

## VII-5. 低温物性グループ

教 授 大塚洋一

講 師 富永昭

助 手 森下將史

神田晶申

研究員 大木秀一（科学技術振興事業団）

大学院生 1 名

特別研究学生 3 名（東京大学理学系研究科）

1999 年 4 月から神田晶申助手（前所属：理化学研究所）がグループに加わった。

### 【 1 】 微小トンネル接合系の伝導

大塚、神田らは東大低温センター、横浜国立大工学部、NEC 基礎研究所、東大総合文化研究科と共同して微小トンネル接合に関連した新しい物理現象の解明と応用に向けた基礎研究（科学技術振興事業団、戦略的基礎研究推進事業、研究領域：「量子効果等の物理現象」、研究課題：金属微細トンネル接合システムの物理と素子応用の研究、研究代表者：大塚洋一）を進めている。当研究室における研究成果を以下に記す。

#### （1）散逸誘起超伝導絶縁体転移（山口、宮崎、神田、大塚）

微小ジョセフソン接合の 2 次元配列においてジョセフソン結合エネルギー  $E_J$  に比べて帯電エネルギー  $E_C$  が大きくなると、各島状電極の超伝導の位相の量子ゆらぎが増大し、ついには超伝導から絶縁体への転移（SI 転移）がおこる。ところが、各接合に並列に抵抗（抵抗値  $R_S$ ）をつけた系では、エネルギー散逸  $R_S^{-1}$  が臨界値を超えると、たとえ  $E_J/E_C$  が小さな値でも、2 次元配列はふたたび絶縁体から超伝導に転移すると予想されている。これらの超伝導・絶縁体転移（SI 転移）は“量子相転移”、“巨視的量子現象に対する摩擦の効果”という非常に興味深い物理を含み多くの理論家によって調べられてきたが、とくに後者、散逸による SI 転移については明確な実験的検証はされていない。

我々は、電子線リソグラフィと斜め蒸着の方法をもちいて、各ジョセフソン接合（Al-AlO<sub>x</sub>-Al）に並列に、低温でも常伝導にとどまる Cr の抵抗体をつけた 2 次元配列の作製に成功した（図 1）。並列抵抗の長さが異なる 3 つあるいは 4 つの接合列、および並列抵抗なしの配列を同一基板上に作製することによって、 $R_S$  は異なるが共通の  $E_J$ ,  $E_C$  をもつ配列を得、比較した。配列は 40mK 程度まで冷却し、ゼロバイアス抵抗の温度依存性、また電流電圧特性を測定した。その結果、図 2 に示すように、並列抵抗を付加していない配列や  $R_S$  の大きな配列はゼロバイアス抵抗が温度を上げるとともに増加する（絶縁体的）が、 $R_S$  の小さい配列は抵抗が減少すること（超伝導的）を明らかにした。抵抗の温度依存性及び電流電圧特性から決定した  $T=0K$  における相図を図 3 に示す。このように 2 次元配列における散逸による SI 転移をはじめて明確に確認した。さらに、Al の臨界磁場よりも極めて小さい磁場を配列に垂直に加え、その影響をしらべた。 $R_Q/R_S \leq 0.53$  ( $R_Q = h/4e^2 = 6.45k\Omega$ ) でかつ磁場 0 で超伝導的なふるまいをするものでは、磁場によって周期的に超伝導体から絶縁体への転移がみられた。一方  $R_Q/R_S > 0.53$  の配列については垂直磁場による SI 転移は起こらなかった。この結果は、垂直磁場によって  $E_J$  が実効的に周期的に減少するとして半定量的に説明できることがわかった。このように、散逸による SI 転移の実験的検証とさらに散逸による転移と磁場による転移の間の関係を明らかにすることに成功した。

これに引き続き、1次元ジョセフソン接合列についての実験をスタートし、予備的な結果を得た。

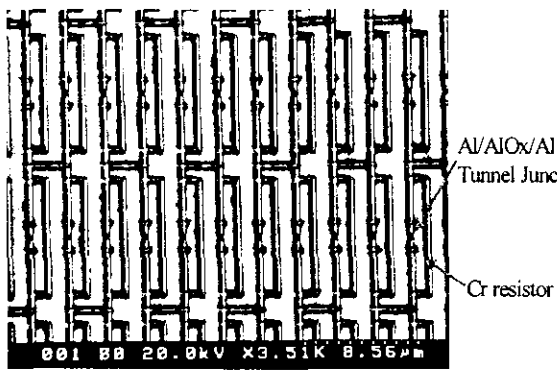


図1：各接合にシャント抵抗を付加した微小ジョセフソン接合2次元配列（電子顕微鏡写真）

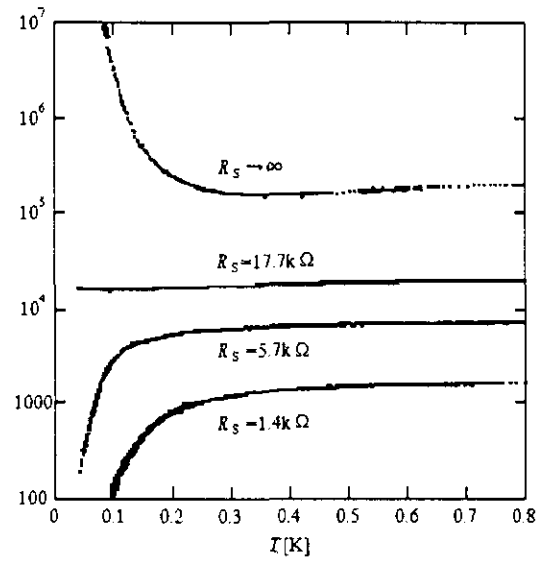


図2：シャント抵抗の異なる4つの配列のゼロバイアス抵抗の温度依存性。どの配列も  $E_J/E_C=0.13$ 。  $R_S \rightarrow \infty$  はシャント抵抗をつけない配列を表す。

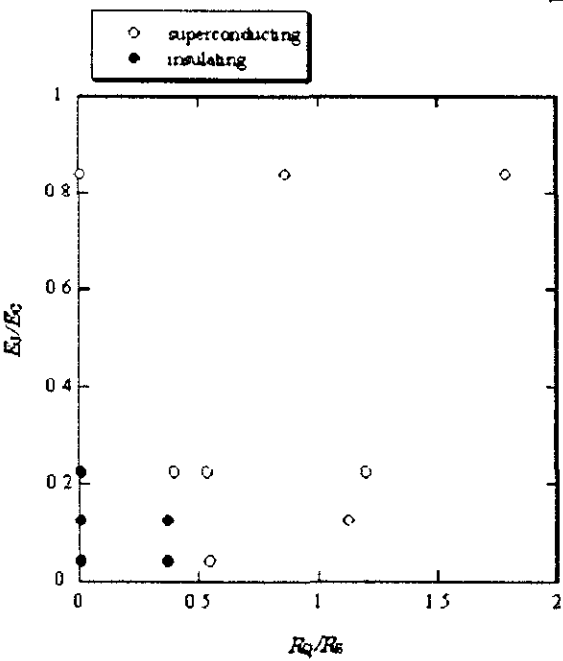


図3：シャント抵抗を付加したジョセフソン接合2次元配列の  $T=0K$  における相図。白丸は超伝導、黒丸は絶縁体を表す。

## （2）メソスコピック超伝導体の磁気応答（神田）

サイズが1ミクロン以下のいわゆるメソスコピックな超伝導体では、試料サイズが超伝導コヒーレンス長や磁場侵入深さと同程度あるいはそれ以下であるために、バルクな超伝導体では見られない特異な超伝導状態があらわれると期待される。我々は、微小トンネル

接合を用いた超伝導エネルギーギャップの局所的測定という独特の方法を用いて、メゾスコピック超伝導体の磁場応答を実験的に研究してきた。これまでの研究で、エネルギーギャップの磁場依存性から、超伝導体のフラクソイド量子数、超伝導遮蔽電流の向き、臨界磁場がわかることを明らかにした。今年度はこのことを応用することにより、以下の研究を行った。

#### 2-1) 微小超伝導リングにおける磁束状態間転移とリトル・パークス振動

直径 400 nm、線幅 80 nm、厚さ 20 nm のアルミニウムの微小リングに 2 本の幅 100nm の銅のリード線が接合面積  $0.01(\mu\text{m})^2$  の微小トンネル接合を介してつながった構造を作製し (図 4)、0.05K まで冷却して、その超伝導エネルギーギャップの磁場依存性、温度依存性を測定した。微小な超伝導リングでは、超伝導コヒーレンス長がリング半径よりも大きくなる臨界的な温度範囲が広いために、理論との精密な比較が可能になるという利点がある。測定の結果得られたフラクソイド状態間転移点の値は、約 1K 以下の低温ではギンツブルグーランダウ理論に基づいた計算から得られる値とよく一致する。それに対し高温では、平均場臨界温度よりも高温までエネルギーギャップが存在し、かつ、転移温度の磁場による振動 (リトル・パークス振動) の振幅が理論値よりも小さくなることを明らかにした。この結果に対して、1) 印加磁束に依存する超伝導揺らぎ、2) 断面積の不均一性に起因する単連結超伝導状態の出現、の 2 つの原因が提案されている。今後は、これら 2 つの理論を検証する実験をすることにより、我々の観測した L-P 振動の振幅減少の原因を明らかにする予定である。

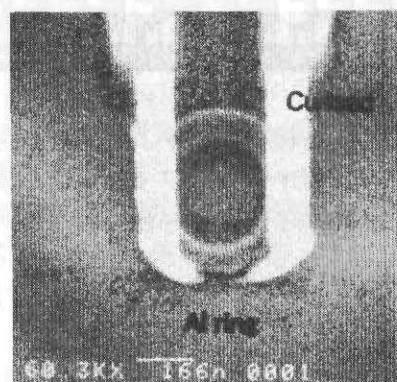


図 4 : 2 個のトンネルプローブのついた微小超伝導リング

#### 2-2) 微小超伝導ディスクにおける常磁性超伝導電流の観測

バルクな超伝導体の基本的性質の一つに完全反磁性がある。メゾスコピックな超伝導体では、磁場の遮蔽が不完全になるものの、反磁性的な性質は維持されると考えられてきた。しかしながら、最近の実験で、磁場下降時に微小ディスクの磁化が正になることが明らかにされた。(常磁性マイスナー効果) その原因として、1) 磁束の圧縮、2) 測定器の効果、3) 遮蔽電流反転の 3 つの可能性が提案されているが、これらの実験的な検証は行われていない。

我々は、微小ディスクの超伝導エネルギーギャップの磁場依存性を測定することにより、常磁性マイスナー効果の原因究明を試みた。その結果、磁場下降時には、弱磁場でディスクの外周に常磁性電流が流れている証拠を得た。この条件は、常磁性マイスナー効果のおこる条件と合致し、その原因が常磁性電流であることを強く示唆する。

#### 2-3) 微小超伝導ディスクにおける巨大渦糸状態と多渦糸状態

バルクな第 2 種超伝導体に磁場を印加すると、磁束量子からなる渦糸が三角格子を組むことが知られている。これは、渦糸間相互作用に起因する。超伝導体のサイズが小さくなると、渦糸間相互作用とともに渦糸と試料端との相互作用も重要になるために、一般に渦糸の配置は三角格子とは異なり、さらに、特定の条件下では、すべての渦糸が 1 つにまと

まった巨大渦糸状態が出現することが理論的に予測されている。いままでのところ、巨大渦糸状態の実験的な証拠は得られていない。

我々は、微小超伝導ディスクの渦糸状態間転移点の温度依存を調べることにより、渦糸状態間転移に対する表面バリアの有無を調べた。その結果、磁場下降時には、渦糸数 9 以下で表面バリアが消失するという結果を得た。また、試料外周のエネルギーギャップの多点観測から、渦糸数 9 以下でエネルギーギャップ変化の位置依存性が大きくなるという結果を得た。これらの結果は渦糸数 10 以上で巨大渦糸状態、10 以下で多渦糸状態になっていることに起因すると解釈することができる。

### (3) 強磁性微小トンネル接合 (松田、大藤、神田、大塚)

強磁性金属を用いた単一電子トランジスタ(Single Electron Transistor, SET)において見いだした磁気クーロン振動を利用したスピン偏極率の決定や、強磁性/常磁性/強磁性 2 重トンネル接合系におけるスピン蓄積効果の実験を行いつつある。また、強磁性 SET で見いだした磁気クーロン振動とトンネル磁気抵抗効果の増大について第 22 回低温物理学国際会議等で報告を行った。

### (4) 単一電子トランジスタと背景電荷 (神田、浅田、浅古、大塚)

SET の動作に大きな影響を及ぼす背景電荷の位置と性質を調べるために、島電極の近接する複数の SET を用いて、クーロン振動の同時観測を行った。その結果、テレグラフノイズ的な安定状態・準安定状態間の遷移が観測され、遷移に伴うクーロン振動の位相変化量から、原因となる背景電荷はトンネル障壁内にあるという結論を得た。また、背景電荷の揺らぎの温度変化が熱活性化型で表されることを初めて示した。

### (5) 新しい微小トンネル接合系作製法の開発 (神田、浅田、浅古、大塚)

金属微小トンネル接合系の作製には、電子線リソグラフィと斜め蒸着法、リフトオフを組み合わせた方法(ドラッグ法)が一般的に用いられているが、この方法には、作製パターンに制約がある。我々は、従来の方法を補うものとして、窒化シリコンのメンブレンをステンシルマスクとして金属を多層蒸着する方法を開発している。11 年度は、ステンシルマスク作製のための条件だしを行った。

## 【2】メゾスコピック系の電気伝導 (大木、石井、西山、大塚)

超伝導体と常伝導体が接合したメゾスコピック系の電気伝導の研究を進めている。このような複合メゾスコピック系に関して、(1)常伝導細線の上に超伝導体を蒸着した構造をもつ試料の抵抗が超伝導転移温度直下で減少せずに逆に増加する、(2)強磁性・超伝導複合試料において強磁性体の非局所電気抵抗が従来の超伝導近接効果の理論値よりも桁違いに離れた超伝導体の存在によって影響を受ける、といった実験が Petrashov らによって報告されている。これらはいずれも従来の超伝導近接効果の理論では説明が難しい現象であり、その原因を調べるべく以下の実験を行った。

幅  $0.2\mu\text{m}$ 、長さ  $2.5\mu\text{m}$  の銀(Ag)細線の上に幅  $0.2\mu\text{m}$ 、長さ  $2.5\mu\text{m}$  のアルミニウム(Al)の島を蒸着した試料を複数作製し、その電気抵抗を測定したが、すべての試料について、超伝導転移温度付近からの抵抗増加は見られず、従来の理論から予測されるように抵抗が減少した。また、ニッケル(Ni)とアルミニウム(Al)とからなる複合系について非局所伝導度の測定によって強磁性体中への超伝導近接効果の度合いを調べたが、抵抗変化は観測され

ず、報告されているような長距離近接効果は認められなかった。いずれの場合も報告されている実験とは試料作製過程において異なる部分があり、特に SN 界面の特性に着目してさらに実験を進めている。

### 【 3 】 Ge:Ga の金属絶縁体転移 (大塚、森下)

同位体濃縮と中性子照射によって作製した  $^{70}\text{Ge}:\text{Ga}$  は Ga 濃度により金属-絶縁体転移を生ずるが、不純物補償がないこと、不純物濃度の一様性に優れることを特徴とする。昨年までに行ったこの系における臨界濃度のごく近傍 ( $N/N_c - 1 > 4 \times 10^{-4}$ ) における精密な電気抵抗測定により、 $T=0$  の電気伝導度  $\sigma(0)$  に対する臨界指数  $\mu$  がゼロ磁場においては 0.5 であることを明らかにした。一方外部磁場を加えると臨界濃度は増加するが、この磁場中での臨界指数は 4T 以上の磁場中で  $\mu=1.1$  に変わること、また一試料について磁場の関数として起きる転移が同じ指数を与えることを明らかにした。これらの結果を論文としてまとめると共に、国際会議において発表した。さらに特に臨界点にきわめて近い試料についてより精度の高い議論を行うために、抵抗測定の温度領域を 10 mK 以下の低温まで拡張する実験を試みている。この研究テーマは、慶応大学工学部伊藤公平講師、学術振興会渡部道生特別研究員との共同研究として行っている。

### 【 4 】 酸化ルテニウム温度計の低温における磁気抵抗 (大塚、森下)

酸化ルテニウム抵抗温度計の磁気抵抗の測定を  $50 \text{ mK} < T < 250 \text{ mK}$ ,  $B < 8 \text{ T}$  において行った。この温度計は磁気抵抗が比較的小さいとして、 $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  希釈冷凍機温度、強磁場中における温度計として広く使用されているが、8 T で温度に換算して 6 % 程度の誤差を与え、測定の種類によっては補正が必要であることを示した。さらに、磁気抵抗は磁場に対して単調に増大するのではなく、低磁場領域で負の磁気抵抗を与えるため、特に注意が必要であることを示した。

### 【 5 】 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 ( $^3\text{He}$ , 核スピン=1/2) 薄膜の吸着第 1 層及び第 2 層固相は、量子スピン系のモデル物質を与える。この系の磁性は量子トンネル効果による  $^3\text{He}$  原子の直接位置交換に由来する交換相互作用 (その大きさは吸着第 1 層で 100  $\mu\text{K}$ 、吸着第 2 層で数 mK 程度) により支配されるが、 $^3\text{He}$  原子間のハードコア斥力のために 2 体 (2 原子) の交換だけでなく 3 体、4 体、5 体、・・・と多体の交換相互作用が重要となる。偶数個の交換が反強磁性的な相互作用を生むのに対し、奇数個の交換は強磁性的な相互作用を生むため、これら多体交換相互作用の競合が、 $^3\text{He}$  固相薄膜の吸着面密度による多彩な磁性を生むことが明らかとなってきた。我々のグループでは、この系について世界的に例を見ない 100  $\mu\text{K}$  以下の超低温までの比熱を通じて磁性の解明に取り組んでいる。

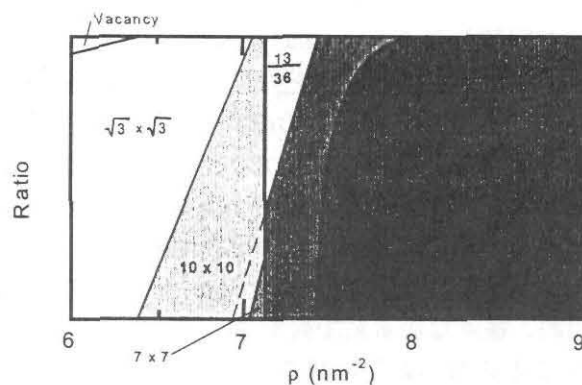


図5： path integral Monte-Carlo simulation に基づくグラファイト上  $^3\text{He}$  第1層固相の絶対零度での構造相図。縦軸はその構造の占める割合を示し、太線は構造相転移を示す。10×10, 7×7 domain wall 構造の共存は network 構造を意味する。

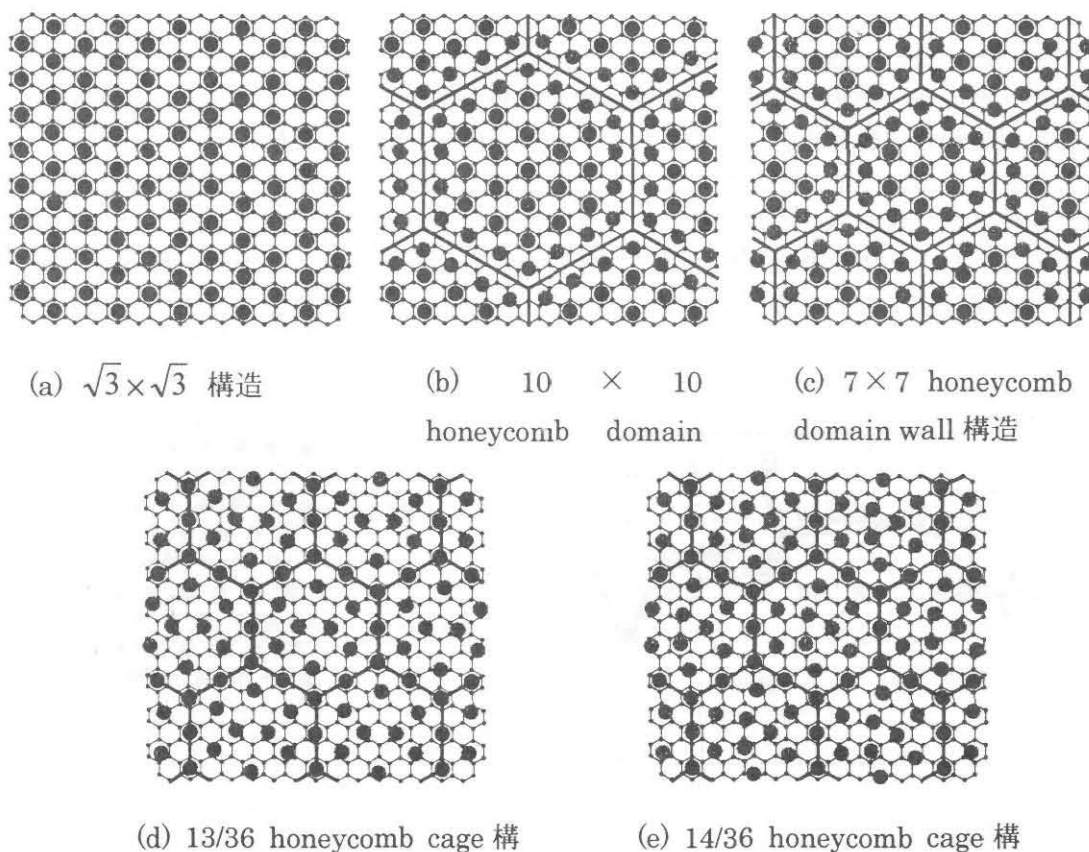


図6: 提案した様々な吸着構造。小さな黒丸はグラファイトの炭素原子を、黒い大きな丸は安定な吸着サイトに吸着した  $^3\text{He}$  原子、淡灰色の大きな丸は不安定なサイトに吸着した  $^3\text{He}$  原子を表す。太線はガイドライン。

## (1) 吸着構造

この系においては実験的な困難から  $6.4 \text{ nm}^{-2}$  の面密度で現れる  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  構造以外、その吸着構造は明らかになっていない。従来、比熱測定等から Greywall 等により提案されている吸着構造相図が信じられていたが、面密度の増大とともに反強磁性的から強磁性的へと突然その振る舞いが変わる理由を説明することができず、大きな謎となっていた。そこで、吸着第1層における吸着構造の提案を行い、福井大学工学部高木丈夫氏との共同研究としてこれらの構造の吸着エネルギーを path-integral Monte-Carlo simulation により求め、図5に示す構造相図を得た。提案した吸着構造は図6(a)-(e)に示す。図6(b),(c)に示す構造は domain wall 構造と呼ばれ、様々な吸着系で観測されているものであるが、(d),(e)に示す構造はこれまで観測されたことのない新しい構造である。このような奇妙な吸着構造の出現には  $^3\text{He}$  の大きな零点振動が関与していると考えられる。

図5中、太線で示した相境界では構造相転移を示しており、比熱測定等で異常が現れる面密度と良く一致している。また、最大の謎であった  $7.5 \text{ nm}^{-2}$  付近における磁性の変化も、整合相では吸着ポテンシャルの corrugation により抑えられていた3体の交換相互作用が、不整合相へ構造相転移することにより急激に増大するものとして説明できる。

## (2) 多体交換相互作用の競合

吸着第1層の広い面密度領域と吸着第2層の低面密度領域で、温度にほぼ反比例する比熱が広い温度範囲で観測されている。たとえ多体交換相互作用が支配する系であっても、局在スピンの系においては、相互作用よりも充分な高温においては温度の自乗に反比例する比熱が期待され、観測される温度依存性は異常なものである。この異常比熱の理由は依然明らかでないが、多体交換相互作用の強い競合を反映しているものと予想される。この予測は、吸着第2層において比熱の温度に対する‘べき’ $\alpha$ の面密度依存性が、多体交換相

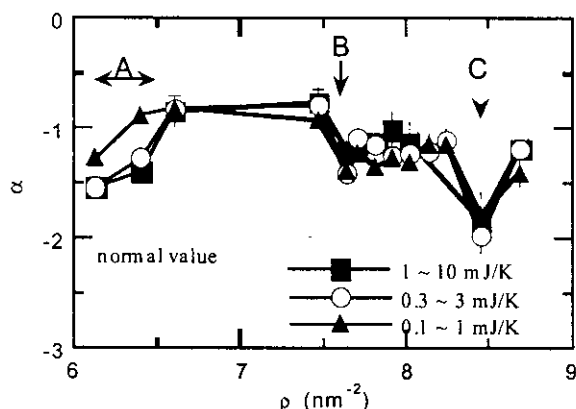


図7: 吸着第1層における比熱の温度に対する‘べき’ $\alpha$ の面密度変化。 $\alpha$ が正常値である-2から離れるほど、多体交換相互作用の競合が強いことを示すと考えられる。A, B, Cにおける特徴は吸着構造の変化に伴う競合の変化として説明できる。

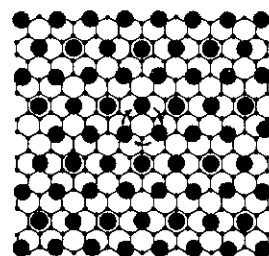


図8:  $8.5 \text{ nm}^{-2}$  で出現が期待される  $4/9$  構造。Saddle point 上の3個の  $^3\text{He}$  原子の交換には吸着ポテンシャルの corrugation はトンネル障壁になり得ず、3体交換が起こりやすい。

相互作用の競合の強さを表す frustration parameter  $\zeta$  の対数と非常によく似た振る舞いをすることから支持され、 $\alpha$  を frustration parameter と見なすことも可能と考えられる。即ち、 $\alpha$  が正常値である  $-2$  から離れるほど、多体交換相互作用の競合が強いことを意味する。

吸着第1層における比熱の温度に対する‘べき’ $\alpha$ の面密度依存性を図7に示す。広い面密度範囲ではほぼ  $-1$  であり、多体交換相互作用の競合が強いことを示している。吸着第1層においては、グラファイト- $^3\text{He}$  の  $200\text{ K}$  にも及ぶ強い吸着ポテンシャルにより  $^3\text{He}$  原子の交換経路が2次元面内に強く制限されることと、吸着ポテンシャルの  $40\text{ K}$  にも及ぶ強い corrugation が交換における障壁となり少数スピンの交換が抑えられることにより、多体交換の競合が強まると考えられる。図7にはいくつかの特徴が見て取れる。即ち、A)  $6.1 \sim 6.5\text{ nm}^2$  における増大、B)  $7.5\text{ nm}^2$  付近における飛び、C)  $8.5\text{ nm}^2$  におけるスパイクである。これらは以下のように多体交換相互作用の競合の強さの変化として説明できる。即ち、A) zero-point vacancy の存在が期待され、これにより少数スピンの交換が回復し競合が弱まっている、B) 吸着構造の基盤への整合・不整合構造相転移により、corrugation の影響を受けにくくなり少数スピンの交換が回復して競合が弱まる、C) 図8に示す  $4/9$  構造が実現し、saddle-point 上に吸着した  $^3\text{He}$  の吸着ポテンシャルの corrugation が交換の障壁にならない3体交換が優勢となり競合が弱まる、として説明できる。このことは逆に比熱の異常な温度依存性が多体交換相互作用の強い競合を反映したものであることを支持している。

## 【6】 熱音響現象（富永）

熱音響現象は熱音響自励振動と熱音響ヒートポンプとに大別される。釜鳴り、ソンドハウス管、レイケ管、タコニス振動、玩具のポンポン船などが古くから知られている熱音響自励振動であり、フルイダイン、ループ管振動などの新しい熱音響自励振動もある。熱音響自励振動では非一様温度の固体に接触している流体が不安定になり微小振幅の揺らぎから有限振幅の振動に成長し、定常状態では有限振幅で振動し続ける。最近開発された可動部品のない熱音響スターリングエンジンも熱音響自励振動である。機械式のスターリングエンジンは始めから有限振幅で動作するので自励振動ではないが、熱音響自励振動の定常状態と見なすことができる。熱音響自励振動とは逆に強制的に流体を振動させることによりヒートポンプ作用を行わせるのが熱音響ヒートポンプである。これにはスターリング冷凍機、GM 冷凍機、パルス管冷凍機、共鳴管冷凍機などがある。流体の振動運動により高温部から低温部へむかう大きな熱輸送を伴う現象（ドリームパイプ効果）もある。ドリームパイプ効果は熱機関の効率を下げる。

多様な熱音響現象を統一的に理解することを目指して発展してきたのが熱音響理論であり、「熱音響工学の基礎」（内田老鶴圃、1998）にまとめられた。熱音響理論は局所平衡の熱力学に基づく流体力学的議論と大域的な非平衡状態の熱力学とからなる。大域的非平衡状態の熱力学ではエネルギー流とエントロピー流とを基本概念とするが、このような流れに着目する熱力学は発展途上である。

平成11年度は昨年度に引き続き熱音響理論の普及活動を行い、解説原稿や招待講演を引き受けた。また新しい大域的非平衡状態の熱力学と完成された平衡状態の熱力学との関係を考え始めた。



## 【 7 】 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の研究を行っている。暗黒物質ニュートラリーノを直接検出を目的としてフッ化リチウム単結晶を吸収体としたボロメーターを千葉県富津市金谷の山のトンネル中にある鋸山微弱放射能測定施設に設置しての予備観測を平成 10 年度まで行っていたが、平成 11 年度は神岡宇宙素粒子研究施設に装置を移設し、実験を開始した。

## <論 文>

- 1 R. Yagi, S. Kobayashi and Y. Ootuka, Dissipative Phase Transition in Single Small Josephson Junction with Normal Tunnel Junction, J. Phys. Soc. Jpn. Vol.68, No.4, April, 1999, 1075-1077.
- 2 , Y. Ootuka, Keiji Ono, Ryoji Matsuda and Hiroshi Shimada, Magneto-Coulomb Oscillations in Ferromagnetic Single Electron Transistors, Microelectronic Engineering 47 (1999) 409-411.
- 3 W. Ootani, M. Minowa, K. Miuchi, Y. Inoue, T. Watanabe, M. Yoshida, Y. Ito and Y. Ootuka, First Results from Dark Matter Search Experiment in the Nokogiriyama Underground Cell, Physics Letter B 461 (1999) 371-375.
- 4 W. Ootani, M. Minowa, K. Miuchi, Y. Inoue, T. Watanabe, Y. Ito, A. Takeda, Y. Inoue and Y. Ootuka, Tokyo Dark Matter Search Experiment with Lithium Fluoride Bolometer, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A 436 (1999) 233-237.
- 5 K.M.Ito, M.Watanabe, Y.Ootuka and E.E.Haller, Scaling analysis of the low temperature conductivity in neutron-transmutation-doped  $^{70}\text{Ge}:\text{Ga}$ , Annalen der Physik (Leipzig) 8 (1999) 631-637.
- 6 K.M.Ito, M.Watanabe, Y.Ootuka and E.E.Haller, Critical exponent for localization length in neutron-transmutation-doped  $^{70}\text{Ge}:\text{Ga}$ , Annalen der Physik (Leipzig) 8 (1999) SI-273-276.
- 7 M.Watanabe, K.M.Ito, Y.Ootuka and E.E.Haller, Metal-insulator transition of isotopically enriched neutron-transmutation-doped  $^{70}\text{Ge}:\text{Ga}$  in magnetic fields, Phys. Rev. B 60 (1999) 15817-15823.
- 8 H.Shimada, Y.Ootuka, S.Kobayashi, S.Katsumoto and A.Endo, Quantum Charge Fluctuations in Quantum Dots, J. Phys. Soc. Jpn. 69 (2000) 828-835.
- 9 A. Kanda, K. Ishibashi, Y. Aoyagi and T. Sugano, Single Electron Tunneling Devices ---Single Electron transistor with a Ring-shaped Island---, Physics and Applications of Mesoscopic Josephson Junctions (edited by H. Ohta and C. Ishii, The Physical Society of Japan, Tokyo, 1999), 305-323.
- 10 A. Kanda, M.C. Geisler, K. Ishibashi, Y. Aoyagi and T. Sugano, Energy gap measurement in ultrasmall superconducting rings, Microelectronic Engineering, 47 (1999) 389-391.
- 11 A. Kanda, M.C. Geisler, K. Ishibashi, Y. Aoyagi and T. Sugano, Local detection of superconducting energy gap by small tunnel junctions, Quantum Coherence and Decoherence - ISQM-Tokyo '98 (edited by K. Fujikawa and Y.A. Ono), 229-232 (1999).

- 12 K. Hamaguchi, A. Tominaga and Y. Matsusbara, Effects of Stack on Basic Characteristics in Thermoacoustic Oscillator, Proceedings of The 9th International Stirling Engine Conference and Exhibition (Pilanesburg, June 1999) pp.279-284

- 1 大塚洋一、強磁性体単電子トランジスタ、社団法人日本応用磁気学会第 111 回研究会資料 主題 微細加工微小磁性体における新しい物理現象 (1999.7.21)15-22.
- 2 伊藤公平、渡部道生、大塚洋一、Ga ドープ Ge における金属-絶縁体転移、日本物理学会誌 54(1999),205-208.
- 3 富永 昭:スターリングエンジンの革命が始まった、パリティ 14 巻 12 号(1999)26-28.
- 4 富永 昭: 音を利用して冷やす、精密工学会誌 65 巻 12 号 (1999) pp.1717-1720
- 5 大塚洋一、用語解説 「量子コンピュータ」、高圧ガス 37, No.2 (2000) 45.
- 6 大塚洋一、強磁性単一電子トランジスタの磁気抵抗、物性研だより 39 (2000) 29.

#### <著 書>

- 1 輸送現象測定、大塚洋一・小林俊一編 (丸善 実験物理学講座 第 11 巻、丸善、1999.11) .

#### <学位論文>

山口 尚秀 (特別研究学生): Transport Properties of Two-Dimensional Small-Josephson-Junction Arrays (東京大学、理学系研究科、2000. 3)

#### <講 演>

##### 国際学会

- 1 Y. Ootuka, H. Shimada, R. Matsuda and K. Ono, Tunnel Magnetoresistance Enhancement and Magneto-Colomb Oscillation in Ferromagnetic Single Electron Transistor, (invited), the 1999 Material Research Society (MRS) Spring Meeting, (San Francisco, 7 April 1999).
- 2 K. Hamaguchi, A. Tominaga and Y. Matsusbara: Effects of Stack on Basic Characteristics in Thermoacoustic Oscillator, The 9th International Stirling Engine Conference and Exhibition (Pilanesburg, June 1999).
- 3 Y. Ootuka: Small Metallic Tunnel Junction Systems, 3rd CREST Workshop on Random Matrix Theory and Quantum Chaos, (Univ. Tokyo, 6 July 1999).
- 4 A. Kanda, M.C. Geisler, K. Ishibashi, Y. Aoyagi and T. Sugano, "Phase coherence in a small superconducting ring", 3rd CREST workshop "Random matrix and quantum chaos", (Univ. Tokyo, 6 July 1999).
- 5 K.M. Ito, M. Watanabe, Y. Ootuka and E.E. Haller, Scaling Analysis of the Low Temperature Conductivity in Neutron-Transmutation-Doped  $^{70}\text{Ge}:\text{Ga}$ , International Conference on Disorder and Interaction in Transport Phenomena (Localisation99), (Hamburg, 31 July 1999)
- 6 M. Watanabe, K.M. Ito, Y. Ootuka and E.E. Haller, Critical Exponent for Localization Length in Neutron-Transmutation-Doped  $^{70}\text{Ge}:\text{Ga}$ , International Conference on Disorder and Interaction in Transport Phenomena (Localisation99), (Hamburg, 31 July 1999)
- 7 Y. Ootuka, Spin Polarization and Magneto-Coulomb Oscillations in

- Ferromagnetic Single Electron Transistors (invited), The 22nd Int. Conf. on Low Temperature Physics (Helsinki 6 Aug. 1999)
- 8 A. Kanda, M.C. Geisler, K. Ishibashi, Y. Aoyagi and T. Sugano: "Suppression of the Little-Parks Oscillation in a Mesoscopic Superconducting Ring", the 22st International Conference on Low Temperature Physics (LT22)", (Espoo, Finland, 9 Aug. 1999,).
  - 9 M. Morishita, H. Nagatani, and Hiroshi Fukuyama, "Nuclear-Spin Heat Capacities of Submonolayer Solid  $^3\text{He}$  Adsorbed on Graphite", 22nd International Conference on Low Temperature Physics (Espoo and Helsinki, Aug. 1999)
  - 10 M. Morishita, H. Nagatani, and Hiroshi Fukuyama, Excess Heat-Capacities of  $^3\text{He}$  Films adsorbed on Grafoil, 22nd International Conference on Low Temperature Physics, (Espoo and Helsinki, Aug. 1999)
  - 11 Hiroshi Fukuyama and M. Morishita, "A Possible Quantum Spin-Liquid State in Antiferromagnetic 2D Solid  $^3\text{He}$ ", 22nd International Conference on Low Temperature Physics, (Espoo and Helsinki, Aug. 1999)
  - 12 Y. Ootuka, Ferromagnetic Single Electron Transistors (I) and (II) (invited), Workshop on Quantum Transport and Mesoscopic Physics (新竹交通大学 NCTS, Taiwan 7 Jan. 2000)
  - 13 Y. Ootuka, Magnetoresistance and Single-Electron Charging Effect in Ferromagnetic Small Tunnel Junctions, International Symposium on Nanoscale Magnetism and Transport (ISNMT2000) (Sendai, 10 Mar. 2000)
  - 14 T. Yamaguchi, R. Yagi, A. Kanda, Y. Ootuka and S. Kobayashi: "Phase Diagram for Two-Dimensional Arrays of Small Josephson Junctions with Shunt Resistors", International Symposium on Mesoscopic Superconductivity (MS2000)", (Atsugi, Japan, 8 Mar. 2000).

国内学会, 研究会

- 1 大塚洋一, 金属微細トンネル接合システムの物理と素子への応用, シンポジウム「量子の世界」科学技術振興事業団基礎研究事業報告会(東京、青山、国連大学 1999/6/28)
- 2 大塚洋一, 強磁性体単電子トランジスタ, 応用磁気学会研究会「微細加工微小磁性体における新しい物理現象」, (東京、霞ヶ関、商工会館 1999/7/21)
- 3 大塚洋一・松田亮史 島田宏, 強磁性単一電子トランジスタにおける磁気クーロン効果 (シンポジウム) 日本物理学会 秋の分科会 (岩手大、1999/9/25)
- 4 神田晶申, M.C. Geisler, 石橋幸治, 青柳克信, 菅野卓雄, 大塚洋一: "微小超伝導リングにおける Little-Parks 振動の振幅減少", 日本物理学会 1999 年秋の分科会、9 月、盛岡市 (1999 年)
- 5 松田亮史, 島田宏, 大藤敬士, 神田晶申, 大塚洋一, "強磁性体微小 2 重トンネル接合系の磁気クーロン振動", 日本物理学会 1999 年秋の分科会、9 月、盛岡市 (1999 年)
- 6 山口尚秀, 八木隆多, 宮崎久生, 神田晶申, 大塚洋一, 樽茶清悟, 小林俊一: "並列抵抗を付加した微小ジョセフソン接合 2 次元配列の超伝導・絶縁体転移", 日本物理学会 1999 年秋の分科会、9 月、盛岡市 (1999 年)

- 7 森下將史, 「グラファイト上吸着 $^3\text{He}$ の構造と核磁性」(日本物理学会 1999 年秋の分科会, 1999 年 9 月, 岩手大学)
- 8 渡部道生, 森下將史, 大塚洋一, 「酸化ルテニウム温度計の低温における磁気抵抗」(日本物理学会 1999 年秋の分科会, 1999 年 9 月, 岩手大学)
- 9 大塚洋一, 微小トンネル接合—単電子エレクトロニクスの応用に向けて、筑波大学研究成果企業化促進交流会講演会(筑波カピオ・筑波, 1999/11/10)
- 10 大塚洋一, 強磁性体単一電子トランジスタの磁気抵抗、物性研研究会シリーズ「物理研究の展望」「表面・人工物質における物性科学のフロンティア」(物性研究所・東京 1999/11/11)
- 11 富永 昭: エネルギーの流れと変換(招待講演)第 61 回低温工学会(1999 年 11 月八王子)講演概要集, pp.49-50
- 12 神田晶申: "超伝導微小リングの量子状態", 第 12 回佐々木学術シンポジウム, 12 月 2 日, 筑波, 1999 年
- 13 森下將史, 「グラファイト上吸着 $^3\text{He}$ の構造と核磁性」(科研費特定領域 B「低次元ヘリウム 3 の新物性」研究会, 1999 年 12 月, 南熱海パレス松風苑)
- 14 大塚洋一, 金属微細トンネル接合システムの物理と素子応用の研究, 第 3 回 CREST シンポジウム (津田ホール・東京, 1999/12/22)
- 15 神田晶申, 浅田美里, 浅古卓永, 大塚洋一, "微小超伝導ディスクにおける巨大ボルテックス状態の観測、日本物理学会 2000 年春の分科会、吹田、2000 年 3 月
- 16 林正彦, 神田晶申, 微小超伝導リングにおける超伝導ゆらぎと Little-Parks 振動、日本物理学会 2000 年春の分科会、吹田、2000 年 3 月
- 17 山口尚秀, 八木隆多, 宮崎久生, 神田晶申, 大塚洋一, 樽茶清悟, 小林俊一、並列抵抗を付加した微小ジョセフソン接合 2 次元配列の超伝導・絶縁体転移 II、日本物理学会 2000 年春の分科会、吹田、2000 年 3 月
- 18 山口尚秀, 八木隆多, 宮崎久生, 神田晶申, 大塚洋一, 樽茶清悟, 小林俊一、並列抵抗を付加した微小ジョセフソン接合 2 次元配列における超伝導臨界電流、日本物理学会 2000 年春の分科会、吹田、2000 年 3 月
- 19 宮崎久生, 山口尚秀, 神田晶申, 大塚洋一、並列抵抗を付加した 1 次元微小ジョセフソン接合列における超伝導・絶縁体転移、日本物理学会 2000 年春の分科会、吹田、2000 年 3 月
- 20 渡部道生, 伊藤公平, 大塚洋一, 磁場中における  $70\text{Ge}:\text{Ga}$  の金属・絶縁体転移点近傍での広域ホッピング伝導、日本物理学会 2000 年春の分科会 22pL-8(関西大学, 2000/3/22)
- 21 森下將史, 高木丈夫, 「グラファイト上吸着 $^3\text{He}$ の構造と核磁性 II」(日本物理学会 2000 年春の分科会, 2000 年 3 月, 関西大学)
- 22 富永 昭: 熱力学を考える 1, 平成 11 年度第 1 回熱音響工学研究会(東京住友ビル 7 月 23 日)
- 23 富永 昭: 熱力学を考える 2, 平成 11 年度第 3 回熱音響工学研究会(東京国際フォーラム 12 月 17 日)
- 24 富永 昭: 熱力学を考える 3, 平成 11 年度第 4 回熱音響工学研究会(デンソー浜名湖研修所 3 月 11 日)

外国特許出願: 神田晶申, "Single-flux-quantum digital device"(米国, EP)