9. 計装化押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？

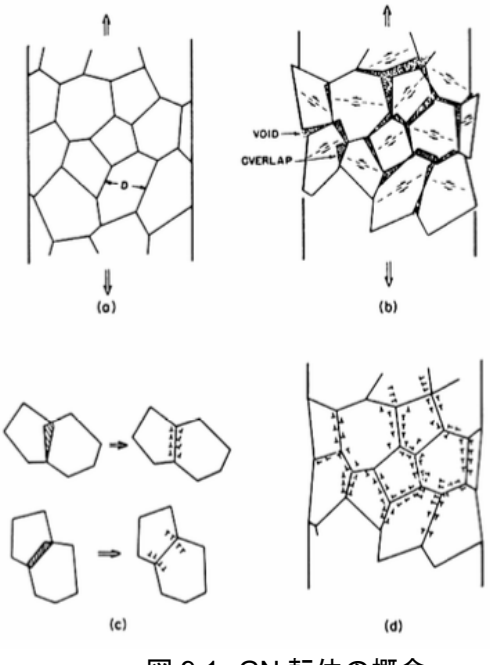

図 9.1 GN 転位の概念

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込み試験結果（バーコビッチ圧子）

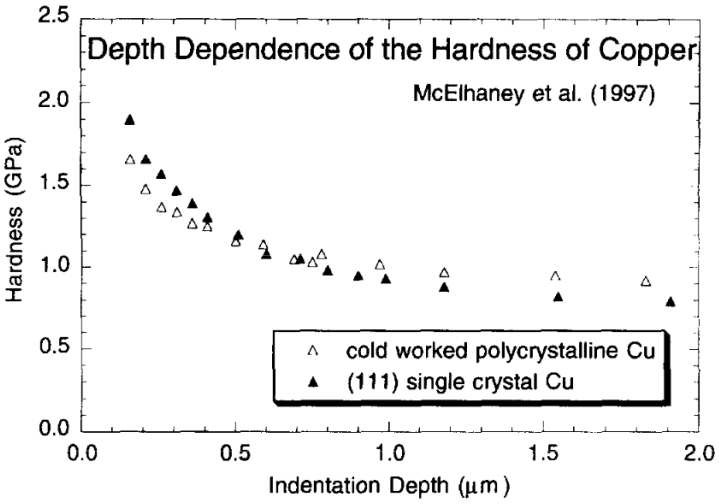

図 9.2 押込み寸法効果

▪

→

→

●GN 転位を用いて ISE を記述するためのモデル

▪

▪

▪

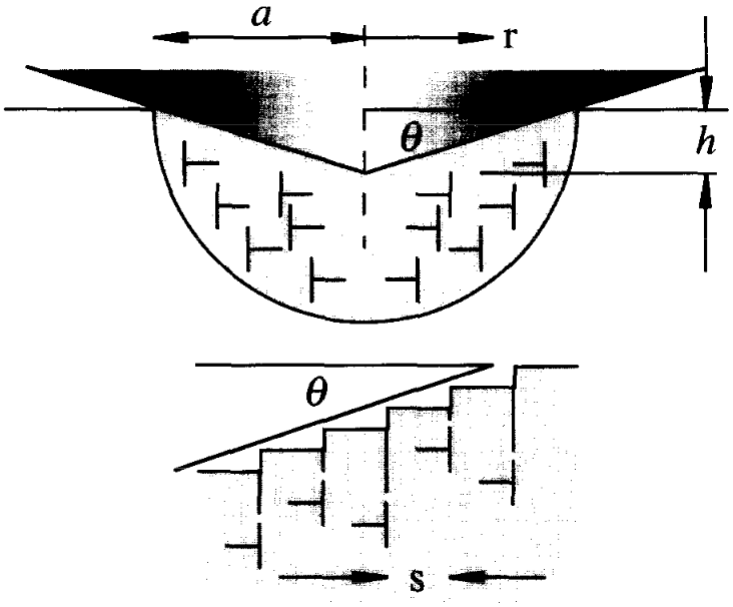

図 9.3 押込みによる GN 転位形成モデル

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 ρ_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）の実験的関係:

●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

→

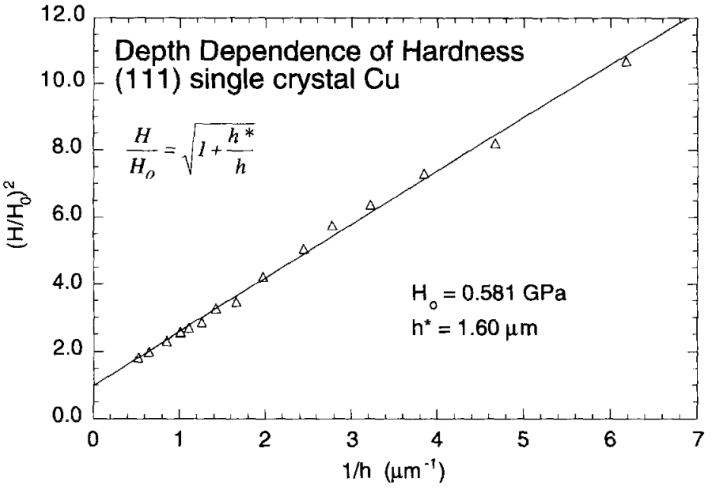

図 9.4 式(9)の適用[(111)単結晶銅]

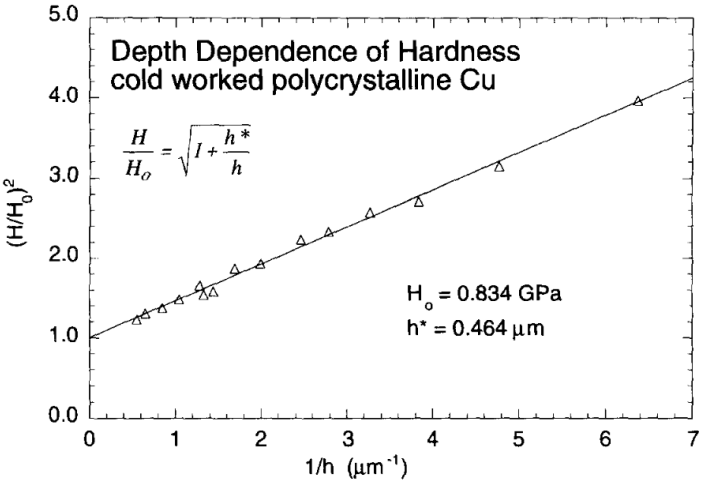

図 9.5 式(9)の適用[冷間加工多結晶銅]

▪

→

▪

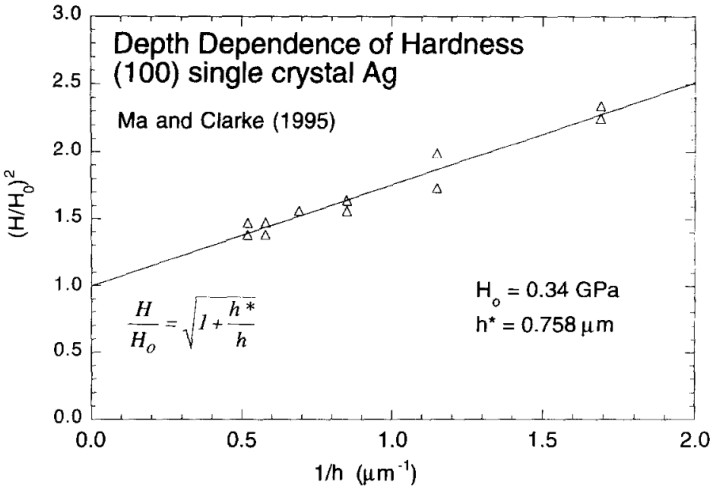

図 9.6 式(9)の適用[他者, (100)単結晶銀]

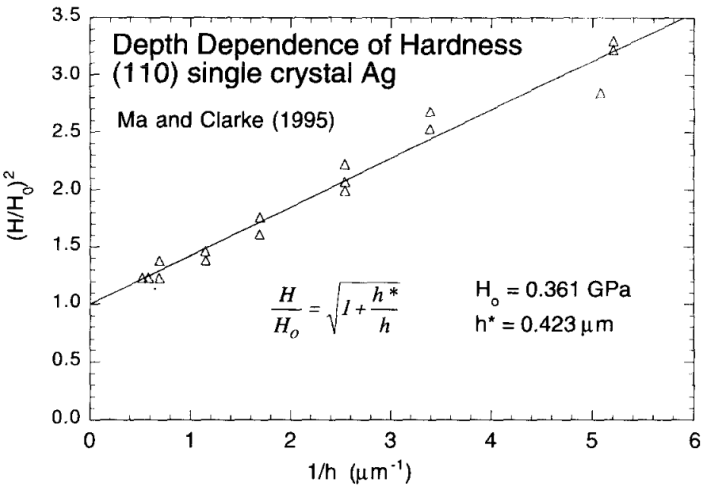

図 9.7 式(9)の適用[他者, (110)単結晶銀]

▪

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：

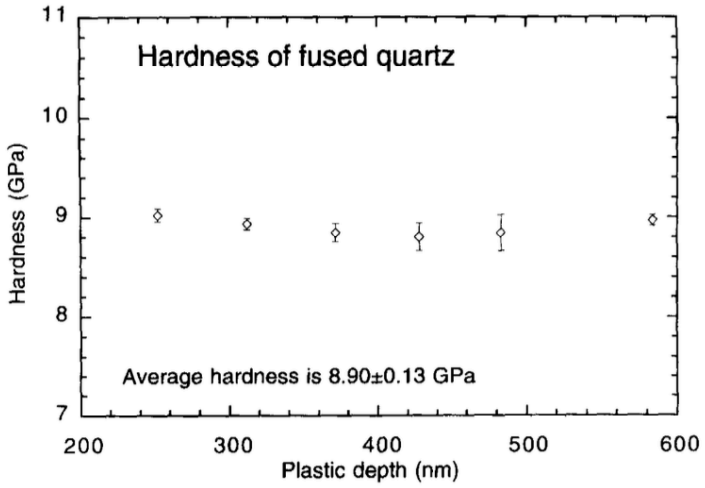

図 9.8 溶融石英の硬さにおける押込み寸法依存性