

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008~2010

課題番号：20360145

研究課題名(和文) 高圧下での光重合プロセスによる超機能性フラーレンの創製

研究課題名(英文) Synthesis of Ultra-Functional Fullerenes by Photo-Polymerization Process under High Pressure

研究代表者

山本 寛 (YAMAMOTO HIROSHI)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：90130632

研究成果の概要(和文)：フラーレン結晶、特に液液界面析出 C_{60} 及びそのヨウ素添加物に数GPaの高圧力を印加した後、波長500nm程度の自由電子レーザー(FEL)を照射した。それらはほぼ単相に近い C_{60} ポリマーへと変化した。また、半導体単層カーボンナノチューブ(SWNT)膜の化学気相成長時、共鳴吸収波長のFEL照射を行うことによって、部分的に制御されたカイラルベクトルを持つ半導体SWNTsを選択的に成長させることに成功した。

研究成果の概要(英文)： Fullerene crystals, especially Liquid-Liquid-Interfacial- Precipitation C_{60} and iodine-doped one were irradiated by Free Electron Laser (FEL) with the wavelength of *ca.* 500 nm after the press under high pressure of a few GPa. They were effectively changed into C_{60} polymers with an almost single phase. Furthermore it was demonstrated that the irradiation of FEL with the wavelength of resonance absorption was effective to promote the selective growth of the semiconducting single-walled carbon nanotubes (SWNTs) with partially controlled chiral vectors during the CVD growth of SWNTs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
総計	12,200,000	3,660,000	15,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：フラーレン, 自由電子レーザー, ポリマー, 単層カーボンナノチューブ, 化学的気相蒸着, カイラリティ制御

1. 研究開始当初の背景

(1) C_{60} の光励起によるポリマー化の最初の報告 (A. M. Rao et al, *Science* **259** (1993) 955) から多くの研究者がポリマー化のプロセスや構造、材料特性を研究してきた。フラーレンポリマーの構造は 2+2 付加環化結合に基づいており、1次元状の鎖である斜方晶

相、もしくは2次元平面の四角形や菱面体を含んだ構造として、実験的・理論的に観測されている。ほんのわずかな報告だけが高温高圧の条件下で得られた3次元ポリマーについて論じている。ポリマー化は通常 GPa 級の超高压で圧縮するか、千度以上の高温で熱することで促進される。しかしながら、高温によ

るポリマー化のプロセスは応用するに十分な量のサンプルを得るには適していない。

そこで、我々は高圧下で自由電子レーザー (FEL) の照射を行うことにより 3次元の C₆₀ ポリマーを合成する新たなプロセスを開発してきた。

C₆₀ 粉末を用いた以前の我々の研究 (N. Iwata, S. Ando, R. Nokariya, and H. Yamamoto, *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**(2007)1412) によれば、C₆₀ 粉末分子間距離を縮小し、なおかつ光によるヨウ素から C₆₀ へのホールドープを行えば、波長 500nm の FEL 照射によって効果的に 3次元 C₆₀ のポリマー化が進行することは分かっていた。すでに、宮沢氏らは LLIP 法によるヨウ素ドープされた C₆₀ ウィスカ結晶の成長について報告 (K. Miyazawa and K. Hamamoto, *J. Mater. Res.*, **17** (2002) 2205) している。

本研究では、新たに LLIP 法による C₆₀ 結晶を源材料として取り上げ、光励起によるポリマー化を試みた。

(2) カーボンナノチューブ(CNT)が発見されて依頼、その特徴的な電気的特性、形状・サイズから様々な応用が考えられてきた。特に、単層カーボンナノチューブ(SWNT)は 1枚のグラフェンを円筒状に巻いた物質で、ナノメートルの直径、半導体の性質、高移動度(約 10⁵cm²/V/s)を持つことから、Si 半導体デバイスに取って代わる次世代の基幹素子になることが期待されている。そのためには、SWNT 成長のもととなる金属触媒の直径、成長位置、成長方向、CNTs のカイラリティを制御する必要がある。中でも、カイラリティの制御に成功したという報告はなされていない。

本研究で利用する FEL は、高調波も含めると、0.3~6μm の範囲で波長を選択することができ、パルス幅が数百フェムト秒のマイクロパルスが数十集まり、一つのマクロパルスを構成する。そのため、FEL 照射時に分子を熱的に破壊することなく、分子振動にレーザーエネルギーを効率よく変換できると考えている。

一方、SWNTs の共鳴吸収波長は、その直径とカイラリティに依存することは良く知られている。(M.S.Dresselhaus et al, *Carbon* **40** (2002)2043) 我々は、上記特徴を持つ FEL 照射によって、所望のカイラリティを持つ SWNT を選択的に活性化させ成長促進させることができると考えた。今回、FEL 照射による SWNTs 成長の違いについて、共鳴 Raman 分光結果、及びカイラルマップを用いて検討を加えることとした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、C₆₀あるいはCNTs等のフラーレンに対して、超高圧印加、高エネ

ルギー極短パルスレーザーである FEL 照射を行うことにより、ダイヤモンド的結合による 3次元フラーレンポリマーを合成し、その驚異的特性と応用の可能性を実験的に明らかにするところにある。

より具体的には、次の2つの目的を掲げて本研究を遂行した。(1) LLIP法による C₆₀ 結晶に超高圧を印加し、FEL照射する、新しいポリマー化反応促進プロセスを開発する。(2)CVD法を用いたSWNTs成長時にFEL照射し、均質なカイラリティを持つSWNTsの選択成長を促進できる新規プロセスを開発する。

3. 研究の方法

(1) LLIP法C₆₀を以下の手順で結晶化させた。C₆₀飽和トルエンもしくはキシレンに、イソプロピルアルコール(IPA)もしくはブタノール(BTA)を2層になるようにゆっくり加えた。ヨウ素をドープする場合、ヨウ素をIPAまたはBTAに加えた。その溶液を冷蔵庫内で一週間保存し、結晶成長させた。その後、ろ過してC₆₀の結晶を取り出して溶液を蒸発させ、試料を乾燥させた。

作製したC₆₀LLIP結晶をアンビルにより圧縮した。アンビルピストン面で圧力を調整し、600MPaあるいは約7GPaの圧力が生じるように圧縮を行った。アンビルは真空槽内に設置した。

図1に使用したFELシステムの概略図を示す。照射条件としては、約200fsのマイクロパルスを束ね、約20μs幅のマクロパルスとし、繰り返し周波数2Hzで行った。照射したFELは基本波2000nmの4倍波である500nmである。基本波の最大エネルギーはパルスあたり約30mJ/pulse、照射エネルギー密度は、約1mJ/cm²/pulseである。標準的な照射時間を120分とした。

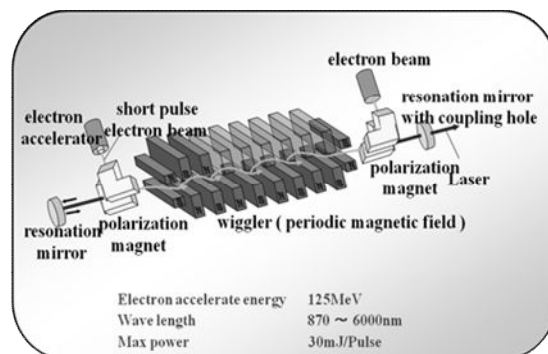


図1 用いた FEL システムの概略図

得られた試料の結晶構造については X 線回折(XRD) (Rigaku RAD-C:X 線源 CuKα1)によっ

で測定・解析し、分子振動解析についてはラマン分光装置(Kaiser Corp.:Holo Lab 5000R)を用いて行った。

(2)SWNTs 成長には、石英基板を用い、アルコール触媒化学的気相成長 (ACCV)法を用いた。触媒溶液は $C_2H_5OH(27ml)$ に $Co(CH_3COO)_2 \cdot 4H_2O(44.5ml, 0.1wt\%)$, $Mo(C_2H_3O_2)_2(84.5mg, 0.1wt\%)$ をそれぞれ 2 時間超音波分散させた溶液を作製した。ディッピングは Mo 溶液について先に行い、続いて Co 溶液でおこなった。

SWNTs は ACCVD 法を用いて成長させた。触媒を成膜した基板をチャンバ内の基板ホルダーにセットし、ロータリーポンプでチャンバ内を約 $1.0 Pa$ にした。 H_2 を $20 ccm$, Ar を $200 ccm$ の流量で導入し、基板ヒーターを $1000 ^\circ C$ まで昇温した。30 分間還元した後、 H_2 , Ar の供給を止めた。 C_2H_5OH を $5000ccm$ 以上の流量で導入し、チャンバ内の圧力を $900Pa$ に保った。30 分間 ACCVD を行った後、 C_2H_5OH の供給を止め、 Ar を $200 ccm$ 流して室温まで降温した。また、FEL は昇温過程から降温過程まで基板に照射した。

照射した FEL 波長は、 $532, 800, 1300, 1350, 1400nm$ とした。共鳴 Raman 散乱による励起波長は $441, 532, 632, 785nm$ である。顕微 Raman 分光装置は $532nm$ の場合、カイザー社製の HoloLab5000R、その他の励起波長では、日本分光株式会社製の NRS-3200 によって振動解析を行った。

4. 研究成果

(1) C_{60} 分子の $Ag(2)$ 振動モードはポリマー化進行度の指標として有効な手法であることは知られている。観測されたラマンピーク変化の特徴として、ブロード化と低エネルギー領域へのシフトは明確であり、試料の多くの部分でポリマー化が進行していた。ポリマー化反応はトルエンよりも m -キシレンを用いた LLIP 結晶でより進行していた。こうしたポリマー化進行度の違いは、結晶構造の違いによってもたらされることが分かった。

光励起により C_{60} 分子からヨウ素への電子移動を誘起させ、 C_{60} 分子にホールをドーピングさせる効果を期待し、ヨウ素を添加した LLIP 試料を作製し、FEL 照射効果を検討した。一例として、図 2 に LLIP 法(o -キシレン/BTA+ I_2)に対して、 $7GPa$ で圧縮した場合の $Ag(2)$ 振動モードのラマンスペクトルにおける FEL 照射変化の結果を示す。

ヨウ素を添加なかった場合、 $7GPa$ 圧縮の後、従来の光励起ポリマーに相当するサブピーク @ $1459cm^{-1}$ が、主ピークより大きな強度で観

測され、FEL 照射すると、主ピーク @ $1469cm^{-1}$ の強度は著しく減少する傾向が観測された。一方、ヨウ素を添加してホールドーピング機構を導入した場合、FEL 照射の後、主ピークが @ $1456cm^{-1}$ へ劇的な低エネルギーシフトを示し、 C_{60} モノマー由来のピーク @ $1469cm^{-1}$ がほとんど消失した。 $Ag(2)$ ピークの完全なシフトは、試料のすべての領域でポリマー化が進行したことを示唆しており、ポリマー単相が形成されたことを意味している。

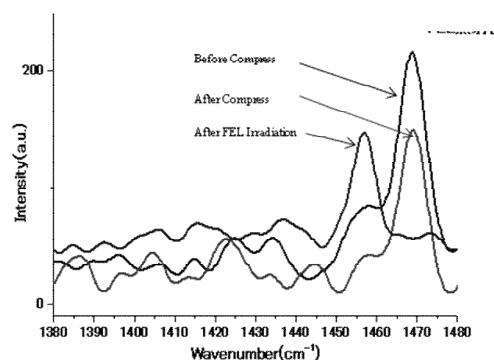


図 2 $Ag(2)$ 振動モードのラマンスペクトル
 o -xylene/BTA+ I_2 で LLIP 法を行い、 $7GPa$ 圧縮前後と FEL 照射後を測定

結論として、LLIP 法は光励起 C_{60} ポリマーを形成する源材料の作製プロセスとして有用であることを示すことが出来た。LLIP 条件の最適化と得られた C_{60} ポリマーの特性解析は今後の課題である。

(2) FEL 未照射の場合、直径が $0.92 \sim 1.41nm$ の SWNTs が成長し、可能なカイラリティは 30 種類となった。そして、金属的と半導体的性質の SWNTs が混在して成長していた。

これに対して、例えば、図 3 に波長 $800nm$ の FEL を照射しながら成長させた SWNTs の低波数領域での Raman 散乱スペクトルを示す。Raman 散乱の励起光 $785nm$ でのみ、RBM ピークを観測した。Raman 結果とカタウラプロット解析した結果をあわせ、合成された SWNTs のカイラリティは、(9,7)、(10,6)、(14,0)、(11,4)、(10,5) の 5 種類に限定され、すべて半導体的となることが分かった。

その他、 $1300, 1350, 1400nm$ の FEL を照射させて成長させた SWNTs のデータも合わせて考察した。 $1400nm$ の FEL を照射した場合も、ほぼ半導体的性質となることも分かった。その他の FEL 波長でも可能なカイラリティ数の減少は確認できた。

結論として、FEL 波長の選択制の最適化を目指す課題は残ったものの、FEL 照射下での

ACCVD 法は、カイラリティが制御され、均一な電気特性をもつ SWNTs を選択的に成長させることのできる有望なプロセスであることが実験的に示された。近い将来、電子デバイス作製に適用出来る、画期的な SWNTs 形成プロセスが開発できるのではないかと期待される。

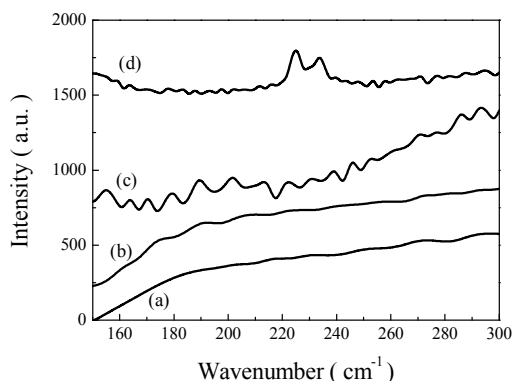


図3 800nm の FEL 照射下で ACCVD 成長させた SWNTs の Raman 散乱スペクトル
励起光の波長は (a) 441 nm, (b) 532nm, (c) 632 nm, (d) 785 nm である。(d) 785nm のみに RBM ピークが現れた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 19 件) (すべて査読有)

1. D. Koide, S. Kato, E. Ikeda, N. Iwata, and H. Yamamoto, Free Electron Laser-Polymerization of C₆₀ Grown by Liquid-Liquid-Interfacial Precipitation Method, *IEICE TRANS. ELECTRON*, **E94-C** (2011) pp.151-156.
2. D. Koide, N. Iwata, and H. Yamamoto, Photo-Polymerization of Hole-Doped C₆₀ Grown by Liquid-Liquid Interfacial Precipitation Method, *Physical Status Solidi*, **8** (2011) pp. 558-560.
3. D. Ishizuka, K. Sakai, N. Iwata, H. Yajima, and H. Yamamoto, Effect of Chirality by the Free Electron Laser Irradiation, *IEEJ, Trans. on Fundamentals and Materials*, **130-A** (2011) pp. 209-212.
4. H. Yamamoto and N. Iwata, C₆₀ Photo-Polymerization using Free Electron Laser, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.*, **35** (2011) pp.461-466.
5. K. Sakai, H. Takeshita, K. Kaneki, H. Yajima, N. Iwata, and H. Yamamoto, Multi-Excitation-Laser Raman Analysis of Chirality-Controlled Single-Walled Carbon Nanotubes with Free Electron Laser Irradiation during Growth, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **50** (2011) 01BJ13.
6. K. Sakai, D. Ishiduka, T. Sonomura, H. Takeshita, K. Kaneki, H. Yajima, N. Iwata, and H. Yamamoto, Free Electron Laser Irradiation Effect on Single-Walled Carbon Nanotube Growth, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.*, **35** (2011) pp.343-346.
7. K. Arii, H. Takahashi 他9名, Electrical resistivity in filled skutterudite La_xRh₄As₁₂ at high pressures, *J. Physics: Conference Series*, **215** (2010) pp.012032-012035.
8. H. Takahashi 他7名, Pressure effect of superconducting oxypnictide LaFeAsO_{1-x}F_x and related materials, *J. Physics: Conference Series*, **215** (2010) pp.012037-012042.
9. T. Kanomata, H. Takahashi 他12名, Magnetic properties of the half-metallic Heusler alloys Co₂VAl and Co₂VGa under pressure, *Phys. Rev. B*, **82** (2010) pp.144415-144421.
10. T. Nakano, H. Takahashi 他5名, Magnetic fluctuations and superconductivity in LaFeAsO_{1-x}F_x under pressure as seen via ⁷⁵As NMR, *Phys. Rev. B*, **82** (2010) pp. 172502-172505.
11. N. Fujiwara, H. Takahashi 他7名, ⁷⁵As-nuclear magnetic relaxation on LaFeAsO_{1-x}F_x under pressure, *Physica C*, **470** (2010) pp. S347-S348.
12. W. Bi, H. Takahashi 他5名, Anomalous He-gas high-pressure studies on superconducting LaO_{1-x}F_xFeAs, *New Journal of Physics*, **12** (2010) pp. 023005-023012.
13. H. Okada, H. Takahashi 他6名, Pressure dependence of the superconductor transition temperature of Ca(Fe_{1-x}Co_x)AsF compounds: A comparison with the effect of pressure on LaFeAsO_{1-x}F_x, *Phys. Rev. B*, **81** (2010) pp. 054507-054511.
14. T. Tanaka, K. Hayakawa 他8名, Performance and Application of FEL and PXR Sources at Nihon University, *AIP Conference Proceedings* **1234** (2010) pp. 587-590.
15. Y. Iio, K. Kurihara, F. Matsuyama, R. Nokariya, N. Iwata, and H. Yamamoto, Photopolymerization of C₆₀ Crystal Synthesized from Organic Solution, *Journal of Physics: Conference Series*, **159** (2009) pp. 012019-012021.
16. H. Takahashi 他5名, Pressure Studies of (La,Sm)FeAsO_{1-x}F_x and LaFePO, *Physica C: Superconductivity*, **469** (2009) pp. 413-417.
17. H. Takahashi 他7名, High-pressure studies on superconductivity in LaFeAsO_{1-x}F_x and SmFeAsO_{1-x}F_x, *Journal of Superconductivity*, **22** (2009) pp. 595-598.
18. H. Okada, H. Takahashi 他3名, Successive phase transitions under high

pressure in FeTe_{0.92}, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **78** (2009) pp. 083709-083712.

19. T. Kawakami, H. Takahashi 他6名, High-Pressure ⁵⁷Fe Mossbauer Spectroscopy of LaFeAsO, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **78** (2009) pp. 123703-123706.

〔学会発表〕 (計 36 件)

1. N. Iwata, and H. Yamamoto, Position and Chirality Control of Single-Walled Carbon Nanotubes, 第20回日本MRS学術シンポジウム, 2010.12.22, 横浜市開港記念会館.

2. S. Kato, D. Koide, E. Ikeda, N. Iwata, and H. Yamamoto, Polymerization of Electron-Doped C₆₀ with Free Electron Laser Irradiation, 第20回日本MRS学術シンポジウム, 2010.12.21, 横浜市開港記念会館.

3. N. Iwata, K. Sakai, S. Doi, H. Takeshita, Y. Tanaka, K. Kaneki, H. Kobayashi, H. Yajima, and H. Yamamoto, Position Selective and Chirality Controlled Single-Walled Carbon Nanotubes Grown on the Surface Treated Substrate Using Free Electron Laser Irradiation, 2010 Materials Research Society (MRS) Fall Meeting, 2010.12.1, Hynes Convention Center, Boston.

4. N. Iwata, D. Koide, S. Kato, E. Ikeda, and H. Yamamoto, Hole or Electron Doped C₆₀ Polymer Using Free Electron Laser Irradiation, 2010 Materials Research Society (MRS) Fall Meeting, 2010.11.29, Hynes Convention Center, Boston.

5. H. Takahashi 他5名, (招待講演) Pressure Effect of Fe-based Superconductor FeSe_{1-x}Te_x and Ca(Fe_{1-x}Co_x)AsF, 5th Asian Conference on High Pressure Research (ACHPR-5), 2010.11.12, くにびきメッセ、松江市.

6. H. Takahashi 他5名, (招待講演) High-pressure studies of iron-based superconductors, 17th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-17), 2010. 9.29, Baku, Azerubaijan.

7. 境, 土肥, 矢島, 岩田, 山本, シンポジウム招待講演: 成長中自由電子レーザー照射による半導体単層カーボンナノチューブのカイラリティ制御, 第71回応用物理学会学術講演会, 2010.9.14, 長崎大学 文教キャンパス.

8. S. Doi, K. Sakai, K. Kaneki, H. Takeshita, N. Iwata, H. Yajima, and H. Yamamoto, Direct Chirality Control of Single-Walled Carbon Nanotubes during Growth with Free Electron Laser Irradiation, 第39回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 2010.9.6, 京都大学百周年記念ホール.

9. S. Kato, D. Koide, E. Ikeda, N. Iwata,

and H. Yamamoto, Polymerization of Electron-Doped C₆₀ with Free Electron Laser Irradiation, 第39回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 2010.9.6, 京都大学百周年記念ホール.

10. K. Sakai, S. Doi, K. Kaneki, H. Yajima, N. Iwata, and H. Yamamoto, Chirality Control of Semiconducting Single Walled Carbon Nanotube by Free Electron Laser Irradiation during Growth, International Union of Materials Research Societies-International Conference on Electric Materials (IUMMRS-ICEM) 2010, 2010.8.23, Seoul, Korea, KINTEX (Korea International Exhibition Center).

11. 小出, 加藤, 池田, 岩田, 山本, 液液界面析出したC₆₀の光励起ポリマー形成, 電子情報通信学会電子部品・材料研究会 (CPM), 2010.7.30, 斜里町 道の駅しやり 会議室.

12. H. Takahashi 他5名, (招待講演) Pressure studies for iron-based superconductor Fe(Se,Te), The International Conference on Quantum Phenomena in Complex Matter (Superstripes 2010), 2010.7.29, Erice, Italy.

13. K. Sakai, H. Takeshita, K. Kaneki, H. Yajima, N. Iwata, and H. Yamamoto, Multi-Excitation-Laser Raman Analysis of Chirality-Controlled Single-Walled Carbon Nanotubes with Free Electron Laser Irradiation during Growth, The 3rd International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies, 2010.6.23, 富山国際会議場.

14. D. Koide, S. Kato, E. Ikeda, N. Iwata, and H. Yamamoto, Free Electron Laser-Polymerization of C₆₀ Grown by Liquid-Liquid-Interfacial Precipitation Method, 第6回国際有機エレクトロニクスシンポジウム (ISOME2010), 2010.6. 11, 千葉大学 西千葉キャンパス けやき会館.

15. D. Koide, N. Iwata, and H. Yamamoto, Photo-Polymerization of Hole-Doped C₆₀ Grown by Liquid-Liquid Interfacial Precipitation Method, The 37th International Symposium on Compound Semiconductors, 2010. 6.02, 高松シンボルタワー.

16. 岩田, 境, 金木, 竹下, 矢島, 山本, 化学気相成長法による単層カーボンナノチューブの作製とカイラリティ分布~ 成膜中自由電子レーザー照射によるカイラリティ制御~, 電子情報通信学会研究会 電子デバイス研究会(ED), 2010.4.22, 伝国の杜, 山形県米沢市.

17. H. Takahashi 他7名, (招待講演) Pressure studies for 1111 and 11 type iron-based superconductors, MRS(Materials

Research Society) Spring Meeting, 2010.4.6, Moscone West ConventionCenter, San Francisco, USA.

18. 山本, 岩田, 栗原, 飯尾, 電気学会全国大会, (シンポジウム) 電極間への溶液からのC₆₀ チューブ直接成長, 2010.3.18, 明治大学駿河台キャンパス.
19. 加藤, 飯尾, 岩田, 山本, 光励起による液中C₆₀ポリマーの合成と電子ドーピング効果, 応用物理学学会春季講演会, 2010.3.17, 東海大学.
20. 小出, 飯尾, 栗原, 岩田, 山本, 液液界面析出法を用いたホールドーピングC₆₀の光励起によるポリマー化, 応用物理学学会春季講演会, 2010.3.17, 東海大学.
21. 境, 石塚, 金木, 矢島, 岩田, 山本, 単層カーボンナノチューブ成長中の自由電子レーザー照射効果, 日本MRS学術シンポジウム, 2009.12.8, 横浜市開港記念会館&横浜情報文化センター.
22. H. Yamamoto and N. Iwata, (招待論文) C₆₀ Photopolymerization using Free Electron Laser, 日本MRSの創立20周年記念シンポジウム, 2009.12.6, 横浜情報文化センター.
23. 中野, 高橋 他6名, 高圧下におけるLaFeAsO_{1-x}F_x(x=0.05)のAs核NMR, 日本物理学会第64回年次大会, 2009.9.27, 熊本大学.
24. 河嶋, 高橋 他4名, 鉄系超伝導体のSTM/STS, 日本物理学会第64回年次大会, 2009.9.27, 熊本大学.
25. 高橋, 高橋 他3名, Fe(Se_{1-x}Te_x)_yの高圧下電気抵抗測定, 日本物理学会第64回年次大会, 2009.9.27, 熊本大学.
26. 岡田, 高橋 他4名, FeTe_{0.92}の高圧下粉末X線回折, 日本物理学会第64回年次大会, 2009.9.27, 熊本大学.
27. 岩田, 石塚, 境, 園村, 竹下, 金木, 矢島, 山本, 自由電子レーザー照射により制御されたSWNTのカイラリティ, 応用物理学学会学術講演会, 2009.9.8, 富山大学.
28. H. Okada, H. Takahashi 他6名, Effect of high pressure on superconductivity in Co-doped CaFeAsF, 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M²S2009), 2009.9.7, 京王プラザホテル、東京.
29. Y. Kawashima, H. Takahashi 他7名, Electron tunneling using STM/STS on iron-based oxypnictides, 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M²S2009), 2009.9.7, 京王プラザホテル、東京.
30. H. Takahashi 他4名, Pressure effect of superconducting oxypnictide SmFeAsO_{1-x}F_x and LaFeAsO_{1-x}F_x, 9th International Conference on Materials and Mechanisms of

Superconductivity (M²S2009), 2009.9.7, 京王プラザホテル、東京.

31. 岩田, 石塚, 境, 園村, 竹下, 金木, 矢島, 山本, 可視及び近赤外自由電子レーザー励起による単層カーボンナノチューブの成長中カイラリティ制御, 電子情報通信学会電子部品・材料研究会, 2009.8.10, 弘前大学.
32. 境, 石塚, 金木, 矢島, 岩田, 山本, 自由電子レーザー照射による単層カーボンナノチューブの成長中カイラリティ制御, 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会, 2009.7.23, (財)加藤科学振興会軽井沢研修所.
33. H. Yamamoto, D. Ishizuka, N. Iwata, K. Sakai, K. Uchida, and H. Yajima, Possibility of SWNT Chirality Control by Free Electron Laser Irradiation during Alcohol Catalytic Chemical Vapor Deposition, ICMAT & IUMRS-ICA 2009, 2009.6.31, Suntec Singapore.
34. 境, 石塚, 岩田, 山本, FEL照射による半導体SWNTのカイラリティ制御, 応用物理学関係連合講演会, 2009.4.2, 筑波大学.
35. H. Takahashi 他4名, (招待講演) Pressure effect of superconducting oxypnictide RFeAsO_{1-x}F_x (R=La,Sm) and related materials, Study of Matter at Extreme Conditions (SMEC2009), 2009.4.1, On the Caribbean Sea.
36. 野苺家, 蜂谷, 岩田, 山本, 自由電子レーザー照射によるC₆₀ポリマーの合成, 電気学会全国大会, 2009.3.18, 北海道大学.

[図書] (計1件)

1. 山本 他, オーム社, 「マイクロ・ナノ領域の超精密技術」, 2011, 374頁.

[その他]

ホームページ等

<http://yamanoya.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 寛 (YAMAMOTO HIROSHI)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号: 90130632

(2) 研究分担者

岩田 展幸 (IWATA NOBUYUKI)
日本大学・理工学部・講師
研究者番号: 20328686
(H21&H22 研究分担者)
高橋 博樹 (TAKAHASHI HIROKI)
日本大学・文理学部・教授
研究者番号: 80188044
早川 建 (HAYAKAWA KEN)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号: 00130584