

シリコン結晶における転位運動とその臨界分解剪断 応力に関する研究

藤瀬, 淳

<https://hdl.handle.net/2324/4475090>

出版情報：九州大学, 2020, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：



氏 名 : 藤瀬 淳

論 文 名 : シリコン結晶における転位運動とその臨界分解剪断応力に関する研究

区 分 : 甲

論 文 要 旨

半導体デバイスの基板として使用されるシリコンウェーハ中で転位運動が生じると、塑性変形に起因するアライメントズレが生じる。また、塑性変形に伴って発生・蓄積する転位は、電流リークの原因となるため、半導体デバイス製造歩留まりの悪化に繋がる。したがって、シリコン中の転位発生・運動を抑制する方法を確立することは、半導体デバイス製造において克服すべき大きな課題である。そのためには、まずシリコン中の転位発生および運動の詳細について把握し、転位運動抵抗の高いシリコンウェーハの創製、または半導体デバイス製造過程において転位運動が生じにくいよう熱処理工程の改善が必要となる。シリコンウェーハにおける塑性変形、換言すれば転位発生の起点は半導体デバイス製造中に導入される傷や熱処理中に成長する酸素析出物など多種多様であり、それぞれの臨界分解剪断応力の値、およびその支配因子は明らかではない。そこで本論文では、酸素析出物や裏面傷がシリコンウェーハ中に存在する際の迂り転位発生挙動に着目し、臨界分解剪断応力が酸素析出物のサイズ、残存酸素濃度、ひずみ速度に受ける影響を明らかにする事を目的とした。

本論文は 5 章で構成され、各章の概要を以下に示す。

第 1 章では、半導体デバイスに使用されるシリコンウェーハについて述べた。まず、シリコン結晶の製造方法の種類と、それらの特徴についてそれぞれ述べた。次に、半導体デバイスにおいて転位運動を抑制する方法について固溶酸素が重要であることについて述べた。更に、シリコンウェーハ中の転位運動がデバイス特性を悪化させる事を示し、その抑制のためには、臨界分解剪断応力の挙動をまず何よりも明らかにすることが重要である事を述べた。

第 2 章では、本研究において使用した高温 3 点曲げ試験装置の機構について初めに述べた。次に、高温 3 点曲げ試験により得られた剪断応力-剪断ひずみ曲線の固溶酸素濃度、試験温度およびひずみ速度依存性を示した。その結果を基に、臨界分解剪断応力は転位の酸素原子による固着力で決まる事を明らかにした。これにより、シリコン中の転位運動、すなわち、シリコンウェーハの塑性変形抑制にはロッキング力を上昇させる事が鍵であることを示した。更に、これらの実験から得た結果を整理し、臨界分解剪断応力を固溶酸素濃度、試験温度、およびひずみ速度依存性から予測する式を導出した。

第 3 章では、酸素析出物を起点として迂りが発生する際の臨界分解剪断応力を明らかにした。ここではまず、臨界分解剪断応力に直接影響を及ぼす因子を明らかにするために、酸素析出物サイズ、残存酸素濃度、および酸素析出物の数密度が異なる試料を作製した。そしてそれらの高温 3 点曲げ試験から、臨界分解剪断応力を直接的に決める因子は、フランクリード源サイズとしての酸素析出物サイズ、固着力としての残存酸素濃度である事を明らかにした。一方、酸素析出物数密度は、臨界分解剪断応力と明確な相関が無く、影響因子では無いと結論付けた。それらの結果から、酸素析

出物起因でひび発生が起こる臨界分解剪断応力を求める式を酸素析出物サイズ，残存酸素濃度，ひび速度の関数として導出した．

第 4 章では，第 2，第 3 章で導出した傷起因，および，酸素析出物起因のひび発生臨界分解剪断応力を予測する式が，実際の半導体デバイス製造における熱処理工程でも応用できるか否かを検証した．その結果，通常のシリコンウェーハ，および表面近傍に酸素濃度勾配があるウェーハにおいて，与えられた熱処理条件でのひび発生の有無を正確に予測できる事を明らかにした．

第 5 章では，得られた結果を総括した．また，脱炭素社会への流れの中で発展が著しいパワー半導体デバイス製造プロセスにおいて，本研究で得た臨界分解剪断応力の予測式を適用することで，熱処理工程の改善，および低酸素濃度シリコンウェーハの開発に大きく寄与できる事を最後に述べた．

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ、上下2.5センチ程度をあげ、ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は、2ページ以内にまとめること。)

5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロセッサで書式を整えること(手書きの場合は楷書体)。

この様式で提出された書類は、「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」の原稿として写真印刷するので、鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。