

周波数域干渉SNOMを用いたフェムト秒プラズモンの時空間計測

Spatio-temporal measurement of femtosecond localized plasmon by spectral interferometry with SNOM

松石圭一郎(M1), 杉浦直子(M2)

K.Mataishi and N.Sugiura

Abstract

We apply a nova method of a spectral interferometry combined with NSOM in the spatio-temporal characterization of femtosecond localized plasmon at metal nano-structures. Temporal characteristics of femtosecond localized plasmon at Au is measured by this method.

1 はじめに

近年、回折限界を超えたナノ領域におけるプラズモン現象に関する研究が盛んに行われている。その中でもナノ領域における光技術の実現のために、注目されている現象の一つに金属ナノ構造の局在プラズモン共鳴がある。局在プラズモン共鳴とは、金属ナノ構造中の電気分極と入射波が共鳴を起こすことであり、この際にナノ構造の大きさに依存した著しく増強した電場を励起することができる。この局在プラズモン共鳴の特性はナノ構造によって異なり、局在プラズモン共鳴によってナノ領域において光を扱うことができる[1,2]。また、局在プラズモン共鳴現象には、入射波の周波数依存性、偏光依存性がある。この特性を応用することで、今までに規則的なナノ構造に偏光波形整形したフェムト秒レーザーパルスを励起光として用いることで、局在プラズモンを空間的に制御する研究も報告されている[3]。局在プラズモンの時空間制御を可能にするためには、フェムト秒レーザー励起局在プラズモンの時間測定が必要であり、これまでにPEEMとフリンジ分解自己相関計測を組み合わせた方法によって、時間特性を測定した報告がある[4]。

我々は局在プラズモンの時空間制御を目指して、まず周波数干渉(SI)法と近接場光学顕微鏡(NSOM)を組み合わせた新たな測定系(SI-NSOM)により、金属ナノ

構造におけるフェムト秒レーザー励起局在プラズモンの時空間特性を測定した。このSI-NSOMには、PEEMではなくNSOMを用いているので観測試料を限定しないことや周波数干渉法を用いているので、測定時間が短く測定系の安定性等の利点が挙げられる。この測定法の確立によって、局在プラズモンの時空間特性を測定することができ、更には局在プラズモンの時空間制御へとつながると考えられる。

2 実験セットアップ

SI-NSOMの実験セットアップをFig.1に示す。光源はTi:Sapphireレーザー(パルス幅~8 fs, 繰返し周波数150 MHz, スペクトル帯域650-1100 nm, VENTEON)である。今回は用いたファイバのカットオフ波長が760 nmであるので、4f系においてスペクトル帯域を

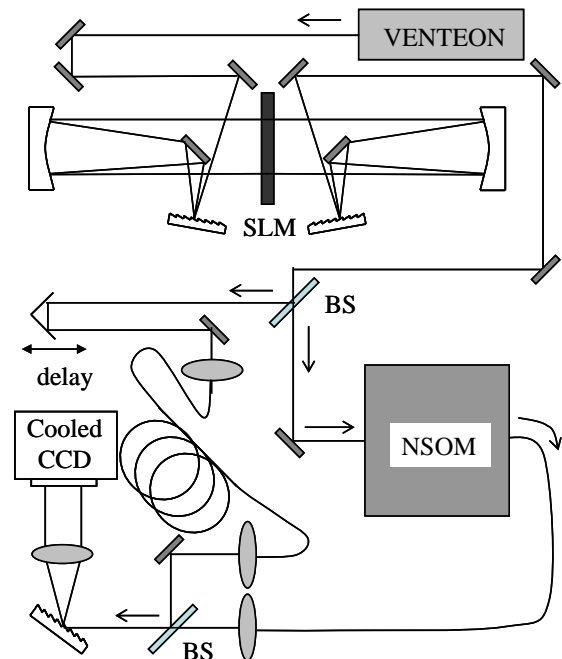


Fig.1 Experimental setup of NSOM combined with SI.

770-880 nm にして光源として使用した。近接場光学顕微鏡は自作のものを用いている。プローブは開口径 120 nm, 遮光コート金のファイバプローブを用いており, コレクションモードにより近接場光を取得した。4f系でスペクトルを狭帯化したあと, ビームスピリッターで2つのパルスに分ける。1つのパルスはシグナル光として, 金属ナノ構造(金コート回折格子(N=830 lines/mm))に照射して局在プラズモンをファイバプローブによって検出する。もう一方のパルスはレファレンス光として遅延時間(900 fs)をつけた後, ファイバプローブと同質のファイバを伝搬させる。その後, ビームスプリッターによって2つのパルスをコリニアにして, 回折格子(N=600 lines/mm)-レンズ対によって周波数領域に変換し, 冷却 CCD カメラ(BITRAN, BS-42N)によって周波数干渉縞を測定した。得られた干渉縞をフーリエ変換位相解析法によって解析して, 局在プラズモンのスペクトル強度, スペクトル位相を求めた。更に, スペクトル強度, スペクトル位相を逆フーリエ変換して強度の時間波形を再構築することで局在プラズモンの時間特性を求めた。

3 実験結果

試料に用いた回折格子(実際にはあえて汚れの著しいものを用いた)の SEM 画像, トポグラフィ画像を

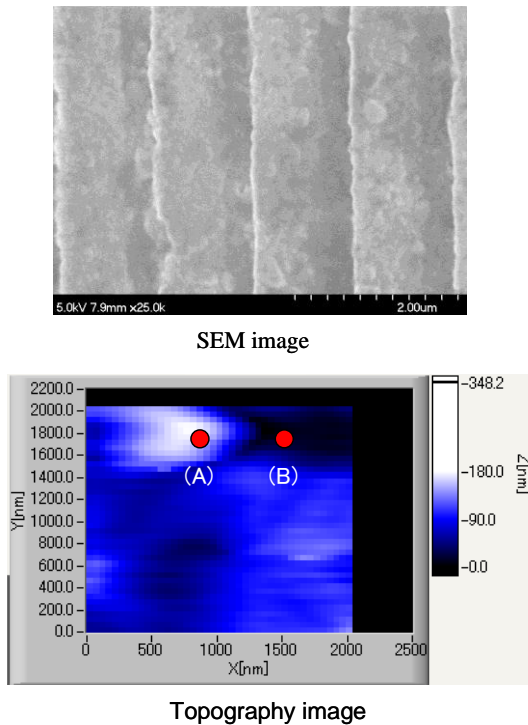


Fig.2 Image of nanostructure

Fig.2 に示す。トポグラフィ画像においても一部ではあるが試料の凹凸を確認できることが分かる。この試料上において, 周波数干渉法を用いてファイバプローブに結合した局在光を測定した結果を Fig.3 に示す。

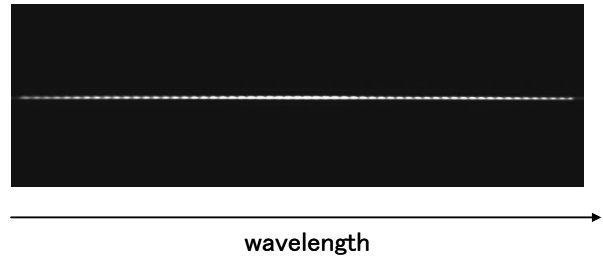


Fig.3 Image of measured SI fringe pattern.

冷却 CCD カメラの露光時間は 30 ms である。近接場光の強度は非常に小さいが, Fig.2 より, 解析できる程度の干渉縞を測定することができることが分かった。プローブを Fig.2 のトポグラフィ画像中の2点(A),(B)の位置にしたときに, 干渉縞を測定し解析した結果をそれぞれ Fig.4, Fig.5 に示す。Fig.4, Fig.5 とともに(a)はスペクトル強度, スペクトル位相を示しており, (b)は(a)の結果を逆フーリエ変換して求めた強度の時間波形を示している。この計算では, ファイバの長さの違いによる2次分散量の違いを補正するために2次関数を引いてスペクトル位相を求めている。

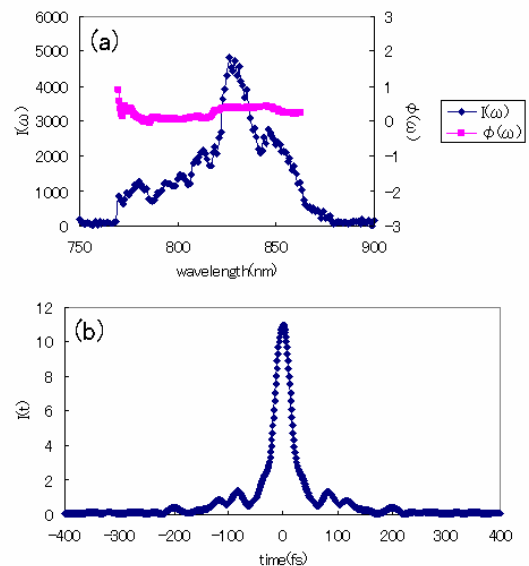


Fig.4 (a)Reconstructed spectrum intensity and phase from SI fringe measured at (A) of a gold-coated grating sample. (b) Pulse shape obtained by Fourier transform of the sample in (a)

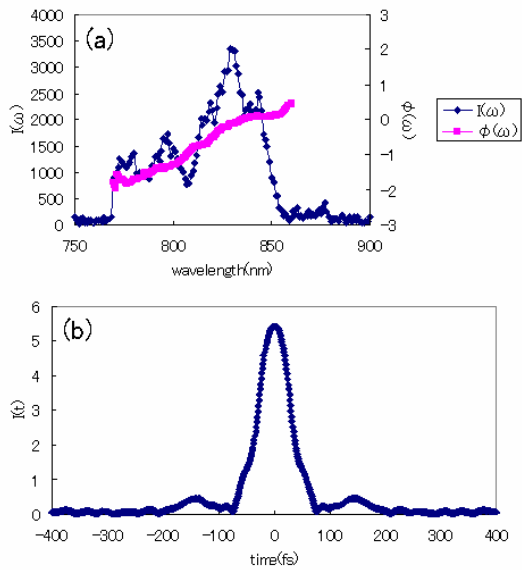


Fig.5 (a)Reconstructed spectrum intensity and phase from SI fringe measured at (B) of a gold-coated grating sample. (b) Pulse shape obtained by Fourier transform of the sample in (a)

Fig.4, Fig.5 より，近接場光学顕微鏡と周波数干渉法を組み合わせた実験系によって，スペクトル強度，スペクトル位相を測定することで，局在プラズモンの時間特性を測定できることを示している。この計測において試料の局在プラズモン場を測定していると断定するためには，試料に対するプローブの位置による結合光の依存性の確認が必要となる。しかし，金コート回折格子では，プローブの位置による依存性を測定することはまだできていない。

4 まとめ

今回，SI-NSOM という新たな実験系によって，ファイバプローブ先端に結合した局在プラズモンのフェムト秒での時間特性を測定することができた。今後は，試料に Si 基板上に金ナノロッドをスピンコートしたものを用いて，金ナノロッドの局在プラズモン共鳴の時間特性を測定するつもりである。さらに，金ナノロッドの局在プラズモン共鳴を測定することが出来れば，偏光波形整形を用いた，局在プラズモン場の時空間制御の実験を行っていくつもりである。

References

- [1] S.Link, and M. A. El-Sayed, Phys. Chem. B 103, 8410 (1999)
- [2] P. K. Jain, W. Huang, and M.A.El-Sayed, Nano Lett. 7, 2080 (2007)
- [3] M.Aeschlimann, M.Bauer, D.Bayer, T.Brixner, F. Javier, G.Abajo, W.Pfeiffer, M.Rohmer, C.Spindler and F.Steeb, Nature 446, 301 (2007)
- [4] A.Kubo, K.Onda, H.Petek, Z.Sun, Y.S.Jung, and H.K.Kim, Nano Lett. 5, 1123 (2005)