

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25287093

研究課題名(和文)高温超伝導を目指したダイヤモンドおよび関連物質の表面伝導電界制御

研究課題名(英文)Electric field control of surface conductivity in diamond and related materials towards high temperature superconductivity

研究代表者

山口 尚秀(Yamaguchi, Takahide)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・超伝導線材ユニット・主任研究員

研究者番号：70399385

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,100,000円

研究成果の概要(和文)：高温超伝導の発現を目指し、ダイヤモンドおよびシリコンなどの関連物質の表面伝導の電界制御を行った。イオン液体を用いた電界効果によって高密度キャリアをノンドーパダイヤモンド水素終端表面に蓄積し、金属的な伝導の観測に成功した。さらに原子レベルで平坦な水素終端(111)表面においてダイヤモンドの量子振動(シュブニコフ・ドハース振動)の観測に初めて成功した。またダイヤモンド表面の結晶方位によって伝導特性が大きく異なることを明らかにし、水素終端(100)表面ではキャリアのスピンの起因する特異な磁気抵抗効果を発見した。

研究成果の概要(英文)：Towards the realization of high temperature superconductivity, we have performed an electric field control of surface conductivity in diamond and related materials such as silicon. We accumulated high density carriers and obtained a metallic carrier transport on the hydrogen-terminated surface of non-doped diamond using an ionic-liquid-gated electric field effect. Furthermore, we observed quantum oscillations (Shubnikov-de Haas oscillations) in diamond for the first time through the preparation of atomically flat hydrogen-terminated (111) diamond surfaces. We also found that the transport properties depend significantly on the surface crystal orientation; in particular, we found a spin-induced anomalous magnetoresistance effect for the hydrogen-terminated (100) surface of diamond.

研究分野：低温物性実験

キーワード：ダイヤモンド 電界効果 イオン液体 量子振動 シュブニコフ・ドハース振動 磁気抵抗 スピン依存伝導 水素終端

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドは高硬度、高熱伝導度など多くの優れた特徴をもつ。超伝導の観点からはその高いデバイ温度のために高い転移温度 T_c が期待される。しかし、純粋なダイヤモンドは 5.5 eV のバンドギャップをもつ絶縁体であり、超伝導を生じさせるにはボロンを $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上高濃度にドーブし伝導キャリア（ホール）を導入する必要がある。最高の T_c としては(111) 基板上に CVD 成長させた薄膜で 11.4 K（オンセット）が報告されており、このときのボロン濃度は $8 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ である。この濃度はカーボンの 5% にも達し、多数の格子欠陥による伝導特性への影響が予想される。実際室温での平均自由行程を見積もると 5 と格子定数 (3.57) 程度の小さな値になる。一方理論的には、ボロンをランダムではなく周期的にドーブした場合 100 K オーダーの非常に高い T_c が予想されており(Shirakawa et al. J. Phys. Soc. Jpn, 76, 014711 (2007))、結晶に乱れを引き起こさないキャリア導入法が強く望まれる。

そのようなキャリア導入法として電界効果を用いる方法が有望である。これは、半導体の電界効果トランジスタのチャネル部分に試料を用い、ゲートに電圧を印加することで試料にキャリアを誘起する方法である。とくにイオン液体（有機イオンからなる室温付近で液体状態の塩）をゲート絶縁体とすることで 10^{14} cm^{-2} を超える ($10^{20} \sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$) 非常に高いキャリア密度を達成できることが報告された。SrTiO₃ や ZrNCl などでは電界誘起超伝導が達成された。

2. 研究の目的

このような当時の研究状況において、イオン液体を用いた電界効果によって特にノンドープのダイヤモンドに高温超伝導を誘起させることを本研究の第一の目的とした。

主要な具体的目標は以下のとおりであった。イオン液体を用いた電界効果によってノンドープダイヤモンド表面の伝導キャリア密度を制御し低温における伝導特性を詳しく調べる。特に水素終端表面について詳しく調べる。未だコンセンサスの得られていない水素終端ダイヤモンドの表面伝導機構を解明する。さらに、電界誘起によるダイヤモンド超伝導を達成する。ボロンドープダイヤモンドでは基板方位によって T_c が異なるが、電界誘起超伝導の場合にどうなるか興味もたれる。これについて詳しく調べる。また、表面伝導層は強電界下に置かれるため空間反転対称性の破れた超伝導としての特異な性質が現れる可能性がある。上部臨界磁場の増大などが見られないか、磁場中での振舞いを詳しく調べる。

さらに、シリコンカーバイドなどのダイヤモンドに関連した共有結合結晶の絶縁体に

イオン液体を用いた電界効果によってキャリアを誘起させ、その伝導特性を詳しく調べること、および超伝導化を達成することを第二の目的とした。

3. 研究の方法

イオン液体を用いた電界効果によるキャリア誘起を行うには、ダイヤモンド表面の状態が重要になる。ダイヤモンド表面には興味深い性質があり、表面が水素終端されていて、かつ表面を一日程度大気に暴露させると、ノンドープのダイヤモンドでも表面電気伝導が生じることが知られている。この伝導は p 型であり、典型的な面抵抗は 10 ~ 100 k Ω 、キャリア面密度は $10^{12} \sim 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 、移動度は 10 ~ 100 cm^2/Vs である。水素プラズマ中で成膜するため、化学気相合成 (CVD) によって成膜したダイヤモンドは水素終端になっている。この表面伝導の起源についていくつかのモデルが提案されているが、完全なコンセンサスは得られていない。トランスファードーピングと呼ばれるモデルでは、表面に吸着した水の層の中の H_3O^+ イオンの酸化還元準位にダイヤモンドの価電子帯から電子が移動し、表面にホールが蓄積されると考えている。本研究では、水素終端の表面伝導機構の解明のため、このような水素終端表面に対して電界効果によるキャリア制御を行い伝導特性の変化を詳細に調べた。

なお、酸素プラズマエッチングやオゾン雰囲気での紫外線照射などによって形成される酸素終端表面には上記のような表面伝導は現れない。これは水素終端表面が負の電子親和力 (-1.3 eV) を持つのに対し、酸素終端は正の電子親和力 (+1.7 eV) を持ちバンドが -3 V 低い方向にシフトするため H_3O^+ イオンの酸化還元準位に電子が移動できないためと考えられる。本研究では、絶縁化や、n 型キャリア誘起を狙う場合に、酸素終端表面を用いた。

電界効果トランジスタ構造は以下のようにして作製した。高温高圧合成した Ib 型と呼ばれるダイヤモンド基板、あるいは CVD 合成した IIa 型と呼ばれるダイヤモンド基板を準備した。基板表面が研磨されたものを用いた。研磨された表面の粗さ (RMS 値) は、1 μm 角の中で 0.5 nm 程度である。このようなダイヤモンド基板上に CVD によって、ノンドープダイヤモンドを 0.5 μm 程度成膜した。基本的には、このようなダイヤモンド表面上にトランジスタを作製した。但し、当初の計画にはなかったが、より理想的な表面として、ステップアンドテラスを示す原子レベルで平坦な表面の形成もできるようになった。これには、徳田らによって提案された方法を用いた。すなわち、(111)ダイヤモンド基板上に数 10 μm 角、高さ 2 μm 程度のメサ構造を作製し、この上に極低メタン濃度で長時間の CVD 合成を行った。これにより、メサの上面に原子

レベルで平坦な表面が形成された。このような表面にもトランジスタ構造を作製した。

上述したようにこれらの CVD 合成したダイヤモンド表面は水素終端されている。ホールバー形状のみを残して、残りの部分は紫外線オゾン処理によって酸素終端に変換した。フォトリソグラフィおよび真空蒸着の方法により、ホールバー状の水素終端部に対して電極を作製した。ゲート電極は、ダイヤモンド上の酸素終端化された部分に作製するか、別途シリコン基板上に蒸着したものなどを使った。最後にホールバーとゲート電極を覆うようにイオン液体を塗布した。イオン液体としては、DEME-BF₄ や DEME-TFSI などを用いた。イオン液体への酸素や水分の混入を防ぐため、Ar 雰囲気グローブボックス中に行った。また、塗布する前にグローブボックス中で試料を加熱し、水素終端表面の吸着物をできるだけ減らすようにした。試料ホルダは、グローブボックス中でインジウムによって封止できるようにした。

試料は自作のプロープに載せ、Quantum Design 社の PPMS(Physical Properties Measurement System)あるいは³He 冷却システムに挿入し、温度(2 K および 0.4 K まで)と磁場(7 T および 15 T まで)を変化させて伝導測定を行った。希釈冷凍機(30 mK, 20 T まで)を使った測定も行った。伝導度、Hall 測定は、自作のアンプや、DL Instruments 社の 1201 電圧アンプ、1211 電流アンプ、あるいは NF 回路ブロック社の 5610B ロックインアンプなどを使って行った。

4. 研究成果

(1) 水素終端ダイヤモンド表面の電界による金属化

水素終端されたノンドープダイヤモンド(100)および(111)表面に、イオン液体を用いた電界効果によってホールキャリアを蓄積しその伝導特性を詳しく調べた。図1は、異なるゲート電圧における(111)表面のシート抵抗の温度依存性である。負のゲート電圧を印加することによって、抵抗値が下がり、また温度依存性が弱くなっている。-1.6 V では温度にほとんど依存せず低温極限でも有限の伝導度をもつ金属的な振る舞いが見られている。ただし、超伝導の兆候は観測できなかった。

Hall 効果測定により、負のゲート電圧印加とともに表面にホールが蓄積していることがわかった。Hall キャリア密度のゲート電圧依存性から求められるダイヤモンド表面のキャパシタンス(電気二重層キャパシタンスとチャンネルキャパシタンスの直列合成)は、(111)表面の場合 4.6 μF/cm²、(100)表面の場合 2.1 μF/cm²であった。(100)表面の値は他の電界液-(100)ダイヤモンド界面で報告されている値に近い。(100)表面の Hall キャリア密度の

ゲート依存性が(111)面に比べて小さいことは、(100)面のトラップ密度が大きいことを示唆する。

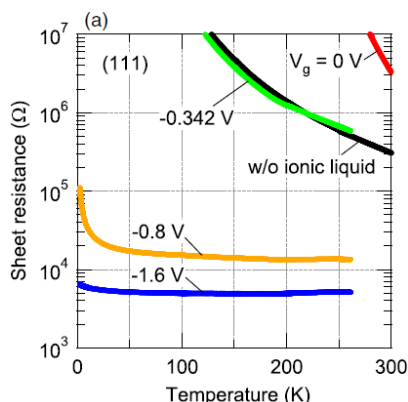


図1: 異なるゲート電圧におけるダイヤモンド(111)表面のシート抵抗の温度依存性。

$V_g = -1.6$ Vにおける(111)面のHallキャリア密度および移動度は 4×10^{13} cm⁻²と40 cm²/Vsであった。Schrödinger-Poisson方程式から、面に垂直方向にはおよそ2 nmの深さまでにキャリアが閉じ込められていると考えられる。よって、面キャリア密度を体積キャリア密度に換算すると、 2×10^{20} cm⁻³を超える。これは、ポロンドープダイヤモンドの超伝導発現の臨界キャリア密度に近い。一方、得られた5 kΩの面抵抗は、1 mΩcm以下に換算される。ポロンドープダイヤモンドで同程度の0.68 mΩcmの抵抗率を得るには、 8×10^{21} cm⁻³と高ドープが必要で、その場合移動度は0.8 cm²/Vsと非常に小さくなる。上記の電界効果によって得られた移動度は桁違いに大きく、共有結合性結晶に対する電界効果が高移動度キャリアを蓄積する有用な方法であることを示している。

以上の結果は、Journal of Physical Society of Japan **82**, 074718 (2013)で報告した。

(2) 電荷効果によってキャリアを蓄積した原子レベルで平坦なダイヤモンド表面におけるシュブニコフ・ドハース振動

ダイヤモンドをポロンドープによって金属化するには 3×10^{20} cm⁻³の高密度ドープが必要である。(そこで超伝導も発現する。)これは、Si や Ge の金属化に必要なドープ密度の2桁および3桁も大きい。よって、不純物散乱の効果が大きい。ドープしたSi や Ge では1960年代に量子振動(シュブニコフ・ドハース振動)の観測が報告されているのに対し、ダイヤモンドでは報告例がなかった。

不純物散乱を避けながらキャリアを導入する方法として、電界効果が有望である。Si MOSFET では、これも1960年代に量子振動が報告されている。しかし電界効果の場合も、ダイヤモンドの金属化に必要なキャリア密度は、Si に比べると2桁程度高く容易ではない。これまでにダイヤモンドの量子振動の観

測を狙った研究はあったが、成功していなかった。

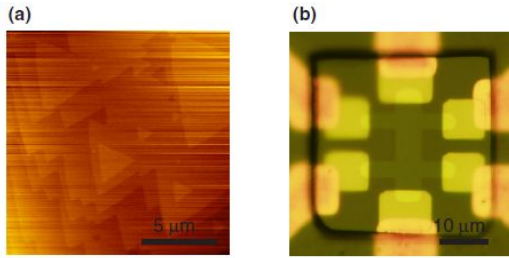


図 2: 原子レベルで平坦な水素終端ダイヤモンド(111)表面(a)とその上に作製したホールバー電極(b)。

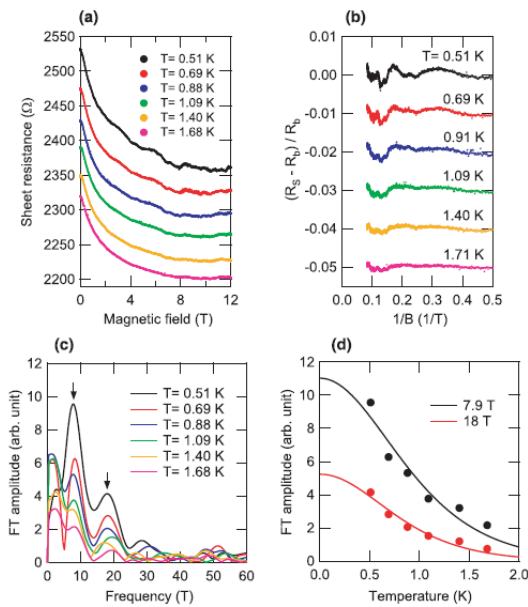


図 3: 水素終端ダイヤモンド(111)表面に蓄積したホールキャリアのシュブニコフ・ドハース振動。

今回われわれは、イオン液体を用いた電界効果によって高密度キャリアを蓄積させた表面において、ダイヤモンドの量子振動の観測に初めて成功した。このとき、研究の方法の項で述べた原子レベルで平坦な水素終端(111)ダイヤモンド表面を用いた。図 2 は原子レベルで平坦なダイヤモンド表面の AFM 像とその上に作製したホールバー構造の光学顕微鏡像である。図 3(a)に、このような試料にゲート電圧-4 V をかけて低温で測定した抵抗の磁場依存性を示す。負の磁気抵抗(磁場をかけると抵抗が下がる)とともに、振動成分が見られる。バックグラウンドを差し引き、振動成分のみを $1/B$ に対してプロットしたものが図 3(b)である。温度を下げるるとともに振幅が増大しているのがわかる。図 3(b)をフーリエ変換して得られたスペクトルを図 3(c)に示す。7.9 および 18 T にピークが見られる。これらのピークの振幅の温度依存性を示したのが図 3(d)である。この温度依存性から得られた有効質量は、それぞれ 0.68、0.77 であった。スペクトル中のピークの数や、得られ

た有効質量は試料によって異なり、有効質量は 0.17 から 0.78 の中にあった。この有効質量は、理論および実験から得られたサイクロトロン有効質量と同程度であった。ただ、バルクと表面蓄積層のキャリアの有効質量の違いを議論できるほどの精度はない。

図 4(a)に、別の試料において抵抗の磁場依存性を、磁場の方位を変えながら測定した結果を示す。 0° がダイヤモンド(111)表面に垂直、 90° が水平に磁場をかけた場合である。磁場を垂直から水平にするにしたがって、負の磁気抵抗が弱まるとともに、振動の節が高磁場にシフトしていることがわかる。同じデータを、磁場の垂直成分に対してプロットすると、節の位置がそろっている(図 4(b))。これは、2次元的なフェルミ面の存在を示している。

また、振動の磁場依存性から、キャリアの移動度が局所的には $1500 \sim 3300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ に達することがわかった。

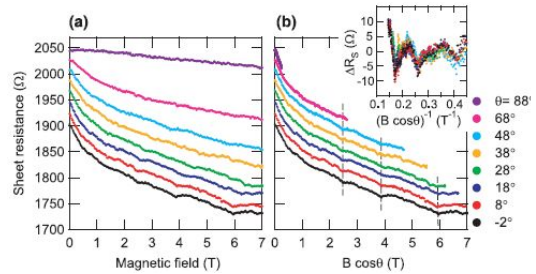


図 4: 異なる磁場方位で測定した抵抗の磁場依存性。 $\theta=0^\circ$ が表面に垂直な磁場、 $\theta=90^\circ$ が表面に平行な磁場を示す。

このようにダイヤモンドにおいてはじめて量子振動の観測に成功した。これは高移動度の金属状態を実現できたことを意味し、今後のダイヤモンドにおける量子伝導現象研究の途を開くものである。以上の結果は、Physical Review B **89**, 235304 (2014)で報告した。

(3) 水素終端ダイヤモンド(100)表面におけるスピン依存伝導

前項で示したように、水素終端(111)ダイヤモンド表面に高密度にキャリア(ホール)を蓄積した場合、低温において負の磁気抵抗が見られた。これは、 $\log(T)$ に比例する伝導度の温度依存性とともに、2次元弱局在効果によるものだと考えられる。一方、水素終端(100)表面の磁気抵抗を低温(2-10 K)において詳しく測定したところ、予期せぬことに、その符号は正であった。その大きさは、古典的な軌道効果による磁気抵抗に比べて桁違いに大きい。また、磁場の方位にあまり依存せず、磁場を電流と平行(ダイヤモンド表面に平行)にかけても大きな磁気抵抗が見られた。これらの結果は、キャリアの軌道ではなくスピンに関連した磁気抵抗であることを強く示唆する。

この磁気抵抗は温度依存性も特異であった。ダイヤモンド表面に平行に磁場をかけたときの、異なる温度における磁気抵抗を図5(a)に示す。10 K以下において大きな温度依存性を示す。この温度領域ではHall移動度はほとんど温度依存性を示さないため、この結果も古典的な磁気抵抗では説明できない。また興味深いことに、磁気抵抗比 $[\rho(B)-\rho(0)]/\rho(0)$ を(磁場)/(温度)でプロットすると、異なる温度のデータがほぼ同一曲線上に載ることがわかった。(図5(b))しかも、ゲート電圧や試料によらず同一曲線に載った。その曲線は低磁場で $(B/T)^2$ に比例する。これらの結果は、この磁気抵抗を説明する理論に大きな制約を与える。例えば、弱く乱れた系における電子相関を考慮した理論において、 $(B/T)^2$ に比例した磁気抵抗効果が予想されているが、異なるキャリア密度における $[\rho(B)-\rho(0)]/\rho(0)$ が B/T の同一の関数になるという実験結果を説明できない。

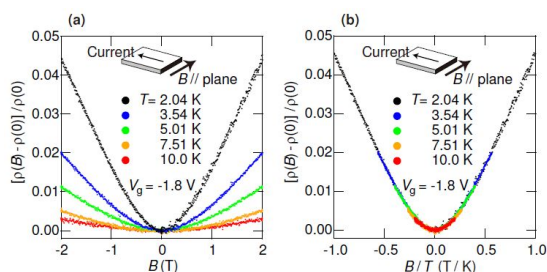


図5: 異なる温度で測定した磁気抵抗(a)。同じデータを(磁場)/(温度)に対してプロットしたもの(b)。

表面に水平に磁場をかけたときの大きな磁気抵抗はゼーマン効果が重要であることを示唆している。表面に残るダングリングボンドなどに起因して局在スピンの存在し、それがキャリア輸送に影響を与えている可能性がある。そのような考え方の例として、ホッピング輸送における正の磁気抵抗の理論が挙げられる。この理論では、強磁場においてパウリの排他律によって局在スピンサイトに電子がホップできないことによって、正の磁気抵抗が生じる。最近接ホッピングの理論では $[\rho(B)-\rho(0)]/\rho(0)$ が $(B/T)^2$ に比例することが示されている。実験で得られた抵抗の温度依存性は、ホッピング輸送から予想される熱活性化型に比べると弱い。このような考え方で磁気抵抗を説明できるかもしれない。水素終端ダイヤモンド(111)表面は再構成されないが、(100)表面はCH-CHダイマー列を持つ (2×1) 構造に再構成される。このことは(100)表面においてダングリングボンドが生じやすいことを示している。これは、この磁気抵抗が(100)面で支配的なことと矛盾しない。

以上のように、水素終端(100)ダイヤモンド表面に蓄積したキャリア(ホール)が、スピンの関連する特異な正の磁気抵抗を示すこ

とがわかった。ダイヤモンド中の窒素-空孔センターなどに付随する局在スピンの研究は盛んに行われているが、伝導キャリアのスピンの研究は非常に少ない。本研究で発見したスピン依存伝導は、学術的な重要性とともにダイヤモンドスピントロニクスの実現に向け大きな意義を持つ。

以上の結果は、日本物理学会 2015 年秋季大会などで報告し、論文投稿中である。

(4) シリコンカーバイドおよびシリコンの表面伝導の電界制御

イオン液体を使った電界効果によってシリコンカーバイドやシリコン表面へのキャリア蓄積を行った。ダイヤモンドも含め、これらの3次元共有結合結晶は、MoS₂などの層状化合物と異なり、表面で結合手が余る。この未結合手をどのように終端するかが、イオン液体を使った電界効果では非常に重要となる。というのは、不完全な終端は表面状態をもたらす、電界効果によって蓄積したキャリアのトラップとして働く可能性があるからである。ダイヤモンドの場合、水素終端表面は大気中でも安定であるが、例えば水素終端シリコン(100)表面は非常に不安定で大気中ですぐに酸化される。われわれは、比較的安定な水素終端シリコン(111)表面へのイオン液体を用いた電界効果キャリア注入を行った。但し、この場合にも、表面が酸化されないように特別に注意を払った。負のゲート電圧印加によって、ノンドーブシリコン表面のシート抵抗を kΩ台まで下げることに成功した。

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 2 件)

Quantum oscillations of the two-dimensional hole gas at atomically flat diamond surfaces
Yamaguchi Takahide, Hiroyuki Okazaki, Keita Deguchi, Shinya Uji, Hiroyuki Takeya, Yoshihiko Takano, Hidetoshi Tsuboi, and Hiroshi Kawarada
 Physical Review B 89, 235304-1 ~ 5 (2014). 査読有り

Low-Temperature Transport Properties of Holes Introduced by Ionic Liquid Gating in Hydrogen-Terminated Diamond Surfaces
Takahide Yamaguchi, Eiichiro Watanabe, Hirotaka Osato, Daiju Tsuya, Keita Deguchi, Tohru Watanabe, Hiroyuki Takeya, Yoshihiko Takano, Shinichiro Kurihara, and Hiroshi Kawarada
 J. Phys. Soc. Jpn. 82, 074718-1 ~ 6 (2013). 査読有り

〔学会発表〕(計 11 件)

Magneto-transport through surface conductive channel of hydrogenated diamond
Yamaguchi Takahide, Yosuke Sasama, Hiroyuki Takeya, Yoshihiko Takano, Taisuke Kageura, Hiroshi Kawarada
10th International Conference on New Diamond and Nano Carbon 2016
The Westin Xian, Xian, China
May 22-26, 2016.

イオン液体を用いたシリコンへの電界効果キャリア注入
笹間陽介, 山口尚秀, 田中将嗣, 鈴木皓司, 原裕, 山下愛智, 竹屋浩幸, 高野義彦
日本物理学会 第71回年次大会
東北学院大学、(宮城県仙台市泉区)、2016年3月19日-22日

Magnetotransport of electric-field -induced charge carriers in diamond
Yamaguchi Takahide, Yosuke Sasama, Hiroyuki Takeya, Yoshihiko Takano, Taisuke Kageura, Hiroshi Kawarada
MANA International Symposium 2016
Epochal Tsukuba, Tsukuba, March 9-10, 2016.

電界制御したダイヤモンド表面伝導の低温特性 II
山口尚秀, 笹間陽介, 竹屋浩幸, 高野義彦, 柴田将暢, 蔭浦泰資, 川原田洋
日本物理学会 2015年秋季大会
関西大学(大阪府吹田市), 2015年9月16日-19日

イオン液体を用いた SiC への電界効果キャリア注入
笹間陽介, 山口尚秀, 田中将嗣, 藤岡正弥, S.J. Denholm, 鈴木皓司, 原裕, 山木拓馬, 山下愛智, 竹屋浩幸, 矢口宏, 高野義彦
日本物理学会第70回年次大会
早稲田大学、早稲田キャンパス、2015年3月21日~24日

Shubnikov-de Haas Oscillations in a Field-Induced Metallic State in Diamond
Yamaguchi Takahide, Hiroyuki Okazaki, Keita Deguchi, Shinya Uji, Hiroyuki Takeya, Yoshihiko Takano, Hidetoshi Tsuboi, Hiroshi Kawarada
The 2nd International Symposium on the Functionality of Organized Nanostructures 2014 (FON'14)
National Museum of Emerging Science and Innovation, Koto-ku, Tokyo, November 26-28, 2014.

An electric-field-induced metallic state and quantum oscillations in atomically flat diamond surfaces

T. Yamaguchi, H. Okazaki, K. Deguchi, S. Uji, H. Takeya, Y. Takano, H. Tsuboi, H. Kawarada
International Conference on Diamond and Carbon Materials 2014
Mellia Castilla Madrid (Madrid, Spain) Sep. 7-11, 2014.

Two-Dimensional Quantum Oscillations in Atomically Flat Hydrogen-Terminated Diamond Surfaces
Yamaguchi Takahide, H. Okazaki, K. Deguchi, S. Uji, H. Takeya, Y. Takano, H. Tsuboi, H. Kawarada
New Diamond and Nano Carbons Conference (NDNC 2014)
Hyatt Regency Chicago (Chicago, Illinois) May 26-29, 2014.

電界注入キャリアによるダイヤモンドのシュブニコフ・ドハース振動
山口尚秀, 岡崎宏之, 出口啓太, 宇治進也, 竹屋浩幸, 高野義彦, 坪井秀俊, 川原田洋
日本物理学会 第69回年次大会
東海大学(平塚市), 2014年3月27日-30日

電界制御した水素終端ダイヤモンド表面伝導の低温特性
山口尚秀, 岡崎宏之, 出口啓太, 竹屋浩幸, 高野義彦, 坪井秀俊, 川原田洋
第27回ダイヤモンドシンポジウム
日本工業大学(埼玉), 2013年11月20日-22日

電界制御したダイヤモンド表面伝導の低温特性
山口尚秀, 出口啓太, 岡崎宏之, 竹屋浩幸, 高野義彦, 坪井秀俊, 川原田洋
日本物理学会 2013年秋季大会
徳島大学(徳島), 2013年9月25日-28日

〔その他〕
ホームページ等
http://samurai.nims.go.jp/YAMAGUCHI_Takahide-j.html
<http://www.nims.go.jp/personal/yamaguchi-takahide/index-j.html>

6. 研究組織
(1)研究代表者
山口 尚秀 (YAMAGUCHI TAKAHIDE)
国立研究開発法人物質・材料研究機構・超伝導線材ユニット・主任研究員
研究者番号: 70399385

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし