強い集束ビームのナイフエッジ型プロファイリングに基板材料が影響

ナノオプティクス、プラズモニクス、顕微鏡で多く利用される強く集光されたレーザビームは非常に多くのビームプロファイリング法で解析できる。古典的な選択肢のひとつにナイフエッジ型ビームプロファイリングがある。この場合、非常に平坦な剃刀の刃のようなナイフブレードが、異なる軸位置の集光レーザビームの先細になったウエスト部分によりスライスされる。ブレードにブロックされないビーム部分の光強度がフォトダイオードによって記録され、測定しているビームの断層表示が蓄積される。

ナイフの寸法、つまりナイフが造られている材料の寸法と入力レーザビームの偏向と波長がすべて、ビームプロファイルが再構築される強度データの精度に影響することは以前から知られていたが、独マックス・プランク光科学研究所とフリードリヒ・アレクサンダー大エアランゲン・ニュルンベルクの研究者たちは、ナイフブレードが作製される基板材料も最終的なビームプロファイル結果に影響することを実験的に証明した[1]。

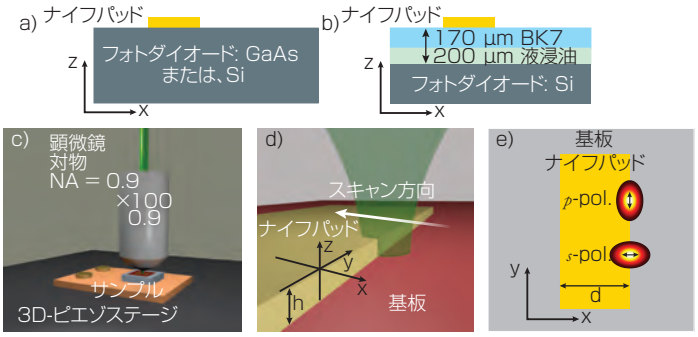

図1　ナイフエッジ型ビームプロファイリング実験に3つの異なる基板材料を使用。GaAsフォトダイオードまたはシリコンフォトダイオード(a)、BK-7ガラス+屈折率整合オイル+シリコンフォトダイオード(b)。ビームは、0.9開口対物レンズで集光(c)、基板またはフォトダイオード上のナイフは、偏向の影響を考慮に入れるために、2つの直交方向(e)でビームプロファイル(d)を通してスキャン(資料提供:マックス・プランク光科学研究所)。

材料の相互作用

研究対象の光ビームとナイフ自体との相互作用が、計測された強度曲線の位置、結果的には再構築されるビーム投影をゆがめてシフトさせる。主要な影響は、例えばテスト中のビームによる金属ナイフ材料のプラズモン励起が考えられる。

研究者は、様々な基板材料で、高さ130nmと70nmの金のナイフ構造を使用して多くの実験を考案した(**図1**)。圧電移動ステージ(ナノメートルの位置精度を持つ)が、3つの異なる基板上で、ビームを通るようにナイフ構造を移動させる。基板はガリウムヒ素(GaAs)フォトダイオード、シリコン(Si)フォトダイオード(120nm厚二酸化ケイ素保護層を持つ)、または170μm厚BK-7カバーガラスで構成。カバーガラスは、Siフォトダイオード上の液浸油200μmを覆う。0.9開口対物レンズを使って、直線偏向ガウシアンビームをナイフエッジと基板に集光する。

ビームプロファイルは、集束ビームスポットの主軸と短軸に沿って2つの偏光方向でスキャンされる。ビームプロファイルパラメータの波長依存性を理解するために、535～700nmの5つの異なる波長でも計測する。

実験の結果、再構築されたビームサイズの計測値は、異なる基板材料で相互に大きな違いがあることがデータから明らかになった。単純な数学的モデルを使用して研究者は、基板の違いによるこのようなビームプロファイルの変動理由を引き出すことができた。根本的に、ナイフエッジ型のプラズモン励起が、それを通した伝搬、その接点からの反射とともにテスト中のビームのプロファイルを歪める。上述のすべての効果は入力ビームの偏向、選択した材料およびいくつかの他のエッジとビームのパラメータによって決まる。

「われわれの研究で、ナイフエッジベースの再構築スキームから得られるビームプロファイル情報が、ナイフブレードを支持するために使用される基板材料に微妙に左右されることを明らかにすることができた。このパラメータは、これまで考慮されていなかった」とマックス・プランク光科学研究所博士課程大学院生、クリスチャン・フーバー氏は言う。「特に、われわれの研究は強く集束した光ビームと鋭い金属エッジとの相互作用についての理解も助ける」と同氏は付け加えている。

(Gail Overton)

参考文献

(1) C. Huber et al., Opt. Express, 24, 8, 8214-8227 (Apr. 18, 2016).

LFWJ