

超高真空中でのその場電気伝導測定を用いた半導体表面上の原子層超伝導の研究

その他のタイトル	Atomic Layer Superconductors on Semiconductor Surfaces Studied by in situ Electrical Transport Measurements in Ultrahigh Vacuum
著者	一ノ倉 聖
学位授与年月日	2016-03-24
URL	http://doi.org/10.15083/00073280

論文審査の結果の要旨

氏名 一ノ倉 聖

本論文は、7章からなる。第1章は序論であり、本研究の背景および目的と論文の構成が簡潔に述べられている。近年、半導体基板上にエピタキシャル成長によって作製した単原子層レベルの表面構造における超伝導が観測され、大きな注目を集めている。基板の薄膜においては空間反転対称性が破れているために、重元素を用いた場合には強い Rashba 効果が現れ、新奇な超伝導の実現が期待される。本研究では、角度分解光電子分光 (ARPES) 測定により大きな Rashba 分裂をもつことが明らかにされている $\text{Si}(111)\text{-}\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-(Tl,Pb)}$ 構造に対して、極低温での電気伝導測定を行うことにより超伝導の検証を行った。一方で、純粋な二次元超伝導の性質を調べるためには、基板の影響を極力排除する必要があるとの指摘もある。本研究では、基板との相互作用が弱いと考えられる二種類の系、 $\text{Si}(111)\text{-}6\times 6\text{-Tl}$ 構造と2層グラフェン層間化合物に対しても超伝導の検証が行われた。

第2章では、原子のスピン軌道相互作用が閉じ込めポテンシャルの非対称性と結びついて生じる結晶表面での Rashba 効果、常伝導状態における電気伝導と散乱機構、超伝導の基礎的事項、特殊な超伝導状態などに関して、理論的な説明がなされている。

第3章では、電子回折による表面構造解析と4端子プローブによる電気伝導測定に関する一般的な説明の後、低温、強磁場、超高真空の多重極限下での測定ができる実験装置の説明が簡潔に述べられている。

第4章では、 $\text{Si}(111)\text{-}6\times 6\text{-Tl}$ 構造に対する研究について述べられている。 $\text{Si}(111)\text{-}6\times 6\text{-Tl}$ 構造は、絶縁体的な電子状態を持つ $\text{Si}(111)\text{-}1\times 1\text{-Tl}$ 構造の上に作られる Tl の第2層が示す構造であり、第1層との結合が非常に弱い単原子層膜と見なされている。電気伝導測定により、転移温度 T_c が 0.96K の超伝導転移が観測された。この系の被覆量は、これまでに超伝導が観測された表面超構造で最も少ない。

第5章では、 $\text{Si}(111)\text{-}\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-(Tl,Pb)}$ 構造に対する研究について述べられている。この系では、 $T_c = 2.26\text{K}$ の超伝導転移が観測された。共同研究者である Gruznev 氏らによる ARPES 測定から超伝導ギャップをはるかに凌駕する 250meV もの Rashba 分裂をもつことがわかっており、空間反転対称性の破れた二次元超伝導体として、今後、重要な研究対象になっていくと考えられる。

第6章では、2層グラフェン層間化合物に対する研究について述べられている。 C_6LiC_6 および C_6CaC_6 試料は、東北大グループより提供された SiC の (0001) 面上の2層グラフェンに、論文提出者が Li あるいは Ca をインターカレートすることにより作製された。その結果、 C_6LiC_6 は超伝導にならなかったのに対して、 C_6CaC_6 では $T_c \sim 2\text{K}$

の超伝導が観測された。グラフェン関連物質で初めてゼロ抵抗状態が実現された。 C_6CaC_6 と C_6LiC_6 との大きな違いとして、層間電子状態の有無が挙げられる。本研究の結果は、バルクのグラファイト層間化合物と同様に、2層グラフェン層間化合物においても超伝導の発現には層間電子状態が占有される必要があることを示唆する。

第7章では、以上のまとめと今後の展望が述べられている。

本研究では、3種類の表面構造に対して電気伝導測定による超伝導の検出に成功した。それぞれが興味深い特徴をもつ2次元超伝導体であり、今後の研究においてさらに重要な物理現象が発見されることが期待できる。本研究の成果は物性物理学にとって大いに意義があると言える。また本研究では超伝導転移温度の測定だけでなく、各試料に対して、上部臨界磁場、電流電圧特性、意図的に導入された乱れの影響などに関する測定も詳細に行われている。これらの実験結果に対してコヒーレンス長や **Berezinskii-Kosterlitz-Thouless** 転移などに関する解析・考察が適切に行われており、論文提出者の学識が高い水準にあることが示されている。

なお、本論文は所属研究室の長谷川修司氏、高山あかり氏、保原麗氏、ロシア科学アカデミー極東支部の A. A. Saranin 氏、A. V. Matetskiy 氏、L. V. Bondarenko 氏、A. Y. Tupchaya 氏、D. V. Gruznev 氏、A. V. Zotov 氏、東北大学の高橋隆氏、菅原克明氏との共同研究であるが、表面構造の作製・解析、電気伝導測定、データ解析および考察は全て論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の理由により、博士（理学）の学位を授与できると認める。