

「高度情報処理・通信の実現に向けたナノ構造体材料の制御と利用」
平成14年度採択研究代表者

篠原 久典

(名古屋大学大学院理学研究科 教授)

「新世代カーボンナノチューブの創製、評価と応用」

1. 研究実施の概要

本研究プロジェクトでは、新規カーボンナノチューブ (CNT) の創製、評価、電子物性の実験的理論的研究および電子デバイス応用に向けた、今までに例のない創製から応用まで一貫した研究を推進する。

(1) ナノ・ピーポット物質および高純度2層カーボンナノチューブの創製と評価

新規なデバイスの創出に貢献するには、高純度のカーボンナノチューブが必要となる。このためには、名大・東レが共同開発したゼオライトをテンプレートとして用いた気相化学蒸着 (CCVD) 法により、高純度の単層、2層 (DWNT)、多層カーボンナノチューブの合成を行う。特に、直径が小さく、バンドルを作るDWNTの高純度合成を目指す。また物性を制御した高純度CNTの合成とデバイス上へのCNT *in situ*合成を検討する。本研究他グループの研究遂行のためのCNTの提供を行う。さらに、電子顕微鏡周辺技術/ラマン分光法をもちいた新規ナノカーボン材料の評価方法の確立を目指す。試料冷却により電子線ダメージを抑えた高精度電子分光など、付加価値の高い分析データの取得を目指す。

(2) 新規カーボンナノチューブ物質の電子物性と超伝導

カーボンナノチューブにおける超伝導に関連した現象を探索し、一次元物性との相関を解明することをねらいとした。これまでに、多孔質アルミナ膜のナノ細孔に成長した多層チューブを利用し、近接場超伝導を実現した。また一次元物性現象である朝永・ラッティンジャー液体 (TLL) にある多層チューブに同様の方法でクーパー対を注入すると、その強いクーロン斥力によりクーパー対が分離されてしまうことを実験的に初めて見出した。今後単層チューブ、ピーポットなどで純粋な超伝導転移を模索する。

(3) カーボンナノチューブの光物性の理論的研究

東北大グループは、篠原グループの実験結果を理論的に解析し、また新規物性を探索するために理論的にナノチューブの計算をおこなう。いままでの成果として、共鳴ラマン分光、光吸収・発光で成果を得ている。今後は輸送特性の問題にも分野を広げていきたい。

(4) 新規カーボンナノチューブのデバイスへの応用

富士通デバイス基礎研究グループでは、ピーポッド技術を用いた新型ナノデバイスの実現を目指し、DWNTの形成シミュレーションと側壁加工による位置制御ピーポッド形成の

ための新規装置導入を行った。今後、これらのピーポッド、DWNT形成を実証していく。

2. 研究実施内容

(1) ナノ・ピーポット物質および高純度2層カーボンナノチューブの創製と評価

名大グループが開発した合成法を用いてピーポット物質、特に金属内包フラーレンを内包したピーポットを高純度で合成することに成功した。さらに2層カーボンナノチューブの高純度合成も行う。金属内包フラーレン・ピーポットの特徴は、金属内包フラーレンの種類によって、カーボンナノチューブへの電子移動の程度を、ある程度自由に可変できることである。これにより、カーボンナノチューブの電子物性（半導体・金属特性の可変性、バンドギャップ・エンジニアリング、新規なFET特性など）を、新たに発現させることができる。2層カーボンナノチューブのピーポット合成も目指しており、現在、プレリミナリーな結果を得ている。

また、名大・東レが共同開発したゼオライトをテンプレートとして用いた気相化学蒸着（CCVD）法により、高純度の単層、2層、多層カーボンナノチューブの選択的合成法の開発がほぼ完了した。本CCVD法によるカーボンナノチューブ合成のメカニズム解析を行うため、吸着測定装置を移設導入、東レリサーチセンターへの依頼分析により、ゼオライトの役割、ゼオライト担体に担持された触媒の金属状態、粒径などを分析し、単層、2層カーボンナノチューブの直径、品質との関連を検討している。ゼオライトの種類、触媒金属の種類、組成、炭素源等の選択により高純度の単層、2層カーボンナノチューブの選択合成を達成しつつある。さらに他の研究グループへのサンプル提供を行い、研究チームの研究推進に貢献した。

さらにナノチューブの構造・物性評価の装置開発では、今年度は、昨年度導入した試料冷却ホルダーを用いた実験条件の確立・測定およびラマン分光法用途の新規光源の導入／立ち上げを行った。前者については、試料冷却により電子線ダメージが低減されることを確認した。後者については、これを用いて、スペクトルの励起波長依存性に関するデータを取得／蓄積中である。

(2) 新規カーボンナノチューブ物質の電子物性と超伝導

カーボンナノチューブにおける、1. 超伝導、2. 一次元物性、を探索し、新たな現象を見出すことを目的とした。まず1の観点から、多孔質アルミナ膜のナノ細孔に形成した多層ナノチューブの上端切断面に超伝導（ニオブ）電極を接触させ熱処理することで、ニオブ電極からナノチューブにクーパー対を効率よく注入することを可能にした。この結果、近接場超伝導の発現に初めて成功した。さらにこの現象の特異性として、多層チューブ内を最大で $0.37\text{m}^2/\text{s}$ という高い拡散定数を持ってクーパー対が走行すること、2テスラ以上の印加高磁場下でも多層チューブ中のクーパー対が破壊され難いこと、を見出した。次に2の観点から、上記多層チューブを平均自由行程より短くすることで、TLLの存在を確認した。さらに、このTLL状態にある多層チューブに上記1と同様の方法でニオブ電極からクーパー対を注入しようとする、TLLの持つクーロン斥力によりクーパー対が個々

のスピンの分離され各ナノチューブに入ってゆく現象を、実験的に観察することに初めて成功した。

(3) カーボンナノチューブの光物性の理論的研究

東北大グループは、平成15年度は共鳴ラマン分光強度を計算し実験グループに定量的なデータを供給するがプロジェクトと関連した目的である。分光強度を計算するために、光吸収の遷移行列及び電子格子相互作用の行列を計算するプログラムを1年かけて開発した。このプログラムを用いて、実験で指摘されていた、光吸収強度の螺旋度依存性、電子の伝導体での緩和時間の計算、発光プロセスの解明、また二重共鳴ラマン分光のスペクトル計算などの結果を得た。

(4) 新規カーボンナノチューブのデバイスへの応用

富士通デバイス基礎研究グループでは、ピーポッド技術を用いた新型ナノデバイスを目指した研究を行っている。本年度は経験的分子動力学により、ピーポッドからフュージョンによるDWNT形成過程を解析した。今後、実験検証を行う。また本プロセスのキーとなるチューブ直径制御のため、触媒微粒子からのチューブ核形成シミュレーションを実施した。熱CVD成長条件で、微粒子とほぼ同じ直径のチューブ核の形成を確認した。また位置制御したピーポッド形成を目指し、ナノチューブの側壁加工と観察を行う新規装置を設計、導入した。

3. 研究実施体制

3-1. 名古屋大学グループ

- ① 研究分担グループ長：篠原 久典（名古屋大学大学院理学研究科、教授）
- ② 研究項目：新世代カーボンナノチューブの創製と評価、応用

3-2. 青山学院大学グループ

- ① 研究分担グループ長：春山 純志（青山学院大学理工学部、助教授）
- ② 研究項目：CNT物性の実験的解明と超伝導発現の探索

3-3. 東北大学グループ

- ① 研究分担グループ長：齋藤 理一郎（東北大学理学部物理学科、教授）
- ③ 研究項目：チームの理論的サポートと実験結果の解析

3-4. 富士通デバイス基礎研究グループ

- ① 研究分担グループ長：栗野 祐二（富士通(株)LSI事業本部デバイス開発統括部、統括部長付）
- ② 研究項目：カーボンナノチューブおよびピーポッドのデバイス応用

3-5. 東レ(株)化成成品研究所グループ

- ① 研究分担グループ長：吉川 正人（東レ(株)化成成品研究所、主任研究員）
- ② 研究項目：物性を制御したCNT合成とデバイス上へのCNT *in situ*合成

3-6. (株)東レリサーチセンターグループ

- ① 研究分担グループ長：杉山 直之（(株)東レリサーチセンター形態科学研究部、

研究員)

② 研究項目：TEMおよびラマン分光を用いた「ピーポット」の評価方法の確立

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

整理番号：160302003

著者氏名：A. Jorio, F. M. Matinaga, A. Righi, M. S. S. Dantas, M. A. Pimenta, G. Souza Filho, J. Mendes Filho, J. H. Hafner, C. M. Lieber, R. Saito, G. Dresselhaus, and M. S. Dresselhaus

論文題名：Resonance Raman scattering: non-destructive and non-invasive technique for structural and electronic characterization of isolated single wall carbon nanotubes

書誌事項：Brazilian Journal of Physics, Vol. 32, No. 4, P. 921-924 (2002)

発表日付：20021204

整理番号：160302017

著者氏名：M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, A. M. Rao, A. Jorio, A. G. Souza Filho, Ge. G. Samsonidze, and R. Saito

論文題名：Resonant Raman scattering on one-dimensional systems

書誌事項：Indian Journal of Physics, Vol. 77B, No. 1, P. 75-99 (2003)

発表日付：20030100

整理番号：160302008

著者氏名：M. S. Dresselhaus, Y.-M. Lin, O. Rabin, A. Jorio, A. G. Souza Filho, M. A. Pimenta, R. Saito, Ge. G. Samsonidze, and G. Dresselhaus

論文題名：Nanowires and Nanotubes

書誌事項：Mater. Sci. Eng. C, Vol. 23, No. *, P. 129-140 (2003)

発表日付：20030115

整理番号：160302006

著者氏名：Ge. G. Samsonidze, R. Saito, A. Jorio, A. G. Souza Filho, A. Grueneis, M. A. Pimenta, G. Dresselhaus, and M. S. Dresselhaus

論文題名：Phonon Trigonal Warping Effect in Graphite and Carbon Nanotubes

書誌事項：Physical Review Letters, Vol. 90, No. 2, P. 027403-1-4 (2003)

発表日付：20030115

整理番号 : 160302007

著者氏名 : A. G. Souza Filho, A. Jorio, Ge. G. Samsonidze, G. Dresselhaus, M. A. Pimenta, M. S. Dresselhaus, Anna K. Swan, M. S. Unlu, B. B. Goldberg, and R. Saito

論文題名 : Competing spring constant versus double resonance effects on the properties of dispersive modes in isolated single-wall carbon nanotubes

書誌事項 : Physical Review B, Vol.67, P.035427-1-7 (2003)

発表日付 : 20030131

整理番号 : 160305005

著者氏名 : 楠本亮祐、三留雅幸、神田優子、春山純志

論文題名 : Y字型カーボンナノチューブの創製とその電子物性

書誌事項 : 電子情報通信学会技術研究報告, ED2002-292 P. 19-23 (2003)

発表日付 : 20030200

整理番号 : 160305004

著者氏名 : 宮台信一郎、高沢一也、武田亜希、堀七波、神田優子、杉山直之、春山純志

論文題名 : 多層カーボンナノチューブへのクーパー対注入—近接効果超伝導とその再帰コンダクタンス—

書誌事項 : 電子情報通信学会技術研究報告, ED2002-291 P. 13-17 (2003)

発表日付 : 20030200

整理番号 : 160303010

著者氏名 : Zujin Shi, Toshiya Okazaki, Takashi Shimada, Toshiki Sugai, Kazutomo Suenaga, and Hisanori Shinohara

論文題名 : Selective High-Yield Catalytic Synthesis of Terbium Metallofullerenes and Single-Wall Carbon Nanotubes

書誌事項 : Journal of Physical Chemistry B, Vol.107, No.11, P.2485-2489 (2003)

発表日付 : 20030222

整理番号 : 160303011

著者氏名 : Atsushi Taninaka, Kazuhiro Shino, Toshiki Sugai, Seiji Heike, Yasuhiko Terada, Tomihiro Hashizume, and Hisanori Shinohara

論文題名 : Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy Studies of Lanthanum

Endohedral Metallofullerenes

書誌事項 : Nano Letters, Vol. 3, No. 3, P. 337-341 (2003)

発表日付 : 20030225

整理番号 : 160302011

著者氏名 : A. Jorio, M. A. Pimenta, A. G. Souza Filho, Ge.G. Samsonidze, A. K. Swan, M.S. Unlu, B.B. Goldberg, R. Saito, G. Dresselhaus, and M.S. Dresselhaus

論文題名 : Resonance Raman Spectra of Carbon Nanotubes by Cross-Polarized Light

書誌事項 : Physical Review Letters, Vol. 90, No. 10, P. 107403-1-4 (2003)

発表日付 : 20030314

整理番号 : 160302036

著者氏名 : J. T. Ye, Z. M. Li, Z. K. Tang, and R. Saito

論文題名 : Raman spectra of lithium doped single-walled 0.4nm carbon nanotubes

書誌事項 : Physical Review B, Vol. 67, P. 113404 (2003)

発表日付 : 20030319

整理番号 : 160305018

著者氏名 : J. Haruyama, K. Takazawa, S. Miyadai, A. Takeda, N. Hori, I. Takesue, Y. Kanda, and N. Sugiyama

論文題名 : Proximity-induced superconductivity and its re-entrance effect in niobium/multi-walled nanotube junctions

書誌事項 : Microelectronics Journal, Vol. 34, P. 537-539 (2003)

発表日付 : 20030327

整理番号 : 160302015

著者氏名 : A. Gruneis, R. Saito, Ge. G. Samsonidze, T. Kimura, M. A. Pimenta, A. Jorio, A. G. Souza Filho, G. Dresselhaus, and M. S. Dresselhaus

論文題名 : Inhomogeneous optical absorption around the K point in graphite and carbon nanotubes

書誌事項 : Physical Review B, Vol. 67, P. 165402-1-7 (2003)

発表日付 : 20030402

整理番号 : 160302022

著者氏名：齋藤理一郎
論文題名：ナノカーボンの電子状態計算入門
書誌事項：炭素, No. 207, P. 67-72 (2003)
発表日付：20030518

整理番号：160303040
著者氏名：Toshiki Sugai, Hiromichi Yoshida, Takashi Shimada, Toshiya Okazaki,
Shunji Bandow, and Hisanori Shinohara
論文題名：New Synthesis of High-Quality Double-Walled Carbon Nanotubes by
High-Temperature Pulsed Arc Discharge
書誌事項：Nano Letters, Vol. 3, No. 6, P. 769-773 (2003)
発表日付：20030600

整理番号：160303038
著者氏名：Haruhito Kato, Atsushi Taninaka, Toshiki Sugai, and Hisanori
Shinohara
論文題名：Structure of a Missing-Caged Metallofullerene: $\text{La}_2@C_{72}$
書誌事項：J. Am. Chem. Soc., No. 125, P. 7782-7783 (2003)
発表日付：20030610

整理番号：160306002
著者氏名：吉川正人, 篠原久典
論文題名：ゼオライトを利用したカーボンナノチューブの合成
書誌事項：ゼオライト (Zeolite News Letters), Vol. 20, No. 2, P. 66-72 (2003)
発表日付：20030610

整理番号：160303041
著者氏名：Shin-ichiro Kobayashi, Satoshi Mori, Satoru Iida, Hiroaki Ando,
Taishi Takenobu, Yasujiro Taguchi, Akihiko Fujiwara, Atsushi
Taninaka, Hisanori Shinohara, and Yoshihiro Iwasa
論文題名：Conductivity and Field Effect Transistor of $\text{La}_2@C_{80}$
Metallofullerene
書誌事項：J. Am. Chem. Soc., Vol. 125, No. 27, P. 8116-8117 (2003)
発表日付：20030612

整理番号：160303037
著者氏名：Toshiya Okazaki, and Hisanori Shinohara

論文題名 : Synthesis and Characterization of Single-Wall Carbon Nanotubes by
Hot-Filament Assisted Chemical Vapor Deposition

書誌事項 : Chemical Physics Letters, No.376, P.606-611 (2003)

発表日付 : 20030709

整理番号 : 160302018

著者氏名 : M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, A. Jorio, A. G. Souza Filho, Ge.
G. Samsonidze, and R. Saito

論文題名 : Science and Applications of Single-Nanotube Raman Spectroscopy

書誌事項 : Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol.3, No.1/2, P.19-37
(2003)

発表日付 : 20030728

整理番号 : 160302040

著者氏名 : A. G. Souza Filho, A. Jorio, Ge. G. Samsonidze, G. Dresselhaus, R.
Saito, and M. S. Dresselhaus

論文題名 : Raman spectroscopy for probing chemically/physically induced-
phenomena in carbon nanotubes

書誌事項 : Nanotechnology, Vol.14, P.1130-1139 (2003)

発表日付 : 20031001

整理番号 : 160305020

著者氏名 : J.Haruyama, K.Takazawa, S.Miyadai, A.Takeda, N.Hori, I.Takesue,
Y.Kanda, N.Sugiyama, T.Akazaki, and H.Takayanagi

論文題名 : Injection of Cooper pairs into quasidiffusive multiwalled carbon
nanotubes with weak localization

書誌事項 : Physical Review B, Vol.68, No.16, P.165420_1-6 (2003)

発表日付 : 20031015

整理番号 : 160302033

著者氏名 : A. Jorio, M.A. Pimenta, A.G. Souza Filho, R. Saito, G. Dresselhaus,
and M.S. Dresselhaus

論文題名 : Characterizing carbon nanotube samples with resonance Raman
scattering

書誌事項 : New Journal of Physics, Vol.5, P.139.1-17 (2003)

発表日付 : 20031016

整理番号 : 160302027

著者氏名 : Ge.G. Samsonidze, R. Saito, A. Jorio, M.A. Pimenta, A.G. Souza Filho, A. Grueneis, G. Dresselhaus, and M.S. Dresselhaus

論文題名 : The concept of cutting lines in carbon nanotube science

書誌事項 : Journal of Nanoscience Nanotechnology, Vol. 3, No. 6, P. 431-458(28) (2003)

発表日付 : 20031201

整理番号 : 160302034

著者氏名 : R. Saito, A. Grueneis, Ge.G. Samsonidze, V.W. Brar, G. Dresselhaus, M.S. Dresselhaus, A. Jorio, L.G. Canccado, C. Fantini, M.A. Pimenta, and A.G. Souza Filho

論文題名 : Double resonance Raman spectroscopy of single wall carbon nanotubes

書誌事項 : New Journal of Physics, Vol.5, P157.1-15 (2003)

発表日付 : 20031203

整理番号 : 160303043

著者氏名 : Takashi Inoue, Tetsuo Tomiyama, and Hisanori Shinohara

論文題名 : Spectroscopic and structural study of Y_2C_2 carbide encapsulating endohedral metallofullerene: $(Y_2C_2)@C_{82}$

書誌事項 : Chemical Physics Letters, Vol.382, No.3/4, P.226-231 (2003)

発表日付 : 20031205

整理番号 : 160303044

著者氏名 : Tatsuki Hiraoka, Tomoju Kawakubo, Junichi Kimura, Risa Taniguchi, Atsuto Okamoto, Toshiya Okazaki, Toshiki Sugai, Yuji Ozeki, Masahito Yoshikawa and Hisanori Shinohara

論文題名 : Selective synthesis of double-wall carbon nanotubes by CCVD of acetylene using zeolite supports

書誌事項 : Chemical Physics Letters, Vol.382, No.5/6, P.679-685 (2003)

発表日付 : 20031215

整理番号 : 160303064

著者氏名 : S. Bandow, T. Hiraoka, T. Yumura, K. Hirahara, H. Shinohra, and S. Iijima

論文題名 : Raman scattering study on fullerene derived intermediates formed

within single-wall carbon nanotube: from peapod to double-wall
carbon nanotube

書誌事項 : Chemical Physics Letters, Vol. 384, P. 320-325 (2004)

発表日付 : 20040101

整理番号 : 160303069

著者氏名 : M. Krause, V. N. Popov, M. Inakuma, N. Tagmatarchis, H. Shinohara,
P. Georgi, L. Dunsch, and H. Kuzmany

論文題名 : Multipole induced splitting of metal-cage vibrations in
crystalline endohedral D_{2d} - $M_2@C_{84}$ dimetallofullerenes

書誌事項 : Journal of Chemical Physics, Vol. 120, No. 4, P. 1873-1880 (2004)

発表日付 : 20040122

整理番号 : 160303070

著者氏名 : Richard A. J. Woolley, Karina H. G. Schulte, Li Wang, Philip J.
Moriarty, Bruce C. C. Cowie, Hisanori Shinohara, Mito Kanai, and T.
John S. Dennis

論文題名 : Does an Encapsulated Atom 'feel' the Effects of Adsorption?: X-ray
Standing Wave Spectroscopy of $Ce@C_{82}$ on Ag(111)

書誌事項 : Nano Letters, Vol. 4, No. 2, P. 361-364 (2004)

発表日付 : 20040200

整理番号 : 160303065

著者氏名 : 岡崎俊也、篠原久典

論文題名 : フラーレンとカーボンナノチューブ — ナノテクノロジーのフロントラン
ナー—

書誌事項 : ぶんせき, No. 2, P. 66-74 (2004)

発表日付 : 20040200

整理番号 : 160303063

著者氏名 : Toshiki Sugai, Toshiya Okazaki, Hiromichi Yoshida, and Hisanori
Shinohara

論文題名 : Syntheses of single- and double-wall carbon nanotubes by the HTPAD
and HFCVD methods

書誌事項 : New Journal of Physics, Vol. 6, No. 21, P. 1-12 (2004)

発表日付 : 20040209

整理番号 : 160303062

著者氏名 : Atsushi Taninaka , Haruhito Kato, Kazuhiro Shino, Toshiki Sugai,
Yasuhiko Terada, Seiji Heike, Tomihiro Hashizume, and Hisanori
Shinohara

論文題目 : UHV-STM/STS Studies of Endohedral La-metallofullerenes on Hydrogen
Terminated Si(100)2×1

書誌事項 : e-Journal of Surface and Nanotechnology, Vol.2, P.89-92 (2004)

発表日付 : 20040214

整理番号 : 160302043

著者氏名 : K. Sasaki, Y. Kawazoe, and R. Saito

論文題名 : Aharonov-Bohm effect in higher genus materials

書誌事項 : Physics Letters A, Vol.321, No.5/6, P.369-375 (2004)

発表日付 : 20040216

整理番号 : 160303068

著者氏名 : Yutaka Ohno, Shigeru Kishimoto, Takashi Mizutani, Toshiya Okazaki,
and Hisanori Shinohara

論文題名 : Chirality assignment of individual single-walled carbon nanotubes
in carbon nanotube field-effect transistors by micro-photocurrent
spectroscopy

書誌事項 : Applied Physics Letters, Vpl.84, No.8, P.1368-1370 (2004)

発表日付 : 20040223

整理番号 : 160303067

著者氏名 : Andrei N. Khlobystov, Kyriakos Porfyrakis, Mito Kanai, David A.
Britz, Arzhang Ardavan, Hisanori Shinohara, T. John S. Dennis, an
d G. Andrew D. Briggs

論文題名 : Molecular Motion of Endohedral Fullerenes in Single-Walled Carbon
Nanotubes

書誌事項 : Angew. Chem. Int. Ed., Vol.43, P.1386-1389 (2004)

発表日付 : 20040300

整理番号 : 160303071

著者氏名 : Takashi Shimada, Yutaka Ohno, Toshiya Okazaki, Toshiki Sugai,
Kazutomo Suenaga, Shigeru Kishimoto, Takashi Mizutani, Takashi
Inoue, Risa Taniguchi, Nobuyuki Fukui, Hiroshi Okubo, and Hisanori

Shinohara

論文題名 : Transport properties of C_{78} , C_{90} and $Dy@C_{82}$ fullerenes-nanopeapods
by field effect transistors

書誌事項 : Physica E, Vol.21, P.1089-1092 (2004)

発表日付 : 20040300

整理番号 : 160302037

著者氏名 : R. Saito, A. Grueneis, Ge. G. Samsonidze, G. Dresselhaus, M.
S. Dresselhaus, A. Jorio, L. G. Cancado, M. A. Pimenta, and A. G.
Souza Filho

論文題名 : Optical absorption of graphite and single wall carbon nanotubes

書誌事項 : Applied Physics A, Vol.78, P.1099-1105 (2004)

発表日付 : 20040309

整理番号 : 160302028

著者氏名 : A. G. Souza Filho, S. G. Chou, Ge. G. Samsonidze, G. Dresselhaus, M. S.
Dresselhaus, L. An, J. Liu, A. K. Swan, M. S. Dresselhaus, B. B.
Goldberg, A. Jorio, A. Grueneis, and R. Saito

論文題名 : Stokes and anti-Stokes Raman spectra of small diameter isolated
carbon nanotubes

書誌事項 : Physical Review B, Vol.69, P.115428_1-8 (2004)

発表日付 : 20040326

整理番号 : 160303052

著者氏名 : Takashi Shimada, Toshiki Sugai, Yutaka Ohno, Shigeru Kishimoto,
Takashi Mizutani, Hiromichi Yoshida, Toshiya Okazaki, and Hisanori
Shinohara

論文題名 : Double-wall carbon nanotube field-effect transistors: Ambipolar
transport characteristics

書誌事項 : Applied Physics Letters, Vol.84, No.13, P.2412-2414 (2004)

発表日付 : 20040329

整理番号 : 160303061

著者氏名 : Eiji Nishibori, Kenichi Iwata, Makoto Sakata, Masaki Takata,
Hiroshi Tanaka, Haruhito Kato, and Hisanori Shinohara

論文題名 : Anomalous Endohedral Structure of $Gd@C_{82}$ Metallofullerenes

書誌事項 : Physical Review B, Vol.69, No.11, P.13412.1-4 (2004)

発表日付：20040329

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数：4件（CREST研究期間累積件数：4件）