

2aB11

フルゾーン型フローティング・ゾーン内マランゴニ対流の三次元解析

Numerical simulation of 3-dimensional Marangoni convection in a floating full zone liquid bridge

静大・工 岡野泰則・水口尚

Department of Materials Science & Chemical Engineering, Shizuoka University,
Yasunori Okano, Hisashi Minakuchi

A three-dimensional numerical simulation study was carried out to have a better understanding for the role of Marangoni convection in the Floating-zone growth of bulk semiconductor single crystals. In the numerical model, a three dimensional Full-zone (FZ) growth configuration was considered under axisymmetric thermal boundary conditions. Numerical results showed that the flow and temperature fields in the zone remained axisymmetric (two-dimensional) in early stages of the simulation. However, as time proceeded, the flow and temperature field patterns became three dimensional. The concentration field exhibited a three-dimensional behaviour even the flow and temperature fields were still axisymmetric. It was also shown that the rotation of the growth system is beneficial in growing axisymmetrically uniform crystals.

【Introduction】 フローティングゾーン(FZ)法は、るつぼ材からの汚染が無い高品質な結晶が作製可能である反面、地上では重力の影響により大口径の結晶を作製することが困難である。そこで、大口径の結晶作製には微小重力の利用が有効となるが、微小重力下においては、マランゴニ対流の影響が顕著となり、条件によっては、三次元かつ非定常的な現象が発生し、成長縞など結晶品質に悪影響を及ぼすことが予想される。従って微小重力環境の高度利用のためには、結晶作製中に発生するマランゴニ対流現象の理解と、その制御手法の確立が重要課題となりうる。この観点より多くの数値解析が報告されているが、それらの多くは、流体力学的な興味に基づいた、ハーフゾーン内のマランゴニ対流を対象としたものである[1-3]。本研究では、実際の結晶成長を念頭に置き、フルゾーン型 FZ 内に発生するマランゴニ対流現象に関し数値解析を行った。

【Numerical method】 解析モデルを Fig.1 に示す。上下の結晶に挟まれた融液 (SiGe) を外部より図に示す温度分布において加熱する場合に関し、解析を行った。無重力を想定するとともに、気液および固液界面形状は平坦とした。解析基礎式には三次元円筒座標表示の連続式、Navier-Stokes 式、エネルギー方程式、拡散方程式を用い、これらの式を無次元化し、有限差分法により離散化し HSMAC 法により解析を行なった。なお、計算の初期値には熱伝導のみの結果を用いた。

【Results and Discussion】 Fig.2 に側面から見た温度分布 (a 左)、速度分布 (a 右)、等速度面図 (b)、濃度分布 (c) を示す。対流の無い初期状態から約 50[sec]までは、対流が徐々に発達していくものの、速度、温度、濃度分布ともに 2 次元構造になっており周方向に均一である。しかし、それ以降では、二次構造が崩れ、75[sec]では 4 回対称の流れが現れ、また 100[sec]では 3 回対称の流れへと変化していった。また同時に周方向速度も発生する。Fig.3 に下面 (成長界面) 上の Ge の濃度分布を示す。結晶が静止しているとき(0rpm)には濃度分布は極めて不均一であるが、上下の結晶を互いに逆方向に回転することにより濃度を均一化しうることが示された。また対流が一見 2 次元である初期においても、濃度分布は三次元構造を呈することが示された。

【References】

1. M. Levenstam and G.V. Amberg, *J. Fluid Mech.* 297(1995), 357.
2. Z. Zeng et al., *J. Crystal Growth*, 204(1999) 395.
3. N. Imaishi et al., *J. Crystal Growth*, 230(2001) 164.

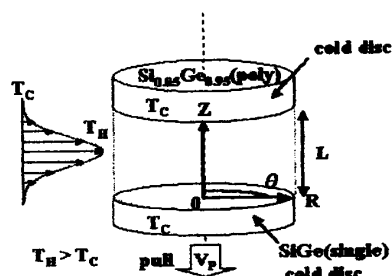


Fig.1 Basic configuration for the analysis.

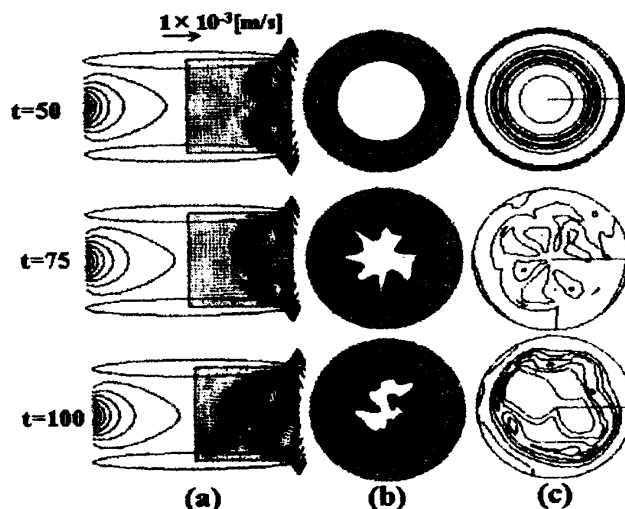
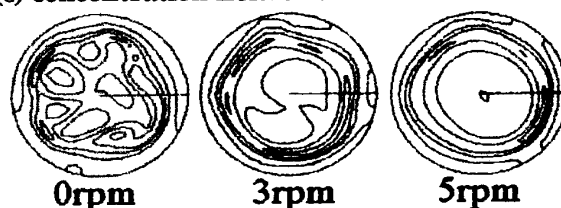
Fig.2 Numerical results at t=50,75 and 100[sec]. (a)temperature (left) and flow (right) fields, (b) iso-velocity plane (Top view, 1.35×10^{-3} [m/s]) and (c) concentration field of Germanium

Fig.3 Effect of upper and lower disk rotation on the germanium distribution on the growth interface.