

- 最優秀賞受賞 -

高スピン偏極ホイスラー合金ハーフメタルを 用いたスピン依存伝導現象の研究

- Investigation of spin-dependent transport phenomena using
highly spin-polarized half-metallic Heusler compounds -

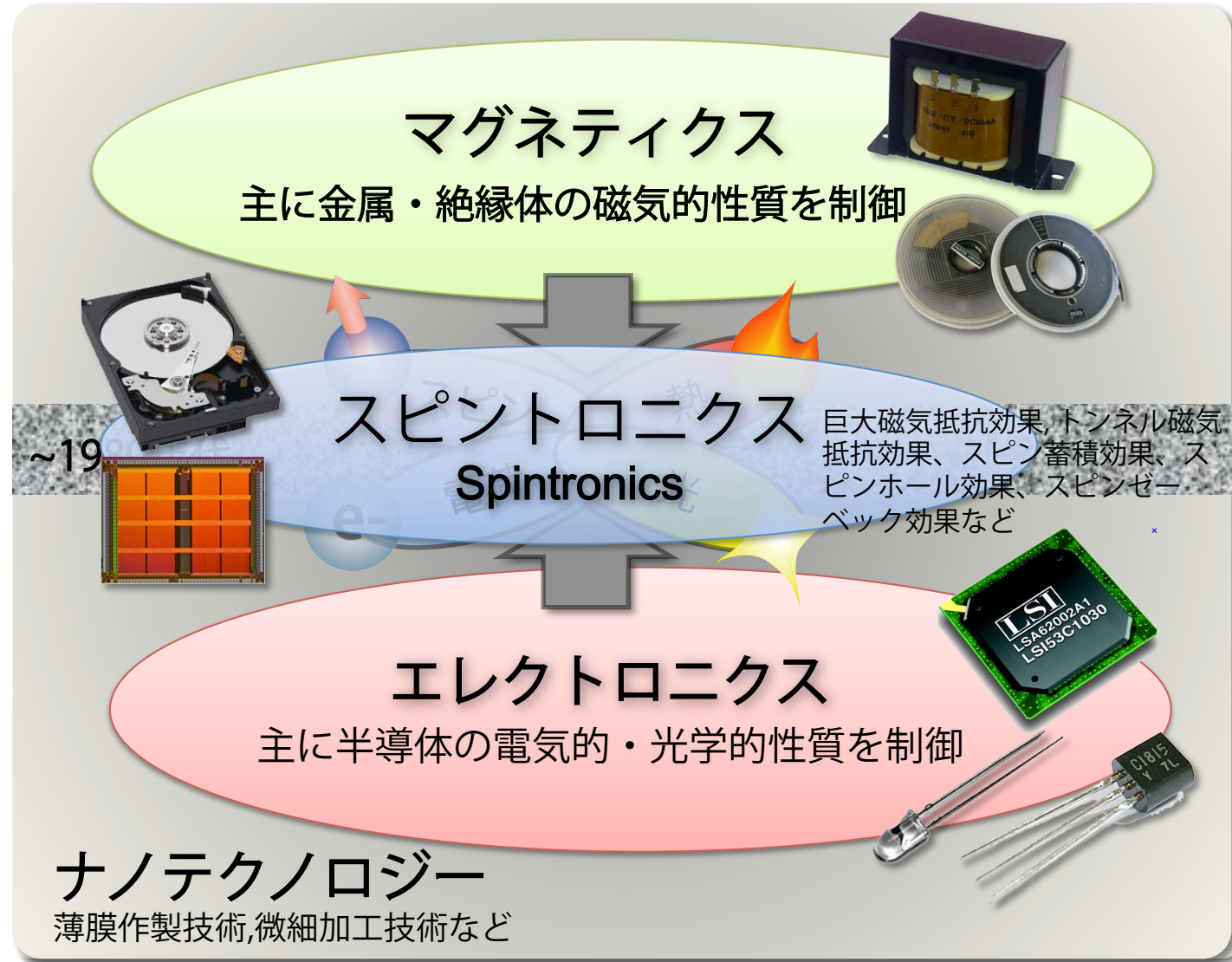
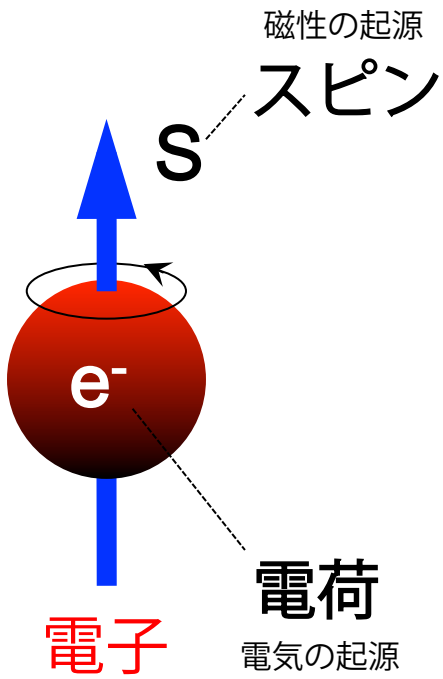


桜庭 裕弥

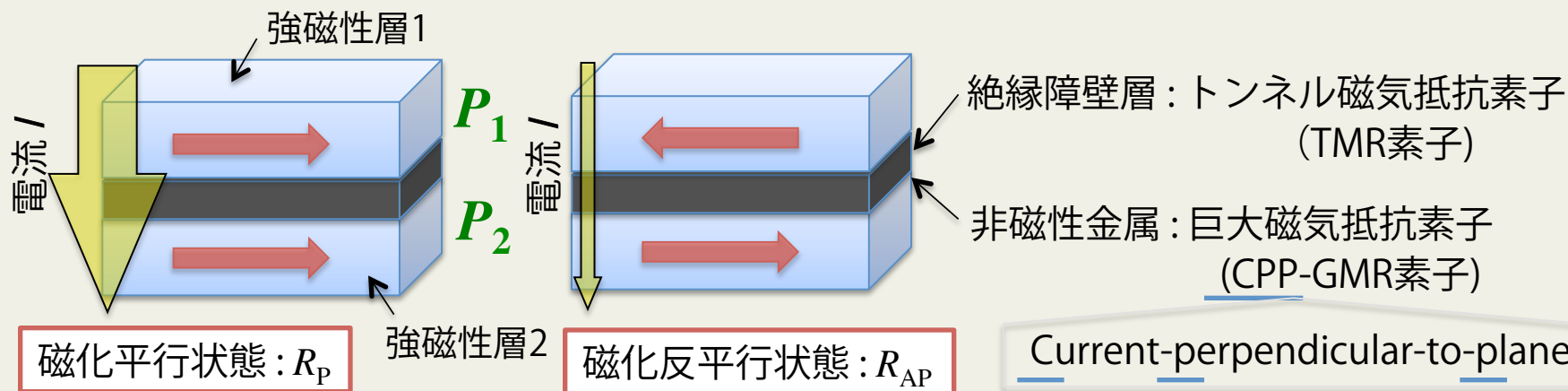
東北大学 金属材料研究所 磁性材料学研究部門 高梨研究室



スピントロニクスとは?



トンネル磁気抵抗効果(TMR効果) / 巨大磁気抵抗効果(GMR効果)



$$R_P < R_{AP}$$

磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM),
高感度磁気センサー, スピントルク発振器,
スピントランジスタなどへ応用

素子抵抗 R が2つの磁化の相対角度によって変化する!

$$\text{磁気抵抗比(MR比)} = \frac{R_{AP} - R_P}{R_P} \times 100(\%) \propto P_1 P_2$$

スピン偏極率 P_1, P_2 : ↑スピン電子数と↓スピン電子数の偏極の度合い

MR比大 → 外部磁場や磁化情報を高出力に取り出すことができる!

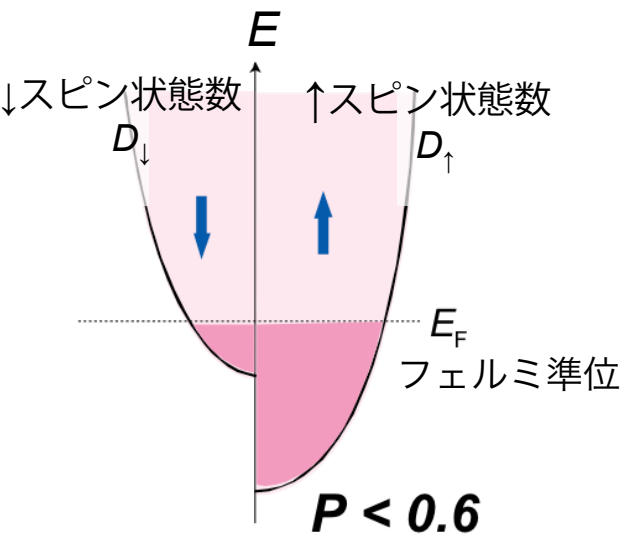


高い P を持つ材料開発が極めて有用

究極の高スピン偏極材料・ハーフメタル

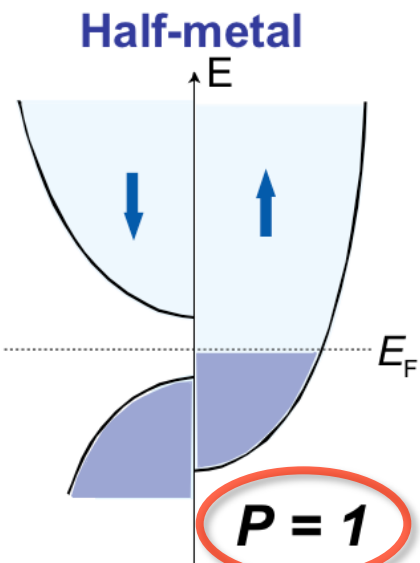
■一般的な強磁性体

3d遷移金属 : Fe, Co, Ni etc.



$$P = \frac{D_{\uparrow}(E_F) - D_{\downarrow}(E_F)}{D_{\uparrow}(E_F) + D_{\downarrow}(E_F)}$$

■ハーフメタル強磁性体



完全スピン偏極した伝導電子

究極のスピン偏極源!

理論予測されているハーフメタル材料

酸化物 : CrO_2 , Fe_3O_4 , $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ etc.

閃亜鉛型化合物 : CrAs , MnAs etc.

ホイスラー合金 : NiMnSb , PtMnSb ,

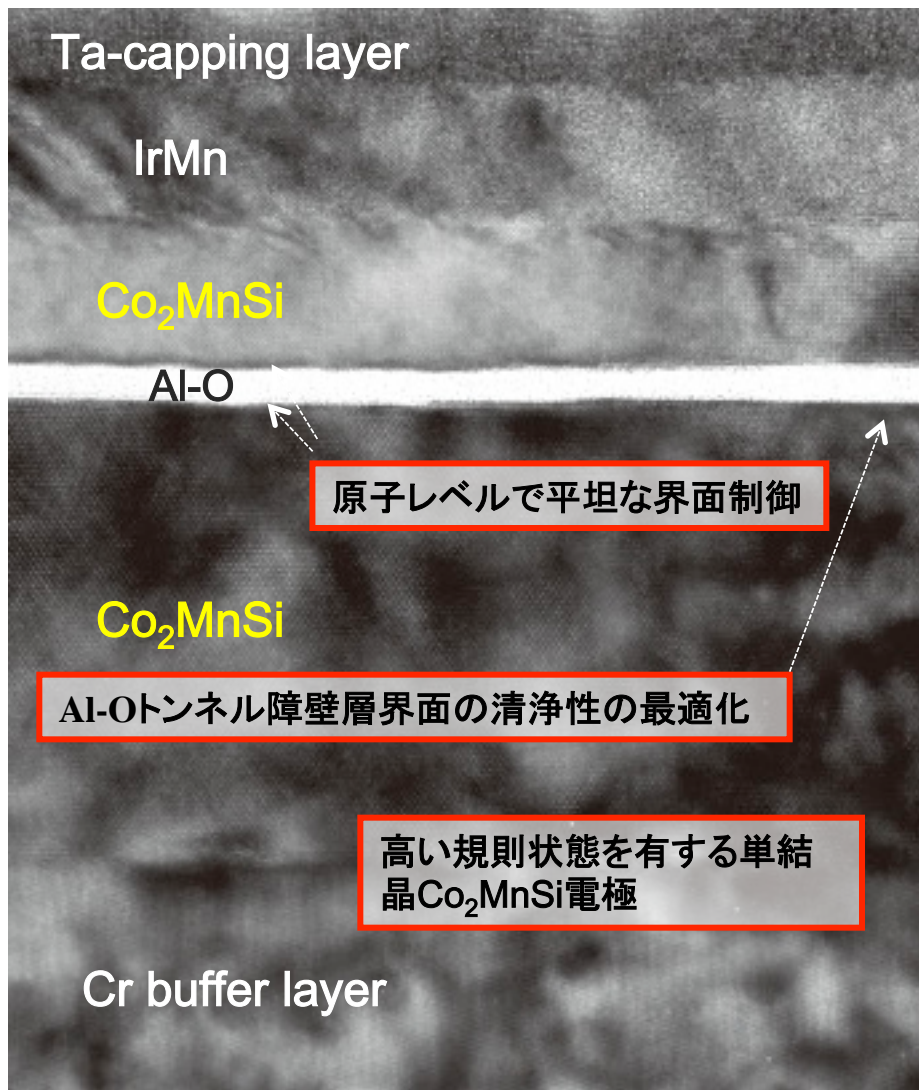
$\text{Co}_2\text{MnSi}(\text{CMS})$, Co_2MnGe , etc.

高い強磁性転移温度($\sim 1000\text{K}$)

ハーフメタル ($P \sim 1$)が実現されれば...

大容量MRAM, 超高感度磁気センサ- (次世代HDD, 心磁気・脳磁気計測など), 超高出力スピントルク発振器, スピントランジスタ, ナノサイズ熱電冷却素子など 様々な高機能・多機能スピントロニクスデバイスの実現が可能

現在まで室温でハーフメタル性が確認された例は皆無である



■(001)-Co₂MnSi/Al-O/CoFe

TMR比 = 70%@室温, 159%@2K

Sakuraba et al., JJAP (2005) $P_{CMS} = 0.89@2K$

世界で初めてホイスラー合金のハーフメタル性を実証

応用物理学会 JJAP論文奨励賞 (2007)

cf. CoFe/Al-O/CoFe

TMR比 = 50%@室温, 80%@2K

■(001)-Co₂MnSi/Al-O/(001)-Co₂MnSi(poly)

TMR比 = 67%@室温, 570%@2K

Sakuraba et al., APL (2006)

500%を超える巨大TMR効果 被引用回数 : ~ 235

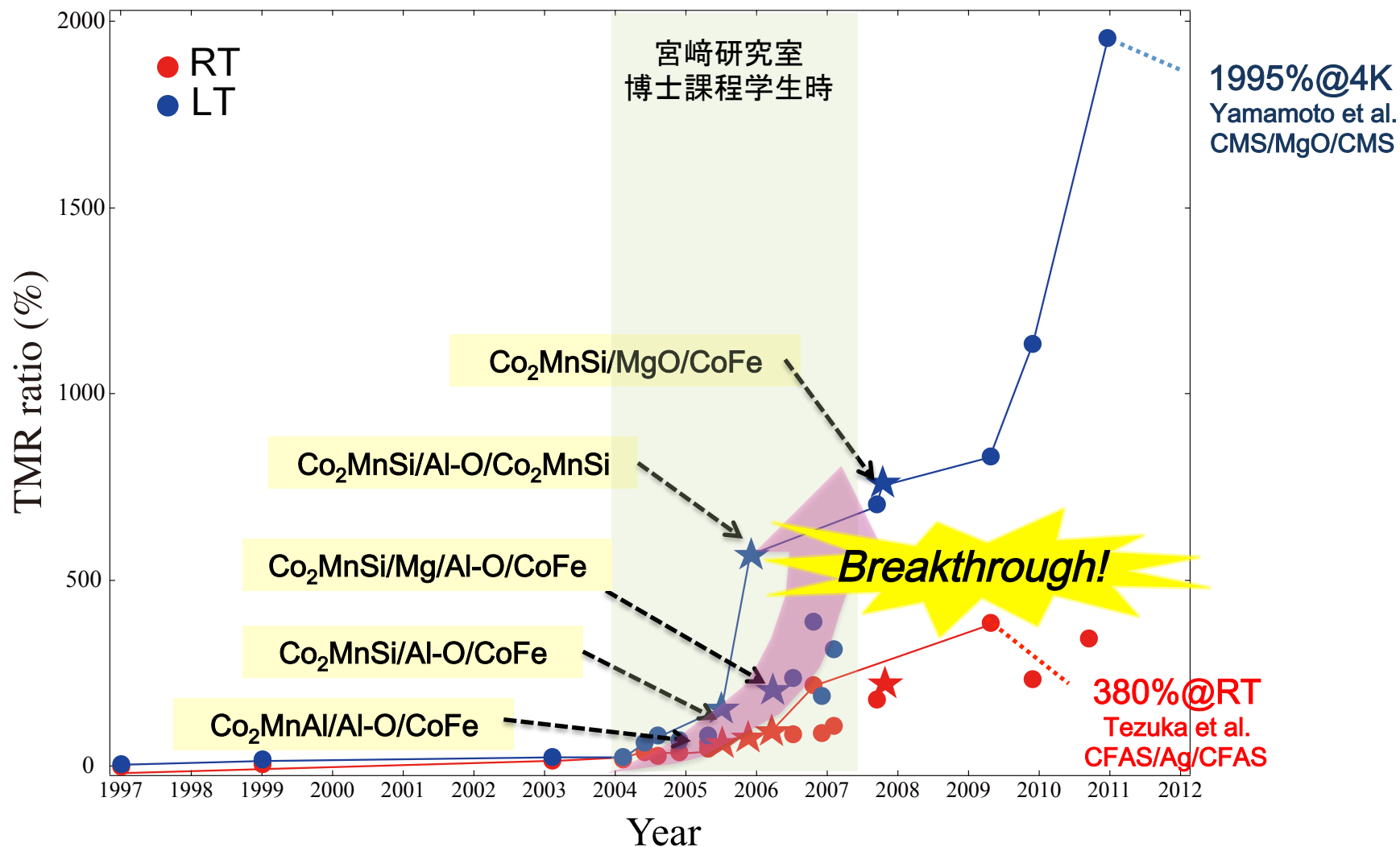
■(001)-Co₂MnSi/Mg/Al-O/CoFe

TMR比 = 92%@室温, 203%@2K

Sakuraba et al., JMSJ (2007) $P_{CMS} = 0.97@2K$

全ての材料の中で最も高いスピン偏極率を観測

日本磁気学会 論文賞(2008)



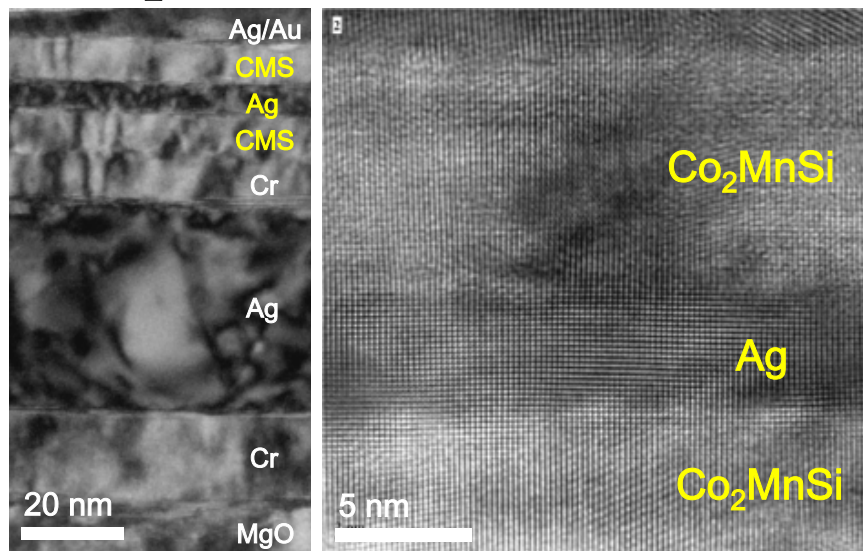
私の研究成果①: 巨大TMR効果を観測しホイスラー合金のハーフメタル性を世界で初めて実証するブレークスルーを実現

代表的研究成果② ハーフメタルホイスラー合金を利用した 巨大磁気抵抗素子における室温高MR比の観測

従来のCPP-GMR素子

低抵抗 ○ cf. CoFe/Cu/CoFe
低MR比 ✕ MR比 ~ 2-3% @ 室温

Co₂MnSiを用いたCPP-GMR素子



■(001)-Co₂MnSi/Ag/(001)-Co₂MnSi

MR比 = 36% @ 室温, 67% @ 110K

T. Iwase, Y. Sakuraba *et al.*, APEX (2009)

Co₂MnSiが室温でも高いスピン偏極率を持つことを
世界で初めて実証する成果

クラウドコンピューティング
に対応できる唯一の大容量ス
トレージデバイス



HDD

750 Gbit/inch²(2012)

今後も継続的な大容量化が必須!!

現行のTMRヘッドでは素子抵抗が高いことが
問題になり1-2Tbit/inch²が限界...

ハーフメタルホイスラーCPP-GMR素子

低抵抗○, 高MR比○

次世代HDDの磁気ヘッドとして有望な成果

研究成果のまとめ

ハーフメタルホイスラー合金における/を利用した種々のスピン依存伝導現象の研究

TMR効果, GMR効果, スピントルク発振, スピンゼーベック効果など

最も重要な研究成果

ホイスラー合金のハーフメタル性を世界で初めて実証する2つのブレイクスルー

Co₂MnSiを用いた強磁性トンネル接合における巨大TMR効果

Co₂MnSiを用いたCPP-GMR素子における室温巨大MR効果



ハーフメタルを利用した新規・超高性能スピントロニクスデバイスへ発展が期待される

■ 主要な学術賞：2012年 アジア磁気学会連合(AUMS) 若手研究者賞

“Innovative works on half-metallic Heusler compounds-based magnetic tunnel junctions and giant magnetoresistive devices.”

2010年 本多記念会 第50回原田研究奨励賞

2008年 第7回船井情報科学学術奨励賞

謝辞

私のハーフメタルホイスラー合金に関する9年間の研究は、多くの方々のご協力によって支えられてきました。心より深く感謝申し上げます。

宮崎照宣, 加藤宏朗, 安藤康夫, 久保田均, 大兼幹彦, 中田淳, 服部正志,
村上修一, 窪田崇秀, 常木澄人, 平塚喬士, その他多くの先輩、後輩の皆様
(所属は在籍時)

佐久間昭正, 小田洋平

高梨弘毅, 三谷誠司, 水口将輝, 関剛斎, 齊藤今朝美, 王海,
ボススボロジャティ, 岩瀬拓, 清水博, ヤンフジュン, 泉健之亮, 大倉遼,
植田正輝, 鎌田知成, その他多くの学生の皆様
(所属は在籍時)

白井正文, 三浦良雄

その他、共同研究をさせて頂いた多くの先生方・学生の皆様、ご指導ご鞭撻を頂いた多くの先生方

