

課題番号	GR088
------	-------

**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 24 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・先進理工学部・教授
氏名	竹延 大志

1. 当該年度の研究目的

<p>平成24年度は、以下の3項目における研究目的に沿って研究を推進した。</p> <p>(1)IJ 法に関する基盤技術確立 これまでに確立した SWCNT 薄膜の微細加工技術を金属・半導体分離した SWCNT に拡張し、機能性薄膜の作製および高性能デバイス化を進める。加えて、有機分子溶液滴下による、結晶性薄膜作製を試みる。</p> <p>(2)デバイス自体の高性能化技術確立 これまでに確立したドーピング技術を用いてインバーター作製に着手する。 加えて、共振器構造を導入した単結晶発光トランジスタへ高電流密度実現技術および低温実験を組み合わせ、電流励起による Amplified Spontaneous Emission に挑戦する。</p> <p>(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。</p>
--

2. 研究の実施状況

<p>(1)IJ 法に関する基盤技術確立 本研究項目では、前年度までに確立した SWCNT 微細加工技術を基にする予定であったが、インクジェット法を用いた SWCNT 構造体作製技術とは異なり親水・疎水界面を用いた新しい方法を確立する事に成功した。本手法では、より大きな構造体の作製が可能となり、本質的な伝導特性の評価などを行う事に成功している。デバイス作製にも成功しており、高い易動度 (>10cm²/Vs) の観測にも成功している。一方、有機材料を用いた結晶成長に関しては、他グループから多くの手法が報告されており、それらを採用する。</p> <p>(2)デバイス自体の高性能化技術確立 本研究項目では、これまでにポリイミドを用いたドーピング技術を確立していたが、さらに発展させてポリイミドとイオンゲルを組み合わせたトランジスタ作製およびインバーター作製に成功した。これにより、sub-threshold の大幅な改善に成功し、これまで1を大きく下回っていたゲインを 8 まで引き上げる事に成功した。これは、インバーターの連結による増幅が可能である事を意味しており、リングオシレーターへの道筋を示すことが出来た。また、有機単結晶では回折格子を導入したトランジスタは表面への欠陥導入の為、大幅に発光特性が劣化する問題が生じた。しかしながら、加工プロセスの最適化により、最終的には、共振器構造を導入した単結晶発光トランジスタ実現に成功した。同時に、高電流密度実現技術および</p>
--

様式19 別紙1

低温実験との組み合わせを進めており、引き続き電流励起による Amplified Spontaneous Emission に挑戦する。

(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のトランジスタ試作を行った。一応の素子駆動は確認されたが、残念ながら特性には問題が見受けられた。これは、印刷による基板表面の汚染が、結晶に影響を与えるためである。一方で、有機半導体トランジスタに比べ十分優れたSWCNTトランジスタ作製技術確立に成功した為、これらを組み合わせたトランジスタ印刷法のみを用いた回路作製に成功した。他技術の組み合わせによる、IJ法を用いたリングオシレーターなどの大規模論理回路素子作製の基盤が確立されたとと言える。

3. 研究発表等

雑誌論文	(掲載済み一査読有り) 計10件
計10件	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ambipolar organic single-crystal transistors based on ion-gels Yohei Yomogida, Jiang Pu, Hidekazu Shimotani, Shimpei. Ono, Shu Hotta, Yoshihiro Iwasa, <u>Taishi Takenobu</u> Advanced Materials, 24(32), 4392-4397, 2012/8/22 2. Optically pumped amplified spontaneous emission in an ionic liquid-based polymer light-emitting electrochemical cell Tomo Sakanoue, Kosuke Sawabe, Yohei Yomogida, <u>Taishi Takenobu</u>, Shiro Seki, and Shimpei Ono, Applied Physics Letters, 100(26), 263301, 2012/6/25 3. 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, 51(6), 06FD15, 2012/6/20 4. Continuous Electron Doping of Single-Walled Carbon Nanotube Films Using Inkjet Technique Satoki Matsuzaki, Yuki Nobusa, Ryo Shimizu, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, and <u>Taishi Takenobu</u> Japanese Journal of Applied Physics, 51, 06FD18, 2012/6/20 5. Highly Flexible MoS₂ Thin-Film Transistors with Ion Gel Dielectrics Jiang Pu, Yohei Yomogida, Keng-Ku Liu, Lain-Jong Li, Yoshihiro Iwasa, and <u>Taishi Takenobu</u> NANO Letters, 12(8), 4013-4017, 2012/7/16 6. Realization of ohmic-like contact between ferromagnet and rubrene single crystal Yuta Kitamura, Eiji Shikoh, Kosuke Sawabe, <u>Taishi Takenobu</u>, and Masashi Shiraishi Applied Physics letters, 101(7), 73501, 2012/8/13 7. Current-Confined Structure and Extremely High Current Density in Organic Light-Emitting Transistors Kosuke Sawabe, Masaki Imakawa, Masaki Nakano, Takeshi Yamao, Shu Hotta, Yoshihiro Iwasa, and <u>Taishi Takenobu</u> Advanced Materials, 24(46), 6141-6146, 2012/12/4 8. Optical Signature of Charge Transfer in n-Type Carbon Nanotube Transistors Doped with Printable Organic Molecules Ryo Shimizu, Satoki Matsuzaki, Kazuhiro Yanagi, <u>Taishi Takenobu</u> Applied Physics express, 5(12), 125102, 2012/11/21 9. Organic Single-Crystal Light-Emitting Transistor Coupling with Optical Feedback Resonators Satria Zulkarnaen Bisri, Kosuke Sawabe, Masaki Imakawa, Kenichi Maruyama, Takeshi Yamao, Shu Hotta, Yoshihiro Iwasa & Taishi Takenobu Scientific Reports, 2, 985, 2012/12/17 10. Electron spin resonance observation of charge carrier concentration in organic field-effect transistors during device operation Hisaki Tanaka, Masataka Hirate, Shun-ichiro Watanabe, Kazuaki Kaneko, Kazuhiro Marumoto, <u>Taishi Takenobu</u>, Yoshihiro Iwasa, and Shin-ichi Kuroda PHYSICAL REVIEW B, 87(4), 45309, 2013/1/18

様式19 別紙1

	<p>11. Electron Spin Resonance Study of Organic Interfaces in Ion Gel-Gated Rubrene Single-Crystal Transistors Yuki Takahashi, Masaki Tsuji, Yohei Yomogida, <u>Taishi Takenobu</u>, Yoshihiro Iwasa, and Kazuhiro Marumoto Applied Physics Express, 6, 41603, 2013</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 48 件</p>	<p>専門家向け 計 48 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Masaki Imakawa, <u>Taishi Takenobu</u>, et al., Extremely High Current Density in Ambipolar Organic Single-Crystal Light-emitting Transistor, USA, 2012/4/11, 2012 MRS Spring Meeting & Exhibit 2. Hidekazu Shimotani, <u>Taishi Takenobu</u>, et al., One-dimensional Nature in Transport Property of SWNT Thin Film Electrochemical Transistor, USA, 2012/4/11, 2012 MRS Spring Meeting & Exhibit 3. <u>Taishi Takenobu</u>(Invited), Inkjet-printing of Single-walled Carbon-nanotube Thin-film Transistors, USA, 2012/4/12, 2012 MRS Spring Meeting & Exhibit 4. Yohei Yomogida, <u>Taishi Takenobu</u>, et al., Light-emitting Organic Single-crystal Transistors Using Ion-gel, USA, 2012/4/12, 2012 MRS Spring Meeting & Exhibit 5. Satoki Matsizaki, <u>Taishi Takenobu</u>, et al., Single-walled Carbon Nanotube Thin Film Transistor Using Ink-jet Technique to Pattern Metallic, Semiconducting, and Insulating Inks, USA, 2012/4/12, 2012 MRS Spring Meeting & Exhibit 6. <u>竹延大志</u>(招待講演)、有機レーザートランジスタ、茨城、2012/5/25、第 3 回つくばグリーンイノベーションフォーラム 7. <u>Taishi Takenobu</u> (Invited) , Organic Single-crystal Light-emitting Transistors,China,2012/6/8, Advanced Materials 2012 8. <u>Taishi Takenobu</u>, Yohei Yomogida, et al., Inkjet Printing of High-Performance and Ultra-Flexible Single-Walled Carbon-Nanotube Transistors,Australia,2012/6/27,NT12 9. <u>Taishi Takenobu</u>, Jiang Pu, et al., Highly Flexible MoS2 Thin-Layers Transistor with Ion Gel Dielectrics, Australia,2012/6/28,NT12 10. Shota Gotyo, <u>Taishi Takenobu</u>, et al., Exciton confinement structure in organic light-emitting transistors, 東京,2012/9/7,ICFPE2012 11. Kenichi Maruyama, <u>Taishi Takenobu</u>, et al., Light-emitting organic crystal transistors with distributed feedback structures,東京,2012/9/7,ICFPE2012 12. <u>Taishi Takenobu</u>(Invited), Ion -gel transistors for gel transistors for flexible, stretchable ,and high -performance applications,東京,2012/9/10,EDLT TOKYO 13. 今川雅貴,<u>竹延大志</u> 他, コオリゴマー材料のトランジスタ特性,愛媛,2012/9/12,秋季 第 73 回応用物理学会 14. 高橋優貴, <u>竹延大志</u> 他, イオンゲルを用いたルブレン単結晶電気二重層トランジスタの電子スピン共鳴によるマイクロ評価, 愛媛,2012/9/12,秋季 第 73 回応用物理学会 15. 松本大佑, <u>竹延大志</u> 他, イオンゲルを用いた半導体カーボンナノチューブ薄膜電気二重層トランジスタの電子スピン共鳴によるマイクロ評価, 愛媛,2012/9/12,秋季 第 73 回応用物理学会 16. 丸山建一, <u>竹延大志</u> 他, ナノインプリント法による有機単結晶の微細加工, 愛媛,2012/9/13,秋季 第 73 回応用物理学会 17. 船迫友之, <u>竹延大志</u> 他, 全固体型単層カーボンナノチューブエレクトロクロミック素子の開発, 愛媛,2012/9/12,秋季 第 73 回応用物理学会 18. 松崎怜樹, <u>竹延大志</u> 他, インクジェット法を用いた完全塗布型オールカーボンフレキシブルトランジスタ, 愛媛,2012/9/13,秋季 第 73 回応用物理学会 19. 工藤 光, <u>竹延大志</u> 他, 単一(6,5)カイラリティ単層カーボンナノチューブ厚膜におけるイオンゲルトランジスタ, 愛媛,2012/9/13,秋季 第 73 回応用物理学会

20. 野房勇希, 竹延大志 他, 単層カーボンナノチューブトランジスタの圧縮・引張特性, 愛媛, 2012/9/13, 秋季 第 73 回応用物理学会
21. 清水 諒, 竹延大志 他, 単層カーボンナノチューブ膜への連続的電子ドーピング, 愛媛, 2012/9/13, 秋季 第 73 回応用物理学会
22. 蒲江, 竹延大志 他, フレキシブル MoS₂ 薄膜トランジスタ, 愛媛, 2012/9/13, 秋季 第 73 回応用物理学会
23. 丸本一弘, 竹延大志 他, 電気二重層トランジスタにおける高密度電荷の2次元磁気相互作用と磁性, 神奈川, 2012/9/19, 日本物理学会 2012 年秋季
24. 蒲江, 竹延大志 他, イオンゲルを用いた MoS₂ 薄膜トランジスタ, 神奈川, 2012/9/19, 日本物理学会 2012 年秋季
25. 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, 2012/9/26, JOEM アカデミー 2012
26. Taishi Takenobu(Invited), Organic Single-crystal Light-emitting Transistors with built-in structure, USA, 2012/10/28, OEFT 2012
27. Satoki Matsuzaki, Taishi Takenobu et al., Fully Inkjet-Printed All Carbon Flexible Transistor, Miyagi, 2012/10/29, A3 Symposium of Emerging Materials: Nanomaterials for Energy and Environments
28. Yuki Nobusa, Taishi Takenobu et al., Bending Properties of Single-Walled Carbon Nanotube Film Transistors, 2012/10/29, A3 Symposium of Emerging Materials: Nanomaterials for Energy and Environments
29. R. Shimizu, Taishi Takenobu et al., Multiple Investigation of Charge Transfer between Single-walled Carbon Nanotubes and N-type Dopants, Hyogo, 2012/10/31, MNC2012
30. Y. Takagi, Taishi Takenobu et al., Inkjet Printing of Aligned Carbon-nanotube Thin Films, Hyogo, 2012/11/1, MNC2012
31. Taishi Takenobu, Ambipolar functionalities of organic single-crystal transistors, USA, 2012/11/27, MRS Fall Meeting&Exhibit
32. 竹延大志(招待講演), カーボンナノチューブプリンテッドエレクトロニクスにおける濡れ拡がり対策, 東京, 2013/2/20, 技術情報協会
33. 竹延大志(招待講演), 有機単結晶を用いた発光素子, 東京 2013/2/21, 電気学会 第 6 回パワー半導体光源とその応用技術調査専門委員会
34. Yoshifumi Wada, Taishi Takenobu et al., Electric double layer transistors of aligned carbon nanotube thin film, Tokyo, 2013/3/1, ITC2013
35. Hiroki Hamahata, Taishi Takenobu et al., Bending Properties of Single-Walled Carbon Nanotube Film Transistors, Tokyo, 2013/3/1, ITC2013
36. Yuki Takagi, Taishi Takenobu et al., Inkjet printing of aligned carbon-nanotube thin films, Tokyo, 2013/3/1, ITC2013
37. Ryo Shimizu, Taishi Takenobu et al., カーボンナノチューブ電気二重層トランジスタにおける p-n 接合の形成, 東京, 2013/3/11, 第 44 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
38. 高木勇樹, 竹延大志 他, 液相法によるカーボンナノチューブワイヤー, 東京, 2013/3/11, 第 44 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
39. 河合英輝, 竹延大志 他, String-like Aggregates of Aligned (6, 5) Single Wall Carbon Nanotubes, 東京, 2013/3/11, 第 44 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
40. Hiroki Hamahata, Taishi Takenobu et al., Bending Properties of Single-Walled Carbon Nanotube Film Transistors, 東京, 2013/3/12, 第 44 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
41. 工藤光, 竹延大志 他, Electric Double Layer Transistors using Thick Films in Single Chiral States of (6,5) and (11,10) Single-Wall Carbon Nanotubes, 東京, 2013/3/12, 第 44 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
42. Yoshifumi Wada, Taishi Takenobu et al., Electric double layer transistors of aligned carbon nanotube thin film, 東京, 2013/3/13, 第 44 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
43. Taishi Takenobu(招待講演), 新しい機能性ナノチューブトランジスタ, 東京, 2013/3/13, 第 44 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
44. 和田義史, 竹延大志 他, 電気二重層トランジスタにおけるイオン液体の周波数特性, 広島, 2013/3/26, 日本物理学会 第 68 回年次大会

様式19 別紙1

	<p>45. 蒲江,竹延大志 他, MoS₂ 電気二重層トランジスタにおける一軸性歪みの影響, 広島,2013/3/26,日本物理学会 第 68 回年次大会</p> <p>46. 牛脇翔太,竹延大志 他, 位置選択的界面発光層を有する有機単結晶発光トランジスタ, 広島,2013/3/27,日本物理学会 第 68 回年次大会</p> <p>47. 丸山建一,竹延大志 他, 有機フォトニック単結晶を用いた両極性発光トランジスタの作製, 広島,2013/3/27,日本物理学会 第 68 回年次大会</p> <p>48. 丸本一弘,竹延大志 他, イオンゲルを用いた電気二重層トランジスタの ESR 研究, 広島,2013/3/27,日本物理学会 第 68 回年次大会</p>
図書 計 0 件	
産業財産権 出願・取得状況 計 0 件	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 0 件</p>
Webページ (URL)	http://www.f.waseda.jp/takenobu/first.html
国民との科学・技術対話の実施状況	<p>○近隣の一般住民の方々に研究室を公開し研究の詳細を実際の測定装置を見せながら説明、2012 年 8 月 4-5 日(オープンキャンパス)、早稲田大学 西早稲田キャンパス、一般、150 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>○近隣の一般住民の方々に研究室を公開し研究の詳細を実際の測定装置を見せながら説明、2012 年 11 月 3-4 日、早稲田大学 西早稲田キャンパス、一般、60 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>
新聞・一般雑誌等掲載 計 2 件	<p>1. 蒲江,竹延大志 他, Molybdenum Disulfide Enables Flexible Transistors,2012/7/26, Chemical & Engineering News, ISSN: 0009-2347</p> <p>2. 竹延大志,ナノカーボンが未来を創る(上) ナノカーボン材で新たな価値の創造,2013/2/6,半導体産業新聞,第 2026 号</p>
その他	

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成24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	35,000,000	35,000,000	0
間接経費	37,800,000	16,800,000	10,500,000	10,500,000	0
合計	163,800,000	72,800,000	45,500,000	45,500,000	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 (未収利息を除 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	90,764	35,000,000	0	35,090,764	35,009,225	81,539	0
間接経費	40,492	10,500,000	0	10,540,492	10,518,764	21,728	0
合計	131,256	45,500,000	0	45,631,256	45,527,989	103,267	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	23,310,726	機械装置6件、実験試薬、実験器具、他
旅費	2,574,531	研究調査、学会参加
謝金・人件費等	6,955,569	人件費:常勤研究員2名、研究補助者2名
その他	2,168,399	機械器具修繕、学会参加、英文校正、他
直接経費計	35,009,225	
間接経費計	10,518,764	
合計	45,527,989	

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
小型ポンピングス テーション	CF114/NW40	1	819,000	819,000	2012/6/8	早稲田大学
電流測定チャン バー	東北測器(株)特 注仕様	1	683,340	683,340	2012/7/26	早稲田大学
低温真空ブローバ システム	TTP4-B	1	5,820,727	5,820,727	2013/1/24	早稲田大学
インピーダンスアナ ライザ	IM3570	1	737,100	737,100	2013/2/25	早稲田大学
顕微鏡用真空冷却 加熱ステージ	10086L	1	4,482,135	4,482,135	2013/3/7	早稲田大学
電子ビーム蒸着ユ ニット	SVC-EB	1	3,307,500	3,307,500	2013/3/15	早稲田大学