

融液成長における引き上げ速度の温度勾配への影響

Effects of pulling velocity of crystal growth from melt on temperature gradient

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

シリコンの結晶成長において無欠陥結晶が得られる条件は、いわゆる Voronkov 条件として知られる v/G がある範囲内にあることである。Voronkov のモデルでは G と v は独立変数として扱われるが、しかし実際には v を変えると多少なりとも G は変わる。どのように変わるかについては、長い間論争的であった。Abe は 20 年以上も前から、 G は v の増加に伴い減少することを実験で示してきた[1]。しかしほとんどの人は、 G は v とともに増加すると考えている。どうしてこのような基本的な問題で全く反対の主張になるのか？一つに、結晶成長にはいろいろなパラメータが寄与し、成長速度を変えると副作用として温度勾配以外のパラメータも変化し、真の効果が覆い隠されるからである。そこで、そのような実験の制約に捕われることのないよう、理論的にどうなるべきかを研究した[2]。

他の条件は一定にしておき、引き上げ速度 v だけを変える。このような条件では、結晶中の物質輸送の効果が効く。その効果は、

- (i) G は v の増加にともない減少する。
- (ii) G は結晶の径 R の増加にともない減少する。
- (iii) v が増加するにつれ液相／固相界面はより固相側に曲がる。

これらの結果は Abe が示してきたことと全て一致する[1]。とくに(iii)の界面の形状の変化はこれまで物質輸送の効果とは別のものとして議論されることもあったが、今回の研究により、それは他の効果(i)、(ii)と併せて三位一体のものとしてコンシステントに説明できることがわかった[2]。

これらの物理的意味も明確である。効果(i)は、 v の増加により熱い物質をより多く液相／固相界面からひき出すので、温度勾配がそれだけ小さくなる。(ii)は、もともと液相／固相界面からの温度勾配は熱伝導と固相表面からの熱損失とのバランスで決まってくるが、 R の増加にともない表面からの熱損失の割合は小さくなり、相対的に物質輸送による熱損失の割合が大きくなる。(iii)は、まさに物質輸送により界面が固相側に引っ張られたことと解釈される。

以上は、 v だけが変ったとする場合の議論であるが、実際の実験では、 v を変えると、いろいろ副次的なパラメータも変化してしまう。特に CZ では v を変えるとインゴットの径が変化してしまうので、径を揃えるべくパワーを調整する。このような状況下では上で述べた質量輸送の効果が覆い隠されてしまうことになる。その他、幾つかの論争点について議論する。

[1] T. Abe and T. Takahashi, J. Crystal Growth, **334**, 16 (2011).

[2] K. Shirai and T. Abe, J. submitted to Crystal Growth.