

特集序文

SiC 結晶の溶液成長とその関連技術

Solution Growth of Bulk and Thin Film SiC Crystals and Its Related Technologies

松本祐司

Yuji MATSUMOTO

炭化ケイ素 (SiC) は、高耐圧・低損失の電力変換機器には必要不可欠な、Siを代替するパワー半導体材料の1つである。これまでの、企業との連携を含む数々の国家プロジェクトでは、そのバルク結晶やエピ膜成長、デバイス技術の研究・開発が精力的に行なわれ、その成果の一部は、SiCのパワーデバイスがすでに首都圏の一部鉄道車両に搭載され、次世代の新幹線にも搭載予定との報道がなされるなど、すでに世間に広く知られるところである。しかし、パワーデバイスのより一層の高性能化・普及には、SiC結晶のさらなる高品質化、低コスト化が求められている。

そのようなSiC結晶の高品質化・低コスト化を阻む要因の1つは、2000 °C以上のプロセス温度を必要とする現行のバルク結晶やエピ膜成長技術にあるとされている。気相法をベースとする昇華法やCVD法などの非平衡性の高いプロセスでは、プロセス温度は高温にならざるを得ない。もし、プロセス温度の低温化が実現すれば、高温部材からの汚染物質が抑制され、結晶のさらなる高純度化が期待される。また、それは、プロセスの省エネルギー化だけでなく、プロセス装置に使用できる部材の選択の幅を広げ、消耗部材の長寿命化は、結果としてプロセス全体の低コスト化にも資する。

SiC結晶の溶液成長法は、昇華法やCVD法と比較してより平衡に近いプロセスであることから、そのようなプロセスの低温化と結晶の高品質化を実現する有力な方法の1つとして期待されている。しかし、一致熔融型のSiの場合と異なり、分解熔融型の結晶であるSiCの溶液成長では、Si融液に炭素を溶解させた溶液(フラックス)を用いるのが一般的で、その低い炭素溶解度による成長速度が遅いこと、さらに、SiCには多くの結晶多形が存在し、その制御が容易でないことなどが、SiCの溶液成長の技術開発を困難なものにしている。個人的には、SiC結晶の溶液成長の技術開発を、その困難さがゆえに“結晶成長も化学反応である”こと、つまり“化学的な視点”の重要性を再認識させてくれる好機と捉えている。具体的には、SiC結晶の溶液成長では、触媒的発想が有効であると考えている。成長速度と多形制御は、触媒の化学プロセスで言えば反応転嫁率と選択性に相当し、フラックス成長の分子論的な理解が、今後ますます重要と考えるのは私だけではないと思う。

さて、本特集では、「SiC結晶の溶液成長とその関連技術」と題し、4名の若手研究者に最新の研究開発についてご紹介いただいていた。具体的には、溶液成長におけるSiC固有の欠陥の伝搬挙動や欠陥変換現象などの基礎的な内容から、炭素濃度の非定常解析に基づく異なる種子づけのタイミングがSiC結晶成長に及ぼす影響や、種々の添加剤のマクロステップ形状制御に及ぼす効果と高品質なバルク成長技術としての新しい溶液法/昇華法ハイブリッド成長法、さらには、エピ膜成長においても、溶液成長の利点を積極的に取り入れたSiC薄膜のvapor-liquid-solid (VLS)成長まで、研究者それぞれの視点から、溶液成長ならではのSiC結晶・薄膜成長研究の醍醐味を伺い知れる内容となっている。また、関連技術として、レーザー顕微鏡を用いた新しい溶液成長界面のその場観察技術や機械学習を取り入れたプロセスシミュレーションの高速化など、新しい研究展開も見逃せない。今回、たいへんお忙しいにも関わらず、本特集にご協力いただいた先生方には改めてお礼を申し上げたい。最近では、SiC以外にも、パワー半導体材料として、Ga₂O₃やGaNも注目され始めているが、本特集が、SiCの溶液成長のみならず、ひろく、そうした結晶成長に携わる研究者の方々にとって有益なヒントや知見を与えるものであることを願ってやまない。

*Yuji MATSUMOTO, 東北大学工学研究科応用化学専攻