

アンドレーエフ分子が作り出す非局所ジョセフソン効果

Nonlocal Josephson effect derived from Andreev molecule states

理研¹, JST さきがけ² ○松尾貞茂^{1,2}

Riken¹, JST PRESTO², °Sadashige Matsuo^{1,2}

E-mail: sadashige.matsuo@riken.jp

二つの超伝導体で常伝導体を挟んだジョセフソン接合では超伝導体と常伝導体の界面におけるアンドレーエフ反射により常伝導体中にアンドレーエフ束縛状態が形成される。一つの超伝導体を共有する二つのジョセフソン接合を近距離で配置すると、二つの接合の束縛状態が結合してアンドレーエフ分子状態となることが理論的に提案された[1]。このコヒーレントな結合に起因して、一方の接合を流れる超伝導電流をもう一方の接合の位相差で非局所的に制御することが可能になる。このような非局所ジョセフソン効果と呼ばれる現象は従来の超伝導デバイスの新しい制御手法を与え、新機能デバイスの開発につながることを期待されるため注目を集めている。

本講演では、このアンドレーエフ分子が生み出す非局所ジョセフソン効果に関する我々の実験研究に関する結果を議論する。我々はまず半導体ナノ細線上に二つのジョセフソン接合をつくり、そのうち一方は超伝導リングに埋め込まれた構造を作製した。リング外のジョセフソン接合の臨界電流を測定すると、面直磁場に対して振動することがわかった[2]。このリング外の臨界電流の振動は面直磁場によりリング内の接合の位相差が変調された結果生じたものであり、非局所ジョセフソン効果の存在を示している。

その後、量子井戸上の結合した平面ジョセフソン接合に関する実験を行い、結合した平面ジョセフソン接合がもつ超伝導電流位相差関係の評価を行った。その結果、非局所的な位相差により時間と空間の反転対称性がやぶれ、異常ジョセフソン効果が発現することを明らかにした。

さらに、量子井戸上の結合した平面ジョセフソン接合に対して、接合端にトンネルコンタクトを電氣的に形成し、ジョセフソン接合内のアンドレーエフ束縛状態のトンネル分光測定を行った。その結果、単一の平面ジョセフソン接合の分光で得られる結果とは全く異なる結果が得られることが分かった。これは二つの平面ジョセフソン接合の結合によってアンドレーエフ分子状態が形成されていることを意味している。

平面ジョセフソン接合は近年トポロジカル超伝導の実現舞台としても利用されている[3,4]。そのため、これらの結果はアンドレーエフ分子の物理の確立や新機能超伝導デバイスの開発に貢献するだけでなく、トポロジカル超伝導の実現や検出、制御にとっても重要なものである。

[1] J. -D. Pillet, et al., Nano. Lett. 19, 7138 (2019)

[2] S. Matsuo, et al., arXiv:2112.12960

[3] A. Fornieri, et al., Nature 569, 89 (2019)

[4] H. Ren, et al., Nature 569, 93 (2019)