

## IX-5. 低温物性グループ

教授	大塚洋一
准教授	神田晶申
助教	森下將史
研究員	友利ひかり(科学技術振興機構さがし専任研究者)
大学院生	迫坪行広(数理物質科学研究科博士課程(早期修了プログラム)) 青沼快、柴田倭宏、鎌水勝秀(同修士課程2年) 園田大樹、中村和史、堀江彩叶、矢部大輔(同修士課程1年)
学類生	田村啓、吉川拓見、藤盛悠仁、星直樹(物理学類4年)

### 【1】 グラフェン等の原子層物質とその複合構造における物性開拓とデバイス応用への基盤技術開発

#### (1) グラフェンのひずみ効果 (友利、中村、吉川、神田)

炭素の2次元原子層膜であるグラフェンには、その特異な結晶構造を反映し、格子ひずみによって実効的なベクトルポテンシャルが生じるという特殊な性質がある。ひずみの空間変化の結果生じる擬似磁場は、グラフェンのバンド構造内の2つのバレーであるK点、K'点近傍にある伝導電子に対して逆向きに作用することで時間反転対称性が保たれる点で、通常の磁場とは異なる。この擬似磁場をうまく使うと、これまで困難であった局所磁場やバレートロンクスに関する基礎的な実験が可能となるだけでなく、ビッグデータやIoT社会の発展に不可欠である超低消費電力デバイス実現のための基盤技術が実現できる可能性もある。このようなひずみエレクトロニクスの実現を目指して、以下の研究を行った。

#### a) グラフェンの伝導ギャップの増大に向けた試料構造の検討 (友利、星、神田)

昨年度の研究で、周期ひずみ構造、局所ひずみ構造のそれぞれを持つ電界効果トランジスタ構造において、伝導ギャップを観測することに世界で初めて成功した。今年度はそのギャップを実用化レベルに近づけることを目標とし、周期ひずみ構造の周期の微小化、ひずみの空間変化量の増大化を行った。前者では、ひずみ周期 120 nm の構造の形成に成功した(図1)。後者では、ピエゾ素子を用いてひずみを印加する手法を開発した。

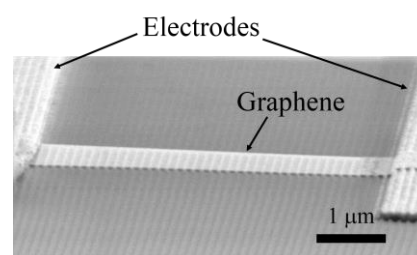


図1: 周期ひずみを導入したグラフェン電界効果トランジスタの走査電子顕微鏡写真。

#### b) グラフェンのひずみ方位の簡便な判別法の開発 (中村、友利、神田)

グラフェンのひずみ効果は、ひずみの結晶方位に大きく依存する。ひずみ方位は偏光ラマン分光法によって調べることができるが、従来の方法では、基準となる偏光板の向きの決定方法が複雑であり、ひずみ方位の同定は容易ではなかった。我々は、グラフェンのラマンスペクトルに現れる G バンド、2D バンドのピーク波数の偏光角度依存性から、偏光板の向きとひずみ方位の両方を容易に決定できる方法を考案した。また、その検証実験において予想通りの良好な結果を得た。

#### c) 周期1軸ひずみ構造を持つグラフェン電界効果トランジスタ構造の作製 (吉川、神田)

昨年度の大学院生である平出璃音可らが開発した、グラフェンに周期的なひずみを導入する方法を用いて、周期1軸ひずみ構造を持つグラフェン電界効果トランジスタ構造を作製した。局所ラマン分光における G バンド、2D バンドのピーク位置から、約 0.13% の平均ひずみ量をもつひずみが導入されていることが確認され、平出らの方法の再現性が確認された。

#### d) ひずみのあるグラフェンのコンダクタンスの計算手法の開発 (友利、神田)

局所ひずみによる伝導ギャップを最大化するために、任意形状のグラフェン細線の両端に張力を印加した場合のひずみの空間分布とコンダクタンスを計算する手法を開発した。本研究は、林正彦教授 (秋田大学) との共同研究である。

### (2) グラフェンの超伝導近接効果 (鎌水、友利、神田)

グラフェンと超伝導体との界面では、通常とは異なる超伝導近接効果 (鏡面アンドレーエフ反射) が起こることが理論予測されている。この現象は、現在まで実験では観測されていない。鏡面アンドレーエフ反射の観測が困難である原因として、従来、荷電不純物によるディラック点の空間揺らぎが指摘されてきたが、我々はそれに加えて、仕事関数差に起因する電荷ドーピングの重要性に着目している。本年度は、荷電不純物の影響を抑制するために、2層グラフェン/層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> の接合を窒化ボロン (hBN) 膜で挟み込んだ構造 (図 2) を作製し、常伝導状態、超伝導状態における電気伝導特性を詳細に検討した。その結果、接合からの距離に依存してディラック点がシフトすることを観測し、先行研究 (Efetov et al. Nat.

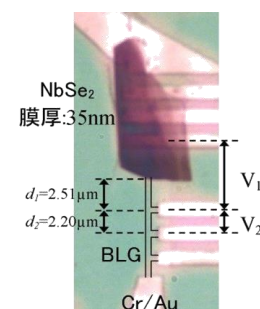


図 2 : 2 層グラフェン/層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> の接合を窒化ボロン (hBN) 膜で挟み込んだ試料の光学顕微鏡像。

Phys. (2016)) において行われた、仕事関数差を無視した解析が不適切であることを明らかにした。さらに、高根美武氏 (広島大) との共同研究において、仕事関数差

を考慮した場合の電流電圧特性を理論的に考察し、特定の状況においてアンドレーエフ反射の共鳴状態が出現することを見出した。本研究で用いた hBN は、物質・材料研究機構の谷口尚氏より提供を受けたものである。

### (3) 劈開法で得た原子層超伝導体の超伝導 (園田、矢部、友利、神田)

グラフェンの研究で発展した劈開製膜法を層状超伝導体に応用することにより、これまで実現が困難であった厚さが原子オーダーで均一なメゾスコピック超伝導体を実現することが可能となり、超伝導の物理、低消費電力の超伝導エレクトロニクス of 新しい展開が期待される。今年度は、層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> の劈開膜について、薄膜化や微細加工が超伝導特性に与える影響を調べた。また、高温超伝導体 Bi2212 の薄膜化が伝導特性に与える影響を調べた。

#### a) 超伝導特性の試料作製プロセス依存性 (矢部、友利、神田)

層状超伝導体を用いた様々な試料を作製する上で重要となる、試料作製プロセスが超伝導特性に与える影響を調べた。膜厚 10 nm 程度の層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> について、大気暴露したまま作製した試料と、hBN 膜で大気から遮断した状態で作製した試料を比較した結果、超伝導転移温度、臨界磁場共にほとんど差が出ず、バルクとほぼ同じ値となることがわかった。また、超伝導体を反応性プラズマイオンエッチング (RIE) で加工すると、超伝導転移温度の減少、転移幅の増大、臨界磁場の減少が観測された。

#### b) 層状高温超伝導体 BSCCO 薄膜の超伝導探索 (園田、友利、神田)

層状高温超伝導体 Bi2212 (Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>x</sub>) をスコッチテープ法によって薄膜化した試料の超伝導転移の観測を試みた。バルクでは 100 K 程度で超伝導転移が観測されたが、薄膜化した試料では、hBN で保護した場合、大気暴露した場合の両方で現段階では伝導転移は観測されていない。今後は酸素アニールによるドーピング効果等を調べる予定である。本研究で用いた高温超伝導体は、物質・材料研究機構の高野義彦氏より提供を受けた。

### (4) グラフェン上における金の拡散現象の発見 (藤盛、神田)

半導体微細加工 (リソグラフィ) プロセスにおける有機ポリマー (レジスト) によるグラフェン表面の汚染を回避するために、ステンシルマスクを用いた電極形成を検討した。ニッケル、クロム、パラジウムなど多くの金属ではマスク蒸着の結果は良好であったが、最も頻繁に使われている金の場合のみ、金の微粒子がグラフェンの上を動き回る (拡散する) 現象を見出した (図 3)。金微粒子は格子欠陥や

結晶の端に集まる傾向がある。この現象をうまく使うと、グラフェンやグラファイトの欠陥の分布が可視化できる可能性がある。

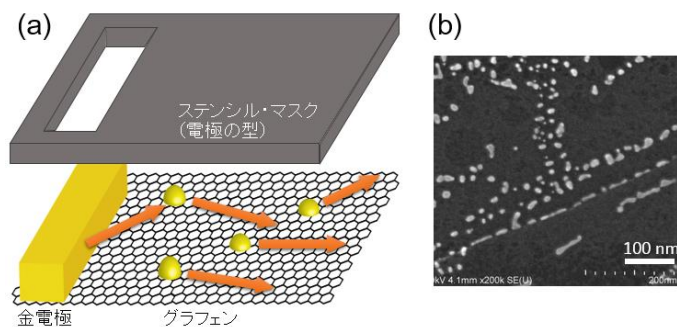


図3：ステンシルマスクを使った電極の蒸着と、金微粒子の拡散の様子。(b)はグラファイト上の金電極から100マイクロメートル離れた場所の走査電子顕微鏡写真。

#### (5) 折り畳みグラフェン中の電気伝導 (堀江、大塚)

二次元電子の軌道運動は磁場の面垂直成分のみの影響を受ける。従って、平坦ではない基板の上に置かれた二次元電子系に磁場をかけると、磁場が一様であっても軌道運動に対する有効磁場は空間変化することになる。これを利用して極めて急峻な変化をする外部磁場中での二次元電子の運動を調べるために、薄い絶縁膜をスペーサーとして、その端で折り返した「折り畳みグラフェン」に垂直強磁場中を加えた場合の電気抵抗・ホール効果を調べる研究を始めた。グラフェンはマクロな大きさを持つCVDグラフェンを使用する。本年度はグラフェンの折り畳みとそれへの電極接続を行うためのプロセスを種々検討した。これまでにネガ型レジストをスペーサーとした折り返しグラフェンを作り、金電極パターンをついたSi及びガラス基板で上下からはさむことには成功したが、まだ良好な電氣的接続は得られていない。

#### (6) 超伝導微粒子-グラフェン系における超伝導転移 (田村、堀江、大塚)

前年度にインジウムを微量真空蒸着した単層グラフェンの超伝導転移を調べたが、今年度は2層グラフェンについて同様の実験を行った。CVD2層グラフェンにインジウムを約10nm蒸着し、その電気伝導を液体ヘリウム及び希釈冷凍温度で測定した。グラフェン上でインジウムは直径50nm程度の微粒子を形成するため、試料はこのインジウム粒子がグラフェンを介してつながった二次元ネットワークとなり、粒子間の結合はゲート電圧でその場制御できる。インジウムの超伝導転移に伴い電気抵抗はインジウム粒子の揺らぎを伴う超伝導転移とさらに低温でのBerezinskii-Kosterlitz-Thouless (BKT)転移の2段階で変化する。単層CVDの場合と比較しより明確なBKT転移に伴う温度変化が電気抵抗に観測された。

## 【2】電流バイアスした金属ナノコンタクトにおける熱現象（柴田、大塚）

単原子ポイントコンタクトや単分子架橋系では加えた電圧が nm オーダーの接合両端に集中する中で伝導が生じており、エネルギー散逸は著しく不均一であり、容易に強い非平衡状態が生じると考えられる。そこで機械的破断接合（MBJ）法で作製した超伝導アルミニウムのナノコンタクトに電流を流した場合に生じる発熱とその伝達を希釈冷凍温度域で調べた。発熱は極めて局所的に生じるために接合に極近接した位置に超小型の AuGe 抵抗温度計を取り付けた。実験では以下の 3 つの方法で接合近傍の電子温度及び電子温度を決定した：①接合に電流を流した時の AuGe 温度、②接合に電流を流すことによる Al の常伝導状態への転移、③AuGe 抵抗をヒーターとして局所加熱したときの Al 電子温度。その結果、・接合の両側での温度上昇は電流の方向には依存しない、・しかし試料によっては両側での温度上昇には差がある事、・さらにその原因はジュール発熱の偏りにある事を明らかにした。

## 【3】希釈冷凍温度域磁化測定システムの開発（青沼、大塚）

SQUID をセンサーとした 0.1 K ~ 1 K の希釈冷凍温度域での実用的な磁化測定システムの実現を目指して開発を行った。高感度な磁化測定装置は物質開発に欠かせない計測器として多くの研究機関で使用されているが、その測定温度域は約 2 K までに限られている。より低温を生成できるヘリウム希釈冷凍機は構造が複雑であり、かつ熱流入に極めて弱いことから、その温度で微弱磁化を測定したという報告は数例に限られていた。そこで以前に大塚が開発したトップローディング式簡易型希釈冷凍機をベースに、室温部にあるモーターで極低温試料を直接駆動する構造を考案し、実用的な磁化測定装置の開発を行った。簡易希釈冷凍機の設計と製作の他、超伝導磁石や SQUID の制御回路、試料駆動装置の製作を行った。試験運転の結果、到達温度は目標とした 0.1 K にはまだ届いていないものの、<sup>3</sup>He 冷凍では達成できない温度に達しており、試料の上下動による大きな発熱がないことも確認した。

## 【4】遷移金属酸化物薄膜における抵抗変化現象と記憶素子への応用（迫坪、大塚）

抵抗変化現象とは一定以上の電流あるいは電圧を加えると電気抵抗が変化し電流・電圧を小さくしても変化した抵抗を維持し続ける一方、逆の極性あるいは別の大きさ以上の電流・電圧を加えると以前の抵抗に戻るといった現象である。不揮発メモリー現象であり、しかも集積度や高速性にも優れる可能性が高いことから近年応用に向けた研究が活発になっているとともに、そのメカニズムはまだ不明なところが多く基礎物理の観点からも興味深い研究対象である。早期修了プログラムで入学した迫坪は、酸化タンタル/酸化チタン (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/TiO<sub>2</sub>) 積層薄膜における抵抗変化現象に関する問題、特に抵抗スイッチングが生じる位置及び高抵抗状態の電気伝導について実験的に検討を行い、さらにこの構造の不揮発メモリー素子としての高サイクル耐性の実証を行った結果を学位論文としてまとめた。

## 【5】グラファイト上ヘリウム薄膜における2次元量子物性（森下、梅本）

原子レベルで平坦なグラファイト表面に吸着した数原子層のヘリウム薄膜は、理想的な2次元系を与える。この系では低次元系特有の、ゆらぎやフラストレーションを反映した物性、さらには、ヘリウムの高い量子性を反映した、他の吸着系には見られない特異な吸着構造や物性の出現が期待される。

### (1) ヘリウム単原子層薄膜における Dirac 粒子系

ヘリウム4 ( $^4\text{He}$ ) 単原子層薄膜に少量のヘリウム3 ( $^3\text{He}$ ) を溶解させた際、従来、 $^4\text{He}$  薄膜が固相であると考えられていた吸着量領域で、 $^3\text{He}$  の熱容量が有限であり、しかも温度の自乗に比例する異常な温度依存性を観測している。この解釈として、 $^4\text{He}$  薄膜の吸着構造の honeycomb domain wall が流動性を示し、溶解した  $^3\text{He}$  が蜂の巣構造の中を運動し、Dirac 粒子として振る舞って入る可能性を指摘している。

Dirac 粒子系は Fermi 面近傍で線形分散を示し、Fermi 粒子系でありながら全ての粒子が同一の速さをもつ上、Dirac 点の存在のために粒子速度が非常に大きくなる。熱容量から見積もられる Dirac 粒子として振る舞う  $^3\text{He}$  の速度の面密度依存性を図1に示す。従来の結果 ( $^3\text{He}$ :  $0.1 \text{ nm}^{-2}$ ,  $0.2 \text{ nm}^{-2}$ ) からは、 $^3\text{He}$  混入量が少ない程、粒子速度が大きく、また、 $4 \times 4$  という最小の周期性を与える  $8.4 \text{ nm}^{-2}$  近傍で最大値  $160 \text{ m/s}$  程度を得ていたが、この値は頭打ちになっているようにも見える。 $^3\text{He}$  原子が大きな速度をもつことから、 $^4\text{He}$  の honeycomb domain wall は超流動状態にあると考えられ、 $^3\text{He}$  原子の運動に  $^4\text{He}$  の超流動臨界速度が影響を与えている可能性が指摘された。臨界速度の影響を受けているのか否かを明らかにする目的で、従来より  $^3\text{He}$  混入量をさらに半分に減らした系 ( $^3\text{He}$ :  $0.05 \text{ nm}^{-2}$ ) での熱容量測定を行った。図4に示すように、誤差の範囲を越えて  $^3\text{He}$  の粒子速度は大きくなっている。 $^4\text{He}$  薄膜の超流動臨界速度はおおよそ  $60 \text{ m/s}$  と見積もられ、これを遙かに越えた値が観測されていることから、 $^3\text{He}$  の粒子速度は  $^4\text{He}$  薄膜の超流動臨界速度の影響は受けていないと見られる。

$^4\text{He}$  薄膜の honeycomb domain wall が流動性を示すことを、より直接的に観測すべく、音叉型水晶発振器を用いた水晶マイクロバランス法による動的応答測定の準備も進めている。

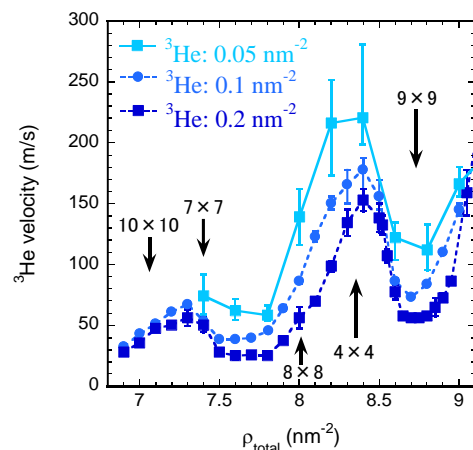


図4： $^4\text{He}$  薄膜中で Dirac 粒子として振る舞う  $^3\text{He}$  原子の速さの面密度変化。

## (2) ヘリウム4薄膜吸着第2原子層整合固相

$^4\text{He}$  薄膜吸着第2原子層においては、1原子層目に対しほぼ4/7の比率をもった整合固相の存在が信じられている。動的応答測定で、この面密度領域でのみ超流動的な振る舞いが観測されていることから、固体の超流動(超固体)や量子液晶相の存在が議論されている他、量子臨界点の存在も明らかとなり、注目を集めている。整合固相については、1 K 近傍の熱容量ピークの存在から、その存在が信じられている一方で、理論的な指摘から、その存在の有無が依然議論されている。我々のグループでは、 $^4\text{He}$  薄膜に少量の  $^3\text{He}$  を混入した系の熱容量測定において、 $^3\text{He}$  が流動性を示すという整合固相の存在に否定的な結果を得ているが、不純物としての  $^3\text{He}$  が固化を阻害している可能性も完全には否定できない。そこで、純粋な  $^4\text{He}$  薄膜について、従来より2桁近い低温まで熱容量測定を行った。その結果、面密度の関数としての構造相転移を示唆する熱容量の変化が得られず、また、整合固相に特有な phonon gap も観測されなかった。 $^3\text{He}$  を混入しての測定と相補的に、整合固相の存在を否定する結果を得た。

### <学位論文>

(博士論文) 数理物質科学研究科、2017年3月

1. 迫坪行広: Resistance change phenomenon in  $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$  stacked structure and its application to non-volatile memory ( $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$  積層構造における抵抗変化現象とその不揮発メモリーへの応用) (早期修了プログラム)

(修士論文) 数理物質科学研究科、2017年3月

1. 青沼快: 希釈冷凍温度域磁化測定システムの開発
2. 柴田倭宏: 電流バイアスされた超伝導ナノコンタクトにおける熱生成と温度計測
3. 鎌水勝秀: グラフェン/層状超伝導体接合における超伝導近接効果

(卒業論文) 物理学類、2017年3月

1. 田村啓: 二層グラフェン-インジウム系の超伝導転移
2. 吉川拓見: 周期1軸ひずみ構造を持つグラフェントランジスタの作製
3. 藤盛悠仁: SiC 上に形成されたグラフェンナノリボン列のダメージレスな電気伝導評価法の開発
4. 星直樹: ピエゾ素子を用いたグラフェンの一軸ひずみ制御

### <論文>

1. Y. Takane, K. Yarimizu, A. Kanda, "Andreev Reflection in a Bilayer Graphene Junction: Role of Spatial Variation of the Charge Neutrality Point", J. Phys. Soc. Jpn 86, 064707 (2017) (8 pages).

2. M. Morishita: “Low-Temperature Heat Capacity of  $^4\text{He}$  Films on Graphite”, J. Low Temp. Phys. 187, 453-458 (2017).

<著書>

1. 神田晶申、「第6章:超伝導層状カルコゲナイド/グラフェン接合」(上野啓司、安藤淳、島田敏宏編『カルコゲナイド系層状物質の最新研究』シーエムシー出版、35~44頁)、2016年

<講演>

(国際会議)

1. Hikari Tomori, Rineka Hiraide, Youiti Ootuka, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Akinobu Kanda, “Inducing Strain to Encapsulated Graphene”, Graphene Week 2016, Warsaw (Poland), Jun. 13-16, 2016.
2. Yu Ito, Kenta Katakura, Shoma Higuchi, Hiroki Sonoda, Hikari Tomori, Akinobu Kanda, “Effect of Metal Contact on Electron Transport and Its Removal in Graphene Field Effect Devices”, The 43rd International Symposium on Compound Semiconductor, Toyama, Jun. 13-16, 2016.
3. Rineka Hiraide, Shoma Higuchi, Hiroki Sonoda, Hikari Tomori, Akinobu Kanda, “Strain-induced Semiconducting Electron Transport in Graphene Field Effect Devices”, The 43rd International Symposium on Compound Semiconductor, Toyama, Jun. 13-16, 2016.
4. Hikari Tomori, Rineka Hiraide, Youiti Ootuka, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Akinobu Kanda, “Introducing Uniaxial Local Strain to Graphene Encapsulated with hBN”, The 43rd International Symposium on Compound Semiconductor, Toyama, Jun. 13-16, 2016.
5. Hikari Tomori, Rineka Hiraide, Youiti Ootuka, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Akinobu Kanda, “Introducing Uniaxial Local Strain to Graphene Encapsulated with hBN”, Seventeenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional materials (NT16), Vienna (Austria), Aug. 7-13, 2016.
6. Rineka Hiraide, Shoma Higuchi, Hiroki Sonoda, Hikari Tomori, Akinobu Kanda, “Semiconducting Electron Transport in Graphene Induced by Periodic Uniaxial Strain”, Seventeenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional materials (NT16), Vienna (Austria), Aug. 7-13,



2016.

7. Akinobu Kanda, Rineka Hiraide, Shoma Higuchi, Takumi Kichikawa, Youiti Ootuka, Hikari Tomori, "Formation of Graphene field Effect Devices with Periodic Uniaxial Strain and Its Semiconducting Electron Transport", The 8th International Conference on Recent Progress in Graphene and 2D Research (PRGR2016), Seoul (Korea), Sep. 25-29, 2016.
8. Hikari Tomori, Kazushi Nakamura, Naoki Hoshi, Youiti Ootuka, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Akinobu Kanda, "Semiconducting Electron Transport in Strained Graphene Encapsulated with hBN", The 8th International Conference on Recent Progress in Graphene and 2D Research (PRGR2016), Seoul (Korea), Sep. 25-29, 2016.
9. Hikari Tomori, Kazushi Nakamura, Naoki Hoshi, Youiti Ootuka, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Akinobu Kanda, "Opening a Gap in Graphene Encapsulated with hBN", 29th International Microprocess and Nanotechnology Conference (MNC2016), Kyoto, Nov. 08-11 (2016).
10. Shoma Higuchi, Rineka Hiraide, Takumi Kichikawa, Youiti Ootuka, Hikari Tomori, Akinobu Kanda, "Strain-induced Semiconducting Electron Transport in Graphene Field Effect Devices", 29th International Microprocess and Nanotechnology Conference (MNC2016), Kyoto, Nov. 08-11 (2016).
11. Katsuhide Yarimizu, Youiti Ootuka, Hikari Tomori, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Keiji Ueno, Akinobu Kanda, "Superconducting Proximity Effect in Graphene/Layered Superconductor NbSe<sub>2</sub> Interface", 29th International Microprocess and Nanotechnology Conference (MNC2016), Kyoto, Nov. 08-11 (2016).
12. Akinobu Kanda, Kenta Katakura, Yu. Ito, Youiti Ootuka, Hikari Tomori, "Influence of Metal Contacts on Graphene Transport Properties and Its Removal with Nano-carbon Interfacial Layer", 2016 Materials Research Society Fall Meeting, Boston (USA), Nov. 27-Dec. 2 (2016).
13. Hikari Tomori, Rineka Hiraide, Youiti Ootuka, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Akinobu Kanda, "Opening a Gap in Graphene Field Effect Devices Based on Strain Engineering", 2016 Materials Research Society Fall Meeting, Boston (USA), Nov. 27-Dec. 2 (2016).
14. (Invited) Rineka Hiraide, Hikari Tomori, Akinobu Kanda, "Graphene Strain Engineering for Band Gap Opening", 2106 Workshop on Innovative Nanoscale

- Devices and Systems (WINDS), 2016.12.04-09, Hawaii (USA), Dec. 4-9, 2016.
15. Hikari Tomori, Rineka Hiraide, Youiti Ootuka, Akinobu Kanda, “Formation of Graphene field Effect Devices with Periodic Uniaxial Strain and Its Semiconducting Electron Transport”, American Physical Society March Meeting 2017, New Orleans (USA), Mar. 13-17, 2017.
  16. Youiti Ootuka, Jin Aoki, and Ayato Horie, Electrical Transport in Metal-Deposited CVD-Graphene, CIQM Frontiers in Quantum Materials and Devices Workshop, RIKEN Wako Campus (Saitama), June 13-14, 2016.
  17. Yukihiro Shibata and Youiti Ootuka, Local Heating in Superconducting Atomic Point-Contacts, CIQM Frontiers in Quantum Materials and Devices Workshop, RIKEN Wako Campus (Saitama), June 13-14, 2016.
  18. Youiti Ootuka, Jin Aoki, and Ayato Horie, Electrical Transport in Metal-Decorated CVD-Graphene, 19th International Conference on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices (ICSNN 2016), Hong Kong, 25-30 July 2016.
  19. Yukihiro Shibata and Youiti Ootuka, Local electron- and lattice-heating in superconducting atomic point-contacts, 19th International Conference on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices (ICSNN 2016), Hong Kong, 25-30 July 2016.
  20. Kenichi Takemasa, Shin-Hong Kim, Yuji Takeuchi, Kazuki Nagata, Kota Kasahara, Shunsuke Yagi, Rena Wakasa, Yoichi Otsuka, Hirokazu Ikeda, Takehiko Wada, Koichi Nagase, Shuji Matsuura, Yasuo Arai, Ikuo Kurachi, Masashi Hazumi, Takuo Yoshida, Chisa Asano, Takahiro Nakamura, Makoto Sakai, Satoshi Mima, Kenji Kiuchi, H.Ishino, A.Kibayashi, Yukihiro Kato, Go Fujii, Shigetomo Shiki, Masahiro Ukibe, Masataka Ohkubo, Shoji Kawahito, Erik Ramberg, Paul Rubinov, Dmitri Sergatskov, Soo-Bong Kim, Development of Superconducting Tunnel Junction Detectors and Cold Amplifier for COBAND experiment, The 3rd International Workshop on Superconducting Sensors and Detectors (IWSSD2016), AIST Tsukuba Campus, Nov. 14-17, 2016.
  21. M. Morishita and M. Umemoto, “Fluidity of Domain Walls in Dilute 3He-4He Mixture Monolayer Films ~ Possible 1D Fermi Fluid and 2D Dirac Fermions in Helium Film on Graphite ~”, International Conference on Quantum Fluids and Solids (QFS2016) (Prague, August 11, 2016).
  22. M. Morishita, “Low Temperature Heat Capacity of 4He Films on Graphite”, International Conference on Quantum Fluids and Solids (QFS2016) (Prague, August 11, 2016).

(国内会議)

1. 鎌水勝秀, 矢部大輔, 園田大樹, 友利ひかり, 神田晶申, "Superconducting proximity effect in graphene", 新学術領域「ハイブリッド量子科学」第3回領域会議、東京理科大学神楽坂キャンパス (東京)、2016年8月25-26日。
2. 友利ひかり, 樋口翔馬, 中村和史, 星直樹, 神田晶申, "Electron Transport in Graphene with Local Strain", 新学術領域「ハイブリッド量子科学」第3回領域会議、東京理科大学神楽坂キャンパス (東京)、2016年8月25-26日 (ポスター)。
3. 樋口翔馬, 平出璃音可, 吉川拓見, 大塚洋一, 友利ひかり, 神田晶申, 「周期1軸ひずみによるグラフェンの半導体化」, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市), 2016年9月13-16日。
4. 鎌水勝秀, 大塚洋一, 友利ひかり, 渡邊賢司, 谷口尚, 上野啓司, 神田晶申, 「グラフェン/層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> 直接接合における超伝導近接効果」, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市), 2016年9月13-16日。
5. 友利ひかり, 林正彦, 吉岡英生, 渡邊賢司, 谷口尚, 大塚洋一, 神田晶申, 「局所1軸ひずみによるグラフェンへのギャップ生成」, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市), 2016年9月13-16日。
6. 矢部大輔, 鎌水勝秀, 園田大樹, 大塚洋一, 友利ひかり, 渡邊賢司, 谷口尚, 上野啓司, 神田晶申, 「層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> 薄膜の超伝導転移」, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市), 2016年9月13-16日。
7. 神田晶申, 「原子膜積層化により形成した超伝導システムの物性探索」, 科研費新学術領域「原子層科学」第7回領域会議, 産総研 (つくば), 2016年9月29-30日。
8. 矢部大輔, 鎌水勝秀, 園田大樹, 大塚洋一, 友利ひかり, 渡邊賢司, 谷口尚, 上野啓司, 神田晶申, 「層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> 薄膜の超伝導転移」, 第24回渦糸物理国内会議, あきた芸術村温泉ゆぼぼ (秋田県仙北市), 2016年11月28-30日。
9. 園田大樹, 矢部大輔, 鎌水勝秀, 大塚洋一, 友利ひかり, 渡邊賢司, 谷口尚, 高野義彦, 神田晶申, 「スコッチテープ法で得た Bi-2212 薄膜の電気伝導」, 第24回渦糸物理国内会議, あきた芸術村温泉ゆぼぼ (秋田県仙北市), 2016年11月28-30日。
10. 鎌水勝秀, 大塚洋一, 友利ひかり, 渡邊賢司, 谷口尚, 上野啓司, 神田晶申, 「グラフェン/層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> 接合における超伝導近接効果」, 第24回渦

- 糸物理国内会議，あきた芸術村温泉ゆぼぼ（秋田県仙北市），2016年11月28-30日。
11. 神田晶申，「原子膜積層化により形成した超伝導システムの物性探索」，科研費新学術領域「原子層科学」第8回領域会議，東京大学駒場IIキャンパス，2017年1月24-25日。
  12. Akinobu Kanda, “Strain Engineering in Graphene”, 新学術領域「ハイブリッド量子科学」第4回領域会議、理化学研究所（埼玉県和光市）、2017年2月27日～3月1日。
  13. Hikari Tomori, Kazushi Nakamura, Naoki Hoshi, Akinobu Kanda, “Transport gap formation in strained graphene”, 新学術領域「ハイブリッド量子科学」第4回領域会議、理化学研究所（埼玉県和光市）、2017年2月27日～3月1日。
  14. Kazushi Nakamura, Hikari Tomori, Naoki Hoshi, Akinobu Kanda, “Simplified estimation of crystallographic orientation of strained graphene by micro-Raman spectroscopy”, 新学術領域「ハイブリッド量子科学」第4回領域会議、理化学研究所（埼玉県和光市）、2017年2月27日～3月1日。
  15. Hikari Tomori, Rineka Hiraide, Youiti Ootuka, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Akinobu Kanda, “Opening a Gap in Graphene Field Effect Devices with Periodic Uniaxial Strain”, 第52回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム，東京大学本郷キャンパス（東京都文京区），2017年3月1－3日。
  16. Kazushi Nakamura, Hikari Tomori, Naoki Hoshi, Akinobu Kanda, “Simplified estimation of crystallographic orientation of strained graphene by micro-Raman spectroscopy”, 第52回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム，東京大学本郷キャンパス（東京都文京区），2017年3月1日。
  17. 林正彦，吉岡英生，友利ひかり，神田晶申，「歪み導入グラフェンの電気伝導の理論」大阪大学豊中キャンパス(大阪府)，2017年3月17日。
  18. 柴田倭宏，大塚洋一、超伝導ナノコンタクトにおける局所温度計測 IV、日本物理学会 2016年秋季大会，金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)，2016年9月13日。
  19. 青沼快，大塚洋一、希釈冷凍温度域磁化測定システムの開発その2、日本物理学会 2016年秋季大会，金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)，2016年9月13日。
  20. 松本益明，一宮彪彦，井通暁，右近修治，大嶋孝吉，大塚洋一，川村康文，岸澤眞一，毛塚博史，小牧研一郎，近藤泰洋，桜井一充，下田正，真梶克彦，末元徹，

- 鈴木功, 瀬川勇三郎, 武士敬一, 遠山潤志, 長谷川修司, 林壮一, 深津晋, 松本悠, 味野道信、物理チャレンジ 2016 報告:IV. 第 2 チャレンジ実験問題、日本物理学会 2016 年秋季大会, 金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市), 2016 年 9 月 13 日.
21. 武政健一, 金信弘, 武内勇司, 永田和樹, 笠原宏太, 八木俊輔, 若狭玲那, 大塚洋一, 美馬寛, 新井康夫, 倉知郁生, 羽澄昌史, 石野宏和, 吉田拓生, 広瀬龍太, 加藤幸弘, 池田博一, 和田武彦, 長勢晃一, 松浦周二、COBAND 実験のための Hf-STJ の研究開発 I、日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎大学木花キャンパス(宮崎市), 2016 年 9 月 21 日.
22. 大塚洋一、堀江彩叶、田村啓、折りたたみグラフェンを利用した階段型磁場中の二次元電子系の電気伝導の研究、新学術領域研究「原子層科学」第 7 回領域全体会議、産総研共用講堂(つくば)、2016.9.29
23. 柴田倭宏, 大塚洋一、超伝導ナノコンタクトにおける局所温度計測 V、日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府), 2017 年 3 月 17 日.
24. 堀江彩叶, 田村啓, 大塚洋一、折り畳みグラフェンの磁場中における電気伝導、日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府), 2017 年 3 月 17 日.
25. Yuji Takeuchi, Shin-Hong Kim, Kenichi Takemasa, Kazuki Nagata, Kota Kasahara, Shunsuke Yagi, Rena Wakasa, Youiti Ootuka, Hirokazu Ikeda, Takehiko Wada, Koichi Nagase, Shuji Matsuura, Yasuo Arai, Ikuo Kurachi, Masashi Hazumi, Takuo Yoshida, Chisa Asano, Takahiro Nakamura, Makoto Sakai, Satoshi Mima, Kenji Kiuchi, H.Ishino, A.Kibayashi, Yukihiro Kato, Go Fujii, Shigetomo Shiki, Masahiro Ukibe, Masataka Ohkubo, Shoji Kawahito, Erik Ramberg, Paul Rubinov, Dmitri Sergatskov, Soo-Bong Kim, Development of Far-infrared Spectrophotometers based on Superconducting Tunnel Junction (STJ) for COBAND Experiment, 新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 2016、ゆのくに天祥(石川県加賀市山代温泉) 2016 年 11 月 28~30 日.
26. Kenichi Takemasa, Shin-Hong Kim, Yuji Takeuchi, Kenichi Takemasa, Kazuki Nagata, Kota Kasahara, Shunsuke Yagi, Rena Wakasa, Youiti Ootuka, Hirokazu Ikeda, Takehiko Wada, Koichi Nagase, Shuji Matsuura, Yasuo Arai, Ikuo Kurachi, Masashi Hazumi, Takuo Yoshida, Chisa Asano, Takahiro Nakamura, Makoto Sakai, Satoshi Mima, Kenji Kiuchi, H.Ishino, A.Kibayashi, Yukihiro Kato, Go Fujii, Shigetomo Shiki, Masahiro Ukibe, Masataka Ohkubo, Shoji Kawahito, Erik Ramberg, Paul Rubinov, Dmitri Sergatskov, Soo-Bong Kim, R&D status of Hf-STJ, 新学術領域研究「ニュートリノフ

ンティアの融合と進化」研究会 2016、ゆのくに天祥(石川県加賀市山代温泉)2016年11月28~30日.

27. Rena Wakasa, Shin-Hong Kim, Yuji Takeuchi, Kenichi Takemasa, Kazuki Nagata, Kota Kasahara, Shunsuke Yagi, Youiti Ootuka, Hirokazu Ikeda, Takehiko Wada, Koichi Nagase, Shuji Matsuura, Yasuo Arai, Ikuo Kurachi, Masashi Hazumi, Takuo Yoshida, Chisa Asano, Takahiro Nakamura, Makoto Sakai, Satoshi Mima, Kenji Kiuchi, H.Ishino, A.Kibayashi, Yukihiko Kato, Go Fujii, Shigetomo Shiki, Masahiro Ukibe, Masataka Ohkubo, Shoji Kawahito, Erik Ramberg, Paul Rubinov, Dmitri Sergatskov, Soo-Bong Kim, ニュートリノ崩壊光探索に向けた極低温増幅器の開発と現状, 新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 2016、ゆのくに天祥(石川県加賀市山代温泉)2016年11月28~30日.

28. Shunsuke Yagi, Shin-Hong Kim, Yuji Takeuchi, Kenichi Takemasa, Kazuki Nagata, Kota Kasahara, Rena Wakasa, Youiti Ootuka, Hirokazu Ikeda, Takehiko Wada, Koichi Nagase, Shuji Matsuura, Yasuo Arai, Ikuo Kurachi, Masashi Hazumi, Takuo Yoshida, Chisa Asano, Takahiro Nakamura, Makoto Sakai, Satoshi Mima, Kenji Kiuchi, H.Ishino, A.Kibayashi, Yukihiko Kato, Go Fujii, Shigetomo Shiki, Masahiro Ukibe, Masataka Ohkubo, Shoji Kawahito, Erik Ramberg, Paul Rubinov, Dmitri Sergatskov, Soo-Bong Kim, R&D Status of Nb/Al-STJ with SOI cryogenic preamplifier, 新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 2016、ゆのくに天祥(石川県加賀市山代温泉)2016年11月28~30日.

29. 梅本匡敏、森下將史、「ヘリウム単原子層薄膜における Domain Wall の流動性」, 日本物理学会 2016 年秋季大会(金沢大学, 2016 年 9 月 14 日).

30. 梅本匡敏、森下將史、「グラファイト上ヘリウム4薄膜の低温熱容量」, 日本物理学会 第72回年次大会 (大阪大学, 2017 年 3 月 18 日).

<集中講義> なし

<外部資金>

1. 神田晶申：科学研究費補助金 新学術領域研究 「原子層積層化により形成した超伝導システムの物性探索」(H28~H29)、直接経費 280 万円
2. 神田晶申：科学研究費補助金 新学術領域研究 「電荷／スピンハイブリッド量子科学の研究」(H27~H30)、直接経費 1,120 万円
3. 神田晶申：(共同研究受入) 戦略的創造研究推進事業さきがけ(科学技術振興機構)「ひずみ誘起ゲージ場を用いた単原子層膜の伝導制御とエレクトロニクス応用」(友利ひかり)(H26~H30)、直接経費 501 万円

4. 大塚洋一：科学研究費補助金 新学術領域研究「折り畳みグラフェンを利用した階段型磁場中の二次元電子系の電気伝導の研究」(H26-27)、直接経費 140万円