

## IX-5. 低温物性グループ

教授	神田晶申
准教授	森下將史
研究員	大塚洋一（名誉教授）
共同研究員	友利ひかり（科学技術振興機構さきがけ専任研究者）
大学院生	梅本匡敏、園田大樹、中村和史、堀江彩叶、矢部大輔（数理工質科学研究科博士前期課程2年） 星直樹（同1年）
学類生	田中貴弘（物理学類4年）

低温物性グループでは、『メゾスコピック量子科学』をテーマに掲げ、電子、渦糸、ヘリウムという3つの量子が微小な系（メゾスコピック系）に閉じ込められたときに発現する新規物性の解明とその応用展開を目指した研究を行っている。

### 【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

層状物質を劈開して得られる単～数原子の厚さの清浄な原子層膜を任意の順序、角度で積層する技術が発達したのに伴い、これまで存在しなかった新規物質を人工的に形成することが可能になり、さまざまな新規物性が明らかになっている。我々は、以下の原子層膜特有の性質に焦点を絞って研究を行っている。

#### (1) グラフェンのひずみ効果

炭素の2次元原子層膜であるグラフェン中の伝導電子は、ディラック方程式に従って運動する。これに関連し、グラフェンの六方格子のひずみはベクトルポテンシャルと同等の効果を持つという不思議な性質がある。このひずみ効果をうまく使うと、グラフェンを高速電子デバイスに応用するために不可欠となる質の良いエネルギーギャップを生成できることが理論予測されているが、これまで実現されてない。我々は、格子ひずみを使ってグラフェンに実用化可能な大きさのエネルギーギャップを生成することを目的とした研究を行っている。

ひずみ誘起のエネルギーギャップをグラフェンに生成する方法として、周期ひずみ構造、局所ひずみ構造の2種類がこれまでに提案されている。昨年度までの研究で、それぞれの

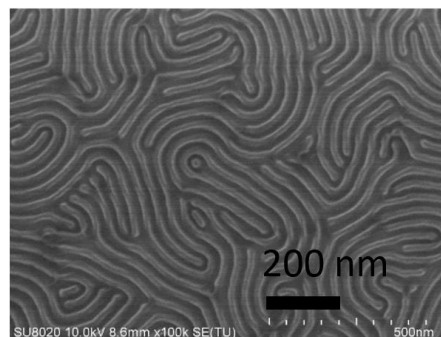


図1：PS-*b*-PMMA のラメラ構造を用いて形成したポリスチレンの凹凸構造。

構造を持つ電界効果トランジスタにおいてエネルギーギャップを観測することに世界ではじめて成功した。さらに、実用化可能な大きさの伝導ギャップを実現するためには、周期ひずみ構造において、ひずみ周期を微細化する手法が適していることを明らかにした。今年度は、電子線リソグラフィなどの半導体微細加工技術では実現不可能な微細な周期ひずみ構造を形成することを目指し、ポリスチレンとポリメタクリル酸メチルのブロック共重合体(PS-*b*-PMMA)からなる自己組織化膜を用いてグラフェンに周期ひずみ構造を導入する方法を考案し、実際に、PS-*b*-PMMA のラメラ構造(図1)を用いてグラフェンに周期 40 nm の(準)周期ひずみを導入できることを顕微ラマン分光で確認した。現在、電気伝導測定の前準備を進めている。

## (2) グラフェンの超伝導近接効果

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が、現在まで実験では観測されていない。我々は、その主たる原因として、超伝導体とグラフェンの仕事関数差に起因する電荷ドーピングに着目している。今年度は、この電荷ドーピングが電気伝導特性に与える影響を子細に検討し、低温物理国際会議(LT28)で口頭発表すると共にプロシーディングス論文として公表した。また、昨年度理論を構築したクリーンな2層グラフェン/超伝導接合の鏡面アンドレーエフ反射を実験で観測すべく、新しい作製法を用いた試料の電気伝導を測定した。その結果、理論予測と一部定性的に合致する非対称な電流電圧特性やゲート電圧依存性・磁場依存性における共鳴ピーク構造が見られた(図2)。今後、試料作製法をさらに改良し、鏡面アンドレーエフ反射の有無を検証する。

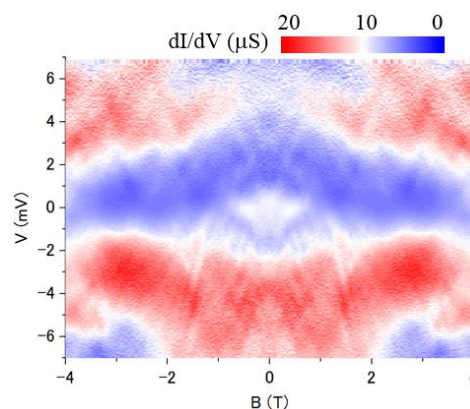


図2：2層グラフェン/超伝導体(NbSe<sub>2</sub>)接合における微分コンダクタンスのバイアス電圧-磁場依存性。

## (3) 低温強磁場中における折り曲げグラフェンの電気伝導

強磁場中の2次元電子系は量子ホール効果をはじめとした多くの興味深い現象発現の舞台である。この強磁場が空間的に激しく変化する状況での電気伝導を調べる目的で実験を行った。実験方法は以下の通りである。銅箔上CVD単層グラフェンにネガ型レジストSU-8膜をコートした後、銅箔を塩化第2鉄溶液でエッチング除去し、純水で洗浄する。これをフッ素樹脂系の細い糸を用いた水中操作でグラフェンが表側になるように折り曲げ、その両面の合計18箇所(箇所)に電極を取り付けた。試料作成上の課題であった折り畳みグラフェンの両面への配線については、穴あきガラス基板に転写した後、

開口部において銀ペーストを用いて金線を接続するという方法が有効であった。この折り畳みグラフェン試料を 4.2K に冷却し、8.5T までの磁場を加えて伝導測定を行った。このとき、折り畳まれた上側のグラフェンと下側のグラフェンでは表裏が入れ替わるため、電子の軌道運動に対する実効的な磁場は反転することになる。実験では約  $5\mu\text{m}$  で 8.5T から  $-8.5\text{T}$  に磁場が反転する極めて急峻な空間変化を実効的に実現できた。

表面と裏面では期待通り逆符号のホール電圧が観測され、また表面・裏面をまたぐ端子間抵抗は特有な磁場変化を示した。すなわち、側辺の表裏間縦抵抗では磁場の正負に関する反対称な成分が大きな割合を占め、しかもそれは両辺で逆の傾きを持つ。これに対して、対向側辺を結ぶホール配置的な端子間抵抗には磁場に対して反対称な成分はむしろ少ない。有限要素法による数値シミュレーションを行い、これらの測定結果は有効磁場の反転によって半定量的に理解できることがわかった。残念ながら今回の実験条件では量子ホール効果の観測には至らなかった。伝導は正孔型でキャリア密度は  $2 \times 10^{16} \text{m}^{-2}$ 、移動度は  $0.1 \text{m}^2/\text{Vs}$  であった。今後量子ホール効果を実現するには、試料の質、特にキャリア密度の制御が重要な課題となる。また磁場反転部に生じると考えられる界面量子状態を調べるにはさらに格段に薄いスペーサーをもつ折り曲げの実現が必要である。最近の報告によればグラフェンの折り曲げ曲率はかなり小さくできるとされており、実現の可能性はあると考えている。

## 【2】メゾスコピック超伝導体における少数渦糸状態の制御と量子デバイスへの応用

微小な第2種超伝導体では、量子磁束（渦糸）の配置は試料形状に依存し、巨大渦糸状態や多重渦糸状態（図3）といった新しい渦糸状態が生じる。我々はこれまで、独自に開発した微小トンネル接合法を用いて、新規渦糸状態の様々な性質を明らかにしてきた。特に、局所電流注入による渦糸状態間転移の観測に成功し、これまで古典的に扱われてきた渦糸状態の量子トンネルを示唆する実験結果を得た。通常、渦糸の移動はエネルギー散逸を伴うために量子トンネルの確率は小さいと考えられるが、メゾスコピック超伝導体特有の巨大渦糸状態をうまく制御すると、巨視的量子コヒーレンスを実現し、量子デバイスに応用できる可能性がある。ここで、従来の超伝導体の蒸着膜に代えて、原子オーダーで厚さが均一であり臨界温度の高い層状超伝導体の劈開膜を用いることで、渦糸状態の制御性が格段に向上すると期待される。今年度は、理論研究者と渦糸状態の量子性について検討すると共に、層状超伝導体の劈開膜を用いた実験のための基盤技術の開発を以下のおり行った。

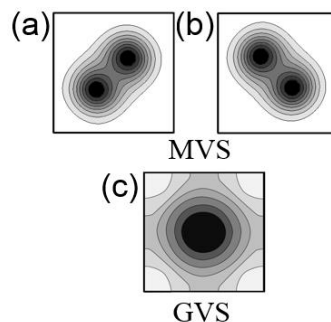


図3：正方形薄膜超伝導体の渦度  $L = 2$  の渦糸状態。（クーパー対密度の等高線表示。黒が中心核。）(a)(b) 多重渦糸状態、(c) 巨大渦糸状態。

### (1) 層状超伝導体劈開膜の超伝導特性

昨年度に引き続き、層状超伝導体を用いたメゾスコピック試料を作製する上で重要となる、微細加工が超伝導特性に与える影響を調べた。今年度は、産総研の収束イオンビーム(FIB)装置を用いて膜厚 10 nm 程度の層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> の加工を行い、加工前後の超伝導特性の比較を行った。その結果、FIB 加工による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。

### (2) 層状高温超伝導体 BSCCO 薄膜の超伝導探索

昨年度に引き続き、層状高温超伝導体 Bi2212 を劈開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が、様々な構造を持つ試料のすべてで、絶縁体的な振舞いが見られた。バルク試料の測定において、115 K、80 K における抵抗の跳びと低温における絶縁体的振舞いが見られたことから、用いた結晶には Bi2223 相、Bi2212 相、絶縁相が混在していることがわかった。劈開法で、絶縁相が選択的に得られると推察される。

### (3) NbSe<sub>2</sub> における渦糸侵入・排出の観測

劈開法で得た層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> の微細な薄片に微小なトンネル接合を取り付け、微小トンネル接合法による渦糸の侵入・排出の検出を行った。アルミニウム試料の場合と同様、渦糸の出入りに伴う電圧の変化が観測されたが、その特徴はアルミニウムの場合とは大きく異なるものであった。これは、NbSe<sub>2</sub> が多バンド超伝導体であることを反映している可能性がある。

## 【3】 グラファイト上ヘリウム単原子層薄膜における2次元量子物性

原子レベルで平坦なグラファイト表面に吸着した単原子層ヘリウム薄膜は、理想的な2次元系を与える。面密度(単位表面積当たりの吸着量)により、吸着構造が多彩に変化することも、この系の特徴である。低面密度領域では大きな零点振動のために、ヘリウム原子は局在せず、流体として振る舞う。面密度を増していくと、原子間のハードコア斥力、吸着ポテンシャルの凹凸、の2つの効果の協力により $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 相と呼ばれる整合相に固化する。さらに面密度を増大させると、ヘリウム4(<sup>4</sup>He)薄膜の場合には、図4に示すような domain wall 構造をとると考えられている。

<sup>4</sup>He 単原子層薄膜に少量の <sup>3</sup>He を溶解させた系の熱容量測定において、従来固相と考えられていた、 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 相より高い面密度領域で、有限の熱容量が観測され、さらに、honeycomb domain wall 構造が期待される面密度領域では、温度の自乗に比例する熱容量が観測された。ここで観測される熱容量は主に <sup>3</sup>He の運動によるものであるが、<sup>4</sup>He 単原子層薄膜が融解していても固化していても、観測された熱容量は説明できない。我々は、domain wall 内のみが流動性を示し、<sup>3</sup>He 原子はこの中を運動する可能性を指摘している。striped domain wall 構造では1次元 Fermi 流体として振る舞い、honeycomb domain wall 構造では蜂の巣構造内を反映し、線形分散をもつ Dirac 粒子系として振る舞うことが期待される。線形

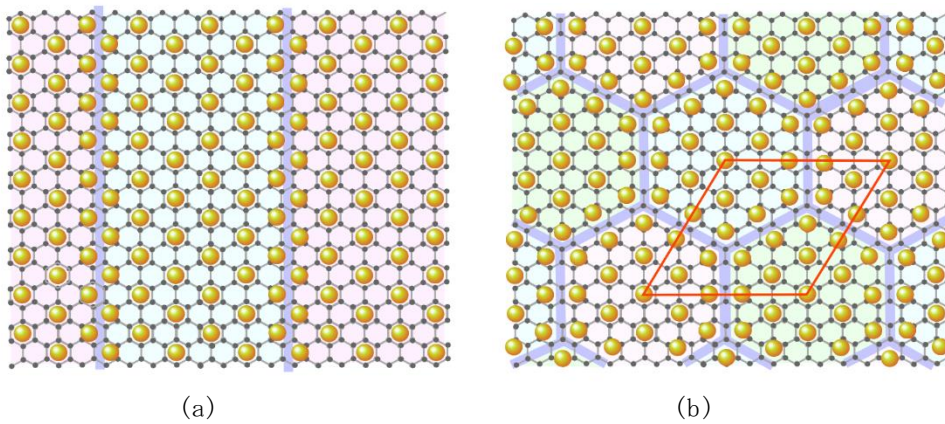


図4. (a) striped domain wall 構造 と (b) honeycomb domain wall 構造。複数の  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 相が隣接した構造であり、境界部である domain wall (図中青太線) では面密度が高く、ヘリウム原子は安定サイトからずれて吸着する。

分散を持つ Dirac 粒子系の熱容量は温度の自乗に比例するため、観測された温度の自乗に比例するという異常な熱容量が説明される。

本年度は、domain wall の流動性について、より直接的な証拠を得ることを目的に、 $^4\text{He}$  単原子層薄膜の動的応答測定を行った。従来、 $^4\text{He}$  薄膜や多孔質媒質中の  $^4\text{He}$  の超流動転移の研究には、ねじれ振子と呼ばれる手法が用いられてきた。しかし、この手法は graphite 上の  $^4\text{He}$  に限っては、感度良く観測することができないことが知られている。ここでは、微視的摩擦現象の研究に用いられる水晶マイクロバランス法(QCM) と呼ばれる手法を採用した。音叉型水晶振動子の先端に graphite を取り付け、ここに  $^4\text{He}$  を吸着させ、共鳴周波数と共鳴線幅を測定する手法である。例えば、超流動などにより吸着した  $^4\text{He}$  が振動子から decouple すると、軽くなる分だけ共鳴周波数が高くなる。測定結果を図5に示す。1 K 以上の温度域で急激な温度変化が観測されているが、これは bare graphite でも観測される background の変化である。

面密度を増すと約  $7 \text{ nm}^{-2}$ あたり  $0.1 \text{ Hz}$  共鳴周波数が減少することが期待されるが、 $400 \text{ mK}$  以上の温度領域では面密度に依らず、ほぼ同じ温度依存性を示している。これは、吸着系で観測される「スリップ」と呼ばれる、降温による摩擦の減少に伴う decouple 現象で説明される。一方、 $300 \text{ mK}$  以下では  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 相の面密度  $6.4 \text{ nm}^{-2}$ を超えると共鳴周波数が降温とともに減少している。同様の減少はヘリウム多層膜においても観測されている。比較的高温で、吸着第1原子層と2原子層の間のスリップが生ずるが、さらに降温すると3層目以上が超流動転移する。このとき、3層目以上が2層目に対して対向流を生じ、正味の decouple がなくなるため、共鳴周波数が降温とともに減少すると説明されている。同様の対抗流が単原子層面内で生じている可能性が高い。即ち、 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 以下の面密度では固相と流体相が共存していても、固相の中に流体相の droplet が取り込まれているため対抗流は生じ得ないが、 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 相より高面密度領域では、domain wall 内が超流動転移すると、薄膜内の広い領域にわたり対抗流

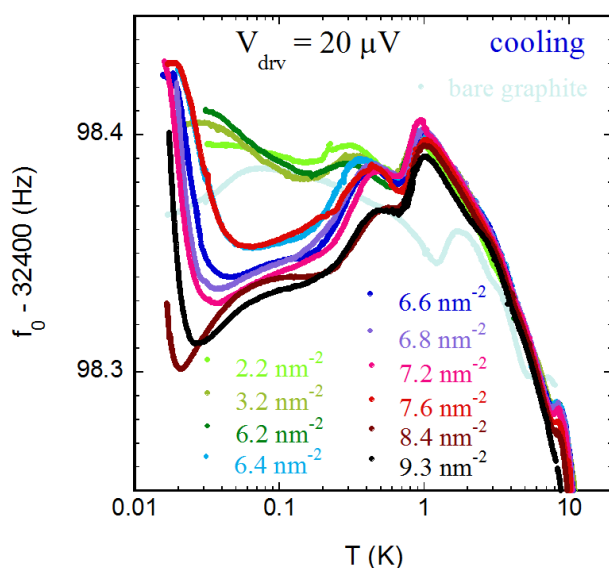


図5. グラファイト上<sup>4</sup>He単原子層膜のQCM測定における共鳴周波数の温度変化。6.2 nm<sup>-2</sup>と6.4 nm<sup>-2</sup>のわずかな面密度の変化で、0.1 K近傍の振る舞いが全く異なることは、単原子層の一部の構造のみが超流動状態になっていることを強く支持する結果。最低温度付近の増大は、新奇な現象を示唆する。

が生じ、正味の decouple が消失し、共鳴周波数が下がるとして説明できる。即ち、domain wall が流動性を有するとの仮説は、動的応答測定からも強く示唆される。

さらに温度を下げると再び共鳴周波数が増大している。これは、ヘリウム薄膜全体が graphite 基盤から再び decouple したことを示す。domain wall 構造の消失や、薄膜全体が流体となり超流動転移している可能性も指摘できるが、このような低温で構造が変化することは考えにくい。QCM の振動振幅を増大させるほど decouple を生じる温度が高くなる、即ち擾乱を強く与えるほど基底状態に高温で落ち込む、という不思議な現象が生じている。また、降温に伴う decouple はエネルギー散逸のピークを伴うが、散逸の大きさは、散逸ピークの温度に反比例するという不思議な依存性も観測されている。新奇な現象が生じている可能性が高く、引き続きの詳細な調査が必要である。

#### <学位論文>

(修士論文) 数理物質科学研究科、2018年3月

1. 梅本匡敏：動的応答測定によるグラファイト上単原子層ヘリウム異常比熱の解明
2. 園田大樹：劈開法で得た高温超伝導体薄膜の電気伝導
3. 中村和史：格子ひずみを導入したグラフェンの物性評価
4. 堀江彩叶：折り曲げたグラフェンの低温・強磁場における電気伝導
5. 矢部大輔：劈開法で得た層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> の超伝導特性とグラフェンとの接合における超伝導近接効果

(卒業論文) 物理学類、2018年3月

1. 田中貴弘：ブロック共重合体を用いたグラフェンへのひずみ導入



<論文>

1. Y. Takane, K. Yarimizu, and 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. K. Yarimizu, H. Tomori, K. Watanabe, T. Taniguchi, and A. Kanda, “Electron transport in a bilayer graphene/layered superconductor NbSe<sub>2</sub> junction: effect of work function difference”, J. Phys: Conf. Ser. 969 (2018) 012147 (5 pages).
3. Y. Takane and A. Kanda, “Andreev reflection in a proximity junction of graphene: Influence of a naturally formed pn junction”, J. Phys: Conf. Ser. 969 (2018) 012155 (5 pages).

<講演>

(国際会議)

1. (招待講演) Akinobu Kanda, “Search for unusual Andreev reflection in a graphene/superconductor interface”, Collaborative Conference on Material Science (CCMR 2017), Jeju Island (Korea), Jun. 26-30, 2017.
2. K. Yarimizu, H. Tomori, K. Watanabe, T. Taniguchi, A. Kanda. “Electron transport in a bilayer graphene/layered superconductor NbSe<sub>2</sub> junction”, 28<sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics (LT28), Gothenburg (Sweden), Aug. 9-16 (2017).
3. Y. Takane, A. Kanda, “Andreev reflection in a proximity junction of graphene: influence of a naturally formed pn junction”, 28<sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics (LT28), Gothenburg (Sweden), Aug. 9-16 (2017).
4. H. Tomori, M. Hayashi, H. Yoshioka, K. Watanabe, T. Taniguchi, Y. Ootuka, A. Kanda, “Introducing uniaxial local strain to graphene encapsulated with hBN”, 28<sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics (LT28), Gothenburg (Sweden), Aug. 9-16 (2017).
5. H. Tomori, R. Hiraide, Y. Ootuka, A. Kanda, “Gap formation by periodic strain in graphene field effect devices”, 28<sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics (LT28), Gothenburg (Sweden), Aug. 9-16 (2017).
6. Kazushi Nakamura, Hikari Tomori, Akinobu Kanda, “Simplified estimation of crystallographic orientation of strained graphene by micro-Raman spectroscopy”, The 2nd International Symposium on Hybrid Quantum Systems (HQS2017), Zao (Miyagi), Sep. 10 – 13 (2017).
7. D. Yabe, K. Yarimizu, H. Sonoda, Y. Ootuka, H. Tomori, K. Watanabe, T. Taniguchi, K. Ueno, A. Kanda, “Process Dependence of Superconducting Transition of Thin Layered Superconductor NbSe<sub>2</sub>”, The 2nd International Symposium on Hybrid Quantum Systems

- (HQS2017), Zao (Miyagi), Sep. 10 – 13 (2017).
8. H. Tomori, R. Hiraide, K. Nakamura, N. Hoshi, T. Kichikawa, T. Tanaka, K. Watanabe, T. Taniguchi, A. Kanda, “Graphene strain engineering for band gap opening”, The 2nd International Symposium on Hybrid Quantum Systems (HQS2017), Zao (Miyagi), Sep. 10 – 13 (2017).
  9. Naoki Hoshi, Hiroki Sonoda, Daisuke Yabe, Hikari Tomori, Akinobu Kanda, “Detecting Vortices in Thin Layered Superconductor NbSe<sub>2</sub> Using Small Tunnel Junctions”, The 9th annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2017), Singapore, Sep. 19-22 (2017).
  10. Kazushi Nakamura, Hikari Tomori, Akinobu Kanda, “Simplified estimation of crystallographic orientation of strained graphene by micro-Raman spectroscopy”, The 9th annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2017), Singapore, Sep. 19-22 (2017).
  11. Hiroki Sonoda, Daisuke Yabe, Katsuhide Yarimizu, Hikari Tomori, Yoshihiko Tanano, Akinobu Kanda, “Atmosphere Dependence of Normal State Resistance of BSCCO Thin Films Obtained with Micromechanical Exfoliation”, The 9th annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2017), Singapore, Sep. 19-22 (2017).
  12. D. Yabe, K. Yarimizu, H. Sonoda, H. Tomori, K. Watanabe, T. Taniguchi, A. Kanda, “Superconducting Transition of Thin Layered Superconductor NbSe<sub>2</sub>: Influence of Device Structures”, The 9th annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2017), Singapore, Sep. 19-22 (2017).
  13. Akinobu Kanda, Katsuhide Yarimizu, Daisuke Yabe, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Hikari Tomori, “Search for Unusual Andreev Reflection in a Bilayer Graphene/Layered Superconductor NbSe<sub>2</sub> Junction”, The 9th annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2017), Singapore, Sep. 19-22 (2017).
  14. Hikari Tomori, Rineka Hiraide, Youiti Ootuka, Akinobu Kanda, “Band gap formation in graphene by periodic strain”, Graphene Week 2017, Athens (Greece), Sep. 25-29 (2017).
  15. Ayato Horie and Youiti Ootuka, Electrical Conduction of Folded Graphene in Magnetic Field, 9th annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2017)(2017.9.19-22、シンガポール)



(国内会議)

1. 友利ひかり, 神田晶申, 「グラフェンのひずみ効果」, グラフェン-量子ドット研究会, 茨城大学工学部 (茨城県日立市), 2017年4月12日。
2. 園田大樹, 矢部大輔, 鎌水勝秀, 友利ひかり, 渡邊賢司, 谷口尚, 高野義彦, 神田晶申, 「劈開法で得た層状超伝導体 BSCCO 薄膜の常伝導抵抗の雰囲気依存性」, 第78回応用物理学会秋季学術講演会 (福岡県福岡市), 2017年9月5日~8日。
3. 中村和史, 友利ひかり, 神田晶申, 「顕微ラマン分光を使ったグラフェンのひずみ方位の簡単な決定法」, 第78回応用物理学会秋季学術講演会 (福岡県福岡市), 2017年9月5日~8日。
4. 矢部大輔, 鎌水勝秀, 園田大樹, 友利ひかり, 渡邊賢司, 谷口尚, 神田晶申, 「層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> 薄膜の超伝導特性のデバイス構造依存性」, 第78回応用物理学会秋季学術講演会 (福岡県福岡市), 2017年9月5日~8日。
5. 神田晶申, 友利ひかり, 星直樹, 「メゾスコピック超伝導体を用いた量子渦糸操作の可能性」, 新学術領域「ハイブリッド量子科学」 第五回領域会議, 大阪府大阪市, 2017年10月12日~13日。
6. 矢部大輔, 鎌水勝秀, 園田大樹, 友利ひかり, 渡邊賢司, 谷口尚, 神田晶申, 「層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> 薄膜の超伝導特性の デバイス構造依存性」, 新学術領域「ハイブリッド量子科学」 第五回領域会議, 大阪府大阪市, 2017年10月12日~13日。
7. 友利ひかり, 中村和史, 田中貴弘, 神田晶申, 「グラフェンにおけるひずみエンジニアリング」, 新学術領域「ハイブリッド量子科学」 第五回領域会議, 大阪府大阪市, 2017年10月12日~13日。
8. 神田晶申, 友利ひかり, 矢部大輔, 星直樹, 林正彦, 「メゾスコピック超伝導体における渦糸状態操作の可能性」, 第25回渦糸物理国内会議, 沖縄科学技術大学院大学 (沖縄県国頭郡), 11月27日~29日。
9. 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」, 新学術領域研究「原子層科学」 最終回全体会議, 東北大学理学部 (宮城県仙台市), 2018年2月19日~21日。
10. 矢部大輔, 鎌水勝秀, 友利ひかり, 神田晶申, 渡邊賢司, 谷口尚, 高根美武, 「2層グラフェン/層状超伝導体 NbSe<sub>2</sub> 接合の超伝導近接効果」, 日本物理学会第73回年次大会, 東京理科大学 (千葉県野田市), 2018年3月22日~25日。
11. 友利ひかり, 平出璃音可, 大塚洋一, 神田晶申, 「周期ひずみによるグラフェンへのバンドギャップ生成」, 日本物理学会第73回年次大会, 東京理科大学 (千葉県野田市), 2018年3月22日~25日。

12. 梅本匡敏, 森下將史, 「グラファイト上単原子層ヘリウム薄膜の固相領域における動的応答測定」、日本物理学会 2017 年秋季大会 (岩手大学, 2017 年 9 月 23 日).
13. Chenhua Geng, Masashi Morishita, and Masaki Oshikawa, “Band structure of a thin layer of Helium-3 on graphene”, 日本物理学会 2017 年秋季大会 (岩手大学, 2017 年 9 月 23 日).
14. 梅本匡敏, 鈴木 勝, 森下將史, 「グラファイト上ヘリウム単原子層薄膜における動的応答測定」、日本物理学会第 73 回年次大会 (東京理科大学, 2018 年 3 月 25 日).
15. Chenhua Geng, Masashi Morishita, and Masaki Oshikawa, “Spectrum of honeycomb structure in monolayer Helium film on graphite”, 日本物理学会第 73 回年次大会 (東京理科大学, 2018 年 3 月 25 日).
16. 大塚洋一, 堀江彩叶, 田村啓, 表面修飾した CVD グラフェンの電気伝導 II、日本物理学会 2017 年秋季大会(2017.9.21、岩手大学)
17. 武政健一, 金信弘, 武内勇司, 飯田崇史, 永田和樹, 浅野千紗, 笠原宏太, 八木俊輔, 若狭玲那, 大塚洋一, 美馬覚, 木内健司, 新井康夫, 倉知郁生, 羽澄昌史, 石野宏和, 樹林敦子, 吉田拓生, 坂井誠, 中村昂弘, 西村航, 加藤幸弘, 池田博一, 和田武彦, 長勢晃一, 馬場俊祐, 松浦周二, 川人祥二, 志岐成友, 浮辺雅宏, 藤井剛, 大久保雅隆, Erik Ramberg, Mark Kozlovsky, Paul Rubinov, Dmitri Sergatskov, Soo-Bong Kim、COBAND 実験のための Hf-STJ の研究開発 II、日本物理学会 2017 年秋季大会(2017.9.13、宇都宮大学)
18. 近藤一史, 北原和夫, 荒木美菜子, 東辻浩夫, 大塚洋一、物理チャレンジ 2017 報告 : I 全体報告、日本物理学会 2017 年秋季大会(2017.9.23、岩手大学)
19. 大塚洋一, 石川真理代, 市原光太郎, 一宮彪彦, 井通暁, 海老崎功, 右近修治, 大嶋孝吉, 川村康文, 岸澤眞一, 毛塚博史, 小牧研一郎, 近藤泰洋, 櫻井一充, 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, 松本益明, 松本悠, 味野道信、物理チャレンジ 2017 報告:IV 第 2 チャレンジ実験問題、日本物理学会 2017 年秋季大会(2017.9.23、岩手大学)
20. 大塚洋一, 堀江彩叶、低温・高磁場中における折り曲げグラフェンの電気伝導、日本物理学会第 73 回年次大会 (2018.3.22、東京理科大野田キャンパス)
21. 武政健一, 金信弘, 武内勇司, 飯田崇史, 永田和樹, 浅野千紗, 若狭玲那, 笠島誠嘉, 菅野洋信, 大塚洋一, 美馬覚, 新井康夫, 倉知郁生, 羽澄昌史, 石野宏和, 樹林敦子, 吉田拓生, 坂井誠, 中村昂弘, 西村航, 加藤幸弘, 池田博一, 和田武彦, 長勢晃一, 松浦周二, 川人祥二, 志岐成友, 浮辺雅宏, 藤井剛, 大久保雅隆, Erik Ramberg, Paul Rubinov, Dmitri Sergatskov, Soo-Bong Kim, 木内健司、COBAND 実験のための Hf-STJ の研究開発 III、日本物理学会第 73 回年次大会 (2018.3.25、東京理科大野田キャンパス)
22. 大塚洋一, 堀江彩叶, 低温強磁場中における折り曲げグラフェンの電気伝導、新学術

領域研究「原子層科学」最終回全体会議(2018.2.20、東北大学)

<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～H31)、直接経費 590 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～H29)、直接経費 490 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」(H28～H29)、直接経費 100 万円
5. 森下将史：科学研究費補助金 基盤研究(C) 「2次元量子固体の構造操作による量子現象の発現と解明」 (H28～H30)、直接経費 120 万円