

科学研費補助金研究成果報告書

平成 24 年 6 月 22 日現在

機関番号：82108
 研究種目：特定領域研究
 研究期間：2007～2011
 課題番号：19051014
 研究課題名（和文） 炭素系化合物の物質探索
 研究課題名（英文） Exploration of Carbon-based Materials
 研究代表者
 高野 義彦 (TAKANO YOSHIHIKO)
 独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導線材ユニット・グループリーダー
 研究者番号：10354341

研究成果の概要（和文）：ダイヤモンドやカーボンナノチューブ、フラーレンなどの炭素化合物や配列ナノ空間を有する鉄カルコゲナイド化合物について、試料合成およびキャリア制御等を実施し、絶縁体から金属へ、金属から超伝導へと劇的な物性の変化を実現した。

研究成果の概要（英文）：Sample preparation and carrier control of diamond, carbon nanotube, fullerene nanowhisker and iron chalcogenide were performed. And drastic change of transport properties, metal insulator transition and superconductivity, were realized.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	8,700,000	0	8,700,000
2008 年度	17,400,000	0	17,400,000
2009 年度	8,700,000	0	8,700,000
2010 年度	4,300,000	0	4,300,000
2011 年度	2,600,000	0	2,600,000
総計	41,700,000	0	41,700,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：ダイヤモンド、カーボンナノチューブ、ホウ素、超伝導、鉄カルコゲナイド

1. 研究開始当初の背景

2004年に、高圧合成法により高濃度にホウ素をドーブしたダイヤモンド試料が合成され、 $T_c=2.3K$ の超伝導が出現することが発見された。その後、本申請者の高野らはCVD法により、超伝導を示すダイヤモンド薄膜の合成に成功した。この手法により、大型の単相薄膜を始めホモエピタキシャル単結晶薄膜の成長にも成功し、 T_c も液体ヘリウム温度を十分に上回り、様々な測定が可能となりダイヤモンド超伝導体の基礎物性が明らかに

なってきた。角度分解光電子分光によると、ホウ素ドーブダイヤモンドのバンドは、純粋なダイヤモンドのそれと基本的に同じで、ホウ素濃度の増加とともにダイヤモンドバンドが高エネルギー側へシフトしていきフェルミ面と交差し金属化する。ダイヤモンド金属伝導の起源は、ダイヤモンドバンドによると考えられる。一方、X線吸収スペクトルによると、価電子帯直上にホウ素の不純物順位が見られ、ホウ素濃度の増加に伴って顕著になっている。この不純物順位が超伝導発現および金属-非金属転移にどのように関わって

いるかなど、解明しなければならない課題が多い。ダイヤモンドの超伝導は、半導体に起こる超伝導の典型例として、最近大いに注目されてきている。新たな半導体系超伝導の探求が世界的規模で進められているが、最近めざましい発展を遂げる炭素系化合物や現在主力のシリコンはその有力候補として挙げられる。この世界情勢の先手を打って、ユビキタス元素に基づく新物質科学の構築を進めることは大変意義深い。

2. 研究の目的

ダイヤモンドにホウ素を多量にドーピングすることによって、金属・絶縁体転移を起こし超伝導が出現することが最近発見された。ダイヤモンドの強いフォノンと電子格子相互作用により超伝導が発現することが、光電子分光やX線非弾性散乱などの実験から明らかになってきた。このようなドラスティックな伝導現象は、ダイヤモンドのみならず、炭素化合物全般に適用可能であると予想される。我々は、ホウ素ドーピングダイヤモンドに加え、新たに、高濃度ホウ素ドーピング・カーボンナノチューブ、ホウ素ドーピング・グラファイト、カリウムドーピング・フルレンナノチューブを合成し、制御された環境で金属・絶縁体転移を励起する。さらに、配列空間を有する鉄カルコゲナイド化合物の合成を試みる。層間の空間に存在する鉄に磁性と超伝導のカギが隠されており、圧力効果やアニール効果により大きな物性変化が期待される。特に、配列ナノ空間を有するこれらの物質は、それに起因する独特のフォノンや電荷を有しており、このことより、絶縁体から金属へ、金属から超伝導へと劇的な物性の変化が期待される。これらの物性の制御と、詳細な電子状態の評価を行う。

3. 研究の方法

試料合成は、ダイヤモンド試料およびカーボンナノチューブ試料は化学気相成長法(CVD法)にて合成した。特に、ダイヤモンドはマイクロ波CVDを用い、ホウ素源にはトリメチルボロンを用いた。カーボンナノチューブ合成は、マイクロ波CVD法に加え、ホウ酸を用いた熱CVD法や熱フィラメント法も用いた。フルレンナノウィスカーは、液液界面法で作製し、カリウムのドーピングは、石英管に真空風封入し反応させた。鉄カルコゲナイド化合物の合成には、原料を石英管に真空封入し電気炉で加温し反応させた。得られた試料は、X線解析装置による結晶構想解析、EDX、ICPによる組成分析、SEMによる組織観察、SQUIDを用いた磁化測定、PPMSを用いた電気抵抗測定などを行った。

4. 研究成果

炭素化合物の代表ともいえるダイヤモンドについては、マイクロ波プラズマCVD法を用いてホウ素ドーピングダイヤモンド薄膜を作製した。成膜技術の向上により、ホウ素濃度を精密にコントロールすることに成功し、低温で超伝導が出現するダイヤモンドと絶縁体に転移するダイヤモンドを作り分けることが可能となった。そこで、超伝導ダイヤモンド薄膜、絶縁体ダイヤモンド超薄膜、再び超伝導ダイヤモンド薄膜を積層させ、超伝導・絶縁体・超伝導接合を作製した。これは、オールダイヤモンド積層型ジョセフソン接合の世界で初めての成功である。シャピロステップの観測にも成功し、ジョセフソン接合であることを検証した。

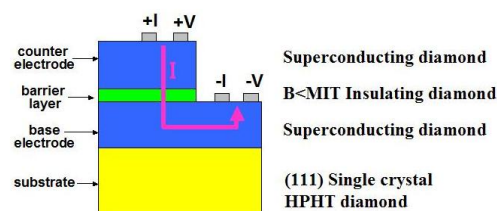


図1. 全てダイヤモンドのみで作られた積層型ジョセフソン接合

ホウ素ドーピングカーボンナノチューブを熱CVD法により合成した。ホウ素源としてホウ酸を用いて、安全に簡便にホウ素ドーピングカーボンナノチューブを合成することが可能となった。得られたホウ素ドーピングカーボンナノチューブ1本に電子線リソグラフィにより4端子を微細加工し電気抵抗の温度依存性を評価したところ、仕込みのホウ素濃度が高くなるほど電気抵抗率が減少する傾向が見られ、ホウ素のドーピングによるキャリア導入が確認された。しかし、金属的伝導を示すには至らなかったため、カーボンナノチューブにピストンシリンダーセルを用いて圧力を加え、さらなる電気抵抗率の低減と金属化を試みた。その結果、圧力の増加とともに一次元的伝導から三次元的伝導に変化しつつ電気抵抗率が急激に低下し、金属に非常に近い状態が得られることが分かった。

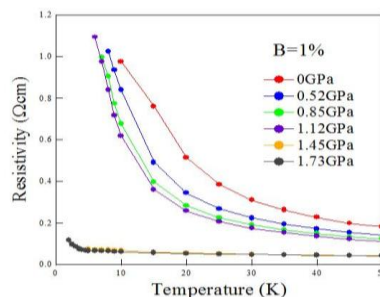


図2. 1%ボロンドープカーボンナノチューブの圧力下電気抵抗率

配列ナノ空間を有する鉄カルコゲナイド化合物を合成し、アニール効果や液体中の反応を評価した。図3に、合成直後の試料と酸素アニール後の試料における磁性と超伝導の相図を示す。その結果、層間の空間に存在する過剰な鉄が超伝導発現の鍵を握っており、鉄を取り除く、もしくは鉄の近くの空間に陰イオンを導入すると超伝導が発現することが分かってきた。鉄カルコゲナイドは、超伝導発現の鍵を理解する上で大変重要な材料であることが分かった。

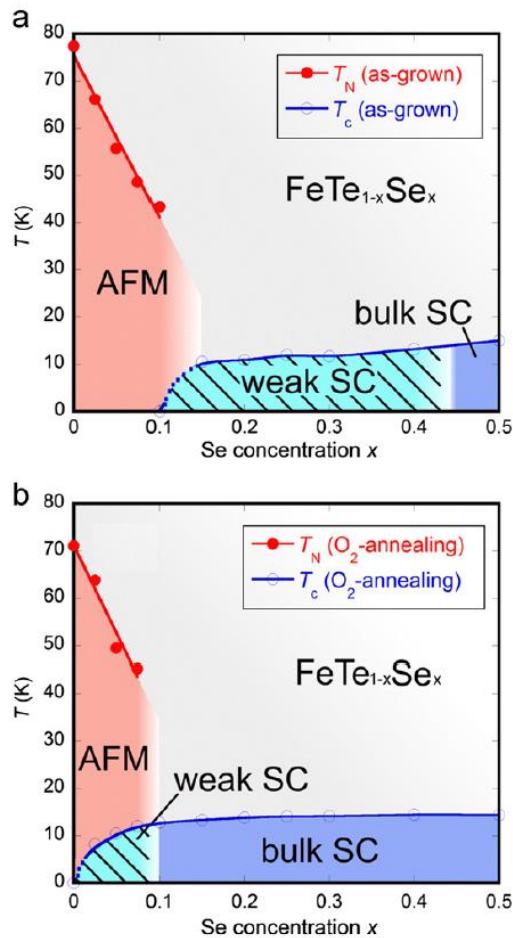


図3. 鉄カルコゲナイド超伝導体の酸素アニール前後の磁性超伝導相図。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計55件)

①川崎保名, 水口佳一, 出口啓太, 渡邊徹, 尾崎壽紀, 津田俊輔, 山口尚秀, 高野義彦, Pressure study on oxygen-annealed FeTe_{0.8}Se_{0.2}, PHYSICA C-SUPERCONDUCTIVITY AND ITS APPLICATIONS, Vol. 471, Number 21-22, pp. 611-613, 2011, 査読有

②水口佳一, Hiroki Izawa, 尾崎壽紀, 高野義彦, Miura Osuke, Transport properties of single- and three-core FeSe wires fabricated by a novel chemical-transformation PIT process, SUPERCONDUCTOR SCIENCE & TECHNOLOGY, Vol. 24, Number 12, pp. 125003-1-125003-5, 2011, 査読有

③水口佳一, 出口啓太, 尾崎壽紀, 長尾雅則, 津田俊輔, 山口尚秀, 高野義彦, Single Crystal Growth and Structural Characterization of FeTe(1-x)S(x), IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, Vol. 21, Number 3, pp. 2866-2869, 2011, 査読有

④水口佳一, 渡邊徹, 岡崎宏之, 山口尚秀, 高野義彦, 三浦大介, Preparation of Thin Crystals of FeTe(1-x)S(x) Using the Scotch-Tape Method, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 50, Number 8, pp. 088003-1-088003-2, 2011, 査読有

⑤尾崎壽紀, 出口啓太, 水口佳一, 川崎保名, 田中孝尚, 山口尚秀, 津田俊輔, 熊倉浩明, 高野義彦, Transport properties and microstructure of mono- and seven-core wires of FeSe(1-x)Te(x) superconductor produced by the Fe-diffusion powder-in-tube method, SUPERCONDUCTOR SCIENCE & TECHNOLOGY, Vol. 24, Number 10, pp. 105002-1-105002-5, 2011, 査読有

⑥川崎保名, 水口佳一, 出口啓太, 渡邊徹, 尾崎壽紀, 津田俊輔, 山口尚秀, 竹屋浩幸, 高野義彦, Pressure Study of the New Iron-Based Superconductor K₀:8Fe₂Se₂, JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN, Vol. 8, Number 7, pp. 075002-1-075002-2, 2011, 査読有

⑦水口佳一, 高野義彦, Superconductivity in Pb₀-type Fe chalcogenides, ZEITSCHRIFT FÜR KRISTALLOGRAPHIE, Vol. 226, Number 4, pp. 417-434, 2011, 査読有

⑧出口啓太, 水口佳一, 川崎保名, 尾崎壽紀, 津田俊輔, 山口尚秀, 高野義彦, Alcoholic beverages induce superconductivity in FeTe_{1-x}S_x, SUPERCONDUCTOR SCIENCE & TECHNOLOGY, Vol. 24, Number 5, pp. 055008-1-055008-4, 2011, 査読有

⑨水口佳一, 竹屋浩幸, 川崎保名, 尾崎壽紀, 津田俊輔, 山口尚秀, 高野義彦, Transport properties of the new Fe-based superconductor K_xFe₂Se₂ (T_c=33 K),

APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol. 98, Number 4, pp. 042511-1-042511-3, 2011, 査読有

⑩水口佳一, 出口啓太, 川崎保名, 尾崎壽紀, 長尾雅則, 津田俊輔, 山口尚秀, 高野義彦, Superconductivity in oxygen-annealed FeTe_{1-x}S_x single crystal, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 109, Number 1, pp. 013914-1-013914-4(2011), 査読有

⑪高野義彦, 赤ワインで新超伝導体を作る, FINE CERAMICS REPORT, 29 巻, 3 号, pp. 96-99, 2011, 査読有

⑫高野義彦, 超伝導体を生み出す新手法に「赤ワイン」, MATERIAL STAGE, 11 巻, 3 号, pp. 8-10, 2011, 査読有

⑬Mizuguchi Y, Takano Y, Review of Fe Chalcogenides as the Simplest Fe-Based Superconductor, JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN Volume: 79 Issue: 10 Page:074706-1-4 OCT 2010, 査読有

⑭Mizuguchi Y, Hara Y, Deguchi K, Tsuda S, Yamaguchi T, Takeda K, Kotegawa H, Tou H, Takano Y, Anion height dependence of T_c for the Fe-based superconductor, SUPERCONDUCTOR SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 23 Issue: 5 Page:054013-1-5 MAY 2010, 査読有

⑮Mizuguchi Y, Deguchi K, Tsuda S, Yamaguchi T, Takano Y, Moisture-induced superconductivity in FeTe_{0.8}SO₂, PHYSICAL REVIEW B Volume: 81 Issue: 21 Page:214510-1-5 JUN 9 2010, 査読有

⑯Mizuguchi Y, Deguchi K, Tsuda S, Yamaguchi T, Takano Y, Evolution of superconductivity by oxygen annealing in FeTe_{0.8}SO₂, EPL Volume: 90 Issue: 5 Page:57002p1-6 JUN 2010, 査読有

⑰Kawano A, Ishiwata H, Iriyama S, Okada R, Yamaguchi T, Takano Y, Kwarada H, Superconductor-to-insulator transition in boron-doped diamond films grown using chemical vapor deposition, PHYSICAL REVIEW B Volume: 82 Issue: 8 Page:085318-1-5 AUG 16 2010, 査読有

⑱高野 義彦, ダイヤモンド研究者のための超伝導講座(2), NEW DIAMOND 第99号 Vol. 26 Number 4 Page 41~ 44 2010年10月25日刊行, 査読有

⑲高野 義彦, ダイヤモンド研究者のための超伝導講座(1), NEW DIAMOND 第98号 Vol. 26 Number 3 Page 50~ 53 2010年7月25日刊行, 査読有

⑳Yoshihiko Takano, Superconductivity in CVD diamond films, JOURNAL OF PHYSICS-CONDENSED MATTER, Vol. 21, No. 25, pp. 253201-1~253201-11, Jun 2009, 査読有

㉑Satoshi Ishii, Masanori Nagao, Tohru Watanabe, Shunsuke Tsuda, Takahide Yamaguchi, Yoshihiko Takano, Electrical properties of boron-doped MWNTs synthesized by hot-filament chemical vapor deposition, PHYSICA C-SUPERCONDUCTIVITY AND ITS APPLICATIONS, Vol. 469, No. 15-20, pp. 1002~1004, Oct 2009, 査読有

㉒Hiroyuki Okazaki, Rikiya Yoshida, Keisuke Iwai, Kengo Noami, Takayuki Muro, Tetsuya Nakamura, Takanori Wakita, Yuji Muraoka, Masaaki Hirai, Fumiaki Tomioka, Yoshihiko Takano, Asami Takenaka, Masahiro Toyoda, Tamio Oguchi, Takayoshi Yokoya, The electronic structure of Ca-intercalated superconducting graphite CaC₆, PHYSICA C-SUPERCONDUCTIVITY AND ITS APPLICATIONS, Vol. 469, No. 15-20, pp. 1041~1044, Oct 2009, 査読有

㉓Miwa Murakami, Tadashi Shimizu, Masataka Tansho, Yoshihiko Takano, Satoshi Ishii, Evgeni A. Ekimov, Vladimir Sidorov, Kiyonori Takegoshi, 10B/11B 1D/2D solid-state high-resolution NMR studies on boron-doped diamond, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, Vol. 18, No. 10, pp. 1267~1273, Oct 2009, 査読有

㉔Hiroyuki Okazaki, Rikiya Yoshida, Keisuke Iwai, Kengo Noami, Takayuki Muro, Tetsuya Nakamura, Takanori Wakita, Yuji Muraoka, Masaaki Hirai, Fumiaki Tomioka, Yoshihiko Takano, Asami Takenaka, Masahiro Toyoda, Tamio Oguchi, Takayoshi Yokoya, Spectroscopic evidence of the existence of substantial Ca 3d derived states at the Fermi level in the Ca-intercalated graphite superconductor CaC₆, PHYSICAL REVIEW B, Vol. 80, No. 3, pp. 035420-1~035420-5, Jul 2009, 査読有

㉕Satoru Masaki, Hisashi Kotegawa, Yuda Hara, Hideki Tou, Keizo Maruta, Yoshikazu Mizuguchi, Yoshihiko Takano, Precise

Pressure Dependence of the Superconducting Transition Temperature of FeSe: Resistivity and ^{77}Se -NMR Study, JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN, Vol. 78, No. 6, pp. 063704-1~063704-4, Jun 2009, 査読有

②⑥Hiroyuki Okazaki, Rikiya Yoshida, Takayuki Muro, Takanori Wakita, Masaaki Hirai, Yuji Muraoka, Yoshihiko Takano, Shingo Iriyama, Hiroshi Kawarada, Tamio Oguchi, Takayoshi Yokoya, Soft X-ray core-level photoemission study of boron sites in heavily boron-doped diamond films Journal of the Physical Society of Japan Vol. 78, No. 3, pp. 347031~347034, Mar2009, 査読有

②⑦Rikiya Yoshida, Takanori Wakita, Hiroyuki Okazaki, Yohikazu Mizuguchi, Shunsuke Tsuda, Yoshihiko Takano, Hiroyuki Takeya, Kazuto Hirata, Takayuki Muro, Mario Okawa, Kyoko Ishizaka, Shin Shik, Hisatomo Harima, Masaaki Hirai, Yuji Muraoka, Takayoshi Yokoya, Electronic structure of superconducting FeSe studied by high-resolution photoemission spectroscopy, Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 78, No. 3, pp. 347081~347084, Mar2009, 査読有

②⑧ Yoshikazu Mizuguchi, Fumiaki Tomioka, Shunsuke Tsuda, Takahide Yamaguchi, Yoshihiko Takano, Superconductivity in S-substituted FeTe, Applied Physics Letters, Vol. 94, No. 1, pp. 12503, Jan2009, 査読有

②⑨ 高野義彦, 新しい鉄系超伝導物質の構造と物性, Crystal structure and physical properties of newly discovered iron-based superconductors, OYO BUTURI, 79 巻 1 号, pp. 20~24, 2010/1, 査読有

③⑩ Hiroyuki Okazaki, Takayoshi Yokoya, Jin Nakamura, Nobuyoshi Yamada, Tetsuya Nakamura, Takayuki Muro, Yusuke Tamenori, Tomohiro Matsushita, Yasutake Takata, Takashi Tokushima, Shik Shin, Yoshihiko Takano, Masanori Nagao, Tomohiro Takenouchi, Hiroshi Kawarada, and Tamio Oguchi, Near EF electronic structure of heavily boron-doped superconducting diamond, J. Phys. Chem. Solids 69, pp. 2978 - 2981 (2008). 査読有

③⑪Hiroyuki Okazaki, Rikiya Yoshida,

Takayuki Muro, Takanori Wakita, Masaaki Hirai, Yuji Muraoka, Yoshihiko Takano, Shingo Iriyama, Hiroshi Kawarada, Tamio Oguchi, and Takayoshi Yokoya, Soft X-Ray Core-Level Photoemission Study of Boron Sites in Heavily Boron-Doped Diamond Films, J. Phys. Soc. Jpn. 78, pp. 034703 - 1 - 4 (2009). , 査読有

③⑫Serena Margadonna, Yasuhiro Takabayashi, Martin T. McDonald, Karolina Kasperkiewicz, Yoshikazu Mizuguchi, Yoshihiko Takano, Andrew N. Fitch, Emmanuelle Suard, Kosmas Prassides, Crystal structure of the new FeSe x superconductor, CHEMICAL COMMUNICATIONS, 43 巻 43 号, P. 5607~5609, 2008/9/1, 査読有

③⑬Masahiro Toyoda, Asami Takenaka, Yoshihiko Takano, Noboru Akuzawa, Akira Yoshida, Yutaka Kaburagi, Synthesis conditions of graphite intercalation compound with Ca in molten Li-Ca alloy and its superconducting characteristics, TANSO, 233 号, P. 148~150, 2008/5/1, 査読有

③⑭Satoshi Ishii, Tohru Watanabe, Shinya Ueda, Shunsuke Tsuda, Takahide Yamaguchi, Takano Yoshihiko, Resistivity reduction of boron-doped multiwalled carbon nanotubes synthesized from a methanol solution containing boric acid, APPLIED PHYSICS LETTERS, 92 巻 20 号, P. 202116-1~202116-3, 2008/5/1, 査読有

③⑮Jin Nakamura, Nobuyoshi Yamada, Kazuhiko Kuroki, Tamio Oguchi, Ko Okada, Yoshihiko Takano, Masanori Nagao, Isao Sakaguchi, Tomohiro Takenouchi, Kawarada Hiroshi, Rupert C. C. PERERA, David L. EDERER, Holes in the Valence Band of Superconducting Boron-Doped Diamond Film Studied by Soft X-ray Absorption and Emission Spectroscopy, JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN, 77 巻 5 号, P. 054711-1~054711-6, 2008/5/1, 査読有

③⑯Kyoko Ishizaka, Ritsuko Eguchi, Shunsuke Tsuda, A. Chainani, Takayoshi Yokoya, Takayuki Kiss, Takahiro Shimojima, Tadashi Togashi, Shuntaro Watanabe, C.-T. Chen, Yoshihiko Takano, Masanori Nagao, Isao Sakaguchi, Tomohiro Takenouchi, Hiroshi Kawarada, ShinShik, Temperature-Dependent Localized Excitations of Doped Carriers in Superconducting Diamond,

PHYSICAL REVIEW LETTERS, 100 卷 16 号 , P. 166402-1~166402-4, 2008/4/1, 査読有

③⑦Yoshikazu Mizuguchi, Fumiaki Tomioka, Shunsuke Tsuda, Takahide Yamaguchi, Yoshihiko Takano, Superconductivity in S-substituted FeTe, APPLIED PHYSICS LETTERS, 94 卷 1 号, P. 012503-1~012503-3, 2009/01/01, 査読有

③⑧Yoshikazu Mizuguchi, Fumiaki Tomioka, Shunsuke Tsuda, Takahide Yamaguchi, Yoshihiko Takano, Superconductivity at 27 K in tetragonal FeSe under high pressure APPLIED PHYSICS LETTERS, 93 卷 15 号 P. 152505-1~152505-3, 2008/10/1, 査読有

③⑨Miwa MURAKAMI, Tadashi SHIMIZU, Masataka TANSO, Yoshihiko TAKANO, Satoshi ISHII, Evgueni EKIMOV, Vladimir SIDOROV, Hiroshi KAWARADA, and Kiyonori TAKEGOSHI, 11B Nuclear Magnetic Resonance Study on Existence of Boron-Hydrogen Complex in Boron-Doped Diamond, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 46, No. 46, 2007, pp. L1138-L1140, 査読有

④⑩Nishizaki T, Takano Y, Nagao M, Takenouchi T, Kawarada H, Kobayashi N, Energy gap and surface structure of superconducting diamond films probed by scanning tunneling microscopy, PHYSICA C-SUPERCONDUCTIVITY AND ITS APPLICATIONS 460: 210-211 Part 1, SEP 1 2007, 査読有

[学会発表] (計 151 件)

①高野義彦, ホウ素添加したダイヤモンドとカーボンナノチューブの合成と物性, 応用電子物性分科会研究例会. デバイス応用に向けたナノカーボン成長, 千代田区, 2011 年 12 月 22 日

②竹屋浩幸, 水口佳一, 尾崎壽紀, 高野義彦, Single Crystal Growth and Polycrystalline Fabrication of $K0.8Fe1.6Se2$ Superconductors, New Science Created by Materials with Nano Spaces, November 24-26, 2011, 仙台, 日本

③渡邊徹, 山口尚秀, 高野義彦, Fabrication of micro-electrodes on carbon nanotubes using a shadow mask method, 第 41 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, 八王子市, 2011 年 9 月 5-7 日

[図書] (計 1 件)

ダイヤモンドエレクトロニクスの最前線, エレクトロニクスシリーズ, シーエムシー出版 高野義彦 他

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 超電導フラーレン材料及びその製造方法

発明者: 竹屋浩幸/山口尚秀/高野義彦/加藤良栄/若原孝次/宮澤薫一

権利者: 独立行政法人物質・材料研究機構

種類: 特許

番号: 特願 2011-279825

出願年月日: 平成 23 年 12 月 21 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高野 義彦 (TAKANO YOSHIHIKO)

独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導線材ユニット・グループリーダー

研究者番号: 10354341

(2) 研究分担者

長尾 雅則 (NAGAO MASANORI)

山梨大学・クリスタル科学研究センター・助教

研究者番号: 10512478

川江 健 (KAWAE TAKESHI)

金沢大学・電子情報学系・講師

研究者番号: 30401897

水口 佳一 (MIZUGUCHI YOSHIKAZU)

首都大学東京・理工学研究科・助教

研究者番号: 50609865

山口 尚秀 (YAMAGUCHI TAKAHIDE)

物質・材料研究機構・主任研究員

研究者番号: 70399385

津田 俊輔 (TSUDA SYUNNSUKE)

物質・材料研究機構・研究員

研究者番号: 80422442

(3) 連携研究者

なし