

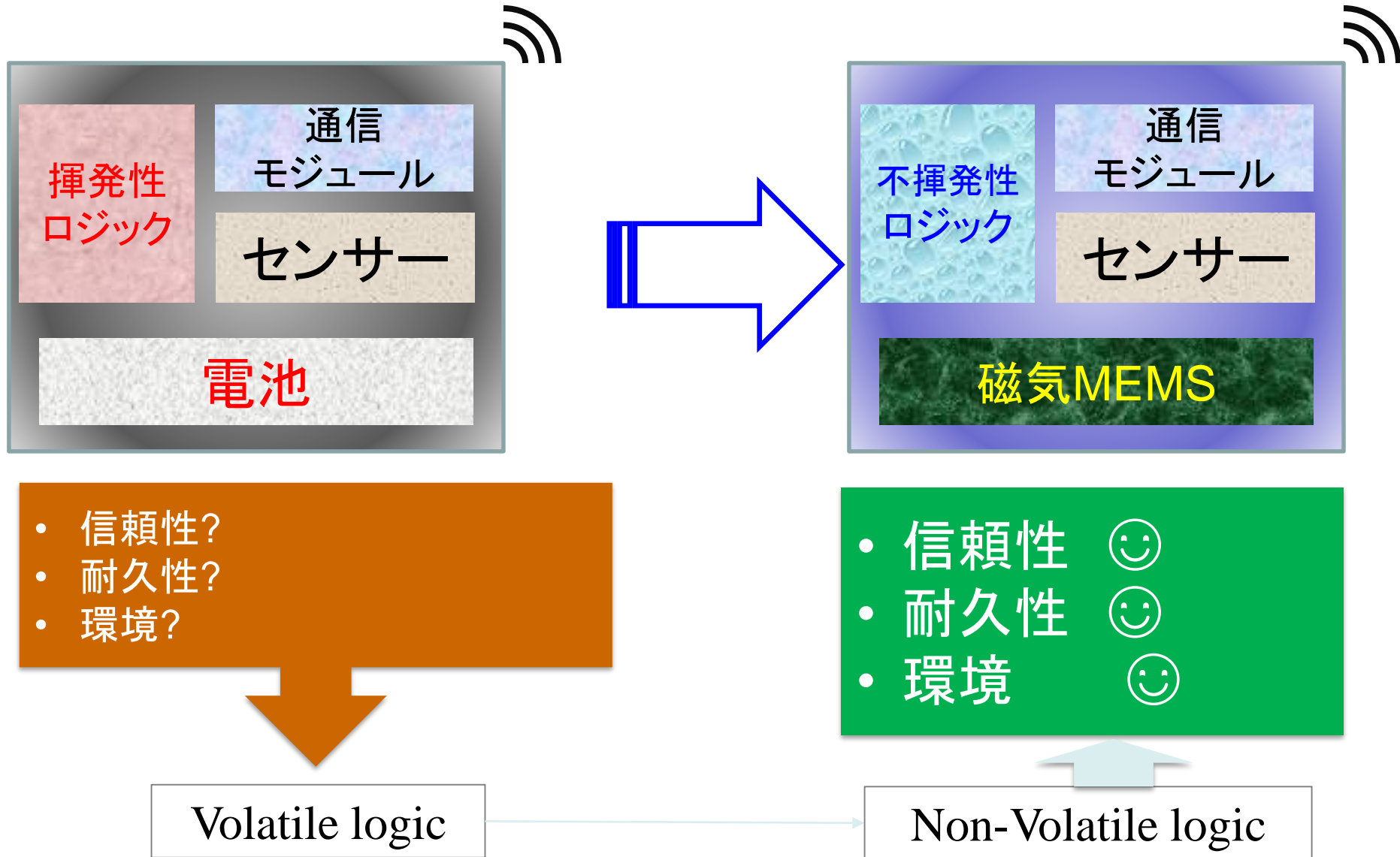
スピントロニクスを利用した 発電素子とメモリー素子

信州大学 工学部

電子情報システム工学科 教授 劉 小晰

2019年8月6日

本研究のねらい



本研究のねらい

Electric Field-Induced Creation and Directional Motion of Domain Walls and Skyrmion Bubbles

Nano Lett., 2019, 19 (1), pp 353–361

DOI: 10.1021/acs.nanolett.8b03983

Switching domain wall motion on and off using a gate voltage for domain wall transistor applications

Applied Physics Letters 113 (23), 232401

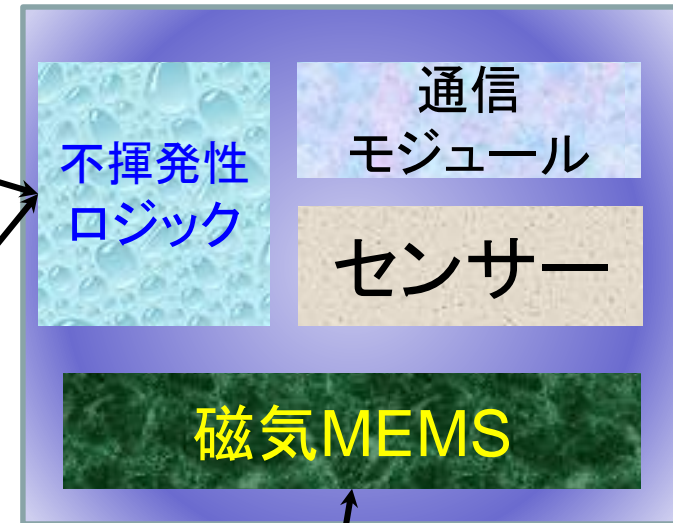
DOI: [10.1063/1.5053852](https://doi.org/10.1063/1.5053852)

Stress-Induced Domain Wall Motion in FeCo-Based Magnetic Microwires for Realization of Energy Harvesting

Advanced Electronic Materials

2018-11-16 | journal-article

DOI: 10.1002/aelm.201800467



従来技術：希土類含有の超磁歪材料が必要

磁歪あるいは磁気ひずみは、強磁性体の特性であり、強磁性体に磁場を印加し磁化させると形状にひずみが現れる現象である。

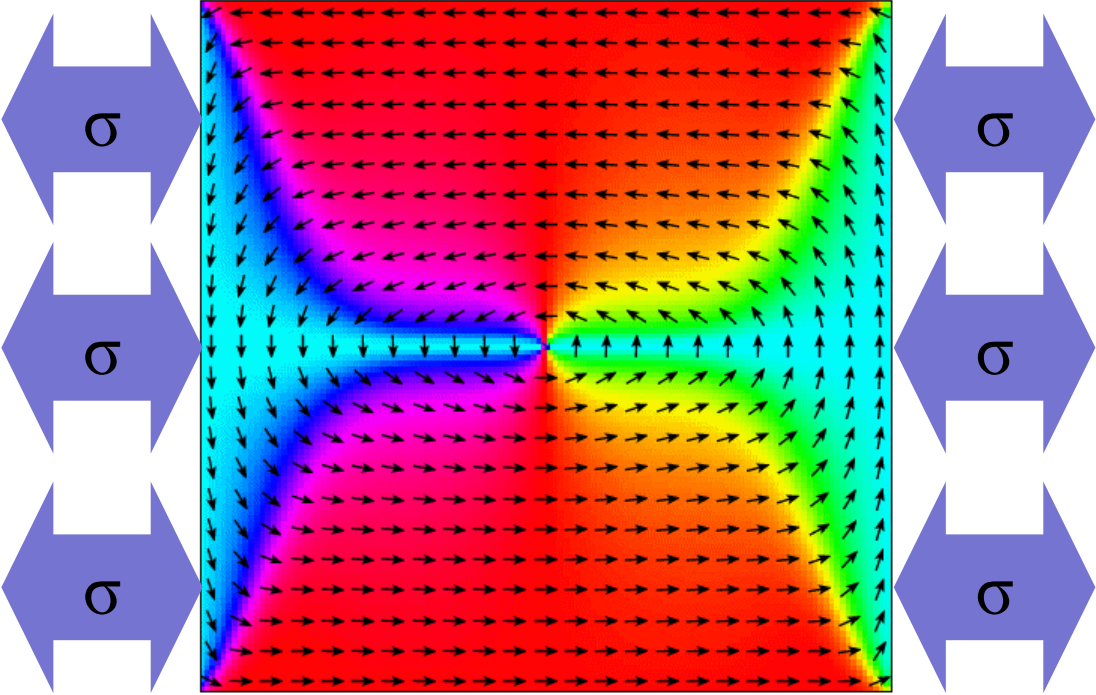
$$\lambda \sim 10^{-5 \sim -6} \quad \lambda = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\text{Terfenol-D, Tb}_x\text{Dy}_{1-x}\text{Fe}_2, \lambda \sim 10^{-3}$$

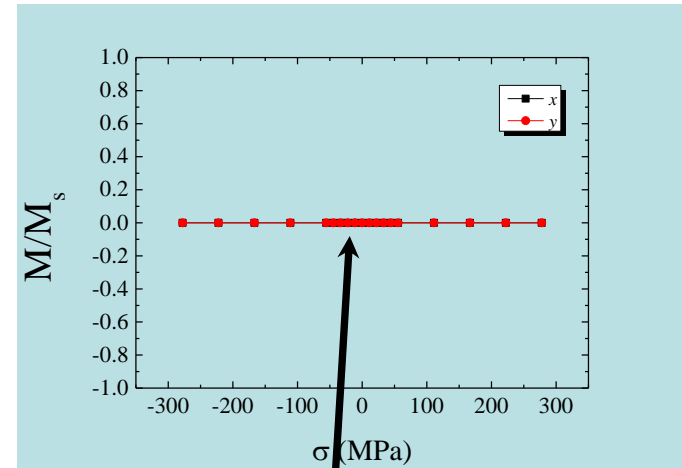
ビラリ現象 (Villari effect) とは、磁性体に圧力を加えるとその磁化の強さが変化する現象のこと。

$$\left(\frac{\partial \lambda}{\partial H} \right)_\sigma = \left(\frac{\partial B}{\partial \sigma} \right)_H \quad \text{Le Chatelier's principle}$$

従来技術：バルク材，多磁区構造，大きな応力が必要！

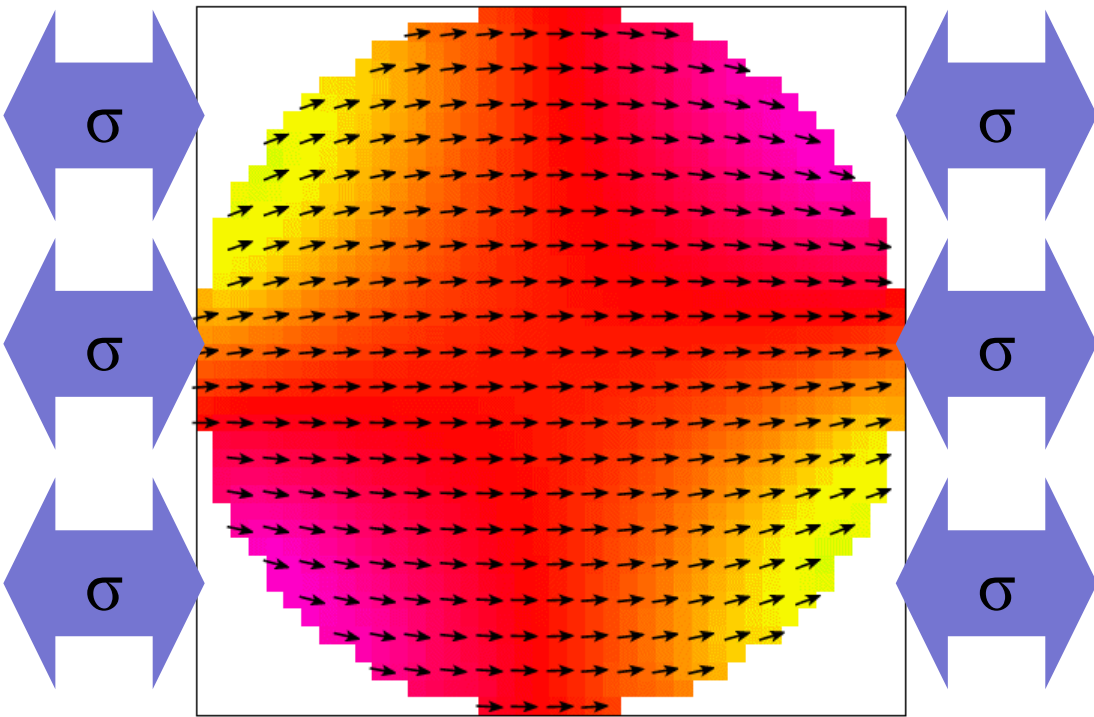


$-280\text{MPa} \leq \sigma \leq 280\text{MPa}$

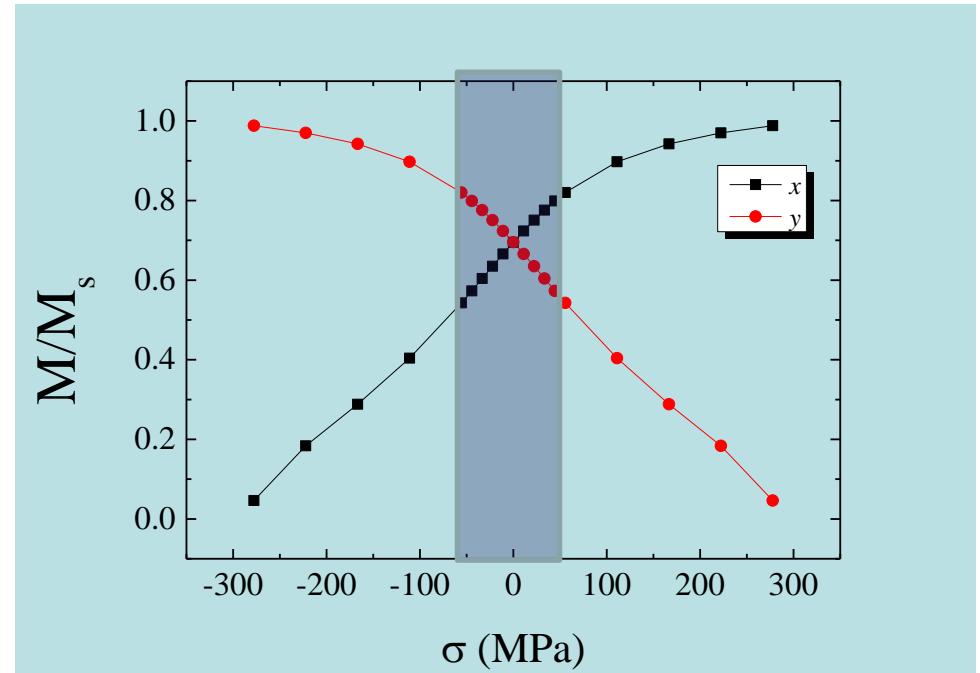


応力による磁化の変化は限定的

本技術：希類不含有、単磁区構造、微小な応力でも磁化容易軸回転

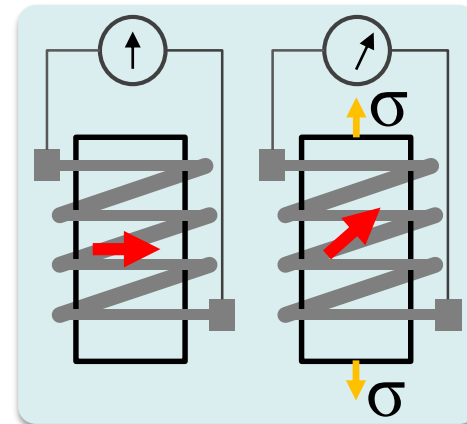


$$-280\text{MPa} \leq \sigma \leq 280\text{MPa}$$

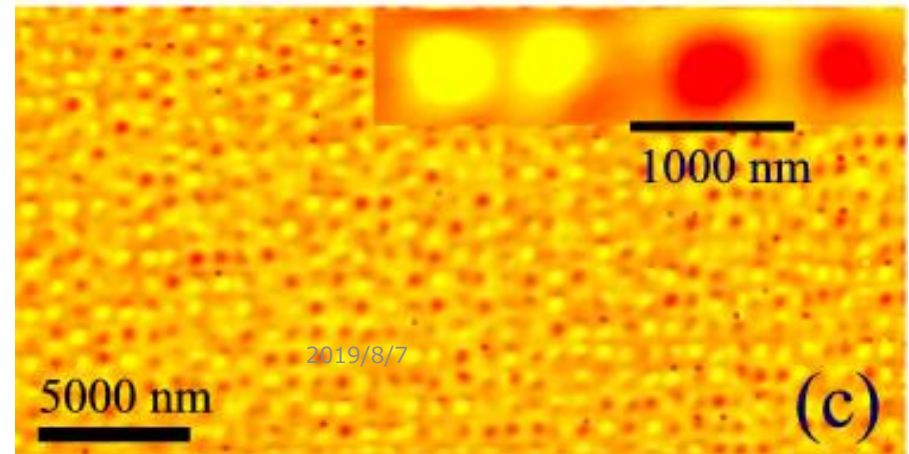
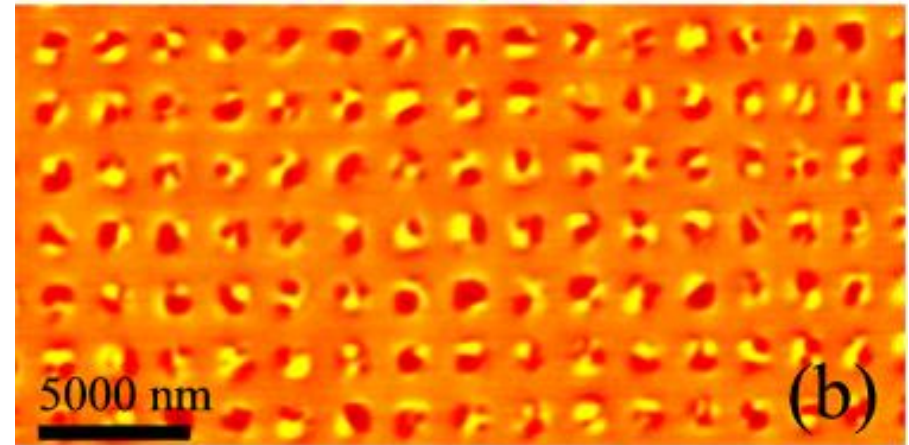
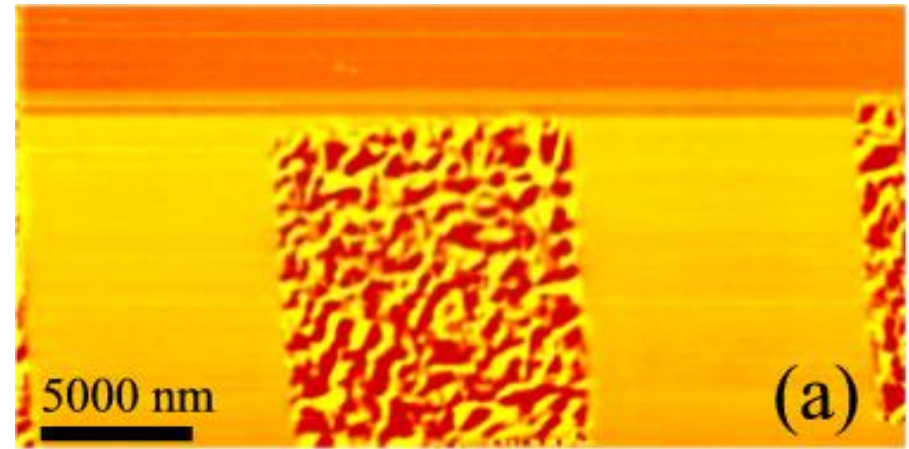
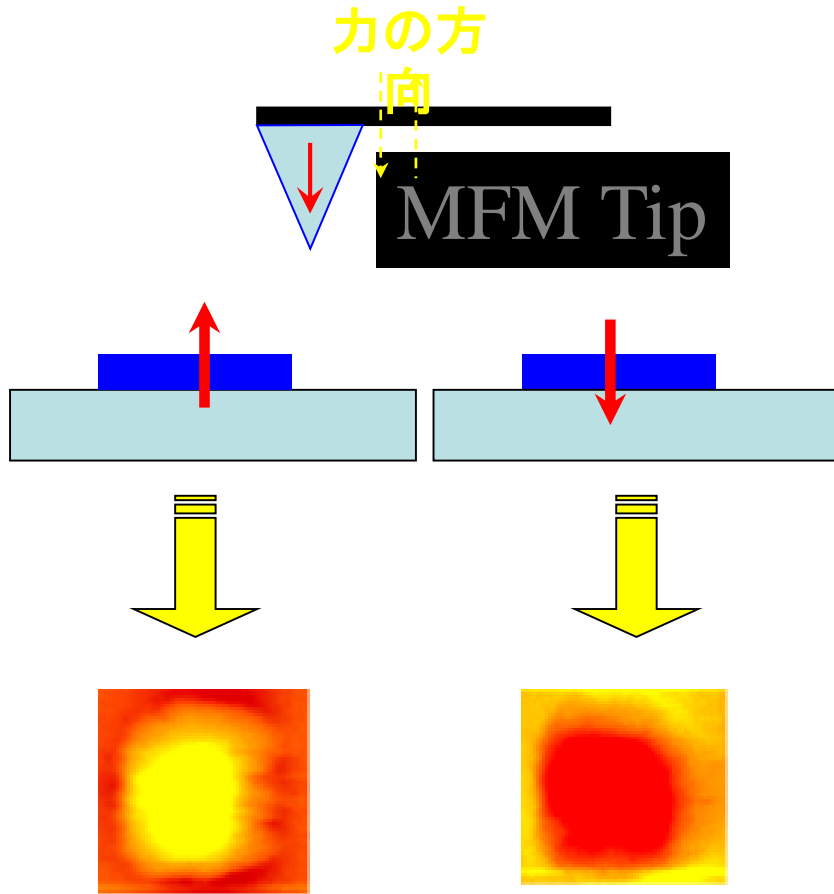


革新技術：

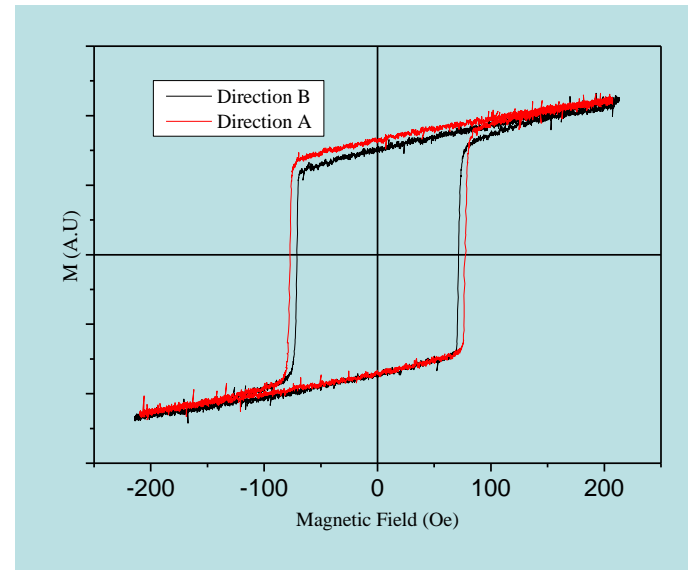
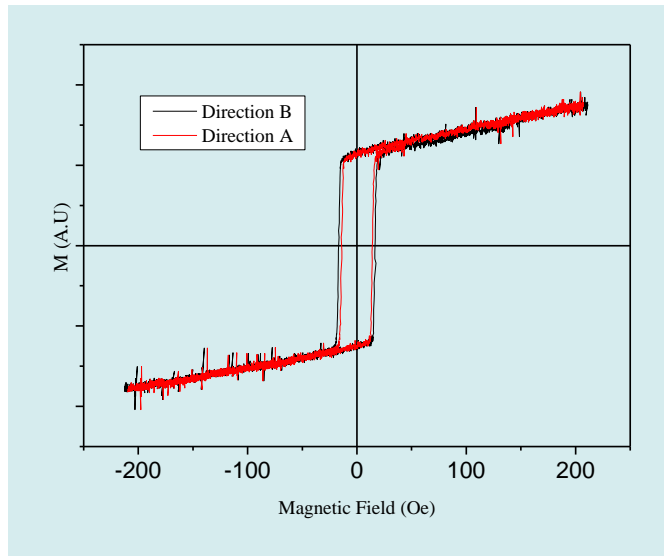
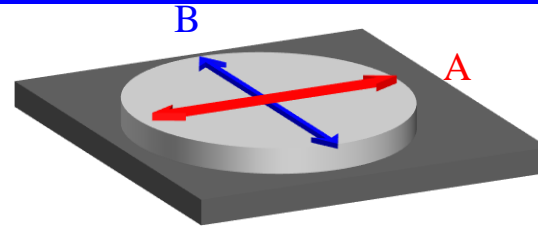
1. 単磁区構造
2. 一軸磁気異方性材料の創成
3. 応力による磁化容易軸の回転



革新技術：
1. 単磁区構造の実現—
マイクロ、ナノ構造



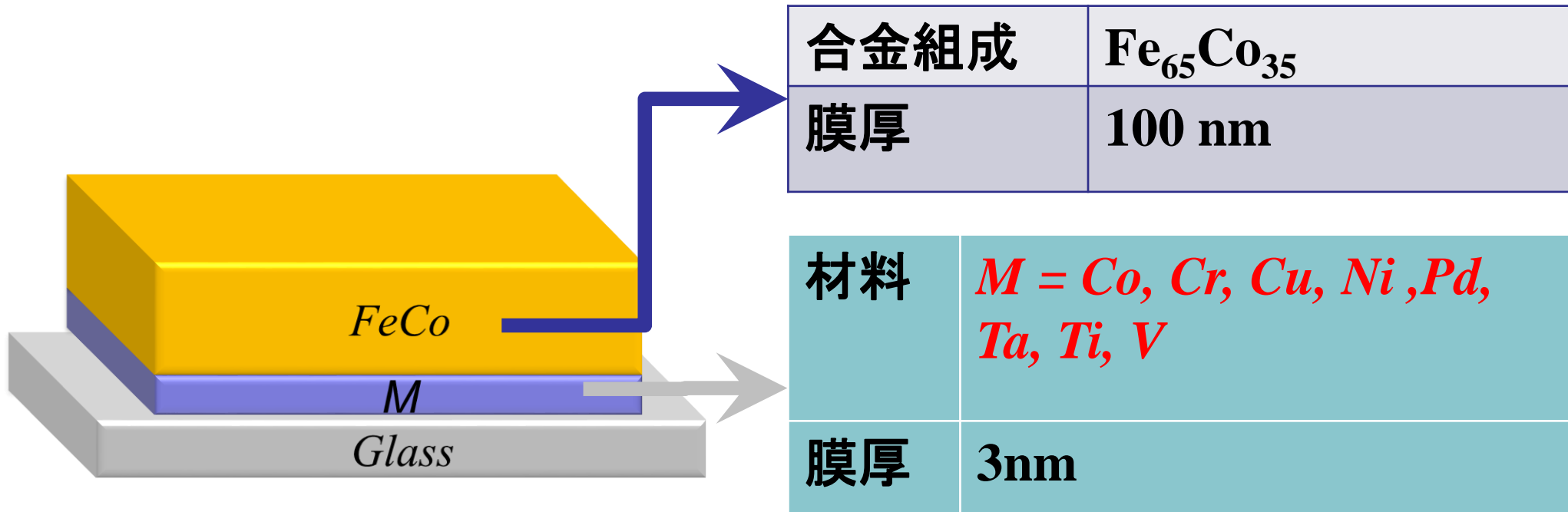
革新技术： 2. 面内一軸磁気異方性薄膜の創成



CoNi 100nm
Substrate

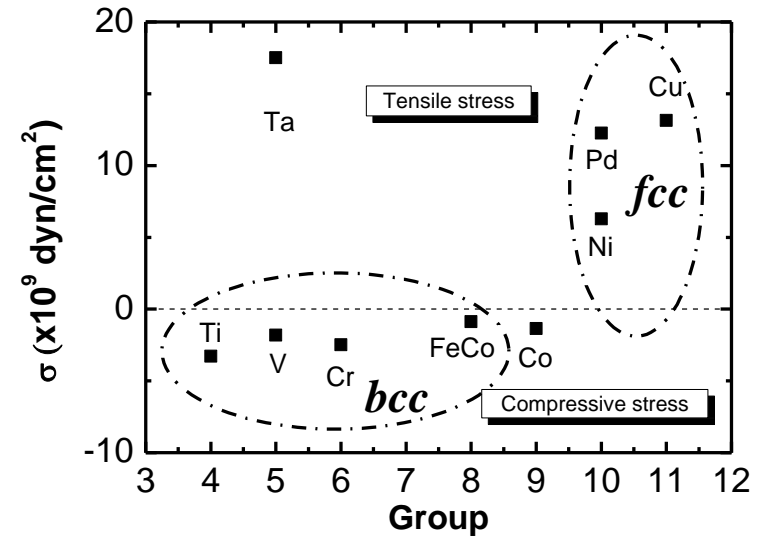
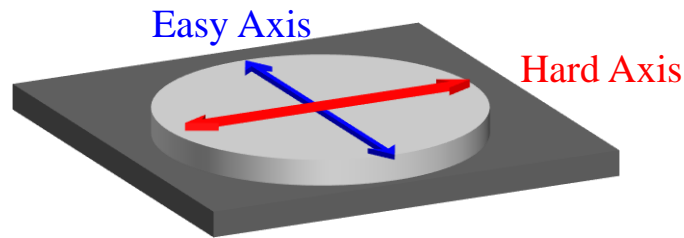
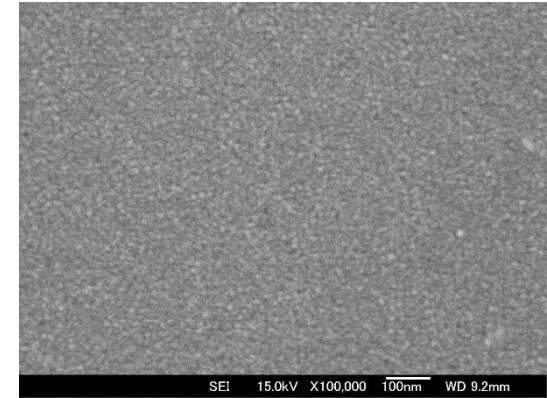
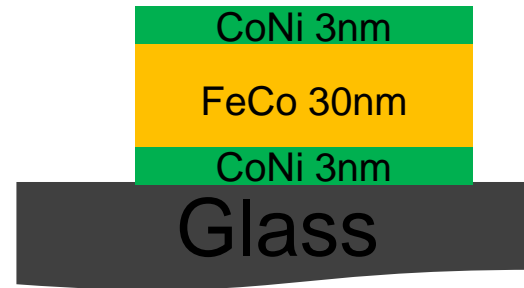
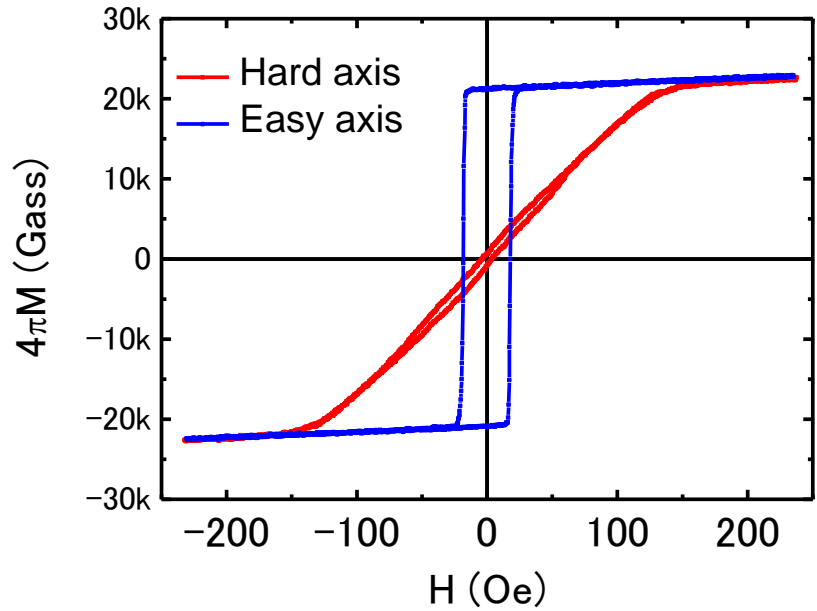
FeCo 100nm
Substrate

2. 面内一軸磁気異方性薄膜の創成



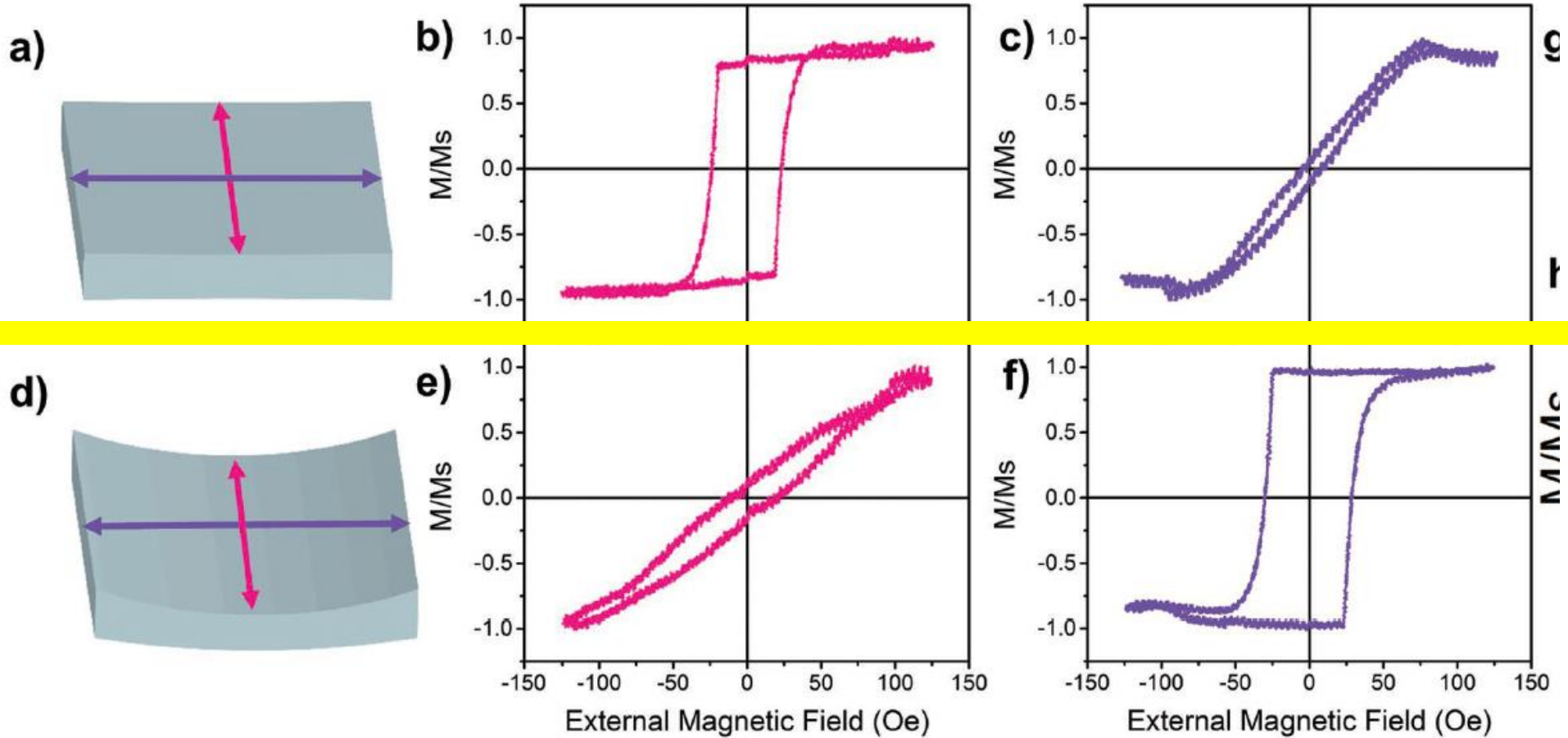
族番号	4	5	6	8	9	10	11
下地層	Ti	V, Ta	Cr	Fe	Co	Pd, Ni	Cu
結晶構造	<i>bcc</i>	<i>bcc</i>	<i>bcc</i>	<i>bcc</i>	<i>fcc, hcp</i>	<i>fcc</i>	<i>fcc</i>

革新技术： 2. 面内一軸磁気異方性薄膜の創成



X. Liu, et al, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS,44(11):3910-3912(2008)
 X. Liu, et al, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS,103(7):07E726 2008
 Y. Fu, et al JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS,308(1):165-169 2007

革新技术： 3. 応力による磁化容易軸の回転

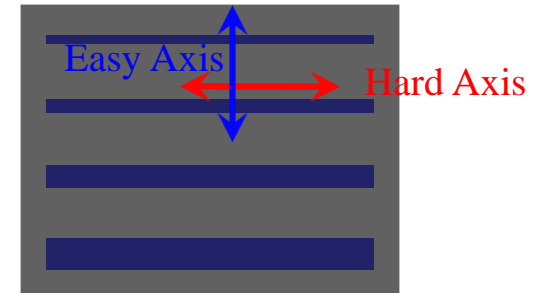
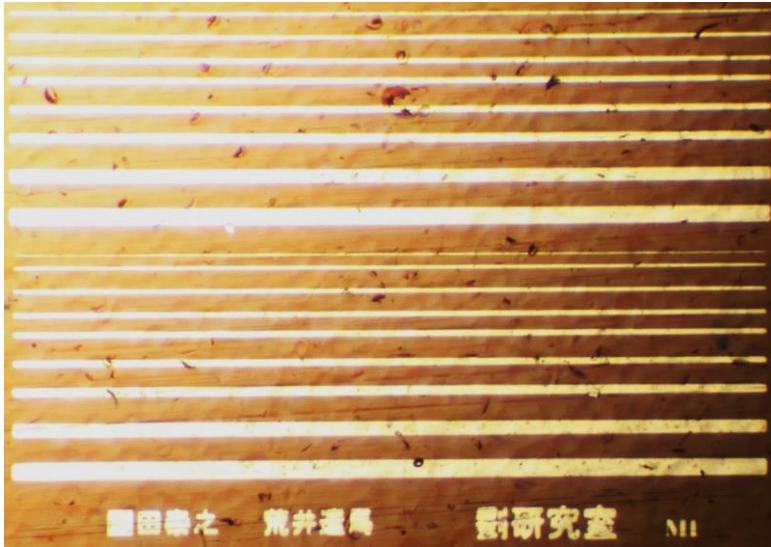
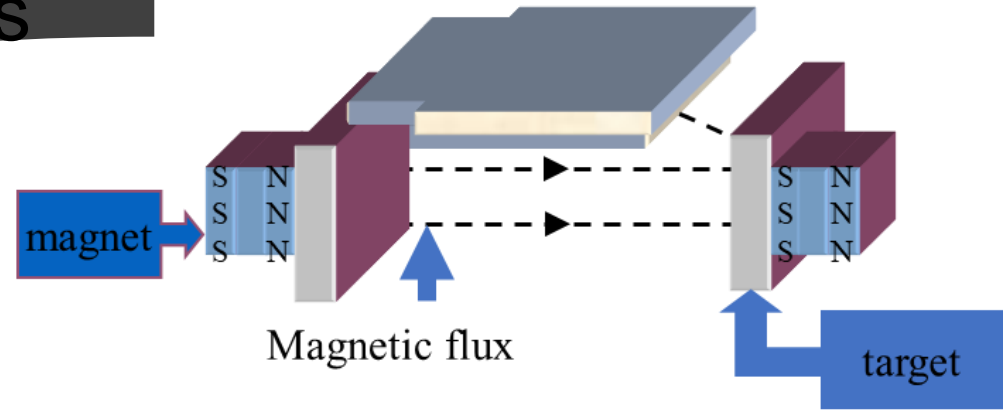
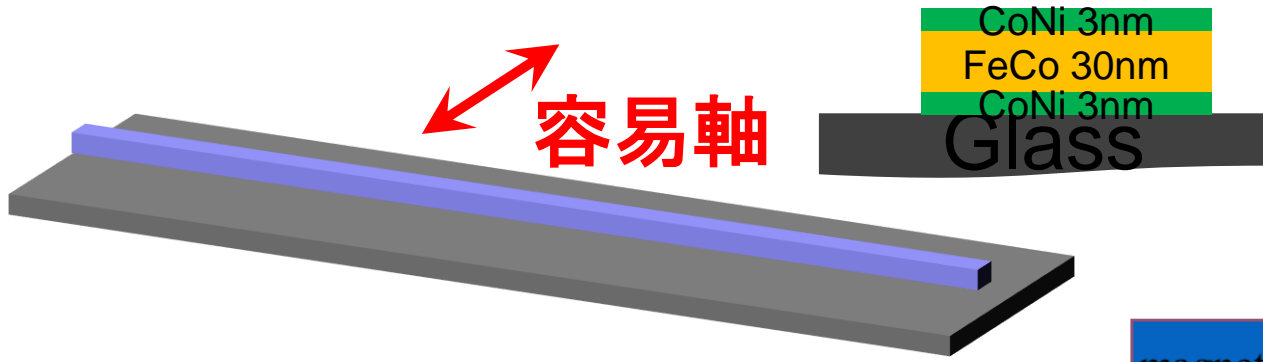


X. Liu, et al, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS,44(11):3910-3912(2008)

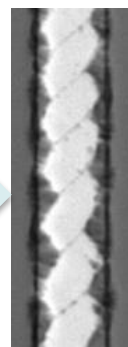
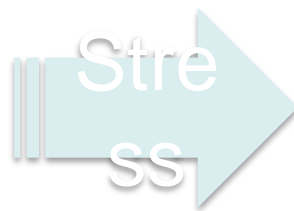
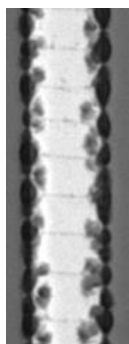
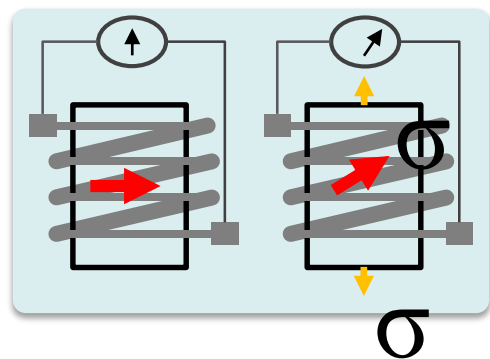
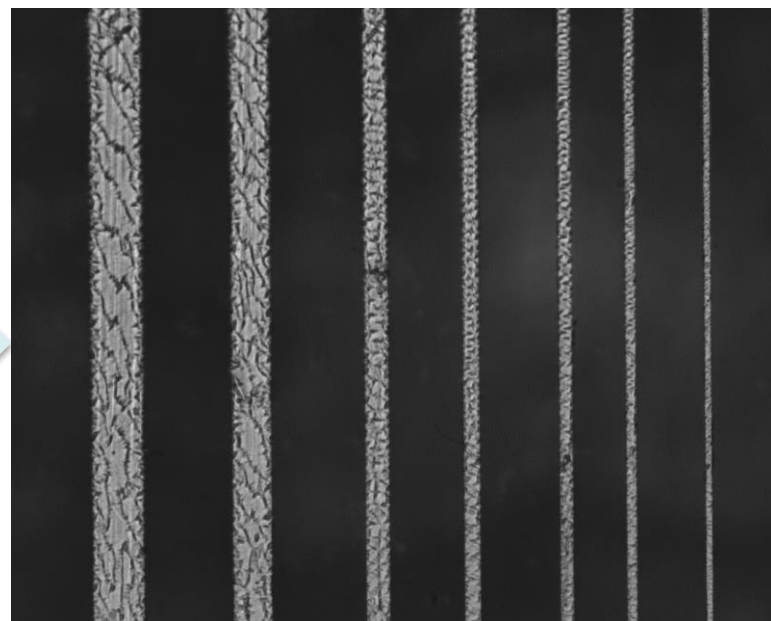
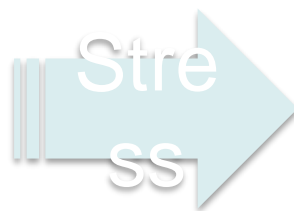
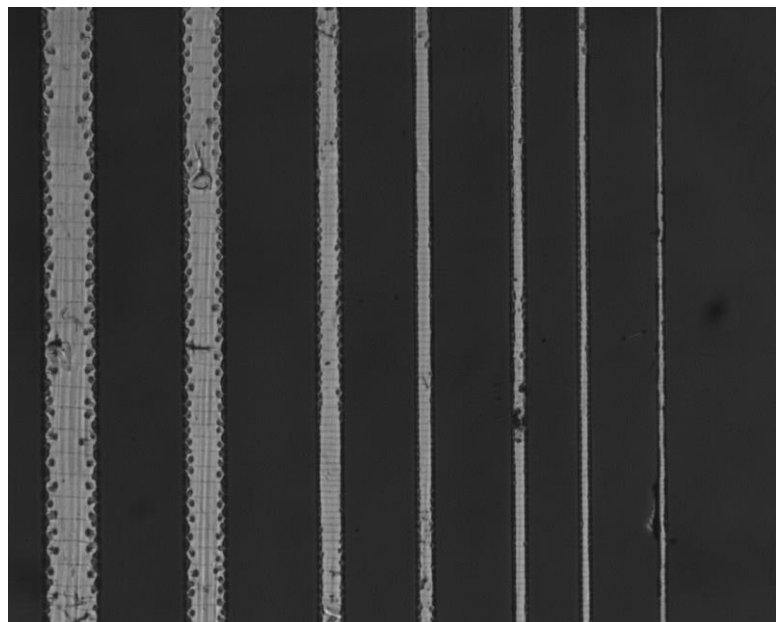
X. Liu, et al, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS,103(7):07E726 2008

Y. Fu, et al JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS,308(1):165-169 2007

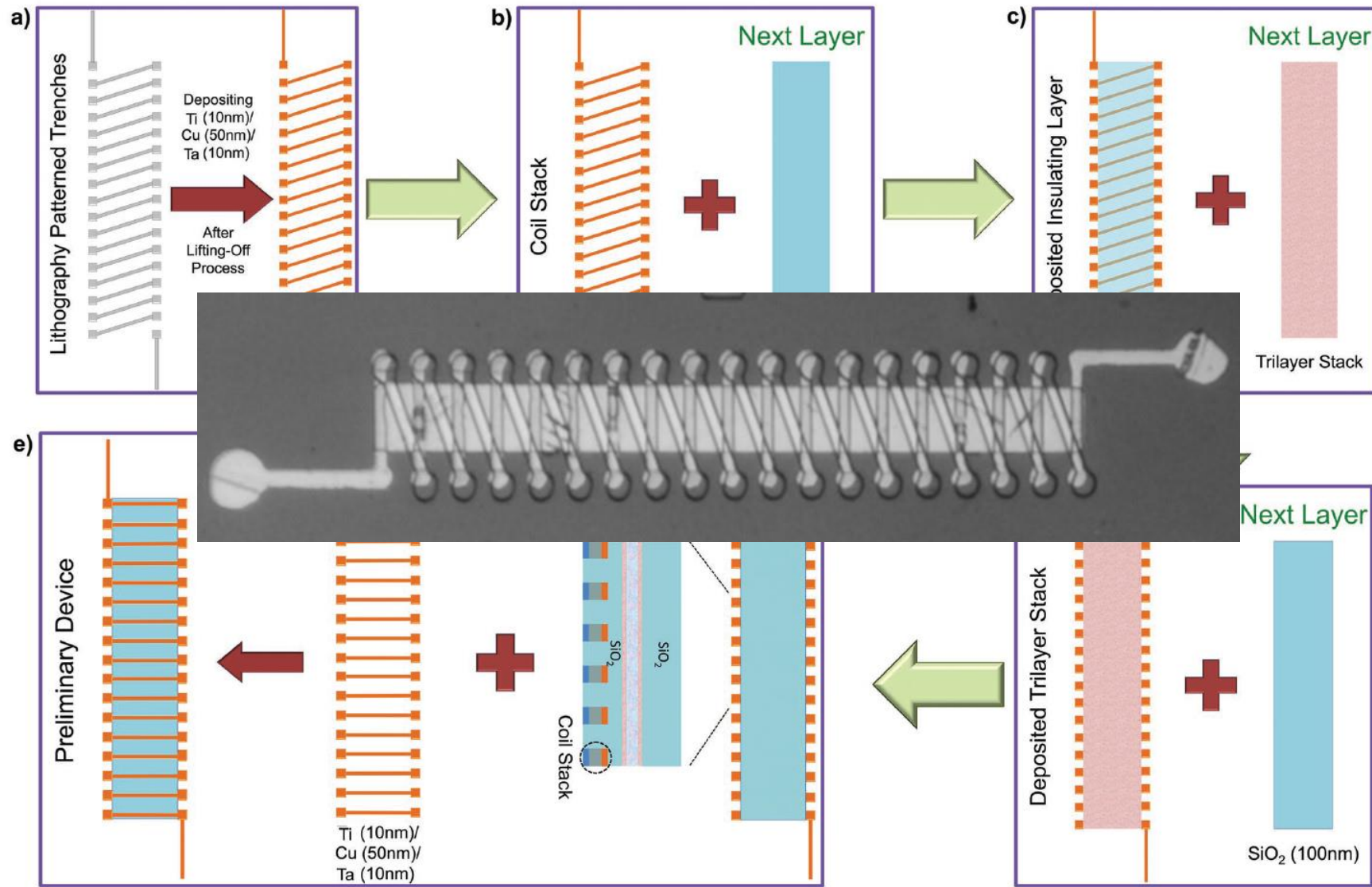
実験手法



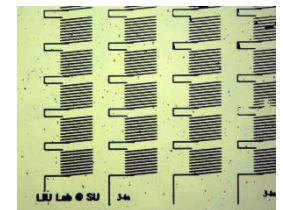
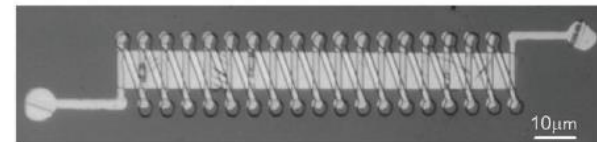
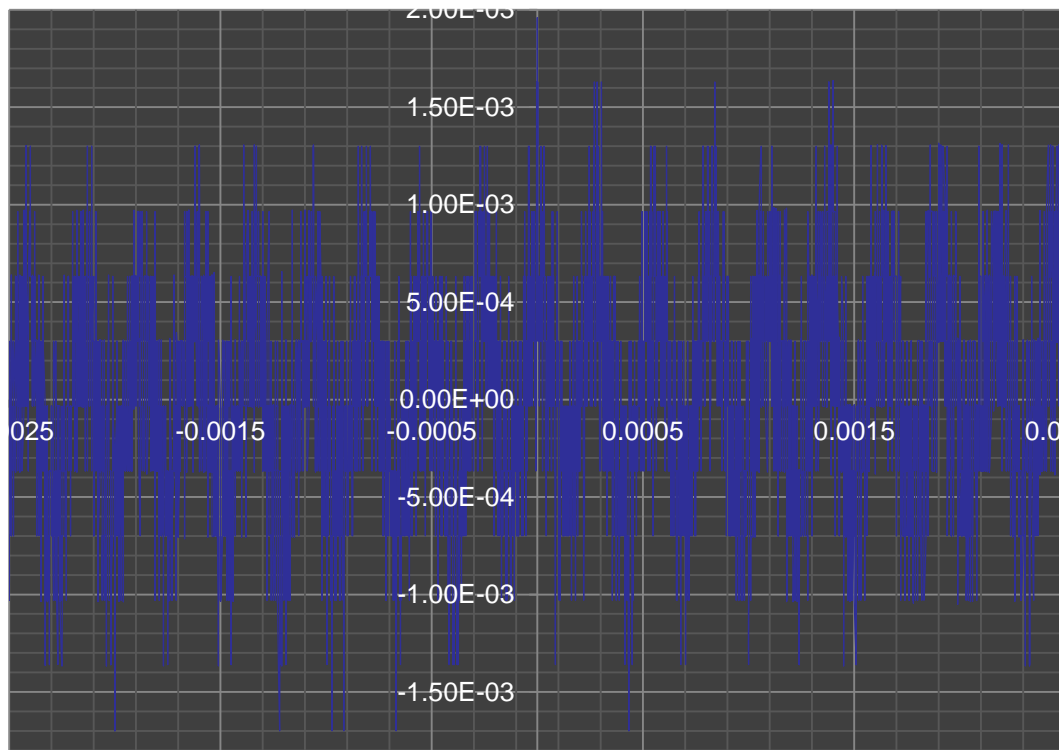
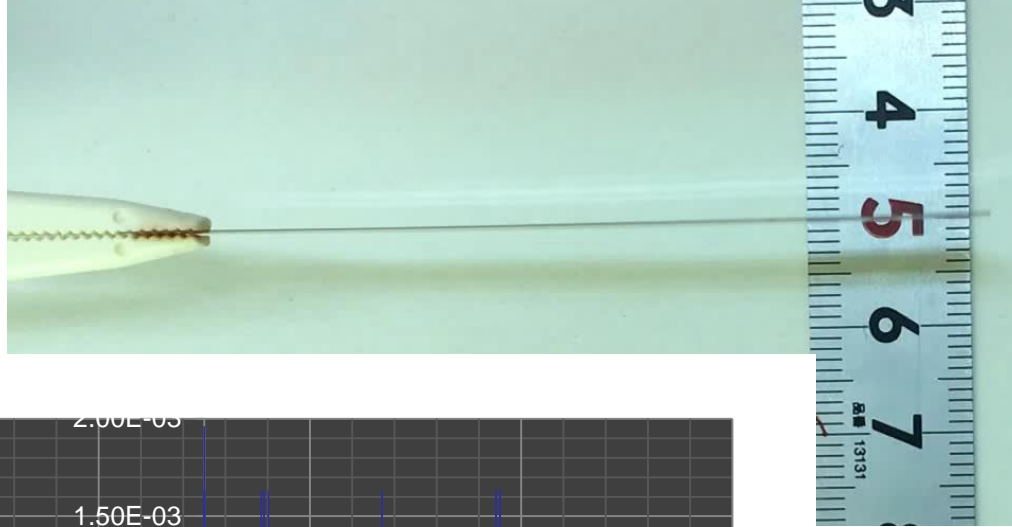
実験手法：応力による磁化容易軸回転の確認



実験手法：マイクロコイルの形成



技術の検証：音声エネルギーの収集



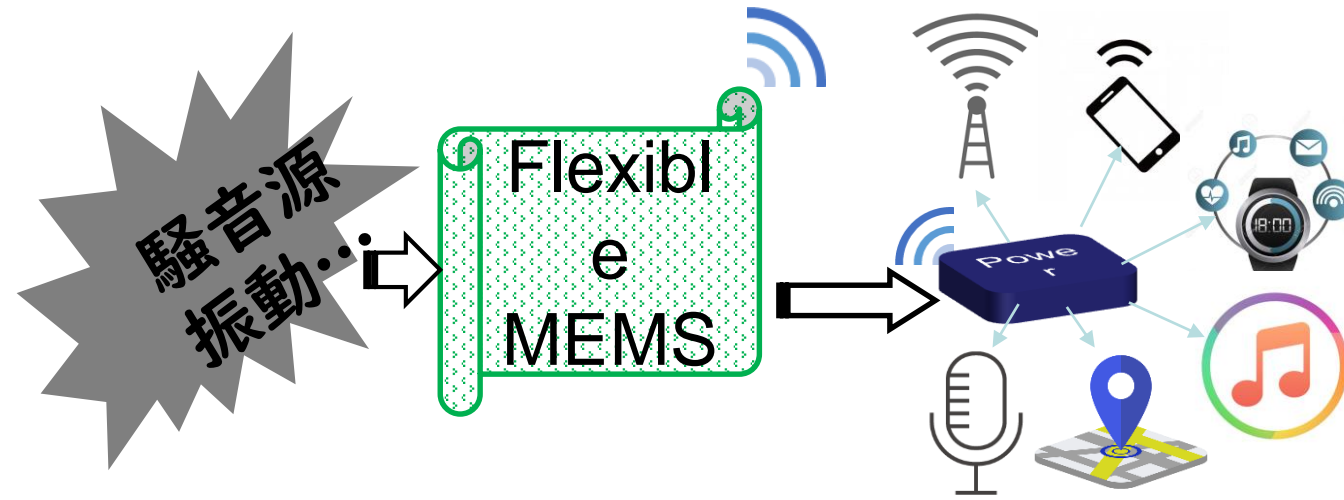
コイル直列： 1 × 1 mm

僅かな振動でのエネルギーの収集を可能にした

想定される用途

- 本安心・安全・半永久な柔らかいMEMSは微小な電力源として、センサーネットワーク、RFIDといった分野や用途に展開することも可能と思われる。
- 生活騒音のあらゆる周波数の吸収の効果が得られることも期待される。

想定される用途



- 収集した電気エネルギーは、太陽光、排熱より低いと予測される。しかしながら、次世代メガシティの無線通信インフラ(例えばピコセル)が数十メートルの電波範囲を構成するために必要な数Wの電力を十分に提供できる。

実用化に向けた課題

- 現在、原理、試作が可能なところまで開発済み。しかし、安価、大面積の製造の点が未解決である。
- 今後、より面積の大きいMEMSを試作し、収集した交流電気信号の整流に関する研究を行っていく。
- 大面積化と振動分析の向上、更に、柔らかい整流電流とを組み合わせ、実用化に向けた技術を確立する必要がある。

企業への期待

- 未解決の大面積化については、フレキシブル基板の技術により克服できると考えている。
- **フレキシブル基板の技術**を持つ企業との共同研究を希望。
- また、**災害時に強いIoT**を開発中の企業、IoT分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

不揮発性ロジックの基礎研究

Electric Field-Induced Creation and Directional Motion of Domain Walls and Skyrmion Bubbles

Nano Lett., **2019**, *19* (1), pp 353–361

DOI: [10.1021/acs.nanolett.8b03983](https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.8b03983)

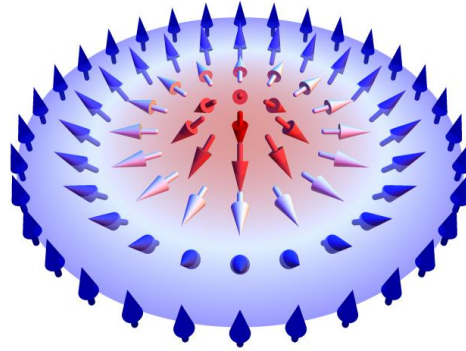
Switching domain wall motion on and off using a gate voltage for domain wall transistor applications

Applied Physics Letters *113* (23), 232401

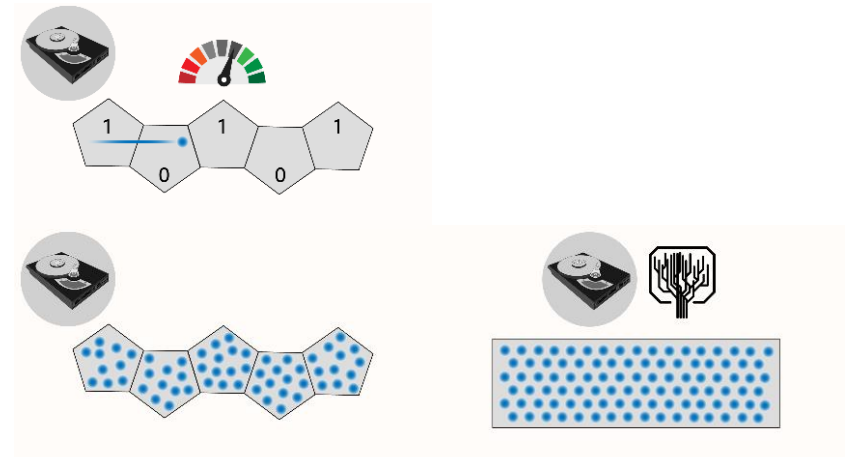
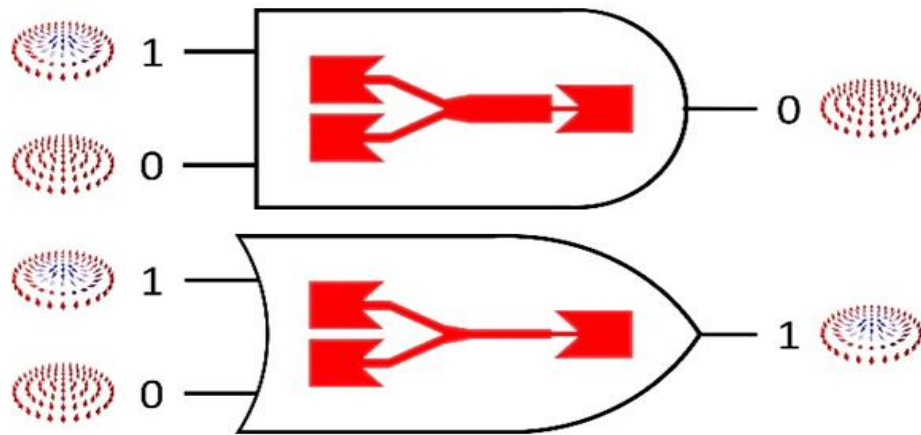
DOI: [10.1063/1.5053852](https://doi.org/10.1063/1.5053852)



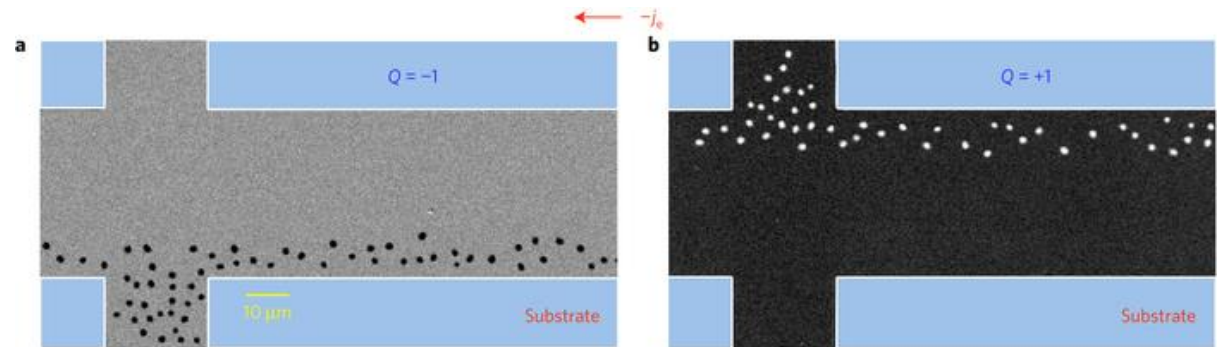
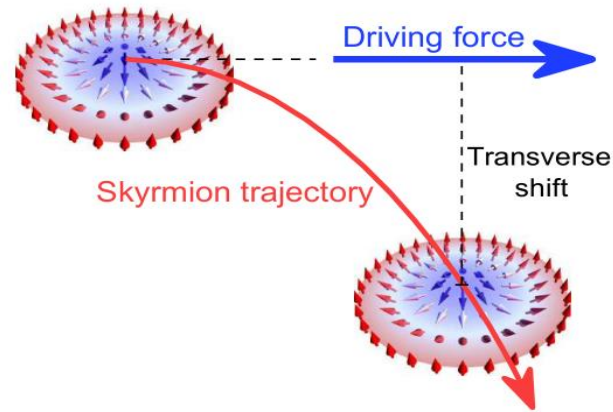
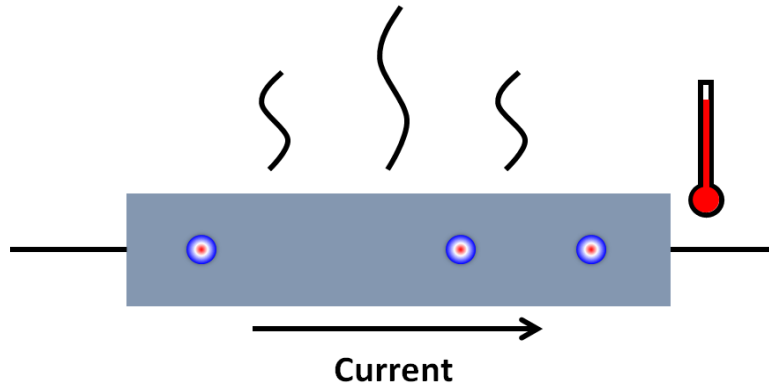
30年後のIoTのために



大きさ数ナノのトポロジカル準粒子である磁気スキルミオン
スピンの特殊な渦巻き状態

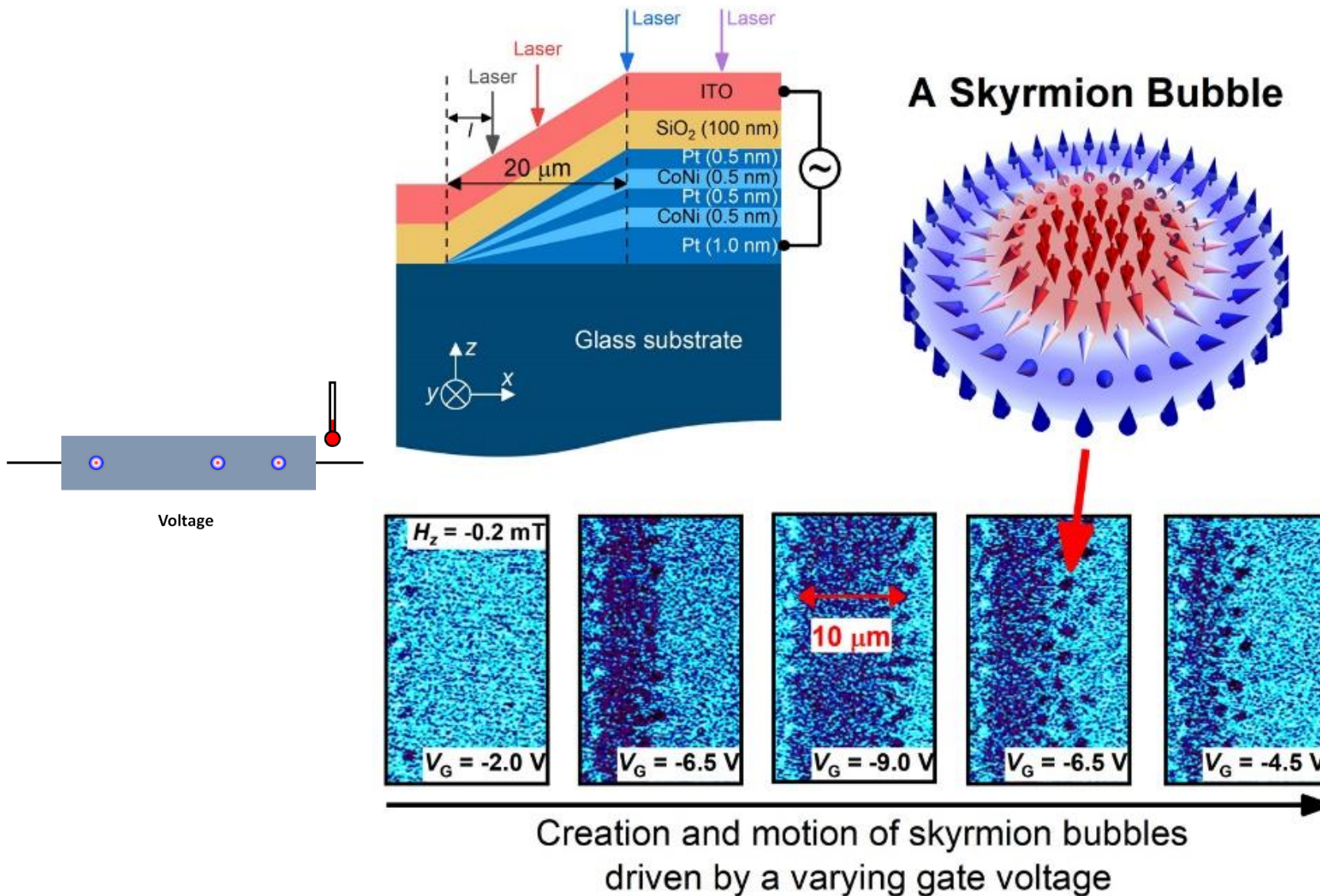


従来技術：磁気スキルミオンの電流駆動



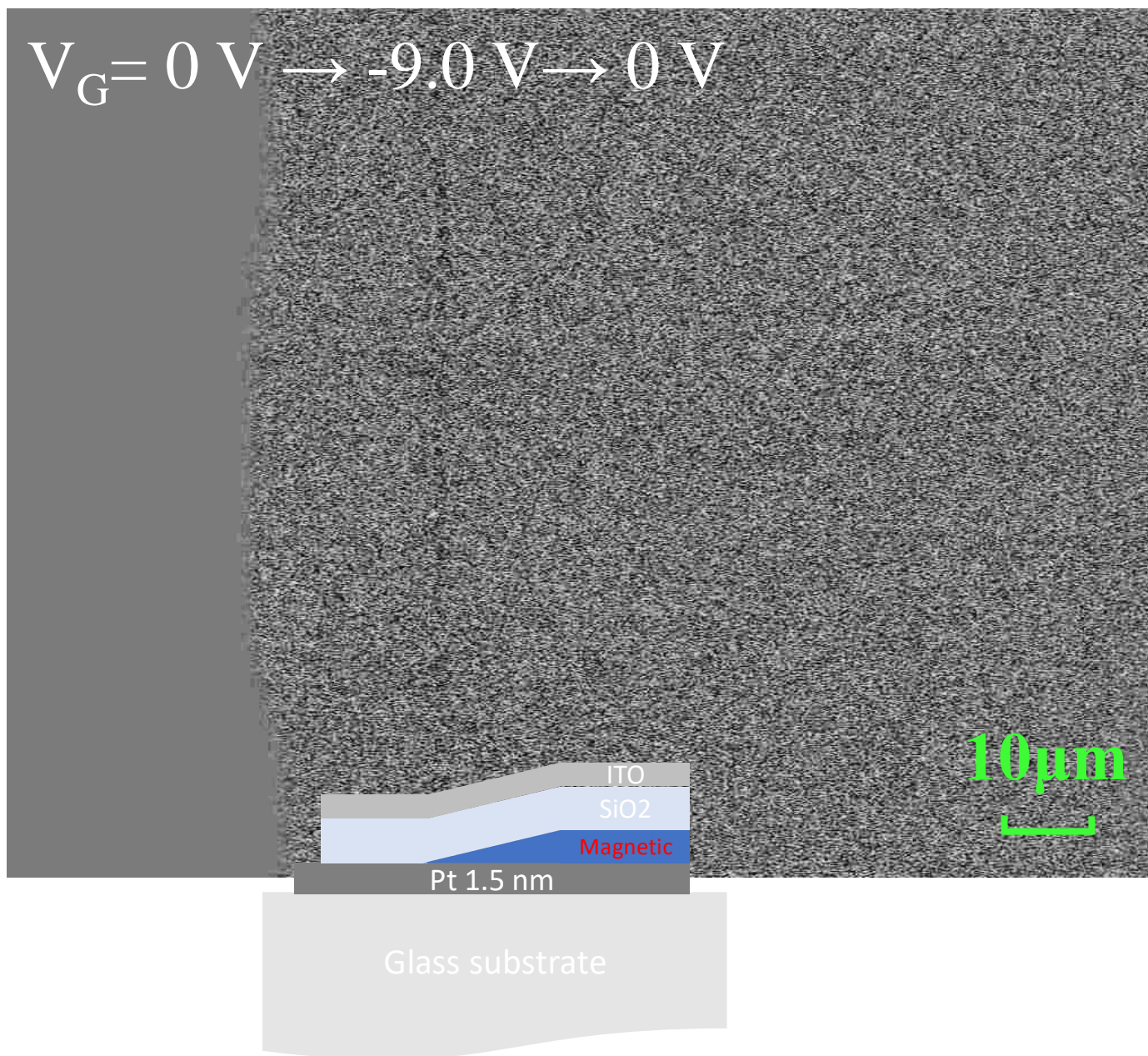
Jiang et al., Nature Physics 13, 162 (2017)

新技術：電界駆動磁気スキルミオン

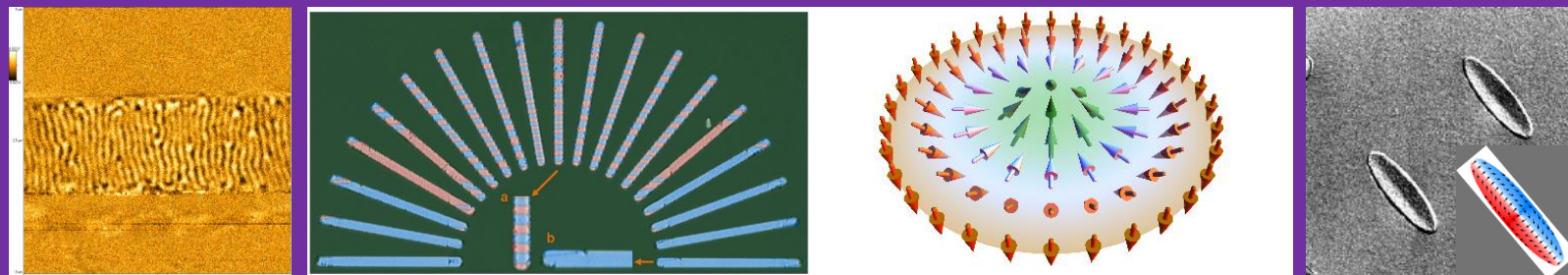


超低消費電力！

新技術：半永久的！



ナノ構造磁性体の磁区構造



磁気MEMS

不揮発性
ロジック

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 発電素子およびセンサ
出願番号 : 特願2019-056344
- 発明の名称 : 磁気メモリ素子
出願番号 : 特願2019-010092
- 発明の名称 : スピンテクスチャ制御装置、ス
ピンテクスチャ制御方法、およびメモリ装置
出願番号 : 特願2018-208431
- 出願人 : 信州大学(3件共)
- 発明者 : 劉 小晰(3件共)

JST事業採択実績

- 2006年度 シーズ発掘試験研究
「GHz帯域高透磁率FeCo磁性薄膜の開発と応用」
- 2007年度 シーズ発掘試験研究
「高飽和磁化・高透磁率FeCo薄膜の強磁性共鳴
周波数の高周波化とその応用」
- 2008年度 シーズ発掘試験研究
「高飽和磁化・高保磁力を有する新規ナノ磁石材料
の開発と応用」

お問い合わせ先

株式会社信州TLO 

T E L 0268-25-5181

F A X 0268-25-5188

e-mail info@shinshu-tlo.co.jp