

スピントロニクス

GMR(巨大磁気抵抗効果)
と
TMR(トンネル磁気抵抗効果)

巨大磁気抵抗効果(GMR)の発見



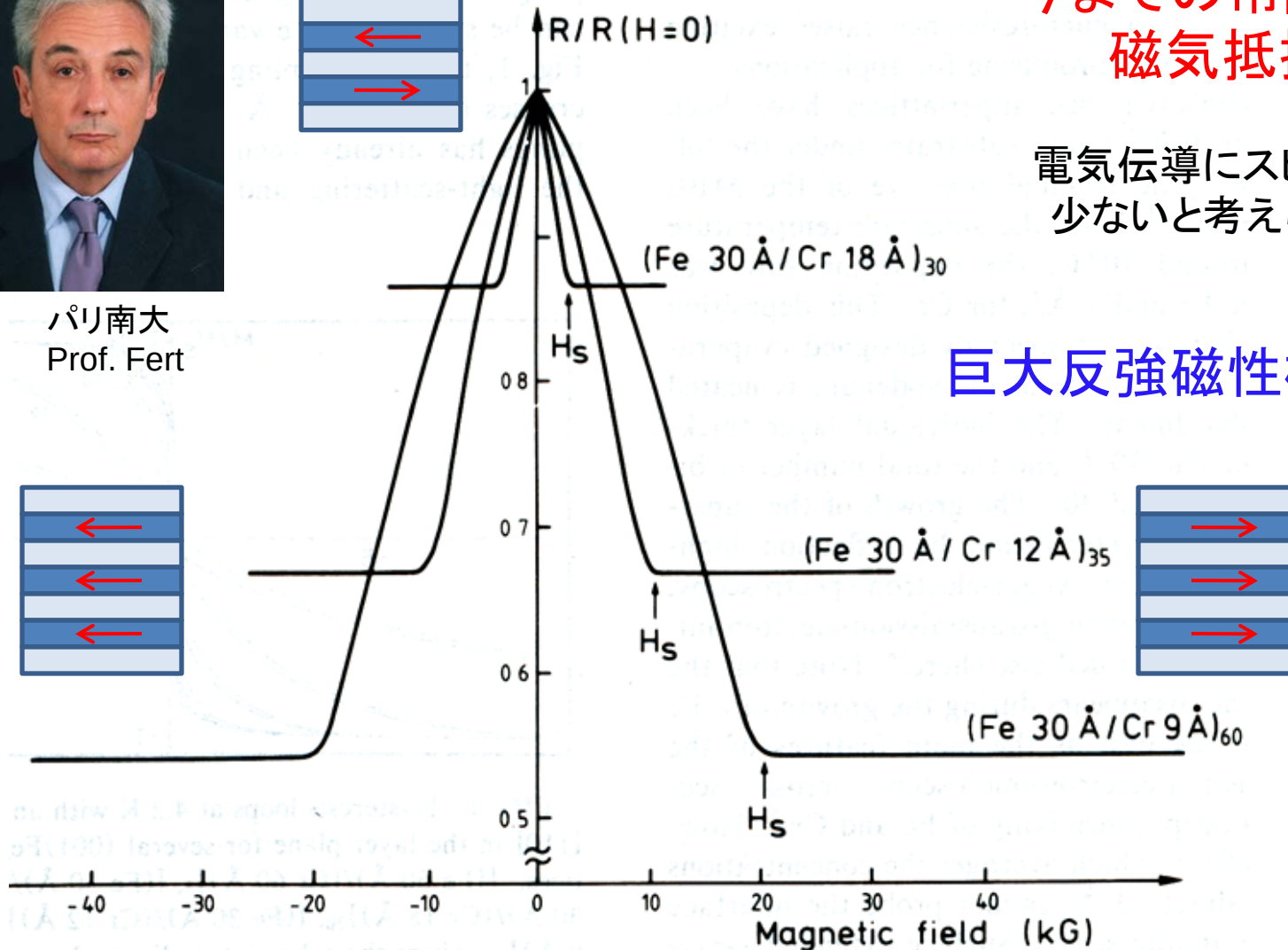
パリ南大
Prof. Fert



今までの常識を超える
磁気抵抗変化

電気伝導にスピンの影響は
少ないと考えられていた。

巨大反強磁性構造が起源

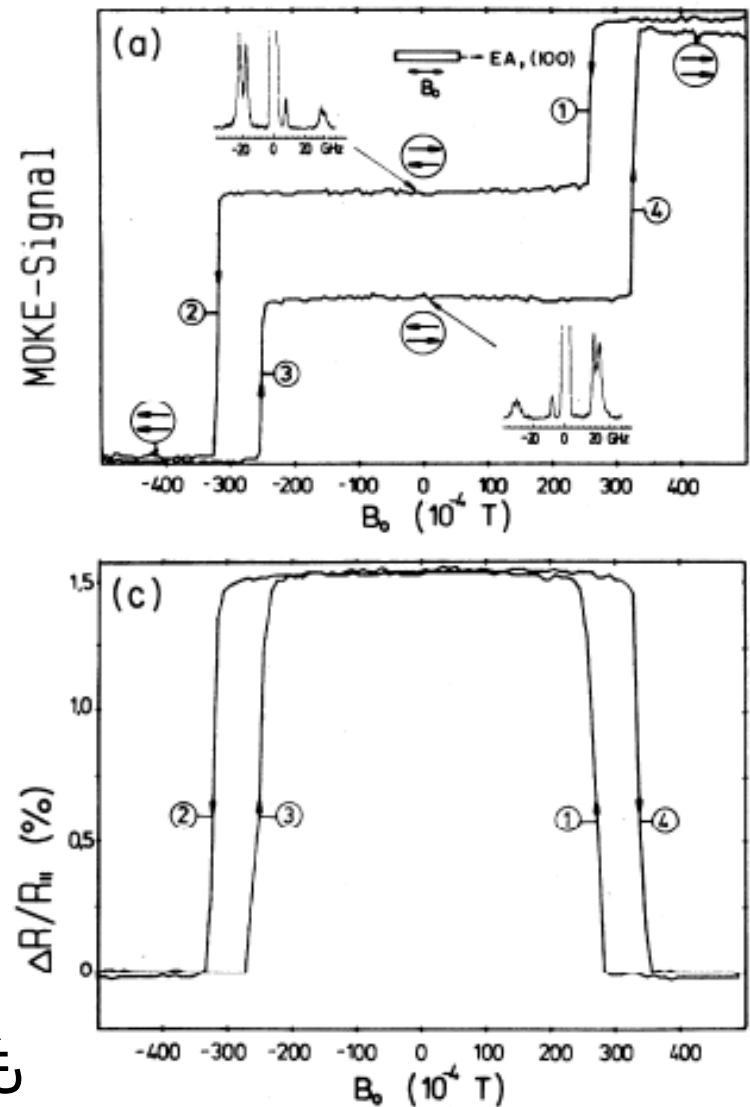
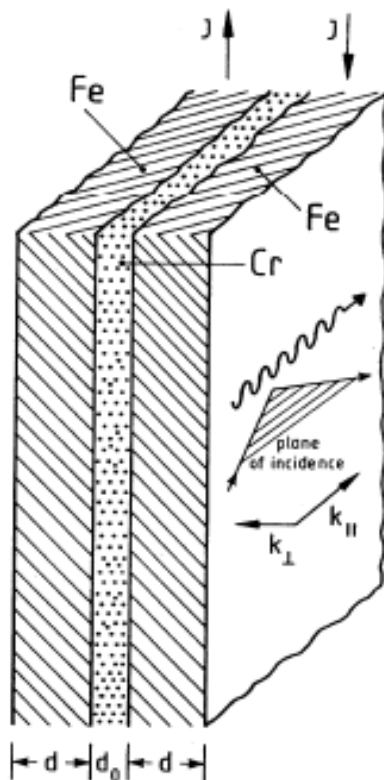


PRL 61, 2472 (1988).

巨大磁気抵抗効果(GMR)の発見



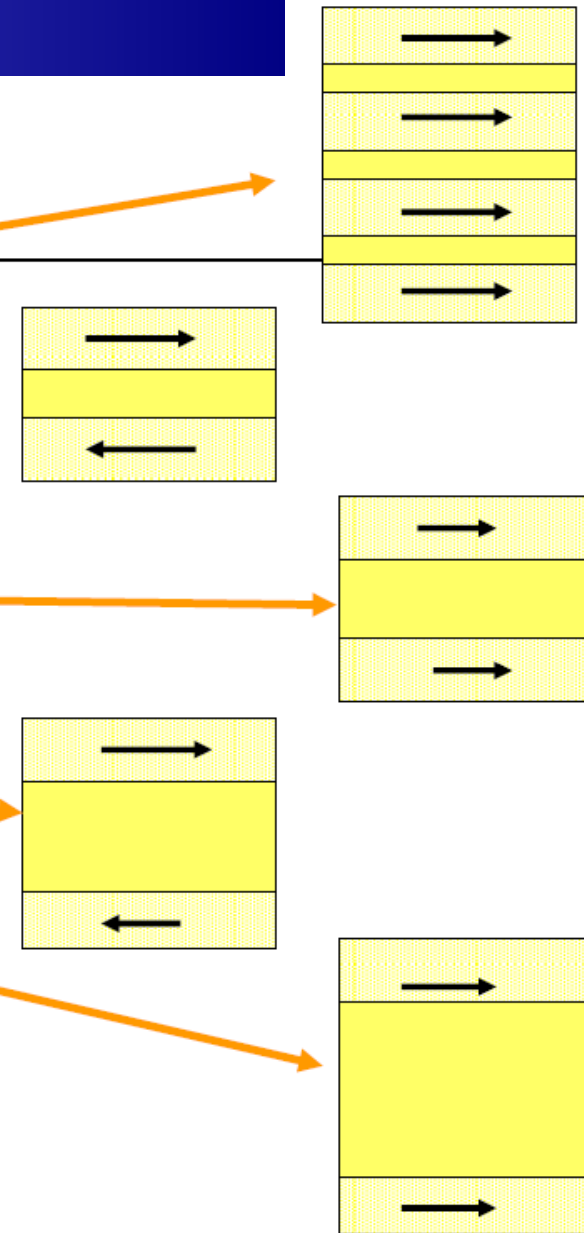
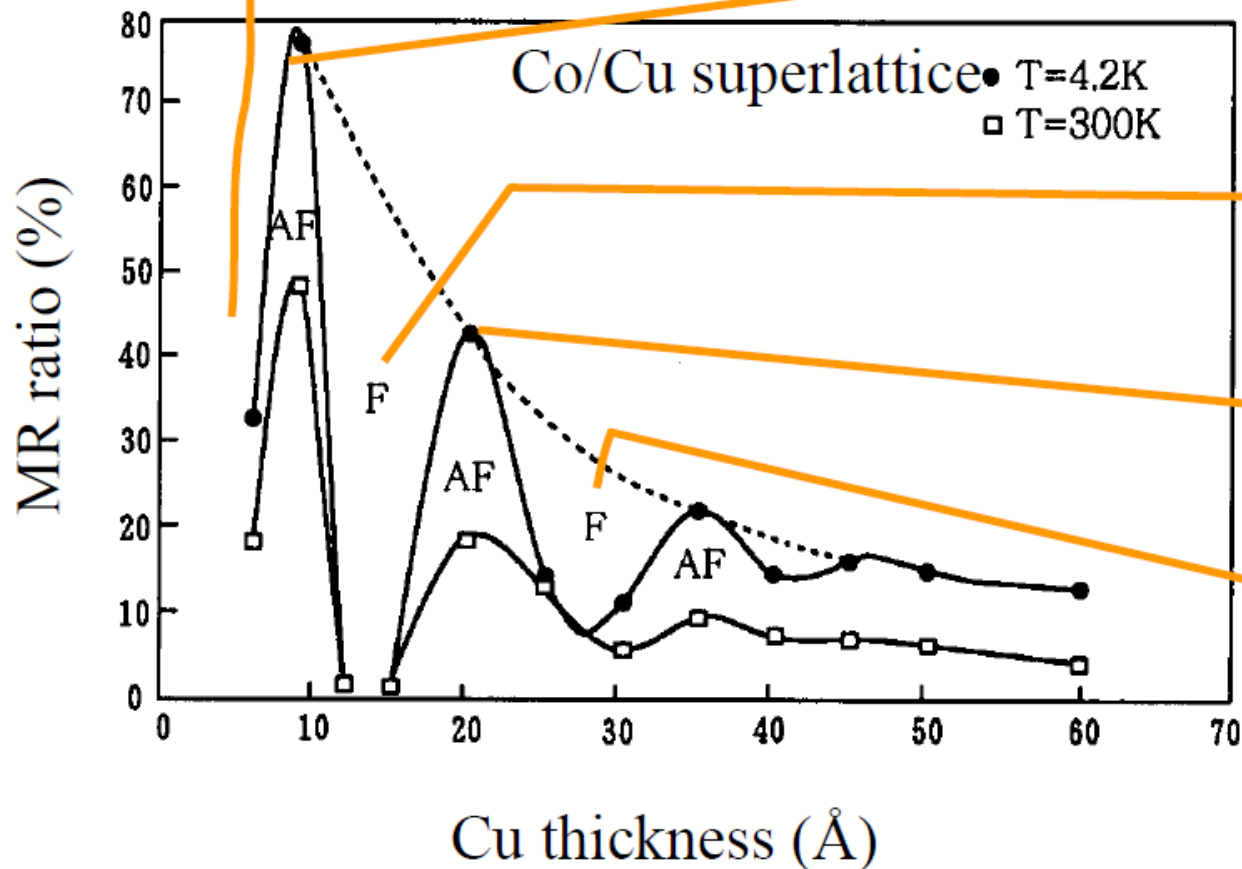
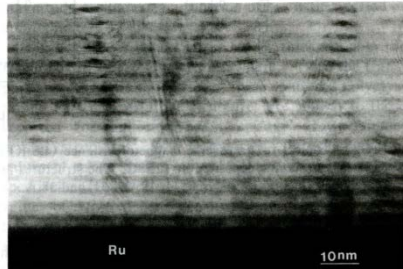
ユーリッヒ研究所
Dr. Grünberg



同時期、グリュンベルグのグループも
Fe/Cr/Feの3層膜でGMR効果を発見

PRB 39, 4828 (1989).

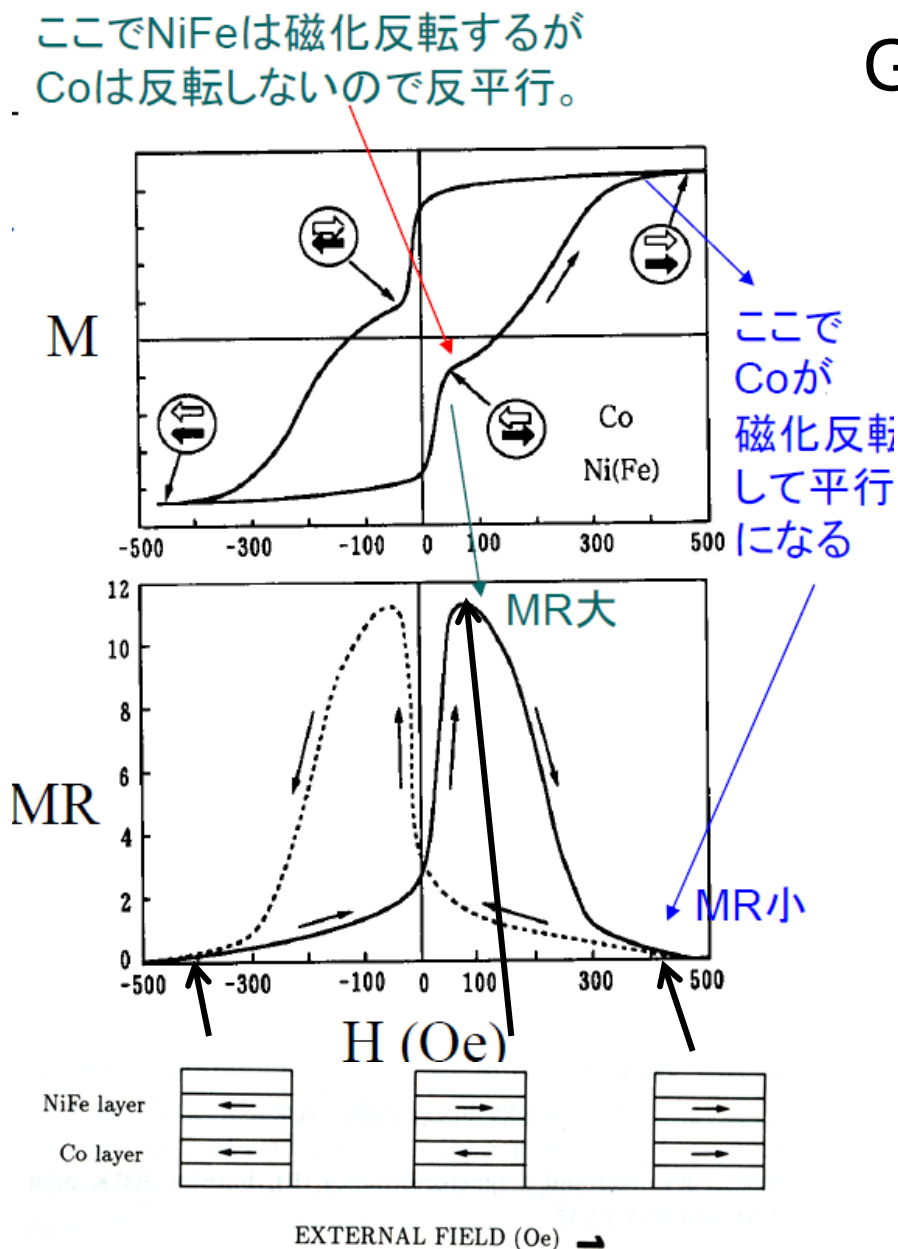
GMR振動と層間結合



非結合型(保持力差型)GMR



京都大
新庄先生



GMRは3層構造が要

NiFe (軟磁性)

Cu (非磁性)

Co (硬磁性)

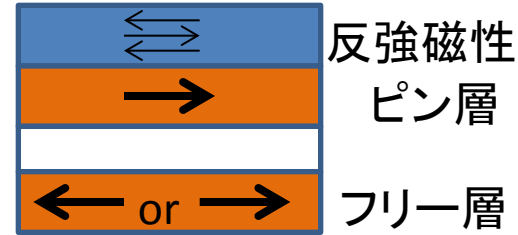
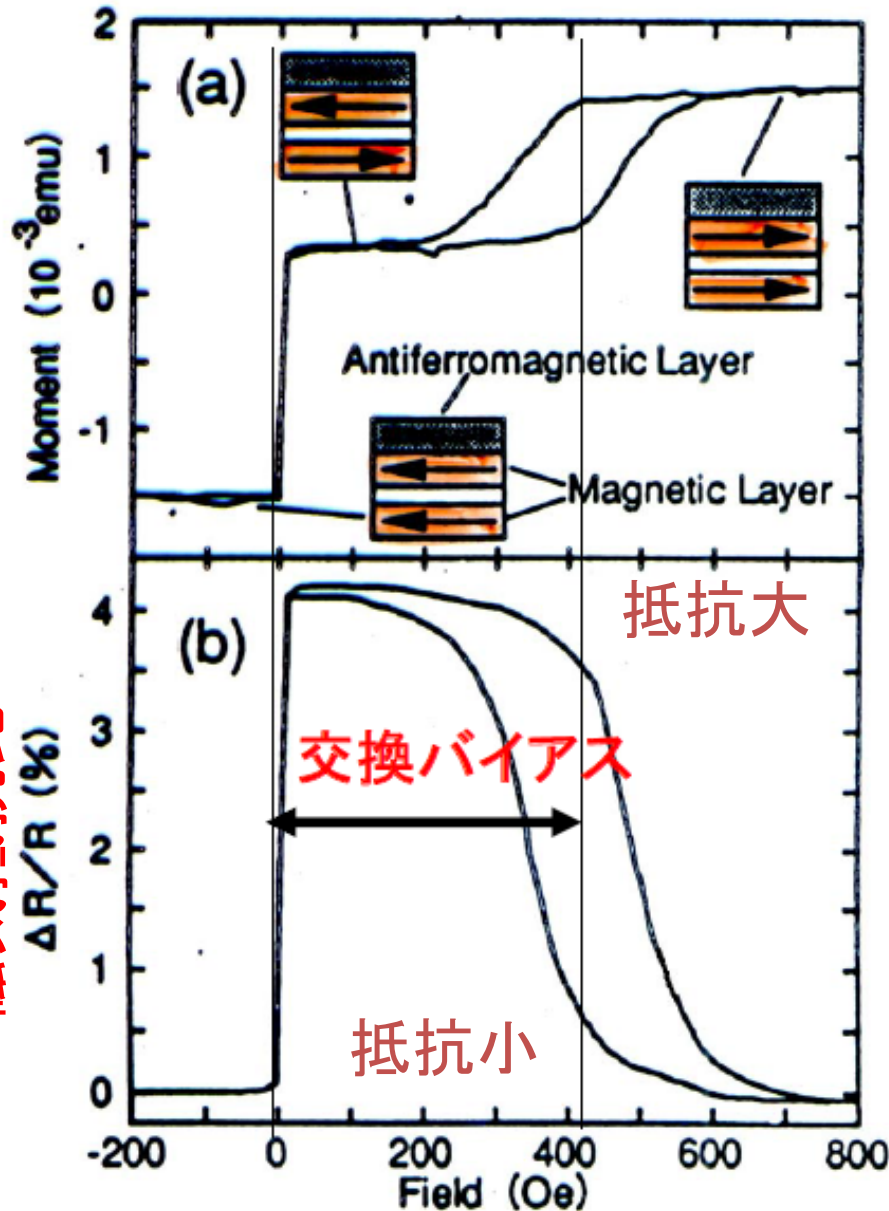
上層と下層の磁化の
向きを独立に制御



平行・反平行状態の
制御が容易

JSPS 59, 3061 (1990).

スピンバルブ型GMR



IBM
Dr. S. Parkin

片方の磁化方向を
反強磁性体でピン止め



方向を変化させるのは
(基本的に)フリー層のみ

さらに制御が容易に！

APL 58 2710 (1991).

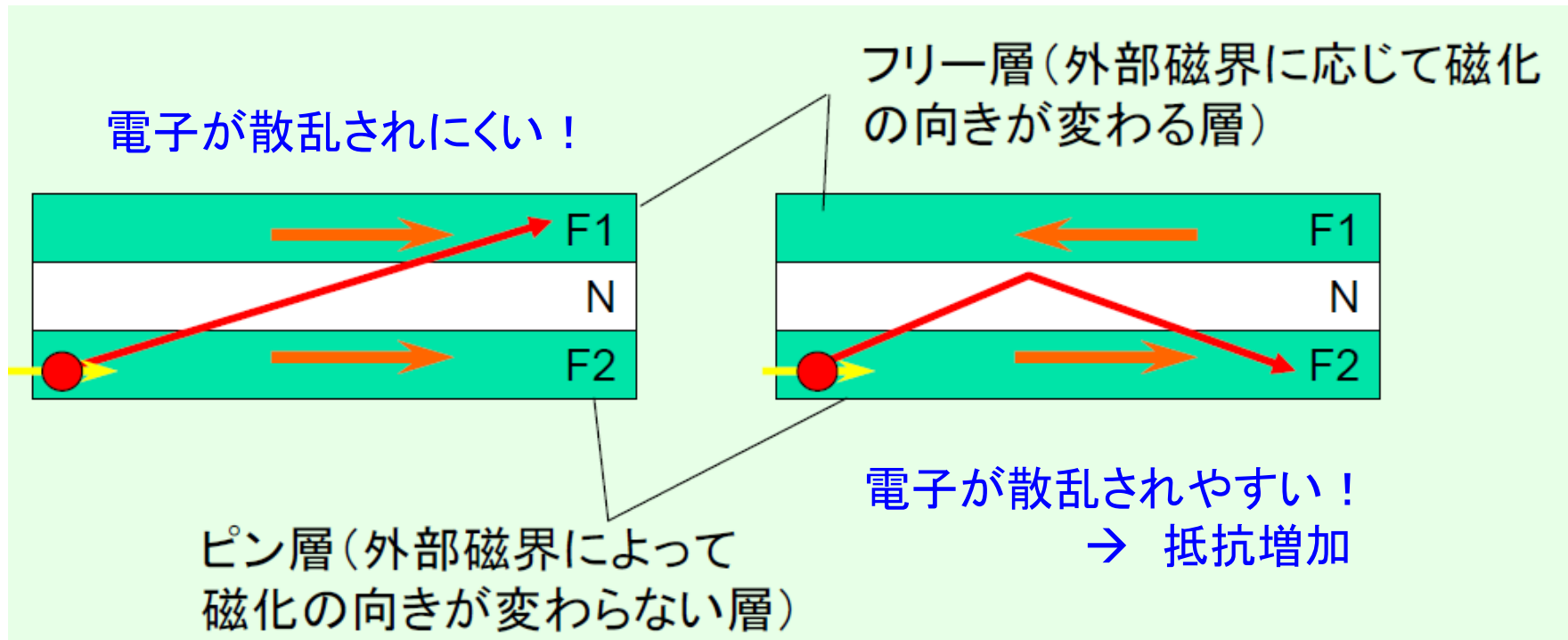
巨大磁気抵抗効果 (GMR) のまとめ

重要部分は、磁性体(F1)／非磁性体(N)／磁性体(F2)の3層構造
(各層の厚みは、ナノメートルスケール)

F1とF2の磁石の向きが**平行** → **抵抗小**

F1とF2の磁石の向きが**反平行** → **抵抗大**

スピン依存散乱



トンネル磁気抵抗効果(TMR)の発見

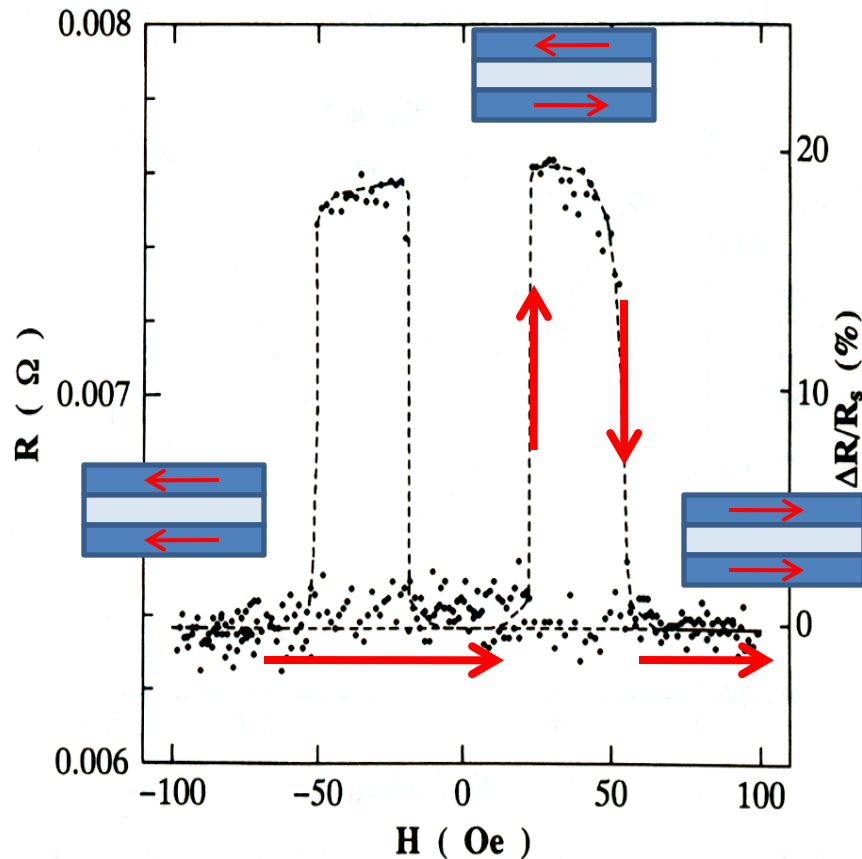


Fig. 1. Resistance as a function of the magnetic field for $1000 \text{ \AA}$ $\text{Fe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}$ junction.

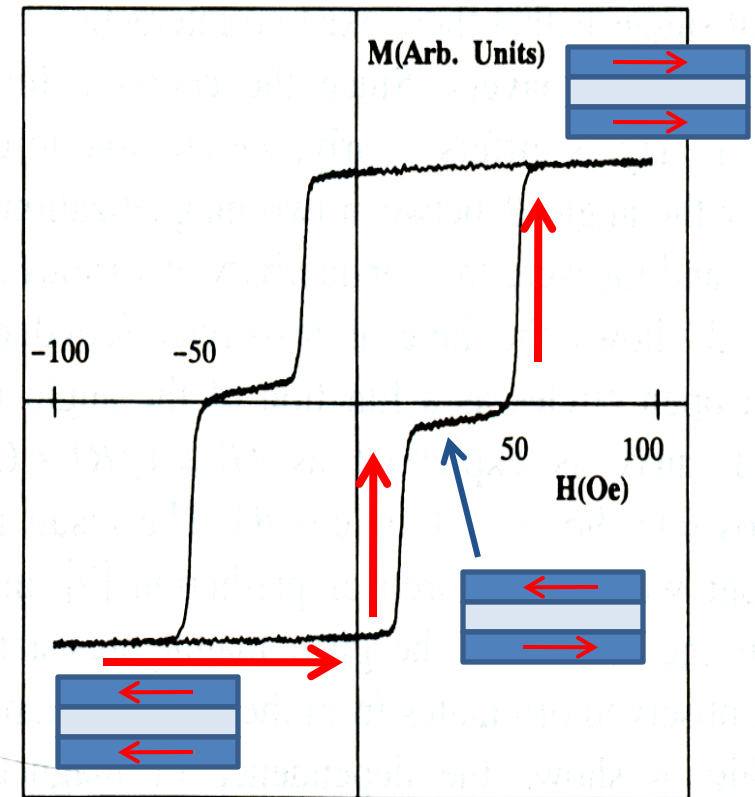


Fig. 2. Hysteresis curve corresponding to the magnetoresistance curve in Fig. 1.

Fe/Al₂O₃/Fe膜において、室温でGMRより大きなTMR効果が発見され、TMRの研究に火がついた。

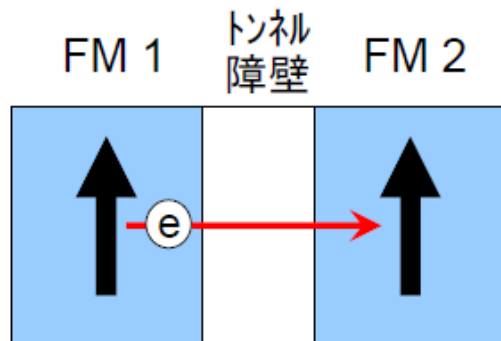


東北大
宮崎先生

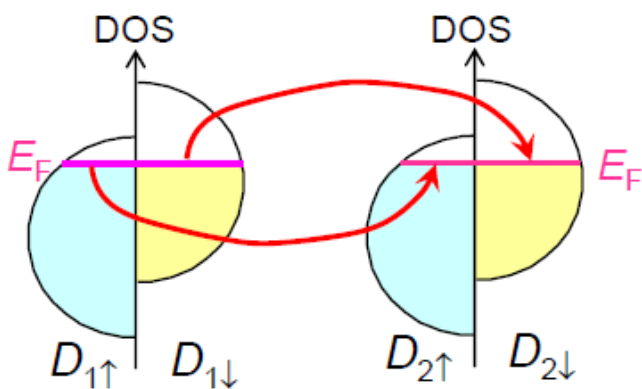
TMR(トンネル磁気抵抗効果)

Julliereモデル(1975)

平行



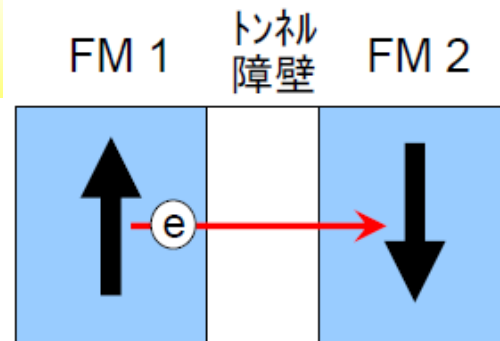
抵抗 小



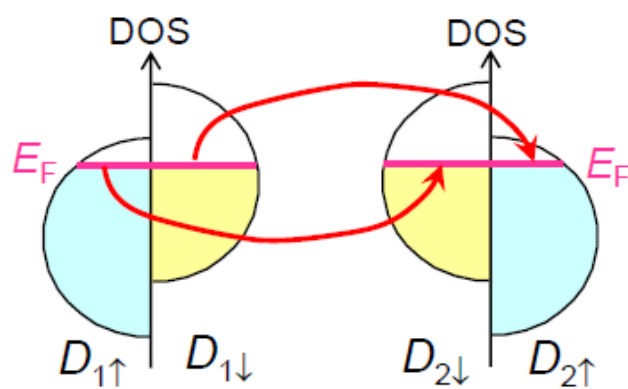
平行磁化

トンネル抵抗: R_P

反平行



抵抗 大



反平行磁化

トンネル抵抗: R_{AP}

スピン依存
トンネリング

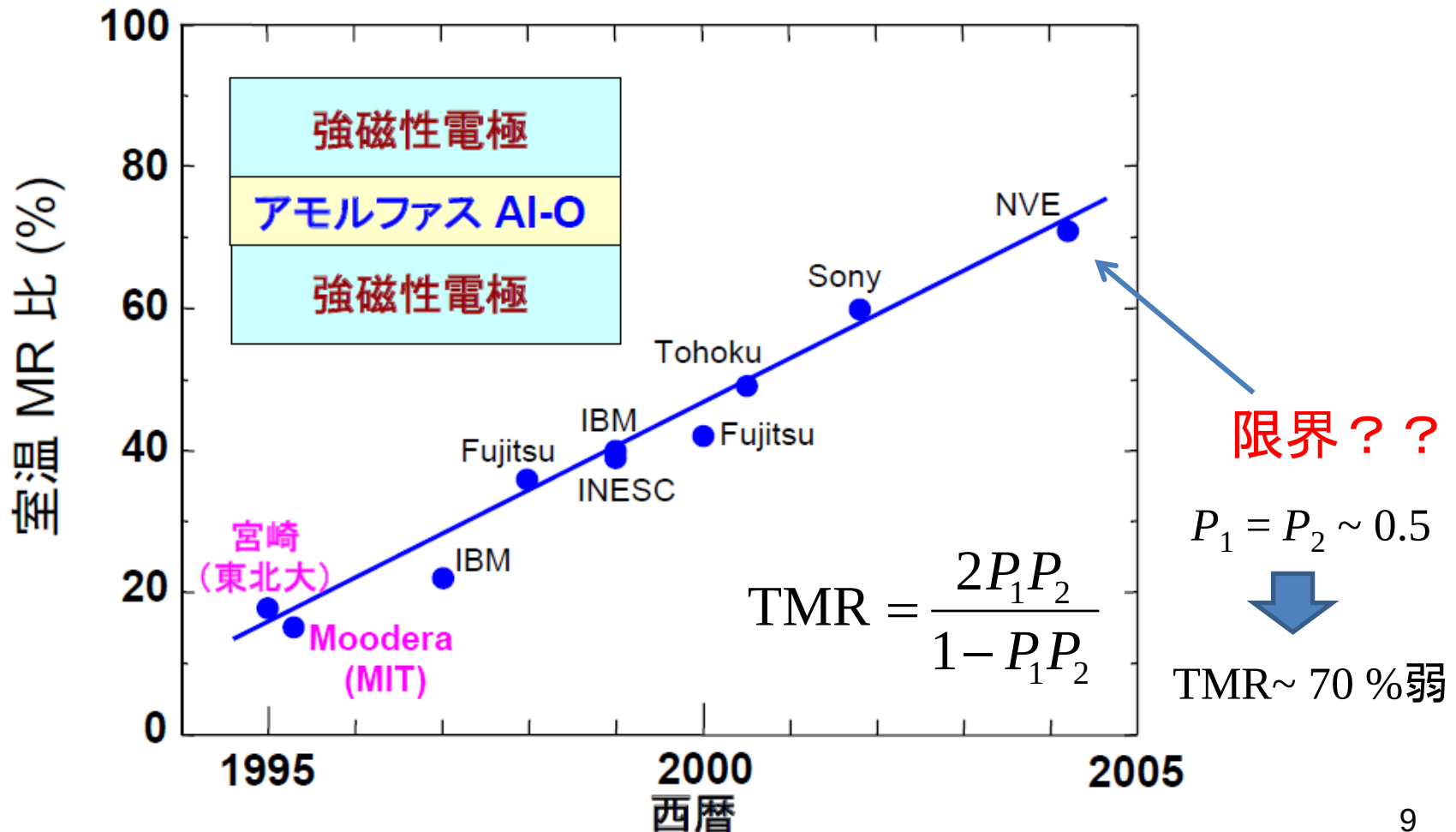
$$MR \equiv (R_{AP} - R_P) / R_P = 2P_1P_2 / (1 - P_1P_2), \quad P_\alpha = \frac{(D_{\alpha\uparrow}(E_F) - D_{\alpha\downarrow}(E_F))}{(D_{\alpha\uparrow}(E_F) + D_{\alpha\downarrow}(E_F))}, \quad \alpha = 1, 2.$$

スピン分極率

TMR研究の進歩

低温でTMR効果が発現することが1975年から知られていたが、室温では実現されなかったため、その後あまり注目されず

→ GMR効果の発見が契機となり、TMR効果が再び脚光を浴びる



ハーフメタルTMRの研究

スピン分極率

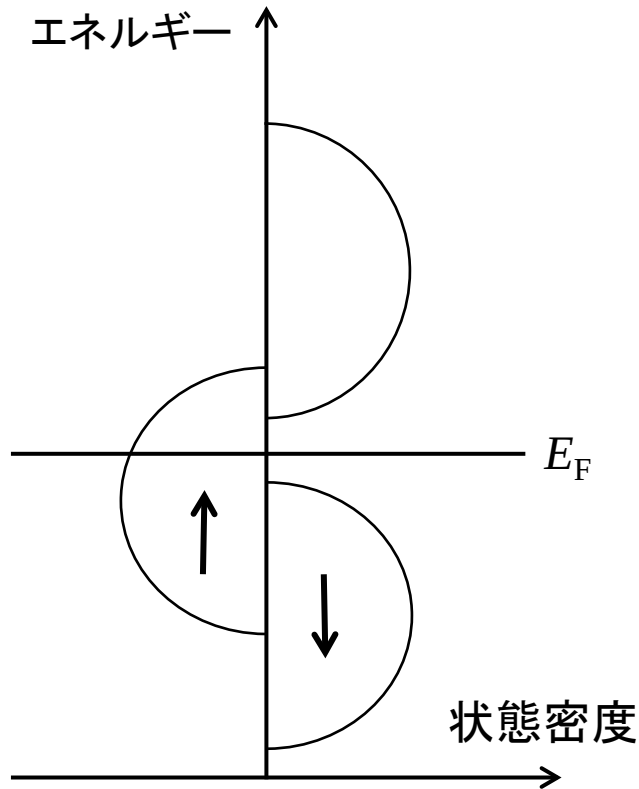
$$P_i = \frac{D_{i\uparrow} - D_{i\downarrow}}{D_{i\uparrow} + D_{i\downarrow}}$$

$D_{i\sigma}$ は強磁性層*i*の E_F における
各スピンバンドの状態密度

ハーフメタルでは1

TMR

$$\text{TMR} = \frac{2P_1P_2}{1 - P_1P_2}$$



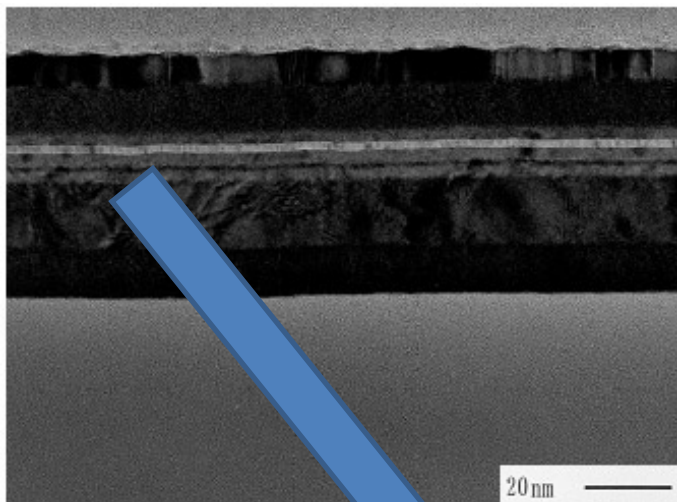
ハーフメタル

E_F では片方のスピン状態しか
存在しない

ホイスラー合金、Mn酸化物、 Fe_3O_4 など

TMR → 理論的には無限大

MgOバリアの成功



上部強磁性電極
MgO
下部強磁性電極
反強磁性
下地
Si基板

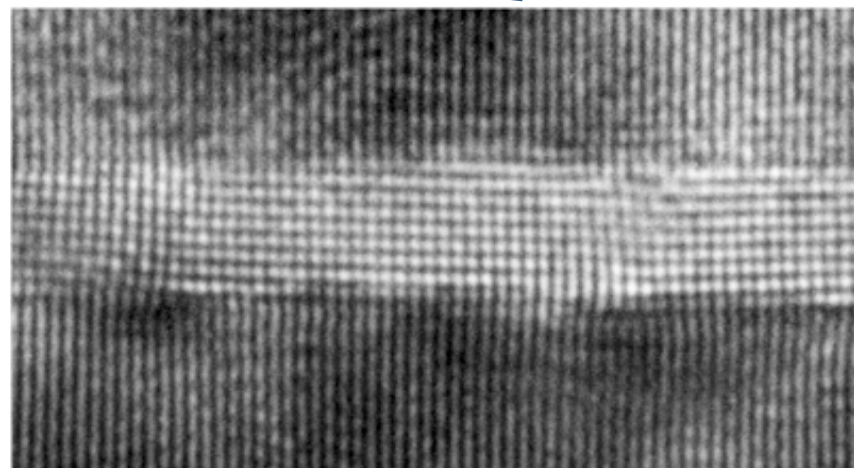
単結晶Fe/MgO/Fe接合

室温で88 %のTMRは当時
(2004)は世界最高記録。

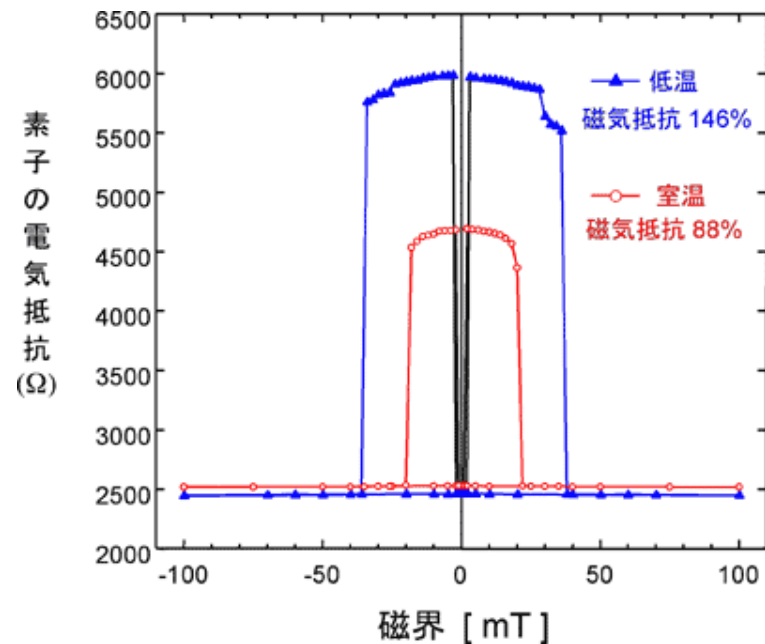
MgOバリアの可能性を示した。



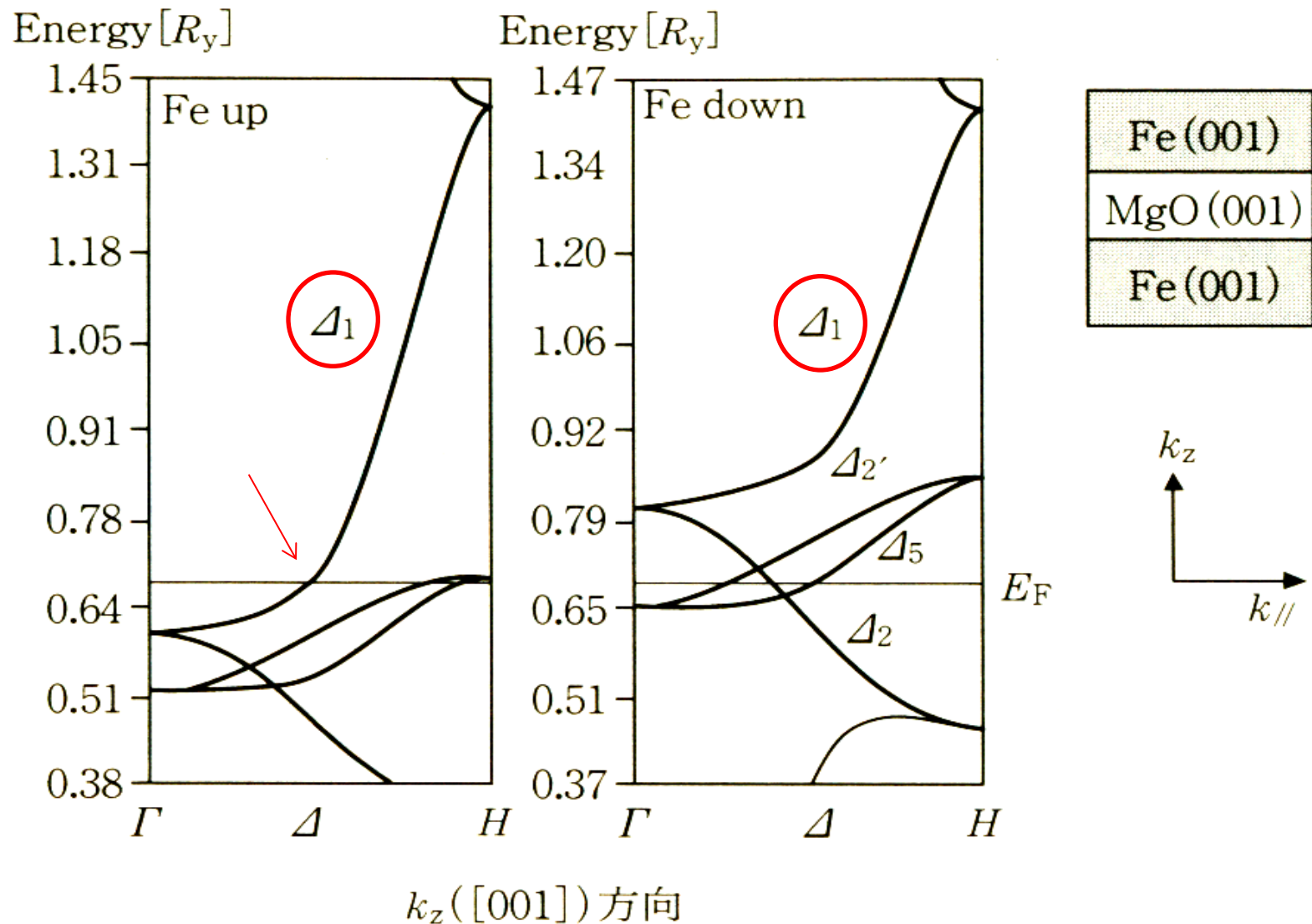
産総研
湯浅氏



鉄 (Fe)
酸化マグネシウム
(MgO)
鉄 (Fe)
2 ナノメートル

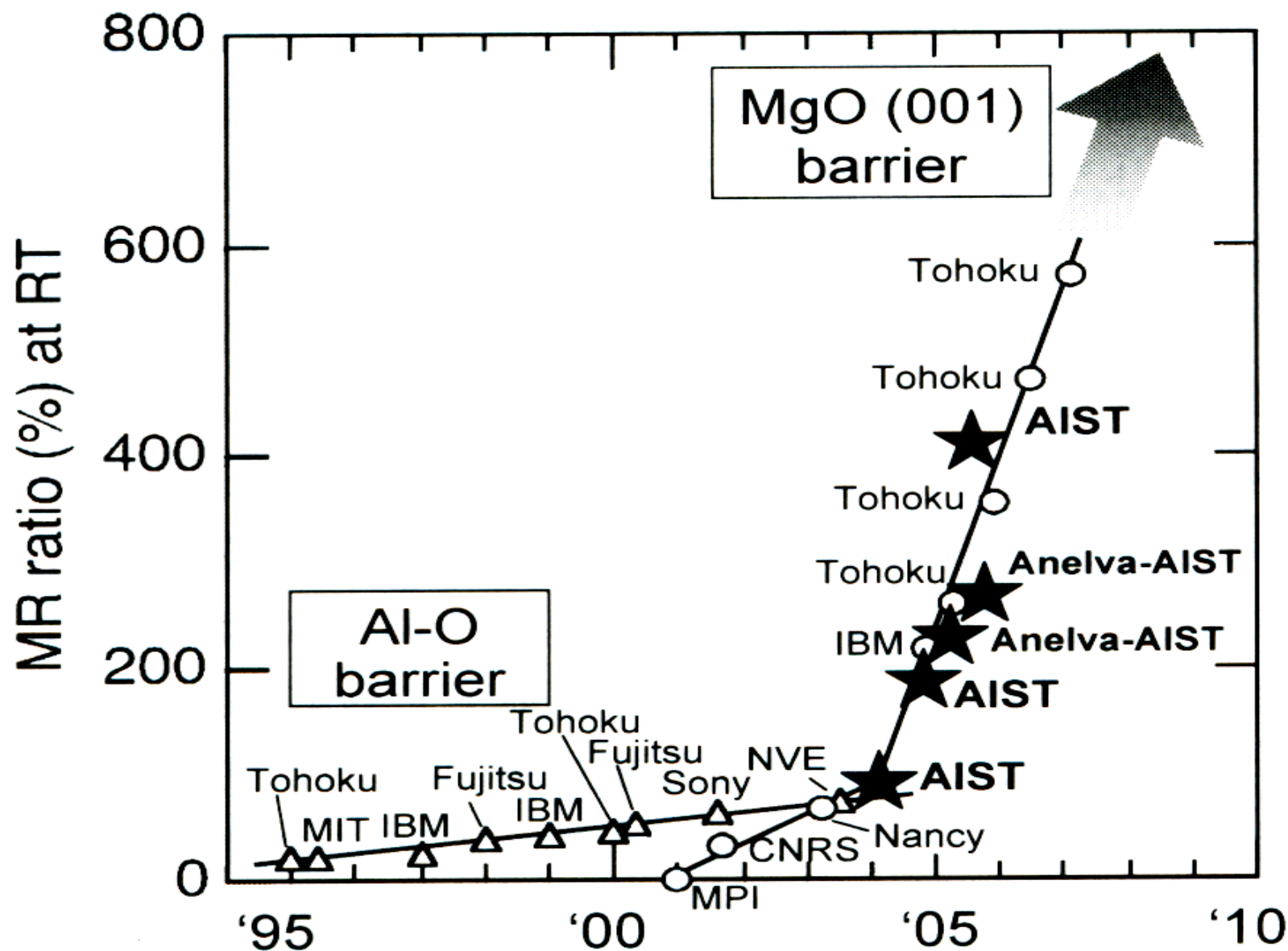


MgOバリアはなぜよいか？



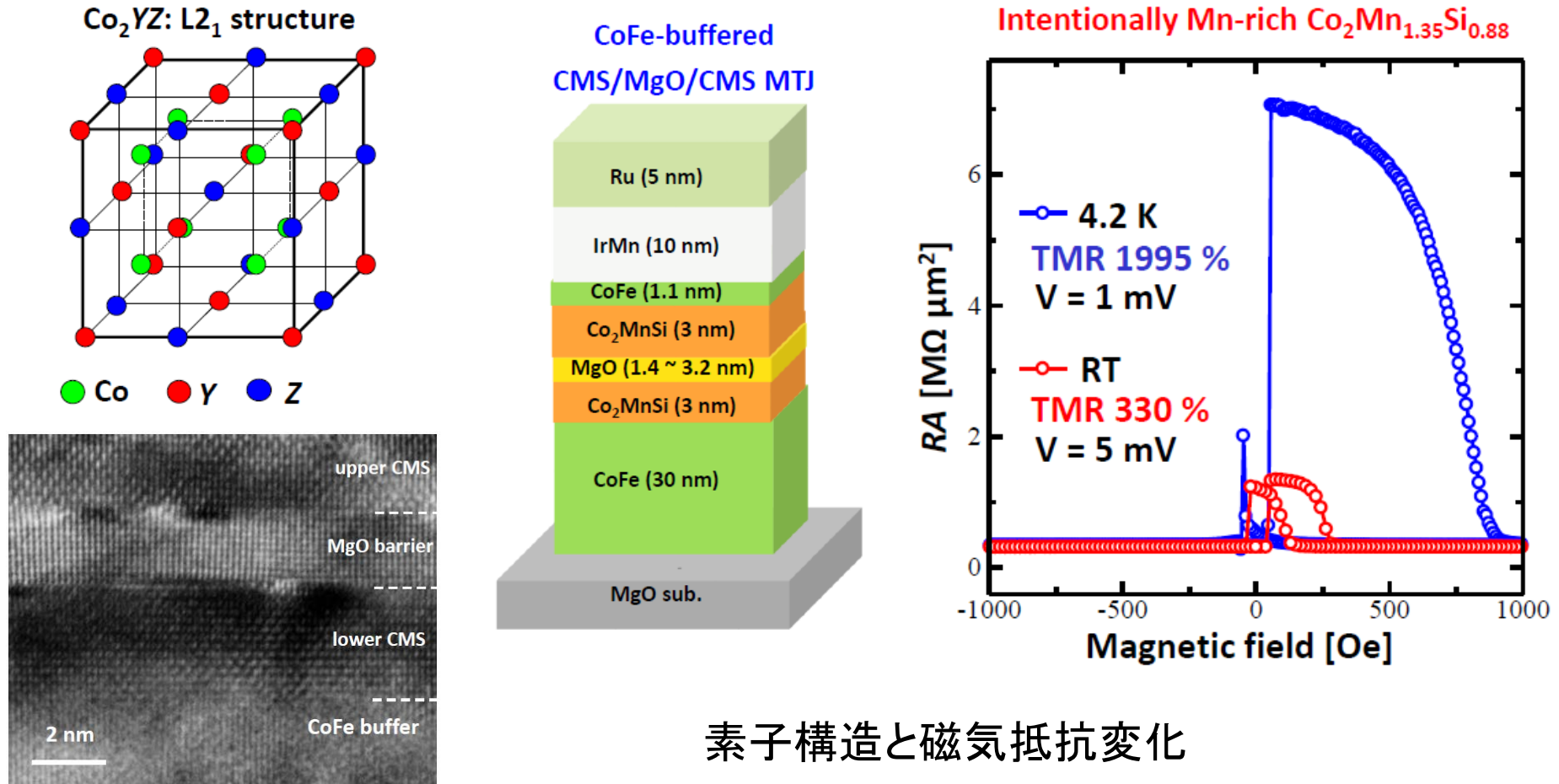
Δ_1 バンドが伝導に寄与。Feがハーフメタルと等価になる。 産総研

TMRの変遷



ホイスラー合金とTMR

Co₂MnSi (CMS)ホイスラー合金強を用いたCPP-GMR素子



素子構造と磁気抵抗変化

低温で約2000%, 室温でも
300%以上を達成!

北大 山本研 HP

ホイスラー合金によるTMRの変遷

