

理工系

X線ナノビームの形成と 高分解能X線顕微鏡の開発

大阪大学大学院工学研究科 教授 山内和人



研究の背景

新薬や新材料の開発現場では、物質や細胞などの微細構造の観察が欠かせません。そのため、電子顕微鏡、イオン顕微鏡、X線顕微鏡など、様々な顕微鏡が開発されています。その中でも、X線顕微鏡は、X線の物質への透過性が高いことから、物質内部の3次元構造や元素分布などが観察できます。しかし、他の顕微鏡がナノスケールの領域にビームを集中できるのに比べてX線顕微鏡ではこれができず、最先端のナノテクノロジー研究に必要な空間分解能が達成できていません。私たちはX線を10ナノメートル (nm) 以下の領域に集束する方法の開発に挑戦しています。

研究の成果

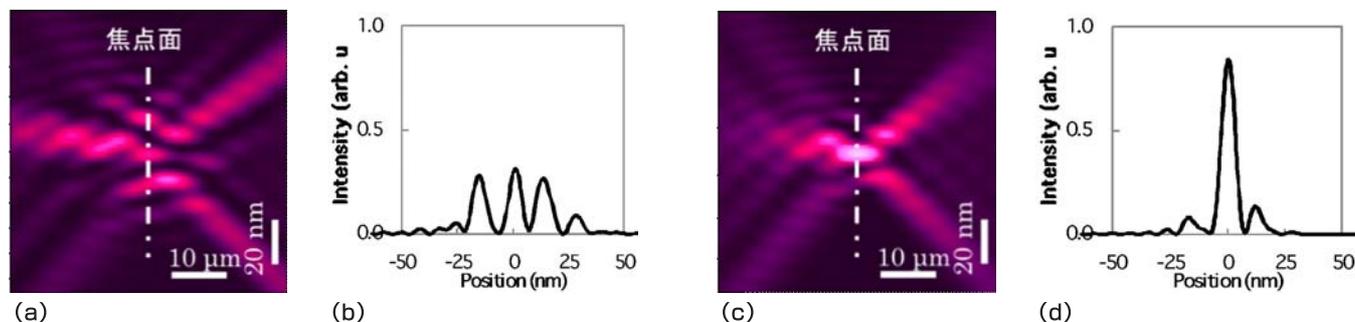
極限まで光を集めるためには、光を焦点に向かわせるだけでなく、焦点ですべての光の位相を合わせ、強め合い干渉の状態にすることが必要です。しかし、X線の波長は原子の大きさよりも短く、十分な精度でこのような光学系を組むことができませんでした。私たちは、原子単位の製造技術を駆使して、できる限り高い精度のX線集光鏡を作製しました。さらに、その鏡で反射したX線の位相を計測し、この位相の誤差を波長の1/10の精度で補正する補償光学系を開発しました。これによって、10nmを越えるサイズ

7nmのX線ビームの形成に世界で初めて成功しました。

集光鏡で反射したX線の位相は直接計測することができませんが、私たちは、計測することができる集光点近くの強度分布から、位相を波長の1/10の精度で決定する方法を確立しました。また、決定された位相の誤差を補償する光学系では、集光鏡の上流に設置され、1nmの精度で自由に変形する特殊な位相補正鏡を開発しました。この鏡は、変形量の1/100から1/1000だけ位相を進めたり遅らせたりすることができます。このような方法によって、補正された集光点近傍のX線強度分布を図に示します。補正前は焦点での強め合いの干渉が不十分であり、不要な領域に多くの光が散っていますが、補正後はこれが焦点に集まっていることが分かると思います。

今後の展望

この成果により、物質への透過性というX線の特徴を活かしたナノ精度の顕微鏡が実現します。生命科学を例にとれば、細胞一つのレントゲン写真が撮影できることとなります。新薬開発に必要な生体反応のナノスケールでの追跡などに応用していきたいと思っています。



(a) 位相補正前 (位相誤差が1/2波長程度ある)

(c) 位相補正後 (精度1/5波長まで補正した後)

図 位相補正前後の焦点面近傍の強度分布 (a) (c) と焦点面上のビームプロファイル (b) (d) の例 (シミュレーション結果)

関連する
科研費

平成18-22年度 特別推進研究 「硬X線Sub-10nmビーム形成と顕微鏡システムの構築」