

Atomistic and mesoscopic observations of dislocations and cracks in silicon crystals using HRTEM/HVEM

アディカ, ダマル ラストリ

<https://hdl.handle.net/2324/1543970>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）



氏 名 : Damar Rastri Adhika
(ダマル ラストリ アディカ)

論 文 名 : Atomistic and mesoscopic observations of dislocations
and cracks in silicon crystals using HRTEM/HVEM
(HRTEM/HVEMを用いたシリコン結晶中の転位と
クラックのアトミスティックそしてメゾスコピック観察)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

シリコン結晶中の格子欠陥はその物性に種々の影響を与える。なかでも転位と呼ばれる線状の格子欠陥は、その周りに大きな弾性的なひずみ場を有し、その他の格子欠陥と種々の相互作用を引き起こすため、その構造や挙動の研究は、半導体技術の基盤材料としてのシリコン結晶の性能向上に有益な基礎的知見を与える。

転位のひずみ場は、その近傍にクラックの先端が存在すると、それと強い相互作用を起こす。この現象は理論的には、転位によるクラック先端の局部応力遮蔽効果として知られ、それは、シリコン結晶ばかりでなく一般の結晶性材料の破壊靱性の向上の基本的メカニズムとなる。しかし転位芯そしてクラック先端近傍の構造を原子スケールで観察し、そのひずみ場を計測した研究はほとんどない。また結晶成長プロセスにおける転位導入抑制は非常に重要である。その解決にはまず、メゾレベルで結晶中に広がった個々の転位の性格と特徴を解析することが必須であるが、そのような研究もまだ依然として不十分な状況にある。

以上の背景のもと、本研究は、先端的電子顕微鏡法を駆使し、シリコン結晶中の転位やクラック先端近傍のひずみ場を原子スケールで計測すると共に、結晶成長時に導入された転位の特徴をメゾスケールで観察し、解析・考察した結果を纏めたものである。

まず、シリコン結晶中に導入されたローマーの不動転位と呼ばれる転位の芯構造について、高分解能電子顕微鏡法と Geometric Phase Analysis(GPA)と呼ばれる解析手法を組み合わせ、原子変位を評価し、そのひずみ場を計測した。またこれと合わせて、転位のひずみ場に関する理論値を計算し、観察結果と比較し両者の間に良い一致を見出した。これより高分解能電顕観察と GPA を組み合わせた本研究の解析手法の有用性が確認した。

次に、この解析手法を用いて、転位とクラックとの相互作用について原子スケールで解析した。まずシリコン結晶にインデンテーション法によりクラックと転位を導入した。クラック先端近傍に導入された $a/2\langle 110 \rangle$ すべり転位について、そのひずみ場を計測した。この実験結果と計算結果とを比較した結果、ここでも両者が良く一致するとともに、クラック先端に圧縮場に対応する弾性特異性の出現していることを見出した。これは先に述べた転位によるクラック先端遮蔽効果の存在を原子的尺度で実証するものである。

また、高濃度にヒ素をドーブしたシリコンの結晶成長途中に導入された転位群について、超高压電子顕微鏡法を用いて観察した。その結果、結晶引き上げ速度を増加させてヒ素濃度が上昇した領域で転位集合体の発生が確認された。さらに超高压電顕 3D トモグラフ法により転位集合体の立体構造を解析し、そのバーガースベクトルと転位線の乗っている面を決定した。その結果いずれも

$a/2\langle 110 \rangle$ のバーガースベクトルを有するすべり転位であり，これらの転位群導入の原因は，結晶成長中に生じた応力によって発生したすべりにあることが明らかとなった．またヒ素濃度が $2.5 \times 10^{19} \text{atoms/cm}^3$ に達した試料ではヘリカル転位と呼ばれる特異な転位性状が見出され，しかもそれらは **self-interstitial** 型と呼ばれるものであることが明らかとなった．このことは非常に高濃度にヒ素添加した場合に，シリコンの侵入型原子がヒ素原子と複合体を作り安定化されることを示している．またヘリカル転位の端点がピンポイントとして機能することで新たなすべり転位の増殖を促進する可能性も明らかにした．

以上，本論文では，先端的電子顕微鏡法を用いて，シリコン結晶中の転位と亀裂先端近傍のひずみ場を原子スケールで解析するとともに，結晶成長時に導入された転位の性状の3次元観察から，その導入機構を考察した．