

先端的非線形近接場光学顕微鏡の開発とそのナノ物質系への応用

(早大理工¹, JST さきがけ²) 太村 淳¹, 井村 考平^{1,2}

Development of advanced nonlinear near-field optical microscope and its application to nanomaterials

(¹Waseda Univ, ²JST PRESTO) Jun Oomura¹, Kohei Imura^{1,2}

【序】近年、ナノテクノロジーの発展とともに、ナノ構造体を微小空間で物性評価する重要性が増している。ナノ構造体は、光と強く相互作用し、非線形材料として有用である。ナノ構造体の非線形光学特性は、形状やサイズに依存する。このため、ナノ構造体の特性を正しく理解するためには、ナノ構造体を単一レベル、また高空間分解能で測定する必要がある。また非線形光学効果を効率的に励起するためには、励起光パルスが高時間分解能であることが必要である。ナノスケールでの非線形光学特性評価には、近接場光学顕微鏡に超短パルスレーザーを組み合わせる手法が適している。従来の開口型近接場光学顕微鏡による非線形光学計測では、光ファイバーで生じる群速度分散を補償し非線形現象を励起する必要がある。複数の励起光での励起を要する非線形光学過程では、波長ごとにパルス幅を補償する必要があり、その適用が制限されている。本研究では、パルス幅広がり低減を可能とする近接場光学顕微鏡を開発した。発表では、開発した顕微鏡の性能評価とナノ物質への応用について報告する。

【装置開発】超高速時間分解能を実現する近接場光学顕微鏡の開発を行なった。開発した近接場光学顕微鏡の概略図を図1に示す。装置は試料走査プローブ部(A)、集光部(B)、サンプルプローブ間距離制御部(C)の主に3つの部分から構成される。Aでは、試料走査プローブ部の直近にレーザー光が入射するファイバーカップラーを設置することでファイバー長1cm以下を可能とした。

Bの集光部では、サンプルからの透過光や散乱光を効率よく集光し分光器に入射させるため、開口数大きい対物レンズ(NA=0.9)を使用した。Cの距離間制御部では、一定周波数で振動している近接場プローブ先端がサンプル表面に接近すると、サンプルからシアフォースを受け振幅が小さくなる現象を利用した。側面からプローブ先端にフィードバックレーザーで照射し、光検出器で反射光を検出すること

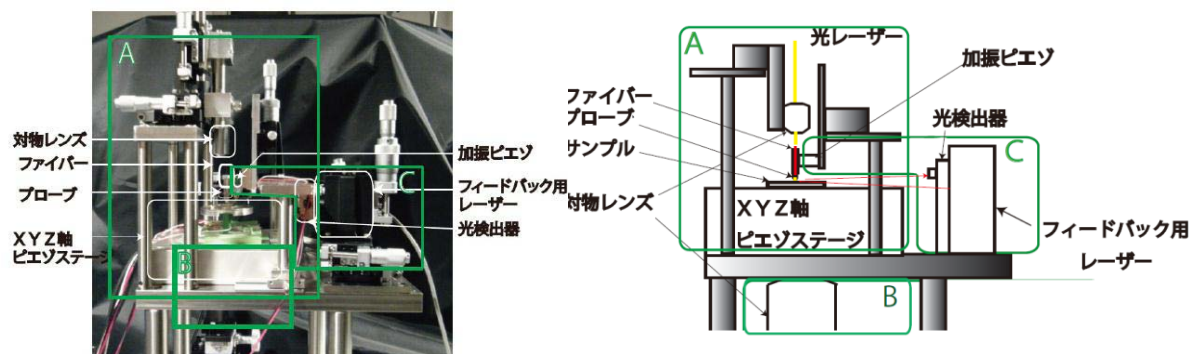


図1 製作した近接場光学顕微鏡(左)とその模式図(右). A:試料走査プローブ部, B:集光部, C:サンプルプローブ間距離制御部.

により、サンプルプローブ間の距離を制御した。フィードバックレーザーには波長 $1.31 \mu\text{m}$ の赤外レーザーを用いた。検出器には InGaAs フォトダイオードを使用し、微弱電流を増幅させるため、反転増幅回路を導入した。この回路では、外部からのノイズを削減するため、基板をコンパクトかつ両面設計を施した。

開発した装置の時間分解能を評価するため、近接場光学顕微鏡と類似の光学系を用いて、励起光パルスの自己相関測定を行った。

【結果と考察】

相関幅の測定には FEMTOCHROME 社の FR-103MN オートコリレーターを用いた。光ファイバーには Ge doped SiO_2 シングルモードファイバーを用い、光源には Ti:sapphire レーザー、繰り返し周波数 80 MHz, パルス幅約 30 fs, スペクトル幅 780–840 nm を用いた。光ファイバー長を変化させて測定した自己相関幅の測定結果を図 2 に示す。図から、ファイバーの長さ 1 cm あたり約 50 fs の広がりがあることがわかる。

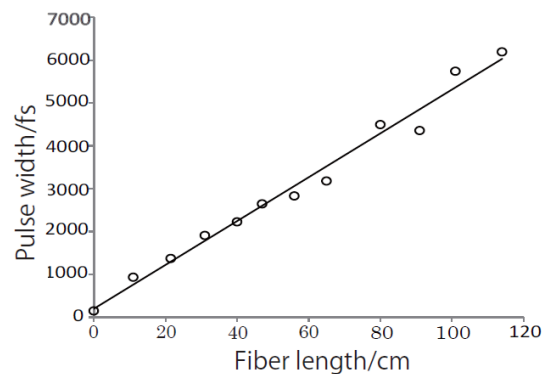


図 2 自己相関幅のファイバー長依存性

近接場光学顕微鏡において高時間分解能を実現するために、光ファイバー長が短いことが本質的に重要である。従来の装置ではファイバーカップラーと近接場光学顕微鏡は空間的に離れた位置に設置するため光ファイバー長 20 cm 以下にすることができない。ファイバー中をパルス光が伝搬するとパルス幅が広がるため、パルス幅を短く保つためにはファイバー長を短くする必要がある。新たに開発した装置では、ファイバー長 1 cm 以下を可能とし、従来の装置と比較してファイバー長を約 20 cm 縮めることができる。群速度分散補償を行わない場合、パルス幅で約 1 ps 短くできる。これにより、高いピーク強度を実現することができ、非線形光学測定に適していることが示唆される。

近接場光学顕微鏡では、表面形態像の測定が可能である。開発した近接場光学顕微鏡を用いて測定したテストターゲット(回折格子)の表面形態像を図 3(a)に示す。明部暗部は、それぞれ凸部凹部に相当し、回折格子の表面形態が概ね明瞭に測定できることが分かる。図 3(b)は図 3(a)白線 A-B のラインプロファイルである。図から凸部凸部の間隔が約 $3.0 \mu\text{m}$ 、高さが約 80 nm であることが分かる。一方、ノイズレベルが高く、更なる調整が必要である。開発した装置の性能改良や近接場非線形光学測定の結果については当日議論する。

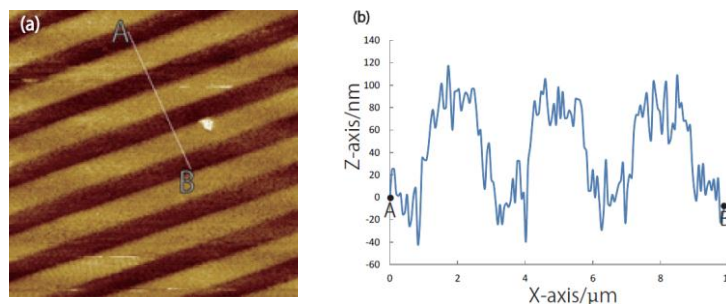


図 3 (a) 回折格子の表面形態像, 走査範囲: $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$, (b) 図(a)中の白線 A-B のラインプロファイル。