

## Si 結晶のメルト成長において、点欠陥フリーの結晶を得るために、空孔と格子間原子の濃度曲線の交点が0となる点 ( $C_p=0$ ) の重要性

Importance of zero cross-point ( $C_p = 0$ ) control between the vacancy and interstitial Si atom concentration curves to obtain a perfect Si ingot using Si melt growth

東北大金研<sup>1</sup>, *GlobalWafers Co., Ltd.*<sup>2</sup> °中嶋一雄<sup>1</sup>, 中西正美<sup>2</sup>, Martin Su<sup>2</sup>, Chuck Hsu<sup>2</sup>

IMR Tohoku Univ.<sup>1</sup>, *GlobalWafers Co., Ltd.*<sup>2</sup>, °Kazuo Nakajima<sup>1</sup>, Masami Nakanishi<sup>2</sup>, Martin Su<sup>2</sup>, Chuck Hsu<sup>2</sup>

E-mail: kazuo.nakajima.a3@tohoku.ac.jp

Si 結晶の成長において、空孔( $C_v$ )と格子間 Si 原子( $C_i$ )の各濃度曲線の交点(Cross point,  $C_p$ )は、 $C_v = C_i$  を示す重要な点である。Si メルト成長で一般に行われている、色々の温度で  $C_v$  と  $C_i$  の境界を示す臨界点(Critical point)を目指して結晶欠陥濃度を下げる方法との関連をみると、Critical point の各点は明らかにそれぞれの温度の  $C_p$  に対応している[1]。

NOC 成長法では、メルト中に結晶が残っており、メルト表面における温度勾配は緩やかになる傾向がある。そのため、温度勾配は、一次関数 (Linear temperature profile) で表現する[2,3,4]。ここでは、メルト中結晶の温度勾配、 $G_1$  とメルト表面上結晶の温度勾配、 $G_2$  で表現する。この温度勾配の profile で、Voronkov の表式を用いて  $C_v$  と  $C_i$  の濃度曲線を描くことができる。Fig. 1 に示すように、成長速度、 $v$  を一定にして、 $G_2$  を変数として  $C_p$  濃度を計算すると、ある  $G_2$  で  $C_p$  濃度が 0 となる点 ( $C_p = 0$ ) が存在することが判った。図中に表記したパラメータでは、 $v = 0.000144 \text{ cm s}^{-1}$  では  $G_2=6.3 \text{ K cm}^{-1}$ 、温度は 1216K (943°C) で  $C_p = 0$  となる。 $v$  が大きくなるほど、 $C_p = 0$  になる  $G_2$  の値は大きくなり、温度は高くなる。この  $C_p = 0$  の点では、 $C_v = C_i = 0$  となり実質的に点欠陥フリーとなり、Perfect critical point に対応している。よって  $C_p = 0$  を目指すことにより、点欠陥フリーの Si 結晶を実現することが可能になる。

$C_p = 0$  の Si 結晶を成長するためには、初期の温度勾配、 $G_2$  を大きくし、途中からより小さな  $G_2 = 6.3$  に変化させても  $C_p = 0$  を達成できるように、変換タイミングを制御する必要がある。初期の  $G_2$  が大きくなるほど  $G_2 = 6.3$  へ変換すべき  $x$  の位置が小さくなり、メルト表面に近づく。 $x_p$  において  $C_p = 0$  をいったん達成すれば、その後のインゴット成長で自在に温度勾配を変化させて引き上げを継続しても、 $C_p = 0$  の状態を保つことができる[1]。このように、 $C_p = 0$  に制御すると、点欠陥フリーの Si 結晶を実質的に成長できることになる。この原理は Cz 成長でも活用できる。

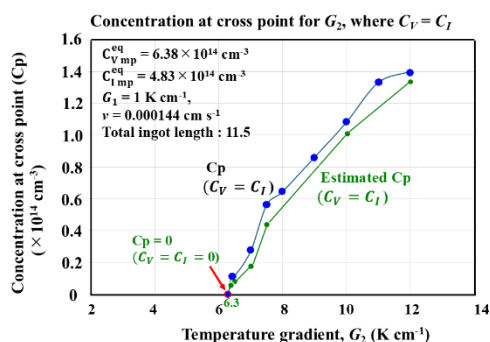


Fig. 1  $C_p$  ( $C_v = C_i$ ) as a function of  $G_2$  at  $v = 0.000144$ . Finally  $C_p = 0$  ( $C_v = C_i = 0$ ) can be attained.

- 1) K. Nakajima, M. Nakanishi, M. Su, C. Hsu, J. Crystal Growth **644** (2024) 127823.
- 2) K. Nakajima, M. Nakanishi, M. Su, C. Hsu, J. Crystal Growth **547**, 125810 (2020).
- 3) K. Nakajima, M. Nakanishi, M. Su, C. Hsu, J. Crystal Growth **592**, 126721 (2022).
- 4) K. Nakajima, M. Nakanishi, M. Su, C. Hsu, J. Crystal Growth **605**, 127064 (2023).