

磁気力顕微鏡を用いたナノ領域での非磁性金属検出における電流間相互作用

Current interaction in nonmagnetic metal detection using magnetic force microscopy

大阪大学 基礎工学研究科：○大澤 謙太, 若家 富士男

Osaka Univ：○Kenta Oosawa, Fujio Wakaya

Email: u779333f@ecs.osaka-u.ac.jp

磁気力顕微鏡(Magnetic Force Microscope; MFM)は磁性体からのもれ磁場を検出することにより、微視的磁区構造を調べるために有力なツールである。しかし、非磁性金属をMFMで観測したときにもシグナルが観測される¹。この現象を利用すると、ナノ領域で金属の抵抗率を非接触で計測できる。非磁性金属のMFM計測では、振動している磁化されたプローブが金属中に渦電流を誘起し、その渦電流による磁場を磁化されたプローブで検出する(Fig.1)。これがMFMで非磁性金属を検出できるメカニズムである。この位相シフト量の理論値はすでに議論されているが¹、ここでは、渦電流を構成する電流間の相互作用を考えていない。そこで、本研究では電流間相互作用を考えることにより試料に発生する正確な渦電流を求め、より正確な位相シフトの式を導出することを目的として研究を行った。

振動する磁気モーメントによる磁束の変化と電流間相互作用の効果の両方を考慮すると、半径 r の円周に沿って流れる電流の電流密度 $J(r, t)$ は、式(1)のように表されることが分かった。ここで、 $\hat{\cdot}$ は無次元化した物理量を表している。また、 $M(r, r')$ は電流間の相互インダクタンス、 $\Phi^{(e)}(r, t)$ は試料を貫く磁束である。係数 C は、電流間相互作用の効果が渦電流分布に与える影響の強さをあらわして

おり、プローブから試料表面までの距離、強制振動の周波数、試料の導電率に依存する。

式(1)は自己無撞着に解く必要があり、解析的に解くのは困難であったため、数値計算を行った。その結果、係数 C を大きくしていくと渦電流の位相が遅れ、 $C = 0.5$ 付近で約 $\pi/2$ 遅れることがわかった。このように、電流間相互作用を考慮したときの渦電流密度が正確に求められた。

$$\hat{j}(\hat{r}, \hat{t}) = \frac{-1}{\hat{r}} \left[\frac{\partial \hat{\Phi}^{(e)}(\hat{r}, \hat{t})}{\partial \hat{t}} + C \int_0^\infty \hat{M}(\hat{r}, \hat{r}') \frac{\partial \hat{j}(\hat{r}', \hat{t})}{\partial \hat{t}} d\hat{r}' \right] \quad (1)$$

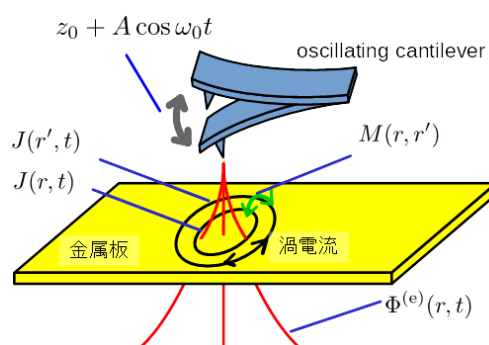


Fig.1 Schematic diagram of nonmagnetic metal observation.

参考文献

1 F. Wakaya et al., Abst. MNC2012.

本研究は JSPS 科研費 18K04937 の助成を受けたものです。