

VII-5. 低温物性グループ

教授	大塚洋一
助教授	富永 昭
講師	神田晶申、大木泰造
助手	森下将史
研究員	山口尚秀 (日本学術振興会特別研究員)
大学院生	松田亮史 (東大理学系研究科)、宮崎久生 (D3)、北田実 (M2) 迫坪行広 (D1)、和田充洋 (D1)、富田幸典 (M1)、上原康孝 (M1)

低温物性実験グループにおいては、電子線微細加工技術によって作製された微小トンネル接合、金属量子ドット、単一カーボンナノチューブなどのメソスコピック・ナノスコピックな微小導体が表示様々な伝導現象、熱音響現象、吸着ヘリウム3薄膜の核磁性の研究などを進めている。

2002年4月から5年間の予定で筑波大学「ナノサイエンス」特別プロジェクトがスタートした。本研究グループからは、大塚が同プロジェクト第3部門責任者として、また神田も同担当者として参加している。さらに、同プロジェクト特別教員配置講師として9月に大木を物質材料研究機構から本グループに迎えた。学振特別研究員である山口は11月からヘルシンキ工科大学（フィンランド）Pekola教授の研究室において微小ジョセフソン接合に関する新たな研究を始めた。

大塚、神田及び野村晋太郎助教授（半導体物理グループ）は、茨城県教育委員会の依頼を受け、連携型科学技術・理科教育推進事業（サイエンスパートナーシッププログラム事業）先行的調査研究として、教員研修を以下のように行った。実施日：2002年8月27、28日（2日間）、参加者：県内高等学校教員10名、研修テーマ：ナノサイエンス・ナノテクノロジー入門（量子ドットの物理と電子線リソグラフィ法による微細加工）

【1】 微小トンネル接合系の伝導

(1) 微小ジョセフソン接合系における量子相転移（山口、宮崎）

ジョセフソン接合列は、ジョセフソン結合エネルギー E_J 、帯電エネルギー E_C 、散逸の強さ α などのパラメータによって基底状態が変わり、 $T=0K$ において超伝導・絶縁体転移を起こす。我々は、前年までに1及び2次元列におけるこの超伝導・絶縁体転移を観測し、各系の $T=0K$ における相図を得た。本年度は1次元列についての結果をPhysical Review Letters誌に発表し、また次元の効果および1次元列の実験について第23回低温物理国際会議においてポスター発表した。さらにこれらの一連の研究について、Localisation 2002国際会議において招待講演を行った。これと共に、1次元列の電気伝導特性の解析を進め、その結果、 $\alpha > 1$ の超伝導領域において、電流電圧特性とゼロバイアス抵抗の温度依存性の間に図1に示す関係、すなわち、ゼロバイアス抵抗の温度依存性と抵抗 (V/I) の電流依存性が酷似し、さらに、前者での熱エネルギー kT は後者において $\hbar/2\pi e$ とスケールできることを見いだした。これは

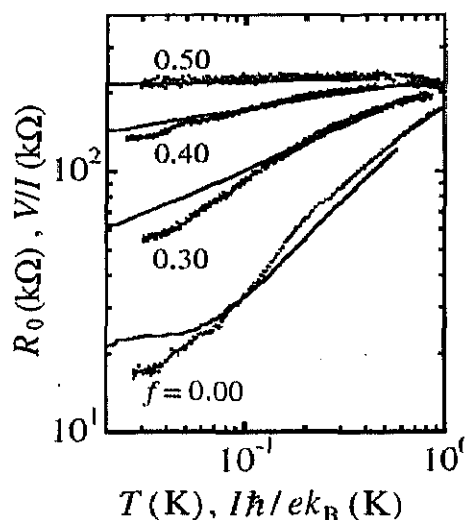


図1：1次元微小ジョセフソン接合列のI-V特性とゼロバイアス抵抗の温度変化

washboard ポテンシャルモデルによる直感的な説明と整合するが、さらに詳しく検討する必要がある。

もし E_0 , E_c , α などの制御パラメータを十分速く変化させ超伝導・絶縁体転移を一瞬に起こすことができたとしても、転移前に存在する大きな量子ゆらぎによって、転移後に実現する状態は必ずしも基底状態ではなく準安定状態が実現する可能性もある。このような量子ゆらぎの凍結、さらにはトポロジカルな位相欠陥を観測することを目標として、新たな実験の準備に着手した。コントロールパラメータであるジョセフソン結合エネルギーと帯電エネルギーの比を大きく変えることのできるジョセフソン接合としてブレーク接合を用いることにし、接合作製の技術を習得した (→ブレークジャンクション)。

(2) 強磁性単一電子トランジスタにおけるトンネル磁気抵抗の増大 (松田、大塚)

“電荷”と“スピン”という電子のもつ2つの属性を共に利用することは、近年スピネレクトロニクスとして大きな注目を集めている。強磁性単一電子トランジスタ (SET) の磁気抵抗増大とは、強磁性トンネル接合において広く見られるトンネル磁気抵抗 (TMR) 効果が、微小トンネル接合系において現れる単一電子帯電効果と相まって、低温で顕著に増大するという現象であり、スピネレクトロニクスの観点からも興味深い。この低温での磁気抵抗増大の起源を明らかにするために、量子抵抗 $R_Q (\equiv h/(2e^2) = 12.9 \text{ k}\Omega)$ をはさむ $600 \text{ }\Omega \sim 3.3 \text{ M}\Omega$ という広範囲にわたる (1 接合あたりの) トンネル抵抗 R_T を有する 11 個の強磁性 Ni/Co/Ni-SET (図2) を作製し、低温における磁気抵抗増大を R_T に対して系統的に調べた。

これら試料を 4.2 K から 25 mK の極低温迄冷却し磁気抵抗を測定した結果、 R_T が量子抵抗より小さな低抵抗試料では磁気抵抗の低温での増大は小さく、一方、量子抵抗以上の試料ではほとんどの試料に対して最低測定温度でほぼ 10 倍迄増大することがわかった (図3)。この結果は、これまで磁気抵抗増大の機構として提案されていた高次トンネリング過程に基づく理論予想とは定量的、或いは定性的に一致せず、従って、高次トンネリング過程は TMR 増大の主要な原因ではないことが判明した。実験結果を単電子トンネルの標準理論で解析した結果、トンネル抵抗 R_T と共に単一電子帯電エネルギー E_c もまた磁化配置によって変化すると仮定することによって、抵抗の温度・磁場変化を概ね説明できることがわかった。これは、接合の静電容量が磁化配置によって変わることを意味するが、類似の現象が最近 mm 級の巨視サイズの強磁性トンネル接合で報告されている。今後は、この磁気キャパシタンス効果の確認と原因を探る必要がある。

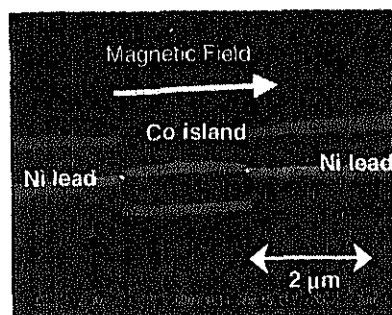


図2：強磁性 Ni/Co/Ni-SET

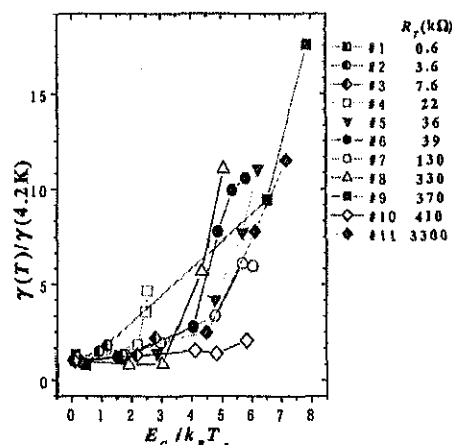


図3：TMRの温度依存性

縦軸は 4.2 K での値で規格化された TMR 比 γ 、横軸は E_c で規格化された温度。

(3) 単一電子トランジスタの圧力効果 (北田、大塚)

単電子トランジスタ(SET)は電荷に対する高い感度を持つデバイスであることが知られているが、これまでに我々が行った磁性金属を用いた SET についての研究結果を敷衍すると、SET は圧力や一軸性応力に対しても感度を有し、圧力の変化によって抵抗が振動することが予想される。このような圧力誘起クーロン振動現象の確認を目的として以下の研究を行った。

液体ヘリウム温度での実験を可能にするために、接合面積 $30 \text{ nm} \times 30 \text{ nm}$ 程度の微小トンネル接合を有する Al と Cu を材料とした SET を電子線リソグラフィによって作製した。高圧容器に入れた Al/Cu/Al-SET 試料が 2 K で十分大きなクーロン振動を示すことを確認した後、高圧ヘリウムを導入し容器内の圧力を変えたところ、クーロン振動の位相が圧力と共にほぼ単調に変化した(図4)。すなわち圧力によるクーロン振動が起きることを確認した。島電極とリードの材料の組み合わせを変えた Cu/Al/Cu-SET についても同様な測定を行い、圧力誘起クーロン振動を観測したが、位相の変化方向は同じであった。また、Al/Al/Al-SET についても同様な変化が見られた。これらは当初予想した機構による圧力誘起クーロン振動で期待されるものとは一致しない。ガス加圧法では広い圧力範囲を得ることが困難であり、またジュール・トムソン効果により圧力の変化には温度の変動が伴う。この欠点を避けるためピストンを用いた実験装置を作製し実験を行った。この実験でもほぼ同様な実験結果が得られた。このように圧力によるクーロン振動を初めて観測したが、その性質は当初予想したものとは異なる。試料に近傍に存在する荷電不純物等が加圧によって変位し抵抗変化として観測された可能性が考えられる。

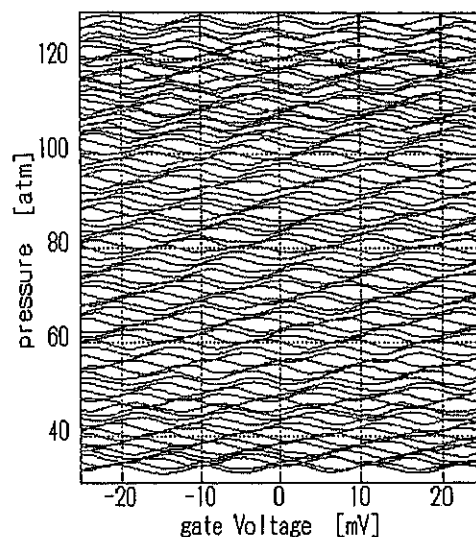


図4: Al/Cu/Al-SET で見られた圧力依存クーロン振動。試料に加えたゲート電圧及び圧力の関数としてソース・ドレイン電流をプロットした。クーロン振動の位相が圧力によって連続的に変化する。(温度は約 2 K)

(4) 微小ジョセフソン接合を使った高感度ノイズ検出器

ヘルシンキ工科大学低温ラボラトリーのグループと共同で、微小ジョセフソン接合を使った高感度ノイズ検出器の開発についての実験をすすめた。かつてノイズは測定の邪魔をするものとして嫌われる存在であったが、現在では伝導の機構を知るための有効な手段のひとつと考えられている。たとえば、(帯電効果が無視できるほど大きな)常伝導体のトンネル接合の電流電圧特性はリニアであり、それだけではオーミック抵抗と違いがないが、ノイズには違いがみられる。すなわち前者はショットノイズ、後者はナイキストノイズを示す。単一微小ジョセフソン接合や超伝導 SET の示すノイズについても、近年理論的に活発に研究されている。われわれは、そのようなジョセフソン接合系からのノイズ ($1 \times 10^{21} \text{ V}^2/\text{Hz}$ 程度) を、同一基板上にキャパシティブに結合させた別のジョセフソン接合のゼロバイアス抵抗の変化として観測する実験を行った。測定対象の単一微小ジョセフソン接合や超伝導 SET のバイアス電流を変化させ、検出器としての接合の抵抗の変化を測定した。現在のところ、電流による測定対象のヒーティングによる効果と、電圧ノイズによる効果を分離することが課題である。今後、ヒーティングを避けながら測定対象のノイズの状態を変える(例えば SET のゲート電圧を変える、あるいは磁場によってジョセフソン結合エネルギーを変える)、キャパシティブな結合ではなく抵抗による結合にする、などの改良をしていく予定である。

【 2 】 単一金属微粒子中の電子状態

金属微粒子中の電子エネルギー準位の離散化の研究は久保効果やレベル統計の問題として既に長い歴史を持つほか、多体効果、デコヒーレンス、緩和、超伝導と準位離散化の関係、強磁性金属における磁化と1電子準位の相関など興味深い重要な問題を多く含む。この問題に挑むために我々は数年前から単一金属超微粒子のトンネル分光の研究を始めた。昨年度までは電子線リソグラフィーによる微細加工を利用して作製した直径 10 nm 程度の島電極を持つ単電子トランジスタを試料として極低温での伝導測定を行ったが、大木が加わったことにより低温 STM による研究が可能になった。対象となる微粒子のサイズ、測定温度、測定の精度等の面で両者は相補的な関係にあり、それぞれの長所を生かすことによってさらに強力に研究をすすめることができると期待する。

(1) 金属微粒子中の1電子状態のトンネル分光 (和田、神田、大塚)

昨年度に引き続き、NEC 基礎研察グループの協力を得て、電子線リソグラフィーによって島電極サイズが 10nm 程度の SET 構造を作製し測定を行った。その結果、電流電圧特性に離散準位を反映していると思われる構造を確認した。さらに磁場を印加したところ、最低励起スペクトルにゼーマン分裂と考えられる準位分裂を見いだした。ただしこの測定では準位反発を議論できるデータを得ることはできず、また零磁場においても準位は6個観測できたにとどまり、エネルギー準位統計を明らかにすることはできなかった。

これとは別に、微小な金属ギャップ構造を作りそこに金属微粒子を挟み込むという新しい二重トンネル接合系作製法の開発をすすめた。ギャップ間隔の制御性を高めること、またこの新しい方法の有効性を示すことが当面の課題である。

(2) 金ナノクラスターの化学ポテンシャルの光電子・トンネル分光 (大木、迫坪)

金属クラスターのイオン化ポテンシャル (IP) や電子親和力 (EA) のサイズ依存性については古くから多くの研究がある。サイズ依存性を与える主な要因はクラスターの容量を C としたとき、 $e^2/2C$ で表される帯電エネルギーにある。これまで多くの実験ではフリーなクラスターが用いられてきたが、実際に応用される場合には基板等に固定されるため、置かれた環境の影響を考える必要がある。そのような基板上に固定されたクラスターの IP の研究はこれまで光電子分光等を手段として行われてきたが、クラスターのサイズ、基板との電気的なカップリング、それらの原子レベルでの構造など IP, EA に大きな影響を及ぼすと考えられるクラスターと環境の基本的な特性が必ずしも明らかにされていなかった。我々はチチオール/Au(111)基板上に金を蒸着して得た金クラスター/チチオー

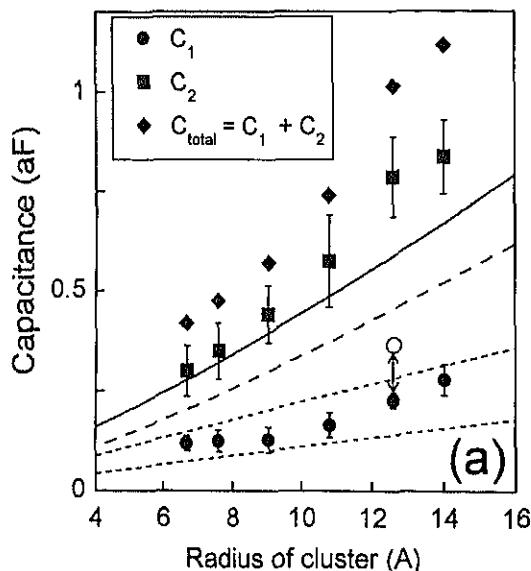


図5：金クラスター/チチオール/Au(111)のトンネル分光により決定した静電容量のサイズ依存性。 C_1 , C_2 はそれぞれ STM チップとクラスター間、クラスターと Au(111)間の容量。縦線は標準偏差。

ル/Au(111)系を対象にして実験を行った。この系は金の蒸着量に応じてクラスターの平均直径を 1 nm から 3 nm の範囲 (標準偏差 $\sigma < 0.2$ nm) でコントロール可能であり、クラスター密度は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ と十分大きい。また、異なる分子長のジチオール分子膜を用いることによって、クラスターと Au(111)面との距離をサブ nm レベルで調整できる (0.8 nm から 1.3 nm 程度)。このような特徴を生かして、同一の試料で光電子分光と走査トンネル顕微鏡を用いたトンネル分光を行い、多くのクラスターの平均としての情報と個々のクラスターの情報との関係について議論することが可能となった (図 5, 6)。なお、本研究は物質・材料研究機構藤田大介主幹研究員との共同研究として実施した。

【 3 】 多層カーボンナノチューブの電気伝導

(1) 低接触抵抗試料の作製と電気伝導測定 (神田、富田)

カーボンナノチューブ(CNT)は、1層のグラファイト (グラフェンと呼ばれる) をシームレスに円筒状に丸めたもので、巻き方 (カイラリティ) により金属または半導体的な性質を示すことや機械的強度が高いなどの理由から、ナノデバイス材料として先駆的に研究が行われている。最近では単層ナノチューブが超伝導性を示したという実験も報告されているが再現性に乏しく、その理由として(1)CNT と電極との接触抵抗が高いこと、(2)基板と CNT との接触による電子状態の変化、(3)レジスト付着や酸化処理などの欠陥による電子波の散乱などが挙げられる。これらの問題点を解決する方法として、本研究では SiN メンブレン法による電極形成を行おうとしている。この方法はシリコン窒化膜 (SiN) にナノスケールの穴を開けたものを蒸着マスクとして使用するもので、レジストを使うことなく微細電極の蒸着ができる。これにより CNT へのダメージを最小にして電氣的に良好な接触を得ることができ、超伝導近接効果や CNT の本質的な電子輸送を測定できる可能性がある。

図 7 は多層 CNT の IPA 懸濁液中に交流電場

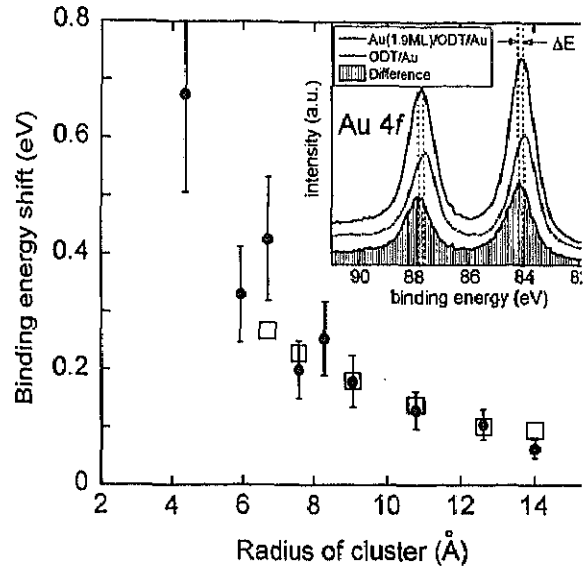


図 6 : XPS で測定されたクラスターの Au4f コアレベルシフト(黒丸)と STS から得られる帯電エネルギーとの関係。両者はコンシステントなサイズ依存性を示す。

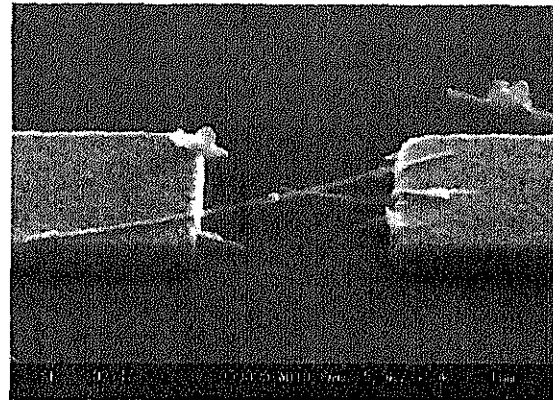


図 7 : 静電トラップ後の試料の SEM 画像

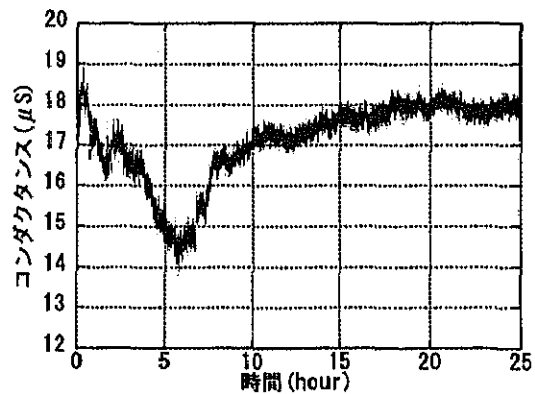


図 8 : アニール時のコンダクタンス変化

をかける方法により、間隔 1mm の電極対に CNT を橋渡ししたサンプルの SEM 画像である。さらに 1mm 四方の穴を一对開けた SiN のメンブレンをマスクとして、電極先端を覆うように金属を蒸着することで CNT へのコンタクトを良くする。現在は試料とマスクの位置合わせ用治具を発注している段階である。

また、予備実験として図 7 の橋渡し状サンプルにおける電気伝導測定を行い、次の結果を得た。

I) アニールによる接触の改善

150 °C でアニールを行うことにより最大で 3 桁の大幅な接触抵抗の減少が見られた。このことからメンブレン法による蒸着前にベークを行うことで NT へのさらなる良接触が得られることが期待される。

II) O₂ 導入後のアニールに伴うコンダクタンスの変化

温度を 150 °C に保ったまま、試料チェンバーに酸素を導入し、その後酸素を減圧した時のコンダクタンスの変化を測定した。酸素導入時にはコンダクタンスの上昇が見られ、20~30 分ほどで一定値に達した。続いて温度を 150 °C に保ったまま酸素を除いた時の変化を図 8 に示す。10 時間程のタイムスケールでコンダクタンスにディップがあらわれた。

この現象はアクセプターとして働く吸着酸素がアニールによって除去される過程でフェルミ準位が半導体 NT のバンドギャップを横切ったためと解釈できる。この結果は、酸素ドーピングによって CNT のコンダクタンスをある程度制御できることや、CNT デバイスのガスセンサー・高真空用真空計への応用を示唆している。

(2) 多層カーボンナノチューブにおける朝永-ラッティンジャー液体的振舞いの起源 (神田)

1 次元電子系では量子力学的な不確定性原理に起因する揺らぎが大きいため、少しでも電子間相互作用があると、朝永-ラッティンジャー液体と呼ばれる、フェルミ液体とは本質的に異なる状態が出現することが理論的に予測されている。朝永-ラッティンジャー液体の大きな特徴は、1) スピンと電荷が異なる速度で移動する (スピンと電荷の分離)、2) いろいろな物理量が温度やエネルギーの関数としてべき乗の依存性を持つ、という点である。とくに、トンネルコンダクタンス dI/dV に関しては

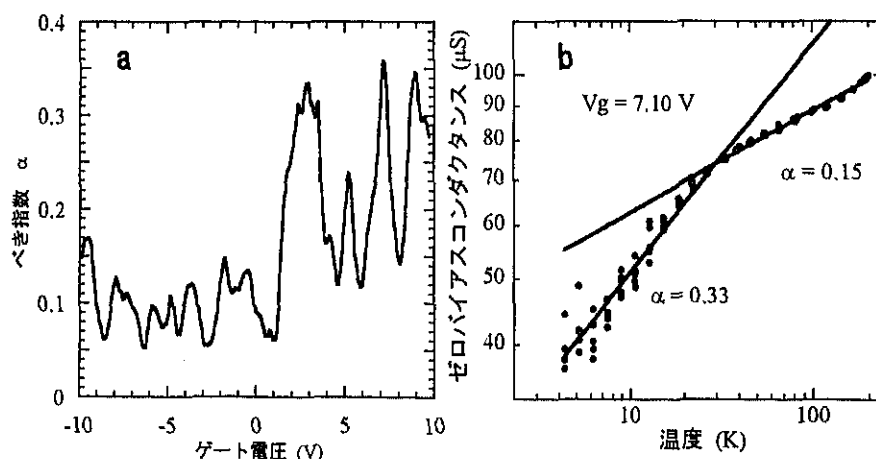


図 9 : (a) べき指数 α のゲート電圧依存性。ゼロバイアスコンダクタンスの温度依存性の 4K から 30K のデータから算出したもの。(b) ゲート電圧 7.10 V におけるゼロバイアスコンダクタンス G の温度依存性。約 30K でべき指数が変化している。

$$dI/dV \propto T^\alpha \quad (eV \ll k_B T \text{ の場合}) \quad (1)$$

$$dI/dV \propto V^\alpha \quad (eV \gg k_B T \text{ の場合}) \quad (2)$$

という結果が理論的に得られている。べき指数 α はトンネルジオメトリーや量子細線の種類に依存する量である。単層ナノチューブでは、朝永-ラッティンジャー液体的振舞い(1)(2)が観測され、かつ、べき指数 α の値が理論の予測と一致していることから、朝永-ラッティンジャー液体状態が実現していると考えられている。これに対し多層カーボンナノチューブの場合には、(1)(2)が観測されているものの、 α の値がばらつくなど実験的に不明な点が多い。また、そもそも準1次元系でありポテンシャルの乱れの影響を強く受けていると考えられる多層ナノチューブの電子が朝永-ラッティンジャー液体状態にあり得るのか、という点も興味深い。この点に関して理論では、パリステック領域のみならず、拡散領域にある多層ナノチューブでもラッティンジャー液体的振舞いが見えるはずであるとの報告がある。

われわれはこの点を調べるために、バナジウム/多層カーボンナノチューブ/バナジウムの単一電子トランジスタ構造を作製し、ゼロバイアスコンダクタンスや微分コンダクタンスの温度依存性を4 Kから200 Kにわたって詳細に測定した。その結果、明確な朝永-ラッティンジャー液体的振舞いを観測した。また、ゲート電圧、磁場に対する依存性を測定することにより、①ナノチューブに静電的に結合したゲートの電圧を変化させると α の値は0.05~0.35の間で変化すること(図9 a)、②特定のゲート電圧では低温(4K~数10K)と高温(数10K~200K)で異なる α が観測され、常に高温の α の方が小さいこと(図9 b)、③垂直磁場を印加すると α の値が変化すること、を見出した。結果①のべき指数変化の特徴的なゲート電圧スケールは1 Vであり、これはナノチューブが拡散領域にあると考えた場合のみ説明がつく。すなわち、われわれの用いた多層ナノチューブは朝永-ラッティンジャー液体状態にはありえないことが結論される。なお、本研究は理化学研究所半導体工学研究室との共同研究である。

【 4 】メゾスコピック有機導体の研究(上原)

1980年代に始まったメゾスコピック系の研究は、電子の波動性による様々な量子干渉効果や粒子性を意味する単電子帯電効果など基礎・応用の両面で多くの展開を遂げている。しかし、これらの研究で使用される導体のほとんどは金属あるいは半導体であった。新しいメゾスコピック伝導の探索を目指して、微小有機導体の研究をスタートした。電解酸化法で結晶成長が可能な電荷移動錯体を想定し、微小電極上に微結晶を成長させた後、さらに対向電極を取り付けるという方法を試みている。これまでに直径数 μm の金電極を作製を終え、これを電極として電解酸化法による(TMTSF)₂ClO₄の微小結晶成長を行いつつある。

【 5 】メカニカルブレイクジャンクション法の開発(宮崎、大貫)

微小導体の研究には超微細加工とナノマニピュレーションの技術の開発は欠かせない。上記の研究の中でも、電子線リソグラフィ法、斜め蒸着法、SiNメンブレンマスク法、電解トラップ法などの技術を開発、習得して用いている。さらにnmレベルで電極間隔を制御可能なメカニカルブレイクジャンクション(mechanical break junction, MBJ)法の開発を進めた。MBJ法は基板を機械的変形させることによってその上に作製した金属細線を切断するとともに、その間隔をオングストローム以下の精度で制御する実験方法である。この方法ならば、接合をバルクコンタクトから、ポイントコンタクト、真空をバリアにしたトンネル接合を経て、完全に切れた状態までの広範囲を精密に制御することができる。また、この金属細線を電極として見ると、間隔を細かく変えることのできる微小電極となり、その間にナノスケールの物質をはさみこむことでナノメートルサイズの様々な

導体の研究に応用できる。さらに、MBJ は構造が簡単なことから、真空中、極低温など、さまざまな条件下での使用も容易である。

鏡面研磨したりん青銅基板上にポリイミドを塗布し、その上に電子線リソグラフィーによって電極を作製する。その後ポリイミドを酸素雰囲気中でプラズマエッチングし、電極の下のポリイミドを取り除き、ブリッジ構造を作る。最後に基板に力を加え湾曲させ、ブリッジを切断する。試作した MBJ の SEM 写真を図 8 に、室温で動作させたときのコンダクタンスの変化を図 9 に示す。図 9 の横軸は、基板を機械的に変形させるために piezoelectric 素子にかけた電圧 V_p 、縦軸は $2e^2/h$ を単位としたコンダクタンス G である。量子化コンダクタンスと思われる階段状のコンダクタンスの減少が見られ、 $V_p = 150$ kV 付近では $G = 0$ になっており、完全に切れていることがわかる。

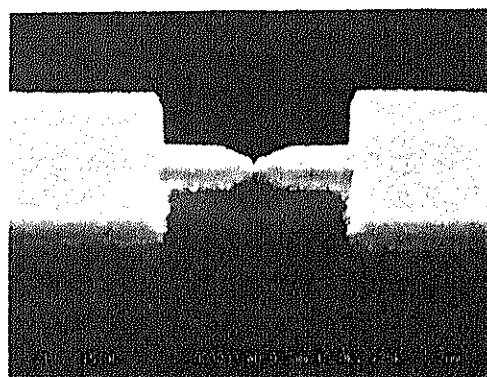


図 10 : メカニカルブレイクジャンクション

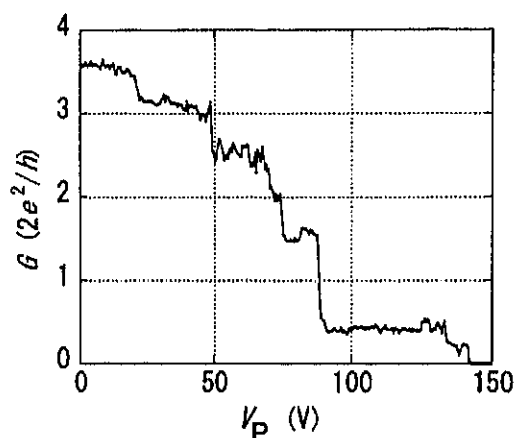


図 11 : 金 MBJ による破断直前のコンダクタンス変化

【 6 】 グラファイト上吸着ヘリウム3固相薄膜の核磁性 (森下)

原子レベルで平坦なグラファイト表面に物理吸着したヘリウム 3 (^3He) 薄膜において、吸着第1層及び第2層は固化する。 ^3He は核スピン $1/2$ をもち、これらの系は2次元量子スピン系のモデル物質である。その一方、この系の磁性は、 ^3He 原子の直接位置交換に由来する交換相互作用によるが、原子交換は2体だけでなく、3体、4体、5体、...と多数の原子が循環的に交換を生ずる。 ^3He 薄膜固体は、これら様々な多体交換相互作用の競合がその磁性を支配する、特異な系でもある。低次元性や多体交換相互作用の強い競合のために、この系は非常に frustration の強い系となっており、競合によってはスピン液体状態の基底状態が実現していると考えられ、精力的な研究が続けられている。この系の磁性は、面密度の増大とともに、吸着第1層目では強磁性 - 反強磁性 - 強磁性、吸着第2層目では反強磁性 - 強磁性と変化する。このような面密度による変化は、様々な多体交換相互作用の面密度依存性がそれぞれ異なるために、面密度とともに競合が変化することに依るものと理解されているが、有効的な交換相互作用が面密度とともに複雑に変化することを説明できないなど、詳細は未だ解明されていない。これが基底状態の解明を少なからず阻害しているのも事実である。本研究では、0.1 mK 以下の超低温までの比熱測定と理論的考察、特に吸着構造に主眼を置いて、この系の磁性の詳細と基底状態の解明を目指している。

(1) 吸着構造と核磁性

グラファイト上に吸着した ^3He 薄膜の吸着構造は、様々な実験上の困難のために、 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 構造と高密度領域で生じる不整合固相以外解明されていない。我々は多体交換相互作用の競合には吸着ポテン

シャルの corrugation が非常に重要な役割を演じていると考え、経路積分 Monte Carlo シミュレーションに基づいて吸着構造の解明を試みている。シミュレーション上、多数の準安定な構造が存在し、最安定な構造をシミュレーションだけで求めることは困難である。そのため、幾つかのもっともらしい構造についてシミュレーションで構造の最適化を行い、その吸着エネルギーに基づいて構造相図を決定する手法を採った。その妥当性は様々な実験事実と比較して評価した。

吸着第1層については、絶対零度における相図をほぼ目的とするレベルで確定することができた。ここでは、絶対零度における構造相図と Seattle のグループによる融解温度の測定結果とから、推測される温度-面密度平面における構造相図を図 11 に示す。図中の略号はそれぞれ、次の通りである； R : $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 構造, SDW : superheavy striped domain wall 構造, HDW : heavy honeycomb domain wall 構造, HC : honeycomb cage 構造。絶対零度における相境界は、融解温度における折れ曲がりや飛びと良く一致している。我々の提案した構造相図の特徴は、いかなる吸着系においても観測されていない honeycomb cage 構造を含むこと、そして、構造相転移が2次相転移的であるとしている点である。従来提案された構造相図において、構造転移は1次であり、2つの構造相が共存すると考えられていた。しかし、我々の考察に基づく相図では、相転移は2次であり、2相共存は起こらないと考えている。ただし、実際観測に用いられる吸着基盤は多数のグラファイト結晶子が集まった Grafoil であり、この結晶子の大きさの有限の分布の分だけ、2相共存が起こると考えている。特に honeycomb cage 構造と Incommensurate 相は比較的広い面密度領域にわたり共存することが期待される。この構造相図は、融解温度だけでなく、核磁性を反映する低温での比熱の折れ曲がり等と相境界が一致するほか、磁性の変化も定性的に説明できるものである。

今後、実際に有限温度におけるシミュレーションによりこの構造相図を検証すること、吸着第2相における構造相図を決定すること、各構造においてそれぞれの多体交換相互作用をもとめることなどの課題が残されている。

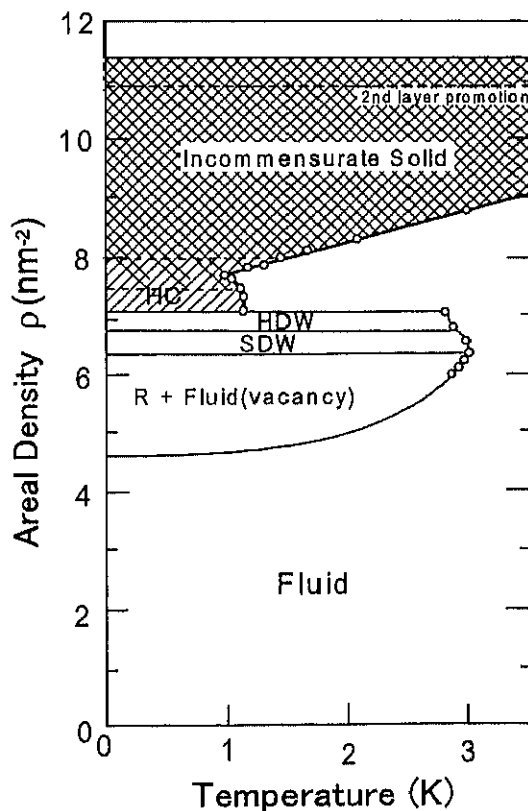


図 11. グラファイト上吸着 ^3He 第1原子層の構造相図 (R: $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 構造, SDW: superheavy striped domain wall 構造, HDW: heavy honeycomb domain wall 構造, HC: honeycomb cage 構造)。○は Seattle グループによる融解温度の測定結果。融解温度の折れ曲がり・飛びと相境界がよく一致する。

(2) 熱緩和機構

グラファイト基盤上に吸着した ^3He 薄膜は 0.1 mK 以下の低温まで基盤の温度に追従して冷却されていると考えられている。例えば、Stanford 大のグループは吸着第1層高密度領域に生成するほぼ常磁性的な固相の磁化が 0.1 mK 以下までサンプルセルの温度に対し Curie 則に従うことから、これを支持している。しかしながら、 ^3He 薄膜の冷却機構は必ずしも明らかにされていない。グラファイト上吸着 ^3He 薄膜系の主要な研究目的の一つは、核スピンの基底状態の解明である。そのためには、さらなる低温への冷却が必要であり、冷却機構についての情報は大変重要である。そこで、熱緩和法により、0.1 mK から 1 mK という限られた温度領域ではあるが、熱伝導度についての測定を行い、preliminary ながらも知見を得ることができた。

実験装置を図 12 のように、A、S、2つの系が弱い熱リンクで直列に熱浴に接していると見なし、系 A の温度を測定しながら、系 A に熱を加えるヒーターを ON / OFF する場合を考える。この時、系 A が先に昇温或いは降温し、系 S の温度は後からついてくることになる。詳しい解析によると、系 A の温度は double exponential で平衡温度に緩和する。この2つの緩和時間と温度差、ヒーターで加えた

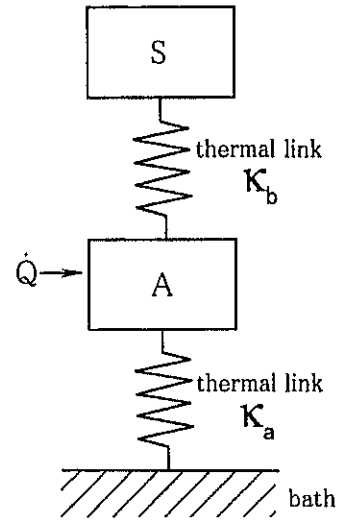


図 12. 緩和法による熱伝導度・熱容量の測定モデル。2つの系 A、S が弱い熱リンクを介して直列に熱浴に接している

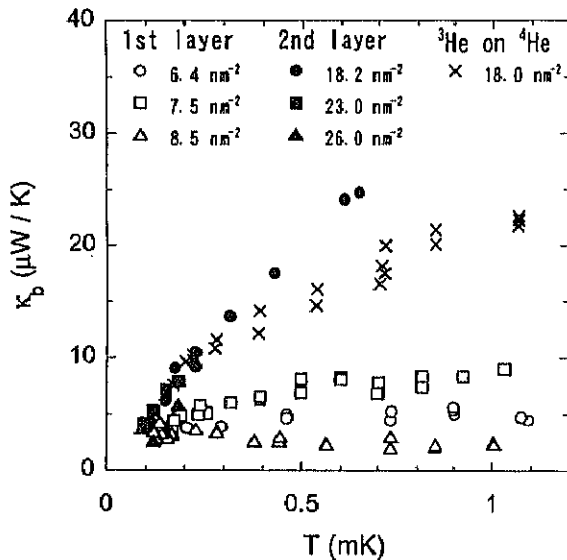


図 13. グラファイト基盤 - ^3He 薄膜間の熱伝導度。白抜きシンボルは吸着第1層、黒く塗りつぶしたシンボルは第2層での結果を、×は基盤表面を約1層の ^4He でコートした上の ^3He 薄膜での結果を示す。第1層と第2層とで振る舞いが異なる。

熱量から、系 A、系 S のそれぞれの熱容量と、これら及び熱浴をつなぐ熱リンクの熱伝導度を同時に求めることができる。この方法で得られた系 S の熱容量は通常の熱パルス法により測定された ^3He 薄膜試料の熱容量と良く一致し、系 S を ^3He 薄膜試料、系 A を Addendum と見なすことができる。

幾つかの面密度において測定された Addendum - 試料間の熱伝導度を図 13 に示す。白抜きシンボルは吸着第1層での結果を示すが、温度に対し弱い依存性になっている。一方、黒く塗りつぶしたシンボルで示した第2層での結果は、温度にほぼ比例した振る舞いになっている。×印は ^4He で1層コートした上に吸着した ^3He 薄膜での結果で、磁性の上では吸着第2層とほぼ同等である。純粋な ^3He 薄膜の第2層と比較して、高温域で熱伝導度が減少しているが、劇的な変化は生じていない。一方、1層目と2層目

を比較すると、熱伝導度の温度依存性が異なる上、1層目を介して熱緩和する2層目の方が逆に熱伝導度が大きいという、一見不思議な振る舞いを示している。

実験装置の中で最も熱伝導度の低いのは吸着基盤となるグラファイト自身である。銀シートで裏打ちして、熱の流れを補ってはいれるものの、厚さ方向の熱伝導がボトルネックになっている可能性は考慮しなければならない。しかしながら、もしグラファイトの熱伝導度が問題となっているとすると、 ^3He 薄膜の面密度により熱伝導度が異なることが説明できない。少なくとも吸着第2層を除いては他に ボトルネックが存在することになる。

バルクな液体及び固体 ^3He と他の物体の間には Kapitza 抵抗と呼ばれる大きな熱抵抗が介在する。Kapitza 抵抗は Acoustic Mismatch 理論である程度説明されている。この時、熱の媒体は界面にほぼ垂直に入射するフォノンである。固体 ^3He でも液体 ^3He でもほとんど同じ Kapitza 抵抗が観測されているが、これは液相でも界面に数層程度の固相が存在するためと考えられている。 ^3He 薄膜において、このようなフォノンの授受による熱伝導機構を考えてみる。まず、薄膜であるために界面に鉛直方向のフォノンは存在しない。もう一つ、薄膜面内のフォノンとグラファイト基盤の界面方向のフォノンとの結合の可能性は残される。しかし、少なくとも基盤に整合な吸着膜においては吸着ポテンシャルの corrugation のために 10 K にも及ぶフォノンギャップが存在する。そのため、1 mK 以下の温度域ではフォノンは存在せず、フォノンによる熱伝導機構が働くとは考えられない。

バルクな ^3He においては magnetic Kapitza と呼ばれる、 ^3He の磁気モーメントと他の物体中の磁気モーメントとの相互作用による熱伝導機構も存在することが知られている。グラファイト基盤中の磁性 不純物との磁気結合による熱伝達の可能性は充分にあり得る。

面密度依存性を見るために、吸着第1層について幾つかの温度における熱伝導度を面密度の関数として図 14(a)に示す。各温度において、7.5 nm²を中心に緩やかなピークが見て取れる。比較のため物性研グループにより磁化測定から得られた有効的な交換相互作用の大きさを図 14(b)に示す。熱伝導度が交換相互作用の大きさを反映していることが容易に推測される。即ち、 ^3He 固相薄膜内では磁気的な機構により熱が運ばれ、これが系全体の熱緩和を決めていた可能性が指摘される。バルクな bcc 固体 ^3He に

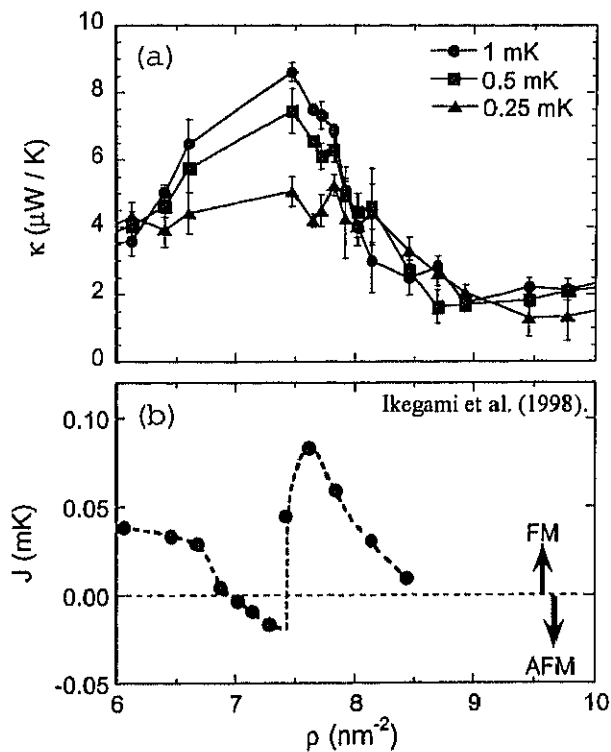


図 14. (a) 吸着第1層における熱伝導度の等温曲線。(b) 吸着第1層における有効的な交換相互作用の大きさ。熱伝導度は、交換相互作用の大きさを反映していると考えられる。

においても、低温での熱伝導機構は magnon であり同様の磁気的な機構が働く可能性が高い。ただし、 ^3He 薄膜では2次元性のために長距離秩序は発達しておらず、magnon が良い素励起ではなく、また実際に吸着基盤として用いている Grafoil は小さなグラファイト結晶子の集まりであり、結晶子界面の影響があるなど、状況が異なり、今後さらなる検討が必要である。基盤と ^3He の間の熱伝導機構として上述の磁性不純物との結合を考えると、基盤と ^3He 薄膜は局所的に熱結合していることになり、 ^3He 薄膜内の熱伝導がボトルネックになっているという描像と一致する。 ^4He で1層コートしても、熱伝導度は劇的に減少していないが、磁性不純物がクラスターの的に表面に存在しており、 ^4He 1層では磁性不純物を覆い隠せない可能性が考えられる。

^3He 薄膜内での磁気的な熱伝導機構の一つの可能性としては、 ^3He 原子の位置交換による核スピンの移動に依るものである。吸着第1層において、熱伝導度が温度に依存しないことは、この機構の可能性を支持する。しかし、この機構ではスピンは拡散的にしか移動せず、観測されたほどの熱伝導度を再現するためには磁性不純物が非常に多く存在せねばならず、考えにくい。やはり、寿命が短いにしてもスピン波的な素励起が熱伝導を担っていると考えられる。

吸着第1層と第2層とで温度依存性が異なる理由として、吸着第2層では交換相互作用が大きいので、 ^3He 薄膜内での熱伝導度が大きく、グラファイトの熱伝導がボトルネックになっている可能性が残される。測定数が少ないが吸着第2層において面密度による変化がほとんどないことは、これを示唆している。いずれにしても、さらなるデータ収集と検討が必要である。

【 7 】 熱音響現象 (富永)

熱音響現象は二つの階層から理解される。上位の階層は非平衡系の熱力学であり、下位の階層は流体力学である。二つの階層を結びつけるには直感が必要である。20世紀の熱音響理論は一般性があるように思われていたが、非平衡系の熱力学を使って検討すると、古典的理想気体以外では熱力学の第二法則に抵触する可能性があることが判った。そこで非平衡系の熱力学にあらわれるエントロピー流と流体力学的議論との接続を変更し、古典的理想気体以外にも適用できるように熱音響理論を拡張した。この拡張によりエントロピー流の表現には熱膨張率が出現しないようになった。

【 8 】 極低温粒子検出器 (大塚)

東京大学大学院理学系研究科養輪眞研究室と共同で極低温を利用した粒子検出器、フッ化リチウム単結晶を吸収体としたボロメータを神岡宇宙素粒子研究施設に設置し暗黒物質探索実験を行っている。

【 9 】 $^{70}\text{Ge}:\text{Ga}$ における金属-絶縁体転移 (大塚)

伊藤公平 (慶応大)、渡部道生 (理研) などとの共同研究である不純物半導体 $^{70}\text{Ge}:\text{Ga}$ における金属-絶縁体転移の実験に関して、論文をまとめた。

<学位論文>

- ・ 北田実：“Pressure effect in Single-Electron Transistor” (単一電子トランジスタにおける圧力効果) (筑波大学理工学研究科、修士論文、2003.3)
- ・ 松田亮史：“Enhanced Magnetoresistance in Ferromagnetic Single-Electron Transistor” (強

<論文>

1. H. Miyazaki, T. Yamaguchi, A. Kanda, Y. Ootuka, Quantum Phase Transition in One-Dimensional Arrays of Resistively Shunted Small Josephson Junctions, *Phys. Rev. Lett.* 89, 197001-4 (2002).
2. T. Yamaguchi, H. Miyazaki, A. Kanda and Y. Ootuka, Superconductor-Insulator Transition in One- and Two-dimensional Array of Dissipative Small Josephson Junctions, *Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM 01)* (ed. by Y. A. Ono and K. Fujikawa, World Scientific, 2002), 201-204.
3. R. Matsuda, A. Kanda and Y. Ootuka, Enhanced Tunnel Magnetoresistance in Ferromagnetic Single Electron Transistor, *Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM 01)* (ed. by Y. A. Ono and K. Fujikawa, World Scientific, 2002), 233-236.
4. Y. Ootuka, T. Yamaguchi, H. Miyazaki and A. Kanda, Dissipation and Quantum Fluctuation in 2D-Array of Small Josephson Junctions, *Microelectronic Engineering*, 63(1-3) (2002), 309 - 312.
5. A. Kanda and Y. Ootuka, Response of a mesoscopic superconducting disk to magnetic fields, *Microelectronic Engineering*, 63(1-3) (2002), 313 - 317.
6. A. Kanda, K. Tsukagoshi, S. Uryu, Y. Ootuka and Y. Aoyagi, Resistance dependence of transport properties in metal/multi-wall carbon nanotube/metal structures, *Microelectronic Engineering*, 63(1-3) (2002), 33 - 37.
7. K. Tsukagoshi, N. Yoneya, S. Uryu, Y. Aoyagi, A. Kanda, and Y. Ootuka, B. W. Alphenaar, Carbon nanotube devices for nanoelectronics, *Physica B*, 323 (2002) 107 - 114.
8. A. Kanda, S. Uryu, K. Tsukagoshi, Y. Ootuka and Y. Aoyagi, Magnetic field dependence of Coulomb oscillations in metal/multi-wall carbon nanotube/metal structures, *Physica B*, 323 (2002) 246 - 248.
9. D. Fujita, T. Ohgi and T. Homma, Stabilization Against Initial Oxidation using Surface Segregation of Sulfur on Fe(100), *Appl. Surf. Sci.*, 200, 55 (2002).
10. T. Ohgi and D. Fujita, Consistent size dependency of core-level binding energy shifts and single electron tunneling effects in supported Au nanoclusters, *Phys. Rev. B* 66, 115410 (2002).
11. W. Deng, D. Fujita, T. Ohgi, S. Yokoyama, K. Kamikado, and S. Mashiko, STM-induced photon emission from self-assembled porphyrin molecules on a Cu(100) surface, *J. Chem. Phys.* 117, 4995 (2002).
12. Zhen-Chao Dong, Asit Kar, Zhi-Qiang Zou, Taizo Ohgi, Pavel Dorozhkin, Daisuke Fujita, Shiyoshi Yokoyama, Toshifumi Terui, Toshiaki Yamada, Toshiya Kamikado, Minni Zhou, Shinro Mashiko and Takayuki Okamoto, Light Emission from Porphyrin Molecules Induced by a Scanning Tunneling Microscope, *Jpn. J. Appl. Phys., Part 1* 41, 4898 (2002).
13. Kohei M. Itoh, Michio Watanabe, Yuiti Ootuka, and Eugene E. Haller, Comparison of the Effects of the Doping-Compensation and Magnetic-Field on the Metal-Insulator Transition of Ge:Ga, *JPSJ Suppl. A* 72 (2003) 181-182.
14. T. Yamaguchi, H. Miyazaki, A. Kanda, Y. Ootuka, Experimental Studies on Cooper Pair

15. D. Fujita, T. Ohgi, T. Kumakura, K. Onishi, M. Harada, Discovery of Carbon Nanowires Formed on a Carbon-Doped Ni(111) Substrate by Bulk-to-Surface Precipitation Process, Japanese Journal of Applied Physics, 42, 1391 (2003).
16. 伊藤公平、渡部道生、大塚洋一、半導体中の電子はどのように遍歴化するか？……モット・アンダーソン転移の臨界指数, 日本物理学会誌 57(2002) 813-821.
17. K.Miuchi, M.Minowa, A.Takeda, H.Sekiya, Y.Shimizu, Y.Inoue, W.Ootani, Y.Ootuka, First results from dark matter search experiment with LiF bolometer at Kamioka Underground Laboratory, Astropart.Phys. 19 (2003) 135-144
18. R. Matsuda, A. Kanda, Y. Ootuka, Enhancement of tunnel magnetoresistance in ferromagnetic single-electron transistors, Physica E, in press.
19. H. Miyazaki, T. Yamaguchi, A. Kanda, Y. Ootuka, Quantum Fluctuations and Dissipative Phase Transition in One-Dimensional Josephson Junction Arrays, Physica E, in press.
20. T. Yamaguchi, H. Miyazaki, A. Kanda, Y. Ootuka, Dimensional crossover from 2D to 1D in small-Josephson-junction arrays, Physica E, in press.
21. A. Kanda, Y. Ootuka, Paramagnetic supercurrent in a mesoscopic superconducting disk, Physica E, in press.
22. Youiti Ootuka, Teppei Kurosawa, Akinobu Kanda, Yuri Pashkin, and Jaw Shen Tsai, Tunnel spectroscopy of small Al particle, Physica E, in press
23. T. Ohgi and D. Fujita, Single electron charging effects in gold nanoclusters on Alkanedithiol Layer with different molecular length, Surface Science (2003) in press.
24. T. Ohgi and D. Fujita, Octanedithiol layer as tunneling barrier, Physica E (2003) in press.
25. Masashi Morishita, Hiroshi Nagatani, and Hiroshi Fukuyama, Anomalous Temperature - dependence of Nuclear-Spin Heat Capacity of Submonolayer Solid ^3He Adsorbed on Graphite, Phys. Rev. B 65, 104524 - 1-7 (2002).
26. Masashi Morishita and Takeo Takagi, Adsorption Structure of ^3He Monolayer Solid Film on Grafoil, J. Low Temp. Phys., 126, 1541-1546 (2002).
27. Masashi Morishita and Takeo Takagi, Striped - honeycomb transition of domain wall structure of ^3He submonolayer solid film on graphite, Physica B (in press).
28. 富永 昭, 熱音響理論の拡張 (An Extension of the Thermoacoustic Theory), 低温工学 37 巻 4 号, 162-167 (2002)
29. H. Kobayashi, Y. Suganuma, H. Yoshida, Y. Matsubara and A. Tominaga, Thermoacoustic oscillation in channels of the pressurized He II, Cryogenics 42, 509-513 (2002)

<報告書>

1. 森下將史, 高木丈夫, 吸着2次元量子固体における零点空孔と核磁性、平成13年度～平成14年度科学研究費補助金基盤研究(C)(1)研究成果報告書

<講演>

国際会議

1. Single Electron Charging Effects of Supported Gold Nanoclusters Studied by Tunneling and Photoelectron Spectroscopy, T. Ohgi and D. Fujita, 7th International Conference on Nanometer-scale Science and Technology and 21st European Conference on Surface Science, Malmo, Sweden, June 24-28, 2002
2. Electronic states of multi-walled carbon nanotubes in a magnetic field, A. Kanda, Y. Ootuka, S. Uryu, K. Tsukagoshi, Y. Aoyagi, International Conference on the Science and Applications of Nanotubes (NT2002), (Boston (USA) Jul. 6-11)
3. Experimental Studies on Cooper Pair Transport in Josephson Junction Arrays (invited), Yamaguchi Takahide, Hisao Miyazaki, Youiti Ootuka, The International Conference on Quantum Transport and Quantum Coherence (Localisation 2002), Sophia University, Tokyo 2002/8/18
4. Effects of the Doping-Compensation and Magnetic Field on the Critical Behavior of the Metal-Insulator Transition in Ge₂Ga, Kohei M. Itoh, Michio Watanabe, Youiti Ootuka, and Eugene E. Haller, The International Conference on Quantum Transport and Quantum Coherence (Localisation 2002) Sophia University, Tokyo 2002/8/16
5. Tunnel Spectroscopy of a small Al particle Youiti Ootuka, Teppei Kurosawa, Akinobu Kanda, Yuri Pashkin, Jaw-Shen Tsai, the 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan 2002/8/20-27
6. Paramagnetic supercurrent in a mesoscopic superconducting disk, Akinobu Kanda, Youiti Ootuka, the 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan 2002/8/20-27
7. Quantum Fluctuations and Dissipative Phase Transition in One-Dimensional Josephson Junction Arrays, Hisao Miyazaki, Takahide Yamaguchi, Akinobu Kanda, Youiti Ootuka, the 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan 2002/8/20-27
8. Dimensional Crossover from Two to One Dimension in Small-Josephson-Junction Arrays, Yamaguchi Takahide, Hisao Miyazaki, Youiti Ootuka, the 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan 2002/8/20-27
9. The Enhancement of TMR in Ferromagnetic SET, Ryouji Matsudaa, Akinobu Kanda, Youiti Ootuka, the 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan 2002/8/20-27
10. Consistent size dependency of core-level binding energy sifts and single electron tunneling effects in supported Au nanoclusters, T. Ohgi and D. Fujita, the 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan 2002/8/20-27
11. Electronic states of multi-walled carbon nanotubes in a magnetic field, A. Kanda, Y. Tomida, Y. Ootuka, S. Uryu, K. Tsukagoshi, Y. Aoyagi, the 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan 2002/8/20-27
12. Tunnel Magnetoresistance of Ferromagnetic Single Electron Transistors, Y.Ootuka, RIKEN-Taiwan workshop on Nano-Science & Nano-technology (2002/10/9-10) 理化学研究所大河内記念ホール 2002/10/10.
13. Striped - honeycomb transition of domain wall structure of 3He submonolayer solid film on graphite, Masashi Morishita and Takeo Takagi, The 23rd International Conference on Low Temperature Physics (Aug. 2003, Hiroshima).
14. Nuclear Spin Heat Capacities and Adsorbed Structures of Submonolayer Solid 3He on Graphite (Invited Talk), Masashi Morishita, Takeo Takagi, and Hiroshi Fukuyama, International Symposium on Ultra Low Temperature Physics (Aug. 2003, Kanazawa).

15. Competition of Multiple Spin Exchange Interactions in Solid ^3He , H. Fukuyama, H. Ishimoto, M. Morishita, K. Yawata, C. Bauerle, H. Ikegami, H. Kambara, Y. Matsumoto, S. Murakawa, K. Honkura, and Y. Niimi, International Symposium on Ultra Low Temperature Physics (Aug. 2003, Kanazawa).
16. Adsorption Structure of Submonolayer Solid ^3He Film on Graphite, Masashi Morishita and Takeo Takagi, International Symposium on Ultra Low Temperature Physics (Aug. 2003, Kanazawa).
17. Thermoacoustic oscillation in channels of the pressurized He II, H. Kobayashi, Y. Suganuma, H. Yoshida, Y. Matusbara and A. Tominaga, ICEC19(Grenoble July 2002)

国内会議

1. ナノ領域の伝導現象, 大塚洋一, ナノサイエンス特別プロジェクト研究会 (筑波大学学生会館, 2002.4.26)
2. 金属微粒子のトンネル分光, 大塚洋一, 黒沢鉄平, 神田晶申, 山口尚秀, 馬場雅和, Yuri Pashkin, 蔡 兆申, 超微粒子とクラスター懇談会第6回研究会/第2回筑波地区合同フォーラム 合同シンポジウム (筑波大国際会議室, 2002/5/17)
3. 金属/多層カーボンナノチューブ/金属構造の電気伝導, 神田晶申, 塚越一仁, 瓜生誠司, 大塚洋一, 青柳克信, 超微粒子とクラスター懇談会第6回研究会第2回つくば地区合同フォーラム合同シンポジウム, (つくば, 2002年5月15日~17日)
4. ジョセフソン接合系の超伝導・絶縁体転移, 大塚洋一, 筑波大・産総研・物材研究機構連携研究交流会 ナノシミュレーション-実験系と計算科学の融合を目指して-, (産総研共用講堂, 2002/6/17)
5. 超伝導ダブルアイランドの電気伝導特性, 宮崎久生, 山口尚秀, 神田晶申, 大塚洋一, 日本物理学会2002年秋季大会 (中部大学, 2002/9/7)
6. ポロメータを用いた神岡地下実験室での暗黒物質探索実験 ^4LiF 及び NaF を吸収体に用いた測定, 竹田敦, 井上慶純, 大谷航, 大塚洋一, 清水 雄輝, 関谷洋之, 身内賢 太朗, 蓑輪真, 日本物理学会2002年秋季大会 (立教大学, 2002/9/14)
7. 単一カーボンナノチューブの電気伝導測定, 富田幸典, 神田晶申, 大塚洋一, VBL 研究成果報告会, (筑波大学, 理工学研究科修士棟 B107 室, 2003/1/22)
8. 強磁性単電子トランジスタのトンネル磁気抵抗の増大 (invited), 大塚洋一, 通研講演会 (東北大学電気通信研究所, 2003/2/27)
9. 単一電子トランジスタと圧力, 大塚洋一, ナノサイエンス特別プロジェクト発表会, 筑波大学, 2003/3/7)
10. 多層カーボンナノチューブの電気伝導, 神田晶申, ナノサイエンス特別プロジェクト発表会 (筑波大学, 2003/3/7)
11. Au ナノクラスターのトンネル及び光電子分光, 大木泰造, ナノサイエンス特別プロジェクト発表会 (筑波大学 2003/3/7)
12. Fe/Au 二層膜の熱電能の Au 層厚依存性, 飯田輝明, 神田晶申, 柳原英人, 喜多英治, 日本物理学会代58回年次大会 (仙台市(宮城県), 2003年3月)
13. 電子線照射による $\text{CrO}_2/\text{CrO}_x/\text{CrO}_2$ 接合作製の試み, 畑中歩, 柳原英人, 神田晶申, 喜多英

治, 日本物理学会代58回年次大会(仙台市(宮城県), 2003年3月)

14. 多層カーボンナノチューブにおける朝永・ラッティンジャー液体的振る舞い II, 神田晶申, 塚越一仁, 青柳克信, 大塚洋一, 日本物理学会代58回年次大会(仙台市(宮城県), 2003年3月)
15. グラファイト上 ^3He 固相薄膜の熱緩和, 森下將史, 日本物理学会第58回年会(2003年3月, 仙台).
16. 超流動ヘリウム ^4He の熱音響効果-熱伝達-, 菅沼洋一, 吉田栄之, 松原洋一, 富永 昭, 小林久恭, 秋季低温工学会(2002, 長崎) 講演概要集 82
17. 超流動ヘリウム ^4He の熱音響効果-音響-, 吉田栄之, 菅沼洋一, 松原洋一, 富永 昭, 小林久恭, 秋季低温工学会(2002, 長崎) 講演概要集 83.
18. 熱力学の基本法則, 富永 昭, 秋季低温工学会(2002, 長崎) 講演概要集 158
19. 熱力学の基本法則, 富永 昭, 熱音響自励振動研究会(2002年11月, 名古屋大学)
20. エントロピー生成と熱音響理論との関わり, 富永 昭, 熱音響自励振動研究会(2003年3月, 日光)

<受賞>

- ・ 神田晶申, 大塚洋一(塚越一仁(理研)他と共同受賞): MNC 2001 Award for Most Impressive Presentation, 受賞論文: "Nano-Electronics in a Multiwall Carbon Nanotube", (2002年11月).