

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成23年度)

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	超高性能インクジェットプリンテッドエレクトロニクス
研究機関・ 部局・職名	早稲田大学・理工学術院・准教授
氏名	竹延 大志

1. 当該年度の研究目的

平成 23 年度における研究目的・研究項目は

(1)IJ 法に関する基盤技術確立

自己組織化単分子膜を製膜した基板を準備し、メタルマスクを用いて部分的な脱離を行う。さらに、SWCNT や有機分子を IJ 法により滴下し、分離した SWCNT を用いた配線やトランジスタを作製する。

(2)デバイス自体の高性能化技術確立

SWCNT 薄膜トランジスタへのドーピングおよびトランジスタ極性の制御を行う。加えて、単結晶発光トランジスタに共振器構造を導入する。

(3)両者を組み合わせた高性能実デバイスの全構成要素の IJ 法作製

気相成長単結晶と IJ 法で作製した SWCNT 配線の組み合わせでトランジスタを作製する。

以上の研究項目を目的とし研究を推進した。

2. 研究の実施状況

(1)IJ 法に関する基盤技術確立

メタルマスクと紫外線照射装置を用いて、自己組織化単分子膜加工を施した基板上でのパターニングされた SWCNT 薄膜の作製に成功した。特に、金属・半導体分離された SWCNT を用いた金属膜および半導体膜の作製に成功し、IJ 法による素子作製が可能となる。また、各種有機半導体に対しても同様の実験を進めている。更に、当初平成 24 年度の目標としていたフォトマスクを用いたパターニングにも一部成功した。

(2)デバイス自体の高性能化技術確立

まず、SWCNT に対して N 型ドーパントとして報告されている各種材料を用いたトランジスタの極性制御に成功した。特に、N型ドーパントをインクとして用いた印刷法によるドーピングに成功し、位置選択的なドーピングによるしきい値制御やインバーター作製の基礎を構築した。また、単結晶トランジスタにおいては、新しい接触抵抗評価方法を確立し、電子側接触抵抗の影響を明らかにした。その上で、中間層の導入による障壁低減と、レーザーエッチングによる電流狭窄構造の導入による、従来の最高値を一桁上回る極めて大きな電流密度を実現した。また、結晶端面ファブリペロ構造が光学特性に与える影響も明らかにした。

(3)両者を組み合わせた高性能実デバイスの全構成要素の IJ 法作製

上記 2 項目の成果により、IJ 法で作製した電極と気相法成長の単結晶を用いたトランジスタ作製を行った。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 14 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 11 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. p-i-n Homojunction in Organic Light-Emitting Transistors S. Z. Bisri, <u>T. Takenobu</u>, K. Sawabe, S. Tsuda, Y. Yomogida, T. Yamao, S.Hotta, C. Adachi, Y. Iwasa Advanced Materials, 23, 24,2753–2758, 2011 2. Electrochromic Carbon Electrodes: Controllable Visible Color Changes in Metallic Single-Wall Carbon Nanotubes Kazuhiro Yanagi, Rieko Moriya, Yohei Yomogida, <u>Taishi Takenobu</u>, Yasuhisa Naitoh, Takao Ishida, Hiromichi ,Kataura, Kazuyuki Matsuda, Yutaka Maniwa Advanced Materials, 23,25, 2811–2814, 2011 3. Thermally and Environmentally Stable Carrier Doping Using a Solution Method in Carbon Nanotube Films Yorihiko Sasaki, Haruya Okimoto, Kenji Yoshida, Yasuichi Ono, Yoshihiro Iwasa, and <u>Taishi Takenobu</u> Applied Physics Express, 4, 085102, 2011 4. Electrical investigation of the interface band structure in rubrene single-crystal/nickel junction Yuta Kitamura, Eiji Shikoh, Satria Zulkarnaen Bisri, <u>Taishi Takenobu</u> and Masashi Shiraiishi Applied Physics Letters, 99,4,043505, 2011 5. Electron Spin Resonance Study of Interface Trap States and Charge Carrier Concentration in Rubrene Single-Crystal Field-Effect Transistors Masaki Tsuji, Norimichi Arai, Kazuhiro Marumoto, Jun Takeya, Yukihiro Shimoi, Hisaaki Tanaka, Shin-ichi Kuroda, <u>Taishi Takenobu</u> and Yoshihiro Iwasa Applied Physics Express, 4, 8,085702, 2011 6. Inkjet Printing of Carbon Nanotube Complementary Inverters Satoki Matsuzaki, Yuki Nobusa, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, and <u>Taishi. Takenobu</u> Applied Physics Express,4,10,105101,2011 7. Enhancement of luminescence intensity in TMPY/perylene co-single crystals Jinpeng Li, Shinya Takaishi, Naohiro Fujinuma, Katsutoshi Endo, Masahiro Yamashita, Hiroyuki Matsuzaki, Hiroshi Okamoto, Kosuke Sawabe, <u>Taishi. Takenobu</u> and Yoshihiro Iwasa Journal of Materials Chemistry,21,44,17662,2011 8. Inkjet printing of single-walled carbon nanotube thin-film transistors patterned by surface modification Yuki Nobusa, Yohei Yomogida, Satoki Matsuzaki, Kazuhiro Yahagi, Hiromichi Kataura, and <u>Taishi Takenobu</u> Applied Physics Letters, 99,18,183106,2011 9. Extraction of the contact resistance from the saturation region of rubrene single-crystal transistors Masaki Imakawa, Kosuke Sawabe, Yohei Yomogida, Yoshihiro Iwasa and <u>Taishi Takenobu</u> Applied Physics Letters, 99, 23,233301,2011 10. Electrical transport properties in a single-walled carbon nanotube network Karim Snoussi, Amin Vakhshouri, Haruya Okimoto, <u>Taishi Takenobu</u>, Yoshihiro Iwasa, Shigeo Maruyama, Katsushi Hashimoto, Yoshiro Hirayama physica status solidi(c) ,9,2,183,2012 11. Maximizing Field-Effect Mobility and Solid-State Luminescence in Organic Semiconductors Afshin Dadvand, Dr. Andrey G. Moiseev, Kosuke Sawabe, Wei-Hsin Sun, Dr. Brandon Djukic, Insik Chung, <u>Prof. Taishi Takenobu</u>, Prof. Federico Rosei, Prof. Dmitrii F. Perepichka Angewandte Chemie, 51,16,3837,2012 <p>(未掲載 計 3 件)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fine Patterning of Inkjet-Printed Single-Walled Carbon-Nanotube Thin-Film Transistors, Yuki Nobusa, Yuki Takagi, Shota Gocho, Satoki Matsuzaki, Kazuhiro Yanagi, and <u>Taishi Takenobu</u>, Japanese Journal of Applied Physics 2. Continuous Electron Doping of Single-Walled Carbon Nanotube Films Using Inkjet Technique,
------------------------	--

	<p>Satoki Matsuzaki, Yuki Nobusa, Ryo Shimizu, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, and <u>Taishi Takenobu</u>, Japanese Journal of Applied Physics</p> <p>3. Ambipolar organic single-crystal transistors based on ion gels, Yohei Yomogida, Jiang Pu, Hidekazu Shimotani, Shimpei Ono, Shu Hotta, Yoshihiro Iwasa, and <u>Taishi Takenobu</u>, <u>Advanced Materials</u></p>
<p>会議発表 計 57 件</p>	<p>専門家向け 計 53 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 竹延大志(招待講演)、カーボンナノチューブを用いたプリントドエレクトロニクス、東京、2011/5/20、化学工学会反応工学部会 CVD 反応分科会 ミニシンポジウム 2. 竹延大志(招待講演)、カーボンナノチューブを用いたプリントドエレクトロニクス、大阪、2011/6/24、(財)大阪科学技術センター 技術開発委員会 第1回カーボンナノ材料研究会 3. Taishi Takenobu(Invited), Printable and Flexible Carbon-Nanotube Film Transistors, Daejeon(Korea), 2011/6/30, Asia Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of advanced semiconductor devices 2011(AWAD 2011) 4. Taishi Takenobu(Invited), Carbon-Nanotube Printed Electronics, Kyoto, 2011/7/12, The 18th International Workshop on Active -Matrix Flat panel Displays and Devices (AM-FPD'11) 5. 竹延大志(招待講演)、カーボンナノチューブを用いた printed electronics、東京、2011/7/22、IEEE CPMT Society Japan Chapter/IMSI ヘテロウエハ接合によるSD集積化研究会 6. 竹延大志(招待講演)、有機発光トランジスタとレーザー素子作製の試み、東京、2011/7/25、高分子同友会 7. 竹延大志(招待講演)、パイ電子材料トランジスタの新展開、仙台、2011/7/29、固体材料における電界効果の物理と応用の進展 第二回若手ミニワークショップ 8. 竹延大志(招待講演)、Carbon Nano-tube printed electronics、京都、2011/7/30、複合素材シンポジウム 9. 竹延大志、共振器構造を有する単結晶発光トランジスタ、山形、2011/8/30、第72回応用物理学会学術講演会 10. 澤部宏輔、竹延大志他、両極性単結晶発光トランジスタにおける電流狭窄、山形、2011/8/30、第72回応用物理学会学術講演会 11. 蓬田陽平、竹延大志他、イオンゲルを用いた発光トランジスタへの大電流注入、山形、2011/8/30、第72回応用物理学会学術講演会 12. 今川雅貴、竹延大志他、有機トランジスタの飽和領域における接触抵抗評価、山形、2011/8/30、第72回応用物理学会学術講演会 13. 竹延大志他、イオンゲルを用いた RR-P3HT 薄膜トランジスタの電子スピン共鳴、山形、2011/9/1、第72回応用物理学会学術講演会 14. 竹延大志他、金属型単層カーボンナノチューブによるレアメタルフリーエレクトロクロミック素子の開発、山形、2011/9/2、第72回応用物理学会学術講演会 15. 竹延大志他、直径 1.4 mm 近傍の単層カーボンナノチューブにおける直径・半金分離、東京、2011/9/5、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 16. 竹延大志他、金属・半導体分離 SWNT 薄膜の1次元伝導特性、富山、2011/9/21、日本物理学会 2011 年秋季大会 17. 竹延大志、共振器構造を有した単結晶発光トランジスタ、富山、2011/9/22、日本物理学会 2011 年秋季大会 18. 蓬田 陽平、竹延大志他、イオンゲルを用いた発光トランジスタ、富山、2011/9/22、日本物理学会 2011 年秋季大会 19. 竹延大志他、イオンゲルを用いた高分子薄膜トランジスタの電場誘起 ESR、富山、2011/9/22、日本物理学会 2011 年秋季大会 20. 竹延大志他、有機電界効果トランジスタの動作状態における電場誘起キャリアの ESR 観測、富山、2011/9/22、日本物理学会 2011 年秋季大会 21. 竹延大志(招待講演)、構造制御された発光トランジスタ、東京、2011/9/27、日本学術振興会 情報科学用有機材料第142委員会「有機光エレクトロニクス部会 第46回研究会」 22. 竹延大志、共振器構造を有した発光トランジスタ、岡山、2011/9/28、第60回高分子討論

	<p>会</p> <p>23. Yohei Yomogida, Taishi Takenobu, et al. Single-walled Carbon Nanotube Transistors using Ion-gel, Kyoto, 2011/10/26, 24th International Microprocesses and Nanotechnology Conference</p> <p>24. Yuki Nobusa, Taishi Takenobu, et al. Inkjet Printing of CNT-TFTs Patterned by Surface Modification, Kyoto, 2011/10/26, 24th International Microprocesses and Nanotechnology Conference</p> <p>25. Satoki Matsuzaki, Taishi Takenobu, et al. Carbon Nanotube Inverter using Inkjet Method, Kyoto, 2011/10/26, 24th International Microprocesses and Nanotechnology Conference</p> <p>26. Taishi Takenobu(Invited), Organic Single-Crystal Light-Emitting Transistors toward Organic Laser Devices, Osaka, 2011/11/2, Fourth International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology</p> <p>27. 竹延大志(招待講演)、カーボンナノチューブトランジスタの新展開、東京、2011/11/9、応用物理学会 応用電子物性分科会研究例会</p> <p>28. 竹延大志(招待講演)、カーボン材料を用いたトランジスタ、東京、2011/11/11、電子情報技術部会 次世代エレクトロニクス分科会 技術セミナー「次世代 TFT 材料の基礎」</p> <p>29. 竹延大志(招待講演)、レーザートランジスタへの挑戦、東京、2011/12/15、さきがけ 公開シンポジウム</p> <p>30. 竹延大志、Carbon-Nanotube Film Electronics、神奈川、2011/12/20、第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム</p> <p>31. Taishi Takenobu(Invited), Inkjet printing of carbon nanotube thin-film transistors, Lisbon,Portogul,2012/1/30, 8th International Thin-Film Transistor Conference</p> <p>32. 竹延大志、トランジスタの新潮流、東京、2012/2/15、第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム</p> <p>33. 竹延大志、インクジェット法を用いたナノチューブエレクトロニクス、東京、2012/2/23、JOEM アカデミー2011</p> <p>34. 蓬田陽平、竹延大志他、高性能フレキシブル SWCNT トランジスタ、東京、2012/3/6、第 42 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</p> <p>35. 竹延大志他、インクジェット法を用いた分離チューブトランジスタの作製、東京、2012/3/7、第 42 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</p> <p>36. 高木勇樹、竹延大志他、インクジェット法を用いた微細カーボンナノチューブ薄膜、東京、2012/3/7、第 42 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</p> <p>37. 河合将利、竹延大志他、分子内包可能な単層カーボンナノチューブの単一カイラリティ精製、東京、2012/3/7、第 42 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</p> <p>38. 工藤光、竹延大志他、結晶状単層カーボンナノチューブ集合体の創製、東京、2012/3/8、第 42 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</p> <p>39. 清水諒、竹延大志他、インクジェット法を用いたカーボンナノチューブの連続的電子ドーピング、東京、2012/3/8、第 42 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</p> <p>40. 辻大毅、竹延大志他、イオンゲルを用いた RR-P3HT 薄膜トランジスタの電子スピン共鳴(2)、東京、2012/3/15、第 59 回 応用物理学関係連合後援会</p> <p>41. 北村 雄太、竹延大志他、ルブレ単結晶と強磁性 Ni 界面への電子受容体挿入によるショットキーバリアの低減、東京、2012/3/16、第 59 回 応用物理学関係連合後援会</p> <p>42. 今川雅貴、竹延大志他、両極性有機単結晶トランジスタの高効率化、東京、2012/3/17、第 59 回 応用物理学関係連合後援会</p> <p>43. 坂上知、竹延大志他、高分子 LEC による有機半導体レーザーの検討、東京、2012/3/17、第 59 回 応用物理学関係連合後援会</p> <p>44. 河合将利、竹延大志他、単層カーボンナノチューブの単一カイラリティ精製、東京、2012/3/17、第 59 回 応用物理学関係連合後援会</p> <p>45. 蓬田陽平、竹延大志他、イオンゲルを用いた高性能半導体 SWCNT トランジスタ、東京、2012/3/17、第 59 回 応用物理学関係連合後援会</p> <p>46. 牛腸翔太、竹延大志他、発光トランジスタにおけるキャリア閉じ込め構造の導入、兵庫、2012/3/24、日本物理学会 第 67 回年次大会</p> <p>47. 丸山健一、竹延大志他、回折格子構造を持つ有機単結晶発光トランジスタ、兵庫、2012/3/24、日本物理学会 第 67 回年次大会</p> <p>48. 蓬田陽平、竹延大志、イオンゲルを用いた電気二重層トランジスタのインピーダンス解析、兵庫、2012/3/24、日本物理学会 第 67 回年次大会</p> <p>49. 松崎怜樹、竹延大志他、インクジェット法によって作製した半導体ナノチューブトランジスタ</p>
--	--

様式19 別紙1

	<p>のキャリア伝導機構、兵庫、2012/3/24、日本物理学会 第 67 回年次大会</p> <p>50. 野房勇希、竹延大志他、イオンゲルを用いた高性能カーボンナノチューブ厚膜トランジスタ、兵庫、2012/3/25、日本物理学会 第 67 回年次大会</p> <p>51. 工藤光、竹延大志他、結晶状単層カーボンナノチューブ集合体の作製とその物性、兵庫、2012/3/25、日本物理学会 第 67 回年次大会</p> <p>52. 丸本一弘、竹延大志他、イオンゲルを用いた有機トランジスタの高電荷密度状態の ESR 研究、兵庫、2012/3/25、日本物理学会 第 67 回年次大会</p> <p>53. 蒲江、竹延大志他、イオンゲルを用いた単結晶両極性電気二重層トランジスタ、兵庫、2012/3/25、日本物理学会 第 67 回年次大会</p> <p>一般向け 計 4 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 竹延大志、新しいエレクトロニクス～Flexible, printable and Light-Emitting～、大阪、2011/7/19、大阪大学 基礎工学研究科(特別講義) 2. 竹延大志、新しいエレクトロニクス、東京、2011/9/28、早稲田大学高等学院 特別講義 3. 竹延大志、カーボンナノチューブを印刷する、大阪、2011/11/26、応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会 大阪市立科学館「印刷エレクトロニクスー未来の電子技術」(市民講座) 4. 竹延大志、新しいエレクトロニクス、静岡、2011/12/9、高校訪問(静岡聖光学院高等学校)
<p>図書</p> <p>計 1 件</p>	<p>竹延大志他 計 27 名、フレキシブルエレクトロニクスデバイスの開発最前線～アンビエント社会を実現するキーデバイスの開発現状と応用展開～、エヌ・ティー・エス、2011、258 ページ、ISBN:9784860433796</p>
<p>産業財産権 出願・取得状況</p> <p>計 0 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 0 件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://www.f.waseda.jp/takenobu/first.html</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>○印刷するエレクトロニクス、2011 年 8 月 7 日、早稲田大学 西早稲田キャンパス、一般、50 名程度、インクジェット法を用いた SWCNT トランジスタに関して</p> <p>○新しいエレクトロニクス、2011 年 9 月 28 日、早稲田大学高等学院、高校生、50 名程度、インクジェット法を用いた SWCNT トランジスタや発光する有機トランジスタに関して</p> <p>○新しいエレクトロニクス、2011 年 12 月 9 日、静岡聖光学院高等学校、中高生、50 名程度、インクジェット法を用いた SWCNT トランジスタや発光する有機トランジスタに関して</p> <p>○カーボンナノチューブを印刷する、2011 年 11 月 26 日、大阪市立科学館、一般、20 名程度、インクジェット法を用いた SWCNT トランジスタに関して</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計 2 件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1、日本経済新聞朝刊、2011 年 10 月 10 日、013 ページ:LSI の素子 印刷で作製 2、日経産業新聞、2011 年 10 月 4 日、9 ページ:カーボンナノチューブ 電気3倍流れやすく
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	126,000,000	56,000,000	0	70,000,000	0
間接経費	37,800,000	16,800,000	0	21,000,000	0
合計	163,800,000	72,800,000	0	91,000,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未取利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	55,462,577	0	0	55,462,577	55,371,813	90,764	0
間接経費	16,800,000	0	0	16,800,000	16,759,508	40,492	0
合計	72,262,577	0	0	72,262,577	72,131,321	131,256	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	48,884,768	下記機械装置、薬品、実験器具・補助具、等
旅費	1,940,085	研究調査、学会参加
謝金・人件費等	2,245,000	研究補助者3名人件費
その他	2,301,960	装置器具修繕、モールド製作、学会参加、英文校正、 事務系担当者派遣費、他
直接経費計	55,371,813	
間接経費計	16,759,508	
合計	72,131,321	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
誘電体測定システム	125296WB2S	1	5,347,125	5,347,125	2011.6.21	早稲田大学
3ゾーン管状炉	ARF3-600-20KC AC100V	1	843,150	843,150	2011.7.7	早稲田大学
Power Device Analyzer	B5150A	1	6,030,150	6,030,150	2011.8.31	早稲田大学
InGaAs検出器	DU490A-1.7型	1	3,122,438	3,122,438	2011.9.14	早稲田大学
CCD検出器	DU420A-BV型	1	5,299,875	5,299,875	2011.9.14	早稲田大学
冷却システム	UT2040U60W	1	563,325	563,325	2011.9.16	早稲田大学
デュアルチャンネル・ システム・ソースメータ	2612A	1	954,450	954,450	2011.9.26	早稲田大学
エレクトロメータ	6514/J	1	645,225	645,225	2011.9.26	早稲田大学
スピコーター	SC-205	1	514,500	514,500	2011.10.24	早稲田大学

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
インクジェット卓上 実験装置	LaboJet-1000W	1	8,788,500	8,788,500	2011.11.4	早稲田大学
日立超遠心機	9023082M P50VT2	1	1,764,000	1,764,000	2011.11.10	早稲田大学
超音波熱圧着ウェッジ ワイヤーボンダー	WBP-1147	1	3,465,000	3,465,000	2011.12.2	早稲田大学
真空蒸着装置	SVC- 700TMSG/7PS10	1	4,291,150	4,291,150	2011.12.2	早稲田大学