

# 強磁性金属を用いたオットー配置型表面プラズモンセンサにおける 金属の誘電率と検出特性の評価

## Characterization of Refractive Index of Metal Thin Films and Sensitivity in Magneto-optic Surface Plasmon Resonance Sensors with Otto Configuration

東京農工大工 ○鈴木翔吾, 下平貴大, 清水大雅

Tokyo Univ. of Agri. & Tech., Shogo Suzuki, Takahiro Shimodaira, Hiromasa Shimizu

E-mail: [s147723w@st.go.tuat.ac.jp](mailto:s147723w@st.go.tuat.ac.jp), [h-shmz@cc.tuat.ac.jp](mailto:h-shmz@cc.tuat.ac.jp)

### [はじめに]

表面プラズモンポラリトン(Surface Plasmon Polaritons; SPPs)とは金属と誘電体の界面に生じる自由電子の集団振動と結合し界面に沿って伝搬する光波である。SPPの波数と外部光の波数の進行方向成分を整合させ、励起することを表面プラズモン共鳴(Surface Plasmon Resonance; SPR)と呼ぶ。SPRの共鳴条件は界面を構成する金属と誘電体の屈折率に強く依存するため、例えば、誘電体部にガスを導入しその屈折率変化による SPR 共鳴条件の違いを測定することでガスセンサへの応用が可能である。これまで金属として強磁性金属を組み込み、磁化を反転することで磁気光学効果(Magneto-optic effect)を通じて共鳴条件の変調と波長可変性を報告してきた<sup>[1]</sup>。また、磁気的変調によるセンサ感度の向上が報告されている<sup>[2]</sup>。本研究では、図 1 に示すように強磁性金属を用い、金属と誘電体の間の空間(厚さ  $t$ )に分析対象を導入する Otto 配置型<sup>[3]</sup>の磁気表面プラズモン共鳴センサ(Magneto-optic Surface Plasmon Resonance sensor; MOSPR センサ)を設計し、検出特性を求めたので報告する。

### [金属の屈折率評価]

表面プラズモンセンサの設計では金属の複素屈折率( $N = n + ik$ )を把握する必要がある。センサを実現するための金属として、Au, Cu, Fe に着目し、ガラス基板上に電子ビーム蒸着によってこれらの薄膜を製膜し、反射率の入射角依存性を測定した。入射光は波長  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$  の  $p$  偏光とした。また、金属の複素屈折率をパラメータとしたフレネル反射率の入射角依存性を定式化し、測定結果を再現するように金属の屈折率を求めた。測定結果とフィッティング結果を図 2 に示す。Au, Cu, Fe の屈折率はそれぞれ  $N_{\text{Au}} = 0.170 + i9.37$ ,  $N_{\text{Cu}} = 0.193 + i9.84$ ,  $N_{\text{Fe}} = 3.08 + i4.13$  と求められた。

### [MOSPR センサの設計と検出特性の評価]

強磁性金属による磁気的変調と貴金属による高感度特性を両立するために図 1 に示すように Au と Fe の複合構造を検討した。空間層、上部 Au 層、Fe 層の膜厚をそれぞれ  $t$ ,  $t_{\text{Au}}$ ,  $t_{\text{Fe}}$  として、下部 Au 層の膜厚は  $150 \text{ nm}$  とした。式(1)の反射率の磁気的変調  $\Delta R/R$  を指標として定義した。空間層の屈折率  $N = 1.0000$  のとき SPR 共鳴条件を満たし、かつ屈折率変化( $\Delta N = 0.0001$ )に対する指標の変化  $\delta(\Delta R/R)$  が最大となるように各膜厚を決定した結果  $t = 3200 \text{ nm}$ ,  $t_{\text{Au}} = 6 \text{ nm}$ ,  $t_{\text{Fe}} = 5 \text{ nm}$  となった。上記構造において式(1),

(2)で定義した  $\Delta R/R$ ,  $\delta(\Delta R/R)$  の入射角度依存性を計算した結果を図 3 に示す。このとき Au, Fe の複素屈折率は前述の値を用い、Fe の誘電率非対角項は  $\epsilon_{xy} = 3.12 - i1.80$ <sup>[4]</sup> とした。入射角  $\theta_{\text{in}} = 44.29 \text{ deg.}$  のとき  $\delta(\Delta R/R) = 1.6$  と求められ、光検出器によって検出可能な値である。これは屈折率分解能  $\Delta N = 0.0001$  をもつセンサとして動作することを意味する。上記指標  $\delta(\Delta R/R)$  は従来の非磁性金属を用いた SPR センサの指標である  $\delta R = R_{N=1.0000} - R_{N=1.0001} = 0.15$  よりも大きく、従来の SPR センサと比較して高い屈折率分解能が見込まれる。

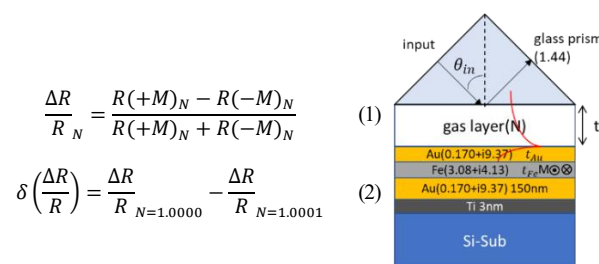


図1 MOSPRセンサの構造

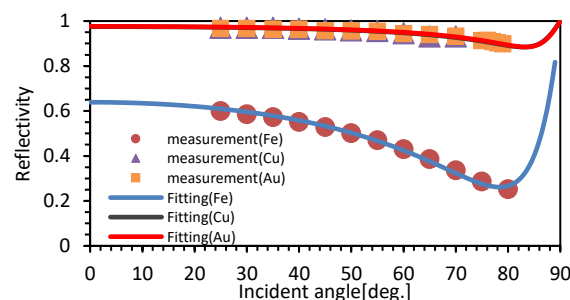


図2 金属の反射率の測定結果とフィッティング結果

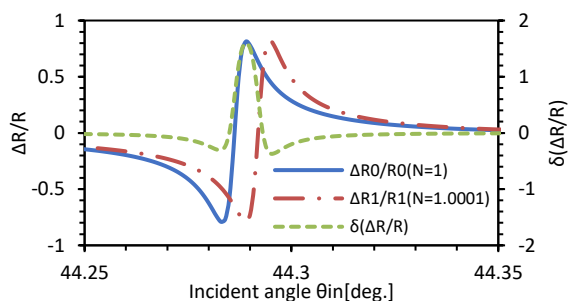


図3 MOSPRセンサに屈折率変化 $\Delta N = 10^{-4}$ を与えた時の $\frac{\Delta R}{R}$ 、及び $\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)$ の計算結果

[参考文献] [1] T. Kaihara et al, Appl. Phys. Lett., **109** 111102 (2016). [2] D. Regatos et al, J. Appl. Phys., **108**, 054502 (2010). [3] Y. Lee et al, Microsyst Technol **23** 1983-1989 (2017). [4] 貝原輝則, 東京農工大学博士論文 (2017)