

報告番号

※

甲第

1566号

主論文の要旨

題名 Deformation and Behaviour of Dislocations
in Silicon Crystals

(シリコン結晶の変形と転位挙動)

氏名 西野 洋一

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲第	号	氏名	西野 洋一
------	-----	---	----	-------

第2章では、シリコン結晶を高温(800-1000°C)で引張変形し、応力ひずみ特性を調べると同時に、いろいろなひずみまで変形した結晶中の転位配列を超高圧電子顕微鏡(HVEM)により観察した結果について述べた。変形温度が高くなるほど、応力ひずみ曲線は同様の形状を保ちつつも、全体的に変形応力が低くなる方向に変化し、いずれの温度でも、非常に鋭い降伏点現象が観察された。また、電子顕微鏡観察の結果、(1)降伏点では、長さ数十ミクロンの主軸(正負の刃状転位の対)やマルチポール配列、(2)ステージI(溶II(加工硬化領域)では、複雑な転位のネットワークが、主として認められた。すなわち、Peierlsポテンシャルが非常に高いにも関わらず、高温で塑性変形させた場合、fcc金属と非常に類似した転位配列になることが分かった。ウィーバー・ビーム高分解能電子顕微鏡による観察によっても、熱処理していない結晶中には析出物がないこと、引張変形におけるおける異常に高い降伏力は、CZ結晶中の成長転位が酸素原子によって固着されていると考えられる。

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

西野 洋一

第3章では、X線トポグラフィにより、転位の発生、増殖過程をその場観察するために、新たに開発した高温変形装置の概略と特徴について述べた。この変形装置を超強力X線発生装置(90kW級)のトポグラフィゴニオメータ上に設置することにより、高温で引張変形を行いつつながら、厚さ1mm程度の結晶中における転位運動の様子を、テレビ画面上の像として連続的に観察することができた。変形装置の主な機能的特徴としては、(1)一定の変形速度で、一軸性を保ちながら、なめらかに引張変形を行えること、(2)広い範囲(この場合、直径45mm)を観察できること、(3)観察と同時に、荷重-伸び曲線を検出できること、(4)高真空、あるいは任意のガス雰囲気中で最高1100℃まで加熱できること、などである。

第4章では、高温焼鈍中における転位運動をX線トポグラフィによりその場観察し、観察結果に基づいて、転位に働く摩擦力(Peierls力に相当)を新しい方法で測定した。800℃程度の温度で変形したままの状態においては、Peierlsポテンシャルが高いために、転位線は、Peierlsポテンシャルの谷に陥って横たわっており、弾性的な平衡位置には存在していない。このような転位をより高温で焼鈍すると、高温においてはPeierlsポテンシャルにより摩擦力が低下するため、弾性的な平衡位置へと

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

西野洋一

位する。焼鈍中に観察された、(1)同一符号の平行ならせん転位同士の間隔の温度依存性、(2)半六角形状変位の転位ループの頂点に相当する部分の形状変化から、これらの転位に働く摩擦力(10^4 N/m^2 程度の応力レベル)を900-1000℃の温度範囲内で求めた。この摩擦力の温度依存性から、転位運動の活性化エネルギーとして、らせん転位の場合、2.4 eV、60°転位の場合、2.2 eVが求められた。なお、この他、焼鈍中に、(3)表面に交わる転位が、表面に垂直になってくる様子、(4)2つの平行でないすべり面上にある転位間で引き合うことによる合体现象も直接観察された。

第5章では、熱処理により、人為的に析出物を発生させた結晶の変形挙動をX線トポグラフィによりその場観察し、析出物からの転位の発生、伝播過程を調べた。大きな析出物では、それと交差しているいくつかのすべり面上で転位が発生した。このような転位ループは、直線的な形状を保ちながら、60°転位の場合、たとえば800℃、 4.4 MN/m^2 のせん断応力下において、 $1.2 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ の速度ですべり運動するところが観察された。一方、析出物の寸法が小さくなるほど、転位を発生、伝播させるために高い応力を負荷する必要がある。さらに小さい析出物の場合には、それがまた、

主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	西野洋一
------	-----	---	----	------

運動転位に対して障害物になることもあった。しかし、普通のバルフ結晶の引張試験のようには、高い応力レベルまで負荷されるときは、結晶中に乱雑に分布している、より小さな析出物のところでも塑性変形が始まり、結局、マクロ的には結晶全体として均一に変形する。そのため、降伏応力も低下してしまうものと考えられる。

第6章では、試料平行部に切欠をつけた試料の変形挙動をX線トポグラフィによりその場観察し、転位の発生に対する切欠効果を調べた。変形前に、切欠近傍の加工ひずみを化学的に除去した試料を負荷すると、まず、切欠先端に lobe patterns 状のひずみコントラストが現われた。さらに、一定応力(弾性-塑性遷移応力: たとえば、 700°C で $20\text{MN}/\text{m}^2$) 以上負荷すると、切欠先端で転位が発生し、変形とともに、この塑性域がノック前方に伝播していくところが連続的に観察された。このとき、引張軸に平行な面上で、Schmid 因子が零であるすべり系の転位が発生してくるところも観察された。すなわち、この場合、まず、Schmid 因子の大きいすべり系の転位が発生して塑性変形が始まり、切欠先端で、あたかも切欠を開口させるようなせん断を生じて、Schmid 因子が零であるすべり系の転位が発生してくるものと考えられる。一方、切欠以外

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲第	号	氏名	西野 洋一
<p>のひずみ中心がある場合には、変形とともに、そのひずみ中心から塑性域が発生、伝播しようとするため、結局、切欠感度が低下してしまうことがあった。</p> <p>第7章では、シリコンのようには脆い結晶に、高温で、圧縮と引張の交番応力を負荷で変形させる際、置を新たに試作し、初めに交番変形による変形差を調節し、転位配列をHVEMにより観察して、第2章で得られた引張変形の場合の観察結果と比較して検討した。特に、結晶の疲労硬化が弾性領域内においても生じることが確かであるため、800°Cで、上降位応力の1/7程度の応力レベルで交番変形を行った。交番変形した結晶中には、引張変形の場合と同様、転位ダイポールや多くのダイポールから成り立っていた。しかし、この場合、変形初期からすでに、大部分の転位がダイポール配列をしており、また、主すべりには、相互消滅してはいなかった。疲労硬化の過程は、fcc金属の場合と非常に類似しており、転位バンドルが、主すべり系や二次すべり系、急速に疲労硬化していくものと考えられる。</p>				

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

西野 洋一

状態にあるわけである。このことが、異なった温度で形成した酸化膜中の応力が一定であることを示唆するものと言える。

最後の第9章は、以上の総括である。