

AFM 探針のフェムト秒レーザー加工による フェムト秒レーザー誘起衝撃力の高感度検出

Highly sensitive detection of femtosecond laser impulse realized by femtosecond laser processing of AFM cantilever probe

奈良先端大物質 〇荒木崇志、安國良平、細川陽一郎

Div. Mat. Sci., NAIST 〇Takashi Araki, Ryohei Yasukuni, Yoichiroh Hosokawa

E-mail: hosokawa@ms.naist.jp

我々は、近赤外高強度フェムト秒レーザーパルスを顕微鏡下で水中に照射したときに発生する応力波、キャビテーションバブルを動物・植物細胞に衝撃力として作用させたときに実現する新規な細胞の加工・操作・計測方法を考案し、バイオ・医学分野の研究者と多くの共同研究を展開している。本手法における細胞制御の限界は、衝撃力検出の限界により制限される。これまで数十 μm の領域に作用する衝撃力を原子間力顕微鏡 (AFM) のカンチレバーを用いて検出することが限界であり、細胞に作用する力について、そのスケールにある単一細胞全体もしくは細胞-細胞間の作用の定量的な議論が限界であった。本研究では、AFM 探針をフェムト秒レーザープロセスにより加工し、AFM カンチレバーによる衝撃力の検出感度を最適化し、数 μm 程度の領域に作用する衝撃力を検出できるようになった結果について報告する。

AFM カンチレバーの加工は、チタンサファイアフェムト秒レーザー増幅器 (Solstice, Spectra-Physics) からのレーザーパルス (800 nm, 130 fs, 32 Hz) を、カンチレバー先端付近に対物レンズ (20x, NA: 0.46) により集光し、切断していくことにより行った。長さを調節したカンチレバーを顕微鏡システムに配置し、カンチレバーの先端から水平方向に 10 μm 、上方向に 20 μm 離れた位置に、フェムト秒レーザーパルスを集光照射し、水中で発生させた衝撃力をカンチレバーに作用させた。

Fig. 1 に示すように、カンチレバーの振動周波数は、カンチレバーの長さが短くなるとともに増加し、長さ 60 μm のカンチレバーは 100 μm のものよりも低いパルスエネルギー (<120 nJ/pulse) でも大きな振動が見られた。この結果は、カンチレバーの振動が、キャビテーションバブルの膨張と崩壊に伴う応力波の振動と共鳴したときに増強されることを示唆している。この検出感度の向上により、キャビテーションバブルの最大半径が 5 μm 以下で発生する衝撃力の検出が達成され、細胞内の力の作用の定量評価にも衝撃力が適用できる可能性が示された。

[1] Y. Hosokawa “(Invited Review) Applications of the femtosecond laser-induced impulse to cell research,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **58**, 110102 (2019).

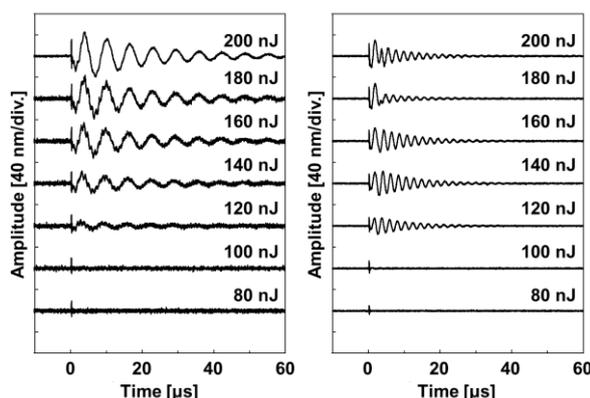


Fig. 1. Vibration of AFM cantilever induced by femtosecond laser impulse. The cantilever lengths in the left and right graphs are 100 μm and 60 μm , respectively. The laser focal point is 10 μm in horizontal direction and 20 μm in upward direction from the top of the cantilever.