

## 顕微鏡下で微小物体に作用するフェムト秒レーザー誘起衝撃力の計測のための AFM カンチレバーの最適化

### Optimization of AFM Cantilever for Measuring Femtosecond Laser-induced Impulsive Force on Micro-objects under Microscope

奈良先端大 物質 〇荒木 崇志、秋田 絵理、Tang Tao、Yalikus Yaxiaer、安國 良平、細川 陽一郎

Div. Mat. Sci., NAIST 〇Takashi Araki, Eri Akita, Tao Tang, Yaxiaer Yalikus, Ryohei Yasukuni, Yoichiroh Hosokawa

E-mail: [araki.takashi.am4@ms.naist.jp](mailto:araki.takashi.am4@ms.naist.jp)

顕微鏡下で赤外フェムト秒レーザーを水中に集光照射すると、キャビテーションバブルおよび応力波が生じる。この応力波は、衝撃力として集光点近傍にある微小物体に作用する。これまでに我々は、原子間力顕微鏡 (AFM) を用いた衝撃力計測システムを開発し、AFM カンチレバーによる衝撃力の直接計測によってその定量評価を可能とし、細胞間の接着強度を評価してきた[1]。本研究では、カンチレバーを最適化することで、計測システムにおける衝撃力の検出感度向上を目指すことを目的とし、衝撃力の作用による AFM カンチレバーの振動が、そのばね定数と形状に如何に依存するかを調べた。

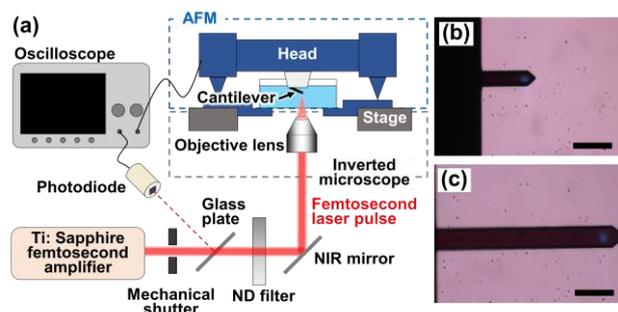
Fig.1 に、本研究で用いた実験系を示す。倒立顕微鏡のステージ上に AFM ヘッドを据え付け、チップレスの Si 製カンチレバーをヘッドに取り付け、水中に浸漬した。フェムト秒 Ti: Sapphire レーザー増幅器からのレーザーパルス (800 nm, 130 fs) を顕微鏡に導入し、メカニカルシャッターにより単発パルスを、対物レンズ (20x, N.A.: 0.46) を介してカンチレバーの先端近傍に集光照射した。四分割フォトダイオードにより検出される電圧差をオシロスコープで測定し、カンチレバー先端の変位を計測した。本研究では、ばね定数の異なるカンチレバー TL-NCH、TL-CONT (Fig.1 (b), (c)) を用いて計測を行った。ばね定数の実測値はそれぞれ 39.8、0.065 N/m である。

Fig.2 (a), (b) に、TL-NCH および TL-CONT におけるカンチレバー先端の変位の時間変化をそれぞれ示す。このときのカンチレバー先端とレーザー集光点の水平距離は 10  $\mu\text{m}$  であり、パルスエネルギーは 400 nJ/pulse である。Fig.2 のとおり、それぞれのカンチレバーに作用した衝撃力を、カンチレバーの減衰振動として検出できた。Fig.2 (c), (d) に、Fig.2 (a), (b) の振動を周波数分解した結果を示す。TL-NCH の振動には単一の周波数成分 (165 kHz)、TL-CONT には複数の周波数成分 (3.0、30.5、90、183、317 kHz) が含まれていた。これらの周波数成分は、水に浸漬された一般的な片持ち梁モデルにおける各振動モードの固有振動数の推定値とほぼ一致した。

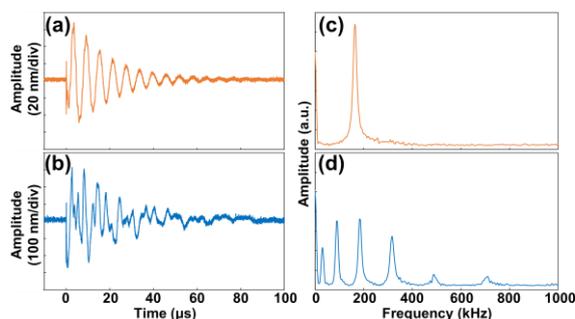
カンチレバーの振動は、キャビテーションバブルの膨張と収縮による押す力と引く力により誘導されると考えられる。400 nJ/pulse でのバブルの膨張と収縮の時間間隔は 10  $\mu\text{s}$  程度であり、TL-NCH では共振周波数 (約 100 kHz) に近い周期で振動が励起されている。一方 TL-CONT では、複数の共振周波数のうち、100 kHz に近い振動モードが他のモードよりも比較的多く含まれている。この結果より、閾値付近の微弱な衝撃力を検出するためには、バブルの生成と崩壊の時間間隔に対応する共振周波数を有するようにカンチレバーの共振周波数を調節することが重要であると推察し、その最適化についての検討を進める。

#### Reference

[1] T. Iino, P. L. Lin, W. Z. Wang, J. H. Deng, Y. C. Lu, F. J. Kao, and Y. Hosokawa, *Appl. Phys. A* **117**, 389–393 (2014).



**Fig.1** Schematic of impulsive force measurement system with an atomic force microscope. Experimental setup (a), CCD images of TL-NCH (b) and TL-CONT (c) cantilever. The scale bars are 100  $\mu\text{m}$ .



**Fig.2** Time-domain (a,b) and frequency-domain (c, d) spectra of bending movements on TL-NCH (a, c) and TL-CONT (b, d) cantilever.