

文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

第25回 京都大学 化学研究所 (2022.12.02)

12:05-12:10(5分) : 研究所・センターの概要

12:10-12:25(15分) : 反強磁性体を用いた

スピントロニクスの開拓

森山貴広

12:25-12:45(20分) :質疑応答

京都大学

化学研究所

生物



機能 材料

物質創製化学 研究系

有機元素化学 構造有機化学 精密有機合成化学 精密無機合成化学 材料

材料機能化学 研究系

ナノスピントロニクス

生体機能化学

高分子材料設計化学 研究系 高分子制御合成 無機フォトニクス材料

> 生体機能設計化学 生体触媒化学 生体分子情報

ケミカルバイオロジー

環境

研究系

新基盤

環境物質化学 複合基盤化学 研究系

分子材料化学 水圏環境解析化学 分子環境解析化学 分子微生物科学

高分子物質化学 分子レオロジー 分子集合解析



量子

複合ナノ解析科学

原子分子構造

ゲノム

バイオ 新物質 インフォマティクス

元素科学国際研究センター

・ センター 先端ビームナノ科学

化学生命科学 数理生物情報 生命知識工学

センター 粒子ビーム科学 レーザー物質科学

有機分子変換化学 先端無機個体化学 錯体触媒変換化学 光ナノ量子物性科学 構造有機化学(兼)

生体機能設計化学(兼)

5研究系

30研究領域(研究室)

大学院協力講座

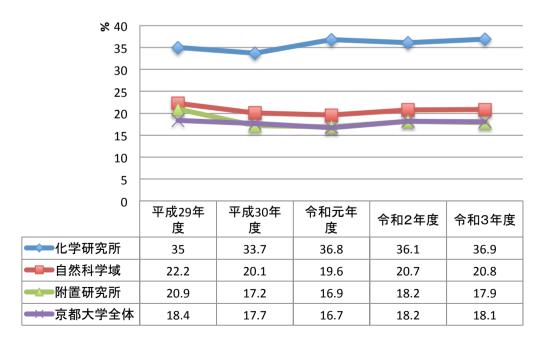
理学研究科 工学研究科 農学研究科 薬学研究科 医学研究科



人員構成

	教授	准教授	講師	助教	小計	特定 准教授	特定 助教	特定 研究員	小計	合計
平成29年度	27	16	2	37	82	0	3	14	17	99
平成30年度	28	17	2	37	84	1	5	17	23	107
令和元年度	27	17	4	36	84	2	10	13	25	109
令和2年度	27	18	4	38	87	2	12	13	27	114
令和3年度	27	16	4	37	84	3	10	12	25	109

若手教員比率 定員内教員における39歳以下の比率





研究費推移

→ 研究費

※研究費金額は間接経費を除く

(単位:千円)

	人件費 (運営費交付金)	物件費 (運営費交付金)	科研費	産学連携等 研究費	その他 補助金	寄附金	合計
平成29年度	1,334,235	956,624	579,600	538,481	23,230	71,400	3,503,570
平成30年度	1,329,099	943,980	468,700	542,294	27,366	89,665	3,401,104
令和元年度	1,350,382	1,097,947	565,600	464,769	31,251	84,003	3,593,952
令和2年度	1,314,938	954,627	629,078	592,839	32,472	53,595	3,577,549
令和3年度	1,339,177	1,037,906	707,300	565,269	10,912	47,707	3,708,271

その他研究資金

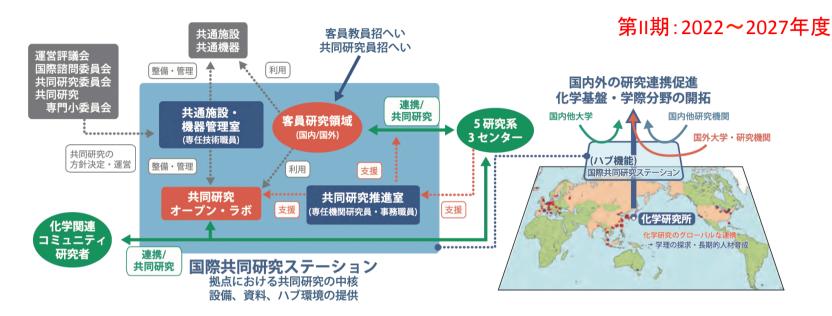
	令和3年度	
	件数	受入金額
ミッション実現加速化経費	2	133,281
二国間交流事業(JSPS)	0	0
研究拠点形成事業(JSPS)	1	5,760
国立大学改革強化推進補助金	1	5,152
官民による若手研究者発掘 支援事業費助成金(NEDO)	0	0
受託研究	37	472,835
共同研究	39	92,434
寄附金	36	47,707

科学研究費助成事業一科研費一

	令和3年度	
	件数	受入金額
特別推進研究	1	178,400
新学術領域研究(研究領域提案型)	5	28,400
学術変革領域研究(A)	3	51,600
学術変革領域研究(B)	2	14,300
基盤研究(S)	5	134,500
基盤研究(A)	11	127,800
基盤研究(B)	18	65,500
基盤研究(C)	11	12,000
挑戦的研究(開拓)	6	40,200
挑戦的研究(萌芽)	6	13,900
若手研究	19	22,500
研究活動スタート支援	4	4,600
特別研究員奨励費	12	11,200
特別研究員奨励費(外国人)	2	1,400
成果公開促進費(データベース)	1	1,000
合計	106	707,300



国際共同利用・共同研究拠点 化学関連分野の深化・連携を基軸とする先端・学際グローバル研究拠点



オンサイト ラボラトリー 「京都大学上海ラボ」

大学間連携事業 「統合物質創製化学研究推進機構」

スピントロニクス学術連携研究教育センター(CSRN) 「京都大学スピントロニクス学術連携研究教育センター」

京都大学研究連携基盤「未踏科学研究ユニット」



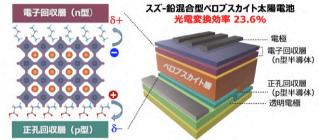
発表論文数の推移

平成29年	平成30年	令和元年	令和2年	令和3年
253	295	279	270	319

研究所内、および産学の共同研究成果

スズを含むペロブスカイト太陽電池:23.6%の世界最高効率を達成 ーペロブスカイト薄膜の上下表面構造修飾法を開発ー 複合基盤化学研究系分子集合解析 元素化学国際研究センター光ナノ量子物性科学 東レリサーチセンター

ペロブスカイト薄膜の上下表面パッシベーション法の開発



Hu et al., Energy Environ Sci, 2022

無磁場下において超伝導ダイオード効果の制御に成功 -超低消費電力の不揮発性メモリなどの実現に期待-材料機能化学研究系ナノスピントロニクス 元素化学国際研究センター先端無機個体化学

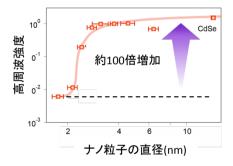


超電導ダイオード効果のイメージ

Narita et al., Nat Nanotechnol, 2022

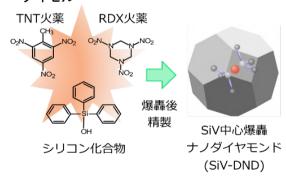
半導体ナノ粒子からの高次高調波観測により物質中の新たな光学 遷移過程を発見 ーレーザー光で固体中の電流を超高速制御する 次世代フォトニクス応用に期待-

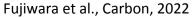
元素化学国際研究センター光ナノ量子物性科学物質創製化学研究系精密無機合成化学



Nakagawa et al., Nat Phys, 2022

世界最小粒径のナノダイヤモンド温度計測に成功 -細胞内など微細な対象の精密な温度測定へ前進-材料機能化学研究系無機フォトニクス材料 ダイセル







化学研究所の様々な取組み

研究所内

化研らしい融合的・開拓研究

若手を中心とする分野横断型の研究を公募し、研究費を支援する。 令和4年度 5件採択

化研国際共共拠点 若手海外派遣 受入事業

化学研究所所属の若手研究者(大学院生を含む)の海外研究滞在派遣、および海外研究機関所属の若手研究者の化研への研究滞在を経済的に支援する。

令和元年度 派遣10件、受入6件

学内連携

タレントスポット(Talent-Spot)

化学研究所が中心となり、優秀な国費留学生獲得を目的とし、教員が海外学生と現地で面接する。本事業を介して、これまでに6名の国費留学生を獲得 2023年1月 マニラ開催 経費:JSPS

京都大学研究連携基盤 未踏科学研究ユニット

「持続可能社会創造ユニット」(ユニット長:化研 長谷川健教授) R4年度第一回ミーティング「有機フッ素材料の現状と解決すべき課題を学際的に議論する」 6月20日@ダイキン工業TIC

京都大学宇治キャンパス産学交流会

宇治キャンパスにある4つの研究所(エネルギー理工学、生存圏、防災、化学)との産学連携や参加企業間の業種の垣根を越えた連携を目的に年4回開催



反強磁性体を用いたスピントロニクスの開拓



森山貴広

京都大学化学研究所 材料機能化学研究系ナノスピントロニクス研究領域 准教授



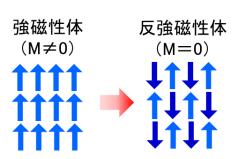
自己紹介:もりやま たかひろ

- 東北大学 工学部材料物性: 学士・修士
- University of Delaware(米国)物理: Ph.D.
- Cornell University(米国) 物理: PostDoc associate
- TDK-Headway Inc.(米国) 磁気メモリ開発: Senior Engineer
- 京都大学 化学研究所:准教授(小野輝男研究室)(現在)

★ 専門:磁性材料・磁気物理・スピントロニクス

アウトライン

• スピントロニクスにおける反強磁性体



• 反強磁性体におけるスピントロニクス動作原理の開拓

Collaborations & Acknowledgements



















= Funding sources



CSRN

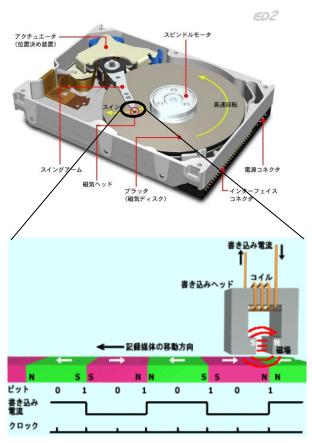
Center for Spintronics Research Network



JSPS KAKENHI Gant Nos. 21H04562, 19K21972, and 18H01859. JST-PRESTO Grant No. JPMJPR20B9, Japan. Center for Spintronics Research Network (CSRN). The Mazda Foundation, the Kyoto University Foundation, ISHIZUE 2020 of Kyoto University Research Development Program, and the Collaborative Research Program of Institute for Chemical Research, Kyoto University.

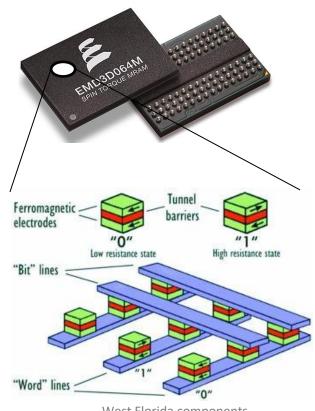
スピントロニクス応用

ハードディスクドライブ



http://www.s-graphics.co.jp/nanoelectronics/kaitai/harddisk/3.htm

磁気ランダムアクセスメモリ



West Florida components

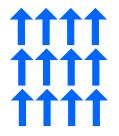
ほとんどの場合、強磁性体(磁石)が用いられている。 磁気モーメント(スピン)の方向で情報を記録する。

反強磁性体?

ハイゼンベルグ模型

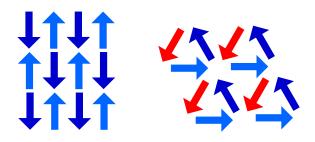
$$E_{ij} = -2J \, \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j$$

強磁性体 (J > 0)



スピンが同じ方向にそろっている

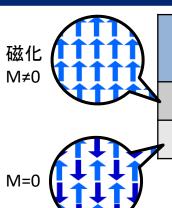
全体として磁気モーメントを<u>持つ</u> M≠0 反強磁性体(J < 0)



スピンが反平行(補償するように)に揃っている

全体として磁気モーメントを<u>持たない</u> M=0

反強磁性体スピントロニクス



	磁気感受率 (磁化率)	共鳴周波数
強磁性体	~ 10 ³ *	数十 GHz
反強磁性体	~ 10 ⁻² **	数 THz

* Typical value of Fe

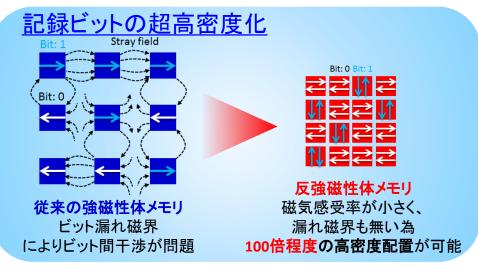
** Typical value of MnF₂

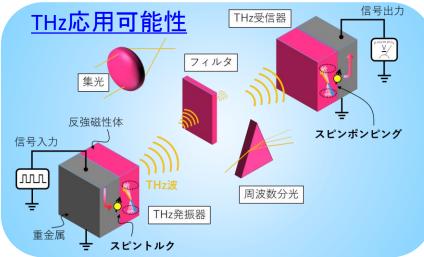
磁気感受率が小さい

超高密度磁気メモリ磁気擾乱に強いメモリ

THz ダイナミクス

超高速磁化反転 THz発振素子





Message from Dr. Louis Néel



"Antiferromagnets are extremely interesting from the theoretical viewpoint, but do not seem to have any applications."

Dr. Louis Néel 1970 Nobel prize (antiferromagnetism)



- 1. Magnetic field cannot easily control the magnetic moments.
- 2. Invisible nature of magnetic moments; there is no net magnetization.

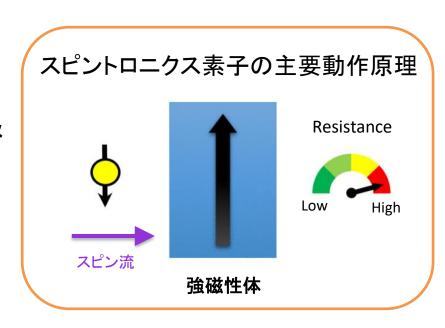
スピントロニクスの基本動作原理: 磁気モーメントの操作・検出

• スピントルク効果

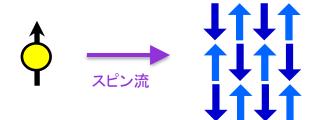
電子のスピンの流れ(スピン流)を利用した磁気モーメントの反転。電子スピンが磁気モーメントにトルクを与える。

• 磁気抵抗効果

磁気モーメントの方向に依存して変わる 電気抵抗

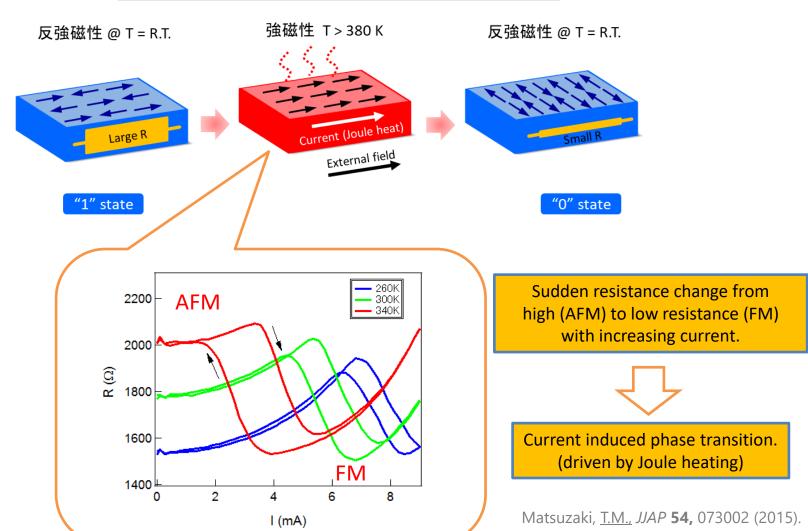


二つの効果は反強磁性体でも有効か?

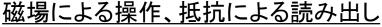


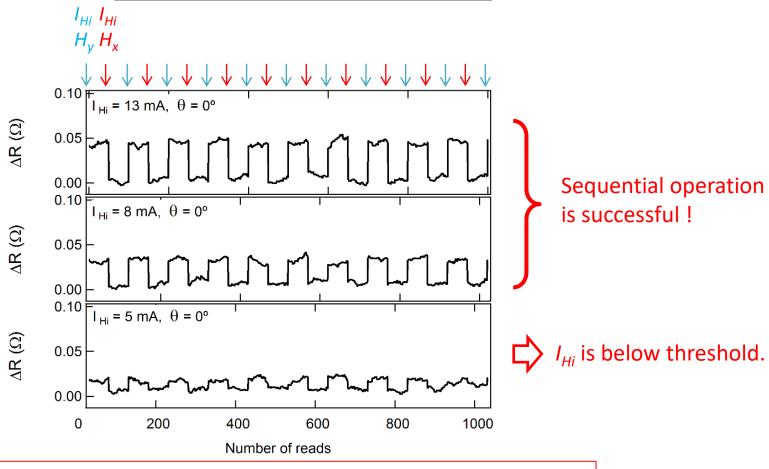
磁気抵抗効果の実証

反強磁性-強磁性転移を利用した磁化操作



磁気抵抗効果の実証

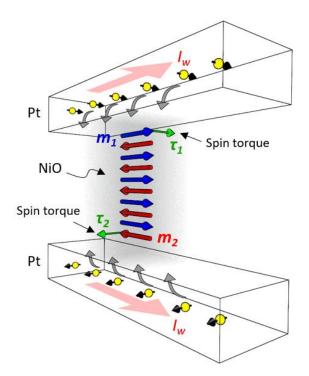




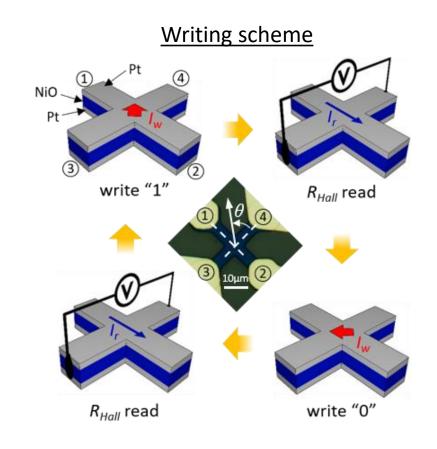
反強磁性体の磁化方向に応じた磁気抵抗効果を観測

スピントルク効果を用いた 反強磁性体メモリの動作原理を実証

Ptのスピンホール効果を利用したスピン流注入

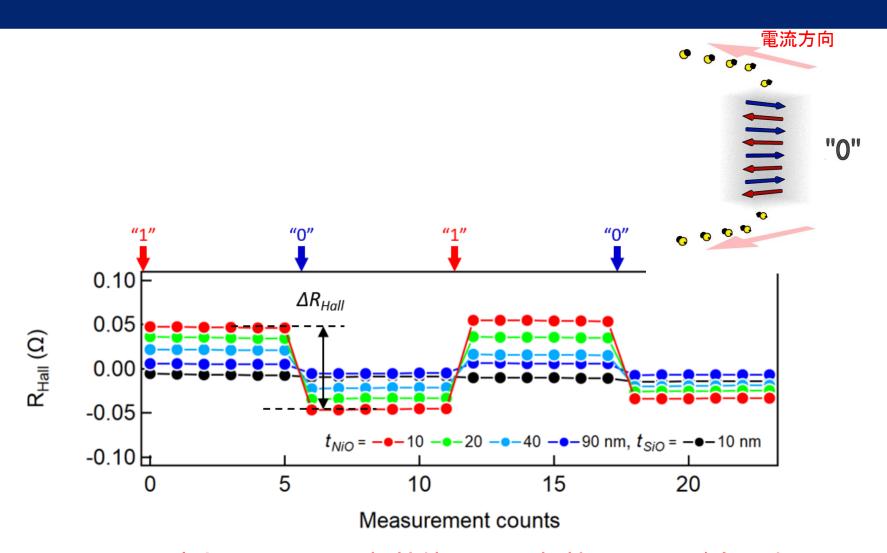


Can rotate Neel vector without a cost of increasing exchange energy.
Can apply to various AFM structures.



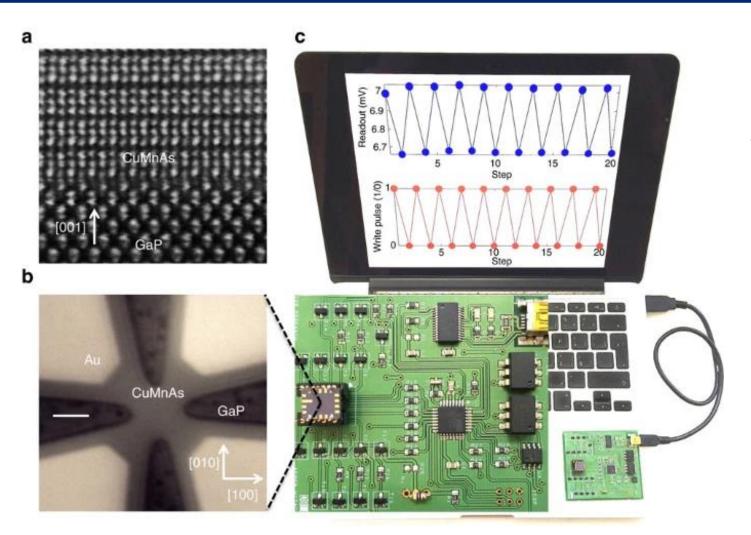
電流のみ(スピントルク・磁気抵抗)によって反強磁性磁気メモリの実現が可能

メモリ書き込み・読み出し操作



"0", "1"の書き込みによって抵抗値(ホール抵抗)の大小が変化する。

反強磁性メモリチップのデモ



Picture of the PCB with the chip containing the AF bit cell and the input write-pulse signals (red dots) and output readout signals (blue dots) sent via a USB computer interface.

まとめ

反強磁性体を用いたスピントロニクスの開拓

- スピントロニクスにおける反強磁性体
 - → 漏れ磁場が無い、磁気擾乱に強い、超高速(THz)
- 反強磁性体におけるスピントロニクス動作原理
 - → 磁化状態に応じた抵抗の変化、電子スピンを用いた磁化状態の制御

役に立たないと思われていた反強磁性体を表舞台に

反強磁性材料群 >> 強磁性材料群