

金表面における中赤外プラズモンポラリトンの伝搬長

Propagation length of mid-infrared surface plasmon polaritons on gold

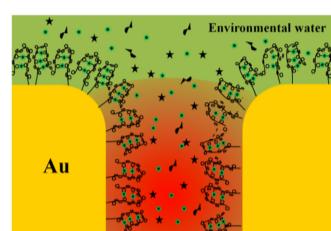
平松信義^{1,2}, 草史野^{1,3}, 竹上明伸^{1,3}, 今坂光太郎¹, 森近一輝¹, 芦原聰^{1,a}

¹⁾東京大学生産技術研究所, ²⁾東京大学工学部物理工学科, ³⁾東京農工大学物理システム専攻

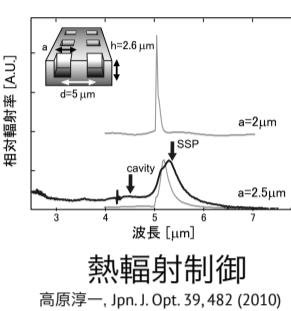
a)連絡先: ashihara@jjs.u-tokyo.ac.jp



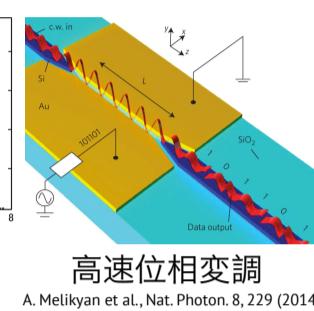
中赤外プラズモニクス



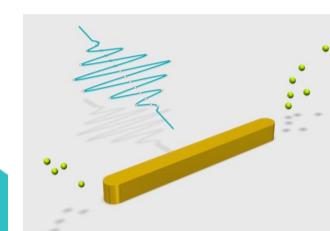
表面増強分光
C.V. Hoang et al., Sci. Rep. 3, 1175 EP (2013)



熱輻射制御
高原淳一, Jpn. J. Opt. 39, 482 (2010)



高速位相変調
A. Melikyan et al., Nat. Photon. 8, 229 (2014)



光電界電子放出
F. Kusa et al., AIP Advances 5, 077138 (2015)

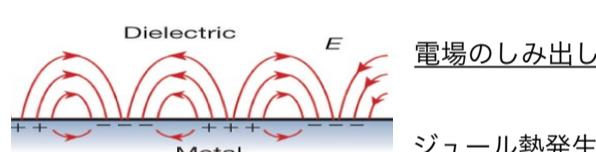
- 中赤外域で表面プラズモンのロスは小さい
- 金は電気導電率が大きく化学的に安定で、物質をよく吸着する

SPPとその伝搬長

- 金属表面の自由電子の疎密波(プラズモン)と電磁波が結合した状態
- 伝搬によりパワーが $1/e$ になる長さ L_{SPP}

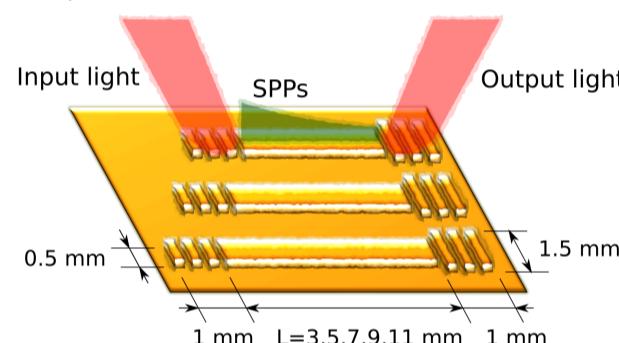
$$I/I_0 = \exp(-L/L_{\text{SPP}})$$

- 金属内のオームロスと誘電体への電場のしみ出しの程度で決まる



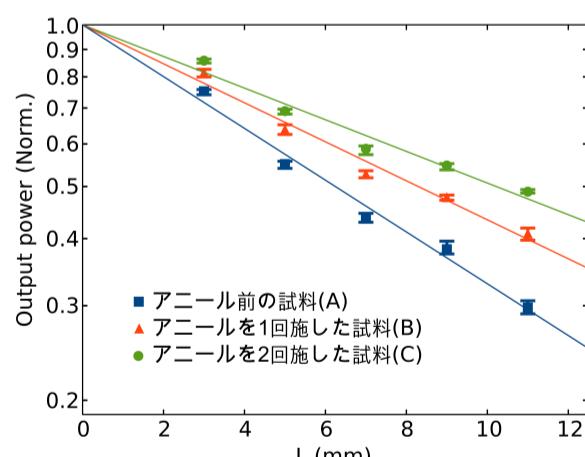
伝搬長の測定実験

- グレーティングを用いて伝搬光(波長 $10.6 \mu\text{m}$)とSPPを結合
- 長さの異なる導波路にSPPを伝搬させ、入出力パワーの比をみる

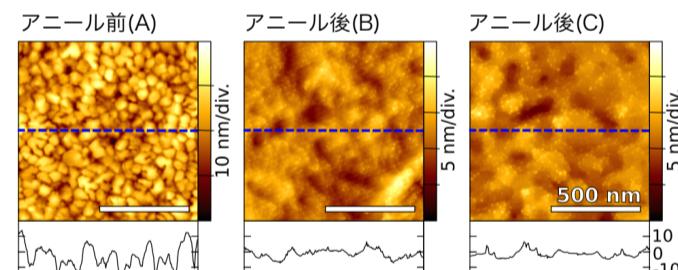


伝搬長と結晶粒径の測定

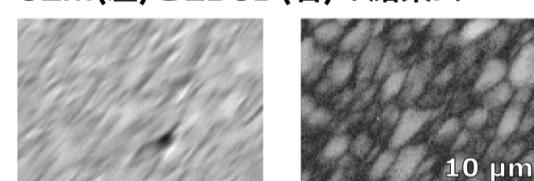
正規化された出力光パワー



AFMの結果



SEM(左)とEBSD(右)の結果: アニール後(C)



測定結果まとめ

	アニール前(A)	アニール後(B)	アニール後(C)
伝搬長 (mm)	9.0 ± 0.3	12.0 ± 0.4	14.7 ± 0.7
結晶粒径	70 ± 20	2000 ± 1000	
表面荒さ	5.7	2.8	2.2

測定された伝搬長は、誘電率*による計算 12.3 mm とよく一致

* E. D. Palik. "Handbook of optical constant of solids," (Academic Press, 2002)

アニール処理で、

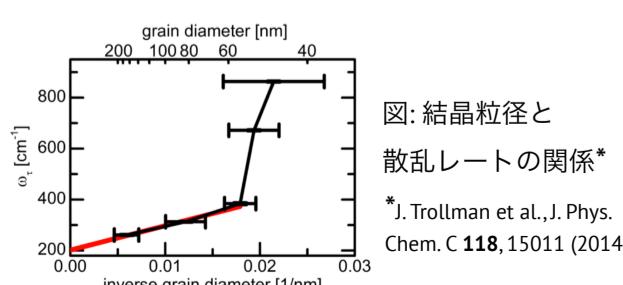
- SPPの伝搬長が大きくなった
- 結晶粒が大きくなつた
- 表面荒さが小さくなつた

考察

[結晶境界の密度] \propto [結晶粒径]⁻¹



結晶粒が大きくなると、電子の散乱レートが小さくなる*

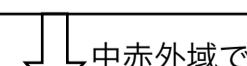


ドルーデモデルで金の複素誘電率は

$$\tilde{\epsilon}(\omega) = \epsilon_{\infty} - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\omega\omega_{\tau}}$$

誘電率とSPPの伝搬長の関係:

$$L_{\text{SPP}} = \frac{1}{2 \operatorname{Im}[k_{\text{SPP}}]}, \text{ ただし } k_{\text{SPP}} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\tilde{\epsilon}}{\tilde{\epsilon} + 1}}$$



中赤外域で
電子の散乱レートが小さくなると、
SPPの伝搬長が大きくなる
(ジュール熱\、空気中への電場しみ出し\)

結論

- 金-空気界面で中赤外SPPの伝搬長を測定し、 10mm以上伝搬 することを示した
- アニールでSPPの伝搬長が 50% 以上大きくなることを示した
- 結晶粒が大きくなると、伝搬長が大きくなつた



- 長距離伝搬や高い電場増強度が達成できる
- ロスマカニズムの理解に有用