

シリコン結晶成長における熱応力の格子欠陥形成への影響

An investigation of the effect of thermal stress on defect formation in crystal growth of silicon from melt

阪大産研¹, 信越半導体² ○白井光雲¹, 阿部孝夫²ISIR, Osaka Univ.¹, Shin-Etsu Handoutai² Koun Shirai and Takao Abe

E-mail: koun@sanken.osaka-u.ac.jp

シリコンの融液からの結晶成長法において、温度の不均一分布により熱応力が発生する。この熱応力があまりにも大きいと、結晶は塑性変形しデバイス応用に使えなくなる。この熱応力を見積ることは比較的初期の研究でなされていたが、シリコンでは 70 年代に無転位結晶が作成されるに至って、この効果は無視あるいは致命的なものとはみなされなくなった。しかしシリコン結晶成長では今や 300mm² 径の成長が求められるに至り、再びこの効果と対峙しなければならなくなった。ところが一方で、熱応力の効果については、研究者の認識が必ずしも共通していない。一口に熱応力の効果といっても、格子欠陥の種類により様々な効果があり、またそもそも応力の見積り自体が大きく違う場合もある。このような状況で熱応力の効果を系統的に整理することは研究発展のため重要である。本研究では以下のような構成で、系統的に調べた。

I. 熱応力の見積り

熱応力の効果は無視できるという主張の根拠の一つは、ヤング率 E の温度依存性である。ある報告によると、 E は高温で急激に低下し、そのため熱応力は 1 MPa 以下と無視できる大きさであると主張される。これは E の温度依存性を誤って解釈したためで、正しい温度依存性を理論的に与えた。 E の温度依存性は基本的にはフォノンの非調和効果によるもので、その温度による減少は非常に小さい。

熱応力が無視できるというもう一つの根拠は、熱応力は温度分布において位置変化で 2 次の変化が効くので、通常は無視できるというものである。これも正しくない。インゴットのような円柱形状のものは動径方向の応力 σ_r だけでなく、円周方向の応力 σ_θ もあり、こちらの方が支配的にある。様々な温度シミュレーションによると、この応力は 10 MPa 以上にもなり、この値は引っ張り試験における最大降伏応力と同程度となる。

II. 熱応力の格子欠陥形成への影響

熱応力の大きさや分布がわかったとして、それによる格子欠陥形成への影響はどのようなになるだろうか？この問題は非常に大きな問題で、1 つの研究だけで尽くせるものではない。まず、概括から初めて、熱応力の効果を、マクロなスケールの熱応力と熱膨張とで区別すべきである。対応して欠陥も、前者には転位や積層欠陥などのマクロな欠陥、後者には点欠陥などのミクロな欠陥が関与する。それぞれの場合について、熱応力の効果を、幾つかの研究例の数値を使って議論する。