

圧子押し込みによる薄膜の弾性挙動の FEM 解析

表面物性研究室 牧 俊郎

T995078 Toshiro Maki

目的

薄膜の硬さや弾性率を測定する方法に押し込み試験がある。技術の進歩によってナノインデンテーションといわれる nm オーダーで制御できる試験機が開発され、より薄い膜の強度特性を評価することができるようになったが、未だその破壊のメカニズムは解明されておらず、その研究が進められている。本研究では、FEM シミュレーションを通じてナノインデンテーション試験における評価方法について考察する。

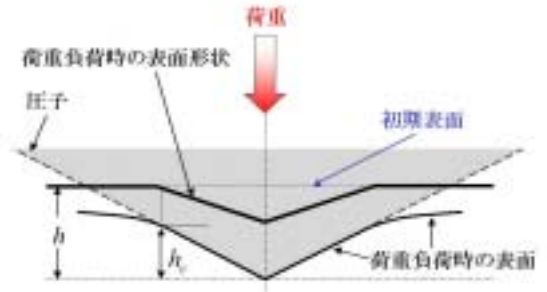


図 1 押し込み試験概念図

概要

底面を固定した膜厚 400nm の Cu 薄膜に円錐形ダイヤモンド圧子を 5nm 押し込んだときのシミュレーションを行った。FEM では解析を行うため対象を細かく要素分割して、その一つ一つを計算して全体の結果を得ることができる。したがって薄膜に対して微小な変形を解析するために、主に変形が起きると思われる周辺を微細に分割して解析を行った。図 2 は解析に用いたモデルで、対称性を考えて圧子を中心として 4 分割して解析を行った。周囲の部分が薄膜で、その中の小さい四角形部分 ($30 \times 30 \times 30 \text{ nm}^3$) を解析対象とした。

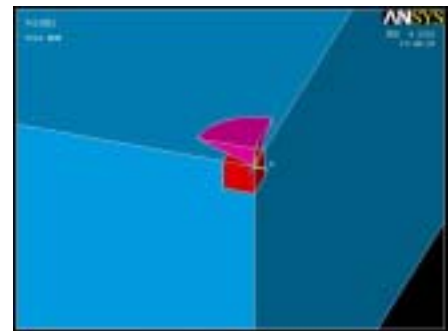


図 2 シミュレーションモデル

結果

図 3 は解析を実行した後の圧子先端周辺の薄膜内応力の状態を表したものである。このときの薄膜表面の Y 方向応力から圧子にかかる荷重を求め、負荷過程における押し込み深さと荷重の関係を表したものが図 4 の実線部分である。ただし薄膜を弾性体として解析を行った。そのため弾性変形を表す除荷曲線も同様であるとして、図中の式でスティッフネス S を計算し、結果を同図の点線として示す。 E はヤング率、 A は接触面積である。実際の測定結果と同様に最大荷重付近の傾きとほぼ一致するので、その評価方法の適合性が見られた。

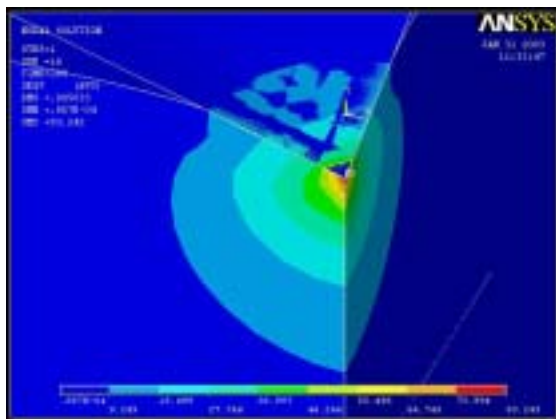


図 3 押し込み結果 (Mises 応力)

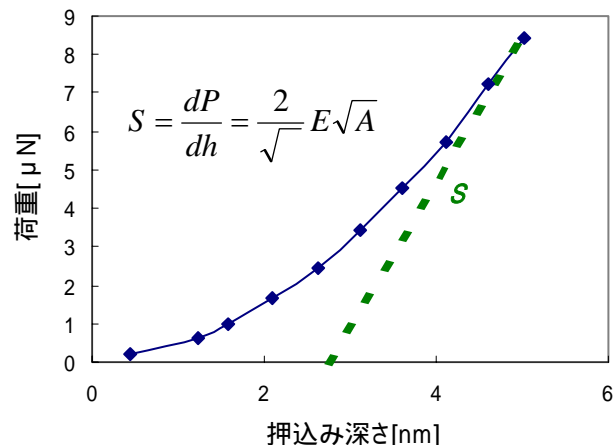


図 4 押し込み深さと荷重の関係