

平成 21 年 0 4 月 3 1 日現在

研究種目： 基盤研究 (A)

研究期間： 2006 ~ 2008

課題番号： 18201028

研究課題名 (和文) ナノ薄膜層状伝導システムの創生とコヒーレント伝導制御

研究課題名 (英文) Coherent transport in nano-scale layered film

研究代表者

塚越一仁 (TSUKAGOSHI KAZUHITO)

独立行政法人産業技術総合研究所・ナノテクノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号： 50322665

研究成果の概要：ナノスケール層状物質を単層あるいは数層の薄膜に剥離して電極を作製することで、移動度の高い低次元伝導システムとなる。各層は原子スケール厚であり、この高い移動度を有する系では電気伝導がコヒーレントであることが期待される。これを実証するために、炭素系層状物質であるグラファイトを剥離して単層あるいは少数層の炭素超薄膜伝導システムの構築を試みた。SiO<sub>2</sub> 基板上にグラファイトを押しつけて薄膜を剥ぎ取り、光学顕微鏡観察によって特に薄い膜を選び出し、微細加工によって電極を作製した。まず、この光学顕微鏡観察において、従来の経験則に強く依存した原子薄膜枚数決定法に対して、CCDシステムを導入して機械的に確実に枚数を確定できる方法を確立した。これはSiO<sub>2</sub>/Siでのグリーン光の反射強度をCCDで検出して数値化することで、SiO<sub>2</sub>/Si上のグラフェン薄膜での光反射強度の低下を精密に再現性よく検出することで実現した。このようなグラフェンデバイスを制御性よく作製し、電気伝導性を調べることに成功した。まず、電界の遮蔽長を調べた。グラフェンの上下のゲート電極によって、電界を印加すると、電界は1.2nm程度で遮蔽されることがわかった。この厚さは3層程度に相当し、電界効果素子では1層もしくは2層とするべきであることを示唆している。また、超伝導近接効果により、超伝導対のコヒーレント伝導長を調べ、ゲート変調による制御に成功した。さらに、スピン伝導でも同様に、スピンコヒーレント伝導の計測とゲート制御に成功した。これらの結果は今後のグラフェンエレクトロニクスへの展開性を示しており、本研究での成果を基として、今後さらなる研究の発展を試みたい。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	20,800,000	6,240,000	27,040,000
2007年度	11,700,000	3,510,000	15,210,000
2008年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
年度			
年度			
総計	40,300,000	12,090,000	52,390,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：マイクロ・ナノデバイス・分子デバイス

キーワード：ナノ薄膜、電気伝導、コヒーレント、微細加工、層状物質、ゲート電界

1. 研究開始当初の背景

ナノスケール層間を有する層状材料は有機

や無機材料において多くの種類が存在し、バルク状態においても内部の電気伝導は 2 次元的であると言われている。その多くはゲートを作製して電界を印加しても電気伝導が変化することは無い。これは、電子密度が多いためにバルク材料内部まで電界が到達できないことによる。しかし、上記の層状材料においては層間の積層がファンデアワールス力によって保持されているものも多く、これらは剥離可能である。このような層状材料の代表としてグラファイトがある。これまでにグラファイトはバルク状材料として評価され、結晶方位に依存した電気伝導異方性が観測されてきた。このバルク結晶から数ナノメートル厚の薄膜グラファイトを剥離し、基板上に固定して電極を作製することが可能になった。さらに、このナノ薄膜グラファイトは基板をゲート電極として電界を印加すると電気伝導度がゲート変調することもわかった。ゲート電圧 30V 程度を境に、同時両極性を示し、それぞれ電子あるいはホールの伝導である。これはナノ薄膜グラファイトがゼロギャップ半導体になっており、薄いことによって電界が内部まで到達していることを示している。このような素子をヘリウム温度程度に冷却して垂直磁場を印加すると量子ホール効果が観測され 2 次元伝導系であることが英国マンチェスタ大(現在理研と共同研究進行中)と米国コロンビア大学からそれぞれ 2004 年に報告された。この量子ホール効果から電荷の低温での移動度は数  $10^5 \text{cm}^2/\text{Vs}$  を超えていることが推測される。つまり、平均自由行程は数ミクロンである。さらにこの系はコヒーレント長が極めて長いとの推測につながる。さらに本システムは炭素原子のみによって構成されていることからスピンコヒーレント長も長いことが

推測される。しかし、研究が始まって間もないナノ薄膜伝導では、コヒーレント伝導に関する研究は全く行われていなかった。そこで、新しいナノ物性系を作り上げるために、我々の予備実験を基にして本研究提案を行った。

## 2. 研究の目的

ゲートによる電界効果によって伝導状態を変調可能なナノあるいはサブナノ層間を有するナノメートル厚の薄膜層状伝導物質を低次元チャンネルとする「ナノ薄膜伝導システム」を創生し、システム特有のコヒーレント伝導を導出して制御することが研究目的である。

この研究を確立するために、まず、ナノ薄膜としてグラファイトを原料とした微細構造素子の作製方法を確立する。グラファイトをシリコン基板上酸化膜上に散布し、これに精密に電極を接続する。このときにポイントなるのはグラファイト薄片を効率よく散布し、効率よく 1 層膜あるいは 2 層膜をマッピングして電極を作製することである。さらに電極材料を選定するために、グラファイトのワークファンクションに近い金属を中心に幾つかの金属を蒸着し 2 端子抵抗およびゲート電圧を印加した抵抗変化を測定し評価する技術を確立することを目指した研究を推進することである。

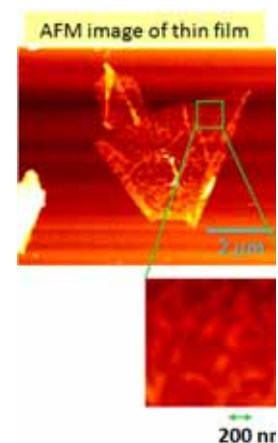


図1 SiO<sub>2</sub>/Si 基板上に転写したグラフェンの AFM 像。1nm あるいは 1nm に満たない凸凹が存在する。

## 3. 研究の方法

グラフェンは、HOPG や天然グラファイトバルクか

ら低粘着テープで剥離し、SiO<sub>2</sub>/Si 基板上に転写して作製した。この転写グラフェンの多くは、基板上でナノメートル以下の起伏を有することが多く(図1)、電気伝導への悪影響が懸念される。しかしながら、グラフェンに電極を形成すると、大きな伝導度を示し、基板に印加したゲート電圧によってもゲート変調が観測される。状態密度の形状を反映して、ゲート電圧負側でホールならびに正側で電子の伝導が変調され、抵抗値はピークを有するアンバイポーラ型の電気伝導となる。このゲート変調可能な抵抗を詳細に調べた。

#### 4. 研究成果

##### 4-1 高効率ゲート構造の確立と電界侵入長

抵抗値のピークにおいて電荷が最も少なくなる。この基本伝導を手掛かりに、ゲートからの電界のグラファイト/

超薄膜グラファイトへの侵入長(=スクリーニング長)の計測を行った。グラフェン/超薄膜グラファイトをチャンネルに対して、チャンネルの上下から独立にゲート電界を印加できる形状であり、グラファイトチャンネルの高効率変調のためのゲート構造を提案し実現した(図2)。このダブルゲート構造での電界侵入長計測は、チャンネル厚に依存する上ゲートと下ゲートの相互結合の精密評価から見積もった(電気伝導による直接計測としては世界で初めての試みである)。

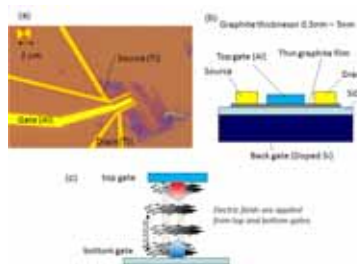


図2 (a)トップゲート&ボトムゲートのついた新構造グラファイト薄膜素子と模式図。チャンネルに上下のゲートで強電界を印加する。

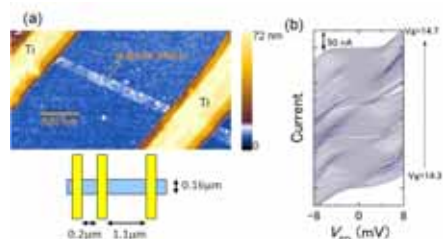


図3 電極の形成された超薄膜グラファイトリボンのAFM像(a)。4.2Kで観測されたチャンネルのポテンシャル揺らぎに起因するクーロンブロックイド振動。

この見積もりから、超薄膜グラフェンの電界侵入長は  $1.2 \pm 0.2 \text{ nm}$  であり、 $0.34 \text{ nm}$  の層間スペースを有するグラファイトでは3層前後まで電界が侵入することを見出すことに成功した。

##### 4-2 グラフェンチャンネルの揺らぎ効果

電界侵入長よりも薄い薄膜を用いて、ゲート電界によるチャンネルの揺らぎの効果を調べた。チャンネル幅  $160 \text{ nm}$  のグラファイトリボン(長さ  $1.1 \mu \text{ m}$ )に電極を形成した(図3)。4.2Kにおいて、電流を計測しながらゲート電圧を印加すると、電流の大きさが振動する。ソース・ドレイン電流 - 電圧特性において、電流が流れない領域が振動することから、この電流振動はクーロンブロックイド振動であり、チャンネル内に量子ドットが形成していることがわかる。図3に示したAFM像に見られるように、グラフェンには  $1 \text{ nm}$  よりも低い小さな凹凸がある。ここへ電界が印加されると、チャンネル内にケミカルポテンシャルの揺らぎが導入され、ポテンシャルの低いところが量子ドットとして振る舞う。室温での伝導では顕在化しにくい、グラフェンの小さな凹凸が低温では電子の流れを阻害していることを示している。

##### 4 - 3 超伝導電極による近接効果コヒーレント伝導と強磁性電極によるスピンコヒーレント伝導

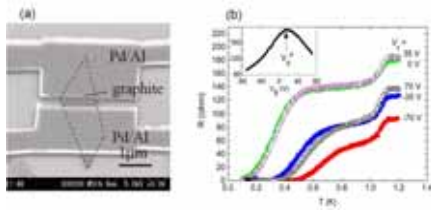


図4 ナノ薄膜グラファイトをチャンネルとする超伝導近接効果素子(a)と近接効果による超伝導を示す温度特性(b)。

超伝導電極素子では(図4)低温において超伝導転移が観測される。電極の超伝導が近接効果によって素子全体に広がりつながらている。この転位に関して、転位温度など転移に関わるパラメータはゲート電圧によって変調できることに成功した。近接効果電流がゲートで変化した電子密度によって変調されていることによる。同様に、強磁性体電極を形成することでスピン偏局電流のコヒーレント伝導を見出した(図5)。このスピン伝導も、ゲート電圧で変調が可能でありスピン電流の制御が出来ることがわかった。これらの実験によって、グラフェン/超薄膜グラファイトの良好なコヒーレント伝導を実証した。

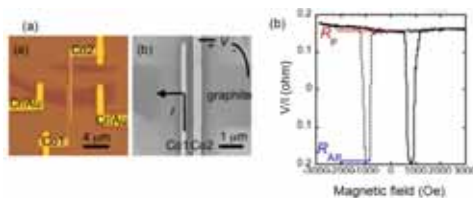


図5 ナノ薄膜グラファイトに強磁性体電極を作製した素子の写真(a)。4.2Kにて観測されたスピン注入による磁気抵抗信号(b)。

#### 4 - 4 コヒーレント伝導素子の微細化の試み

このようなコヒーレント伝導を示すグラフェン/超薄膜グラファイトを素子のチャンネルとして利用するためには、自在なエッチングによる形状パターンニングが必須であ

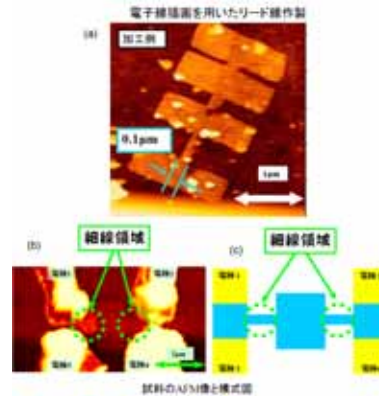


図6 酸素プラズマによって加工したナノ薄膜グラファイトのAFM像。

る。そこで剥片グラフェン/超薄膜グラファイトを電子ビーム露光と酸素プラズマエッチングで簡単な加工を試みた(図6)。エッチングマスクパターン通りに制御性形状が作製できるプロセスを確立した。このパターンの上に電極を形成して低温で電気伝導の測定にも成功しており、各種コヒーレント伝導の制御のための形状形成技術となるだろう。今後これらの実験をさらに広げて伝導の限界を見極め、次世代エレクトロニクスへの展開の可能性を引き出していくことを試みていきたい。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 11 件)

神田晶申, グラフェンをめぐる展開, パリティ, 24 (2009) 33-36 査読有

T.Sato, T.Moriki, S.Tanaka, A.Kanda, H.Miyazaki, S.Odaka, Y.Ootuka, K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, *Gate-controlled superconducting proximity effect in ultrathin graphite films*, Physica E 40 (2008) 1495-1497 査読有

H.Goto, A.Kanda, T.Sato, S.Tanaka, Y.Ootuka, S.Odaka, H.Miyazaki, K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, *Gate control of*

*spin transport in multilayer graphene*,  
Applied Physics Letters 92 (2008)  
212110/1-3 査読有

T.Sato, A.Kanda, S.Tanaka, H.Goto,  
Y.Ootuka, H.Miyazaki, S.Odaka,  
K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, *Observation of  
gate-controlled superconducting  
proximity effect in microfabricated thin  
graphite films*, Journal of Physics 109  
(2008) 012031/1-4 査読有

T.Sato, A.Kanda, T.Moriki, H.Goto,  
S.Tanaka, Y.Ootuka, H.Miyazaki, S.Odaka,  
K.Tsukagoshi, and Y.Aoyagi, *A different  
type of reentrant behavior in  
superconductor/thin graphite  
film/superconductor Josephson junctions*,  
Physica C 468 (2008) 797-800 査読有

H.Miyazaki, K.Tsukagoshi, S.Odaka,  
Y.Aoyagi, T.Moriki, T.Sato, A.Kanda,  
Y.Ootuka, *Coulomb blockade oscillations  
in narrow corrugated graphite ribbons*,  
Applied Physics Express, 1 (2008)  
024001/1-3 査読有

S.Odaka, H.Miyazaki, T.Moriki, T.Sato,  
A.Kanda, K.Tsukagoshi, Y.Ootuka,  
Y.Aoyagi, *Coulomb blockade oscillations  
in patterned ultra-thin graphite films*,  
Japanese Journal of Applied Physics 47  
(2008) 697-699 査読有

神田晶申、塚越一仁、  
グラファイト超薄膜の超伝導近接効果、表  
面科学 29 (2008) 315-320 査読有

M.Okinaka, K.Yanagisawa, K.Tsukagoshi,  
Y.Aoyagi, *Precise patterning of  
SiO<sub>2</sub>-based glass by low-temperature  
nanoimprint lithography assisted by UV  
irradiation on both faces using  
polysilane as a precursor*, Journal of

Vacuum Science and Technology B 25 (2007)  
1393-1397 査読有

T.Moriki, T.Sato, A.Kanda, Y.Ootuka,  
H.Miyazaki, S.Odaka, K.Tsukagoshi, and  
Y.Aoyagi, *Electron transport in thin  
graphite films: Influence of  
microfabrication processes*, Physica  
E-Low dimensional systems &  
Nanostructures 40 (2007) 241-244 査読有

K.Tsukagoshi, S.Uryu, Y.Aoyagi,  
*Quasi-periodic Coulomb blockade  
oscillations in a single-wall carbon  
nanotube bundle*, Solid State Phenomena  
121-123 (2006) 537-540 査読有

[学会発表](計 54件)

S.Odaka, H.Miyazaki, A.Kanda, K.Morita,  
S.Tanaka, Y.Miyata, H.Kataura,  
K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, *Epitaxial  
graphene transistor on SiC substrate*,  
5th International Conference on  
Molecular Electronics and  
Bioelectronics (M&BE5), March 15-18,  
2009, Miyazaki, Japan.

K.Tsukagoshi, *Gating control of graphene  
conduction*, AIST-RIKEN Joint workshop  
on "Emergent Phenomena of Correlated  
Materials", March 3-7, 2009, Nago,  
Okinawa, Japan.

K.Tsukagoshi, *Gate induced band gap for  
graphene device*, Okazaki Conference 2009,  
Feb.21-23, 2009, Okazaki, Japan.

A.Kanda, H.Goto, S.Tanaka, Y.Nagai,  
Y.Ootuka, H.Miyazaki, S.Odaka, Y.Aoyagi,  
K.Tsukagoshi, *Spin and charge transport  
in multilayer graphene*, 13th Advanced  
Heterostructures and Nanostructures  
Workshop, Dec. 7-12, 2008, Hawaii, USA.

K.Tsukagoshi, H.Miyazaki, A.Kanda,



Gating control of graphene conduction, 13th Advanced Heterostructures and Nanostructures Workshop, Dec. 7-12, 2008, Hawaii, USA.

H.Miyazaki, K.Tsukagoshi, A.Kanda, S.Odaka, S.Tanaka, H.Goto, Y.Ootuka, Electric-field-screening Length in Thin Graphite, 20th Korea-Japan Joint Forum (KJF2008), Oct.23-25, 2008, Chitose, Japan.

K.Tsukagoshi, Carbon-based nano-material transport for future electronics, UK-Japan Frontiers of Science Symposium, Oct.3-6, 2008, Tokyo, Japan.

H. Goto, A.Kanda, T. Sato, S. Tanaka, Y. Ootuka, S. Odaka, H. Miyazaki, K.Tsukagoshi, Y. Aoyagi, Coherent spin conduction in multilayer graphene, 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2008), Sep. 23-26, 2008, Tsukuba, Japan.

H.Miyazaki, S.Odaka, S.Tanaka, H.Goto, K.Tsukagoshi, A.Kanda, Y.Ootuka, Y.Aoyagi, Thickness dependent resistance change of dual-gated thin graphite films, 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2008), Sep.23-26, 2008, Tsukuba, Japan.

K.Tsukagoshi, Graphene conduction control by gate voltage, International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) Emerging Research Device workshops, September 22, 2008, Tsukuba, Japan.

A.Kanda, H.Goto, S.Tanaka, Y.Nagai, Y.Ootuka, S.Odaka, H.Miyazaki,

K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, Unconventional temperature dependence of proximity-induced supercurrent in multilayer graphene, ICTP Conference Graphene Week 2008, Aug. 25-29, 2008, Trieste, Italy.

H.Goto, A.Kanda, S.Tanaka, Y.Nagai, Y.Ootuka, S.Odaka, H.Miyazaki, K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, Long spin coherence length in multilayer graphene, ICTP Conference Graphene Week 2008, Aug. 25-29, 2008, Trieste, Italy.

A.Kanda, H.Goto, S.Tanaka, T.Sato, Y.Ootuka, H.Miyazaki, S.Odaka, K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, Experimental study of Cooper-pair transport in multilayer graphene, 25th International Conference on Low Temperature Physics Aug. 6-13, 2008, Amsterdam, Netherlands.

H.Goto, A.Kanda, T.Sato, S.Tanaka, Y.Ootuka, S.Odaka, H.Miyazaki, K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, Spin and charge transport in multilayer graphene, 25th International Conference on Low Temperature Physics, Aug. 6-13, 2008, Amsterdam, Netherlands.

H.Miyazaki, S.Odaka, T.Sato, S.Tanaka, H.Goto, K.Tsukagoshi, A.Kanda, Y.Ootuka, Y.Aoyagi, Electric-field-screening length in thin graphite, 4th International Nanotechnology Conference on Communication and Cooperation (INC4), April 14-17, 2008, Tokyo, Japan.

H.Miyazaki, K.Tsukagoshi, S.Odaka, Y.AOYAGI, T.Sato, S.Tanaka, H.Goto, A.Kanda, Y.Ootuka, Direct measurement of electric-field-screening length in thin graphite film, 2008 APS March Meeting,

March 10 14, 2008, New Orleans, USA.

A.Kanda, T.Sato, S.Tanaka, H.Goto, Y.Ootuka, K.Tsukagoshi, H.Miyazaki, S.Odaka, Y.Aoyagi, Superconducting proximity effect in thin graphite films, 2008 APS March Meeting, March 10 14, 2008, New Orleans, USA.

K.Tsukagoshi, Gate control of conduction of thin graphite film, 2008 the International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM), March 10-17, 2007, Kirchberg, Austria.

A.Kanda, T.Sato, S.Tanaka, H.Goto, Y.Ootuka, K.Tsukagoshi, H.Miyazaki, S.Odaka, Y.Aoyagi, Gate-controlled superconducting proximity effect in thin graphite films, 2008 Frontiers in Nanoscale Science and Technology Workshop (NSEC), January 6 8, 2008, Basel, Switzerland.

H.Miyazaki, K.Tsukagoshi, S.Odaka, T.Sato, S.Tanaka, K.Goto, A.Kanda, Y.Ootuka, Y.Aoyagi, Coulomb blockade oscillations in ultrathin graphite film with corrugation, International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology, December 2-7, 2007, Hawaii, USA.

T.Sato, S.Tanaka, H.Goto, A.Kanda, Y.Ootuka, H.Miyazaki, S.Odaka, K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, Superconducting proximity effect in superthin graphite films, International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology, December 2-7, 2007, Hawaii, USA.

A.Kanda, T.Sato, T.Moriki, H.Goto, S.Tanaka, Y.Ootuka, H.Miyazaki, S.Odaka, K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi,

Superconducting proximity effect in ultra-thin graphite films, Joint JSPS and ESF Conference on Vortex Matter and Nano-structured Superconductors (Vortex V), September 8-14, 2007, Rhodes, Greece.

K.Tsukagoshi, H.Miyazaki, S.Odaka, A.Kanda, T.Moriki, T.Sato, Y.Ootuka, Y.Aoyagi, Gating control of conduction of thin graphite film, International Conference on carbon nanoscience and nanotechnology (NanoteC2007), 29th August - 1st September 2007, Brighton, UK.

A.Kanda, T.Sato, T.Moriki, H.Miyazaki, S.Odaka, K.Tsukagoshi, Y.Ootuka, Y.Aoyagi, Gate modulation of superconducting proximity effect in ultra-thin graphite films, International Conference on Electronic Properties of Two-dimensional Systems and Modulated Semiconductor Structures, July 15-20 2007, Genova, Italy.

A.Kanda, T.Sato, T.Moriki, H.Miyazaki, S.Odaka, K.Tsukagoshi, Y.Ootuka, Y.Aoyagi, Gate modulation of superconducting proximity effect in ultra-thin graphite films, International Conference on Electronic Properties of Two-dimensional Systems and Modulated Semiconductor Structures, July 15-20 2007, Genova, Italy.

S.Odaka, H.Miyazaki, T.Moriki, T.Sato, A.Kanda, K.Tsukagoshi, Y.Ootuka, Y.Aoyagi, Coulomb blockade oscillations in patterned ultra-thin graphite films, 2007 International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and

Related Nanotechnologies (EM-NANO 2007), June 19-22, 2007, Nagano, Japan.

A.Kanda, T.Moriki, T.Sato, Y.Ootuka, H.Miyazaki, S.Odaka, K.Tsukagoshi, Y.Aoyagi, Superconducting proximity effect in thin graphite films, The Sixth international Conference on Low Dimensional Structures and Devices (LDS2007), April 15-20, 2007, San Andrés, COLOMBIA.

A.Kanda, T.Moriki, T.Sato, H.Miyazaki, S.Odaka, Y.Ootuka, Y.Aoyagi, K.Tsukagoshi, Proximity induced superconductivity in thin graphite films, The International Symposium "Trends in Nanoscience 2007", February 24-28, 2007, Kloster Irsee, Germany.

T.Moriki, T.Sato, A.Kanda, 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), January 24-26, 2007, Tokyo, Japan.

H.Miyazaki, S.Odaka, T.Moriki, T.Sato, A.Kanda, K.Tsukagoshi, Y.Ootuka, 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), January 16-19, 2007, Bangkok, Thailand.

K.Tsukagoshi, Nano-scale fabrications and contact interface modifications for nano-material transports, Japan-Germany Joint Workshop 2006, Nano-Electronics,

Oct.30-Nov.1, 2006, Tokyo, Japan.

塚越一仁, 強電界におけるグラフェンのバンドギャップ, 日本物理学会第 64 回年次大会、2009 年 3 月, 立教大学

宮崎久生, 崔乘喆, 小高隼介, 神田晶申, 塚越一仁, 青柳克信, 2 層グラフェンにおける電場誘起バンドギャップエンジニアリング、2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会、2009 年 3 月 30-4 月 2 日, 筑波大学  
小高隼介, 宮崎久生, 神田晶申, 森田康平, 田中悟, 宮田耕充, 片浦弘道, 塚越一仁, 青柳克信, SiC 基板上成長の多層エピタキシャルグラフェントランジスタ, 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会、2009 年 3 月 30-4 月 2 日, 筑波大学

塚越一仁, グラフェン/超薄膜グラファイトの伝導とゲート制御, 第 49 回真空に関する連合講演会、2008 年 10 月 28-31 日, くにびきメッセ、松江

宮崎久生, 小高隼介, 田中翔, 後藤秀徳, 神田晶申, 塚越一仁, 大塚洋一, 数層グラフェンの強電場下における電気伝導, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 2008 年 9 月 20-23 日, 岩手大学上田キャンパス

田中翔, 後藤秀徳, 長井超星, 神田晶申, 大塚洋一, 宮崎久生, 小高隼介, 塚越一仁, 青柳克信, 多層グラフェンにおける電気伝導の層数効果、日本物理学会 2008 年秋季大会, 2008 年 9 月 20-23 日, 岩手大学上田キャンパス

塚越一仁, 宮崎久生, 小高隼介, 佐藤崇, 田中翔, 後藤秀徳, 神田晶申, 大塚洋一, 青柳克信, Conduction control of graphene by gate-electric field、第 35 回記念フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、2008 年 8 月 27-29 日, 東京工業大学 大岡山キャンパス

神田晶申, 佐藤崇, 田中翔, 後藤秀徳, 大塚



洋一, 宮崎久生, 小高隼介, 塚越一仁, 青柳克信, グラファイト超薄膜における超伝導近接効果 II, 日本物理学会第 63 回年次大会, 2008 年 3 月 22-26 日, 近畿大学本部キャンパス

後藤秀徳, 田中翔, 佐藤崇, 神田晶申, 大塚洋一, 宮崎久生, 小高隼介, 塚越一仁, 青柳克信, グラファイト超薄膜 - 強磁性体接合の電気伝導特性 II、日本物理学会第 63 回年次大会, 2008 年 3 月 22-26 日, 近畿大学本部キャンパス

宮崎久生, 小高隼介, 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の電気伝導における AI トップゲートによる電界効果, 日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 9 月 12 - 24 日, 北海道大学

塚越一仁, 薄膜グラファイトの伝導とゲート効果, 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 2008 年 3 月 27 ~ 30 日, 日本大学理工学部船橋キャンパス

宮崎久生, 小高隼介, 佐藤崇, 田中翔, 後藤秀徳, 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における電場による絶縁体転移, 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 2008 年 3 月 27 ~ 30 日, 日本大学理工学部船橋キャンパス

神田晶申, 塚越一仁, 超薄膜グラファイトの伝導とゲート電圧効果, 日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 9 月 12 - 24 日, 北海道大学

後藤秀徳, 田中翔, 佐藤崇, 神田晶申, 大塚洋一, 宮崎久生, 小高隼介, 塚越一仁, 青柳克信, グラファイト超薄膜-強磁性体接合の電気伝導特性, 日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 9 月 12 - 24 日, 北海道大学

佐藤崇, 田中翔, 後藤秀徳, 神田晶申, 大塚

洋一, 宮崎久生, 小高隼介, 塚越一仁, 青柳克信, グラファイト超薄膜における超伝導近接効果, 日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 9 月 12 - 24 日, 北海道大学

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, 2007 年 3 月 27-30 日, 青山学院大学 相模原キャンパス

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, 2007 年 3 月 27-30 日, 青山学院大学 相模原キャンパス

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, 2007 年 3 月 18-21 日, 鹿児島大学

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, 2007 年 3 月 18-21 日, 鹿児島大学

51 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, 2007 年 3 月 18-21 日, 鹿児島大学

52 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 日 - 26 日, 千葉大学西千葉キャンパス

- 53 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 日 - 26 日, 千葉大  
学西千葉キャンパス
- 54 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の電気伝導特性, 2006  
年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会,  
2006 年 8 月 29 日-9 月 1 日, 立命館大学び  
わこ・くさつキャンパス

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 2 件)

名称: グラフェン又は超薄膜グラファイトの  
厚さ検出方法および厚さ検出システム

発明者: 宮崎久生, 塚越一仁

権利者: 独立行政法人産業技術総合研究所

種類: 特願

番号: 2008-208965

出願年月日: 平成 20 年 8 月 14 日

国内外の別: 国内

名称: 電子素子および電子素子の製造方法

発明者: 宮崎久生, 塚越一仁, 小高隼介,  
青柳克信

権利者: 独立行政法人理化学研究所

種類: 特願

番号: 2007-265556

出願年月日: 2007 年 10 月 11 日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

塚越 一仁 (TSUKAGOSHI KAZUHITO)

独立行政法人産業技術総合研究所・ナノテ  
クノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号: 50322665

### (2) 研究分担者

神田 晶申 (KANDA AKINOBU)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科  
・講師

研究者番号: 30281637

(分担期間: 2006 年度 ~ 2008 年度)

沖仲 元毅 (AKINAKA MOTOKI)

独立行政法人理化学研究所・研究技術開発・  
支援チーム・開発研究員

研究者番号: 80391902

(分担期間: 2006 年度 ~ 2007 年度)

### (3) 連携研究者

なし