

平成22年5月26日現在

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） Research on 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・超伝導材料センター・グループリーダー

研究者番号：10354341

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：①超伝導材料・素子②半導体物性③ナノ材料④結晶成長⑤強相関電子系

1. 研究計画の概要

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、炭素化合物全般に应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・グラファイトを合成し、制御された環境で金属-絶縁体転移を励起する。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。

2. 研究の進捗状況

ダイヤモンドにドーピングされる実効的なキャリアは、ダイヤモンド格子にどのように取り込まれたホウ素によるものかが明らかになってきた。特に、ホウ素が単独かペアーかにより、実効的なキャリア量が変化することを見出した。さらに、ホウ素ドーピングカーボンナノチューブの簡便な合成方法を考案し、電気抵抗率の顕著な低減に成功した。一本のカーボンナノチューブの電気抵抗を評価する手法を開発し、室温から0.5Kまで評価したところ、抵抗が最低温までほとんど温度変化しない金属と絶縁体の境目近傍までキャリアを導入することができた。

3. 現在までの達成度

当初の計画に沿っておおむね順調に進んでいる。ダイヤモンドの超伝導については、ダイヤモンド格子中のホウ素のローカルな状態と電子状態の関係についておおむね順調に解析が進められた。さらに、ダイヤモンド超薄膜の成膜や成長時にパターンニングする技術である選択成長法についても順調にその技術革新が進んでおり、最近ではまだ安定していないが10nmレベルの超伝導薄膜を選択エピ成長で作製できるようになりつつある。これらの技術は、ダイヤモンドの中のホウ素を人為的に濃度制御し特性をコントロールすることを狙いとしており、今後、超伝導や金属、半導体、絶縁体の様々なダイヤモンドを求める厚さでホモエピタキシャルに成長させることができるようになることを目指している。

4. 今後の研究の推進方策

ダイヤモンド超伝導を半導体におこる超伝導としての特徴を生かした新機能を追求する上で特に重要な点は、ホウ素濃度を空間的に精密に制御する技術を開発することである。そのことにより、同じダイヤモンドのみを用いた半導体-金属-超伝導の複合デバイスが開発できるからである。例えば、超伝導・絶縁体・超伝導体を積層したジョセフソン接合をダイヤモンドのみで作製することも不可能ではない。我々は、ダイヤモンド格子の中のホウ素を如何に制御し如何に物性をコントロールできるかをターゲットに研究を進めていきたい。一方、ホウ素ドーピングカーボンナノチューブは、これまで、熱CVD法

により、電気抵抗率が通常の純粋なカーボンナノチューブより2桁程度低くなることを見出してきているが、電気抵抗の温度変化は、殆どフラットであり、金属的伝導には至っていない。これは、ホウ素による乱れが原因しているのか、それとも合成段階に入る欠陥が原因か未だ不明である。我々は、ホウ素をより多く含有させ十分なキャリアが導入されれば、より金属的伝導が現れるのではないかと期待している。そこで、マイクロ波CVD法を用いて全てガスから合成する手法により、より高品質なホウ素ドーブナノチューブの合成にチャレンジしている。さらに大事なことは、伝導性塗料や特殊伝導体の開発へつなげるために、より簡便により大量に合成することが必要なのである。そのためにもマイクロ波CVD法による合成環境の開発は重要であると考えている。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 8 件)

- ①. S. Ishii, T. Okutsu, S. Ueda, and Y. Takano, Transport properties of multi-walled carbon nanotubes grown by boron addition method, *phys. stat. sol. (c)* 5, 31-34, 2008, 査読有
- ②. Nishizaki T, Takano Y, Nagao M, Takenouchi T, Kawarada H, Kobayashi N, Scanning tunneling microscopy/spectroscopy on superconducting diamond films, *NEW DIAMOND AND FRONTIER CARBON TECHNOLOGY* 17, 21-31, 2007, 査読有
- ③. Takano Y, Takenouchi T, Ishii S, Ueda S, Okutsu T, Sakaguchi I, Umezawa H, Kawarada H, Tachiki M, Superconducting properties of homoepitaxial CVD diamond 16, 911, 2007, 査読有
- ④. Satoshi 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, 202116, 2008, 査読有
- ⑤. Masahiro 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, 148-150, 2008, 査読有

- ⑥. Yoshikazu Mizuguchi, Keita Deguchi, Shunsuke Tsuda, Takahide Yamaguchi, Hiroyuki Takeya, Hiroaki Kumakura, Yoshihiko Takano, Fabrication of the Iron-Based Superconducting Wire Using Fe(Se, Te), *APPLIED PHYSICS EXPRESS* 2, 83004-1~3, 2009
- ⑦. Miwa 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* 18, 1267~1273, 2009
- ⑧. Yoshihiko Takano, Superconductivity in CVD diamond films, *JOURNAL OF PHYSICS-CONDENSED MATTER* 21, 253201-1~11, 2009

[学会発表] (計 4 件)

- ①. 石井聡, 渡邊徹, 上田真也, 津田俊輔, 山口尚秀, 高野義彦, New synthesis and physical property of low resistivity boron-doped multi-walled carbon nanotubes, *ISS2007*, 2007/11/05-11/07, エポカル, つくば市
- ②. Tohru Watanabe, Satoshi Ishii, Shunsuke Tsuda, Takahide Yamaguchi, Yoshihiko Takano, Novel CVD growth of boron-doped multi-walled carbon nanotubes, *CARBON* 2008, 2008/07/14-07/1, 長野
- ③. Yoshihiko Takano, Superconductivity in Boron doped Diamond, *ISBB2008*, 2008/09/07-09/12, 島根
- ④. 高野義彦, 山口尚秀, 渡邊恵, 川原田洋, 炭素系物質の超伝導の進展と現状-ダイヤモンド超伝導を用いたデバイスの開発, 物性科学領域横断研究会, 2009/11/29-01, 文京区

[図書] (計 2 件)

- ①. 高野義彦 他, シーエムシー出版, ホウ素・ホウ化物および関連物質の基礎と応用, 204-211, 2008
- ②. 高野義彦 他, シーエムシー出版, ダイヤモンドエレクトロニクスの最前線, 136-149, 2008