

「電子・光子等の機能制御」
平成10年度採択研究代表者

平山 祥郎

(日本電信電話(株)物性科学基礎研究所 グループリーダー)

「相関エレクトロニクス」

1. 研究実施の概要

高品質の半導体薄膜構造および微小構造においてキャリア相関が重要な役割を果たすことは物性物理では明らかなことである。例えば、分数量子ホール効果や半導体人工原子の特性がそれにあたる。一方、超伝導金属や液体ヘリウムにおいては相関は超伝導現象や超流動現象などのより画期的な効果を生み出しており、これらは物理のみならず工学にも寄与している。キャリア相関が工学的にも役立つ画期的な効果を生む可能性を探るために、この研究では高品質半導体構造を用いて半導体中の新しいキャリア相関現象を追究する。具体的には、薄膜構造での強いキャリア相関によるキャリア超流動現象、結合したドット間のキャリア相関を利用した量子ビットの形成等があげられる。H10年度はスタートしたばかりであり、今後の研究の基礎となる高品質半導体構造の検討、測定装置類の設計を行った。薄膜構造に於いてはノンドープヘテロ構造中に高品質キャリアを導く手法を確立し、ドット構造に於いては、結合ドットにおける電子の結合度の測定、フォノンとの相互作用等を明らかにした。H11年度以降はキャリア相関がより明瞭になる構造で研究を進め、最終的には半導体エレクトロニクスに相関の概念を持ち込むことにより、革新的な半導体デバイスの可能性を秘めた相関エレクトロニクスの研究分野を提案し確立することを目指す。

2. 研究実施内容

高品質半導体薄膜構造および微小構造においてキャリア相関が重要な役割を果たすことは物性物理では明らかなことである。例えば、分数量子ホール効果や半導体人工原子の特性がそれにあたる。このキャリア相関現象の研究を一步進めるために、相関エレクトロニクス研究チームでは工学的にも役立つような画期的な効果を生む可能性のある高品質半導体構造中の新しいキャリア相関現象を追究する。具体例として、薄膜構造での強いキャリア相関によるキャリア超流動や、結合したドット間のキャリア相関を利用した量子ビットの形成等が挙げられる。

H10年度はスタートしたばかりであり、今後の研究の基礎となる半導体構造の

基礎的な検討、測定装置類の設計を行った。現在までに得られている結果を具体的に述べると、薄膜構造に於いてはノンドープヘテロ構造中に高品質キャリアを導く手法を確立した。特に二層相関構造などへの応用の観点からバックゲートでノンドープヘテロ構造中にキャリアを蓄積する構造を検討し、低密度まで高移動度の二次元電子ガスが実現できることを示した。また、半導体表面と二次元電子ガスの特性の関連を調べ、低密度領域では表面の影響が重要になること、その一方で高密度領域では表面から 70nm と非常に浅いチャネルでも高移動度の二次元電子ガスが形成できることがわかった。さらに、バックゲート技術の二層相関構造への応用として、まず二層二次元電子系を考え、通常の変調ドーピング構造とバックゲートによるキャリア形成の組み合わせにより、高移動度でかつ各層の電子密度を広い範囲で制御できる構造を作成した。現在、層間での電子相関の理解を目指してこの構造を用いた物性測定に取りかかっている。

ドット構造に於いては、単一の縦型ドット構造について量子ホール効果領域に相当する強磁場領域でのドット内電子の相互作用を研究し、磁場を強くするにつれ、スピントリプル領域から、すべての電子のスピンのそろった最大密度液滴(MDD)領域そして MDD の破壊と変化することを明らかにした。また、量子ビットに繋がる可能性を秘めた結合ドット構造(人工分子)については、ドット間の結合状態を電子が片方のドットに局在するイオン結合から、電子が両方のドットに共有される共有結合に外部電圧で制御できることをマイクロ波誘起トンネル特性から明らかにした。さらに、この結合ドットの電荷の移動が二準位系として働くこと、および音響フォノンとの相互作用が重要な役割を果たすことがわかった。これらの研究結果はドット構造の量子ビットへの応用の基礎となるものである。

ナノプローブ技術については半導体構造での詳細な測定を可能にするために、今まで主に室温で用いてきた SNOM 等のナノプローブの低温磁場中測定への拡張、さらには極低温で作動するナノプローブシステムの検討を行った。また、光を用いた高速測定についても今後のキャリア相関の測定に向けた予備実験を進めた。また、量子計算の理論関連では現在の状況を整理し、今後理論的に解決すべき問題を明瞭にした。

H11 年度以降は引き続き相関エレクトロニクスの実現の基本となる構造についてその特性の理解に努めると共に、薄膜相関構造、結合ドット相関構造について構造作成ならびに特性測定をスタートする。薄膜相関構造については電子近接二層構造の電子・電子相関についての測定、MBE+FIB 装置を用いた構造作成を試みる。これと並行して高品質二次元電子ガス、正孔ガス単体の特性改善を継続して進め、特に低密度領域の物性理解を完成する。また第 II 種ヘテロ構造で電子と正孔が自動的に近接する InAs/GaSb 系についてもその特性を検討する。結合ドット相関構

造に関しては物性面に於いて強磁場中での二重ドットの電子状態と量子ホール状態の解明を進めると共に、結合ドット構造を利用した量子ビットを実現するために、高周波測定をスタートする。また、コヒーレント性の評価方法としてサイクロトロン共鳴や光をプローブに用いた高周波測定も試みる。ナノプローブ技術についてはこれを拡充するとともに、半導体構造評価への具体的な応用を開始する。また、結合ドットを用いた量子計算素子のためのアルゴリズムの研究、量子演算の基本的な限界、エラーコレクションの検討なども進める。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

無し