

# 論文内容の要旨

## 博士論文題目

高密度励起された半導体中の電子正孔 BCS 状態におけるエネルギーバンドの異方性と電子正孔質量差の効果

氏 名

溝尾 数雅

## (論文内容の要旨)

半導体を強いレーザ光で励起すると、励起子超流動などの巨視的量子現象が十分低温で生ずることが期待されている。特に、励起子が重なり合うような高密度状態では、電子正孔 BCS 状態と呼ばれる超伝導状態に類似した巨視的量子状態が生ずる可能性が指摘されているが、未だ実験的には観測されていない。本論文は、電子と正孔のエネルギー分散の違いが電子正孔 BCS 状態に与える影響に着目し、多体系の量子統計力学に基づいた理論により電子正孔 BCS 状態の安定性を詳細に検討したものである。

まず、電子正孔 BCS ギャップと多体効果による繰り込まれたバンド分散に関する連立積分方程式を数値的に解くことにより、電子と正孔の有効質量の違いは電子正孔 BCS 状態に大きな影響を与えないことを定量的に明らかにした。電子と正孔の有効質量の違いは、超伝導における時間反転対称性を破る効果に対応するので容易に BCS 状態を破壊すると従来考えられていたことを覆す結果である。その理由は、有効質量の違いは電子と正孔のフェルミ面の違いに影響を及ぼさないので、電子正孔クーパ対の生成を妨げないからであると考えられる。

次に、有効質量の異方性が電子正孔 BCS 状態に及ぼす影響を解析し、電子と正孔の有効質量の異方性の差が電子正孔 BCS 状態の生成を強く抑制することを明らかにした。その理由は、電子と正孔のフェルミ面が一致しないために、電子正孔クーパ対の生成に余分なエネルギーを必要とするためと考えられる。このことが、電子正孔 BCS 状態が実験的に観測されていない主要な要因のひとつとなっているものと推定される。

更に、一軸性圧力を半導体に加えて電子と正孔の有効質量に同時に異方性を与えると、電子正孔 BCS ギャップが増強されることを見出した。これは、電子系の運動が低次元的になることに起因すると考えられ、それによる電子正孔 BCS ギャップは圧力をかけない時に存在する電子と正孔の異方性の差による BCS ギャップの減少を上回ることが可能である。これは、電子正孔 BCS 状態の実験的検証の可能性を示すものとして注目すべき結果である。

以上のように、本論文は、高密度電子正孔系における巨視的量子状態の安定性を初めて定量的に解析したものである。それにより、電子正孔 BCS 状態が実験的に観測されていない主要な原因が明らかにされ、更に、電子正孔 BCS 秩序を増強し実験的検証を可能にする方法が提示された。

## (論文審査結果の要旨)

半導体を強いレーザ光で励起すると、励起子超流動などの巨視的量子現象が十分低温で生ずることが期待されている。特に、励起子が重なり合うような高密度状態では、電子正孔 BCS 状態と呼ばれる超伝導状態に類似した巨視的量子状態が生ずる可能性が指摘されているが、未だ実験的には観測されていない。本論文は、電子と正孔のエネルギー分散の違いが電子正孔 BCS 状態に与える影響に着目し、多体系の量子統計力学に基づいた理論により電子正孔 BCS 状態の安定性を詳細に検討したものである。以下にその主要な結果を要約する。

1. 電子正孔 BCS ギャップと多体効果による繰り込まれたバンド分散に関する連立積分方程式を数値的に解くことにより、電子と正孔の有効質量の違いは電子正孔 BCS 状態に大きな影響を与えないことを定量的に明らかにした。電子と正孔の有効質量の違いは、超伝導における時間反転対称性を破る効果に対応するので容易に BCS 状態を破壊すると従来考えられていたことを覆す結果である。その理由は、有効質量の違いは電子と正孔のフェルミ面の違いに影響を及ぼさないので、電子正孔クーパ対の生成を妨げないからであると考えられる。
2. 有効質量の異方性が電子正孔 BCS 状態に及ぼす影響を解析し、電子と正孔の有効質量の異方性の差が電子正孔 BCS 状態の生成を強く抑制することを明らかにした。その理由は、電子と正孔のフェルミ面が一致しないために、電子正孔クーパ対の生成に余分なエネルギーを必要とするためと考えられる。このことが、電子正孔 BCS 状態が実験的に観測されていない主要な要因のひとつとなっているものと推定される。
3. 一軸性圧力を半導体に加えて電子と正孔の有効質量に同時に異方性を与えると、電子正孔 BCS ギャップが増強されることを見出した。これは、電子系の運動が低次元的になることに起因すると考えられ、それによる電子正孔 BCS ギャップは圧力をかけない時に存在する電子と正孔の異方性の差による BCS ギャップの減少を上回ることが可能である。これは、電子正孔 BCS 状態の実験的検証の可能性を示すものとして注目すべき結果である。

以上のように、本論文は、高密度電子正孔系における巨視的量子状態の安定性を初めて定量的に解析したものである。それにより、電子正孔 BCS 状態が実験的に観測されていない主要な原因が明らかにされ、更に、電子正孔 BCS 秩序を増強し実験的検証を可能にする方法が提示された。よって、審査員一同は、本論文が博士（理学）の学位論文として価値のあるものと評価し、審査結果を合格と認めた。