

河野低温物理研究室 Low Temperature Physics Laboratory

主任研究員 河野 公俊
KONO, Kimitoshi

マイクロケルビン温度領域を含む広い低温環境下において、凝縮系がしめす顕著な量子現象の研究を行う。超低温実験設備を用いて、超流動ヘリウム3の表面現象、回転希釈冷凍機を用いた回転超流動ヘリウムの物性、超流動ヘリウム表面近傍に束縛した2次元電子系の表面準位間の量子遷移にともなうミリ波吸収に関連した研究を行った。GaAs半導体ヘテロ界面に形成される2次元電子系から ECR エッチング装置を用いて縦型量子ドットを製作し、メソスコピック系の量子情報処理への応用を視野にいれた研究を行った。さらに、ナノギャップ電極を用いてヘリウム表面上2次元電子系の単一電子制御を目指した実験など、ナノサイエンスに深く関連したテーマについて研究を進めた。

1. 超低温量子凝縮系界面物性の研究

(1) ヘリウム表面電子系のミリ波吸収の研究 (Konstantinov⁶, Monarkha³, 秋元⁵, 河野)

ヘリウム表面上に形成される表面電子状態のサブバンド間ミリ波吸収と2次元電子系の伝導度測定を組み合わせることで遷移に伴うミリ波吸収と緩和過程の解明を行った。2次元電子系の面内伝導度は電子温度に敏感である。これによってミリ波の照射強度と電子温度の関係を求め、特徴的なホットエレクトロン現象を発見した。この現象に理論的な説明を与えるためのモデルを提唱し実験結果の説明に成功した。リブロン散乱が主要な役割を演じる低温領域へと測定を拡張し、非線形ダイナミクスの研究へと展開を図った。

(2) 回転超流動ヘリウムの研究 (高橋(大)¹, 池上, 河野)

鉛直軸を中心とする回転の自由度を有する冷凍機を用いて、連続した回転下にある超流動ヘリウム表面上に関する実験をおこなった。今年度は自由表面下にイオンを蓄積し、その移動度の測定を開始した。電界放射によるイオンの発生にカーボンナノチューブを用い、イオンの信号を確認することができた。これとは別に回転下の表面波の測定も行い、慣性波動によるものと推測される共鳴周波数の回転数依存性を発見した。今後系統的な測定を行う。

(3) 2次元超流動薄膜の研究 (斎藤¹, 池上, 河野)

超流動ヘリウム3薄膜の流動特性の解明を目的として、楕円構造をもつメソスコピック電極を用いたヘリウム薄膜駆動の研究を進めた。超流動ヘリウム3薄膜の厚さを制御して、常流動・超流動転移を起こさせることができる。異方的な超流動における自由表面および固体との界面の境界効果について知見を広めることが期待される。ヘリウム3に磁場を加えることで、超流動状態間の異なる相の間の転移について研究できる試料容器を製作し、冷凍機に設置する準備を進めた。狭い領域に閉じ込められた液体の流体力学はナノフルイディクスとして、新しい学問領域としての発展が期待される。

(4) ヘリウム薄膜および1次元ヘリウムチャンネル上の低次元電子系の研究 (Marrache-Kikuchi⁶, Rees⁶, 秋元⁵, 池上, 河野)

ナノギャップを持つ電極やミクロンサイズの幅を持つ溝構造により、吸着ヘリウム膜やヘリウムチャンネルの上に捕獲した電子系の伝導度測定を進めた。5~20ミクロンの単一チャンネル上で擬1次元電子系の伝導度測定を行い、電子の固相転移における有限サイズ効果を確認した。単一電子制御に向けた各種電極構造の開発や、単一電子検出に必要な基礎技術の開発を進めている。

2. ナノ構造の低温量子輸送の研究

(1) 半導体量子ドットの磁場中低温電気伝導の研究 (Huang⁷, 高橋(宏)⁸, 高橋(諒)⁸, Schnyder⁹, 秋元⁵, 大野, 河野)

GaAs半導体をベースとして、2分割したゲート構造をもつ縦型2重量子ドットを作成し、磁場中量子輸送現象に関する測定を行った。クーロンブロック領域の強磁場中トンネル分光によって人工原子エネルギーレベルのゼーマン分裂を観測し、量子ドット中電子のg因子に関する情報を得ることができた。この輸送特性の全貌を理解するために理論モデルとの比較を行うなどの解析を進めている。

(2) 半導体量子ドットの光伝導の研究 (高橋(宏), 高橋(諒), 大野, 河野)

縦型量子ドットと光の相互作用について解明するために、光を照射したときの輸送特性の変化について測定を行った。量子ドットに光を照射するとその波長によって、電子・正孔対を生成するために十分なエネルギーを有する場合には、電子・正孔対を量子ドット内に生成する。この対のうち電子はドレイン電極に逃げることができるが、正孔はドット内に捕獲されて、実効的にゲート電圧を正にバイアスしたのと同じ効果があることが分かった。蓄積される正孔の数は照射光強度と時間によって決まるが、十分に弱い光を照射すると単一フォトンによる電子・正孔対の生成によると考えられる量子ドット輸送特性の不連続な変化を観測することに成功した。また、やや波長の長い光を照射することでドット内に捕獲された正孔を強制的に放出させることができることが分かった。これらの発見によって、光による単一電子のスピン制御に一步近づいた。

(3) 単一微粒子の電気伝導現象の研究 (伊藤⁸, 秋元⁵, 大野, 河野)

単一微粒子に電極を取り付け、その量子伝導現象を観測するための試料作製をおこなった。エレクトロマイグレーション法によってナノギャップ電極を製作し、電極間に10ナノメートル程度の半導体微粒子を捕捉して伝導現象の測定を行い、微粒子を介した伝導に特有な帯電効果によると考えられる電流電圧特性の観測に成功した。

(4) 有機 TFT の開発 (塚越)

ナノ加工技術を駆使して新しい有機 TFT の開発と特性の改良を行った。

(5) ナノスケールテンプレートをを用いた生体関連物質の秩序化の研究 (渡邊, 河野)

ナノ加工によるテンプレート基板を用いて、蛋白質などの生体関連物質を整列させる秩序化の開発研究を行った。

We study prominent quantum phenomena in condensed matter in a wide temperature range including micro Kelvin region. We carried out the experiment on surface phenomena of superfluid ^3He . The surface of rotating superfluid ^4He was studied. Millimeter wave absorption induced resistance of surface state electrons on liquid He is systematically measured and extension to lower temperatures was carried out, where ripplon scattering is important. A vertical double quantum dots based on GaAs semiconductor was fabricated and transport properties under high magnetic fields and light irradiation have been studied.

1. Surface phenomena on quantum systems are studied in the following topics

(1) The excitation of surface state electrons by irradiating 130GHz millimeter wave induces a prominent resistivity increase. The observed effect is interpreted as a clear evidence for the realization of ultrahot electrons. Measurement was extended to lower temperatures where ripplon scattering plays an important role.

(2) On a rotating cryostat, the surface of rotating superfluid is investigated. Ions accumulated under free surface are employed instead of electrons. Manipulation know-how of ions is developed. Preliminary study of surface wave excitation on rotating superfluid was tried. Resonance frequency showed dependence on rotating speed. The effect may be understood in terms of an inertial wave.

(3) Manipulation of superfluid ^3He film is studied by means of inter-digitated capacitors. Experimental cell was assembled to study superfluid ^3He film flow under magnetic field.

(4) Fabrication of nanogapped electrodes and trench structure is developed to study electrons on He film and quasi-one dimensional He channels. Electrons on channels from 5 to 20 microns showed size effect in the solidification transition to the Wigner solid. Electrode assembly and detecting device of single electrons have been developed.

2. Low temperature quantum transport in nano structures are studied in the following subjects

(1) A vertical double quantum dots are fabricated on the basis of GaAs 2D electron gas substrate. Transport properties have been measured under strong magnetic field and Zeeman splitting is observed in a tunnel spectroscopy. The properties are carefully compared with theoretical models to understand the peculiarity of the phenomena.

(2) Effects of light irradiation on to the quantum dots were studied. Photo-creation of electron-hole pair resulted in accumulation of hole inside dots. The accumulated hole act as an effective gate voltage and transport pattern was lifted by light irradiation. By reducing the light intensity, a jump in the transport properties was observed and interpreted by single photon events.

(3) Nanogap electrode is used to trap fine semiconductor particles. Transport property characteristic to Coulomb blockage was observed.

(4) New organic TFTs are developed by the use of nano-fabrication technique.

(5) Structure ordering of proteins is aimed by use of nano-scale template.

Staff

Head

Dr. Kimitoshi KONO

Members

Dr. Kazuhito TSUKAGOSHI

Dr. Hiroki IKEGAMI

Dr. Keiji ONO

Dr. Masamitsu WATANABE

Dr. Masamichi SAITOH*¹

Dr. Daisuke TAKAHASHI*¹

Dr. Denis KONSTANTINOV*²

Dr. Claile MARRACHE-KIKUCHI*²

Dr. David REES*²

*¹ Special Postdoctoral Researcher *² Contract Researcher

in collaboration with

Dr. Hikota AKIMOTO(Nanoscience Development and Support Team)

Dr. Misaichi TAKEUCHI(Nanoscience Development and Support Team)

Visiting Members

Mr. Shiu-Ming HUANG (Natio.Chiao Tung Univ., Taiwan)

Prof. Hidehiko ISHIMOTO (Inst. Solid State Phys., Univ. Tokyo)

Prof. Paul LEIDERER (Inst. Phys., Univ. Konstanz, Germany)

Dr. Minoru KAWAMURA (Inst. Indust. Sci., Univ. Tokyo)
Dr. Denis KONSTANTINOV(JSPS Fellow)
Prof. Juhn-Jong LIN (Natio.Chiao Tung Univ., Taiwan)
Prof. Yuriy MONARKHA (Inst. Low Temp. Phys. Eng., Ukraine)
Prof. Keiya SHIRAHAMA (Fac. Sci. Technol., Keio Univ.)
Prof. Murat TAGIROV (Kazan State Univ., Russia)
Prof. Dmitrii TAYURSKII (Kazan State Univ., Russia)
Trainees
Mr. Masahiro ITO (Fac. Sci., Sci. Univ. Tokyo)
Mr. Nikka KO (Fac. Sci. Tokyo Inst. Technol.)
Mr. Kosuke TAKAHASHI(Fac. Sci. Tokyo Inst. Technol.)
Intern
Mr. Simon SCHNYDER (Phys. Dep., Univ. Konstanz)