

# 磁性メモリデバイスに応用可能な 界面マルチフェロイク構造

大阪大学 大学院基礎工学研究科

助教 宇佐見喬政

2024年1月30日

# 研究背景

## 情報量増大に伴う電力消費問題

### ■ データセンターの現状と将来予想

クラウド化やIoT、AI技術の加速



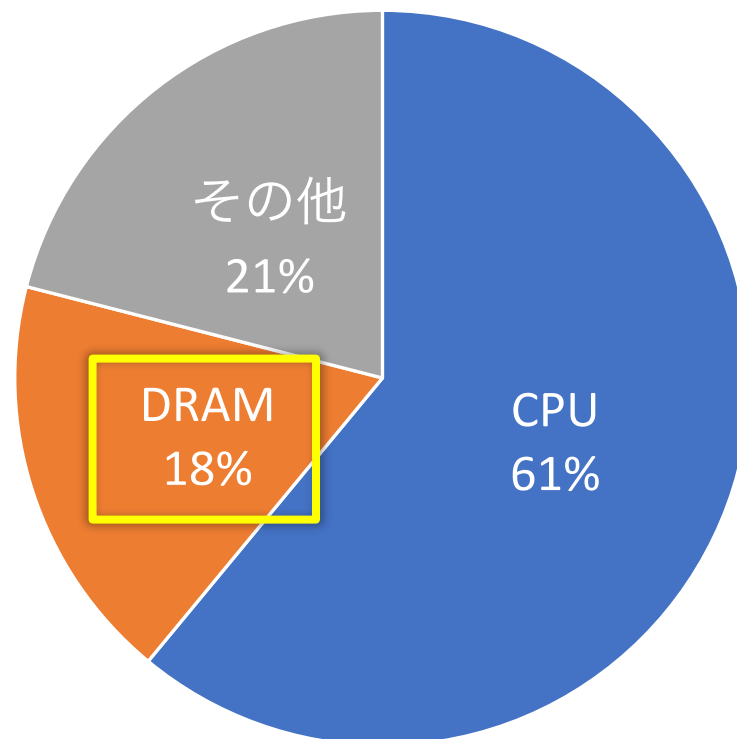
データセンターのニーズが増加  
電力消費の大きさが深刻な問題に

### 世界全体のデータセンターの消費電力

- 190 TWh (2018年)
  - 3,000 TWh (2030年予測)
  - 504,000 TWh (2050年予測)
- (※原発一基の年間発電量: 約7~10 TWh)

<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2020-pp-03.pdf>

### ■ データセンターの消費電力の内訳(2017)



L. A. Barroso, et al., Morgan & Claypool Publishers (2018).

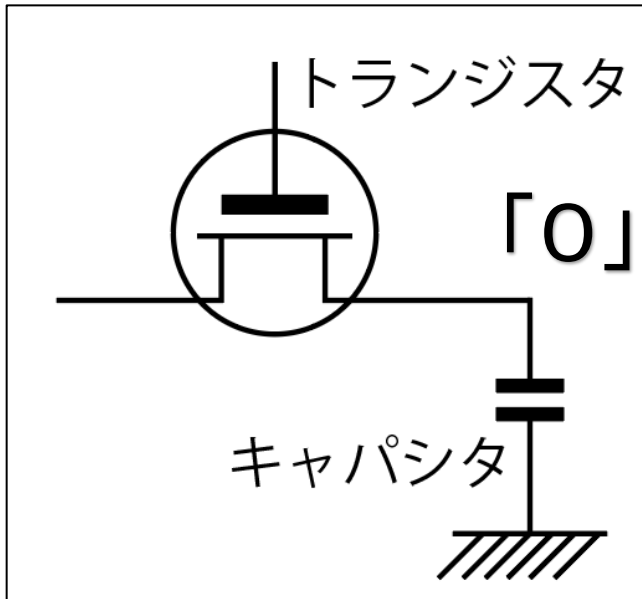
データセンターの消費電力量の約 20 %を、DRAMが占める

# 研究背景

## 揮発性半導体メモリ(DRAM)の課題

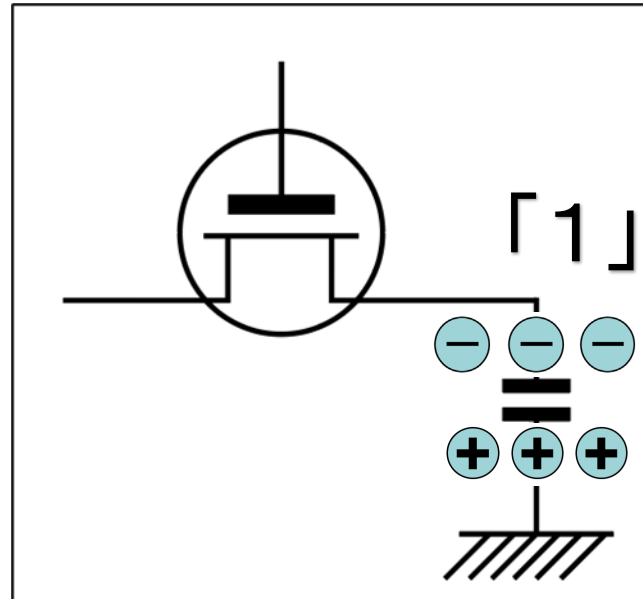
### ■ DRAM(現行のワーキングメモリ)

情報「0」状態



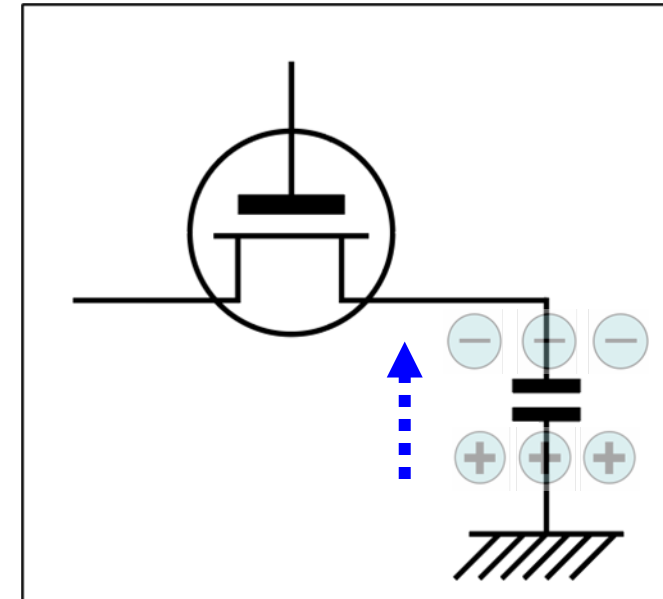
キャパシタ  
電荷無し

情報「1」状態



キャパシタ  
電荷有り

電源OFF状態



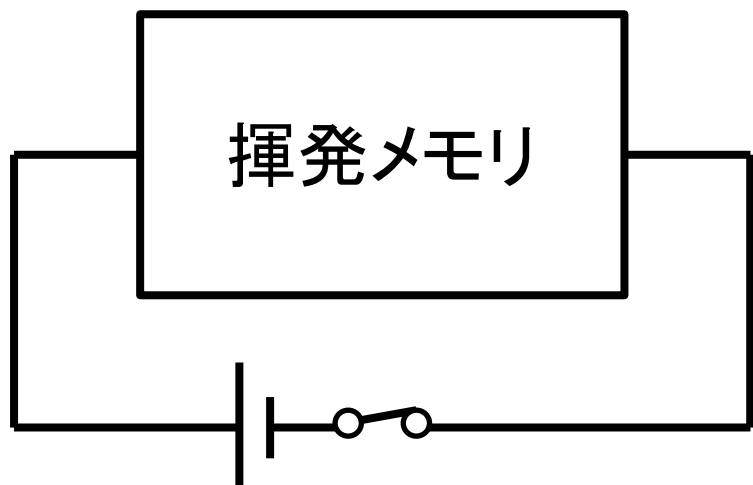
徐々にキャパシタから  
電荷が消失

揮発メモリ: 待機電力が大きい

(動作時の電力消費と待機時の電力消費は同程度)

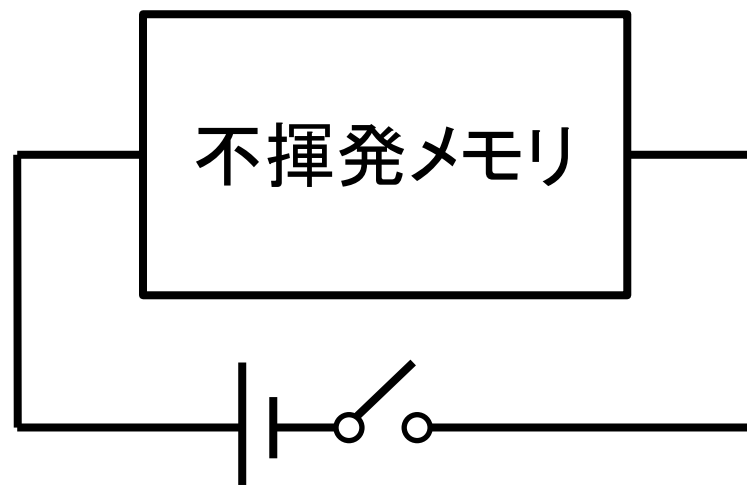
# 研究背景

## 不揮発性メモリへの期待



待機時: 電源ON

待機中の電力消費 大



待機時: 電源OFF

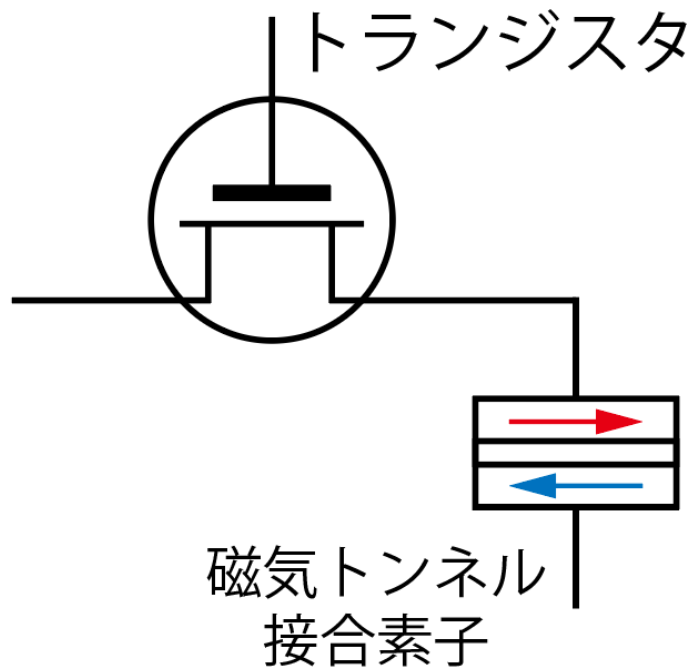
待機中の電力消費 ゼロ

不揮発メモリがワーキングメモリに使用できれば、  
待機電力の問題が解消可能

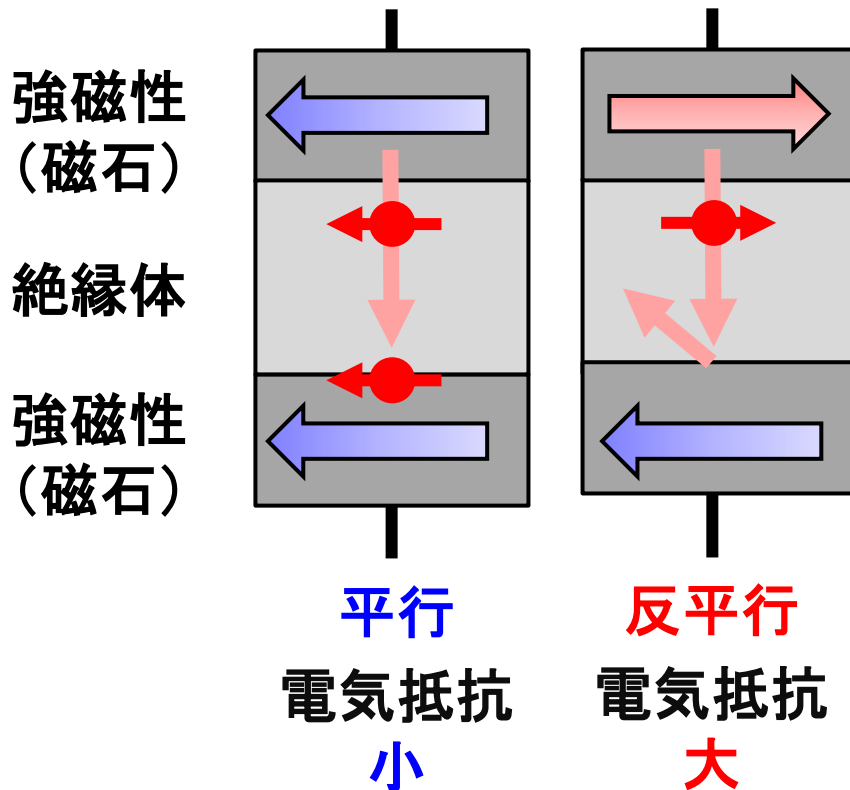
# 研究背景

## スピントロニクス技術を利用した不揮発性磁気メモリ(MRAM)

### ■ 磁気メモリ(MRAM)



### ■ 磁気トンネル接合 (MTJ)素子



磁化配置により情報を記録する  
MRAMは、情報を不揮発に保存可能

➡ 待機電力 **ゼロ**

※主メモリDRAMの他、キャッシュメモリであるSRAMや、フラッシュメモリをMRAMに代替する研究開発も行われている。[日本磁気学会誌 まぐね Vo.18, No. 6, p 261, (2023)]

# 従来技術とその問題点

## MRAMの情報書き込み電力に関する課題

情報書き込み動作  
＝磁化(磁石の向き)の切り替え

電流印加による磁化方向制御  
(スピントランスファートルク効果)

書き込み電力 大

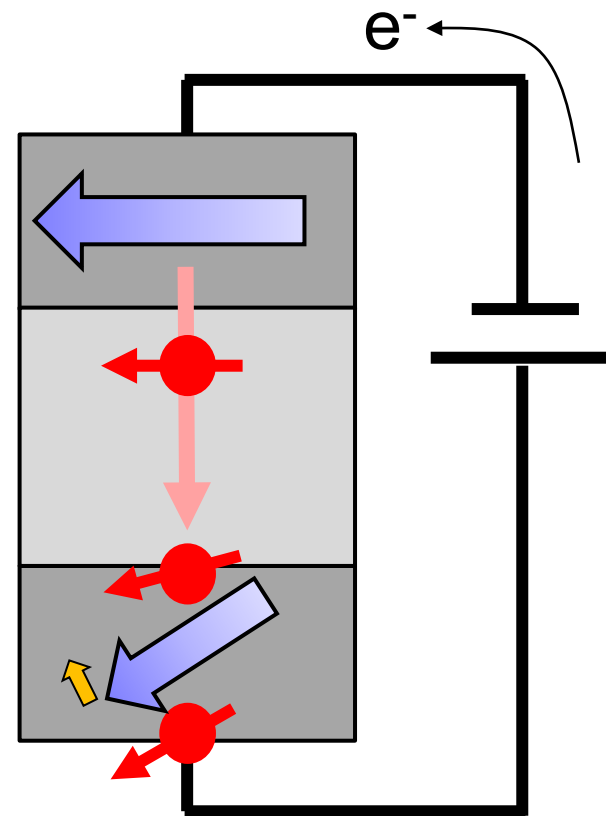
集積化による発熱問題が不可避

消費電力の少ない電圧印加による  
磁化制御技術開発が求められている

強磁性  
(磁石)

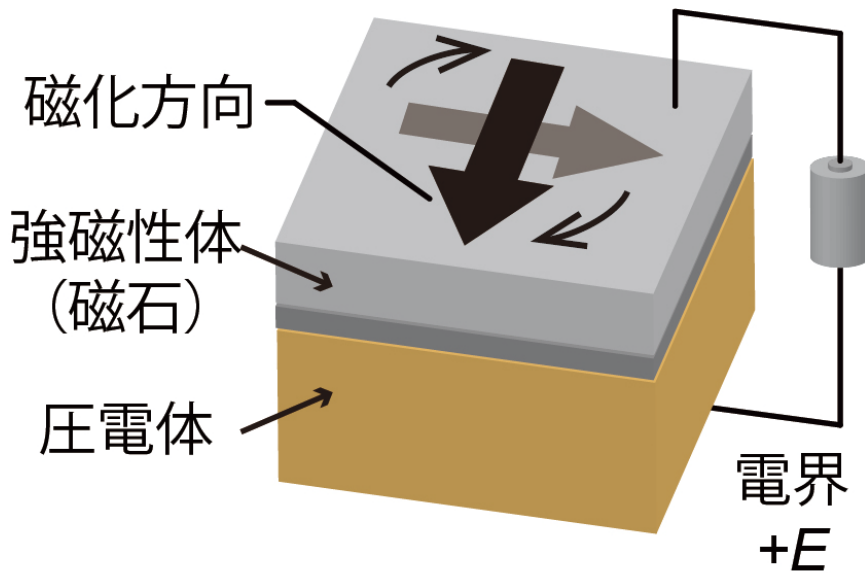
絶縁体

強磁性  
(磁石)



# 新技術の基となる技術

## 界面マルチフェロイク構造



界面マルチフェロイク構造を利用した  
**電圧**による磁化(磁石)の方向制御

### 利点

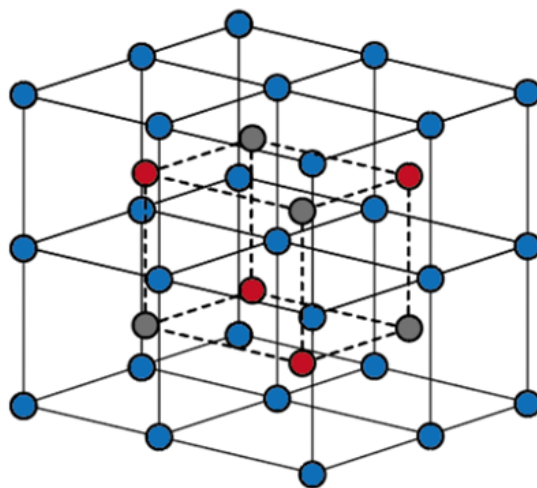
- 材料選択の多様性
- 室温を含む広い温度域での駆動

T. Taniyama, J. Phys.: Condens. Matter **27** 504001 (2015).

# 新技術の特徴・従来技術との比較 材料の選択

## 強磁性層

$L2_1$ - $\text{Co}_2\text{FeSi}$  (CFS)



● Co ● Fe ● Si

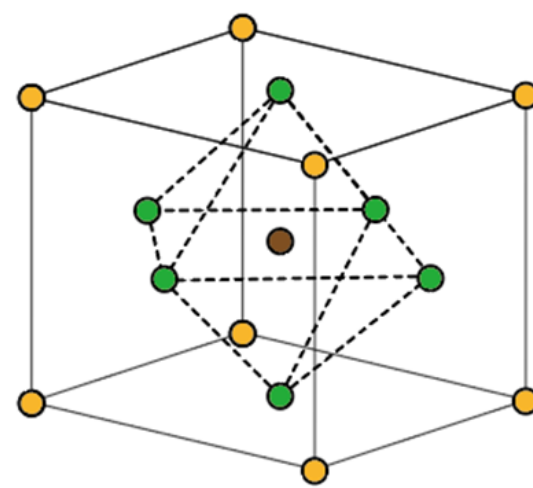
高いスピン偏極率とキュリー温度

S. Wurmehl *et al.*, Phys. Rev. B **72**, 184434 (2005).  
B. Balke *et al.*, Phys. Rev. B **74**, 104405 (2006).

スピントロニクスデバイスの  
応用に重要

## 圧電体

$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $\text{PbTiO}_3$   
(PMN-PT)



● Pb ●  $\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}$ , Ti  
● O

大きな圧電歪み

H. Cao *et al.*, Ferroelectrics. **274**, 309 (2002).

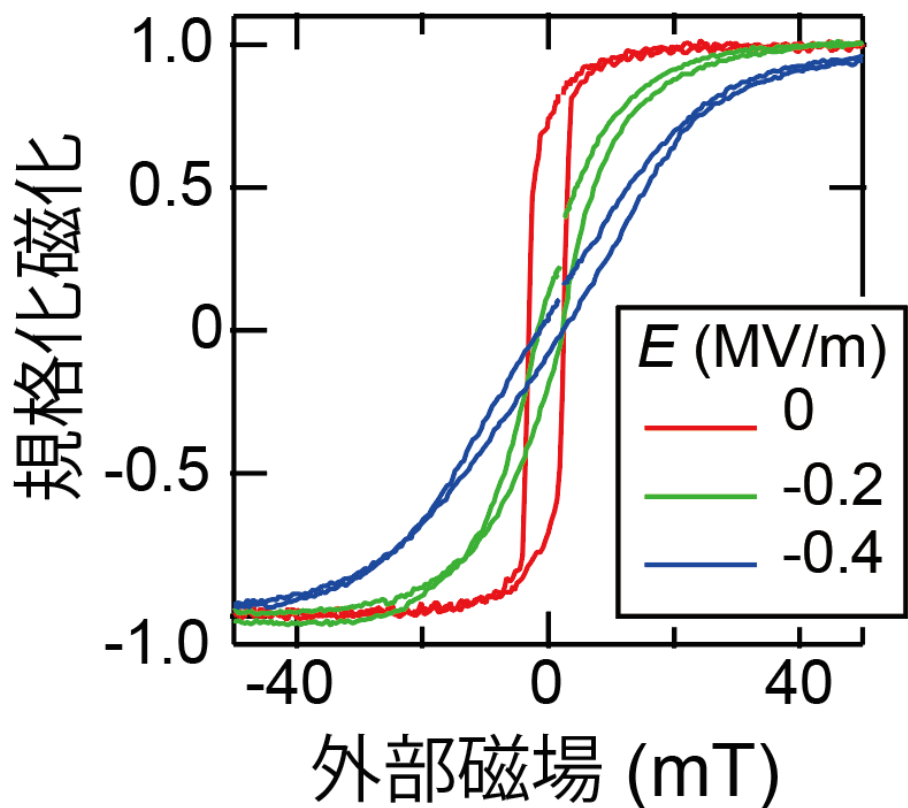
歪み誘起の電圧磁化方向  
制御に有用

強磁性層 $\text{Co}_2\text{FeSi}$
圧電体層 PMN-PT

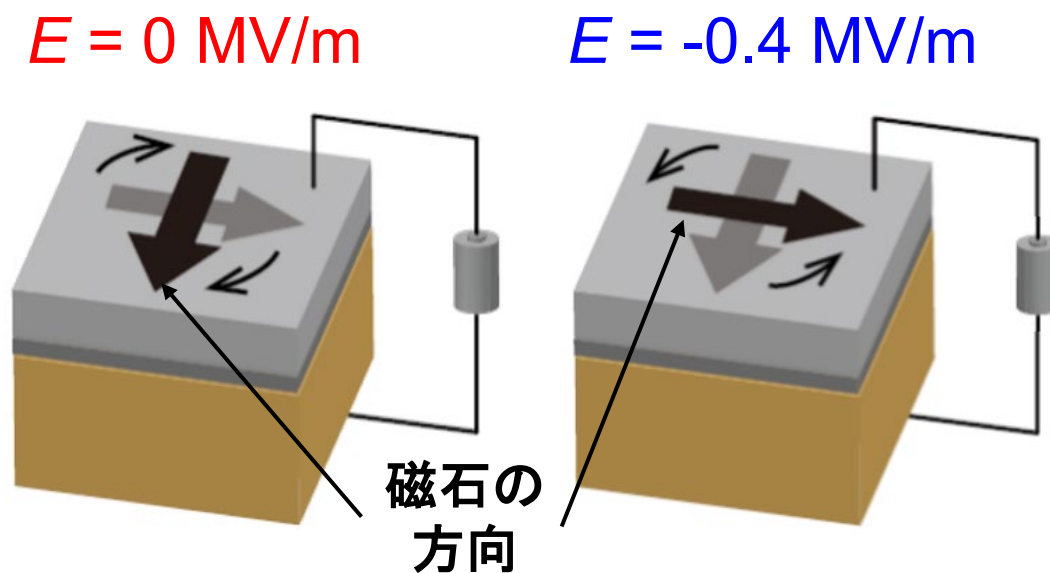


# 新技術の特徴・従来技術との比較

## 電圧による磁化(磁石)方向制御



電圧印加で磁化曲線が変化

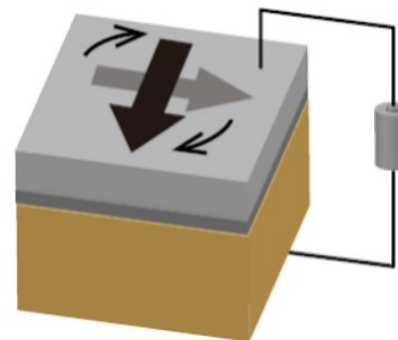


電圧印加により磁化方向が  
90度回転することを室温で実証

# 新技術の特徴・従来技術との比較

## 高い性能指標の実証

性能指標  
(磁気電気結合係数)  $\alpha_E = \mu_0 \frac{dM}{dE}$



圧電体層を1 $\mu$ m程度まで薄膜化した際に  
2Tの磁化を変化させるのに必要な電圧

$\alpha_E$ (s/m)	動作電圧 (V)
$\sim 10^{-5}$	$\sim 0.2$
$\sim 10^{-6}$	$\sim 2$
$\sim 10^{-7}$	$\sim 20$

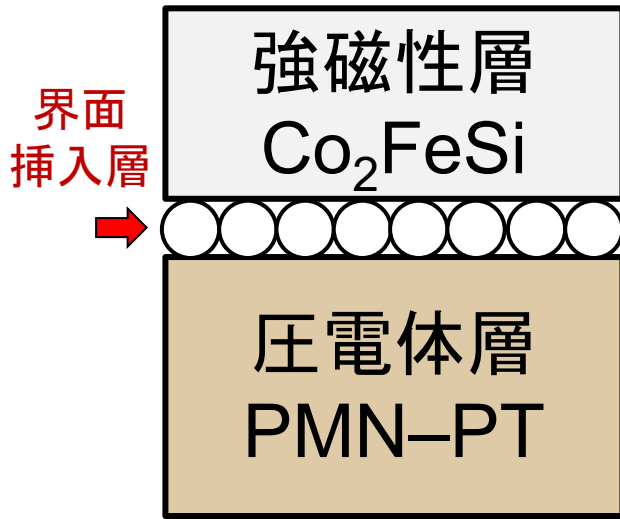
デバイス動作電圧を1V以下にするため  
には $10^{-5}$  s/m台の実証が必要

本技術では、性能指標 $\alpha_E$   
 $10^{-5}$  s/m台を実証

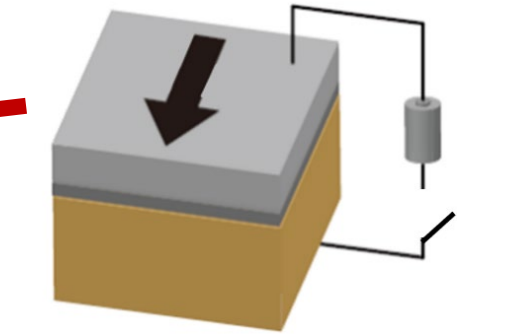
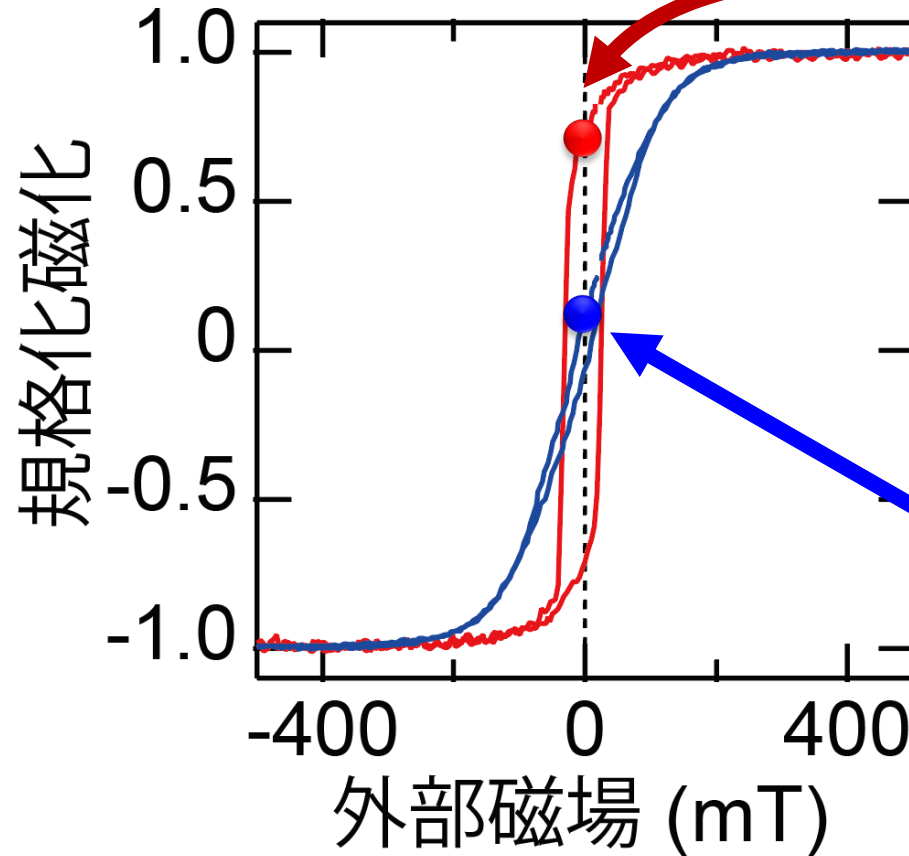
S. Fujii, T. Usami, et al., NPG Asia Mater. **14**, 43 (2022).

# 新技術の特徴・従来技術との比較

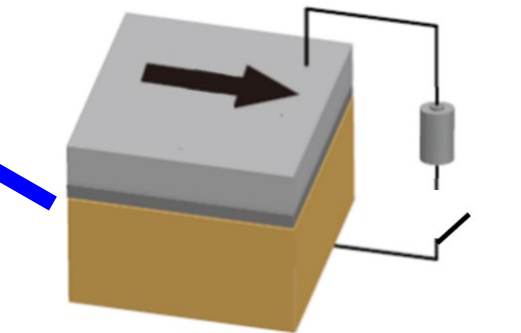
## 磁化の二値状態



界面挿入層により磁性層に発現する磁気異方性(磁化が特定の方向に向く性質)を人為的に変調



正の電圧印加後の  
ゼロ電圧・ゼロ磁場状態



負の電圧印加後の  
ゼロ電圧・ゼロ磁場状態

- 正の電圧印加後のゼロ電圧状態と負の電圧印加後のゼロ電圧状態において、異なる形の磁化曲線(二つの磁化の値(二値))が実現

# 従来技術とその問題点・本技術の優位性(1)

## 従来技術

- 大きな電圧誘起の磁性変調効果を有する構造は、強磁性層として**スピン偏極率の低い磁歪材料(FeGa)**を使用しており、**スピントロニクスデバイスの応用に不向き**であった。

P. B. Meisenheimer *et al*, Nat. Commun. **12**, 2757 (2021)  
A Begue *et al*, ACS Appl. Mater. Interfaces **13**, 6778 (2021)

## 本技術

- 強磁性層として**スピン偏極率の高い磁性体(Co<sub>2</sub>FeSi)**を使用しており、MRAMをはじめとする**スピントロニクスデバイスの情報書き込み応用に適している**。

## 従来技術とその問題点・本技術の優位性(2)

**メモリ動作** 電界・磁界が共にゼロの状態、二つの磁化状態  
(**二値**)を保持するが重要

### 従来技術

- 強磁性層の堆積中に外部磁場を印加することで、二値性を制御

J. Wang et al., Appl. Phys. Lett., **114**, 092401 (2019).

### 本技術

- 強磁性層や圧電体と強磁性層の間の中間層の**膜厚設計(構造的な制御)**により、電界・磁界が共にゼロの状態、2つの状態(**二値**)を保持できる。

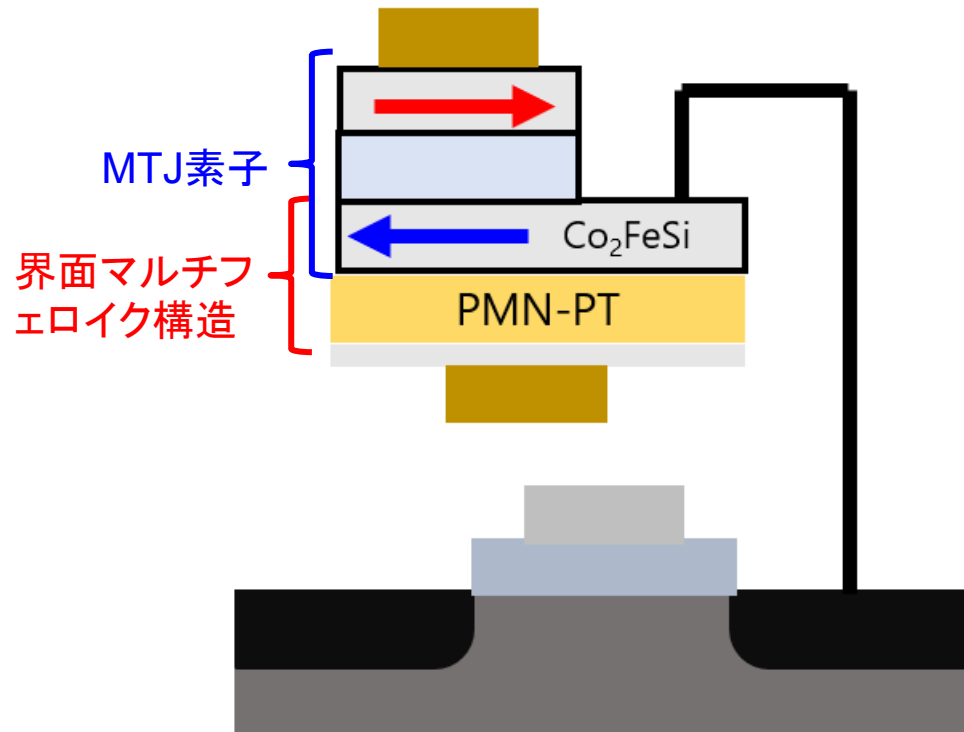
## 想定される用途や業界

- MRAMをはじめとする様々なスピントロニクスデバイスに向けた高効率(低消費電力)な磁化方向制御技術として期待できる。

## 実用化に向けた課題

- 現状、圧電体基板を用いた原理実証の段階であることから、動作電圧が大きいことが課題となっている。実デバイスへの組み込みを念頭におき、薄膜化したPMN-PT層との組み合わせによる $\text{Co}_2\text{FeSi}/\text{PMN-PT}$ 界面マルチフェロイク構造の実証により、低電圧(数V)磁化制御を目指す予定である。

# 企業への期待



MRAMなどの実デバイスに展開する際には、界面マルチフェロイク構造をMTJ素子に組み込み、CMOSプラットフォーム上に作製することが必要であり、この分野の知見を有する企業の協力を期待している。

J. M. Hu et al., Nat. Commun. **2**, 553 (2011).



## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 積層体及びそれを備える磁気抵抗素子
- 出願番号 : 特願2023-115275
- 出願人 : 国立大学法人 大阪大学  
発明者 : 宇佐見喬政・浜屋宏平

# お問い合わせ先

**大阪大学**

**共創機構 イノベーション戦略部門 知的財産室**

**<TEL> 06-6879-4861**

**<e-mail> [tenjikai@uic.osaka-u.ac.jp](mailto:tenjikai@uic.osaka-u.ac.jp)**