

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22127

研究課題名（和文）オプト・イオントロニクス創成

研究課題名（英文）Creation of Opto-Iontronics

研究代表者

竹延 大志（Takenobu, Taishi）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：70343035

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、電解質を用いたキャリアドーピングを基盤とし、材料適合性に優れた極めて挑戦的なオプトエレクトロニクスである『オプト・イオントロニクス』の創成を目指した。具体的には、以下の4項目に取り組み、成果を得た。

様々な材料に対する電解質ドーピングの有効性をトランジスタ構造により解明した。電解質ドーピングによる受光・発光素子の作製および評価を行った。微細加工技術を用いたレーザー素子（LD）の作製に挑戦し、基盤となる技術を構築した。IV 応用における液体使用に起因する困難・問題点並びに、デバイス動作上の問題等を解決した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、Photo Detector（PD）・Light-Emitting Diode（LED）およびLaser Diode（LD）の用途は驚くほど多様化しつつある。具体的には、赤外光を用いた生体センシング・紫外光による殺菌や水質改善・単光子発生源を用いた次世代量子情報通信など、従来とは全く異なる光源が必要視されている。しかしながら、新しい発光材料を用いたPD・LED・LD開発には必ず大きな困難が伴う。そこで本研究は材料を選ばない受光・発光素子作製方法の確立に挑戦し、基盤技術を構築した。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to create "opto-iontronics," an extremely challenging optoelectronics with excellent material compatibility, based on carrier doping using electrolytes. Specifically, we worked on the following four areas and obtained results.

I. The effectiveness of electrolyte doping for various materials was elucidated by using transistor structures. II. Fabrication and evaluation of light-receiving and light-emitting devices by electrolyte doping. III. Fabrication of laser devices (LDs) using microfabrication technology and established the basic technology. iv. Solved difficulties and problems caused by the use of liquids in applications, as well as problems in device operation.

研究分野：デバイス物理

キーワード：イオントロニクス 発光素子 電気化学ドーピング 電気二重層ドーピング

1. 研究開始当初の背景

近年、Photo Detector (PD)・Light-Emitting Diode (LED) および Laser Diode (LD) の用途は驚くほど多様化しつつある。具体的には、赤外光を用いた生体センシング・紫外光による殺菌や水質改善・単光子発生源を用いた次世代量子情報通信など、従来とは全く異なる光源が必要視されている。加えて、近年急速に発展する Printed・Wearable electronics には可撓性や伸縮性を有する、これまでとは質的に異なる受光・発光素子が不可欠である。しかしながら、ノーベル物理学賞受賞で知られる青色 LED 開発と同様に、新しい発光材料を用いた PD・LED・LD 開発には必ず大きな困難が伴う。

通常、PD・LED・LD の開発は次の 4 項目を必要とする。①材料探索および製膜技術の開発、②光による受光・発光特性の解明、③化学的ドーピングによる PN 接合(もしくはトンネル接合)形成、④オーミック接合形成による光電流・電流励起発光の実現。特に、様々な材料における P 型・N 型ドーピング(工程③)には材料に応じた温度・圧力・雰囲気ガスの探索が必須であり、受光・発光層との良好な接合とドーピングの両立には極めて難しい最適化を要する。結果、優れた受光・発光特性を有するにも関わらず、未だに埋もれている材料も少なくない。よって、材料を選ばない PN 接合およびオーミック接合の実現が多様な用途・機能を有する受光・発光素子実現の鍵である。このような状況の打開には、根本的に異なるアプローチに基づく普遍的なドーピング手法の開発が強く望まれる。

そこで本研究では、電解質を用いたキャリアドーピングに着目した。電解質は良好な半導体・絶縁体界面を自己組織化的に実現し、電気二重層により極めて高密度なキャリア ($10^{20}\sim 10^{21}/\text{cm}^3$) がドーピングされる。研究開始前の段階において、代表者は既に、広範な材料に対する本技術の導入に挑戦しており、有機半導体・有機導体・カーボンナノチューブ・原子層材料(グラフェン・遷移金属ダイカルコゲナイド単層膜)において両極性伝導・高密度キャリア蓄積やトンネル接合・PN 接合に成功し、本技術による様々な材料(有機材料・量子閉じ込め材料・III-V 族化合物半導体・II-VI 族化合物半導体)を用いた受光・発光・レーザー素子実現の可能性を着想するに至った。

2. 研究の目的

本研究は、電解質を用いたキャリアドーピングを基盤とし、材料適合性に優れた極めて挑戦的なオプトエレクトロニクスである『オプト・イオントロニクス』の創成を目指した。

電解質を用いたドーピング技術は、高密度 ($10^{20}\sim 10^{21}/\text{cm}^3$) な電子・正孔を選択的に半導体材料へドーピングできる材料適合性に優れたドーピング技術であり、この数年間に応募者らが急速に発展させた。本研究提案では、本手法を駆使し様々な材料(有機材料・量子閉じ込め材料・III-V 族化合物半導体・II-VI 族化合物半導体)を用いた受光・発光・レーザー素子の実現により、オプト・イオントロニクスの技術基盤を構築し、その応用への道筋を拓くことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究目的を効果的に達成する上で、最も重要な戦略的要素は以下の 4 点から成る。

I 発光材料を用いた電解質トランジスタの作製

様々な発光材料(有機材料・量子閉じ込め材料(原子層材料)・III-V 族化合物半導体・II-VI 族化合物半導体)に対する電解質ドーピングの有効性をトランジスタ構造により解明。

II 電解質を用いた PN 接合・トンネル接合の実現と受光・発光特性評価

上記物質群に対して電解質ドーピングによる PN 接合・トンネル接合作製を新提案の素子構造で試みる(右図)。具体的には、電流電圧特性や発光特性を評価する。

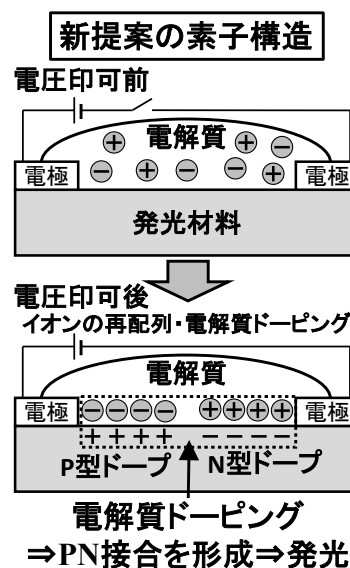
III 微細加工技術を用いたレーザー素子(LD)の実現

電解質は高密度 ($10^{20}\sim 10^{21}/\text{cm}^3$) ドーピングが可能であり LD に不可欠な大電流の実現に適している。本特徴を最大限に活かすべく、共振器構造と本技術の融合により LD を作製する。

IV 応用における液体使用に起因する困難・問題点並びに、デバイス動作上の問題等

液体使用は実応用において液だれ・液漏れ等の困難・問題点が起こり得る。本問題を解決するため、イオン液体を有機高分子によりゲル化(イオンゲル)する。既に、高イオン伝導度の実現とトランジスタ・発光素子の作製に成功しており、本技術を向上させる。

上記の 4 要素に対して研究を遂行した。



4. 研究成果

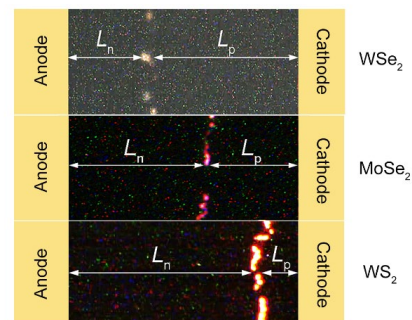
上記の4項目における研究成果を以下にまとめる。

I 発光材料を用いた電解質トランジスタの作製

様々な材料に対する電解質ドーピングの有効性をトランジスタ構造により解明した。特に、有機高分子材料 (Sci. Adv. 2020, Adv. Funct. Mater. 2020, Phys. Rev. Research 2020, Commun. Phys. 2021, Appl. Phys. Lett. 2021)・原子層材料 (npj 2D Mater. Appl. 2019, Phys. Rev. Mater. 2021,)・有機導体 (Crystal 2021, Crystal 2022) に本手法を適用し、電解質を用いたドーピングと様々な物性計測手法の融合に成功した。具体的には、電気伝導度測定 (温度変化・磁場変化・印加磁場の角度依存性)・電子スピン共鳴・熱起電力測定などに成功した。その結果、有機高分子においては電解質に特有な高密度なキャリアドーピングによる金属転移の明確な実験証拠を得た。さらに、熱電変換特性の最大化にも成功した。大面積な多結晶グラフェンにおいては、大面積なファンデルワールス材料の中で最も優れた出力因子を実現し、グラフェン・遷移金属ダイカルコゲナイド単層膜・カーボンナノチューブ薄膜においては、熱電変換特性に現れる次元性の効果を明らかにした。有機導体 (BEDO-TTF, α -(BEDT-TTF)₂I₃, α -(BETS)₂I₃) においても電気二重層ドーピングにより誘起される様々な現象を検証した。加えて、本成果を加えた内容を解説記事としても発表している (応用物理 2021)。これら一連の研究を通し、電解質を用いたドーピング技術の適用可能な物質群の拡張に成功しつつ、様々な物性測定手法との融合により本手法の有用性の大幅な向上に成功した。今後、様々な研究における基盤技術となる大きな成果である。

II 電解質を用いたPN接合・トンネル接合の実現と受光・発光特性評価

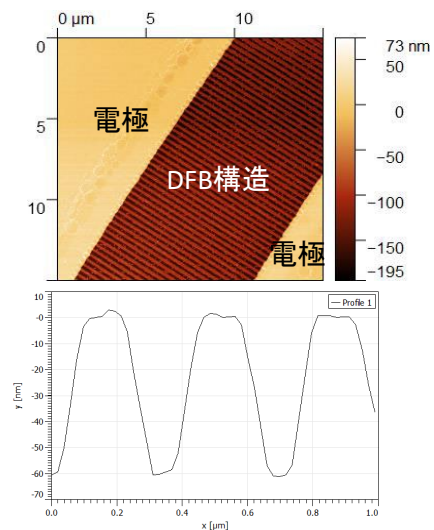
上記物質群に対して電解質ドーピングによる受光・発光素子の作製および評価を行った。より具体的には、電極間で発光する場合はPN接合に相当し、電極近傍において発光する場合はトンネル接合に相当することを電流電圧特性や発光特性から評価した。特に、有機高分子 (Adv. Electron. Mater. 2020, Appl. Phys. Express 2020) と遷移金属ダイカルコゲナイド単層膜 (ACS Nano 2021, Adv. Mater. 2021) において大きな成果を得た。例えば、有機高分子においては、新たな高分子材料を用いた発光素子作製だけでなく、電解質を用いた発光素子は印刷技術に対して適合性があることに着目し、インクジェット法に代表されるような印刷法に適した素子構造の提案を行った。また、様々な組成を有する遷移金属ダイカルコゲナイド (MoSe₂・WS₂・WSe₂) を用いた発光素子を作製し、発光位置が材料に大きく依存することを見出した (下図)。さらに、同一素子のトランジスタ特性も測定し、キャリア伝導特性と発光位置の関係性を明らかにし、新たなモデルを基に起源を明らかにした。本成果は、これら材料における発光位置制御につながるものと期待される。さらに、遷移金属ダイカルコゲナイド単層膜を用いた発光素子においては、電解質を用いた発光素子に特有な強電場を、意図的な構造歪みと組み合わせると、室温において電場方向によって切り替えが可能な円偏光発光素子となることを見出している。加えて、本成果を加えた内容を Review 論文としても発表している (Adv. Funct. Mater. 2020)。これら一連の研究を通し、電解質を用いた発光素子に適用可能な物質群の拡張に成功しつつ、新たな機能の開拓に成功しており、本素子の有用性の大幅な向上に成功した。今後、様々な研究における基盤技術となる大きな成果である。



ACS Nano 2021

III 微細加工技術を用いたレーザー素子 (LD) の実現

電解質は高密度 ($10^{20} \sim 10^{21}/\text{cm}^3$) ドーピングが可能であり LD に不可欠な大電流の実現に適している。また、上述したように、電解質を用いた発光素子は印刷技術に対して適合性があり、印刷可能な LD 実現の可能性もある。そこで、本特徴を最大限に活かすべく、共振器構造と本技術の融合による LD の作製に挑戦した。より具体的には、発光特性に優れた有機高分子に注目し、グレーティング構造を作製した基板上で分布帰還型 (Distributed FeedBack, DFB) 構造を有する素子作製を行った (右図)。基板には熱酸化膜を有する Si 基板を用い、電子ビームリソグラフィ技術を用いて数 100 nm スケールの凹凸構造を作製した。本基板上に液相法により作製した薄膜は、光励起実験により、明確な共振効果による狭線化発光と非線形な発光強度の増幅を伴うレーザー発振を示した。さらに、本試料を用いて作製した電流励起発光素子からも、明確な共振効果による狭線化発光が観測された。本結果を基に、電流励起レーザー発振に必要な電流密度を試算したところ、1 kA/cm² 近い電流密度が必要であることが明



グレーティング基板

らかとなった。一方で、我々のグループではパルス電圧の印加により 1 kA/cm^2 を超える電流励起発光に成功しており、本手法に導入によってグレーティング構造を作製した素子においても 1 kA/cm^2 近い電流密度および発光観測を実現した。残念ながら、観測された発光は、ジュール熱の影響によりレーザー発振には至らなかったが、低温冷却や熱伝導に優れたサンプルステージの導入などにより、本影響の低減にも成功した。並行して、遷移金属ダイカルコゲナイド単層膜への共振器構造の導入にも成功し、ポラリトン発光の観測に成功した。本素子構造に対してもレーザー発振実現の可能性が期待される。以上のように、電解質を用いた発光素子において、LDの実現に必要な基盤技術の構築に成功しており、今後のレーザー発振が期待される。

IV 応用における液体使用に起因する困難・問題点並びに、デバイス動作上の問題等

液体使用は実応用において液だれ・液漏れ等の困難・問題点が起こり得る。そこで、本問題を解決するため、イオン液体を有機高分子によりゲル化（イオンゲル）する技術を、上述のI~IIIに導入し、極めてうまく機能した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Matsuki Keiichiro, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 30
2. 論文標題 Recent Progress on Light Emitting Electrochemical Cells with Nonpolymeric Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1908641 ~ 1908641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201908641	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tanaka Yuki, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 13
2. 論文標題 A versatile structure of light-emitting electrochemical cells for printed electronics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 084002 ~ 084002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/aba56c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kawahashi Kaito, Noh Yong-Young, Park Won-Tae, Yang Hoichang, Ohta Hiromichi, Tanaka Hisaaki, Takenobu Taishi	4. 巻 2
2. 論文標題 Charge and thermoelectric transport mechanism in donor-acceptor copolymer films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.043330	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ito Hiroshi, Mada Hiroaki, Watanabe Katsuya, Tanaka Hisaaki, Takenobu Taishi	4. 巻 4
2. 論文標題 Charge transport and thermoelectric conversion in solution-processed semicrystalline polymer films under electrochemical doping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-020-00510-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Lim Hong En, Nakanishi Yusuke, Liu Zheng, Pu Jiang, Maruyama Mina, Endo Takahiko, Ando Chisato, Shimizu Hiroshi, Yanagi Kazuhiro, Okada Susumu, Takenobu Taishi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 21
2. 論文標題 Wafer-Scale Growth of One-Dimensional Transition-Metal Telluride Nanowires	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 243 ~ 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c03456	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ichinose Yota, Matsubara Manaho, Yomogida Yohei, Yoshida Akari, Ueji Kan, Kanahashi Kaito, Pu Jiang, Takenobu Taishi, Yamamoto Takahiro, Yanagi Kazuhiro	4. 巻 5
2. 論文標題 One-dimensionality of thermoelectric properties of semiconducting nanomaterials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.025404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Togo, Ando Chisato, Saito Mitsufumi, Miyata Yasumitsu, Nakanishi Yusuke, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 5
2. 論文標題 Three-dimensional networks of superconducting NbSe ₂ flakes with nearly isotropic large upper critical field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj 2D Materials and Applications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41699-021-00210-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kanahashi Kaito, Ishihara Masatou, Hasegawa Masataka, Ohta Hiromichi, Takenobu Taishi	4. 巻 3
2. 論文標題 Giant power factors in p- and n-type large-area graphene films on a flexible plastic substrate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 npj 2D Materials and Applications	6. 最初と最後の頁 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41699-019-0128-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Hisaaki, Kanahashi Kaito, Takekoshi Naoya, Mada Hiroaki, Ito Hiroshi, Shimoi Yukihiro, Ohta Hiromichi, Takenobu Taishi	4. 巻 6
2. 論文標題 Thermoelectric properties of a semicrystalline polymer doped beyond the insulator-to-metal transition by electrolyte gating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaay8065
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aay8065	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Liu Qian, Kanahashi Kaito, Matsuki Keiichiro, Manzhos Sergei, Feron Krishna, Bottle Steven E., Tanaka Kazuhiro, Nanseki Tomonori, Takenobu Taishi, Tanaka Hisaaki, Sonar Prashant	4. 巻 6
2. 論文標題 Triethylene Glycol Substituted Diketopyrrolopyrrole and Isoindigo Dye Based Donor/Acceptor Copolymers for Organic Light Emitting Electrochemical Cells and Transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 1901414 ~ 1901414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aelm.201901414	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tanaka Hisaaki, Kawamura Shinya, Sonar Prashant, Shimoi Yukihiro, Do Thu Trang, Takenobu Taishi	4. 巻 -
2. 論文標題 Highly Efficient Microscopic Charge Transport within Crystalline Domains in a Furan Flanked Diketopyrrolopyrrole Based Conjugated Copolymer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2000389 ~ 2000389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202000389	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Matsuki Keiichiro, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 -
2. 論文標題 Recent Progress on Light Emitting Electrochemical Cells with Nonpolymeric Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1908641 ~ 1908641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201908641	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ogura Hiroto, Kaneda Masahiko, Nakanishi Yusuke, Nonoguchi Yoshiyuki, Pu Jiang, Ohfuchi Mari, Irisawa Toshifumi, Lim Hong En, Endo Takahiko, Yanagi Kazuhiro, Takenobu Taishi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 13
2. 論文標題 Air-stable and efficient electron doping of monolayer MoS ₂ by salt/crown ether treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 8784-8789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1nr01279g	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawasugi Yoshitaka, Masuda Hikaru, Pu Jiang, Takenobu Taishi, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo, Tajima Naoya	4. 巻 11
2. 論文標題 Electric Double Layer Doping of Charge-Ordered Insulators -(BEDT-TTF)2I3 and -(BETS)2I3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 791 ~ 791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11070791	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ou Hao, Matsuoka Hirofumi, Tempia Juliette, Yamada Tomoyuki, Takahashi Togo, Oi Koshi, Takaguchi Yuhei, Endo Takahiko, Miyata Yasumitsu, Chen Chang-Hsiao, Li Lain-Jong, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 15
2. 論文標題 Spatial Control of Dynamic <i>p-n</i> Junctions in Transition Metal Dichalcogenide Light-Emitting Devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 12911 ~ 12921
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.1c01242	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Pu Jiang, Zhang Wenjin, Matsuoka Hirofumi, Kobayashi Yu, Takaguchi Yuhei, Miyata Yasumitsu, Matsuda Kazunari, Miyauchi Yuhei, Takenobu Taishi	4. 巻 33
2. 論文標題 Room Temperature Chiral Light Emitting Diode Based on Strained Monolayer Semiconductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2100601 ~ 2100601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202100601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ito Shun-ichiro, Kanahashi Kaito, Ohta Hiromichi, Ito Hiroshi, Takenobu Taishi, Tanaka Hisaaki	4. 巻 119
2. 論文標題 Structure and thermoelectric properties of electrochemically doped polythiophene thin films: Effect of side chain density	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 183304 ~ 183304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0067769	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Lim Hong En, Liu Zheng, Kim Juan, Pu Jiang, Shimizu Hiroshi, Endo Takahiko, Nakanishi Yusuke, Takenobu Taishi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 5
2. 論文標題 Nanowire-to-Nanoribbon Conversion in Transition-Metal Chalcogenides: Implications for One- Dimensional Electronics and Optoelectronics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 1775 ~ 1782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.1c03160	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ito Hiroshi, Matsuno Motoki, Katagiri Seiu, Yoshina Shinji K., Takenobu Taishi, Ishikawa Manabu, Otsuka Akihiro, Yamochi Hideki, Yoshida Yukihiro, Saito Gunzi, Shen Yongbing, Yamashita Masahiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Metallic Conduction and Carrier Localization in Two-Dimensional BEDO-TTF Charge-Transfer Solid Crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 23 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst12010023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計69件 (うち招待講演 22件 / うち国際学会 32件)

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Circularly polarized electroluminescence induced by strain effect
3. 学会等名 NANO KOREA 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Thermoelectric Energy Conversion Devices of Electrochemically Doped Polymer Films
3. 学会等名 2020 VIRTUAL MRS FALL MEETING & EXHIBIT (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Two-Dimensional (2D) Transition Metal Dichalcogenide (TMDCs) and OneDimensional (1D) Transition Metal Chalcogenides (TMCs)
3. 学会等名 The 7th International Workshop on 2D Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Novel Functional Devices of Transition Metal Dichalcogenide Monolayers
3. 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 有機高分子薄膜における伝導機構と熱電効果
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 グラフェンの熱電効果
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 次世代レーザー素子を印刷する
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 イオン液体を用いた有機発光素子
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Tanaka, Jiang Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 A Versatile Structure of Light-emitting Electrochemical Cells for Printed Electronics
3. 学会等名 SSDM2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shun-ichiro Ito, Kaito Kanahashi, Hisaaki Tanaka, Hiroshi Ito, Hiromichi Ohta, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Structure and Charge Transport Analyses in Ionic-Liquid-Gated Conducting Polymer Thin Films with 2D-Ordered Crystallites
3. 学会等名 33rd MNC2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蒲江, Li Ming-Yang, Huang Jing-Kai, 和田 尚樹, 高口 裕平, Zhang Wenjin, 宮内 雄平, 松田 一成, 宮田 耕充, Li Lain-Jong, 竹延 大志
2. 発表標題 原子層面内ヘテロ接合を用いた発光デバイス
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 駿一郎, 中嶋 大志, 金橋 魁利, 田中 久暁, 太田 裕道, 竹延 大志
2. 発表標題 側鎖変調されたポリチオフェンドープ膜の構造と伝導特性
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 統吾, 蒲江, 安藤 千里, 中西 勇介, 斎藤 光史, 宮田 耕充, 竹延 大志
2. 発表標題 化学気相成長した大面積NbSe ₂ 薄膜の超伝導特性
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 統吾, 安藤 千里, 斎藤 光史, 宮田 耕充, 中西 勇介, 蒲 江, 竹延 大志
2. 発表標題 3次元構造を有するNbSe ₂ 薄膜の超伝導特性
3. 学会等名 第59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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Electric Double Layer Light-Emitting Diodes of Transition Metal Dichalcogenide Monolayers
3. 学会等名 The 11th annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Functional devices based on electrochemically doped polymer films
3. 学会等名 China -Japan-Singapore Joint Symposium on Supramolecular Systems and Optoelectronic Functions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Electric Double Layer Light-Emitting Diodes of Transition Metal Dichalcogenide Monolayers
3. 学会等名 The 3rd international workshop on 2D materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Electrochemically Doped Light-Emitting Devices of Transition Metal Dichalcogenide Monolayers
3. 学会等名 The 10th A3 Symposium on Emerging Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Thermoelectric Properties of van der Waals Materials
3. 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Giant Power Factors in Large-Area Graphene Films on a Flexible Plastic Substrate
3. 学会等名 1 & 2DM CONFERENCE & EXHIBITION (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jiang Pu, Hirofumi Matsuoka, Yu Kobayashi, Yasumitsu Miyata, and Taishi Takenobu
2. 発表標題 Room-Temperature Valley-Polarized Light-Emitting Devices via Strained Monolayer Semiconductors
3. 学会等名 SSDM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiang Pu, Hirofumi Matsuoka, Yu Kobayashi, Yasumitsu Miyata, and Taishi Takenobu
2. 発表標題 Room-Temperature Chiral Light-Emitting Devices via Strained Monolayer Semiconductors
3. 学会等名 RPGR2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kanahashi, M. Ishihara, M. Hasegawa, H. Ohta, and T. Takenobu
2. 発表標題 Giant Power Factors in p- and n- type Large-Area Graphene Films on a Flexible Plastic Substrate
3. 学会等名 MNC2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Circularly polarized electroluminescence induced by strain effect
3. 学会等名 The 4th Graphene Flagship EU-Japan Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaito Kanahashi, Masatou Ishihara, Masataka Hasegawa, Hiromichi Ohta and Taishi Takenobu
2. 発表標題 Giant Power Factors in p- and n- type Large-Area Graphene Films on a Flexible Plastic Substrate
3. 学会等名 The 3rd Workshop on Functional Materials Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Jiang Pu
2 . 発表標題 Electroluminescence in monolayer lateral heterojunctions
3 . 学会等名 The 3rd international workshop on 2D materials (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kaito Kanahashi, Masatou Ishihara, Masataka Hasegawa, Hiromichi Ohta, and Taishi Takenobu
2 . 発表標題 Giant power factors in p- and n-type large-area graphene films on a flexible plastic substrate
3 . 学会等名 The 3rd international workshop on 2D materials (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tomoyuki Yamada, Jiang Pu, Ming-Yang Li, Jin-Kai Huang, Yuhei Miyachi, Kazunari Matsuda, Yasumitsu Miyata, Lain-Jong Li, and Taishi Takenobu
2 . 発表標題 Monolayer Transition Metal Dichalcogenide Lateral Heterojunction Light-Emitting Diodes
3 . 学会等名 RPGR2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Katsuya Watanabe, Kaito Kanahashi, Naoya Takekoshi, Hisaaki Tanaka, Hiroshi Ito, Hiromichi Ohta, Taishi Takenobu
2 . 発表標題 Gate-tuned Thermoelectric Performances in Aligned Conducting Polymers
3 . 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiang Pu, Han-Ching Chang, Chien-Liang Tu, Kuang-I Lin, Chien-Nan Hsiao, Chang-Hsiao Chen, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Electric Double Layer Transistors of CVD-grown monolayers InSe and InS
3. 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsuya Watanabe, Kaito Kanahashi, Naoya Takekoshi, Hisaaki Tanaka, Hiroshi Ito, Hiromichi Ohta, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Thermoelectric Performances in Aligned Conducting Polymers
3. 学会等名 The 3rd Workshop on Functional Materials Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 2次元物質の新しい光機能
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 プラスチックを使ったPrinted・Flexible熱電発電
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 Printed organic laser
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第40回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蒲江、松岡 拓史、山田 知之、小林 佑、高口 祐平、宮田 耕充、竹延 大志
2. 発表標題 Room-Temperature Valley-Polarized Light-Emitting Devices via Strained Monolayer Semiconductors
3. 学会等名 第57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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蒲江、和田 尚樹、Wenjin Zhang、高口 祐平、松田 一成、宮内 雄平、宮田 耕充、竹延 大志
2. 発表標題 原子層面内ヘテロ接合界面における電流励起発光
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉名 真志、伊東 裕、蒲江、竹延 大志、沈 勇兵、山下 正廣
2. 発表標題 Coを含むアニオンをもつBEDO-TTF錯体の低温電気伝導・磁気抵抗
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 友規、松木 啓一郎、竹延 大志
2. 発表標題 印刷法に適用可能なLEC構造の提案と検証
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 且弥、金橋 魁利、太田 裕道、田中 久暁、伊東 裕、竹延 大志
2. 発表標題 一軸配向した導電性高分子PBTBTにおける熱電特性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蒲 江、Wenjing Zhang、小林 佑、宮田 耕充、松田 一成、宮内 雄平、竹延 大志
2. 発表標題 単層遷移金属ダイカルコゲナイドの電流励起発光イメージング
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 知之、松岡 拓史、和田 尚樹、遠藤 尚彦、宮田 耕充、蒲 江、竹延 大志
2. 発表標題 プラスチック基板における原子層発光素子
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 新しい共役と光電子物性
3. 学会等名 第2回共役変革研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蒲 江、坂上 知、竹延 大志
2. 発表標題 電解質を用いた発光素子
3. 学会等名 レーザー学会第540回研究会 「有機コヒーレントフォトンクス」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蒲 江、Li Ming-Yang、Huang Jing-Kai、和田 尚樹、山田 知之、宮内 雄平、松田 一成、宮田 耕充、Li Lain-Jong、竹延 大志
2. 発表標題 原子層面内ヘテロ接合を用いた発光デバイス
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小椋 友寛、山田 知之、和田 尚樹、遠藤 尚彦、山下 兼一、宮田 耕充、蒲 江、竹延 大志
2. 発表標題 微小光共振器を導入した単層WS2発光デバイス
3. 学会等名 第57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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 且弥、金橋 魁利、太田 裕道、田中 久暁、伊東 裕、竹延 大志
2. 発表標題 一軸配向した導電性高分子PBTTTにおける熱電特性
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新井 晶博、平井 智章、張 亭午、松木 啓一郎、坂上 知、竹延 大志
2. 発表標題 高分子発光素子への光共振器導入及び評価
3. 学会等名 レーザー学会第540回研究会「有機コヒーレントフォトンクス」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 友規、松木 啓一郎、竹延 大志
2. 発表標題 印刷法に適用可能なLEC構造の提案と検証
3. 学会等名 レーザー学会第540回研究会「有機コヒーレントフォトンクス」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 統吾、蒲 江、安藤 千里、中西 勇介、斎藤 光史、宮田 耕充、竹延 大志
2. 発表標題 化学気相成長した大面積NbSe ₂ 薄膜の超伝導特性
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Room-Temperature Chiral Light-Emitting Diode Based on Strained Monolayer of Transition Metal Dichalcogenides
3. 学会等名 International Conference on Materials Science and Engineering 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Gating induced chiral light-emitting diode
3. 学会等名 On-line Internal Workshop on Field-effect Transistors and Functional Interfaces(OFET2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taishi Takenobu
2. 発表標題 Novel Functional Devices of Transition Metal Dichalcogenide Monolayers
3. 学会等名 6th IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing (EDTM) Conference 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 高分子材料を用いた機能性素子 ~熱電変換とレーザー発振~
3. 学会等名 21-6ポリマーフロンティア21 【フレキシブルエレクトロニクスの最前線】(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 圧力と歪みを用いた物性制御
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hisaaki Tanaka, Kaito Kanahashi, Hiroshi Ito, Hiromichi Ohta, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Charge Transport and Thermoelectric Properties of Electrochemically Doped Conducting Polymer Thin Films
3. 学会等名 ICFPE2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Tanaka, Jiang Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 A versatile structure of light-emitting electrochemical cells for printed electronics
3. 学会等名 ICFPE2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Tanaka, Jiang Pu, Takuji Hatakeyama, and Taishi Takenobu
2. 発表標題 Ultrapure-blue Light-emitting Electrochemical Cell Using -DABNA
3. 学会等名 MNC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shunichiro Ito, Kaito Kanahashi, Hisaaki Tanaka, Hironichi Ohta, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Effect of side chain density on structure and thermoelectric properties of doped polythiophene films
3. 学会等名 ICFPE2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Ito, Katsuya Watanabe, Hiroaki Mada, Hisaaki Tanaka, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Charge and thermal transport of electrochemically-doped solution-processed semicrystalline polymer films
3. 学会等名 MRM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shunichiro Ito, Kaito Kanahashi, Hisaaki Tanaka, Hironichi Ohta, and Taishi Takenobu
2. 発表標題 Effect of side chain density on structure and thermoelectric properties of doped polythiophene films
3. 学会等名 KJF-ICOMEF 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木 壮磨, 小椋 友寛, 遠藤 尚彦, 宮田 耕充, 山下 兼一, 蒲江, 竹延 大志
2. 発表標題 遷移金属ダイカルコゲナドを用いた微小共振器発光デバイス
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Soma Suzuki, Tomohiro Ogura, Takahiko Endo, Yasumitsu Miyata, Kenichi Yamashita, Jiang Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Electrolyte-based transition metal dichalcogenide light-emitting devices with microcavity
3. 学会等名 第61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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 友規, 蒲 江, 畠山 琢次, 竹延 大志
2. 発表標題 高色純度青色発光低分子 -DABNAを用いたLEC
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山床 凌太郎, 伊藤 駿一郎, 田中 久暁, 竹延 大志
2. 発表標題 ドナー・アクセプタ型高分子のドーブ膜における非局在キャリアのESR観測
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 友規, 蒲 江, 畠山 琢次, 竹延 大志
2. 発表標題 高色純度青色発光低分子 -DABNA を用いた電気化学発光セル
3. 学会等名 レーザー学会第560回研究会 「有機コヒーレントフォトンクス」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蒲江, 宮田 耕充, 松田 一成, 宮内 雄平, 竹延 大志
2. 発表標題 ゲル状電解質を用いた機能性発光デバイス
3. 学会等名 レーザー学会第560回研究会 「有機コヒーレントフォトンクス」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹延 大志
2. 発表標題 Light-Emitting Electrochemical Cellの高機能化
3. 学会等名 レーザー学会第560回研究会 「有機コヒーレントフォトンクス」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hao Ou, Jiang Pu, Tomoyuki Yamada, Naoki Wada, Hibiki Naito, Zheng Liu, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Color-tunable light-emitting devices based on compositionally graded monolayer transition metal dichalcogenide alloys
3. 学会等名 第62回 フラレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 文也, 伊東 裕, 竹延 大志, 吉田 幸大, 齋藤軍治, 広部 大地, 山本 浩史
2. 発表標題 歪と電解質ゲートを用いた $(\text{BEDT-TTF})_2\text{I}_3$ の伝導物性制御
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 日本熱電学会、小菅厚子、舟橋良次、塩見淳一郎、野々口斐之	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 341
3. 書名 次世代熱電変換材料・モジュールの開発	

1. 著者名 吾郷浩樹、齋藤理一郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 558
3. 書名 グラフェンから広がる二次元物質の新技术と応用	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	伊東 裕 (Ito Hiroshi)		
研究協力者	田中 久暁 (Tanaka Hisaaki)		
研究協力者	蒲 江 (Jiang Pu)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
韓国	POSTECH	Dongguk University		
オーストラリア	QUT			
その他の国・地域	台湾・National Cheng Kung University	台湾・National Taiwan University	台湾・National Applied Research Lab	
シンガポール	NUS			