

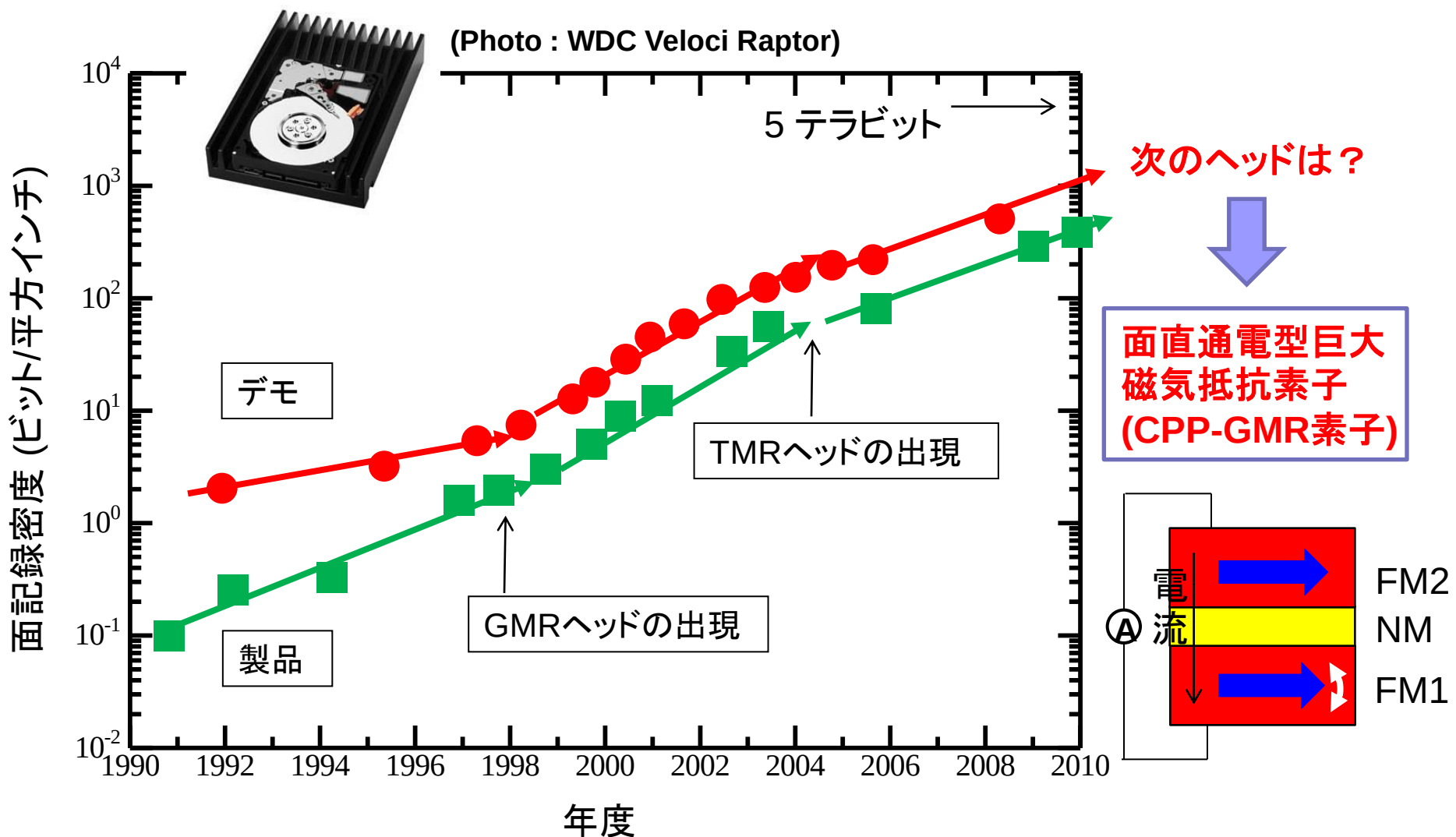


ICTイノベーションフォーラム2011
2011. 10. 4, 於幕張メッセ国際会議場

数Tbit/inch²磁気記録密度実現のための オールホイスラー合金磁気抵抗素子の開発

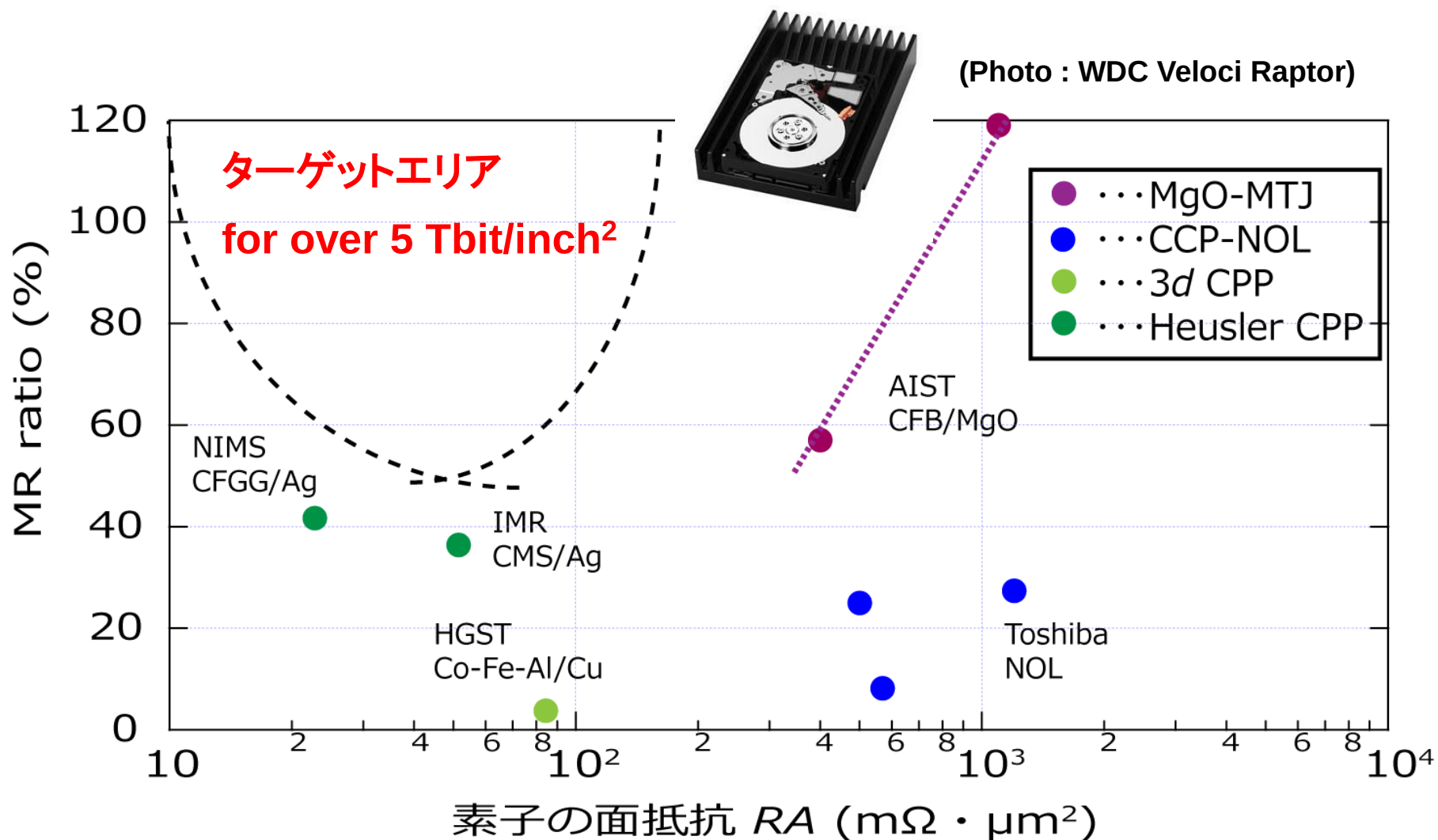
東北大院工
大兼 幹彦

Introduction ～ハードディスクの記録密度の推移～



記録密度の向上には、ヘッドの高性能化が不可欠

Introduction ～次世代磁気ヘッドのターゲット～

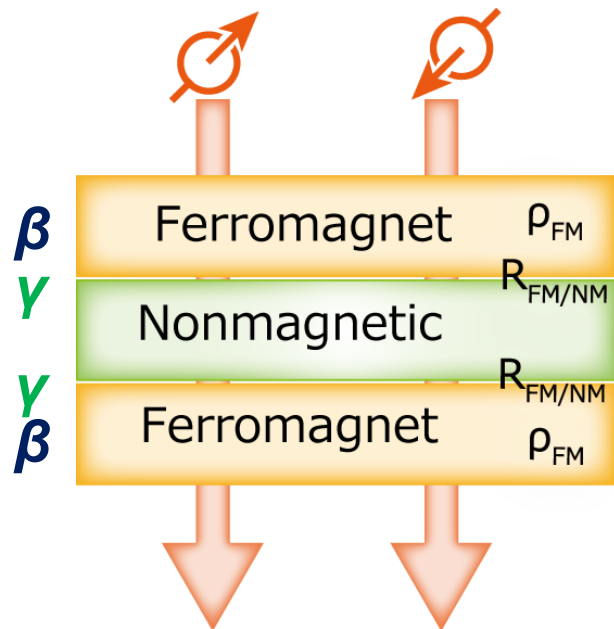


低抵抗かつ高磁気抵抗比の磁気抵抗素子が必要

Introduction ～CPP-GMRの理論～

- **T. Valet & A. Fert model** (Phys. Rev. B **48**,10(1993))

CPP-GMRはbulkとinterfaceのスピンの非対称性に依存した現象



Bulk spin asymmetry

$$\beta = \frac{\rho_{FM}^{\downarrow} - \rho_{FM}^{\uparrow}}{\rho_{FM}^{\downarrow} + \rho_{FM}^{\uparrow}}$$

Interface spin asymmetry

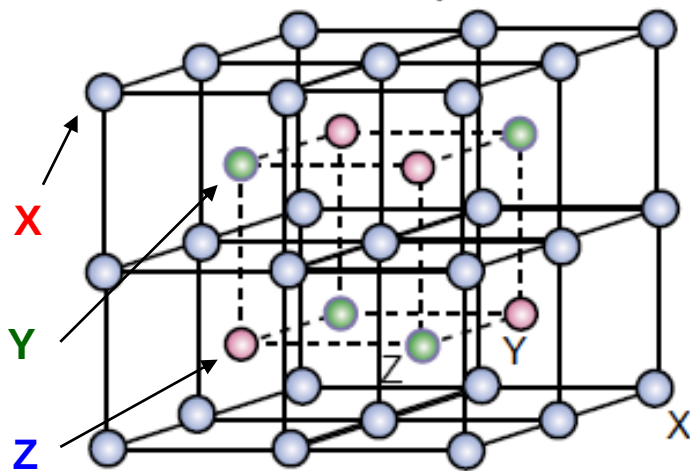
$$\gamma = \frac{R_{FM/NM}^{\downarrow} - R_{FM/NM}^{\uparrow}}{R_{FM/NM}^{\downarrow} + R_{FM/NM}^{\uparrow}}$$

$$\Delta RA = \frac{(\beta \rho_{FM}^* t_{FM} + \gamma A R_{FM/NM}^*)^2}{\rho_{FM}^* t_{FM} + 2A R_{FM/NM}^* + \rho_{NM} t_{NM}}$$

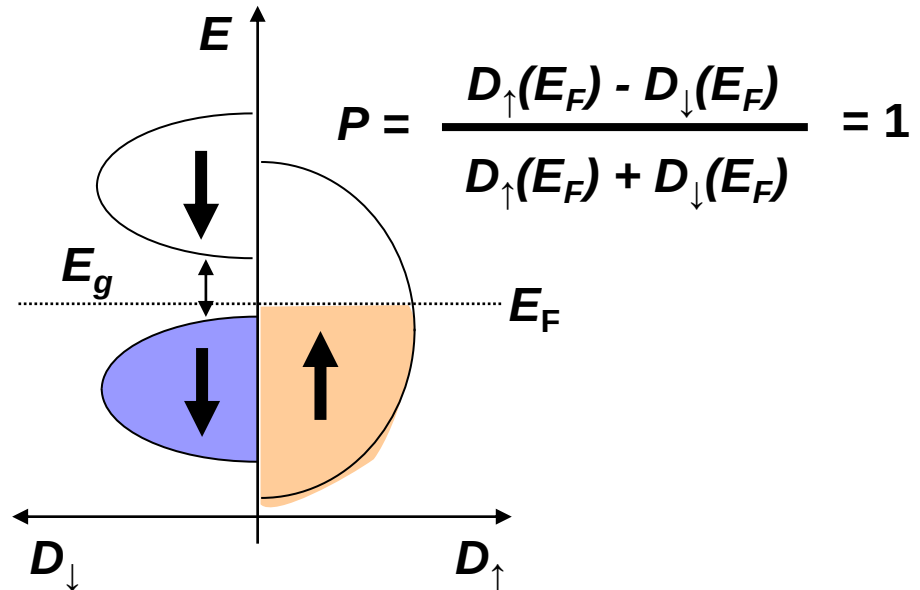
Large $\beta, \gamma \rightarrow$ Large $\Delta RA \rightarrow$ Large MR

Introduction ～ハーフメタルホイスラー合金～

L2₁構造 (X₂YZ)



ハーフメタル電子状態



代表的なハーフメタルホイスラー合金

組成	キュリー温度 (°C)	バンドギャップ (eV)	磁気モーメント (μ_B /f.u.)
NiMnSb	730	1.55	4.0
Co ₂ MnSi	985	0.7	5.0
Co ₂ MnGe	905	1.04	5.0

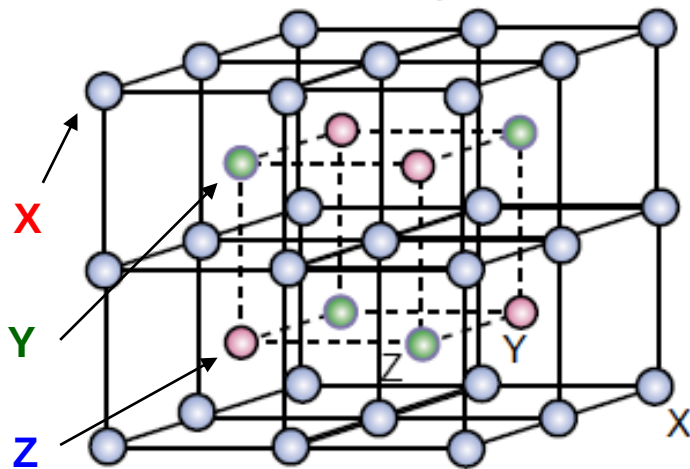
高キュリー温度 &
バンドギャップ大



室温で巨大な磁気抵抗
が期待できる

Introduction ～ $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Si}$ ホイスラー合金～

$L2_1$ 構造

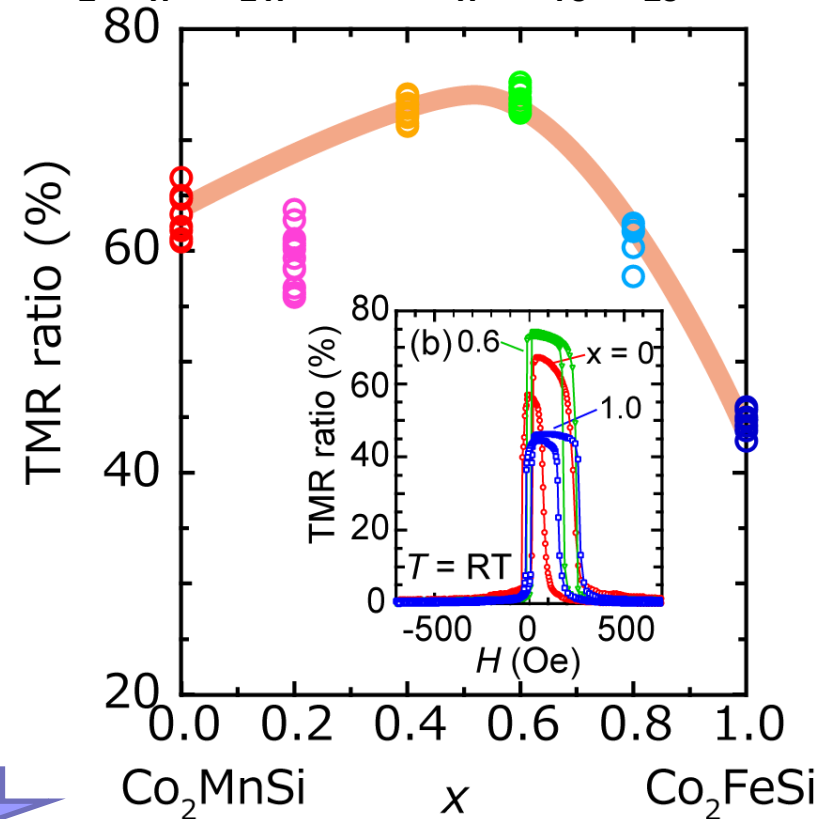


X : Co
Y : Fe / Mn
Z : Si

$\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Si}$ ($x = 0.4 - 0.5$)

- High spin polarization
- Low H_c and H_k

$\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Si} / \text{Al-O}_x / \text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ MTJs



T. Kubota et al. APL(2009)

HDDヘッド応用に
有望な材料

Purpose

ハーフメタルホイスラー合金を用いた
CPP-GMR素子において、室温で70%を
超える高磁気抵抗特性を得る



数Tbit/inch²磁気記録密度対応のハード
ディスクヘッド応用に対する有用性を示す

Experimental method (CMS vs CFMS vs CFS)

Deposition :

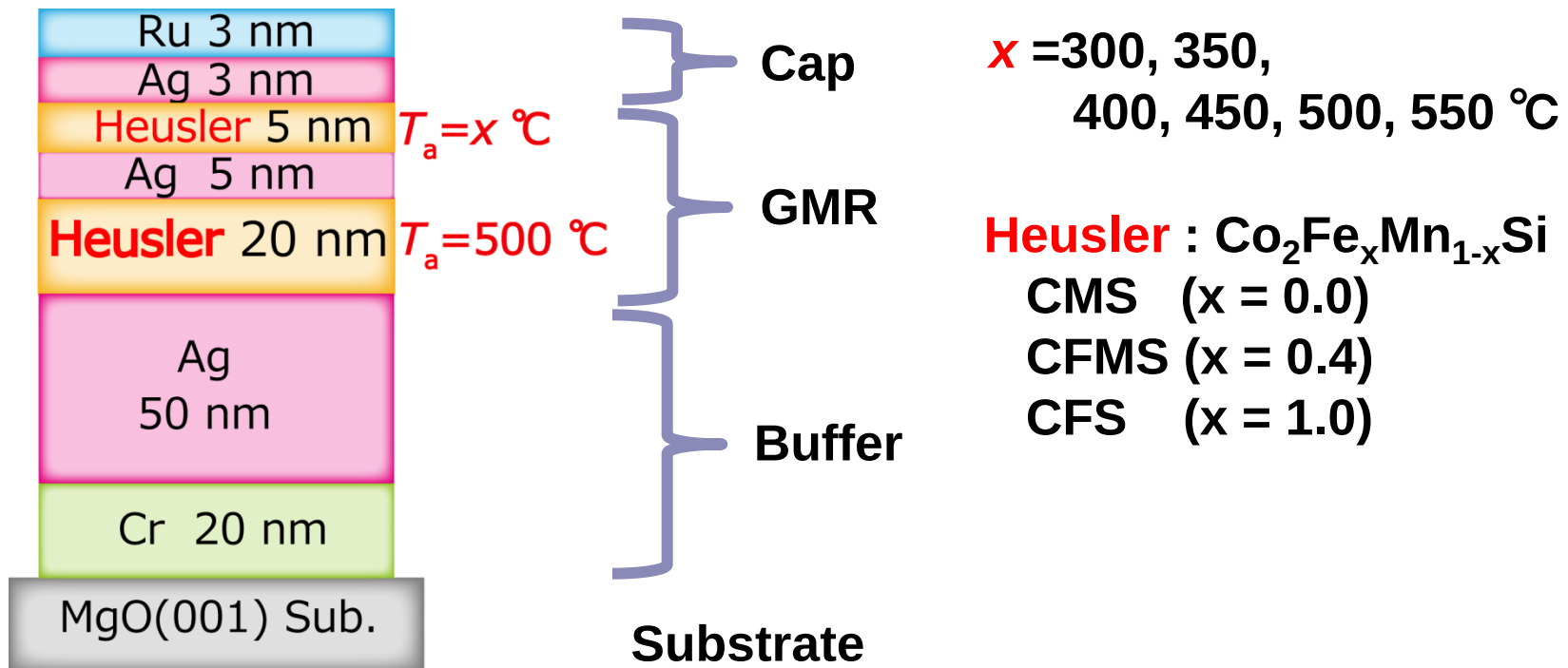
UHV magnetron sputtering (ULVAC Inc.) P base $< 4 \times 10^{-8}$

Micro-fabrication :

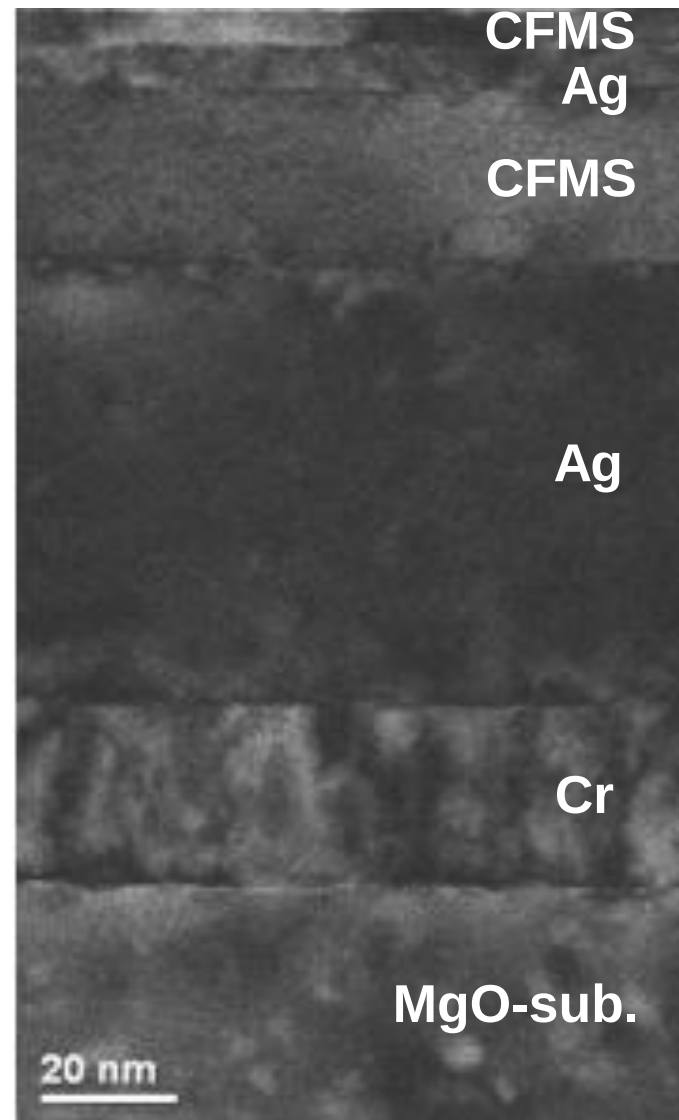
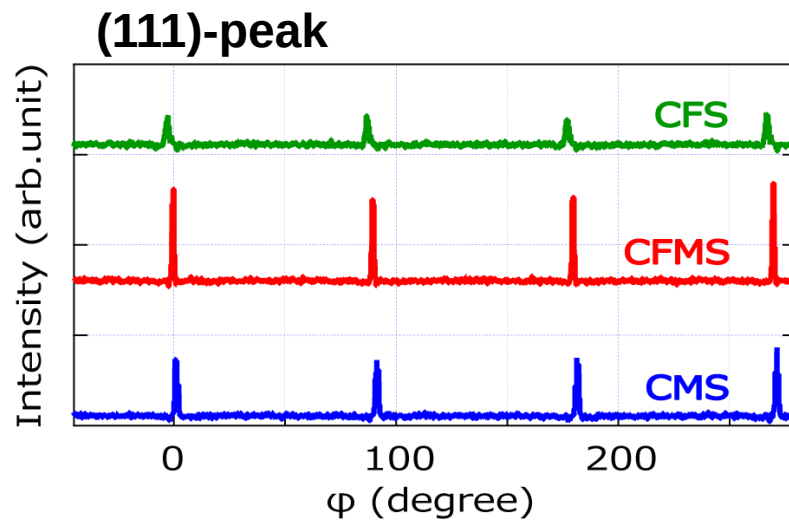
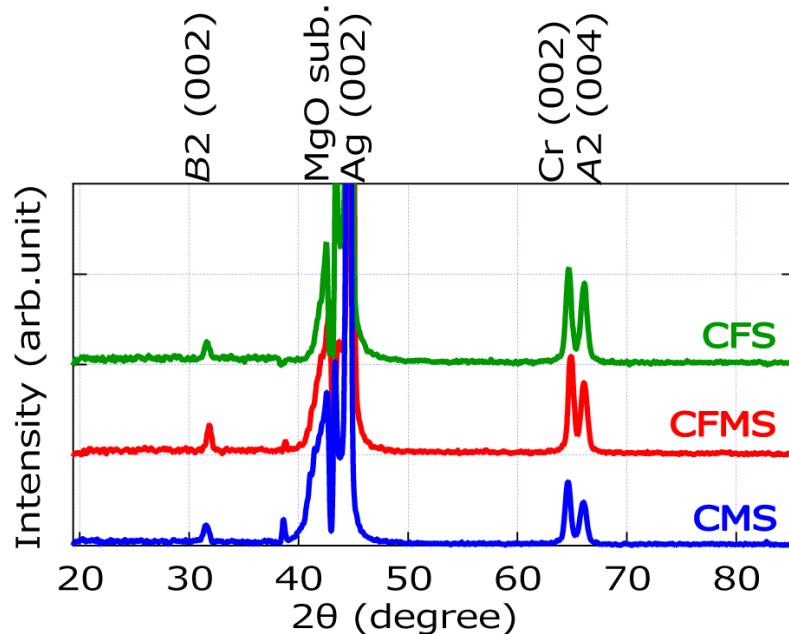
Photo litho., EB litho., Ar ion milling, RIE

Characterization :

DC 4 probe method

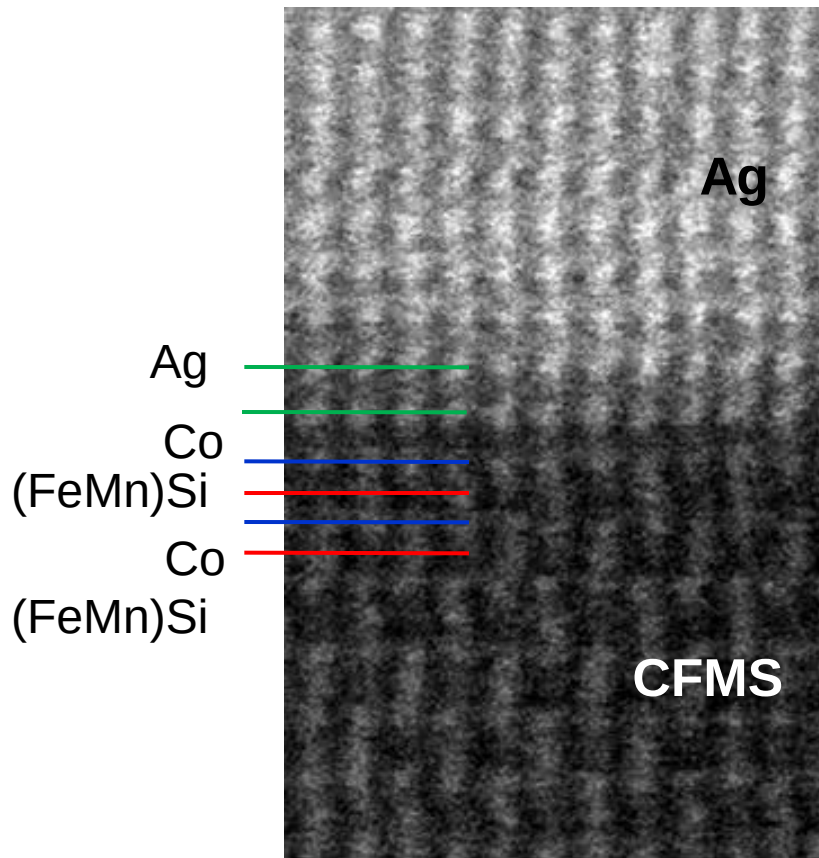


Structural properties

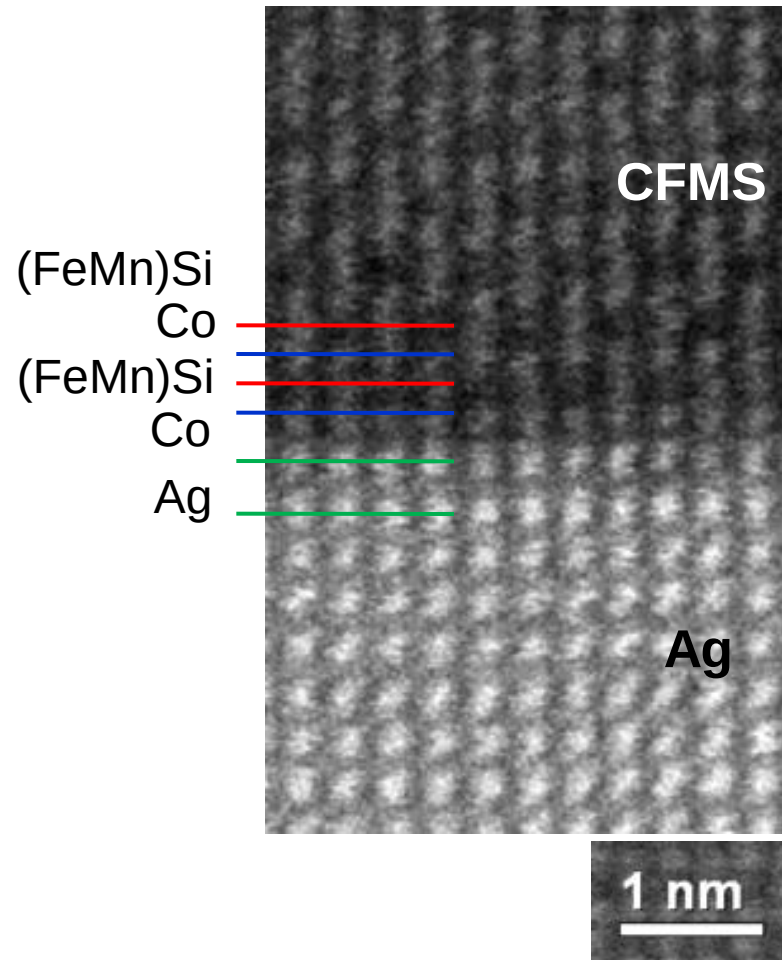


Structural properties (STEM)

Bottom interface

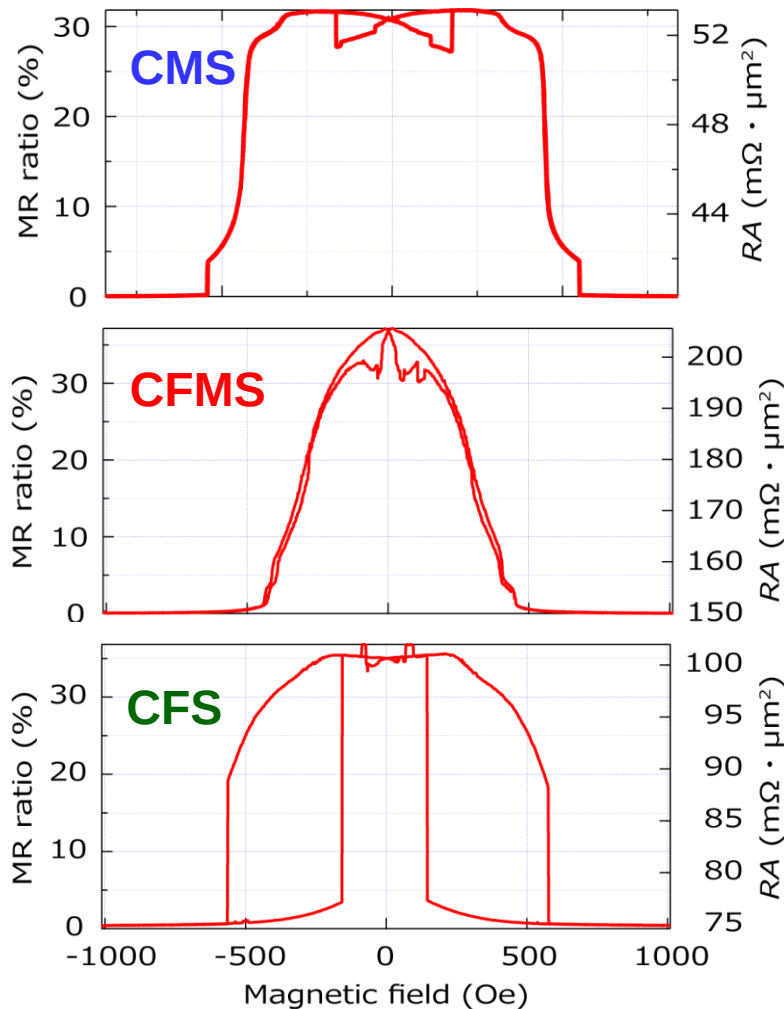


Top interface

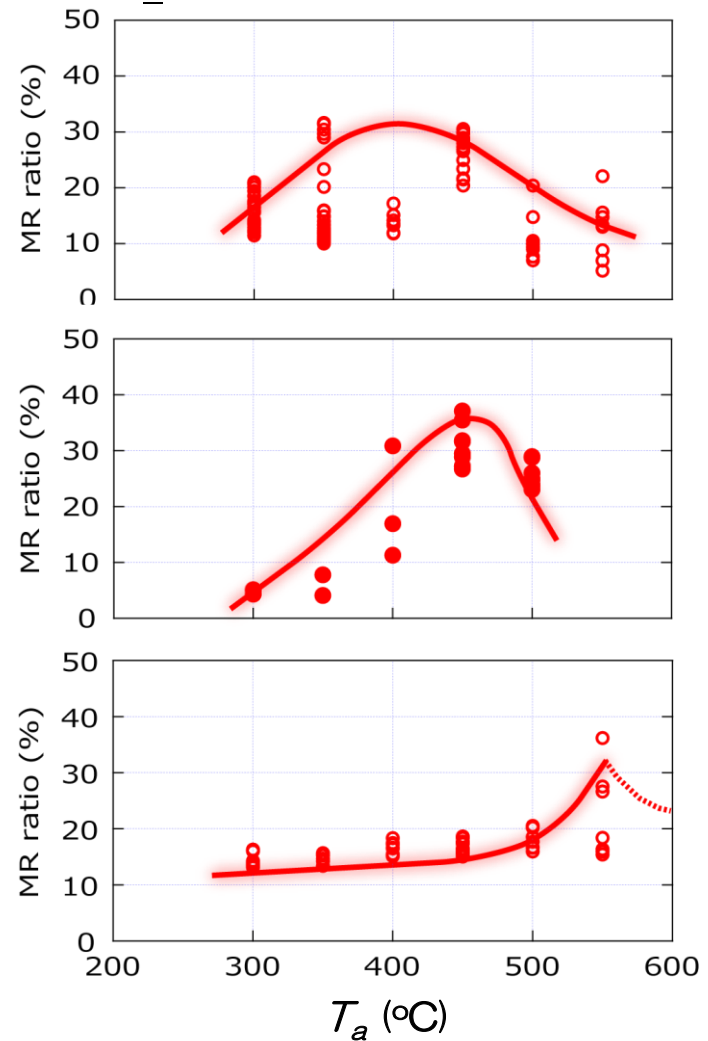


$L2_1$ -ordering (even at interface) was confirmed

MR curves



T_a dependence of MR



CMS : MR ratio = 31.6%, $RA = 40.3 \text{ m}\Omega \cdot \mu\text{m}^2$, $\Delta RA = 12.7 \text{ m}\Omega \cdot \mu\text{m}^2$

CFMS : MR ratio = 37.1%, $RA = 149.9 \text{ m}\Omega \cdot \mu\text{m}^2$, $\Delta RA = 55.6 \text{ m}\Omega \cdot \mu\text{m}^2$

CFS : MR ratio = 36.2%, $RA = 74.8 \text{ m}\Omega \cdot \mu\text{m}^2$, $\Delta RA = 27.1 \text{ m}\Omega \cdot \mu\text{m}^2$

Experimental method (Thickness dep. of CFMS)

Deposition :

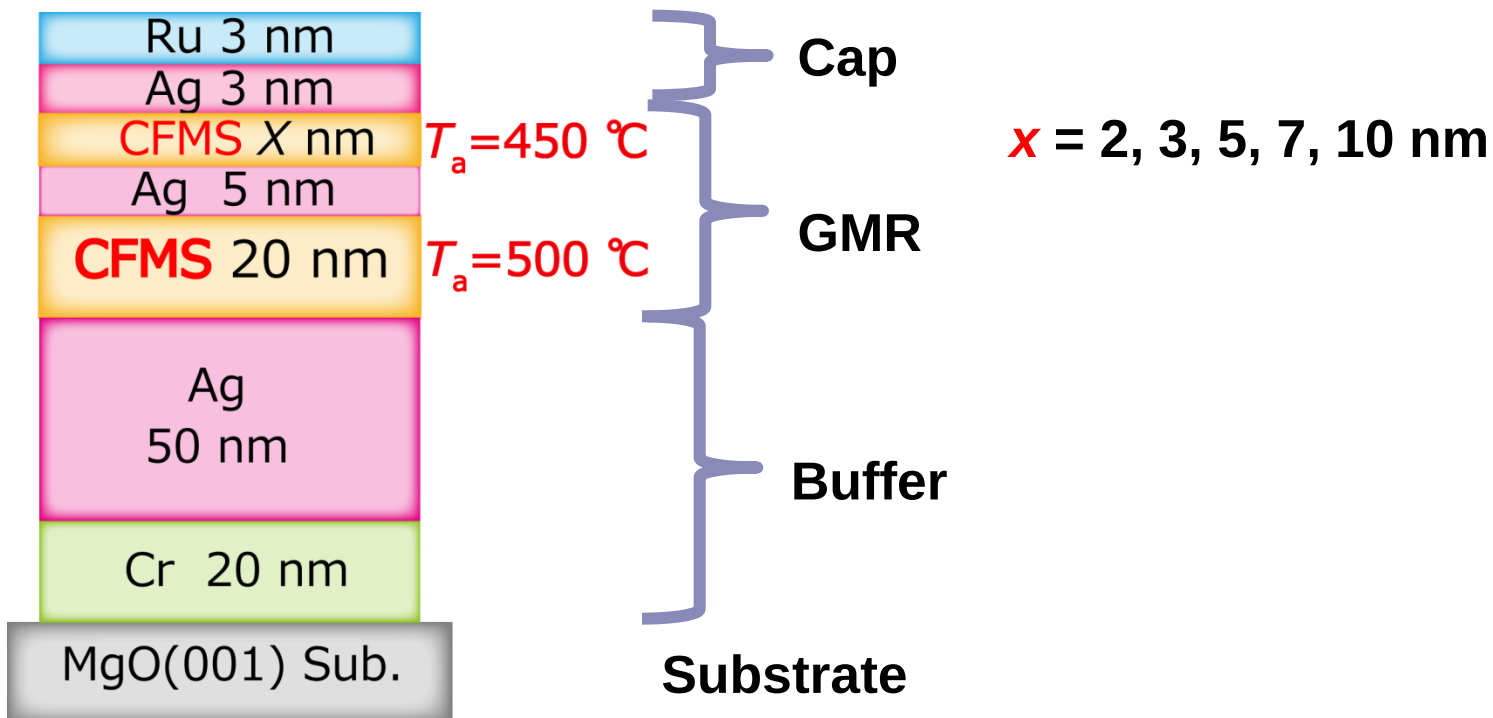
UHV magnetron sputtering (ULVAC Inc.) P base $< 4 \times 10^{-8}$

Micro-fabrication :

Photo litho., EB litho., Ar ion milling, RIE

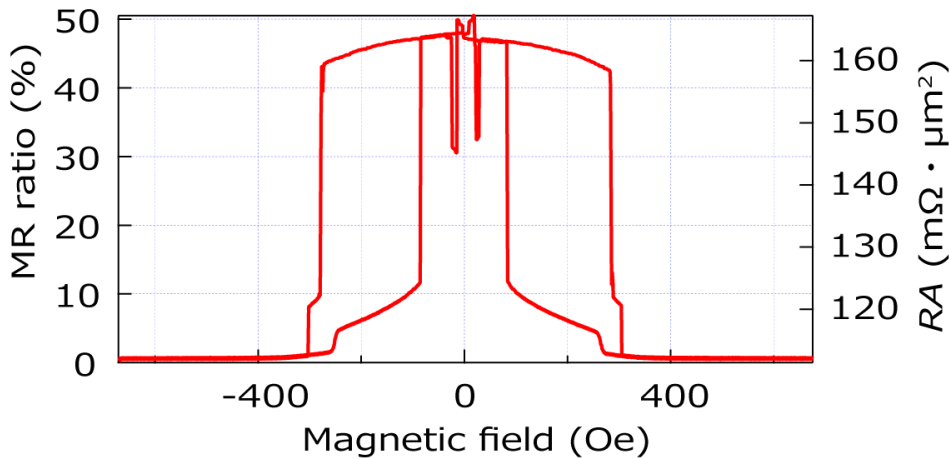
Characterization :

DC 4 probe method



Experimental result (Thickness dep. of CFMS)

CFMS 3 nm

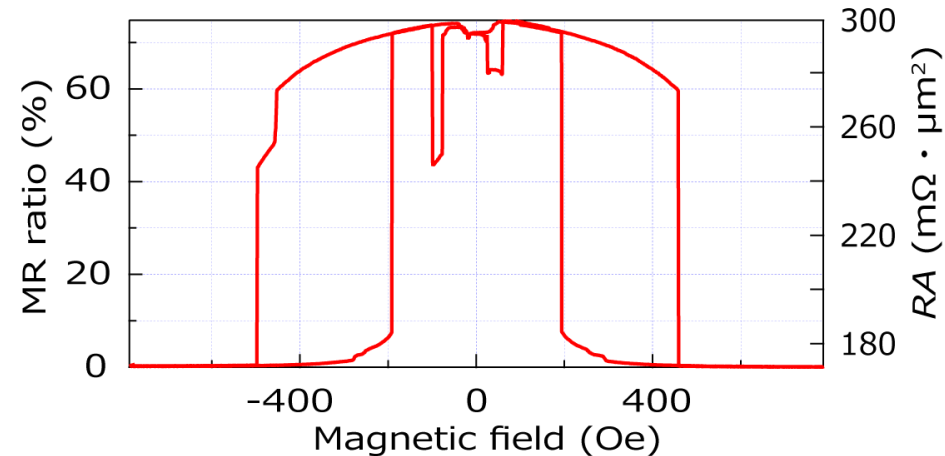


MR ratio = 50.1 %

RA = 111.4 mΩ·μm²

ΔRA = 55.8 mΩ·μm²

CFMS 10 nm



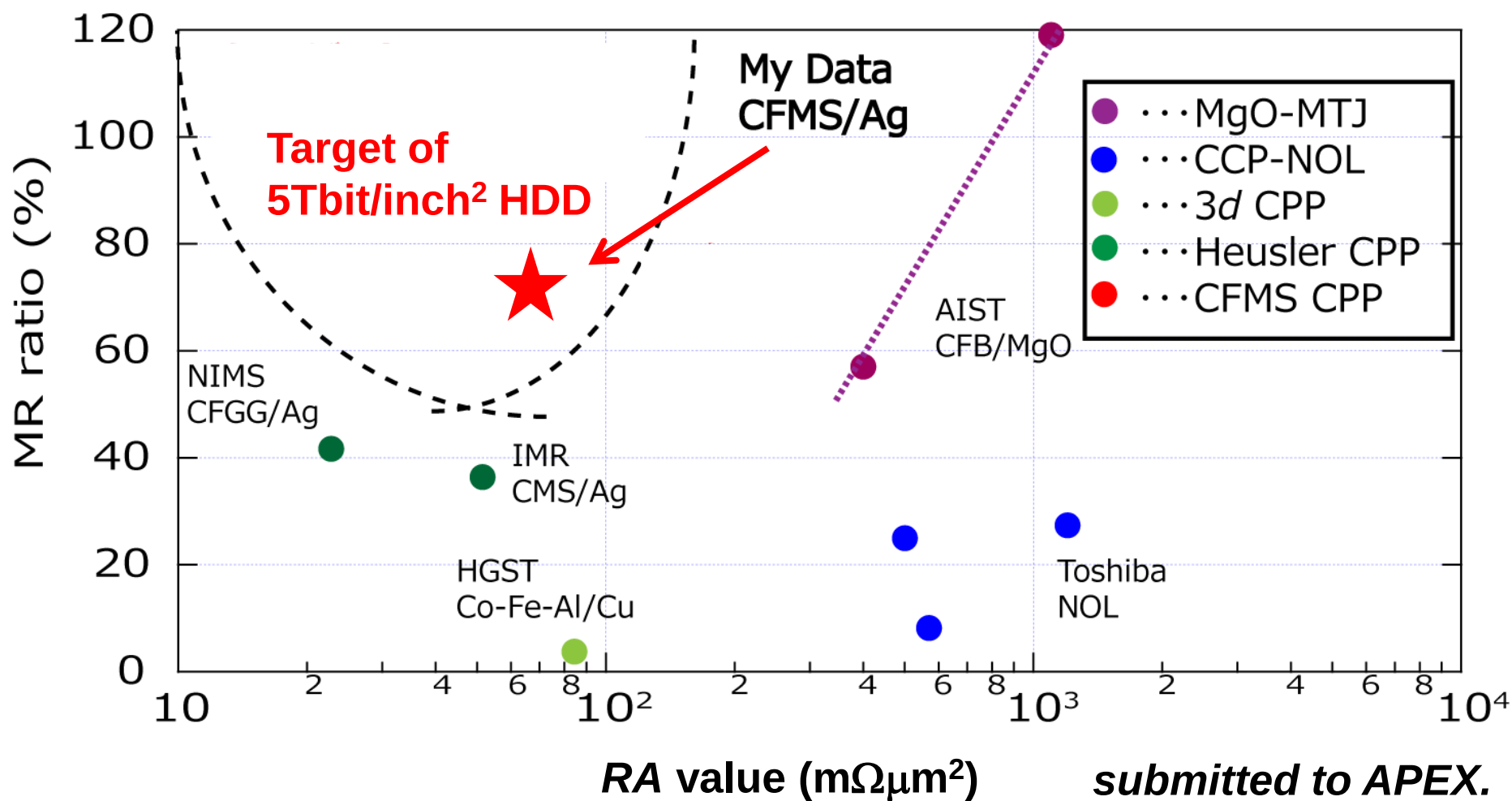
MR ratio = 74.8 %

RA = 171.3 mΩ·μm²

ΔRA = 128.1 mΩ·μm²

上部の**CFMS**が3nm と 10 nmの時、
最大で50 %, **74 %**と、非常に大きな磁気抵抗効果を観測した。
(3層構造のCPP-GMRでは現在、**世界最大！！**)

本研究の成果



Co₂Fe_{0.4}Mn_{0.6}Si電極CPP-GMR素子で
世界で初めて5テラビットのターゲットエリアに到達した

まとめ

- ・ $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.6}\text{Si}$ ホイスラー合金を電極に用いた CPP-GMR 素子において、室温で 74% の磁気抵抗比を達成した。(現在の世界最高値)

- ・ 開発した CPP-GMR 素子は、1 平方インチ当たり、5 テラビット容量のハードディスクヘッドの性能ターゲットに到達している。



今後、ホイスラー合金電極 CPP-GMR 素子が次世代磁気ヘッドの主流として研究開発が進んでいくと考えられる