

平成21年 6月26日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19340103

研究課題名（和文） ダイヤモンド超伝導体におけるFET素子の開発

研究課題名（英文） Study on Diamond Superconductor and FET Device

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・超伝導材料センター・グループリーダー

研究者番号 10354341

研究成果の概要:本研究は、ダイヤモンド超伝導体の電子状態や超伝導発現機構の理解を深め、半導体におこる超伝導という新規な特徴を生かした新しい基礎デバイスの開発を試みるものである。光電子分光やNMR測定を行い、ドーピングしたホウ素に複数のサイトがあることが理解され、ホウ素が単独に炭素サイトを置換した時のみキャリアがドーピングされ、ペアーなどを形成した場合キャリアに貢献しないことを明らかにした。デバイスの試作として、二枚の超伝導ダイヤモンド超薄膜の間に絶縁体ダイヤモンド層を積層させ、ダイヤモンド超伝導体で初の積層型ジョセフソン接合の作製に成功した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	11,400,000	3,420,000	14,820,000
2008年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

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、超伝導、半導体、絶縁体、CVD、薄膜、ジョセフソン接合

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドは、5.5eVの大きなバンドギャップを持つ透明な絶縁体である。そのため、ワイドギャップ半導体などとも呼ばれている。ダイヤモンドはメタンなどの炭素系ガスから気相成長できるようになり、電子デバイスへの応用研究が飛躍的に進んだ。ダイヤモンドにホウ素を少量ドーピングすると、p型の半導体となり、リンや窒素、イオウをドーピングすると、n型の半導体になることが知られている。これら、p型n型ダイヤモンドの積層デバイスであるpn接合は、発光素子やセンサーとして既に試作されている。しかし、高濃度にホウ素をドーピングしたダイヤモンドの研

究は非常に少なく、とくに低温特性に至っては、これまで殆ど解明されていなかった。2004年春、ロシアのEkimovらのグループが、高圧合成した高濃度ホウ素ドーピングダイヤモンドが超伝導を示すことを見出した。その後の研究で、ダイヤモンドはホウ素を約 $3 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ ドーピングすると、絶縁体-金属転移を起し、さらにキャリアを導入すると、低温で超伝導が出現することが分かってきた。

超伝導は、そもそも金属に起こる現象である。先に述べてきたように、ダイヤモンドはバンド絶縁体であり典型的な共有結合物質である。このような物質に超伝導が出現した例はこれまでない。その点で、ダイヤモンド

の超伝導は、半導体に起こる超伝導として極めて新規な現象であり、多くの研究者が注目する分野といえよう。

2. 研究の目的

ダイヤモンドの超伝導は、半導体に起こる珍しい超伝導体である。本研究テーマでは、このダイヤモンド超伝導体の電子状態や超伝導発現機構の理解を深めつつ、新規基礎デバイスの開発を進めていきたいと考えている。そのためには、バンドギャップおよびインギャップ状態の理解が不可欠となる。高濃度ボロンドープダイヤモンドの電子状態は、ノンドープダイヤモンドとは異なり、不純物バンドの成長とその価電子帯とのマージ、ホウ素-ホウ素ペアの形成に伴う、インギャップ状態の形成など、複雑な変化が予想される。これらの電子状態を正確に理解することが、デバイスを作製評価する上で不可欠である。特に、価電子帯以上の電子状態の詳細な情報は重要である。そこで、エックス線吸収発光スペクトルや、光電子分光、および逆光電子分光、低温NMRやマジックアングルスピンング可能な高分解能高磁場NMRなどを用いて、電子状態を精密に理解するための物性測定を行う。さらに、デバイス作製に必要な超薄膜ダイヤモンドの成長技術を開発する。そして、超伝導ダイヤモンド超薄膜と絶縁体ダイヤモンド超薄膜を積層したジョセフソン接合や電界効果素子など新規基礎デバイスを開発し、光や電磁波、磁場中におけるデバイスの特製評価を行う。

3. 研究の方法

試料の電子状態について、詳細な理解が必要である。高濃度ボロンドープダイヤモンドの電子状態は、ノンドープダイヤモンドとは異なり、不純物バンドの成長、バレンスバンドとのマージなど、複雑な変化が予想される。これらの電子状態を正確に理解することが、デバイスを作製評価する上で不可欠である。そこで、エックス線吸収発光スペクトルや、光電子分光、および逆光電子分光など、バンド構造を正確に理解するための物性測定を先行して行う。エックス線吸収発光スペクトルにより、占有状態および非占有状態における電子状態の全体像を得る。特に、価電子帯と伝導体の間にある、不純物準位やそれらのボロン濃度依存性を評価して、ボロンドープダイヤモンドにおける金属-絶縁体転移や超伝導転移との関係を解明する。

軟エックス線を用いた角度分解光電子分光により、価電子帯のバンド分散を観測する。これまでに、ホウ素濃度を3点変化させた試料について、ダイヤモンドカーボンバンドの振る舞いの大枠を知るに至った。しかし、金属-絶縁体転移近傍におけるダイヤモンドバ

ンドと不純物準位の関係を明らかにする必要がある。この際、光電子分光は占有状態を、逆光電子分光は非占有状態を観測することができるため、光電子分光と逆光電子分光を併用して解析を進める予定である。これらの分光測定は、ダイヤモンド超伝導の発現メカニズムを理解する上で、非常に有意義な知見をもたらすものと思われる。

ボロンドープダイヤモンドに、ジョセフソン接合やFETなどの試験素子を作製するためには、十分に薄いダイヤモンド超伝導薄膜の作製技術の開発と、その上に十分に薄い絶縁膜である純粋なダイヤモンド薄膜を作製する必要がある。超薄膜を成膜するためには、プラズマを立たせる時点で、ガス雰囲気はもちろん基板温度など、すべての条件を整える必要があり大変難しい。マイクロ波プラズマCVD装置を用いて、成膜条件の構築と超薄膜の合成を主体に行う。これは、ボロンドープチャンバー及びノンドープチャンバー両方で条件出しを行う。さらに、成膜条件が得られた後、ボロンドープダイヤモンド膜上に絶縁膜である純粋なダイヤモンド薄膜の成長を試みる。この際、純粋なダイヤモンド膜にボロンがとけ込まないように工夫する必要がある。

得られたサンプルや素子のトランスポートの評価は、PPMS装置を用いて室温から低温2Kまでの温度範囲で評価する。素子には磁場の印加や電磁波や光の照射を行い、特性の詳細な変化を観測する。特に、ジョセフソン接合の評価においては、電磁波照射時に交流ジョセフソン効果によるシャビロステップの観測が期待される。

4. 研究成果

ダイヤモンド超伝導体の電子状態の観測には、主に角度分解光電子分光とX線吸収スペクトルを用いた。純粋なダイヤモンドは、約5.5eVの大きなバンドギャップを持った絶縁体である。ホウ素をドープするとバンドギャップ中にホウ素の不純物準位を0.37eVに形成する。この不純物準位はホウ素の濃度が増加するに従い顕著になる。図1. にXASスペクトルを示す。

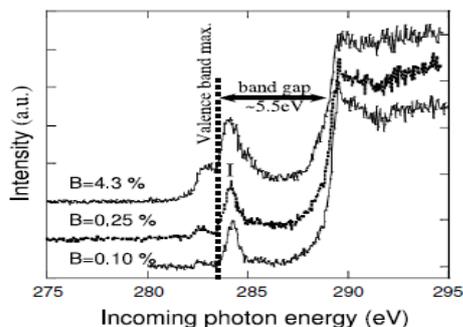


図1. ホウ素ドープダイヤモンドのXASスペクトル

得られたスペクトルによると、ダイヤモンド固有の5.5eVのバンドギャップが明瞭に観測されており、価電子帯から約0.37eVの位置に、ピークIが現れており、ホウ素濃度の増加に伴いピークも顕著になっている。B=4.3%の試料では、ピークはバレンスバンドにつながるような形状をしており、おそらく価電子帯と不純物順位はマージしているものと思われる。

さらに、価電子帯の詳しい電子状態を、角度分解光電子分光により観測したものを図2に示す。上段には各試料の電気抵抗の温度依存性も併せて示す。測定はSPring8で行い、用いた光のエネルギーは約800eVの軟X線領域である。

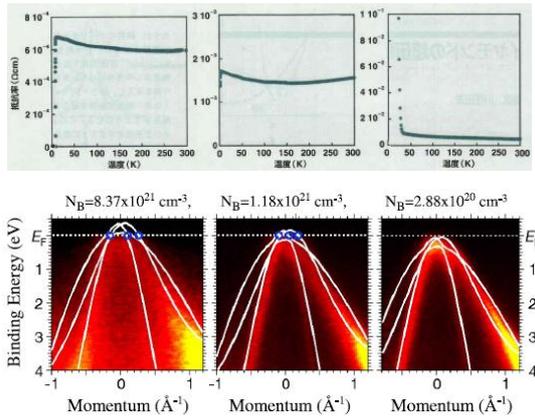


図2. ホウ素ドーピングダイヤモンドの角度分解光電子分光

測定したサンプルは、左からホウ素濃度= 8.37×10^{21} , 1.18×10^{21} , $2.88 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。最も、ホウ素濃度の低い試料は、電気抵抗の温度変化が示すように、低温で抵抗が急激に上昇し、金属に至っていない。バンド構造を見てみると、ダイヤモンドの価電子帯のトップがフェルミレベルにぎりぎり達していない。これらのことから、この試料は金属絶縁体転移にぎりぎり達していないものと思われる。これまでに得られた様々な研究データと併せて考えると、ダイヤモンドの金属絶縁体転移は、 $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ にあるものと思われる。さて、この値は、後に述べるダイヤモンド基礎デバイスを試作する上で、絶縁体ダイヤモンドと金属ダイヤモンドを分ける重要なパラメーターなのである。

ダイヤモンドを様々な形で利用していく上で、超伝導転移温度は当然高い方が望ましい。これまでに、基板方位や膜厚など様々なパラメーターに超伝導転移温度が依存してしまうことが分かってきた。デバイスを試作するためには、できるだけ高い超伝導転移温度をできるだけ薄い薄膜で達成する技術を獲得する必要がある。そのためには、超伝導転移温度が、(111)薄膜や(100)薄膜など基板方位により変化する理由を理解する必要がある。そこで、超低温 NMR および、1 GHz 超

強磁場機器分析 NMR を用いて、ドーピングしたホウ素の局所的環境を分析した。

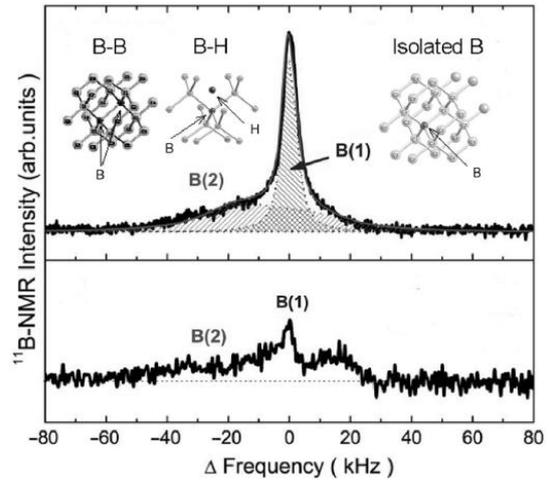


図3. (111)薄膜と(100)薄膜のNMRスペクトル

それらの実験の結果、次のようなことが分かった。NMR から見て、ドーピングしたホウ素は、大きく分けて2種類に大別できる。(細かく見ると4-5種類あるが、ここでは詳細は割愛する)。2種類のうち一つが、ダイヤモンド格子の炭素を単独で置換したホウ素であると考えられる。NMR で観測すると対照的なサイトであり、ホウ素が一つドーピングされると、ホールキャリアが一つ導入される。もう一つのサイトは、ホウ素とホウ素、または、ホウ素と水素がペアを組んだもの、または、いくつかのホウ素がクラスターを組んだ状態である。プラズマ CVD で合成すると、合成時に水素がドーピングされることは避けられない、しかし、ホウ素と水素のペアの形成は、物性を支配するほど顕著であるか、機器分析 NMR のプロトンデカップリングにより検討した結果、主なペアは、ホウ素とホウ素によるものと分かった。ホウ素とホウ素のペアは、バンド計算により、ダイヤモンドのバレンスバンドにキャリアを導入しないことが明らかになっている。そして、(111)薄膜と(100)薄膜では比較すると、(100)薄膜でホウ素ペアが多く実効的なキャリアが少ないことが分かった。より高い超伝導転移温度を実現するには、ホウ素ペアができていく(111)面を用いることが有利である。しかし、(111)面であっても、ホウ素ペアが半分以上もあり、これの形成を抑える手法を見出せば、超伝導転移温度はさらに上昇するものと期待される。

基礎デバイスの試作するためには、超薄膜の成長技術が欠かせない、そこで、ダイヤモンド薄膜の超伝導転移温度の膜厚依存性を評価した。その結果、数ミクロン程度の厚い薄膜を作製すると、高い超伝導転移温度が得られたが、膜厚を薄くしていくと超伝導転移温度が低くなってしまいうという問題が明らか

かになった。そこで、マイクロ波 CVD 装置で薄膜成長する際の合成条件の改良を行い、成長初期段階から理想的な条件が得られるよう工夫した結果、40nm の超薄膜でも、バルクの超伝導転移温度に近い値を得ることに成功した。大変地道な努力であるが、非常に重要なノウハウなのである。この薄膜成長技術を応用して、基礎デバイスの試作を行った。

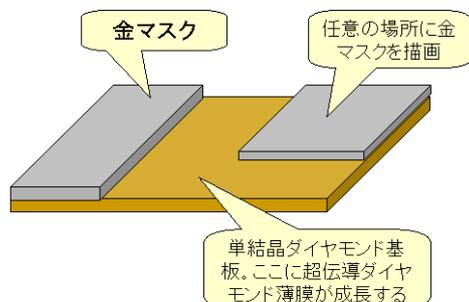


図4. 選択エピ成長プロセスの略図

基礎デバイスを作製する上で、さらに重要なことは、ダイヤモンドの微細加工技術である。ダイヤモンド薄膜を成長させてから、マスクを形成し、酸素プラズマでエッチングする技術が一般的だが、ダイヤモンド超伝導体に酸素プラズマを用いると、マスクでカバーしているにもかかわらず、超伝導転移温度が低くなってしまう。この問題がどうしても回避できないため、このたび新たに選択エピ成長技術を確認した。これは、基板上のダイヤモンド薄膜を成長させたくないところに金を蒸着し覆う。その後、プラズマ CVD 装置を用いてダイヤモンド薄膜成長を行うと、金を載せたところにはダイヤモンドは成長せず、金で覆われていないところのみに精度良くダイヤモンド超伝導体がエピ成長する (図4)。この手法で得られたダイヤモンド薄膜の超伝導転移温度は、パターンニングせずに成長させた膜で得られる超伝導転移温度と同等である。このように、超伝導転移温度を劣化させることなく、良質なパターン膜を得ることが可能となった。

超伝導デバイスで最も基礎的で重要なのがジョセフソン素子である。我々は、ダイヤモンドのみから形成されるジョセフソン素子の試作を行った。まず、単結晶基板の上に超伝導薄膜を形成する。この際、先に述べた選択成長ダイヤモンド超伝導薄膜成長技術を用いた。次に、絶縁膜としてダイヤモンド超薄膜を成長させる。この際重要なことは、ホウ素濃度が金属絶縁体転移を起こす濃度より十分少なくなるように設定することである。もちろん、完全にホウ素をなくせば良いのであるが、チャンバーの残留ホウ素の影響を完全に取り去ることは難しい。しかし、金属にならないように設定することは可能なのである。ジョセフソン接合に適するよう

に、おおよそ 10-20nm 程度の絶縁体膜を積層した後、その上に、ダイヤモンド超伝導薄膜を成長させた。得られた積層型、超伝導-絶縁体-超伝導、SIS ジョセフソン接合について、PPMS とオシロスコープ、プリアンプなどを用いて、電流電圧特性を評価したところ、SIS ジョセフソン接合に特徴的な、ヒステリシスを伴う特性を得ることに成功した。さらに、得られたジョセフソン接合にマイクロ派を照射したところ、照射電磁波の周波数に一致した電圧の飛びを観測した。これは、シャピロステップと言い、確かに、ダイヤモンド超伝導によりジョセフソン接合が作製できたことを示す証拠である。シャピロステップは、交流ジョセフソン効果によるもので、電圧標準などに用いられている。

このたび得られた、オールダイヤモンドによるジョセフソン接合は、これまでに例の無い新しいものである。それは、通常半導体素子などでは、導体や絶縁体に別の物質を積層して用いる。このため物質同士の相性や整合性の問題が避けられない。しかし、今回のオールダイヤモンド素子では、超伝導ダイヤモンドも絶縁体ダイヤモンドも基本的に同じダイヤモンドであるので、大変整合性良くエピタキシャル成長させることが可能なのである。このように、ダイヤモンドだけで素子を作製できたことには、ダイヤモンドが絶縁体から金属、超伝導に至るまで、幅広くその特性が制御可能であることが重要である。今後、ダイヤモンドのこの優位性を生かして、ジョセフソン素子のみならず、半導体と超伝導の複合した様々な新デバイスの試作を行っていきたいと考えている。

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 14 件)

- ① Yoshikazu Mizuguchi, Fumiaki Tomioka, Shunsuke Tsuda, Takahide Yamaguchi, Yoshihiko Takano, APPLIED PHYSICS LETTERS, 93, 012503-1 ~ 012503-3, 2009 査読有り
- ② Kyoko 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, Shin Shik, PHYSICAL REVIEW LETTERS, 100 巻 16 号, P. 166402-1 ~ 166402-4, 2008 査読有り
- ③ Jin Nakamura, Nobuyoshi Yamada, Kazuhiko Kuroki, Tamio Oguchi, Kozuo Okada, Yoshihiko Takano, Masanori Nagao, Isao Sakaguchi, Tomohiro

- Takenouchi, Kawarada Hiroshi, Rupert C. C. PERERA, David L. EDERER, JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN, 77 巻 5 号, P. 054711-1~054711-6, 2008 査読有り
- ④ P Calvani, S Lupi, M. Ortolani L. Baldassarre, C. Mirri, R. Sopracase, U. Schade, Yoshihiko Takano, Tsuyoshi Tamegai, INFRARED PHYSICS & TECHNOLOGY, 51 巻 5 号, P. 429~432, 2008 査読有り
 - ⑤ Miwa Murakami Tadashi Shimizu, Masataka Tansho, Yoshihiko Takano, Satoshi Ishii, Evgeni A. Ekimov, Vladimir Sidorov, Hitoshi Sumiya, Hiroshi Kawarada, Kiyonori Takegoshi, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, 17 巻 11 号, P. 1835~1839, 2008 査読有り
 - ⑥ Miwa Murakami, Tadashi Shimizu, Masataka Tansho and Yoshihiko Takano Sci. Technol. Adv. Mater 044103~044109, 2008 査読有り
 - ⑦ Terukazu Nishizaki, Yoshihiko Takano, Masanori Nagao, Tomohiro Takenouchi, Hiroshi Kawarada, Norio Kobayashi Journal of Physics and Chemistry of Solids 3027-3030, 2008 査読有り
 - ⑧ Yoshikazu Mizuguchi, Fumiaki Tomioka, Shunsuke Tsuda, Takahide Yamaguchi, Yoshihiko Takano, APPLIED PHYSICS LETTERS, 93, 152505-1 ~ 152505-3, 2008 査読有り
 - ⑨ Hisashi Kotegawa, Satoru Masaki, Yoshiki Awai, Hidehki Tou, Yoshikazu Mizuguchi, Yoshihiko Takano JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN, 77, 1137031-4, 2008 査読有り
 - ⑩ Yokoya T, Ikenaga E, Kobata M, Okazaki H, Kobayashi K, Takeuchi A, Awaji A, Takano Y, Nagao M, Sakaguchi I, Takenouchi T, Kobayashi K, Kawarada H, Oguchi T, PHYSICAL REVIEW B, 75, 205117, 2007 査読有り
 - ⑪ Miwa MURAKAMI, Tadashi SHIMIZU, Masataka TANSHO, Yoshihiko TAKANO, Satoshi ISHII, Evgeni EKIMOV, Vladimir SIDOROV, Hiroshi KAWARADA, and Kiyonori TAKEGOSHI, Japanese Journal of Applied Physics, 46, L1138~L1140, 2007 査読有り
 - ⑫ Mukuda H, Tsuchida T, Harada A, Kitaoka Y, Takenouchi T, Takano Y, Nagao M, Sakaguchi I, Oguchi T, Kawarada H PHYSICAL REVIEW B, 75, 033301, 2007 査読有り
 - ⑬ Takano Y, Takenouchi T, Ishii S, Ueda S, Okutsu T, Sakaguchi I, Umezawa H, Kawarada H, Tachiki M, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, 16, 911, 2007 査読有り
 - ⑭ Umezawa H, Takenouchi T, Kobayashi K, Takano Y, Nagao M, Tachiki M, Hatano T, Kawarada H, NEW DIAMOND AND FRONTIER CARBON TECHNOLOGY, 17, 1, 2007 査読有り
- [学会発表] (計 23 件)
- ① 北郷伸弥, 河野明大, 入山慎吾, 岡田竜介, 高野義彦, 梅沢仁, 平間一行, 知京豊裕, 川原田洋, 高濃度ボロンドープダイヤモンド超伝導薄膜の Tc の膜厚依存性と断面 TEM 観察, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, つくば, 2009/03/30-04/02
 - ② 渡邊恵, 入山慎吾, 岡田竜介, 河野明大, 神宮宜克, 平間一行, 高野義彦, 川原田洋 モリブデンダイヤモンド界面のモリブデンカーバイド薄膜の超伝導特性, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, つくば, 2009/03/30-04/02
 - ③ 川江健, 吉田和弘, 奥野央典, 飯山宏一, 高野義彦, 森本章治, ダイヤモンド超伝導体薄膜の作製と接合形成に向けた微細加工の検討, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, つくば, 2009/03/30-04/02
 - ④ 脇田高德, 岡崎宏之, 佐伯邦成, 小野雅紀, 江口豊明, 奥田太一, 原沢あゆみ, 松田巖, 長谷川幸雄, 高野義彦, 平井正明, 村岡祐治, 横谷尚睦, シリコンの光電子分光: ボロン濃度依存性 2, 日本物理学会第 64 回年次大会, 東京, 2009/03/27-2009/03/30
 - ⑤ 渡邊恵, 入山慎吾, 岡田竜介, 河野明大, 高野義彦, 梅沢仁, 神宮宜克, 平間一行, 川原田洋, 高濃度ボロンドープダイヤモンド薄膜の合成と超伝導特性, 日本物理学会第 64 回年次大会, 東京, 2009/03/27-03/30
 - ⑥ 岡崎宏之, 菅原克明, 佐藤宇史, 横谷尚睦, 高橋隆, 脇田高德, 村岡祐治, 平井正明, 高野義彦, 石井聡, 入山慎吾, 川原田洋 光電子分光による高濃度ホウ素ドープダイヤモンドの金属-絶縁体転移前後の電子状態の観測, 日本物理学会第 64 回年次大会, 東京, 2009/03/27-2009/03/30
 - ⑦ Takeshi Kawae, Kazuhiro Yoshida, Satoshi, Ishii Koichi Iiiyama, Yoshihiko Takano, Akiharu Morimoto FABRICATION OF HEAVILY BORON -DOPED DIAMOND FILMS BY MICROWAVE PLASMA CHEMICAL VAPOR DEPOSITION WITH BIAS-ENHANCED NUCLEATION AND THEIR SUPERCONDUCTING PROPERTIES, ISS2008, つくば, 2008/10/27-2008/10/29
 - ⑧ 脇田高德, 岡崎宏之, 佐伯邦成, 小野雅紀, 江口豊明, 奥田太一, 原沢あゆみ, 松田巖, 長谷川幸雄, 高野義彦, 平井正明, 村岡祐治, 横谷尚睦, シリコンの光電子分光: ボロン濃度依存性, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 岩手, 2008/09/20-2008/09/23
 - ⑨ 岡田竜介, 入山慎吾, 河野明大, 平間一行, 高野義彦, 梅沢仁, 川原田洋, 高濃度ボロンドープダイヤモンド超伝導への膜厚の影響, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 岩手, 2008/09/20-2008/09/23
 - ⑩ 西寄照和, 高野義彦, 長尾雅則, 竹之内智大, 川原田洋, 小林典男, ボロンドープダイヤモンドにおける極低温トンネル顕微分光, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 岩手, 2008/09/20-2008/09/23
 - ⑪ 中村仁, 原田慈久, 黒木和彦, 小口多美夫, 高野義彦, 入山慎吾, 川原田洋, 単結晶ボ

- ロンドープダイヤモンドの軟X線吸収スペクトルにおけるギャップ内準位, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 岩手, 2008/09/20-2008/09/23
- ⑫ 水口佳一, 津田俊輔, 渡邊徹, 富岡史明, 山口尚秀, 高野義彦, メタルチャンバーを用いたホウ素ドーパダイヤモンドの CVD 合成と物性評価, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 岩手, 2008/09/20-2008/09/23
- ⑬ Yoshihiko Takano Superconductivity in B-doped Diamond 25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), オランダ 2008/08/06-2008/08/13
- ⑭ Shingo Iriyama, Ryusuke Okada, Akihiro Kawano, Yoshihiko Takano, Akira Ishii, Hitoshi Umezawa, Kazuyuki Hirama, Hiroshi Kawarada, Lattice expansion and superconductivity in heavily boron-doped diamond thin film, IWSDRM2008, つくば, 2008/07/07 - 07/09
- ⑮ Hiroyuki Okazaki, Takayoshi Yokoya, Rikiya Yoshida, Takayuki Muro, Takanori Wakita, Masaaki Hirai, Yuji Muraoka, Yoshihiko Takano, Shingo Iriyama, Hiroshi Kawarada, Tamio Oguchi, Core-level photoemission spectroscopy of heavily boron-doped diamond, IWSDRM2008, つくば, 2008/07/07-2008/07/09
- ⑯ Terukazu Nishizaki, Yoshihiko Takano, Masanori Nagao, Tomohiro Takenouchi Hiroshi, Kawarada, Norio Kobayashi Surface Structure and Superconducting Energy Gap of Boron Doped Diamond Films Probed by STM/STS, IWSDRM2008 つくば, 2008/07/07-2008/07/09
- ⑰ Kyoko Ishizaka, Ritsuko Eguchi, Shunsuke Tsuda, Takayuki Kiss, Takayoshi Yokoya, A.Chainani, Takahiro Shimojima, Shik Shin, Tadashi Togashi, Shuntaro Watanabe, C. T. Chen, Yoshihiko Takano, Masanori Nagao, Sakaguchi Isao, Tomohiro Takenouchi, Hiroshi Kawarada Localized Nature of Carriers in Boron-Doped Diamond Revealed by Laser Photoemission Spectroscopy, IWSDRM2008, つくば, 2008/07/07-2008/07/09
- ⑱ Hiroshi Kawarada, Hitoshi Ishiwata, Ryosuke Okada, Shingo Iriyama, Akihiro Kawano, Yoshihiko Takano, Hitoshi Umezawa, Takayoshi Yokoya, The relationship between Hall coefficient factor and superconductivity of heavily boron doped diamond, IWSDRM2008, つくば, 2008/07/07-2008/07/09
- ⑲ Jin Nakamura, Yoshihisa Harada, Nobuyoshi Yamada, Kazuhiko Kuroki, Tamio Oguchi, Yoshihiko Takano, Tomohiro Takenouchi Shingo, Iriyama, Hiroshi Kawarada, Electronic structure of homo-epitaxial growth boron doped diamond by soft x-rays

- absorption and emission spectroscopy IWSDRM2008 つくば, 2008/07/07-07/09
- ⑳ 村上美和, 清水禎, 丹所正孝, 高野義彦, 石井聡, Evgeni Ekimov, Vladimir Sidrov, 竹腰清乃理, 1次元/2次元固体高分解能 10B/11B NMR 法を用いたボロンドーパダイヤモンドの研究 / 1D/2D, 10B/11B High-resolution solid-state NMR studies on boron-doped diamond, 日本化学会第 88 春季年会, 立教大学, 東京, 2008/03/26 - 2008/03/30
- ㉑ 高野義彦, Superconductivity in Diamond and Related Carbon Materials / Superconductivity in Diamond and Related Carbon Materials, 第 13 回日米高温超伝導体ワークショップ, 長良川国際会議場, 岐阜市, 2007/11/09 - 2007/11/11
- ㉒ 高野義彦, 奥津貴史, 小河原昭吾, 渡邊徹, 富岡史明, 石井聡, 上田真也, 津田俊輔, 山口尚秀, 横谷尚睦, 川原田洋ノホウ素ドーパダイヤモンドとカーボンナノチューブ, 日本物理学会, 北海道大学, 2007/09/21 - 2007/09/24
- ㉓ 高野義彦, ダイヤモンド超伝導体研究の現状-バンド半導体に起こる珍しい超伝導 3 機関連携量子複雑現象研究会会, 原子力機構 上野システム計算科学センター, 台東区上野, 2007/06/14 - 2007/06/14

〔図書〕(計 3 件)

- ① 高野義彦 他 CVD Diamond for Electronic Devices and Sensors, Willy 2009, 549-562
- ② 高野義彦 ホウ素ドーパダイヤモンド ホウ素・ホウ化物および関連物質の基礎と応用, 1 巻, P 204~211, 2008
- ③ 高野義彦 超伝導 ダイヤモンドエレクトロニクスの最前線, P136~149, 2008

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・超伝導材料センター・グループリーダー
研究者番号: 10354341

(2) 研究分担者

山口 尚秀 (YAMAGUCHI TAKAHIDE)
独立行政法人物質材料研究機構・超伝導材料センター・主任研究員
研究者番号: 70399385
津田 俊輔 (TSUDA SHUNSUKE)
独立行政法人物質材料研究機構・MANA 独立研究者
研究者番号: 80422442

(3) 連携研究者

なし