

13nm テーブルトップ光源を利用する ナノメートル解像度の撮像装置

走査電子顕微鏡、超解像度多光子顕微鏡、誘導放出制御顕微鏡、コヒーレント反ストークスラマン散乱顕微鏡などのナノスケールイメージング技術は、従来の共焦点顕微鏡と比べて、100nm以上の厚い試料の撮像が不可能、コントラストが相対的に低い、蛍光標識が必要、標識フリーだがほどほどの解像度利得しか得られない、といった欠点を持つ。それゆえに科学者や技術者は、常にこれらのナノメートルイメージング技術の改良に取り組んでいる。

軟X線コヒーレント回折イメージング(XCDI)は、高い空間分解能、元素と化学の特定性、さらには2ないし3次元の厚膜試料の画像さえ提供する相補的なナノスケール技術として登場した。しかし、イメージング光源として使用されているシンクロトロンとX線自由電子レーザー(XFEL)は高コストで複雑なため限られた研究所でしか利用できない。

最近、テーブルトップX線源が入手可能になり、全所要時間は80分と長いものの30~50nmの解像度でナノスケール画像を取得することができるようになった。しかし、コロラド大学ボル

ダー校JILA(宇宙物理学合同研究所)、SLAC国立加速器研究所、カリフォルニア大学バークレー校、コロラド州立大学、およびUCLA(カリフォルニア大学ロサンゼルス校)の研究チームは、13nmのテーブルトップX線源を使ってXCDI画像を劇的に変革し、25nm解像度のイメージングをたった30秒で達成した。

高調波発生

XCDIイメージングは、被写体をスペクトルバンド幅が比較的狭いコヒーレントな平面波面で照明し、散乱光をCCDで記録し、この散乱光回折パターンから繰り返し位相回復アルゴリズムを使って画像を再構成する。この照明光源は、超高速Ti:サファイアレーザ増幅器システムからのパルスエネルギー2mJ、繰り返し周波数2kHz、パルス幅25fsの780nmレーザパルスを長さ5cm、直径150 μ mのヘリウムが充填された中空導波路に集光させることによって生成された、コヒーレントなレーザ様の高調波13nm出力ビームである。目的の13nm出力とともに伝搬する駆動レーザ光をジルコニウムフィルタで除

去し、ハイブリッド入出力(HIO)位相回復アルゴリズムを使用してCCD回折パターンから試料像を構成する(図1)。

このXCDIイメージングシステムを使って、散乱光回折パターンを~0.36の開口数(NA)に相当する試料から3.6cmの位置で記録した。ナイフエッジ標準を使うことによって、30秒露光で得られたシェブロン型パターンの再構成画像の解像度は25nmと測定された。このイメージング技術はスケラブルであり、イメージング速度とサブ10nmレベルの解像度が、光子束を増し照明波長を短くすることによって達成された。

2Dイメージングを越えて、アンキログラフィーまたはトモグラフィアルゴリズムも3D画像形成に適用することができる。0.6のNAで、50~100nm厚みの窒化ケイ素膜上に加工された同一シェブロン型被写体を使い、3D実験再構成をアンキログラフィーの利用によって実現した。

JILAの博士号取得研究者であるダニエル・アダムズ氏は、「この技術は、10fsより良い時間分解能で3次元の超高解像度画像を生成する潜在能力を持っている。このツールはさらなる発展によってナノサイエンスに対して真の影響をもつようになり、さらにそのコンパクト性の利点も加わって大学規模の研究センターの重要なツールになるだろう」と語っている。

(Gail Overton)

参考文献

- (1) M.D. Seaberg et al., scheduled for November 2011 nonlinear optics focus issue, Opt. Exp.

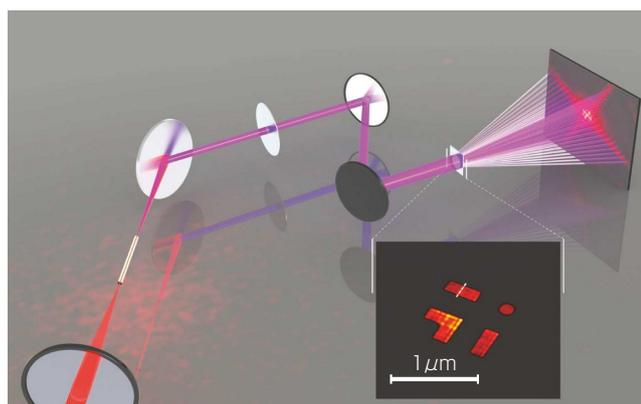


図1 テーブルトップ軟X線コヒーレント回折イメージングシステムでは、フェムト秒レーザパルスをガス充填導波路内に集光し、コヒーレントな13nmの高調波ビームを生成する。試料からの回折光によって生成された回折パターンはCCDカメラで捕らえられ、繰り返し位相回復アルゴリズムを使って1つの画像(挿入図)へと再構成された。(資料提供:JILA)