

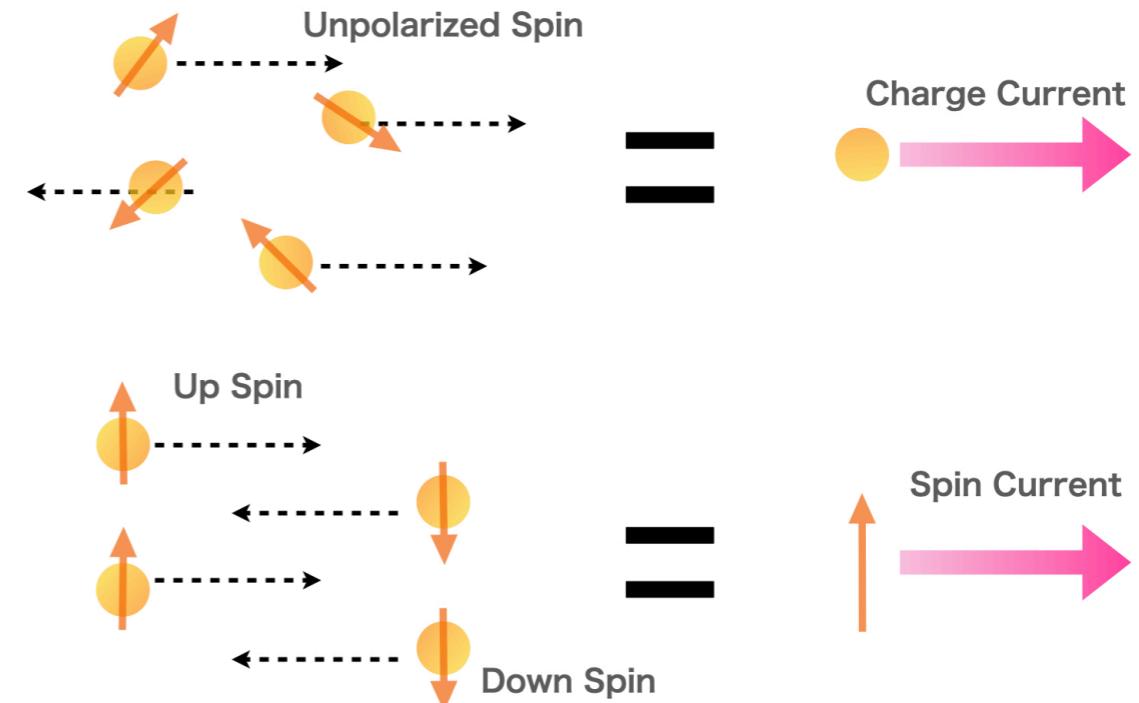
# Rayleigh波による спин流生成に おけるスピン軌道相互作用の寄与

能崎研究室4年 武藤永治

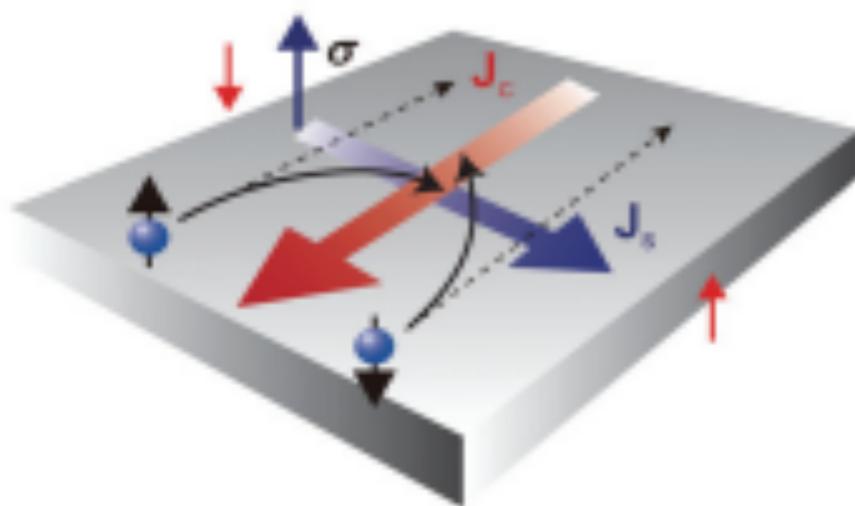
# スピン流とは

スピンの分布に偏りがある電子の流れからスピン流が生成する

よく知られたスピン流生成機構



## Spin Hall effect



$$J_s = \theta_{SH} (\sigma \times J_c)$$

$\theta_{SH}$ : スピンホール角

SOIによるスピン流生成効率を表すパラメタ

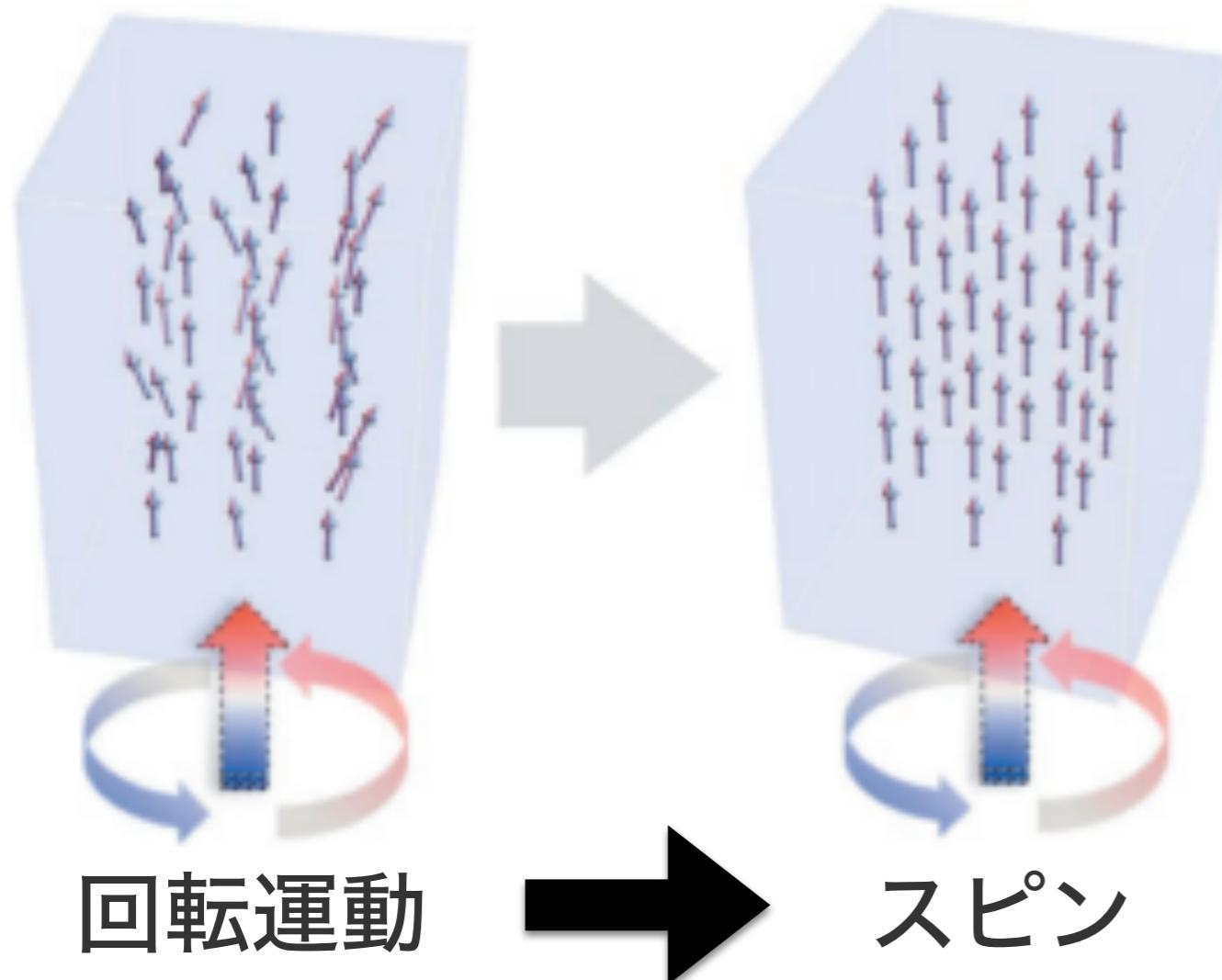
K. Ando et al., J. Appl. Phys. 109, 103913, 2011

スピン流生成にスピン軌道相互作用(SOI)の強い貴金属が必要

# 磁気回転効果

力学的な回転とスピン角運動量が結合

M. Matsuo et al., JPSJ (2017)



スピン回転結合のハミルトニアン

$$H_{SR} = \gamma S \cdot (\Omega/\gamma)$$

$\gamma$ : 磁気回転比 ( $M = \gamma S$ )

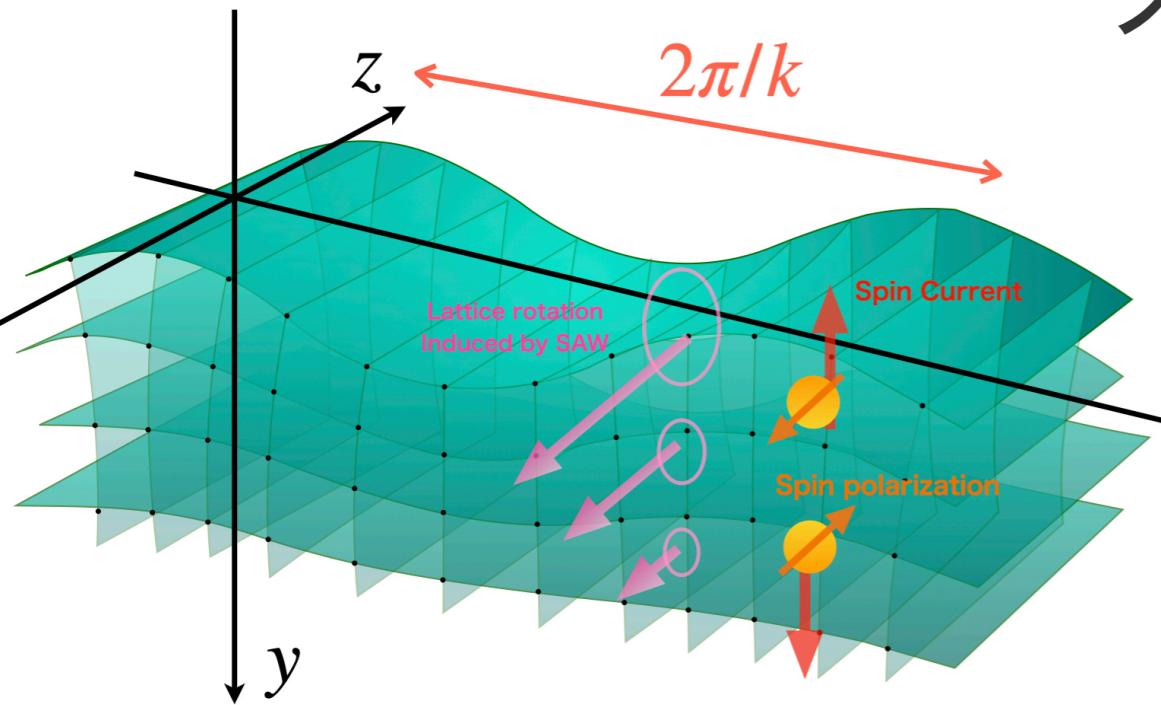
地磁気程度の小さな効果

100Hzの回転で10nT

利用するには工夫が必要

有効磁場  $B_\Omega = \Omega/\gamma$  のゼーマン相互作用

# Rayleigh型表面弹性波(R-SAW)による спин流生成



スピン渦度結合(SVC)ハミルトニアン

$$H_{SVC} = -\mathbf{S} \cdot \boldsymbol{\Omega}$$

渦度

***z* 方向の渦度**

$$\boldsymbol{\Omega} = \frac{1}{2} \nabla \times \dot{\mathbf{u}} = (0, 0, \Omega)$$

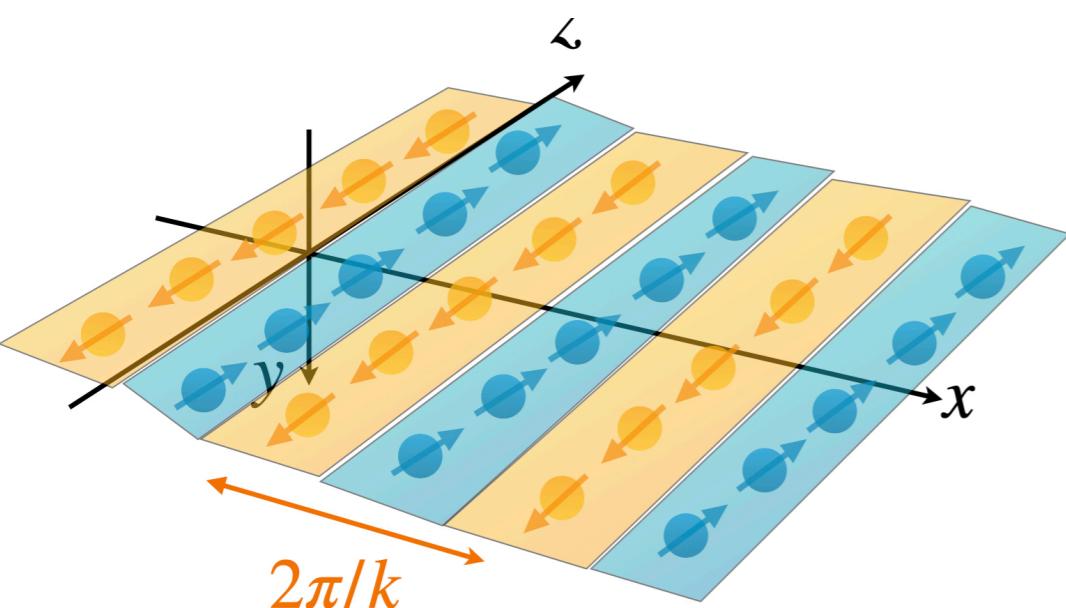
$$\Omega(x, y, t) = \frac{\omega^2 u_0}{2c_t} \exp[-\kappa_t y + i(kx - \omega t)]$$

***y* 方向の渦度勾配**

スピン依存力

$$\mathbf{F} = -\nabla H_{SVC} = \mathbf{S} \cdot \nabla \boldsymbol{\Omega}$$

**渦度勾配方向へスピン依存力が働く**

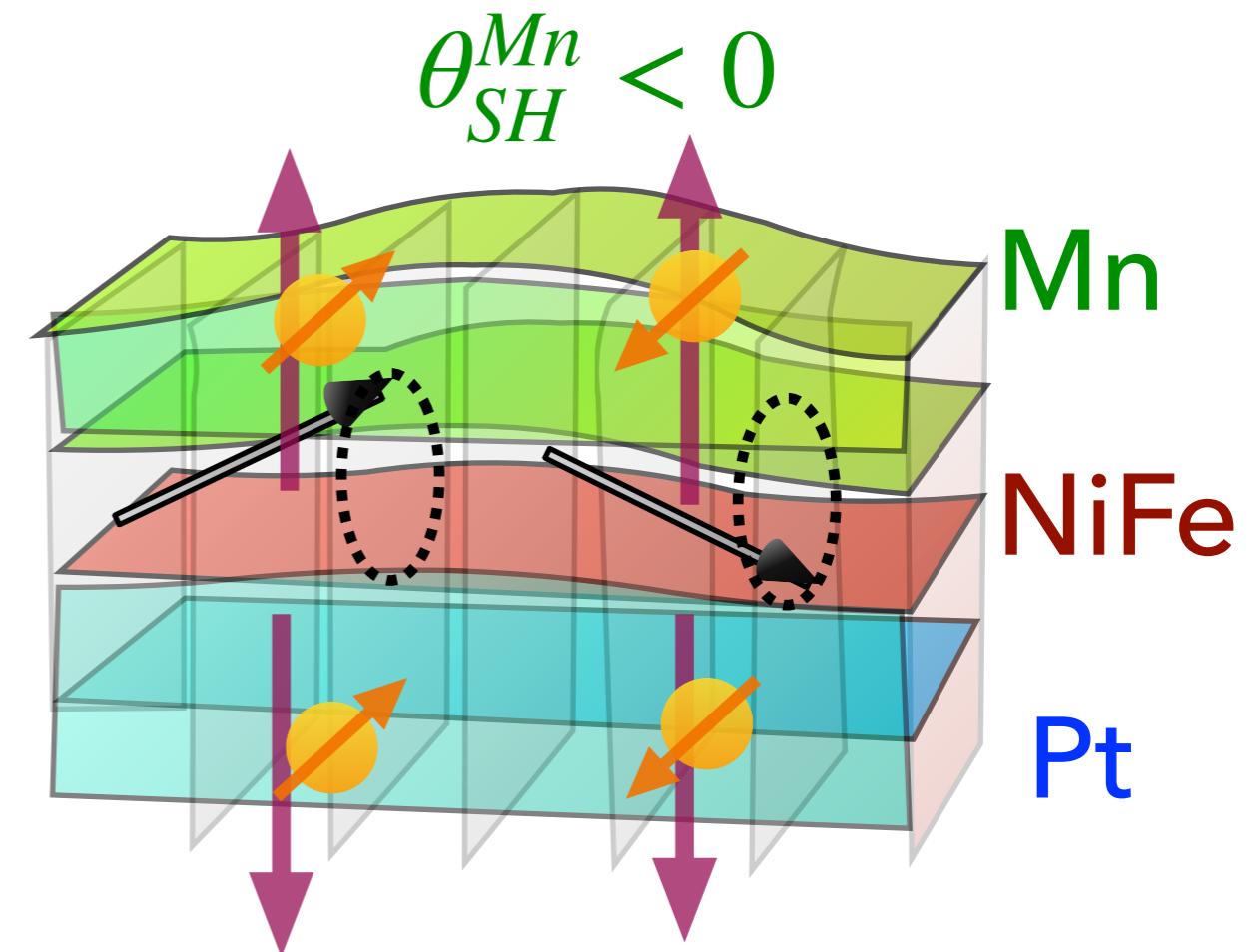
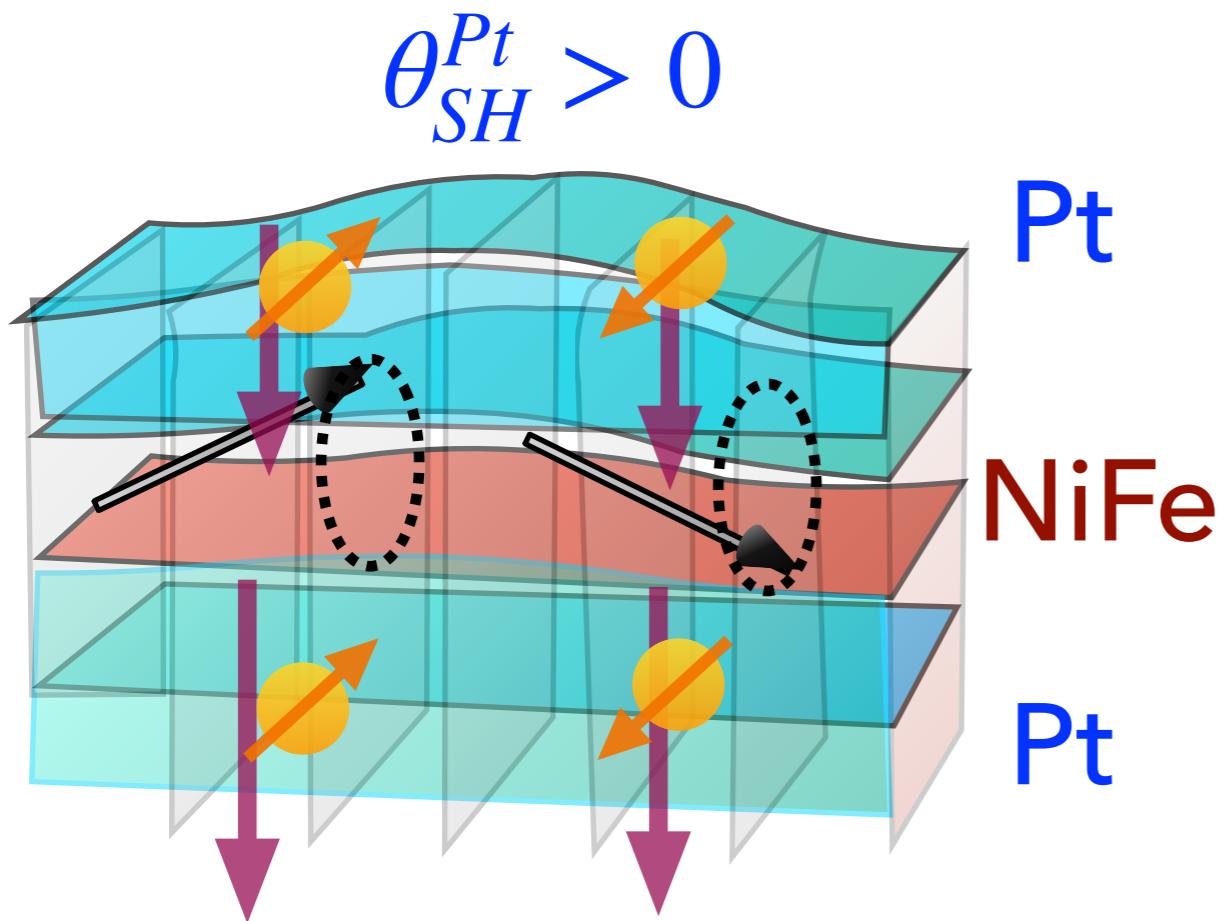


**渦度方向へ偏極したスピンが渦度勾配の方向へ流れる**

# 本研究の目的

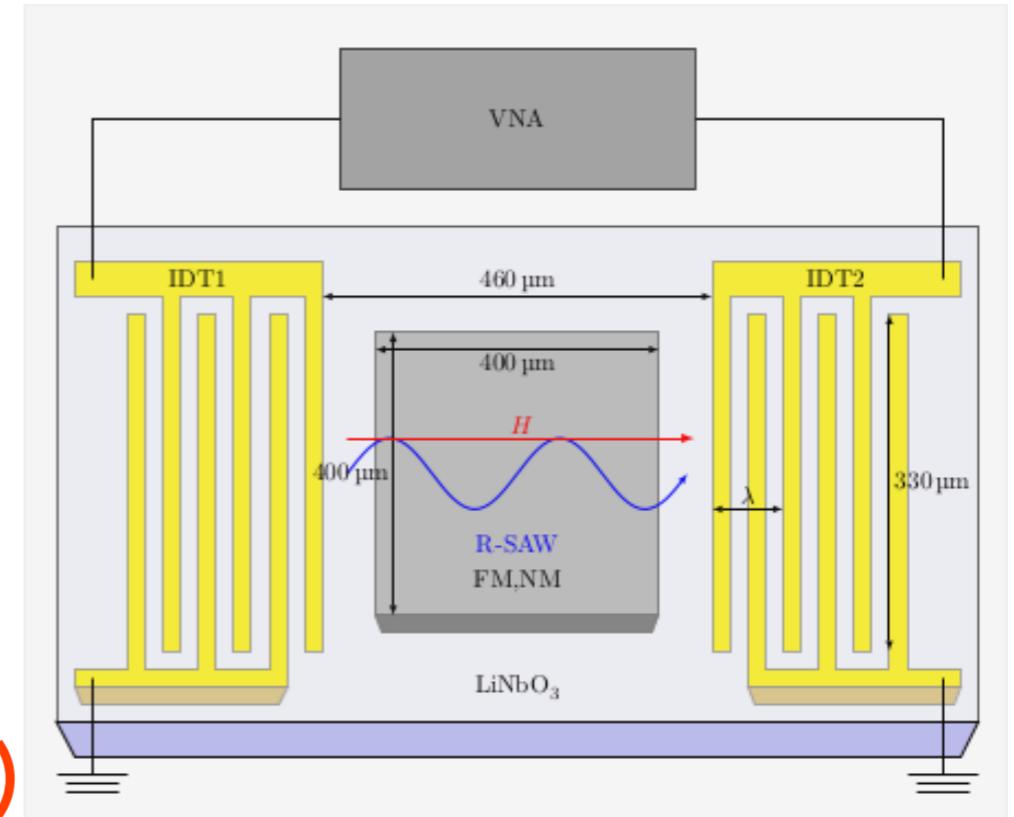
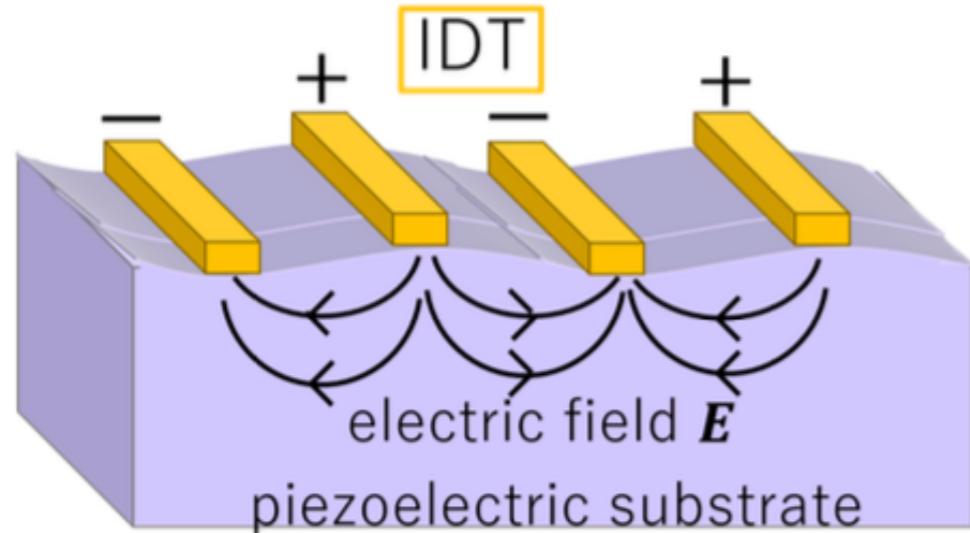
SVCによるスピノ流生成機構において

SOIが寄与しているかを確かめる



スピノホール角の正負が異なる材料を用いてスピノ流量を比較

# 測定系



(逆)圧電効果によりR-SAWを検出(励起)

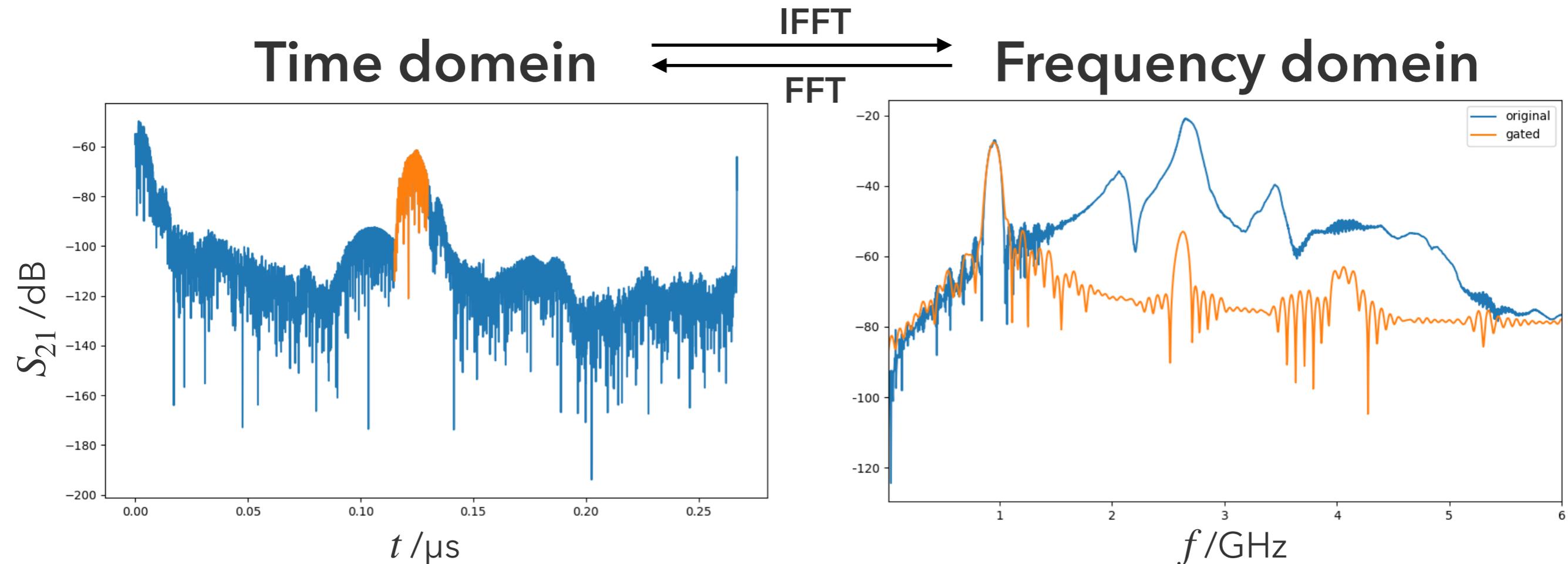
$\text{LiNbO}_3$ : 圧電基板

IDT電極 : Ti (3nm) / Au (30nm)

構造周期 :  $\lambda = 4\mu\text{m}$

VNAを用いた $S_{21}$ パラメタ測定によりR-SAWの振幅変化を評価

# IDT測定結果

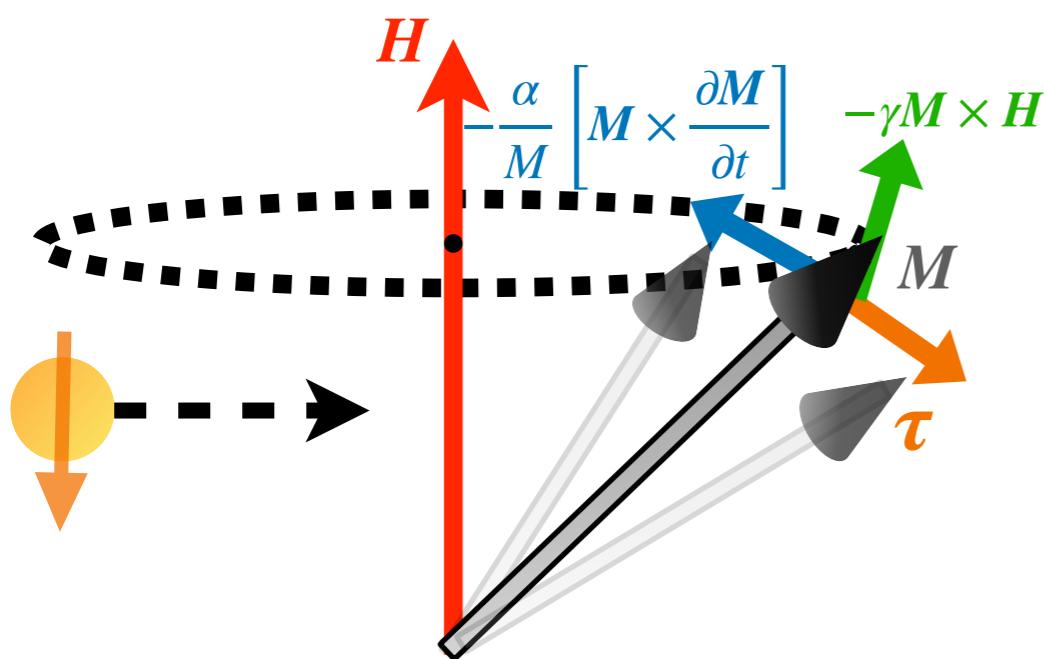


R-SAWの伝搬速度 : 4030 m/s 基本モードが 0.94GHz で励起

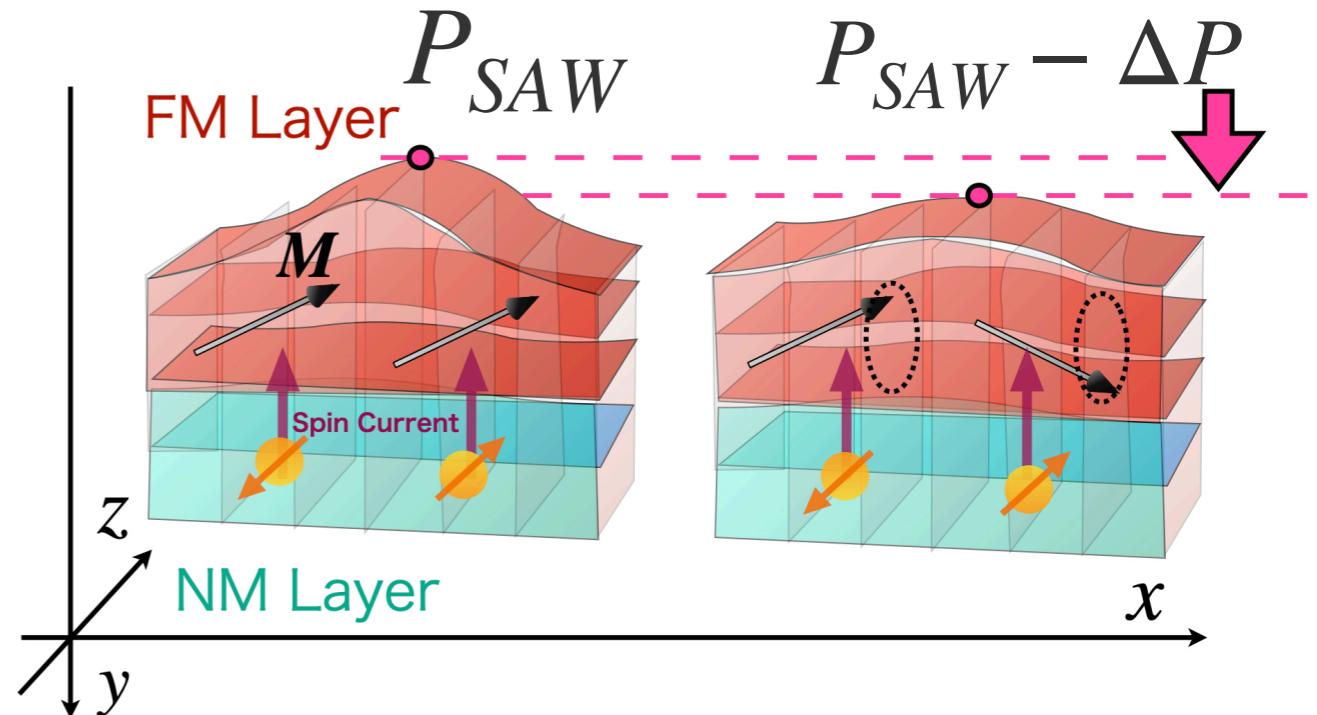
不要応答である電磁波や多重反射波を取り除く

ゲーティング処理して初到達したR-SAWの信号のみ取り出す

# スピン流検出原理



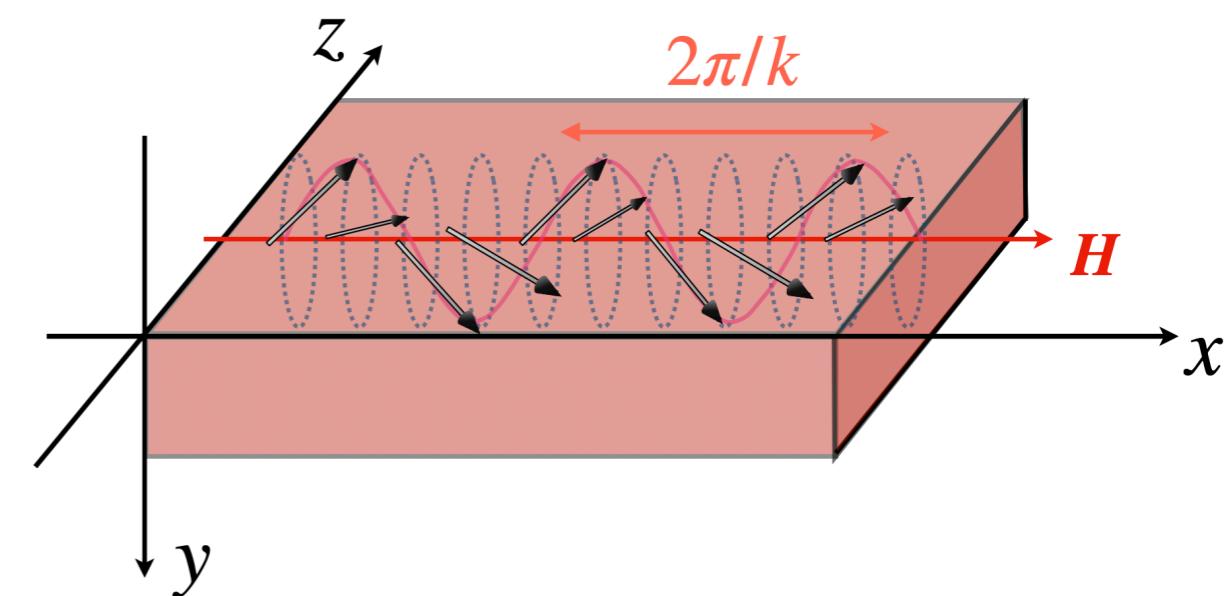
$\tau$ : スピントランスマートトルク (STT)  
( $\theta_{SH}$  の符号で反転)



スピン波共鳴 (SWR)

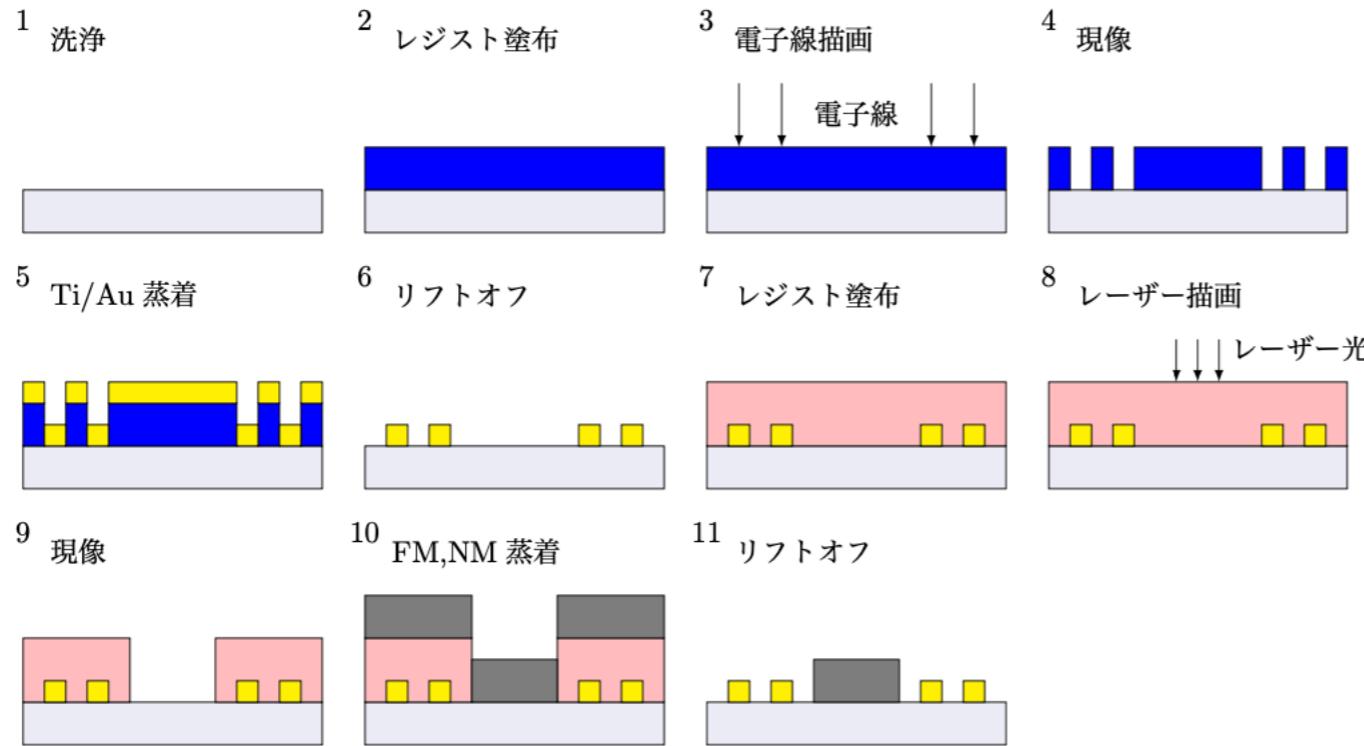
共鳴周波数と磁場の強さの関係

$$\omega_{\text{res}} = \gamma \sqrt{H \left( H + \frac{M_s}{\mu_0} \frac{1 - e^{-kd}}{kd} \right)}$$



STT-SWRによるエネルギー吸収により R-SAWの振幅が減衰

# 測定試料作製



## 蒸着成膜条件

到達真空度  $\sim 1 \times 10^{-6}$  Pa

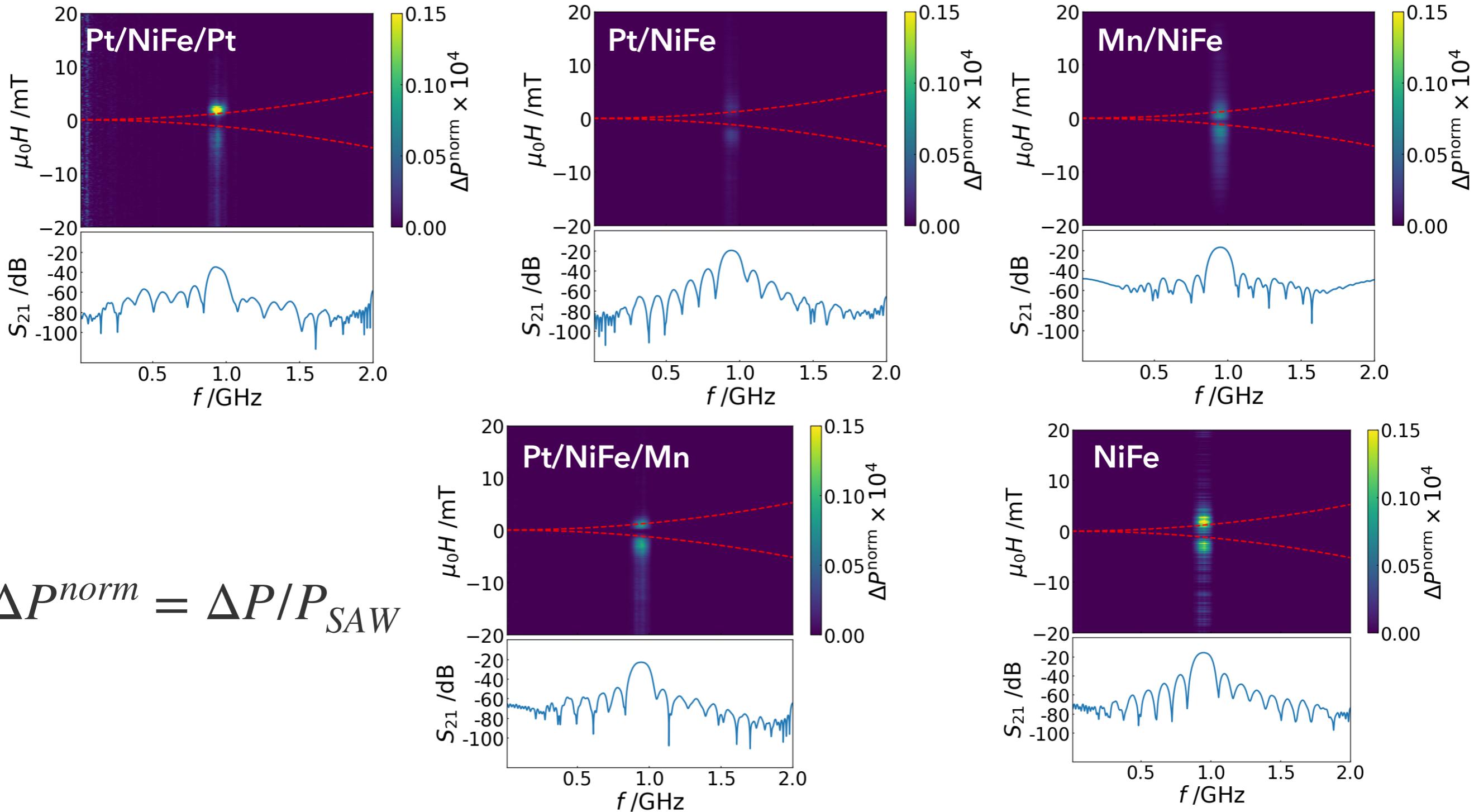
成膜レート 0.02 nm/s

## 作製サンプル (下の数値はnm単位の膜厚)

Pt/NiFe/Pt	Pt/NiFe	Mn/NiFe	Pt/NiFe/Mn	NiFe
40/20/40	6/20	6/20	40/20/40	20

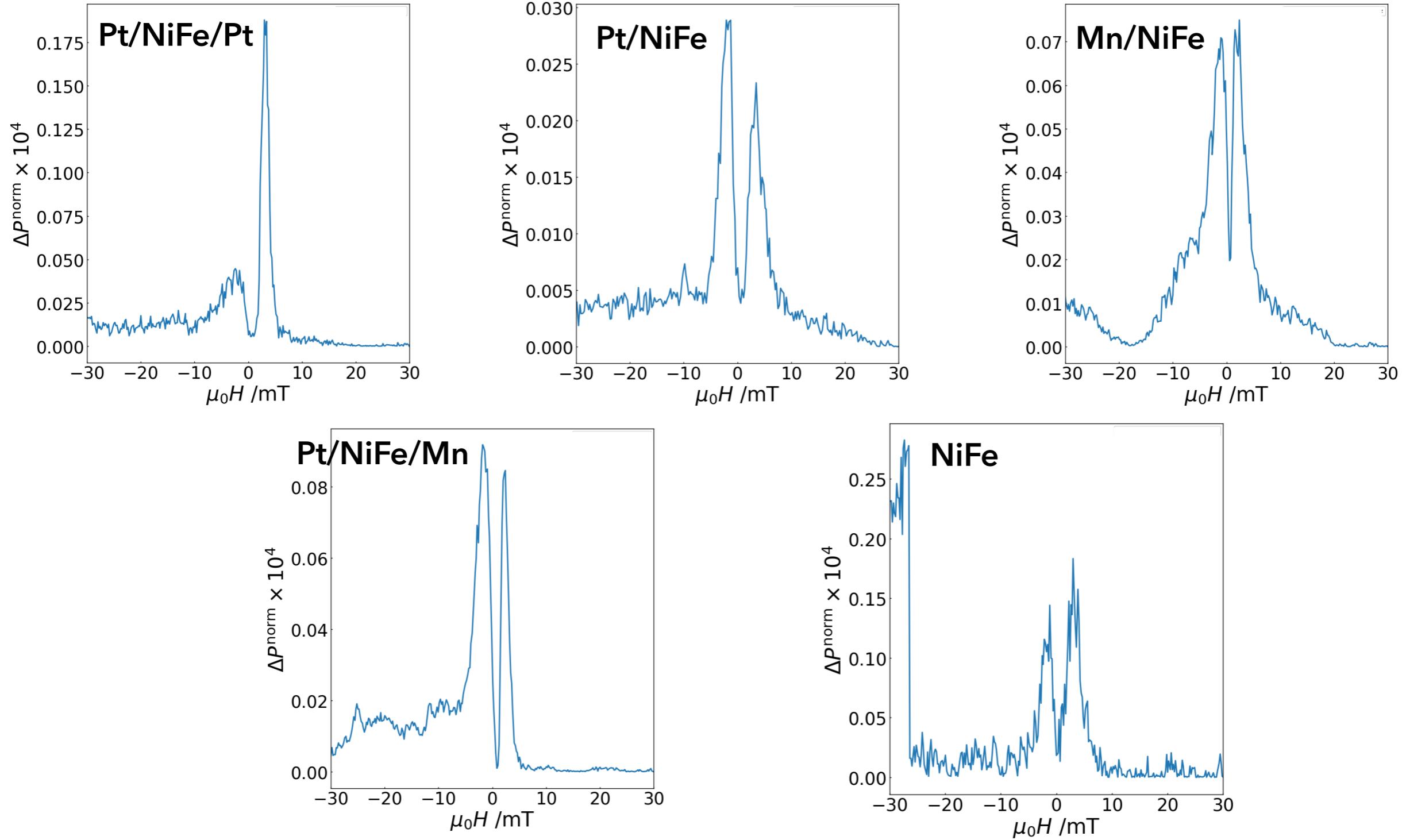
リフトオフ法および真空蒸着法によって試料作製

# 試料測定結果 (1)



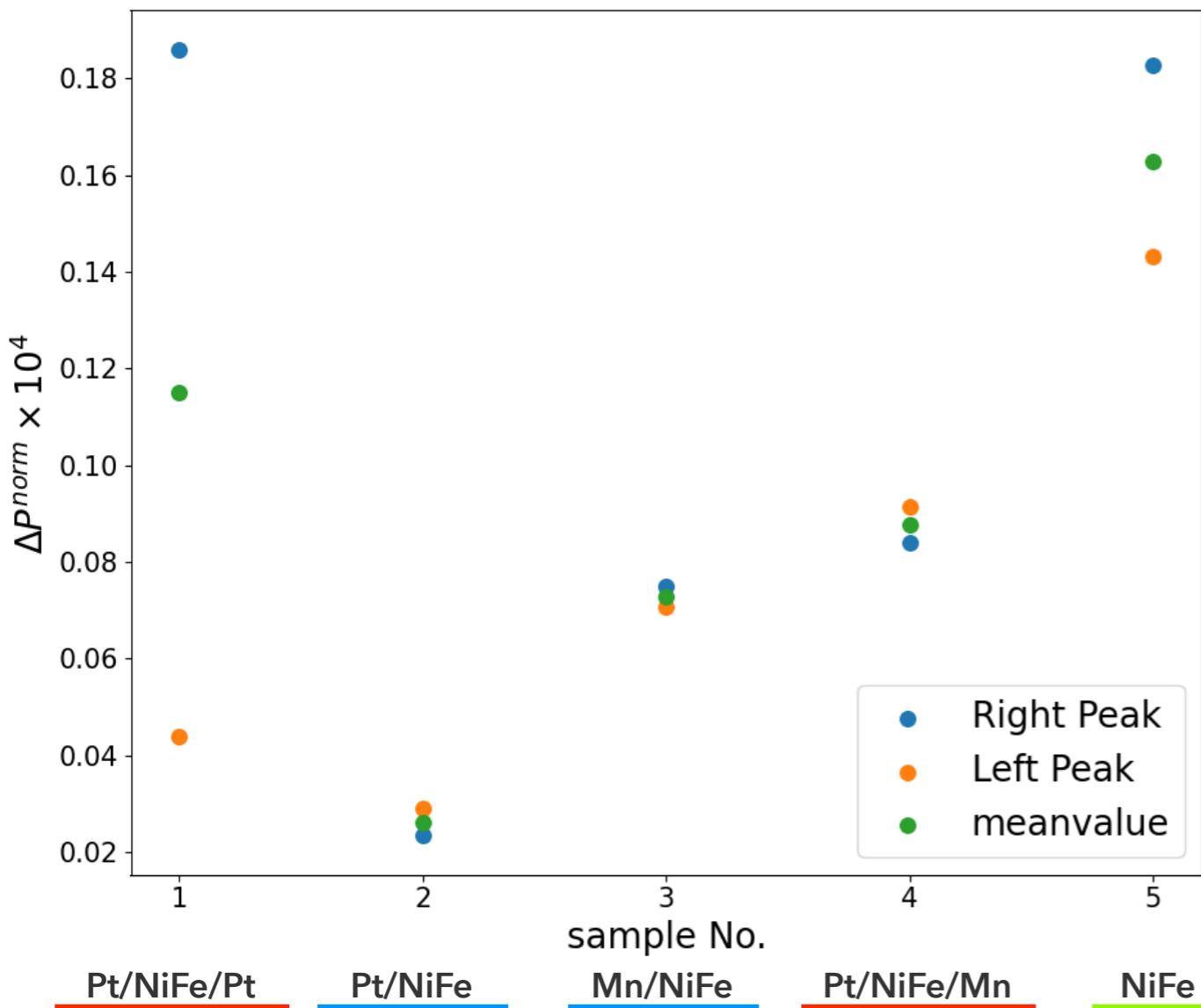
励起した基本周波数でSTT-SWRが生じている

## 試料測定結果 (2)



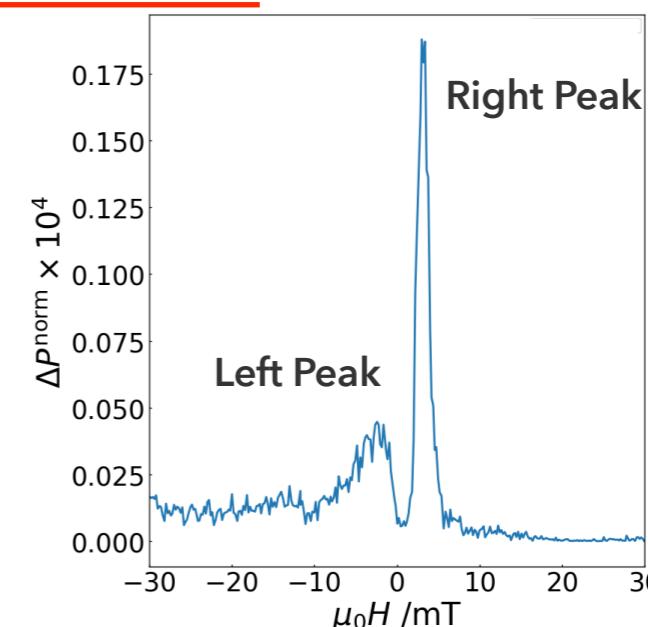
共鳴磁場  $\mu_0 H = \pm 2 \text{ mT}$  付近で共鳴ピークが観測された

# 異なる層構成でのSTT-SWR励起強度の比較



試料番号	材料構成 (括弧内の数値は nm 表記の膜厚)
1	LiNbO <sub>3</sub> /Pt(40)/NiFe(20)/Pt(40)
2	LiNbO <sub>3</sub> /Pt(6)/NiFe(20)
3	LiNbO <sub>3</sub> /Mn(6)/NiFe(20)
4	LiNbO <sub>3</sub> /Pt(40)/NiFe(20)/Mn(40)
5	LiNbO <sub>3</sub> /NiFe(20)

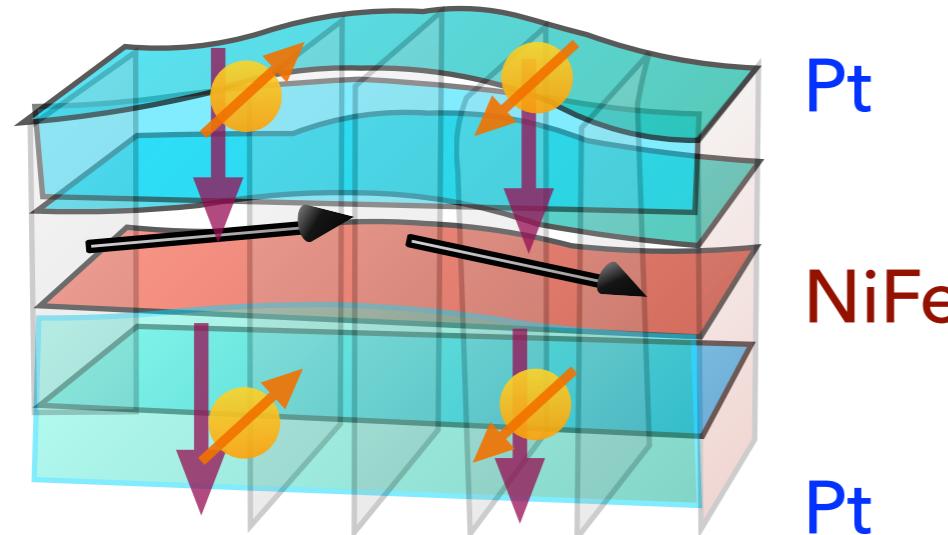
Pt/NiFe/Pt (No.1)の共鳴周波数でのSTT-SWR



- Pt/NiFe/Pt (No.1)で非相反性が見られてしまい Pt/NiFe/Mn(No.4)との比較が困難
- Pt/NiFe (No.2) と Mn/NiFe (No.3)では Mn/NiFe (No.3)の方が大きな強度が得られた
- NiFe (No.5) 磁性体単層の試料で大きな強度が得られた

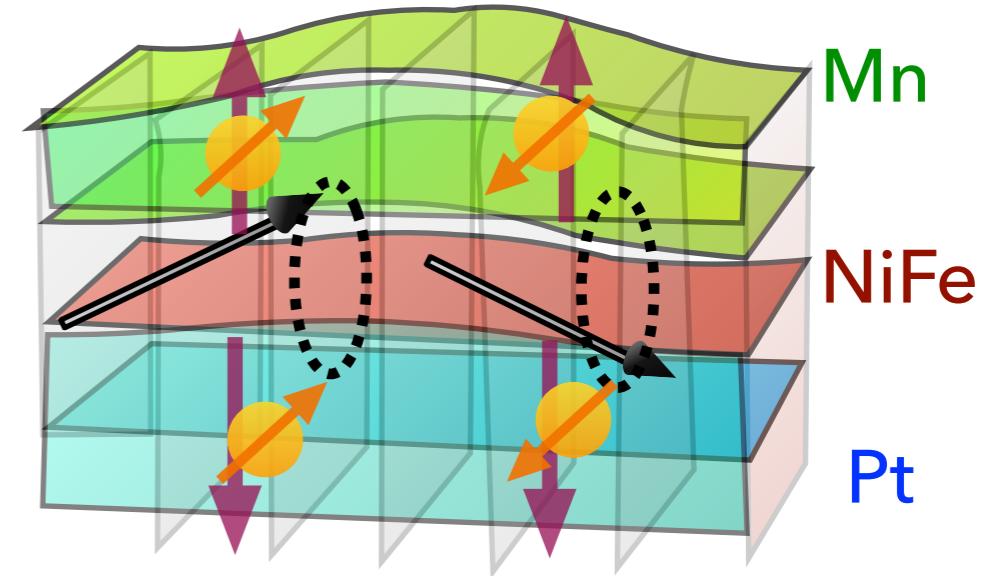
# $\theta_{SH}$ によりスピノン流の極性が反転する場合の予測

$$\theta_{SH}^{Pt} > 0$$



$\Delta P^{norm} \sim 0$  相殺

$$\theta_{SH}^{Mn} < 0$$



$\Delta P^{norm}$  large 相乗

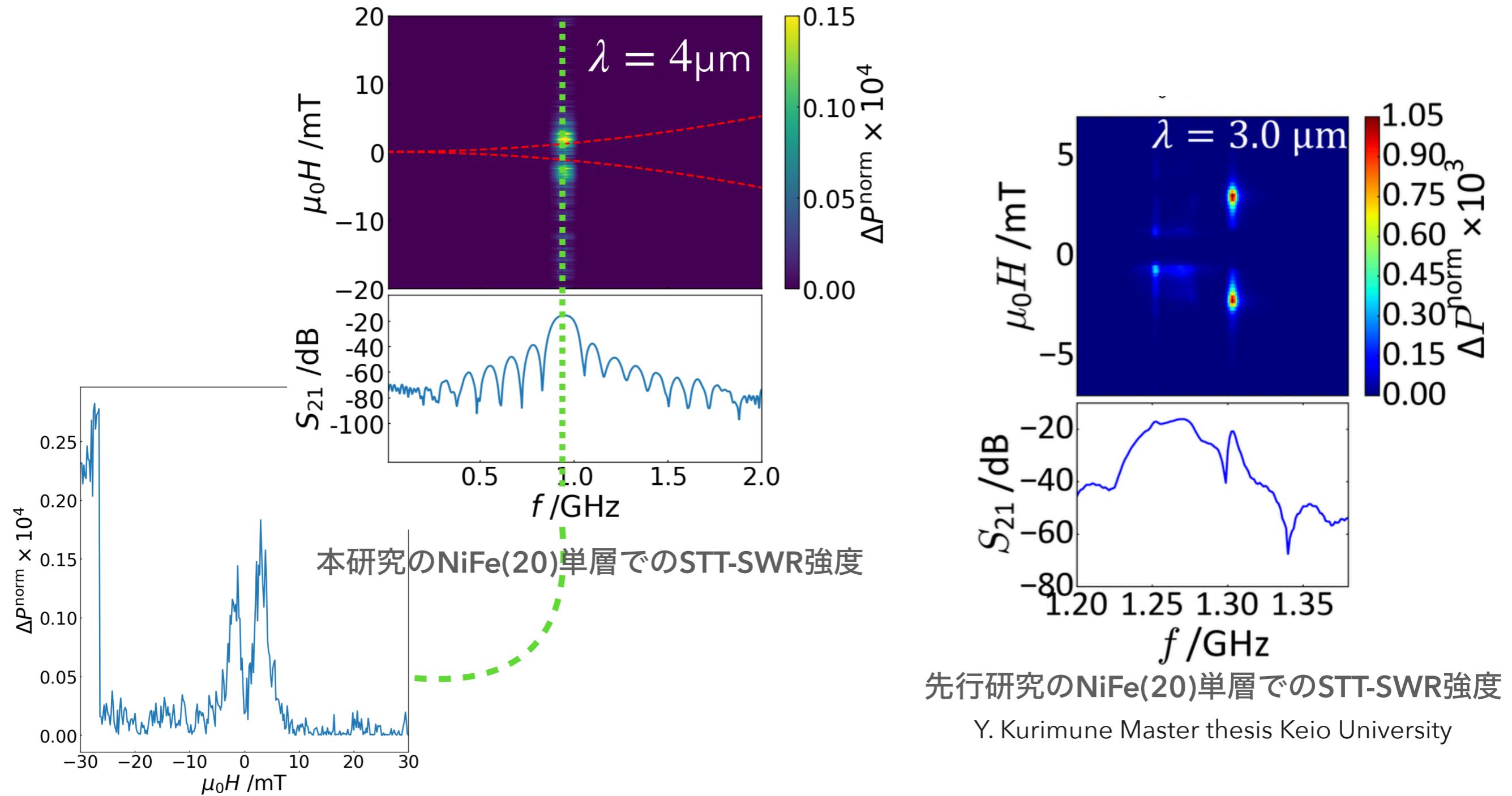
上層と下層スピノン流の向き

上層	↓	相殺
下層	↓	

Pt/NiFe/MnはPt/NiFe/Ptより大きい強度になるはず

→ 実際にはPt/NiFe/Ptに非相反性が見られてしまい大小比較が困難

# 先行研究との結果の比較



STT-SWRの強度が先行研究と比べて全体的に小さい

# 結果に対する考察

## Pt/NiFe/Mnの非相反性について

- Pt/NiFe/Ptの試料状態の悪さによる本来とは異なる非相反性

## 先行研究よりも小さなSTT-SWR強度について

- 下地効果による磁気特性の変化
- 励起周波数が小さいために磁場の強さが磁化を飽和させるのに十分な強さがなかった



# 結論と今後の課題

- 結論
  - PtとMnを接合したNiFe薄膜においてRayleigh波によるSTT-SWRの観測に成功した。
  - SWR強度の層構成依存性を調べたが、磁気回転効果におけるSOIの寄与に関する考察ができなかった。
- 今後の課題
  - より定量的な議論のためにはMnのスピン拡散長やスピンホール角を測定する必要がある。