3 次元マイクロステージの原理と応用

東京農工大学大学院　機械システム研究部門
安藤泰久

1．はじめに

MEMS（microelectromechanical systems）の研究が活発化し始めた 1990 年ごろは，マイクロ静電モータが注目を集めていた [1]。当時は学会に参加しても，プロジェクタはなかったので，MEMS が動いている様子は見ることができなかったが，国際会議の主催者が編集したビデオを観る機会があった。その中には，各国の研究機関で開発した静電モータが回転しているところが収録されており，静電モータのローターは滑り案内面で支持されていた。しかし，現在実用化されている MEMS では，動く部品は板ばねやねじりばねを使って弾性支持されている。

筆者は現在 MEMS 技術をトライボロジー計測に取り入れて研究を行っている [2]。本稿で取り上げる 3 次元マイクロステージも板ばねによって支持され，静電気力で駆動される [3,4]。このデバイスの特徴は，電圧制御により，ステージを基板に対して 3 次元方向に自由に位置決めできる点である。本稿では，静電アクチュエータの特性と MEMS の機構的な特徴，3 次元マイクロステージの構造，AFM（atomic force microscope）と組み合わせた際の特性，および光学デバイスへの応用可能性について述べる。

2．静電アクチュエータと MEMS

図 1 のように，面積 S の 2 枚の平板が距離 d で平行に配置され，電位差 V が与えられたとき，平板間の静電引力は次式で与えられる [5]。

$$F_{es} = \frac{\varepsilon S V^2}{2d^2} \qquad (1)$$

ここで，ε は空気中の誘電率である。平板 B がばねで支持され，$S = 100 \times 100\ \mu m^2$，初期間隔 $d_0 = 2\ \mu m$ の場合，電圧の増加に伴い静電引力は図の点線のように変化する。電圧が 200 V になったとき，平板 B は平板 A との間隔が 1.33 μm となる位置まで移動し，ここで静電引力とばねの弾性復元力が釣り合う。このとき，弾性復元力の傾きと静電引力の傾きが×印の位置で等しくなるため，このプルイン距離（$d_0/3$）をわずかに超えると，平板 B は平板 A に一気に接触する。

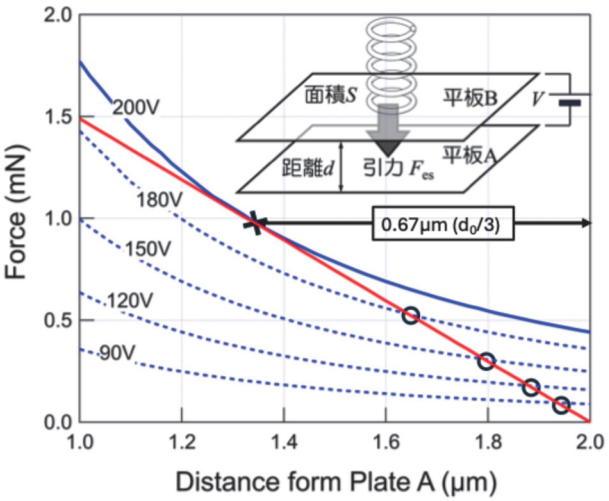

図 1　ばね支持された平板に作用する静電引力

図 2 の櫛歯型アクチュエータでは，電圧を増加させても電極間の距離が変わらないため，移動量を大きくとることができる。櫛歯の高さが h，櫛歯の間隔が g のとき，印加電圧 V と発生力の関係は次式で与えられる [5]。