

9. 計装化押し込み硬さ試験による材料特性評価理論（その6）

“Indentation Size Effects in Crystalline materials: A Law for Strain Gradient Plasticity”, W. D. Nix and H. Gao, J. Mech. Phys. Solids, 46(3) (1998) 411-425

9.1 要約

- 結晶性材料において観察される「押し込み寸法効果(Indentation Size Effect, ISE)」について、「幾何学的に必要な転位(Geometrically Necessary Dislocation, GN 転位)」の概念を用いて理解できることを示した

9.2 「GN 転位」とは？

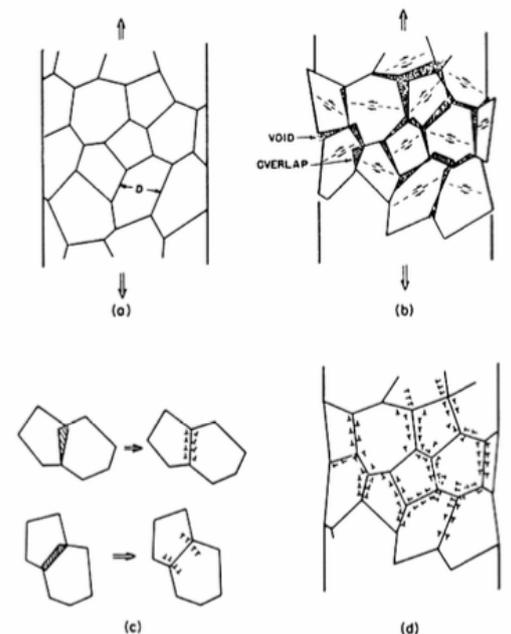
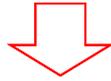


図 9.1 GN 転位の概念

9.2(続き)



●この不連続性を解消するため：

9.3 本論文におけるモデル

●焼きなまし済(111)単結晶銅および冷間加工済多結晶銅に対する押し込み試験結果 (バーコビッチ圧子)

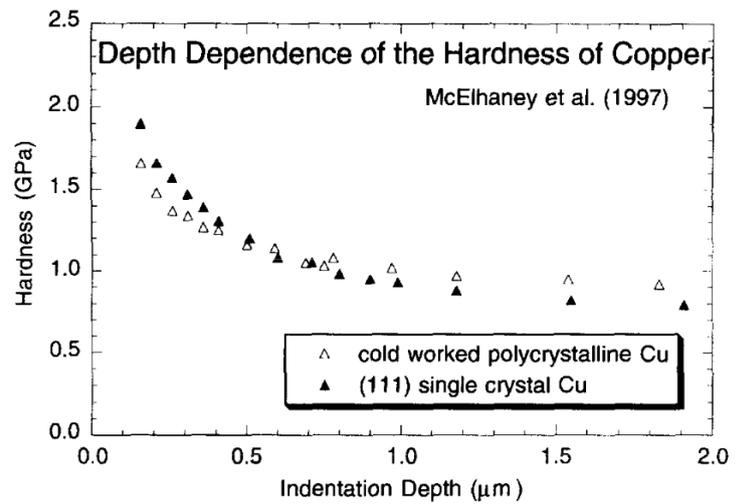


図 9.2 押し込み寸法効果

●GN 転位を用いて ISE を記述するためのモデル

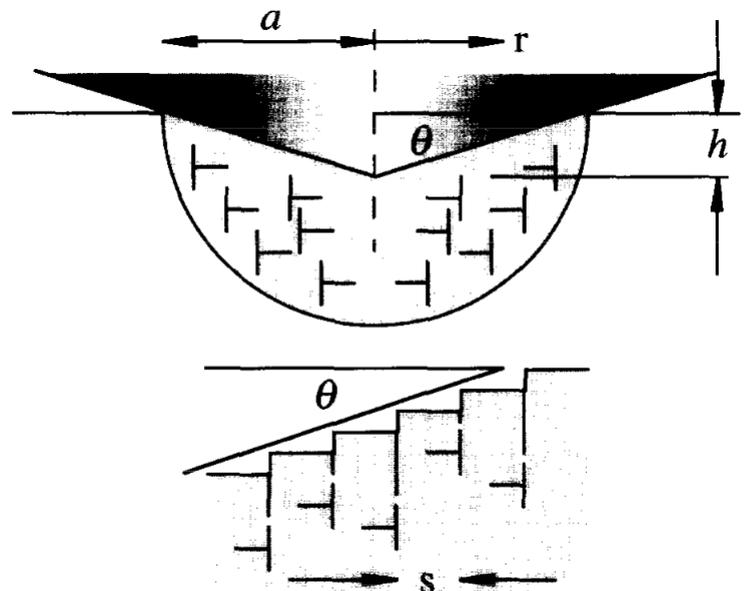


図 9.3 押し込みによる GN 転位形成モデル

9.3(続き)

・もし個々の転位ループが表面に沿って等間隔 S で存在していると仮定

・塑性変形領域内の全 GN 転位長さ: λ

・塑性変形領域: 接触半径 a で定義される半球の体積 $V =$

・GN 転位密度 $\rho_G =$

・せん断応力 τ と転位密度の関係(ベイリーハーシュの関係):

・垂直応力とせん断応力の関係(von Mises の関係):

・硬さと垂直応力(引張強さ)の実験的關係:

●式(5)~(8)より次式(9)が求まる

ここで

9.4 試験結果との比較

● 図 9.2 のデータを式(9)の形式に従い $(H/H_0)^2$ と $1/h$ の関係としてプロットすると直線
 が得られる

→

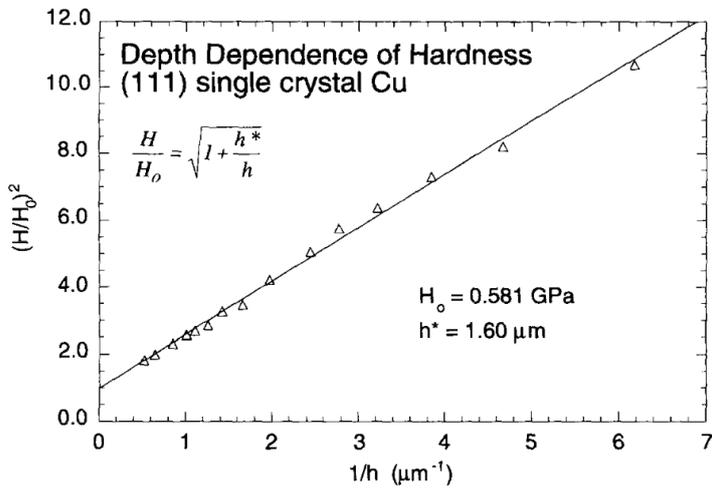


図 9.4 式(9)の適用[(111)単結晶銅]

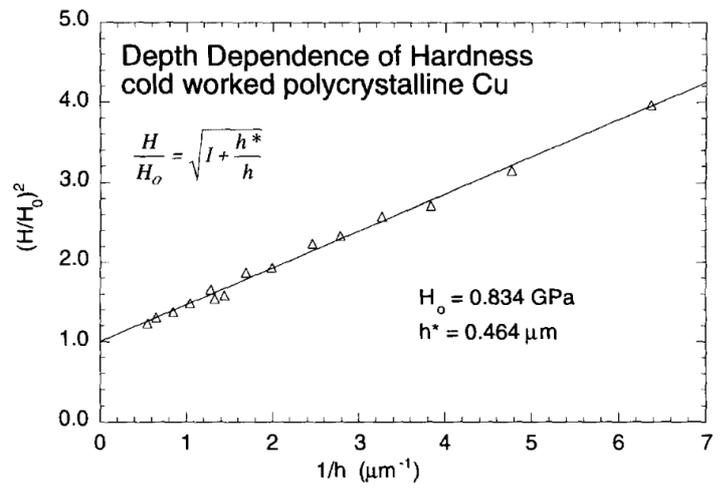


図 9.5 式(9)の適用[冷間加工多結晶銅]

→

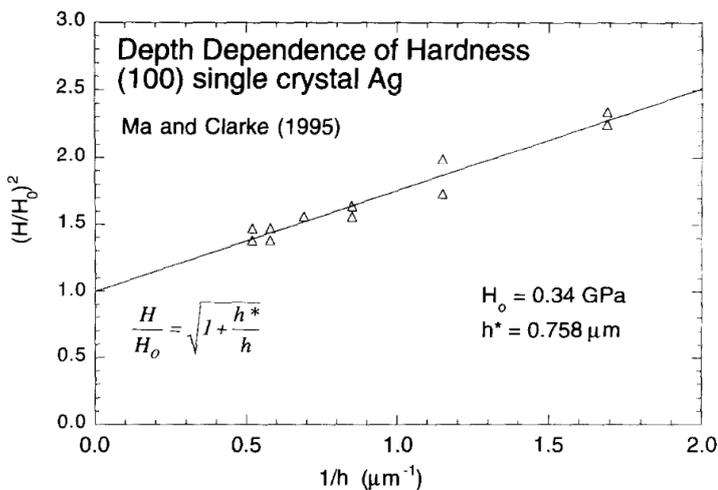


図 9.6 式(9)の適用[他者, (100)単結晶銀]

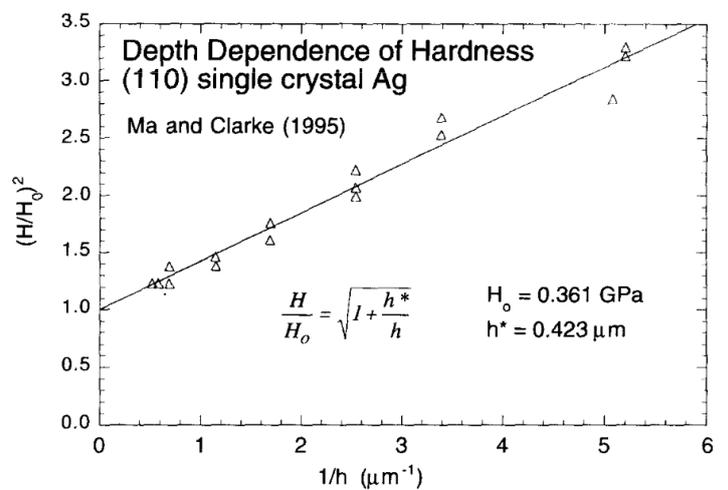


図 9.7 式(9)の適用[他者, (110)単結晶銀]

9.4 (続き)

●このモデルにおける H_0 と h^* は式(11)により関連づけられる

→

・本論文の押し込み試験の使用圧子(バーコビッチ圧子)の相当接触面積:

・式(1)と(12)から:

・式(11)に式(13)および既知の値を代入→ h^* の予測値を算出

表 9.1 h^* の測定値と予測値

Material	H_0 (GPa)	h^* (μm)	μ (GPa)	b (nm)	α	h (predicted) (μm)
(111) single crystal Cu (annealed)	0.581	1.60	42	0.256	0.5	1.73
Polycrystalline Cu (cold worked)	0.834	0.464	42	0.256	0.5	0.840
(100) single crystal Ag**	0.340	0.757	26.4	0.286	0.5	2.23
(110) single crystal Ag**	0.361	0.432	26.4	0.286	0.5	1.98

** Ma and Clarke (1995).

・

→

● H_0 が高い材料(材料の本質的硬さが高い)の場合:

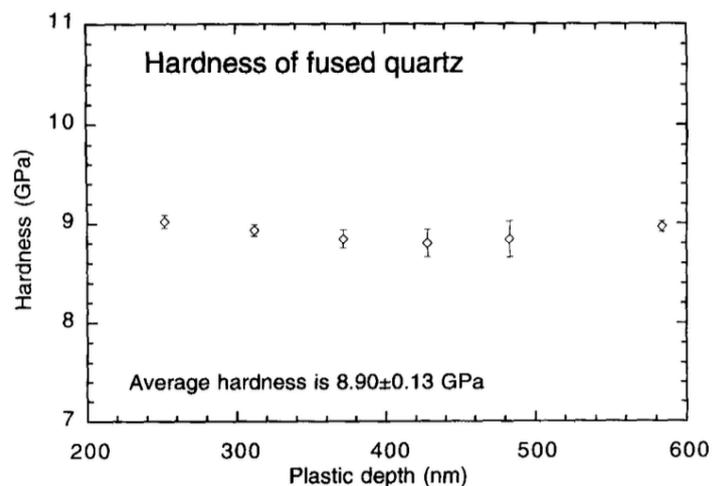


図 9.8 熔融石英の硬さにおける押し込み寸法依存性