



Title: Weight functions for point-sharp nanoindentation to evaluate the mechanical properties of a film/coating on a substrate (先端の鋭い圧子を用いたナノインデンテーション法で基板上薄膜の力学特性を評価するための重み関数)

Authors: Takashi Akatsu, Hayato Inuzuka, Yutaka Shinoda, Fumihiko Wakai

(赤津 隆(東京工科大 片柳研究所 教授)、犬塚隼人(東工大 大学院生)、篠田 豊(宇部高専 准教授)、若井史博(東工大 名誉教授))

Journal: Results in Engineering 24 (2024) 103447

掲載年月: 2024 年 12 月

研究概要: 先端が鋭い圧子を用いたナノインデンテーション法において、基板上薄膜の力学特性を評価するための重み関数を、有限要素法シミュレーションを数値解析して導出することに成功しました。併せて、基板上薄膜の力学特性を評価するスキームを提案しました。それを活用することにより、基板上薄膜の力学特性をより正確に評価できることが期待されます。

研究背景: 近年開発される先進材料の多くは基板上薄膜の形態であることが多く、構造材料に限らず、電子デバイスのようなものであっても、信頼性を確保するには、正確に力学特性を評価することが求められています。ナノインデンテーション法は基板上薄膜の力学特性評価法として最も有力な方法ですが、既存の方法では、基板の存在によって大きく変化する表面変形の影響が無視されているため、正確性に問題がありました。

研究成果: 基板の存在によって大きく変化する表面変形が接触押し込み深さに与える影響を定量化する重み関数の導出に成功しました(図 1)。その接触押し込み深さの関数として、インデンテーション弾性パラメータの重み関数の導出に成功しました(図 2)。これらの成果を利用し、基板上薄膜の力学特性を評価するスキームを提案することができました。この成果は圧子圧入方向に対して垂直な界面を有する不均質材料にも適用することができます。

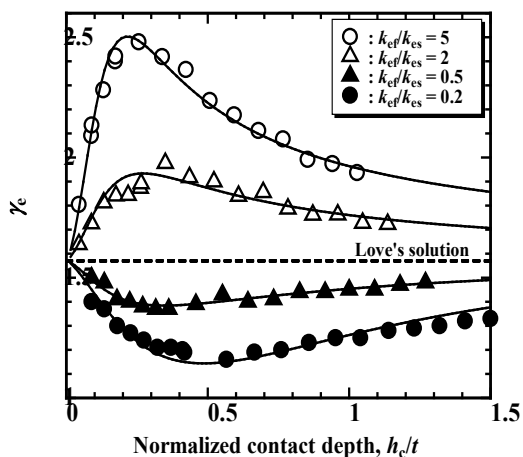


図 1 基板上薄膜に対するインデンテーションにおける表面変形 γ_e (\equiv 押し込み深さ)/(接触押し込み深さ)とその重み関数(実線)

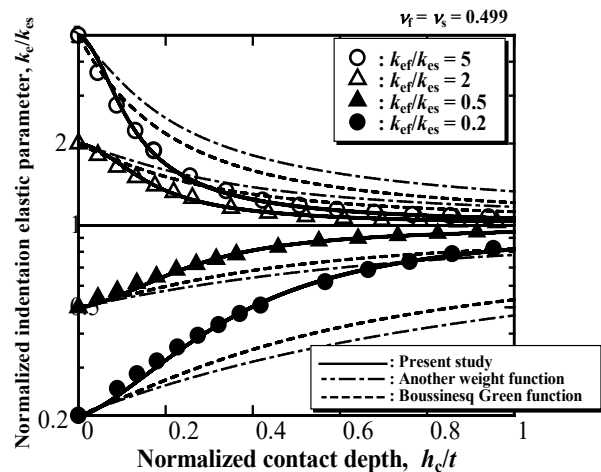


図 2 基板上薄膜に対するインデンテーションにおける規格化されたインデンテーション弾性パラメータとその重み関数(実線)。先行研究で提案された重み関数(一点鎖線)やグリーン関数(破線)よりも、本研究で導出した重み関数の方がシミュレーション結果(プロット)をよく再現する。

社会への影響: 力学特性の評価が困難な先進材料に対しても、ナノインデンテーション法によって力学特性を正確に把握することが可能となり、材料開発や材料選択にフィードバックすることができます。

専門用語：

ナノインデンテーション法：ある形状（例えば、球や円錐、円柱など）の圧子を材料表面に押し込み、その際の荷重 P と押し込み深さ h の関係を連続的に計測して得られる押し込み曲線（ $P-h$ 曲線）を解析することで、押し込んだ部分の力学特性を評価する方法。

接触押し込み深さ：圧子が試料表面に接している、実質的な押し込み深さ。

インデンテーション弾性パラメータ：圧子圧入に伴って生じる弾性変形の大きさを表す指標で、完全弾性体においては P/h^2 で与えられる。