

1. 緒言

種々の摺動面間での膜厚は、例えば転がり軸受のEHL部に代表されるように、しばしばサブミクロンに達する。軸受を含む各種摺動面での安全な運転の確保には、このような薄膜の形成状態の把握が重要となるが、実際の摺動面材質、例えば鋼やアルミについて、摺動面の加工を施さずに計測した例はほとんど見当たらない。

本研究では超音波法による膜厚測定を試みており、これまでに μm オーダーでのピストンリング先端膜厚の測定が可能なることを明らかにしてきた^{1,2,3)}。例えば、図1に示す凸状のガラスと平板間の薄膜部に縦波の超音波が入射されると、薄膜部では音波の多重反射が生じ、膜厚に応じた反射エコーを形成するため超音波法での膜厚測定が可能になる⁴⁾。

ここでは、平滑な大半径の凸ガラスと平板を組み合わせ、点焦点型の高周波超音波探触子を使用することで、さらに薄いサブミクロンの膜厚測定を試みている。そして、両者の接触による固体接触部近傍での膜厚変化の把握の可能性を、Crコートされた凸ガラスを用いて検討している。

2. 実験装置

図1に、膜厚測定に用いたニュートンリング実験装置の模式図を示してある。超音波探触子には直径10mmのほぼ半球の凹面にPVDFをドーム型に貼り付けた、公称中心周波数50MHz、水中焦点径約0.1mmの水浸型探触子を用いた。

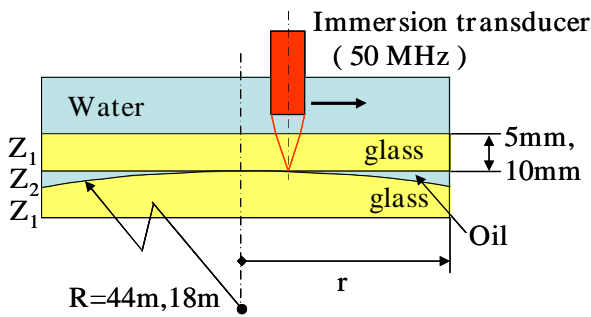


Fig.1 Main part of thickness measurement device

試験ガラスには、Crコートなし ($R=44\text{m}$, 厚さ10mm) と約50nmのCrコートを施した光学ガラス ($R=18\text{m}$, 厚さ5mm) の2種類を用いた。図2には、それらの表面粗さを示してあるが、Crコートなしでは約50nm、コーティングをしたものでは約20nmと滑らかである。

図3の実験装置に示すように凸ガラスと平板をセットし、その下部に設置した緑色のLED(波長は約520nm)を用い

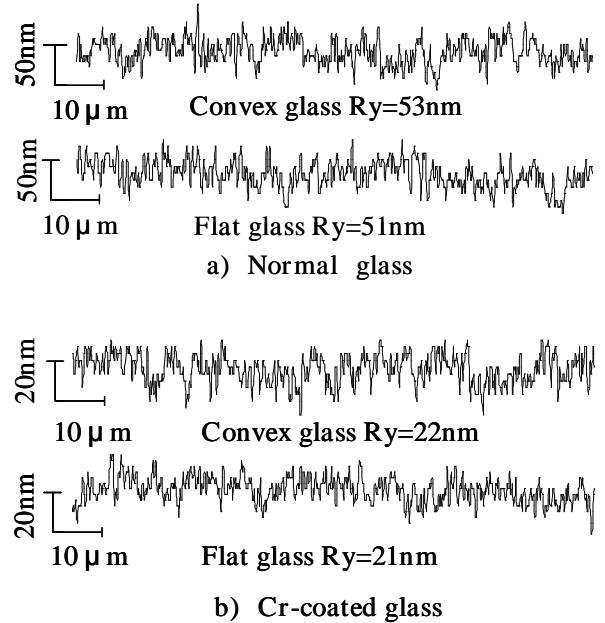


Fig.2 Roughness of Normal glass and Cr-coated glass

て、光干渉により膜厚測定を行なうと共に、前述の探触子による超音波膜厚測定を実施した。実験では、2面に油が介在する場合の界面からのエコー高さ h を、上部平板の裏面が乾燥した状態での反射エコー高さ h_0 で標準化した、エコー高さ比 $H=h/h_0$ で膜厚の推定を行なっている。

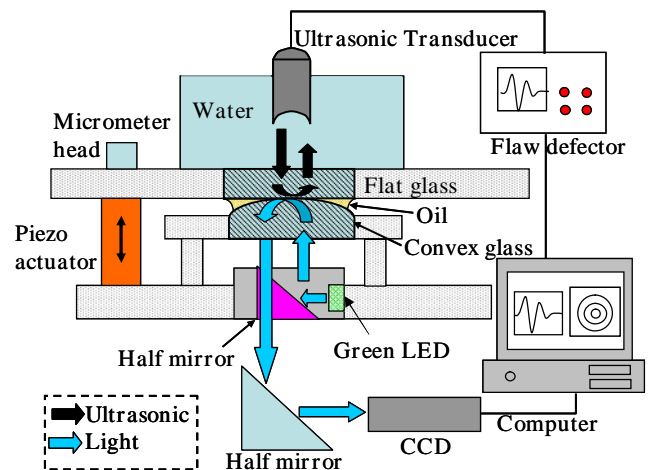


Fig.3 Schematic view of experimental apparatus

3. 非コートガラスでの膜厚測定

図4は、Crコートを施していない通常の光学ガラスを用いて測定した、ニュートンリング中心からの半径 r と膜厚 L の関係である。黒の実線は、凸ガラスの幾何形状から算定される膜厚であり、光干渉法

で測定された実際の膜厚とほぼ一致している．なお，計算での膜厚Lは，両ガラス板の表面粗さの影響（約50nm）を考慮したものである．

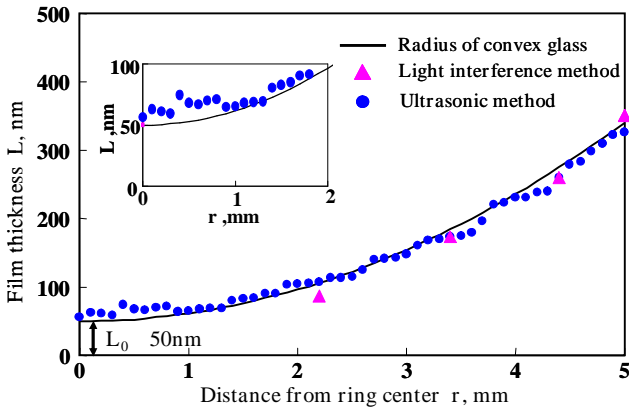


Fig.4 Film thickness measured with Normal convex glass

図中に示した超音波法での推定膜厚も，100nm以下の薄膜領域を含め，幾何形状から決まる膜厚とほぼ一致する．なお，エコー高さ比Hからの膜厚推定は下記の式により行なった．

$$L = \frac{1}{k_2} \tan^{-1} \left(\frac{4H^2}{(Z_{12} - Z_{21})^2 - H^2(Z_{12} + Z_{21})^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Z₁: ガラスの音響インピーダンス
Z₂: オイルの音響インピーダンス

Z₁₂ = Z₁/Z₂, Z₂₁ = Z₂/Z₁, k₂ = 2 / λ₂,
L: 膜厚, H: エコー高さ比, λ₂: 油中波長

4. Cr コートガラスでの膜厚測定

Crの薄膜（約50nm）をコートした場合には，図5のように，式（1）から求めた膜厚は，ニュートンリング中心付近ではある程度一致するものの，外側の部分では全く異なった挙動を示す．この要因はCrコート部での多重反射にあると思われるが，正確なコーティングの膜厚やそこでの物性が不明なため，ここでは言及しない．

Fig.5 Film thickness measured with Cr-coated convex glass (un-loaded)

このような場合であっても，同図中に示すようなエコー高さ比Hと膜厚の校正曲線を求めておけば，観測されるHから膜厚の推定ができるはずである．例えば，図6に示すようなHertz接触（接触荷重39N）時の膜厚推定では，上記校正曲線を用いて，固体接触部近傍での膜厚の推定が実際に可能であることが分かる．

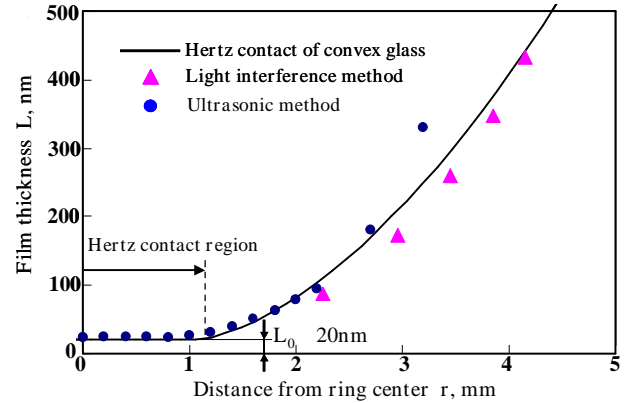


Fig.6 Film thickness measured with Cr-coated convex glass (Loaded)

以上の結果をまとめると図7のようになる．超音波法により推定された膜厚は，Crコートの有無に関わらず，測定または計算された膜厚とほぼ一致している．

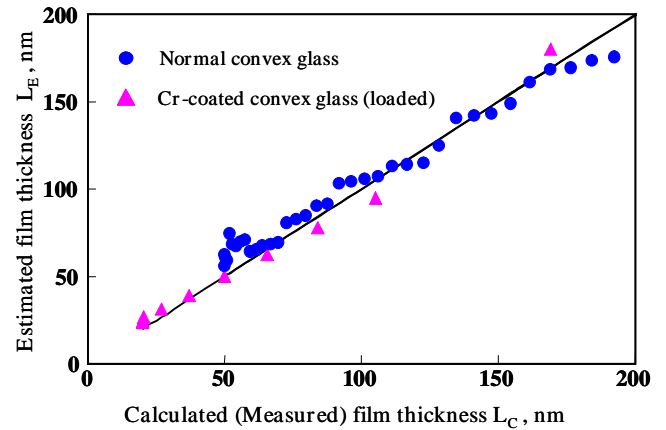


Fig.7 Comparison of real film thickness and estimated thickness

5. 結言

超音波法でのサブミクロンの膜厚測定を目的として，大半径の凸ガラスと平板間の膜厚測定を試みた．その結果，理論から直接に，または校正曲線を用いて，50nm以下の膜厚の測定ができる可能性が明らかになった．

