



Title	Size Dependent Plastic Deformations of Single Crystalline, Bi-crystalline, and Amorphous Finite Micro-pillars
Author(s)	Pan, Bo
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/59593
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (潘 渤 (Bo Pan))	
Title	Size Dependent Plastic Deformations of Single Crystalline, Bi-crystalline, and Amorphous Finite Micro-pillars (サイズ依存性を持つ単結晶, 双結晶, アモルファスマイクロピラーの塑性変形挙動)
Abstract of Thesis The objective of this dissertation is to have an insight into the size dependent plasticity of the crystalline materials and amorphous materials. The intrinsic defect scales, external geometrical scales, interaction of grain boundary (GB) and defects and “flow defects” have been investigated to understand the physics of the deformation mechanism. The main tasks of this dissertation are (i) to study the relationship among the size dependent yielding (surface), defects and surface in pure single crystalline micro-pillars; (ii) to develop the dislocation-nature-base plasticity to describe the plastic deformation of single-crystalline and bi-crystalline micro-pillars, and study the deformation inside the pillars and near the GB; (iii) to summarize the size effect of crystalline material and amorphous material, preform the temperature-based constitution to study the plastic deformation without classical dislocations motion. First, the experiments for micro-scaled samples are introduced, including the detailed experimental procedures employed in this dissertation, and experimental results of single-crystalline (SC), bi-crystalline (BC), and metallic glass (MG) micro-pillars by uniaxial compression test with a flat punch. The experimental data presents strong size dependent mechanical response of SC micro-pillars (SCMs) and BC micro-pillars (BCMs), interplay of grain boundary effect and strain-stress response of BCMs, and size dependent plastic response of MG micro-pillars. It provides the basis of study on the physics and mechanics of these phenomenon in the following parts of the dissertation. Based on the experiments, the physical model considering dislocations pile-up, source starvation, and surface energy is established to explain the size dependent yielding. The size dependent crystalline yield surface is provided in order to understand the size effect well. Our proposed models agree better than the original single arm source (SAS) model with the experimental data. That means that the size effect is mainly dominated by the inner defects evolution and surface energy/stress. And then, a dislocation-based constitution is provided by combining the dislocation physics with the crystal plasticity to describe the plastic flow of single-crystalline and bi-crystalline micro-pillars. It is shown that size-dependent dislocation evolution is related to the hardening modulus of the micro pillars, and this makes the stress-strain response vary with the micro pillar size. Grain boundary effect on the slip deformation is studied from simulations. The GB in BCMs can inhibit the dislocation transfer across the each grains, and dislocations pile up after the GB and slip along the GB on the maximum Schmid factor slip planes of the each sides of the bi-crystalline micro pillar. Finally, the size dependence of yielding in metallic glass is examined based on the experimental results. The size effect of crystalline materials and amorphous materials is summarized and compared. The size dependent strength of MG micro-pillars different from that of crystalline materials results from different physics: the truncated sources interplay the dislocations motion and source activation, and the small volume forms the starvation of dislocations in the crystalline micro-pillars; but in the MG micro-pillars, the “flow defects” in the globally homogeneous form or inhomogeneous shear localization affects the propagation energy of shear bands, which results in the size dependent strength. The constitution based on free volume theory is provided to study the plastic deformation of metallic glasses. The plastic deformation of MG specimens is related to the size, temperature and strain rate.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Bo Pan)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教 授	澁谷 陽二
	副 査	教 授	近藤 勝義
	副 査	教 授	中谷 彰宏
	副 査	准教授	平方 寛之

論文審査の結果の要旨

本論文は、対象とする固体の領域が微小になり、材料内部の欠陥の振る舞いが通常バルクと大きく異なることによって生じる塑性変形のサイズ効果についてまとめた内容である。まず結晶性材料について、直径が数マイクロメートル程度のマイクロピラー型の試験片を用いた圧縮試験を実験的にを行い、その応力-ひずみ関係から抽出されるサイズ効果を、転位論をベースにした物理モデルとして提案した。特に、転位間相互作用をこの物理モデルに新たに導入し、それによる応力集中や背応力の影響がサイズ効果に及ぼす影響を数理的に明らかにした。また、結晶性材料のみならず、非晶性材料のマイクロメートルサイズのピラー型圧縮試験も行い、結晶性・非晶性問わず対象となる領域が矮小になると、サイズに依存した塑性変形挙動を示すことが明らかになった。本論文は、このようなバルクとは異なる欠陥生成と発展挙動に基づくサイズ効果に着目してまとめたもので、以下の6章で構成されている。

第1章では、塑性変形におけるサイズ効果の従来の知見が整理されており、その中で本論文の位置付けと目的が明らかにされている。

第2章では、結晶性材料の単結晶、双結晶のマイクロピラー、そしてZr基金属ガラスを用いた非晶性材料のマイクロピラーの作成方法と実験手法が記述され、その一連の結果が整理されている。結晶性材料では10マイクロメートル程度からサイズを小さくするとバルクより降伏点が上昇しはじめ、1マイクロメートル程度までの領域で転位の運動様式の変化が示唆された。非晶性材料においては、サイズを矮小にしていくことで、ピラー全体に生じる単一のせん断帯から観察が困難であるが微小な多重せん断帯によると推定される一様変形への遷移を明らかにしている。

第3章、4章では、転位の堆積効果を新たに取り入れた物理モデルを提案し、それに基づいた構成関係式を提案した。統計的な転位長さと初期転位密度、そして転位の堆積による応力集中や背応力の効果、さらには表面エネルギーの効果を取り入れた新たなモデルとなっている。その関係式を多軸応力に展開した構成式として従来の結晶塑性弾塑性有限要素モデルに組み込み、単結晶及び双結晶の圧縮変形を弾塑性解析した。その結果、単結晶では最大のシュミット因子のすべり系で塑性変形が律されるが、圧子とピラー表面の摩擦に大きく影響を受けることを明らかにし、双結晶では実験結果との相互比較から作動したすべり系を同定した。

第5章では、非晶性材料の構成式モデルを用いて、ピラーの応答を模擬した構成式パラメータの同定とともに、常温と高温での弾塑性有限要素解析を行い、自由体積に代表される欠陥の生成と発展を明らかにした。

これら一連の成果を、第6章では結言としてまとめている。

以上のように、本論文は塑性変形におけるサイズ効果を新たな転位の物理モデルから構成関係を提案し、それに基づく弾塑性有限要素解析と実験との比較検討から、塑性変形におけるサイズ効果に関する重要な知見を得ている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。