

B1-08 結晶成長デジタルツインを用いた大口径高品質 SiC 結晶の開発

宇治原 徹(名古屋大学 未来材料・システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター)

SiC はパワーデバイス用半導体として優れた特性を持つ。近年、新幹線などの鉄道や、一部の電気自動車にも SiC パワーデバイスが採用されつつある。しかし、本格的な普及に向けては、SiC ウェハの低コスト化と高品質化が必要となる。現在、SiC バルク結晶は改良レイリー法、いわゆる昇華法で育成されている。それに対して、我々は溶液成長法による育成技術の開発を行っている。溶液法では、カーボンの坩堝に Si 系溶媒を入れて、約 1800°C から 2000°C の高温に保持することで坩堝のカーボンが溶出し、そこに種結晶を浸漬させることで結晶を育成する。我々は実際に本手法を用いて、2016 年ごろには 10 ミリ角と小さな結晶ではあるが、極めて転位密度の低い高品質 SiC 結晶を実現している 1)。ただし、デバイスへの応用のためには、6 インチや 8 インチといった大口径化が必要となる。大口径化技術の開発は非常に困難を伴う。結晶成長プロセスにおいては、温度や坩堝位置、回転など多くの制御パラメータを最適化する必要があるし、実はそれだけではなく、例えば坩堝の大きさや断熱材の構成など、装置設計のレベルの最適化も必要となる。そのため、大口径化技術の開発には非常に長い時間を要する。

我々はこの状況を打破するために、コンピュータ内に実際の結晶成長実験を再現するデジタルツインを構築し、それを用いてコンピュータ内で最適化する手法を開発した。図は実際に我々が用いている結晶成長装置の内部を示したコンピュータグラフィックスである。坩堝の内部のコントラストは高温溶媒内部の温度分布を表している。通常、このような温度分布は熱流体シミュレーションで計算することができるが、我々はそのシミュレーション結果を高速かつ正確に予測する代理モデルを機械学習により構築している 2)。これにより、例えばシミュレーションでは 1 時間程度要する計算でも、一瞬にして終わることができる。このようなモデルを構築できると、あとはコンピュータの中で何百万回、何千万回の計算が可能であり、これにより最適な結晶成長条件を見出すことができる。

我々は、比較的小さな結晶において、最適な温度や流れ、組成分布などを実験的に明らかにし、それを参考に高品質な結晶が大口径結晶の全領域で成長するように、目的関数を定義し最適化手法を用いて実験条件を探索し、その結果、当初、10 ミリ程度しか成長できなかったが、2 年足らずで 6 インチの結晶を成長できるまでに至った。

1) K. Murayama et al., J. Cryst. Growth, 468, 874 (2017)

2) Y. Tsunooka et al., CrystEngComm, 20, 6546 (2018)

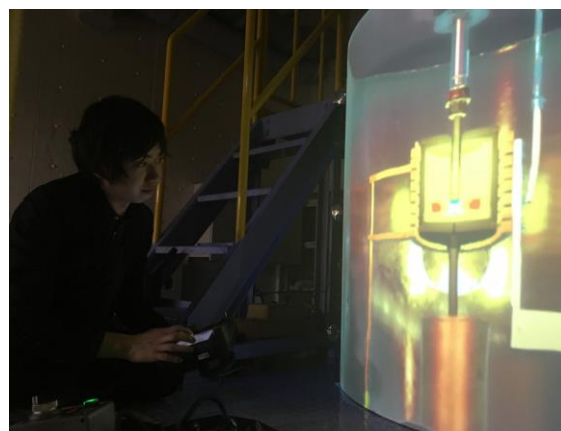


図 1 実際の結晶成長装置の内部状態を予測するデジタルツイン。ここでは実際の装置に設置したスクリーン上にプロジェクションマッピングしている。コントラストは溶液中の温度分布。

PROFILE

宇治原徹(名古屋大学 未来材料・システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター)

1999 年京都大学工学研究科博士後期課程修了、東北大学金属材料研究所助手、名古屋大学大学院工学研究科助教授を経て、2010 年より教授、2016 年より現職。産総研 GaN-OIL ラボ長、大学発ベンチャー株式会社 U-MAP、アイクリスタル株式会社取締役。専門は、半導体を中心とした結晶成長、素材プロセスのためのプロセスインフォマティクス。現在は、プロセスインフォマティクスを駆使した高品質 SiC 結晶成長技術を社会実装し、世界一の SiC ウェハベンダーを目指して新ベンチャー立ち上げに向けて奔走中。