

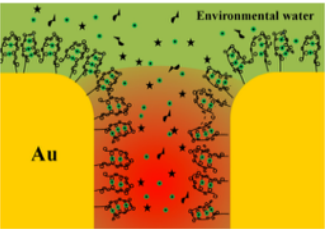
金表面における中赤外プラズモンポラリトンの伝搬長

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, 芦原聡^{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@iis.u-tokyo.ac.jp

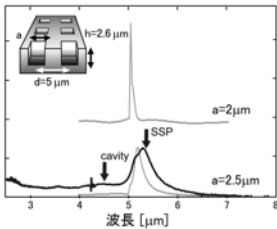


中赤外プラズモニクス



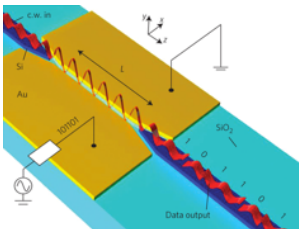
表面増強分光

C. V. Hoang et al., Sci. Rep. 3, 1175 EP (2013)



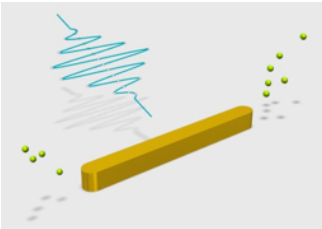
熱輻射制御

高厚淳一, 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)

- ・ 応用上重要な性質(電場増強度など)は材料の**モルフォロジー**の影響を受ける
- ↓
定量的な評価

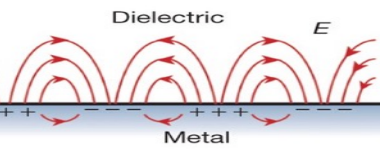
本研究の目的

- ・ 中赤外プラズモンポラリトン(SPP)の**伝搬長**を金の**モルフォロジー**と関連させて測定する

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

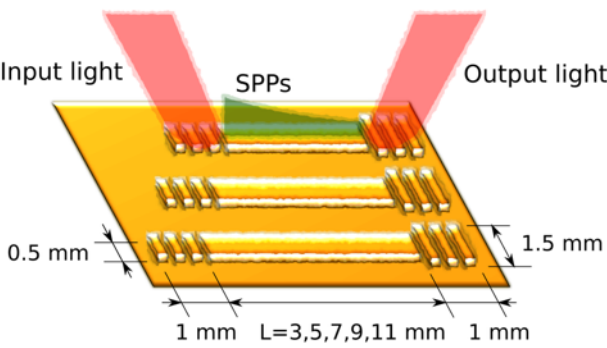


電場のしみ出し

ジュール熱発生

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 μm)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



デバイスの作成と熱アニール

- ・ 熱蒸着と電子線リソグラフィーで作成
- ・ **モルフォロジーを制御**するため、2回アニール (600°Cで20分、700°Cで16分)

モルフォロジーの観測

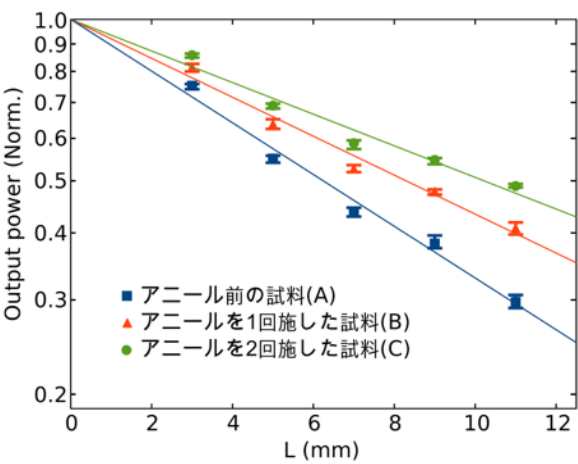
- ・ 原子間力顕微鏡(AFM)と電子後方散乱回折法(EBSD)を用いた



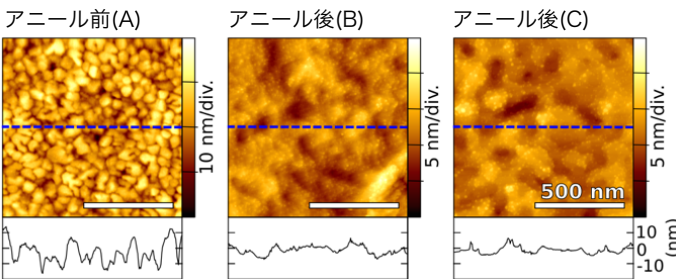
EBSDの概念図
日本電子HPより: <http://www.jeol.co.jp/>

伝搬長と結晶粒径の測定

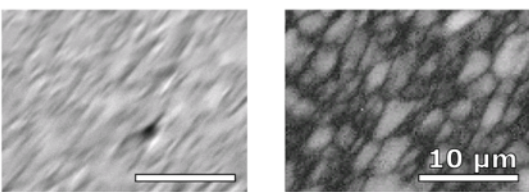
正規化された出力光パワー



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 (nm)		70±20	2000±1000
表面荒さ (nm)	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**が大きくなった
 - ・ 表面荒さが小さくなった

考察

[結晶境界の密度] ∝ [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*

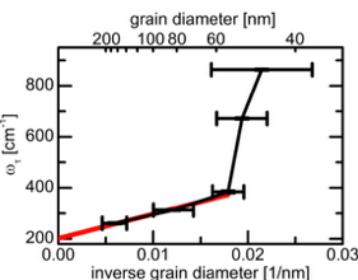


図: 結晶粒径と散乱レートの関係*

* J. Trollman et al., J. Phys. Chem. C 118, 15011 (2014).

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:

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

↓ 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、伝搬長が大きくなった

- ↓
- ・ **長距離伝搬**や**高い電場増強度**が達成できる
 - ・ **ロスキニズム**の理解に有用