

NOC 法で成長した無転位 Si 単結晶中の結晶欠陥分布と COP の極低密度化

COP distinctive low-density distribution in a dislocation-free Si ingot grown by NOC

東北大金研¹, *GlobalWafers Co., Ltd.*² °中嶋一雄¹, 中西正美², Martin Su², Chuck Hsu²

IMR Tohoku Univ.¹, *GlobalWafers Co., Ltd.*², °Kazuo Nakajima¹, Masami Nakanishi², Martin Su²,

Chuck Hsu²

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

NOC (noncontact crucible) 成長法は、ルツボ壁に非接触で直径比（インゴット径/ルツボ径）の大きな低欠陥の Si インゴット単結晶を成長するために、Si メルト中に大きく深い低温領域（融液中の融点以下の領域）を、ルツボ底に配置した断熱板を用いて設定し、熱流制御を行う成長法である[1, 2]。この成長法では、結晶内の空孔濃度(C_V)と格子間 Si 原子濃度 (C_I) が描く濃度曲線の交点(CP: cross point) が、結晶欠陥を低減する重要因子となる。温度勾配, G ($K\ cm^{-1}$)と CP の濃度や位置は、Voronkov' の表式(3)をベースにした式により計算できる[3]。NOC 成長では、融液内部の成長界面での温度勾配、 G_1 とメルト表面での温度勾配、 G_2 が必要になるので、 $G = (T_m - T)/z$, の表式を用いる。ここで、 T_m (= 1687 K) は Si の融点、 z (cm) は成長界面からの距離である。計算で得られた、 G_2/G_1 比と融液中のインゴット長、 d_1 に対する CP における C_V の二次元分布では、低 C_V 領域が低 G_2/G_1 かつ長 d_1 の時に現れることが判った(4)。これは NOC 成長法に適した条件であり、NOC 成長法で得た無転位 Si インゴット単結晶で、低 C_V (at CP)から期待できる COP(crystal originated particle)の低減効果を調査した(5)。

ここでは、インゴット断面のスライスウェハーを用いて、BMD(bulk micro defect), BSF(bulk stacking fault), OISF(oxidation induced stacking fault), COP の分布を調べた。この結果、Ring-OISF 又は BSF はインゴットの中央とテール部分にクリアーに観察できた。BMD は Ring-OISF の内部と外部に観察できた。次に、Cz 結晶と NOC 結晶の COP 分布 (0.12 μm 以上 : KLA-Tencor Surfscan 6220 particle counter 使用) を比較した。NOC 結晶では Ring-OISF の内部において、0.12 μm 以上のサイズの COP は観察できなかった (5)。また同じエッチング条件では、Cz 結晶には多数の COP が観察された。

使用した NOC 結晶は、B を $5 \times 10^{19}\ cm^{-3}$ 程度ドーピングした結晶であるが、このドーピングにより C_V 曲線は下がるが、 G_I 曲線は一定のため、CP における C_V 値は逆に高くなるが、この条件を勘案しても、COP は観察されないの、ここでは B ドーピングの影響はないと考える。

今回の結果は、NOC 成長法の特徴である可能性があり、さらなる研究を進め、半導体の極微細化に対応する方法の 1 つになればと考える。

[1] K. Nakajima, S. Ono, H. Itoh, J. Crystal Growth **499** (2018) 55.

[2] K. Nakajima, T. Ando, H. Itoh, D. Yang, J. Crystal Growth **524** (2019) 125160.

[3] V. V. Voronkov, R. Faister, J. Appl. Phys. **86** (1999) 5975.

[4] K. Nakajima, M. Nakanishi, M. Su, C. Hsu, J. Crystal Growth **592** (2022) 126721.

[5] K. Nakajima, M. Nakanishi, M. Su, C. Hsu, J. Crystal Growth **605**, 127064 (2023).