの大きさの温度依存性がUCFの理論で予言されるものと一致することが明らかになった。加えて、測定されたゆらぎをUCFとして解析して導出できるコヒーレンス長が、同一試料で測定される弱反局在効果から導出されたコヒーレンス長とよい一致を示すことがわかった。これは Bi_2Se_3 で測定される伝導度ゆらぎの起源がUCFであることを実験的に実証した結果となっている。これまで未解明であった Bi_2Se_3 の磁気伝導度のゆらぎの起源を初めて明らかにした点で、本研究は大きな意義を持つ。さらに、この研究では、 Bi_2Se_3 の伝導電子の位相コヒーレンスが壊れる機構(デコヒーレンス機構)に関しても言及している。このデコヒーレンス機構を知ることは、電子がどのような相互作用を感じているのかを知るうえで非常に有益な情報である。本研究ではコヒーレンス長の温度依存性から、デコヒーレンス機構が電子間相互作用によるものであることが明らかにされている。

次に、「細線状の Bi_2Se_3 の伝導度ゆらぎのスケーリング関係」では、先の研究では明らかにすることができなかった伝導度ゆらぎの大きさの定量的な評価を行うために、磁気伝導度ゆらぎのスケーリング解析が行われている。この実験では、2~15 μm の細線長さを持つ、幅100 nmに加工された細線試料が用いられており、磁気伝導度のゆらぎの細線長さ依存性、および、温度依存性を測定、解析した結果が報告されている。本研究では、コヒーレンス長を弱反局在効果の解析から求めており、導出したコヒーレンス長、伝導度ゆらぎの細線長さ依存性、温度から換算された熱拡散長を用いてスケーリング解析を行っている。その結果、測定された伝導度ゆらぎの大きさはUCFのスケーリング関数で説明されることが明らかになった。また、このスケーリング関数の係数も、UCFの理論から予想される値とほぼ一致することが明らかになった。これは、 Bi_2Se_3 の伝導度ゆらぎの起源がUCFであることを示した実験結果としてだけでなく、従来のUCFのスケーリング理論の妥当性を強いスピン軌道相互作用を持つ物質で実証したものであり、メゾスコピック系の物理の研究にとって大きな意味を持つ結果である。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成26年1月14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