

# 表面プラズモン-ポラリトン伝播の応答関数に基づいた波形整形制御

## Pulse shaping control of surface plasmon polariton by using response function

大西 秀太朗 (M1)

Shutaro Onishi

### Abstract

We obtain response functions of surface plasmon polariton (SPP) using a FDTD model. We demonstrate that SPP propagation can be controlled by incident excitation laser pulse shape based on the response function and compensate for the dispersion so that the SPP intensity at a particular point is enhanced. This research will lead to platform of nano optical networks.

### 1. はじめに

近年、社会の著しい情報化に伴い、デバイスはますます大容量化、高度集積化、省電力化の必要性が高まっている。そこで、電気信号を用いずかつデバイスの微小化が可能な手法として注目されているのが表面プラズモン-ポラリトン(SPP)である。SPPはナノ領域において、金属の表面上を光が伝播する現象を指す。また、SPPは金属ナノ構造の媒質や形状によって異なる光学応答を示す特性を持つ。そこで、任意に波形整形されたフェムト秒レーザーによって励起されたSPPは、ナノ空間において時空間制御された超高速光励起あるいは情報伝達を可能にする。これまで、励起フェムト秒レーザーを閉ループ制御波形整形することでSPP伝播を最適化する研究が報告されている[1]。また、シミュレーションによって、プラズモン応答関数を用いることでSPPを決定論的に時空間制御できる可能性が示されている[2]。

これまでに、我々は周波数干渉を用いた近接場顕微計測法を用いることで、実験的に局在プラズモンの応答関数計測および時空間制御を実証した。これらをSPPに展開していくため、まずはFDTDシミュレーションによって、その可能性について検証を行った。

### 2. シミュレーションモデル

Fig. 1 にシミュレーションモデルを示す。

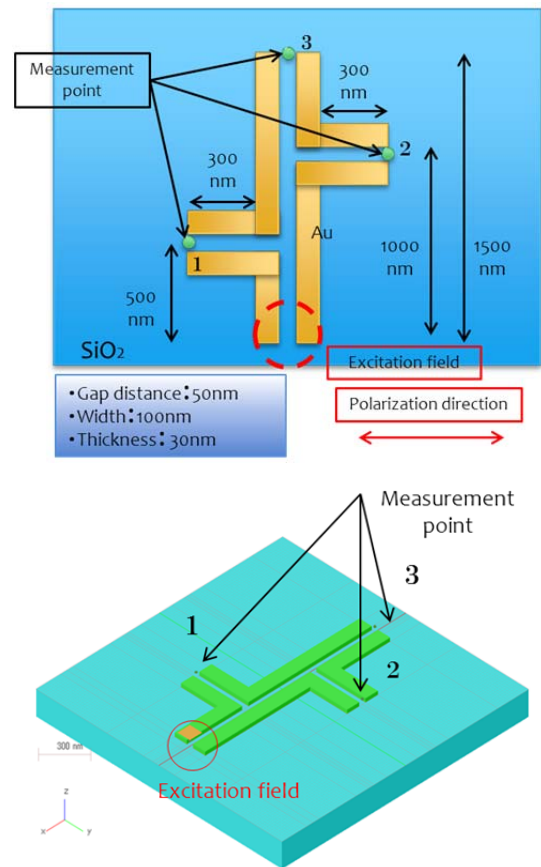


Fig. 1 Nano structure used for FDTD simulation.

試料としてガラス基板上に金ナノワイヤーを組み合わせた導波路状の構造を作製し、ギャップを作ることで伝播光の損失を抑えている。励起領域にフェムト秒レーザを図の鉛直方向より照射する。励起光の偏光方向はギャップに対して垂直な方向である。ナノ構造の厚さは 30 nm、幅は 100 nm、ギャップ間距離は 50 nm で統一されている。長さに関しては図の通りである。以下、Fig. 2 に励起光の電界波形およびスペクトルを示す。

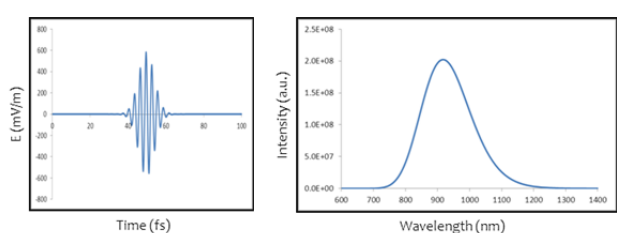


Fig. 2 Electric waveform and spectrum of incident pulse.

### 3. 結果

Fig. 3 に SPP が励起されている時の電界マップを示す。

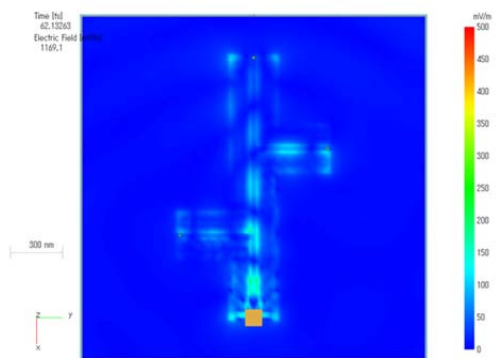
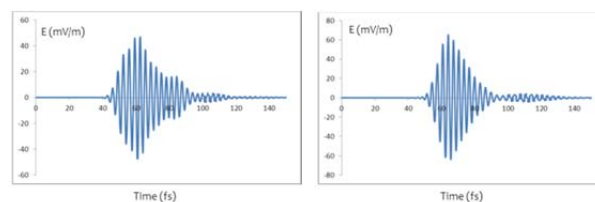


Fig. 3 Electric field mapping of excited SPP.

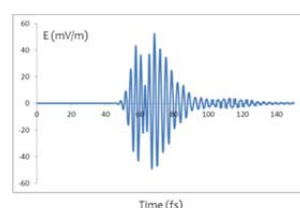
Fig. 3 よりギャップに沿って SPP が強く励起され、伝播していることが分かる。次に、Fig. 1 において示した測定点においてギャップと垂直方向の電界

波形をそれぞれ取得した(Fig. 4)。また、その電界波形から各点におけるプラズモン応答関数を計算した(Fig. 5)。



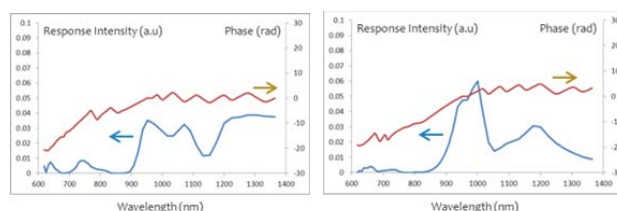
(Point 1)

(Point 2)



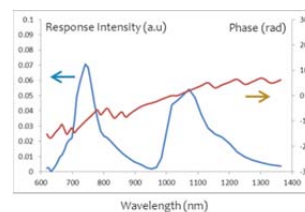
(Point 3)

Fig. 4 Electric field waveforms at several measurement points with a FTL excitation pulse.



(Point 1)

(Point 2)



(Point 3)

Fig. 5 Response functions at several measurement point.

Fig. 4 よりそれぞれの振幅を比較するとあまり損失なく光が伝播していることが分かる。また、Fig. 5 より測定する位置によって応答が変化していることが確認できる。ここで、求めた応答関数を用いて、SPP における時空間制御の可能性を検証するため、点 1 の逆位相を励起光に加え、点 1 においてフーリエ限界(FTL)のプラズモン励起を行った。また、それに伴い、点 2、点 3 ではどのようなプラズモン場が励起されるか、確認した。Fig. 6 にその結果を示す。

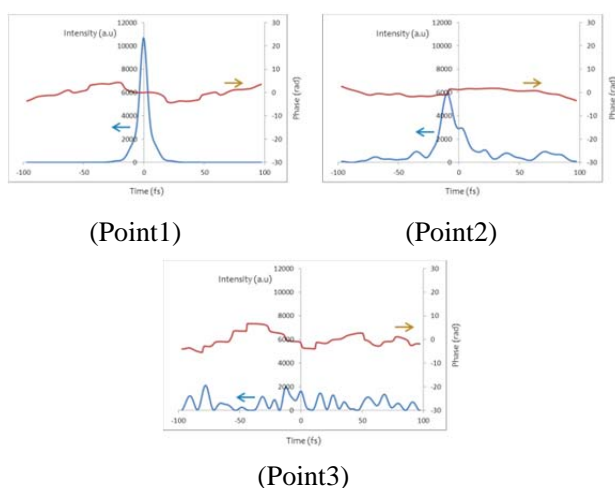


Fig. 6 Electric field waveforms at several measurement points with an excitation pulse shaped to generate a FTL pulse at point 1.

Fig. 6 より点 1 において FTL プラズモンが励起されていることが確認され、ピーク強度も最も強くなっていることが分かる。また、点 2、点 3 においては当然、応答関数が異なるため、FTL にはなっておらず、強度も小さくなっていることが分かる。同様に点 2、点 3 においてもそれぞれ応答関数の逆位相を励起光に加え、FTL を励起させる検証を行ったが、それぞれ波形整形制御することができた。以上の結果より、SPP における時空間制御の可能性が示されたと言える。

#### 4. まとめ

FDTD シミュレーションによって、SPP においてプラズモン応答関数を用いることで決定論的な時空間制御を実証できた。既に、今回のシミュレーションモデルを基に金ナノ試料を作製しており、今後は実験的に SPP の応答関数計測および波形整形制御を行っていく予定である。

#### References

- [1] J. M. Gunn, M. Ewald, and M. Dantus, *Nano Lett.* **6**, 2804 (2006).
- [2] J. S. Huang, D. V. Voronine, P. Tuchscherer, T. Brixner, and B. Hecht, *Phys. Rev. Lett.* **B79** 195441 (2009)