

シリコン結晶成長の点欠陥の発生と消滅に関する一考察

(1) : 引き上げ速度と温度勾配の関係

A study on generation and annihilation of point defects during silicon crystals from melt

(1): Relation between pulling rate and thermal gradient

信越半導体¹, 阪大 産研² °阿部孝夫¹, 高橋 徹¹, 白井光雲²ShinEtsu Handotai¹, ISIR Osaka Univ.² °Takao Abe¹, Toru Takahashi¹, Koun Shirai²

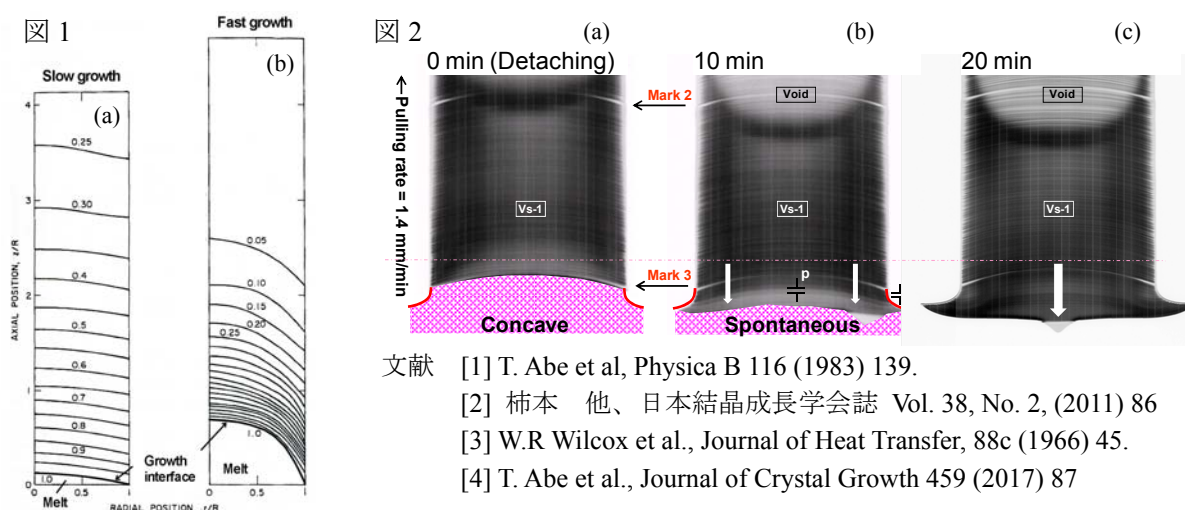
E-mail: takao.abe@seh.jp

【目的】 高速成長した結晶中に空孔が存在し、低速成長した結晶中に格子間原子の存在は知られている。その理由を知るため、成長中の結晶表面の温度分布を測定した[1]。その結果高速成長では成長界面の温度勾配(G_s)が小さく、反対に低速成長では成長界面の G_s が大きい結果になった。しかしこれはこの分野の結晶成長学の結果[2]と逆であることを低速成長の極限である成長停止実験の結果で説明する。

【従来の解釈】 Wilcox ら[3]が示した図 1 で説明すると(a)図は低速成長の場合の成長界面形状と等温線図であり、(b)図は高速成長の場合である。低速と高速の界面形状の違いは実際の結晶成長の場合と一致する。(b)図の高速成長で等温線の間隔が狭く(すなわち G_s が大)になっているが、これを研究者が受け入れてきた理由として高速成長で発生した潜熱を結晶表面に伝熱するには G_s が大でなければならないという理由が考えられる。しかし、 G_s 値が小の(a)図で結晶成長がより進み G_s 値が大の(b)図で結晶成長が遅れていることは、融液からの成長は G_s のみが結晶成長の駆動力であることに矛盾する。

【実験結果と考察】 我々は CZ 結晶成長中に引き上げを停止して、この停止時間を変えて成長界面の形状変化を観察した[4]。観察は結晶を融液から切り離し、縦割りにして、AOP 熱処理後に X 線トポにより行った。図 2(a)は高速で成長中の結晶を停止と同時に融液から切り離した X 線トポである。(b)図は(a)図の位置で切り離さず引き上げを 10 分間停止してその後融液から切り離した。(c)図では 20 分間引き上げ停止して切り離した。引き上げ停止によって(b)図の界面近くの側面からの冷却効果が両矢印方向の G_s を増大させ下部の融液に向かって自然成長(Sp: spontaneous)を惹起した。(c)図ではより長時間のため G_s の増加の割合は中心部で大きくなり、界面形状は凹から凸に変化したことが分かる。

【結論】 結晶表面の冷却時間が表面付近の G_s を増加させ、その影響が成長界面に達して結晶成長が起きる。すなわち結晶の冷却が成長界面の G_s 値を増大させ融液からの結晶成長の駆動力になっている。しかるに図 1(b)の界面は大きな G_s 値にも拘わらず成長が遅れている。等温線の間隔は図 1(a)より疎に描くべきである。これは我々の解釈に相反する。



文献 [1] T. Abe et al, Physica B 116 (1983) 139.

[2] 柿本 他、日本結晶成長学会誌 Vol. 38, No. 2, (2011) 86

[3] W.R Wilcox et al., Journal of Heat Transfer, 88c (1966) 45.

[4] T. Abe et al., Journal of Crystal Growth 459 (2017) 87