

近接効果、アンドレーエフ反射の最近の研究

東京理科大学 総合研究機構
 (独) 物質・材料研究機構
 国際ナノアーキテクニクス研究拠点
 高柳 英明

1960年代に始まった超伝導近接効果とアンドレーエフ反射の物理は、当初拡散的な領域にある常伝導金属と超伝導体との接合が中心的研究対象であった。周知のように、そこから実に多くの優れた成果が輩出した。80年代に入ると、拡散的あるいはバリスティックな伝導領域にある半導体が使われ始め、研究は更に大きく展開する。著者自身も関与した半導体を用いた接合では、半導体固有の性質、即ちゲート電圧によるキャリア濃度の制御性という優れた特性を活かして、一つの試料で系統的な実験が可能となった。よく使われる材料はInAsであるが、この材料の重要性は現在も失われていない。90年代に入ると、近接効果は新たな発展を見せる。即ちS-N-S接合に流れる超伝導電流

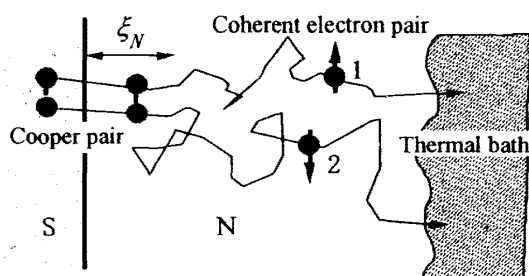


図1. コヒーレント電子対

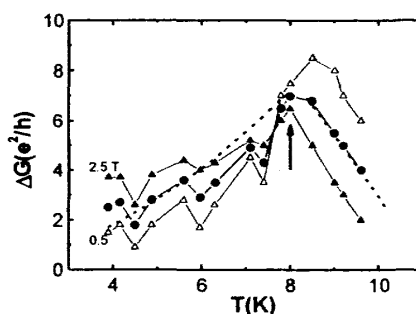


図2. コンダクタンス揺らぎの温度依存性

を議論するときに使われるコヒーレンス長 $\xi_T = \sqrt{\hbar D / 2\pi k_B T}$ はクーパ対の減衰長であるが、コンダクタンスに現れる干渉効果を議論するときは、位相緩和長が重要な役割を演じる、という点である〔図1〕。これから、巨視的なコンダクタンスコヒーレンス効果や、コンダクタンスの再帰現象が現れるが、この事はまだ十分に理解されていないようである。講演では、この効果の復習の意味も兼ねて、カーボンナノチューブを用いた試料における我々の研究を紹介する〔図2〕。

通常のS-N-S(S-I-S)接合の電流一位相関係は $\sin\theta$ であるのに対して、強い非平衡状態、磁性体、そしてd波超伝導を用いた場合は位相がずれた π 接合になる。磁性と超伝導とは強相関系と同様にこの分野でも、例えば逆近接効果(赤崎氏の講演参照)のような豊かな物理を提供してくれる。

一方アンドレーエフ反射の物理では、d波超伝導体界面における束縛状態の研究に端を発して、現在

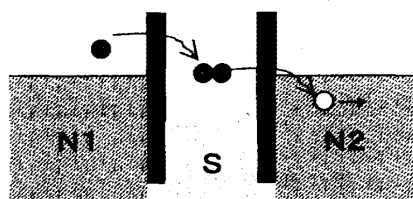


図3. Crossed Andreev reflection

はp波超伝導におけるアンドレーエフ反射等へと発展している(柏谷氏の講演参照)。アンドレーエフ反射の最近の別の展開の一つが、非局所的な効果であるcrossed Andreev reflectionの研究である〔図3〕。講演では、この効果についても簡単に触れる。最近の進展で特徴的な事柄として、S-NあるいはS-N-S接合にお

けるNの材料としての新規性が挙げられる。磁性体は勿論であるが、量子ドット、InAs細線、カーボンナノチューブ、グラフェンなどの、ナノテクノロジーの進歩と相俟った物質・材料が新しい研究舞台を提供している。講演では、これらの新規構造におくる輸送特性についても触れる。