



平川研究室(Prof. Hirakawa)

Quantum Semiconductor Electronics Laboratory

URL: <http://thz.iis.u-tokyo.ac.jp/>

生産技術研究所 Ee-202
Inst. Ind. Sci. Rm Ee-202

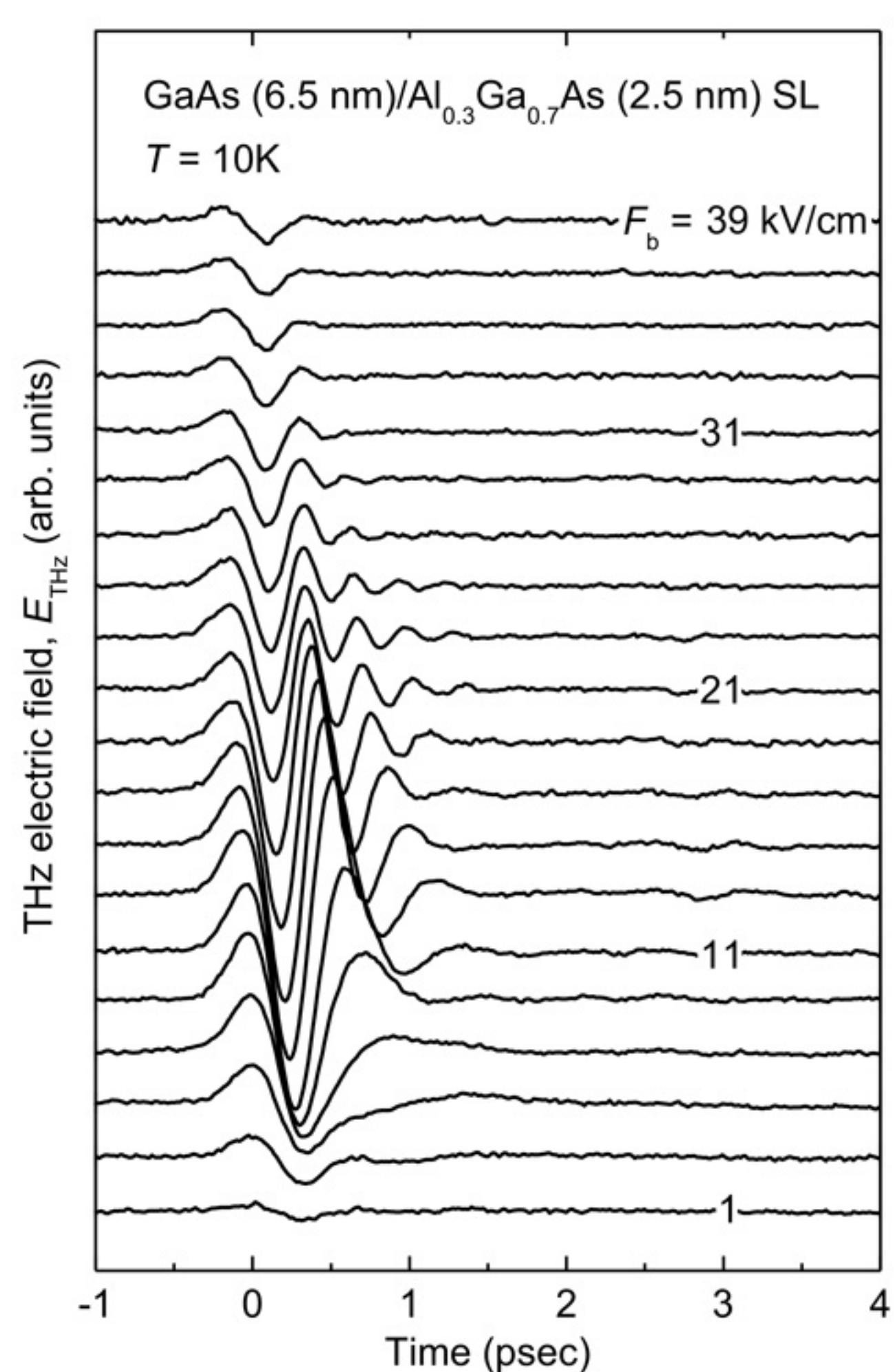
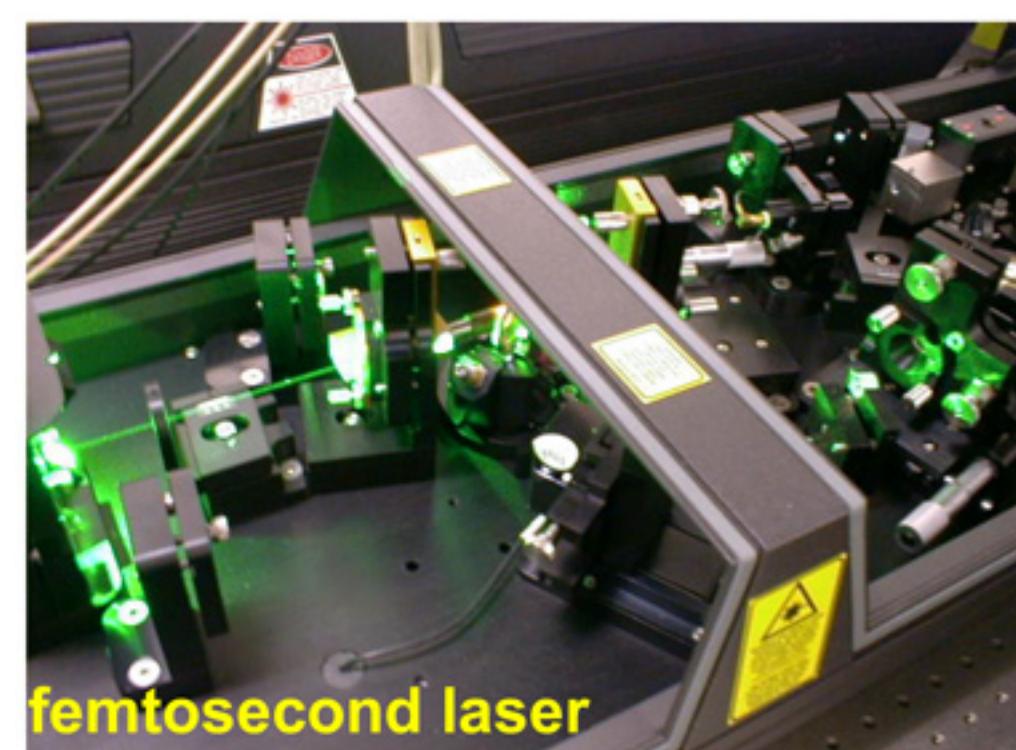
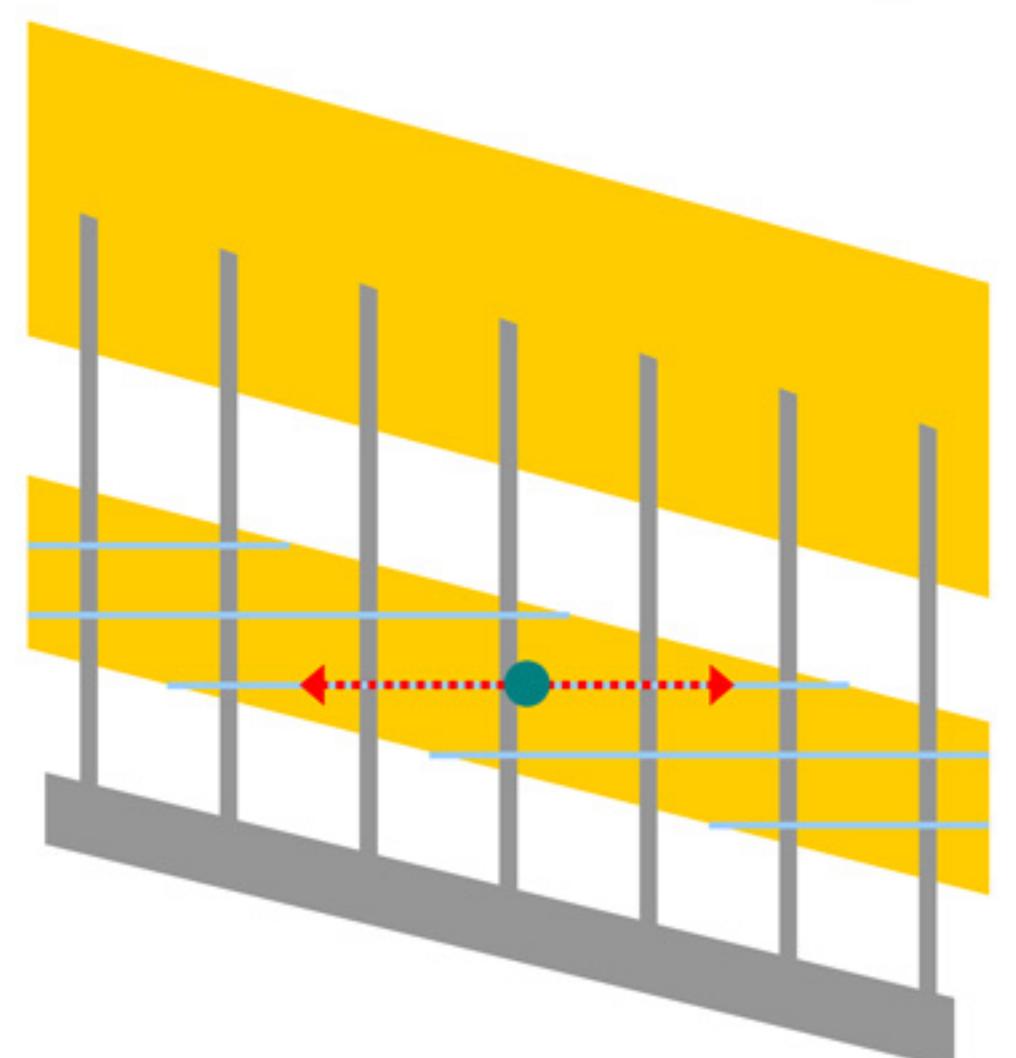
テラヘルツナノサイエンスと極限デバイス物理

Terahertz Photodynamics and Nanoscience

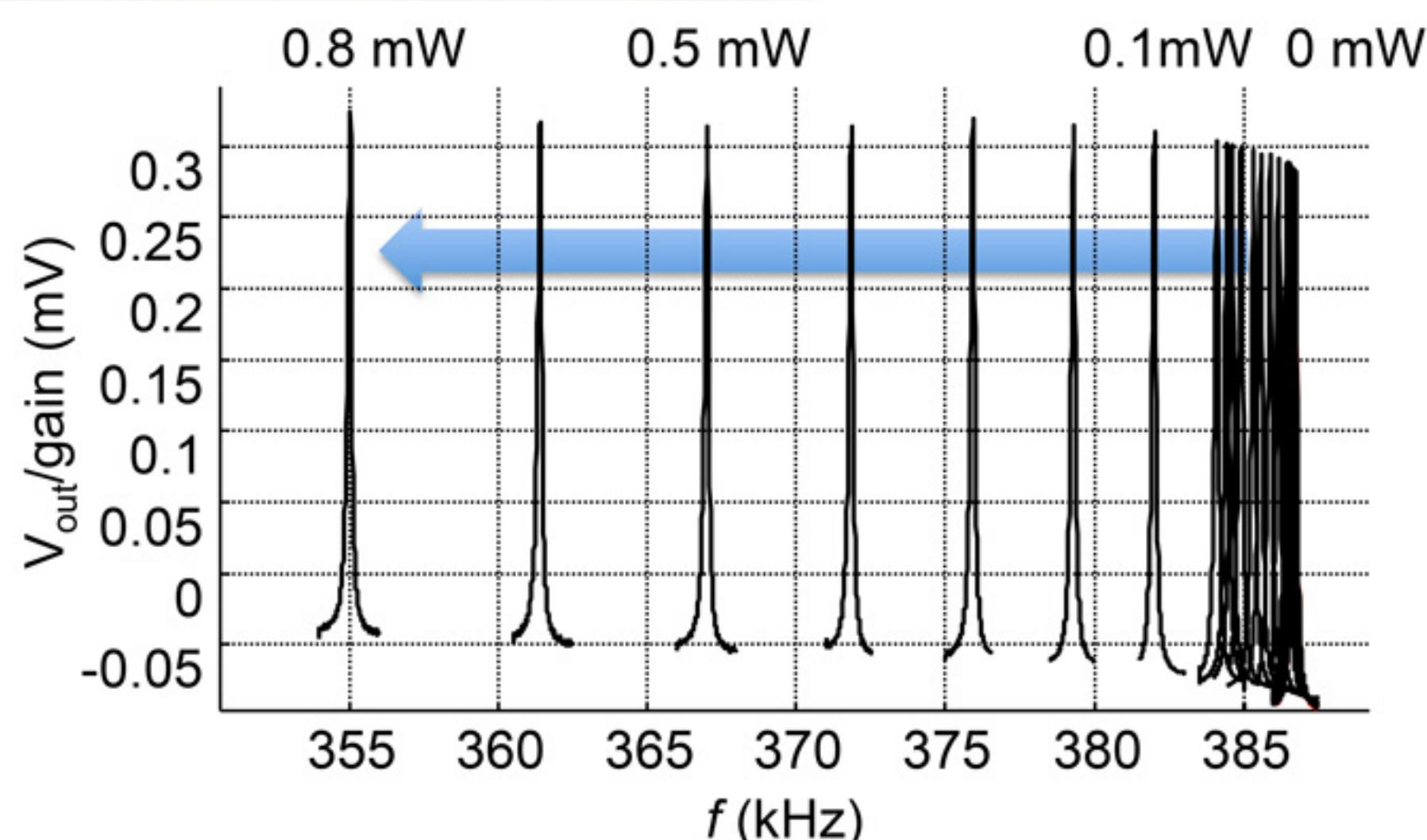
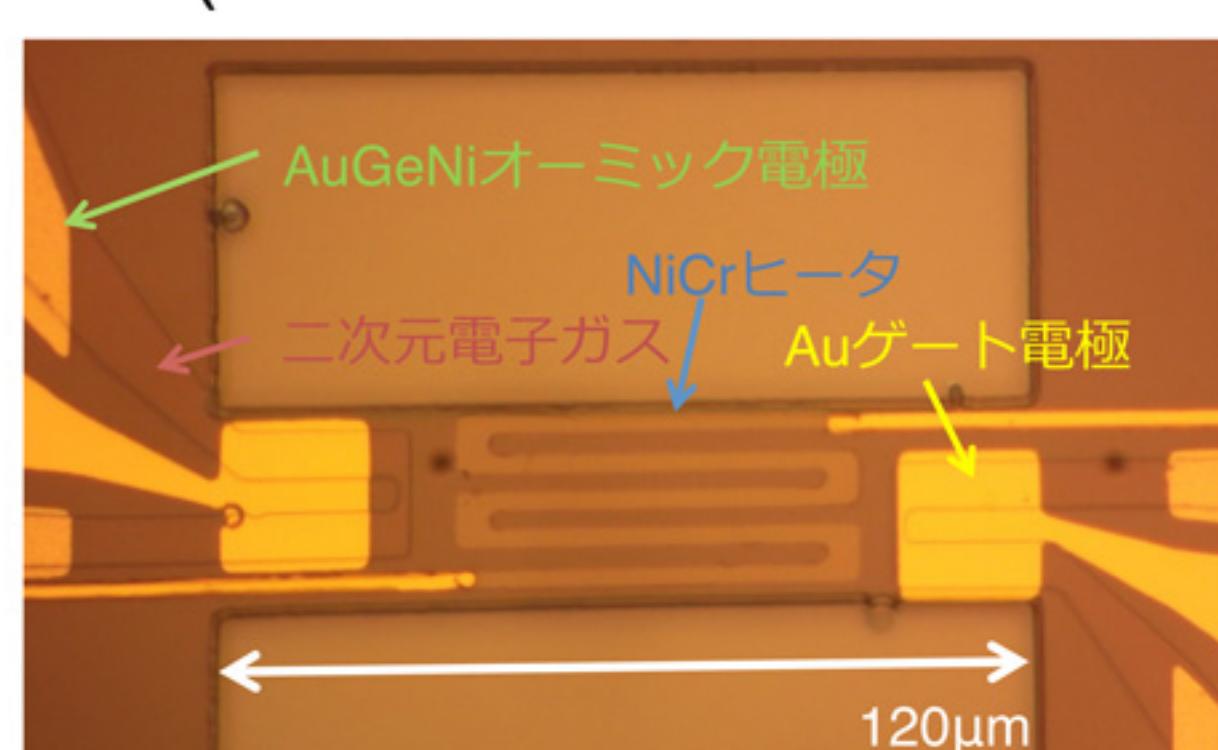
量子ナノ構造中では、量子効果や電子間の相互作用で様々な新しい物性が現れます。平川グループでは、量子ナノ構造の織りなす新しい物理の探索とそのデバイス応用を目指した研究を行っています。

- 原子レベルのナノ科学と単一分子トランジスタ
- テラヘルツ領域におけるナノ量子構造の超高速ダイナミクスとデバイス応用
- MEMSを用いた高速・高感度テラヘルツ検出
- 半導体ヘテロ構造を用いた新規冷却現象とその応用

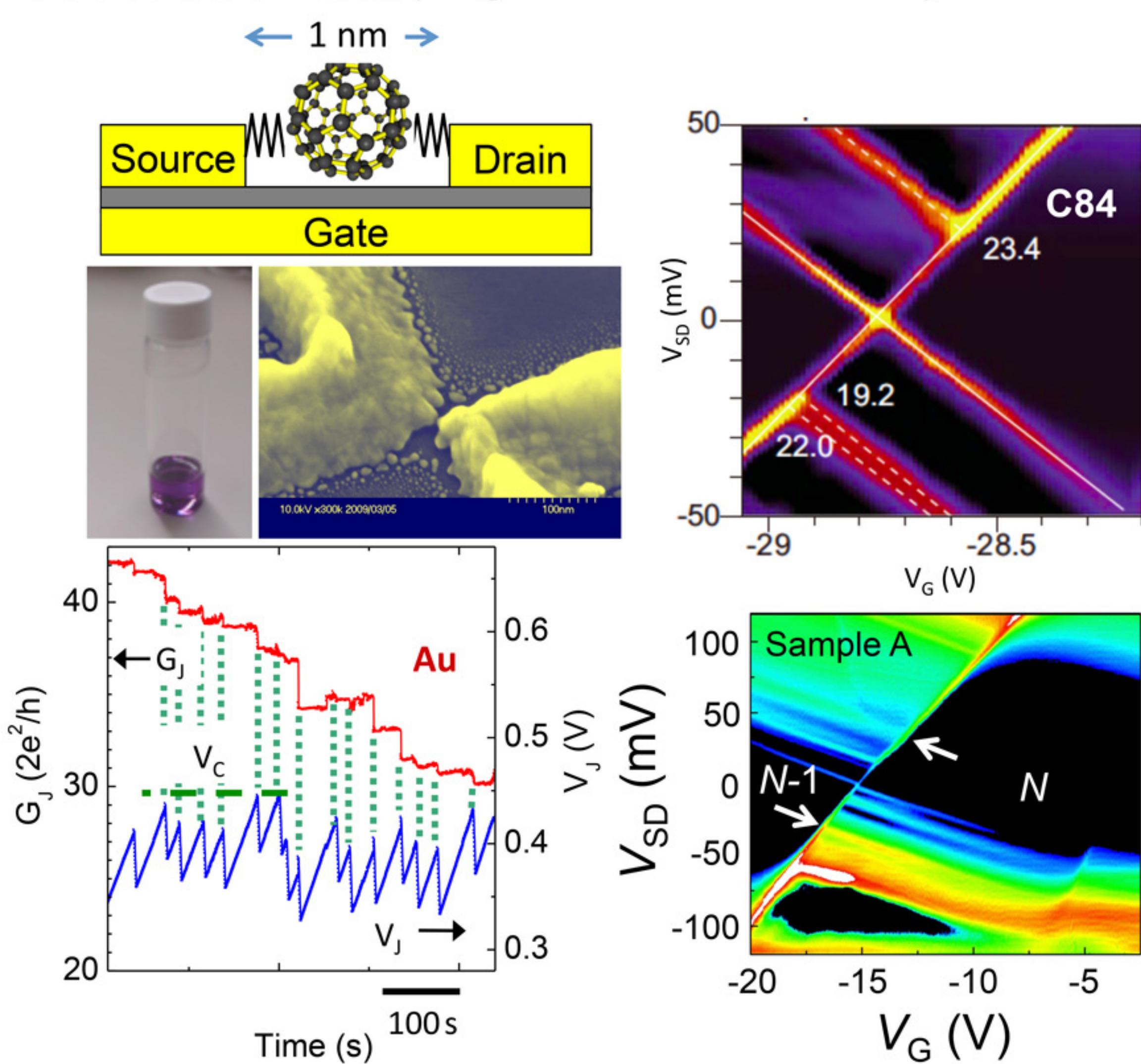
半導体超格子中の電子のプロップホ振動とテラヘルツ発振器への応用 (Ultrafast electron dynamics in nanostructures)



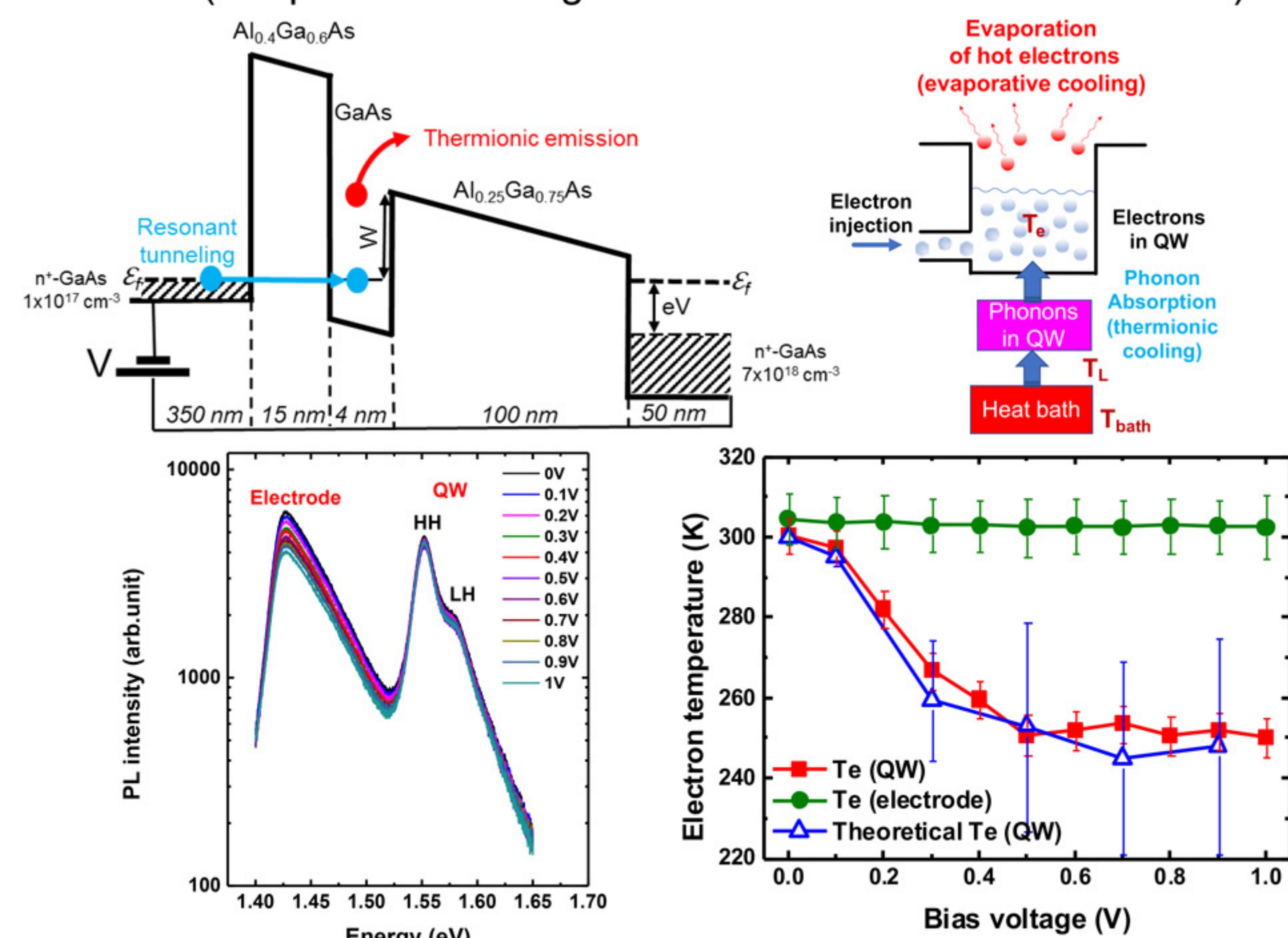
MEMS構造を用いた室温動作・高感度テラヘルツボロメータ (Novel terahertz bolometer using MEMS)



原子レベルのナノギャップを有する電極の作製と単一分子をチャネルとするトランジスタの作製 (Single molecule transistors)



半導体ヘテロ構造を用いた熱電子冷却デバイス (Evaporative cooling in semiconductor heterostructures)



平本・小林正研究室 (Profs. T. Hiramoto and M. Kobayashi)

Integrated Semiconductor Devices Laboratory

生産技術研究所 Ee-206
IIS, Ee-206

URL: <http://vlsi.iis.u-tokyo.ac.jp/>

究極の集積ナノデバイス

現代の高度情報化社会を根底で支えているのは、大規模集積回路(VLSI)技術です。平本/小林研究室は、デバイスサイドからイノベーションを起こすことによって将来の革新的集積エレクトロニクスのデバイス技術を確立し、我が国および世界の諸課題解決に貢献することを目指します。2014年5月には、4月までIBMワトソン研究所に勤務していた小林准教授が新たにグループに加わりました。Fig. 1のビジョンに基づき、産業界との連携および国際連携も積極的に進め、究極の集積ナノデバイスを追究しています。

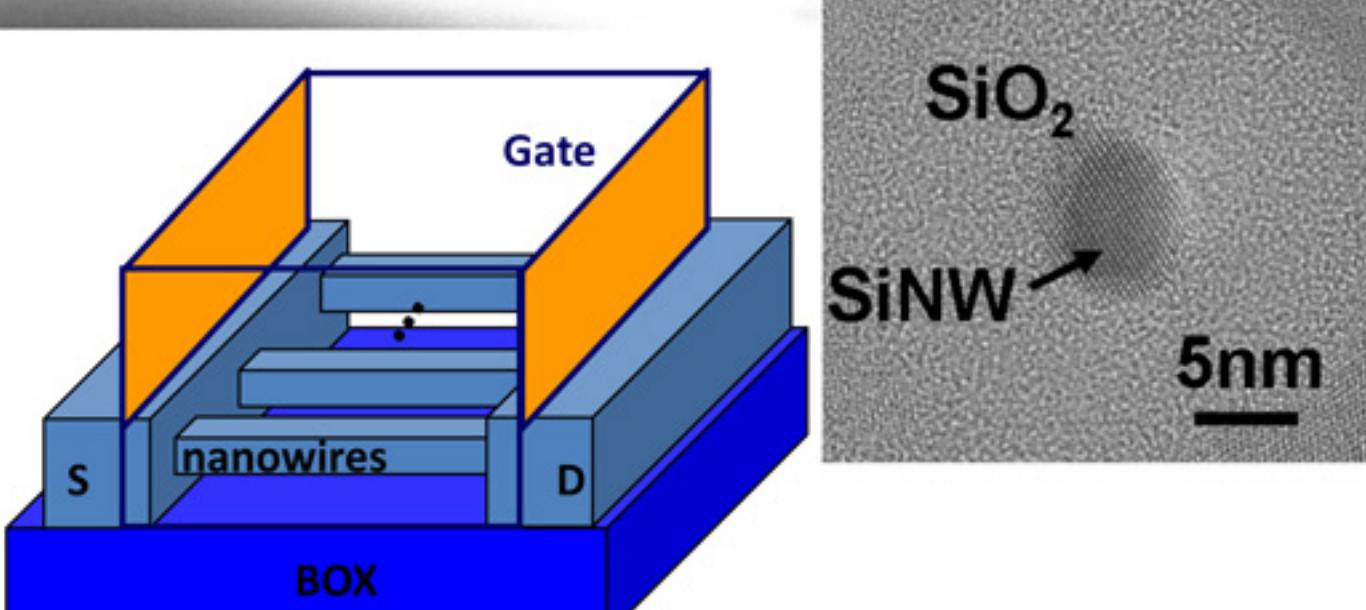
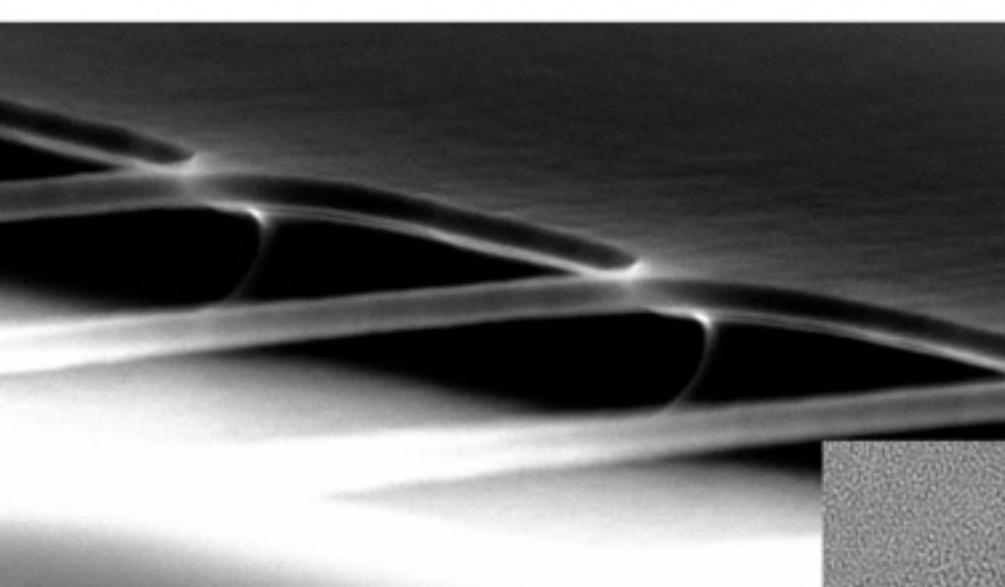


Fig. 2. 次世代デバイス構造と期待されるシリコンナノワイヤトランジスタを試作し電気伝導特性を解明。

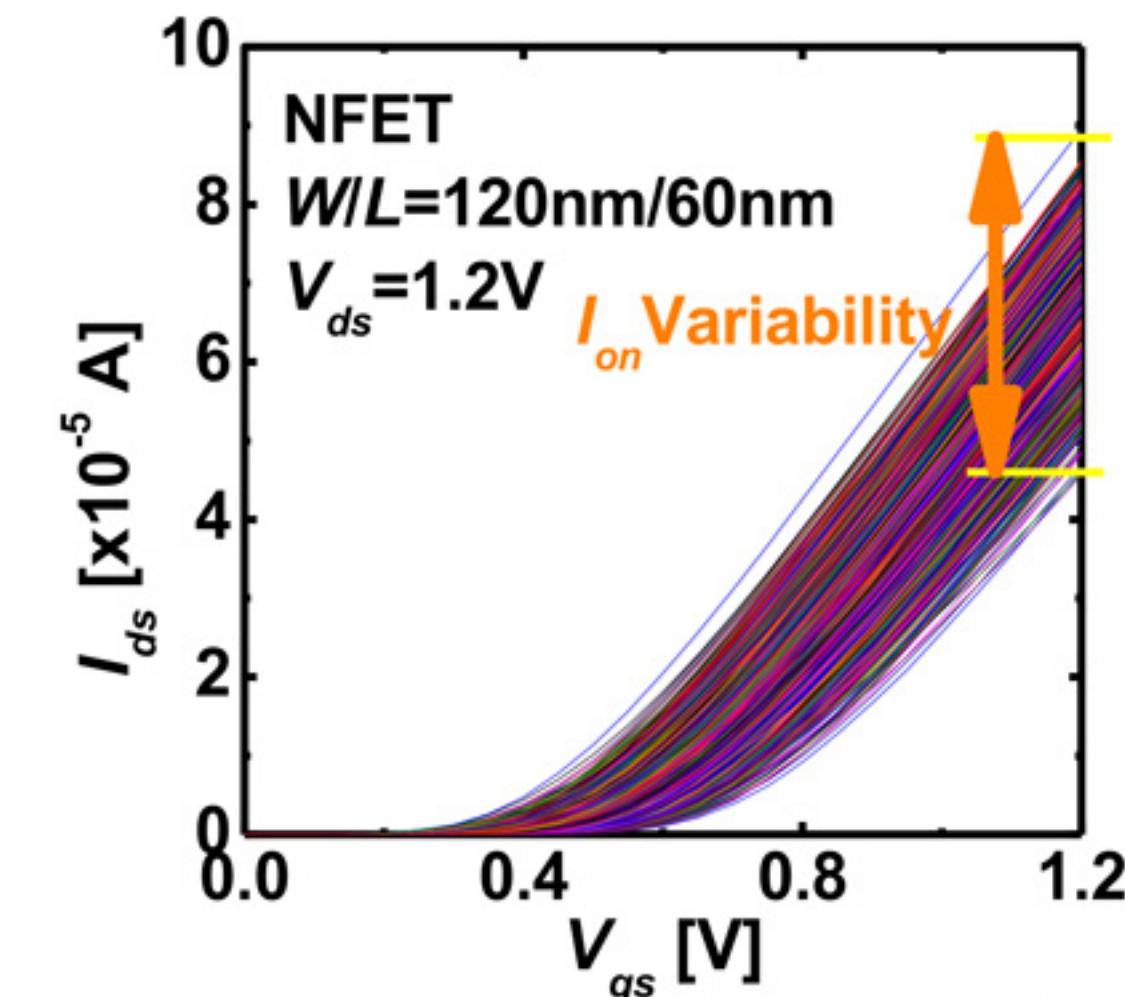
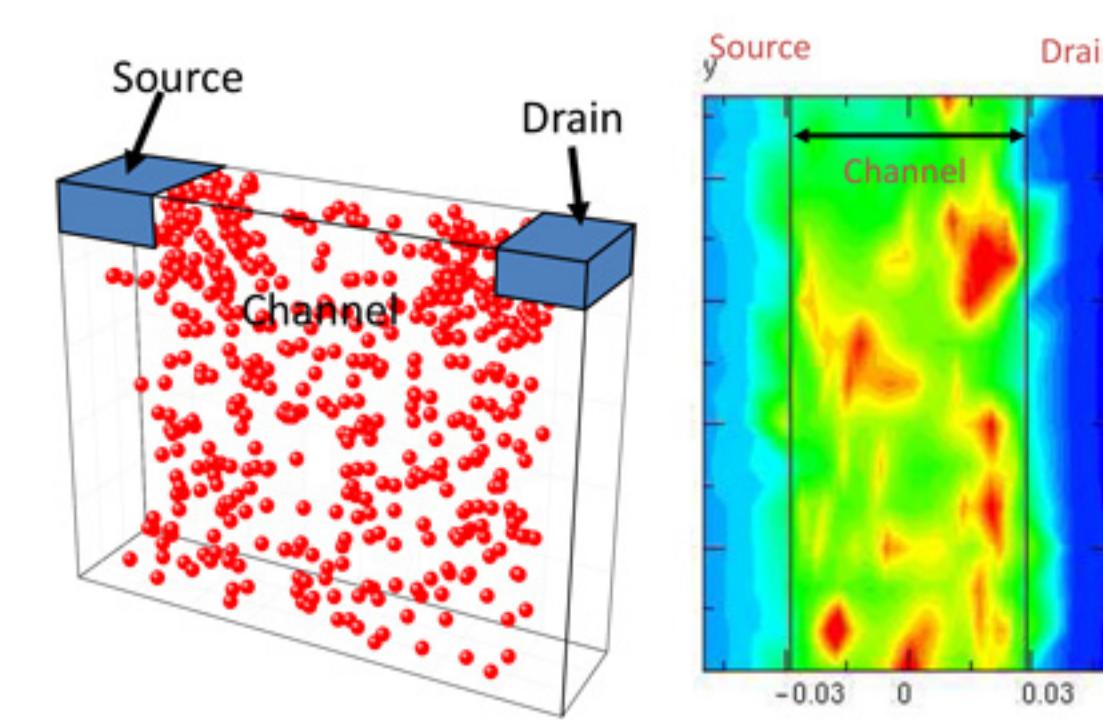
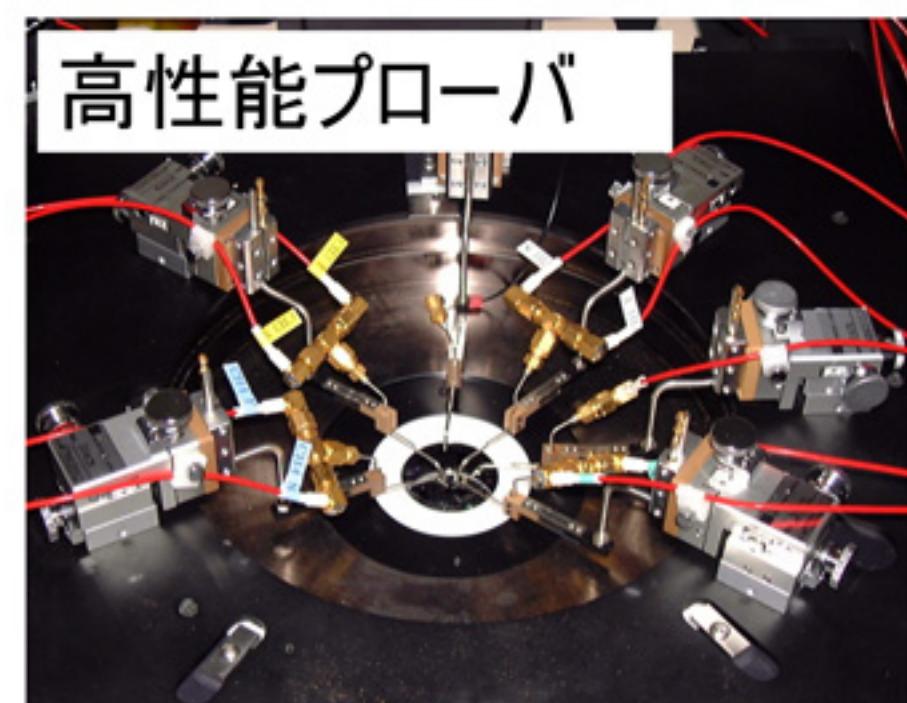


Fig. 3. トランジスタのさらなる微細化を阻害する離散不純物によるランダムな特性ばらつきを実測評価し改善策を提案。

研究環境:駒場リサーチキャンパス内にクリーンルームを有しています。また高性能測定装置を多数所有しています。多くの新デバイスがここで試作・評価され、国際会議等で発表されました。



平本俊郎 1989年東京大学電子工学専攻博士課程修了。同年(株)日立製作所デバイス開発センタ入社。高速BiCMOSの開発に従事。1994年東京大学生産技術研究所助教授。シリコンナノデバイスの研究を開始。2002年教授。低消費電力デバイス、微細MOSFETの特性ばらつき、量子効果、単電子トランジスタ、シリコンパワーデバイスなどの研究に従事。2020年JST CREST研究領域「情報担体を活用した集積デバイス・システム」の研究総括に就任。

Evolution of Extended CMOS

Existing technologies

More Than Moore Elements

More Moore

New technologies

Fig. 4. 強誘電性ナノ薄膜を用いた超低消費電力メモリ

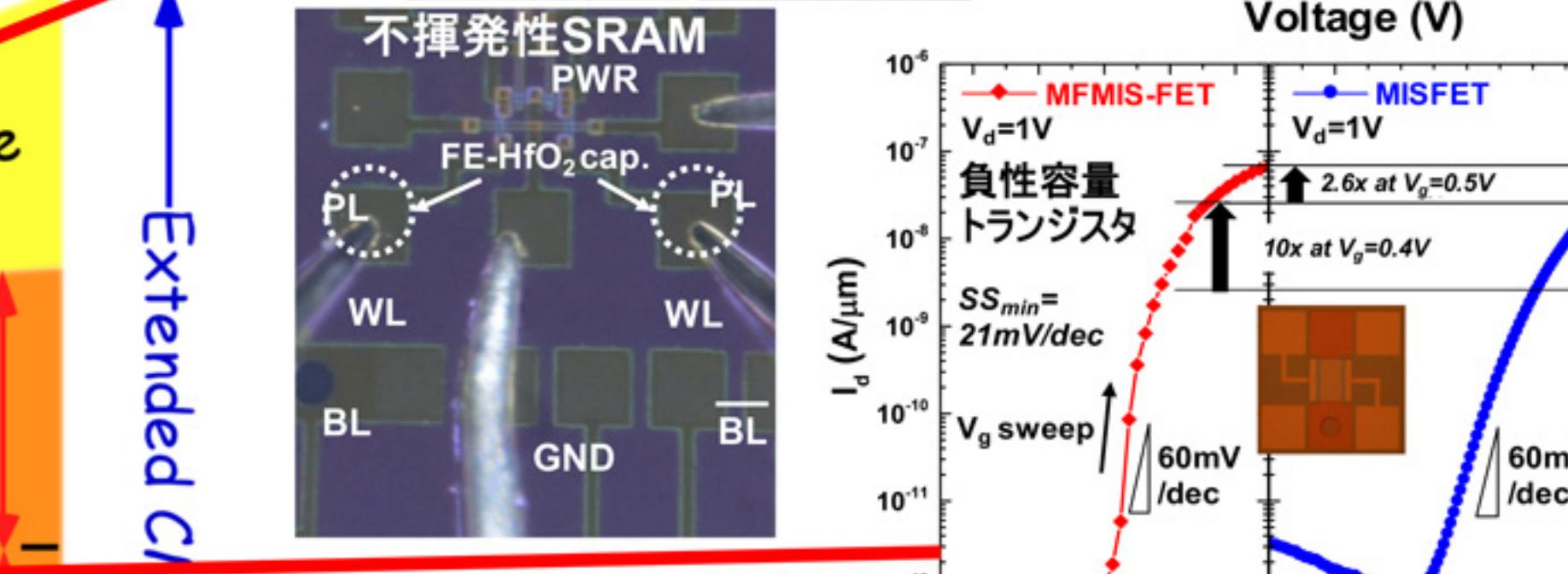
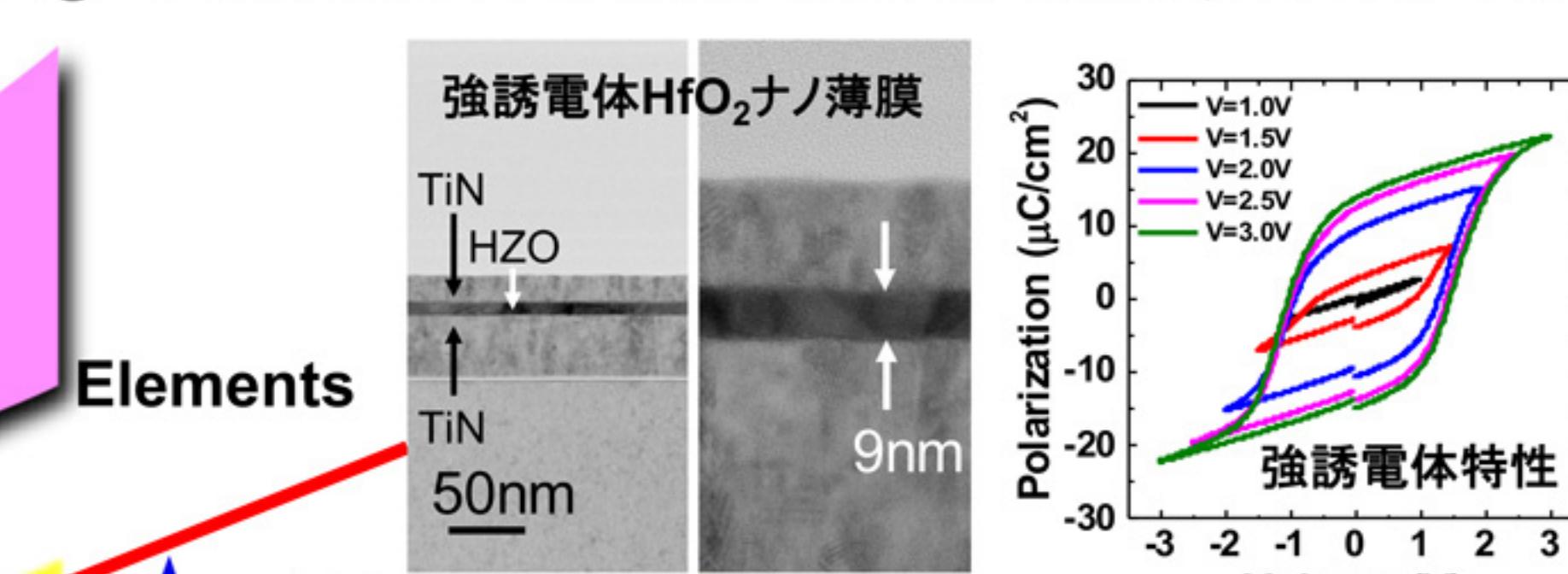


Fig. 5. 物理限界を突破する超低電圧動作急峻サブレショルドスロープトランジスタ

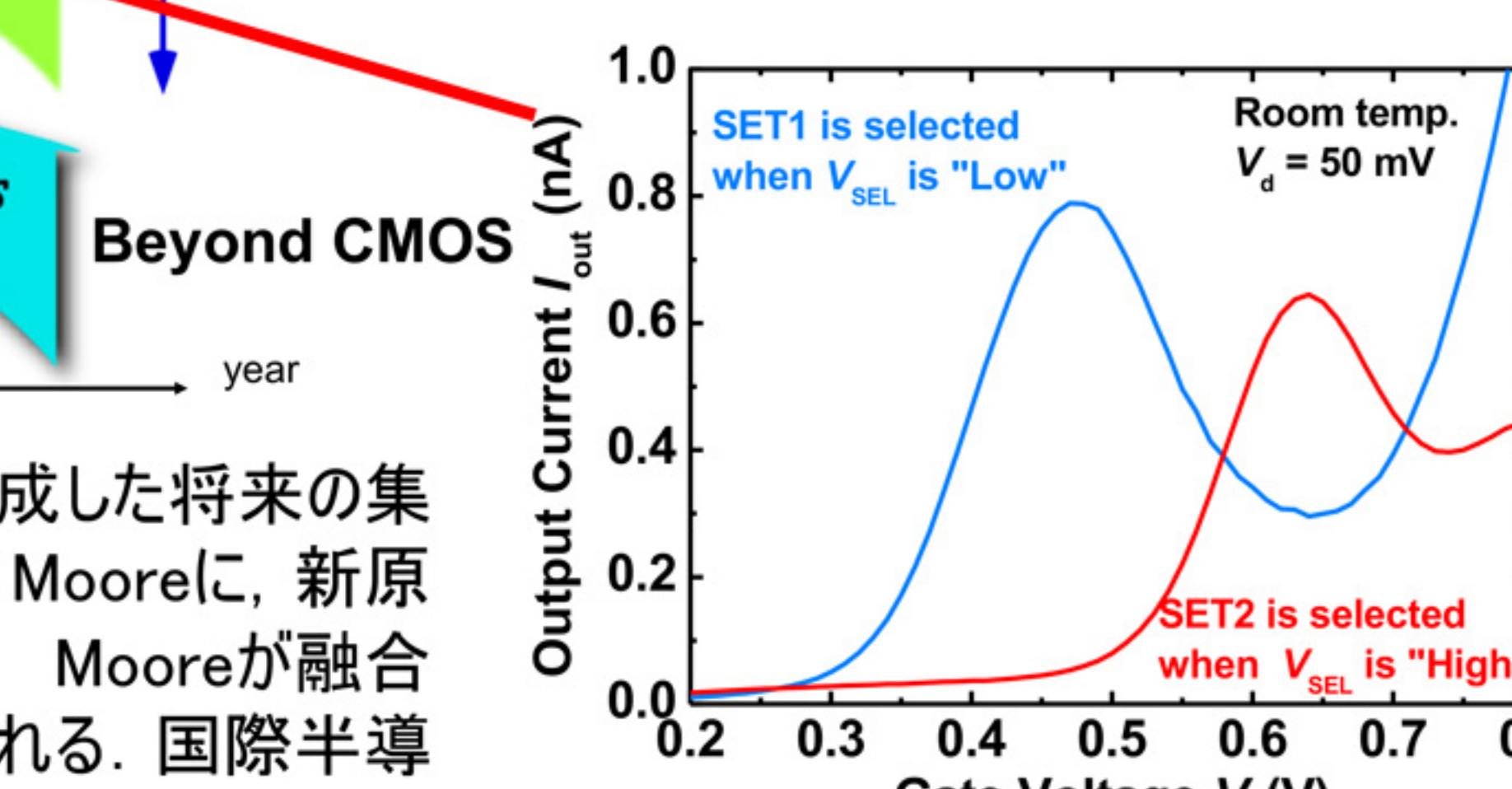


Fig. 1. 平本教授が中心となり日本半導体ロードマップ委員会で作成した将来の集積ナノエレクトロニクスのビジョンマップ。CMOS基盤技術であるMore Mooreに、新原理に基づくBeyond CMOSや新機能を有するMore Than Mooreが融合し、"Extended CMOS"と呼ぶべき集積エレクトロニクス領域が創成される。国際半導体ロードマップ(ITRS)の2011年版と2013年版に掲載されている。

クリーンルーム試作風景

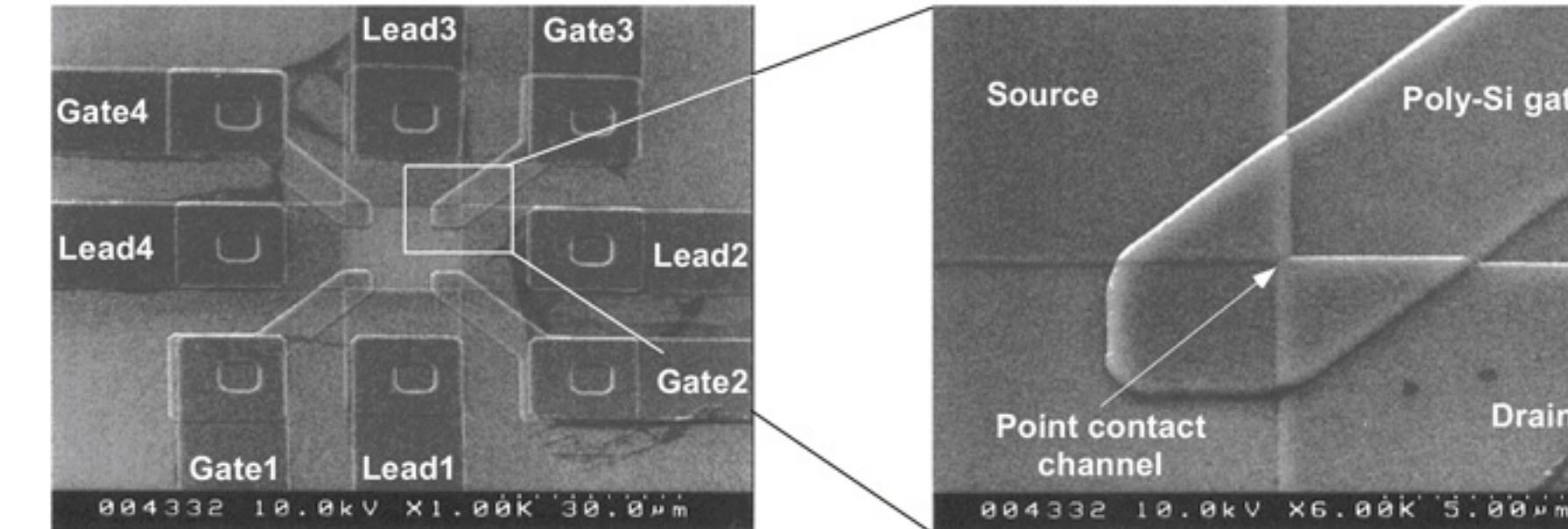


Fig. 5. Beyond CMOSの一種である室温動作の单電子トランジスタの集積化とCMOSとの融合に世界で初めて成功。

国際会議活動:集積デバイスの分野で最も権威のある国際会議は、国際電子デバイス会議(IEDM)とVLSIシンポジウムです。これまでに、本研究室からはIEDMで24件、VLSIシンポジウムで14件もの論文を発表しました。また、多くの大学院生が、国際会議でBest Student Paper Awardを受賞しています。

小林正治 2006年東京大学電子工学専攻修士課程修了。2010年スタンフォード大学でPhD取得。2009年IMEC研究員、2010年IBMトーマスワトソン研究所研究員。先端CMOSデバイスの研究開発に従事。2014年東京大学生産技術研究所准教授。2019年東京大学工学系研究科附属システムデザイン研究センター(d.lab)准教授。超低消費電力メモリ技術とその人工知能ハードウェア応用に関する研究に従事。

ホームズ研究室 (Assoc. Prof. Mark Holmes)

Holmes Laboratory

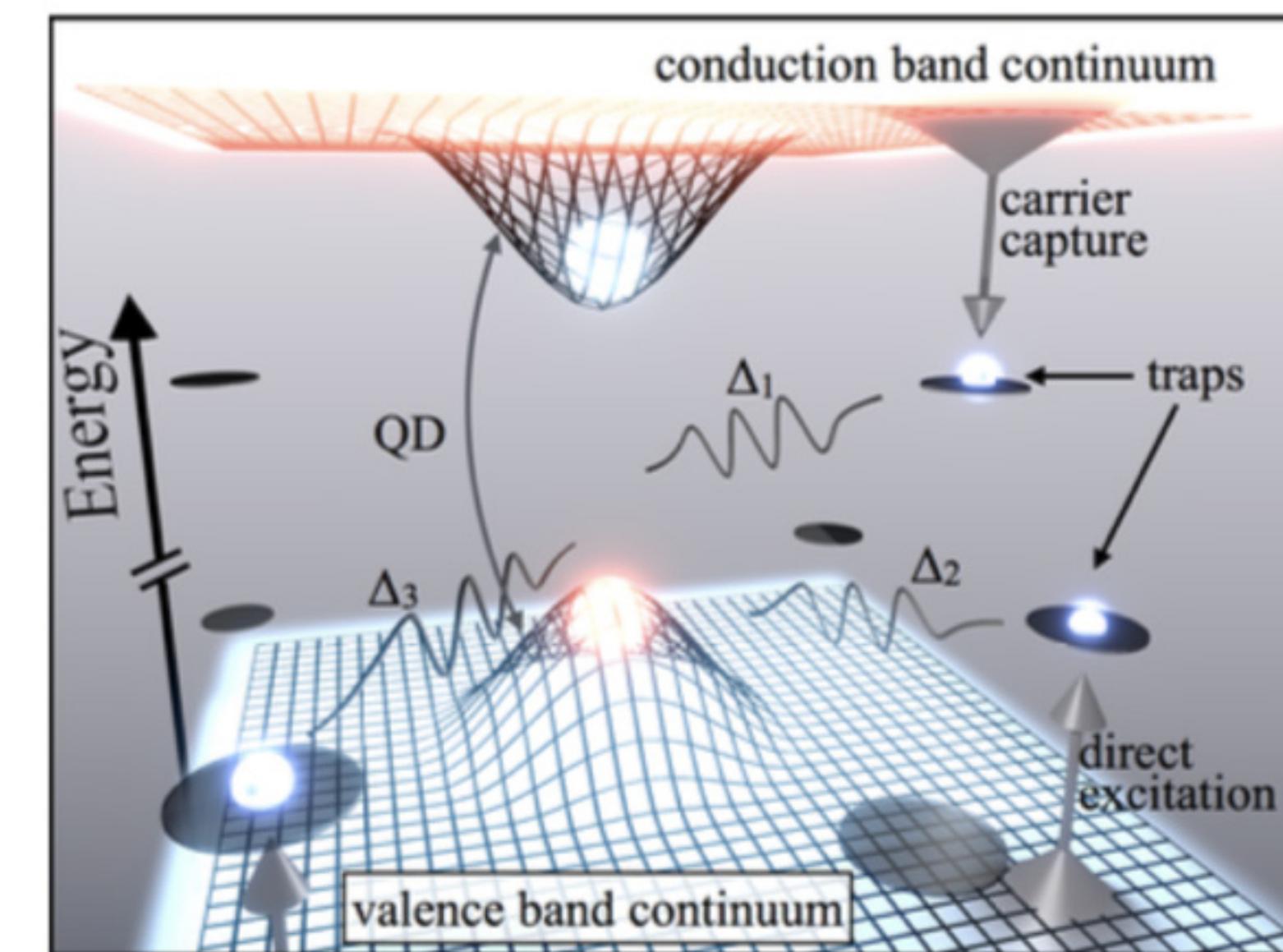
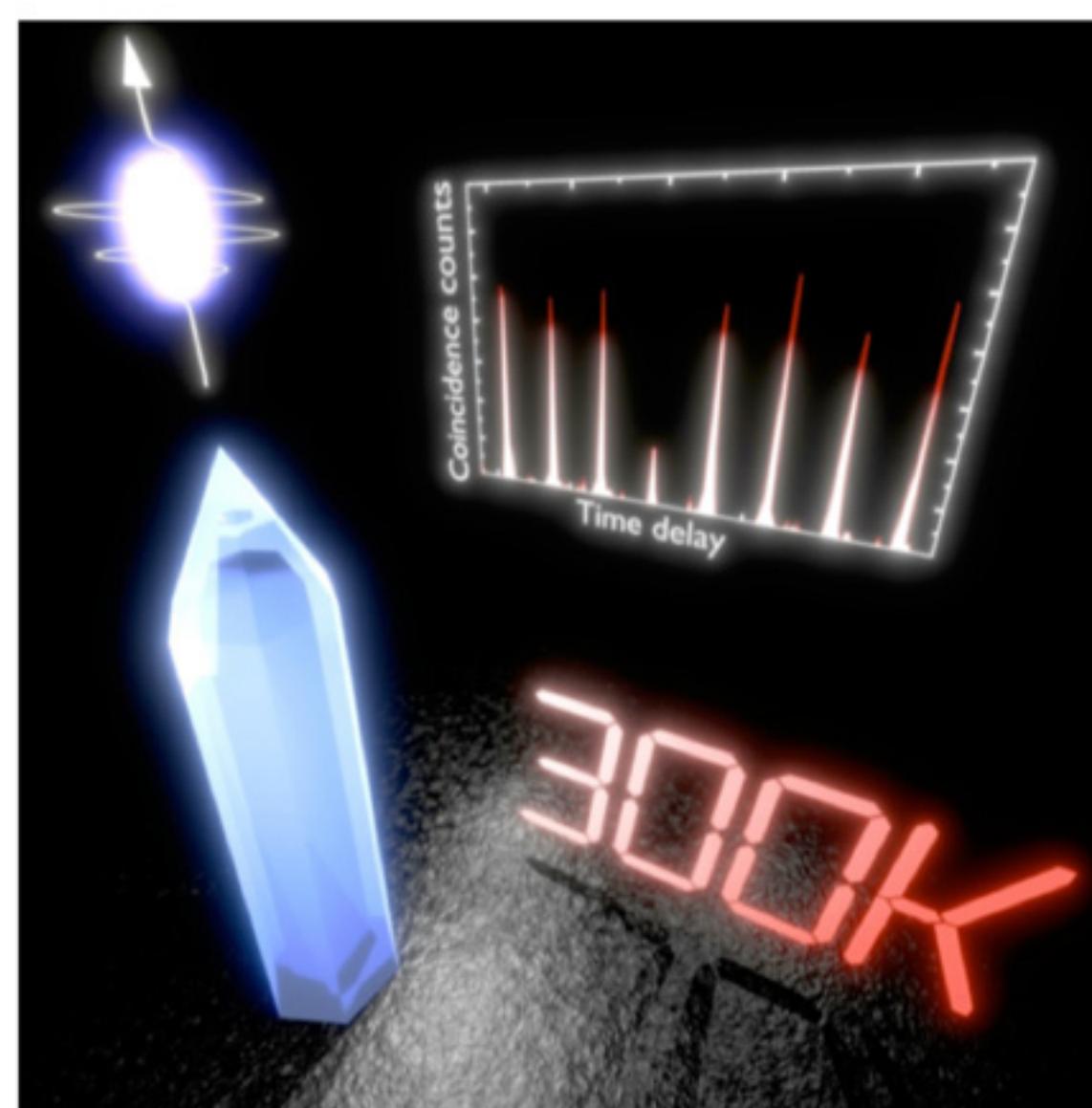
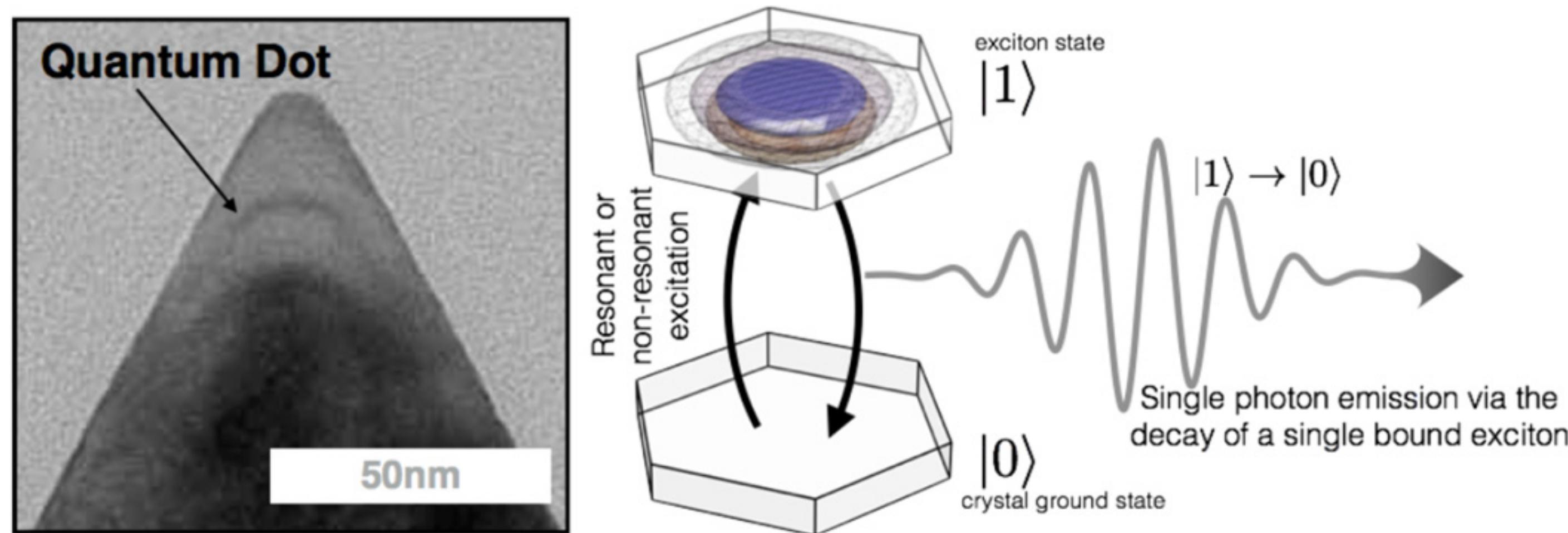
URL: <http://www.holmeslab.iis.u-tokyo.ac.jp>

生産技術研究所 Ee-409
IIS, Ee-409

量子情報デバイスを実現するために、新しい材料とそのナノ構造の特性を探る

単一光子源の開発

量子鍵配達・暗号、真乱数生成、線形光量子コンピューターなどを実現するためには単一光子源を実現する必要があります。このような光子一個一個出すデバイスは、将来、量子情報処理のキー技術の一つになると考えられます。本研究室では、荒川・岩本研究室との共同研究により、半導体量子ドットを用いた単一光子源の開発を行なっています。半導体量子ドットは、ディスクリートな状態密度を有するため、単一光子源をはじめとする量子効果を用いたデバイス応用が多数ある。しかしながら、通常用いられている単一半導体ナノ構造(InAs・GaAs量子ドットなど)の量子閉じ込め効果を測定あるいは利用するためには、冷却機(液体Heなど)を用い、低温(4K程度)で実験を行う必要があります。近年、青色発光ダイオードに用いられている窒化ガリウム(GaN)やその他のワイドギャップ半導体などを材用とした量子ドットを利用することにより、より高温で動作するデバイスの実現が可能であることが最近分かってきました。将来、実用的なデバイスを実現するために、このような材料でできたナノ構造の光学特性・基礎物理を研究しています。

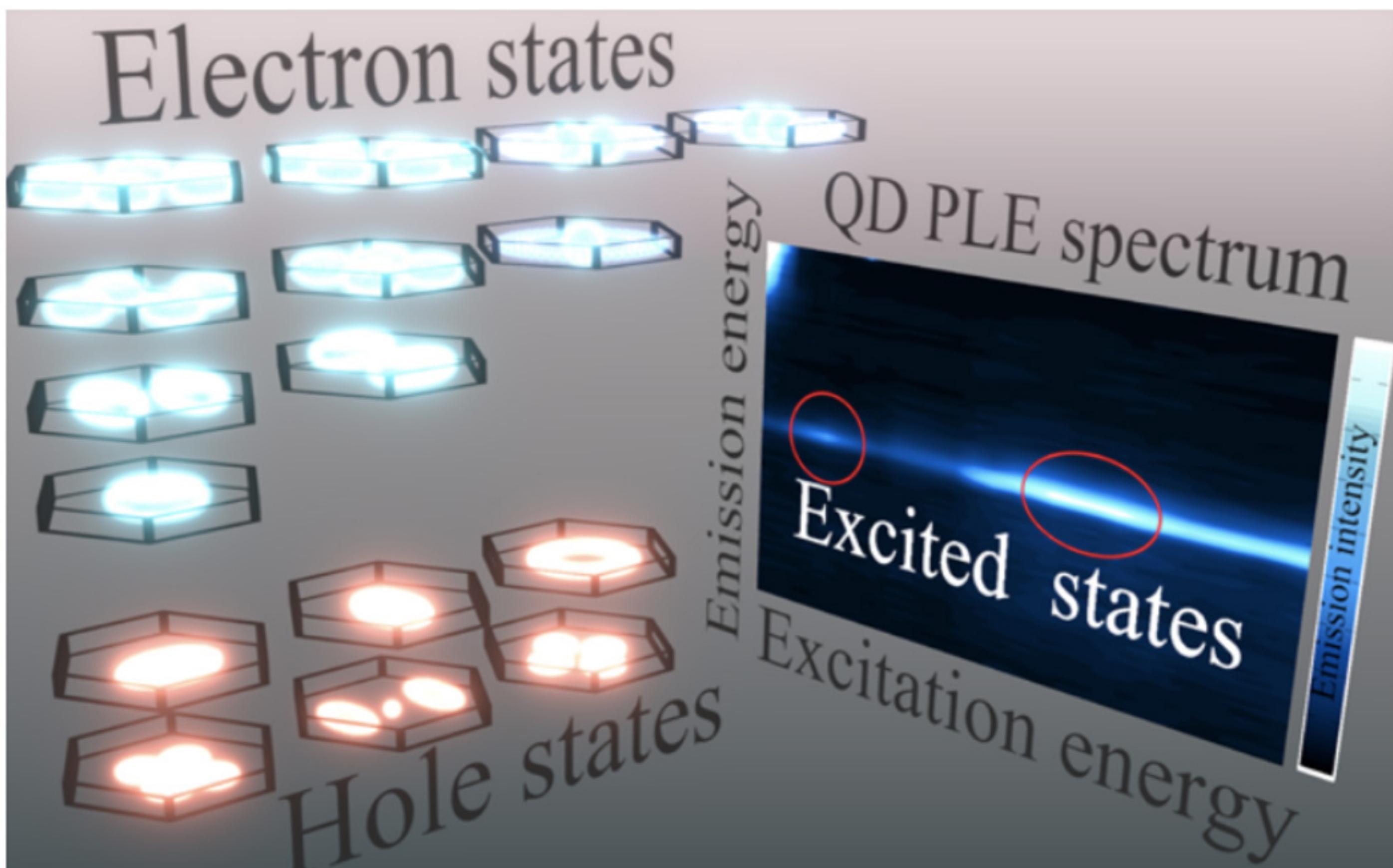


先端設備を用いた光学実験

新たな材料科学開拓をはかるため、さまざまなナノ構造に対し、ウルトラファースト・パルス・レーザを用いた光学実験(顕微発光分光法・時間分解分光法・励起発光分光法・フーリエ分光法など)により、その光学特性を包括的に探究することに加え、理論的研究(電子波動関数の計算等)もおこなっています。

International collaborative research

The Holmes lab is a newly set-up laboratory at the Institute of Industrial Science. In aiming at performing world leading research in the fields of nano-photonics and nano-optoelectronics, we are carrying out collaborative research both within the university (with the Arakawa and Iwamoto laboratory) and with several groups from around the world (including the U.K., Spain, Germany, and Australia). For more information please be sure to check the lab homepage.



学生へのメッセージ

ホームズ研は新しく出来た研究室ですが、世界をリードする研究を目指し、同じ生産技術研究所内に所属する荒川・岩本研究室との共同研究や、海外の研究グループ(イギリス・スペイン・オーストラリアなど)との国際的な共同研究に取り組んでいます。興味がある方は、是非研究室のホームページをご覧ください。



岩本研究室 (Prof. Satoshi Iwamoto)

Iwamoto Laboratory

URL: <http://iwamoto.iis.u-tokyo.ac.jp/>

先端科学技術研究センター
生産技術研究所 Ee-208
RCAST, IIS, Ee-208

フォトニックナノ構造による光子の制御とその応用、トポロジカル波動工学

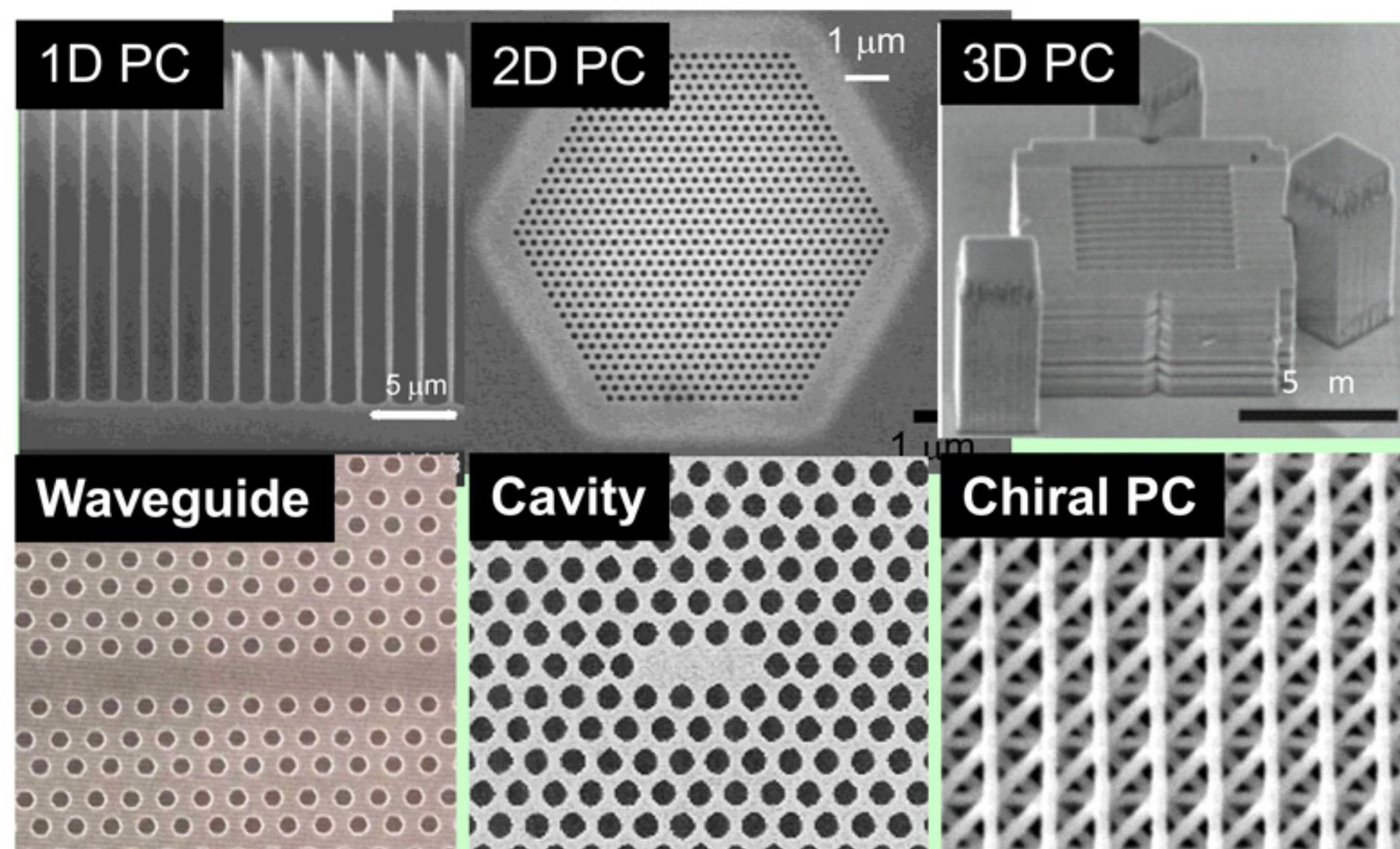
フォトニック結晶や波動のトポロジカルな性質を利用して新たな光デバイス技術、関連デバイス技術の開拓を目指す

岩本研究室では、フォトニック結晶などのフォトニックナノ構造の基礎とそれらを用いた光および光と物質の相互作用の制御の物理とその応用に関する研究、フォトニックナノ構造による光のスピン軌道角相互作用の物理と応用、光や弾性波のトポロジカルな性質の探求とその活用を目指したトポロジカル波動工学に関する研究を推進しています。研究活動においては、生産技術研究所ホームズ研究室、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構量子ドットラボとも連携しています。

高品質フォトニックナノ構造の実現とその応用

フォトニック結晶とは光の波長程度の屈折率周期構造をもつ人工光学材料であり、それを利用することで従来の材料では困難であった数々の光制御技術や特異な光学現象などの実現が可能となります。フォトニックナノ構造により人工的に輻射場を制御することで、物質の光学応答を制御することが可能になります。この効果を利用することで、光デバイスの高効率化や従来にない光学応答の実現とそれを利用した新規デバイスの実現や量子情報デバイスへの応用が期待できます。

我々は、蓄積された知見と高度な技術に立脚して、高品質なフォトニック構造の実現を目指した研究を進めています。また、これらの構造を用いて、人工的に制御された輻射場中での物質と光の相互作用の物理の探求や、高効率レーザや量子情報素子に関する研究を推進しています。

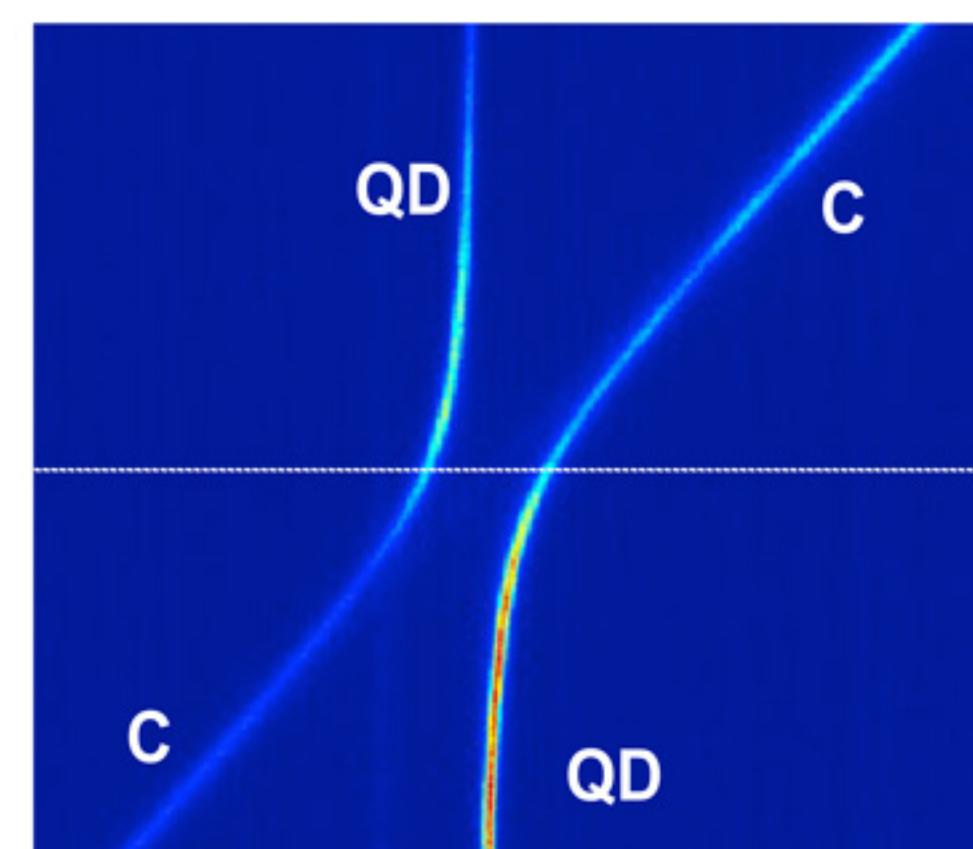


フォトニックナノ構造を用いた光と物質の相互作用制御

物質の光学応答は自身がおかれた輻射場環境に依存します。そのため、フォトニックナノ構造により人工的に輻射場を制御することで、物質の光学応答を制御することが可能となり、光デバイスの高効率化や従来にない光学応答の実現とそれを利用した新規デバイスの実現などが期待できます。我々は、量子ドットなどの発光体を含むフォトニック結晶やフォトニック結晶ナノ共振器などを用いて、その発光制御とそのデバイス応用、共振器量子電気力学などの物理の探求や量子光学素子への展開などに取り組んでいます。

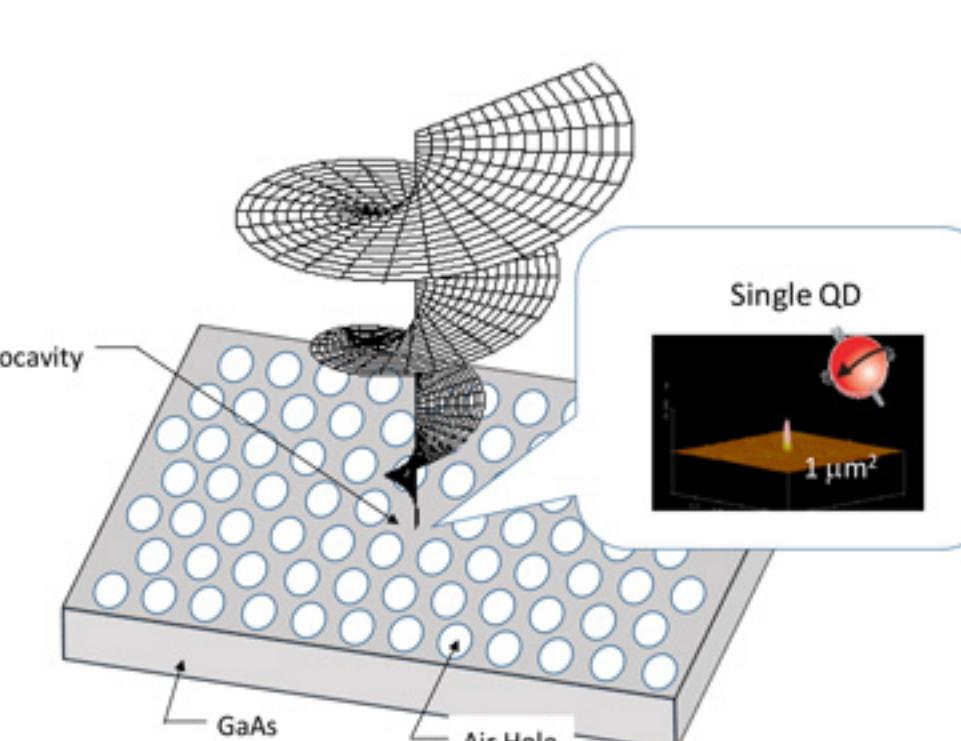
また、光の角運動量制御や光のスピン軌道作用の基礎と応用に関する研究も進めています。量子情報技術への展開を目指したフォトニック結晶ナノ共振器を用いた電子スピンと軌道角運動量を有する光のインターフェイスや、光回路への応用が期待される一方向発光素子、光スキルミオン発生器などのユニークなデバイスの実現をめざしています。

量子ドット共振器量子電磁力学の探求と応用



量子ドット励起子と共振器光子の強結合

フォトニックナノ構造における光のスピン軌道相互作用とその活用



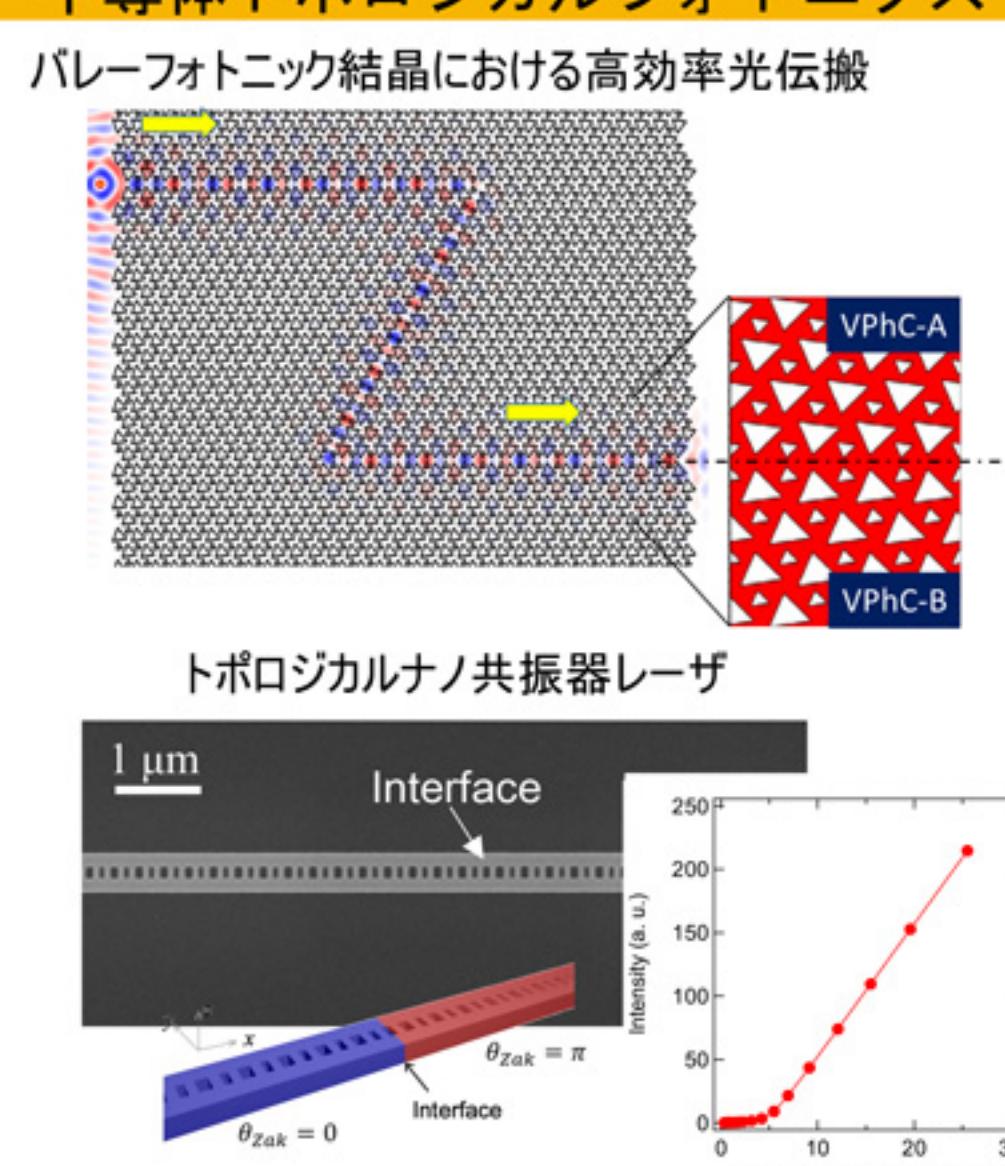
量子ドットスピンと光軌道角運動量の相互変換

トポロジカル波動工学

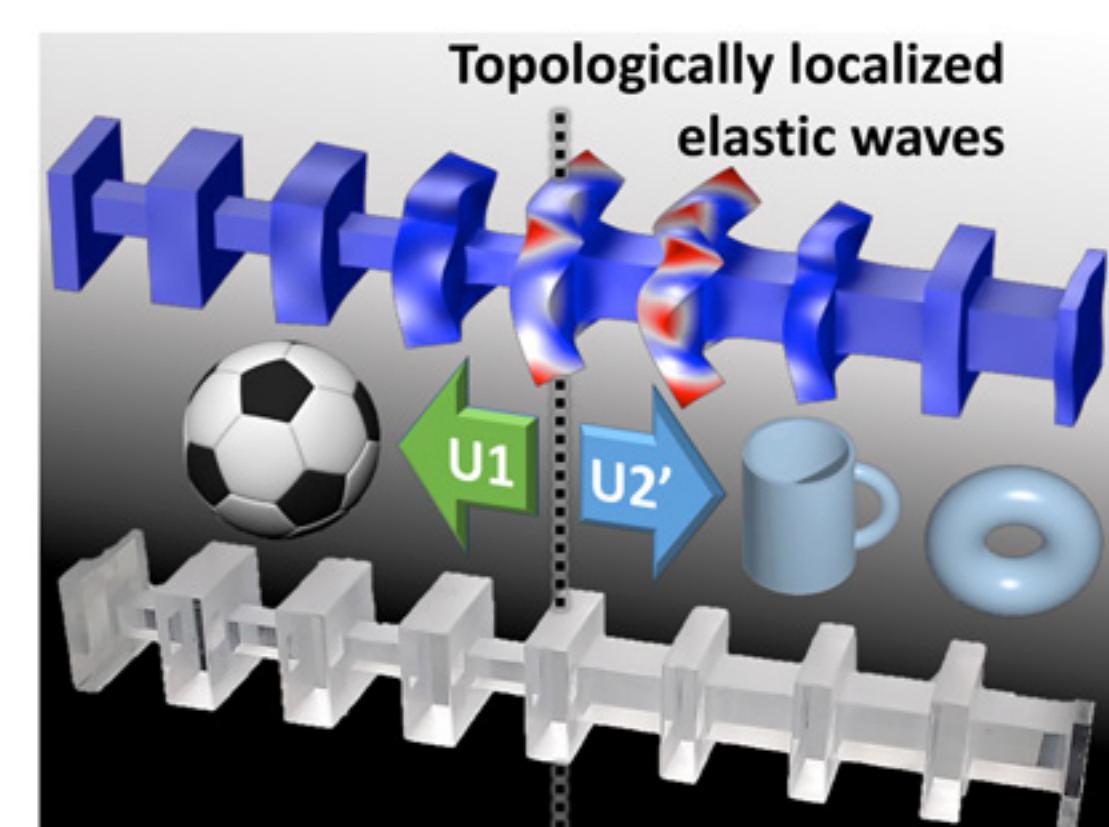
周期構造中の光や、周期構造中の音波や弾性波の伝搬は、結晶中の電子と同様にバンド構造に支配されます。物性科学では、このバンドのトポロジカルな性質（バンドトポロジー）が新たな物質相の発現などに重要な役割を担っています。このバンドトポロジーの概念をフォトニック結晶中の光や周期構造中の音波や弾性波に適用し、新たな機能を発現・応用しようとするのが、トポロジカルフォトニクス、トポロジカルフォノニクスと呼ばれる新しい分野です。

我々は、半導体フォトニック結晶技術を駆使し、半導体トポロジカルフォトニクスの開拓を目指した研究を理論・実験の両面から推進しています。また、よりサイズの大きなフォノニック結晶を用いて、トポロジカルな弾性波状態の制御とその応用にも取り組んでいます。

半導体トポロジカルフォトニクス



トポロジカルは弾性波状態の実現



連続体を用いたトポロジカル弾性波状態の実現

学生へのメッセージ

光と物質の相互作用は、我々の生活に不可欠な物理過程ですが、豊かな物理と様々な応用の可能性を秘めた魅力的な研究対象です。我々は、物理と技術に立脚して、その主役の一人である“光”を制御することで、この対象を取り組んでいます。議論を重ねながら新しい研究・分野を開拓しようという、野心と強い意欲に溢れた皆さんの参加を期待しています。見学などはいつでも歓迎です。気軽にコンタクトしてください。





小林(起)研究室(Prof. M. Kobayashi)

Synchrotron-Radiation Electronic Spectroscopy Laboratory

Center for Spintronics Research Network

URL:<http://www.csrn.t.u-tokyo.ac.jp/srs/>

学部

電気電子工学科

本郷

大学院

工学系・電気系工学専攻

工学部3号館1F106

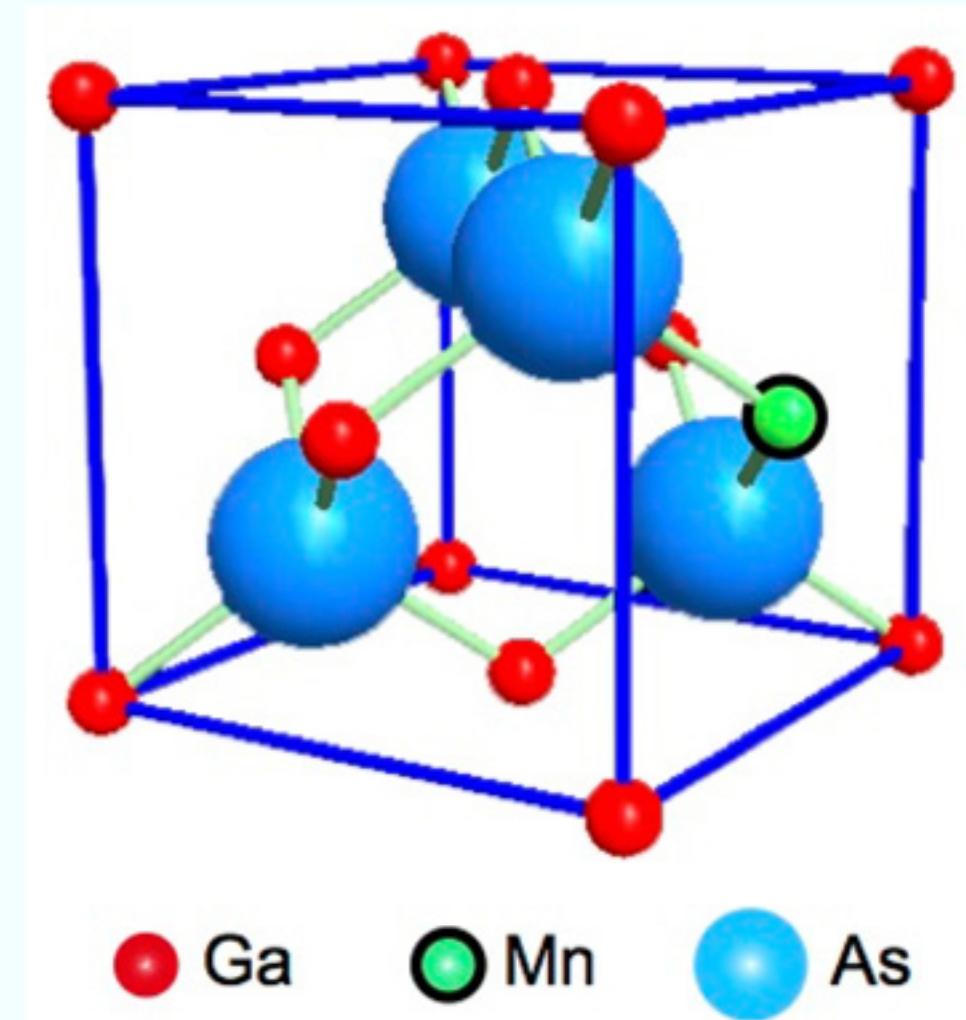
Bldg. Eng-3 1F Room 106

研究目的:物質中の電子を調べて物性を解明、新たな物質創成への道を拓く!

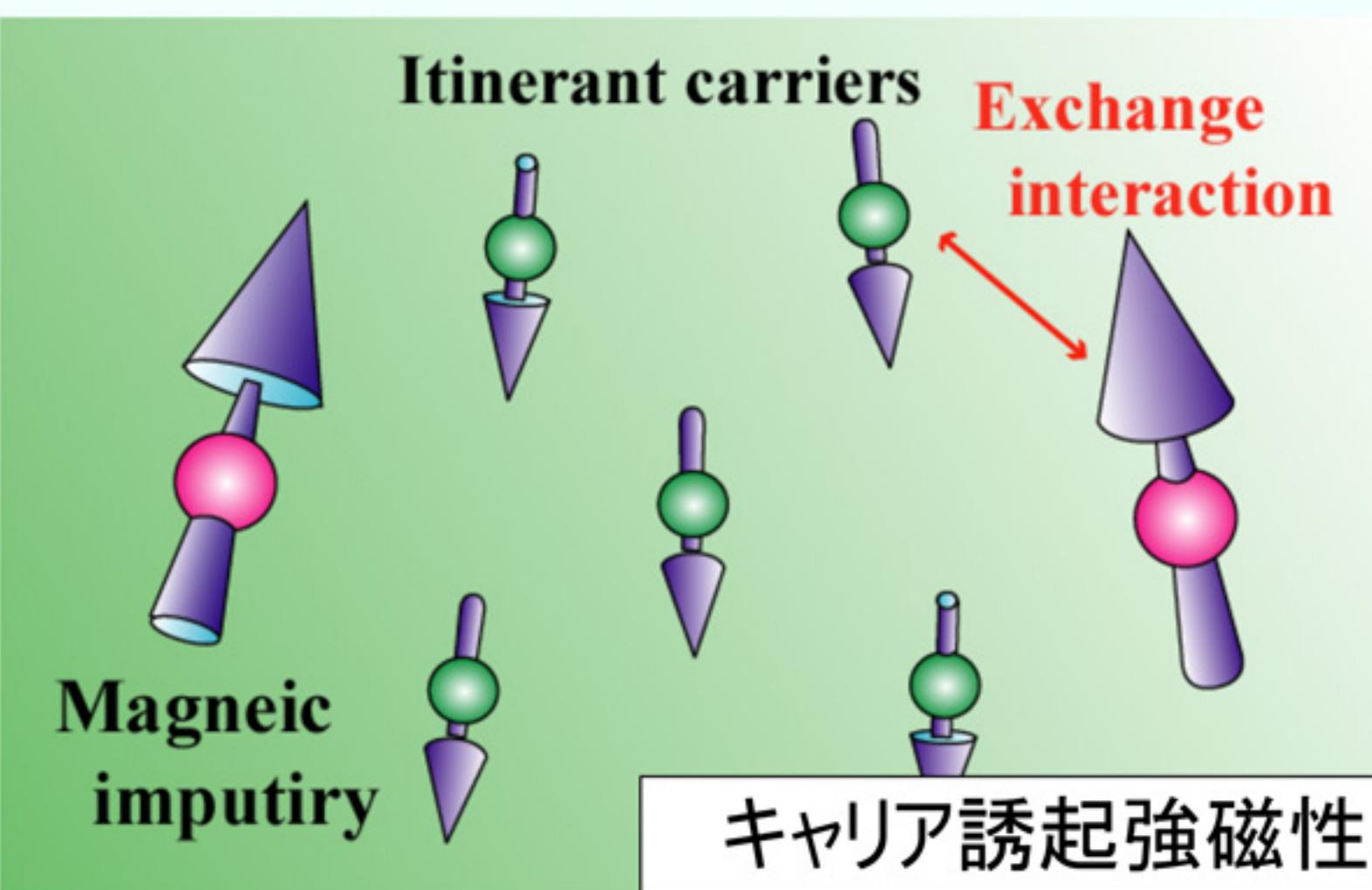
研究対象 – 次世代エレクトロニクスで注目を集める **機能性電子材料**

Spintronics (spin + electronics)

磁性半導体 Magnetic Semiconductors



半導体+磁性体
→ スピントロニクス

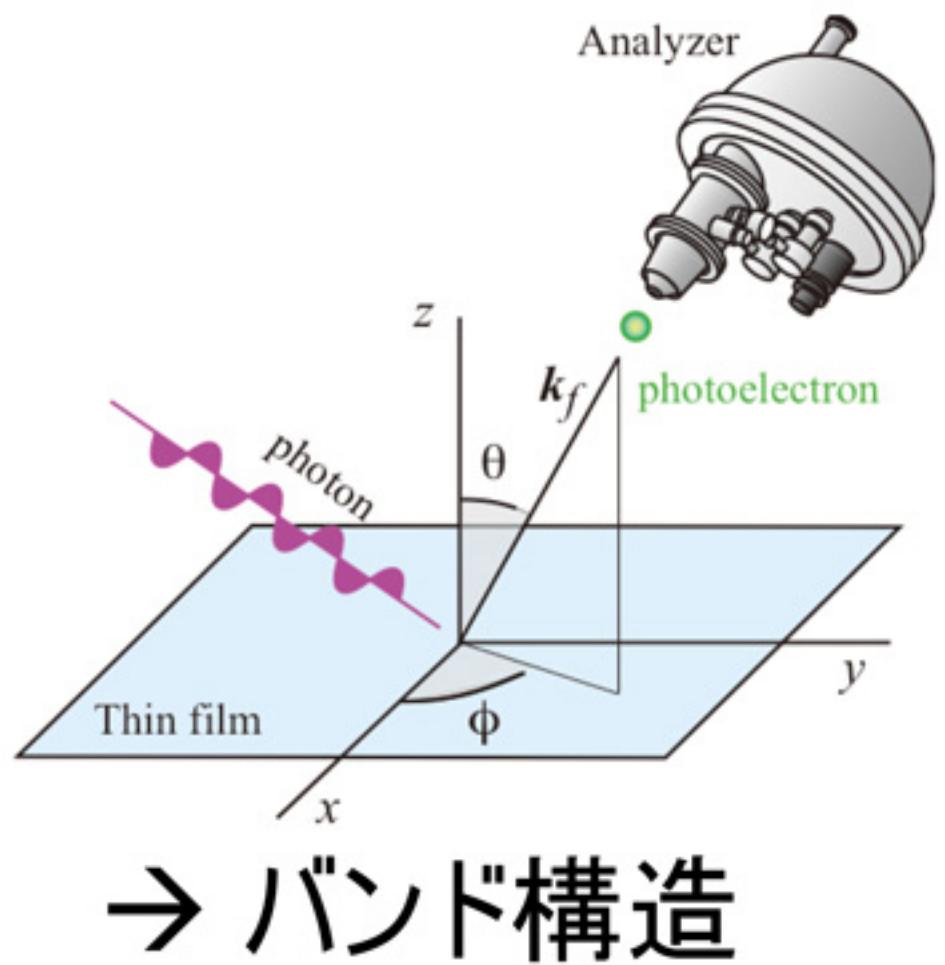


電子の電荷とスピントリニクス
用いた新しい機能性の発現

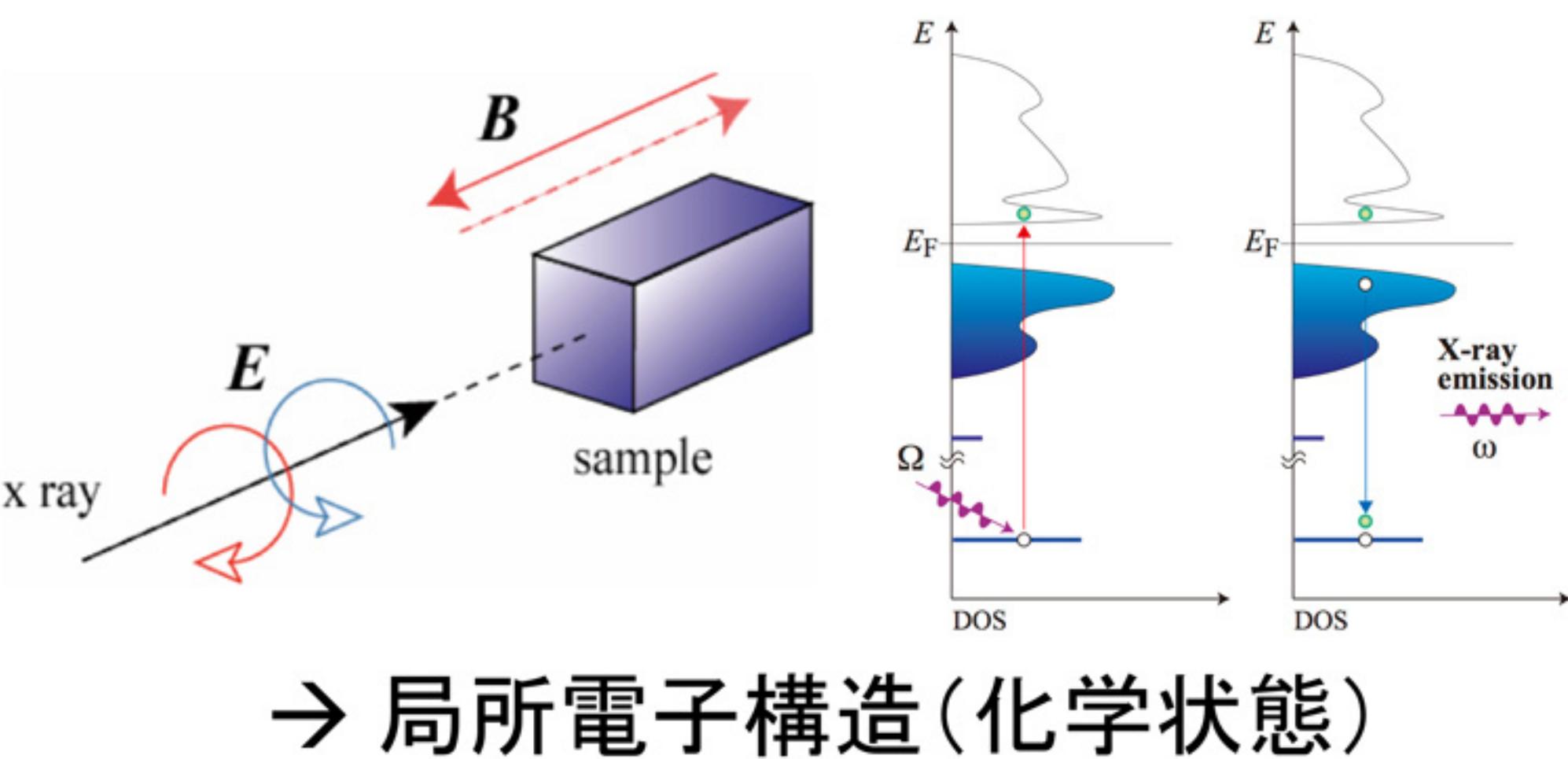
多彩な物性!しかし、機能発現条件が限られている… → 物質の高性能化、新たな物質創成の指標

物質中の電子を調べる → 放射光を用いた色々な分光法

角度分解光電子分光 X線磁気円二色性



→ バンド構造



X線発光分光

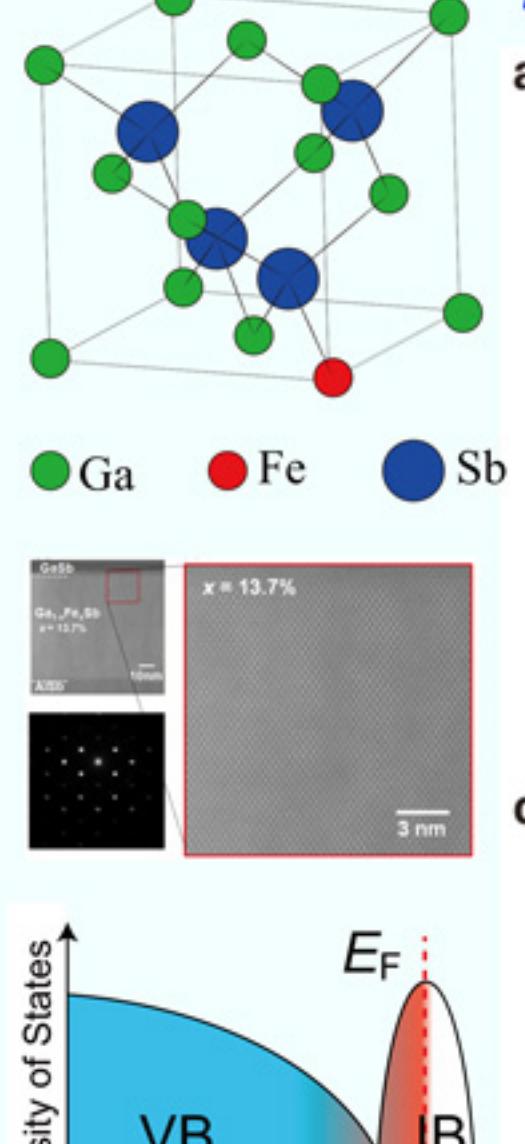
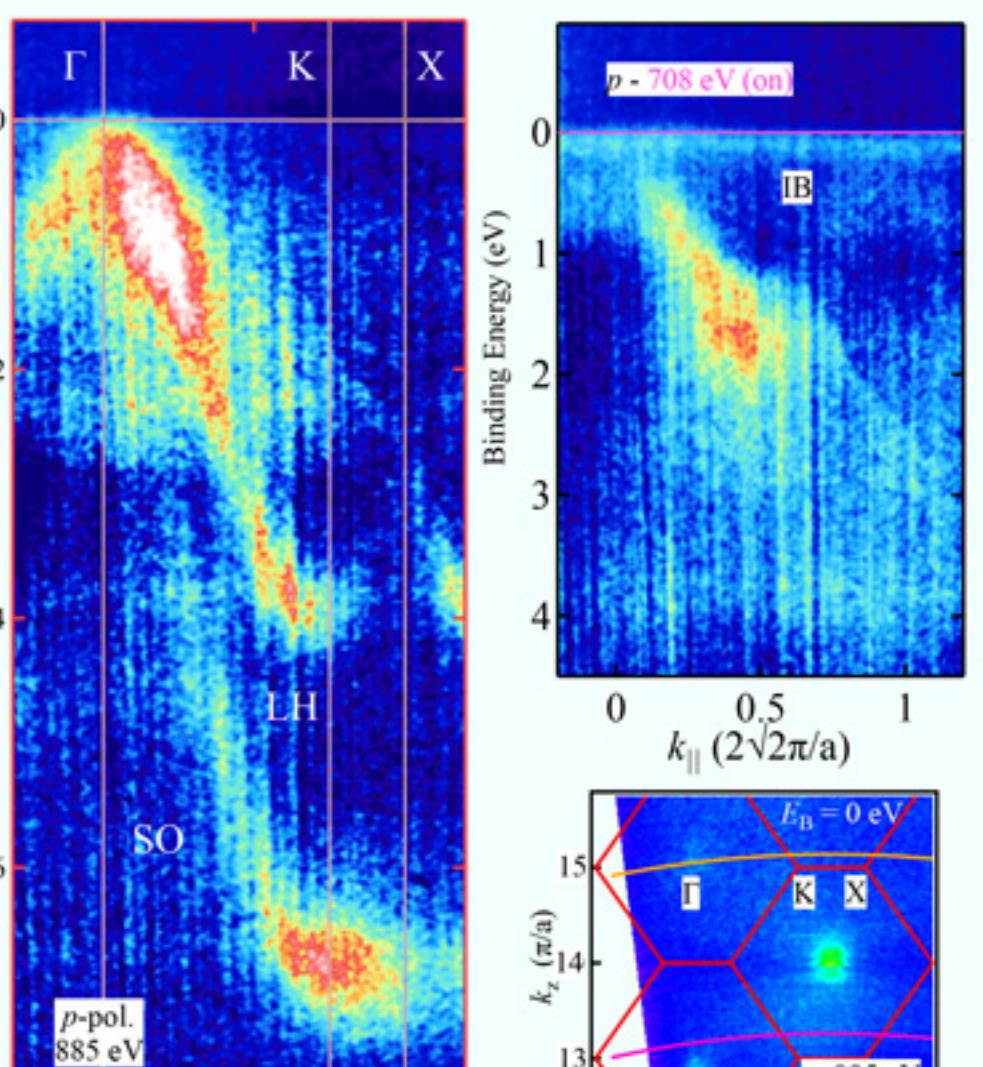


■ 新規FMSの強磁性発現機構

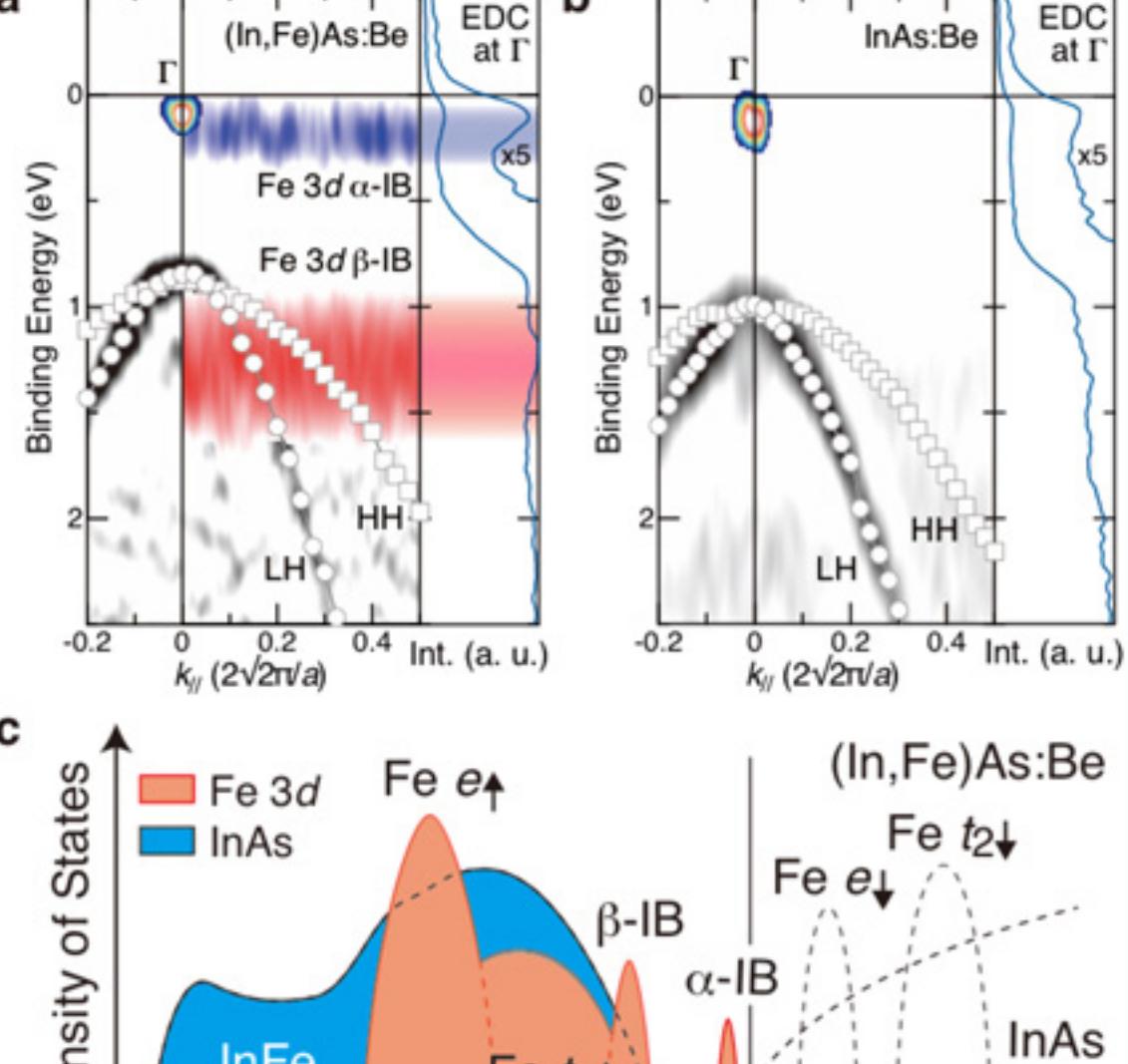
キャリア誘起強磁性の理解には、価電子帯の電子構造を理解することが重要!

提唱されている2つのモデル:
キャリアは遍歴的?局在的?

p型FMS (Ga,Fe)Sb



n型FMS (In,Fe)As

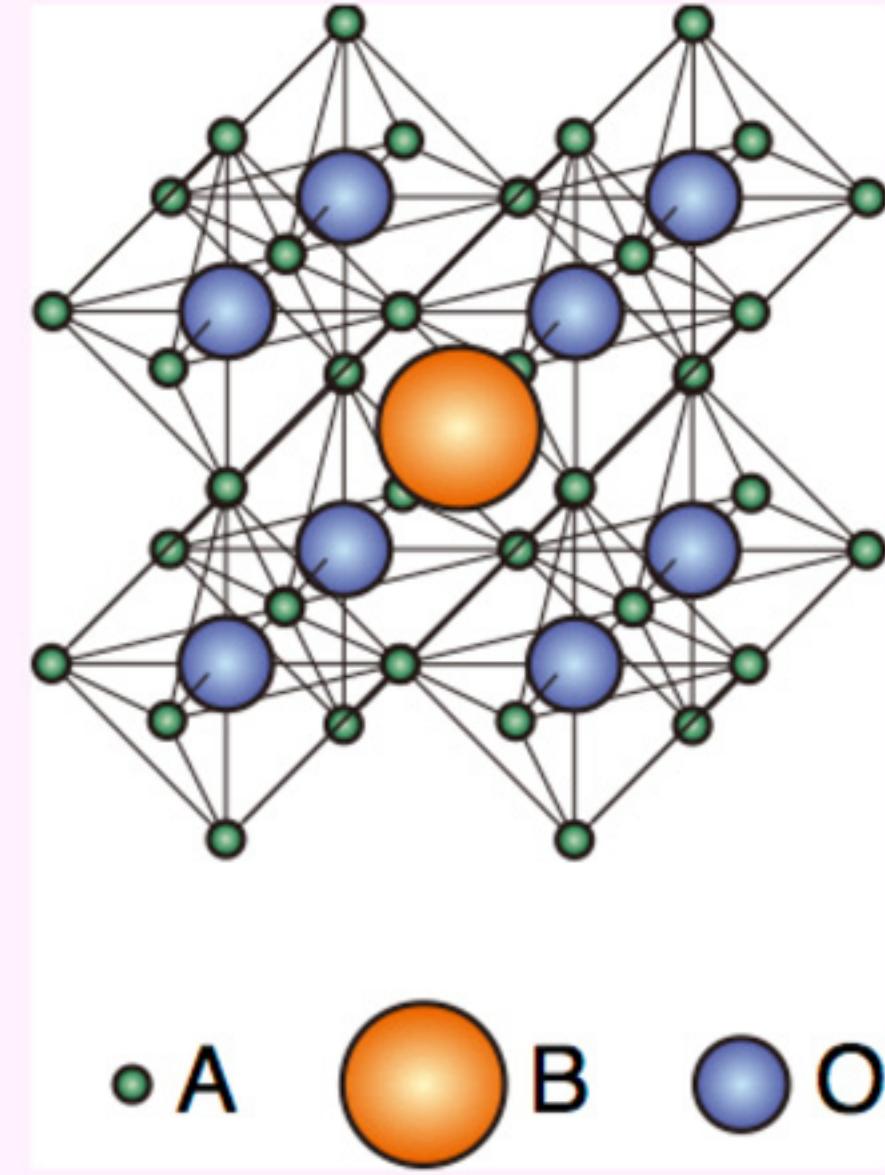


FMSのバンド構造から強磁性発現機構を解明!

電子構造解析による物性解明

Oxide electronics

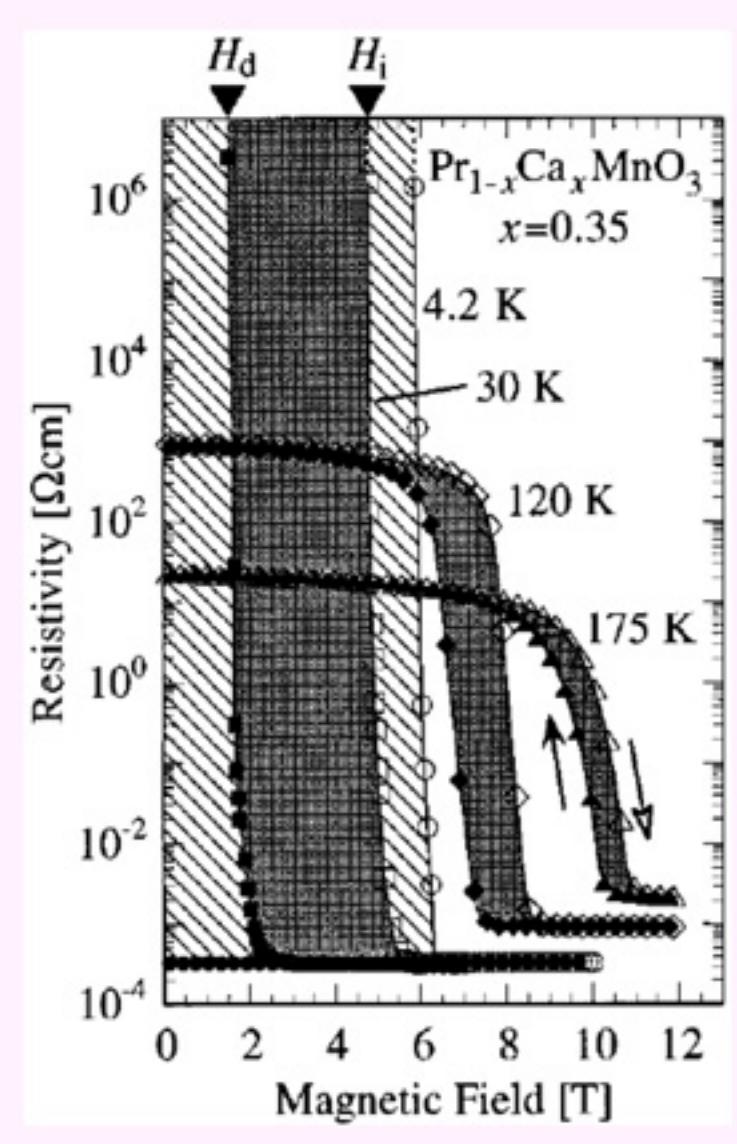
遷移金属酸化物 Transition-Metal Oxides



- 電子の持つ自由度
 - 電荷
 - スピン
 - 軌道
- + 電子間相互作用

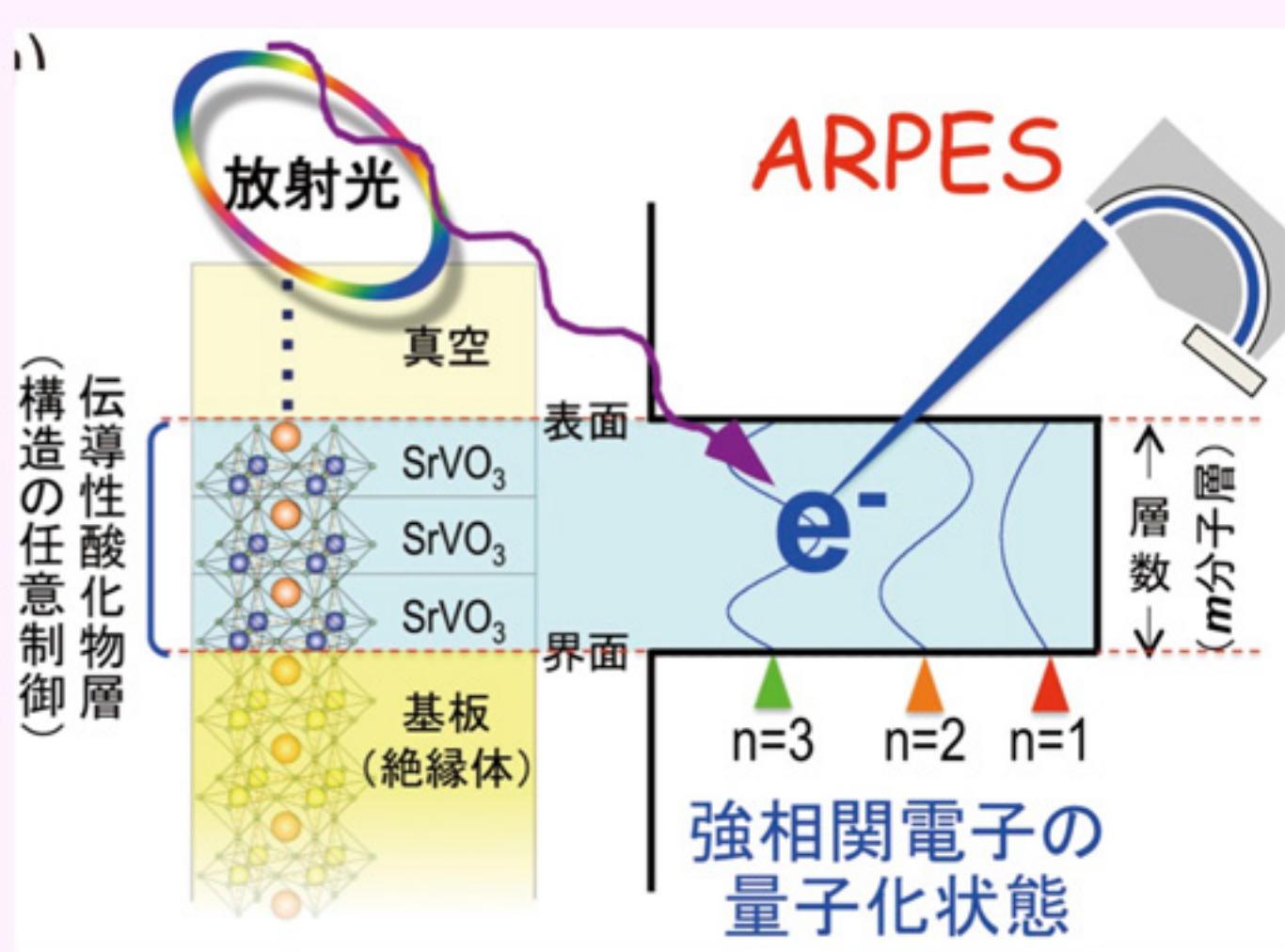
- 超伝導,
- 巨大磁気抵抗効果,
- 金属絶縁体転移,
- etc...

酸化物を用いた新奇量子デバイスの創成

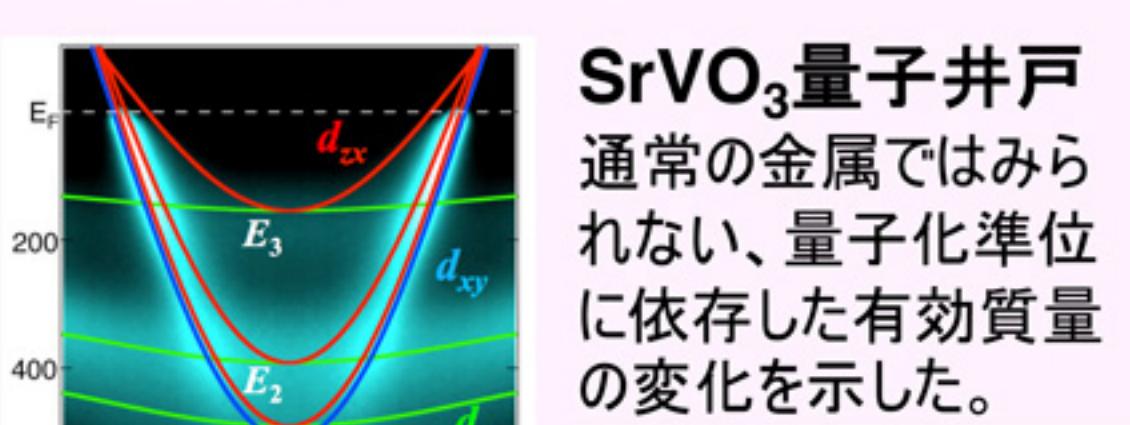


Y. Tomioka et al., PRB (96).

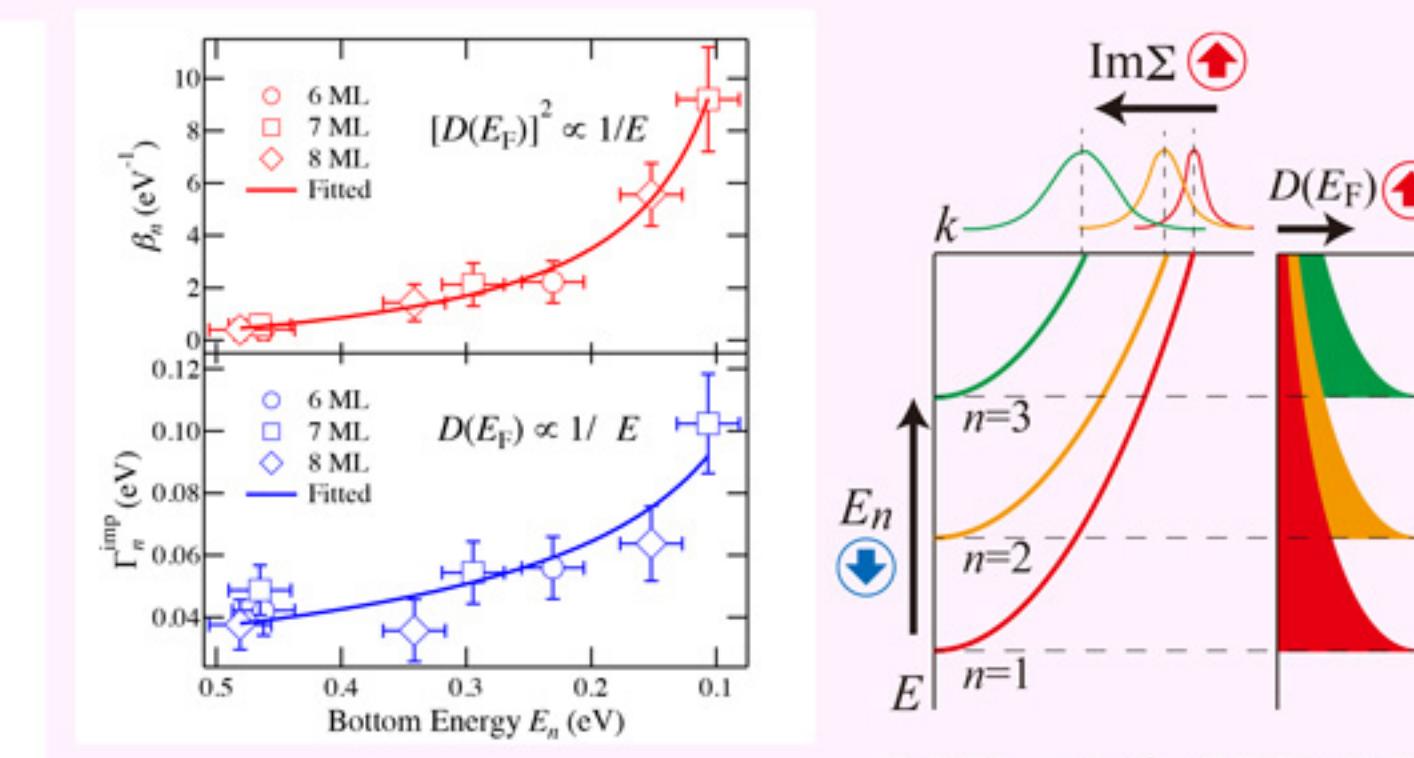
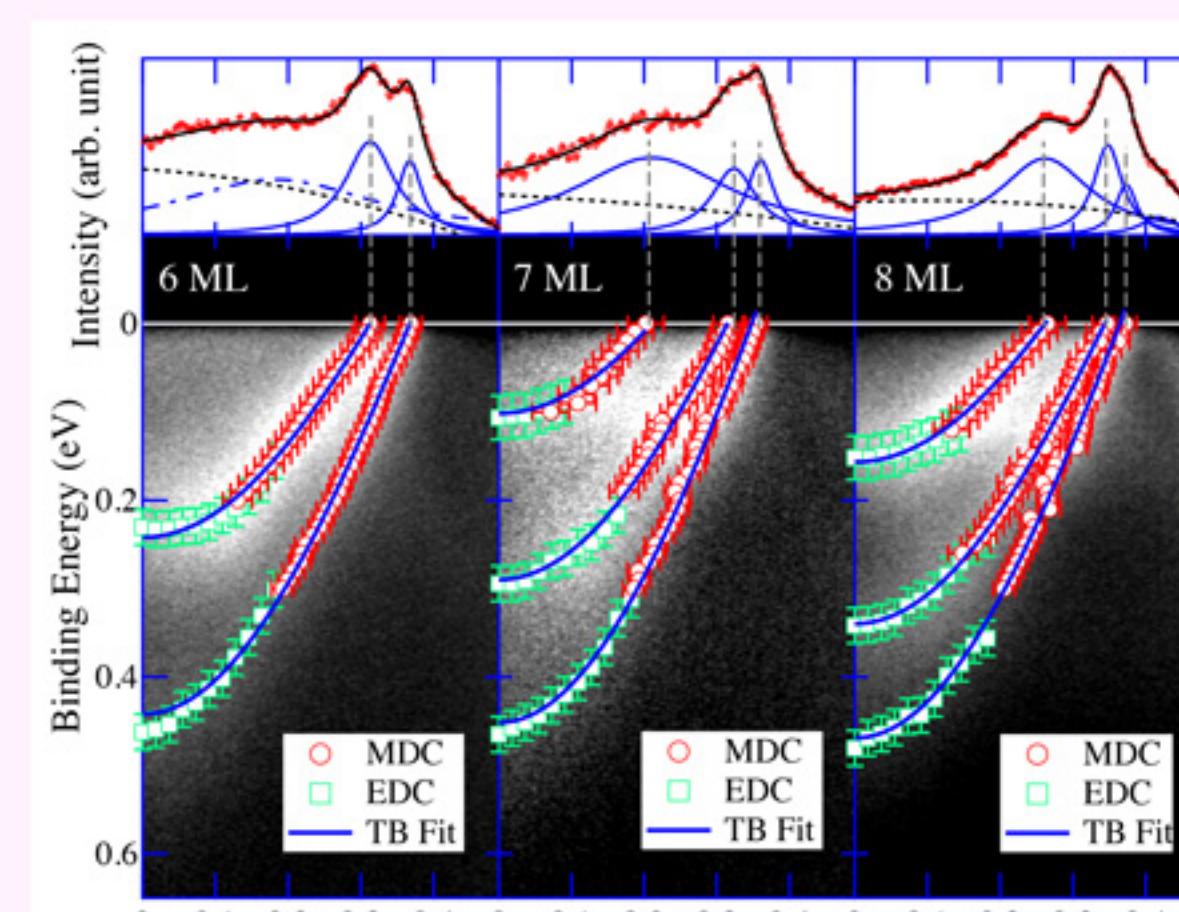
■ 新規FMSの電子構造解析



TMO SrVO₃ (d¹電子系)薄膜
→ 膜厚を数分子層にすることで量子閉じ込めが起こる。



K. Yoshimatsu et al., Science (11).



M.K. et al., PRL (15).
バンド構造解析から、電子間相互作用が量子数で変化することを明らかに!

物質における機能性発現の機構を理解することができれば、高性能化や応用に望まれる物性を示す物質創成への手がかりを得ることができます。小林(起)研究室では、機能性電子材料の物性解明や物質設計の指針を得ることを目的として、放射光分光を用いた電子状態解析による基礎的研究を進めています。



URL:<http://www.cryst.t.u-tokyo.ac.jp/>

工学部10号館4F430
Bldg. Eng-10 4F Room 430

多機能な新規半導体電子デバイスの開発

Implementation of functional semiconductor-based electronic devices

半導体集積電子デバイスに新たな自由度を積極的に取り入れることにより、多機能な新規半導体電子デバイスを開発する研究をおこなっています。CMOS集積回路との融合を目指し、電子スピン自由度を利用したシリコンベーススピンドバイスを中心に進めています。

本研究室は、工学系研究科社会連携講座に所属してIBM社との共同研究「次世代革新的集積回路の開発」を進めると同時に、電気系工学専攻ではその要素デバイスの研究開発を田中雅明教授との密接な連携のもと進めています。

研究のキーワード

新規電子材料、電子物性、結晶構造、異種材料多層構造、電子デバイス物理、電子スピン物理、デバイス作製技術

デバイスに利用する新規自由度の例

電子スピン、量子効果、クーロンブロッケード、相変化現象、強誘電現象、メモリスタ

実現を目指す新規半導体電子デバイスの例

不揮発メモリ機能を持つ多出力特性デバイス、多入力デバイス、量子効果デバイス、ニューロデバイス

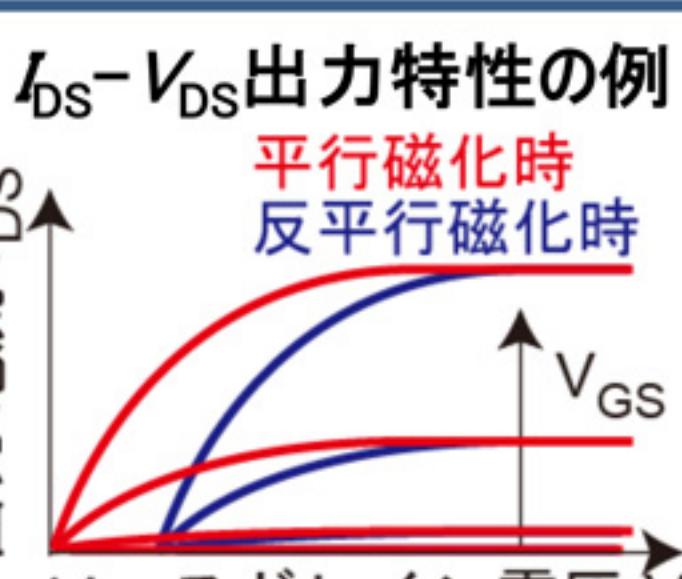
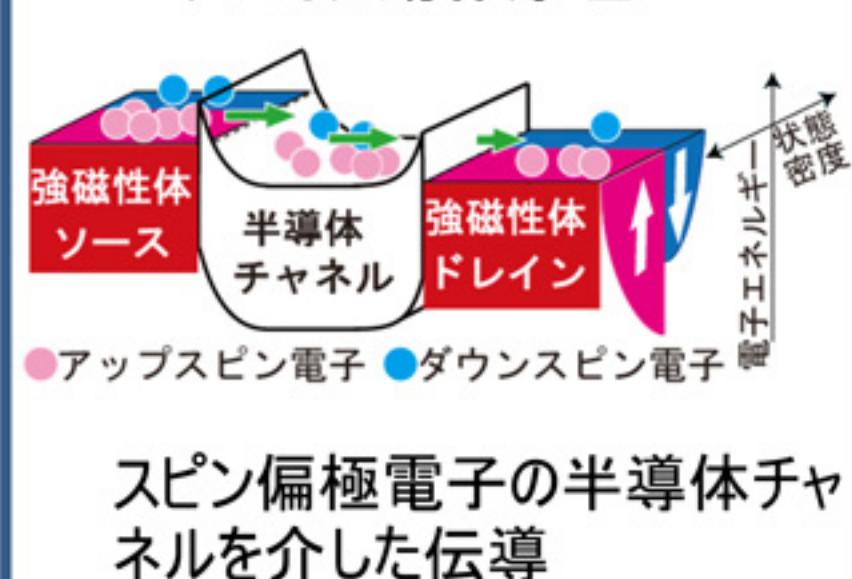
達成される機能、システム、などの例

CMOS集積回路の低消費電力化、再構成可能な論理回路、高密度不揮発メモリ、ニューロシステム

スピントランジスタ Spin transistors

スピントランジスタ

デバイス動作原理

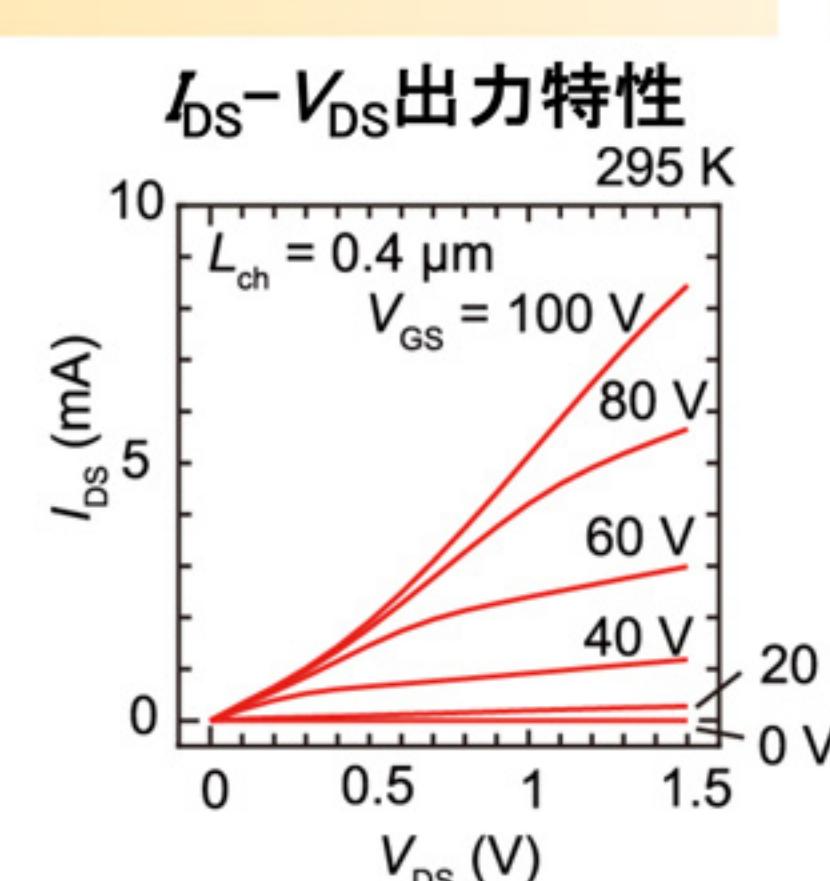
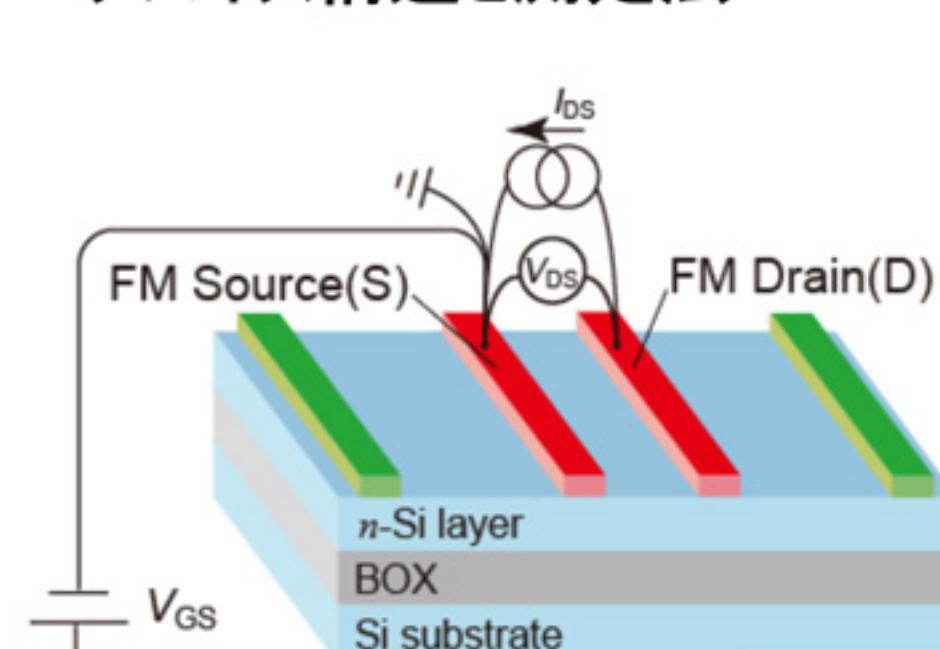


不揮発SRAM、再構成可能な論理回路、1トランジスタ1メモリの高密度磁性ランダムアクセスメモリ、などの実現

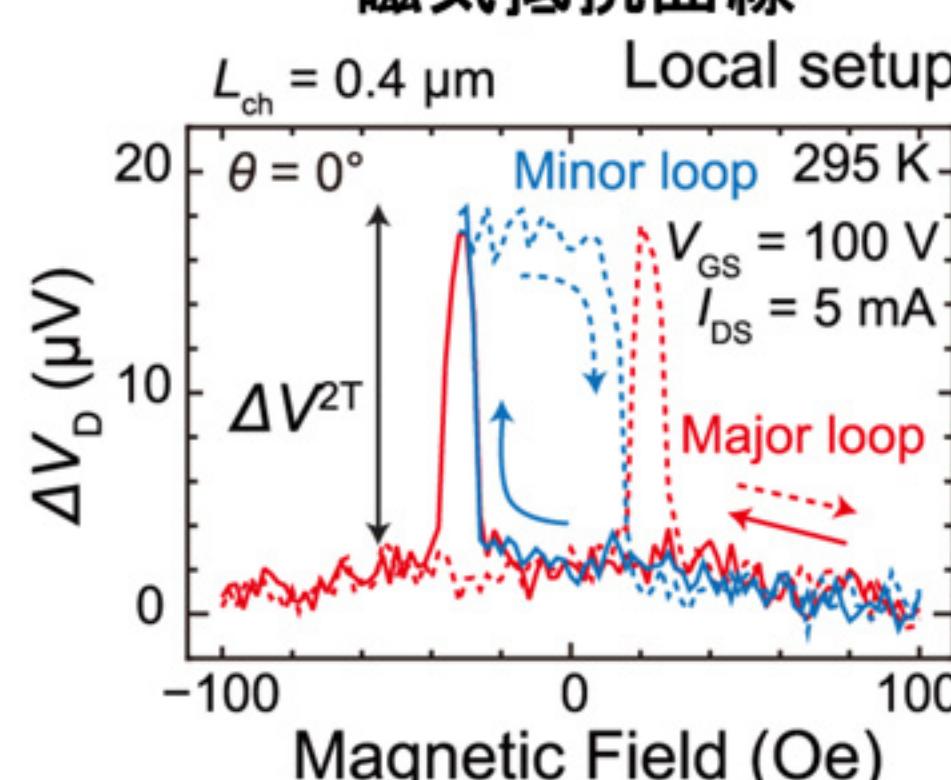
- ・集積回路待機時の低消費電力化
- ・少数のトランジスタで多数の論理回路

Fe/Mg/MgO/Si トンネル接合を用いたスピントランジスタ Spin MOSFETs with Fe/Mg/MgO/Si ferromagnetic tunnel junctions

デバイス構造と測定法



磁気抵抗曲線



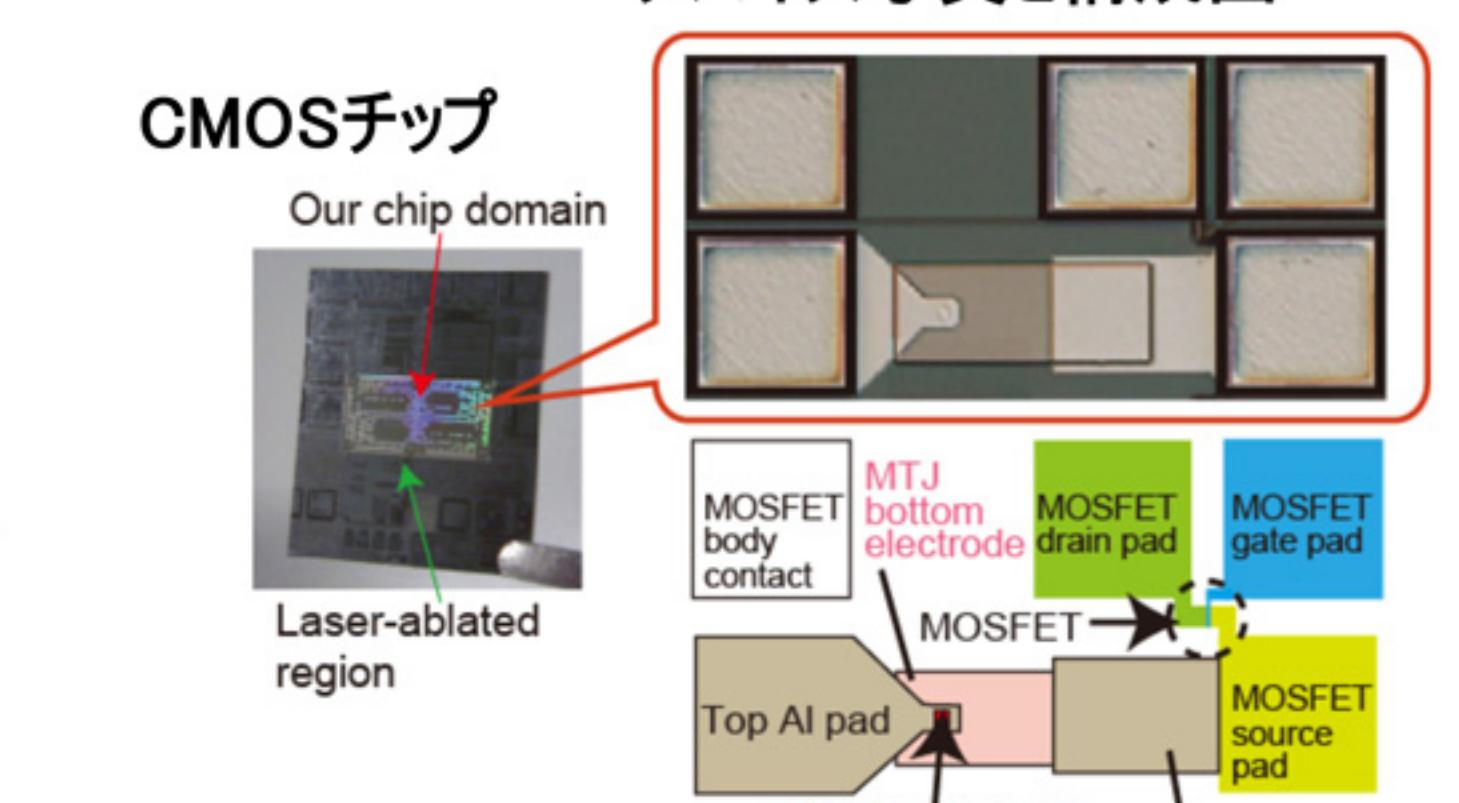
室温において二次元電子チャネルを介したスピントランジスタ特性を観測

CMOS集積回路上に作製した疑似スピントランジスタ

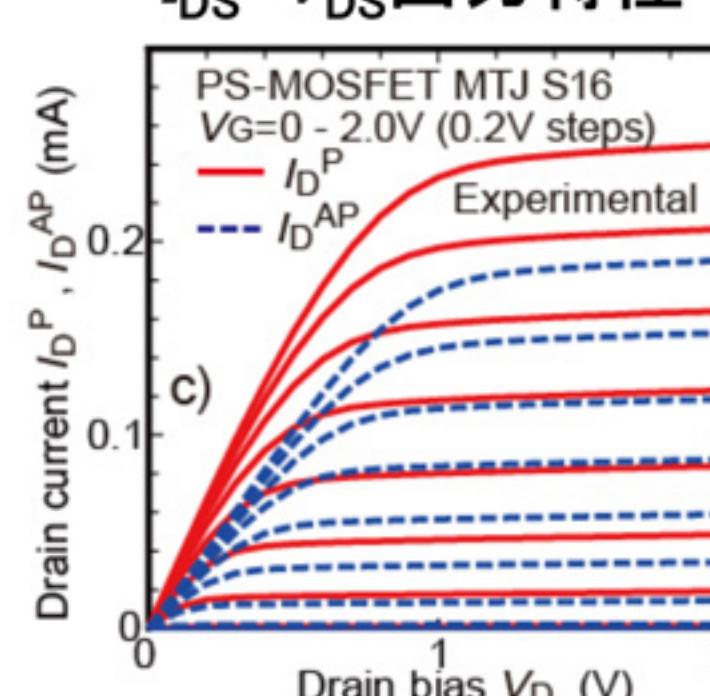
(東工大、物質材料研究機構との共同研究)

Pseudo-spin MOSFETs fabricated on a CMOS chip

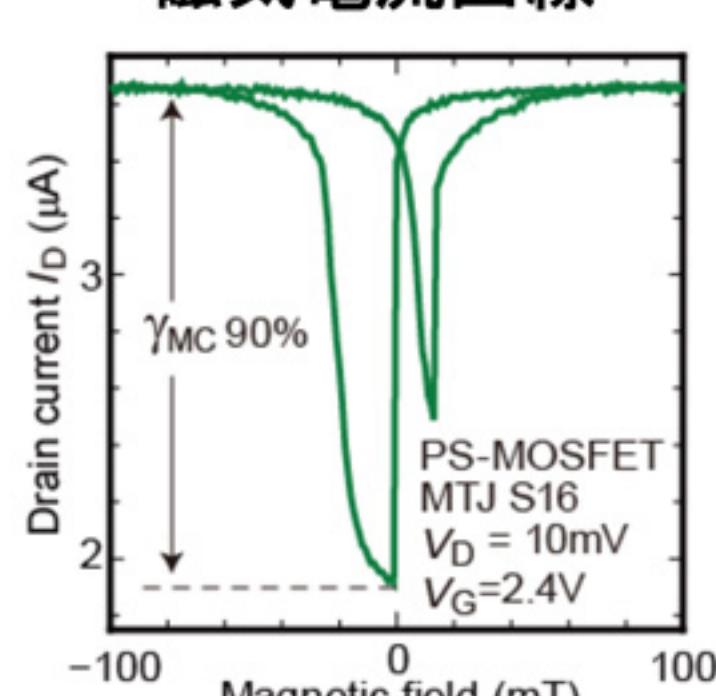
デバイス写真と構成図



I_DS-V_DS出力特性



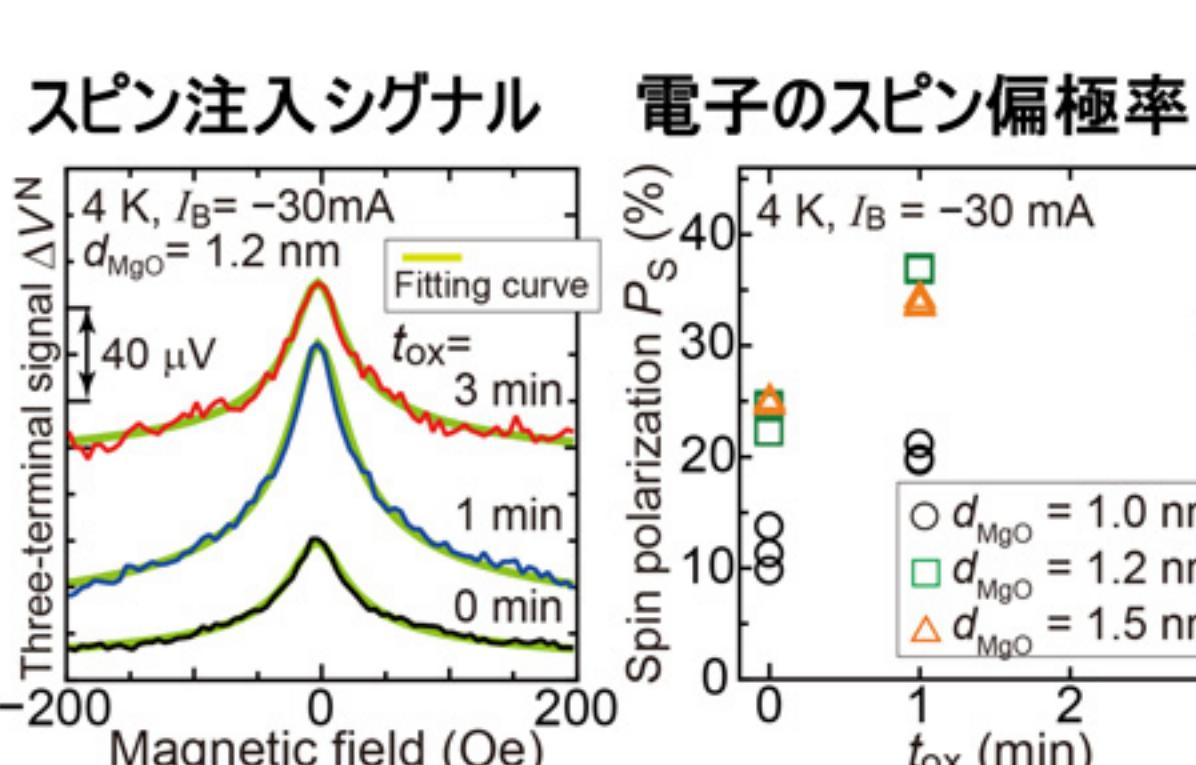
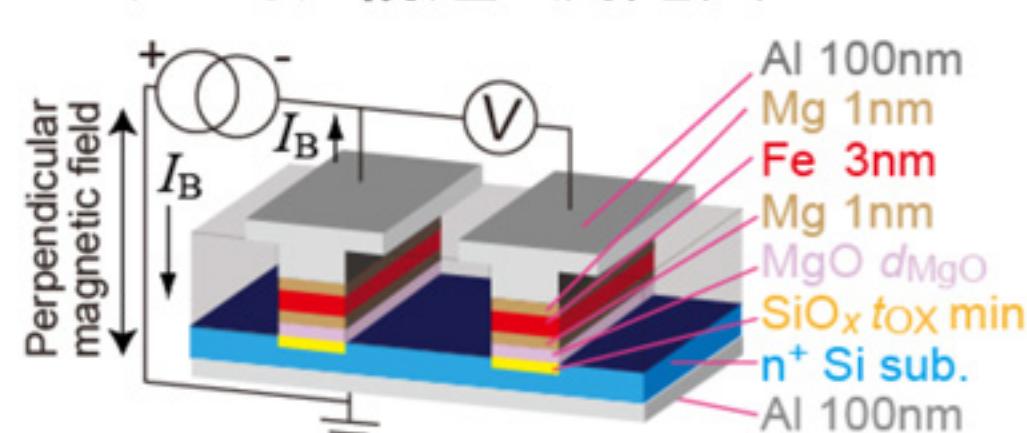
磁気電流曲線



室温において明瞭なスピントランジスタ特性を実現

高効率なSiへのスピノ注入 Efficient spin injection into Si

デバイス構造と測定法

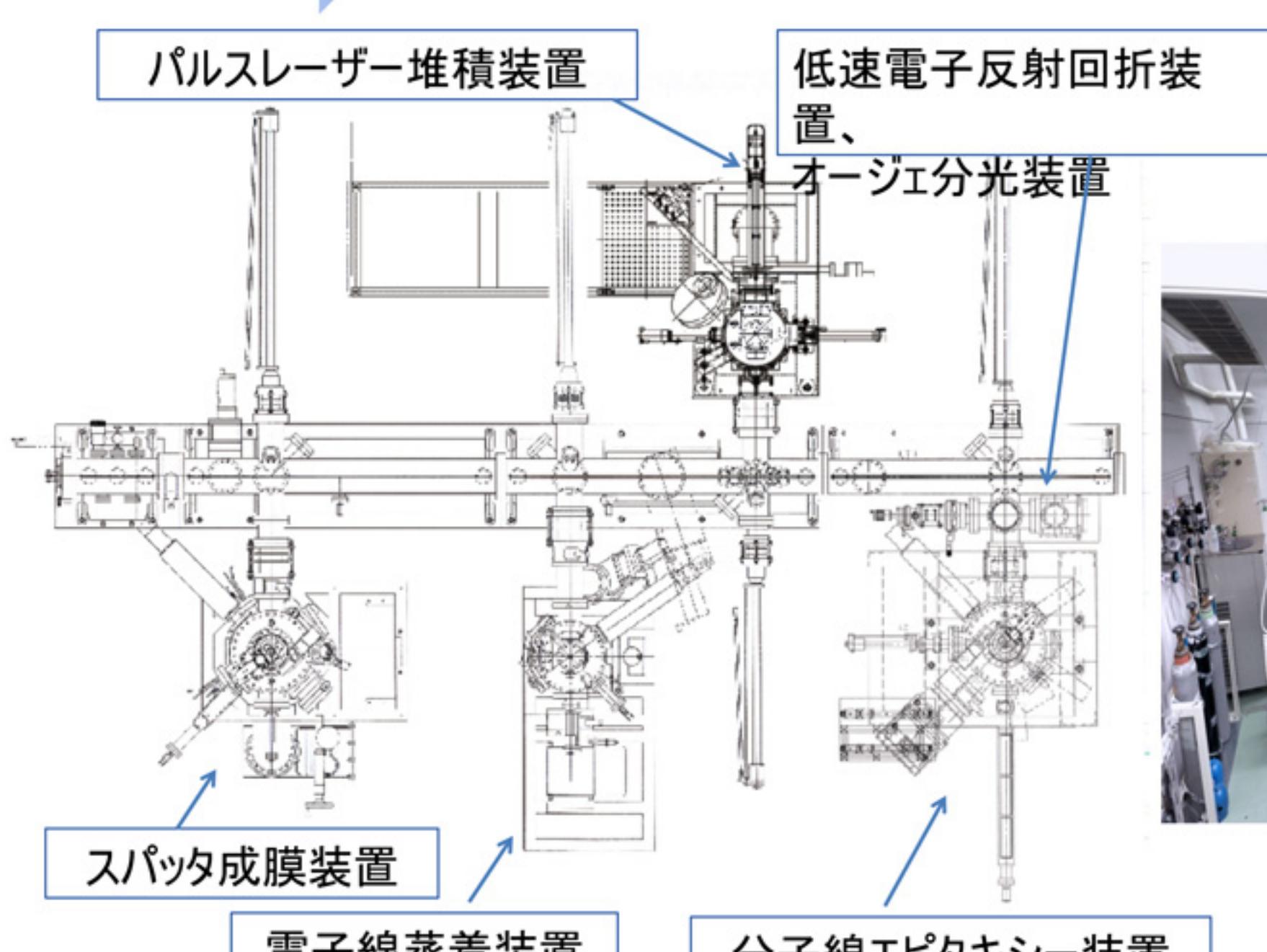


スピノ注入源のFeと同じスピノ偏極率を持つ電子をSi中に生成(注入効率93%:世界最高値)

超高真空薄膜結晶成長システム Ultra-high vacuum thin film growth system

金属、半導体、酸化物、など多数の材料からなる薄膜多層構造の真空一貫での結晶成長と材料特性の分析（現在、材料は15種類）

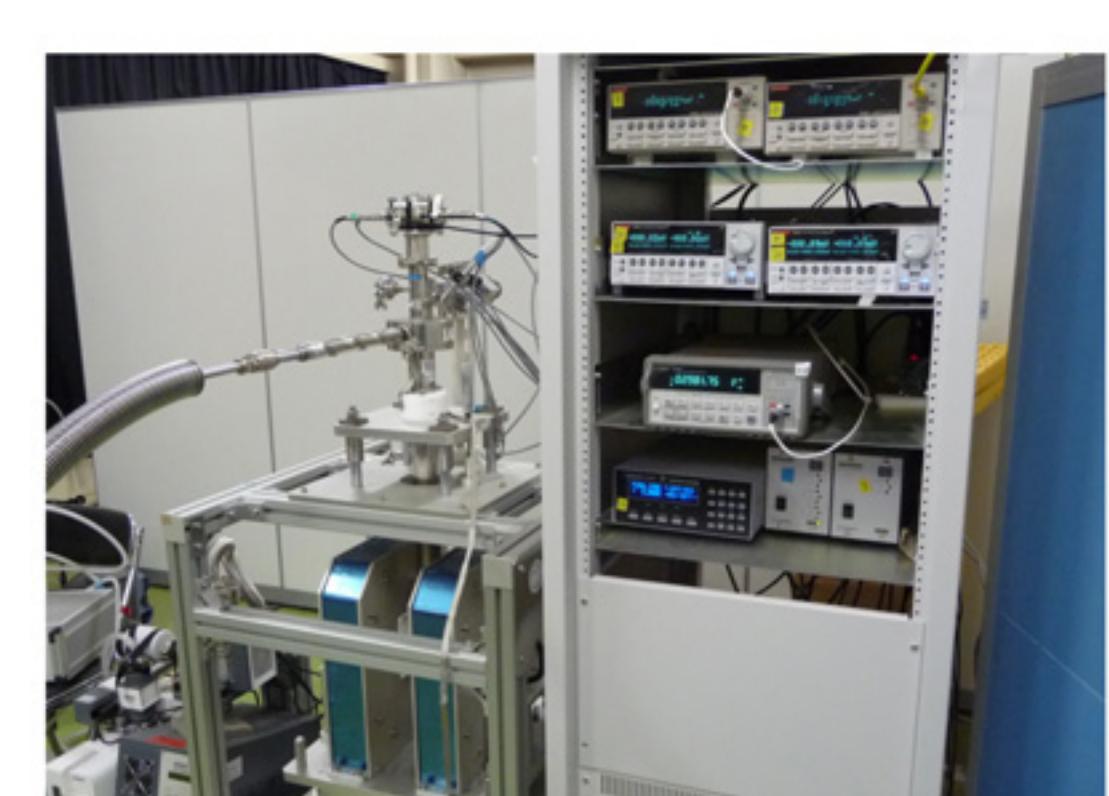
複数の機能性を持つ電子デバイスへの応用



結晶成長システム外観

Heクライオスタット 低温デバイス測定装置 He cryostat device measurement system

- ・Heフロークライオスタットにより、低ノイズな測定が可能
- ・電磁石付属により、磁気抵抗の測定が可能



測定装置外観

新規電子材料・デバイス開発

結晶成長技術を駆使して半導体基板上に薄膜電子材料・異種材料薄膜多層構造の作製・評価を行うこと、それらを利用した新規半導体電子デバイスについて研究を行っています。CMOS集積回路との融合を目指し、電子スピン自由度を利用したシリコンベーススピンドバイスを中心に進めています。

中野研究室 (Prof. Yoshiaki Nakano) Integrated Photonics Laboratory

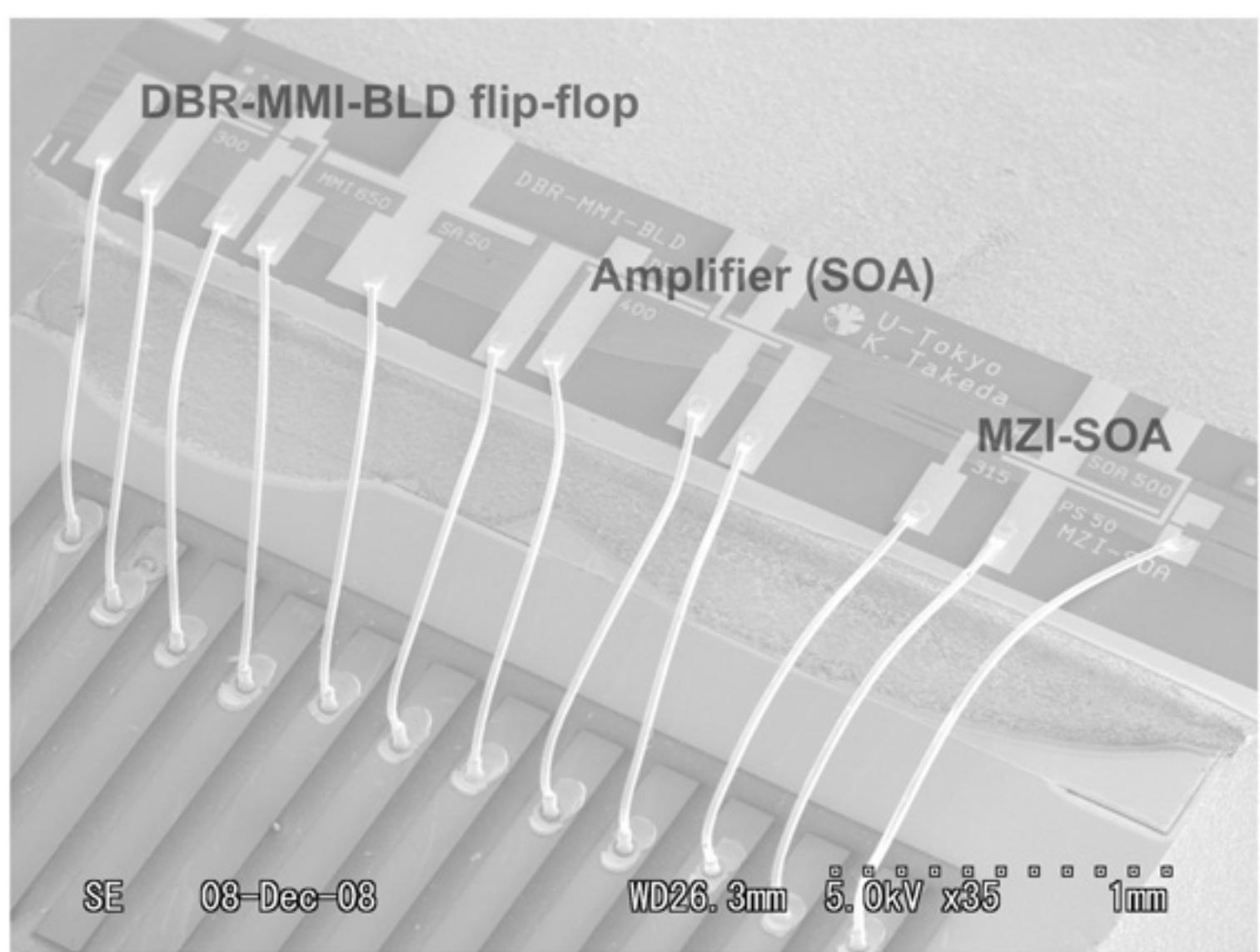
URL:<http://www.ee.t.u-tokyo.ac.jp/~nakano/lab/>

工学部3号館1F125
Bldg. Eng-3 1F Room 125

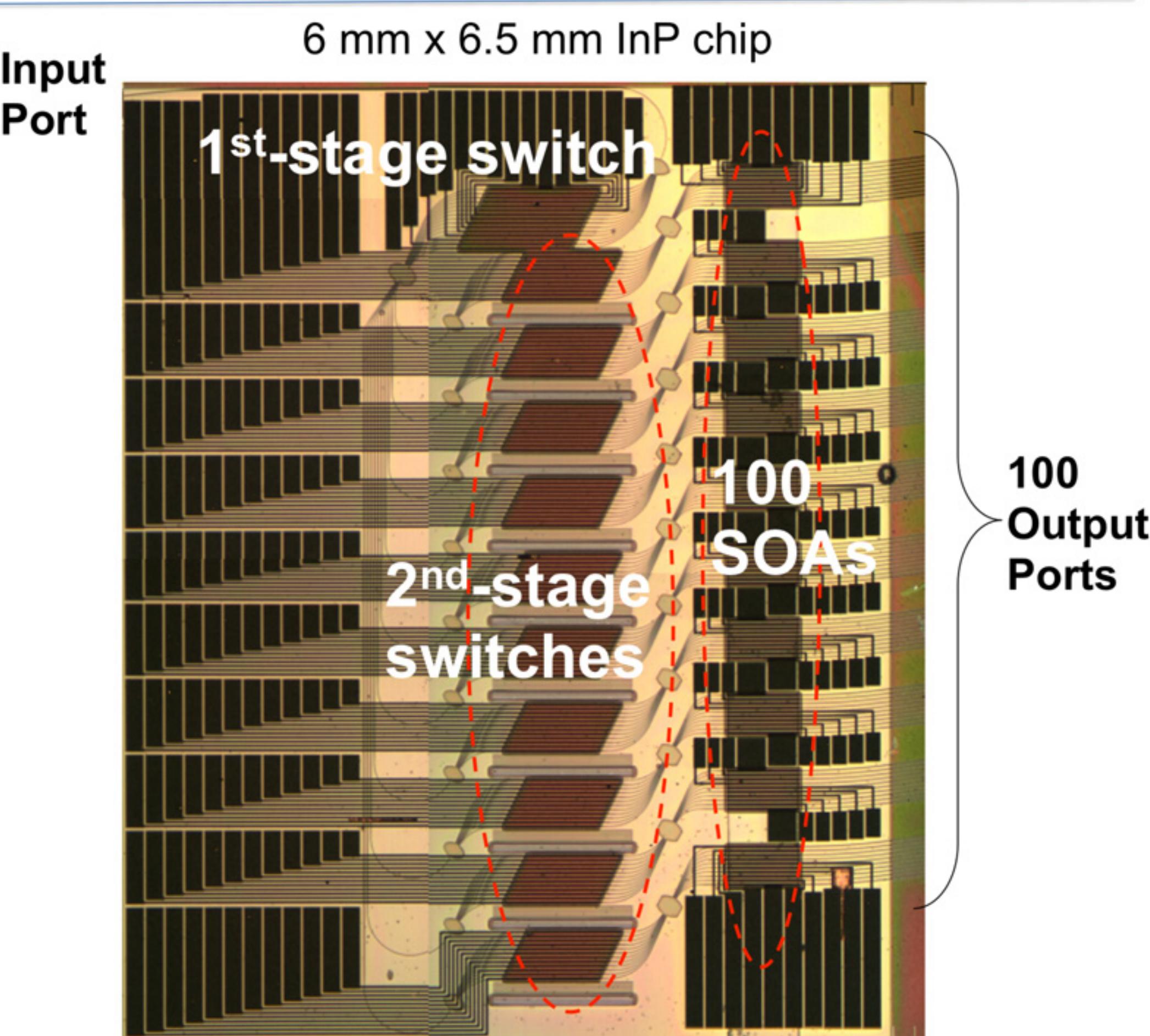
21世紀の光情報通信ネットワーク、光情報処理・記録に向けて、化合物半導体をベースにした新しい高性能な半導体レーザや半導体光制御デバイス(光スイッチ、波長変換器、光アンプなど)と、これらのデバイスを集積化して構成される高機能な半導体集積光デバイス・光集積回路を研究しています。またエネルギー問題の解決に向けて、化合物半導体に基づく新しい高効率な太陽電池の研究開発も行っています。2010年にスタートした総長直轄「太陽光を機軸とした持続可能グローバルエネルギーシステム」総括寄付講座の中核研究室です。これらデバイスを作製するための、InP、GaAs基板上の InGaAsP、InGaAlAs混晶などによる量子マイクロヘテロ構造と、GaN、AIN、InN等のIII族窒化物量子マイクロヘテロ構造の結晶成長や加工技術も、研究対象です。

■大規模光集積回路 (pLSI) Large scale photonic integrated circuits

光集積回路の集積度は、超大容量光通信の進展とともに飛躍的に高まっています。本研究室では、次世代光通信や光インターネット応用はもとより、生体イメージング等の新たな応用に向けて、世界最大規模の光集積回路(pLSI)の研究開発を行っています。



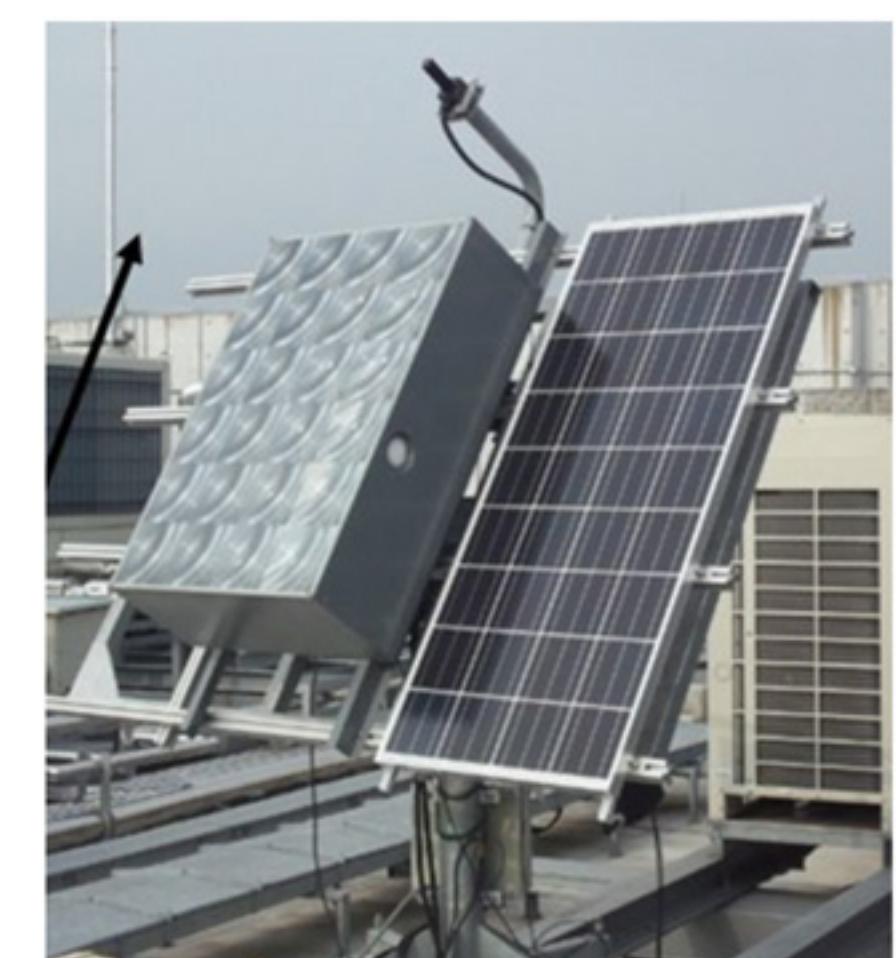
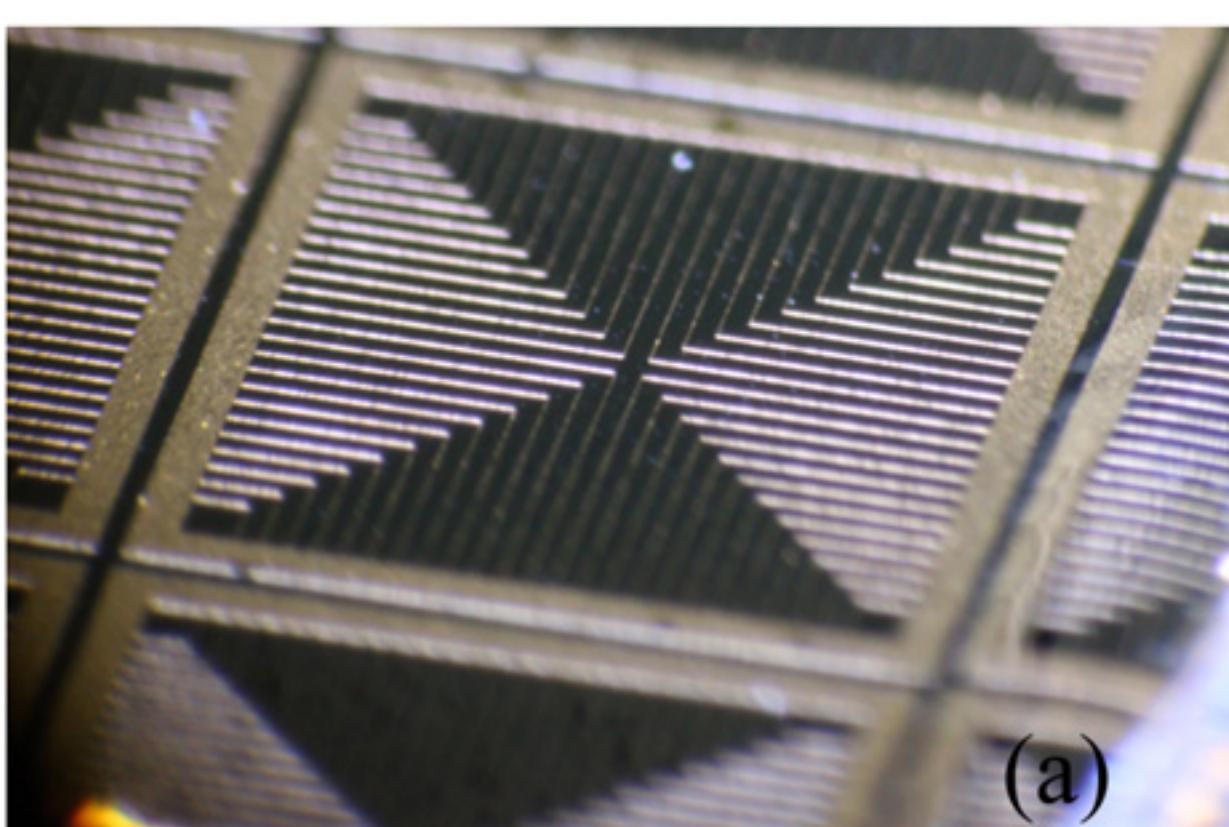
InP chip integrating all-optical flip-flops, optical amplifiers, and all-optical gates.



Monolithic optical switch integrated circuit on an InP chip having one of the largest integration scale in the world.

■超高効率太陽電池 Ultra-high efficiency photovoltaic cells

当研究室では、全ての太陽電池の中で最も効率の高い化合物半導体集光型太陽電池の研究開発を行っています。具体的には、量子マイクロ構造を活用した多接合太陽電池の結晶成長と作製、効率的な光閉じ込め構造の開発、集光光学系と追尾機構の設計と試作を行っています。企業や他大学とチームを組むことで、変換効率の世界記録を米国、ドイツと常に競っています。現在は、2020年に50%を超える変換効率を実現することを目標として、日夜研究に励んでいます。



Photos of a multi-quantum well solar cell chip (left) and a roof-top concentrator PV module (right).

■太陽光を機軸とする再生可能エネルギーシステム Renewable energy system based on sunlight energy

超高効率集光型太陽電池を基にしたオフグリッド自立型エネルギー・システムの研究を行っています。究極の目標は、化石燃料と核に頼らず、再生可能エネルギーのみで営むことのできる持続可能文明を構築することです。研究開発の主眼は、太陽光由来のエネルギーを高効率に化学物質に注入する技術の開発、および、用途に応じたエネルギー蓄積媒体の開発です。エネルギーを長距離輸送するか、ローカルに利用するか、利用形態は何か(燃焼、発電、肥料その他)で、蓄積媒体(気体、液体、固体)の選択肢も変わってきます。システム思考で新しいエネルギー・システムを追求します。



Group photo taken at 2017 lab welcome party.

野村研究室 (Prof. Masahiro Nomura)
Nomura Laboratory

URL: <http://www.nlab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

生産技術研究所 Fe-207
IIS, Fe-207

ナノスケール熱伝導の物理とエネルギーハーベスティング

Physics of nanoscale heat transfer and thermoelectric energy harvesting

熱電変換技術に基づくエネルギーハーベスティングや、光・電子デバイス中の熱マネジメントの重要性から、伝熱制御に対する関心が高まっています。本来、材料で決定される熱伝導率をナノエンジニアリングで制御し、環境から自分でエネルギーを取り込んで動作するエネルギー自立型デバイスの開発や持続可能なエネルギー社会の実現に貢献する低環境負荷なシリコン高効率熱電変換材料の実現を目指しています。

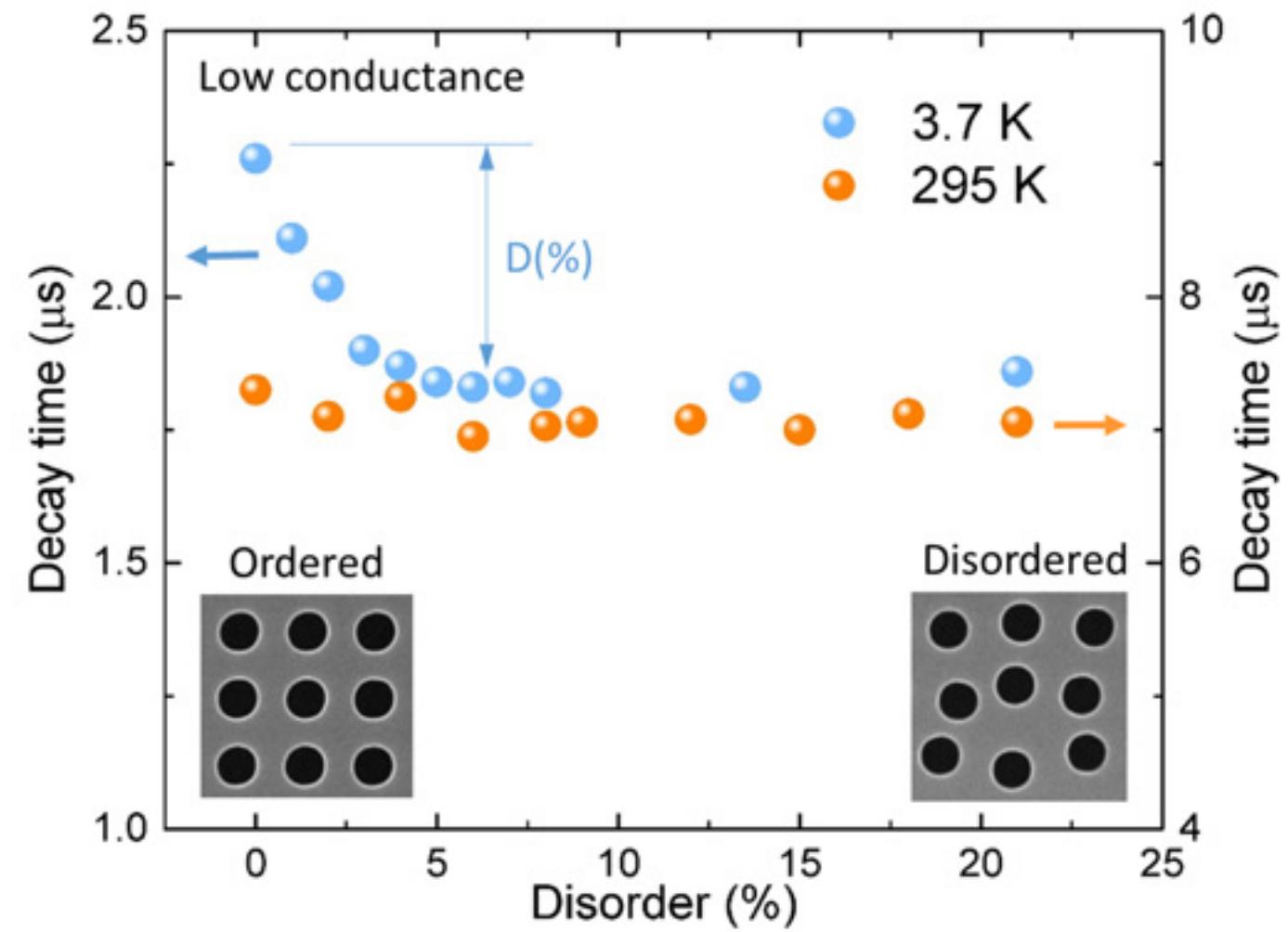


- ◆ ナノスケール熱輸送の物理と制御
- ◆ ナノシリコン熱電変換材料・デバイス（产学連携）
- ◆ ハイブリッド量子系の物理

Thermal Conduction Nanoengineering & Energy Harvesting

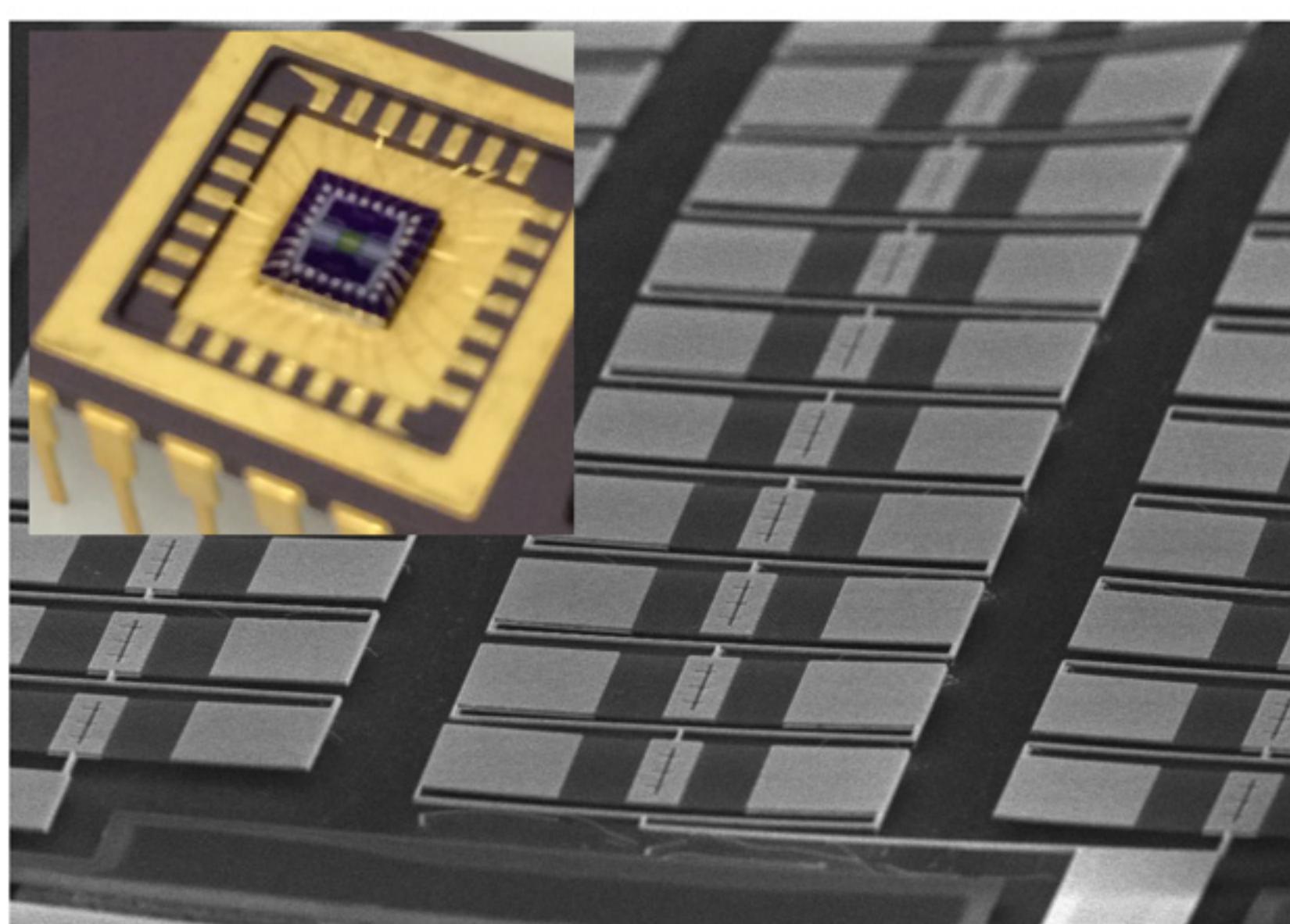
Fundamental physics

Advanced thermal management



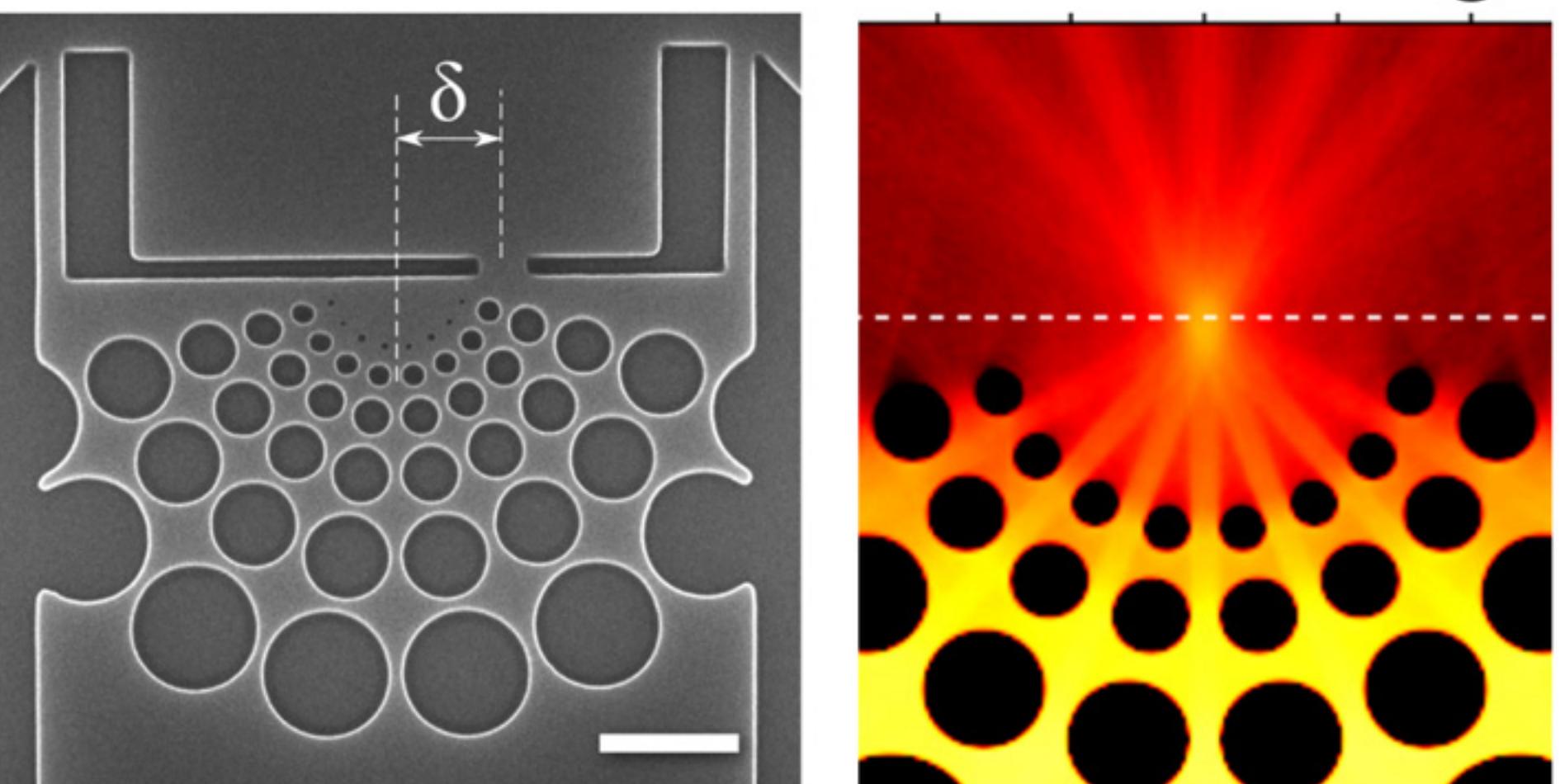
Science Advances (2017).

Thermoelectric energy harvesting



产学研連携

1st demonstration of heat focusing



Nature Communications (2017).

2020 Lab members



Phonon engineering is hot today!

日経産業新聞 2014年(平成26年)7月14日

温度差で半導体駆動

半導体に使う粒子
用途 特徴
電子(エレクトロン)
演算、記憶、伝送
光子(フォトン)
伝送
電子や光子に限らない性質がある。制御が難しい
電子(フォトン)
発電、放熱
電子や光子に限らない性質がある。制御が難しく研究設備が必要

振動の最小単位「フォノン」
熱伝導性に新用途
電子(フォトン)
電子や光子に限らない性質がある。制御が難しい
電子(フォトン)
発電、放熱
電子や光子に限らない性質がある。制御が難しく研究設備が必要

省工 視点
東大、実用化へ
フォノン制御
発電に活用

熱って地味じゃない？熱の制御って何の役に立つの？→高効率化の追求の先にある不可避な問題は、どうしようもなく発生してしまう熱のマネジメントです。今、多くの企業が光・電子デバイス中の熱流制御や再生可能エネルギーの研究に注目しており、複数の企業や海外のグループと共同研究を行っています。

ナノテクで熱をあやつる

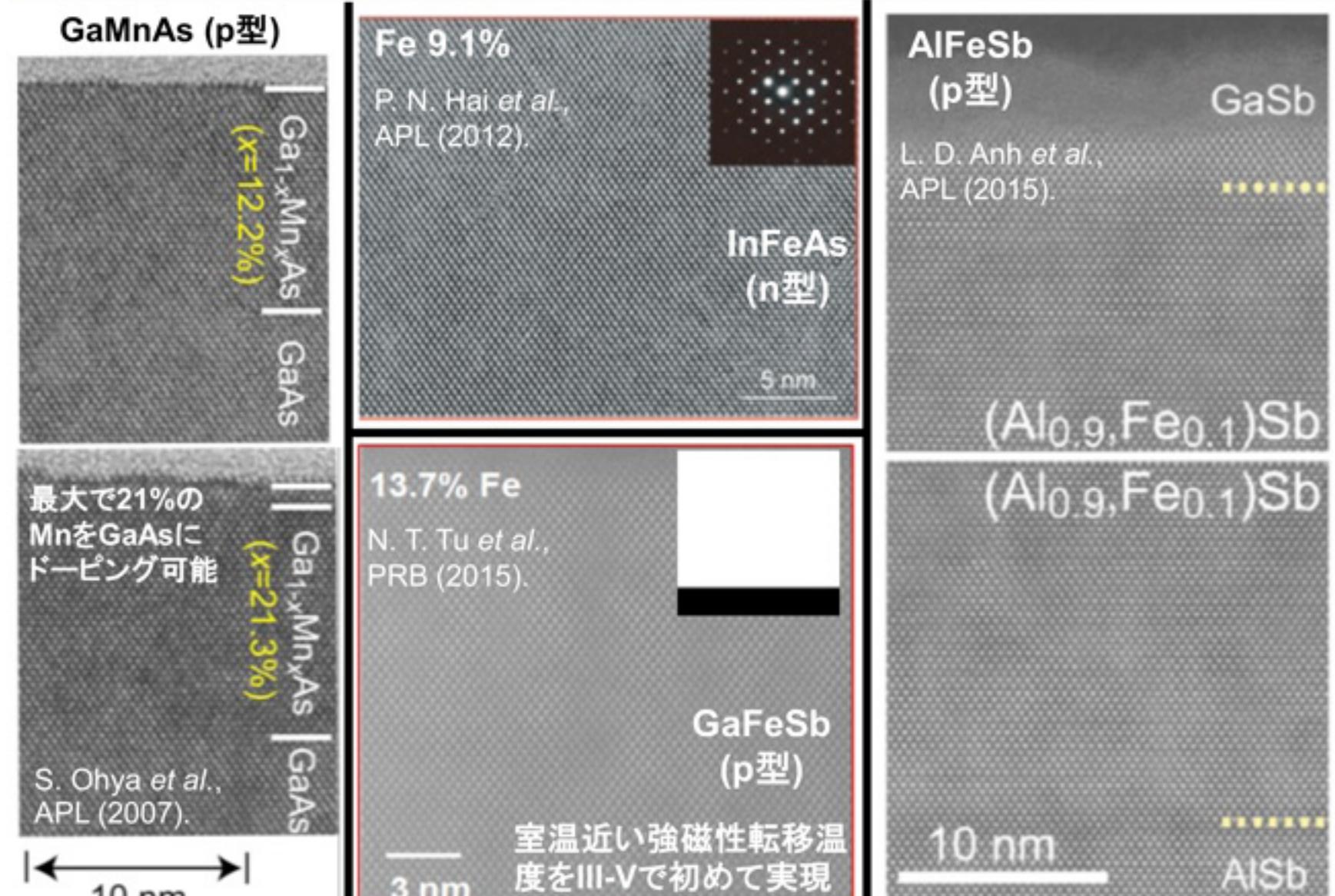
大矢研究室 Semiconductor Spintronics Laboratory

URL:<http://www.cryst.t.u-tokyo.ac.jp/> Bldg. Eng-10 4F Room 430

-電子のスピニ機能を活用した21世紀の新しい半導体エレクトロニクスを開拓する-

III-V族半導体をベースとした強磁性材料および新しいスピニ機能素子の開発

新しいIII-V族半導体ベース強磁性単結晶材料系の開拓

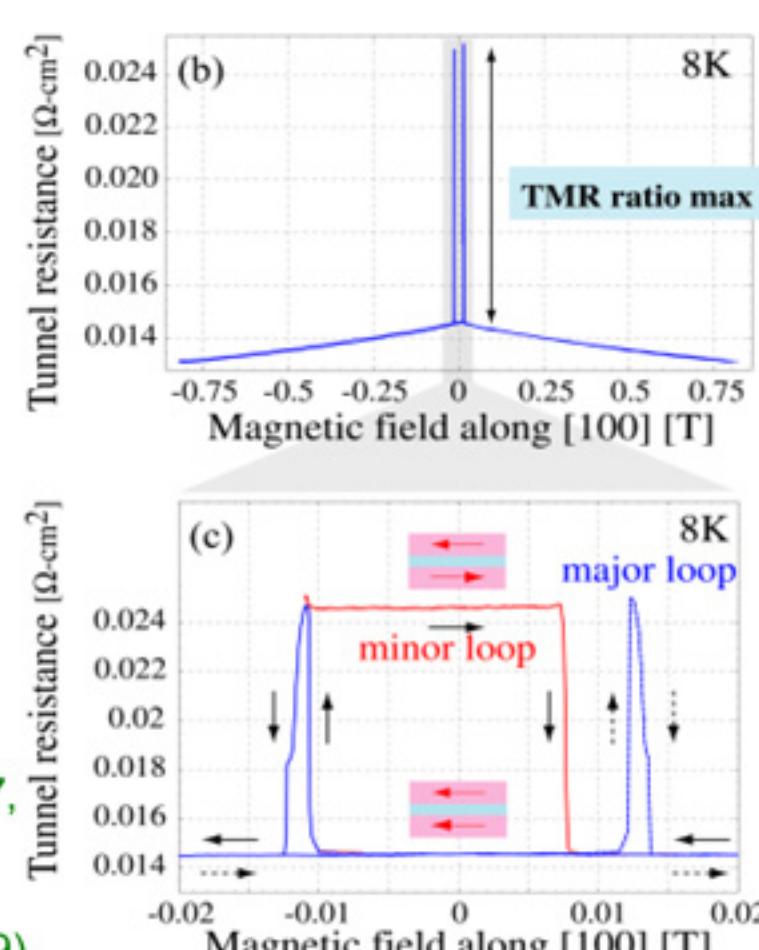
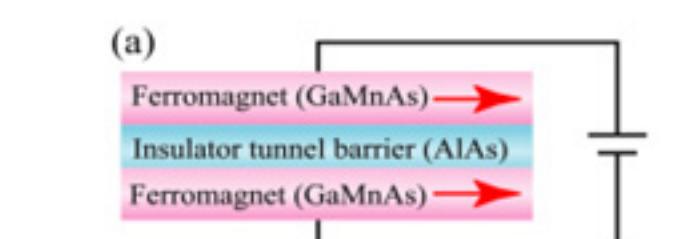


強磁性半導体ヘテロ接合における大きなTMR

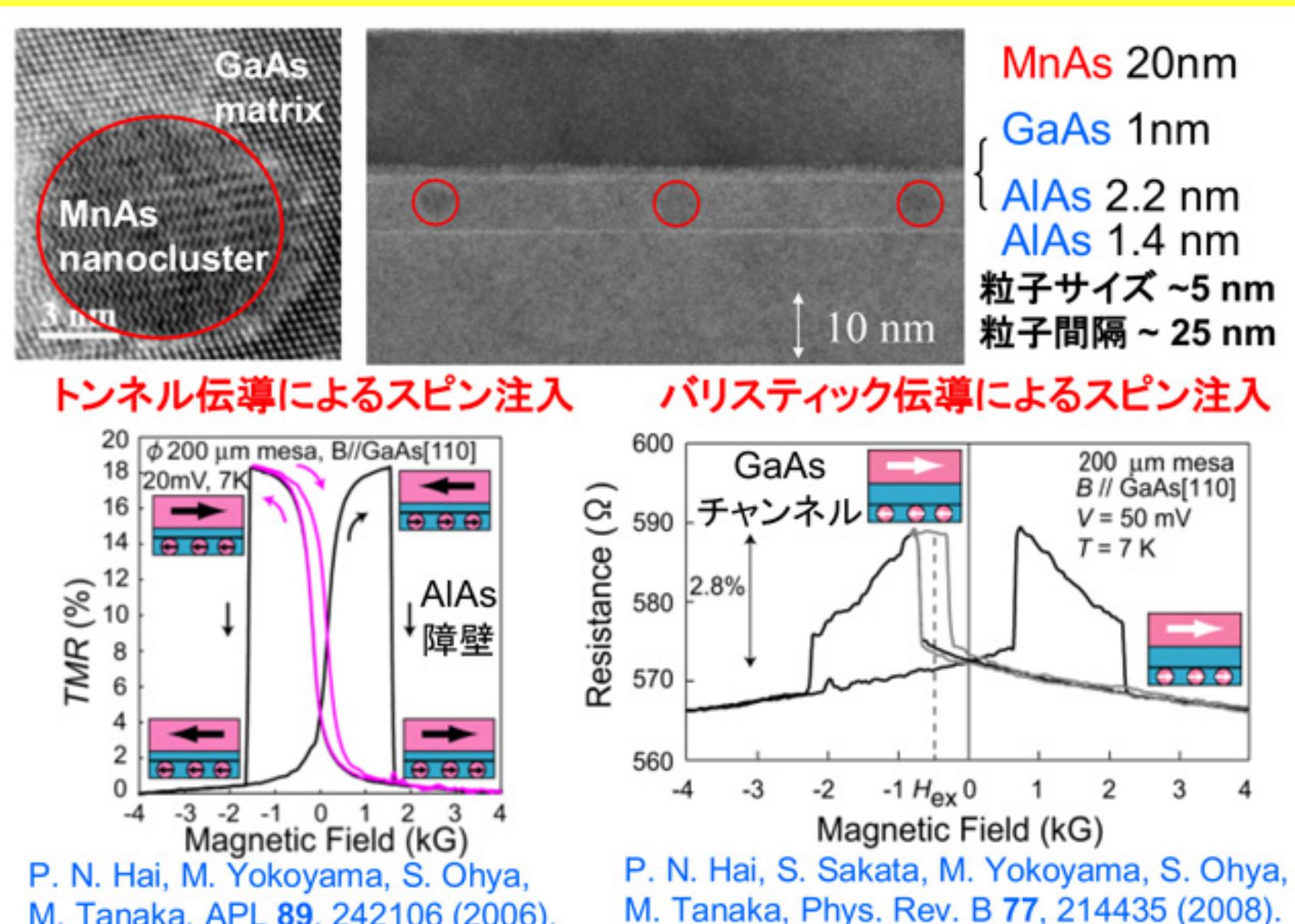
75%¹～175%²において大きなトンネル磁気抵抗効果(TMR)を強磁性半導体ヘテロ構造において観測
※強磁性半導体ヘテロ構造においては、同じ温度領域(2.6K)では世界最高値。

- ・エピタキシャル・単結晶
- ・高いTMR比
- ・バンドエンジニアリング
- ・半導体デバイスとの整合性が良い

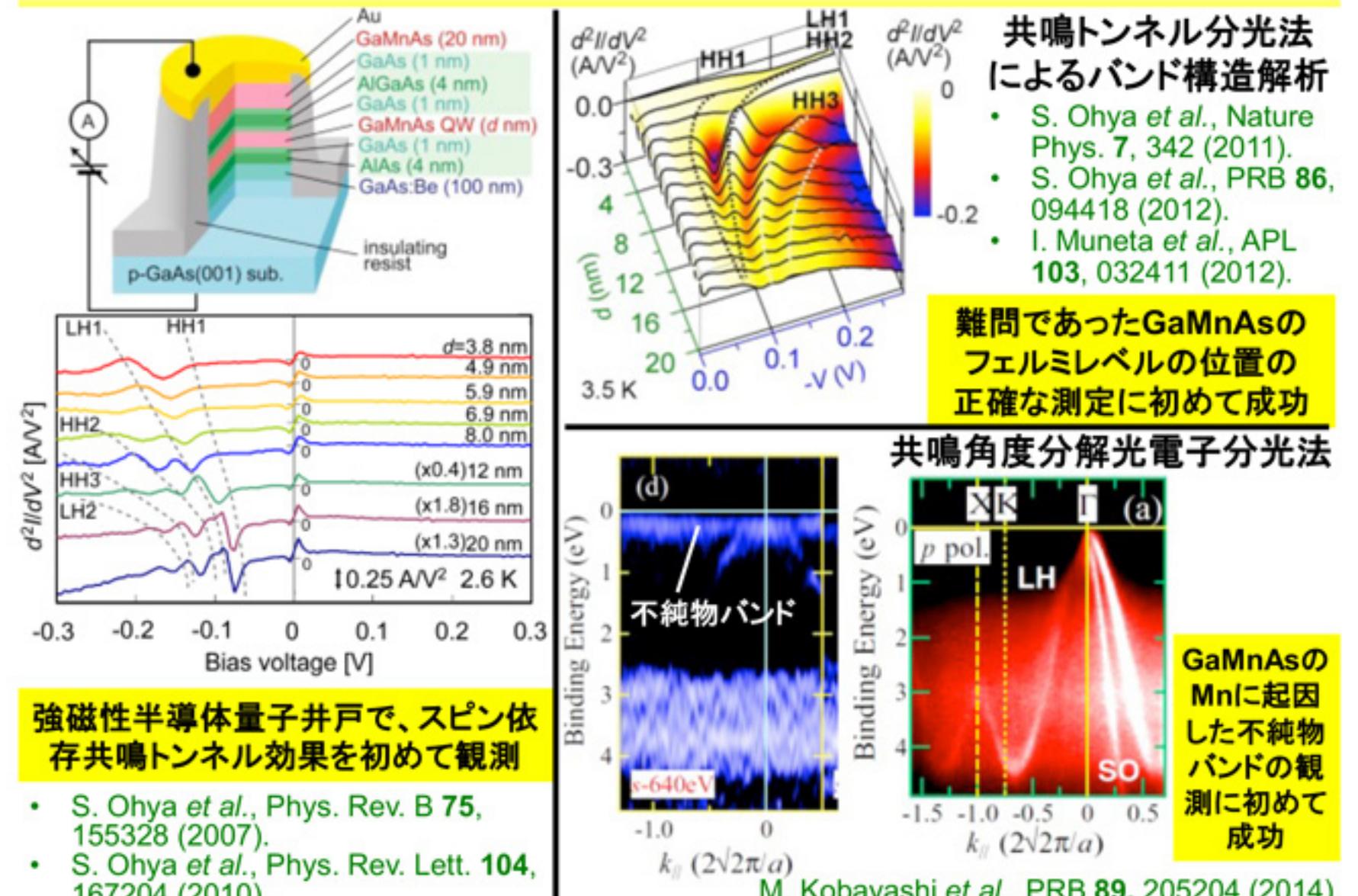
1. M. Tanaka and Y. Higo, Phys. Rev. Lett. **87**, 026602 (2001).
2. S. Ohya, I. Muneta, P. N. Hai, and M. Tanaka, Appl. Phys. Lett. **95**, 242503 (2009).



六方晶MnAs微粒子によるスピニ注入と検出



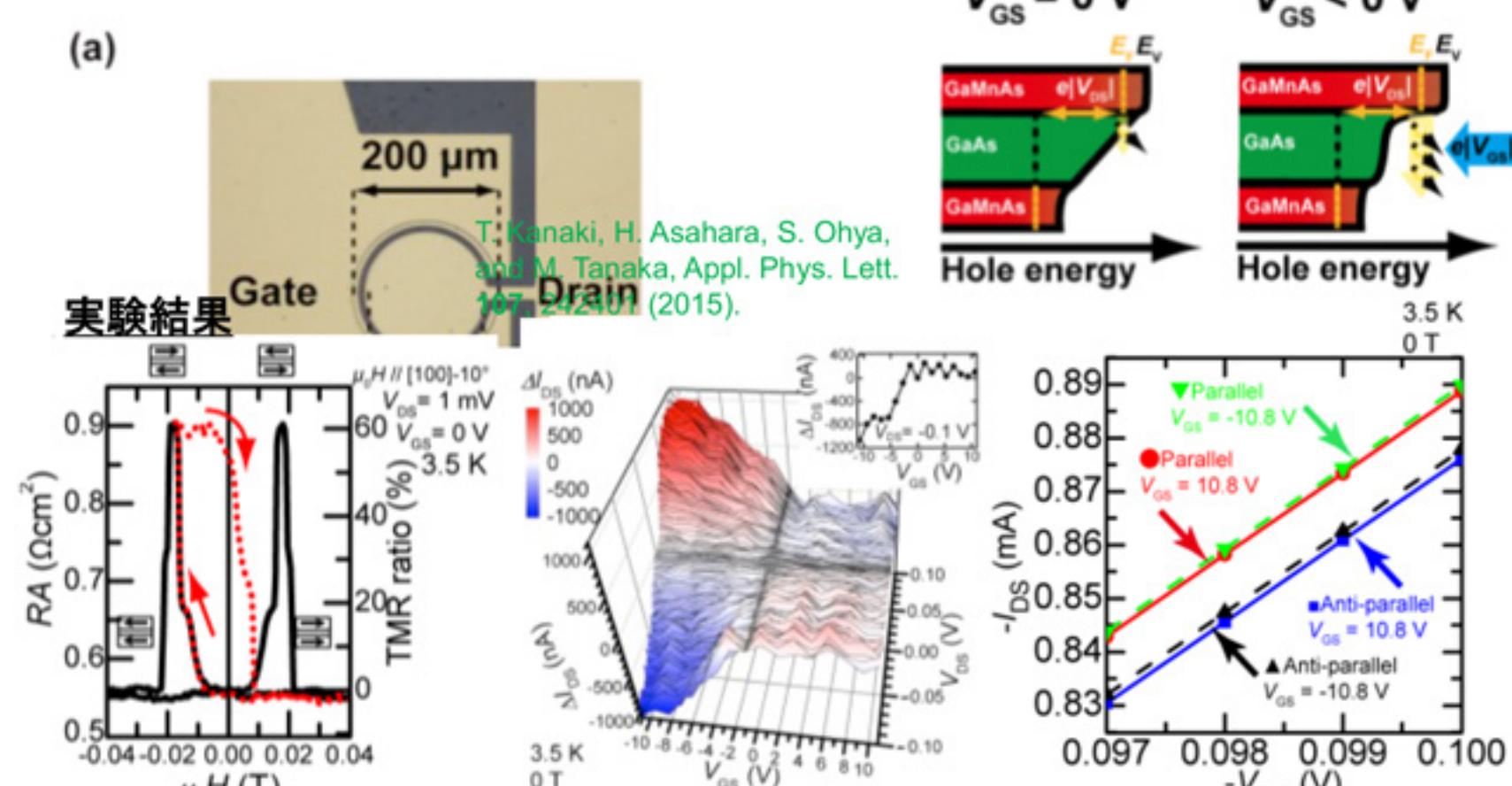
強磁性半導体スピニ依存量子デバイスとバンド構造解析



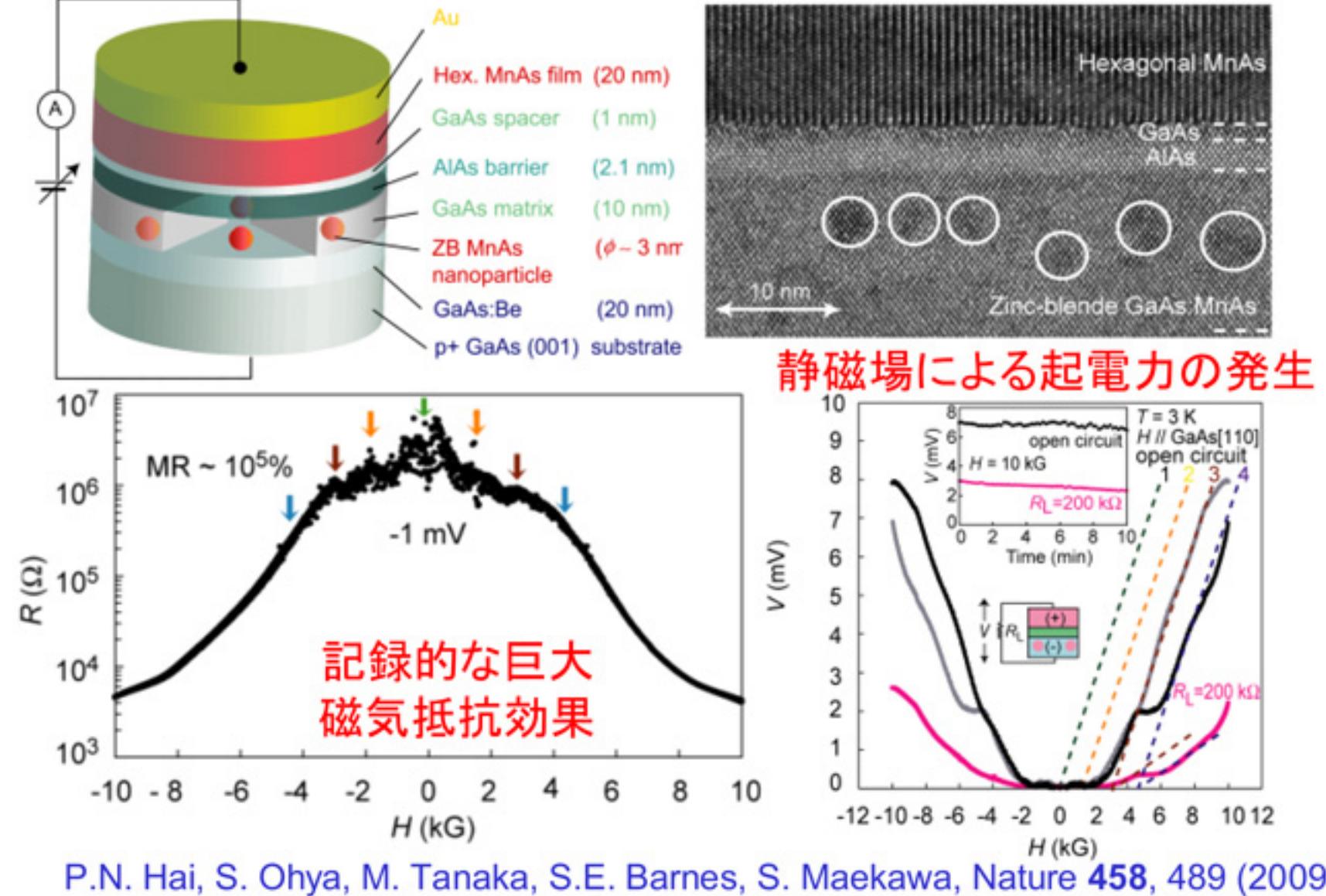
GaMnAsを用いた縦型Spin-MOSFET

デバイス構造

縦型Spin-MOSFETを作製し、その動作の基礎となる磁気抵抗効果と電流変調の実験に初めて成功した

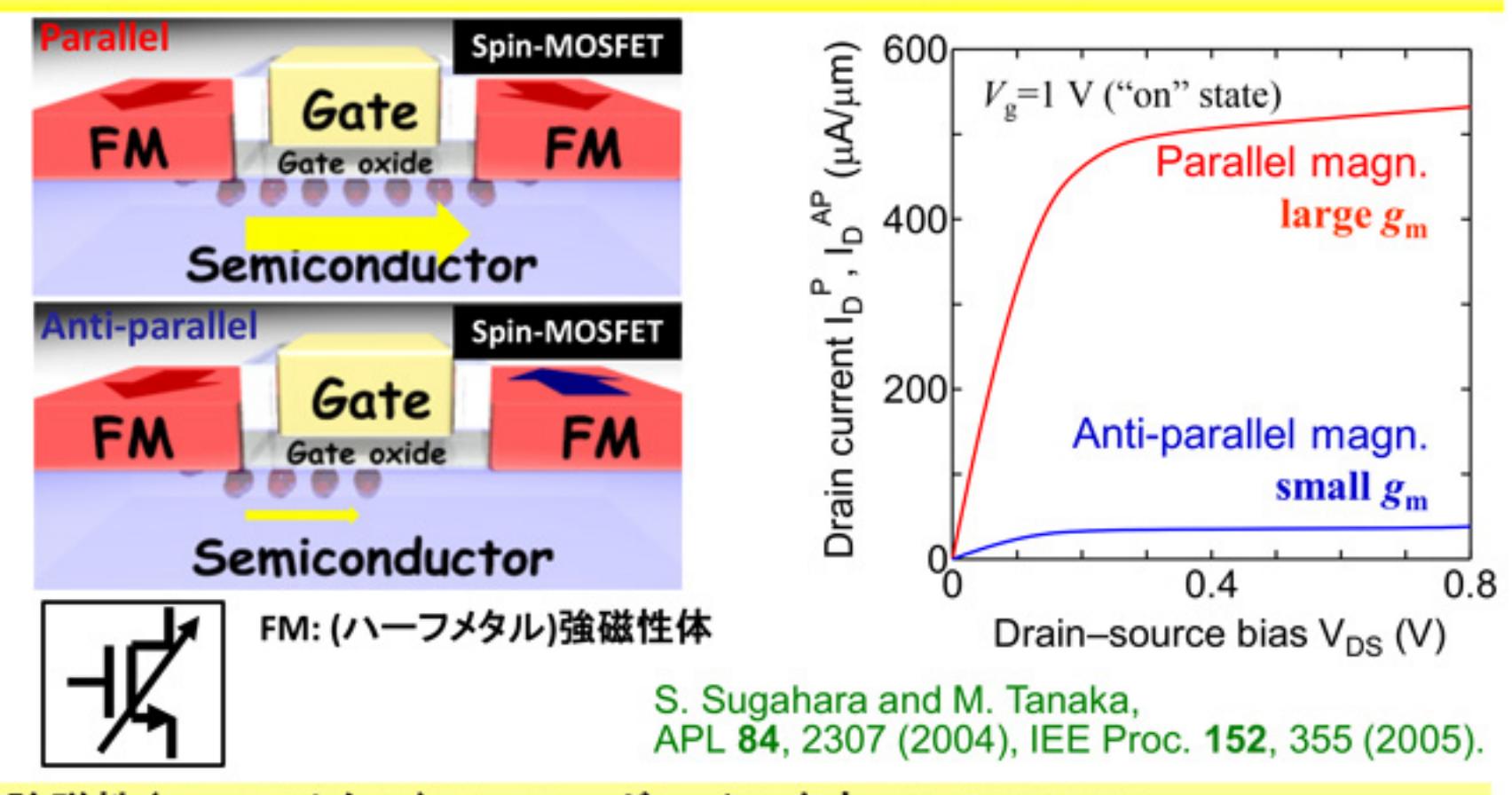


亜鉛鉱型MnAs微粒子によるスピニ起電力(ファラデー電磁誘導の拡張)



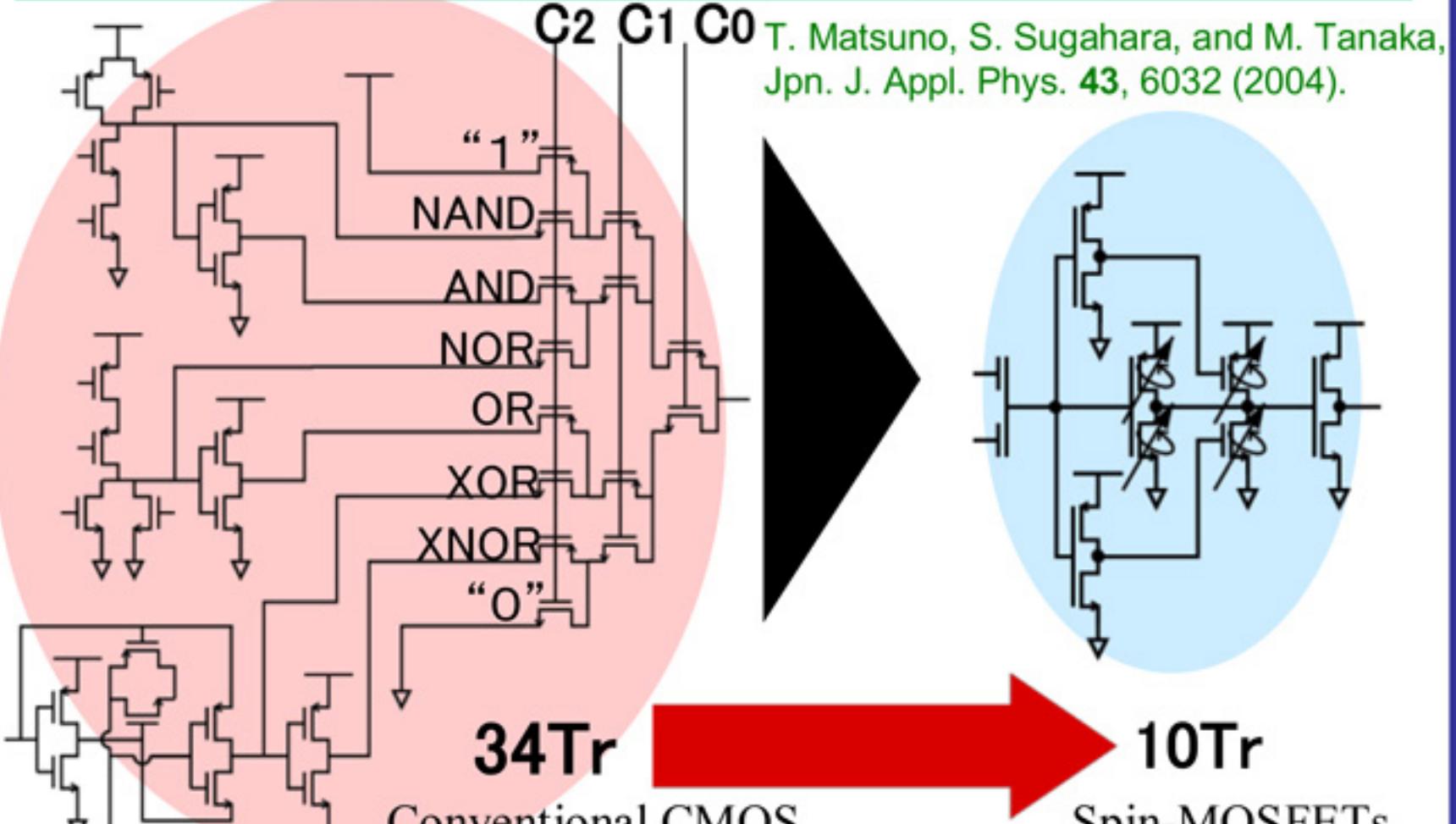
IV族半導体スピニ機能素子および材料の開発

シリコンテクノロジーへのスピニの導入: Spin-MOSFET



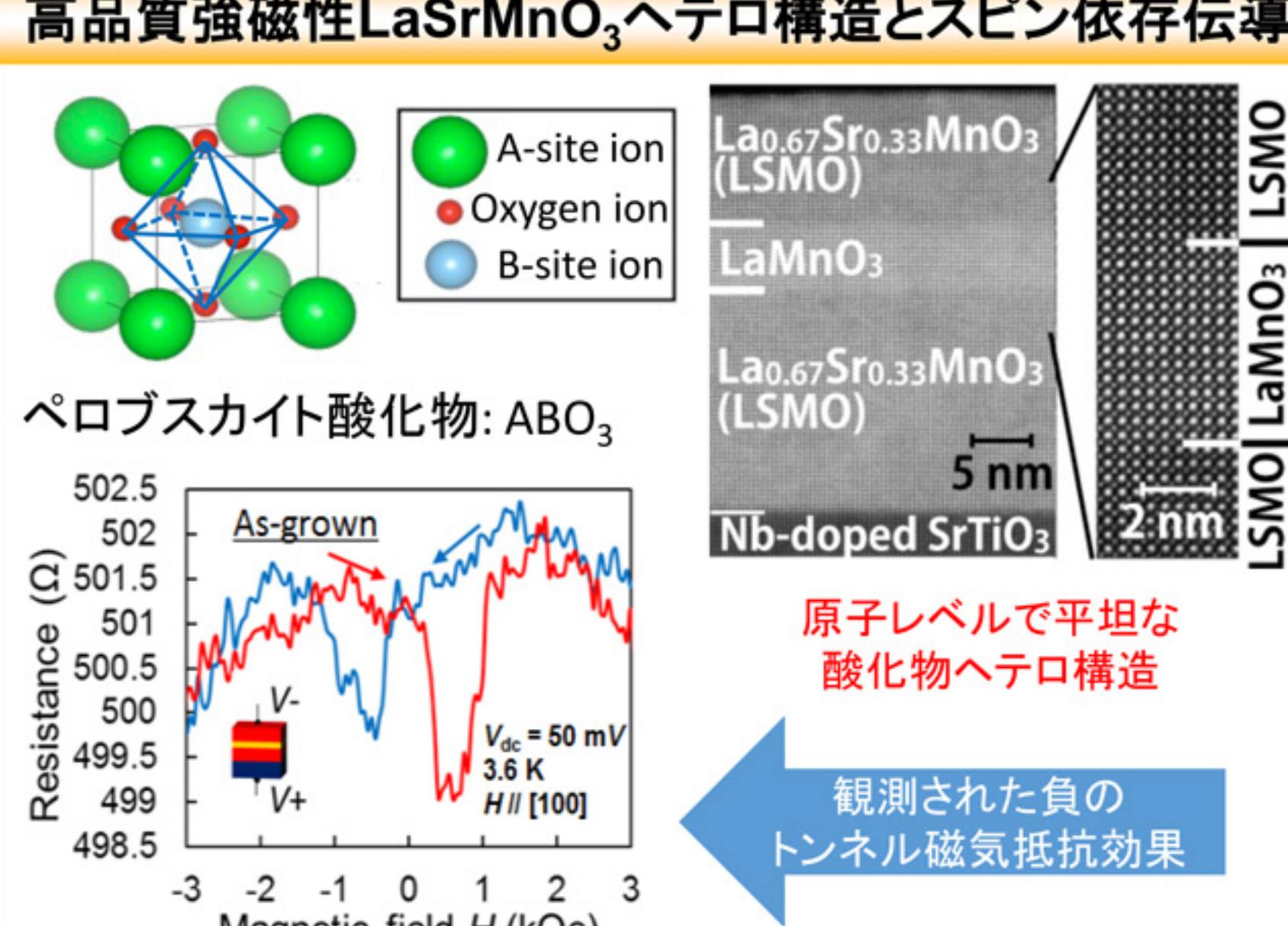
Spin-MOSFETを用いた再構成可能な論理回路

Two-input all symmetric Boolean functions* can be designed with only ten transistors * f(A+B) = AND, OR, XOR, NAND, NOR, XNOR, "0", "1"

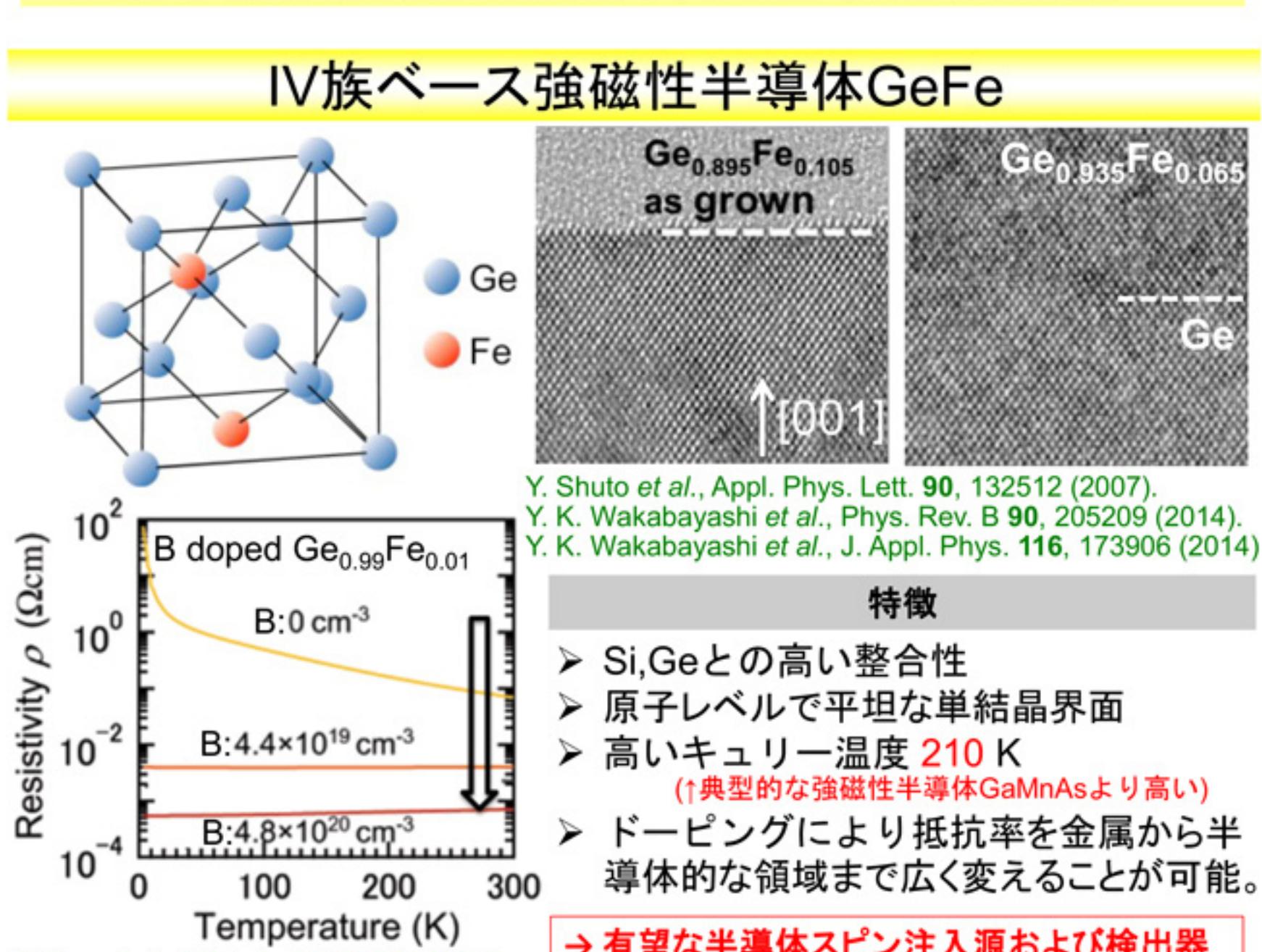
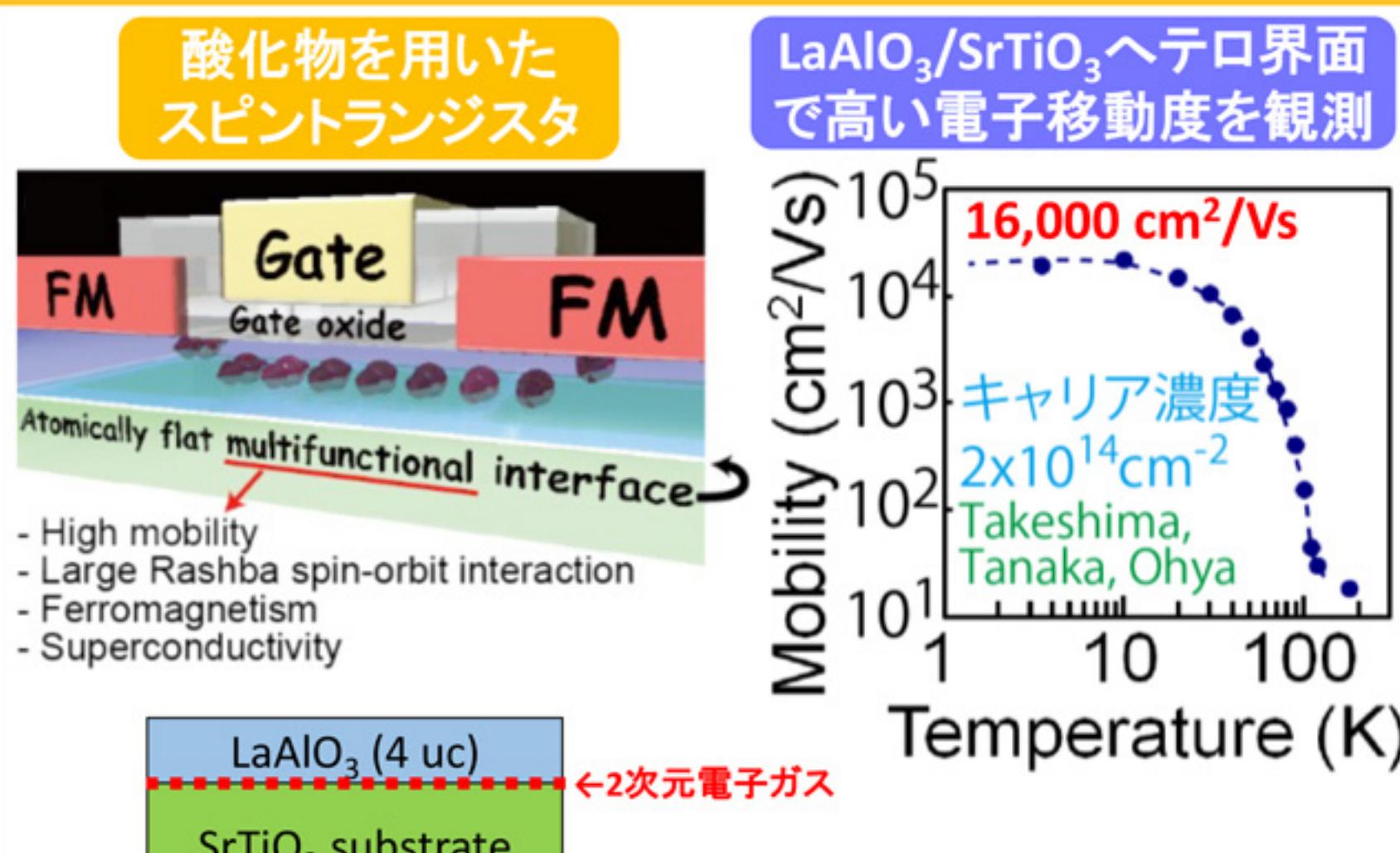


酸化物ベース強磁性材料 /スピニ機能素子の開発

高品質強磁性LaSrMnO₃ヘテロ構造とスピニ依存伝導



LaAlO₃/SrTiO₃界面における高移動度2次元電子





onodera@ee.t.u-tokyo.ac.jp

工学部3号館009F

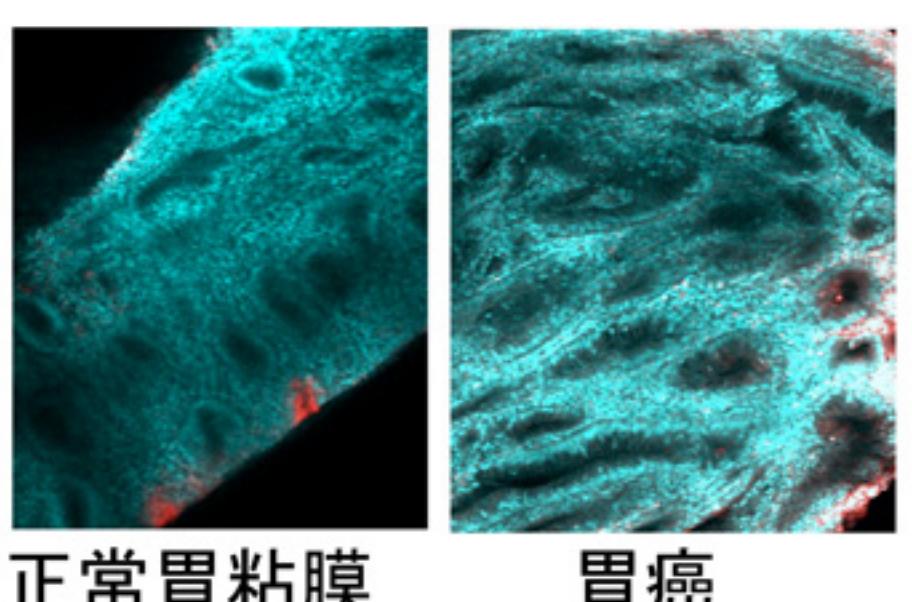
Bldg. Eng-3 BF Room 009F

臓器透明化技術

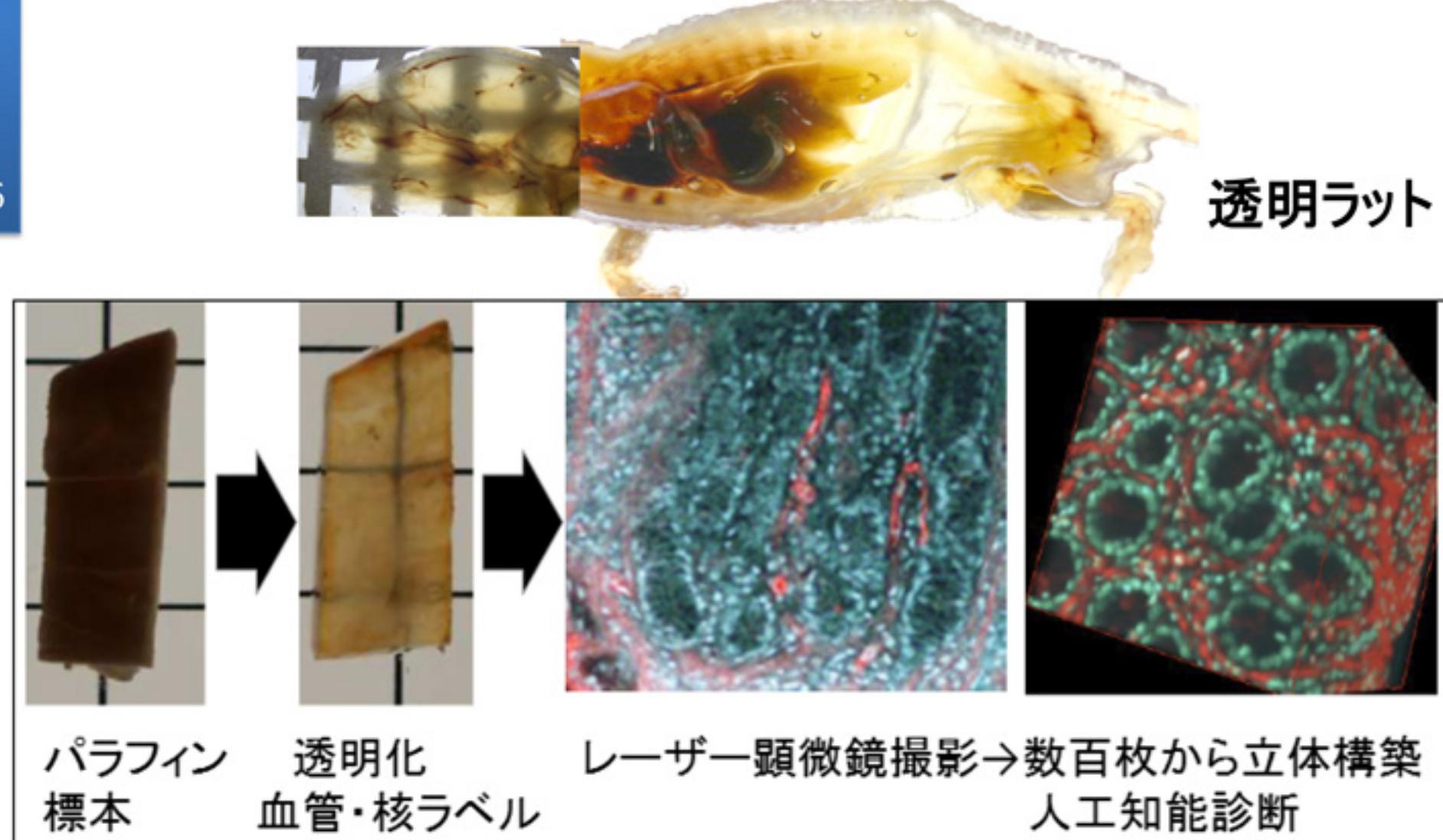
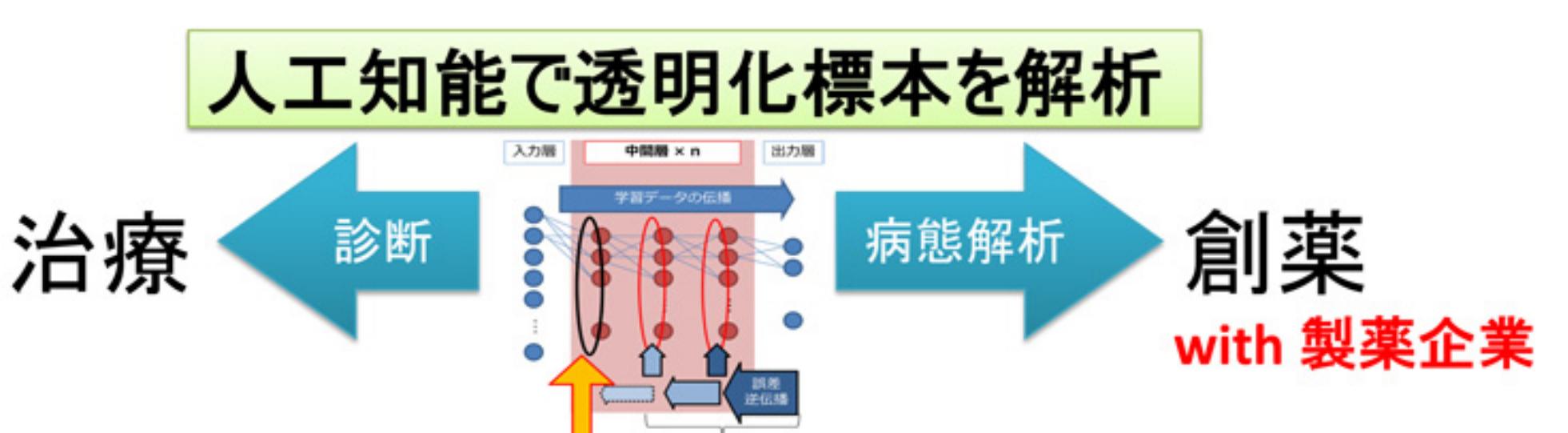
あらゆる臓器を短時間で透明化

(JST 国際特許) Nature comm 2016

動物/植物など全生物を半永久的に透明化。赤血球の赤色(ヘモグロビン鉄)や蛋白は保持されるため、透明化後も蛋白や遺伝子を解析できる(これまで不可能だった)



正常胃粘膜 胃癌



人工知能と透明化技術で癌誤診ゼロ(食道癌, 胃癌, 大腸癌)

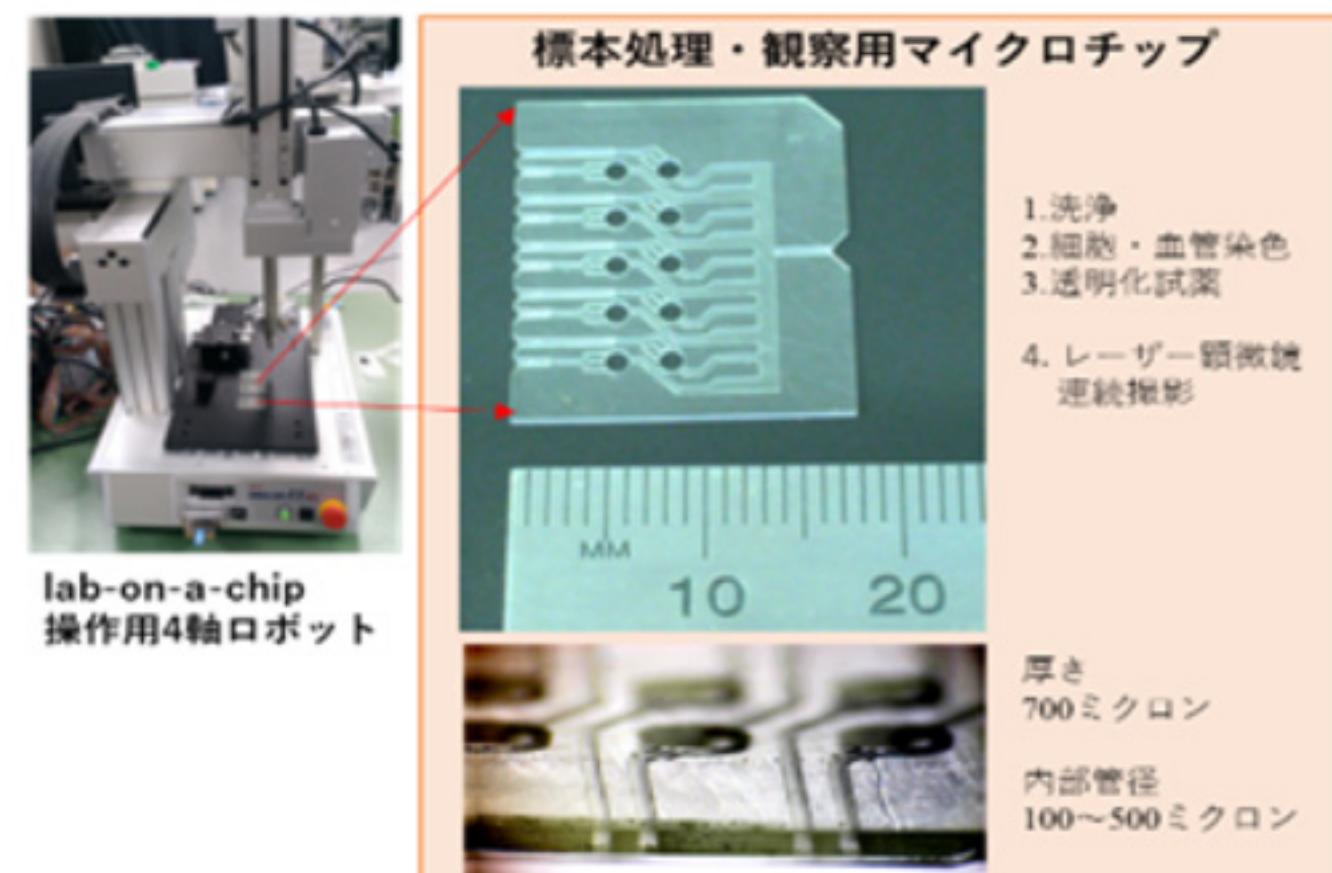
透明化標本を丸ごと撮像するので、癌見落としは原理的にゼロ

数万枚の画像全てに医師が目を通すのは不可能なので、人工知能で診断支援

with 東大病院(消化器内科, 病理学), 情報理工 原田研

lab-on-a-chip

マイクロチップとAIロボットで標本処理を自動化

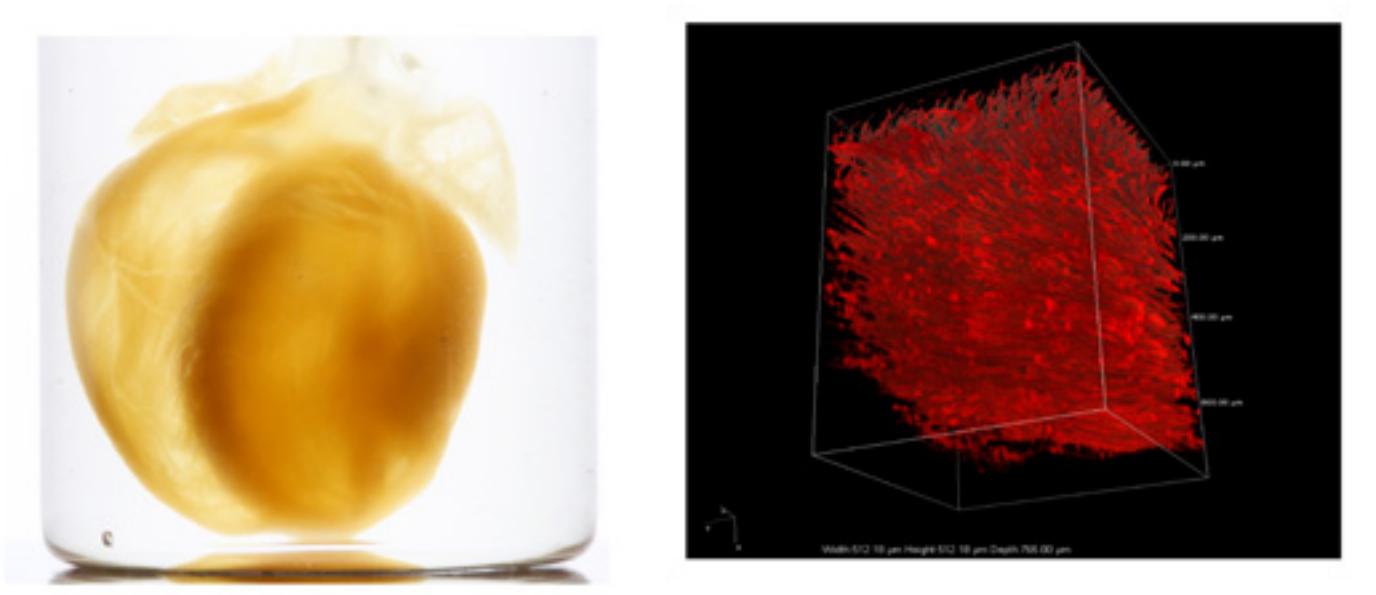


完全心臓プロジェクト=真の心臓シミュレータ構築

透明化心臓を2光子顕微鏡で撮影し、全心筋線維の収縮方向ベクトルを取得。

心不全や心移植後の治療法、手術方法を理論に基づいて決定できる。

with 循環器内科、自治医大、芝浦工大



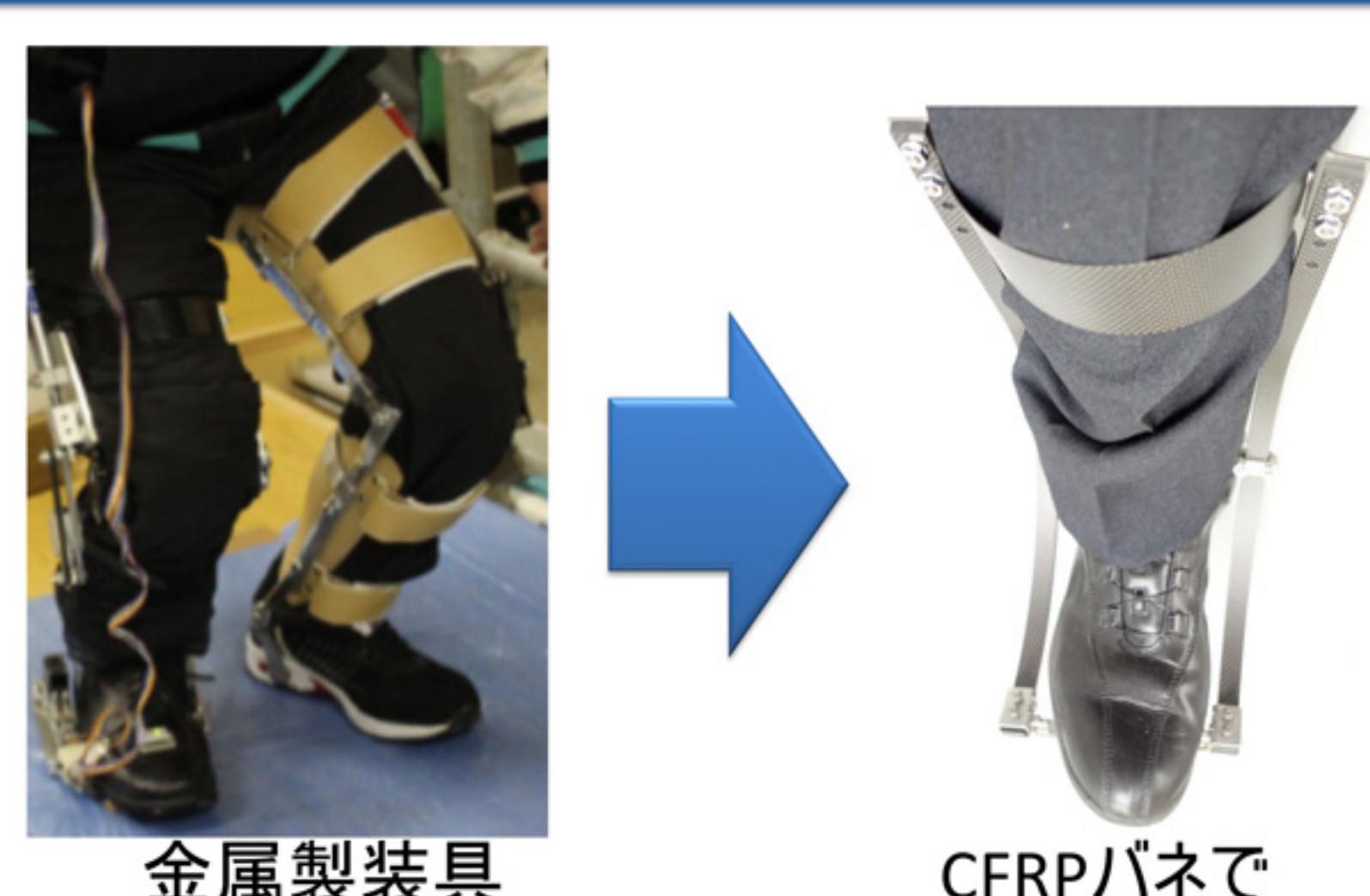
フレキシブルセンサ・微細加工技術・AIで実用レベルのロボット装具

CFRP(炭素繊維樹脂)バネによる無動力歩行支援システム

現在のパワースーツは現場のニーズへの理解が十分でなく実用性に乏しい。

そこで、脳卒中診療経験を活かし、必要な機能のみ搭載するCFRPバネによる無動力運動支援システムを開発する。最新素材と航空工学の解析技術を基に、新しいレーザー加工技術を投入して体にフィットする装具システムを実現する。

with 物性研、機械工学高橋研、首都大 小林研
2017年 特許出願2件



フレキシブルセンサと生体模倣微細構造でどらえもんの義手

従来型グリップ動作と吸着型把持機構を併せ持つ電動義手の実用化を目指す。

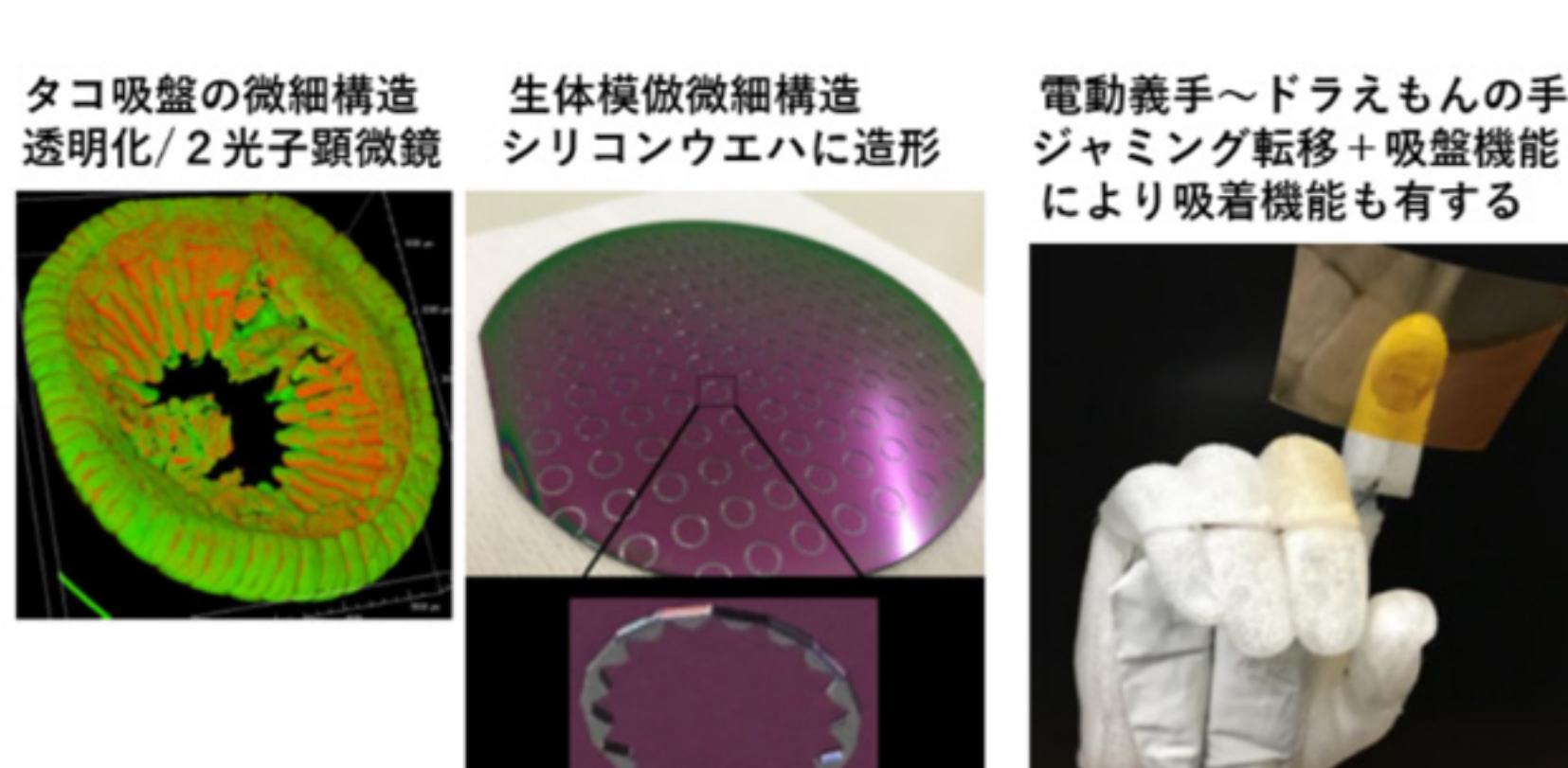
タコ吸盤微細構造をシリコンウエハに造形し、フィードバック不要の劣駆動マニピュレーションを実現。

染谷研のフレキシブルマルチチャンネルセンサを搭載し、AIによる把持制御、質感提示を可能にする。
with 三田研、染谷研

筋電信号からロボット指を曲げて喜んでいる時代ではない！

命令に応じてAIが一連の動作を完結すべきである

例 赤いペンを持って名前を書け



フィルムセンサと人工知能で労災防止・障害者支援

ナノ物理デバイス 染谷研が開発する貼付型フレキシブルセンサ(酸素飽和度・脈拍センサ、色センサ、OLED光源、温度センサ)データを統合解析(熱中症検知、ロボット装具制御、運動機能障害者支援)

得られるマルチチャンネルデータは画像変換し、CNNでリアルタイム解析(S/N向上、アクチュエータ制御高速化)



スピントロニクスによる 古典情報と量子情報科学技術の融合

「スピントロニクス学術研究基盤と 連携ネットワーク」拠点

- ・日本学術会議「マスター・プラン2020重点大型研究計画」に採択
- ・文部科学省「学術研究の大型プロジェクト ロードマップ2020」に採択
大規模研究計画 工学分野で唯一採択(2020年9月決定)



スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク 略称: Spin-RNJ
SPINTRONICS RESEARCH NETWORK OF JAPAN



代表 田中 雅明

東京大学 スピントロニクス学術連携研究教育センター・センター長
東京大学 大学院工学系研究科電気系工学専攻・教授
学内の共同研究者・アソシエイトメンバー約40名
うち電気系工学専攻の教員は 大矢 忍、中根 了昌、レ デウック アイン、
田畠 仁、関 宗俊、小林 正起、松井 裕章、関野 正樹

スピントロニクス：電気と磁気の新しい融合



エレクトロニクス(電子工学)
電気伝導と光学特性を制御 (s, p 電子)
情報処理、論理演算、通信

マグネティクス(磁気工学)
磁性・磁化を制御 (d, f 電子)
情報の記録、記憶

【確認事項】1 学術的なブレークスルー

実用化の例(これまでの主な成果)

第1世代
(人工格子)

巨大磁気抵抗(GMR)効果

1990年代半ば～
大容量ハードディスク(HDD)

→ 220億ドルの市場規模

第2世代
(トンネル接合)

トンネル磁気抵抗(TMR)効果
スピントランファートルク
(スピノ注入磁化制御技術)

2000年代半ば～
2010年代～
高性能磁気センサー, HDD
磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)

第3世代
(量子構造)

量子物質・新材料の開発
量子構造中のスピノ制御
量子スピノデバイスの創成

ボトルネック

Spin-RNJの研究

量子情報処理技術(半導体)
量子通信・量子中継技術
量子メモリー・量子センサー

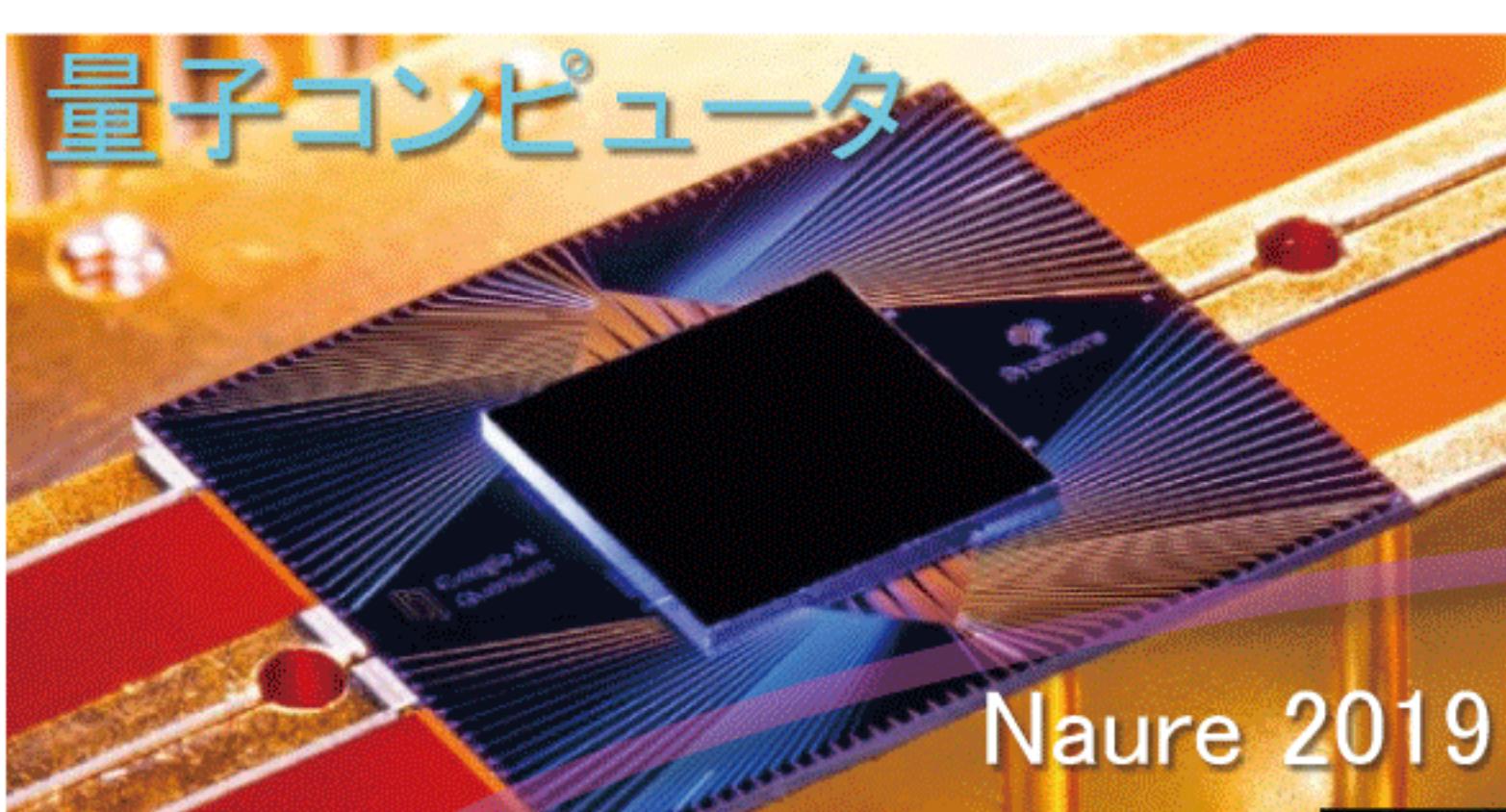
ボトルネックを解決する最有力候補が、量子スピントロニクス技術である !!

「古典と量子の融合」の時代を築くスピントロニクス

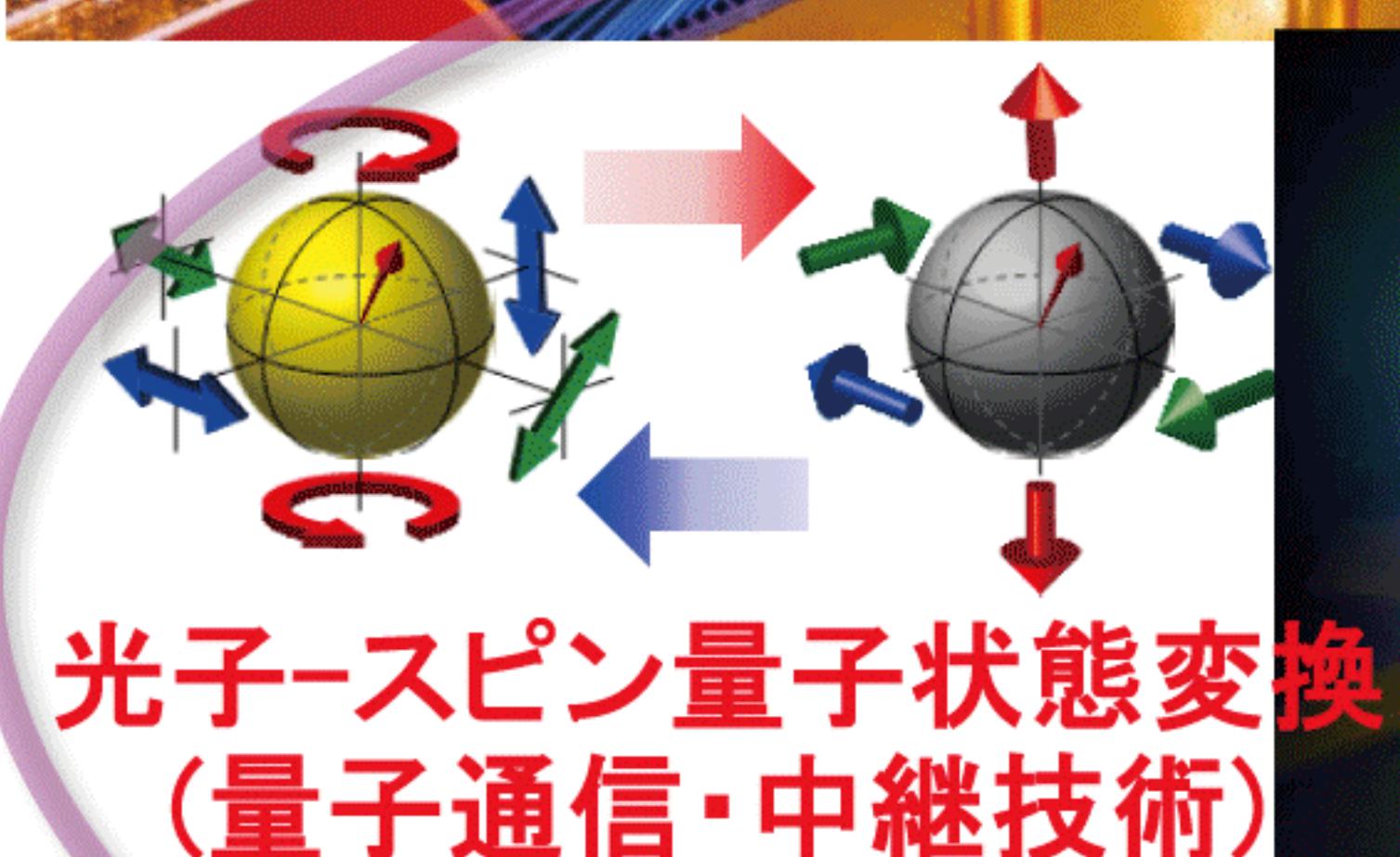
量子コンピュータ・量子通信:

古典コンピュータ(スペコン、AIマシン)や
古典通信の一部の不可能を可能にする技術

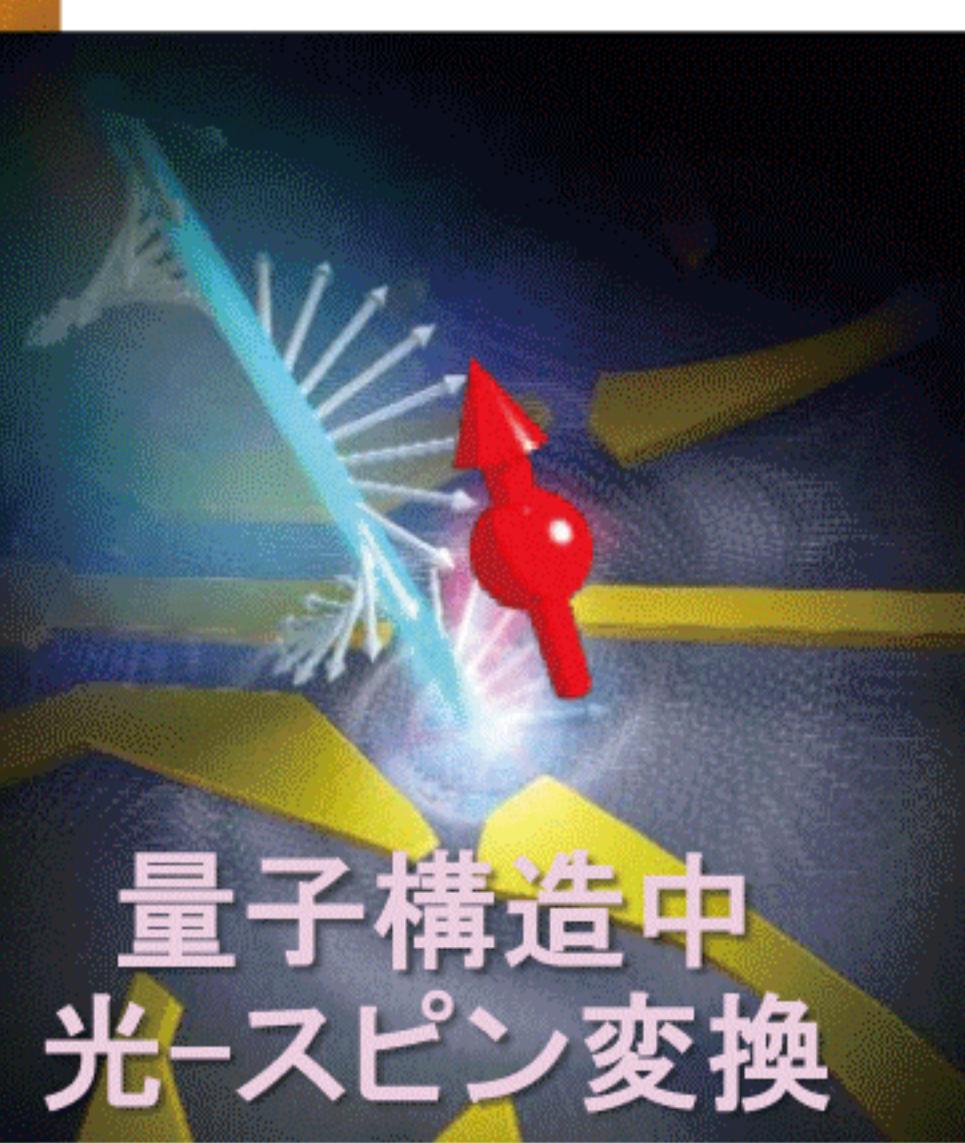
10年後は、古典・量子融合による
計算・通信能力の発展が不可欠!!



スピントロニクス：量子コンピュータや量子通信の重要な要素
(学術・技術)であり、古典情報処理とのインターフェースとして
中核技術を担う (光-電荷- спинの相互作用などSpin-RNJで成果)



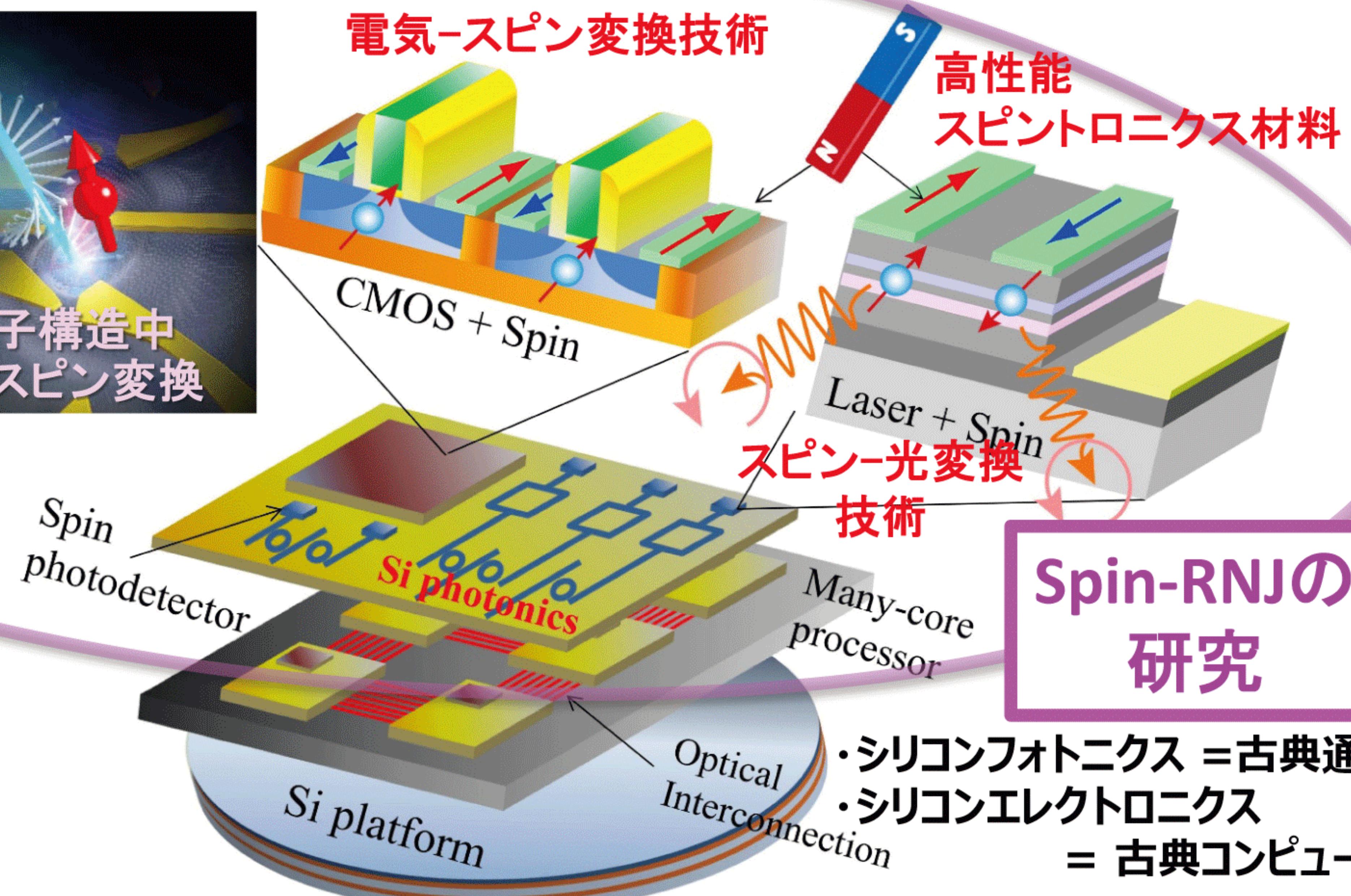
光子-スピン量子状態変換
(量子通信・中継技術)



量子構造中
光-スピン変換



半導体スピン
量子ビット・演算



3

東京大学(中核拠点)の強み

スピントロニクス学術連携研究教育センター

量子イニシアティブ

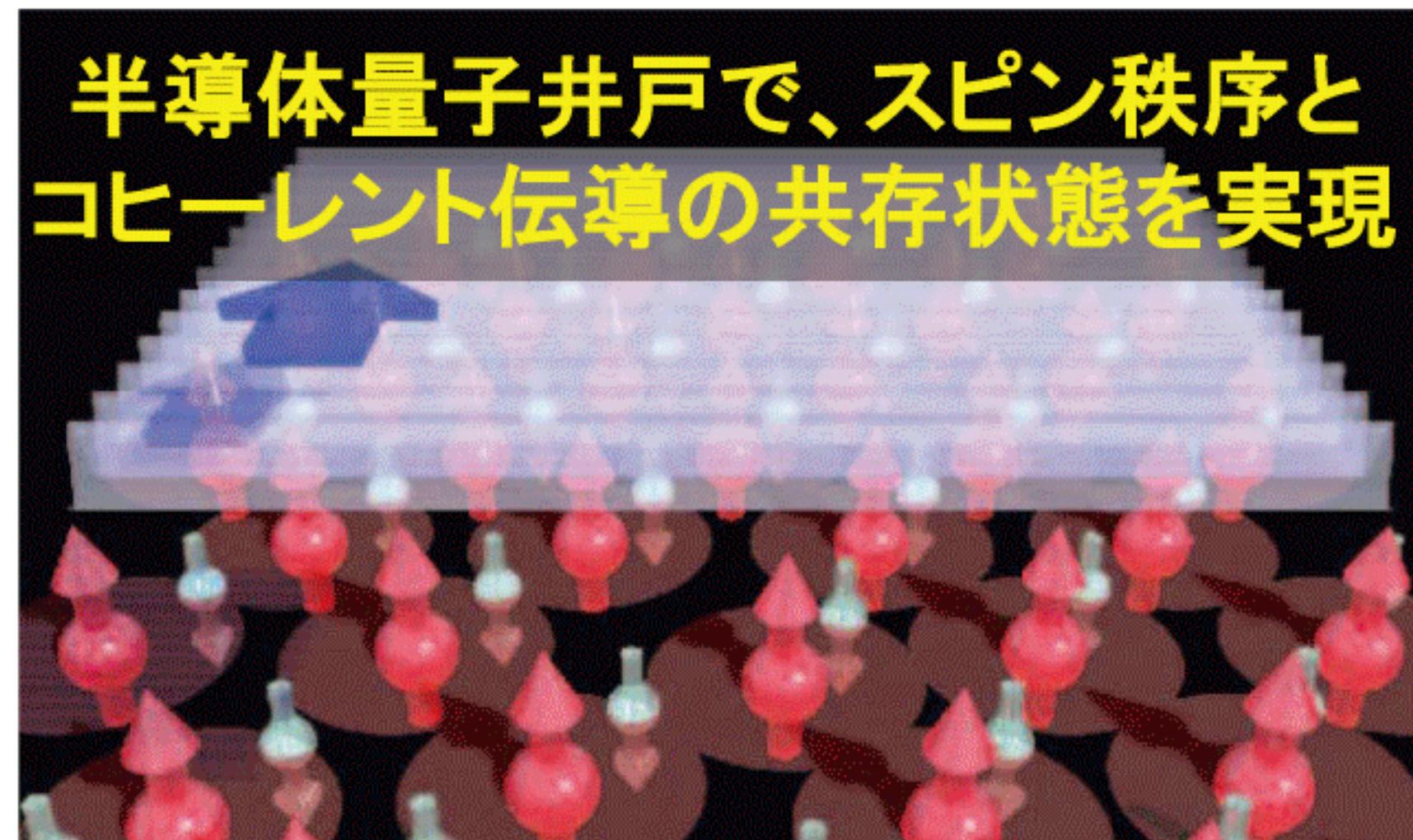
量子コンピュータ・量子通信の最先端
五神 真(総長、量子物理学)
相原 博昭(副学長、素粒子物理学)
中村 泰信(超伝導量子コンピュータ)
古澤 明(光量子コンピュータ)
香取 秀俊(量子計測・光格子時計)
小芦 雅斗(量子情報・通信理論)
村尾 美緒(量子情報理論)
上田 正仁(量子情報理論)
清水 明(量子物理学理論)
永長 直人(量子幾何物理学)
今井 浩(量子計算理論) 他多数

田中 雅明、大矢忍、
吉田 博、田畠 仁、
川崎 雅司、齊藤 英治、
喜多 浩之、関野 正樹、
岡林 潤、林 将光、
小林 研介、大谷 義近、
勝本 信吾、三輪 真嗣、
松田 康弘、町田 友樹、
岩本 敏、ファムナムハイ、
木村 剛、加藤雄一郎、
小林 正起、関 宗俊、
中根了昌 他多数

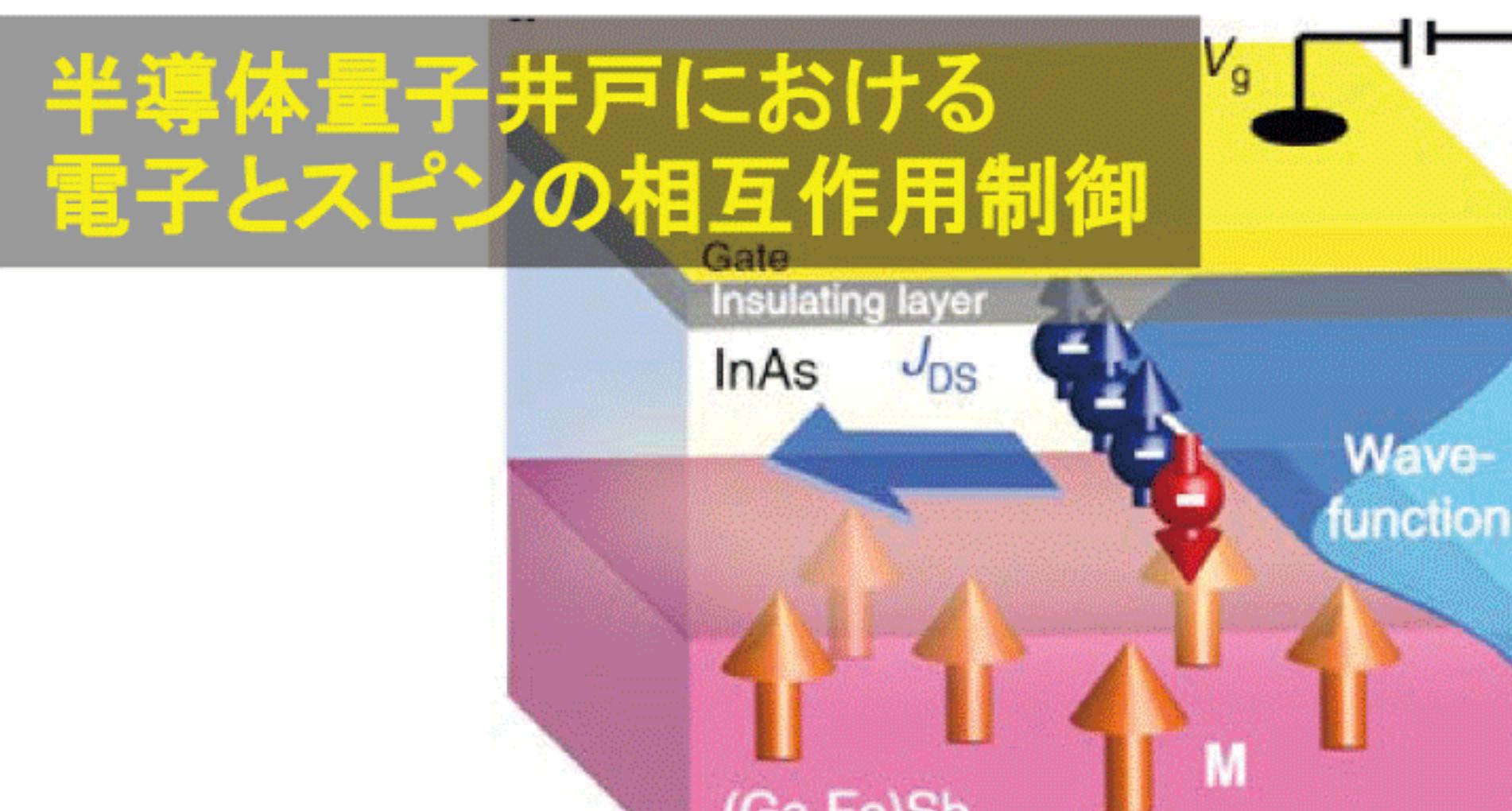
古典情報処理+量子現象を利用した エレクトロニクス・デバイスの最先端

平川 一彦
(ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構長)
荒川 泰彦
(光電子融合研究センター長)
岩佐 義宏
(量子相エレクトロニクス研究センター長)
黒田 忠広
(システムデザイン研究センターd.lab長)
染谷 隆夫
(工学系研究科長、工学部長)
他多数

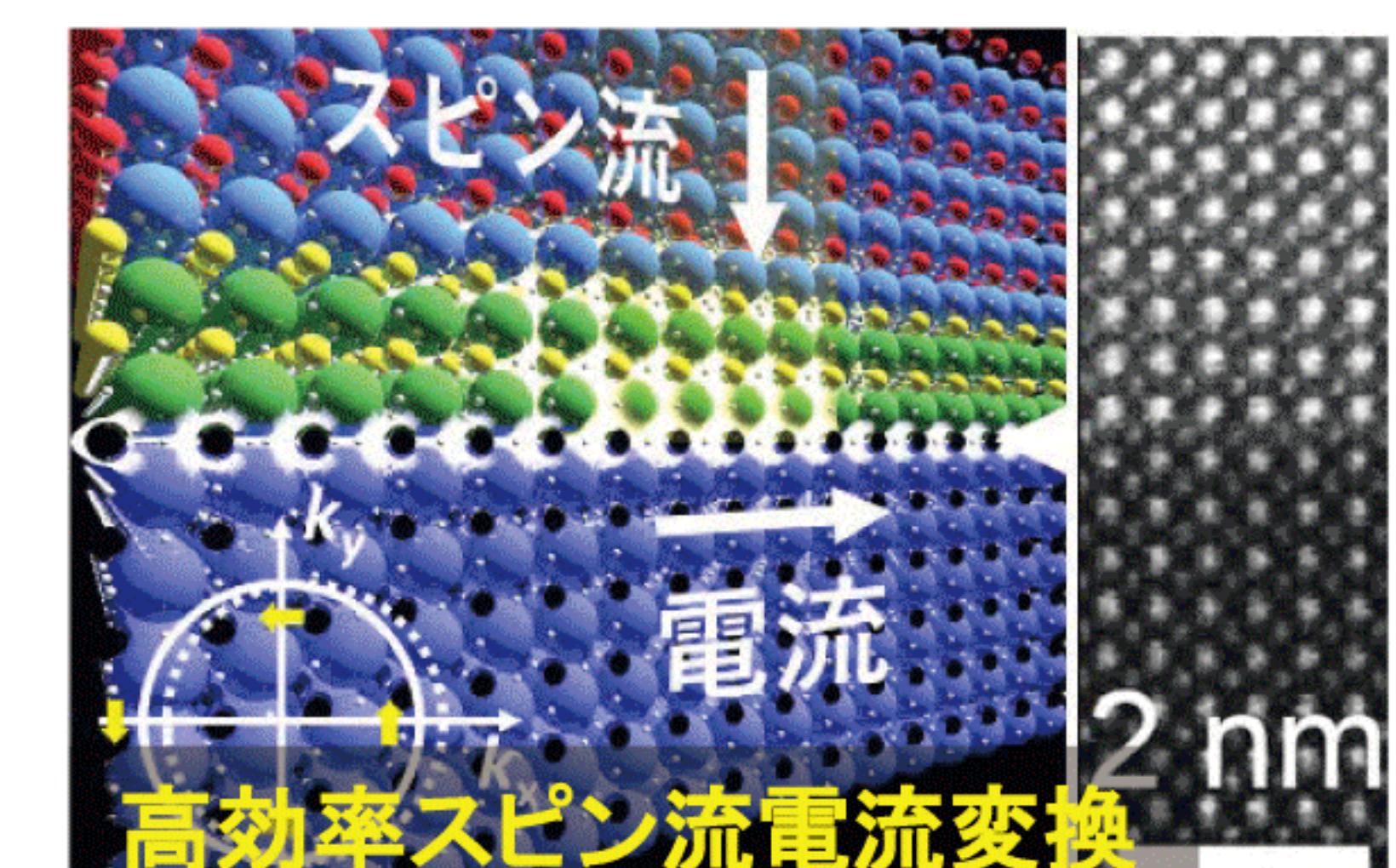
代表者・田中雅明は、現在、量子イニシアティブとナノ量子情報エレクトロニクス研究機構のメンバー、かつ
JST-CREST領域「量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出」の研究代表者



半導体量子井戸で、スピン秩序と
コヒーレント伝導の共存状態を実現



半導体量子井戸における
電子とスピンの相互作用制御



スピン流
電流
高効率スピン流電流変換
2 nm

Nature Comm. (2016).

Nature Phys. (2019).

Phys. Rev. Res. (2020).

4

波及効果、国の施策とコロナ後の社会構築への貢献

これまでの情報社会(4.0)

サイバー空間

クラウド

人がアクセスして情報を入手・分析



人がナビで検索して連絡



人が情報を分析・提案



人の操作によりロボットが生産

フィジカル空間

内部操作空間

Society 5.0

サイバー空間

ビッグデータ

量子計算、AI 人工知能

量子通信

センサー情報

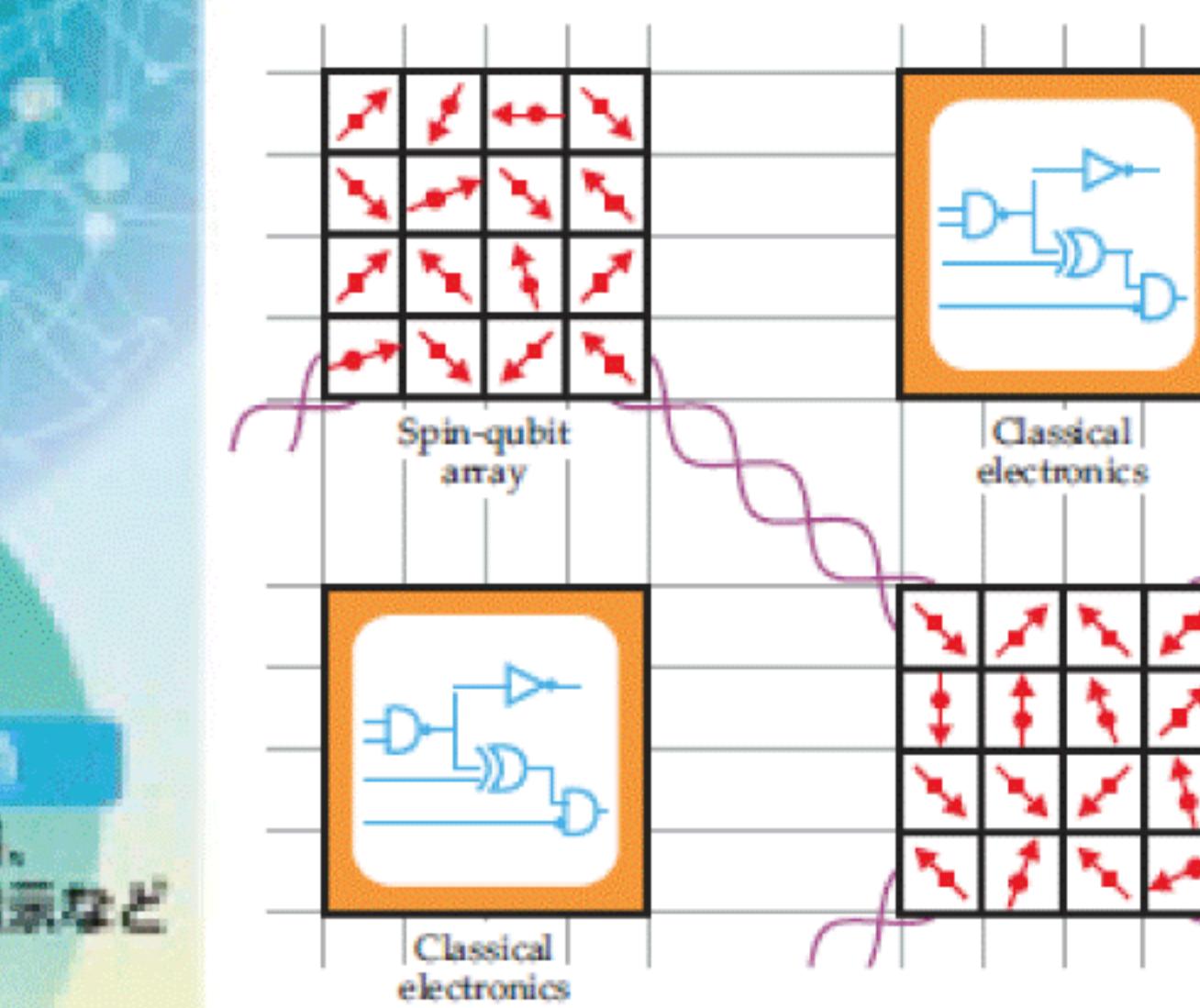
環境情報、機器の作動情報、人の情報などを収集

自動走行車で移動

AIが人に最高提案

フィジカル空間

古典・量子を融合したスピントロニクス



古典量子ハイブリッド回路

https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html

Society 5.0、ポストコロナ社会で必要とされる、どこからでもリモートで経済・教育・学術活動に取り組める社会の実現には、個人情報保護（秘匿性の担保）等も含めた情報処理基盤の構築・発展が必須。そのための古典・量子技術の融合を推進するのがスピントロニクス

耐災害社会の構築（電源喪失でも情報処理が保たれる社会）のため、バッテリー駆動する超低電力素子と電源なしでも情報が保たれる不揮発メモリー・ロジックが不可欠。その発展をもたらすのがスピントロニクス

5

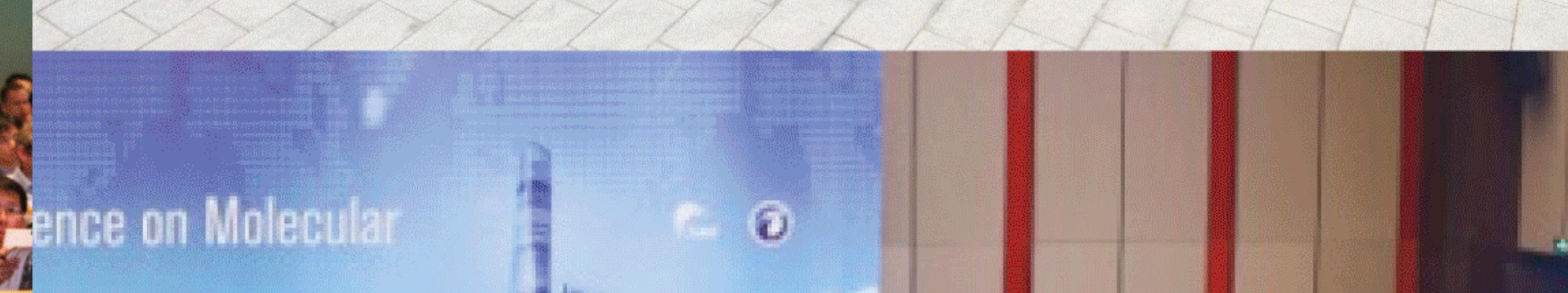
Spin-RNJ 国際会議の主催、共催、招待講演、派遣（多数あり）

Spintronics Workshop, Julich
Research Center, Julich, Germany,
August 13-15, 2018.



多くの若手研究者、大学院生が発表し、活発に議論、情報交換

Compound Semiconductor Week
(CSW2019), Nara, Japan, May 19-23, 2019.



20th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (IC-MBE2018),
Shanghai, China, September 2-7, 2018.

6



染谷研究室(Prof. Someya)

Someya Laboratory

URL:<http://www.ntech.t.u-tokyo.ac.jp>

学部

電気電子工学科

本郷

大学院

工学系・電気系工学専攻

工学部10号館3F320

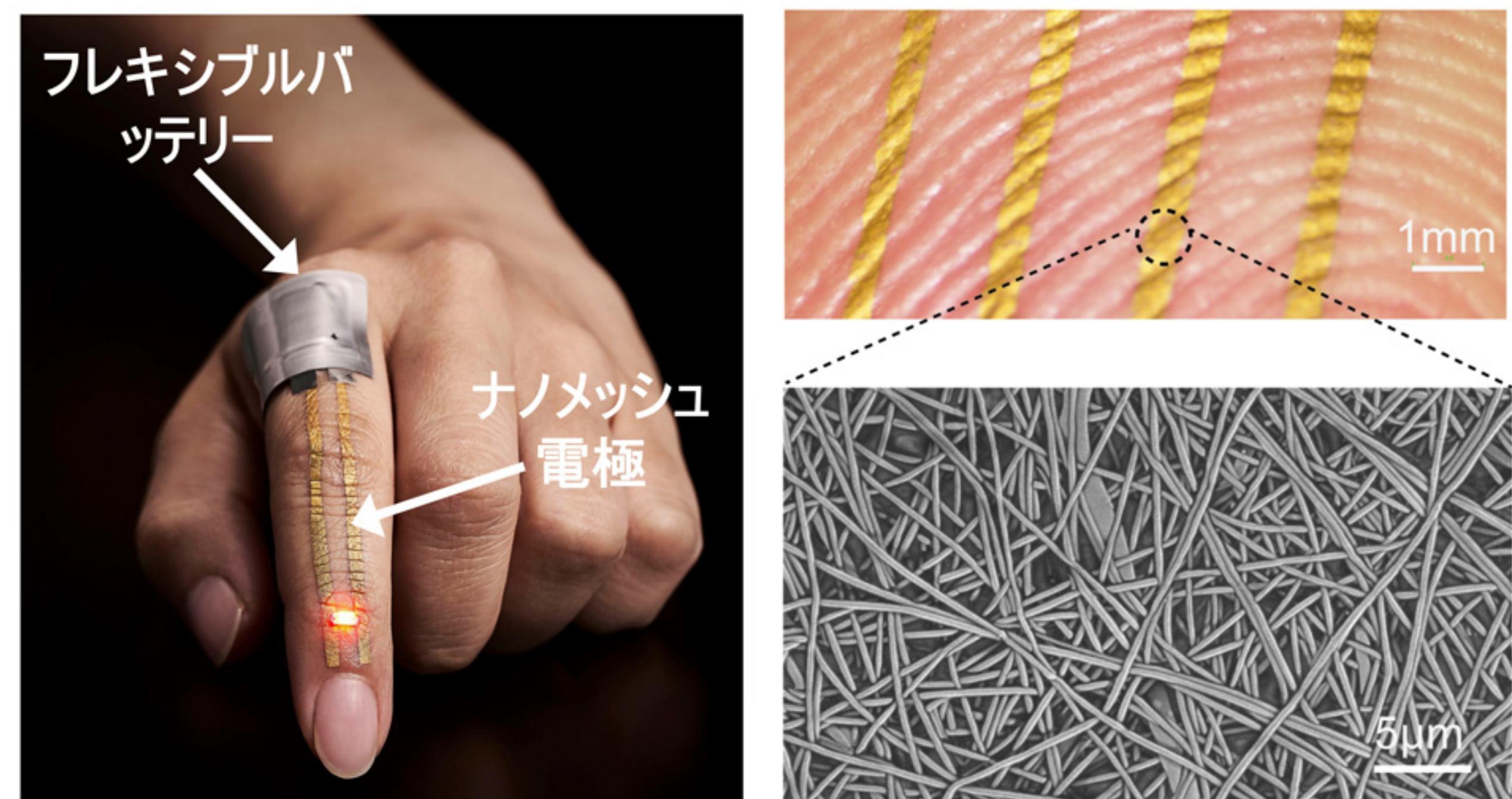
Bldg. Eng-10 3F Room 330

皮膚呼吸が可能な皮膚貼り付け型ナノメッシュセンサー

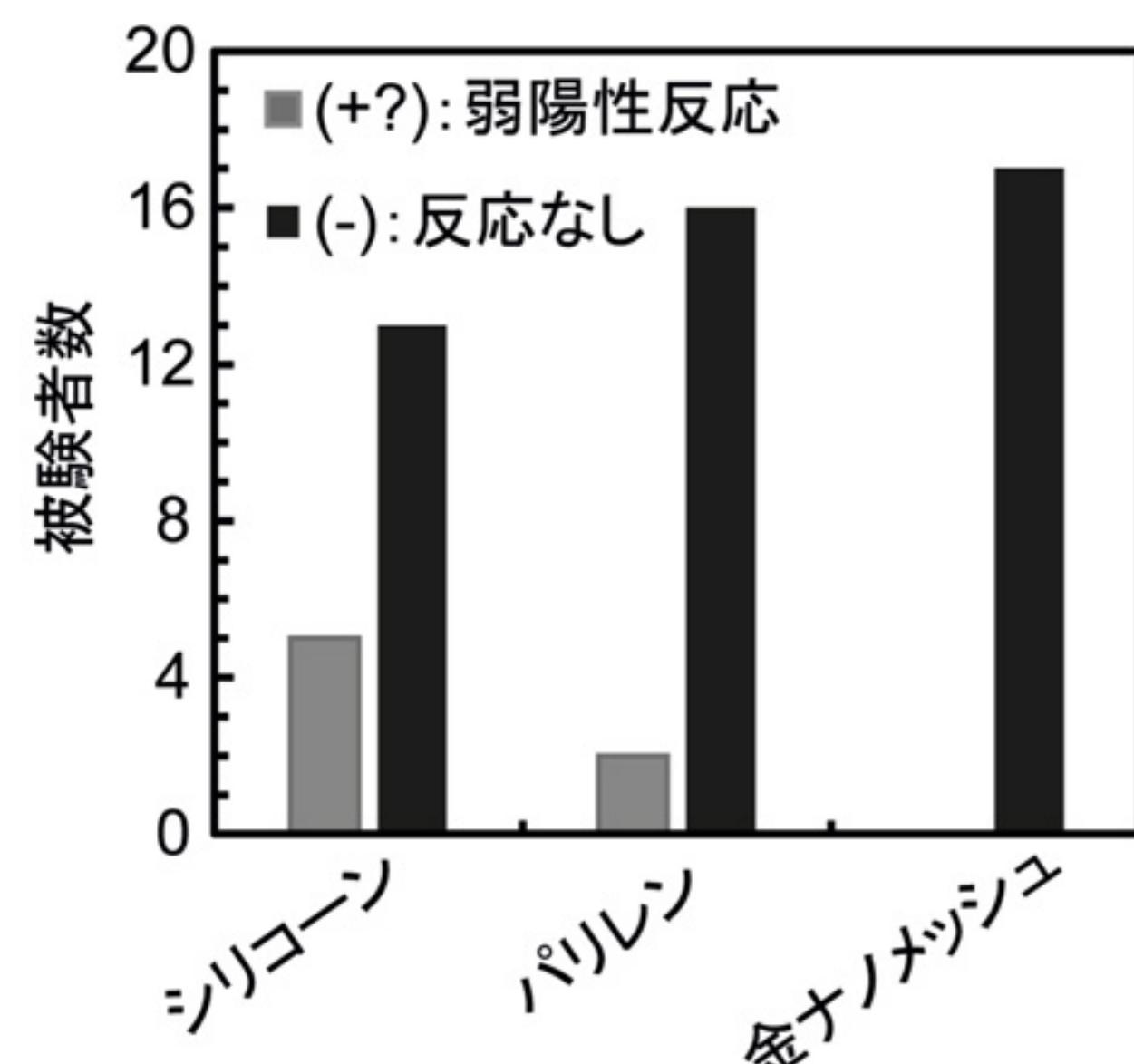
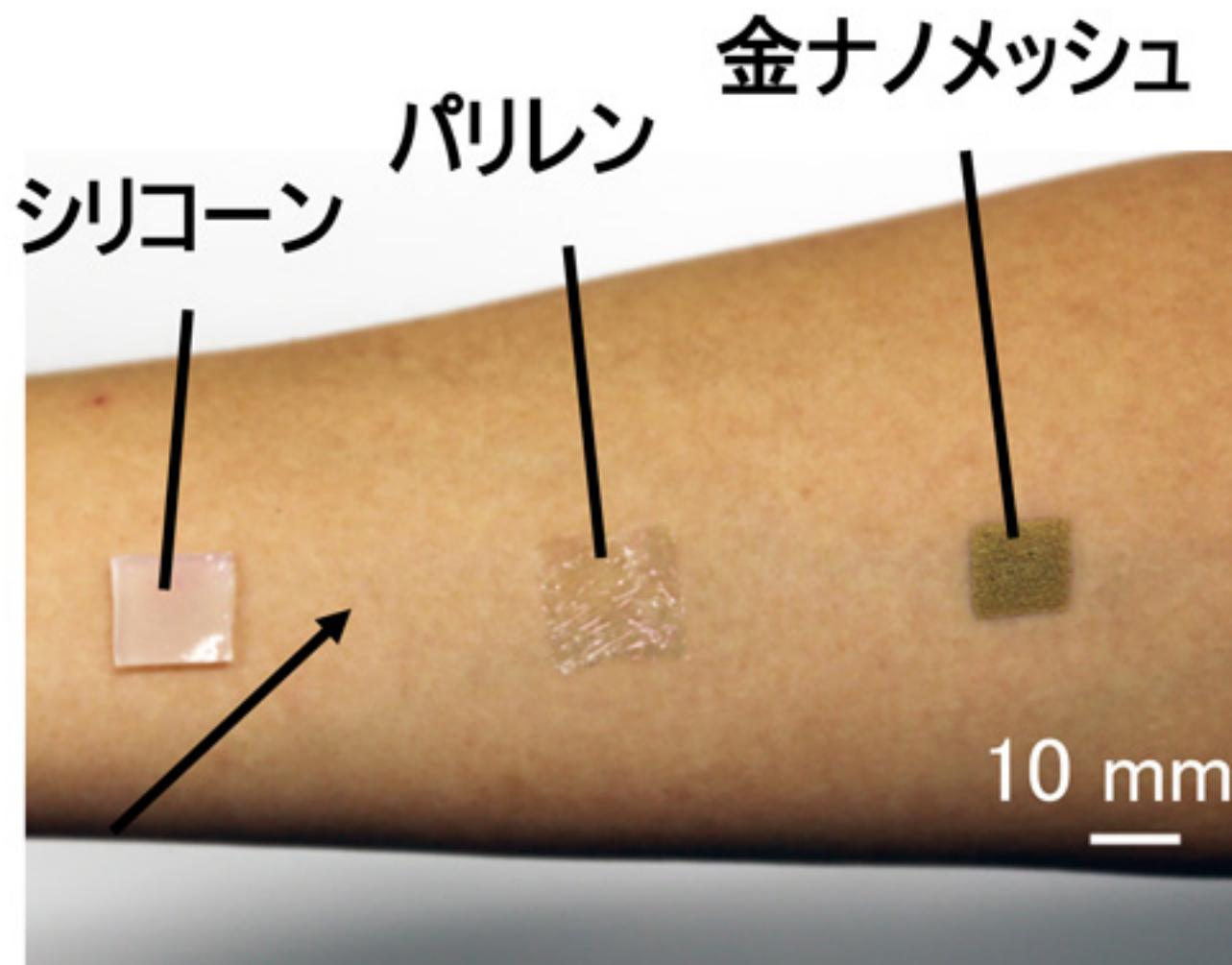
Nature Nanotechnology, Volume 12, pp. 907–913 (2017) DOI: 10.1038/NNANO.2017125

- 通気性と伸縮性を兼ね備えた皮膚貼り付け型ナノメッシュセンサーを生体適合性材料で開発することに成功しました。このセンサーは極薄かつ超軽量であるため、装着していることすらユーザーが感じる ことがなく、装着時の不快感がありません。
- 20名の被験者に対してパッチテスト(かぶれと皮膚アレルギー試験)を行ったところ、1週間連続して装着しても明らかな炎症反応を認めないことが確かめられました。
- 開発されたナノメッシュ電極を活用して、金属などの導体に触れたり、離したりしたときの抵抗変化や温度、圧力、筋電を計測しました。装着感のない生体情報計測手法として、将来、健康や医療、介護、スポーツへの応用が期待されています。

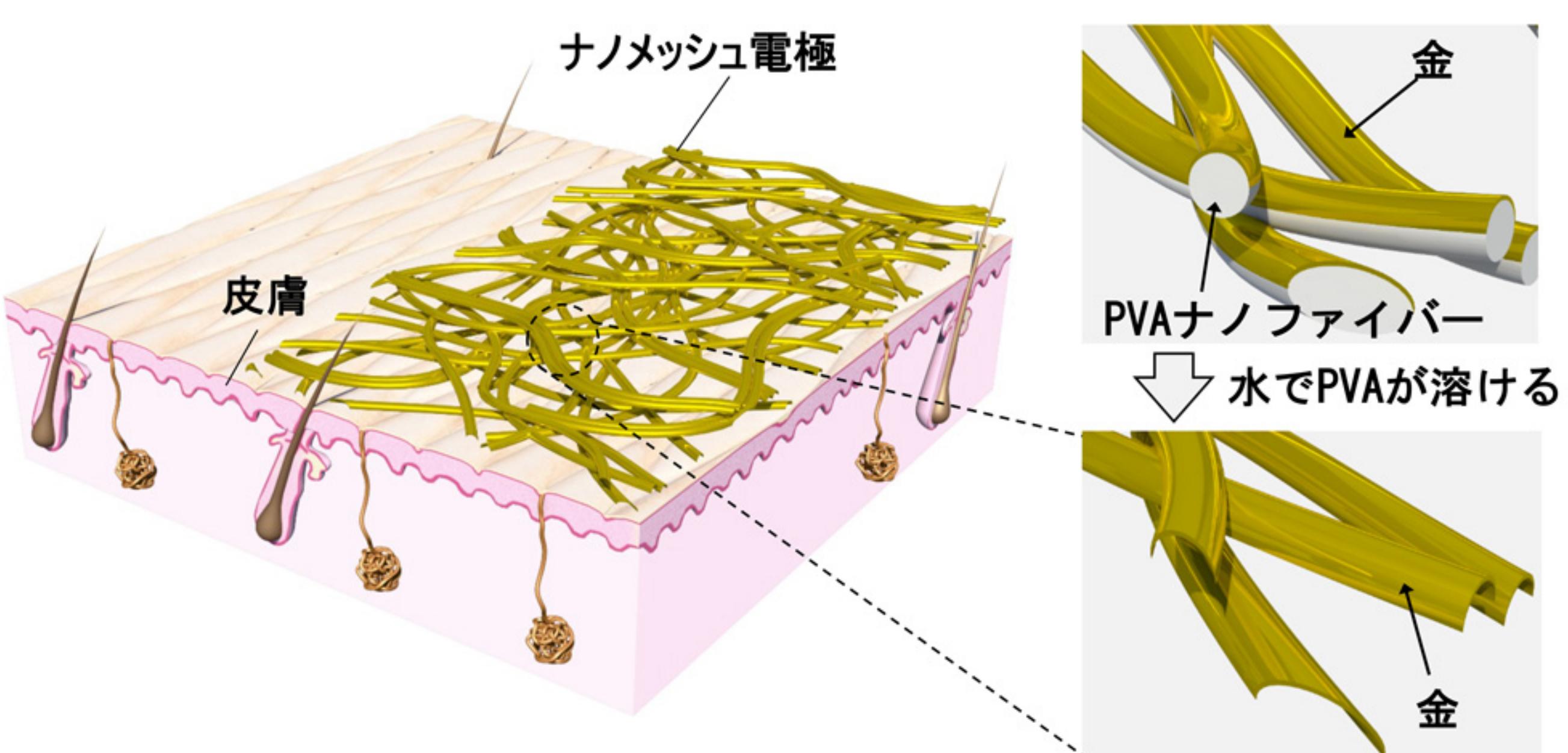
指先に金ナノメッシュ電極を装着



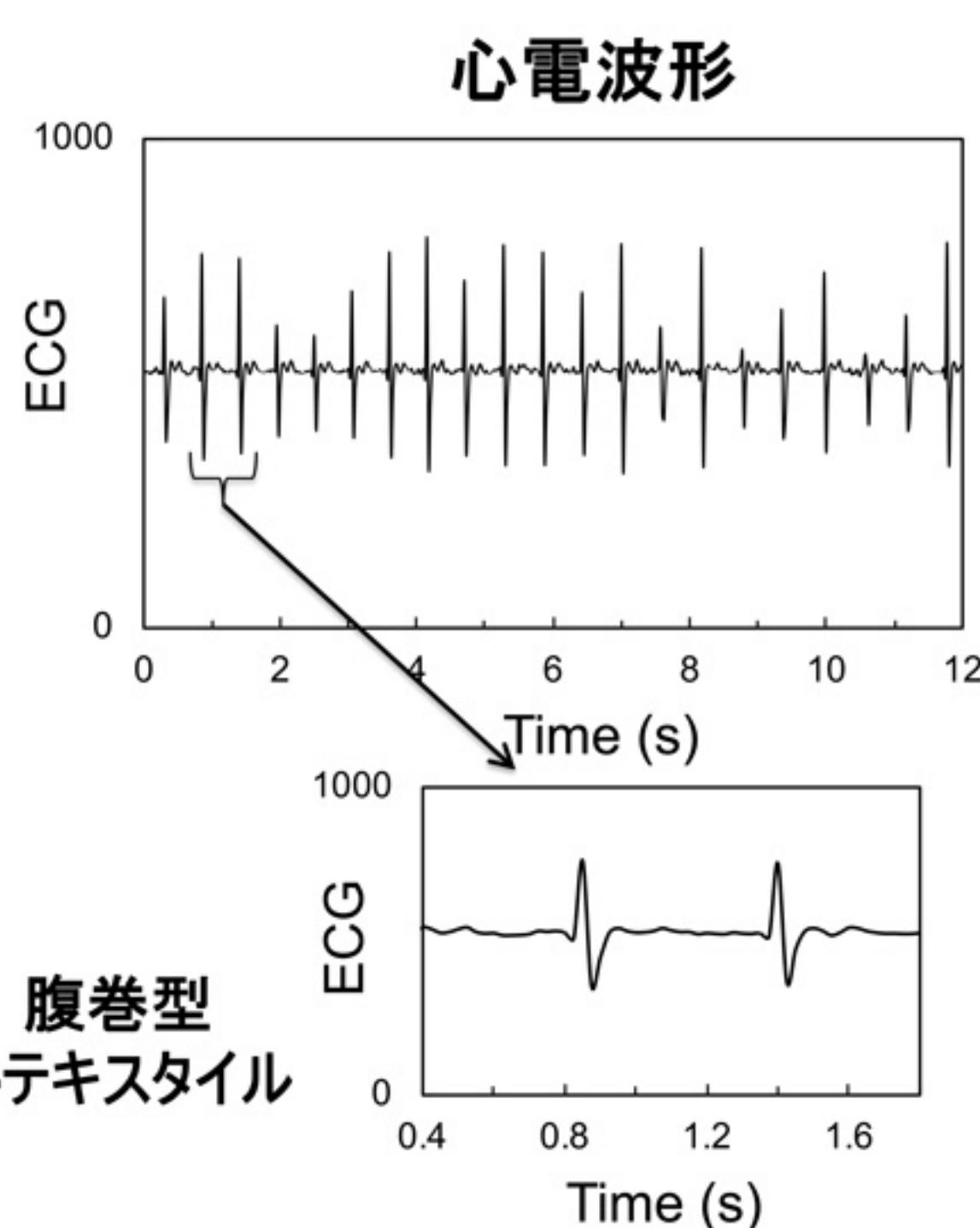
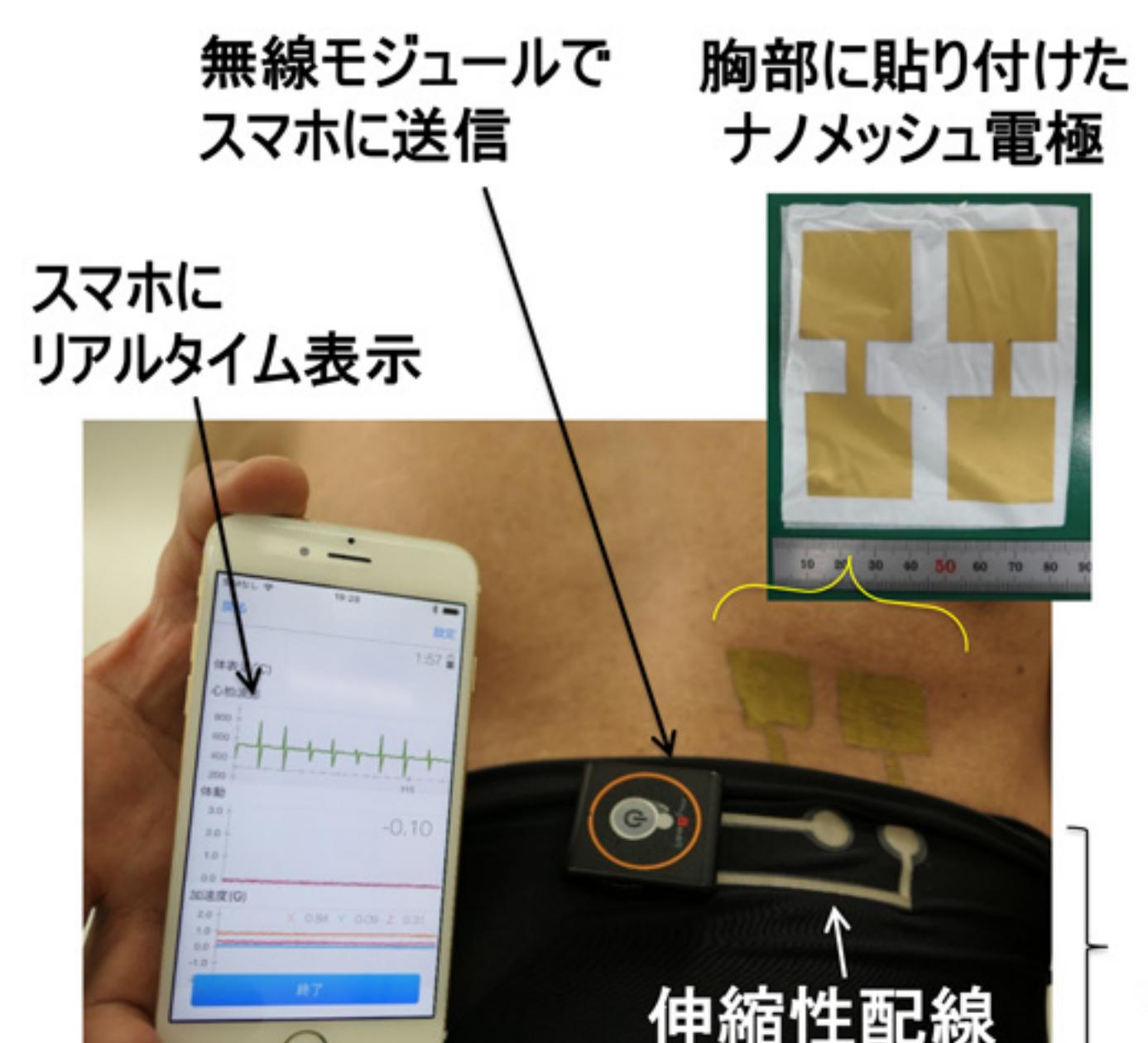
生体適合性試験



皮膚炎評価により、金ナノメッシュは弱陽性反応(+)を認めなかった。



ナノメッシュ構造の金が皮膚に貼り付く



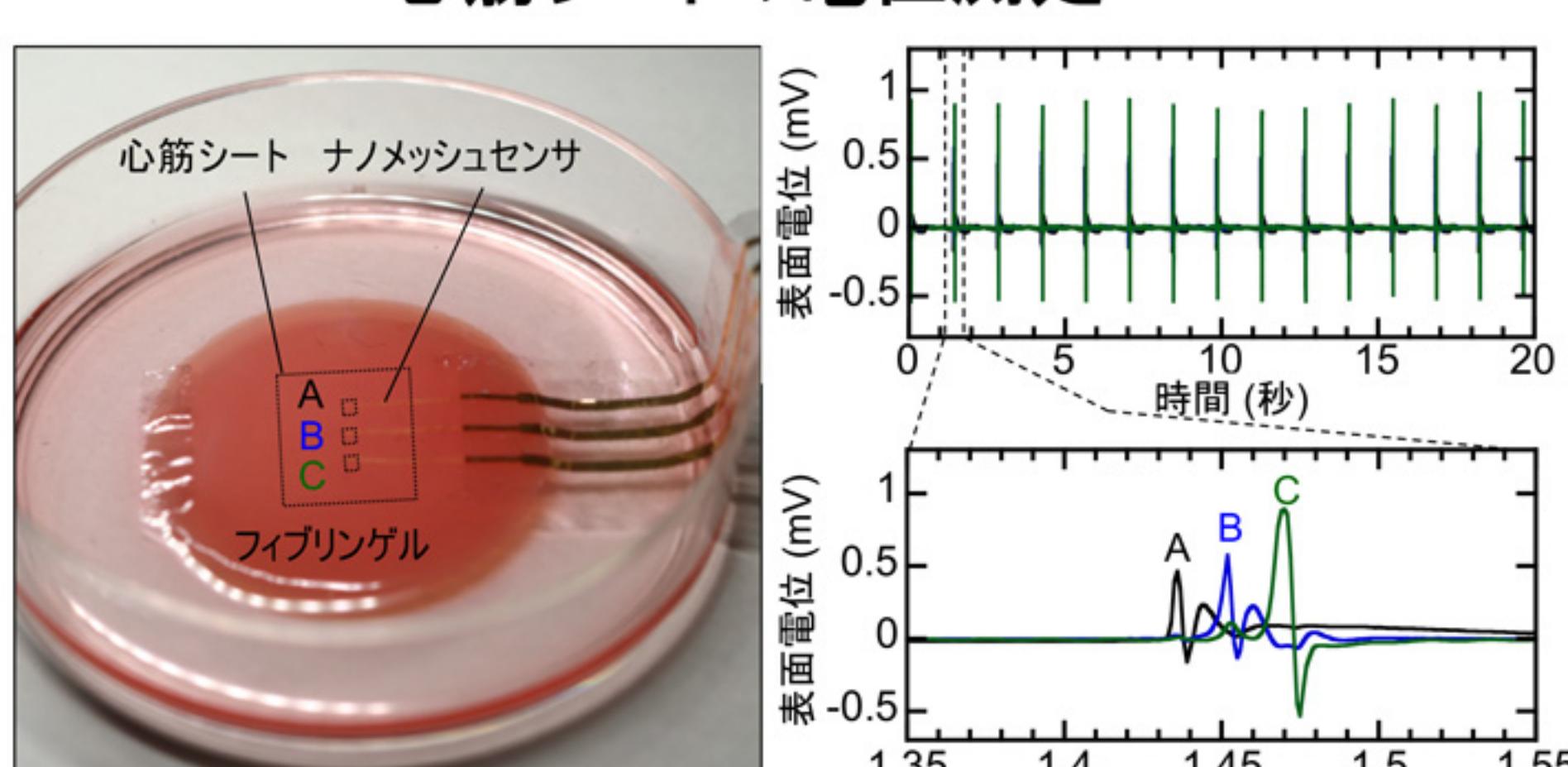
安定した心電波形をリアルタイムにモニタリング

超柔軟なナノメッシュセンサ

Nature Nanotechnology, Volume 14, pp. 156–160 (2019) DOI: 10.1038/s41565-018-0331-8

- 数層のナノファイバーからなるナノメッシュ構造を電極に応用し、細胞とほぼ同様な柔らかさを持つセンサーの開発に成功しました。
- ダイナミックに拍動するヒトiPS細胞由来心筋細胞シートに直に接触させ、拍動を阻害せずに表面電位の長時間の計測に成功しました。
- 今後、創薬分野において、実際に近い模擬環境で薬物反応を評価できるため、創薬への応用や心筋細胞・組織の成熟度を定量的に評価する手法に活用できることが期待されます。

心筋シートの電位測定



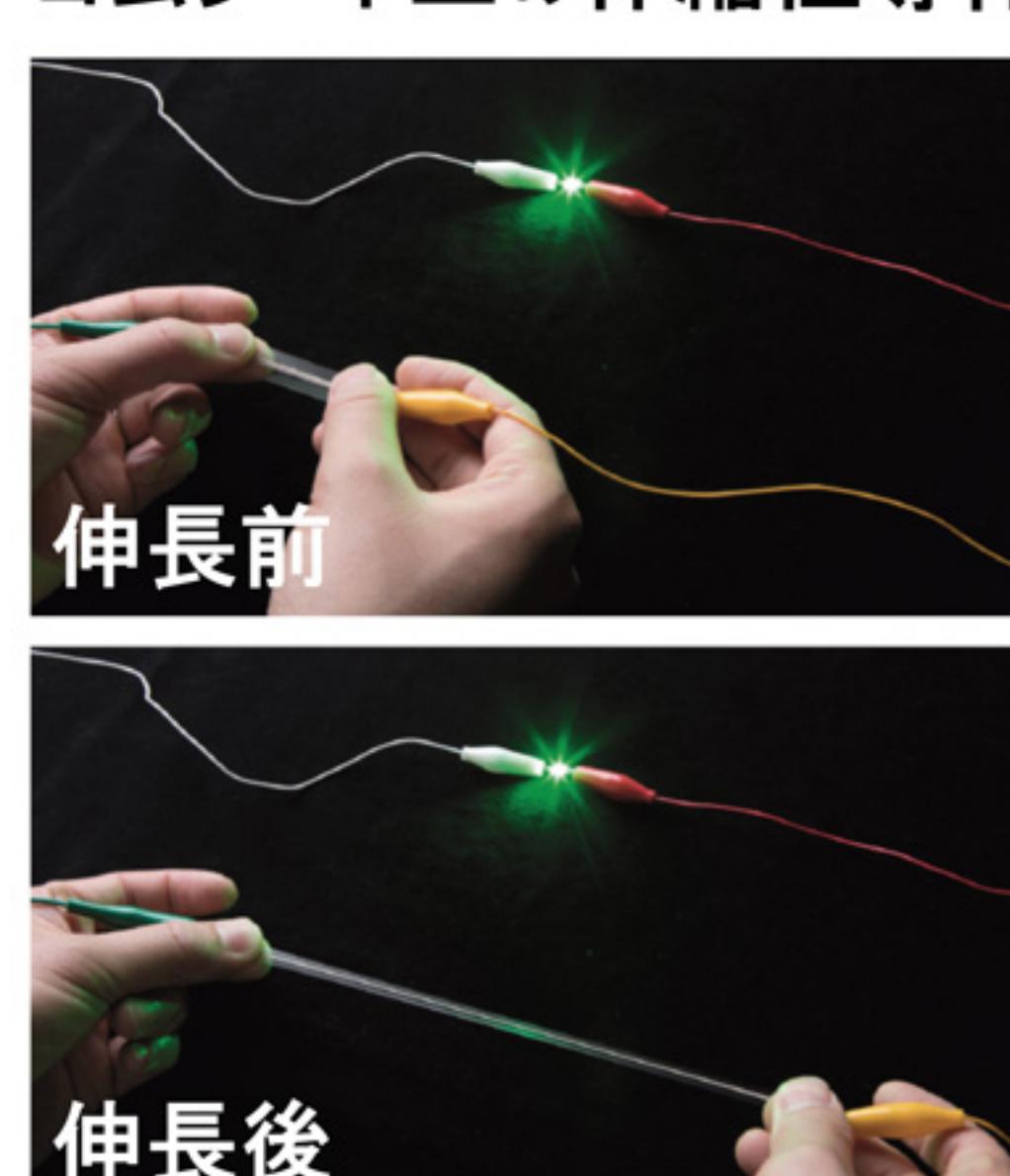
拍動する心筋シートの動きを妨げずに、電位の測定に成功

世界最高性能の伸縮性導体

Nature Materials, Volume 16, pp. 834–840 (2017) / DOI: 10.1038/NMAT404

- 印刷ができる伸縮性の配線で、元の長さの5倍の長さに伸ばしても世界最高の導電率(935 S/cm)を実現しました。
- ゴムにマイクロメートル寸法の銀フレークを混ぜるだけで、ナノメートル寸法の銀の粒子がゴム中に均一に自然に発生する現象を発見し、新素材が実現されました。
- 伸縮性の配線を活用して圧力や温度のセンサーがテキスタイルの上に簡単に形成できるようになり、スポーツウェアやロボットへの応用が期待されます。

ゴムシート上の伸縮性導体



手袋に形成された伸縮性センサ



指先で圧力を検知し、圧力に応じて LEDの明るさが変わる

フレキシブルエレクトロニクスの 生体・医療応用

有機エレクトロニクスの生体・医療デバイス応用に関する研究を日々行っています。国内外の多くの研究グループ(化学者、物理学者、お医者さん、企業)と積極的に共同研究を行っています。



杉山 研究室 (Prof. M. Sugiyama)

Semiconductor Energy Devices & Systems

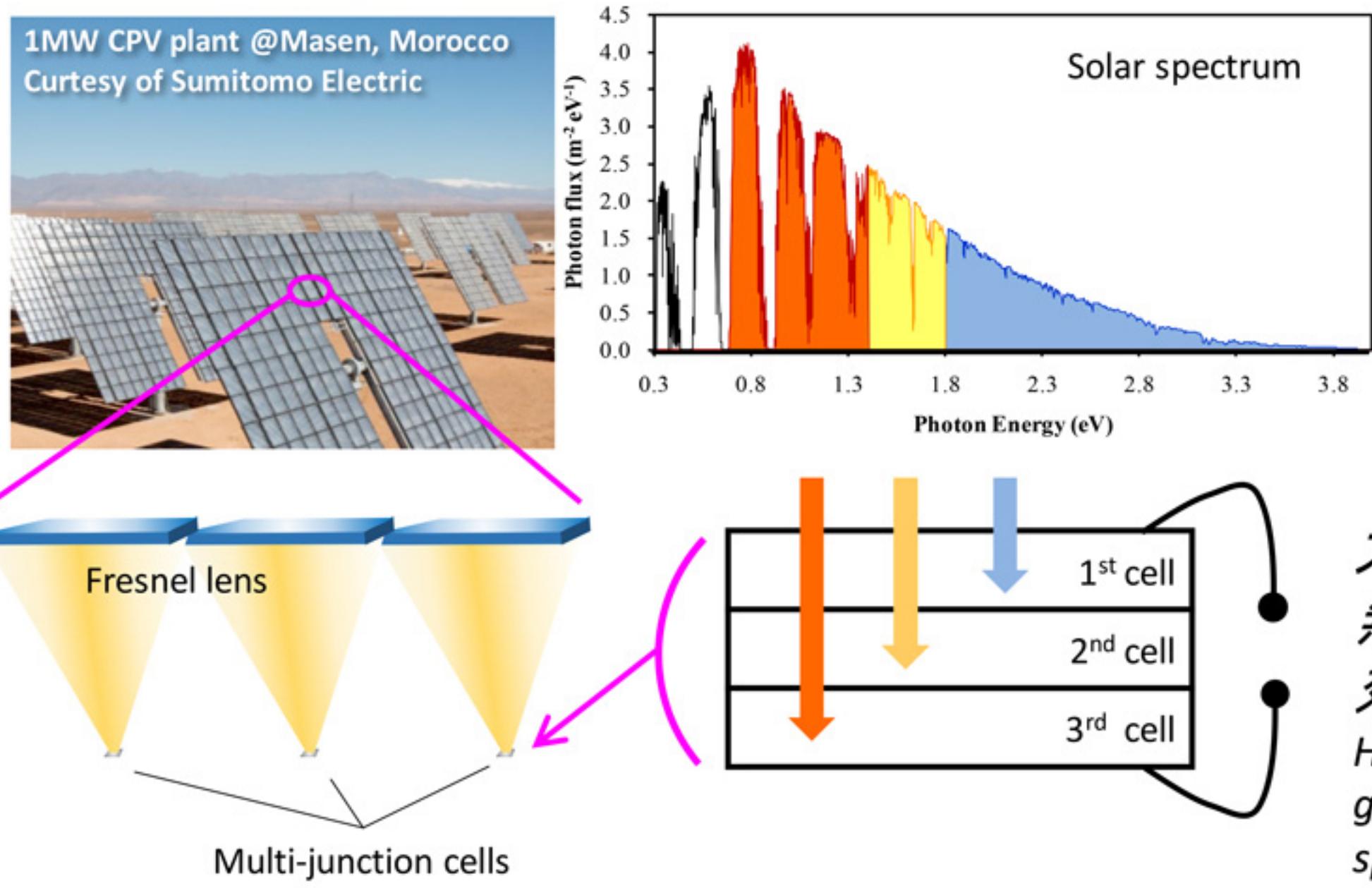
URL:<http://www.ee.t.u-tokyo.ac.jp/~sugiyama/>

駒場II先端研3s-459他
Komaba II RCAST 3s-459

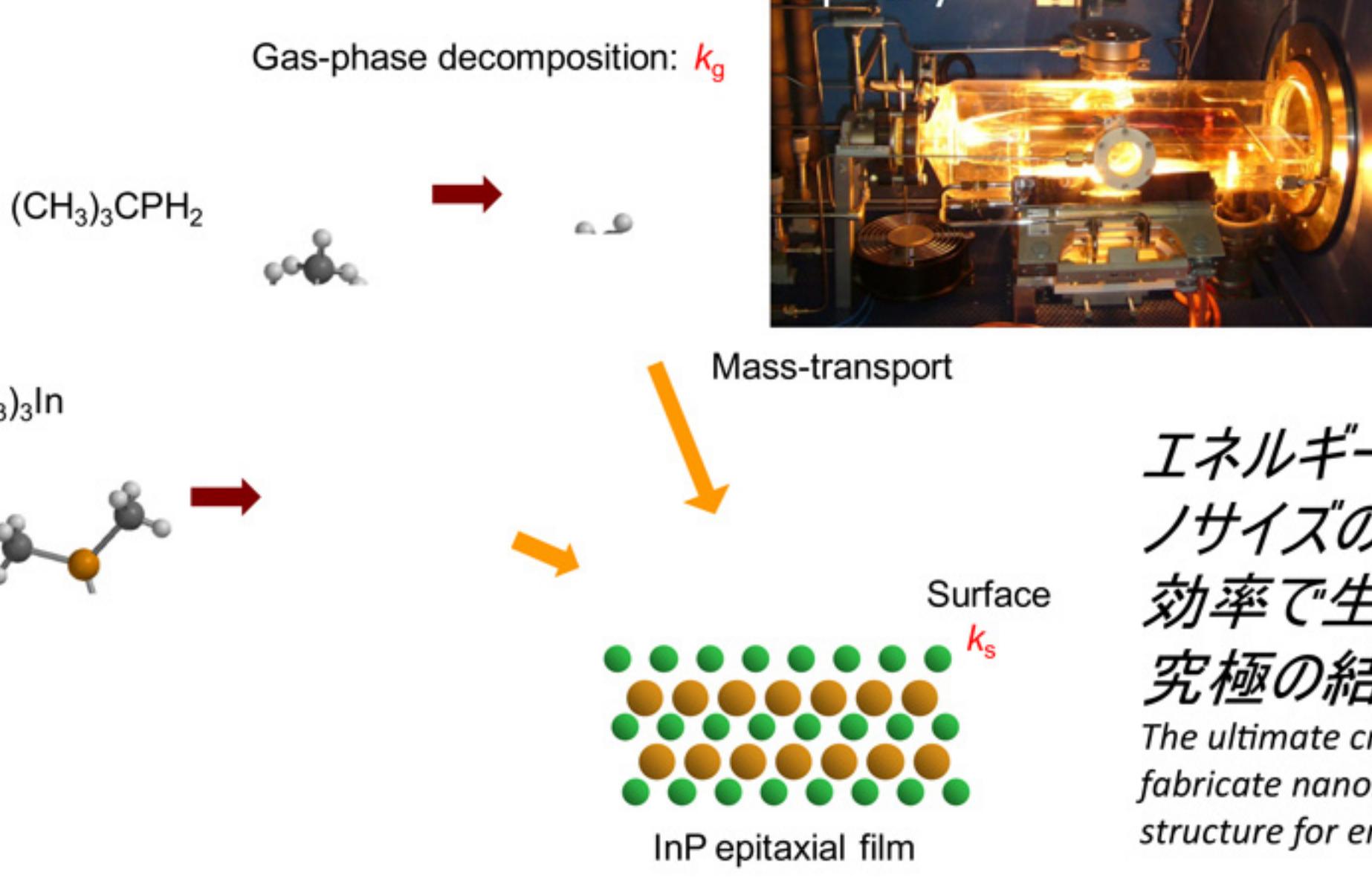
エネルギー問題を解決する半導体デバイス ～ナノエピタキシャル成長とナノ加工によるアプローチ～

集光型多接合太陽電池

Concentrator multi-junction solar cells



有機金属気相成長 (MOVPE)

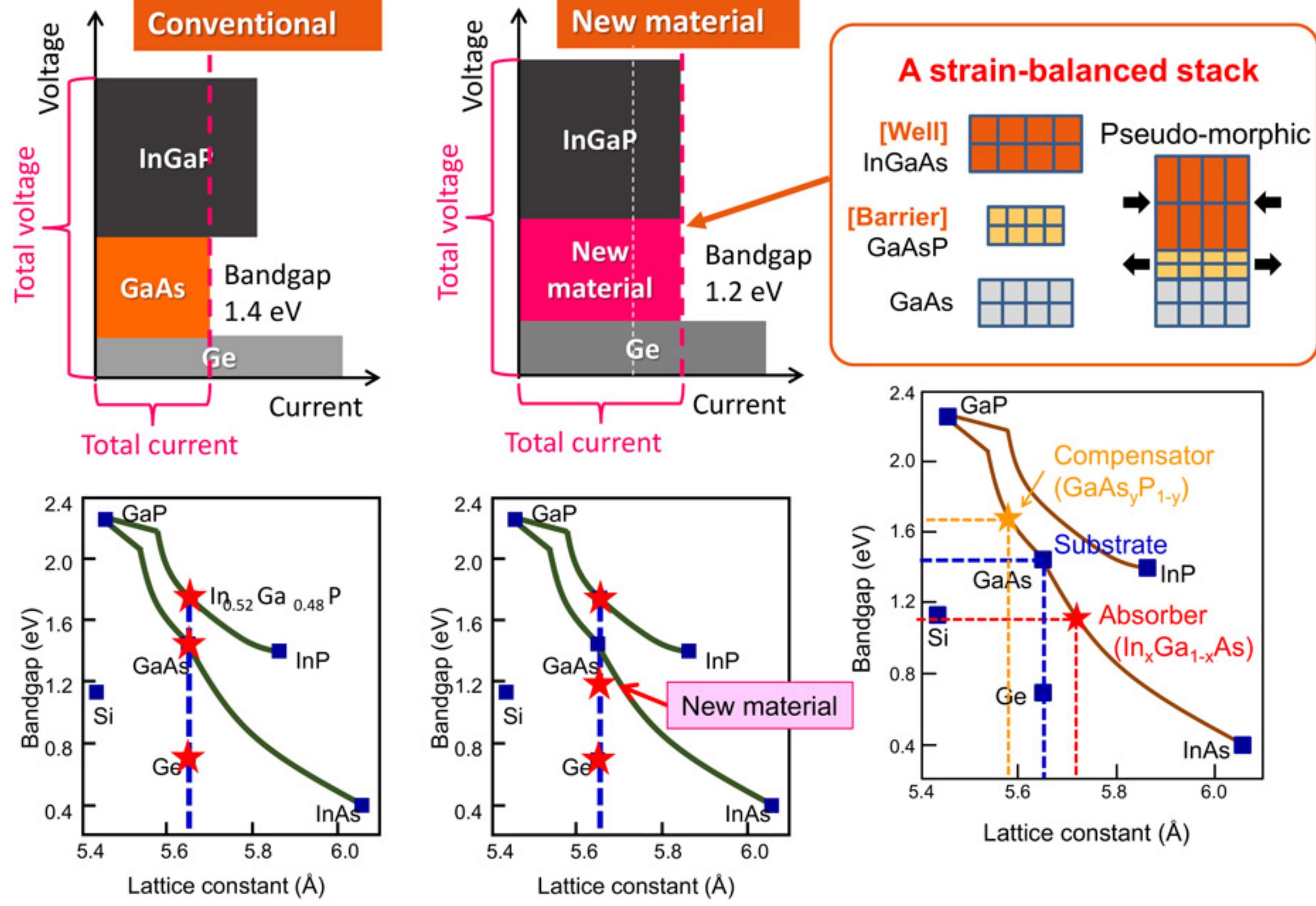


エネルギーデバイスに求められるナノサイズの半導体結晶構造を高効率で生産できる究極の結晶成長技術

The ultimate crystal growth technology which can fabricate nanometer-scale semiconductor epitaxial structure for energy devices applications.

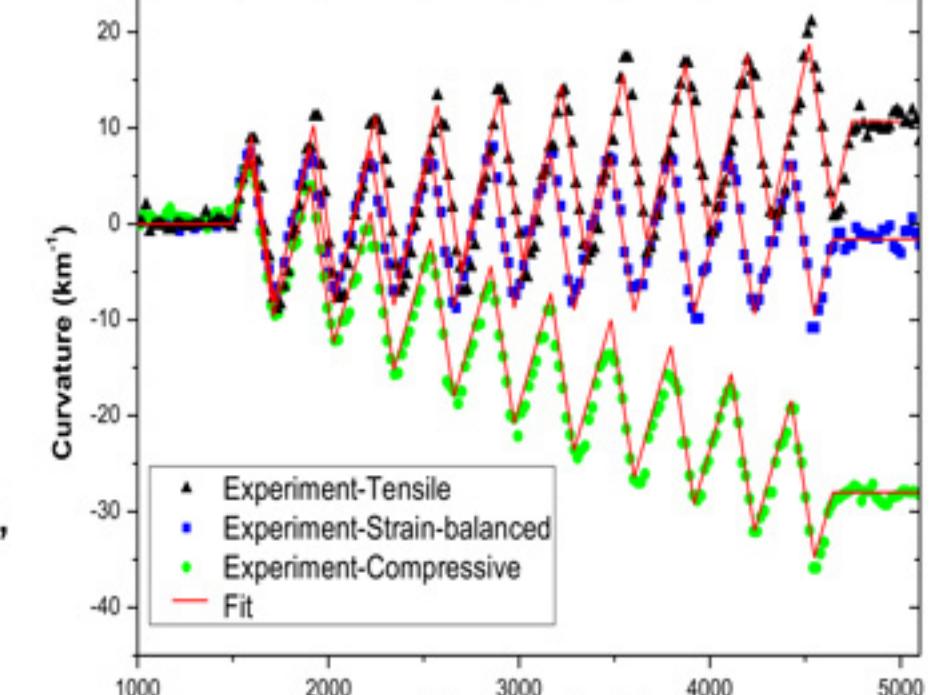
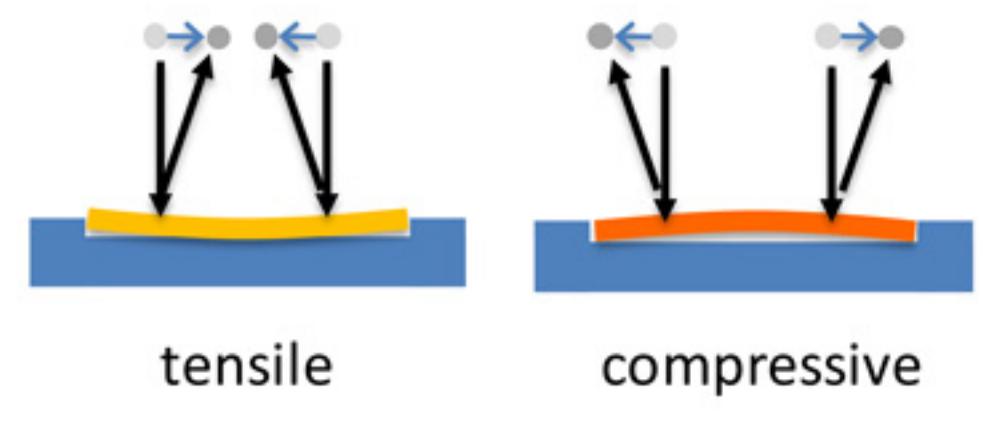
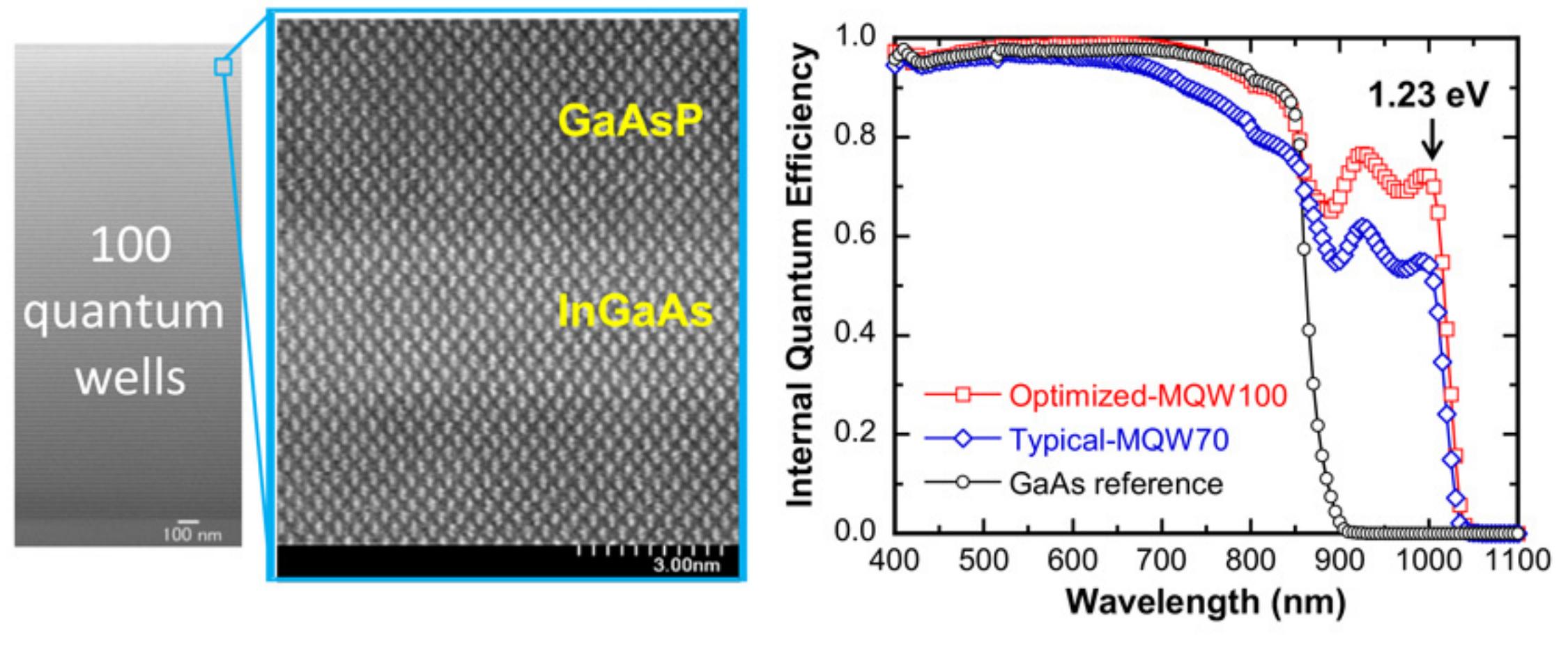
量子井戸による多接合太陽電池の高効率化

Efficiency enhancement of multi-junction solar cells using quantum wells



InGaAs/GaAsP歪み補償量子井戸により、結晶成長に必要な格子整合を保ちつつ、ミドルセルに最適なバンドギャップ1.2 eVが得られる。

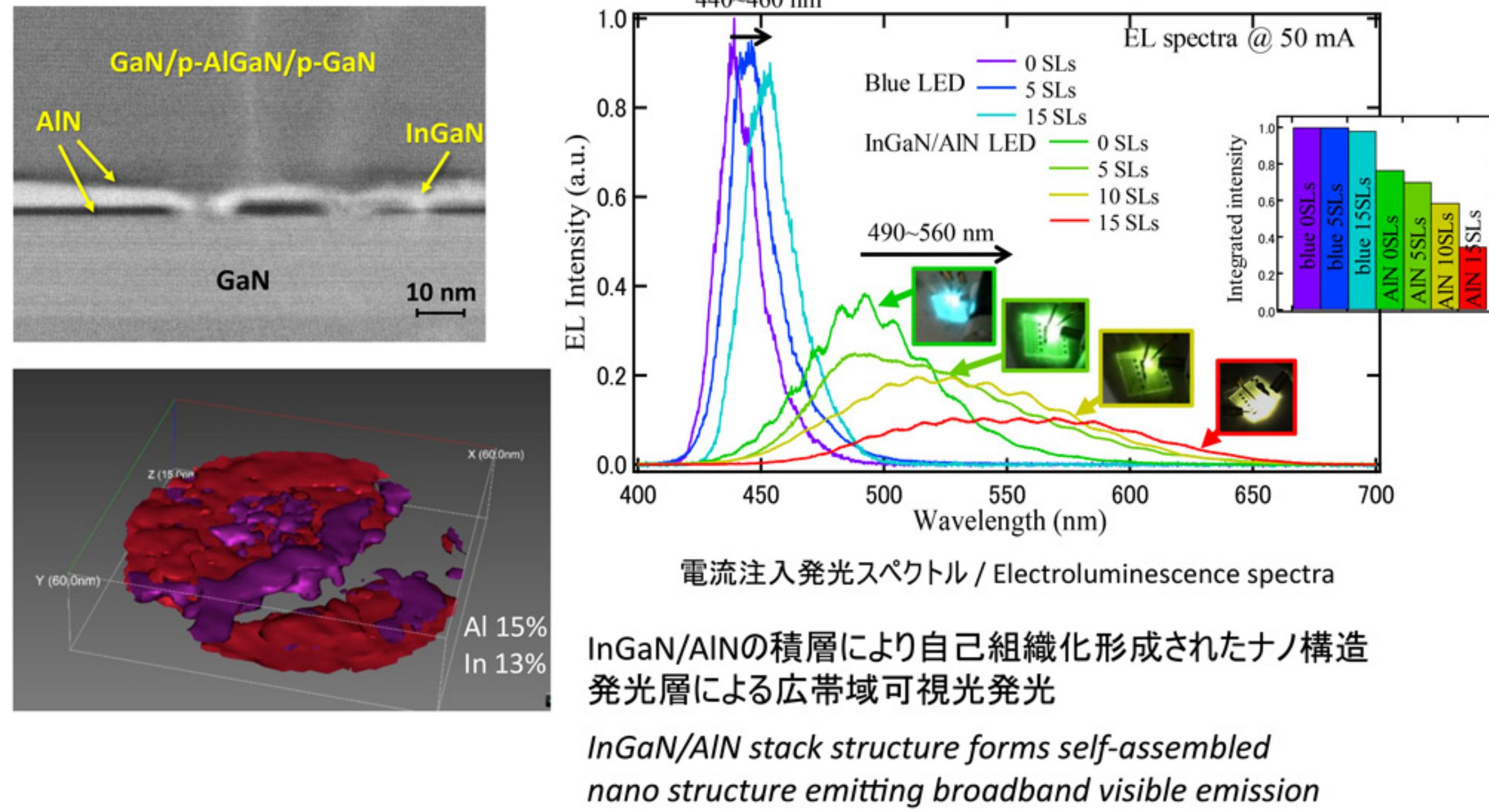
InGaAs/GaAsP strain-balanced quantum wells tunes the bandgap to 1.2 eV with lattice matching to GaAs host, making the middle cell suitable to a current matched 3 junction cell.



結晶成長中の層にかかる歪みを、その場観察することで、精緻な歪み補償による良質な結晶成長が可能。
In situ monitoring of the stress in the crystal layer under growth enables high-quality crystal growth with exact strain compensation by quantum wells.

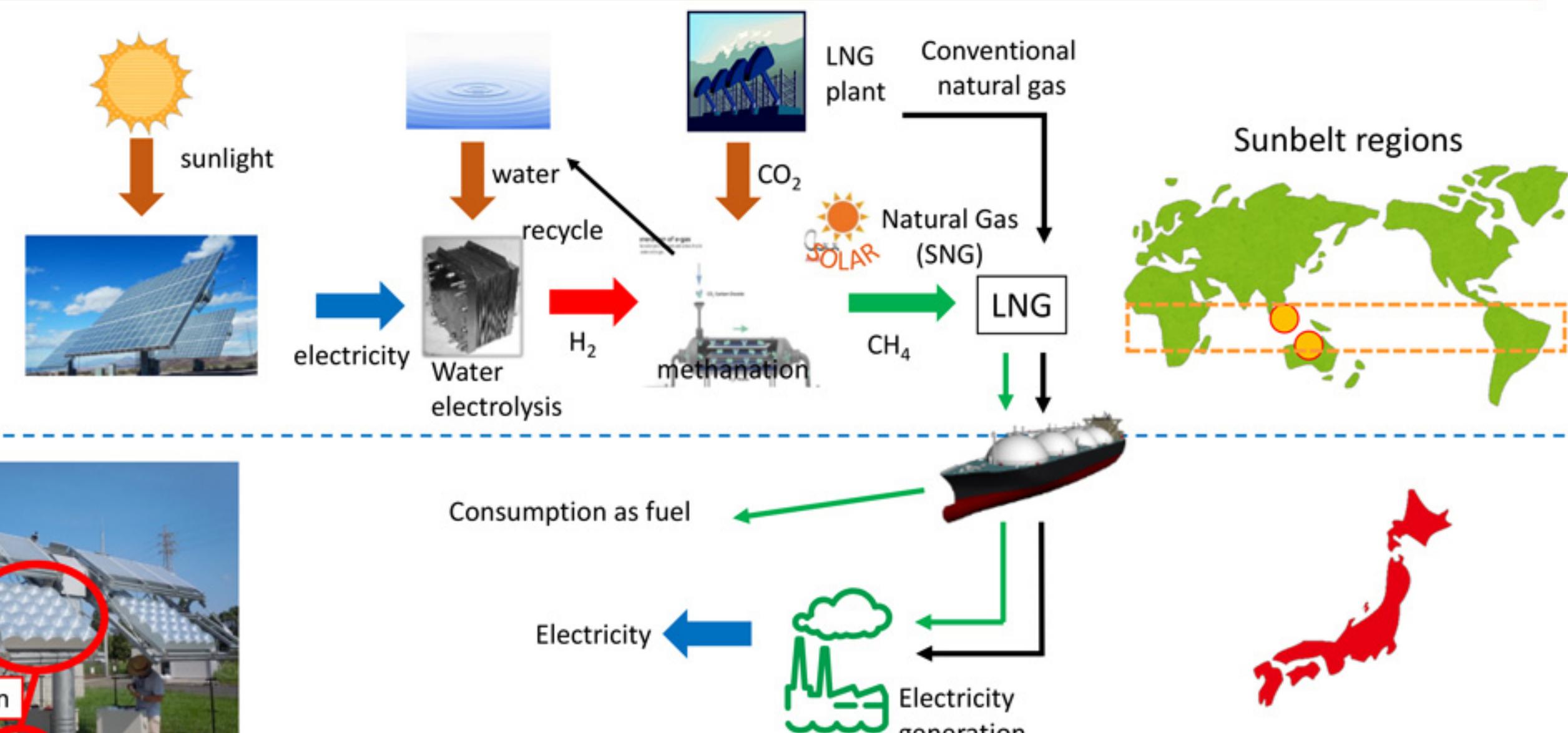
蛍光体を用いない白色発光LED

Chip-white LED without phosphors

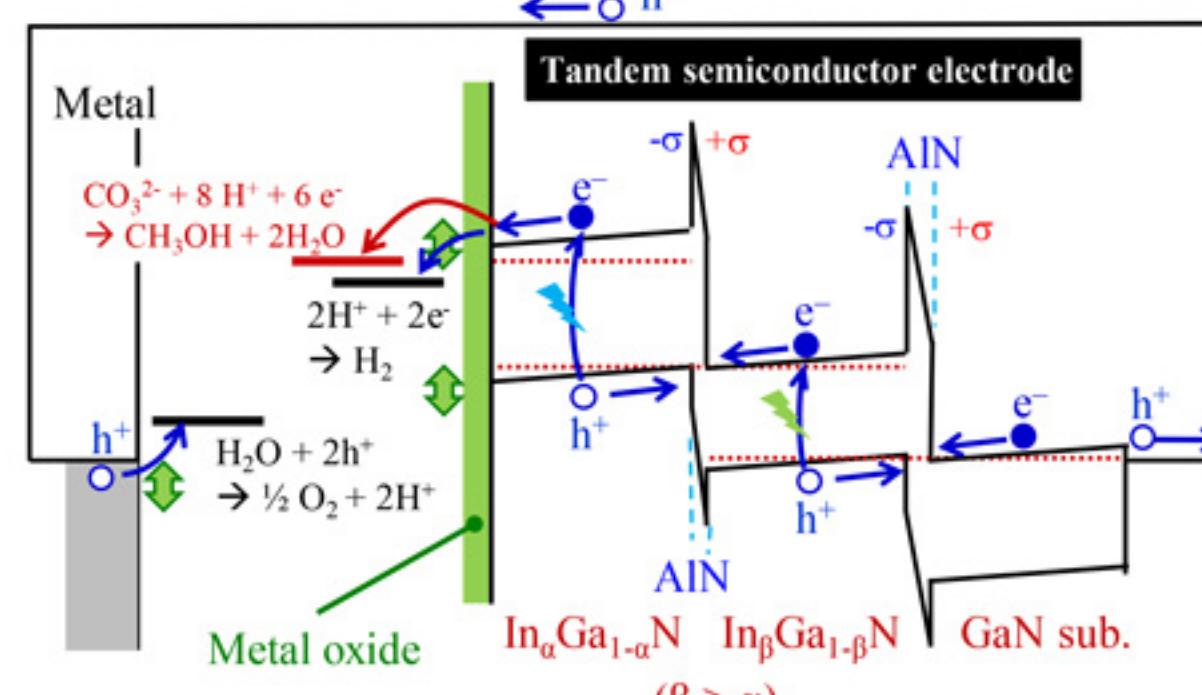


超高効率太陽電池を用いたエネルギー貯蔵

Energy storage using ultra-high-efficiency solar cells



太陽光水素とCO₂のメタン化反応を組み合わせた太陽光燃料製造
Solar-fuel production combining solar hydrogen and CO₂ methanation

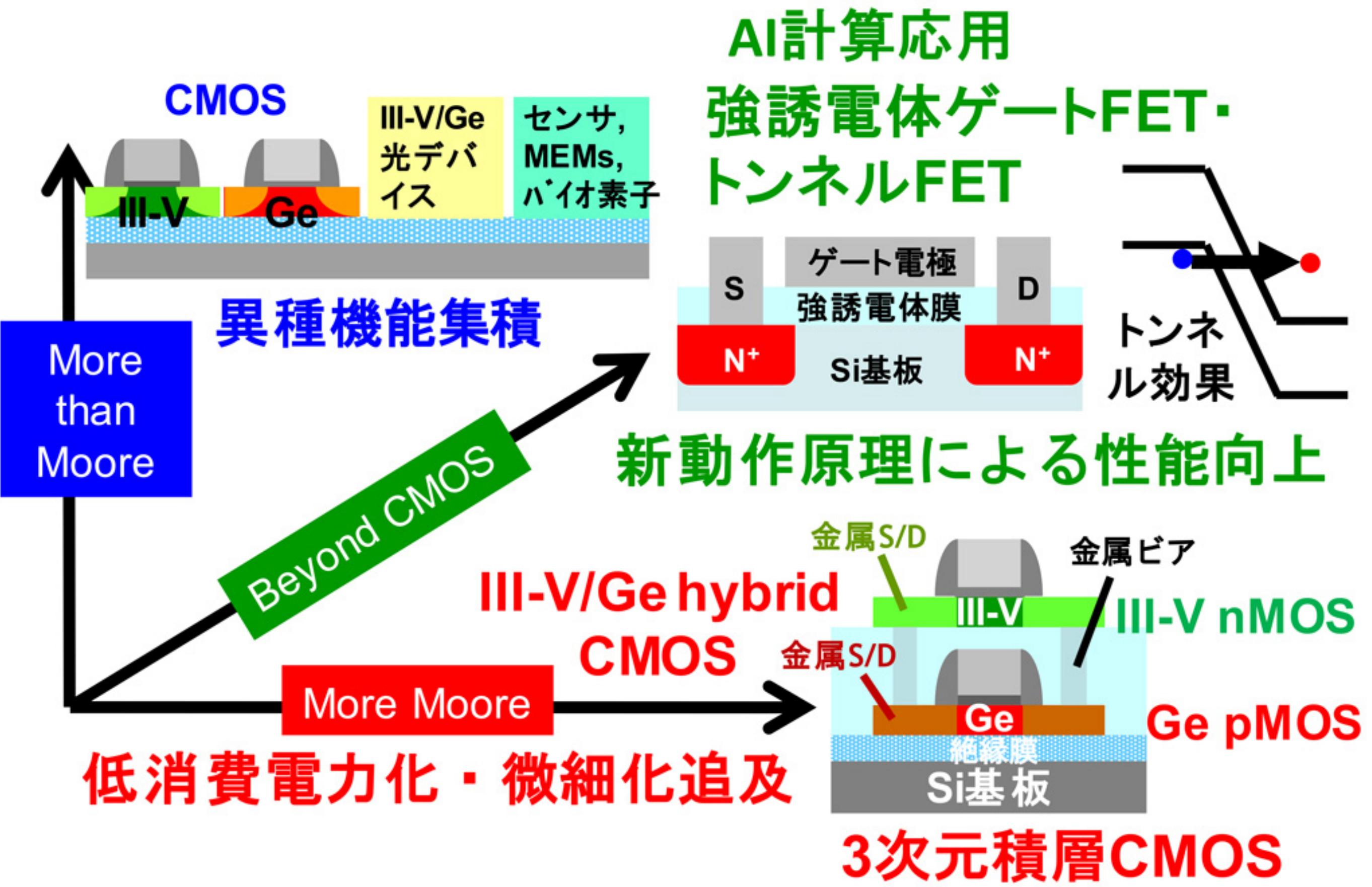


窒化物半導体分極制御構造によるCO₂還元光電極
CO₂ reduction photoelectrode using polarization-engineered nitride semiconductor structure



研究目的

異種材料集積で切り拓く超低消費電力CMOS半導体デバイス



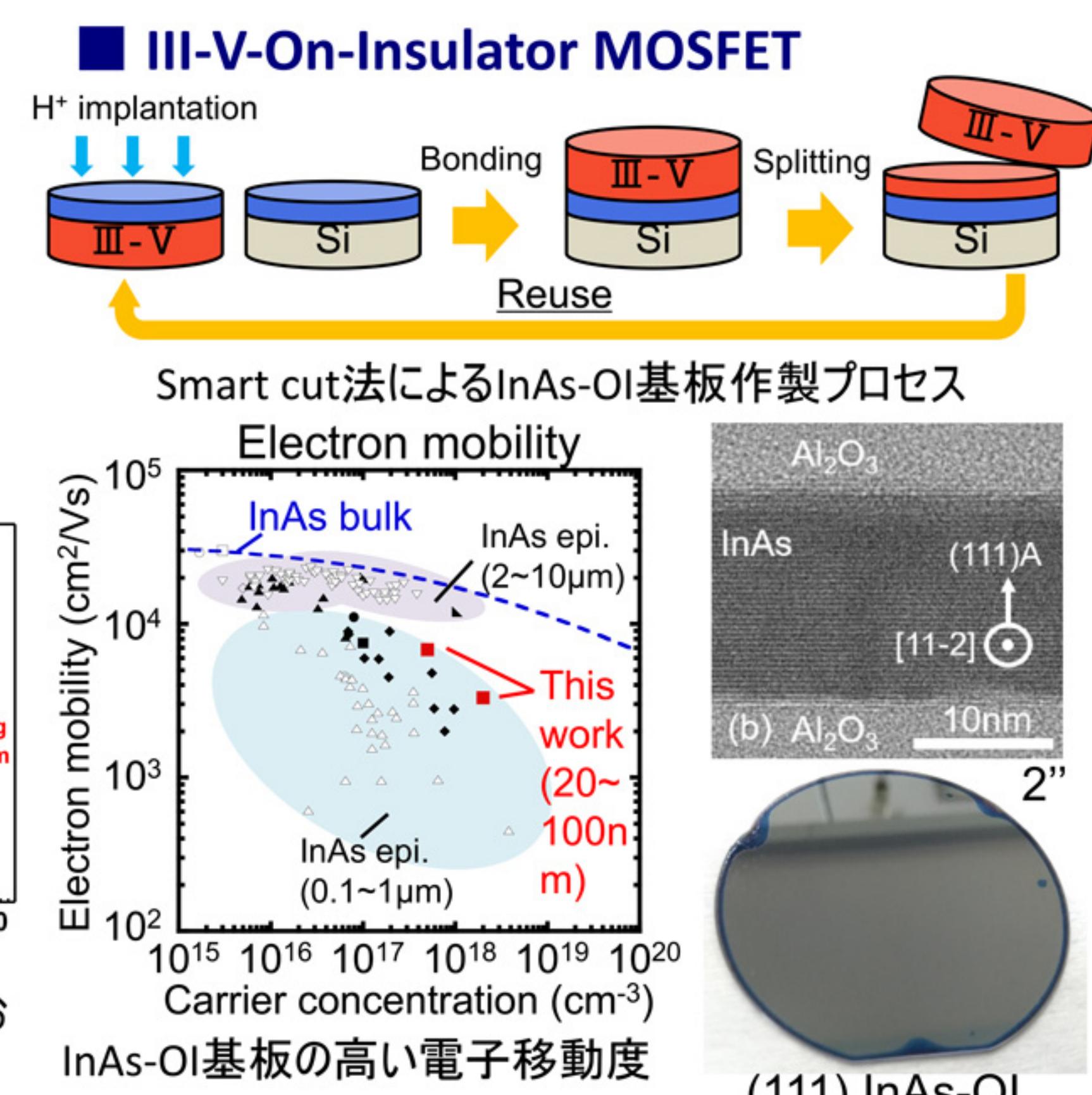
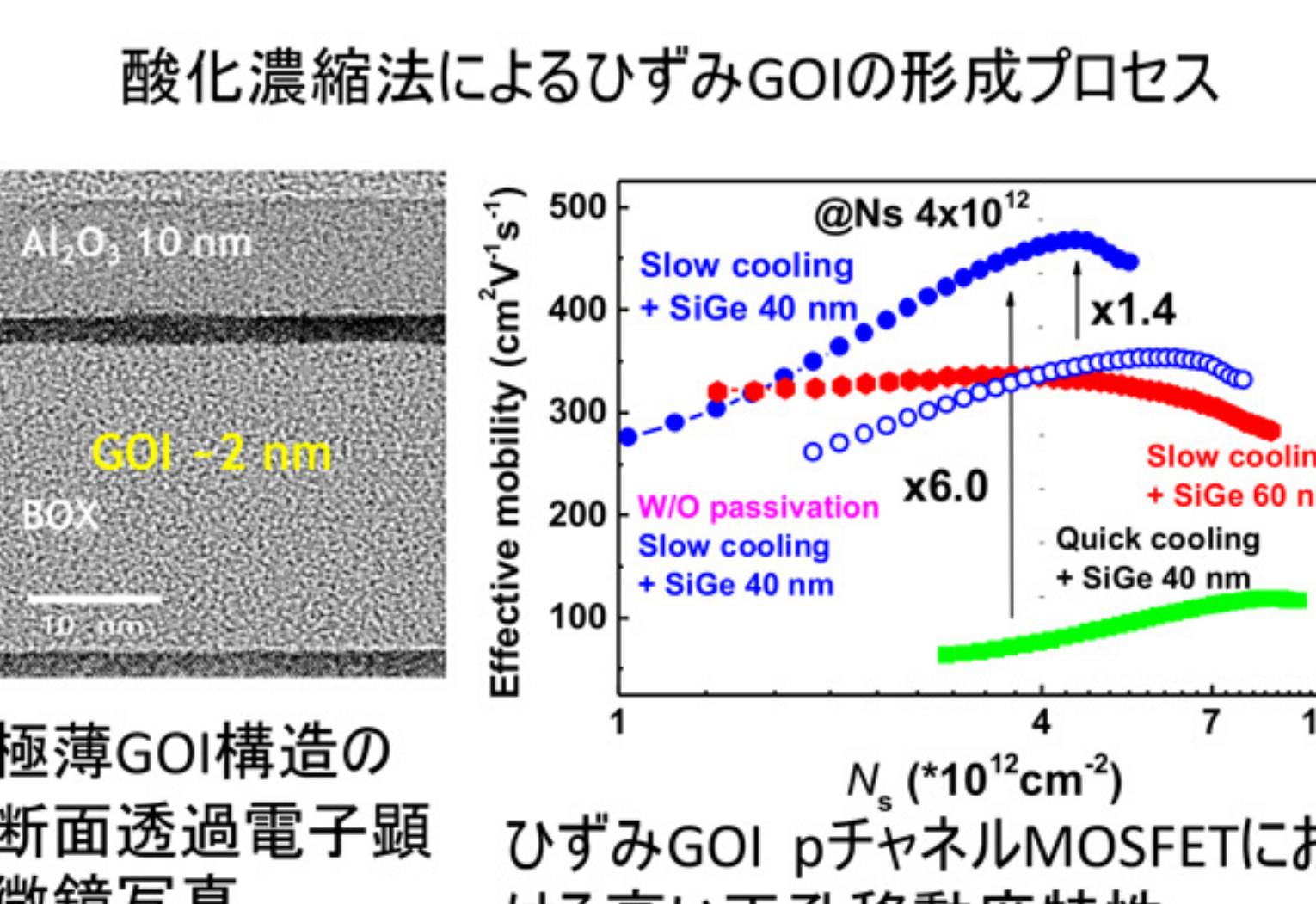
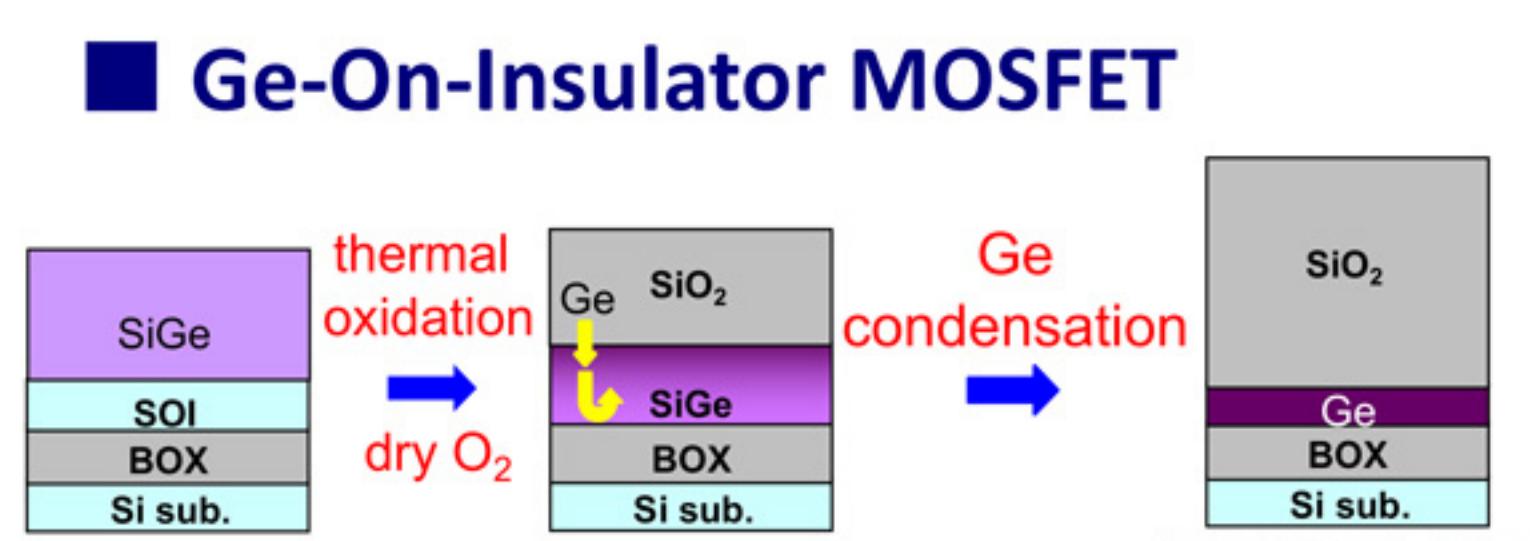
LSI上に集積回路として活用できる、高移動度半導体材料であるGeやIII-V族化合物半導体や強誘電体絶縁膜などを活用した新しい電子デバイスの研究を進めています。MOS界面制御技術を用いたCMOSデバイス技術とナノテクノロジーの活用により極低消費電力動作、AI計算を効率的に行うLSIの実現を目指しています。

工学部10号館を拠点に活動しています。10号館クリーンルーム等を活用して、半導体素子の設計、試作、評価のすべてを経験することをモットーに研究を進めています。本研究室は、竹中准教授と共同運営です。



Ge/III-V-On-Insulator CMOS技術と3次元積層CMOS

Si基板上に極薄Ge-On-Insulator (GOI)構造やIII-V-On-Insulator (III-V-OI)構造を実現する技術やこれらの構造上の高性能Ge/III-V CMOS、その電気特性を決定しているデバイス物理の研究を進めています。酸化濃縮法・基板貼り合せ法・smart cut法などを用いたオリジナリティの高い基板形成技術、高品質のMOS界面構造制御技術、接合形成技術などにより、世界最高レベルのMOSFET性能を実証し、世界的にも高い関心を集めています。更に、将来のロジックLSIの本命デバイスとして、これらの素子を積層した3次元集積CMOSの実現を目指しています。加えて、界面特性やキャリア輸送特性を決めている物性にも注目し、素子物理の確立を目指しています。

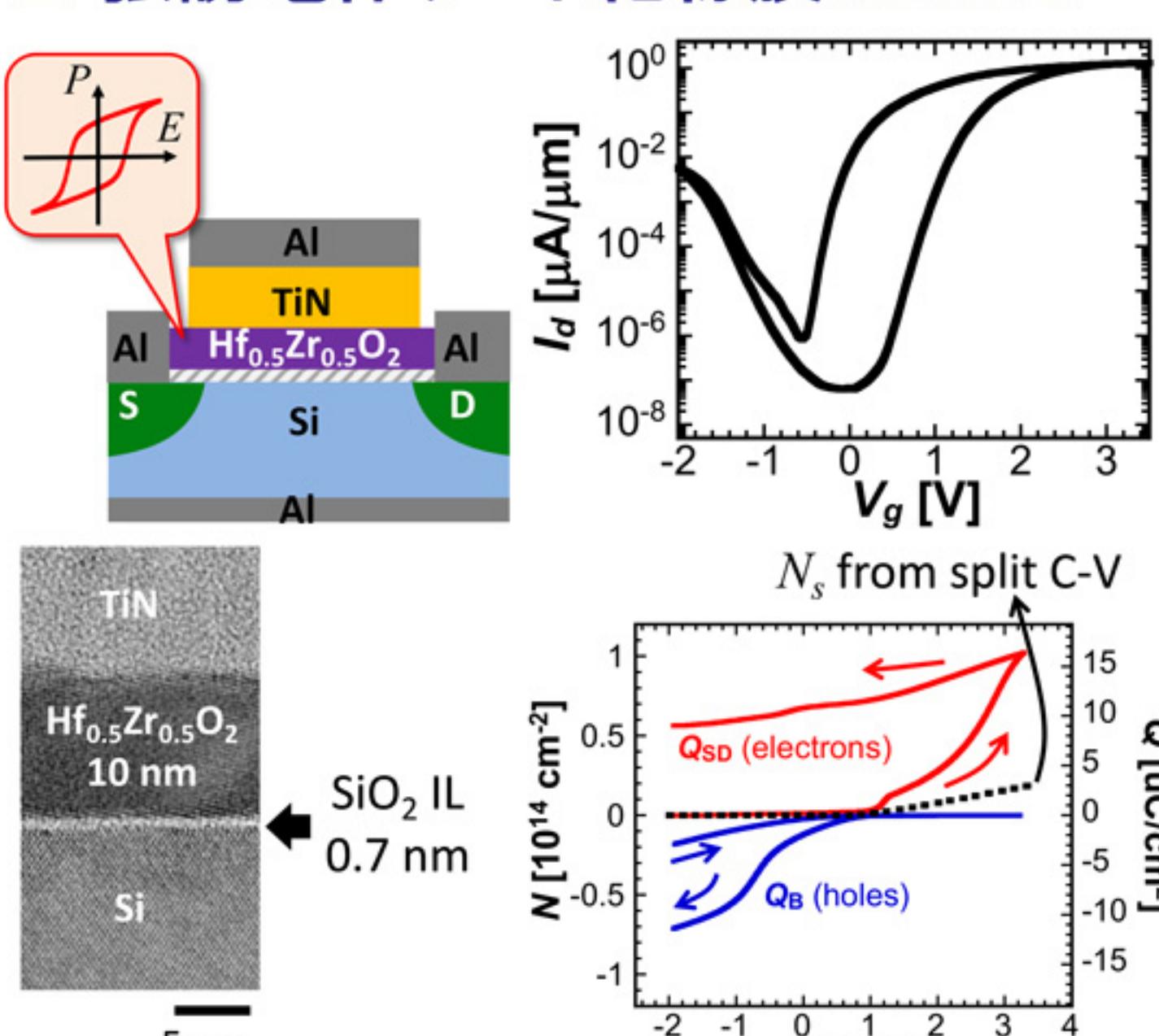


作製した(111) InAs-OI基板

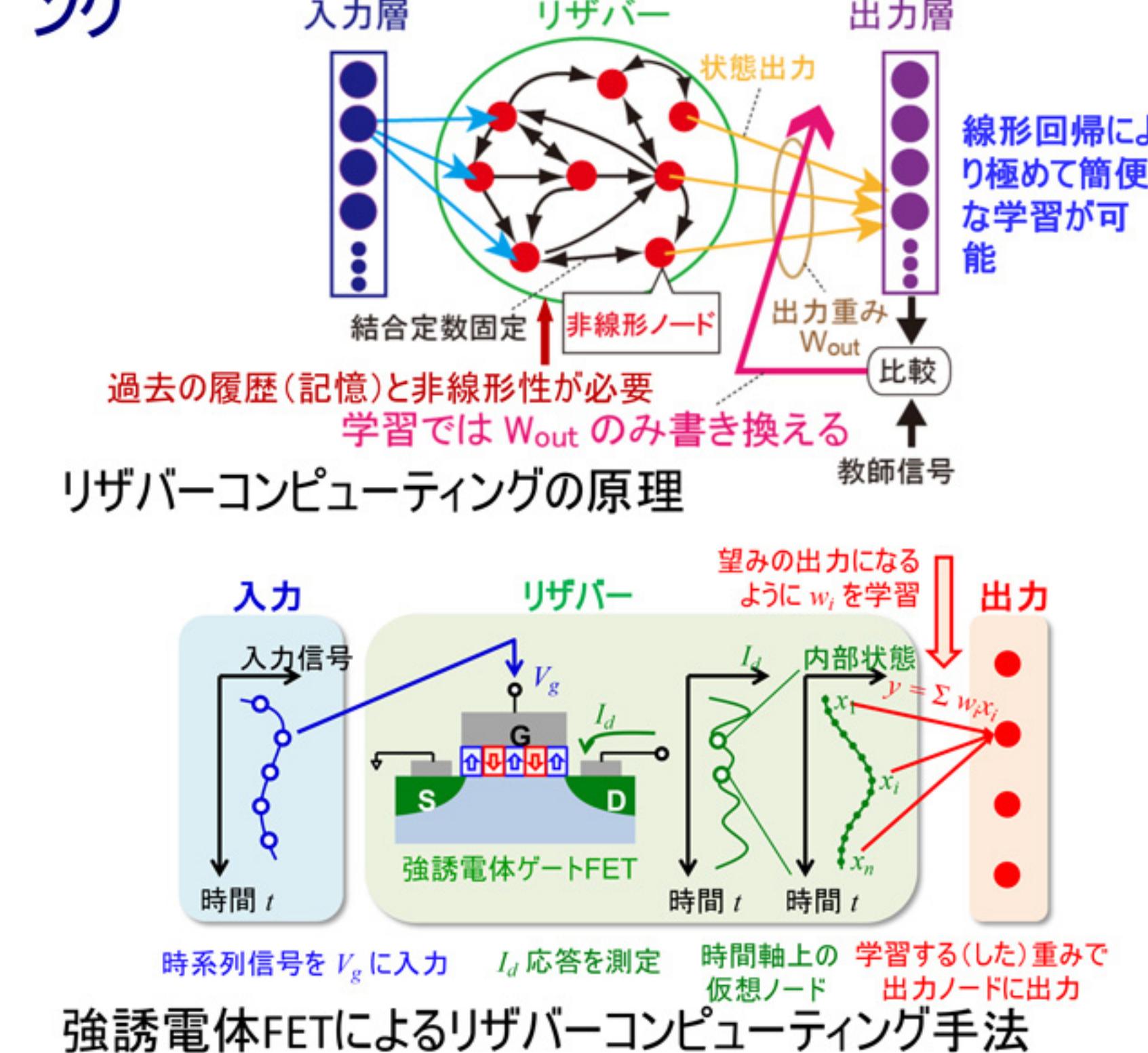
強誘電体ゲート MOSFETとAI計算専用ハードウェアへの応用

強誘電体をMOSFETのゲート絶縁膜とし、その分極反転を利用することにより実現できる、優れたFET特性、メモリ機能とロジック機能の融合、アナログ計算機能などを活用した新しい素子の研究を進めています。近年発見された強誘電体（反強誘電体膜であるHfZrO₂やZrO₂）を原子層堆積(ALD)法によって堆積したMOSFETの素子動作を物理的に明確にする研究を行っています。更に、メモリ・イン・ロジック機能や非線形アナログ計算機能をもつこの強誘電体ゲートMOSFETを、負荷の軽いAI計算手法として最近注目を集めているリザバーコンピューティングに応用することを提案しており、極低消費電力で推論・学習を行うことができる新しいAI向けのハードウェアをSiプラットフォーム上に実現する研究を行っています。

■ 強誘電体ゲート絶縁膜MOSFET

Si上にALD法で堆積したHfZrO₂ゲートスタック構造の断面TEM写真、強誘電体ゲート絶縁膜FET特性、MOS界面電荷の分離実験の結果

■ 強誘電体FETによるリザバーコンピューティング

極低消費電力ロジック
/AI専用 LSIに挑戦

Ge/III-V、強誘電体薄膜等の新材料とMOS界面物理、界面制御技術を核に、物性と実用デバイスの接点に狙いを定めた、将来の低消費電力デバイス・AI計算専用デバイスの研究を行っています。工学部10館クリーンルームを駆使したモノづくりにより、考案した素子を自ら実現することで、世界最先端・世界最高性能のMOSデバイス研究に取り組んでいます。



竹中研究室(Prof. M. Takenaka)

Si Photonics Laboratory

URL:<http://www.mosfet.k.u-tokyo.ac.jp/>

学部

電気電子工学科

本郷

大学院

工学系・電気系工学専攻

工学部10号館4F 460, 490
Bldg. Eng-10 4F Room 460, 490

研究概要 シリコンフォトニクスを用いた光電子集積回路

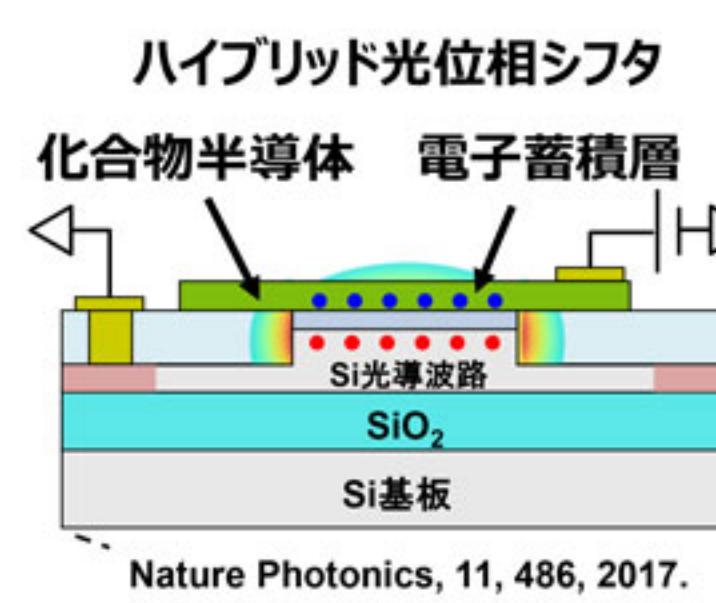
シリコン(Si)フォトニクスの研究を進めています。Siフォトニクスは大規模集積回路(LSI)と同じ技術でSi基板上に光集積回路(Photonic Integrated Circuit, PIC)を実現できることから、大規模光集積回路の主要技術になりつつあり、世界中で活発に研究がおこなわれています。我々は、GeやIII-V族化合物半導体、グラフェンなどの2次元材料をSi基板上に異種材料集積した光電子集積回路を研究しています。物理的限界に達しつつある半導体微細化に依らずLSIの性能を向上し、AI・IoT時代における次世代コンピューティングを可能とするため、AI用シリコン光回路、光配線LSI、中赤外光集積回路を用いた光センシングの研究をしています。当研究室は高木信一教授と共同運営しています。



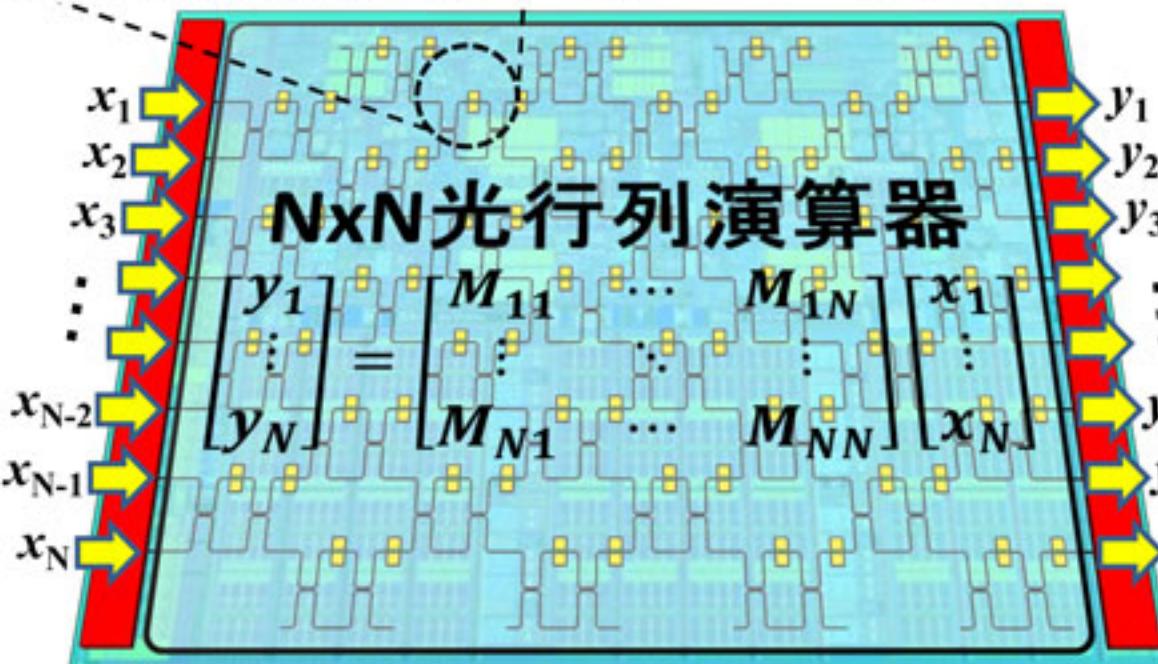
AI用プログラマブル光回路

Si光回路上に多数の光位相シフタを集積したプログラマブル光回路に注目が集まっています。光行列演算が実現できることから、光ニューラルネットワークを用いた深層学習や量子コンピューターなどへの応用が期待されています。我々は、化合物半導体薄膜をシリコン光回路上に貼り合わせた革新的ハイブリッド光位相シフタを世界に先駆けて実証しました。ハイブリッド光位相シフタをプログラマブル光回路に応用することで、大規模・省電力・高速な深層学習アクセラレータなどの実現を目指しています。デバイス・回路・システムの観点から光演算による革新的コンピューティングに挑戦します。

■ ハイブリッド光位相シフタを用いたプログラマブル光回路

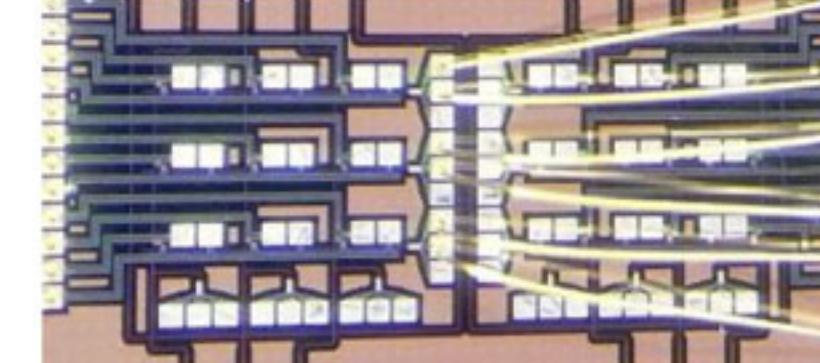


独自のハイブリッド光位相シフタを用いたプログラマブル光回路により、消費電力を100万の1、動作速度を1000倍にすることを目指しています。

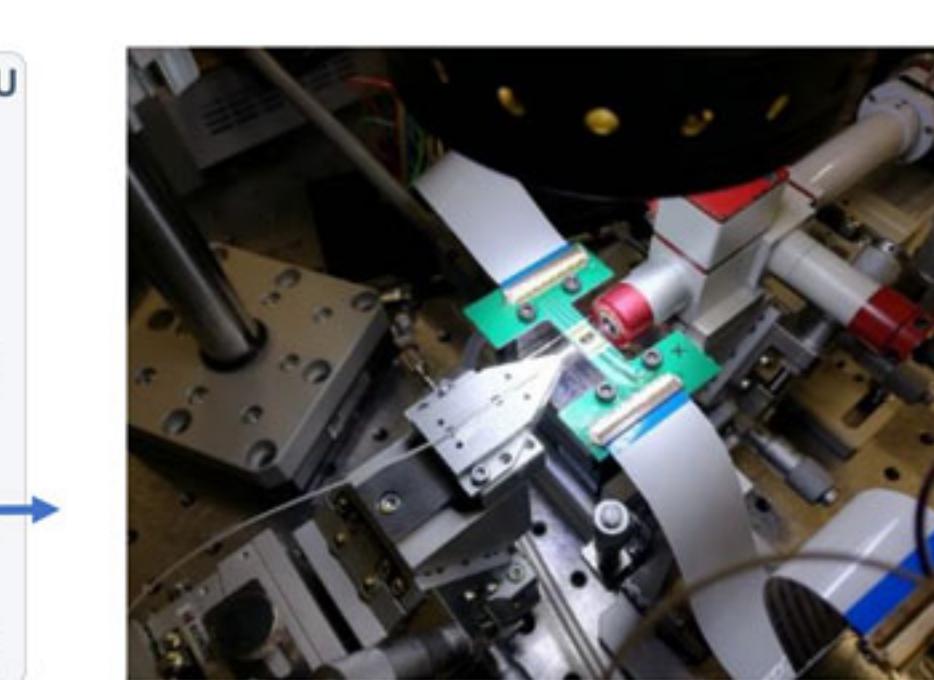
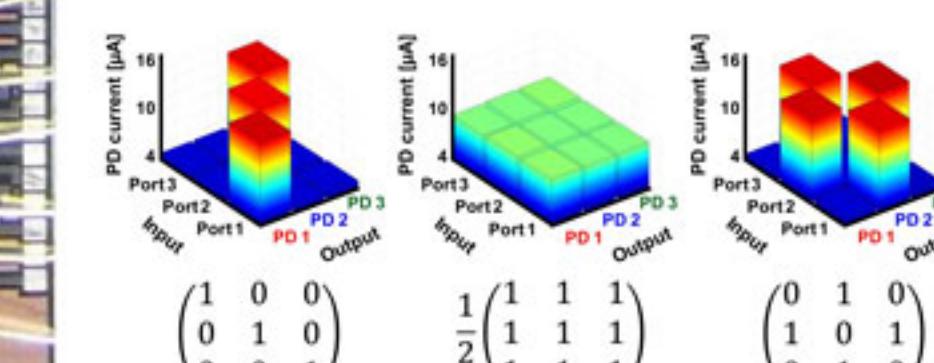


■ プログラマブル光回路を用いた深層学習

深層学習用プログラマブル光回路



光行列演算結果

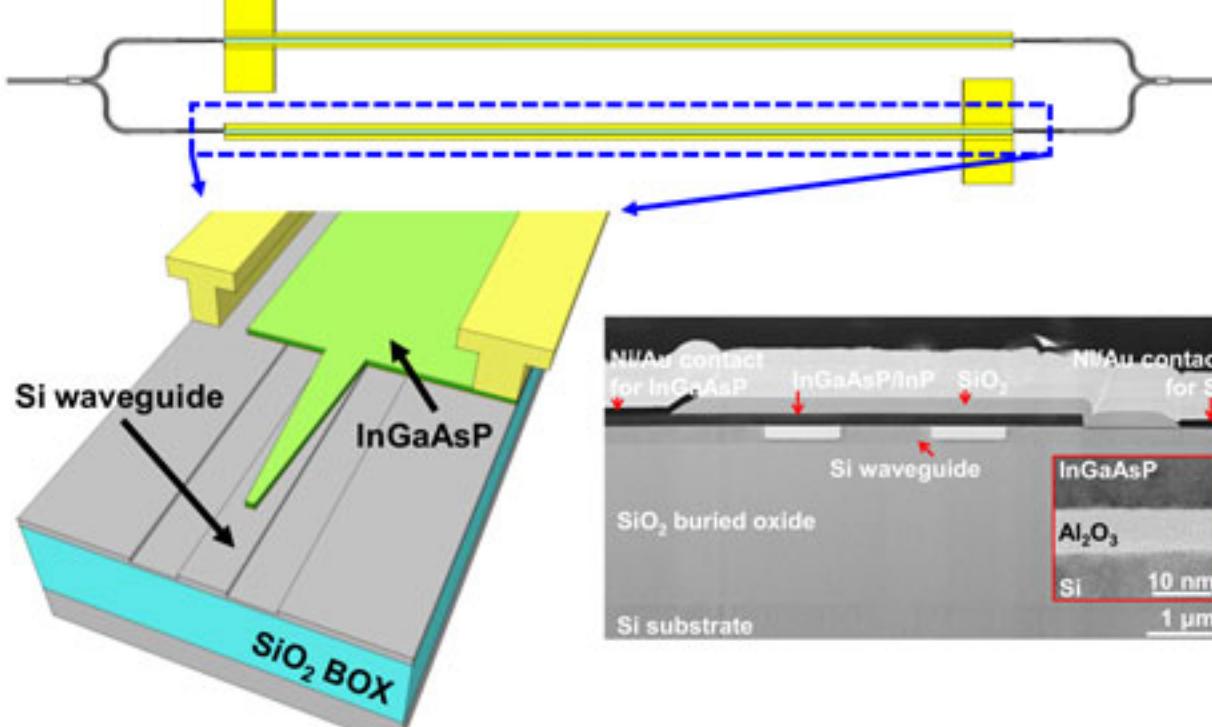


プログラマブル光回路を試作し、光行列演算を用いた光ニューラルネットワークによる深層学習システムの研究に取り組んでいます。

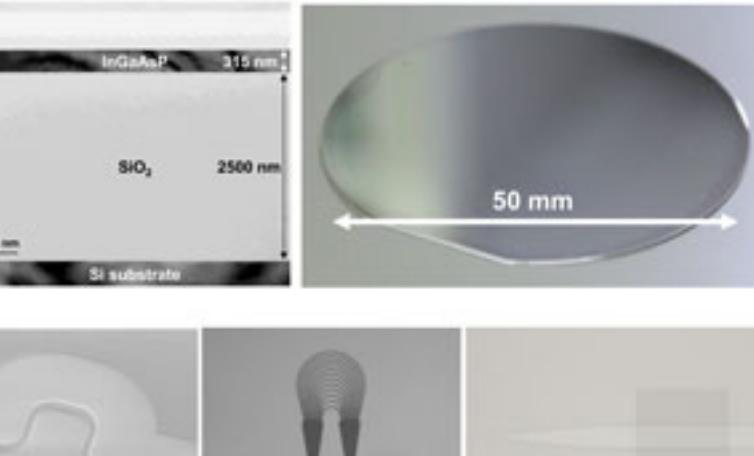
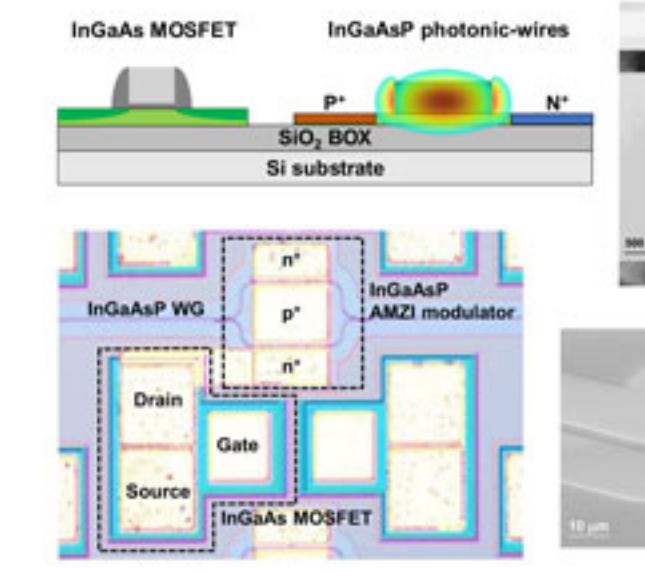
光配線LSI

AI・IoT時代においては、膨大なデータ通信が必要となります。ムーアの法則が終焉を迎つつあり、LSIのデータ通信性能が飽和しつつあります。LSI中の電気配線の信号遅延や消費電力も深刻化しており、LSIの性能向上の妨げとなっています。これらの問題を抜本的に解決するため、Siフォトニクスを用いた光インターフェス付きLSIや光配線LSIを実現する研究に取り組んでいます。

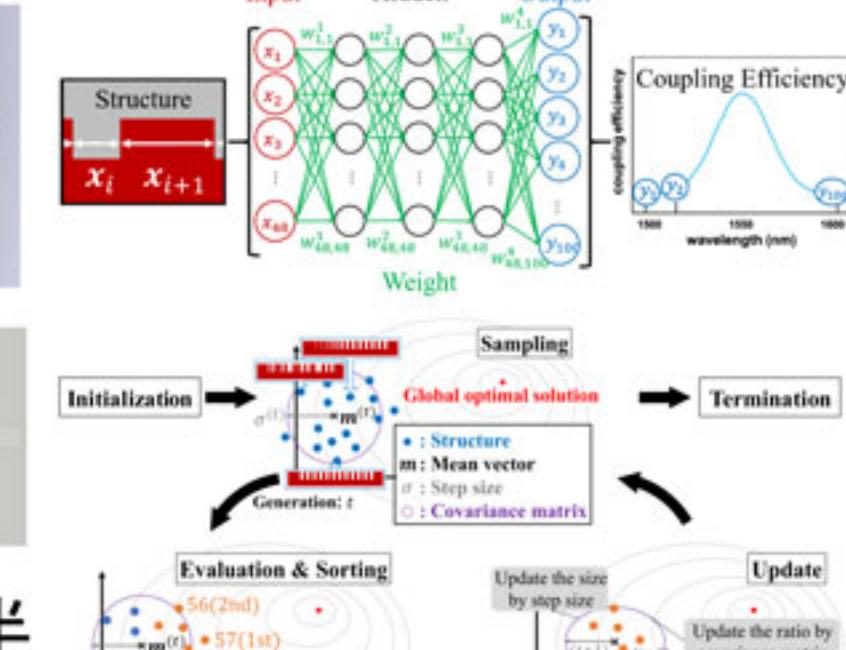
■ MOS型光変調器、Ge受光器



■ III-V CMOSフォトニクス



■ AIによる自動設計



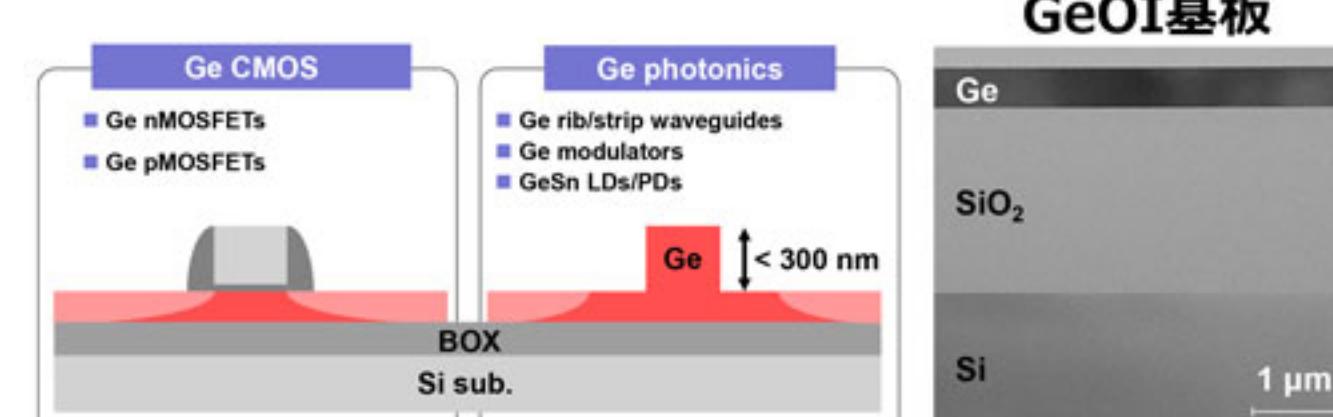
Siよりも光物性・電子物性に優れたIII-V族半導体をSi基板上に集積したIII-V CMOSフォトニクスを提唱し、研究を進めています。いわゆるニューラルネットワークやIII-V族半導体版Siフォトニクスを実現する進化戦略などの人工知能(AI)を用いた、グレード。

ここで究極の光電子集積回路を目指しています。様々な受動素子や光変調器、受光器、ティンカプラなどのシリコーンガスアスランジスタを集積した光電子融合集積回路の実証に成功しています。

中赤外光集積回路

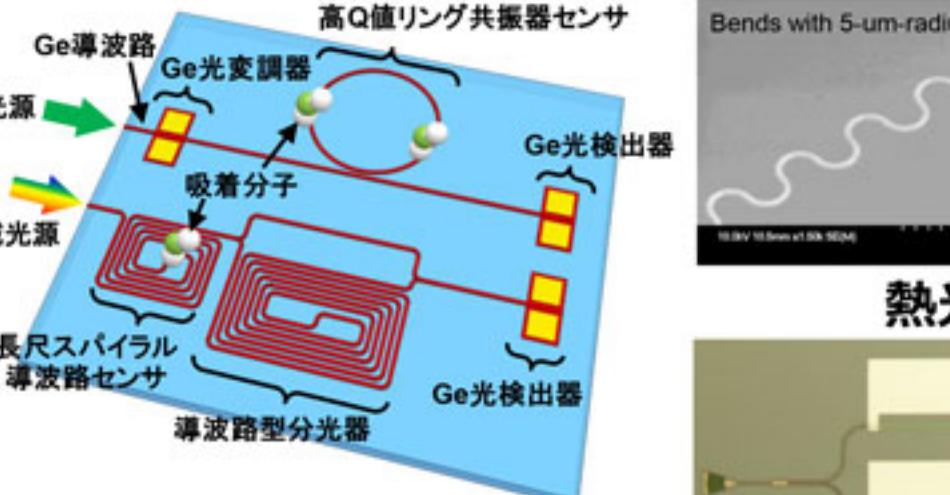
Ge-on-insulator (GeOI)基板を用いたGe中赤外光集積回路を提唱し、医療・バイオセンサー、ガスセンサーなど幅広い光センシング応用の実現を目指した研究を進めています。

■ Ge CMOSフォトニクス



中赤外で透明なGeを使った独自のフォトニクス素子とGe CMOSを一体集積した光電子集積回路の研究に取り組んでいます。

目標とするセンシングチップ



ベンド導波路



グレーティングカプラ



フォトニック結晶



光変調器

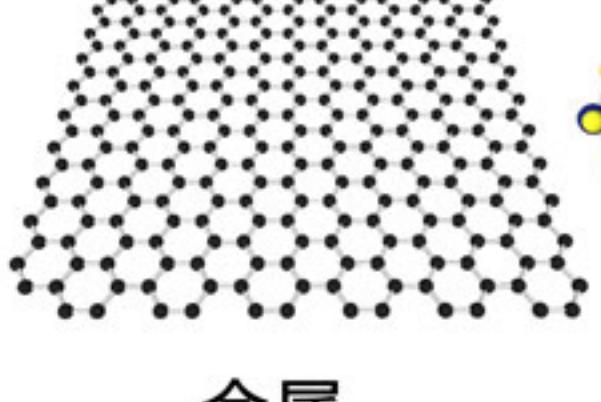


GeOIプラットフォームを用いることで、世界初の中赤外光素子の実証に次々と成功しています。

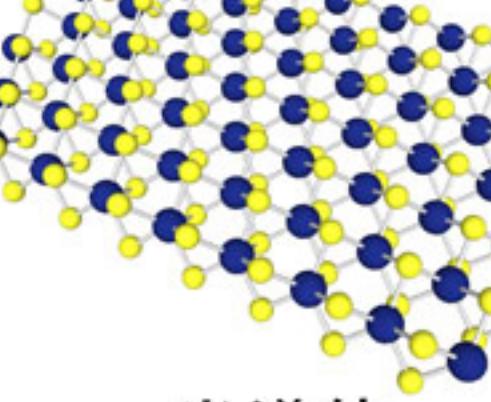
2次元材料デバイス

原子層状材料である2次元材料を用いて、AI・IoT時代に求められる新規エレクトロニクス、フォトニクスの開拓を進めています。半導体となるMoS₂などの遷移金属カルコゲナイトを用いたトランジスタの研究や特異な物性を利用したグラフェン光変調器などの研究を進めています。

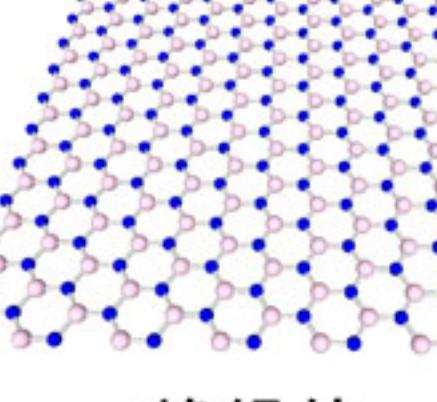
グラフェン



遷移金属カルコゲナイト

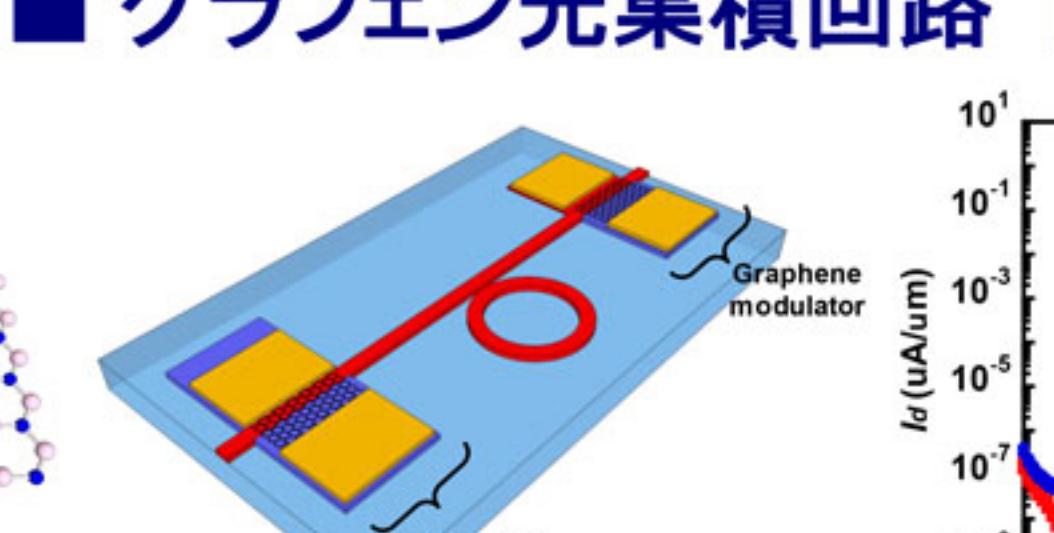


窒化ホウ素(h-BN)

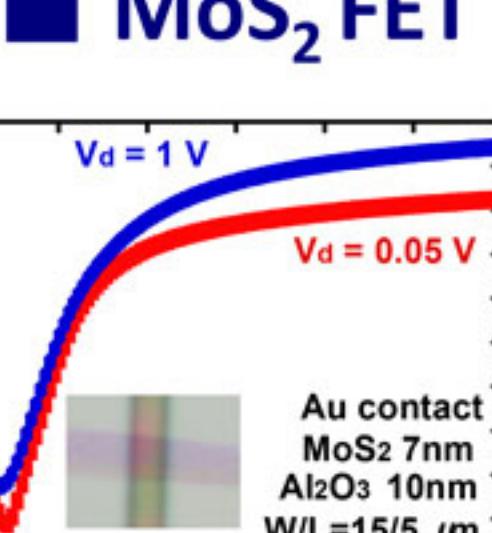


金属的なグラフェン、半導体となる遷移金属カルコゲナイト、絶縁体となるh-BNを組み合わせることで、すべて2次元材料で光電子集積回路が実現できると期待されています。

グラフェン光集積回路



MoS₂ FET



フォトニクスだけでなく、CMOSトランジスタも同時並行で研究を行なうことが出来る世界でも数少ない研究室です。光と電子を融合することでAI用シリコン光回路や光配線などに挑戦しています。工学部10号館クリーンルームを駆使したモノづくりをモットーに、考案した素子を自ら実現することで、IBMやIntelなどIT業界の巨人に挑んでいます。

大規模光集積回路に挑戦

高橋研究室 (Prof. Takuji Takahashi)

Takahashi Laboratory

URL: <http://www.spm.iis.u-tokyo.ac.jp/>

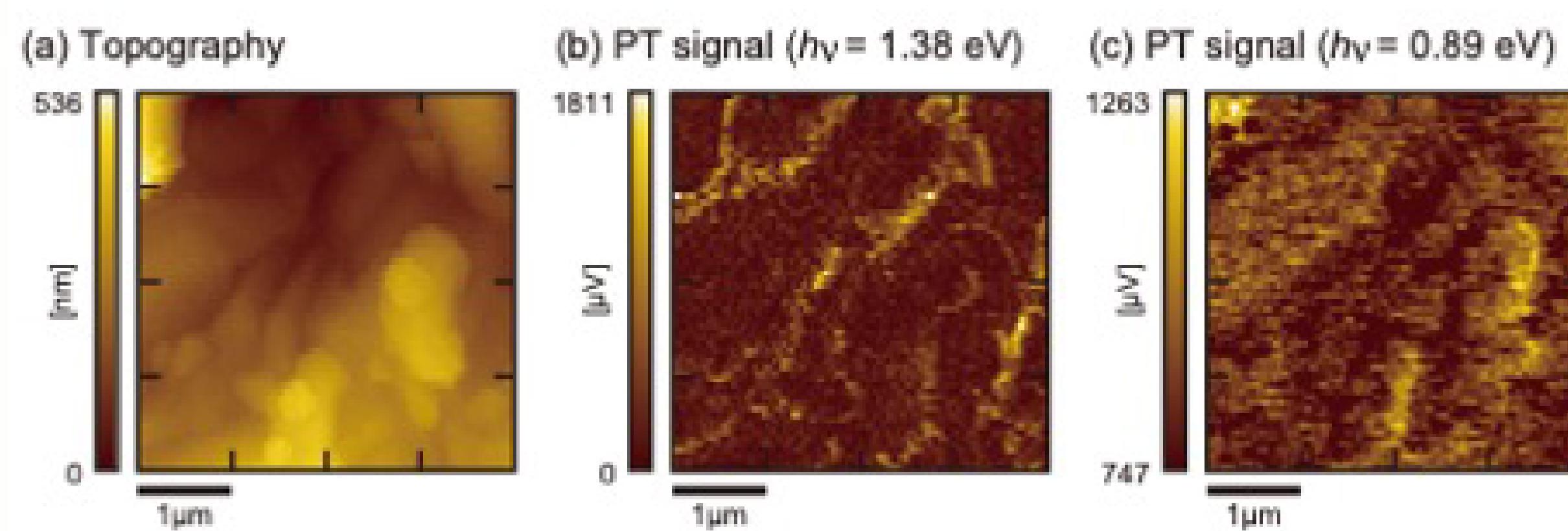
生産技術研究所Ee-305
IIS, Ee-305

ナノプローブで探るナノメートルの世界 ～目に見えないものを見る～

★太陽電池材料の多角的評価

- Characterization of Solar Cell Materials -

- ・光起電力特性、少数キャリアダイナミクスの解明
- ・光熱分光AFMによる非発光再結合特性の解明



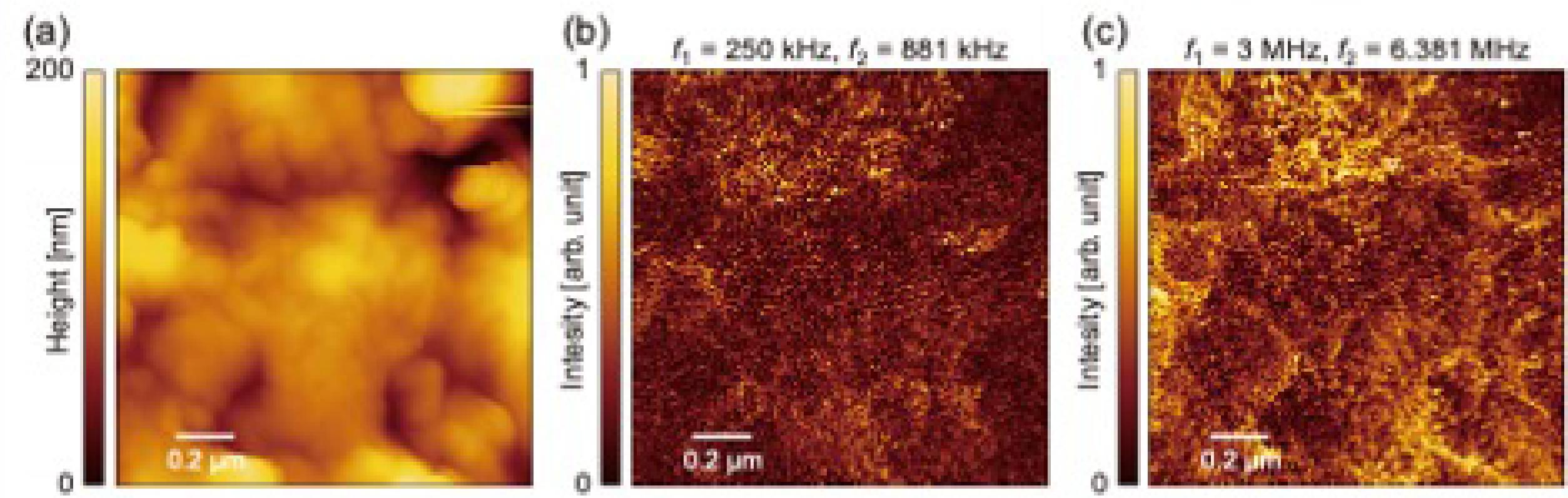
Cu(In,Ga)Se₂系太陽電池における形状像[(a)]と、異なる照射光条件下での光熱信号分布[(b), (c)]

(a) Topographic image and (b) and (c) images of photothermal signals under different illumination conditions on a Cu(In,Ga)Se₂ solar cell

★新しいSPM手法の開発

- Development of Novel SPM Methods -

- ・性能向上のための新規計測手法の開拓
- ・AFM画像獲得の高速化

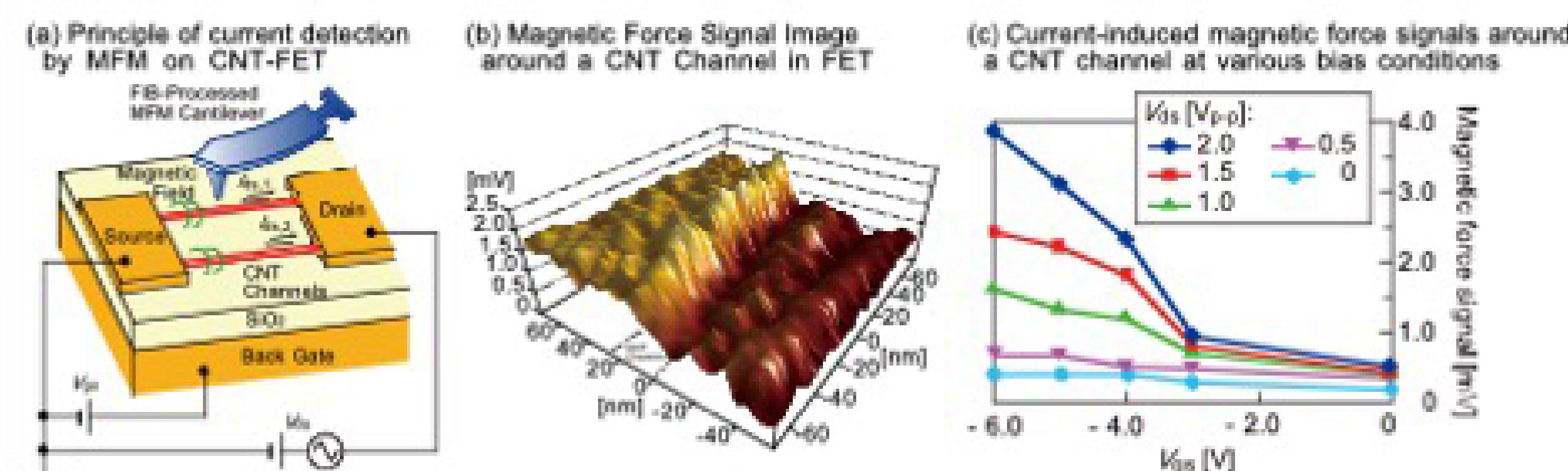


二重バイアス法を導入した静電引力顕微鏡(EFM)で観察したCu(In,Ga)Se₂材料の(a)表面形状像および(b), (c)静電引力信号像
(a) Topographic image and (b) and (c) images of electrostatic force signals on a Cu(In,Ga)Se₂ material taken by electrostatic force microscopy (EFM) with dual bias method

★カーボンナノチューブFETの動作解析

- Characterization of Carbon Nanotube FETs -

- ・MFMを利用した微小電流計測

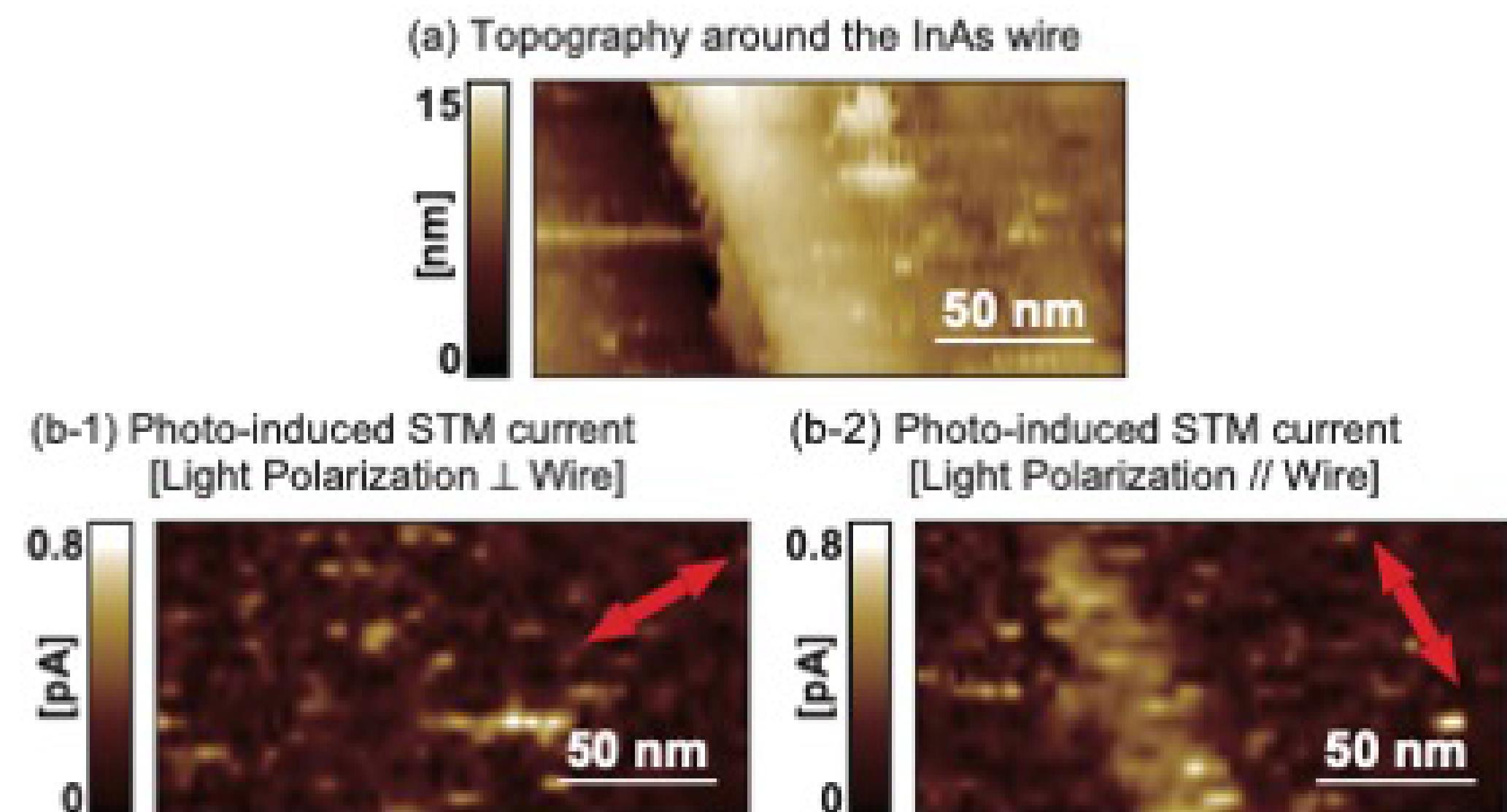


MFM電流誘起磁場計測系によるカーボンナノチューブFETチャネルの評価
Channel properties in a CNT-FET examined by current-induced magnetic force measurements by MFM

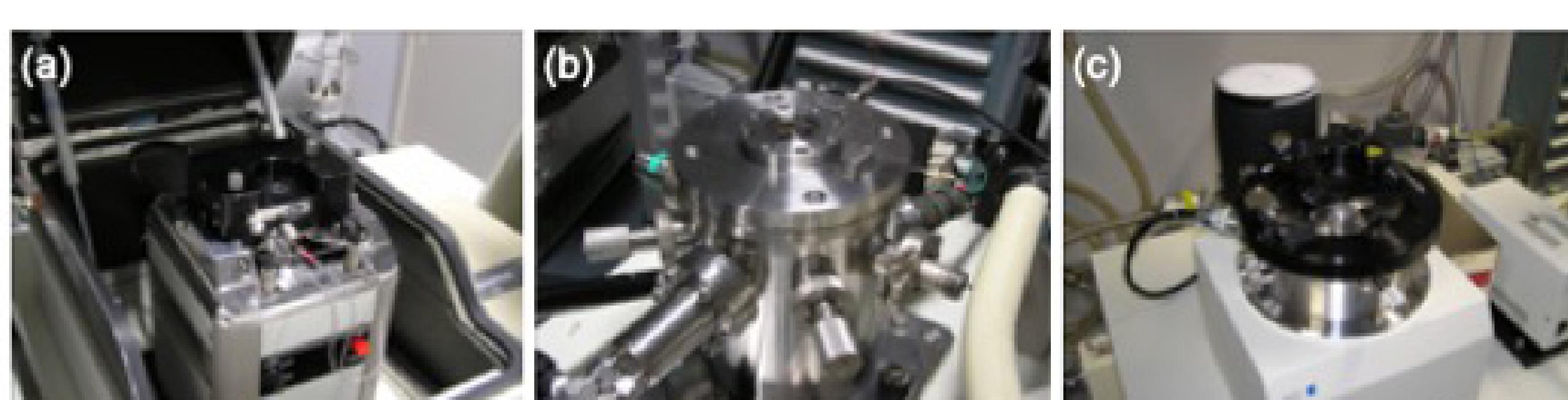
★量子ナノ構造の物性解明

- Physics in Quantum Nanostructure -

- ・低次元半導体材料中の物理現象の観測



光照射STMによるInAs細線上での光誘起電流信号の獲得
Photo-induced current signals on InAs wire structures observed by STM under light illumination

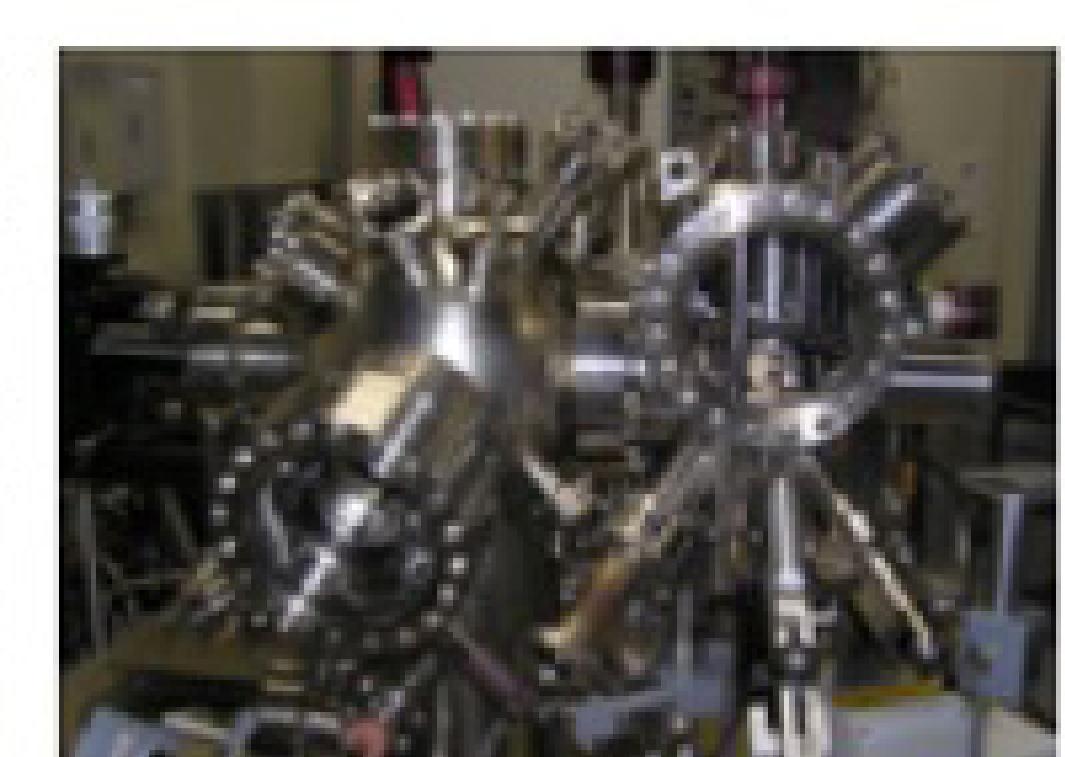


多機能SPMユニット:(a) 大気型／(b)(c) 温度可変高真空型

Multi-functional SPM equipments:
(a) air type / (b)&(c) high vacuum and variable temperature type



固体グリーンレーザー/
波長可変チタンサファイアレーザー
Tunable Ti:Al₂O₃ laser
with solid state green laser



温度可変超高真空STM/AFM
Variable temperature SPM
in ultra-high vacuum



田中研究室

Semiconductor Spintronics Laboratory

URL:<http://www.cryst.t.u-tokyo.ac.jp/>

学部

電気電子工学科

本郷

大学院

工学系・電気系工学専攻

工学部10号館4F430
Bldg. Eng-10 4F Room 430

-電子のスピニ機能を活用した21世紀の新しい半導体エレクトロニクスを開拓する-

研究内容

将来の電子デバイス、光デバイス、スピニ（磁気）デバイス、およびそれらのハイブリッド素子への応用を目的とした、新しい電子材料とデバイスの基礎研究を行っています。具体的には、半導体・金属・強磁性体・ハーフメタルなど様々な物質を用いて、量子力学的效果が現れるナノスケールの超薄膜や超格子・量子ヘテロ構造のエピタキシャル成長を行い、自然界に存在しない新しい物質を原子レベルで設計・作製します。さらに、実際に作製した新物質群のマテリアルサイエンスと物性物理を研究し、デバイスを試作し、将来のエレクトロニクス応用への指針を示すことを目指しています。特に近年は、電子のスピニやその秩序（磁性）が顕著に現れる新しい物質の開拓、ナノ領域での物性機能の制御、それらのエレクトロニクスへの応用：スピニ・エレクトロニクス（スピントロニクス）の開拓研究力を入れています。

主な研究場所：工学部10号館（クリーンルームを含む）、9号館レーザアライアンスラボ、武田先端知クリーンルーム、低温センター

取り組む姿勢

当研究室では、電子工学を中心にマテリアルサイエンス・物性物理学・デバイス・結晶工学など Science と Technology の広い領域にまたがる新しい分野を開拓しつつあり、取り組むテーマも斬新でチャレンジングなものが多くあります。“寄らば大樹の影”、“安易に楽に卒論を終えてしまおう”、という考えの人は避けた方がよいでしょう。逆に意欲的に勉強し、積極的かつ熱心に研究に取り組めば、若い学生でも研究の最前线で活躍することが可能です（卒論の成果を学会で発表する人もいるし、大学院生が自分の研究成果を海外の国際会議で堂々と発表することは今や当たり前です）。サイエンス志向の人は知的好奇心をもって深く物理学や科学の真理を探求して下さい。エンジニアリング志向の人はデバイス設計・試作、特許出願まで何でも意欲的に取り組んでみて下さい。国内や海外の優れた研究機関との共同研究もあります。

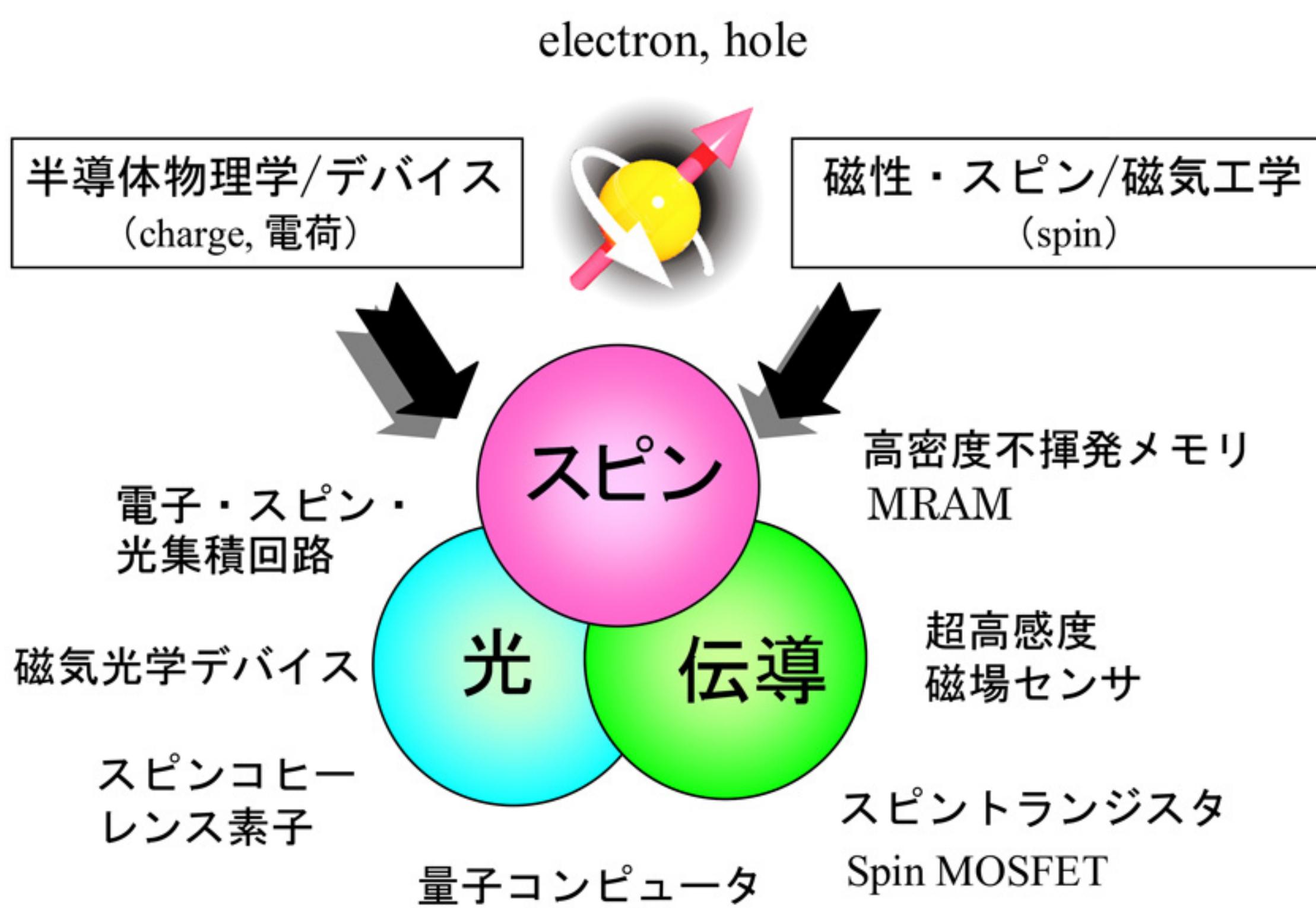
電子(electron)



電荷とスピニの両方を用いることにより、スピニ自由度を利用した新しいエレクトロニクスをつくる



半導体とスピニ物性の融合による新機能



期待される応用例

半導体ベースの高密度高速不揮発性メモリ
再構成可能な論理回路 (reconfigurable logic)
集積化型磁気光学デバイス
スピニ状態を用いた量子情報処理...

研究内容とその特色

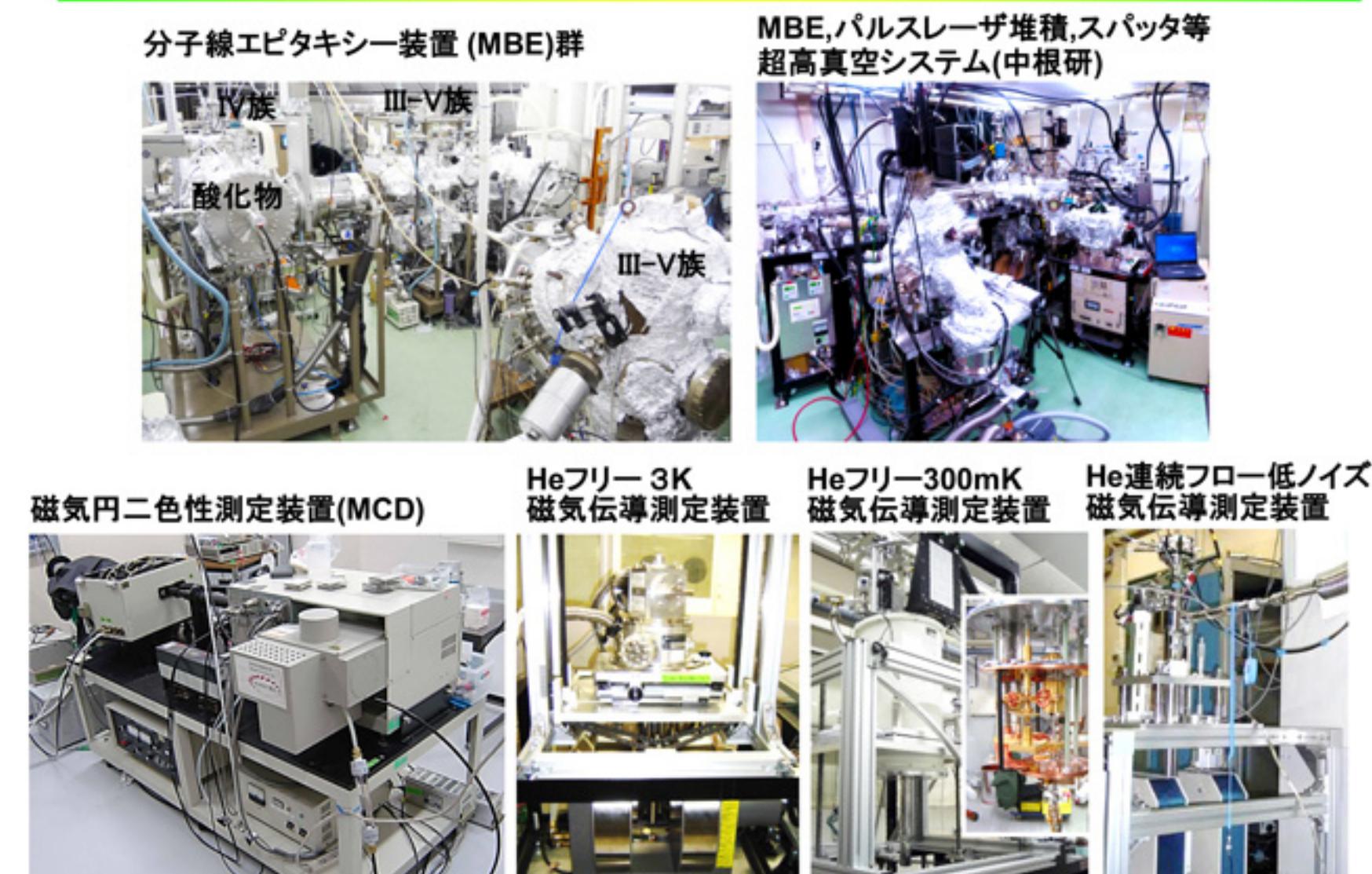
- 強磁性金属／半導体ヘテロ構造 MnAs/III-V/Si
- 強磁性混晶半導体とその量子ヘテロ構造 (GaMn)As, (InGaMn)As, (GaMn)As/AlAs, GeFe, GeSiFe, GeMn
- 新しい人工物質・ヘテロ構造の物質設計、エピタキシャル成長、電子・光・スピニ物性
- 電子・光・磁気(スピニ)デバイス
- 原子レベルでの物質設計、バンドエンジニアリング
- 半導体と磁性体の機能を融合
- 半導体材料・デバイスにスピニ自由度を付加
- スピントランジスタ、オンチップ不揮発性メモリ、再構成可能な論理回路、集積化型非相反光デバイス...
- 21世紀の新しい基盤技術を築く

研究テーマの例(他にも様々あり)

- 強磁性を示す新しい半導体(III-V族, IV族)の結晶成長、電子物性の解明、光・電子・スピニデバイスへの応用
- 半導体DBR/磁性層/半導体DBR構造による光の局在を用いた磁気光学効果の増大と光デバイスへの応用
- GaMnAs/AlAsヘテロ構造のトンネル磁気抵抗効果(TMR)、スピニに依存したトンネル効果の物理とデバイス
- 半導体上へのエピタキシャル強磁性金属／半導体ヘテロ構造の結晶成長とその物性、デバイス応用
- スピニバルブ効果、スピントンネル磁気抵抗効果など、電子伝導現象を中心とした不揮発性メモリ(MRAM)やスピントランジスタの基礎研究、素子の試作、動作原理の実証、デバイス物理、理論計算との比較検討など
- スピニ自由度を用いた革新的なデバイスや新しい回路構成の提案、動作シミュレーション、デバイスの作製

ナノエレクトロニクス・デバイス・材料系の研究室(高木・竹中研、大津研、田畠研、中野・杉山研、柴田・三田研など)と密接に協力しながら研究を進めています。

田中・大矢研究室 実験装置・設備



田中・大矢研究室 学生とメンバーの活躍(1)

- 第14回卒業論文賞 電気電子工学科 山崎 浩樹 2017年3月
第13回卒業論文賞 電気電子工学科 岡本 浩平 2016年3月
第11回卒業論文賞 電気電子工学科 丸尾 大貴 2014年3月
第10回卒業論文賞 電気電子工学科 金木 俊樹 2013年3月
第8回卒業論文賞および工学部長賞 電気電子工学科 レ デウック アイン 2011年3月
第7回卒業論文賞および学科長特別賞 電子情報工学科 高田 健太 2010年3月
第6回卒業論文賞 電子工学科 王 哲 2009年3月
第4回卒業論文賞および工学部長賞 電子工学科 大野 賢一 2007年3月
第2回卒業論文賞 電子工学科 トラン グオク ソン 2005年3月
第1回卒業論文賞 電子工学科 ファム ナム ハイ 2004年3月
国際会議PASPSS若手研究者ベストポスター賞 2016年8月 レデウック アイン、若林勇希
電気系工学専攻優秀博士論文賞、レデウック アイン 2016年3月24日 博士論文
論文タイトル: Properties and device applications of new Fe-based ferromagnetic semiconductors and heterostructures
応用物理学講演奨励賞 石井 友章 2015年9月16日、第62回応用物理学春季学術講演会における下記の発表に対して T. Ishii, T. Kawazoe, Y. Hashimoto, H. Terada, I. Muneta, M. Ohtsu, M. Tanaka, and S. Ohya, "Band structure of GaMnAs near the Fermi level studied by time-resolved light-induced reflectivity measurements"
応用物理学第3回英語講演奨励賞 若林勇希 2015年9月16日、第62回応用物理学春季学術講演会における下記の発表に対して Y. Wakabayashi et al., Room-temperature local ferromagnetism and its nanoscale domain growth in the ferromagnetic semiconductor Ge_xFe_{1-x}

田中・大矢研究室 学生とメンバーの活躍(2)

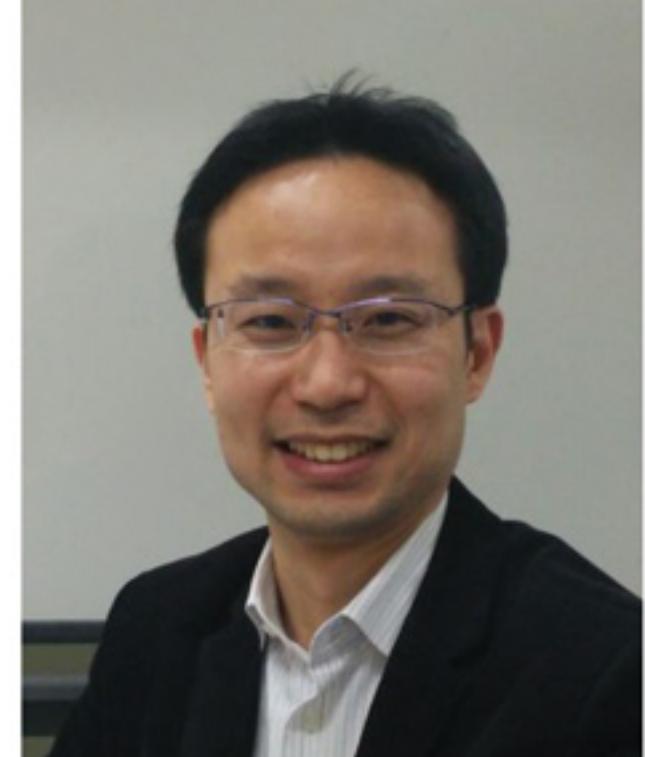
- 第29回先端技術大賞 日本放送賞 レデウック アイン
「N型強磁性半導体(In, Fe)Asの量子物性と波動関数による磁性制御」に対して。
2015年7月8日、東京プリンスホテルにて高円宮妃殿下ご臨席のもと授賞式
応用物理学会講演奨励賞 レデウック アイン 2015年3月
2014年(平成26年)秋季第75回応用物理学学会学術講演会での発表
レデウック アイン、ファムナムハイ、笠原裕一、岩佐義宏、田中正明 「Enhancement of ferromagnetism by manipulating the wavefunctions in n-type ferromagnetic semiconductor (In, Fe)As quantum wells」に対して。
応用物理学会英語講演奨励賞 レデウック アイン 2014年9月
2014年(平成26年)春季第61回応用物理学学会学術講演会での発表
レデウック アイン、ファムナムハイ、笠原裕一、岩佐義宏、田中正明 「Electrical control of ferromagnetism in n-type ferromagnetic semiconductor (In, Fe)As quantum wells」に対して。
東京大学卓越した大学院拠点形成支援プログラム「セキュアライフ・エレクトロニクス」博士課程学生発表会 優秀発表賞 レデウック アイン 2014年3月12日
発表題目: Electrical control of ferromagnetism in n-type ferromagnetic semiconductor (In, Fe)As quantum wells
東京大学工学系研究科長賞 および 電気系工学専攻優秀修士論文賞
レデウック アイン 2013年3月 修士論文: Quantum effects and magnetic properties of n-type (In, Fe)As-based ferromagnetic semiconductor heterostructures (n型強磁性半導体(In, Fe)Asヘテロ構造における量子効果と磁気物性)

田中・大矢研究室 学生とメンバーの活躍(3)

- 総長賞・総長特別賞、工学系研究科長賞・最優秀賞 ファムナムハイ 2009年3月 博士論文
東京大学工学系研究科長賞 電子工学専攻 周藤悠介 2008年3月 博士論文
応用物理学会講演奨励賞、大矢忍 2007年3月
第20回先端技術大賞 文部科学大臣賞(学生部門最優秀賞) ファムナムハイ
応用物理学会講演奨励賞、周藤悠介 2006年3月
東京大学工学系研究科長賞 ファムナムハイ 2006年3月修士論文
電気系工学専攻優秀修士論文賞 ファムナムハイ 2006年3月修士論文
電気系工学専攻修士論文賞 矢田慎介 2006年3月修士論文
平成17年度 猪瀬賞 ファムナムハイ 2005年7月
応用物理学会講演奨励賞、アーサン M. ナズムル 2003年3月
日本応用磁気学会・学術奨励賞(武井賞) 2001年9月 清水大雅
応用物理学会講演奨励賞、2001年3月、清水大雅
応用物理学会講演奨励賞、1999年3月、林稔晶
日本学術振興会特別研究員に採用された博士課程大学院生 林稔晶、清水大雅、大矢忍、横山正史、周藤悠介、ファムナムハイ、矢田慎介、秋山了太、レデウック アイン、若林勇希、石井友章
海外および国内で行われる国際会議発表は毎年10件程度、学生により発表されている。日常的に英語論文を読むことはもちろん、英語で論文を書き、英語で発表し議論する能力は、大学院生のうちに身につけるべき必要条件である。

半導体とスピニの融合

電子スピニを積極的に活用した半導体デバイスやそのプラットフォームとなる新しい材料に関する研究を行っています。分子線エピタキシー装置をはじめとする結晶成長装置を用いて新しい強磁性体や半導体とのヘテロ接合を作製し、クリーンルームでデバイスに加工したり、様々な評価装置を用いて日々新奇デバイスの開発に従事しています。



種村研究室

Tanemura Laboratory

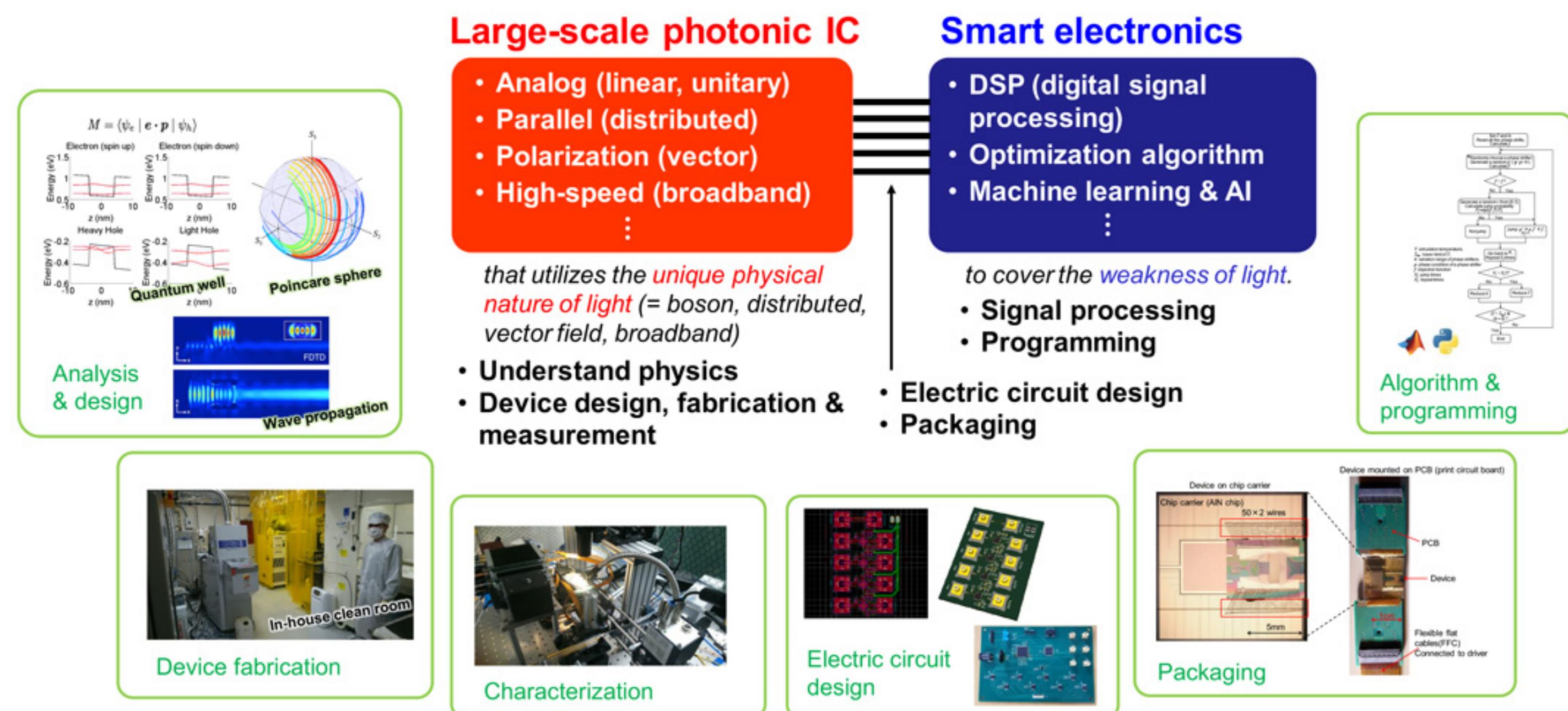
URL:<http://www.ee.t.u-tokyo.ac.jp/~nakano/lab/>

工学部3号館1F126
Bldg. Eng-3 1F Room 126

「光」と「電子」の良さを融合させた新しい光電子集積回路を開拓する

「光の回路」と言っても、現在のLSIの「電子」を「光」に置き換えたものではありません。当研究室で目指すのは、「線形性(ユニタリ性)」、「並列性」、「高速性(広帯域性)」など、電子にはない光ならではの特徴を最大限利用しながら、「頭の良いデジタル演算」は電子回路に任せる、いわゆる“良いところ取り”的光電子集積チップです。多数の光素子を高密度に集積することで、これまでの光エレクトロニクスの延長にはない新しい価値を創り出し、光通信、光演算、イメージング、センシングなど、幅広い応用分野に展開します。

そのために、「光」と「電子」、「ハード(デバイス)」と「ソフト(情報処理)」の両者を理解し、それぞれの長所を活かす解を探求します。また、机上の空論に終わることなく、実際にモノを作り、システムを組み上げて実証することを重視しています。デバイス物理から情報処理まで幅広く興味があり、意欲的に取り組みたい学生を歓迎します。

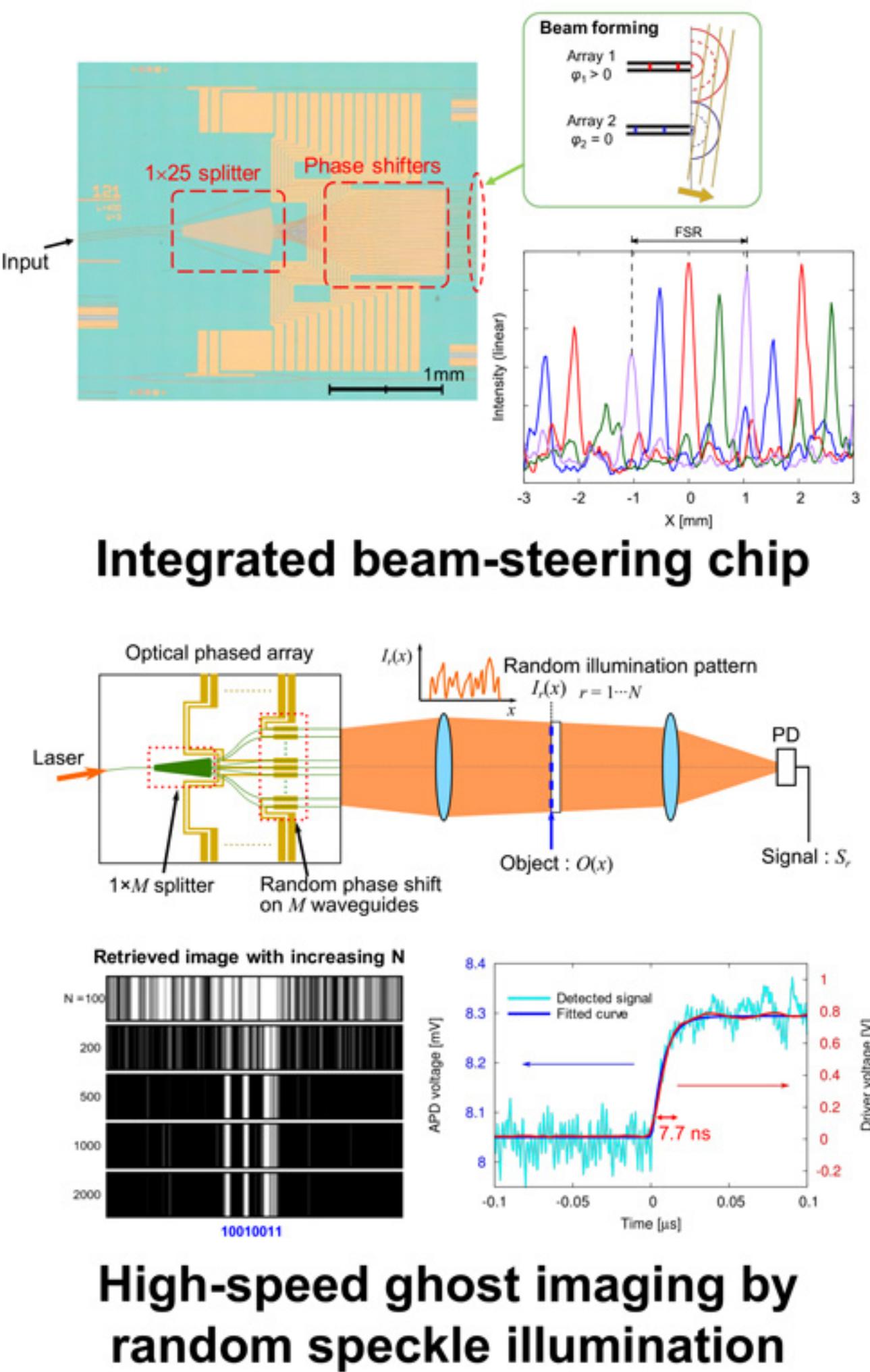


■光集積レーザスキャナ・イメージング素子

Photonic integrated laser-scanning / imaging devices

無線通信で広く用いられているフェーズアレイアンテナを「光」の波長帯に適用し、数ミリ角の半導体チップ上に集積することで、小型な高速レーザスキャナやイメージング素子を実現しています。アレイ状に並べた無数の光位相制御器(位相シフタ)を“頭の良い”電子回路を用いて高速に制御することで、任意の光波面を合成することが可能になります。この技術を用いることで、これまでに、大規模光集積スイッチや空間ビームスキャンニングチップを作製し、ナノ秒オーダーの高速動作を実証しました。このような素子は、自動運転車や自律ロボットで用いるLiDAR(3次元測距センサ)をコンパクトに実現する技術として期待されています。

さらに、ゴーストイメージングや圧縮センシングなど、高度なアルゴリズムを用いることで、光フェーズアレイによるイメージングの効率が劇的に向上することを見出しました。デバイス作製だけに留まらず、最適化アルゴリズムの探求も重要な研究テーマです。

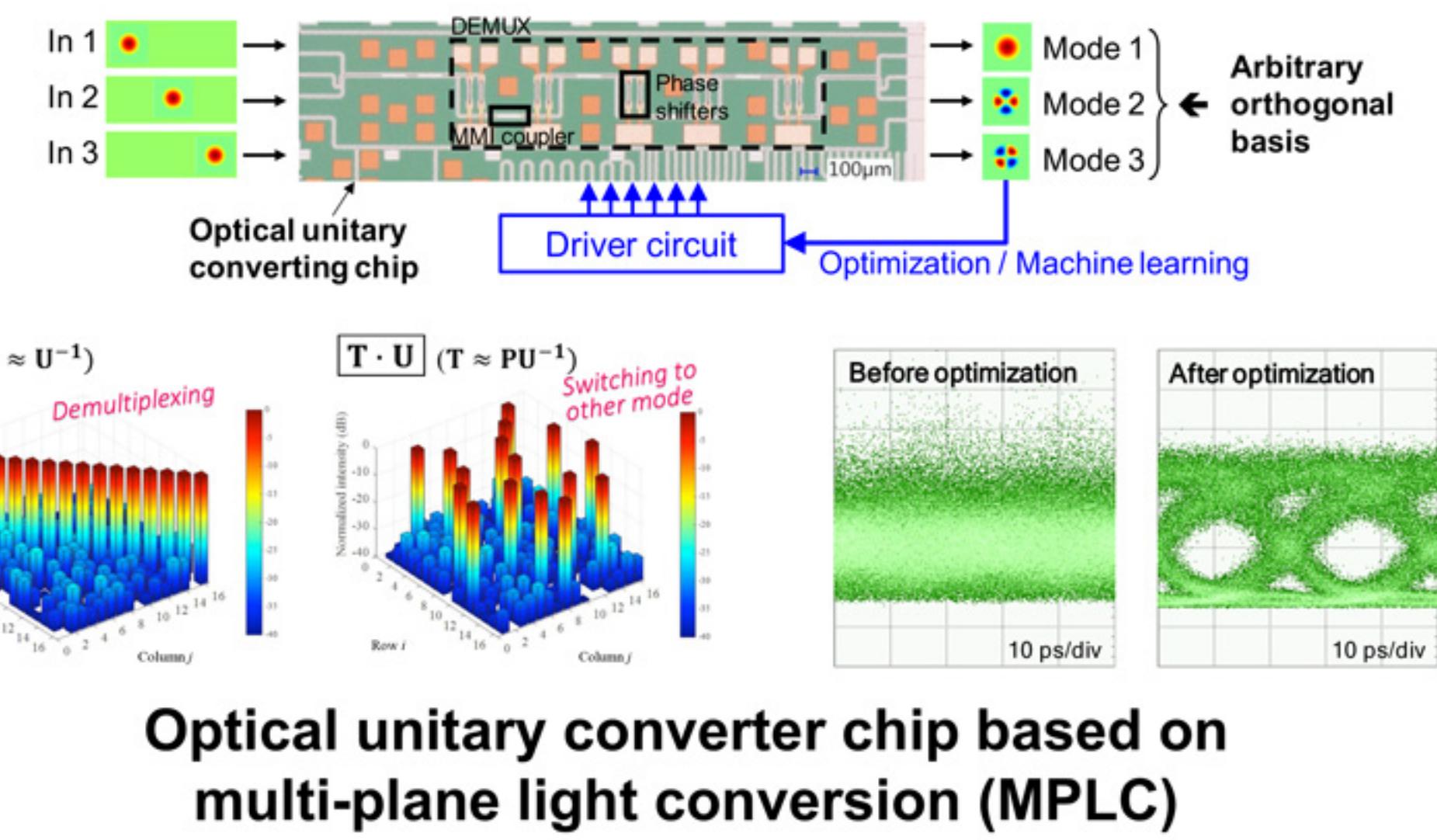


■光ユニタリ変換・機械学習回路

Optical unitary converter / machine-learning circuits

光集積レーザスキャナを多入力に拡張することで、直交した光空間モード(基底)を任意の異なる直交モードに変換する光ユニタリ変換回路も実現できます。

当研究室では、多面光波変換手法に基づく独自の光ユニタリ変換回路を提案・開発し、最適化アルゴリズムによって再構成することで、目的に応じた線形処理が得られることを実証しています。このようなユーバーサルな光演算回路は、次世代の空間モード多重光通信をはじめ、量子コンピューティングや高速な機械学習回路に適用できると期待されています。



Optical unitary converter chip based on multi-plane light conversion (MPLC)

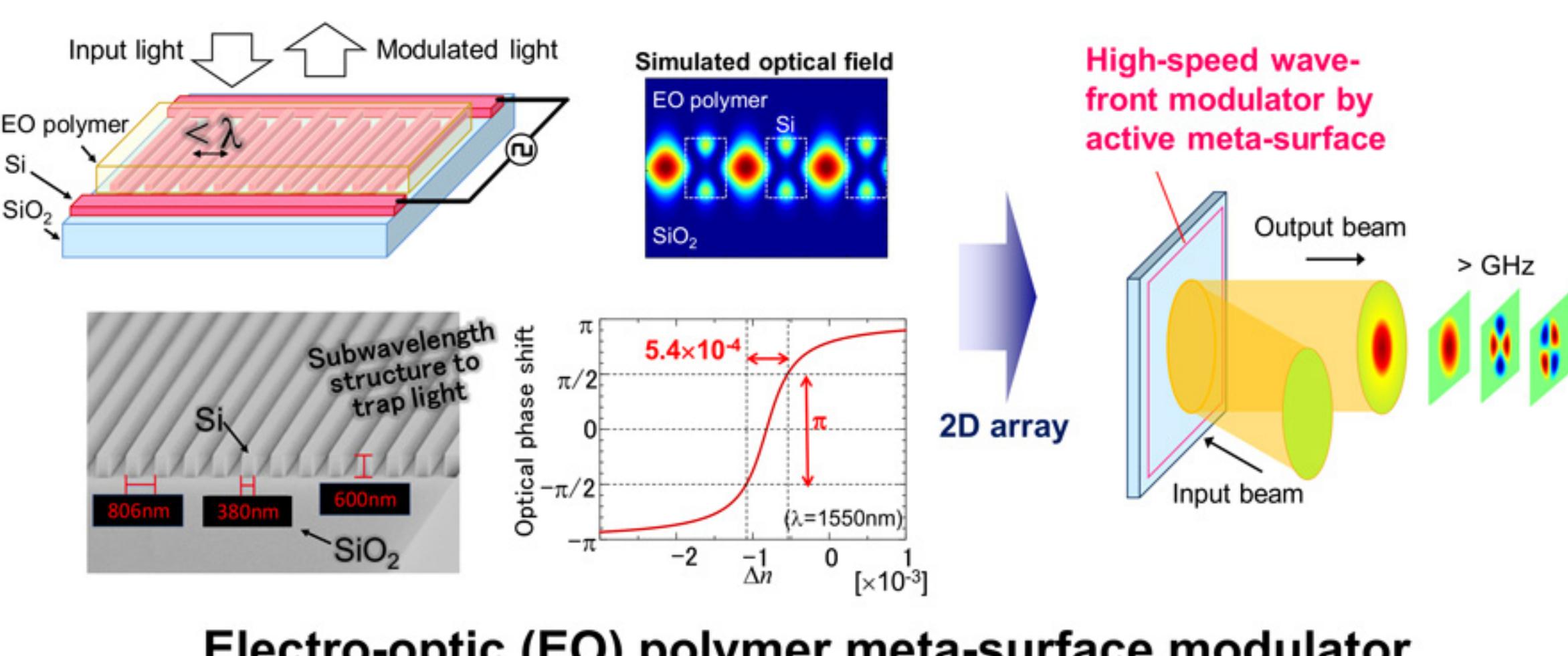
■光メタ表面高速変調素子

Optical meta-surface high-speed modulator

光の持つ「並列性」を上手く利用すると、チップに対して垂直に入力し、多数の光信号を同時に出力する素子が実現できます。

当研究室では、波長以下の微細構造表面(2次元メタマテリアル／メタ表面)に電気光学(EO)ポリマー材料を埋め込むことで、入力光を薄い膜内に閉じ込めながら効率良く変調できることを見出しました。このような世界初となる素子の試作と実証を進めています。

このような素子が実現すれば、大量の光信号を同時に変調したり、光波面を高速に合成することが可能になり、LiDAR、生体イメージング、光無線通信、レーザ加工など幅広い応用が期待されます。



“光”の集積回路を作る

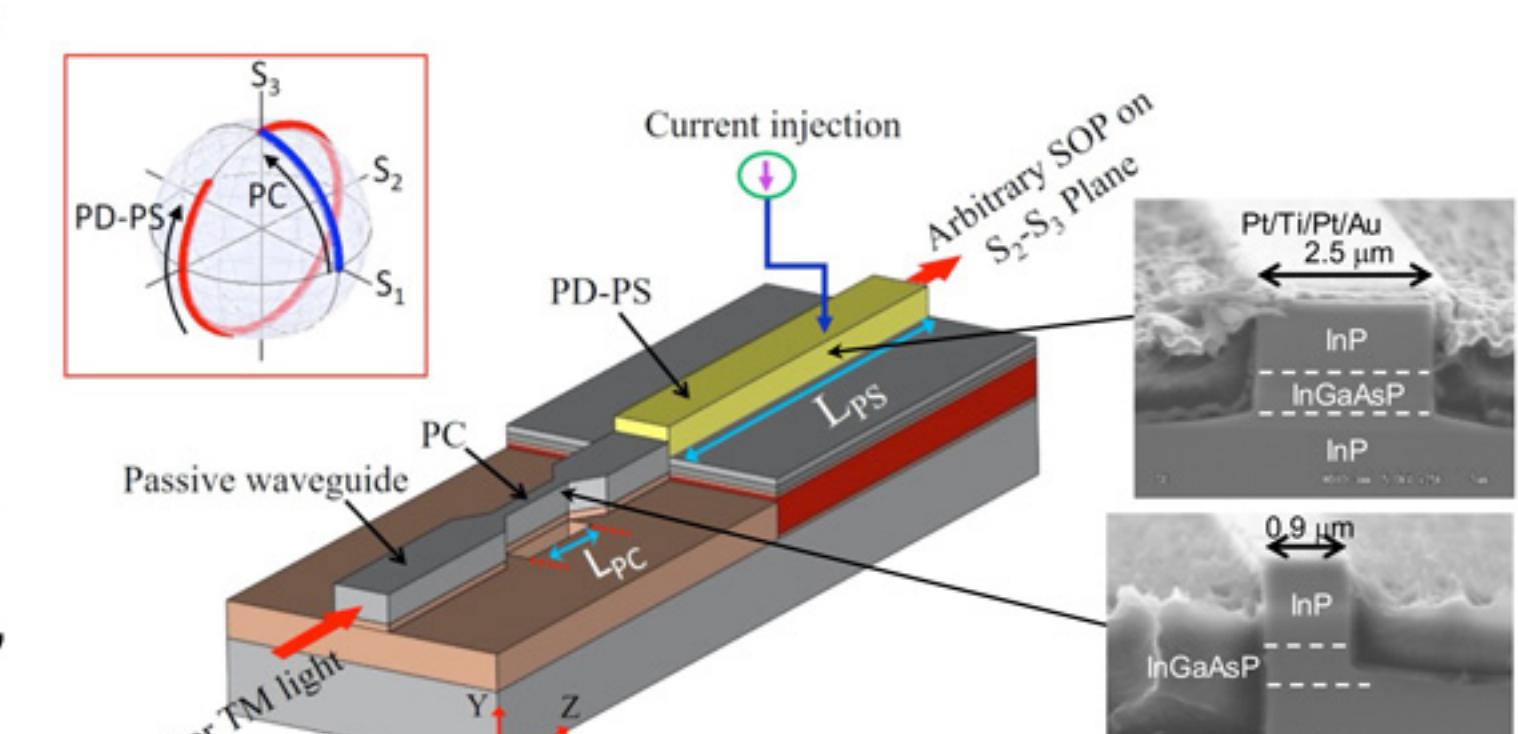
■偏波操作・検出回路

Polarization-manipulating / detecting circuits

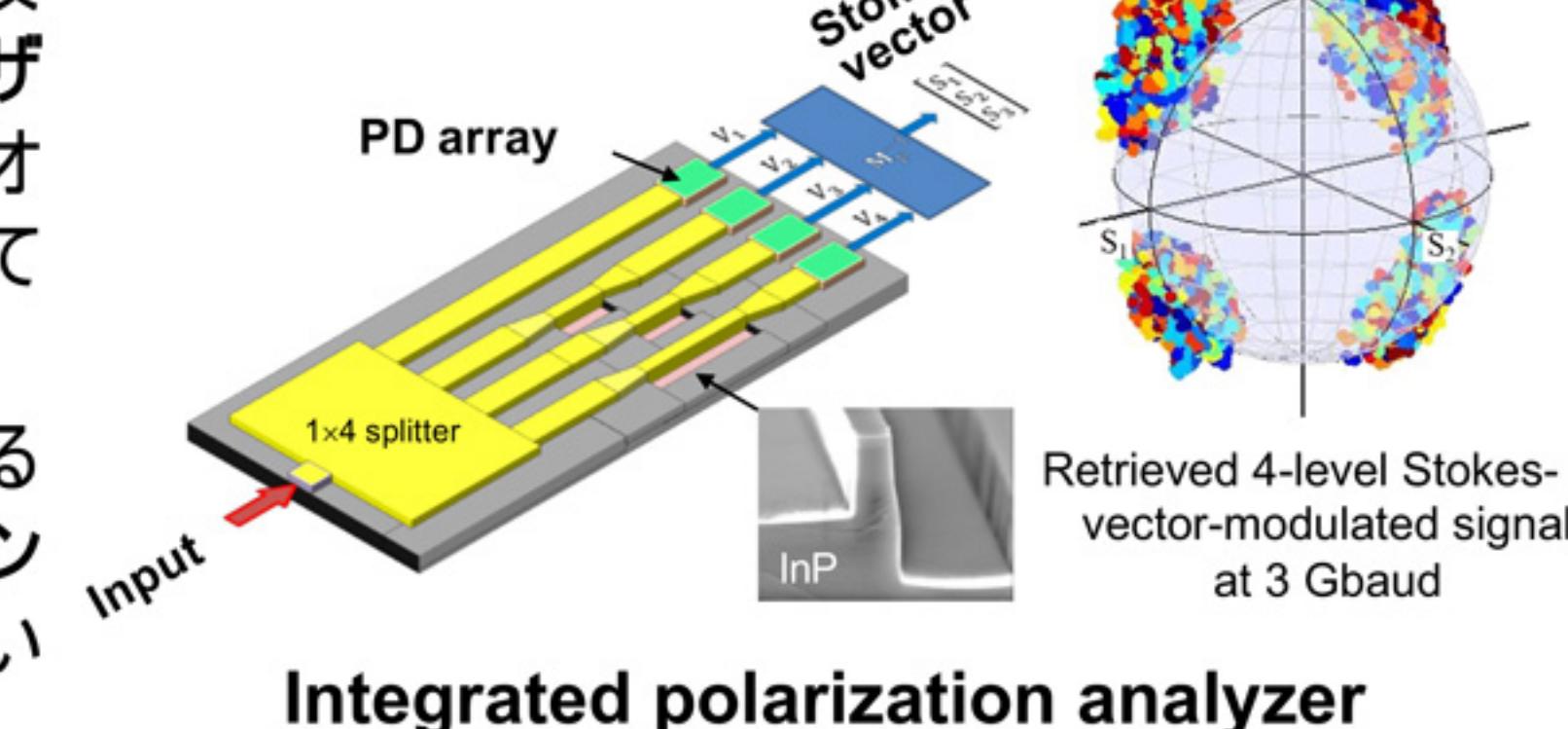
光の特徴である「偏波」を半導体チップ内で自在に操り、検出する技術を研究しています。

従来難しかったインジウムリン(InP)チップ内部での偏波変換を可能にするために、当研究室では、独自のハーフリッジ型偏波コンバータを提案・開発し、96%以上の偏波変換効率、1dB以下の光損失など、良好な特性を実証しました。さらにこの技術を基に、偏波状態を高速に切り替える偏波変調回路(ストークスペクトル変調器)や偏波状態を高速に検出する偏波アナライザ(ストークスペクトル受信回路)など、オリジナルな光回路を考案し、実証しています。

光の偏波状態を積極的に活用する次世代の光通信システムや光センシングへの展開を目指して研究を進めています。



Integrated polarization modulator



Integrated polarization analyzer

数ミリ角の半導体チップの内部に光を閉じ込め、その状態を自在に操る技術を研究しています。「電子」にはない「光」ならではの特徴を活かしながら、頭の良い演算は「電子」回路に任せる、いわゆる“良いところ取り”的光電子集積チップを創出し、次世代光通信、光配線、イメージング、センシングなど、幅広い分野への応用を目指しています。

年吉研究室(Prof. Toshiyoshi)

Micro Device Eng. / Micromachine System Eng. Lab.

先端研3号館(北側)205号室
Room-205 in RCAST Bldg.-3 North<http://toshi.iis.u-tokyo.ac.jp/>

10年後のIT問題は「電源」

あらゆるモノにセンサーが組み込まれると予測される時代、米粒程度のセンサーがいたるところに。

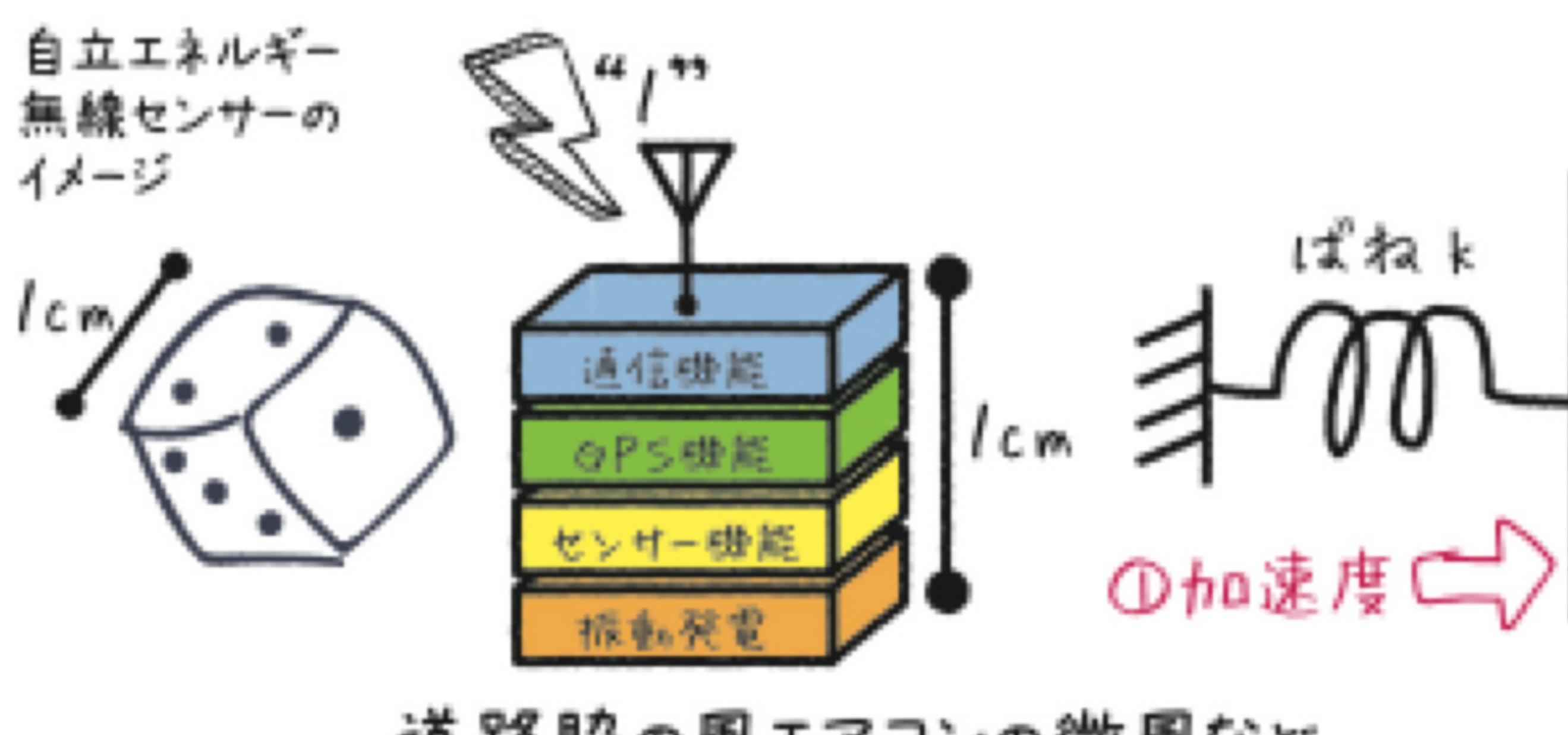
センサーや通信機能を組み込む「MEMS」各部品は米粒の世界
MEMS: 微小電気機械システム



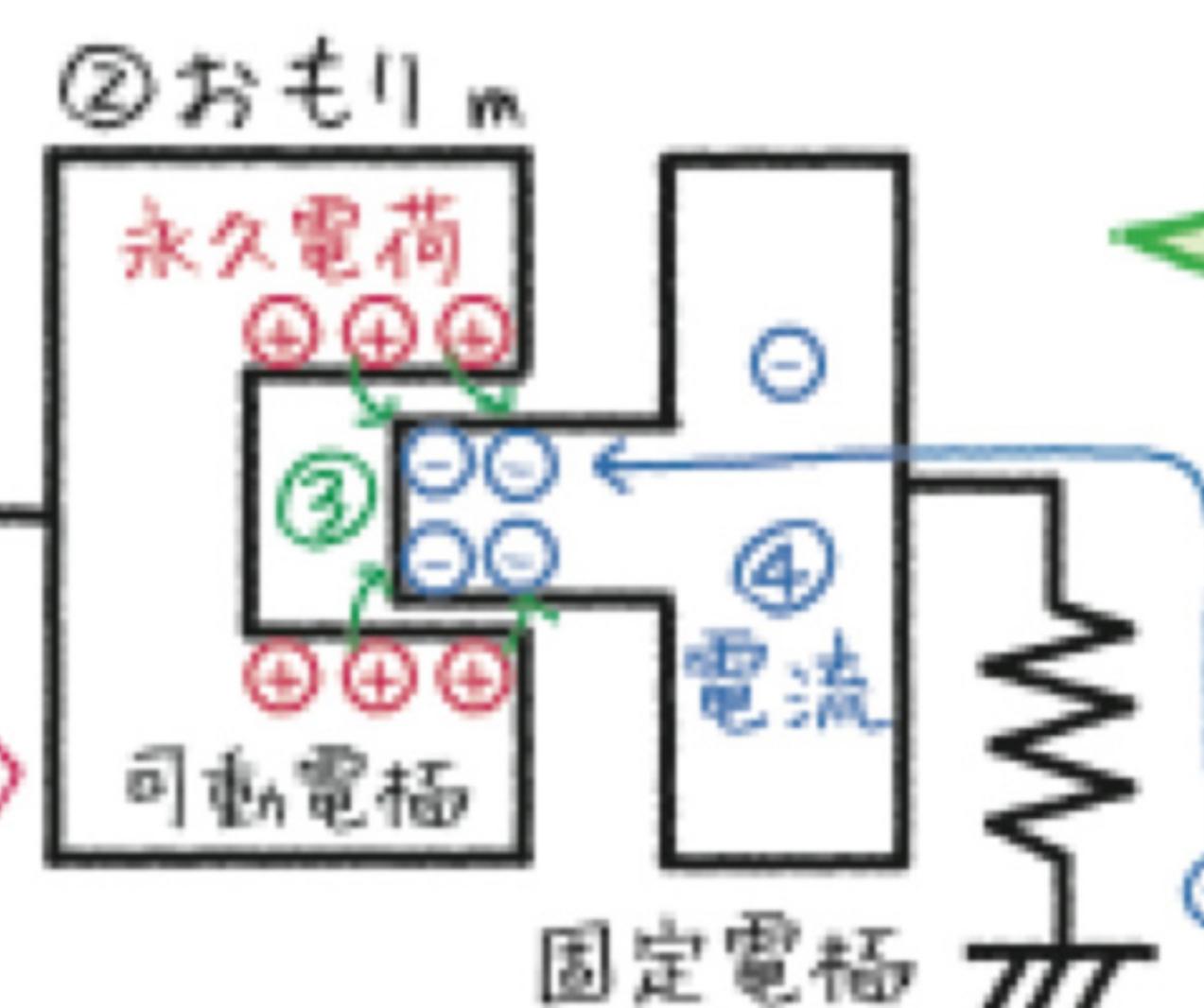
1兆個分の電力
約原発10基分!
ケーブルさせない!
電池が使らない!
電源につなげない!

MEMSでセンサー自体に発電させたら?

自立エネルギー
無線センサーの
イメージ



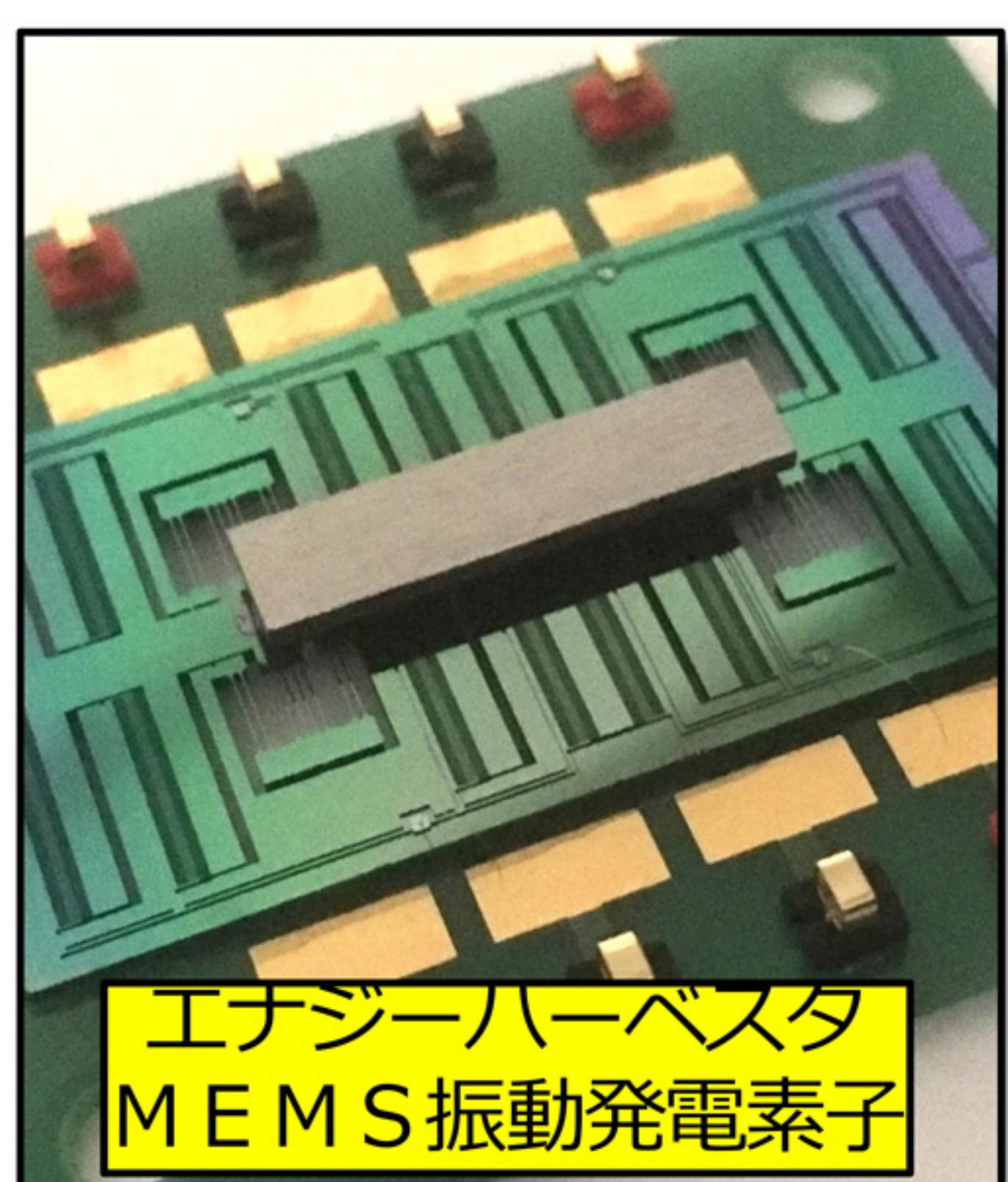
道路脇の風エアコンの微風など



- ① 外部振動の加速度が加わる
- ② おもり(可動電極)が揺れる
- ③ 永久電荷(エレクトレッカ)と電子をつなぐ電場が変化する
- ④ 電子が引き寄せられたり弾かれたりして電流が流れるので、振動から発電できる

日常生活での振動で発電するセンサーの開発へ

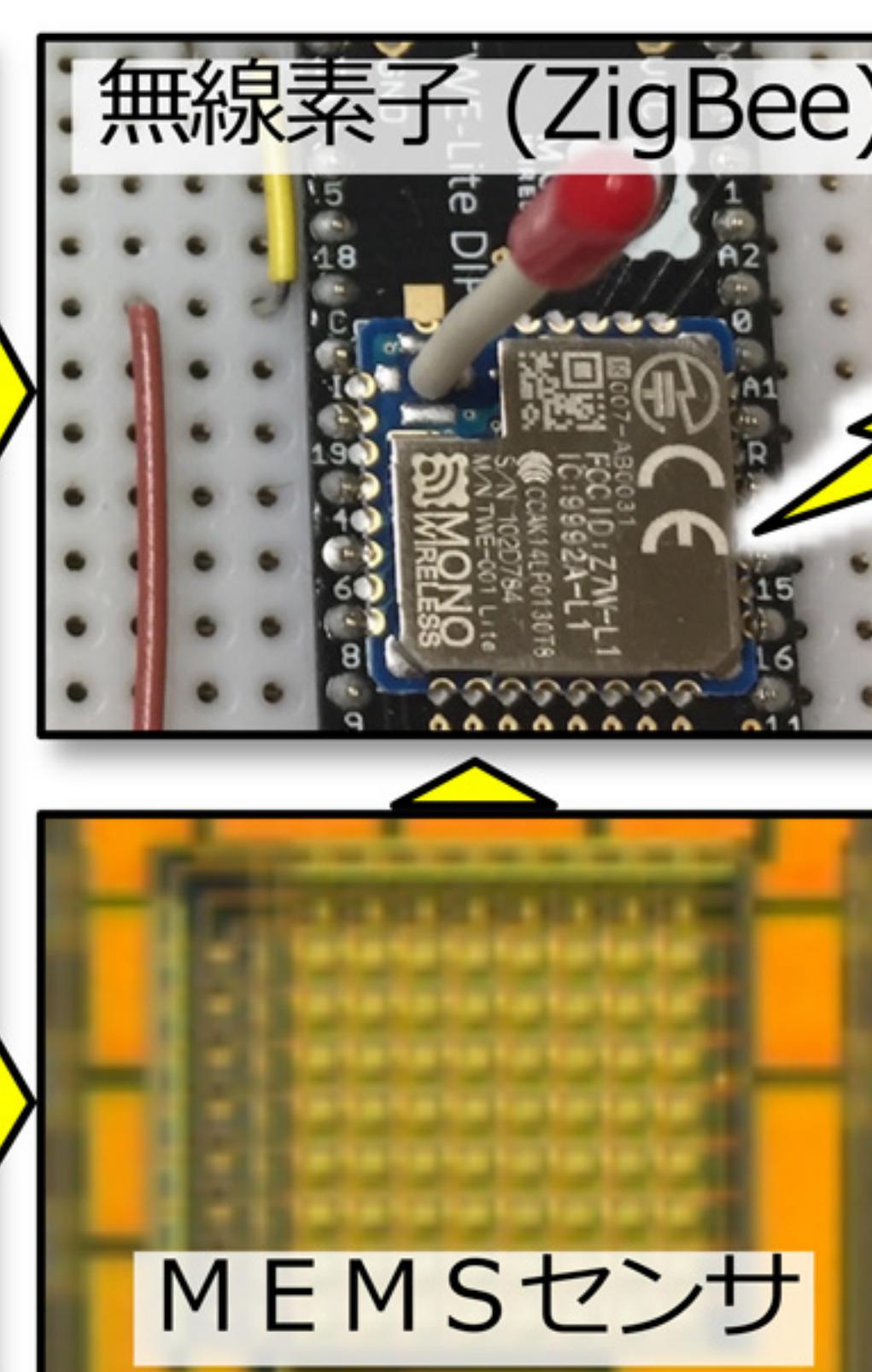
東京大学本部棟展示・先端研 2015.02.03



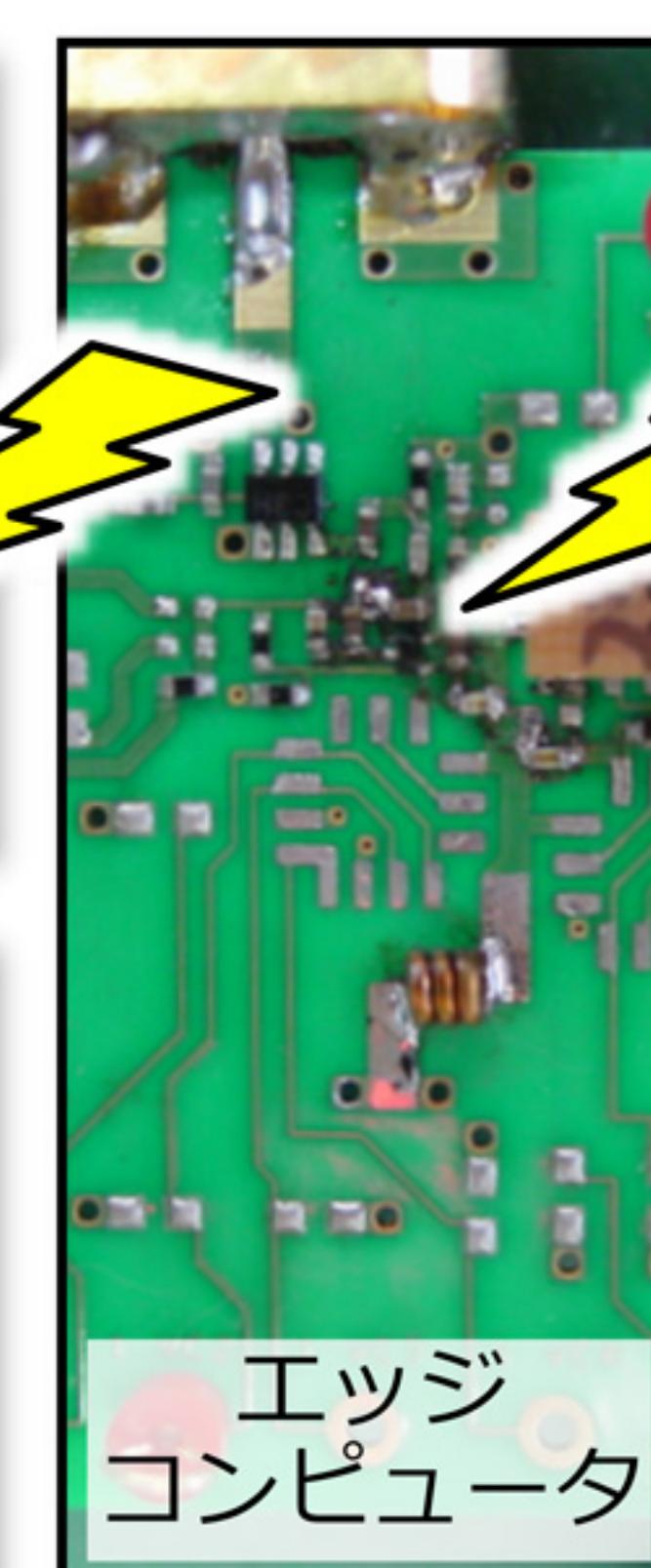
エナジーハーベスター
MEMS振動発電素子



LTC-3588



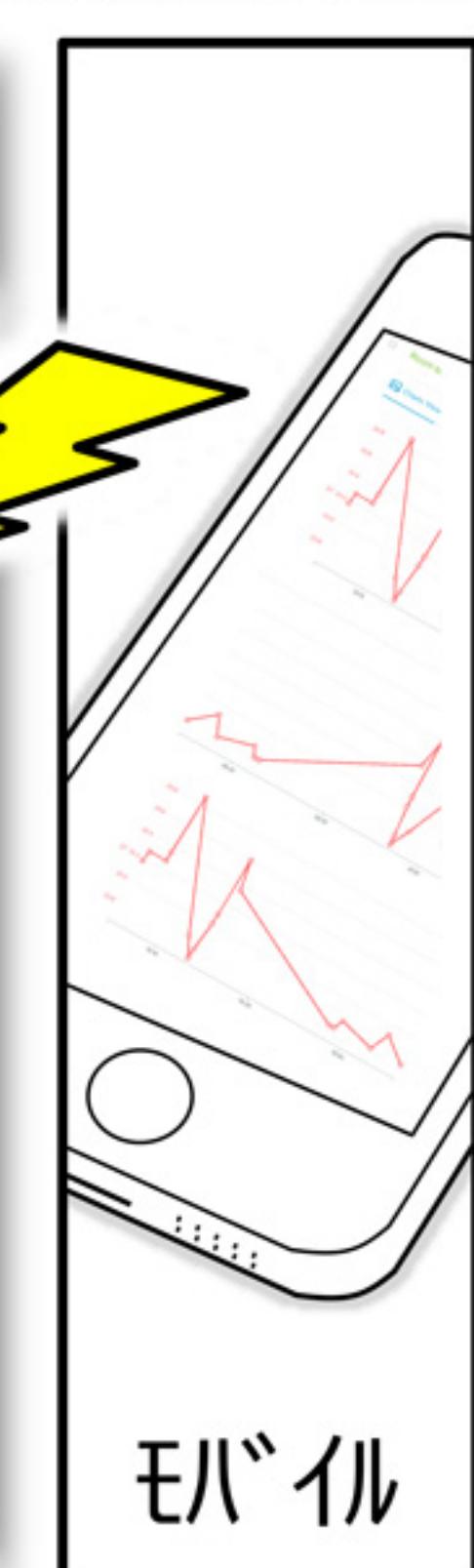
赤外線センサ、Z. Cheng, 2017



エッジ
コンピュータ



クラウド



モバイル

本CREST研究で開発中のエナジーハーベスター

IoTのアプリやサービスが重要な開発要素であることはもとよりですが、すべてのモノに超小型センサと無線機が搭載されたときに、さて、電源はどのように供給するのでしょうか？ 太陽電池や無線給電だけで十分？

年吉研究室では、環境の振動や人の動きからエネルギーを回収してIoT無線センサを駆動する「エナジーハーベスター」をMEMS技術を用いて研究開発しています。

MEMSは美学

MEMSは電気、機械、化学、材料力学、流体力学、光学…の複合領域です。また、製作プロセスの構築には、材料特性、半導体プロセスを理解したパズル解法的なひらめきが必要ですし、プレゼンのテクニカル・ドローイングには、芸術的センスも必要です。新分野で現代のレオナルド・ダ・ビンチを目指してください。



横田研究室(Prof. Yokota)

Yokota Laboratory

URL:<http://www.ntech.t.u-tokyo.ac.jp/>

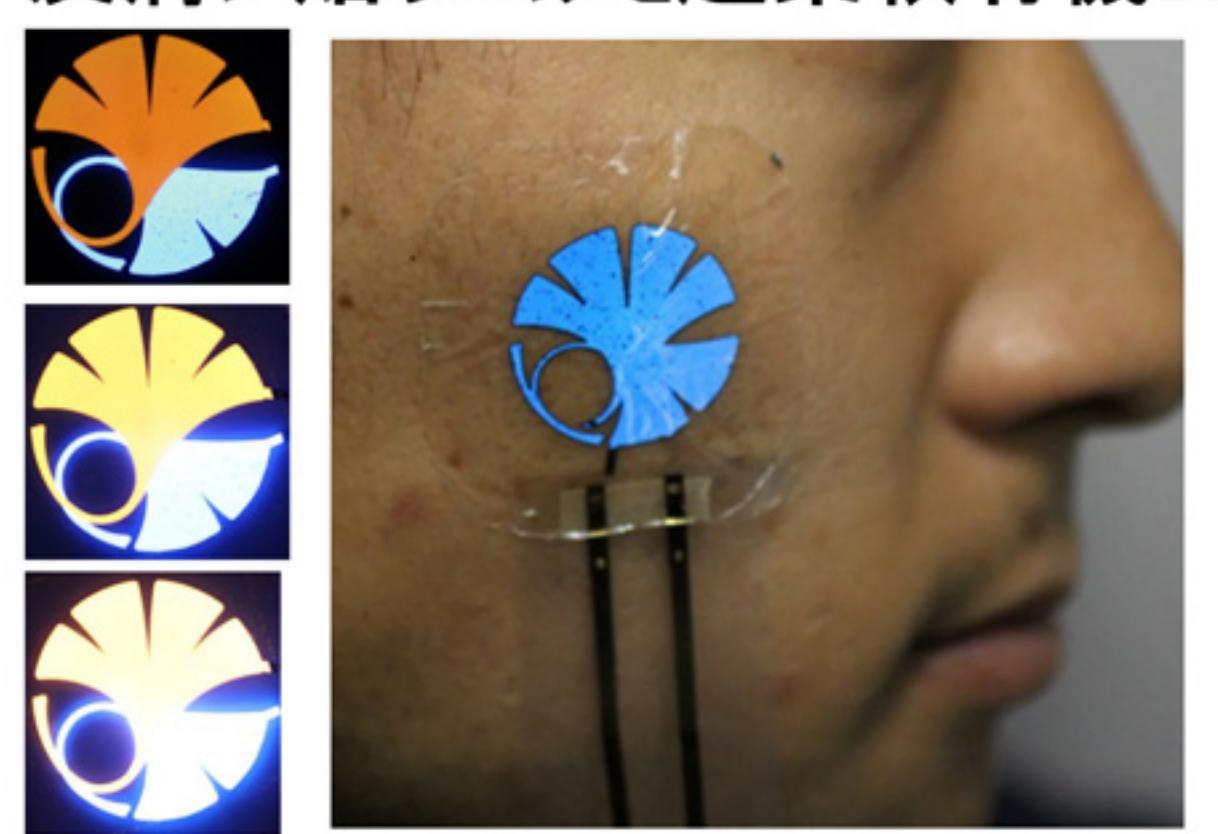
工学部10号館3F330
Bldg. Eng-10 3F Room 330

極薄な有機光デバイスを用いたセンサ応用

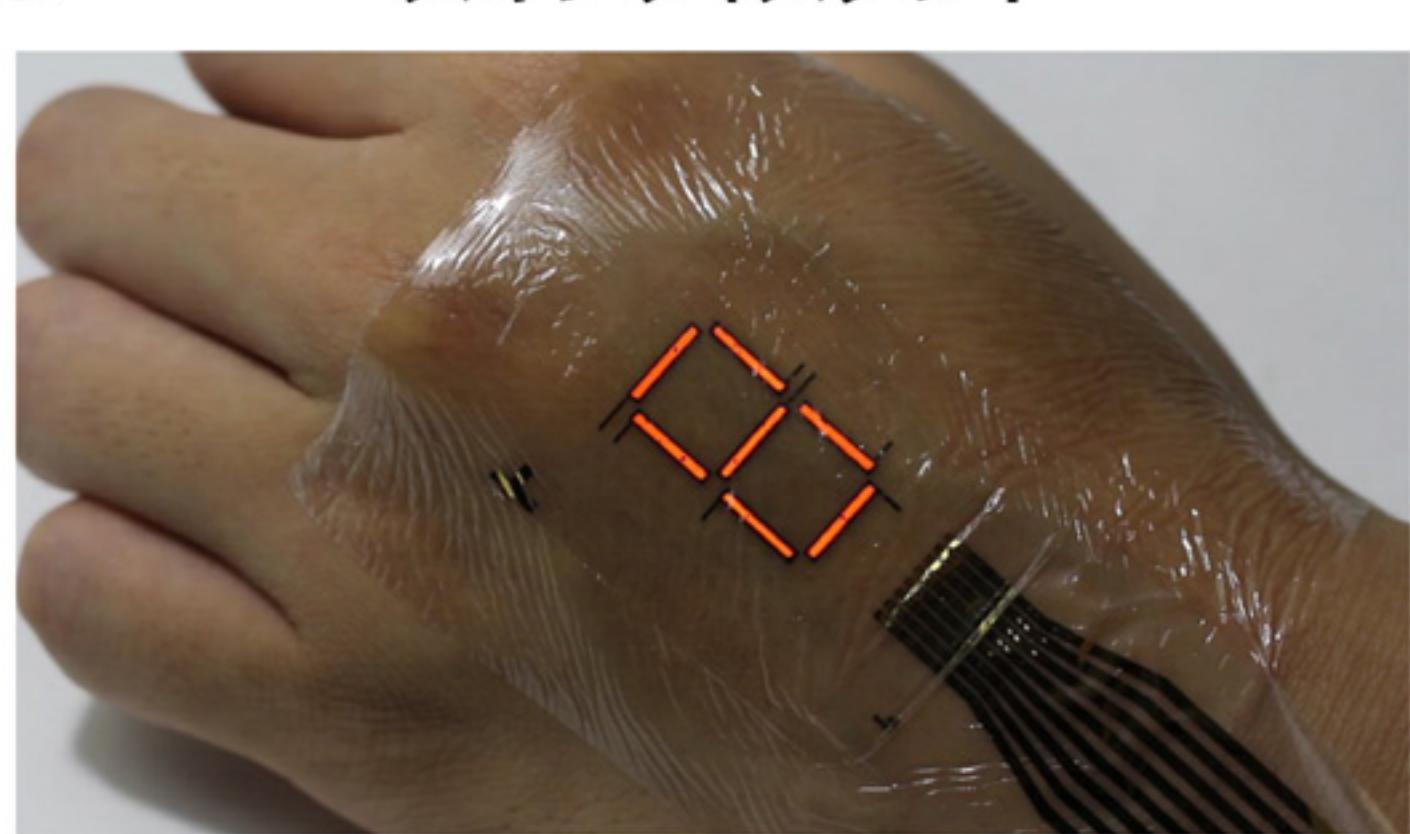
Science Advances Volume 2, no. 4, e1501856 (2016) DOI: 10.1126/sciadv.1501856

- 超柔軟で極薄の有機LEDを作製し、大気中で安定に動作させることに成功しました。
- この超柔軟有機LEDは、すべての素子の厚みの合計が3マイクロメートルしかないため、皮膚のように複雑な形状をした曲面に追従するように貼り付けることができます。実際に、肌に直接貼りつけたディスプレイやインディケーターを大気中で安定に動作させることができます。
- 今後、ヘルスケア、医療、福祉、スポーツ、ファッショなど多方面への応用が期待されます。

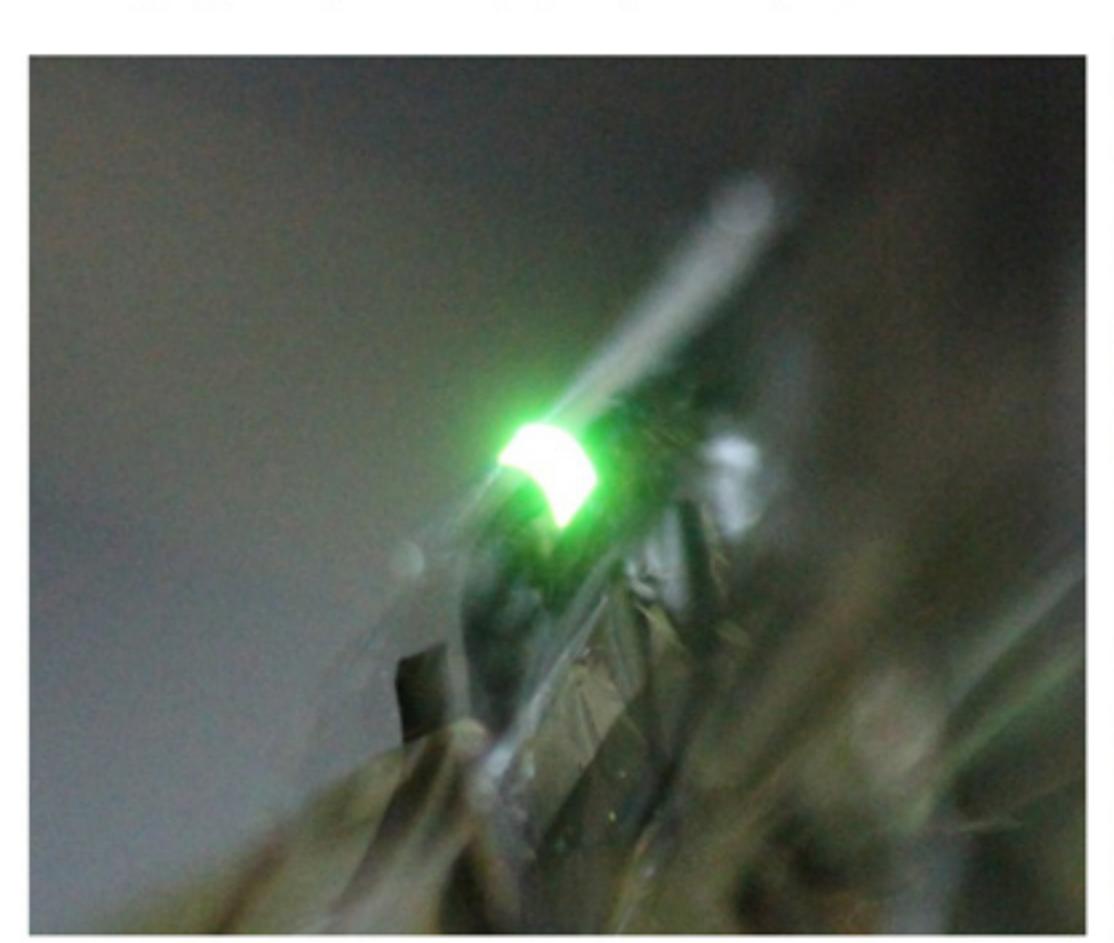
皮膚に貼りつけた超柔軟有機LED



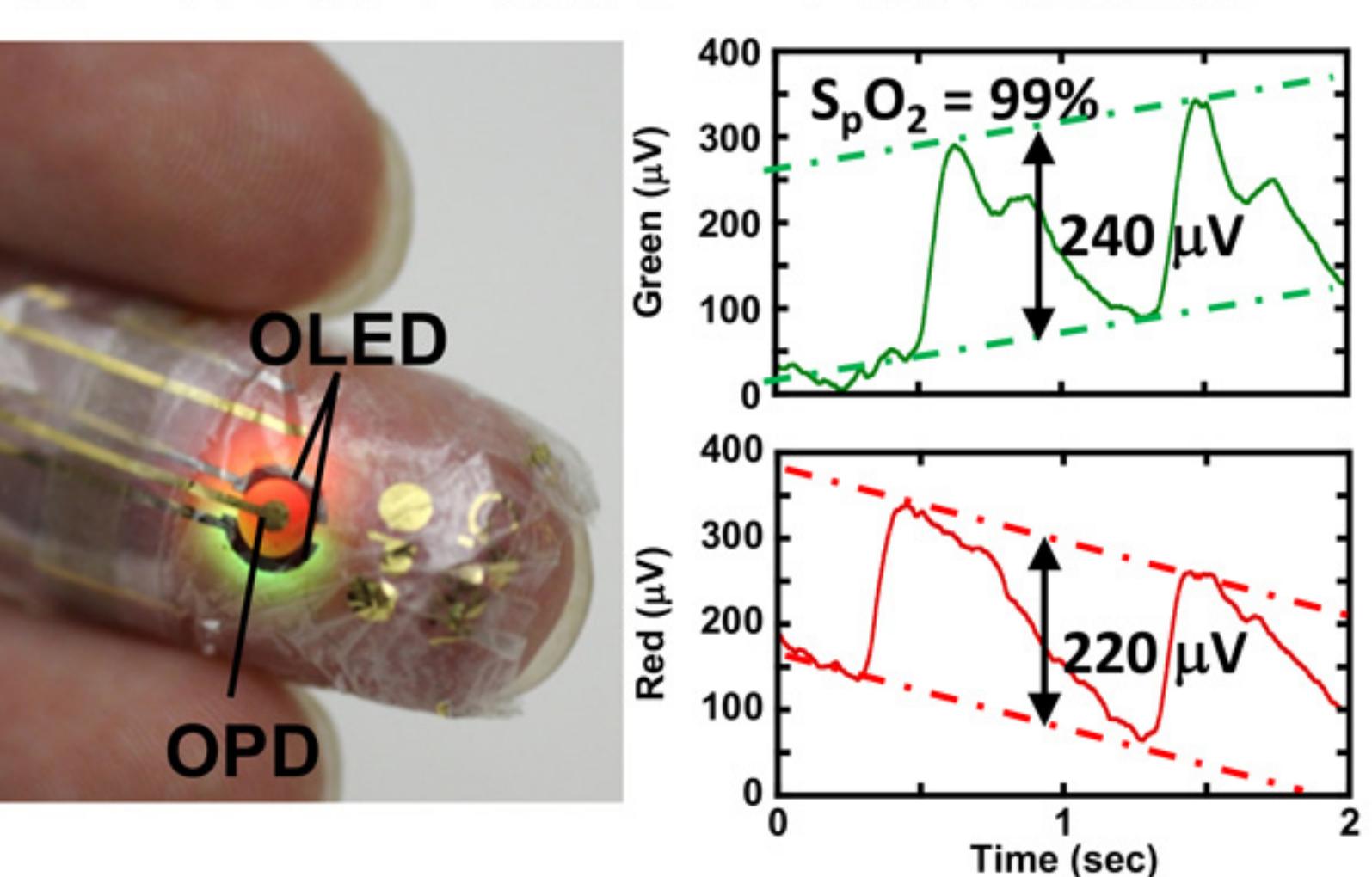
スキンディスプレイ



高いフレキシブル性



指に巻き付け可能な血中酸素濃度計

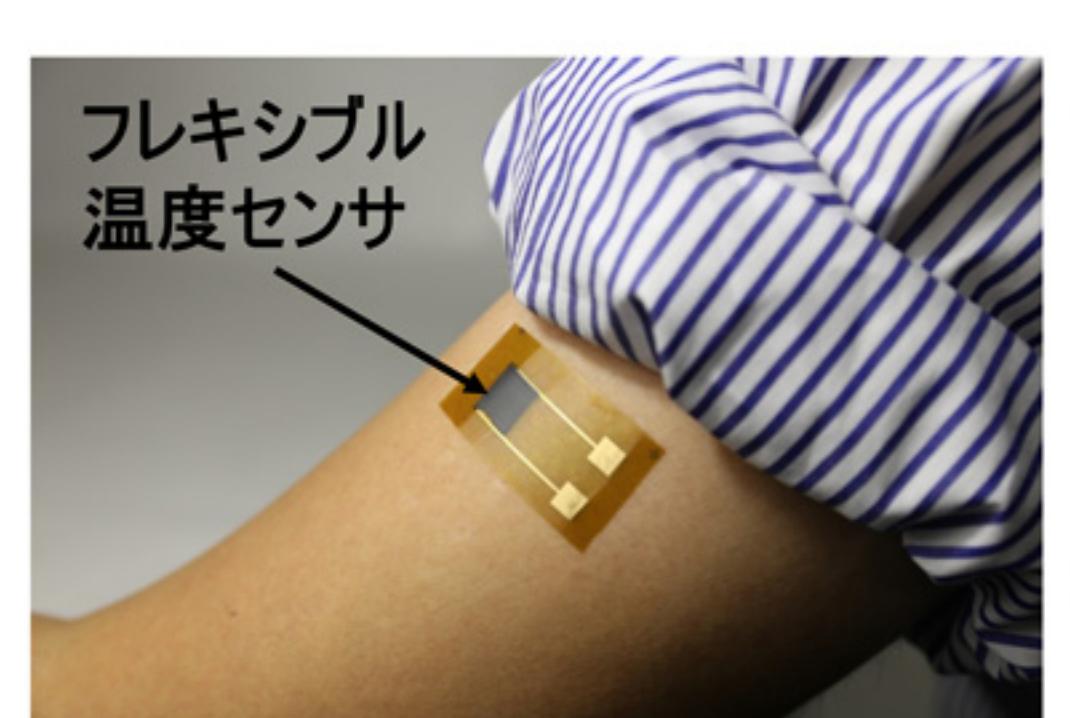


印刷可能な高感度温度センサ

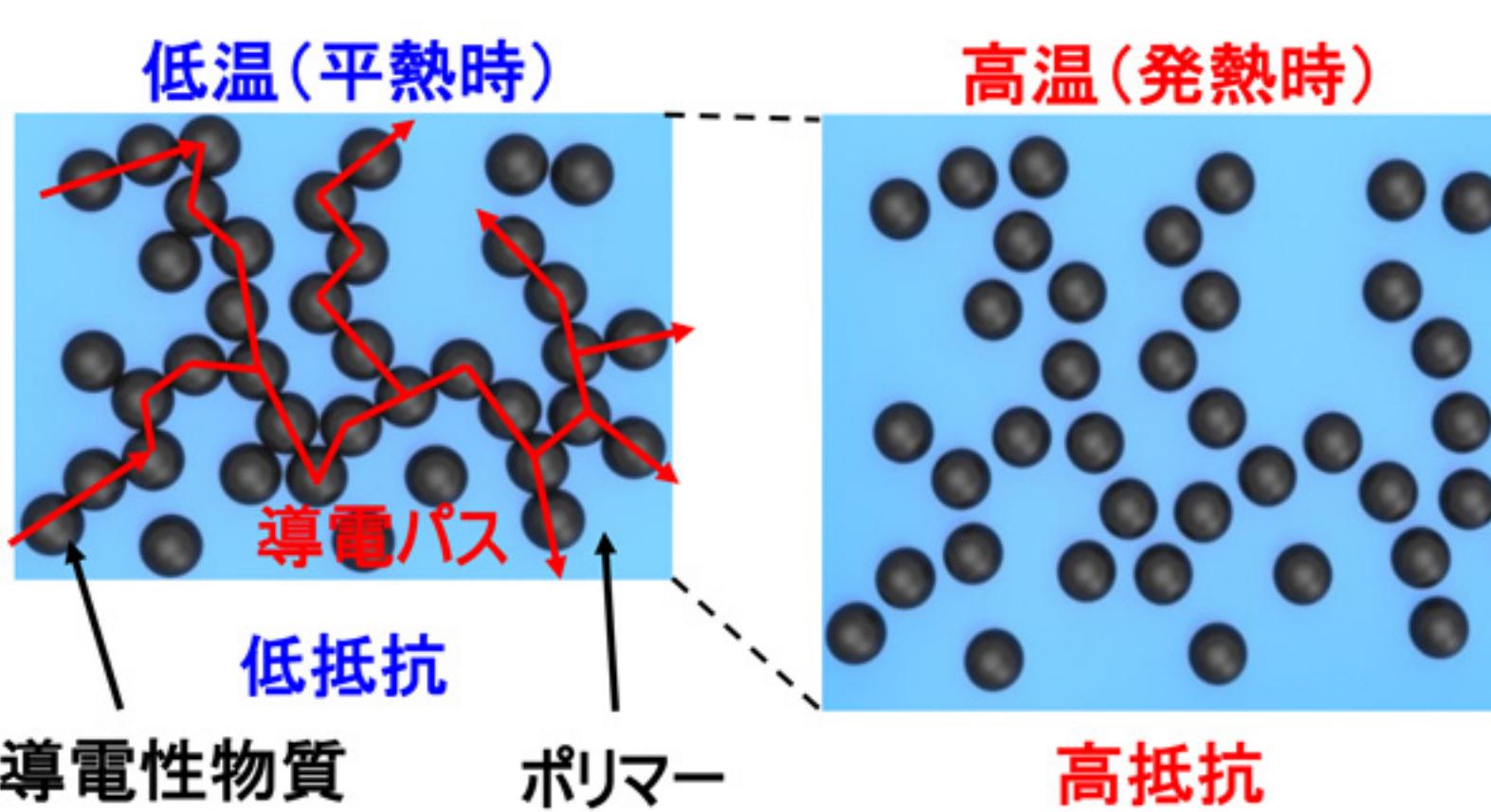
PNAS, Volume. 112, pp. 14533–14538 (2015) DOI:10.1073/pnas.1515650112

- 薄くてしなやかなプラスチック製の温度計を印刷プロセスによって作製し、生体組織に貼り付けて表面温度の分布を測定することに成功しました。
- ダイナミックに呼吸運動をしているラットの肺の表面温度を計測し、呼吸の呼気と吸気における肺の温度差が非常に小さい(約0.1°C)ことを世界で初めて実測し、恒温動物が高精度に体温を一定に保つことを確認しました。
- 今後、赤ちゃんの体温をモニターするなどヘルスケア、医療、福祉など多方面への応用が期待されます。

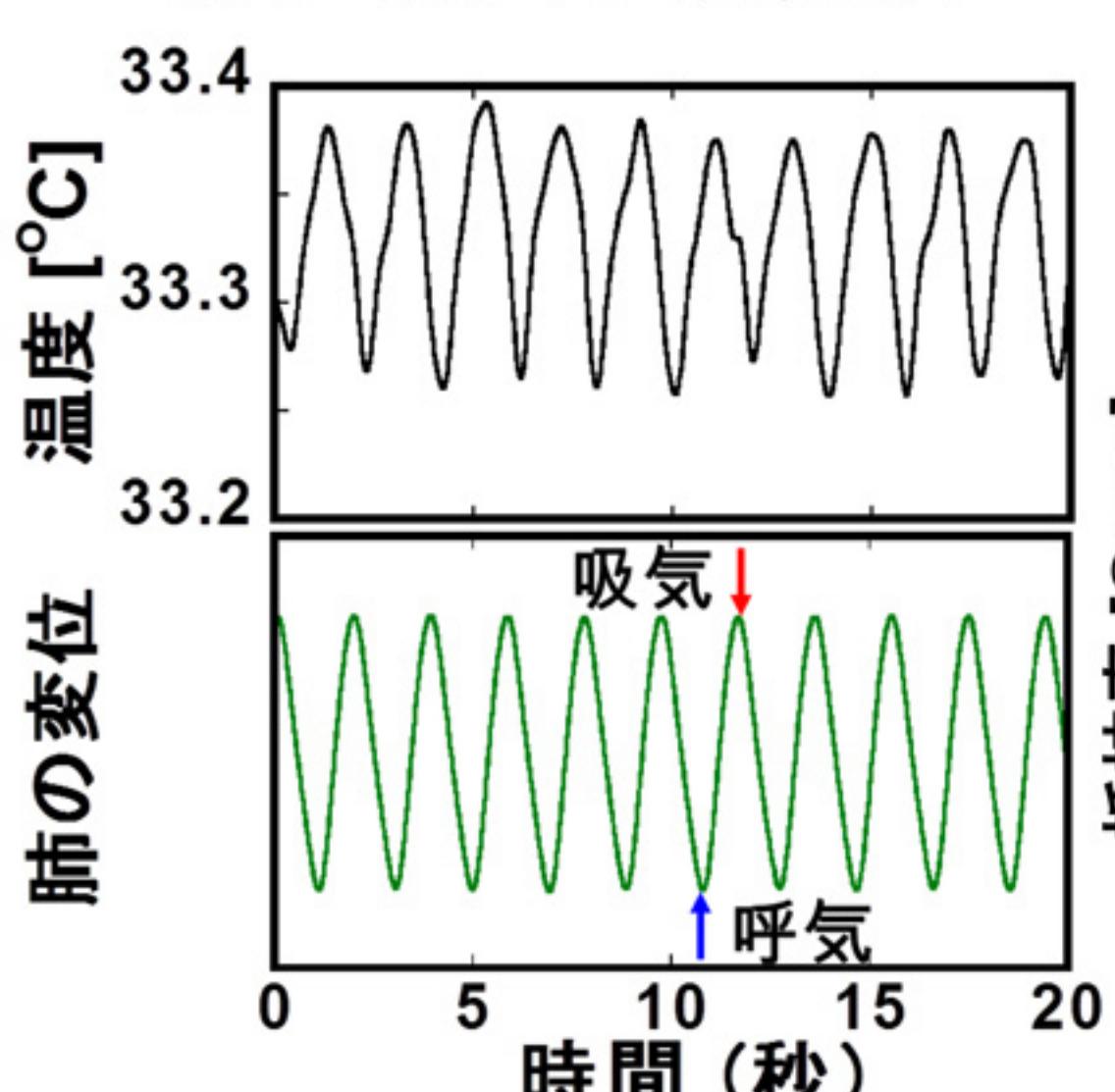
皮膚に貼り付けたセンサ



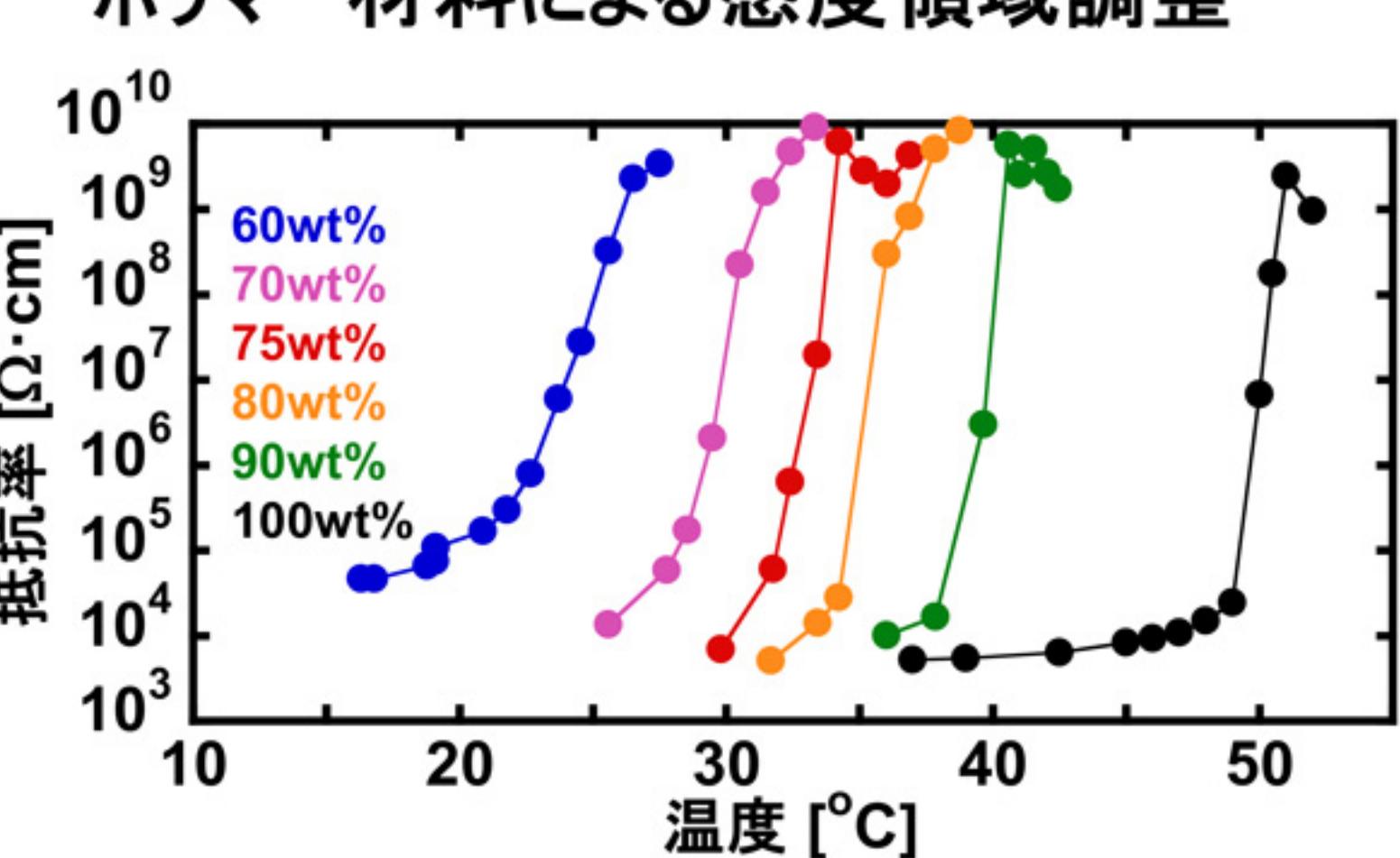
温度センサーの動作原理



ラットの肺の温度変化



ポリマー材料による感度領域調整



フレキシブルセンサーの開発と応用

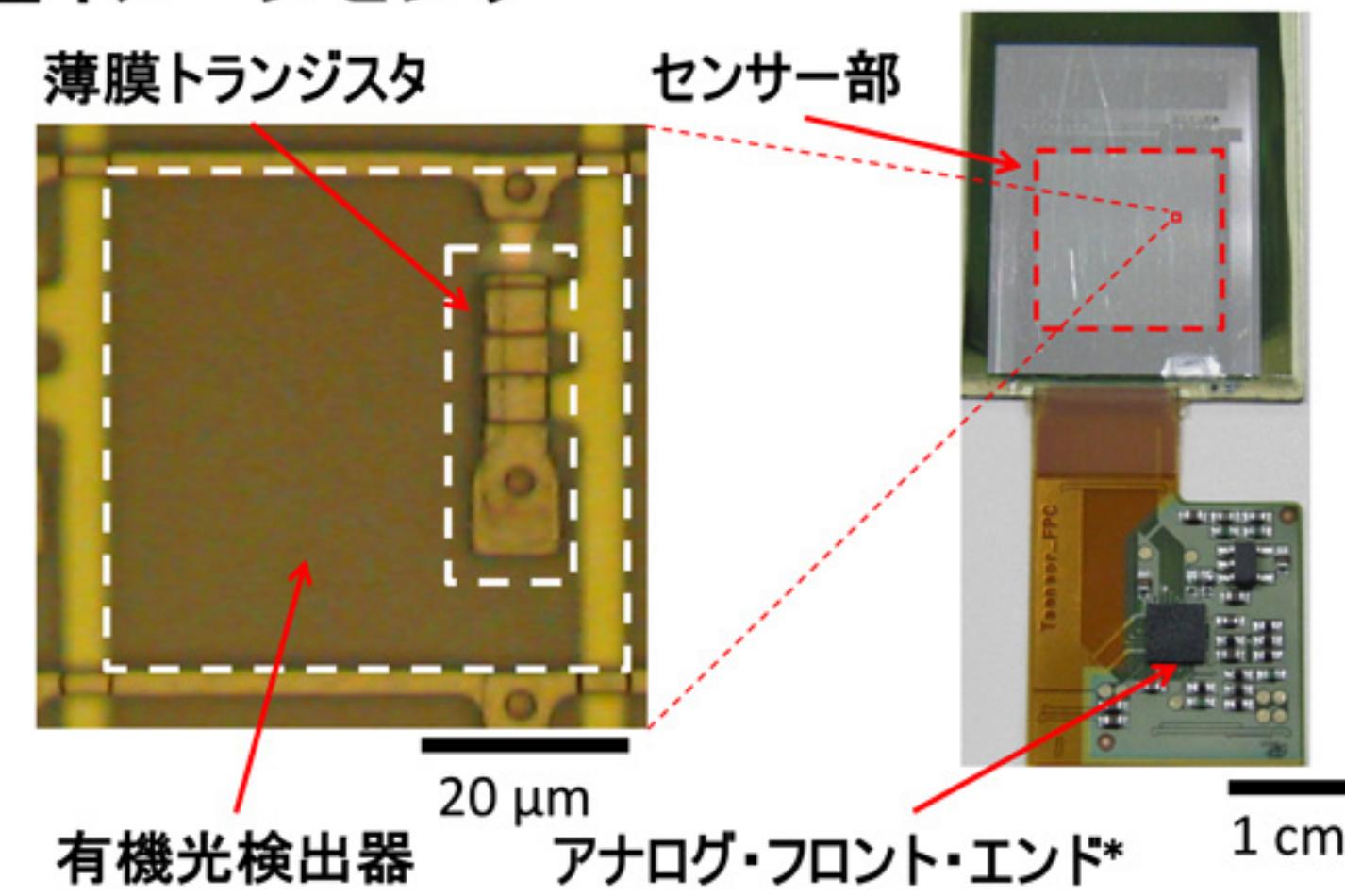
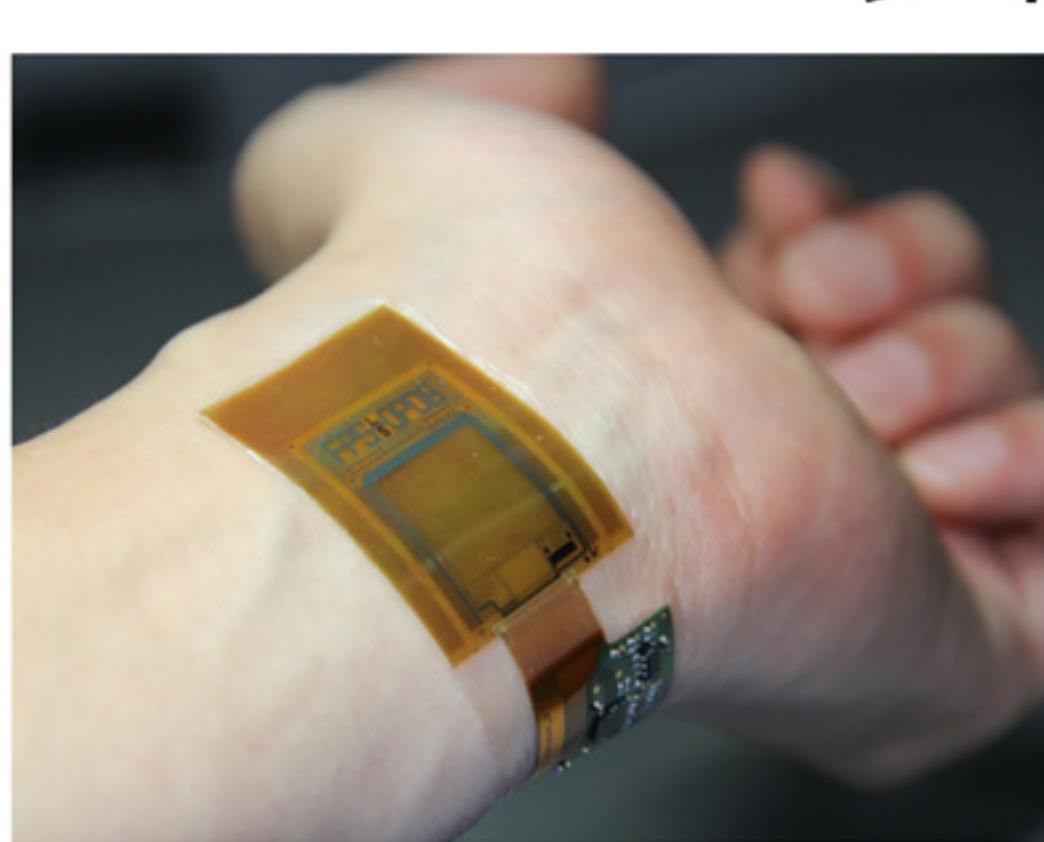
有機トランジスタや有機光素子をはじめとしたフレキシブルエレクトロニクスの研究を行っています。クリーンルーム内で印刷装置をはじめとした最新の設備を用いて、新しいデバイス開発やセンサ開発を行っています。研究室の運営は、染谷隆夫教授と共同で行っています。

シート型イメージセンサ

Nature Electronics Volume 3, pp. 113–121 (2020) DOI: 10.1038/s41928-019-0354-7

- 高空間解像度(508dpi)と高速読み出し(41fps)を両立するシート型イメージセンサーの開発に成功しました。
- このシート型イメージセンサーを用いることで、高解像度が必要な生体認証向けの指紋や静脈の撮像と高速読み出しが必要な脈波の分布計測を1枚のイメージセンサーで計測できるようになりました。
- 今後、シート型イメージセンサーをウェアラブル機器に応用することによって、生体認証とバイタルサインの計測を同時に行うことができるため、「なりすまし」や患者の取り違えを防止することができます。

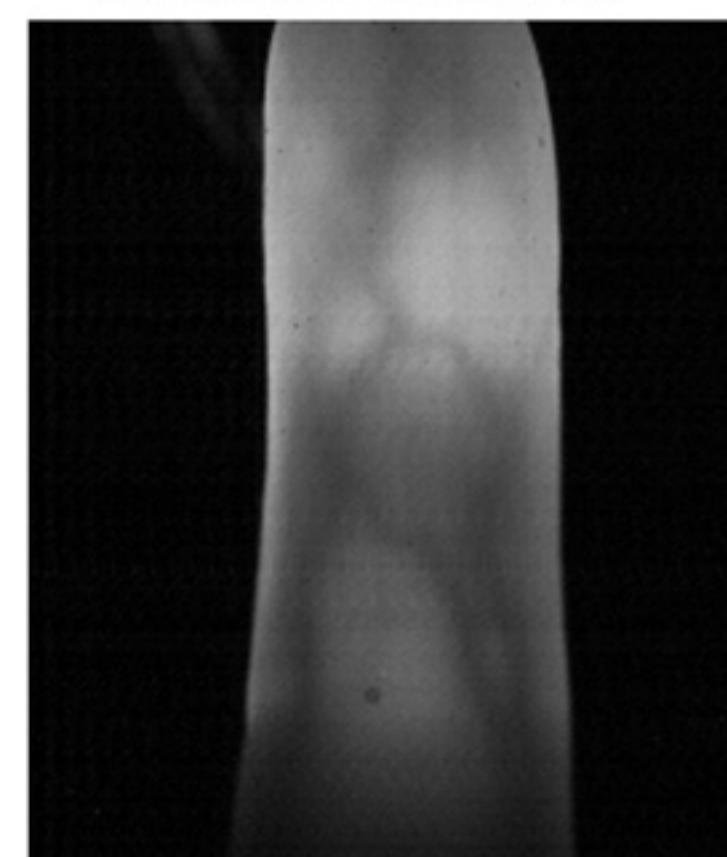
シート型イメージセンサ



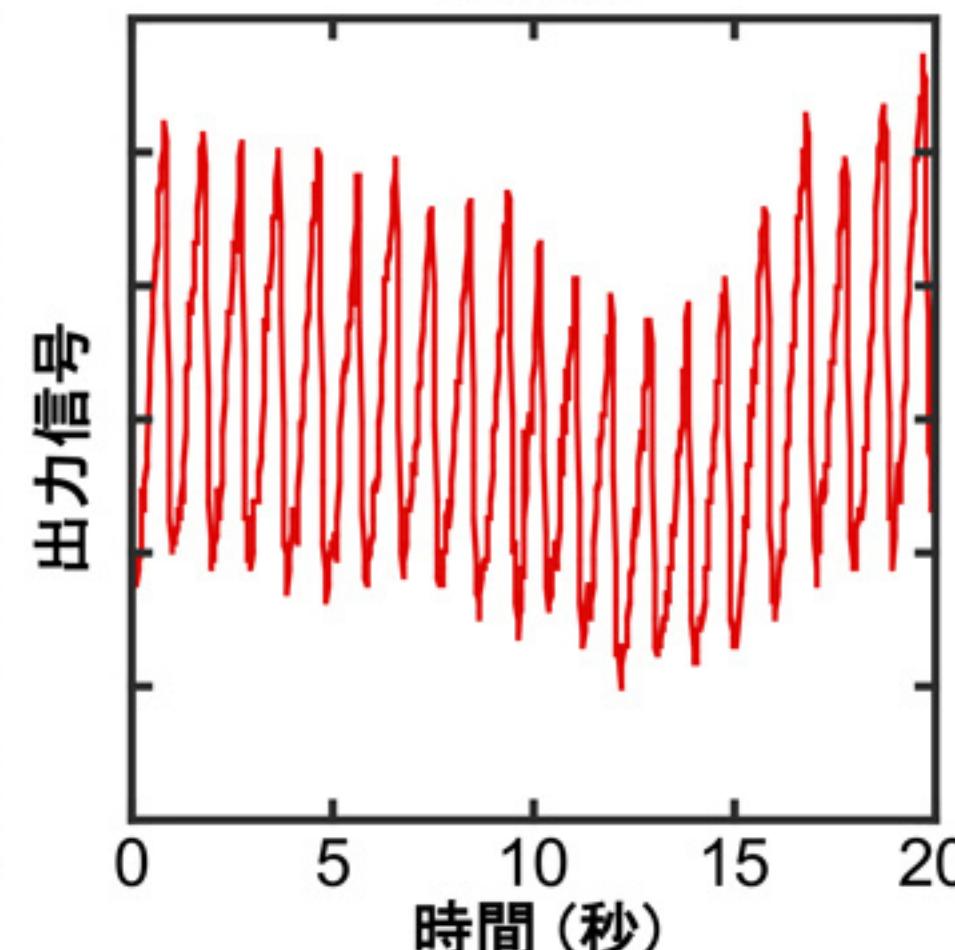
撮像した指紋



撮像した静脈



脈波



高分子上に成膜可能な二次元配向膜

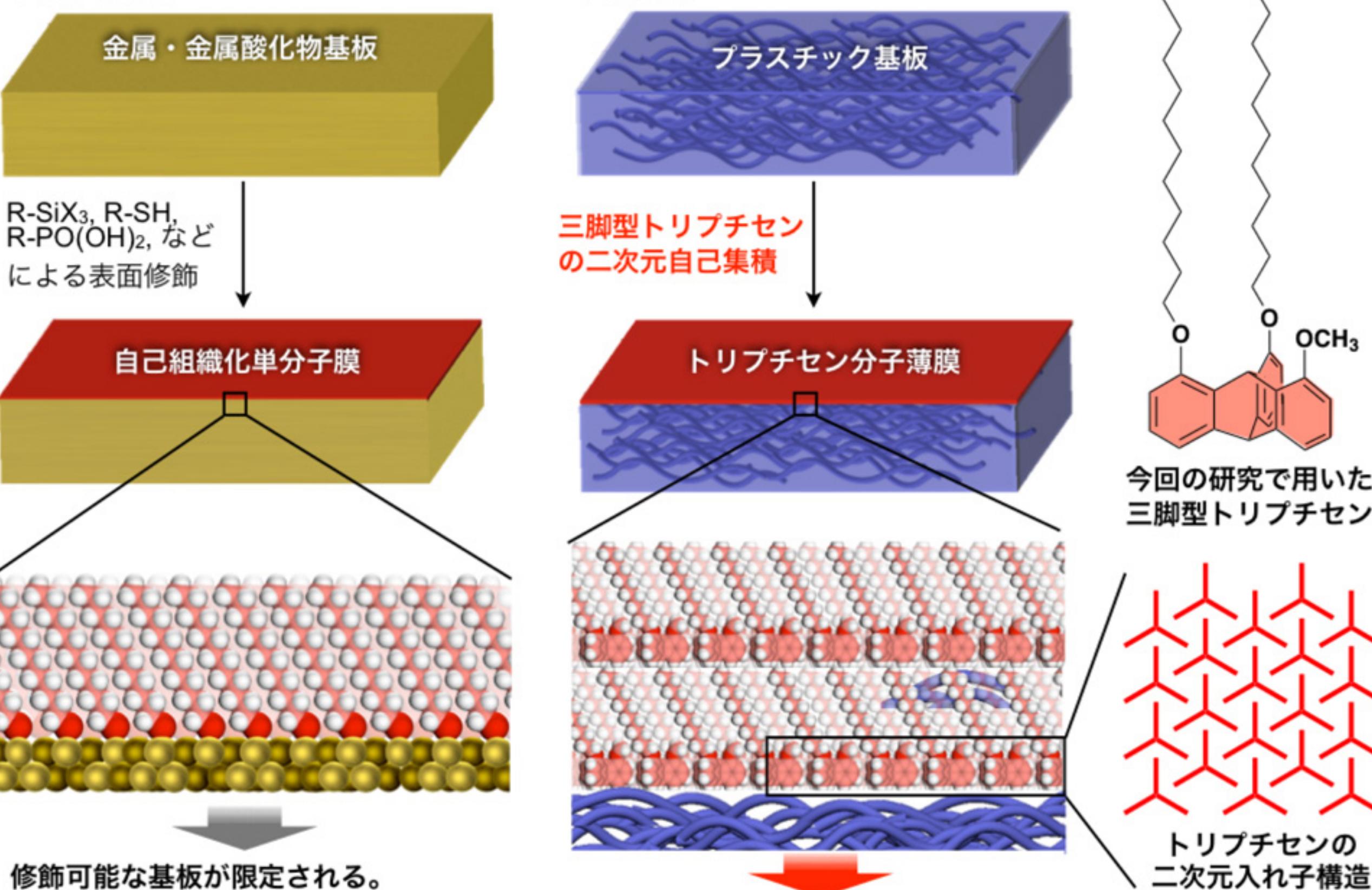
Nature Nanotechnology Volume 13, pp. 139–144 (2018) DOI: 10.1038/s41565-017-0018-6

- 従来技術では困難であったプラスチックなどの様々な基板の上に数層の分子配向膜を実現。分子配向膜を形成することで、基板の表面エネルギー制御に成功しました。
- 分子配向膜を有機トランジスタの絶縁膜上に形成することで、有機トランジスタ、集積回路の駆動電圧の低減をはじめとした高性能化を実現しました。
- 分子の末端基を設計することで、プラスチック表面に様々な機能を付加できるようになり、高性能・高機能なフレキシブルエレクトロニクスの実現が期待されます。

【既存の手法】



【本研究】



二次元配向膜を有機集積回路に用いることで、電気特性の改善に成功

