

## SiC 単結晶成長におけるポリタイプ制御 Polytype Control in Silicon Carbide Crystal Growth

産総研 <sup>○</sup>加藤 智久

AIST, <sup>○</sup>Tomohisa Kato

E-mail: t-kato@aist.go.jp

SiC はワイドギャップ半導体の一つとして特に近年、大出力パワーモジュール製品への応用が大きく進んだ半導体材料である。2020 年現在、SiC のバルク単結晶はφ6 インチを台頭に製造され、今後はシリコンプロセスの置き換えが意識されるφ8 インチ大口径化開発も進もうとしている。SiC は2元系の IV-IV 族化合物であるため、2H、3C、4H、6H、8H、15R、21R、、、などと多数の結晶多形（ポリタイプ）<sup>[1]</sup>が存在していることが知られているが、結晶成長条件の中で比較的安定でバンドギャップの大きい 4H 多型がパワー素子向けに選択されている。こういった背景からこれまで 4H-SiC バルク単結晶の高品質化技術、大口径化技術など開発が進められてきた。

SiC バルク単結晶成長は一般に昇華再結晶法が最も簡便な製造技術として用いられている。自然核生成を利用したアチソン法では一度に大量の塊状の SiC 結晶が得られるため、古くから研磨材、構造材、耐熱材向けの粉体を安価に製造する技術として普及したが、ポリタイプは 6H の割合が多く、3C、4H、15R などが混入するような合成法である。単一ポリタイプの結晶が得られるようになったのはアチソン法で発生する晶洞を模した Lely 法<sup>[1]</sup>の開発で実現され、小さいながら爪状の単結晶が容易に得られるようになった。その後、種結晶を備えた改良レリー法<sup>[1]</sup>（昇華法）へと進化し、現在のバルク単結晶製造技術となった。当初、昇華法で 6H-SiC 単結晶の成長が盛んに行われたが、(0001)カーボン面にドナーとなる窒素を添加する成長条件で 4H 多型が発生しやすいことが報告<sup>[2]</sup>され、その後の 4H-SiC 単結晶成長技術に活用されている。縦型のパワー素子を作製する上ではドナー濃度が高い方がオン抵抗も下げられ電力損失を少なくすることができるが、昇華法の結晶成長条件では  $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  以上のドーピング濃度（比抵抗で 10~15mΩcm）で 4H 多型が再び不安定となるため、低抵抗化には長らく限界があった。こういった要因から、現在の市販 n 型 4H-SiC ウェハの比抵抗は下げ止まっており、シリコンと比較するならもう一桁比抵抗を下げたい要望もあった。産総研ではこの問題に対して、ドナーとアクセプターを同時にドーピングするコドーピング法を昇華法に導入することで、4H 多型を安定化させたまま比抵抗をさらに下げられる成長条件を見だし、超低抵抗高品質ウェハの試作を通じて技術を実証した<sup>[3]</sup>。現在、SiC バルク単結晶の製法には昇華法以外にガス法や溶液法といった新しい技術開発も進められている。講演当日はこれらの技術紹介も交え、SiC 単結晶における多型制御の重要性について議論する。

[1] Yu.M. Tairov, V.F. Tsvetkov, *Journal of Crystal Growth*, 43(1978)209.

[2] M. Kanaya, J Takahashi, Y Fujiwara and A Moritani. *Appl. Phys. Lett* 58 (1991) 56.

[3] T. Kato, et al, *Materials Science Forum Vols. 778-780* (2014) 47.