



東北大学・台湾国立交通大学
国際ジョイントラボラトリー
活動報告書
(2018年8月～2021年7月)

第一期

「研究教育に関する戦略的国際プラットフォームの
構築への挑戦」
— 半導体立国日本再びを目指して —

2021年6月14日

東北大学
流体科学研究所／材料科学高等研究所
寒川誠二

目次

1. 国際ジョイントラボラトリー設立経緯	1
2. 国立交通大学に設置されているジョイントラボラトリーの状況	3
3. 具体的な研究体制（研究者名、研究内容、期間、研究場所等）	5
4. 共同研究成果の概要	7
5. 共著論文実績と分析	14
6. 交流実績の概要	16
7. 業績リスト	27
8. プレスリリース	34
9. 競争的資金の獲得	34
10. 全体総括	34
11. 補足資料①「台湾企業への共同研究提案」	36
12. 補足資料②「国立交通大学・李義明教授（副ラボラトリー長）からのコメント」	42
13. 補足資料③「国立交通大学・柯明道教授（共同グループリーダー）からのコメント」	44

東北大学・台湾国立交通大学国際 ジョイントラボラトリー活動報告書 (2018.8～2021.7)

“第一期「研究教育に関する戦略的国際プラットフォームの 構築への挑戦」”

寒川 誠二（副ラボラトリー長／グループリーダー）
流体科学研究所／材料科学高等研究所

田中 徹（グループリーダー）
医工学研究科

石本 淳（グループリーダー）
流体科学研究所

1. 国際ジョイントラボラトリー設立経緯

2017年まで、東北大学は、国立交通大学（台湾）と長期にわたる学術交流を行っており、多くの共同研究、教員ならびに学生の人的交流などを未来科学技術共同研究センター、流体科学研究所、工学研究科、理学研究科、原子分子材料科学高等研究機構（現在、材料科学高等研究所）等が中心となって実施してきた（図1）。

History of Collaboration between Tohoku Univ. and NCTU



図1. 東北大学・国立交通大学交流の歴史

2005年には未来科学技術共同研究センターを担当部局、工学研究科を関係部局として大学間協定を締結して、半導体デバイス分野の研究・教育交流を推進した。その後、2010年に流体科学研究所が中心になって国立交通大学とナノテクノロジーおよびナノデバイスに関するジョイントワークショップを開催し、半導体・ナノデバイス分野のより広範囲な連携に強化された。その結果を踏まえて、2010年には未来科学技術共同研究センター、工学研究科に加えて流体科学研究所、理学研究科も関連部局となり、大学間連携協定が更新された。更に2010年より2014年にわたって、流体科学研究所および原子分子材料科学高等研究機構と国立交通大学との量子ナノデバイスに関する共同研究が活発に推進され、2014年には原子分子材料科学高等研究機構と台湾国立交通大学との材料、数学およびナノデバイスに関するジョイントワークショップを開催し、更なる広範囲で強力な連携を目的に2016年に大学間協定の2度目の更新が行われ、2017年には電気通信研究所と国立交通大学の間にJST国際科学技術基盤整備事業(日本-台湾)および共同プロジェクト研究がスタートし、2018年には多元物質科学研究所が北海道大学、東京工業大学、大阪大学、九州大学と連携して進める物質・デバイス領域共同研究拠点と台湾国立交通大学の共同研究教育センターが台湾国立交通大学理学院に設置され、第一回シンポジウムが開催された。このような全学的な活発な交流が積みあがったことを受け、2017年には学生交流プログラムの実現や国際ジョイントラボラトリーの設置を目指して大学間リエゾンオフィスの設置に至っている。

台湾では教育部、科技部の主導により、大学における国際化の促進、先端的な研究および教育の促進を目的に、著名な海外大学と連携したジョイントラボラトリーの設置が推進されている。国立交通大学は、マイクロエレクトロニクス分野では世界トップクラスの研究成果・論文を出しており、今や世界一の半導体立国である台湾のエレクトロニクス産業の発展を研究・人材育成の両面で支えてきたといっても過言ではない。海外機関との学生や研究交流にも非常に力を入れており、UC Berkeley, Univ. of Illinois, Urbana-Champaign, Carnegie Mellon University, Chalmers University of Technology, University of Paris 等と個別にリエゾンオフィス設やジョイントリサーチセンターを設置することに合意し、それぞれの機関の特徴を生かして研究・教育の連携を図っている。そのような背景の中で、東北大学と国立交通大学は、東北大学が強みとする世界トップクラスの材料科学分野と国立交通大学が強みとする世界トップクラスの半導体テクノロジー分野の学際的な研究連携を実現するジョイントラボラトリーを設立することで合意し、研究・教育の飛躍的發展を図ろうとしている(図2)。

同ジョイントラボラトリーの研究領域においては、材料科学を基盤として半導体テクノロジーと融合することで、3分野について共同して喫緊の課題について取り組み、問題解決への学術的基盤を構築することを目的としている。具体的には、3分野は、1) エネルギーデバイス・システム、2) ナノデバイス・システム、並びに3) バイオメディカル・センサーネットワークである。これらの研究領域は1) については金属材料研究所、流体科学研究所、材料科学高等研究所、多元物質科学研究所、環境科学研究科、工学研究科、2) に関しては流体科学研究所、電気通信研究所、金属材料研究所、未来科学技術共同研究センター、工学研究科、3) に関しては医工学研究科、工学研究科、流体科学研究所など複数部局にまたがるため、全学体制として取り組むことが不可欠である。そのジョイントラボラトリー

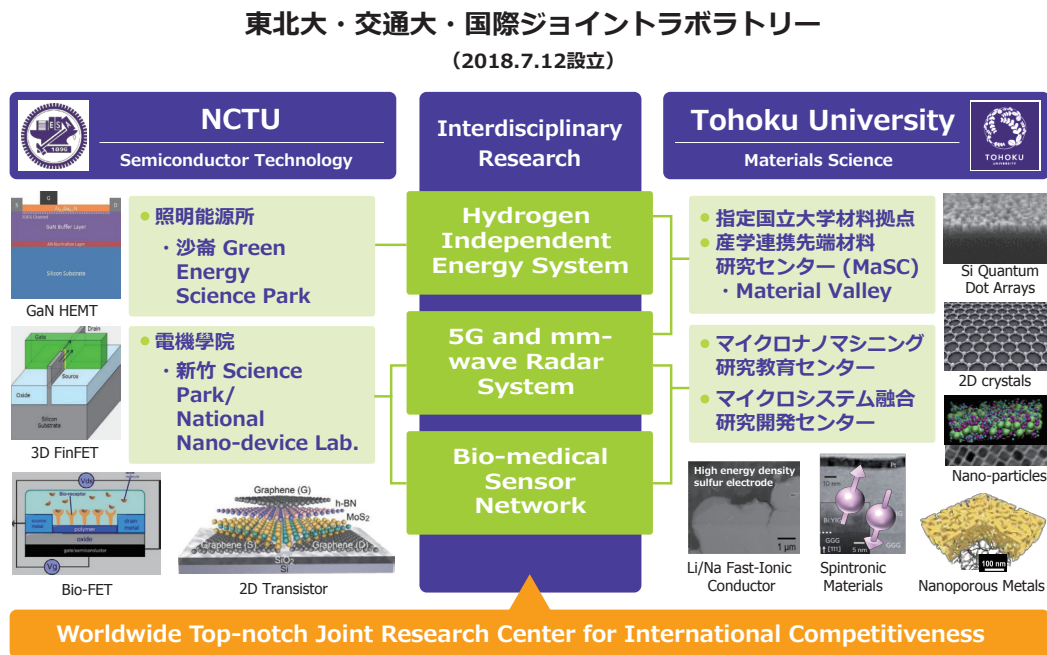


図2. 東北大学・国立交通大学 国際ジョイントラボラトリーのコンセプト

構築のために東北大学では高等研究機構に位置づけされる国際ジョイントラボセンター内に設置し、国際共同研究の推進により、日台双方においてその重要性が一層高まっている「人口減少、超高齢化社会における持続的発展可能でスマートな社会実現」への学術基盤を構築する。大学全体の研究者の受け皿並びに国立交通大学や新竹サイエンスパークとの人的交流、東北大学が得意とする材料科学、ナノテクノロジーやMEMSに関わる共同研究等の受け皿としてのジョイントラボラトリーとして国際的な知識集積・循環のハブ機能を果たすことが期待される。このように本学に整備される国際ジョイントラボラトリーは、東北大学の拠点として、国立交通大学と連携して国際共同研究の推進母体となるものであり、教員の短期・長期滞在並びに定期的ワークショップの開催、共同研究の共同提案、学生の定期的交流などが一層促進されることが期待される。

2. 国立交通大学に設置されているジョイントラボラトリーの状況

現在、台湾はアメリカや韓国を抜き、世界の半導体立国である。つまり、最先端技術のトレンドは台湾におけるエレクトロニクス産業が握っており、その中核は今や米国インテル社をも凌ぐ台湾積体回路製造 (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company: TSMC) ある。TSMC はファブダリーというビジネスモデルを世界に先駆けて確立した極めて革新的な企業である。新竹サイエンスパークの世界最先端プラットフォーム (交通大学・TSRI) の存在が大きい。これは、台湾が50年に渡って地道に新竹サイエンスパークに基盤技術を蓄積してきた成果である。これは、日本が忘れた基盤技術の蓄積の重要性をあらためて示したものであり、「半導体立国日本再び」には見習うべきことである。

台湾国立交通大学は1896年に設立され、台湾・新竹市の新竹サイエンスパークに所在する。学生数13058名 (大学院生7762名、学部生5296名) で教員・研究者700名である。

管理棟、実験棟、学生寮、ゲストハウスが完備され、また、台湾における半導体のプラットフォームである國家實驗研究院台灣半導體研究中心（Taiwan Semiconductor Research Institute: TSRI）、放射光施設である国家同步輻射研究中心（National Synchrotron Radiation Research Center）が隣接し、世界における半導体デバイス研究の産官学連携拠点となっている。

東北大学との国際ジョイントラボラトリーは国立交通大学内の Engineering Building No.5 一階（図 3、図 4、世界の半導体メーカー TSMC 国際共同研究センターに隣接。リエゾンオフィスとジョイントラボラトリーが隣接して設置されている。）に設置し、本学の教員並びに学生が短期・長期に滞在し、国際産官学共同研究を推進している。リエゾンオフィスには東北大学から派遣された教職員が滞在し、国際ジョイントラボラトリーには交通大学（ポスドク 1 名、Ph.D 学生 2 名：東北大学寒川教授が Co-advisor）および東北大学の研究員や学生が在籍している。一方、東北大学には片平キャンパス内の産学連携先端材料研究開発センター（MaSC）4 階に国立交通大学ジョイントラボラトリーが設置され、国立交通大学の研究者を招いて国際共同研究を推進している。なお、台湾国立交通大学は、東北大学との連携を基盤に、国際的な研究拠点との連携を深める 5 年間の国際プロジェクトおよびジョイントリサーチセンター設立を教育部および科技部に申請して 2018 年 4 月から 5 年間にわたって予算措置（東北大学研究者に対する旅費、滞在費、スタッフ雇用費を含めて運営費 NT\$1500000）がなされている。一方、東北大学では各教員が国際科学技術協力基盤整備事業（JST/MOST）、A-STEP（JST）、基盤研究 S、基盤研究 A、戦略的イノベーション創造プログラム等の競争的資金および企業との共同研究費を獲得して研究を推進している。したがって、本国際ジョイントラボラトリーの中核の国立交通大学における活動は、実質を伴うものであり、本学の教員並びに学生が短期・長期に滞在し、既に整備された最新鋭の試験実験設備などを活用しながら国際的な産学官共同研究を推進している。

東北大学・交通大学国際ジョイントラボラトリー

交通大学キャンパス内に設置されている東北大学・交通大学国際ジョイントラボラトリー
(交通大学・TSMC 共同研究センターと隣接)



図 3. 東北大学・国立交通大学 国際ジョイントラボラトリー（国立交通大学工程 5 号館）

東北大学リエゾンオフィス・ジョイントラボラトリー

(2018.12.14)



リエゾンオフィス



ジョイントラボラトリー



図4. 東北大学・国立交通大学 国際ジョイントラボラトリーオフィス（工程5号館）

3. 具体的な研究体制（研究者名、研究内容、期間、研究場所等）

本ジョイントラボラトリーの運営組織および研究体制（案）は図5および表1に示す通りである。本学は、高等研究機構長の早坂理事（当時）、国立交通大学は、研究担当副校長の T.S. Lee 教授を共同ラボラトリー長とし、東北大学寒川教授および国立交通大学李教授を共同副ラボラトリー長、事務担当、財務担当そして研究領域長の6名で構成される運営委員会を設置し、本ジョイントラボラトリーの運営にあっている。

表1(a)に2018年発足当時のメンバー一覧を示す。東北大学からは金研材料研究所、流体科学研究所、材料科学高等研究所、電気通信研究所、工学研究科、理学研究科、環境科学研究科、医工学研究科、未来科学技術共同研究センターの教員が参加する全学的な枠組みでスタートした。ナノデバイスシステムグループとバイオメディカルセンサーネットワークグループにおいては、2018年～2021年の期間、若干名の追加があったものの、ほぼメンバーの変更なく共同研究がすすめられた。一方、エネルギーデバイスシステムグループは、当初流体科学研究所未だエネルギー研究センター長を務めていた寒川がグループ長を兼任して台湾における水素エネルギーの権威である黄得瑞教授とスタートさせた。共同研究テーマとしては「再生可能エネルギー由来自律型水素エネルギーシステム」を掲げ、研究計画立案立ち上げの為に、専門家である金属材料研究所・河野龍興特任教授に共同グループ長をお願いして計画立案に漕ぎつけた。しかしながら、2019年に春に国立交通大学・黄得瑞教授が病気の為逝去するに至り、急遽、ロケット研究者として有名な呉宗信教授にバトンタッチして、再度計画の立案を行うこととなった。また、東北大学側でも、河野特任教授の業務の都合上、2019年から本来の業務に専念して頂くこととなり、寒川教授が未だエネルギー研究センター長を退任するにあたって後任のセンター長に就任した石本教授にグループ長をお願いすることとなった。



研究領域	東北大責任者	交通大学責任者	東北大学側コメンター
1). エネルギーデバイス・システム	寒川誠二 教授 (IFS/AIMR) 河野龍興 特任教授 (IMR)	黄得瑞 教授	折茂慎一 教授 (AIMR/IMR) 湯本道明 特任教授 (IMR) 徳増崇 教授 (IFS) 水口将輝 准教授 (IMR) 雨澤浩史 教授 (IMRAM) 高村仁 教授 (SE) 和田山智正 教授 (SES)
2). ナノデバイス・システム	寒川誠二 教授 (IFS/AIMR)	唐震寰 教授	寺本章伸 教授 (Niche) 小野崇人 教授 (SE) 陳強教 教授 (SE) 松岡隆志 教授 (IMR) 末松憲治 教授 (CIES)
3). バイオメディカル・センサーネットワーク	田中徹 教授 (SBE)	柯明道 教授	小野崇人 教授 (SE) 太田信 教授 (IFS) 佐藤岳彦 教授 (IFS)

研究領域	東北大責任者	交通大学責任者	東北大学側コアメンバー
1). エネルギーデバイス・システム	石本淳 教授 (IFS)	呉宗信 教授	徳増崇 教授 (IFS) 水口将輝 准教授 (IMR) 雨澤浩史 教授 (IMRAM) 高村仁 教授 (SE) 和田山智正 教授 (SES)
2). ナノデバイス・システム	寒川誠二 教授 (IFS/AIMR)	唐震寰 教授	寺本章伸 教授 (Niche) 小野崇人 教授 (SE) 陳強教 教授 (SE) 松岡隆志 教授 (IMR) 末松憲治 教授 (CIES) 室田淳一 教授 (マイクロシステム融合研究開発センター)
3). バイオメディカル・センサーネットワーク	田中徹 教授 (SBE)	柯明道 教授	小野崇人 教授 (SE) 太田信 教授 (IFS) 佐藤岳彦 教授 (IFS)

— 6 —

4. 共同研究成果の概要

1) ナノデバイス・システムグループ

図 6 に現在の最先端半導体テクノロジーのロードマップを示す。2020 年現在において最も最先端のデバイスを製造しているのは TSMC であり、量産では 3 次元 Fin FET により 7/5nm 世代のデバイスが主流である。2022 年以降は 5/3nm、2025 年以降には 3/2nm 世代のデバイスが市場に投入されることとなっている。

2018 年の東北大学・国立交通大学国際ジョイントラボラトリー発足の当時は、図 7 に示すように、既に東北大学と交通大学、TSRI の共同研究で、中性粒子ビーム技術を用いて Sub-7nm Ge Fin FET を世界で初めて実現していた (High Performance Complementary Ge Peaking FinFETs by Room Temperature Neutral Beam Oxidation for Sub-7 nm Technology Node Applications., IEEE International Electron Devices Meeting, 33.5 (San Francisco, 2016/12/07))。そこで、東北大学・国立交通大学国際ジョイントラボラトリーにおけるナノデバイスシステムグループとしては、5/3nm 世代、3/2nm 世代を目指した最先端半導体デバイスの開発を目標とした。

まず、2018 年は 5/3nm 世代で主流となる GAA 構造および Nanosheet 構造の開発に取り組んだ。その成果として、2018 年 IEEE IEDM で Nanosheet 構造 (Voltage Transfer Characteristics Matching by Different Nanosheet Layer Numbers of Vertically Stacked Junctionless CMOS Inverter for SoP/3D-ICs applications, IEEE 2018 International Electron Device Meeting, 21.4 (San Francisco/USA, 2018/12/04)) および 2019 年 IEEE IEDM では GAA 構造 (First Demonstration of CMOS Inverter and 6T-SRAM Based on GAA CFETs Structure for 3D-IC Applications”, IEEE 2019 International Electron Device Meeting, 11.7 (San Francisco/USA, 2019/12/10)) を世界で初めて実現した。

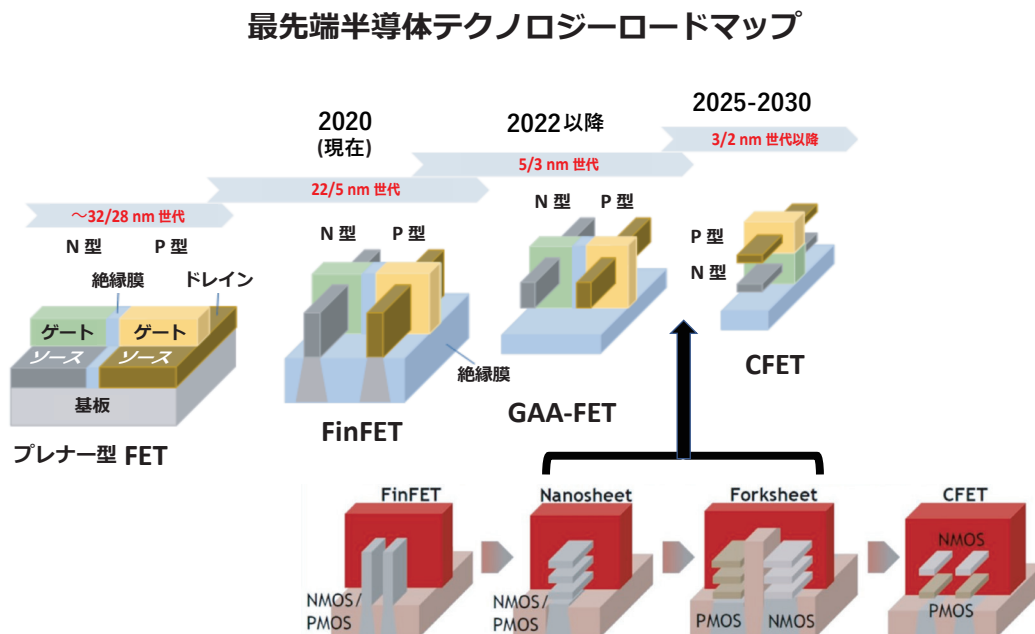


図 6. 最先端半導体テクノロジーロードマップ

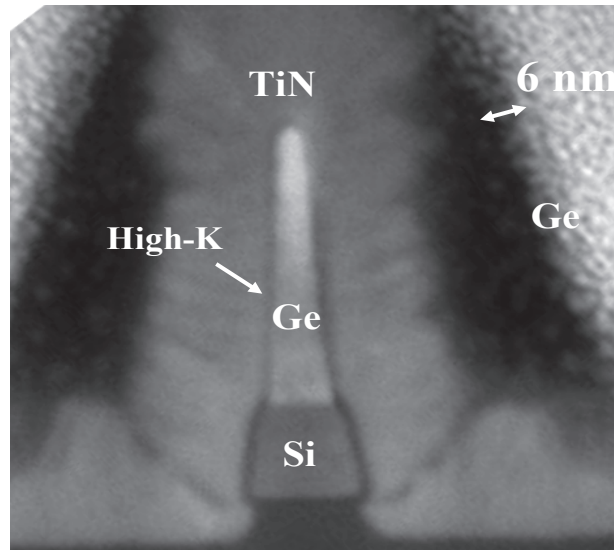


図7. 中性粒子ビームを用いた Sub-7nm Ge Fin FET

これらの成果に基づいて、2020 年は国際科学技術協力基盤整備事業（日本－台湾研究交流）AI システム構成に資するナノエレクトロニクス技術「AI チップ技術に向けた三次元異種機能集積 hCFETs」(JST-MOST) に採択され、東北大学・国立交通大学・国際ジョイントラボラトリーを中核として、産業技術総合研究所および TSRI と連携することで、人工知能 (AI) チップの技術基盤となる 3/2nm 世代の三次元異種機能・異種材料集積された Heterogeneous complimentary field effect transistors (hCFETs) を世界で初めて開発した (図 8)。この成果は IEEE 2020 IEDM (First Demonstration of heterogenous Complementary FETs utilizing Low-Temperature (200°C) Hetero-Layers Bonding Technique (LT-HBT), IEEE 2020 International Electron Device Meeting, 15.5 (2020/12/04)) で発表され、注目を集めた。本研究成果は、2nm 世代向けの Si/Ge 異種チャネル集積プラットフォームの構築を実現したもので、2030 年までに必要となる Si/Ge、SiC、GaN 等の異種材料デバイスの System on Chip 化となる AI チップ開発には必要不可欠なプラットフォームとなる。

以上の成果を基に、2021 年はコロナ禍であるにも関わらず、国立交通大学と連携して TSMC、Innolux、Macronix との国際共同研究を提案しており（補足資料①参照）、実質的に初めての国際産学共同研究をスタートさせる予定となっている（既に Innolux とは合意、TSMC、Macronix とは議論中）。

2) バイオメディカルセンサーネットワークグループ

本グループでは、図 9 に示すように東北大学の強みである MEMS/NEMS センサー技術と国立交通大学の強みである半導体技術の融合による生体センサ向けのバイオメディカル技術プラットフォームの構築を実現し、最終的に眼球内完全埋植人工網膜用の三次元積層人工網膜チップの試作やエネルギーハーベスタと LSI の融合を目指している。

高齢化社会の進行に伴い、加齢黄斑変性のような老化に起因する眼疾患によって失明する患者数が増加しており、特に我が国においてその傾向が顕著である。また、網膜色素変

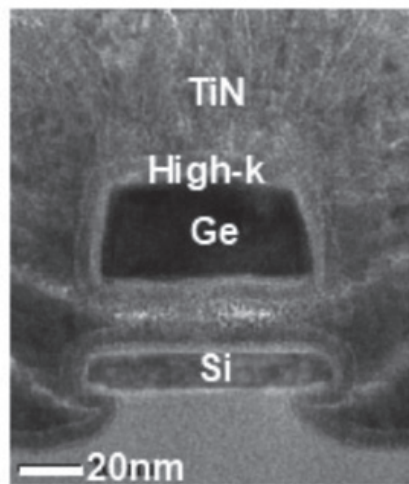
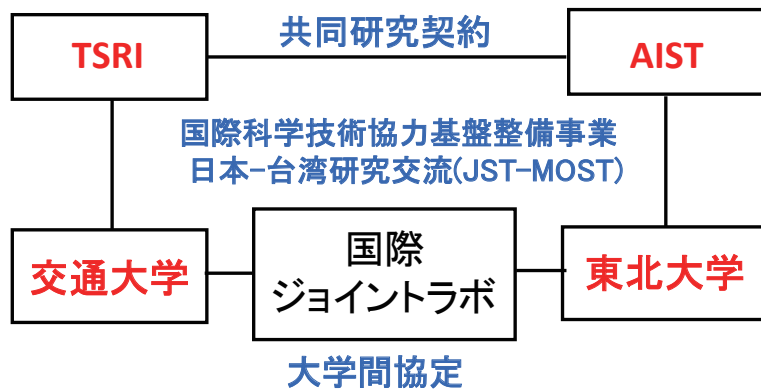


図8. 国際ジョイントラボラトリ連携体制と世界で初めて実現した3/2nm世代Si/Ge異種チャネル集積CFET

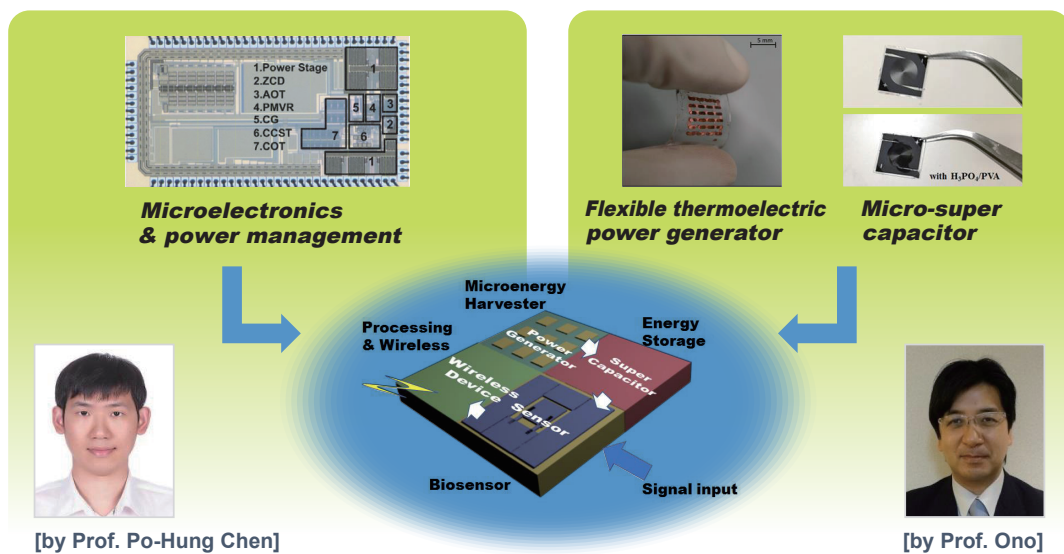


図9. バイオメディカル技術プラットフォームの構築

性症の患者は全世界で約 300 万人もいると言われている。加齢黄斑変性や網膜色素変性症では、光信号を電気信号へ変換する機能を持つ網膜内の視細胞が部分的に変性、死滅して失明します。これらの疾患に対しては効果的な医学的治療法がまだ確立されておらず、一度発症すると高い確率で視覚を失う。現在、世界には 4500 万人の失明患者がいると言われていますが、今後これらの疾患による失明患者の割合がますます増加していくと考えられる。一方、これまでの研究で、加齢黄斑変性や網膜色素変性症では、視細胞以外の網膜細胞が高い確率で生存していることが分かっている。現在、iPS 細胞から視細胞を再生する治療法に関する研究が行われていますが、工学の分野においても、残存する網膜細胞を電気刺激することで失われた視覚の再建を図る人工網膜の開発が広く行われている。本研究では、3次元積層人工網膜チップを有する完全埋め込み型人工網膜の開発を行っている。この人工網膜は、3次元積層人工網膜チップ、刺激電極アレイを有するフレキシブルケーブル、整流・平滑・電圧制御回路、電力を受電するコイルからなり、これらを一つのモジュールとして一体化し眼球内に埋め込む。3次元積層人工網膜チップは、3次元集積化技術を用いて、フォトダイオードアレイからなる受光素子チップとエッジ強調のような高次視覚情報処理、および刺激電流を生成する LSI チップを縦方向に積層し、チップ間を貫通するシリコン貫通配線（Through Si Via; TSV）と金属マイクロバンプにより各チップを電気的に接続したものである。この3次元積層人工網膜チップの最表面にあるのは受光素子のみであり、高開口率・高解像度・小型軽量・高次視覚情報処理が実現可能となる。国立交通大学との連携により 2020 年までに、外部の明るさに対応した双極性の網膜刺激電流パルス列を出力する機能やエッジ検出機能を有する 1369 画素を有する三次元積層人工網膜チップ（図 10）の作製に成功し、99.9%の画素動作率を達成した。また、人工網膜チップを埋め込んで光覚を誘起することにも成功した。

また、エネルギーハーベスタと LSI の融合を目指して、新たに大面積のフレキシブル熱電素子の開発を進めている。めっきプロセスを利用して熱電素子を作製するため、高速かつ大面積で Te 系熱電材料を堆積する方法を開発した。更に、熱電性能を向上させるため、Te 系熱電材料への不純物やナノ微粒子のドーピング効果について実験的に探索実験を行った。実際にフレキシブルなエネルギーハーベスタを試作し、その有効性を確認した（図 11）。

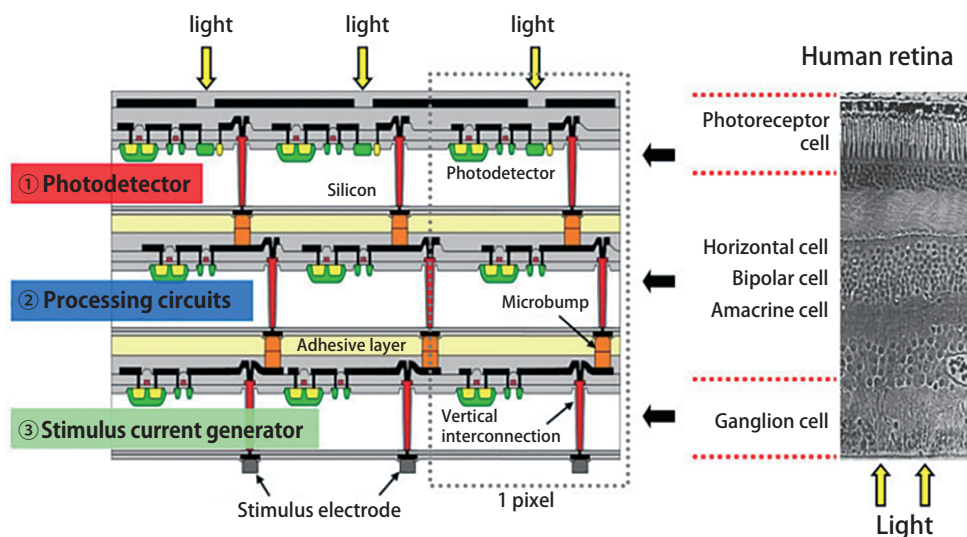
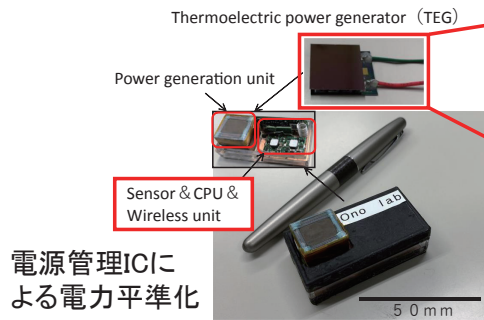
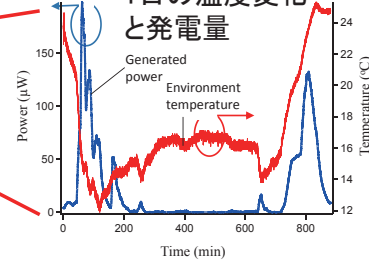


図 10. 3次元積層人工網膜チップ

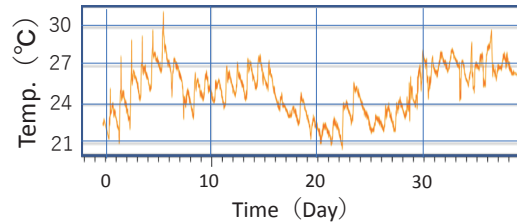
開発したバッテリーレスIoTセンサシステム



1日の温度変化と発電量



40日連続バッテリーレス温度計測に成功



Ming-Jie Chung, Tetsuya Hirose, Takahito Ono, Po-Hung Chen, A 115x Conversion-Ratio Thermoelectric Energy-Harvesting Battery Charger for the Internet of Things, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers (2020)

図 11. 温度変動耐性の高い蓄熱発電 IoT センサシステムの開発

3) エネルギーデバイスシステムグループ

本研究では、東北大学が得意とする水素エネルギー材料およびエネルギー流動と交通大学が得意とするシステムインテグレーションを補完的に組み合わせて、再生可能由来水素自律型エネルギーシステムを実現することを目標としている（図 12）。台湾は水素エネルギー先進国であり、台南に数千億かけて Shalun Smart Green Energy Science City（図 13）を立ち上げている。そのサイエンスパークの中核に国立交通大学台南キャンパスがあり、太陽電池、風力発電、水素エネルギーシステムに関する産学連携を活発に行っている。本プロジェクトにおいても、この国立交通大学台南キャンパスに拠点を置き、太陽日酸(株)と共同で水素自律型エネルギーシステムを導入し、エネルギーキャリアとしての水素に関し、水素精製・輸送・貯蔵とリスク管理に関する総合的検討を行い、次世代再生可能型水素エネルギーシステムを構築する。特に、水素適正供給の最適化ならび相互補償、キャリアとしての最適利用法に関する検討を行い、SDGs に立脚した自然エネルギー由来のグリーンスマート水素シティの実現を目指す。

エネルギー媒体としての水素を効果的に活用するには、電力会社等の巨大パワーソースからの一極管理方式から脱却し、分散型供給・利用システム構築に必要となる P2P（ピア・ツー・ピア）基礎概念（図 14）を確立する必要がある。そのため、小規模分散型の水素生産技術、即時使用型フレームワークと貯蔵方式の開発のみならず、エネルギー余剰の代替補償に関し最新のネットワーク理論とオーバーレイネットワークリソースを用いた、最も効果的な水素供給方式を開発する。現在まで、グラフ理論を用いた相互補償型水素エネルギーサプライチェーンに関するシミュレーション手法の開発に成功した。水素の需要と供給に関して、グラフ理論と確率密度関数を用いた H₂ 最適配分を可能にするアルゴリズムの開発に成功した。また、水素の引火限界濃度や安全性を十分考慮した水素ステーション設計、ならびに水素脆化や繰り返し応力の発生に基づく材料劣化の影響を考慮した高圧水素タンクの設計に必要となる、き裂伝播に伴う水素漏えい現象に関する混相流体－構造体

The Proposed Hydrogen Energy System

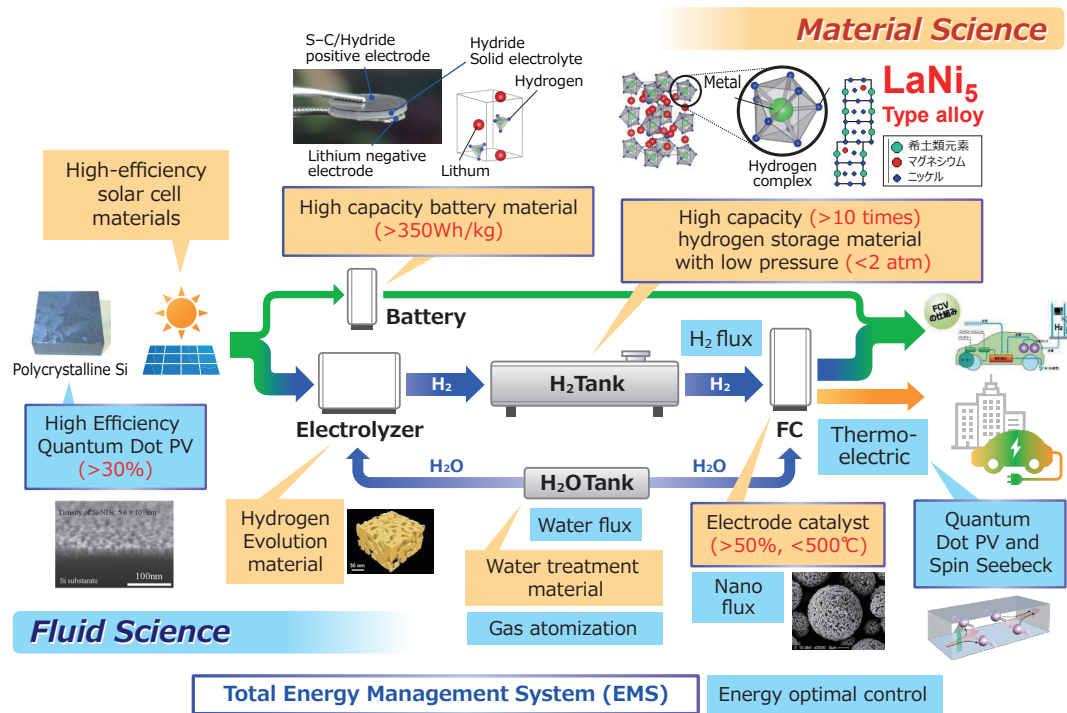


図 12. 再生可能由来水素自律型エネルギーシステム

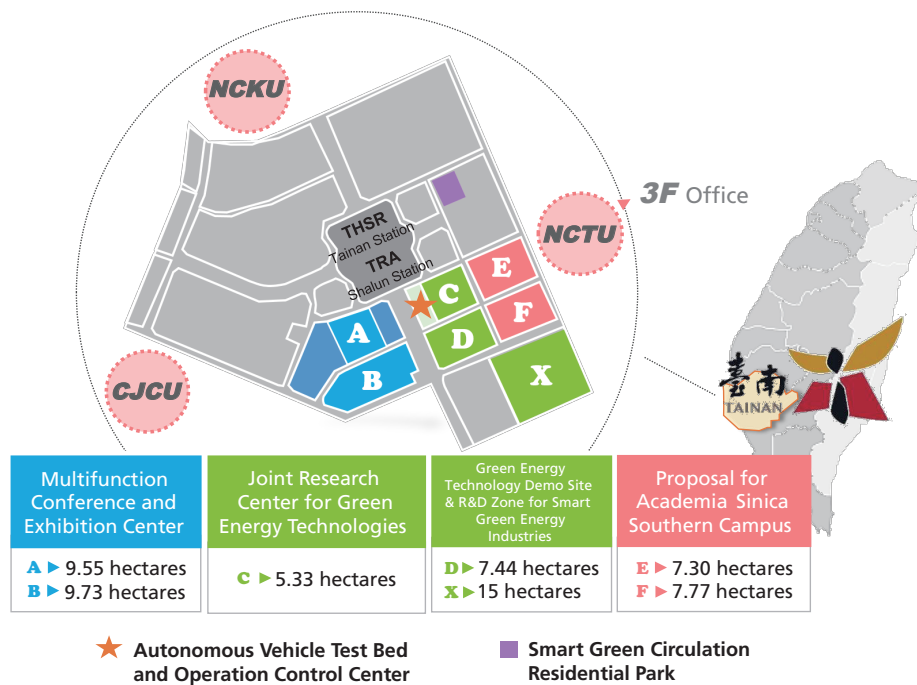


図 13. 国立交通大学台南キャンパスに隣接する Shalun Smart Green Energy Science City

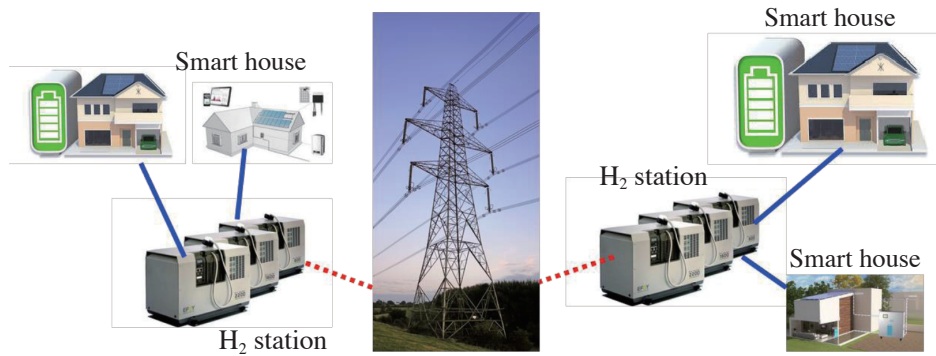


図 14. P2P 型多相水素エネルギーサプライチェーンの模式

連成スーパーコンピューティングを実施した。その結果、高圧水素タンクのき裂伝播現象を解析する上で必要となる連続体力学理論、線形破壊力学理論の基礎、粒子法の一つである Peridynamics モデルによる材料き裂伝ば解析を実施した。また、3 分間高速充填連成解析システムの開発を行い、70MPa 高圧水素高速水素漏えい現象に関する流体－材料連成コンピューティングにより漏洩水素の濃度予測が可能となった。

4) 今後の展望

2018 年 8 月に東北大学・国立交通大学国際ジョイントラボラトリーが発足して以来 3 年間に渡って、東北大学の材料・プロセス技術とエネルギー流動技術、国立交通大学の半導体デバイステクノロジーおよびシステムインテグレーション技術を融合して世界最先端の半導体デバイス、バイオメディカルセンサーネットワーク、水素エネルギーシステムを実現するという目標に向かって、日本の大学としては異例の基盤技術を結集した戦略的国際研究教育プラットフォームの構築に挑戦してきた（図 15）。その結果、半導体デバイスにおいて、産業技術総合研究所（AIST）および台湾半導体研究センター（TSRI）の協力も得て、世界で初めて 3/2nm 世代の 3 次元異種材料集積化プラットフォームの構築が実現できた。これは世界が注目する画期的な成果である。更に、この異種材料集積プラットフォームを基盤として成熟したシリコンテクノロジーが展開できる生体センサ向けのバイオメディカル IoT プラットフォームも実現できた。これらは国際ジョイントラボラトリーとして戦略的国際研究教育プラットフォームの構築への挑戦という新たな試みに対して極めて大きな成果である。今後、超高周波 GaN HEMT と超低消費電力 Ge Fin FET を融合した次世代ミリ波対応システムオンチップ(SoC)および AI チップの実現や量子コンピューターデバイス、眼球内完全埋植人工網膜用の三次元積層人工網膜チップの動物埋植・機能検証実験を進めていくこととなる。また、エネルギーハーベスタと LSI を利用してセンサシステムを開発し、生体 IoT センサとしての実証を進める。今後は医科大学・陽明大学との合併で、医工連携を促進する国立陽明交通大学との国際ジョイントラボラトリーとして医療 ICT への展開も大いに期待される。

一方、水素エネルギーシステムに関しては、台湾水素関連企業、大陽日酸との国際産学連携の枠組みが出来上がったので、今後、水素自律型エネルギーシステムの台湾キャンパスへの導入評価を進め、水素エネルギー技術プラットフォームを構築する。このプラット

フォームを基盤として水素エネルギーサプライチェーンの構築を目指す。従来型のシステムにおいてはその供給方向はパワーソースからの一方向に限られる。しかしながらこれらの電力供給源が気象変動・自然災害等の要因によりトラブルが生じた場合、水素のエネルギーキャリアとしての使命は失われることになる。そこで本プロジェクトでは、脱炭素P2P マルチグリッド型の相互補償を可能にする多相水素サプライチェーンの構築を目指す。さらに、エネルギーキャリアとしての水素多相高密度化は流体力学的知見のみならず複数の学理からなる総合科学的検証を実施してゆく。



図 15. 東北大学・国立交通大学国際ジョイントラボの今後の展望

5. 共著論文実績と分析

図 16 に 2017 年にリエゾンオフィス、2018 年に東北大学・国立交通大学国際ジョイントラボラトリーを設置した前後における共著論文数を示す。国際ジョイントラボラトリーの発足後、毎年 20 件前後の共著論文が掲載されており、新型コロナウイルスのパンデミック禍の 2020 年においても 20 件を超える共著論文が掲載されたことは驚異的である。国際研究教育プラットフォームの構築を進めてきたことで、今後ますます共同研究や連携講座およびダブルディグリープログラムの促進を安定して加速できるものと考えている。

図 17 には国際ジョイントラボラトリー発足前後における国立交通大学（2021 年は国立陽明交通大学）との共著論文の関係部局の推移を示している。当初の関係部局から工学系だけでなく医歯薬系に大きく広がっていることが見て取れる。特に、2021 年は医科大学の

陽明大学と交通大学が合併した陽明交通大学となったことで、医学薬学歯学系が9件と大きく増えていることが特筆すべきことである。国際ジョイントラボラトリーの戦略として、研究および教育の連携の枠組みを医薬歯学系に広げていくことで、半導体材料・センサープラットフォームを基盤に医療 ICT への展開が大いに期待される。

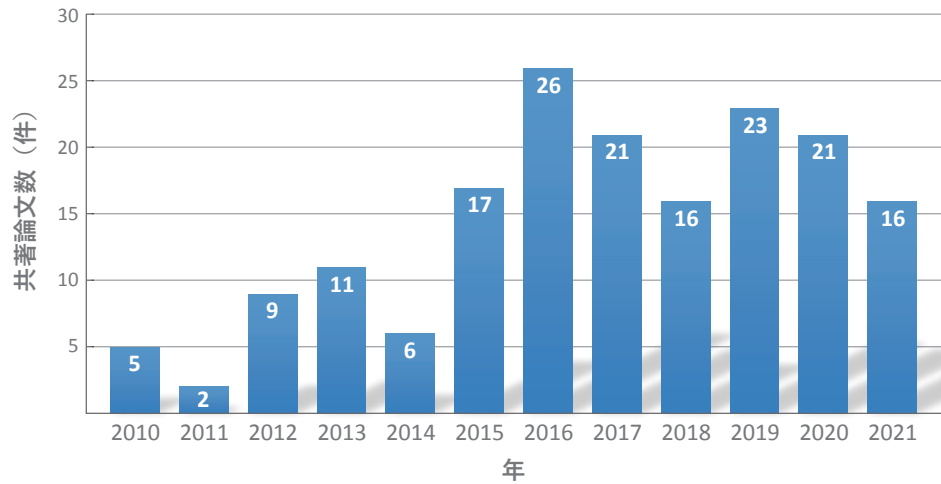


図 16. 東北大学と国立陽明交通大学における共著論文数の推移（2021.5, Scopus より）

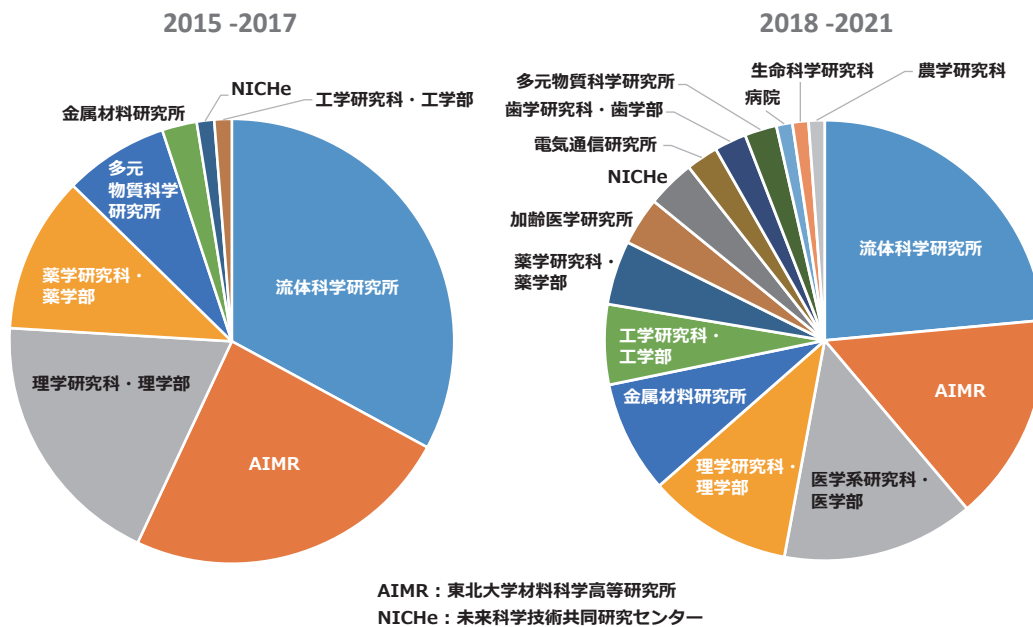


図 17. 国際ジョイントラボラトリー発足前後における共著論文の東北大学部局別論文数割合

6. 交流実績の概要

1) 受け入れおよび派遣の実績

表3に教職員および学生の交流実績を示す。国際ジョイントラボラトリーが発足した2018年以降は教職員の受け入れや派遣に関しては大幅に増加しており、ジョイントラボラトリーの設置された効果が大きいことが分かる。この間、国立交通大学から東北大学への客員教授は2名（李教授、呉教授）、東北大学から国立交通大学への客員教授は3名（寒川教授、小野教授、河野特任教授）が就任し、学生へのCo-advisorなどを進めている。また、2019年11月5日に開催された第二回運営委員会に置いて、東北大学・大野総長と国立交通大学・陳学長の間で、クロスアポイント制度を設けることが決定された。今後、クロスアポイント制度を使って、更に交流が増えることが期待される。更に、2018年に締結されたダブルディグリープログラムの効果もあって、交換留学が2019年度より増えていることも注目に値する。現在、ナノデバイス・システムグループ、バイオメディカルセンサーネットワークグループ、水素自律型エネルギーシステム研究交流の加速に伴い、今後は学生交流も加速していきたい。

表3. 教職員・学生交流実績

2. 交流実績			過去5年間の交流実績						
交流内容			平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	合計	
教職員・研究者の交流	受入		31人	17人	47人	26人	43人	164人	
	派遣		16人	21人	27人	38人	20人	122人	
交換留学実績 (大学間協定校との交流枠)	受入		1人	2人	2人	0人	4人	9人	
	派遣		0人	0人	0人	0人	0人	0人	

2) 運営委員会およびワークショップの開催（運営委員会3回、ワークショップ10回）

ジョイントラボラトリーの下に、1) 水素自律型エネルギーシステム（エネルギーデバイスシステムグループ）、2) ポスト5Gスマートレーダーシステム（ナノデバイスシステムグループ）、3) バイオメディカルセンサーネットワーク（バイオメディカルセンサーネットワークグループ）、の3つの研究プロジェクトが存在し、それぞれ共同グループリーダーが東北大学および交通大学双方からアサインされている。これらのグループリーダーの責任の下、研究計画の立案や推進を行っている。年に1度、共同ラボラトリー長、共同副ラボラトリー長、共同グループリーダー、事務管理グループ（東北大流体研、交通大電機学院）で構成された運営委員会を開催し、同時に研究成果の発表の為にジョイントワークショップを開催している。運営委員会および大学主催のジョイントワークショップは、年1回、2018年12月14日、2019年11月5日、2020年10月29日の3回開催されており、運営全体に関する審議（人事、研究内容、研究資金）および研究成果の発表を行った。それ以外に、各グループの技術ワークショップを、3年間の間にエネルギーデバイスシステムグループは1回、ナノデバイスシステムグループは4回、バイオメディカルセンサーネットワークグループは2回開催して、技術的交流を積極的に行った。

December 14, 2018

第一回ジョイントワークショップ、第一回運営委員会

(主催：交通大学)

国立交通大学・東北大学ジョイントリサーチセンター設立記念式典(2018年12月14日)



*Technical Workshop for
International Joint Research
between NCTU and Tohoku University*

14:40-14:43 Remark by Senior Vice President Edward Yi Chang

14:43-14:46 Remark by Executive Vice-president Tadahiro HAYASAKA

14:46-14:50 Introducing TU staff by Mr. Hiroshi OIKAWA, Chief, International Affairs Center

14:50-14:55 Group Photo

15:00-15:20 --- **Speaker 1** – Prof. Dr. Tatsuoki KONO, IMR, Hydrogen Energy System

15:20-15:40 --- **Speaker 2 and NCTU Moderator** - Prof. Dr. Jong-Shinn Wu (吳宗信) / Distinguished Professor Dept. of Mechanical Engineering

15:40-16:00 --- **Speaker 3 and TU Moderator** – Prof. Dr. Seiji SAMUKAWA, mm-Wave Smart Rader and Hydrogen Energy System

16:00-16:20 --- **Speaker 4** – Prof. Dr. Yiming Li (李義明) / Professor, Dep. of Electrical and Computer Engineering

16:20-16:40 --- **Speaker 5** – Prof. Dr. Tetsu TANAKA(徹 田中), GSBME, Bio-Medical Sensor project

16:40-17:00 --- **Speaker 6** - Prof. Dr. Ming-Dou Ker (柯明道) / Professor, Dept. of Electronics Engineering

November 5, 2019

第二回ジョイントワークショップ、第二回運営委員会

(主催：東北大学)



*Tohoku University-National Chiao Tung University
5th Technical Workshop 2019*

November 5, 2019

Katahira North Gate Hall, Tohoku University

Moderator: Seiji Samukawa (Tohoku University)
Yiming Li (NCTU)

By commemorating the establishment of the Joint Research Center between Tohoku University and National Chiao Tung University, a joint technical workshop will be held in Katahira North Gate Hall, Katahira Campus of Tohoku University, Sendai on November 5, 2019. Professor Takashi Matsuoka (Niche Tohoku University) and Prof. Jenn-Hwan Tarng (ECE, NCTU) are invited as keynote speakers. 3 Group Leaders from 3 joint projects such as mm-Wave Rader System, Hydrogen Energy System, and Bio-medical Sensor Network from both universities will also have invited talks in this joint workshop.

13:00-13:25 **Joint Symposium Opening Ceremony**

President Hideo Ohno (Tohoku University)

President Sin-Horng Chen (NCTU)

13:30-13:45 **Joint Workshop Opening Remarks**

Vice-president for RD, Prof. Tadahiro Hayasaka (Tohoku University)

Vice-president for RD, Prof. Ta-Sung Lee (NCTU)

Prof. Shigeru Obayashi (Tohoku University, Japan)

Prof. Jenn-Hwan Tarng (NCTU, Taiwan)

(Technical Workshop)

1)13:45 **From the Dawn, through the Present, to the Future of Nitride Semiconductors**

Takashi Matsuoka (Tohoku University, Japan)

2)14:30 **mm-Wave Phased Array for 5G & Radar Applications**

Jenn-Hwan Tarng (NCTU, Taiwan)

15:15 **Break (15 min)**

3)15:30 **Current and Future Hydrogen Energy Applications in Taiwan**

Jong-Shinn Wu (NCTU, Taiwan)

4)15:50 **Development of multi-phase hydrogen energy supply chain by Peer to Peer method**

Jun Ishimoto (Tohoku University, Japan)

5)16:10 **2019 Joint Research Activities on Nano-Devices**

Yiming Li (NCTU, Taiwan)

6)16:30 **Atomic Layer Defect-free Etching for GaN-BASED HEMTs**

Seiji Samukawa (Tohoku University, Japan)

7)16:50 **SoC Technology for Biomedical Applications -- Neuromodulation Therapy**

Ming-Dou Ker (NCTU, Taiwan)

8)17:10 **Research Progress of Next-Generation Biomedical Sensor and Network Project**

Tetsu Tanaka (Tohoku University, Japan)

ジョイントシンポジウム

11月4日～6日 国立交通大学・東北大学・ジョイントラボ/ネットワーク拠点/学際エネルギー拠点合同シンポジウム（案）

8.30現在

11月4日			11月5日			11月6日		
AM	9:00	物質デバイスネットワーク型 共同研究拠点交通大学 シンポジウム	9:00		国立交通大学Chen学長 他学内視察		エネルギー価値学 創生研究拠点 (国際センター、200-300名) JSTサイエンスアゴラと共催 (予定) 11月6日：エネルギー 政策と地域との連携	
	11:00 ～ 12:00		東北大・NCTUジョイント ラボ運営会議 (セリシール、早坂理事、 李副学長、20名)					
	12:00							
	ランチ（萩レストラン）							
PM	13:00		13:00	全体会議(エスパス、大野総長、早坂理事、70名)			エネルギー価値学 創生研究拠点	
	13:30		東北大・交通大 ジョイントラボ セレモニー、ジョイント ワークショップ (エスパス35名)	エネルギー価値学 創生研究拠点 シンポジウム (さくらホール、35名) JSTサイエンスアゴラと 共催（予定） 11月5日：技術オリエン テッド(東北大学主体)				
	15:00 ～ 16:00	ポスターセッション						
	16:00							
	18:00	東北大・国立交通大学 ジョイント バンケット 総長・早坂理事 出席 (ウエスティン) (42～45名)	18:00					

October 29, 2020

第三回ジョイントワークショップ、第三回運営委員会（オンライン）

東北大・交通大・国際ジョイントラボラトリー
(2018.7.12設立)



NCTU
Semiconductor Technology

- 照明能源所
・ 沙崙 Green Energy Science Park
- 電機学院
・ 新竹 Science Park/
National Nano-device Lab.





Interdisciplinary Research

Hydrogen Independent Energy System

5G and mm-wave Radar System

Bio-medical Sensor Network



Tohoku University
Materials Science

- 指定国立大学材料拠点
・ 産学連携先端材料研究センター (MaSC)
・ Material Valley
- マイクロナノマシニング研究教育センター
- マイクロシステム融合研究開発センター









Worldwide Top-notch Joint Research Center for International Competitiveness

— 19 —

Agenda

Opening Addresses (14:00-14:30) Chair: Prof. Yiming Li (NCTU)
 Professor Ta-Sung Lee (R&D Vice-president, NCTU, Taiwan)
 Professor Kaoru Maruta (Director of IFS, Tohoku University, Japan)
 Professor Jenn-Hwan Tarn (Dean of ECE, NCTU, Taiwan)

Technical Workshop

Keynote Session Chair: Prof. Seiji Samukawa (Tohoku Univ.)

- 1) 14:30 **(Keynote) Semiconductor Device Technology for Quantum Computers**
 Dr. Kazuhiko Endo (AIST/Tohoku University, Japan)
- 2) 15:00 **(Keynote) Tunable Diameter and Interspace of Ge Quantum Dots for Qubits and Readout Devices Using Highly -Controllable Spacers and Selective Oxidation of SiGe**
 Professor Pei-Wen Li (NCTU, Taiwan)

General Session Chair: Prof. Seiji Samukawa and Prof. Yiming Li

- 3) 15:30 **Nano-Devices Technologies Gr (1)**
 Professor Seiji Samukawa (Tohoku University/AIST, Japan)
- 4) 15:40 **(Invited) High Resolution sub-10 μ m Micro-LED Technology**
 Dr. Xuelun Wang (AIST, Japan)
- 5) 16:00 **Nano-Devices Technologies Gr (2)**
 Professor Yiming Li (NCTU, Taiwan)
- 6) 16:10 **(Invited) Full Color Microled by Quantum Dots Technology**
 Professor Hao-Chung Kuo (NCTU, Taiwan)
- 7) 16:30 **(Invited) Introduction of HYDROGENIUS Activities: Investigation of Material Compatibility to High-Pressure Hydrogen-Gas Environment**
 Professor Osamu Takakuwa (Kyushu University, Japan)
- 8) 16:50 **(Invited) Oxidative Steam Reforming of Ethanol for Hydrogen Production over Metal Oxide/La₂Zr₂O₇ Catalysts**
 Professor Chi-Shen Lee (NCTU, Taiwan)
- 9) 17:10 **Bio-Medical Sensor Network Gr (1)**
 Professor Tetsu Tanaka (Tohoku University, Japan)
- 10) 17:20 **(Invited) Nanoengineered Energy Harvesting System for Health Care Devices**
 Professor Takahito Ono (Tohoku University, Japan)
- 11) 17:40 **Bio-Medical Sensor Network Gr (2)**
 Professor Ming-Dou Ker (NCTU, Taiwan)
- 12) 17:50 **(Invited) A Micromachined Multimodal Probe for Ischemia Muscle Monitoring**
 Professor Yu-Ting Cheng (NCTU, Taiwan)

Closing Remarks



東北大学
 TOHOKU UNIVERSITY



國立交通大學
 National Chiao Tung University

Tohoku University-National Chiao Tung University The 6th Joint Technical Workshop(online) 2020

14:00-18:10 (JST), October 29/2020

in conjunction with
 The 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020)

Moderator: Professor Seiji Samukawa, Tohoku University/AIST, Japan
 Professor Yiming Li, NCTU, Taiwan

Online Address <Open from 13:30 (JST) on Oct. 29>
<https://meet.google.com/xqv-ixvo-fqw>

By commemorating the establishment of the Joint Research Center between Tohoku University, Sendai, Japan and National Chiao Tung University (NCTU), Hsinchu, Taiwan, a joint technical workshop will be held in conjunction with the 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020) at Sendai, Japan, on October 29, 2020. Dr. Kazuhiko Endo (AIST/Tohoku University) and Professor Pei-Wen Li (NCTU) are invited as keynote speakers. 3 Group Leaders and Invited Topics Speakers from 3 joint projects such as Nano-Devices, Hydrogen Energy System, and Bio-Medical Sensor Network from both universities will also have talks in this joint technical workshop.

個別ワークショップ

May 23, 2018

NEMS/MEMS アンテナワークショップ

(主催：ナノデバイスシステムグループ)



國立交通大學
National Chiao Tung University



東北大学
TOHOKU UNIVERSITY

1:30pm, May 23, 2018
交大工程四館8樓智易空間

交大/東北大 台日奈微米機電天線研討會 Workshop on NEMA/MEMS Antenna

Speakers:



Dr. Seiji Samukawa
Professor, Tohoku Univ.

Atomic Layer Defect-free Etching technology and Its application for High Performance GaN HEMT

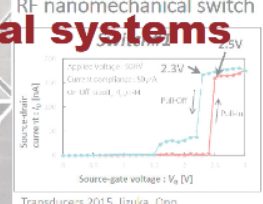
Defect-free Top-down Nano-fabrication Process
=Neutral Beam Etching Processes=
Defect Density: $2.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$



Dr. Takahito Ono
Professor, Tohoku Univ.

Microelectromechanical systems for RF applications

RF nanomechanical switch



Transducers 2015, Iizuka, Ono

Organizer: College of Electrical and Computer Engineering, National Chiao Tung University
Co-organizer: Institute of Communications Engineering, National Chiao Tung University
Department of Electrical and Computer Engineering, National Chiao Tung University

August 7, 2018

水素エネルギーワークショップ

(主催：水素自律型エネルギーシステムグループ)

台湾交通大学との水素自立型エネルギーシステム に関する共同研究MOUの締結

台南, 2018.8.7



台湾は水素利用先進国(水素スクーター)

台灣氫能產業發展聯盟成立大會暨臺灣氫能策略論壇		
時間	分	議程
9:30~10:00		報到
10:00~10:15	15	貴賓致詞
10:15~10:30	15	會員大會
10:30~10:45	15	氫能機車啟動儀式
10:45~10:50	5	國立交通大學/日本東北大學MOU簽訂(洽談中)
10:50~11:00	10	茶敘
11:00~11:30	30	台灣氫能產業概況/黃得瑞主任 沙崙智慧綠能科學城
11:30~12:30	60	再生能源產氫系統介紹/日本東北大學(邀請中)
12:30~13:30	60	午餐/
13:30~13:50	20	氫能發電/中興電工(邀請中)
13:50~14:10	20	儲氫設備/晉陞太空(邀請中)
14:10~14:30	20	氫氣的來源/光宇材料(邀請中)
14:30~14:50	20	燃料電池/美菲德(邀請中)
14:50~15:10	20	氫能載具/亞太燃料
15:10~15:30	20	茶敘
15:30~16:30	60	臺灣氫能策略論壇
16:30		賦歸

以上議程及演講主辦單位保留修改的權利

November 30, 2018

バイオメディカルセンサーネットワークワークショップ

(主催：バイオメディカルセンサーネットワークグループ)

Technical Workshop of Biomedical Sensor and Network Project in International Joint Research Laboratory between NCTU and Tohoku Univ

Date: November 30 (Friday), 2018

Venue: WPI-AIMR Main Building (B01), Katahira campus, Tohoku Univ.
(www.tohoku.ac.jp/en/about/map_directions.html)

- 10:00-10:05 Opening remarks
- 10:05-10:15 Introduction of International Joint Research Laboratory
[Prof. Seiji SAMUKAWA]
- 10:15-10:35 Overview on the Research Projects in Biomedical Electronics
Translational Research Center (BETRC) of NCTU
[Prof. Morris (Ming-Dou) KER]
- 10:35-11:05 Integrated Biomedical Micro/Nano Devices with 3D -IC Technology
[Prof. Tetsu TANAKA]
- 11:05-11:35 AIEnabled Mobile Health -Care Applications
[Prof. Chen-Yi LEE]
- 11:35-12:05 Micro/Nano Sensors for Health Care Applications
[Prof. Takahito ONO]
- 12:05-13:20 Lunch
- 13:20-14:20 Lab tour (T. Sato laboratory and M. Ohta laboratory)
- 14:30-15:00 Atmospheric Pressure Plasma Flow for Bio -medical Applications
[Prof. Takehiko SATO]
- 15:00-15:30 Power Management for Implantable Medical Devices
[Prof. Po-Hung CHEN]
- 15:30-15:45 Break
- 15:45-16:15 Model of Tissue with Mechanical Properties for Edu-Tech
[Prof. Makoto OHTA]
- 16:15-16:45 A Fully Integrated Closed-Loop Neuromodulation SoC with Wireless
Power and Bi-Directional Data Telemetry for Real -Time Human Epileptic Seizure
Control
[Dr. Cheng-Hsiang CHENG]
- 16:45-17:00 Discussion of joint research project
- 17:00-17:05 Closing remarks
[Prof. Morris (Ming-Dou) KER]
- 17:05- Dinner

January 21, 2019

5G およびミリ波スマートレーダーシステムワークショップ
(主催：ナノデバイスシステムグループ)



2nd Joint Workshop

on 5G and mm-Wave Smart Radar System

Jan. 21, 2019,

**Fluctuation Free Facility, New Industry Creation Hatchery Center
Tohoku University**

Moderator

Prof. Seiji Samukawa (IFS/AIMR, Tohoku University)

Prof. Yiming Li (ECE, UNC)

Program

- 1) 10:00-10:05 Opening Remarks, Prof. S. Samukawa and Prof. Y. Li
- 2) 10:05-10:40 **Prof. Tetsuya Suemitsu** (CIES, Tohoku University)
“Advanced GaN HEMT for 5G and mm-Wave Mobile Communications”
- 3) 10:40-11:15 **Prof. Jenn-Hwan Tarn** (NCTU)
“Overview 2 Flagship Research Projects 3DNET Smart Campus & Center for mm Wave Smart Radar Systems and Technologies”
- 4) 11:15-11:50 **Prof. Noriharu Suematsu** (RIEC, Tohoku University)
“Direct Digital RF Transceiver for 5G & mm-wave Applications”
Lunch Break (100 min)
- 5) 13:30-14:00 **Prof. Akinobu Teramoto** (Niche, Tohoku University)
“High Quality Dielectric Film Formation on GaN Devices.”
- 6) 14:00-14:30 **Prof. Yiming Li** (NCTU)
“GaN HEMTs for future RF applications.”
- 7) 14:30-15:00 **Prof. Seiji Samukawa** (IFS/AIMR, Tohoku University)
“Atomic Layer Defect-free Etching Process for Advanced GaN HEMT”
- 8) 15:00-15:30 **Prof. Zuo-Min Tsai** (NCTU)
“Millimeter-wave CMOS phased array front end design and the Discussion of MEMs device applying on Millimeter-wave phased array radar systems”
- 9) 15:30-16:00 **Prof. Takahito Ono** (SE, Tohoku University)
“Microsensors and Micropower Devices for IoT Sensor Network”
- 10) 16:00-16:05 Closing Remarks, Prof. Jenn-Hwan Tarn (NCTU)
- 11) 16:05-17:30 **Laboratory Tour in Niche.**

August 23, 2019

バイオメディカルセンサーネットワークワークショップ

(主催：バイオメディカルセンサーネットワークグループ)

2nd Joint Workshop on Bio-medical Sensor Network between NCTU and Tohoku Univ.

Date: August 23 (Friday), 2019

Venue: Aoba-kinen-kaikan, Aobayama campus, Tohoku Univ.

(<https://www.eng.tohoku.ac.jp/english/map/?menu=campus&area=c&build=03>)

13:20-13:50 Photovoltaic-Powered Sub-retinal Prosthetic System: Design and Animal Tests

Prof. Chung-Yu Wu, Institute of Electronics Eng., National Chiao Tung University (NCTU)

13:50-14:20 Development of Integrated Biomedical Micro/Nano Devices
Prof. Tetsu Tanaka, Graduate School of Medical Eng., Tohoku University,

14:20-14:50 Implantable Neuro-Stimulator Design for Biomedical Applications with CMOS Technology Break

Prof. Morris Ker, Institute of Electronics, NCTU,

15:00-15:30 Energy Harvesting Power Converter for Internet of Things

Prof. Po-Hung Chen, Institute of Electronics Engineering, NCTU,

15:30-16:00 Propagation mechanism and formation process of fine bubbles by underwater plasma streamer

Prof. Takehiko Sato, Institute of Fluid Science, Tohoku University,

16:00-16:30 Micro sensors for body area network

Prof. Takahito Ono, Graduate School of Eng., Tohoku University,

16:30-16:35 Closing remarks Prof. Tetsu Tanaka

18:00- Dinner

Hana near Sendai station (和食 波奈 仙台店)

<https://r.gnavi.co.jp/t060002/map/>

November 28, 2019

中性粒子ビームワークショップ

(主催：ナノデバイスシステムグループ)



The 3rd Joint Workshop on Neutral-Beam fabrication for More Moore and More than Moore

Venue: ED816, National Chiao Tung University (NCTU), Hsinchu 300, Taiwan
Time: 13:00-16:15, November 28, 2019

Organizers: College of Electrical and Computer Engineering, NCTU
Joint Research Center of NCTU and Tohoku University

Moderator: Professor Yiming Li, NCTU

Scientific Program of the Workshop

13:00	Registration	
13:10	Opening Address by Vice President for R&D Professor Ta-Sung Lee, NCTU	
13:20	Opening Remarks by Dean Professor Jenn-Hwan Tarn of ECE, NCTU	
13:20-14:00	 Professor Seiji Samukawa, Tohoku University	Principal of neutral beam generation and atomic layer defect-free processes for future sub-10 nm Devices.
14:00-14:30	 Dr. Yao-Jen Lee, Taiwan Semiconductor Research Institute	Research platforms for more Moore application in TSRI
14:30-14:45	Coffee break	
14:45-15:15	 Dr. Niraj Man Shrestha, National Chiao Tung University	Importance of defect-free recess process in GaN-based HEMT
15:15-15:45	 Dr. Daisuke Ohori, Tohoku University	2D array of nano-pillar structure by fusion of bio-template and neutral beam etching
15:45-16:15	 Mr. Takuya Ozaki, Tohoku University	Neutral beam etching system (in Japanese)
16:15	Closing	

December 16, 2019

高パワーデバイステクノロジーワークショップ

(主催：ナノデバイスシステムグループ)

2019 NCTU/TU Joint Workshop on High-Voltage Technologies

Monday, 2019/12/16, ED-816, NCTU, Hsinchu, Taiwan

Moderator: Professor Yiming Li

2019/12/05 ver3

 松岡 隆志 教授 Professor Takashi Matsuoka  寒川 誠二 教授 Professor Seiji Samukawa		
09:00-10:00	Visiting President Sin-Hong Chen Visiting RD VP Ta-Sung Lee Visiting ECE Dean Jenn-Hwan Tarng	President Office
10:00-12:00	Lab Tour at NFC and TSRI	
12:00-14:00	Lunch Break	
14:00-14:10	Opening address, RD VP Professor Ta-Sung Lee	
14:10-14:20	Opening remarks, Dean of ECE College Professor Jenn-Hwan Tarng	
14:20-15:20	Professor Takashi Matsuoka: Potential of N-Polarity in Applications for GaN-Based Devices	Plenary Talk
15:20-15:30	Coffee Break	
15:30-16:00	Professor Seiji Samukawa: Atomic Layer Defect-free Etching for GaN-Based HEMTS	Invited Talk
16:00-16:30	Q&A	
16:30-16:40	Closing	
18:00-20:00	Dinner Meeting	

3) ジョイントクラス（連携講義）

東北大学・国立交通大学国際ジョイントラボラトリーとして、2018年後期および2019年前期の2回にわたって、「Energy Materials and Devices」という連携講座を開設して、国立交通大学および東北大学の大学院生に対する講義を行った。

国立交通大学が得意とする半導体テクノロジーと東北大学が得意とするエネルギー材料を補完的に分担し（交通大学・李教授、呉教授、東北大学・寒川教授、小野教授、河野特任教授が担当）、国際ジョイントラボラトリーならではの講義を実現できたと自負している。国立交通大学の学生が中心であったが、20名を超える学生の参加があり、大変好評であった。

NCTU/Tohoku Univ. Joint Class 2018: Energy Materials and Devices - Schedule (Each Wed. EFG; from 13:20)

	Date	Lecturers	Contents	Remarks
1	9/12	Prof. Yiming Li	Introduction	
2	9/19	Prof. Seiji Samukawa	Nano-fabrication and QD devices (1/2)	
	9/21	Prof. Seiji Samukawa	Nano-fabrication and QD devices (2/2)	Fri. IJK; from 18:00
3	9/26	The class on 9/26 (Wed.) will be moved to 9/21 (Fri.)		
4	10/3	The class on 10/3 (Wed.) will be moved to 10/12 (Fri.)		
5	10/10	Holiday - No Class		
	10/12	Prof. Takahito Ono	MEMS/ NEMS Sensor and Thermoelectric Devices (1/2)	Fri. IJK; from 18:00
6	10/17	Prof. Tatsuoki Kono	Second Battery and Hydrogen Storage Materials, Hydrogen Energy system (1/2)	
7	10/24	Prof. Jong-Shinn Wu	Hybrid/ Liquid Rocket Propulsion (1/2)	
8	10/31	Prof. Jong-Shinn Wu	Hybrid/ Liquid Rocket Propulsion (2/2)	
9	11/7	Prof. Yiming Li	Midterm Report	
10	11/14	The class on 11/14 (Wed.) will be moved to 11/16 (Fri.)		
	11/16	Prof. Takahito Ono	MEMS/ NEMS Sensor and Thermoelectric Devices (2/2)	Fri. IJK; from 18:00
11	11/21	Prof. Tatsuoki Kono	Second Battery and Hydrogen Storage Materials, Hydrogen Energy system (2/2)	
12	11/28	Prof. Jong-Shinn Wu	Hydrogen Peroxide / Catalyst / Syngas	
13	12/5	NCTU Sports Day - No Class		
14	12/12	Prof. Yiming Li	Modeling and Simulation of QD Energy Devices (1/2)	
15	12/19	Prof. Yiming Li	Modeling and Simulation of QD Energy Devices (2/2)	
16	12/26	Prof. Yiming Li	Computational Nanoelectronics and Nanostructures	
17	1/2	Prof. Yiming Li	Final Report	
18	1/9	Prof. Yiming Li	Take home writing report Due on 2019/1/9	

Energy Materials and Devices
Joint Class 2019 between NCTU/Tohoku Univ.

2019/01/02

	Date	Lecturers	Contents	Remarks
1	2/22	Prof. Yiming Li	Introduction	
2	3/1	Holiday - No Class		
3	3/8	Prof. Seiji Samukawa	Nano-Fabrication and QD Devices (1/2)	
	3/9	Prof. Seiji Samukawa	Nano-Fabrication and QD Devices (2/2)	9:00~12:00 Sat.
4	3/15	The class on 3/15 (Fri) will be moved to 3/9 (Sat.)		
5	3/22	Prof. Yiming Li	Modeling and Simulation of QD Energy Devices (1/2)	
6	3/29	Prof. Yiming Li	Modeling and Simulation of QD Energy Devices (2/2)	
7	4/5	Holiday - No Class		
8	4/12	Prof. Tatsuoki Kono	Second Battery and Hydrogen Storage Materials, Hydrogen Energy system (1/2)	
	4/13	Prof. Tatsuoki Kono	Second Battery and Hydrogen Storage Materials, Hydrogen Energy system (2/2)	9:00~12:00 Sat.
9	4/19	Prof. Takahito Ono	MEMS/NEMS Sensor and Thermoelectric Devices (1/2)	
	4/20	Prof. Takahito Ono	MEMS/NEMS Sensor and Thermoelectric Devices (2/2)	9:00~12:00 Sat.
10	4/26	The class on 4/26 (Fri) will be moved to 4/13 (Sat.)		
11	5/3	The class on 5/3 (Fri) will be moved to 4/20 (Sat.)		
12	5/10	Midterm Report		
13	5/17	Prof. Jong-Shinn Wu	Hybrid / Liquid Rocket Propulsion (1/2)	
14	5/24	Prof. Jong-Shinn Wu	Hybrid / Liquid Rocket Propulsion (2/2)	
15	5/31	Prof. Jong-Shinn Wu	Hydrogen Peroxide /Catalyst /Syngas	
16	6/7	Holiday - No Class		
17	6/14	Prof. Yiming Li	Computational Nanoelectronics and Nanostructures	
18	6/21	Final Report		

7. 業績リスト

(2018 年 8 月～ 2021 年 6 月におけるラボラトリーメンバーによる共著学術論文：37 件)

ナノデバイス・システム Gr.

1. Tai-Chen Kuo, Tzu-Lang Shih, Yin-Hsien Su, Wen-Hsi Lee, Michael Ira Current, and Seiji Samukawa, Neutral beam and ICP etching of HKMG MOS capacitors: Observations and a plasma-induced damage model, *Journal of Applied Physics*, Vol. 123 (2018) pp. 161517 (6pp).
2. Daisuke Ohori, Takuya Fujii, Shuichi Noda, Wataru Mizubayashi, Kazuhiko Endo, En-Tzu Lee, Yiming Li, Yao-Jen Lee, Takuya Ozaki, and Seiji Samukawa, Atomic layer germanium etching for 3D Fin-FET using chlorine neutral beam, *Journal of Vacuum Science & Technology A*, Vol. 37 (2019) pp. 021003 (5pp).
3. Yi-Chia Tsai, Blanka Magyari-Köpe, Yiming Li, Seiji Samukawa, Yoshio Nishi, and Simon M. Sze, Contact Engineering of Trilayer Black Phosphorus with Scandium and Gold, *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, Vol. 7 (2019) pp. 322 (7pp).
4. Niraj Man Shrestha, Yiming Li, Tetsuya Suemitsu, and Seiji Samukawa, Electrical Characteristic of AlGaIn/GaN High-Electron-Mobility Transistors With Recess Gate Structure, *IEEE Transactions on Electron Devices*, Volume: 66, Issue: 4, (2019) pp. 1694 (5pp).
5. Takuya Fujii, Daisuke Ohori, Shuichi Noda, Yosuke Tanimoto, Daisuke Sato, Hideyuki Kurihara, Wataru Mizubayashi, Kazuhiko Endo, Yiming Li, Yao-Jen Lee, Takuya Ozaki, and Seiji Samukawa, Atomic layer defect-free etching for germanium using HBr neutral beam, *Journal of Vacuum Science and Technology A*, Vol. 37, No. 5, (2019) pp. 051001 (7pp).
6. Niraj Man Shrestha, Prerna Chauhan, Yuen Yee Wong, Yiming Li, Seiji Samukawa, Edward Yi Chang, Low resistive InGaIn film grown by metalorganic chemical vapor deposition, *Vacuum*, Volume 171, (2020) pp. 108974 (6pp).
7. Hua-Hsuan Chen, Susumu Toko, Daisuke Ohori, Takuya Ozaki, Mitsuya Utsuno, Tomohiro Kubota, Toshihisa Nozawa and Seiji Samukawa, Growing low-temperature, high-quality silicon-dioxide films by neutral-beam enhanced atomic-layer deposition, *Journal of Physics D, Appl. Phys.* Vol. 53 (2021) pp. 015204 (8pp).
8. Tao Xu, Heqing Li, Jing Song, Guilian Wang, Seiji Samukawa, Xijiang Chang, Jingxia Yang, Enhanced Corrosion Resistance of Silicone-Modified Epoxy Coatings by Surface-Wave Plasma Treatment, *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 14 (2019) pp. 5051 (12pp).
9. D. Ohori, S. Takeuchi, M. Sota, T. Ishida, Y. Li, J.-H. Tarng, K. Endo and S. Samukawa, Highly Water-Repellent Nanostructure on Quartz Surface based on Cassie-Baxter Model with Filling Factor, *IEEE Open Journal of Nanotechnology*, vol. 1 (2020) pp. 1 (5pp).
10. Daisuke Ohori, Takahiro Sawada, Kenta Sugawara, Masaya Okada, Ken Nakata, Kazutaka Inoue, Daisuke Sato, Hideyuki Kurihara and Seiji Samukawa, Atomic-layer etching of GaN by using an HBr neutral beam, *Journal of Vacuum Science & Technology, A* 38, 032603 (2020) pp. 032603 (6pp).
11. Tomoki Harada, Tsubasa Aki, Daisuke Ohori, Seiji Samukawa, Tetsuo Ikari and Atsuhiko Fukuyama, Decreasing of the thermal conductivity of Si nanopillar/SiGe composite films investigated by using a piezoelectric photothermal spectroscopy, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 59, (2020) SKKA08 (5pp).
12. Firman Mangasa Simanjuntak, Takeo Ohno, Sridhar Chandrasekaran, Tseung-Yuen Tseng and Seiji Samukawa, Neutral oxygen irradiation enhanced forming-less ZnO-based transparent analog memristor devices for neuromorphic computing applications, *Nanotechnology*, Vol. 31 (2020) pp. 26LT01 (8pp).
13. M. Lee, Y. Li, M. Chuang, D. Ohori and S. Samukawa, Numerical Simulation of Thermal Conductivity of SiNW-SiGe_{0.3} Composite for Thermoelectric Applications, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 67, No. 5, (2020) pp. 2088 (5pp).
14. Narasimhulu Thoti, Yiming Li, Sekhar Reddy Kola, and Seiji Samukawa, Optimal Inter-Gate Separation and Overlapped Source of Multi-Channel Line Tunnel FETs, *IEEE Open Journal of Nanotechnology*, vol. 1 (2020) pp. 38 (8pp).
15. Min-Hui Chuang, Daisuke Ohori, Yiming Li, Kuan-Ru Chou, and S. Samukawa, "Fabrication and simulation of neutral-beam-etched silicon nanopillars" *Vacuum*, vol. 181 (2020) 109577 (5pp).
16. Niraj Man Shrestha, Yiming Li, Chao-Hsuan Chen, Indraneel Sanyal, Enn-Hawn Tarng, Jen-Inn Chyi, and S. Samukawa, "Design and Simulation of High Performance Lattice Matched Double Barrier Normally Off AlInGaIn/GaN HEMTs" *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, vol. 8 (2020), pp. 873 (5pp).
17. Min-Hui Chuang, Yiming Li and Seiji Samukawa, On the energy band of neutral-beam etched Si/Si_{0.7}Ge_{0.3} nanopillars, *Japanese Journal of Applied Physics*, 60, (2021) pp. SBBI03 (9pp).

18. D. Ohori, T. Fujii, S. Noda, W. Mizubayashi, K. Endo, Y. J. Lee, H. H. Tarng, Y. Li and S. Samukawa, High Electron Mobility Germanium FinFET fabricated by Atomic Layer Defect-free and Roughness-free Etching, IEEE Open Journal of Nanotechnology, vol.2 (2021)pp.26 (5pp).
19. Sou Takeuchi, Daisuke Ohori, Masahiro Sota, Teruhisa Ishida, Yiming Li, Jenn-Hwan Tarng, Kazuhiko Endo, and S. Samukawa, Surface wettability of silicon nanopillar array structures fabricated by biotemplate ultimate top-down processes, Journal of Vacuum Science & Technology, A 39(2021)pp. 023202 (9pp).
20. AN-CHEN LIU, KINTHOJAM JAMES SINGH, YU-MING HUANG, TANVEER AHMED, FANG-JYUN LIOU, YU-HAU LIOU, CHAO-CHENG TING, CHIEN-CHUNG LIN, YIMING LI, SEIJI SAMUKAWA, AND HAO-CHUNG KUO, Increase in the Efficiency of III-Nitride Micro-LEDs: Atomic-layer deposition and etching, IEEE NANOTECHNOLOGY MAGAZINE, JUNE (2021), pp.02-18 (17pp).

バイオメディカルセンサーネットワーク Gr.

21. Hisashi Kino, Takafumi Fukushima and Tetsu Tanaka, Investigation of TSV Liner Interface with Multiwell Structured TSV to Suppress Noise Propagation in Mixed-Signal 3D-IC, IEEE Journal of the Electron Devices Society, 7 (2019)pp. 1225. 有り 非該当
22. Sungho Lee, Rui Liang, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima and Tetsu Tanaka, Multichip thinning technology with temporary bonding for multichip-to-wafer 3D integration, Japanese Journal of Applied Physics, 59 (2019)pp. SBBA04-1.
23. Miao Xiong, Zhiming Chen, Yingtao Ding, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka, Development of Eccentric Spin Coating of Polymer Liner for Low-Temperature TSV Technology With Ultra-Fine Diameter, IEEE TRANSACTIONS DEVICE LETTERS, 40 (2019)pp.95.
24. Hideto Hashiguchi, Takafumi Fukushima, Mariappan Murugesan, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Mitsumasa Koyanagi, High-Thermoresistant Temporary Bonding Technology for Multichip-to-Wafer 3-D Integration With Via-Last TSVs, IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, 9 (2019)pp.181.
25. Takanobu Yagi, Fujimaro Ishida, Masaaki Shojima, Hitomi Anzai, Souichiro Fujimura, Takanori Sano, Shun Shinozaki, Yuuma Yamanaka, Yuuto Yamamoto, Yoshihiro Okamoto, Makoto Ohta, Masanori Nakamura, on behalf of the CFD-BIO study group, Systematic review of hemodynamic discriminators for ruptured intracranial aneurysms, Journal of Biorheology, 33(2019)pp.53.
26. Nguyen Van Toan, Truong Thi Kim Tuoi, Takahito Ono, Thermoelectric generators for heat harvesting: From material synthesis to device fabrication, Energy Conversion and Management, 255 (2020)pp.113442.
27. Truong Thi Kim Tuoi, Nguyen Van Toan, Takahito Ono, Theoretical and experimental investigation of a thermoelectric generator (TEG) integrated with a phase change material (PCM) for harvesting energy from ambient temperature changes, Energy Reports, 6(2020)pp.2020.
28. Ming-Jie Chung, Tetsuya Hirose, Takahito Ono, Po-Hung Chen, A 115x Conversion-Ratio Thermoelectric Energy-Harvesting Battery Charger for the Internet of Things, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 67 (2020)pp.4110.
29. YIJIE LI, Nguyen Van Toan, Zhuqing Wang, KHAIRUL FADZLI SAMAT, Takahito Ono, Thermoelectrical properties of silicon substrates with nanopores synthesized by metal-assisted chemical etching, Nanotechnology, 31 (2020)pp.455705.
30. Mu-Chien Wu, Satoshi Uehara, Jong-Shinn Wu, YunChen Xiao, Tomoki Nakajima and Takehiko Sato, Dissolution enhancement of reactive chemical species by plasma-activated microbubbles jet in water, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 53, No. 48 (2020)pp.485201.
31. Mingzi Zhang, Simon Tupin, Hitomi Anzai, Yutaro Kohata, Masaaki Shojima, Kosuke Suzuki, Yoshihiro Okamoto, Katsuhiko Tanaka, Takanobu Yagi, Soichiro Fujimura, Makoto Ohta, on behalf of the CFD-BIO study group, Implementation of computer simulation to assess flow- diversion treatment outcomes: systematic review and meta- analysis, Journal of Neuro Interventional Surgery, (2020)pp.016724.
32. Takafumi Fukushima, Yuki Susumago, Zhengyang Qian, Chidai Shima, Bang Du, Noriyuki Takahashi, Shuta Nagata, Tomo Odashima, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Significant Die-Shift Reduction and μ LED Integration Based on Die-First Fan-Out Wafer-Level Packaging for Flexible Hybrid Electronics, IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, 10 (2020)pp.1419.

水素自律型エネルギーシステム Gr

33. Eitaro Koya and Masahiko Nakagawa and Shinya Kitagawa and Jun Ishimoto and Yoshikatsu Nakano and Naoya Ochiai, Atomization in High-Pressure Die Casting - Step 2 Simulation of Atomized Flow of Molten Aluminum by LES-VOF Method, SAE Technical Paper, (2018)pp. 104271.

34. Przemysław Smakulski, Jun Ishimoto, and Sławomir Pietrowicz, Numerical research of solidification dynamics with anisotropy and thermal fluctuations, *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 30 (2020)pp.3005.
35. Naoya Ochiai and Jun Ishimoto, Numerical analysis of the effect of bubble distribution on multiple-bubble behavior, *Ultrasonics Sonochemistry*, 61 (2020)pp.104818.
36. Eitaro Koya, Masahiko Nakagawa, Shinya Kitagawa, Jun Ishimoto, Yoshikatsu Nakano, Naoya Ochiai, CFD Analysis of Mechanisms Underlying the Porosity-reducing Effect of Atomized Flows in High-pressure Die Cast Products, *MATEC Web Conf.*, 326 (2020)pp.06006.
37. Yusuke Naito, Romain Montini, Hirochika Tanigawa, Jun Ishimoto., Masami Nakano and Katsuya Hirata, Experiment and Numerical Analysis of a Rotating Hollow Cylinder in Free Flight, *Advances in Hydroinformatics*, (2020)pp.923.

(2018 年 8 月～2021 年 6 月におけるラボラトリーメンバーによる国際会議共同発表：65 件、内招待講演 / 基調講演：20 件)

ナノデバイス・システム Gr.

1. (招待講演) Seiji Samukawa, Neutral Beam Technology for Damage-free Etching Process, Digest of 2018 International Conference on Compound Semiconductor Manufacturing Technology, (Austin, 2018/05/07).
2. (招待講演) Seiji Samukawa, Low-Temperature atomic layer defect-free etching, modification and deposition process, Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2018, (Incheon, 2018/06/25).
3. (招待講演) Seiji Samukawa, Atomic Layer Defect-free Top-down Processes for Future Nano-devices, The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology(ICMAP), (Incheon, 2018/07/27).
4. (招待講演) Seiji Samukawa, Atomic Layer Defect-free Top-down Process for Future Nano-devices, 14th IEEE International Conference on Solid-State and IntegratedCircuit Technology, S05-3 (Qingdao/China, 2018/11/01).
5. (招待講演) T. Okada, G. Kalita, M. Tanemura, I. Yamashita, M. Meyyappan, and Seiji Samukawa, Electricity generation by water flow on nitrogen-doped graphene, 15th International Conference of Flow Dynamics, (Sendai, 2018/11/07).
6. (招待講演) Seiji Samukawa, Atomic Layer Defect-free Etching and Deposition Processes for future sub-10-nm devices, 71st Annual Gaseous Electronics Conference, TF2.00003 (Portland/USA, 2018/11/09).
7. (招待講演) Seiji Samukawa, Atomic Layer Defect-free Top-down Process for Future Nano-devices, 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, International Workshop on Plasma and Bio-nano Devices, 2 (Kanazawa, 2018/11/14).
8. P. J. Sung, C. Y. Chang, L. Y. Chen, K. H. Kao, C. J. Su, T. H. Liao, C. C. Fang, C. J. Wang, T. C. Hong, C. Y. Jao, H. S. Hsu, S. X. Luo, Y. S. Wang, H. F. Huang, J. H. Li, Y. C. Huang, F. K. Hsueh, C. T. Wu, Y. M. Huang, F. J. Fou, G. L. Luo, Y. C. Huang, Y. L. Shen, W. C. Y. Ma, K. P. Huang, K. L. Lin, S. Samukawa, Y. Li, G. W. Huang, Y. J. Lee, J. Y. Li, W. F. Wu, J. M. Shieh, T. S. Chao, W. K. Yeh, Y. H. Wang, Voltage Transfer Characteristics Matching by Different Nanosheet Layer Numbers of Vertically Stacked Junctionless CMOS Inverter for SoP/3D-ICs applications, IEEE 2018 International Electron Device Meeting, 21.4 (San Francisco/USA, 2018/12/04).
9. (招待講演) Seiji Samukawa, Atomic layer defect-free etching and deposition processes for future sub-10-nm devices., 7th International Conference on Advanced Plasma Technologies (ICAPT-7) (Hue,Vietnam,2019/2/27).
10. (招待講演) Seiji Samukawa, "Creating Green Nanostructure and Nanomaterials for Advanced Nano-energy devices", IEEE Distinguished Lecturer in IEEE EDS Tainan Chapter (Tainan, 2019/05/10).
11. (招待講演) Seiji Samukawa, "High Efficiency Nano-energy Devices Fabricated by Atomic Layer Processes", 4th International Conference on nano-energy and Nano-system (Beijing ,2019/06/16).
12. (招待講演) Seiji Samukawa, "Creating Green Nanostructures and Nanomaterials for Advanced Energy Nanodevices",46th European Physical Society Conference on Plasma Physics, I3.302 (Milan,2019/7/10).
13. (招待講演) Seiji Samukawa, "Atomic Layer Defect-free Etching Processes for future sub-10-nm devices", Satellite Workshop of XXXIV ICPIG and ICRP-10 (New trends of plasma processes for thin films and related materials), (Sapporo, 2019/7/20).
14. T. Fujii, Daisuke Ohori, S. Noda, Y. Tanimoto, D. Sato, H. Kurihara, W. Mizubayashi, K. Endo, Y. Li,Y.-J. Lee, T. Ozaki,S. Samukawa, "Atomic Layer Etching for Germanium using Halogen Neutral Beam=Comparison between Br and Cl Chemistry=", AVS 19th International Conference(ALD/ALE2019), ALE2-TuM12, (Bellevue, USA, 2019/7/23).

15. Hua-Hsuan Chen, D. Ohori, T. Ozaki, M. Utsuno, T. Kubota, T. Nozawa, S. Samukawa, "Low Temperature High Quality Silicon Dioxide by Neutral Beam Enhanced Atomic Layer Deposition", AVS 19th International Conference(ALD/ALE2019), AF-TuA1, (Bellevue, USA, 2019/7/23).
16. (基調講演) Seiji Samukawa, "Creating Green Nanostructures and Nanomaterials for Advanced Energy Nanodevices", IEEE International Microwave, Electron Devices & Solid-State Circuit Symposium (IMESS) 2019, (Penang, 2019/10/9).
17. (招待講演) Seiji Samukawa, "Creating Green Nanostructures and Nanomaterials for Advanced Energy Nanodevices", IEEE Distinguished Lecturer Program (Universiti Malaysia Perlis, 2019/10/10).
18. (招待講演) Seiji Samukawa, "Atomic Layer Defect-free Etching for Future sub-10nm Nano-devices", 2019 International Electron, Devices and Materials Symposium (IEDMS 2019), B3-1 (New Taipei City, 2019/10/25).
19. M.-H. Chuang, Y. Li, M.-Y. Lee, D. Ohori, and Seiji Samukawa, Invited Impact of Elastic Properties on Phonon Energy Dispersion of Highly Ordered Silicon Nanowires, 16th International Conference of Flow Dynamics, OS1/3-4 (Sendai, 2019/11/06).
20. M.-Y. Lee, Y. Li, M.-H. Chuang, D. Ohori, and Seiji Samukawa, Simulation of Thermoelectric Properties for SiNW-SiGe0.3 Composite Using Landauer Approach, The 19th International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2019), CRF-35 (Sendai, 2019/11/07).
21. (招待講演) Seiji Samukawa, Kazuhiko Endo, "Atomic Layer Etching, Deposition and Modification Processes for Novel Nano-materials and Nano-devices", 3rd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, PL-26 (Hefei, China, 2019/11/07).
22. S.-W. Chang, P.-J. Sung, T.-Y. Chu, D. D.Lu, C. -J. Wang, N.-C. Lin, C.-J. Su, S.-H. Lo, H.-F. Huang, J.H. Li, M.-K.Huang, Y.-C. Huang, S.-T. Huang, H.-C. Wang, Y.-J. Huang, J.-Y. Wang, L.-W.Yu, Y.-F. Huang, F.-K. Hsueh, C.-T. Wu, W. C.-Y. Ma, K.-H. Kao, Y.-J. Lee, C.-L. Lin, R.W. Chuang, K.-P. Huang, S. Samukawa, Y. Li, W.-H. Lee, T.-S.Chao, G.-W. Huang, W.-F. Wu, J.-Y. Li, J.-M. Shieh, W. -K. Yeh, Y.-H. Wang, "First Demonstration of CMOS Inverter and 6T-SRAM Based on GAA CFETs Structure for 3D-IC Applications", IEEE 2019 International Electron Device Meeting, 11.7 (San Francisco/USA, 2019/12/10).
23. (招待講演) Seiji Samukawa, "Atomic Layer Defect-Free Top-Down Process for Future Nano-Devices", 2020 IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference (EDTM), 1B-4 (Penang, Malaysia, 4/6/2020).
24. (基調講演) Seiji Samukawa, "Atomic Layer Defect-Free Top-Down Process for Future Nano-Devices", The 20th IEEE International Conference on Nanotechnology (IEEE NANO 2020), WeKNO1.1 (Virtual Meeting, 7/29/2020).
25. Narasimhulu Thoti, Yiming Li, Sekhar Reddy Kola, Seiji Samukawa, New Proficient Ferroelectric Nanosheet Line Tunneling FETs with Strained SiGe through Scaled N-Epitaxial Layer, The 20th IEEE International Conference on Nanotechnology (IEEE NANO 2020), FrOA01.5 (Virtual Meeting, 7/31/2020).
26. (招待講演) Seiji Samukawa, Atomic Layer Etching, Deposition & Modification Processes for Future Nanoscale-devices, IEEE NTC Distinguished Lecture in Joint Technical Seminar Program (Oregon IEEE Nano & Joint EPS/CAS Chapters), (Virtual Meeting, 10/16/2020).
27. T.-Z. Hong, W.-H. Chang, A. Agarwal, Y.-T. Huang, C.-Y. Yang, T.-Y. Chu, H.-Y. Chao, Y. Chuang, S.-T. Chung, J.-H. Lin, S.-M. Luo, C.-J. Tsai, M.-J. Li, X.-R. Yu, N.-C. Lin, T.-C. Cho, P.-J. Sung, C.-J. Su, G.-L. Luo, F.-K. Hsueh, K.-L. Lin, H. Ishii, T. Irisawa, T. Maeda, C.-T. Wu, W. C.-Y. Ma, D.-D. Lu, K.-H. Kao, Y.-J. Lee, H. J.-H. Chen, C.-L. Lin, R. W. Chuang, K.-P. Huang, S. Samukawa, Y.-M. Li, J.-H. Tarng, T.-S. Chao, M. Miura, G.-W. Huang, W.-F. Wu, J.-Y. Li, J.-M. Shieh, Y.-H. Wang, W.-K. Yeh, First Demonstration of heterogenous Complementary FETs utilizing Low-Temperature (200°C) Hetero-Layers Bonding Technique (LT-HBT), IEEE 2020 International Electron Device Meeting, 15.5 (Virtual Meeting, 2020/12/04).
28. Narasimhulu Thoti, Yiming Li, Sekhar Reddy Kola, S. Samukawa, High-performance metal-ferroelectric-semiconductor nanosheet line tunneling field effect transistors with strained sige, 2020 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD), ページ 375-378, 9241591, 2020-September (Virtual Meeting, 2020/9/23).
29. Daisuke Ohori, Niraj Man Shrestha, Yiming Li, Jenn-Hwan Tarng, S. Samukawa, High Performance GaN HEMT and Ge Fin FET Device Realizing by Atomic-layer Defect-free Etching with Chlorine Neutral Beam, International Symposium on VLSI Technology, Systems and Applications (VLSI-TSA), ページ 108-109, 9203657 (Hsinchu, Taiwan, 2020/10/13).

バイオメディカルセンサーネットワーク Gr.

30. S. Lee, Y. Sugawara, M. Ito, H. Kino, T. Fukushima, T. Tanaka TSV Liner Dielectric Technology with Spin-on Low-k Polymer, 2018 International Conference on Electronics Packaging and iMAPS All Asia Conference, 20180420, 三重県.
31. H. Kino, S. Lee, Y. Sugawara, T. Fukushima, T. Tanaka, Charge-Trap-Free Polymer-Liner Through-Silicon Vias for Reliability Improvement of 3D ICs, 21st IEEE International Interconnect Technology Conference, 2018060, アメリカ合衆国.
32. Yuki Susumago, Achille Jacquemond, Noriyuki Takahashi, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima Mechanical Characterization of FOWLP Based Flexible Hybrid Electronics (FHE) for Biomedical Sensor Application, 2019 International Conference on Electronics Packaging ICEP 2019, 20190419, 新潟県.
33. Michael Proffitt, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima, Hisashi Kino, Hiroshi Tomita Study of Transparent Electrodes for 3D-Stacked Retinal Prosthesis, 2019 MRS Spring Meeting, 20190423, アメリカ合衆国.
34. Sungho Lee, Rui Liang, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima and Tetsu Tanaka, Multichip thinning technology with temporary bonding for multichip-to-wafer 3D integration, 2019 6th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration, 20190522, 石川県.
35. Yuki Susumago, Qian Zhengyang, Achille Jacquemond, Noriyuki Takahashi, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima Mechanical and Electrical Characterization of FOWLP-Based Flexible Hybrid Electronics (FHE) for Biomedical Sensor Application, The 2019 IEEE 69th Electronic Components and Technology Conference, 20190529, アメリカ合衆国.
36. Rui Liang, Sungho Lee, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka, Room Temperature SiO₂ Liner Technology for Multichip-to-Wafer 3D Integration with Via-last TSV, IEEE International Interconnect Technology Conference (IITC 2019), 2019060, ブリュッセル.
37. Rui Liang, Sungho Lee, Yuki Miwa, Kousei Kumahara, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka Annealing Effect on Room-Temperature-Deposited SiO₂ Liner for Multichip-to-Wafer 3D Integration Process, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 20190919, 北海道.
38. Yuki Miwa, Sungho Lee, Rui Liang, Kousei Kumahara, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka, Characterization of Low-Height Solder Microbump Bonding for Fine-Pitch Inter-Chip Connection in 3DICs, 2019 International 3D Systems Integration Conference 2019100, 宮城県.
39. S. Lee, Y. Susumago, Z. Qian, N. Takahashi, H. Kino, T. Tanaka, and T. Fukushima, Development of 3D-IC Embedded Flexible Hybrid System, 2019 International 3D Systems Integration Conference, 20191009, 宮城県.
40. Rui Liang, Sungho Lee, Yuki Miwa, Kousei Kumahara, Murugesan Mariappan, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima and Tetsu Tanaka Impacts of Deposition Temperature and Annealing Condition on Ozone-Ethylene Radical Generation-TEOS-CVD SiO₂ for Low-Temperature TSV Liner Formation, 2019 International 3D Systems Integration Conference, 20191009, 宮城県.
41. Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka, Investigation of the Underfill with Negative-Thermal- Expansion Material to Suppress Mechanical Stress in 3D Integration System, 2019 International 3D Systems Integration Conference, 20191009, 宮城県.
42. (招待講演) Tetsu Tanaka, Integrated Biomedical Micro/Nano Devices with 3D-IC: Fully Implantable Retinal Prosthesis, Future Chips forum 2019, 20191217, 中国.
43. (招待講演) Hisashi Kino, Development of underfill with negative-CTE material for high-reliable three-dimensional integrated circuit (3DIC), 3rd International Symposium on Negative Thermal Expansion and Related Materials (ISNTE-3), 20191211, スコットランド.
44. Kousei Kumahara, Rui Liang, Sungho Lee, Yuki Miwa, Mariappan Murugesan, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka, Low-temperature multichip-to-wafer 3D integration based on via-last TSV with OER-TEOS-CVD and microbump bonding without solder extrusion, 2020 IEEE 70th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), Proceedings, 20200603, Florida.
45. Yuki Miwa, Kousei Kumahara, Sungho Lee, Rui Liang, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka, 7- μ m-thick NCF technology with low-height solder microbump bonding for 3D integration, 2020 IEEE 70th Electronic Components and Technology Conference (ECTC) Proceedings, 20200603, Florida.
46. Takahito Ono, Nanoengineered thermoelectric energy harvester for battery free IoT sensing, The 4th International Conference on Software Engineering and Information Management, 17 Jan., 2021, Yokohama.
47. Mu-Chien Wu, Satoshi Uehara, Tomoki Nakajima, Takehiko Sato, Jong-Shinn Wu, Concentration Enhancement of Reactive Chemical Species by Plasma-activated Microbubbles Jet in a Water Recirculation System, 20th International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2020), 2020 年 10 月 28 日.

48. Mu-Chien Wu, Satoshi Uehara, Takehiko Sato, Tomoki Nakajima, Jong-Shinn Wu, Comparison of the Concentration of Reactive Chemical Species in Water by Plasma Jet and Plasma-activated Microbubbles Jet, 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020), 2020 年 10 月 30 日 (Student Best Presentation Award 受賞).
49. (招待講演) Chia-Hsing Chang, Ken-ichi Yano, Takehiko Sato, Nanosecond Pulsed Current Under Plasma-producing Conditions Induces Morphological Alterations in Human Fibrosarcoma Cells, 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020), 2020 年 10 月 30 日.
50. Po-Chien Chien, C. Y. Chen, Takehiko Sato, Yun-Chien Cheng, The Effects of Atmospheric-pressure Cold Plasma Generated Electrical Field, Short-life Species, and Long-life Species on Cancer Cells, 20th International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2020), 2020 年 10 月 28 日.
51. Mingzi Zhang Implementation of Computer Simulation to Assess Flow – Diversion Treatment Outcomes— Systematic Review and Meta – Analysis, ICS 2020/10/30, エクアドル.
52. Hitomi Anzai Optimization of stent structure based on blood flow simulation, 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL BIOFLUID, 2020/12/16, マレーシア.
53. Noriyuki Takahashi, Yuki Susumago, Sungho Lee, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima, RDL-first Flexible FOWLP Technology with Dielets Embedded in Hydrogel, 2020 IEEE 70th Electronic Components and Technology Conference Virtual Conference, 20200406, アメリカ合衆国.
54. Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka Evaluation of the Dopant Effects of ZnO-based Transparent Electrode on Electrochemical Characteristics for Biomedical Applications with Optical Devices, 2020 International Conference on Solid State Devices and Material, 20201027, 日本.
55. Zhe Wang, Ikumi Ozawa, Yuki Susumago, Tomo Odashima, Noriyuki Takahashi, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima, 3-Color Micro-LED Integration for Flexible Display Based on Die-First Fan-Out Wafer-Level Packaging Technology, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会 2021031, 日本.
56. Shuai Liu, Kousei Kumahara, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka, Die-Level Cu-CMP Technology in Via-Last TSV Process for Multichip-to-Wafer 3D integration, 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials, 20200929, 日本.

水素自律型エネルギーシステム Gr.

57. Jun Ishimoto, Coupled particle and Euler method for leaked hydrogen-air mixing with crack propagation of pressure vessel, 8th European-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting, April 22nd, 201, New York, USA.
58. Jun Ishimoto Coupled FSI computing for resilient energy systems and disaster science, 2nd Workshop Lyon Center (Organized with ELyT Global and ELyTMax, with INSA Lyon and IFS, Tohoku University), November 20th, 2018 Lyon, France.
59. Przemysław Smakulski Numerical research of solidification dynamics with anisotropy and thermal Fluctuations, XI-th International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer (ICCHMT 2018), May 21st, 2018, Kraków, Poland.
60. Jun Ishimoto Coupled Particle and Euler Computing for Hydrogen Leakage with Arbitrary Crack, Propagation of Pressure Vessel, 8th World Hydrogen Technologies Convention, (WHTC 2019), June 3rd, 2019, Tokyo, Japan.
61. Jun Ishimoto, Advanced computational study for high-pressure spray and atomization phenomena, Australia-Japan Fluid Dynamics Workshop, Jan. 31st, 2019, Sydney, Australia.
62. Jun Ishimoto Development of multi-phase hydrogen energy supply chain by Peer to Peer method, Tohoku University-National Chiao Tung University 5th Technical Workshop 2019, November 5, 2019, Sendai, Japan.
63. Jun Ishimoto Coupled peridynamics and Euler method for leaked hydrogen-air mixing with crack propagation of solid wall, 17th Multiphase Flow Conference & Short Course Nov., 14th, 2019, Dresden, Germany.
64. Jun Ishimoto Coupled Computing of Fluid-Structure Interaction Problems for Multiphase Energy Systems, OS20: AFI-2019 IFS Lyon Center Collaborative Research Forum, The 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020), Oct. 28, 2020, On-line.
65. A. Rahman, Elucidation of the Pathophysiology of Skin Sodium and Water Metabolism, OS20: AFI-2019 IFS Lyon Center Collaborative Research Forum, The 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020), Oct. 28, 2020, On-line.

(業績に関する補足説明)

国際ジョイントラボラトリー発足前の2010年～2017年の8年間の東北大学と国立交通大学の共著論文数はトータル97件（12.13件／年）であった。一方、国際ジョイントラボラトリー発足後は2018年～2021年の3年間でトータル76件（25.33件／年）となり、共著論文が倍増している。また、国際ジョイントラボラトリー発足後ではジョイントラボラトリーメンバーの共著論文が37件に対して、ジョイントラボラトリー以外による共著論文も39件となっており、国立交通大学との各種イベントを通じて両大学の連携が促進されていることを示している。また、表4に共著論文のサイテーション数およびField-Weighted Citation Impact (FWCI)を示す。注目すべきは、共著論文1件当たりのサイテーション数は東北大学および交通大学それぞれの1件当たりのサイテーション数より高く、FWCIも大幅に高いことがわかった。また、図18にトップ10%論文数を示す。全共著論文数に対するトップ10%論文比率は、2018年以降、12.5%（=2/16）、21.7%（=5/23）、19%（=4/21）、31.3%（=5/16）であり、東北大学全体のトップ10%論文比率（平均 約10%）を大きく上回るものである。これらから、国際共著論文は論文のインパクトを向上させる効果が大きいことが分かった。

表4. 東北大学・交通大学における掲載論文情報と共著掲載論文情報

(Scopus 2017-2021)

	東北大学 トータル	東北大学と 交通大学との 共著論文	交通大学 トータル
掲載論文数	28,730	97	20,510
著者数	15,634	—	13,635
サイテーション数	192,741	786	135,402
1論文当たりのサイテーション数	6.7	8.1	6.6
Field-Weighted Citation Impact (FWCI)	1.1	2.76	1.19

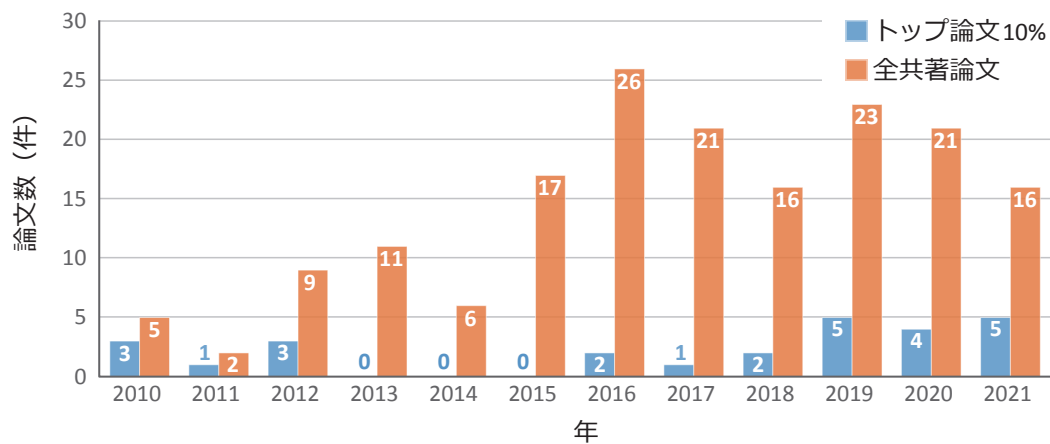


図18. 東北大・交通大共著論文数とトップ10%論文数

8. プレスリリース

1) ナノデバイスシステムグループ

東北大学／交通大学・国際ジョイントラボラトリーを中核として、國研院台灣半導體研究中心（TSRI）と産業技術総合研究所（AIST）と連携することで、2nm 世代向けの異種材料集積プラットフォームを構築できたことは世界初の画期的な成果である。今後、この成果を基盤として、世界で初めて5G以降のミリ波レーダーシステムで不可欠となる GaN HEMT と Ge Fin FET を融合した SoC 化や各種デバイス・回路を融合した AI チップを実現していく。また、これらの研究を推進していくために、国際科学技術協力基盤整備事業（JST/MOST）、A-STEP（JST）、基盤研究 S に採択されたことも大きな成果である。更に、今後、本プラットフォームを基盤として台湾や日本産業との連携を中心に、国際産学連携を推進していく。

2) バイオメディカルセンサーネットワーク

新たに大面積のフレキシブル熱電素子を作製するプロセスを開発した。また、めっきプロセスを利用して熱電素子を作製するため、高速かつ大面積で Te 系熱電材料を堆積する方法を開発した。熱電性能を向上させるため、Te 系熱電材料への不純物やナノ微粒子のドーピング効果について実験的に探索実験を行った。実際にフレキシブルなエネルギーハーベスタを試作し、新しいプロセスの有効性を確認した。

9. 競争的資金の獲得

国立交通大学は台湾政府教育部・科学技術部の支援により、充実した研究資金を準備した上で国際ジョイントラボラトリーの運営に当たっている。一方、東北大学は半導体デバイスシステムの戦略的な研究を目指して結集した複数の部局によるボトムアップ的に生まれた国際ジョイントラボラトリーであるため、積極的に外部資金の獲得を行った。その結果、本ジョイントラボラトリーに関わる研究テーマにて 2025 年までの外部資金の獲得に成功した（表 5）。

10. 全体総括

現在、台湾はアメリカや韓国を抜き、世界一の半導体企業 TSMC を有する半導体立国である。つまり、最先端技術のトレンドは台湾におけるエレクトロニクス産業が握っており、その中核には新竹サイエンスパークの半導体デバイスプラットフォーム（交通大学・TSRI）の存在が大きい。その最先端プラットフォームと東北大学および産業技術総合研究所の最先端材料デバイス製造技術を結び付け、異種材料・デバイスのハイブリッドプロセスを世界に先駆けて実現できたことは特筆すべき成果であり、今後の AI/IoT 時代に不可欠な超最先端半導体デバイスおよびバイオメディカルセンサーネットワーク開発において、世界をリードできるという極めて意義の大きい成果である。この国際プラットフォームを活用した日本および台湾企業との国際産学官連携を推進し、「半導体立国日本再び」に貢献する。また、水素自律型エネルギーシステムに関しても交通大学台南キャンパスに

表 5. 獲得した競争的資金

資金制度・研究費名	研究課題名	研究期間 (〇〇～〇〇年)	令和 2 年度の受入金額 (千円)
科研費・基盤研究 S	無欠陥ナノ周期構造によるフォノン場制御を用いた高移動度半導体素子	2020 年 10 月～ 2025 年 3 月	17,000
国際科学技術協力基盤整備事業（日本－台湾研究交流）AI システム構成に資するナノエレクトロニクス技術	AI チップ技術に向けた三次元異種機能集積 hCFETs	2020 年 4 月～ 2023 年 3 月	3,000
研究成果展開事業 研究成果最適展開 支援プログラム (A-STEP) 育成型	VR/AR ディスプレイ向け GaN フルカラー指向性マイクロ LED の開発	2020 年 12 月～ 2023 年 3 月	3,000
戦略的イノベーション 創造プログラム	常温発電 IoT 環境センサの研究開発	2018-2022 年	47,000
科研費・基盤研究 A	広視野の視覚を再建する眼球内完全埋植・低侵襲フレキシブル人工網膜の開発	2018 年 4 月～ 2021 年 3 月	33,800
科研費・基盤研究 A	人と同じ視野角と情報処理機能を有する極低侵襲ピクセル分散型完全埋植人工網膜の開発	2021 年 4 月～ 2024 年 3 月	32,100
科研費・基盤研究 A	ダイレクト集積インモールドエレクトロニクスの基盤創成と浅皮下情報可視化シート開発	2021 年 4 月～ 2025 年 3 月	32,300

る沙崙グリーンエネルギーサイエンスパークにおけるプラットフォームに展開していく予定である。

新型コロナウイルス感染を完全に封じ込めた台湾では、大学教育、研究開発、経済など日常生活は全く止まることなく活動できている（2020 年 GDP：3% 向上）。その結果、世界からアップル、マイクロンをはじめ世界企業の進出が相次いでいる。交通大学、TSRI および新竹サイエンスパークにおける研究開発も益々活発化している。そのプラットフォームと東北大学および産総研の基盤技術を融合連携できたことは、産業のコメである最先端半導体の研究を推進して行くべき東北大学および日本にとって大変大きな収穫である。また、国立交通大学は 2021 年 2 月 1 日に医科単科大学の国立陽明大学と合併して国立陽明交通大学となった。これは今後医工学連携を重要視する台湾政府科学技術部の戦略であり、2021 年 8 月に期限を迎える国際ジョイントラボラトリーの契約を更新することで、新たに東北大学・国立陽明交通大学国際ジョイントラボラトリーとして、第一期に構築した超先端半導体デバイスシステム・センサーネットワークに関する戦略的国際研究教育プラットフォームを基盤として、医療 ICT への展開も大いに期待される。

日本の大学として類まれなこの戦略的国際研究教育プラットフォームを実現できたことで、世界企業との国際産学官連携のハブとしても大いに期待できるところであり、「世界に伍する大学」になるべく大いに貢献していきたい。

以上

補足資料①
台湾企業への共同研究提案

Project Proposal between Japan and Taiwan

**Platform of 3/2-nm-generation Heterogeneous-material-
integration and Development of Ultra-high-performance 3D
Device
(Dream System-on-Chip: D-SoC)**

Prof. Seiji Samukawa

Tohoku University

1. Overview of proposal

With the aim of making Japan a “semiconductor nation” again, the proposed project aims to develop and commercialize Japan’s original basic manufacturing technology that plays a fundamental role in the development and commercialization of semiconductor devices. The goals of the proposal are threefold: (1) producing and commercializing manufacturing equipment for manufacturing cutting-edge devices; (2) creating an international platform for manufacturing equipment for developing cutting-edge devices through international collaboration between Japan and Taiwan; and (3) developing 3/2-nm-generation ultra-efficient heterogeneous-material integrated 3D devices, namely, “system on chips” (SoCs). Ranging from the development of equipment to the final development of cutting-edge devices and cutting-edge SoCs, this research project is unprecedentedly ambitious in terms of enabling integrated research and development and practical application of original manufacturing technology. This project—established by a consortium composed of manufacturing equipment companies possessing Japan’s original basic fabrication technology for semiconductor manufacturing—has three main aims to achieve by 2030 while greatly strengthening each basic technology: (1) Japanese semiconductor manufacturing equipment companies to take the lead in the world in the semiconductor manufacturing equipment industry; (2) Taiwanese device manufacturing companies of 3/2-nm-generation heterogeneous-material-integration semiconductor devices to lead the world in the development and practical application of integrated 3D devices; and (3) contribute to the achievement of carbon neutrality by realizing energy-saving power semiconductors, post-5G high-frequency devices, and ultra-low power consumption CMOS devices (such as Nanosheet, Forksheet and 3D Complementary FET (CFET)) (Fig. 1: Development roadmap).

2. Background

The semiconductor industry in Japan, which was the world’s number one

Roadmap of Nanodevice Fundamental Technology Consortium

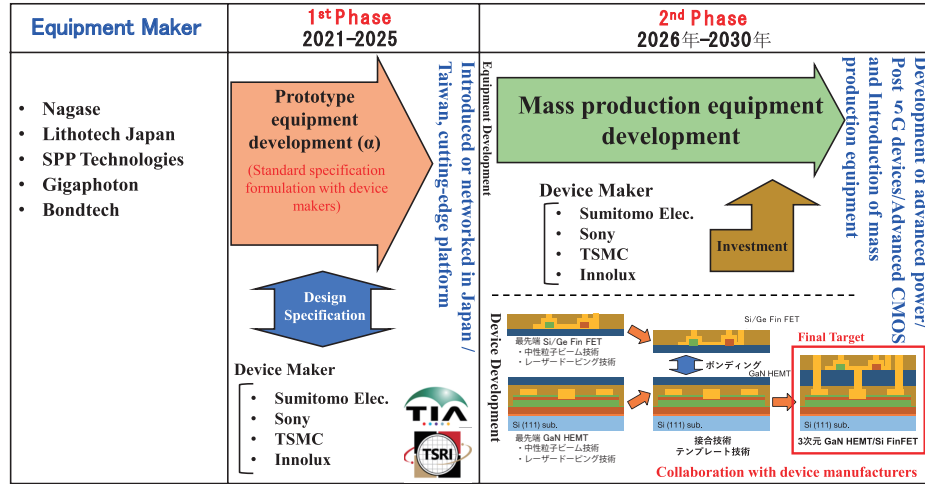


Fig. 1. Roadmap of Nanodevice Fundamental Technology Consortium.

semiconductor nation in the 1980s, lost momentum from 1990 onwards and has now almost completely collapsed. One of the major causes of this collapse is the fact that the industry came to rely solely on external outsourcing of semiconductor-manufacturing technology and its equipment.

As a result, Japan's original manufacturing technologies accumulated up to that point were not followed up on, and Japan lagged behind in the development of advanced semiconductor devices. State-of-the-art manufacturing technology is now indispensable not only for state-of-the-art memory and logic circuits but also for power semiconductors and high-frequency devices for post-5G communication. And in 2030, a completely new and innovative manufacturing technology will be introduced into the mass-production line. However, despite the fact that the Japanese semiconductor equipment industry has proposed several breakthrough manufacturing technologies that will be necessary in the next generation, it has not been able to accelerate the development of these technologies into practical equipment as well as develop its own proprietary technologies and actual cutting-edge devices. In this project, focusing on basic fabrication technology for manufacturing advanced semiconductor devices, we will develop equipment, build a platform for manufacturing equipment, and demonstrate and mass produce devices with that equipment.

3. Details

In this project, as a consortium, we will consolidate and strengthen our own basic fabrication technologies that are indispensable for practical development of 3/2-nm-generation heterogeneous-material-integrated 3D devices. Those technologies include (1) nano-template technology, (2) ultra-low-damage atomic layer etching, deposition,

and surface-modification technologies, (3) low-temperature, shallow and high dose doping technology, and (4) low-temperature wafer-chip bonding technology. The goal of the consortium is to strengthen these manufacturing technologies and to develop the equipment for the device-mass-production. In addition to development of individual manufacturing equipment, we will introduce these fabrication equipment to international leading-edge platforms in Japan (TIA, mainly AIST) and Taiwan (TSRI) and form a network for collaborating with these platforms. In this way, we will create an original platform for integrating fundamental technologies that can be applied in development of advanced devices. Using this platform enables (i) joint research between these manufacturing equipment companies and leading-edge device companies, (ii) demonstration experiments concerning development of leading-edge devices targeted for introduction in 2030, and (iii) clarification of guidelines for mass producing devices in that development process through joint development with device manufacturing companies.

Although it has targeted specific devices, the Japanese semiconductor industry has accumulated its own compound-semiconductor manufacturing technology and still leads the world to some extent. Focusing on (1) ultra-high-efficiency power semiconductor devices using SiC- or GaN-based materials, (2) ultra-energy-saving post-5G high-frequency devices using GaN-based materials, and (3) advanced CMOS devices using Si or Ge, it has created a device (called “system-on-chip”) that integrates dissimilar materials such as silicon, germanium, and compound materials (Power/Post-5G devices: Fig. 2, Advanced CMOS devices: Fig.3).

We expect to collaborate with Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Ltd (TSMC) on the development of these devices. In this joint research, we will develop a SoC that integrates the most-advanced GaN HEMT and a Si/Ge Fin FET, which is

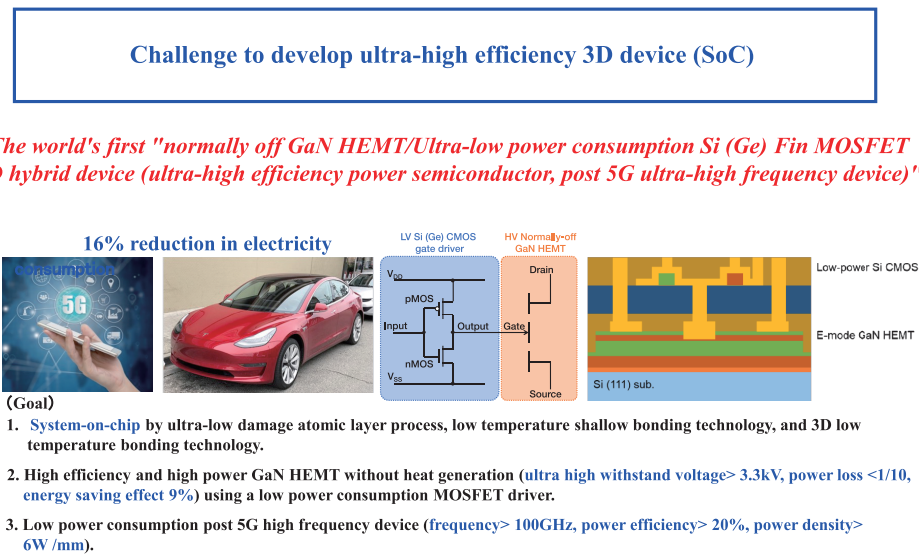


Fig. 2. Challenge develop ultra-high efficiency 3D GaN HEMT/Si (Ge) Fin FET hybrid devices

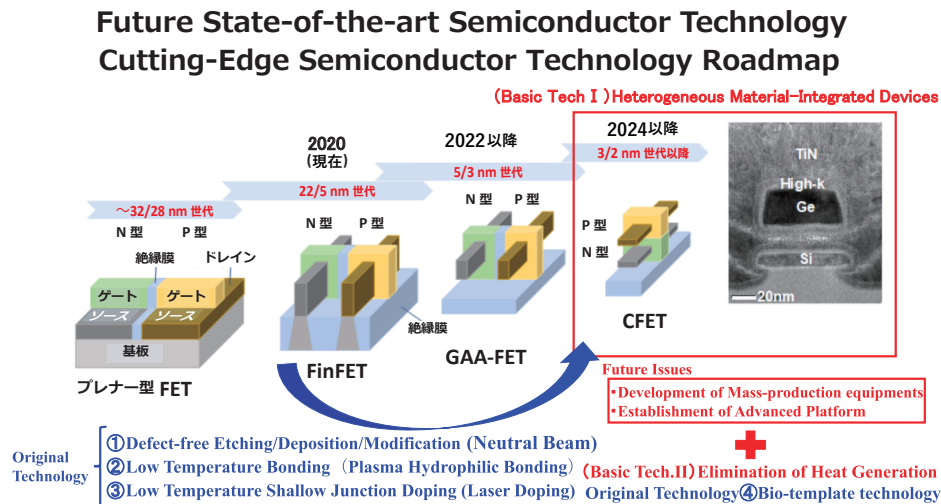


Fig. 3. Challenge develop advanced CMOS Devices
(Nanosheet, Forksheet and 3D Complementary FET (CFET))

targeted for launch in 2030, by extending the basic manufacturing technology developed in this project to TSMC's existing technology. This is a fundamental technology that can be applied to memory, logic devices, and micro-LEDs, and its ripple effect will be significant. As for these advanced devices, we expect to collaborate with Taiwanese device companies (Memory: Macronix, Micro-LED: Innolux) in developing the Taiwan platform.

The unique feature of this project is that it aims to not only develop devices with device manufacturing company but also develop a platform for the first step (the first half of the next five years) toward mass-producing cutting-edge devices (power devices, post-5G high-frequency devices and advanced CMOS devices) that are necessary for green innovation in 2030. The first step is to build a platform by developing and combining the basic manufacturing technologies required for that generation of devices. In the second step (i.e., the latter half of the five-year period), the manufacturing equipment and target devices will be practically applied in parallel in the form of joint research with actual device manufacturing companies. This two-step research and development will not merely end with device development; in other words, it will be an effective project for developing actual mass-production equipment and processes that integrate silicon and compound technologies and for enabling mass production of targeted devices.

4. Member companies (manufacturing-equipment manufacturers)

(Companies participating in the consortium)

1) Nagase & Co., Ltd. and Litho Tech Japan Co., Ltd.

Nagase & Co., Ltd. and Litho Tech Japan Co., Ltd. have licensed the proprietary “bio-template technology” proposed by Professor Samukawa of Tohoku University, and are

promoting its practical application, as a technology to overcome the limitations of cutting-edge lithography technologies such as EB and EUV. Since biological “supramolecules” (proteins) are synthesized on the basis of genetic information, variations in their structure and size are less than 0.1 nm, so they are termed “nano-sized” standard products. Biotemplate technology is a revolutionary means of highly precise and controlled placement of proteins by modifying the surface of these nano-sized proteins with peptides—which can be selectively adsorbed on semiconductor substrates—by applying biotechnology. The current technology uses ferritin, an iron oxide-containing protein, to arrange the nanostructure in a regular pattern on a semiconductor substrate. It then removes the protein from the surface by heat treatment and uses the remaining iron oxide as a mask to transfer the nanostructure onto the semiconductor substrate by neutral-beam etching. Having strengths in biotechnology, Nagase has been able to synthesize high-purity iron oxide-containing ferritin and modify the surface to control the arrangement of the nanostructure. In the meantime, Litho Tech Japan has devised a uniform coating technology for ferritin. The company also possess imprinting technology, which it will continue to integrate with the coating technology to achieve more precise placement of ferritin.

2) SPP Technologies

As a joint venture between Sumitomo Precision Products and SPT of the U.K, it dominates the market for deep-plasma-etching technology (deep RIE technology) for MEMS and possesses advanced technology for controlling generation of high-frequency plasma for 12-inch substrates. The pulse-modulated-plasma and neutral-beam technologies proposed by Professor Samukawa at Tohoku University have been licensed to SPP Technologies, which is working on their practical application. First proposed by Prof. Samukawa, a pulse-modulated plasma with pulses in the order of microseconds is unlike an ordinary plasma; that is, instead of consisting of electrons and positive ions, it consists of positive and negative ions. From the pulse-modulated plasma, negative ions are accelerated through a carbon aperture to produce a highly efficient neutral beam with controlled energy. It has already been shown that when this method is applied to the etching, deposition, and surface-modification processes used in the semiconductor-device manufacturing process, defects at the atomic-layer level can be reduced to less than 1/100th of the conventional level; accordingly, it is considered an indispensable process for manufacturing nano-sized semiconductor devices. While developing a large-diameter neutral particle-beam source, this joint venture will develop it to handle etching, deposition, and surface-modification processes for all materials.

3) Gigaphoton Co., Ltd.

In 2001, Gigaphoton became the first company in the world to commercialize a mass-produced ArF excimer laser capable of oscillating at a high frequency of 4 kHz. Since

then, it has been supplying the market with a succession of the latest ArF excimer lasers that are compatible with high-performance lithography equipment; in that way, it has been contributing to the development of lithography technology for supporting the ultra-fine integrated circuits of the gigabit generation. Moreover, KrF excimer lasers have been highly evaluated in terms of their abundant product lineup, high performance, high quality, and economic efficiency, and they continue to support the technological competitiveness of the world's lithography-equipment manufacturers. To expand this business, Gigaphoton signed an organization-based collaboration agreement with Kyushu University in 2011 and established a joint research unit, called the Department of Gigaphoton Next GLP, at Kyushu University to develop advanced laser-processing technology. In particular, as a low-temperature shallow-junction technology, laser doping is an advanced process that is essential for manufacturing advanced nanodevices. This process has been applied to not only silicon and germanium but also SiC and GaN, and its effectiveness has been demonstrated. From now onwards, it is planned to demonstrate the effectiveness of laser-doping technology in regard to device-manufacturing processes as the trend towards larger apertures continues.

4) Bondtech Co., Ltd.

Under the guidance of Professor Tadatomo Suga of the University of Tokyo, who is a leading expert in “room-temperature bonding using surface activation,” which is a key process in 3D stacking of semiconductors, Bondtech has been focusing on developing technology that enables bonding under low vacuum and atmospheric pressure, which will enable the transition to mass production. As for the mass-production process, room temperature was not necessarily set as a condition; that is, a combination of heating (to about 150°C) and pressurization was used to achieve bonding in air. And different surface activation methods are used according to the bonding material used. Moreover, by applying the conventional method using an atomic beam, the degree of vacuum is reduced from an ultrahigh vacuum by a unique process; as a result, bonding of dissimilar materials such as compound semiconductors is possible. What's more, gold and copper can be bonded using argon etching via a low-vacuum plasma, while silicon and glass can be bonded in air by using plasma hydrophilization. By combining conventional anode bonding (via electrostatic force) with plasma surface activation, “voidless” low-temperature bonding has been achieved. From now onwards, aiming for higher precision bonding as well as larger-diameter substrates, Bondtech will collaborate with SPP Technologies in developing the neutral beam proposed by Professor Samukawa of Tohoku University as a method for surface treatment.

補足資料②

国立交通大学・李義明教授（副ラボラトリー長）からのコメント

**National Chiao Tung University/Tohoku University
Joint Research Center
2018-2021 Achievement Report**

Prof. Yiming Li

Associate Director, Joint Research Center between NCTU and Tohoku University

1. Achievements

The Joint Research Center, of which Tohoku University is a partner, played a central role in developing heterogeneous complimentary field effect transistors (hCFETs) and their platforms through collaboration with the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) and Taiwan Semiconductor Research Institute (TSRI). hCFETs are 3D heterogeneous function integrated devices and serve as the technological foundation for millimeter-wave radar systems and artificial intelligence (AI) chips in the 5G era and beyond. This effort is a part of the “Infrastructure Development for Promoting International S&T Cooperation (Japan-Taiwan Research Exchange): Nanoelectronics and System Integration for AI” project carried out with support from the Japan Science and Technology Agency (JST) and Taiwan’s Ministry of Science and Technology (MOST). The program seeks to develop device manufacturing process platforms essential for hybridizing heterogeneous materials/devices to produce system-on-chips (SOCs). These materials and devices are a prerequisite for sub-5-nm devices. The Joint Research Center has succeeded in developing a 2-nm generation Si/Ge heterogeneous channel integration platform, a groundbreaking achievement. This accomplishment was selected for presentation at the 2020 IEEE International Electron Device Meeting (IEDM2020), the most prestigious international conference in the semiconductor device field.

In addition, the Joint Research Center conducted basic research to break down barriers in transistor scaling. Improving transistor performance through scaling alone becomes difficult when the gate length reaches sub-50 nm. Performance improvements have been achieved by using technology boosters such as (1) adding strain to the transistor to improve carrier mobility, (2) replacing the gate dielectric with a high-k material, and (3) using fin-type field effect transistors. However, performance improvements using these technology boosters have already reached their limits, and new technology boosters are needed. For the fourth technology booster, we have proposed a transistor channel structure with a composite structure of periodic and defect-free semiconductor nanopillars embedded with matrix materials. This Tohoku University-original proposal suppresses phonon scattering of carriers depending on the

materials, nanopillar size, and spacing, and makes possible dramatic improvements in carrier mobility and a transistor channel layer with low heat generation. This proposal has been selected as a Grant-in-Aid for Scientific Research - Basic Research (S). It will be deployed for transistor development in collaboration with AIST, the University of Tokyo, University of Miyazaki, TSRI and National Chiao Tung University.

2. Significance

Taiwan is now the No. 1 leader in the global semiconductor industry, having pulled ahead of the United States and South Korea. In short, the country's electronics industry is at the forefront of advanced technological trends. Central to this dominance is the significant role played by Hsinchu Science Park's platform (a partnership of National Chiao Tung University and TSRI). Joining this advanced platform with Tohoku University and AIST's advanced materials production technologies has resulted in the world's first hybrid process for heterogeneous materials and devices, a revolutionary achievement. This achievement is extremely significant in giving the partnership of NCTU and Tohoku University/AIST the ability to lead the world in developing essential ultra-advanced devices in the AI era and beyond.

補足資料③

国立交通大学・柯明道教授（共同グループリーダー）からのコメント

Biomedical Sensor and Network Project in Joint Research Center between NCTU and Tohoku Univ. 2018-2021 Achievement Report

Prof. Min-Dou Ker

Group Leader, Joint Research Center between NCTU and Tohoku Univ.

We have developed a high-conversion-ratio (HCR), high-voltage-tolerant (HVT) energy harvesting battery charger using 0.18- μm standard CMOS for Internet of Things (IoT), as shown in Fig. 1. To reduce conversion ratio (CR) of inductive power converter and optimize overall power efficiency, the proposed charger cascades a boost converter and reconfigurable charge pump. Different from the high-voltage device, the standard CMOS process has lower parasitic capacitance and on-resistance; therefore, it can reduce switching and conduction loss. The proposed converter is able to manage limited power from a thermoelectric generator (TEG). We realized a zero-current detector (ZCD) using an analog comparator with digital offset compensator to control off-time (TOFF) quickly and accurately. The self-idle constant on-time (SI-COT) and idle mode both control the mechanism, helping to further reduce static power dissipation. As a result, the proposed converter can achieve peak efficiency of up to 76% at a $92 \times$ conversion ratio with output power ranging from 10 μW to 1.9 mW. The available input voltage ranges are 40 to 400 mV, and the dual output voltage ranges are 1 to 1.6 V and 2 to 4.6 V for VBOOST and VOUT, respectively. Fig. 2 compares the performance with state-of-the-art energy-harvesting DC-DC converters. The proposed converter provides a 4.6-V

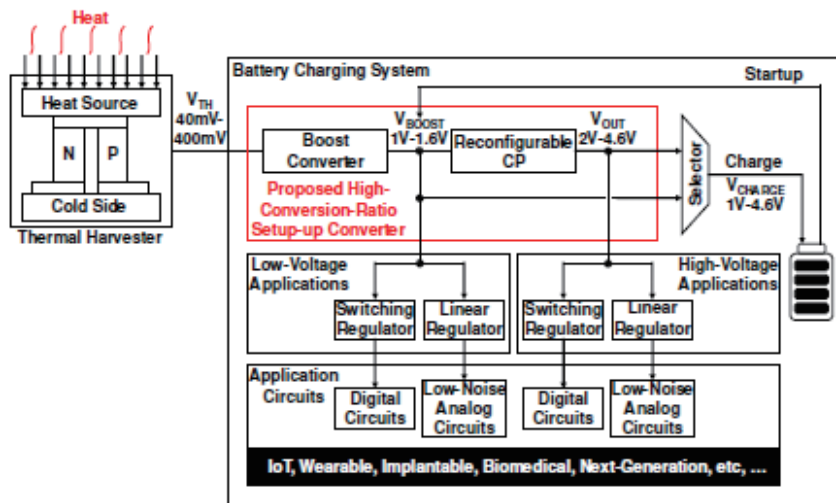


Fig. 1. The system architecture of the battery-charging system

	[12] JSSC 10	[11] JSSC 11	[13] JSSC 13	[15] TPE 13	[14] JSSC 15	[34] JSSC 16	This work
Converter Topology	Single boost	Boost and buck cascade	Boost and boost stepping-up	Single boost	Single boost	Charge pump and charge pump cascade	Boost and charge pump cascade
Output Number	Single	Dual	Dual	Single	Single	Dual	Dual
Control Loop	Single	Single	Single	Single	Single	Dual	Dual
Inductor	4.7μH	22μH	2μH, 100μH, 27μH	22μH	10μH	N	4.7μH
Input Voltage	20mV-250mV	25mV-100mV	30mV-200mV	70mV-600mV	10mV-300mV	0.35V-0.6V	40mV-400mV
Output Voltage	1V	1.8V	1.2V	3V-5.8V	1.1V	$V_{\text{curr}} : 0.86V-1.8V$ $V_{\text{curr}} : 2.5V-5.2V$	$V_{\text{boost}} : 1V-1.5V$ $V_{\text{curr}} : 2V-4.6V$
Output Power	1μW-100μW	10μW-300μW	< 4.3mW	N/A	< 22mW	< 396μW	10μW-1.9mW
Maximum Conversion Ratio	50	72	40	82.86	110	14.86	115
Process	130nm CMOS	350nm CMOS	65nm CMOS	350nm BCDMOS	130nm CMOS	180nm CMOS	180nm CMOS (All in standard 1.8V devices)
Configuration of Power Stage	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Automatic Configuration
Peak Efficiency	75% @ $V_{\text{in}} = 100\text{mV}$, CR=10	58% @ $V_{\text{in}} = 25\text{mV}$, CR=72	73% @ $V_{\text{in}} = 200\text{mV}$, CR=6	72.2% @ $V_{\text{in}} = 500\text{mV}$, CR=11.24	83% @ $V_{\text{in}} = 300\text{mV}$, CR=3.67	75.8% @ $V_{\text{in}} = 590\text{mV}$, CR=2.39	78.4% @ $V_{\text{in}} = 100\text{mV}$, CR=46
Worst Efficiency	35% @ $V_{\text{in}} = 40\text{mV}$, CR=25	N/A	55% @ $V_{\text{in}} = 40\text{mV}$, CR=30	N/A	60% @ $V_{\text{in}} = 40\text{mV}$, CR=27.5	N/A	67.8% @ $V_{\text{in}} = 40\text{mV}$, CR=115

Conversion Ratio (CR): $V_{\text{out}}/V_{\text{in}}$

Fig. 2. Performance comparison with other state of the arts.

high output voltage using 1.8V standard CMOS device without any voltage stress issue. The standard CMOS process has lower on-resistance and parasitic capacitance, thus the proposed converter obtains 67.8% efficiency at $115 \times$ conversion ratio. Comparing to state-of-the-art, the proposed DC-DC converter achieves the highest conversion ratio of $115 \times$ with high efficiency. The proposed topology is suitable for thermoelectric energy-harvesting battery charger for the Internet of Things. The relevant results have been published in IEEE Transaction on Circuits and Systems I (TCAS-I) 2020.

Publications

1. M.-J. Chung, T. Hirose, T. Ono, and P.-H. Chen, "A $115 \times$ Conversion-Ratio Thermoelectric Energy-Harvesting Battery Charger for the Internet of Things", IEEE Transactions on Circuits and Systems I (TCAS-I), pp. 4110-4121, Aug. 2020.



東北大学・台湾国立交通大学
国際ジョイントラボラトリー
(第一期:2018年8月～2021年7月)
外部評価書

2021年6月21日

国立研究開発法人・産業技術総合研究所

上級執行役員

金丸正剛

プロジェクト外部評価者について（プロフィール）



金丸 正剛（かねまる せいごう）

国立研究開発法人産業技術総合研究所上級執行役員

略 歴	就任年月日：2021 年 4 月 21 日
1987 年 3 月	東京工業大学大学院総合理工学研究科電子システム専攻博士課程修了 工学博士
1987 年 4 月	工業技術院電子技術総合研究所入所
2001 年 4 月	独立行政法人産業技術総合研究所エレクトロニクス研究部門機能集積システムグループ長
2004 年 2 月	企画本部総括企画主幹
2006 年 4 月	エレクトロニクス研究部門副研究部門長
2008 年 4 月	エレクトロニクス研究部門長
2011 年 4 月	ナノエレクトロニクス研究部門長
2014 年 5 月	情報通信・エレクトロニクス分野研究統括、ナノテクノロジー・材料・製造分野研究統括
2015 年 4 月	国立研究開発法人産業技術総合研究所エレクトロニクス・製造領域長
2017 年 4 月	国立研究開発法人産業技術総合研究所理事に就任
2020 年 4 月	国立研究開発法人産業技術総合研究所副理事長に就任
2021 年 4 月	国立研究開発法人産業技術総合研究所上級執行役員に就任
兼務	つくばセンター所長、TIA 推進センター長、情報化統括責任者、最高情報セキュリティ責任者

金丸氏は、1987 年に東京工業大学大学院博士課程修了後、半導体デバイスの研究拠点であった工業技術院電子総合研究所に入所し、産業技術総合研究所にてエレクトロニクス研究の中心を歩み、エレクトロニクスおよびナノエレクトロニクス研究部門長、エレクトロニクス・製造領域長、および産業技術総合研究所・理事、副理事長を歴任され、2021 年 4 月に上級執行役員、つくばセンター長、TIA 推進センター長に就任している。日本半導体産業が全盛であった 1980 年代から現在まで、半導体研究の中核を歩み、研究のみならず国立研究開発法人におけるトップマネジメントを経験している。更に、現在は日本半導体研究の最先端プラットフォームである産業技術総合研究所 TIA の責任者も務めている。また、社団法人・応用物理学会副会長、東北大学未来科学技術共同研究センター研究プロジェクト評価委員会委員、NHK 放送技術研究所放送技術研究委員会委員も務めてきた。以上、金丸氏は半導体研究拠点や半導体業界において我が国の活動を先導しとりまとめる立場にある。

東北大学 - 国立交通大学国際ジョイントラボラトリー活動に対する評価

評価者	氏 名	金丸 正剛
	所属・役職	国立研究開発法人産業技術総合研究所上級執行役員 (兼務) つくばセンター所長、TIA 推進センター長
評価日		令和3年6月21日
活動全般に対する総評（活動全般に対する総評を自由形式にてご記入ください。） 2005年の大学間協定から始まる両大学の連携構築を進化させた国際ジョイントラボラトリーという組織体制のもと、それぞれの大学の強みを活かした戦略的な研究課題が設定されている。創出された研究成果はどれも優れた研究成果であると認められ、ラボラトリー設置前以上に質量ともに大幅な向上が見られることから本組織が実質的かつ機動的に運営されていると判断できる。特に、水素エネルギーシステムでは相手先教授の急な逝去により推進体制を変更せざる得ない状況において新たな体制を両大学の協力で構築したこと、研究分野が医歯薬系にも新たに展開していることなどはジョイントがうまくいっている証であると考えます。 人材育成活動も順調であり、共同研究のもとでの交流が機能している。交換留学では東北大から交通大学への一方通行であることは改善の余地があると考えます。		
注目される成果・社会にインパクトある成果等（本活動の成果のうち、特に注目される成果や社会にインパクトある成果とその理由を自由形式にてご記入ください。） ナノデバイスグループの成果の中でhCFETの実現を特に評価したい。グローバルな競争領域において世界初の研究成果をあげたことに加えて、ジョイントラボが核となり TSRI と AIST との共同研究により実現した成果であり、両大学にとどまらず両国間の連携を促進する働きをしていることを高く評価する。 バイオメディカルセンサーネットワークグループからの人工網膜チップの開発はそれぞれの強みをデバイス上で融合した成果であり、この技術の実用化の取り組みが次の課題ではあるものの、今後の進展が期待できる成果である。 エネルギーデバイスシステムグループによる水素自律型システム研究で創出された基盤技術は台湾サイエンスパークに隣接していることを強みとして社会実装の課題を明確にして展開することを期待する。		
今後の活動に対する期待および提言等（半導体産業の世界的情勢を踏まえ、国にとっての本活動の意義、大学における今後の活動への期待・提言などを自由形式にてご記入ください。） 現在、半導体産業の重要性、将来性が再度高く評価されている状況になり、我が国においても国の戦略として位置づけられている。微細化限界が見えつつある状況で、新たな先端半導体技術の再定義が必要である。本ジョイントラボが両国の技術優位な分野を統合し、他の組織も加えた新たな研究開発体制に展開していくことを期待したい。		

署 名 金丸正剛

東北大学・台湾国立交通大学
国際ジョイントラボラトリー活動報告書
(2018年8月～2021年7月)

2021年12月印刷

編集・発行：
東北大学流体科学研究所／材料科学高等研究所 教授 寒川 誠二

〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1
https://www.ifs.tohoku.ac.jp/taiwan_joint/

印刷：株式会社 センキョウ