

## 超微小硬度試験における薄膜の弾性変形のシミュレーション

薄膜・表面物性研究室 上野 輝明

T005009 Teruaki Ueno

## 目的

物体の硬さは、硬い圧子を一定の荷重で押し付けて、できた傷跡（塑性変形）の面積から求めるのが一般的である。最近ではナノメータ領域の力学的特性の評価が求められるようになり、極小荷重下での試験が可能で、超微小硬度試験が開発されてきた。この装置は、鋭さの保証されたダイヤモンド圧子を用い、 $\mu\text{N}$  の荷重を制御しながら、圧子の押し込み深さを  $\text{nm}$  の精度で測定できるので、nano-indentation あるいは DSI (depth sensing indentation) と呼ばれている。固体の塑性変形が物質によって多様であることに加えて、物体の極表面は厚さ方向に均質でないために、高性能な測定機があったとしてもデータの解析は容易ではない。さらに薄膜/基板系のように途中で物質が違えば、荷重に対して押し込み深さがどのように変化するか予想するのが難しい。本研究では、有限要素法(FEM)を用いて、圧子の押し込み過程をシミュレーションすることを試みた。

## 計算モデル

市販のソフトウェア ANSYS を用いて解析した。物体としては、縦、横： $2\mu\text{m}$ 、厚さ： $0.4\mu\text{m}$  の正方体、弾性率は Cu の値（ヤング率： $132\text{ N}/(\mu\text{m})^2$ 、ポアソン比： $0.343$ ）を用いた。計算を簡単にするために、実際の三角錐圧子の代わりに、半径  $0.056\mu\text{m}$ 、高さ  $0.02\mu\text{m}$  の円錐（剛体）を押し付けることにした。このとき、物体は4分割され、圧子はその角に垂直に押し込まれた。物体の底面は拘束固定され、また、押し込み軸を通る平面に関して鏡面对称の条件を課した。

## 結果

応力としては von Mises の相当応力（金属などではこの値が臨界値を超えると塑性変形が始まるとされる）を計算した。昨年結果 [1] に比べて、物体の対称境界条件を変えて実行したが、比較的再現性のある応力場が得られた。本来、メッシュ設定などに関しては左右の面は同等であるが、計算結果の応力場は必ずしも同じになっていないのは、今後検討を要する課題である。

## 参考文献

[1] 牧 俊郎 2002 年度卒業論文

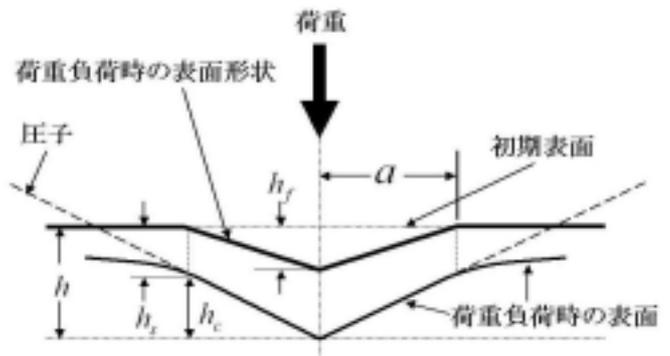


図1 DSI の原理

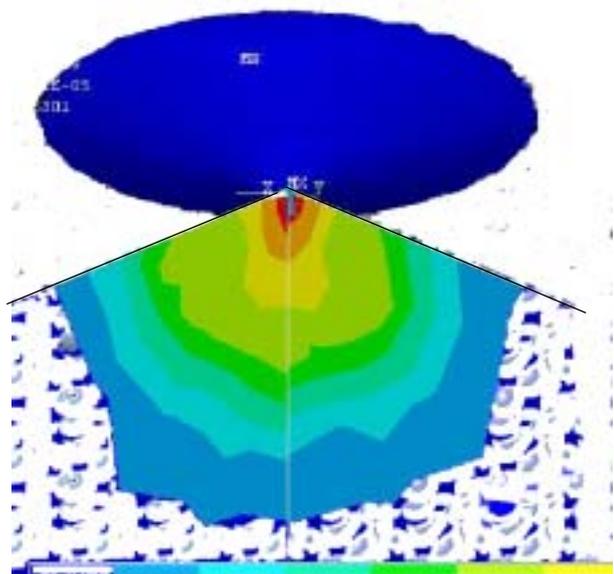


図2 正面体の角に円錐圧子を押し込み、斜め下から眺めた図