

ナノトライボロジーのための共振ずり測定法による 摩擦力解析

(¹ 東北大多元研・² 東北大 WPI-AIMR)

○水上雅史¹・栗原和枝^{1,2}

【はじめに】 我々が開発してきた共振ずり測定法は、2つの表面間に閉じ込められた液体のせん断応答を共振カーブとして測定し、液体の構造化挙動、粘性・弾性、潤滑特性を、表面間距離を μm から接触まで連続的に変えながら評価できる。本法で得られる知見は、トライボロジーに対しても有用であるが、マクロな現象とつなげて議論するためには、測定中の摩擦力、摩擦条件の決定が必要である。本発表では、共振カーブの物理モデル解析で得られるパラメータから、せん断振幅・速度、摩擦力を決定する方法を、雲母表面間の液晶 (6CB, 4-cyano-4'-hexyl biphenyl) の測定結果を具体例として報告する。

【解析】 Fig.1 に共振ずり測定装置の模式図、Fig.2 にはずり測定物理モデルを示す。ピエゾにより Upper unit に加えられた力は、Sample を介して Lower unit に伝わる。このモデルを表す上下表面の運動方程式 (1), (2) の解析解により共振カーブを解析し、各パラメータを決定する。式(1), (2)から Upper unit, Sample, Lower unit で作用する力に分離して式(3)が得られる。摩擦力は(sample のせん断変形に必要な力)、式(3)の各項を解析により得られたパラメータを用いて計算することで決定した。ここで、せん断振幅、せん断速度は共振ピークでの上下表面の相対変位 $|x_1 - x_2|$ 、相対速度 $|v_1 - v_2|$ の最大値として決定した。

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k_1 \frac{x_1}{\alpha} + k_2(x_1 - x_2) + b_1 \frac{dx_1}{dt} + b_2 \frac{d}{dt}(x_1 - x_2) = F \exp(i\omega t) \quad (1)$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k_2(x_2 - x_1) + k_3 x_2 + b_2 \frac{d}{dt}(x_2 - x_1) + b_3 \frac{dx_2}{dt} = 0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k_1 \frac{x_1}{\alpha} + b_1 \frac{dx_1}{dt} - F \exp(i\omega t) &= -k_2(x_1 - x_2) - b_2 \frac{d}{dt}(x_1 - x_2) \\ &= m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k_3 x_2 + b_3 \frac{dx_2}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

【結果】 Table に、雲母表面間に 6CB を閉じ込めて測定した共振カーブ (雲母の結晶軸直交, ピエゾ入力電圧 U_{in} 10 V) の解析から得られた摩擦力、せん断振幅、せん断速度の表面間距離(D), 加重依存性を示す。加重 1.5 mN 以下の摩擦力 vs 加重の傾きから摩擦係数は 0.33 となり、既報の値(0.54)²⁾と同程度の値が得られた。

Ref. 1) M. Mizukami, K. Kurihara *Rev. Sci. Instrum.* **79**, 113705 (2008); **84**, 059902 (2003). 2) J. Janik, R. Tadmor, J. Klein, *Langmuir* **17**, 5476 (2001).

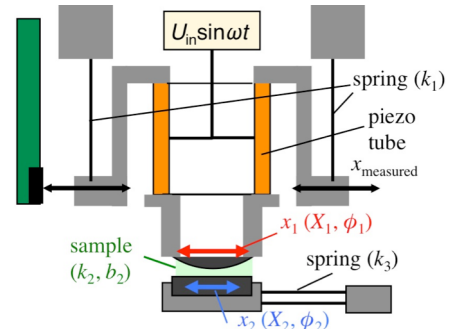


Fig.1 Schematic of resonance shear unit.

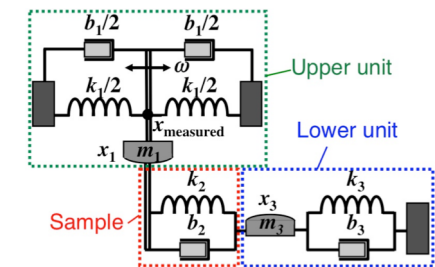


Fig.2 Physical model of resonance unit.

Table Friction, amplitude, velocity obtained from resonance data of 6CB.

D (nm)	Load (mN)	Amplitude (μm)	Velocity ($\mu\text{m/s}$)	Friction (mN)
29.2	0.002	1.199	266.6	0.017
8.2	0.01	0.698	155.2	0.022
3.4	0.20	0.062	26.3	0.105
2.4	1.48	0.067	36.3	0.526
2.4	5.3	0.057	30.9	0.957
2.4	13.0	0.042	23.1	1.363

Friction force analysis based on resonance shear measurement for nanotribology

M. MIZUKAMI, K. KURIHARA (IMRAM/WPI-AIMR, Tohoku Univ., surfasse@res.taegn.tohoku.ac.jp)

The resonance shear measurement (RSM) can investigate the structuring, rheological and tribological properties of confined liquids as a function of the surface separation from μm to zero with nm resolution. By analyzing the resonance curves using the physical model, the viscous and elastic parameters of confined liquid can be evaluated quantitatively. For the study on the tribology, the determination of the friction force (friction coefficient) is often required because it is the essential parameter in tribology and is the usually measured by the commonly used macroscopic tribometer. In this study, a procedure to estimate the friction force, the sliding amplitude, sliding velocity in the resonance shear measurement, especially at the peak frequency.