

VIII-5. 低温物性グループ

教授	大塚洋一
講師	神田晶申、大木泰造
助手	森下將史
研究員	渡辺学、下岸史明（学際物質科学研究センター）
大学院生	迫坪行広（日本学術振興会特別研究員、数理物質研究科5年）、 森木拓也、高山尚（同2年）、坂口勇也、佐藤崇、古堅亮、新山雄（同1年）

低温物性実験グループでは、金属クラスター、カーボンナノチューブ、グラファイト超薄膜、サイズがコヒーレンス長以下の微小超伝導体、単原子接合や単分子接合など様々なナノスケピック構造の電子輸送現象の研究および吸着 ^3He 薄膜の核磁性の研究を行っている。大塚および神田は学際物質科学研究センター量子制御コアの担当であり、2006年4月から大阪大学および東京理科大学との三大学連携融合事業「アトミックテクノロジー創出事業」に参加することになった。一方、2002年度から5年間進めてきたナノサイエンス特別プロジェクトが本年度末で終了した。

【1】金属クラスター/アルミナ超薄膜構造の作製とトンネル分光（新山、迫坪、大木）

昨年度に続き $\text{NiAl}(110)$ 基板上に成長するアルミナ超薄膜を基板として用い銅クラスターの電子状態を調べた。本年度は試料調整法、測定法の改良を進めたことにより、準位の離散化に起因するスペクトルの変化の観測に成功した。現在詳細な解析を進めている。また並行してアルミナ超薄膜/ $\text{Ni}_3\text{Al}(111)$ に関する研究もおこなった。 $\text{Ni}_3\text{Al}(111)$ 基板上に成長するアルミナ超薄膜は $\text{NiAl}(110)$ の場合と比べ、膜上により多種の金属クラスターを成長させることが可能であり、またクラスターは膜の長周期構造の決まったサイトと強く結合すること、成長するクラスターのサイズを容易にコントロールできる等の利点がある。これまでこの薄膜の性質は様々な方法で調べられてきた。しかし詳細な電気的特性はまだ明らかとなっておらず、この薄膜がトンネル分光を行うに適した絶縁膜であることは確認されていない。本年度は金属クラスターの電子状態を調べる準備段階として、この $\text{Ni}_3\text{Al}(111)$ 上アルミナ超薄膜の作製と詳細な電気的特性の評価をおこなった(図1, 2)。各サイトにおいてフェルミ・エネルギー以上に最低2.0eV程度のギャップが見られ、トンネルバリアとして利用可能であることが考えられる。また、各サイトのピークの位置が大きく異なることが分かった。この起源についてはまだ分かっていない。さらに、アルミナ超薄膜上にCuを蒸着した場合、クラスターはdot structure上(図中A)に配置することが確認された。クラスターのトンネル分光を行った結果、二重トンネル接合に特有なクーロン階段が観察され、このことにより超薄膜がトンネルバリアとして働くことを確認した。

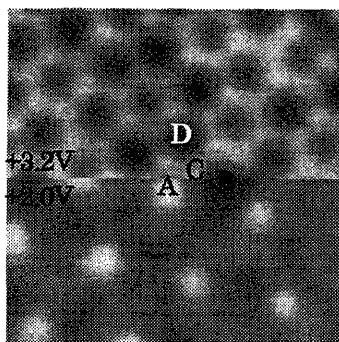


図1 $\text{Ni}_3\text{Al}(111)$ 上アルミナ超薄膜 topo 像 (14×14nm) Bias:+3.2V, +2.0V. A~C は超構造の特徴的なサイト。D はA または B の欠陥構造。

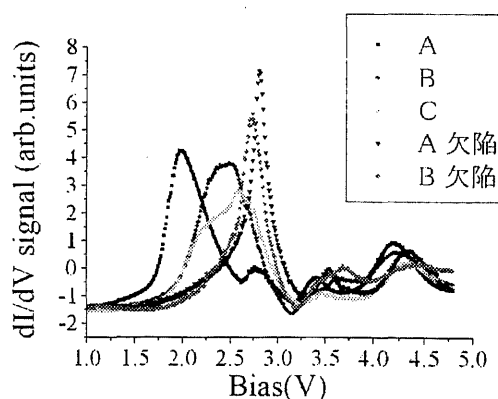


図2 アルミナ超薄膜の各サイトにおける dI/dV 曲線。(定点測定による)

【2】ナノカーボン系の量子輸送現象（森木、佐藤、神田）

(1) 多層カーボンナノチューブ

未だ報告のない多層カーボンナノチューブ (MWNT) における超伝導近接効果の観測を目指した研究をすすめた。CNTは低次元系であり、エネルギー準位が離散的であるという特徴を持つため、通常の金属とは違った超伝導近接効果が現れると期待できる。これまで行っていた窒化シリコンメンブレン法による試料作製法は、静電トラップ法により偶然電極間に橋渡しされた MWNT を試料に用いるため、より抵抗値の低いと思われる MWNT を選択することができない。

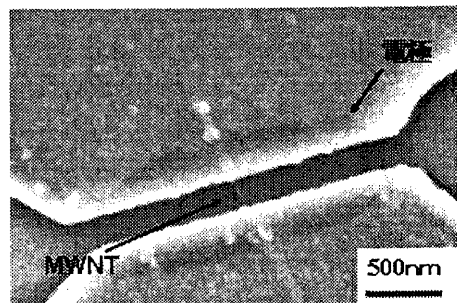


図3：MWNT 試料の SEM 写真

また、下部電極蒸着後は空气中で作業するため、下部電極には酸化しない金属しか用いることができないという問題点があった。そこで、これらを改善するため、新たな試料作製法を用いた。まず、基板上に散布させた MWNT を SEM で観察し、比較的抵抗値の低いと思われる MWNT を選択し、基板上的マーカーを頼りに位置確認を行う。その後、電子線リソグラフィプロセスを行い、MWNT 両端に電極を接続させた。その際、MWNT と電極とのコンタクトを良好にするため、電極蒸着直前に真空装置内で電極と接触する部分の MWNT 表面を Ar イオンシャワーによりクリーニングした。電極金属には、Ti/Al を用いた。Ti は CNT とのコンタクトが良好であり、Al は超伝導転移温度が比較的高いという特徴を考慮した構造となっている。

このようにして作製した試料(図3)を低温で測定した結果、窒化シリコンメンブレン法により作製した試料に比べ、抵抗値が大幅に低減した(数 k Ω 程度)。しかし、ゼロバイアス付近で抵抗値が上昇し、超伝導近接効果を観測されなかった。ひとつの原因として、MWNT 内の乱れが考えられる。そこで、MWNT 内層のナノチューブには比較的欠陥が少ないという報告に基づき、MWNT 両端を酸素プラズマによりエッチングし、電極と内層のナノチューブとのコンタクトを可能にした。しかし、この試料においても超伝導近接効果は観測されなかった。また、同時に合成したナノチューブでも乱れの度合いにばらつきを持つという報告から、多量の MWNT を並列に接続し、同時に測定することも試みたが、この試料においても超伝導近接効果は観測されなかった。これらの結果より、我々の用いた多層カーボンナノチューブでは、ナノチューブ内の乱れが伝導に大きな影響を及ぼしていると推察できる。

(2) グラファイト超薄膜

原子1~数層からなるグラファイト超薄膜は、移動度の高さ、素子作製の自由度の高さにより新たな2次元電子材料としての可能性を持つことに注目し、電極作成技術・電極材料・低温コヒーレント伝導を検討した。劈開したグラファイトを酸化膜付低抵抗シリコン基板上に貼り付け、金属電極(ソース・ドレイン電極)を取り付けて電気伝導特性を調べた。仕事関数の異なる種々の金属材料でソース・ドレイン電極を作製しところ、いずれの材料を用いてもゲート電圧に対して抵抗が極大を持つ両極性型の特性を示し、抵抗を最大にするゲート電圧には材料依存性が見られた。これは電極とグラファイト薄膜間の電荷注入障壁の大きさを反映していると考えられる。さらに電流注入障壁の改善のため、アルゴンイオン照射の伝導に対する影響を評価し、超薄膜グラファイトの加工ダメージを詳

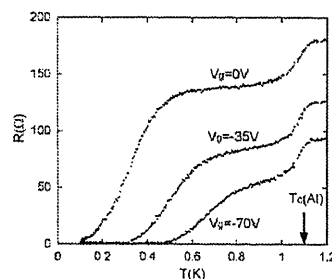
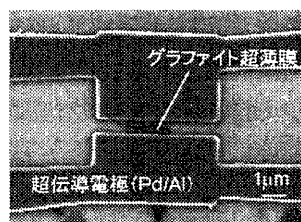


図4. ナノグラファイト薄膜の Al 端子素子の電子顕微鏡写真と超伝導近接効果のゲート依存性。理論的に指摘されている高いコヒーレンス性を、超伝導近接効果の観察によって実験的に検証することに成功した。

細に検討した。これらの結果を基にして、100nm以下のチャネル形成技術を確立することが出来た。伝導のコヒーレント性を調べるために、厚さが5-10nmのグラファイト超薄膜に500nm間隔で2つのAl超伝導電極を取り付け低温での電気伝導特性を詳細に調べた。この結果、低温で超伝導近接効果を観測し、近接効果によるコヒーレント伝導がゲート電圧で変調可能であることがわかった。超伝導電流の温度依存性から、グラファイト超薄膜はクリーンリミット（平均自由行程>電極間隔）の特性を持つことが初めて明らかとなった。さらに、以下の新しい現象が観測された：①ゼロバイアス近傍にて微分抵抗がピークを持つ、②高ゲート電圧（電子伝導）と低ゲート電圧（ホール伝導）における臨界電流の常伝導抵抗依存性が異なる、③臨界電流と常伝導抵抗の積（ $I_c R_n$ 積）がゲート電圧に依存する。今後、素子構造を工夫することによって、これらの現象の起源の解明し、本材料の持つコヒーレント性を引き出した電子素子の提案と実現を目指す。特にバリスティック性を引き出し、高速で動作可能な薄膜トランジスタの提案へと発展させる。

【3】メゾスコピック超伝導（古堅、神田）

サイズが超伝導コヒーレンス長と同程度のメゾスコピック超伝導体では、超伝導電流の分布が試料形状の影響を大きく受けるので、バルクとは異なる超伝導状態が出現する可能性がある。我々は、独自の測定方法 multiple-small-tunnel-junction (MSTJ) 法を用いてメゾスコピック超伝導体の超伝導状態を調べている。この方法は現時点で、複数個所の超伝導の強さを比較することができる唯一の方法である。昨年度は、この手法を用いて、超伝導リングについて10年来理論的に予測されてきた1次元渦糸状態の観測に成功した。今年度は、ベルギー、ロシア、イスラエルの理論家の協力のもと理論シミュレーションを行い、理論・実験の良い一致を見た。現在論文投稿中である。

さらに、1次元渦糸状態の安定性を実験的に確認するために、穴が中心からずれている超伝導リングを多数作製し、フラクソイド状態間転移磁場の温度依存性を詳細に調べた。理論によれば、中心からの穴のずれが大きいほど1次元渦糸状態は安定化する。1次元渦糸状態があらわれたか否かは、フラクソイド状態間転移が連続であるか否かで実験的に判断することができる。実験の結果、1次元渦糸の安定性に関する理論予測を定性的に確認することができた。

メゾスコピック超伝導体に現れる新しい渦糸状態のひとつに、「反渦糸」がある。これは、渦糸状態が試料形状の対称性を保つために生じる。例えば、正方形試料で渦度が3の場合、4個の渦糸が頂点近傍に配置し中心に反渦糸がある状態が安定化する。これまで、反渦糸の観測は実験的には困難であるとされてきたが、試料に微細な孔を空けることで反渦糸の安定化するパラメータ範囲が広がることがベルギーの理論グループによって本年度明らかになった。この理論グループの協力を得、反渦糸観測のためのMSTJ実験を開始した。

【4】MBJ法による単分子伝導の研究（渡辺、下岸、坂口、大塚）

サブミクロン領域での微細加工の中心となる電子線リソグラフィ法も10nm以下の構造を作るのは容易ではなく、この限界を超えるために様々な工夫が試みられている。我々もこれまでに、メッキ法、斜め蒸着法、無機レジスト法など10nm以下の構造作製に向けた開発を行ってきた。

これとともに、比較的容易に単分子や単原子などnmのナノ構造にアプローチできる方法として機械的破断接合 (Mechanically-Controlled Break Junction, MCBJ) 法がある。MCBJは切り込みを入れた金属細線を弾性体基板上に固定したのち、基板に曲げ変形を加えて細線を破断するという方法であり、変形の度合いを制御することで一度破断された細線の間隔をpmレベルで制御しながら再接触させることが可能である。類似の技術である走査型トンネル顕微鏡 STM 等と比較して変位の自由度は1次元に限られるものの、高い安定性を持つという特徴をもつ。

これまでの微細加工による MBJ 用金試料に加え、簡便なワイヤーを利用した試料作製法や Pt や Nb などの試料作製、超伝導近接効果型の接合試料などの開発を進めた。また、室温から 2K の間での実験を行うための専用クライオスタットを作製した。これを用いて行った水素分子伝導の予備実験の結果を図に示す。電極は白金であり、白金のみの場合と水素分子を装置内に導入した場合のコンダクタンスヒストグラムであり、水素の導入によるヒストグラムの変化と Pt-H₂ 系での 1.0 G でのピークが観測された。後者は単一 H₂ 分子によるブリッジが実現していることを示す。今後は I-V 特性や機能性を有する分子の計測へと展開する計画である。

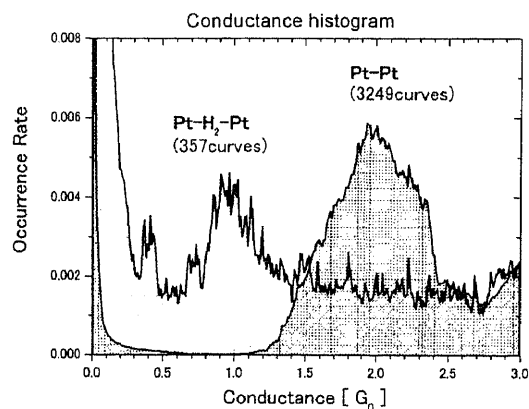


図5: 白金-および白金・水素-ポイントコンタクトのコンダクタンスヒストグラム

【 5 】 金属転移前後の Si:P のトンネル状態密度 (高山、大塚)

アンダーソン局在の典型系である P を多量にドーピングしたシリコン (Si:P) についてトンネル分光測定を行い、金属-絶縁体転移に伴う状態密度の変化を調べ以下の知見を得た。(1)すべての試料についてゼロバイアスでのコンダクタンスの減少が見られた。(2)大局的な変化は Lee らによる現象論的なスケーリング理論で理解できる。(3)局在状態のクーロンギャップにおいて金属電極による遮蔽効果による状態密度の変化を初めて観測した。なお、個々の局在状態のトンネル分光を目指して 10nm 以下の微小接合を実現するための研究も進めた。

【 6 】 グラファイト上吸着ヘリウム3固相薄膜の研究 (森下)

グラファイト上に1原子層或いは2原子層吸着して生ずるヘリウム3 (³He) 固相薄膜は、2次元量子スピン系のモデル物質を与える。この系の磁性は核スピン間の交換相互作用で決まるが、3体、4体、5体、6体、・・・といった多数の原子が循環的に交換する多体交換モデルにより記述されるものと考えられている。このモデルに従うと偶数個の交換はスピン間に反強磁性的な相互作用を与えるのに対し、奇数個の交換は強磁性的な相互作用を与える。反強磁性的な相互作用と、強磁性的な相互作用の競合は面密度により可変であるが、強い frustration の原因となり得る。さらに、反強磁性相互作用が強ければ、³He 薄膜は三角格子を基本とした吸着構造をもつために、スピン配列に幾何学的な frustration をもつことになる。加えて、2次元系であるために、揺らぎの影響を強く受け、有限温度における長距離秩序が抑えられており、frustration の影響を受けやすい状況となっている。このような frustration の強い系がいかなる基底状態をもつのか、基底状態は frustration によりどのように変化するのかは、重要な問題として spin liquid といった全く新しい状態の可能性も含め、実験・理論両面から精力的な研究がなされている。本研究においては、超低温度までの熱容量測定を中心にこの系の調査を行っている。本年度は数 100 G 程度の弱い磁場中での熱容量・熱伝導測定を行い、吸着第2原子層の固相で、従来の知見では全く理解できない熱容量の大きな磁場依存性を観測するとともに、³He 薄膜面内をスピン波やフォノンの形で熱が巨視的な距離に渡り流れていることを突き止め、グラファイト - ³He 薄膜間の熱伝導機構を解明した。以下に詳細を示す。なお、実験は研究支援総合センター低温部門共同利用設備 ³He-⁴He 希釈冷凍機を用いて行われた。

(1) ³He 固相薄膜熱容量の異常な磁場依存性

昨年度に引き続き、graphite の表面にはほぼ平行な数 100 G 程度の弱い磁場中で ³He 固相薄膜の熱容量測定を行った。100 G の磁場は ³He スピンに対し 10 μK の Zeeman エネルギーに相当し、交換相互作用の大きさに比べ2桁程度小さい。新たに測定した吸着第2層では従来の知見では全く説明できない異常な変化が観測さ

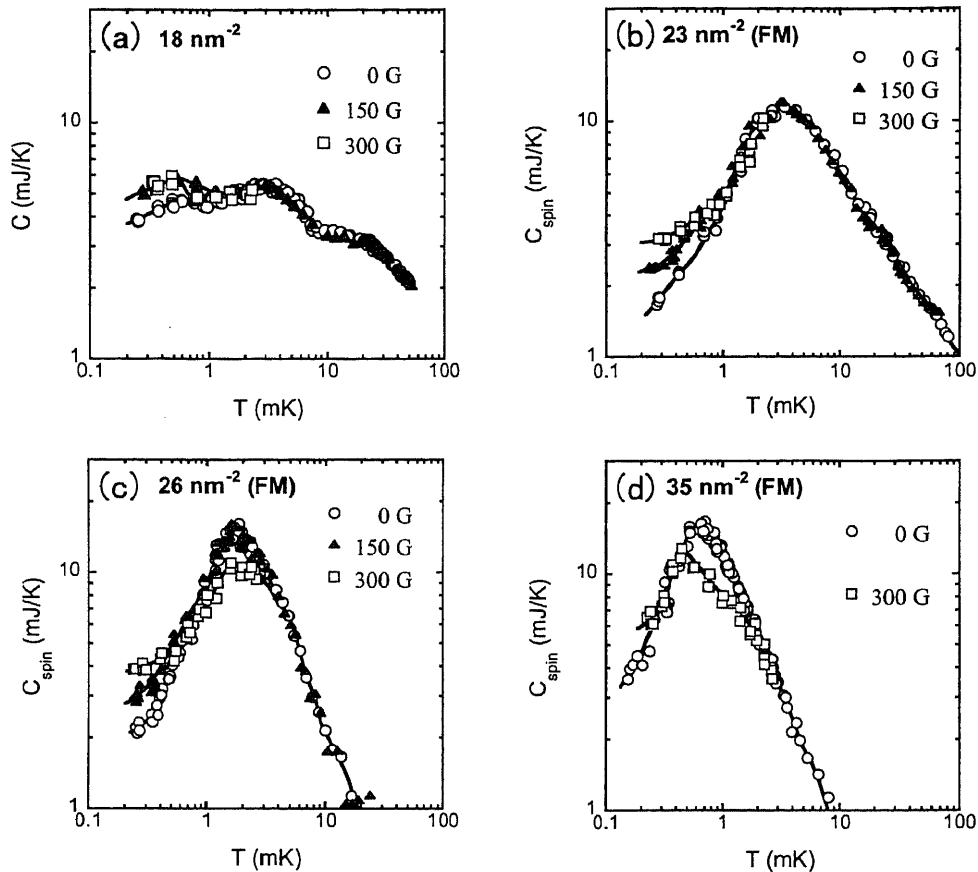


図6：吸着第2層固相薄膜の熱容量の磁場変化。面密度は図中に表示。実線はガイドライン。低温域で熱容量が増大し、高面密度領域ではさらにピークの高さの顕著な減少が観測される。高面密度領域は強磁性的な相と考えられているが、磁場が短距離秩序の成長を阻害しており異常な結果である。また、低温域の増大もスピン波理論では全く説明できないほど大きい。

れた。図6に吸着第2層 (a) 18 nm^{-2} , (b) 23 nm^{-2} , (c) 26 nm^{-2} , (d) 35 nm^{-2} における熱容量の磁場変化を示す。(a)は反強磁性的な性質を示し、(c)は強磁性的な性質を示す。(b)は反強磁性から強磁性への移行する面密度領域であり、(d)は強磁性が弱まり常磁性に移行している領域である。(a)と(b)では、高温域の熱容量は磁場による変化せず、ピークの低温側のみが変化している。(a)の1 mK近傍に注目すると、磁場変化が単調なものではないことを示している。(c)の強磁性相に移行するとさらに、熱容量のピークの高さが顕著に減少し、(d)の領域ではピークを与える温度すら低温側にシフトしている。

低温域での熱容量の増大は、ほぼ縮退して多数存在している低エネルギーの励起状態に磁場によりギャップが生じ、熱容量が高温側にシフトしたためとして定性的には理解できる。しかしながら、スピン波の長波長近似ではこのような大きな変化は説明できない。観測された結果は、低エネルギーの励起状態が非常に多数存在していることを示唆し、この系が単純な量子スピン系ではなく、frustrationが非常に強い系であることを反映しているのかも知れない。特に(a)の反強磁性相における結果は磁場の増大とともにグラフの double peak 構造がより顕著になっており、磁場が frustration を増大させている可能性が高い。

一方、(c), (d)の結果は磁場が短距離秩序の成長を阻害していることを示している。この面密度領域は帯磁率測定などから強磁性的な性質をもつと考えられているが、異方性がない限り磁場が強磁性秩序を壊すことは考えにくい。この相は単純な強磁性ではなく、スピンが磁場に垂直な平面内で反強磁性的に整列し、磁場の増大とともに磁場方向に cant している相かも知れない。これら異常な振る舞いの解明には、さらに高磁場や、様々な面密度領域における測定を行ってみる必要がある。

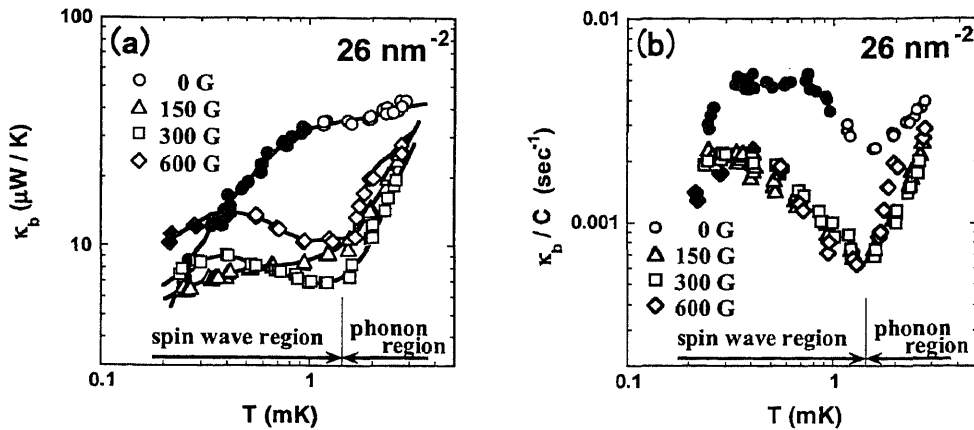


図7 : (a)吸着第2層固相薄膜(26 nm^{-2})におけるグラファイト - ^3He 薄膜間の熱伝導の磁場変化。実線はガイドライン。わずかな磁場を印加するだけで、熱伝導が大きく減少しているが、600 G では再び増大している。(b)熱伝導を熱容量で割った値の温度依存性の磁場変化。150 G から600 G の間で、ほぼ一本の曲線にのり、準粒子により熱が運ばれていることを強く示唆する。磁場中では、約 1.5 mK より高温ではフォノンが、低温ではスピンの波が ^3He 面内で熱を運ぶ。(a)(b)両図において塗りつぶされたシンボルは、グラファイトの熱伝導がボトルネックになっており、考察からは除外されるべきデータを示す。

(2) ^3He 固相薄膜のスピンの波とフォノンによる熱伝導機構

グラファイト基盤に吸着した ^3He 薄膜は、基盤の温度に追従して 100 μK 以下の温度まで冷却できるが、その熱伝導機構は明らかになっていない。というのはバルクなヘリウムの場合と異なり、界面に垂直なフォノンが存在しないためである。昨年度までの測定から、グラファイト基盤 - ^3He 薄膜間の熱伝導でボトルネックになっている部分は、グラファイト - ^3He 界面の熱伝導ではなく、 ^3He 薄膜面内の熱伝導であることがわかってきている。即ち、グラファイト基盤と ^3He 薄膜はいいたところで熱接触しているわけではなく、熱はまず ^3He 薄膜面内を流れ、ある局所的なスポット(以下 cold spot と呼ぶ)でグラファイト基盤へと流れ込んでいる。昨年度に引き続き、磁場中での熱伝導測定を行った。

図7(a)にグラファイト - ^3He 薄膜間の熱伝導の磁場依存性の一例を示す。ゼロ磁場から有限の磁場で熱伝導が急激に減少している。グラファイトの何らかの磁性が磁場によりその自由度を失い cold spot として機能しなくなったと考えれば観測と一致するが、300 G から600 G での増大は単純には説明できない。 ^3He 薄膜面内はスピンの波が熱を伝え、このスピンの波が準粒子的に振る舞っていると仮定すると、気体運動論から熱伝導 κ と熱容量 C は $\kappa/C \propto v l$ と関係付けられる。ここで、 v はスピンの波の速度、 l はスピンの波の平均自由行程である。 κ/C を温度の関数としてプロットすると図7(b)のようになる。極小を与える温度以下で磁場中での κ/C は磁場に依存せず、熱は準粒子により運ばれていることを示している。この温度域での熱容量はスピンの系からの寄与であり、熱を伝える媒体はスピンの波であると結論できる。ただし、(1)に示した熱容量測定の結果の異常は通常のスピンの波とは描像が異なる可能性を示唆している。

熱が複数存在する cold spot に向けて ^3He 薄膜面内を逆放射状に流れると考え、その熱の流れる距離を見積もってみると、数 100 μm と巨視的なものとなる。このような巨視的な距離は、cold spot の正体がグラファイト中に 10~100 ppm 含まれる磁性不純物であり、これが原子 10^9 個程度、半径にして 200 nm 程度の大きさのクラスターを形成しているものと考えられるとつじつまがあう。磁性不純物がこのような semi-macro な大きさをしていないために、その内部にエネルギーが 1 mK 程度以下の magnon を励起することが可能となり、 ^3He とのエネルギーの授受が可能となる。磁場中ではゼロ磁場中に比べ熱伝導が減少することは、磁性不純物中の magnon 励起に磁場により gap が生じ、 ^3He とのエネルギーの授受ができにくくなるためとして理解される。150 G から600 G の間で κ/C が変化しないことは、この間、熱伝導に寄与できる cold spot の個数が変化していないことを意味する。こ

の理由は明らかになっていないが、例えば磁性不純物が針状結晶を形成していれば、磁化容易軸と直交する方向には磁化されにくく、gap が開きにくくなることが考えられる。

図7(b)の κ/C に極小が存在することは、他の熱伝導機構へのクロスオーバーを示唆している。高温域での熱伝導は T^2 に比例しており、フォノンが ^3He 薄膜面内の熱伝導を担っていることを示している。

スピン波による熱伝導が観測された温度域において、 κ/C の温度依存性はスピン波の平均自由行程の温度依存性を表していると考えられるが、これはスピン系の短距離秩序の相関長に相当する。即ち、短距離秩序の相関長の温度依存性が観測されたことになる。一方、低温で κ/C の飽和する値の面密度依存性は、スピン波速度の面密度依存性を示すと考えられる。スピン波による熱伝導は、スピン系についての豊富な情報を含み、 ^3He 薄膜の磁性を理解する上で、相関長の温度依存性やスピン波速度の面密度依存性の詳細をさらに調査することが重要となる。

<学位論文>

- ・ 森木拓也：グラファイト超薄膜／超伝導体接合の作製と電気伝導測定（数理工学物質科学研究科、物理学専攻、修士論文、2007年3月）
- ・ 高山 尚：金属・半導体接合の作製と低温伝導測定（数理工学物質科学研究科、物理学専攻、修士論文、2007年3月）

<論文>

1. Daisuke Fujita, Keisuke Sagisaka, Keiko Onishi, Taizo Ohgi, "Fabrication and Characterization of Low-Dimensional Nanostructures using Scanning Tunneling Microscopy", *J. Vac. Soc. Jpn.*, **49**, 653 (2006) (in Japanese)
2. Taizo Ohgi, Yukihiro Sakotsubo, Youiti Ootuka, Daisuke Fujita, "Offset Charge Distribution in Nanocluster-Based Single-Electron Tunneling Devices", *AIP Conference Proceedings of 24th International Conference on Low Temperature Physics*, **850**, 1440 (2006).
3. B. J. Baelus, A. Kanda, F. M. Peeters, Y. Ootuka, and K. Kadowaki, "Different Temperature Dependence of the Phase Boundary for Multivortex and Giant Vortex States in Mesoscopic Superconductors", *Proceedings of the 24th International Conference on Low Temperature Physics, AIP Conference Proceedings*, Volume **850**, 743-744 (2006).
4. Hisao Miyazaki, Yamaguchi Takahide, Akinobu Kanda and Youiti Ootuka, "Current-Phase Relation of a Well-Characterized Superconducting Atomic Point Contact", *Proceedings of the 24th International Conference on Low Temperature Physics, AIP Conference Proceedings*, Volume **850**, 765-766 (2006).
5. A. Kanda, B. J. Baelus, F. M. Peeters, Kazuo Kadowaki, and Youiti Ootuka, "Experimental Distinction Between Giant Vortex and Multivortex States in Mesoscopic Superconductors", *Proceedings of the 24th International Conference on Low Temperature Physics, AIP Conference Proceedings*, Volume **850**, 739-742 (2006).
6. A.Kanda, N. Shimizu, K. Tadano, Y. Ootuka, B. J. Baelus, F. M. Peeters, and K. Kadowaki, "Coalescence and rearrangement of vortices in mesoscopic superconductors", *Proceedings of the 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-TOKYO'05)*, pp 200-203 (World Scientific Publishing Co., Singapore, 2006).
7. H. Miyazaki, A. Kanda and Y. Ootuka, "Simple and stable control of metallic break junction for the study of superconducting atomic point contact", *Proceedings of the 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-TOKYO'05)*, pp 216-219 (World Scientific Publishing Co., Singapore, 2006).
8. Y. Ootuka, H. Miyazaki and A. Kanda, "DC-SQUID ratchet using atomic point contact",

Proceedings of the 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-TOKYO'05), pp 208-211 (World Scientific Publishing Co., Singapore, 2006)

9. A. Kanda, B. J. Baelus, N. Shimizu, K. Tadano, F. M. Peeters, K. Kadowaki, and Y. Ootuka, "Experimental study on giant vortex and multivortex states in mesoscopic superconductors", *Physica C* 437-438, 122-126 (2006).
10. A.Kanda, B. J. Baelus, N. Shimizu, K. Tadano, F. M. Peeters, K. Kadowaki, and Y. Ootuka, "Size Dependence of Vortex States in Mesoscopic Superconductors", *Physica C* 445-448, 253-256 (2006).
11. Hisao Miyazaki, Akinobu Kanda, Youiti Ootuka, "Current-phase relation of a superconducting quantum point contact", *Physica C* 437-438, 217-219 (2006).
12. B.J. Baelus, A. Kanda, F.M. Peeters, Y. Ootuka, K. Kadowaki, "Two kinds of vortex states in mesoscopic superconductors", *Journal of Physics: Conference Series* 43, 647-650 (2006).
13. B.J. Baelus, A. Kanda, N. Shimizu, K. Tadano, Y. Ootuka, K. Kadowaki, and F. M. Peeters, "Multivortex and giant vortex states near the expulsion and penetration fields in thin mesoscopic superconducting squares", *Phys. Rev. B* 73, 024514 (2006).
14. Takahide Y, Miyazaki H, Ootuka Y, "Superconductor-insulator crossover in Josephson junction arrays due to reduction from two to one dimension", *Phys. Rev. B* 73 (2006) 224503 .
15. F. Shimogishi, J.P. Noh, Y. Idutsu and N. Otsuka, "Percolation transition via quantum point contacts in Be delta-doped GaAs structures grown by molecular beam epitaxy", *J. Crystal Growth* 301-302, 2007, 666-670.
16. R. Furugen, A. Kanda, D.Y. Vodolazov, B.J. Baelus, Y. Ootuka, F.M. Peeters, "Fluxoid state transitions in mesoscopic superconducting rings: effect of geometrical symmetry", *Physica C* in press.
17. B. J. Baelus, A. Kanda, D. Y. Vodolazov, Y. Ootuka, F. M. Peeters, "Quasi-one-dimensional vortex in an asymmetric superconducting ring, *Physica C* in press.
18. T. Moriki, A. Kanda, T. Sato, H. Miyazaki, S. Odaka, Y. Ootuka, Y. Aoyagi, K. Tsukagoshi, "Electron transport in thin graphite films: influence of microfabrication processes", *Physica E* in press.
19. M. Morishita, "Thermal Conductivity between ^3He Solid Film and Graphite Substrate in Magnetic Field", *AIP Conference Proceedings*, **850**, 325-326 (2006).
20. M. Morishita, "Heat Capacity of Dilute ^3He - ^4He Fluid Mixture Monolayer Films on Graphite", *AIP Conference Proceedings*, **850**, 327-328 (2006).
21. M. Morishita, "Heat Capacity of ^3He Solid Films on Graphite in Magnetic Fields", *J. Low Temp. Phys* (in press).
22. M. Morishita, "Heat Transfer between ^3He Solid Films and Graphite in Magnetic Fields", *J. Low Temp. Phys* (in press).

<講演>

国際会議

1. A. Kanda, M. Hayashi, Y. Ootuka, "Mesoscopic superconducting fluctuations in nanoscale rings", *Nanoscale Superconductivity and Magnetism 2006*, July 6-8, 2006, Leuven, Belgium.
2. M. Morishita, "Heat Capacity of ^3He Solid Films on Graphite in Magnetic Fields", *International Symposium on Quantum Fluids and Solids (Kyoto, August 5, 2006)*.

3. M. Morishita, "Heat Transfer between ^3He Solid Films and Graphite in Magnetic Fields", International Symposium on Quantum Fluids and Solids (Kyoto, August 5, 2006).
4. A. Kanda, "Quasi-one-dimensional vortex in mesoscopic superconducting rings", International Workshop on Mesoscopic Superconductivity and Magnetism (Invited) (MesoSuperMag 2006), August 28 - September 1, 2006, Chicago, USA.
5. Y. Sakotsubo, T. Ohgi, D. Fujita, Y. Ootuka "CHEMICAL POTENTIAL OF METAL CLUSTERS BOUND TO BULK METAL THROUGH TUNNELING BARRIER", 24th European Conference on Surface Science, ECOSS 24, Paris September 4-8 2006
6. T. Ohgi, Y. Sakotsubo, D. Fujita, Y. Ootuka, "SINGLE ELECTRON TUNNELING SPECTROSCOPY OF Cu CLUSTERS GROWN ON ULTRATHIN Al_2O_3 LAYER ON NiAl(110)", 24th European Conference on Surface Science, ECOSS 24 (Paris, September 4-8 2006)
7. A. Kanda, B.J. Baelus, D.Y. Vodolazov, R. Furugen, Y. Ootuka, F.M. Peeters, Experimental confirmation of anomalous properties of vortices in mesoscopic superconducting rings with nonuniform width, 19th International Symposium on Superconductivity (ISS2006), Oct. 30 - Nov. 1, 2006, Nagoya.
8. Y. Ootuka, Quantum Coherence in Nano-Superconducting Structures, (invited 2 hour lecture), International Autumn Seminars on Nanoscience and Engineering for Young Scientists, Atagawa Heights, Higashi-izu, Kamo, Shizuoka, 2006.11.27&28
9. H.Miyazaki, S.Odaka, T.Moriki, T.Sato, A.Kanda, K.Tsukagoshi, Y.Ootuka, and Y.Aoyagi, Gate-voltage Dependence of Shortchannel Atomically Thin Graphite FET, The 2nd Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE-NEMS), Bangkok, Thailand, January 16-19, 2007.
10. A. Kanda, T. Moriki, T. Sato, Y. Ootuka, H. Miyazaki, S. Odaka, K Tsukagoshi, Y. Aoyagi, Electron transport in thin graphite films: effect of microfabrication processes, Second International Symposium on Nanometer-Scale Quantum Physics (nanoPHYS'07), Tokyo, January 24-26, 2007.
11. A.Kanda, T.Moriki, T.Sato, H.Miyazaki, S.Odaka, Y.Ootuka, Y.Aoyagi, and K.Tsukagoshi, Proximity induced superconductivity in thin graphite films, The International Symposium "Trends in Nanoscience 2007", Kloster Irsee, Germany, February 24-28, 2007.
12. Youiti Ootuka, Electrical transport through a superconducting atomic point contact, the First International Symposium on Atomic Technology (ISAT-2007), つくば国際会議場, 2007.3.17
13. Yu Niyama, Yukihiro Sakotsubo, Taizo Ohgi and Youiti Ootuka, Tunneling spectroscopy for ultra-thin Al_2O_3 films on Ni $_3$ Al(111), the First International Symposium on Atomic Technology (ISAT-2007), つくば国際会議場, 2007.3.16
14. Yukihiro Sakotsubo, Yu Niyama, Taizo Ohgi and Youiti Ootuka, Single-electron tunneling spectroscopy of Cu clusters grown on ultrathin Al_2O_3 layer on NiAl(110), the First International Symposium on Atomic Technology (ISAT-2007), つくば国際会議場, 2007.3.16
15. Yuya Sakaguchi, Fumiaki Shimogishi, Manabu Watanabe and Youiti Ootuka, Measurement of the conductance of Pt-H $_2$ -Pt junctions using MCBJ method, the First International Symposium on Atomic Technology (ISAT-2007), つくば国際会議場, 2007.3.16
16. R. Furugen, A. Kanda, B.J. Baelus, D.Y. Vodolazov, Y. Ootuka and F.M. Peeters, Novel vortex states in mesoscopic superconducting rings, the First International Symposium on Atomic Technology (ISAT-2007), つくば国際会議場, 2007.3.16
17. T. Sato, T.Moriki, A.Kanda, Y. Ootuka, H.Miyazaki, S.Odaka, K.Tsukagoshi and Y.Aoyagi, Electron transport in ultra-thin graphite films, the First International Symposium on Atomic

Technology (ISAT-2007), つくば国際会議場, 2007.3.16

18. Hisashi takayama and Youiti Ootuka, Tunneling spectroscopy of Si:P near the metal - insulator transition, the First International Symposium on Atomic Technology (ISAT-2007), つくば国際会議場, 2007.3.16

国内会議

1. 神田晶申, メゾスコピック超伝導体における新しい超伝導状態の観測, 第 24 回ナノサイエンスナノテクノロジーセミナー, 理化学研究所, 2006 年 4 月 14 日
2. 神田晶申, "Size and shape dependence of vortex states in mesoscopic superconductors", COE 研究会, 2006 年 5 月 15 日, 筑波大学
3. 大塚洋一, 量子機能プロジェクト, アトミックテクノロジー創出事業発足記念シンポジウム(大阪大学銀杏会館, 2006.5.29)
4. 大塚洋一, アトミックテクノロジー創出事業:概要, アトミックテクノロジー創出事業スタートアップシンポジウム (筑波大学, 2006.6.12)
5. 森下 将史, "Heat Capacity of ^3He Solid Films on Graphite in Magnetic Fields", 科研費特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」A01 & A05 班合同ワークショップ(那須, 2006 年 7 月 27 日).
6. 渡辺 学, メカニカルブレイク接合による微小 SNS 接合の作製, 第一回三大学連携学生研究会, 東京理科大学長万部校, 2006 年 8 月 26-28 日
7. 下岸 史明, 超伝導量子ポイントコンタクト, 第一回三大学連携学生研究会, 東京理科大学長万部校, 2006 年 8 月 26-28 日
8. 森木 拓也, グラファイト超薄膜の電気伝導, 第一回三大学連携学生研究会, 東京理科大学長万部校, 2006 年 8 月 26-28 日
9. 佐藤 崇, 多層カーボンナノチューブの電気伝導測定, 第一回三大学連携学生研究会, 東京理科大学長万部校, 2006 年 8 月 26-28 日
10. 坂口 勇也, 原子ポイントコンタクトの電気伝導, 第一回三大学連携学生研究会, 東京理科大学長万部校, 2006 年 8 月 26-28 日
11. 古堅 亮, メゾスコピック超伝導リングにおける 1 次元渦糸状態の観測, 第一回三大学連携学生研究会, 東京理科大学長万部校, 2006 年 8 月 26-28 日
12. 神田晶申, メゾスコピック超伝導体における新しい超伝導状態の観測, 石橋極微デバイス工学研究室セミナー, 理化学研究所, 2006 年 9 月 6 日
13. 新山雄, 迫坪行広, 大木泰造, 大塚洋一, "アルミナ超薄膜上金属微粒子のトンネル分光", 日本物理学会 秋季大会, 2006 年 9 月 23 日~9 月 26 日(千葉大学)
14. 神田晶申, 古堅亮, B.J. Baelus, D.Y. Vodolazov, J. Berger, 大塚洋一, F.M. Peeters, メゾスコピック超伝導リングにおける 1 次元渦糸状態の観測, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 23-26 日, 千葉大学。
15. 古堅亮, 神田晶申, B. J. Baelus^A, D. Y. Vodolazov^A, J. Berger^B, 大塚洋一, F. M. Peeters^A メゾスコピック超伝導リングのリング線幅均一性と 1 次元渦糸状態, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 23-26 日, 千葉大学。
16. 高山尚, 大木泰造, 神田晶申, 大塚洋一, 無機レジストを用いた縦型 SET の作製, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 千葉大学, 2006.9.25

17. 渡辺学, 下岸史明, 坂口勇也, 神田晶申, 大塚洋一, MCBJ 法を用いた微小 SNS 接合の作製, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 千葉大学, 2006.9.25
18. 下岸史明, 渡辺学, 坂口勇也, 神田晶申, 大塚洋一, 超伝導原子ポイントコンタクトの交流ジョセフソン効果, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 千葉大学, 2006.9.25
19. 森木拓也, 佐藤崇, 宮崎久生, 小高隼介, 神田晶申, 塚越一仁, 大塚洋一, 青柳克信, グラファイト超薄膜の電気伝導の磁場・ゲート電圧依存性, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 23-26 日, 千葉大学。
20. 宮崎久生, 小高隼介, 森木拓也, 佐藤崇, 神田晶申, 塚越一仁, 大塚洋一, 青柳克信, グラファイト超薄膜/金属電極接合の電極依存性, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 23-26 日, 千葉大学。
21. 佐藤崇, 森木拓也, 神田晶申, 大塚洋一, 超伝導体/多層カーボンナノチューブ/超伝導体接合の作製と電気伝導測定 II, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 23-26 日, 千葉大学。
22. 森下 将史, 「グラファイト上吸着 ^3He 固相薄膜の磁場中比熱 II」, 日本物理学会 2006 年秋季大会(千葉大学, 2006 年 9 月 25 日)。
23. 森下 将史, 「グラファイト上吸着 ^3He 固相薄膜の磁場中熱容量」, 第 1 回 SC コロキウム (東京大学, 2006 年 12 月 4 日)。
24. 森下 将史, “Heat Capacity of ^3He Solid Films on Graphite in Magnetic Fields”, 科研費特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」平成 18 年度研究報告会 (淡路島, 2006 年 12 月 15 日)。
25. 森下 将史, “Heat Transfer between ^3He Solid Films and Graphite in Magnetic Fields”, 科研費特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」平成 18 年度研究報告会 (淡路島, 2006 年 12 月 15 日)。
26. 福山 寛, 森下 将史, “Zero-Point Vacancies Doped into a Two-Dimensional Gapless Spin-Liquid,” 科研費特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」平成 18 年度研究報告会 (淡路島, 2006 年 12 月 16 日)。
27. 大塚洋一, 固定電極にリンクしたナノスケール導体の電気伝導特性, 科研費特定領域研究ナノリンク成果報告会, 東大・柏, 2007.3.5
28. 新山雄, 迫坪行広, 大木泰造, 大塚洋一, “ $\text{Ni}_3\text{Al}(111)$ 上アルミナ超薄膜のトンネル分光”, 日本物理学会 春季大会, 2007 年 3 月 17 日~3 月 21 日(鹿児島大学)
29. 迫坪行広, 新山雄, 大木泰造, 藤田大介, 大塚洋一, “銅クラスターのトンネル分光”, 日本物理学会 春季大会, 2007 年 3 月 17 日~3 月 21 日(鹿児島大学)
30. 神田晶申, 大塚洋一, 林正彦, メゾスコピック超伝導リングにおける磁場に依存する超伝導揺らぎの観測, 日本物理学会 2007 年春季大会, 鹿児島大学, 2007 年 3 月 18-21 日
31. 古堅亮, 神田晶申, 大塚洋一, F. M. Peeters メゾスコピック超伝導体における微細孔の配置と渦糸状態の安定性, 日本物理学会 2007 年春季大会, 鹿児島大学, 2007 年 3 月 18-21 日
32. 森木拓也, 佐藤崇, 神田晶申, 宮崎久生, 小高隼介, 大塚洋一, 青柳克信, 塚越一仁, グラファイト超薄膜における近接効果による超伝導電流の観測, 日本物理学会 2007 年春季大会, 鹿児島大学, 2007 年 3 月 18-21 日
33. 佐藤崇, 森木拓也, 神田晶申, 宮崎久生, 小高隼介, 大塚洋一, 青柳克信, 塚越一仁, グラファイト超薄膜の微細加工と電気伝導, 日本物理学会 2007 年春季大会, 鹿児島大学, 2007 年 3 月 18-21 日

34. 宮崎久生, 小高隼介, 森木拓也, 佐藤崇, 神田晶申, 塚越一仁, 大塚洋一, 青柳克信, グラファイト超薄膜-金属接合の電気伝導特性, 日本物理学会 2007 年春季大会, 鹿児島大学, 2007 年 3 月 18-21 日
35. 高山尚, 大塚洋一, M-I 転移近傍における Si:P のトンネル分光, 日本物理学会 2007 年春季大会, 鹿児島大学, 2007.3.19
36. 坂口勇也, 下岸史明, 渡辺学, 大塚洋一, MCBJ 法による Pt-H₂-Pt 接合の伝導測定, 日本物理学会 2007 年春季大会, 鹿児島大学, 2007.3.20
37. 森下 将史, 「グラファイト上 ³He 固相薄膜の熱緩和 IV」, 日本物理学会 2007 年春季大会 (鹿児島大学, 2007 年 3 月 21 日).
38. 神田晶申, 森木拓也, 佐藤崇, 宮崎久生, 小高隼介, 大塚洋一, 青柳克信, 塚越一仁, グラファイト超薄膜における超伝導近接効果とそのゲート制御, 2007 年春季 第 54 回応用物理学関係連合講演会, 青山学院大学 相模原キャンパス, 2007 年 3 月 27-30 日。
39. 小高隼介, 宮崎久生, 森木拓也, 佐藤崇, 神田晶申, 塚越一仁, 大塚洋一, 青柳克信, 微細加工によるグラファイト超薄膜素子作製, 2007 年春季 第 54 回応用物理学関係連合講演会, 青山学院大学 相模原キャンパス, 2007 年 3 月 27-30 日