

Cz 法融液の電流—磁場印加による流動制御

The fluid flow of Czochralski melt under the electromagnetic field

○加藤 拓哉, 大分大院, 大分県大分市且野原 700 番地, E-mail:v08e1010@mail.cc.oita-u.ac.jp
 二條久保 裕・岩本 光生・齋藤 晋一, 大分大工, 大分県大分市且野原 700 番地
 赤松 正人, 山形大工, 山形県米沢市城南 4-3-16
 尾添 紘之, 九州大学名誉教授, 福岡県春日市春日公園 6-1
 Takuya Katoh, Oita University, 700 Dannoharu, Oita, 870-1192, Japan
 Yuu Nijoukubo・Mitsuo Iwamoto・Shinichi Saitoh, Oita University, 700 Dannoharu, Oita, 870-1192, Japan
 Masato Akamatsu, Ymagata University, 4-3-16 Jyonan, Yonezawa, Yamagata, 992-8510, Japan
 Hiroyuki Ozoe, Professor Emeritus, Kyushu University

The silicon single crystal is used for the semiconductor device and it is mainly manufactured by the Czochralski crystal growing method. Under the Cz method, the forced convection and natural convection caused by the crystal rotation and the temperature difference between the crystal and crucible. In traditional system, the melt convection is controlled by the heater power, the crystal and crucible rotation. We apply Lorentz force to control the melt convection in this study, the Lorentz force accelerates the liquid metal under the magnetic field and the direct electric current. The amplitude of electric current and the strength of magnetic field are varied, the transient velocity of fluid is measured. The velocity and the rotating direction of melt were varied by the induction of electric current and magnetic field.

1. 緒言

半導体の材料に用いられるシリコン単結晶は主にチヨクラルスキー法 (Cz 法) によって製造されており, この方法では石英ルツボ内で高純度多結晶シリコンを加熱・熔融し, 融液表面に単結晶の元となる種結晶を浸し回転させながら引き上げることで大口径の単結晶を育成する。そのとき, 融液内には結晶及びルツボ回転による強制対流と, ルツボと結晶の温度差による自然対流が混在し, 複雑な流れが発生する。この流れは単結晶の品質を左右するため, 融液内の流れを制御することが必須となる。従来は結晶やルツボ回転・ヒーター温度・ルツボ位置などにより融液内の流れは制御されてきたが, 近年では結晶の大口径化に伴い融液深さが増大し, 制御が困難となっている。現在, 水平・垂直の静磁場印加による制御が行なわれているが, 本研究では, 融液に磁場と電流を同時に印加する電流-磁場印加チヨクラルスキー法 (EMCz 法) [1] による流動制御について実験的に検討した。本実験では融液内に非対称な温度分布が生じるよう設定し, この温度分布の変化を熱電対で測定することで, 融液の流れを測定した。

2. 実験装置および実験方法

Figure 1 に実験装置の概略を示す。本実験ではガリウムを実験試料として用いた。ガリウム融液をルツボ①に満たし, ウォータージャケット③によりルツボ壁面及び底面を加熱した。また, 冷却した銅製の模擬結晶棒②をモータ⑤で 35rpm に回転させた。磁場は垂直方向 (重力方向) にソレノイドコイル④により印加し, 電流はルツボ内中央と側面に設置した電極⑫より印加される。本実験では熱電対⑥を融液高さ 40mm の位置に 45° 間隔で周方向に設置した。そしてルツボ内電極に直流電流を印加し, この電流の強さとソレノイドコイルによる磁束密度を変化させたときの融液温度の変化を測定した。

3. 実験結果及び考察

Figure 2 に融液に $B=2.4\text{mT}$ の垂直磁場を印加し, 印加電流強さを変えた場合の融液内温度の時間変化を示す。これによるローレンツ力は結晶回転方向と逆に働くように設定した。非軸対称な温度分布の回転により, 温度振動が測定され, 印加電流の増加と共に流れが遅くなるため振動周期が減少している。

Figure 3 に電流と磁場強度を変化させた場合の融液内流れ方向の変化を示す。図中の○印は模擬結晶棒と融液の回転が同方向であり, ×印は温度振動がなくなった事を示している。印加電流が弱い場合, 融液内流れは結晶回転方向に回転しているが, 印加電流を増加させると温度振動は消失した。これは融液の周方向流れが抑制され周波が非常に長くなるためと考えられる。

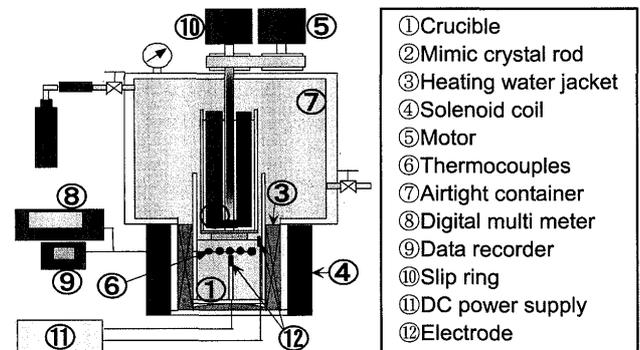


Fig.1 Schematic drawing of the experimental apparatus

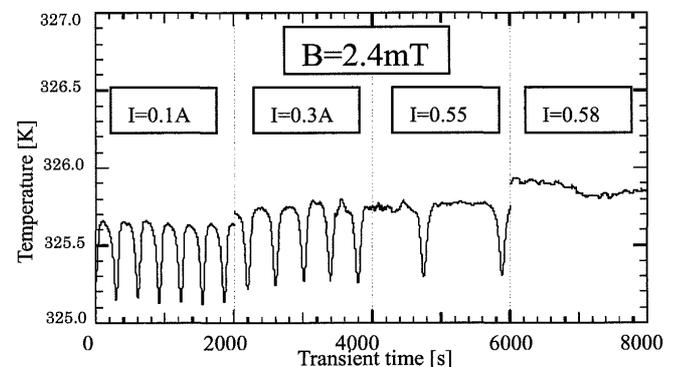


Fig.2 Transient temperature in the melt for $B=2.4\text{mT}$

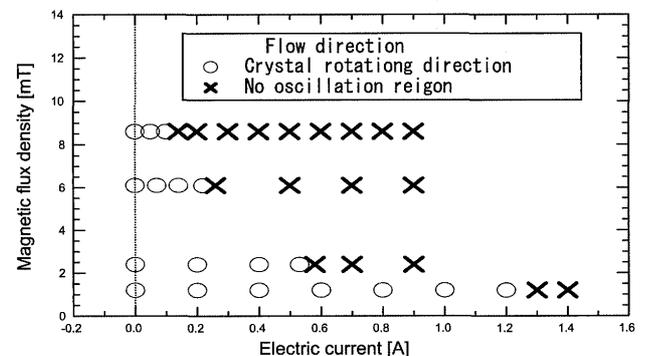


Fig.3 The flow direction in the melt under the electromagnetic field

参考文献

[1] Masahito Watanabe, Minoru Eguchi, Wei Wang, Taketoshi Hibiya, Shunji Kuragaki, J. Crystal Growth, 237-239(2002)1657-1662